

**T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TAŞKÖPRÜ ORMAN İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ KARAÇAM
(*Pinus nigra* J.F.Arnold) MEŞCERELERİ İÇİN TOPRAKÜSTÜ
BİYOKÜTLE TABLOLARININ DÜZENLENMESİ VE
UYUMLU BİYOKÜTLE-HACİM DENKLEMLERİNİN
GELİŞTİRİLMESİ**

Fadime SAĞLAM

**Danışman
Jüri Üyesi
Jüri Üyesi**

**Yrd. Doç. Dr. Oytun Emre SAKICI
Prof. Dr. Sezgin AYAN
Yrd. Doç. Dr. Muammer ŞENYURT**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

KASTAMONU – 2016

TEZ ONAYI

Fadime SAĞLAM tarafından hazırlanan "**Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü Karaçam (*Pinus nigra* J.F.Arnold) Meşcereleri İçin Topraküstü Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi ve Uyumlu Biyokütle-Hacim Denklemlerinin Geliştirilmesi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde savunulmuş ve **oy birliği** ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Orman Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Oytun Emre SAKICI
Kastamonu Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Sezgin AYAN
Kastamonu Üniversitesi



Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Muammer ŞENYURT
Çankırı Karatekin Üniversitesi



12/01/2016

Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Ömer KÜÇÜK



TAAHHÜTNAME

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildirir ve taahhüt ederim.


Fadime SAGLAM

ÖZET

Yüksek Lisans

TAŞKÖPRÜ ORMAN İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ KARAÇAM (*Pinus nigra* J.F.Arnold) MEŞCERELERİ İÇİN TOPRAKÜSTÜ BİYOKÜTLE TABLOLARININ DÜZENLENMESİ VE UYUMLU BİYOKÜTLE-HACİM DENKLEMLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Fadime SAĞLAM

Kastamonu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Oytun Emre SAKICI

Bu çalışmada, Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü saf karaçam meşcereleri için tek ağaç bazında topraküstü biyokütle tablolarının düzenlenmesi ve uyumlu biyokütle-hacim denklemlerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Çalışma materyali olarak; meşcerelere ilişkin gelişme çağı, kapalılık ve yetişme ortamı farklılıklarının temsil edilebilmesi amacıyla farklı gelişme çağı, kapalılık ve bonitet sınıflarına dağıtılan örnek alanlarda göğüs yüzeyi orta çapları belirlenerek her bir örnek alandan, hesaplanan bu çap değerine en yakın en az bir adet örnek ağaç seçilmiştir. Bu amaçla saf ve doğal karaçam meşcerelerinden alınan 85 adet örnek alanda toplam 127 adet örnek ağaç üzerinde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ağaç bileşenlerinin biyokütle miktarlarını ve topraküstü toplam biyokütleyi veren biyokütle denklemlerinin geliştirilmesinde Regresyon Yöntemi'nden yararlanılmıştır.

Her bir biyokütle bileşeni ve tüm ağaç için fırın kurusu ağırlıklara bağlı olarak 18 adet tek girişli ve 21 adet çift girişli biyokütle denklemi denenmiştir. Tüm parametreleri anlamlı bulunan denklemler 4 istatistiksel ölçüte göre değerlendirilmiş ve en başarılı bulunan denklemler belirlenerek tek ve çift girişli biyokütle tabloları düzenlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; gövde odunu, kabuk, dal ve yaprak biyokütlesi ile topraküstü toplam biyokütle için geliştirilen en başarılı tek girişli denklemlere ilişkin belirtme katsayısı (R^2) değerleri sırasıyla 0,959, 0,949, 0,889, 0,840 ve 0,979 iken, en başarılı çift girişli denklemler için de bu değerler sırasıyla 0,971, 0,883, 0,618, 0,613 ve 0,965 olarak belirlenmiş, uyumlu biyokütle-hacim denklemleri için ise 0,965-0,972 aralığında değerler elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Pinus nigra*, karaçam, fırın kurusu ağırlık, topraküstü biyokütle

2016, 113 sayfa

Bilim Kodu: 1205

ABSTRACT

MSc. Thesis

CONSTRUCTING OF ABOVE-GROUND BIOMASS TABLES AND DEVELOPING OF COMPATIBLE BIOMASS-VOLUME EQUATIONS FOR BLACK PINE (*Pinus nigra* J.F.Arnold) STANDS IN TAŞKÖPRÜ FOREST ENTERPRISE

Fadime SAĞLAM
Kastamonu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Forest Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Oytun Emre SAKICI

In this study, it was aimed to prepare single tree based above-ground biomass tables and to develop compatible biomass-volume equations for Black Pine stands in Taşköprü Forest Enterprise.

According to the basal area average diameter in sample plots which selected by trying to ensure the delivery of the closure, development stage and site quality, at least one sample tree was selected from each sample plots. For this purpose, 127 sample trees on the 85 sample plots taken from pure and natural black pine stands were carried out. Regression approach was used to fix the biomass equations.

18 single- and 21 double-entry biomass equations were tested for each biomass components and above-ground total biomass depending on oven-dry weight for all trees. The most successive equations were selected according to four criteria and single- and double-entry biomass tables were constructed. Coefficient of determination (R^2) of the most successful single-entry biomass equations for wood, bark, branch, leaf biomass and total biomass were 0,959, 0,949, 0,889, 0,840 and 0,979 respectively. These values were 0,971, 0,883, 0,618, 0,613 and 0,965 for double-entry equations respectively. For compatible biomass-volume equations, R^2 values were obtained in the range from 0,965 to 0,972.

Key Words: *Pinus nigra*, black pine, oven-dry weight, above-ground biomass

2016, 113 pages

Science Code: 1205

TEŞEKKÜR

"Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü Karaçam (*Pinus nigra* J.F.Arnold) Meşcereleri İçin Topraküstü Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi ve Uyumlu Biyokütle-Hacim Denklemlerinin Geliştirilmesi" adlı bu çalışma Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Öncelikle konu seçiminden çalışmanın son aşamasına kadar, ilgili ve yol gösterici tutumuyla çalışmalarımı destekleyen ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Oytun Emre SAKICI'ya gönülden teşekkürlerimi sunarım.

Bursiyer olarak görev aldığım TOVAG 214O217 No'lu TÜBİTAK Kariyer Geliştirme Programı (3501) projesinin bir parçası olan bu tez çalışmasına sağladığı katkılardan dolayı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmama yapmış oldukları katkılardan dolayı değerli hocalarım Prof. Dr. Sezgin AYAN, Yrd. Doç. Dr. Muammer ŞENYURT ve Yrd. Doç. Dr. İlker ERCANLI'ya çok teşekkür ederim.

Tez çalışması süresince manevi destekleri ile sürekli yanımda olan eşim ve aileme ve arazi çalışmalarını birlikte yürüttüğümüz değerli arkadaşlarım Arş. Gör. Mehmet SEKİ ve Orm. Müh. Çağla KIRKÇEŞMELİ'ye şükranlarımı sunarım. Arazi çalışmalarında her türlü kolaylığı ve desteği sağlayan Taşköprü Orman İşletme Müdürü Muzaffer BÜYÜKTERZİ ve personeline teşekkürü borç bilirim.

Fadime SAĞLAM
Kastamonu, Ocak, 2016

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
TABLolar DİZİNİ	xi
GRAFİKLER DİZİNİ	xii
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Biyokütle Miktarlarının Belirlenmesi	8
1.2. Karaçam Türüne İlişkin Genel Bilgiler	10
2. LİTERATÜR ÖZETİ	12
3. MATERYAL VE YÖNTEM	23
3.1. Materyal.....	23
3.1.1. Araştırma Alanının Tanıtımı.....	23
3.1.2. Örnek Alanların Özellikleri ve Seçimi	25
3.1.3. Örnek Ağaçlar Üzerinde Yapılan Ölçümler	31
3.1.4. Laboratuvar Çalışmaları	34
3.1.4.1. <i>Gövde odunu fırın kurusu ağırlıkların hesaplanması</i>	35
3.1.4.2. <i>Kabuk fırın kurusu ağırlıkların hesaplanması</i>	37
3.1.4.3. <i>Dal fırın kurusu ağırlıkların hesaplanması</i>	37
3.1.4.4. <i>İbre fırın kurusu ağırlıkların hesaplanması</i>	38
3.1.4.5. <i>Topraküstü toplam biyokütlenin hesaplanması</i>	40
3.2. Yöntem	40
3.2.1. Biyokütle Denklemlerinin Geliştirilmesi.....	41
3.2.2. Uyumlu Biyokütle-Hacim Denklemlerinin Geliştirilmesi.....	44
3.2.3. Biyokütle Denklemlerinin İstatistiksel Başarılarının Belirlenmesi .	46
3.2.4. Biyokütle Denklemlerinin Kontrolü	47
4. BULGULAR	48
5. TARTIŞMA	80
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	91
KAYNAKLAR	96
EKLER.....	106
EK 1- (Karaçam tek girişli biyokütle tablosu)	107
EK 2- (Karaçam çift girişli gövde odunu biyokütle tablosu)	108
EK 3- (Karaçam çift girişli kabuk biyokütle tablosu)	109
EK 4- (Karaçam çift girişli dal biyokütle tablosu)	110

EK 5- (Karaçam çift girişli ibre biyokütle tablosu).....	111
EK 6- (Karaçam çift girişli topraküstü toplam biyokütle tablosu).....	112
ÖZGEÇMİŞ	113



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Kg	Kilogram
CO ₂	Karbondioksit
CH ₄	Metan
N ₂ O	Diazotmonoksit
HFCs	Hidroflorokarbonlar
PFCs	Perflorokarbonlar
SF ₆	Kükürtheksaflorid
BEF	Biyokütle Genişletme Faktörü
h _m	Ticari Boy
R ²	Belirtme Katsayısı
Bias	Ortalama Hata
RMSE	Hata Kareler Ortalamasının Karekökü
AIC	Akaike Bilgi Kriteri
M _G	Tahmin Edilen Gövde Odunu Biyokütlesi
M _K	Tahmin Edilen Kabuk Biyokütlesi
M _D	Tahmin Edilen Dal Biyokütlesi
M _I	Tahmin Edilen İbre Biyokütlesi
M _T	Tahmin Edilen Topraküstü Toplam Biyokütle
M _{GK}	Tahmin Edilen Kabuklu Gövde Biyokütlesi
d	Çap
h	Boy
B	Kabuk Kalınlığı
V	Hacim
V _{Ksz}	Kabuksuz Gövde Hacmi
V _{Kbl}	Kabuklu Gövde Hacmi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Biyokütle bileşenlerinin ağaç üzerindeki dağılımı	3
Şekil 1.2. Karaçam'ın Türkiye'deki yayılışı	11
Şekil 3.1. Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü coğrafik konumu	24
Şekil 3.2. Gövde biyokütlesinin hesaplanmasında kullanılan gövde enine kesitlerinin alındığı yüksekliklerin örnek ağaç üzerinde gösterimi....	32



TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı Orman İşletme Şeflikleri'nin orman varlığı	25
Tablo 3.2. Örnek alan tanıtım tablosu.....	27
Tablo 3.3. Örnek alanların bonitet, gelişme çağı ve kapalılık sınıflarına dağılımı	29
Tablo 3.4. Örnek ağaçların çap ve boy basamaklarına dağılımı	33
Tablo 4.1. Tek dala ilişkin dal ve ibre biyokütle denklemlerinin parametre tahmin değerleri.....	51
Tablo 4.2. Gövde odunu biyokütle denklemlerine ilişkin parametre tahmin değerleri	52
Tablo 4.3. Kabuk biyokütle denklemlerine ilişkin parametre tahmin değerleri .	53
Tablo 4.4. Dal biyokütle denklemlerine ilişkin parametre tahmin değerleri	54
Tablo 4.5. İbre biyokütle denklemlerine ilişkin parametre tahmin değerleri.....	55
Tablo 4.6. Topraküstü toplam biyokütle denklemlerine ilişkin parametre tahmin değerleri	56
Tablo 4.7. Gövde odunu biyokütle denklemlerine ilişkin istatistiksel ölçüt ve RANK değerleri.....	57
Tablo 4.8. Kabuk biyokütle denklemlerine ilişkin istatistiksel ölçüt ve RANK değerleri	58
Tablo 4.9. Dal biyokütle denklemlerine ilişkin istatistiksel ölçüt ve RANK değerleri	59
Tablo 4.10. İbre biyokütle denklemlerine ilişkin istatistiksel ölçüt ve RANK değerleri.....	60
Tablo 4.11. Topraküstü toplam biyokütle denklemlerine ilişkin istatistiksel ölçüt ve RANK değerleri	61
Tablo 4.12. Gövde odunu biyokütle denklemlerine ilişkin t testi sonuçları	62
Tablo 4.13. Kabuk biyokütle denklemlerine ilişkin t testi sonuçları	63
Tablo 4.14. Dal biyokütle denklemlerine ilişkin t testi sonuçları	64
Tablo 4.15. İbre biyokütle denklemlerine ilişkin t testi sonuçları.....	65
Tablo 4.16. Topraküstü toplam biyokütle denklemlerine ilişkin t testi sonuçları	66
Tablo 4.17. Uyumlu biyokütle-hacim denklemlerine ilişkin parametre tahmin değerleri.....	78
Tablo 4.18. Uyumlu biyokütle-hacim denklemlerine ilişkin t testi sonuçları.....	78

GRAFİKLER DİZİNİ

	Sayfa
Grafik 4.1. Gövde odunu kuru ağırlığının göğüs çapına göre değişimi.....	48
Grafik 4.2. Kabuk kuru ağırlığının göğüs çapına göre değişimi.....	49
Grafik 4.3. Dal kuru ağırlığının göğüs çapına göre değişimi.....	49
Grafik 4.4. İbre kuru ağırlığının göğüs çapına göre değişimi.....	50
Grafik 4.5. Topraküstü toplam kuru ağırlığın göğüs çapına göre değişimi.....	50
Grafik 4.6. Ölçülen gövde odunu biyokütlesi ile tek girişli denklem ile tahmin edilen gövde odunu biyokütlesi ilişkisi.....	68
Grafik 4.7. Ölçülen kabuk biyokütlesi ile tek girişli denklem ile tahmin edilen kabuk biyokütlesi ilişkisi.....	68
Grafik 4.8. Ölçülen dal biyokütlesi ile tek girişli denklem ile tahmin edilen dal biyokütlesi ilişkisi.....	69
Grafik 4.9. Ölçülen ibre biyokütlesi ile tek girişli denklem ile tahmin edilen ibre biyokütlesi ilişkisi.....	69
Grafik 4.10. Ölçülen topraküstü toplam biyokütleye ile tek girişli denklem ile tahmin edilen topraküstü toplam biyokütleye ilişkisi.....	70
Grafik 4.11. Tek girişli gövde odunu biyokütleye denkleminin hata dağılımı.....	70
Grafik 4.12. Tek girişli kabuk biyokütleye denkleminin hata dağılımı.....	71
Grafik 4.13. Tek girişli dal biyokütleye denkleminin hata dağılımı.....	71
Grafik 4.14. Tek girişli ibre biyokütleye denkleminin hata dağılımı.....	72
Grafik 4.15. Tek girişli topraküstü toplam biyokütleye denkleminin hata dağılımı.....	72
Grafik 4.16. Ölçülen gövde odunu biyokütlesi ile çift girişli denklem ile tahmin edilen gövde odunu biyokütlesi ilişkisi.....	73
Grafik 4.17. Ölçülen kabuk biyokütlesi ile çift girişli denklem ile tahmin edilen kabuk biyokütlesi ilişkisi.....	73
Grafik 4.18. Ölçülen dal biyokütlesi ile çift girişli denklem ile tahmin edilen dal biyokütlesi ilişkisi.....	74
Grafik 4.19. Ölçülen ibre biyokütlesi ile çift girişli denklem ile tahmin edilen ibre biyokütlesi ilişkisi.....	74
Grafik 4.20. Ölçülen topraküstü toplam biyokütleye ile çift girişli denklem ile tahmin edilen topraküstü toplam biyokütleye ilişkisi.....	75
Grafik 4.21. Çift girişli gövde odunu biyokütleye denkleminin hata dağılımı.....	75
Grafik 4.22. Çift girişli kabuk biyokütleye denkleminin hata dağılımı.....	76
Grafik 4.23. Çift girişli dal biyokütleye denkleminin hata dağılımı.....	76
Grafik 4.24. Çift girişli ibre biyokütleye denkleminin hata dağılımı.....	77
Grafik 4.25. Çift girişli topraküstü toplam biyokütleye denkleminin hata dağılımı.....	77
Grafik 5.1. Biyokütleye değerlerinin çapa göre değişimi.....	84
Grafik 5.2. Biyokütleye oranlarının çapa göre değişimi.....	85
Grafik 5.3. Kabuklu gövde biyokütlesine ilişkin karşılaştırma.....	85
Grafik 5.4. Gövde odunu biyokütlesine ilişkin karşılaştırma.....	86
Grafik 5.5. Kabuk biyokütlesine ilişkin karşılaştırma.....	86
Grafik 5.6. Dal biyokütlesine ilişkin karşılaştırma.....	87
Grafik 5.7. İbre biyokütlesine ilişkin karşılaştırma.....	87
Grafik 5.8. Topraküstü toplam biyokütleye ilişkin karşılaştırma.....	88

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

	Sayfa
Fotoğraf 3.1. Örnek alanların alınması	30
Fotoğraf 3.2. Örnek alanlardan bir görünüm	30
Fotoğraf 3.3. Gövde enine kesitleri ve kabuk örnekleri.....	34
Fotoğraf 3.4. İbre örnekleri	35
Fotoğraf 3.5. Fırın kurusu ağırlıkların belirlenmesi.....	36



1. GİRİŞ

Çok eski yıllardan günümüze kadar, ormanlar insan yaşamının önemli bir parçası olarak varlığını sürdürmüştür. İnsanlık gelişip, insanoğlu çoğalmaya ve kolonileşmeye başladığında kendileri için yerleşim yeri bulma ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu nedenle ilk yerleşimler, yaşam koşullarının daha elverişli olduğu ılıman kesimlerde, deniz kıyılarında, akarsu boylarında, orman içi ve orman kenarı yerlerde olmuştur. İnsanlar varoluşlarından bu yana ormanlardan yararlanmışlar, çeşitli gereksinimlerini ormanlardan karşılamışlardır. Jeolojik devirlerden sonra ormanlar, dünya üzerinde yayılışlarının son sınırına ulaşmış olduklarından, alansal büyüklüklerinde çok fazla artış olmamış; buna karşılık, bilinçsiz ve aşırı kullanım, yangınlar, böcek zararı, kaçakçılık, savaşlar, göçler ve doğal dengenin bozulmaya başlamasıyla birlikte azalmaya yüz tutmuşlardır (Eler, 2013).

Eğitim düzeyinin artması ve ekonomik refahın daha da yaygınlaşması, ormandan beklenen hizmet ve ürünlerin hem miktar ve çeşidinde hem de kalitesinde önemli yükselmelere neden olmuştur. Bu yükselmelerin yanında, kendini son zamanlarda daha çok hissettirmeye başlayan enerji kıtlığı, canlı ve kendini yenileyebilen bir sistem olan ormanlardan daha fazla enerji sağlama konusunu da ön plana çıkarmıştır (Günel, 1981).

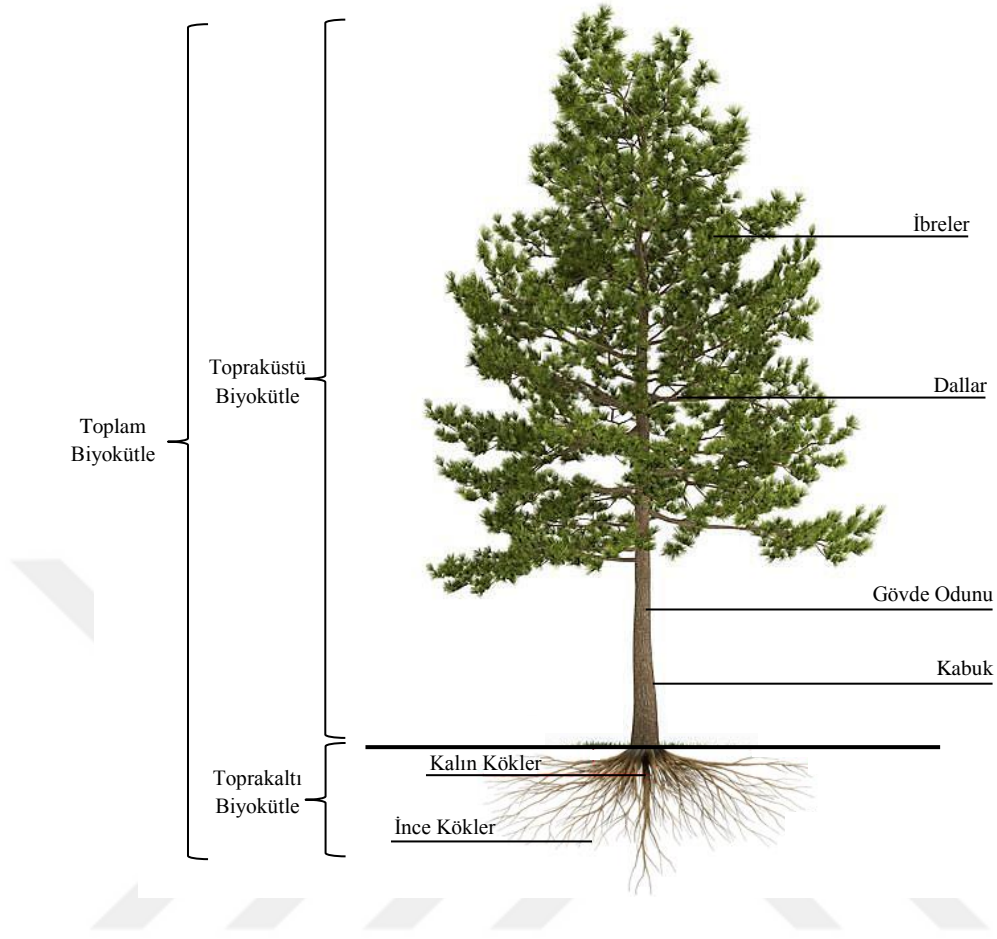
Enerji, insan hayatının her alanında çok fazla gereksinim duyulan temel ihtiyaçlardan biridir. İnsanlar gerek doğal yolla gerekse teknolojinin sağlamış olduğu imkânlardan faydalanarak kendilerine enerji sağlayacak kaynaklar bulmuşlardır. Bu kaynaklar yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynakları olmak üzere iki ana grup içerisinde değerlendirilmektedir (Başçetinçelik, Karaca ve Öztürk, 2004).

İnsan gereksinimini karşılamak amacıyla yenilenemeyen enerji kaynaklarının aşırı kullanımını sonucu azalmaya yüz tutması ve buna ek olarak kullanımının çevre bakımından da en başta küresel ısınma ve sera gazı etkisi gibi bazı olumsuz sonuçlar ortaya çıkarması dikkatlerin yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde toplanmasına sebep olmuştur (Başçetinçelik vd., 2004).

İnsanoğlu enerji ihtiyacını büyük ölçüde fosil yakıtlardan karşılamaktadır. Fakat oluşması binlerce yıl alan fosil yakıtların hızla tükenmesi, yenilenebilen enerji kaynaklarına yönelimi gerektirmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına olan bu yönelim ve bu kaynakların en önemlilerinden biri olan ormanlardan elde edilecek olan enerjinin ağaçların yalnız gövde odunu ve kalın dal odunu olarak değil tüm ağaç bileşenleri şeklinde değerlendirilmesi gerekliliği ormancılık terminolojisine “Biyokütle (Biomass)” kavramını kazandırmıştır. Biyokütle; bitkiler, ağaçlar ve tarım bitkilerinin oluşturduğu bütün organik maddeleri tanımlayan bir terim olarak esasen fotosentez ile güneş enerjisinin toplandığı ve depolandığı ortamlar olarak tanımlanabileceği gibi (Saraçoğlu, 2008), belirli büyüklükteki bir orman alanında ağaç ve ağaççık topluluğunun ağırlığı olarak da tanımlanabilmektedir (Saraçoğlu, 1998). Birim alandaki biyolojik kütle, ağırlık olarak (kg veya ton) belirtilmektedir. Bu ağırlık yaşı ya da fırın kurusu ağırlık olabilir. Ancak bitkisel kütle içerisindeki rutubet miktarının ağaç türüne, yetiştirme ortamı koşullarına, iklim koşullarına ve ağaç gövdesinin boyuna kesitinde alt bölümden üst bölüme ve enine kesitinde de dıştan içe doğru farklılıklar göstermesi gibi nedenlerle kuru ağırlık değerlerinin tercih edilmesi önerilmektedir (Saraçoğlu, 1998; Uğurlu, Araslı ve Sun, 1976; Sun, Uğurlu ve Özer, 1980).

Bir ağaca ilişkin biyokütle bileşenleri ağaç üzerinde buldukları yere göre topraküstü ve toprakaltı biyokütle bileşenleri olarak iki ana kısımda sınıflandırılırlar. Topraküstü biyokütle gövde, kabuk, dal ve yaprak biyokütlesinden oluşurken, toprakaltı biyokütle ise kalın ve ince kök biyokütlesini ihtiva etmektedir. Şekil 1.1’de bu bileşenlerin ağaç üzerindeki dağılımı verilmiştir.

Ormanların en büyük biyokütle kaynağı olan ağaçların yalnız odun hammaddesi olarak değerlendirilmesi yeterli olmayıp, ayrıca ekosistem araştırması ve orman ekosistemi içindeki biyolojik ilişkilerin açıklanmasında, ormanların topraküstü ve toprakaltı biyokütle üretiminin de bilinmesi gerekmektedir (Saraçoğlu, 1998).



Şekil 1.1. Biyokütle bileşenlerinin ağaç üzerindeki dağılımı

Dünyada önemli bir sorun olarak görülen enerji açığının yanında, bir bölümü doğal karşılanan, ancak son yıllarda hızının normal boyutların üstüne çıktığı düşünülen küresel boyutlu bir iklim değişimi de söz konusudur (Aydın, 2010). Sözü edilen iklim değişikliğinin pozitif yönde bir eğilim göstermesi, bu değişimin küresel ısınma şeklinde tanımlanmasına neden olmuştur. Sanayi devriminden bu yana, sanayileşmenin ve kentleşmenin artması, fosil yakıt kullanımı, arazi kullanımının değişmesi ve ormansızlaşma gibi sebeplerle atmosferdeki sera gazlarının birikmesiyle meydana gelen ısı artışı da yine küresel ısınma olarak tanımlanabilir.

Küresel ortalama sıcaklığın, günümüzden 15-20 bin yıl öncesinde yaşanan buzul çağda tahminen 2-5 °C daha düşük olması göz önüne alındığında, yalnızca geçtiğimiz yüzyıl boyunca kaydedilen ortalama sıcaklık artışının yaklaşık 1°C'yi bulması küresel ısınma konusundaki ciddi endişelerin ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır (Papadopol, 2001). Küresel ısınmayı durdurabilmenin ya da en

azından küresel ısınma hızını yavaşlatabilmenin, bir taraftan atmosfere salınan sera gazlarının miktarını azaltmak diğer taraftan da atmosferden emilen karbondioksit (CO₂) miktarını arttırmak sureti ile mümkün olduğu vurgulanmaktadır (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2009). Bu bağlamda biyokütle, orman ekosistemlerinin karbon depolama kapasitesinin belirlenmesinde ve karbon birikimi yoluyla iklim değişikiminin yumuşatılmasında kullanılabilir önemli bir araçtır (Brandeis, Delaney, Parresol ve Royer, 2006; Guendehou, Lehtonen, Moudachirou, Mäkipää ve Sinsin 2012).

Karasal ekosistemler küresel karbon döngüsünde ve böylece atmosferik CO₂ karışım oranının değiştirilmesinde çok önemli bir rol oynarlar. Çünkü karasal ekosistemler vejetasyonun gelişmesi boyunca net karbon tutulumundan dolayı karbonu azaltıcı olarak hareket ederler. Orman ekosistemleri, karasal ekosistemlerdeki topraküstü organik karbonun yaklaşık %80'ini ve toprakaltı karbonun da yaklaşık %40'ını tutması bakımından öne çıkmaktadır (Dixon vd., 1994; Goodale vd., 2002; Sivrikaya ve Bozali, 2012). Ormanlar, diğer ekosistemlerle kıyaslandığında hem daha fazla CO₂ emilimi sağlamaları ve hem de bağladıkları karbonu çok uzun süre biyokütlelerinde tutabilmeleri nedeniyle, karbon depolamada en etkili araç olarak görülmektedir (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2009). Bu sebeple ormanlar, sundukları biyokütle varlıklarına bağlı olarak aynı zamanda yeryüzünün en önemli karbon yutağı olma görevini üstlenmişlerdir. Ormanlar, yenilenebilir enerji kaynağı olmalarının yanında, çevre açısından ele alındıklarında da yenilenemeyen enerji kaynaklarına kıyasla daha az çevre sorununa neden olmaktadır (Arslan, Aslan ve Topal, 2007a). Fosil yakıtların aksine biyokütleden elde edilen enerji kullanımında, çevreye çok daha az CO₂ salınmaktadır (McKendry, 2002; Arslan, Aslan ve Topal, 2007b).

Dünya Enerji Durumuna Bakış (WEO) Raporu'nda (2005) birincil enerji tüketimi içinde yenilenemeyen enerji kaynaklarına ikame olarak, yenilenebilir enerjilerin payının artırılması durumunda, CO₂ salınımlarının %16 oranında azalabileceğine dikkat çekilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları, CO₂ ve sera gazı emisyonlarının çok az olması nedeniyle küresel ısınmayı önleme konusunda önemli bir seçenek olarak ön plana çıkmaktadır (OGM, 2009).

Orman ekosistemlerinin küresel karbon döngüsünün düzenlenmesine ve küresel iklim değişiminin kısmen yumuşatılmasına sundukları katkılar nedeniyle, tüm dünyada ormanların biyokütleleri ve depoladıkları karbon miktarlarının ölçümü ve gözlenmesi ile ilgili araştırmalara oldukça önem verilmektedir (Vogt, 1991; Araújo, Higuchi ve Carvalho Junior, 1999; Brown, 2002; Peichl ve Arain, 2007; Guendehou vd., 2012).

Fotosentez yoluyla bitki biyokütlesinde hapsolan CO₂, bitkilerin çürümesi ya da çeşitli sebeplerle ortamdan uzaklaştırılması sonucu atmosfere tekrar salınmaktadır. Atmosferdeki CO₂'in bitki biyokütlesinde depolanması bitkilerin yaprak miktarına bağlı olmaktadır. Diğer bitki topluluklarına oranla ormanlar daha fazla yaprak miktarına sahip olduklarından biyokütlelerinde daha fazla CO₂ depolamaktadırlar. Ormanlar uzun idare sürelerinde işletilmeleri bakımından, depolamış oldukları bu CO₂'i uzun yıllar biyokütlelerinde muhafaza etmekte ve diğer bitki toplulukları ve diğer ekosistemlere göre önemli bir yere sahip olmaktadır. Fakat bunun yanında ormanların bilinçsiz ve aşırı kullanımı sonucu ormansızlaşma, arazi kullanımının değişmesi, yangınlar, doğal afetler ve insan kaynaklı birçok faktörün sebep olduğu orman kaynağının azalmasına bağlı olarak da önemli bir karbon emisyon kaynağı olmaktadır.

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC), dünyadaki toplam sera gazı salınımlarının %17'sinin ormansızlaşma ve ormanların tahrip edilmesi sonucunda ortaya çıktığını bildirmiştir. Bu miktar, ulaşım sektöründen kaynaklanan toplam emisyonlardan fazla olup, ormanların tahribinden kaynaklanan emisyonların küresel emisyonlar içerisindeki payı, enerji sektöründen sonra ikinci sırada yer almaktadır (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010).

İklimde meydana gelen gözle görülür değişimler ve insan kaynaklı faaliyetlerin sebep olduğu bu değişimlerin bilimsel çalışmalar ile de desteklenmesinin bir sonucu olarak 1992 yılında Rio'da gerçekleştirilen ve kısa adıyla Rio Konferansı olarak anılan Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı'nın (United Nations Conference on Environment and Development, UNCED) 5 çıktısı arasında "İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi" çok önemli bir yere sahiptir. 3-14 Haziran 1992

tarihinde Brezilya'nın Rio de Janeiro kentinde gerçekleştirilen Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda imzaya açılarak 21 Mart 1994 tarihinde yürürlüğe giren Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesinin (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) amacı, iklim değişikliğine sebep olan sera gazı salınımlarının azaltılarak belli seviyelerde tutulması ve bu amaçla alınacak tedbirler için geliştirmekte olan ülkelere finansman kaynağı ve teknoloji transferi sağlanmasıdır (Asan, 2012).

Rio Konferansı'nı takiben 1993 yılında Helsinki Konferansı gerçekleştirilmiş ve 1997 yılında da Kyoto Protokolü hazırlanmıştır. Kyoto Protokolü küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadeleyi sağlamaya yönelik uluslararası tek çerçevedir. Bu protokolü imzalayan ülkeler, Karbondioksit (CO₂) ve sera etkisine neden olan diğer beş gazın (Metan (CH₄), Diazotmonoksit (N₂O), Hidroflorokarbonlar (HFCs), Perflorokarbonlar (PFCs), Kükürtheksaflorid (SF₆)) salınımını azaltmayı veya bunu yapamıyorlarsa salınım ticareti yoluyla haklarını arttırmayı taahhüt etmişlerdir. Türkiye, Rio-Helsinki sürecinde yer almış ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı'na uyacağını 1992 yılında bildirmiş, Kyoto Protokolüne de 2009 yılında taraf olmuştur (Anonim, 2001). Uluslararası süreçte taraf olunan bu anlaşmalar gereği Türkiye, orman kaynaklarını ve bunların küresel karbon döngüsüne katkısını bildirmekle yükümlüdür. Bu bağlamda da ülke genelinde karbon depolama miktarlarının belirlenmesine yönelik çalışmalar oldukça önemlidir.

2007 yılında kabul edilen Bali Eylem Planı da, ormansızlaşma ve ormanların tahribinden kaynaklanan CO₂ emisyonlarının azaltılmasının küresel çabalar kapsamında kabul edilmesine dair stratejilerin geliştirilmesi yönünde önemli bir diğer adım olarak görülmektedir (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010).

Ulusal bağlamda da 2008 yılında yürürlüğe giren Orman Amenajman Yönetmeliği'nin 25. maddesinde yer alan "*Plan ünitesinde bulunan dikili servet ve artımın tamamı hesaplandıktan sonra plan ünitesinin karbon bilançosu hesaplanır.*" ibaresi de ulusal karbon envanterinin önemine dikkat çekmektedir (OGM, 2008).

Ormanların biyolojik kütlelerindeki karbon birikimini saptamak amacıyla yapılan çalışmalarda öncelikle, ormanların fotosentez yoluyla oluşturdukları bitkisel kütle miktarı belirlenerek bu kütle içinde tutulan karbon miktarı belirlenmekte ve sonra da bu karbon miktarına karşılık gelen CO₂ miktarı hesaplanmaktadır. Ormanların ihtiva ettiği karbon miktarı ve bilançosu ağaç türlerine ait fırın kuru ağırlıklar kullanılarak belirlenmektedir. Son yıllarda, orman ekosistemlerinde depolanan karbon miktarının saptanmasında Arazi Kullanımı, Arazi Kullanım Değişikliği ve Ormancılık (Land Use, Land-Use Change and Forestry, LULUCF) Kılavuzundan (IPCC, 2003) veya bu kılavuz üzerinde bir takım düzenlemeler yapılarak hazırlanan Tarım, Ormancılık ve Diğer Arazi Kullanımları (Agriculture, Forestry and Other Land Uses, AFOLU) Kılavuzundan (IPCC, 2006) yararlanılmış olup, bu kılavuzlarda bulunan çeşitli denklemler ve katsayılar yardımıyla orman ekosistemi içerisindeki canlı biyokütleyle ait karbon havuzlarının yıllık karbon bilançosu ve karbon stok değişimleri belirlenmektedir (Çömez, 2010). Bu kılavuzlarda bulunan denklem ve eşdeğerliklerin dışında, doğrudan ağaç türlerine göre biyokütle miktarının belirlenerek bu biyokütle içerisinde depolanan karbon miktarının bulunmasına yönelik çalışmalar da hız kazanmıştır.

Orman kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi, karbon miktarının güvenilir bir şekilde tahmin edilmesi ve biyokütle ve karbon birikimi yoluyla ormanların iklim değişiminin yumuşatılmasındaki potansiyelinin değerlendirilmesi için ormanlardaki biyokütle miktarlarının ortaya konulması son derece önemlidir. Bu sebeple; odun ve odun dışı orman ürünlerinden tam anlamıyla yararlanılabilmesi için ülkemizdeki asli ve tali ağaç türleri için biyokütle miktarlarının belirlenerek biyokütle tablolarının düzenlenmesi amacıyla gerekli çalışmaların yapılarak bu bilgilerin ortaya konulması gerekmektedir.

Gerek bitkisel tür çeşitliliğinin ve gerekse asli orman ağacı türleri sayısının yüksek olduğu Türkiye’de biyokütle konusunda yapılan çalışmaların kısıtlı sayıda olduğu bilinmektedir. Bu çalışmalara bakıldığında, ilk çalışmaların 1970’li yıllarda yapıldığı anlaşılmaktadır. Uğurlu vd. (1976) tarafından sarıçam ve Sun vd. (1980) tarafından kızılçam için yapılan yaş ve fırın kuru biyokütle tahminleri ile başlayan araştırmalar, Saraçoğlu (1988) tarafından ve ülkemizde ilk defa Regresyon

Yöntemine dayalı olarak kızılbaş meşcereleri için yapılan çalışma ile devam etmiştir. Daha sonraki süreçte ise kayın (Saraçoğlu, 1998), Zonguldak yöresi meşe (Durkaya, 1998), kestane (İkinci, 2000) ve karaçam (Çakıl, 2008), Artvin yöresi doğu ladini (Özkaya, 2004) ve sarıçam (Aydın, 2010), Adana yöresi kızılçam (Ünsal, 2007), Erzurum yöresi sarıçam (Atmaca, 2008), Antalya yöresi sedir (Ülküdur, 2010), Amasya yöresi sarıçam (Ülker, 2010), Bartın yöresi göknar (Karabürk, 2011), Zonguldak yöresi karaçam, Adana yöresi kızılçam ve Erzurum yöresi sarıçam (Orhan, 2013) ve Antalya yöresi Kızılçam (Yılmaz, 2015) meşcereleri için biyokütle denklemleri geliştirilmiş ve biyokütle tabloları hazırlanmıştır.

Bu çalışma, Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü saf Karaçam (*Pinus nigra* J.F.Arnold) meşcereleri için topraküstü biyokütle denklemlerinin geliştirilmesi ve topraküstü biyokütle tablolarının düzenlenmesi amacıyla yapılmıştır. Çalışma kapsamında, gövde odunu, kabuk, dal ve ibre gibi topraküstü biyokütle bileşenlerine ilişkin biyokütle miktarlarının ve bunun yanında topraküstü toplam biyokütle miktarının tahmininde kullanılabilecek biyokütle denklemleri geliştirilmiş olup, bu denklemler yardımıyla topraküstü biyokütle miktarları kolaylıkla elde edilebilecektir. Elde edilen denklemler ve üretilen tablolar bilimsel amaçlı olarak kullanılabileceği gibi, Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü içerisinde kalan ve karaçam ağaç türünü bulunduran planlama birimlerinin amanejman planlarının hazırlanması, Orman Genel Müdürlüğü'ne sunulacak karbon bilançolarının hazırlanması vb. birçok amaca yönelik uygun ve önemli bir altlık oluşturacaktır.

1.1. Biyokütle Miktarlarının Belirlenmesi

Biyokütle miktarlarının belirlenmesine yönelik çalışmalarda, bir ağacın topraküstü (gövde, kabuk, dal ve ibre) ve toprakaltı (kalın ve ince kökler) biyokütle bileşenlerine ya da ağacın tamamına ilişkin biyokütle miktarları yaş ağırlık veya fırın kurusu ağırlık olarak dikkate alınmaktadır. Ancak, yaş ağırlık içerisinde canlı kütlenin ağırlığına ek olarak bu kütlenin barındırdığı nem miktarı da bulunmaktadır. Söz konusu nem miktarı ağaç türüne, yetiştirme ortamına, mevsime, iklim koşullarına vb. bağlı olup, ayrıca gövde içerisinde yatay ve dikey yönde de farklılık

göstermektedir. Bunlara ek olarak, biyokütle bileşenlerinin (gövde, yaprak, dal, kabuk ve kök) içerdiği nem oranları da birbirinden farklıdır. Bu nedenlerden dolayı, biyokütle çalışmalarında çoğunlukla kuru ağırlık değerlerinin kullanılması tercih edilmektedir (Loetsch, Zöhrer ve Haller, 1973; Saraçoğlu, 1988; Saraçoğlu, 1998).

Biyokütle miktarı belirlenmek istenen bir meşcerenin tüm biyokütle bileşenlerini ölçmek pratik olmadığı gibi ekonomik de değildir. Bunun yerine birim alan ya da ağaçlara ilişkin biyokütle miktarının örnekleme yöntemleriyle tahmin edilmesi gerekir (Alemdağ, 1980; Young, 1980; Alemdağ, 1981; Blankenhorn, Bowersox ve Wires, 1982). Biyokütle miktarının tahmini için kullanılan yöntemler üç grupta toplanmaktadır (Günel, 1981):

- Birim Alan Yöntemi
- Orta Ağaç Yöntemi
- Regresyon Yöntemi

Birim Alan Yöntemi'nde biyokütle miktarı belirlenmek istenen alanda alınan belirli büyüklükteki örnek alanlardan elde edilen verilerden yararlanılır. Belirlenen örnek alandaki tüm ağaçlar kesilip biyokütle bileşenlerine ayrılarak her bir bileşene ilişkin yaş ve fırın kurusu ağırlıklar ölçülmekte ve elde edilen bu değerler birim alan (hektar) değerlerine dönüştürülmektedir.

Orta Ağaç Yöntemi'nde de yine örnek alanlar alınarak bu örnek alanı temsil eden orta ağaç belirlendikten sonra kesilmekte ve biyokütle bileşenlerine ayrılmaktadır. Daha sonra her bir bileşene ilişkin biyokütle miktarı ölçülerek örnek alandaki ağaç sayısı ile çarpılıp, elde edilen sonuçlar hektara çevrilmektedir.

Regresyon Yöntemi'nde ise ölçümü kolay olan ağaç boyutları (göğüs çapı, boy gibi) ile ölçümü zor olan biyokütle miktarı Regresyon Analizi ile ilişkiye getirilerek, çap ve boy gibi bağımsız değişkenler ile biyokütle bağımlı değişkeni arasında regresyon denklemleri geliştirilmektedir. Bu denklemler her bir bileşen için ayrı ayrı geliştirilebileceği gibi tüm ağaç için de düzenlenebilmektedir.

Açıklanan yöntemlerden Birim Alan Yöntemi pratik olmaması ve çok emek gerektirmesi gibi olumsuzluklarının yanında alınacak örnek alanın meşçereyi temsil edememe ihtimalinden dolayı tercih edilmemektedir. Orta Ağaç Yöntemi ise her bir meşçerenin tek bir ağaç ile temsil edilmesi ve buna bağlı olarak da çap basamaklarına ilişkin ayrıntılı bilgilerin sağlanamaması nedeniyle önerilmemektedir. Regresyon Yöntemi, tek ağacın bileşenlerinin ve tüm ağacın biyokütle miktarlarının belirlenebilmesi ve diğer yöntemlere kıyasla daha güvenilir sonuçlar vermesi nedeniyle uluslararası literatürde en çok tercih edilen ve uygulanan yöntemdir (Saraçoğlu, 1990).

1.2. Karaçam Türüne İlişkin Genel Bilgiler

Karaçam (*Pinus nigra* J.F.Arnold), *Gymnospermae*'lerin *Pinaceae* familyasında yer alan bir taksondur. Karaçam'ın (*Pinus nigra* J.F.Arnold) dünya üzerinde yayılış gösteren beş alttüründen ülkemizde yayılış gösteren *Pinus nigra* J.F.Arnold subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe (Anadolu Karaçamı) alt türünün beş varyetesi bulunmaktadır (Akkemik, 2014).

- *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* var. *pallasiana*
- *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* var. *şeneriana*
- *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* var. *fastigiata*
- *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* var. *columnaris-pendula*
- *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* var. *yaltırıkiana*

Düz ve dolgun gövdeli, yüksek boylu, uzun ve kalın dallı birinci sınıf orman ağacıdır. İğne yapraklar koyu yeşil, cilalı görünümlü, 4-18 cm uzunluğunda ve serttir. Tomurcukları bol reçineli olup, silindirik ve uçları sivridir. Kozalaklar 5–12 cm boyutunda ve açık kahverengidir. Kozalakların üst kısmında karpellerin göbeğinde küçük ve batıcı, dikenimsi çıkıntılar bulunmaktadır. Kozalak ve tohumları iki yılda olgunlaşmaktadır (Kayacık, 1980; Anşin, 1988; Yaltırık, 1988).

Karaçam ekolojik ve ekonomik öneme sahip bir orman ağacı türüdür. Dünya üzerinde çok geniş bir yayılışa sahiptir. Güney Avrupa'dan başlayarak, Türkiye'ye

doğru uzanan bir yayılış gösterir (Anşın, 1988; Yaltrık, 1993; Kaya ve Temerit, 1994).

Anadolu karaçamı, Balkanlar, Güney Karpatlar, Kırım, Kıbrıs, Suriye ve Türkiye’de yayılış göstermektedir (Yaltrık, 1993). Trakya, Kuzey, Batı, Güney ve Orta Anadolu Türkiye’deki başlıca doğal yayılış alanlarıdır (Saatçioğlu, 1976).

Sıcak ve kurak iklimlerde yetişmesine rağmen Anadolu Karaçamı, kış soğuklarına büyük ölçüde dayanabilen ve step iklimine girebilen bir türdür. Bol yağışlı mıntikalarda çok iyi bir büyüme ile geniş yayılış yapmakla birlikte, İç Anadolu’nun kurak kesimlerinde de yetişmektedir. Toprak istekleri bakımından kanaatkâr olarak bilinmesine rağmen, ağır tekstürlü topraklarda iyi gelişemez. Rutubetli, derin, ince kum balçığı ile kaba kum balçığı ve ağır balçık arasında değişen toprak türleri üzerinde daha iyi bir gelişme yaptığı ifade edilmektedir (Saatçioğlu, 1976; Yaltrık, 1988). Yarı ışık ağacı olan Anadolu karaçamı toprağın derinliklerine inen kazık kök sistemine sahip ve bu özelliğiyle, optimum yayılış alanlarında veya çok iyi yetişme ortamlarında yarı gölge ağacı özelliklerini sergilemektedir (Ata ve Demirci 1992).

Türkiye genelinde Karaçam meşcereleri, 2 580 193 hektarı normal kapalı 2 112 867 hektarı boşluklu kapalı olmak üzere toplam 4 693 060 hektarlık yayılış alanı ile ağaç türlerinin alansal dağılımı bakımından üçüncü sırada yer almaktadır (OGM, 2014). şekil 1.2’de karaçamın ülkemizdeki yayılış alanları verilmiştir.



şekil 1.2. Karaçam’ın Türkiye’deki yayılışı (OGM, 2013)

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Biyokütle üzerine yapılan bilimsel çalışmaların tarihsel sürecine bakıldığında; dünyada biyokütle ile ilgili çalışmaların 20. yüzyılın başlarında başladığı, 1970'li yıllarda hız kazandığı ve günümüzde de halen bu konuda çok sayıda araştırma yapılmaya devam edildiği görülmektedir. Biyokütle konusundaki ilk çalışmaların *Pinus strobus* (Burger, 1929), *Larix decidua* (Burger, 1945) ve *Picea abies* (Burger, 1953) meşcerelerinin biyokütle miktarlarının belirlenmesi üzerine yapıldığı anlaşılmaktadır (Laar ve Akça, 2007).

Doucet, Berglund ve Farnsworth (1976), Kanada'da *Pinus banksiana* meşcereleri için yaptıkları çalışmada gerek biyokütle bileşenleri (gövde, kabuk, dal ve ibre) için ayrı ayrı ve gerekse tüm ağaç için topraküstü biyokütle miktarlarını hesaplamışlardır.

MacLean ve Wein (1976), yine Kanada'daki birçok ağaç türü için ve Alban vd. (1978) de ABD'de çam, ladin ve kavak meşcereleri için toplam topraküstü biyokütle miktarlarının belirlenmesi üzerine araştırmalar yapmışlardır.

Brown ve Lugo (1984), tropik ormanların biyokütlesini ortaya koymak için meşcere hacmine dayanan yeni bir yaklaşım ortaya koymuşlar ve bu amaçla Tarım ve Gıda Örgütü'nün (FAO, Food and Agriculture Organization) raporlarından elde ettikleri verileri kullanmışlardır. Müdahale görmemiş normal kapalı ve bozuk geniş yapraklı meşcerelerin biyokütlelerini sırasıyla 176 ton/ha ve 61 ton/ha olarak bulmuşlardır. Bu değerleri daha önce yaptıkları çalışmada (Brown ve Lugo, 1982) elde edilen sonuçlar (normal kapalı meşcereler için 335 ton/ha, bozuk meşcereler için 80 ton/ha) ile kıyaslandıklarında oldukça düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Brown, Gillespie ve Lugo (1989), tropik ormanlardaki toplam topraküstü biyokütleyi tahmin etmek için bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu amaçla tek ağaçta topraküstü biyokütleyi tahmin etmek için göğüs çapı, ağaç boyu, hacim yoğunluk değeri ve Holdridge, Grenke, Hatheway, Liang ve Tosi (1971)'e göre orman tiplerinin bir fonksiyonu olan regresyon denklemleri geliştirmişlerdir. Orman tiplerine göre birim alana düşen toplam topraküstü biyokütleyi tahmin etmek amacıyla 43 farklı örnek

alanda yaklaşık 5300 ağaçtan elde edilen verilere regresyon analizi uygulamışlardır. Müdahale görmemiş nemli, nemliden kurağa dönük ve kurak ormanlar için Biyokütle Genişletme Faktörlerini (BEF) ortaya koymuşlardır. Bu orman tipleri için BEF'leri sırasıyla 1,74; 1,90 ve 2,00 olarak bulmuşlardır. Bu katsayıları FAO'dan elde ettikleri verilere uygulayarak tropikal orman biyokütlesini hesaplamışlardır.

Usoltsev ve Vanclay (1995), doğal ve yapay meşcereler için, toprak farklılaşmasına bağlı olarak biyokütle miktarında meydana gelen değişimleri incelemişlerdir.

Ter-Mikaelian ve Korzukhin (1997) Kuzey Amerika'daki 65 ağaç türü için yapmış oldukları çalışmada biyokütle denklemleri ile ilgili kapsamlı bir değerlendirme sunmuşlardır. Tüm denklemler $M=b_0D^{b_1}$ şeklindedir. Toplam topraküstü biyokütle, gövde odunu, kabuk, toplam gövde, yaprak, dal gibi ağaç bileşenleri için geliştirilmiş olan 803 denkleme ait göğüs çapı, ağaç sayısı, Belirtme Katsayısı (R^2), Tahmini Standart Hata (SEE), a ve b parametre değerleri ile bonitet ve buldukları lokasyonlara ait bilgileri yaptıkları bu çalışmada derleyerek veri tabanı oluşturmuşlardır.

Araujo vd. (1999), yaptıkları çalışmada, daha önce yapılmış çalışmalardan elde edilen biyokütle denklemlerini kıyaslamak ve Brezilya'nın Para bölgesindeki biyokütleyi tahmin etmek için uygun bir matematik formül ortaya koymayı amaçlamışlardır. Bu sebeple 200 m²'lik bir örnek alanda Birim Alan Yöntemini kullanarak tüm biyokütleyi tartmışlardır. Daha önce yapılan çalışmalarını inceleyerek 4 adet biyokütle denklemi seçmişler ve ardından ölçümle elde edilen biyokütle değerleriyle seçmiş oldukları bu 4 denklemden elde ettikleri biyokütle değerlerini kıyaslamış ve 2 denklemin gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiğini saptamışlardır.

Son, Hwang, Kim, Lee ve Kim (2001), doğal ve yapay *Pinus koraiensis* meşcerelerinde yedi yaş sınıfı için topraküstü ağaç biyokütlesini ortaya koymuşlardır. Göğüs çapı ile gövde odunu, kabuk, dal ve ibre kuru ağırlıklarını veren $\log Y=b_0+b_1\log d_{1.3}$ şeklindeki denklemin katsayılarını hesaplamışlardır. Karışık ormanlarda *Pinus koraiensis* meşcere biyokütlesinin 118 ton/ha olduğunu ortaya koymuşlardır. Plantasyonlardaki biyokütlenin ise meşcere yaşı ile doğrusal bir

ilişkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Hektardaki biyokütlenin 11-20 yaşındaki meşcerelerde 52,3 ton'dan 71-80 yaşındaki meşcerelerde 317,9 ton'a kadar arttığını ve toplam topraküstü biyokütlerdeki gövde odunu ve kabuk oranının yaşla birlikte azalırken, dal ve ibre oranının yaşla birlikte arttığını gözlemlemişlerdir.

Jenkins, Chojnacky, Heath ve Birdsey (2003), Amerika Birleşik Devletleri'ndeki ağaç türleri için, biyokütle bileşenleri ve toplam topraküstü biyokütleyi tahmin eden çapa dayalı alometrik regresyon denklemlerini derlemişlerdir. Önceki verilerin analiz edilmesi sonucu genelleştirilen denklemler ile Amerika'daki türler için ulusal ölçekte topraküstü biyokütlenin tahmin edilmesine olanak sağlamışlardır. Yapraklı ve iğne yapraklı türler için ağaç bileşenlerinin biyokütlesini tahmin eden biyokütle denklemlerini toplam topraküstü biyokütlenin oranı olarak geliştirmişlerdir.

Losi, Siccama, Condit ve Morales (2003), Panama'da 7 yaşındaki karışık *Anacardium excelsum* ve *Dipteryx panamensis* plantasyonlarının biyokütle miktarlarını türe göre belirleyerek, karbon miktarlarını tahmin etmişlerdir.

Chave vd. (2005), tropik ormanların büyük miktarda karbon tutmasına rağmen, küresel karbon döngüsüne olan katkısıyla ilgili belirsizliklerin hala devam ettiğini ve karbon biyokütlesini ortaya koymak için devamlı envanter verilerinden yararlanılabileceğini belirterek, yaptıkları çalışmayla tropik orman tiplerinin tümünde envanter verilerini topraküstü biyokütleyle dönüştürmede kullanılan regresyon modellerinin uygunluğu ve güvenilirliği üzerine bir değerlendirme yapmışlardır. Bu amaçla tropiklerde 27 çalışma alanından çapı 5 cm'den büyük 2410 ağaçtan oluşan veri setinde çalışmışlardır. Topraküstü biyokütle ile çap, boy ve hacim yoğunluk değeri arasındaki ilişkileri inceleyerek regresyon modelleri geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri modellerin doğal yaşlı ormanlar, kurak ve nemli ormanlar gibi farklı orman tiplerinde kullanılabilirliğini test etmişlerdir.

Segura ve Kanninen (2005), Kosta Rika'nın kuzeyinde 7 ağaç türünden çapı 60 cm'den büyük 19 ağaçta yapılan doğrudan ölçümlere dayanarak, tropik nemli ormanlar için topraküstü biyokütle ve ağaç hacmini ortaya koyan alometrik denklemler geliştirmişlerdir. Toplam biyokütlenin yaklaşık üçte ikisini gövde

biyokütlesinin oluşturduğunu belirterek ortalama biyokütleyi 4-10 ton/ağaç ve ortalama BEF'i $1,6 \pm 0,2$ olarak bulmuşlardır. Toplam topraküstü biyokütle için en iyi denklemler göğüs çapı, ağaç boyu ve ticari boyun kombinasyonlarına ($R^2=0,77-0,87$) dayanmaktadır.

Zianis, Muukkonen, Mäkipääand ve Mencuccini (2005), Avrupa'da yayılış gösteren ağaç türleri için gövde hacim ve biyokütle denklemlerini değerlendirmişlerdir. Ampirik modellerin matematiksel formları, ağaçların boyutları ve yayılış gösterdiği ülke hakkındaki bilgi ve istatistiksel değerleri bilimsel makalelerden ve teknik raporlardan derlemişlerdir. Biyokütle tahmini için 607, gövde hacmi için 230 denklem üzerinde çalışarak Avrupa'da yayılış gösteren çeşitli ağaç türleri için tek ağaç bazında biyokütle ve hacim denklemleri üzerine bir veri tabanı oluşturmuşlardır.

Brandeis vd. (2006), Ponce (Porto Riko) yakınlarındaki dağlık bir bölgede 6 Angiospermae türünü kapsayan 30 ağaçta yaptıkları çalışmada, En Küçük Kareler Yöntemi'ne göre biyokütle bileşenleri için en uygun sonucu veren denklemleri seçmişlerdir. Türler göre, tüm ağaç ve gövde odunu için seçilen denklemler genel olarak iyi sonuçlar verirken, yaprak için seçilen denklemin farklı sonuçlar ortaya koyduğunu belirtmişlerdir. Yaprak biyokütlesini belirlemede seçilen denklemde meydana gelen bu değişken durumu, ölçüm zamanında meydana gelen mevsimsel yaprak dökümüne bağlamışlardır.

Pilli, Anfodillo ve Carrer (2006), farklı türden 49 ağaçta çap, boy ve ağaç biyokütlesi verilerini toplayarak, topraküstü biyokütleyi tahminde $M=b_0d^{b_1}$ şeklindeki denklemin katsayılarını tahmin etmişlerdir. b_1 parametresinin meşcere gelişme çağıyla ilişkili olduğunu, fakat ağaç türü ve bonitet ile ilişkisinin olmadığını belirtmişlerdir. Ortalama b_0 değerini ise hacim yoğunluk değeri ile ilişkili bulmuşlardır.

Snorrason ve Einarsson (2006), İzlanda'daki plantasyonlarda bulunan 11 ağaç türündeki örnek ağaçlarda çalışarak, her bir tür için ağaç hacmi ve biyokütle miktarlarını ortaya koyan çap ve boya dayalı tek ağaç biyokütle denklemleri geliştirmişlerdir. Çalışma sonucunda elde ettikleri bulguları, aynı türler için ve aynı

değişkenleri kullanarak daha önceden yapılmış olan çalışmalar ile kıyaslamışlardır. Sonuçların, çoğu türde toplam topraküstü biyokütleyi, gövde biyokütlesini ve gövde hacmini ortaya koymada doğru sonuçlar verdiğini; canlı ve ölü dallar, ibreler ve tepe tacı için geliştirilen denklemlerin ise alometrik olarak yetersiz kaldığını belirtmişlerdir.

Wang (2006), Çin’de bulunan 10 ağaç türü için göğüs çapına bağlı tek girişli ve göğüs çapı ve boya bağlı çift girişli biyokütle denklemleri geliştirmiştir. Göğüs çapı 2,4 cm ile 57,1 cm arasında değişen ağaçlarda yapılan örneklemeler ile elde edilen verilere bağlı olarak ağaç türüne göre değişmeyen ancak çapa bağlı olan genelleştirilmiş alometrik biyokütle denklemlerinin, gövde biyokütlesindeki değişimin %90’dan fazlasını açıkladığını ortaya koymuştur. Alometrik denklemlere ikinci bir değişken olarak ağaç boyunun dâhil edilmesiyle özellikle yaprak biyokütlesinin tahmininde denklem başarısının artacağını ileri sürmüştür.

Peichl ve Arain (2007), Kanada’nın Güney Ontario eyaletinde 2, 15, 30 ve 65 yaşlarındaki *Pinus strobus* meşcerelerinde toprakaltı ve topraküstü biyokütle ve biyokütle alometrisi üzerine çalışmışlardır. Her ağaç bileşeninin biyokütlesini ağaçların kesilmesi sonucu yaptıkları ölçümlerle belirlemişlerdir. Tüm ağaç ve ağaç bileşenleri için ayrı ayrı alometrik biyokütle denklemleri geliştirmişlerdir. Ortalama topraküstü ve toprakaltı biyokütleyi her bir yaş için sırasıyla 0,3, 54, 105 ve 529 kg/ağaç ve 0,1, 13, 17 ve 99 kg/ağaç olarak hesaplamışlardır. Gövde biyokütlesinin, toplam ağaç biyokütlesine oranının 2 yaşında %25’ten 65 yaşında %60’a çıktığını ve tepe tacı biyokütle bileşenlerinin (yaprak ve dallar) toplam biyokütle katkısinin yaşla birlikte azaldığını ifade etmişlerdir.

Pajtk, Konopka ve Lukac (2008), Slovakya’da 10 yaşından küçük *Picea abies* meşcereleri için biyokütle denklemlerini ve BEF’leri geliştirmek amacıyla kök, gövde, dal ve ibreleri örneklemişlerdir. Çap ve boya dayalı olarak biyokütle miktarını veren 3 farklı model denemişlerdir. Toplam meşcere biyokütlesinin yaşla birlikte arttığını ifade ederek, meşcere biyokütlesinin 1,5 yaşında 1,0 ton/ha’dan 9,5 yaşında 44,3 ton/ha’ya ulaştığını gözlemlemişlerdir. Gövde ve dal biyokütlesinin yaşla birlikte

artarken, ibre biyokütlesinin değişmediğini ve kök biyokütlesinin ise yaşın artmasıyla birlikte azaldığını ortaya koymuşlardır.

Vieilledent vd. (2011), ağaç çapı ve ağaç boyu gibi bağımsız değişkenleri kullanarak ağaç biyokütlesi ve karbon stok tahmini sağlayan alometrik denklemleri değerlendirmek üzere, endemizm oranı yüksek olan (%95) Madagaskar'ın nemli ormanları için 481 ağaçta örnekleme yapmışlardır. Bu çalışmada, mevcut genel alometrik modeller arasından çap, boy, hacim yoğunluk değeri ve orman tiplerinin (Tropikal Kuru, Tropikal Nemli ve Tropikal Yağmur Ormanları) bir fonksiyonu olan Chave vd. (2005) modelinin, Madagaskar için biyokütle tahmininde doğru sonuç veren tek model olduğunu belirtmişlerdir.

Verma, Tewari ve Shah (2012), Orta Himalayaların 2400-2750 m yükseklikte yayılış gösteren *Quercus semecarpifolia* meşcereleri için 2004-2009 yılları arasında toplam ağaç biyokütlesi, karbon stoku ve karbon tutulum oranlarının önemli ölçüde arttığını gözlemlemişlerdir. Bu ormanların biyokütlelerinde tuttıkları karbon miktarının 210,26 - 258,02 ton/ha ve ortalama karbon birikim oranının 3,7-4,8 ton ha⁻¹ yıl⁻¹ arasında değiştiğini belirtmişlerdir.

Alvarez vd. (2012), Kolombiya'da yapmış oldukları çalışmada topraküstü biyokütle verileri yardımıyla topraküstü biyoküttelede depolanan karbon miktarını veren modeller geliştirmişlerdir. Tüm tropiklerde, Holdridge vd. (1971) ve Chave vd. (2005)'e göre yapılan iki farklı orman tipi sınıflamasına göre topraküstü orman biyokütlesini tahmin etmede yaygın olarak kullanılan allometrik modellerin uygunluğunu araştırmışlar ve orman tipi farklılığının biyokütle miktarları üzerinde önemli bir rol oynadığını belirtmişlerdir.

Feldpausch vd. (2012), biyokütle tahminlerinde çapa ek olarak ağaç boyunun ikinci bir değişken olarak denkleme dahil edilmesinin etkisini araştırmak üzere Asya, Afrika, Avustralya ve Güney Amerika'yı kapsayan 327 örnek alan ve 42656 örnek ağaçta kapsamlı bir çalışma yapmışlardır. Biyokütle denklemine ağaç boyunun dâhil edilmesiyle hata miktarının 0,13 ton/ha'dan 0,06 ton/ha'a düştüğünü belirtmişlerdir. Sonuçlara dayanarak ormansızlaşmanın sebep olduğu emisyonları ve tropikal karbon

tahminlerindeki hataları azaltmak için ağaç boyunun, ağaç çapına ek olarak ikinci bir değişken olarak biyokütle denklemine dahil edilmesi gereken önemli bir alometrik faktör olduğunu vurgulamışlardır.

Guendehou vd. (2012), ağaç hacim ve biyokütlesini tahmin etmek için Batı Afrika'daki tropiklerde 5 ağaç türünden 162 örnek ağaçta yaptıkları çalışmalar sonucunda biyokütle ve hacim denklemleri geliştirmişlerdir. Bu 5 ağaç türünün her biri için biyokütle miktarını hesaplayarak, hacim yoğunluk değeri, nitrojen, organik madde ve kül miktarlarını da belirlemişlerdir. Gövde hacim ve biyokütle modellerini göğüs çapı ve ağaç boyunun fonksiyonu olarak geliştirmişlerdir.

Lima vd. (2012), amazonlardaki karbon stoklarını değerlendirmek amacıyla biyokütle tahminleri yapmışlardır. Brezilya Amazonları'nın kuzeybatı bölümündeki ormanlar için en iyi biyokütle tahmini veren 6 farklı alometrik biyokütle modelini değerlendirmişlerdir. 101 örnek ağaçta yaptıkları çalışmalar sonucunda, biyokütle bileşenlerinin miktarlarını tahmin etmede çapa bağlı tek girişli biyokütle denkleminin en iyi model olduğunu belirtmişlerdir. Göğüs çapı ile topraküstü ve toprakaltı biyokütle ilişkilerini ortaya koyan modeller için, Amazonların diğer bölgelerinde daha önce yapılmış olan çalışmalar ile yapmış oldukları çalışmayı kıyaslamışlar ve yaptıkları çalışmayla hesaplanan biyokütle miktarlarının daha önce yapılan çalışmalarla hesaplanan biyokütle miktarlarına göre eksik olduğunu belirtmişlerdir.

Skovsgaard ve Nord-Larsen (2012), Danimarka'daki *Fagus sylvatica* meşcerelerinde topraküstü ve toprakaltı biyokütle miktarlarını tahmin eden biyokütle denklemleri geliştirerek, biyokütle birikimini analiz etmişlerdir. Bu denklemleri ortaya koymak amacıyla tüm biyokütlesi hesaplanan 66 örnek ağaçta ölçümler yapmışlardır. Gövde, dal, toprakaltı kök sistemi, toplam topraküstü biyokütle ve tüm ağaç biyokütlesi için ayrı ayrı denklemler geliştirmişlerdir.

Chaturvedi ve Raghubanshi (2013), tropik ormanlarda fidan çağındaki odunsu türlerde biyokütle tahmininde kullanılan allometrik denklemlerin yetersiz olduğunu ve bu sebeple fidanlarda karbon tutulumunun göz ardı edildiğini belirtmişlerdir. Bu ormanlarda fidan çağındaki 46 türde örnekleme yapmış ve yaprak, dal, gövde ve

toplam biyokütleyi tahmin eden regresyon modelleri geliştirmişlerdir. Yaprak ve dal biyokütlesi için çapa dayalı olarak geliştirilen tek girişli biyokütle denklemlerinin daha yüksek R^2 , gövde ve tüm ağaçta sadece çapa dayalı olarak geliştirilen denklemlerin ise daha düşük R^2 değerine sahip olduğu sonucunu bulmuşlardır.

Lewis vd. (2013), 12 Afrika ülkesindeki tam kapalı bakir ormanlarda 260 örnek alana dayalı olarak yaptıkları çalışmada ortalama topraküstü biyokütleyi 395,7 ton/ha olarak bulmuşlar ve bu değerin Amazon ormanlarının ortalama topraküstü biyokütle değerinden önemli ölçüde yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Topraküstü biyokütle değerinin yıl boyunca dokuz kurak aydaki yağış miktarı ile pozitif bir ilişki, sıcaklıkla negatif bir ilişki gösterdiğini saptamışlardır.

Lim vd. (2013), Güney Kore'deki *Cryptomeria japonica*'da toprakaltı ve topraküstü biyokütle bileşenleri için allometrik denklemler geliştirerek, yaş sınıfları için BEF katsayılarını hesaplamışlardır.

Menéndez-Miguélez, Canga, Barrio-Anta, Majada ve Álvarez-Álvarez (2013), İspanya'nın güneybatısındaki *Castanea sativa* (Mill.) meşcerelerinde topraküstü biyokütle tahminlerini tek ağaç, baltalık ve koru meşcereleri düzeyinde yapmışlardır. Mevcut tüm yaş sınıflarını temsil edecek şekilde tek ağaç düzeyinde 120 örnek ağaç, baltalık düzeyinde 45 ve koru düzeyinde 70 örnek alan olarak biyokütle bileşenleri (gövde, kabuk, kalın dal, orta kalınlıkta dal, ince dal ve yaprak) için ayrı ayrı modeller geliştirmişlerdir.

Ritchie, Zhang ve Hamilton (2013), Blacks Mountain Araştırma Ormanı'ndaki müdahale görmemiş 4 farklı planlama biriminden kesilen 79 ağaçta yapılan analizlerden elde edilen verilerle tek ağaç topraküstü biyokütle denklemlerini geliştirmişlerdir. Yaprak, dal ve gövde bileşenlerinin her biri için ortaya konulan denklemlerin yanında tüm ağaç biyokütlesini ortaya koyan denklemler de geliştirmişlerdir. Yaprak biyokütlesinin farklı müdahale görmüş ormanlarda önemli ölçüde farklılık gösterdiğini, gövde biyokütlesinin farklı meşcere tiplerinde stabil kaldığını belirterek müdahale görmüş meşcerelerde aynı göğüs çapı ve tepe tacı

oranına sahip olan ağaçların daha fazla yaprak biyokütlesine sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Rutishauser vd. (2013), hem tek ağaç hem de meşcere bazında biyokütleyi tahmin etmek için 2 adet bölgesel 2 adet genel alometrik biyokütle modellerini kıyaslamışlardır. Çalışma sonucunda bölgesel modellerin ağaç biyokütlesini tahmin etmede genel alometrik modellere göre daha düşük güvenilirliğe sahip olduğu sonucuna varmışlardır. Meşcere düzeyinde, bölgesel modellerin en iyi tahmini veren genel modellere göre biyokütleyi % 0-40 oranında daha az tahmin ettiğini ortaya koymuşlardır.

Mbow, Neufeldt, Minang, Luedeling ve Kowero (2014), Güney Senegal'in Kurak Sudan zonunun geniş savanları için yeni allometrik modeller sunan ve güvenilir karbon tahminleri için gereksinim duyulan istatistiksel modeller geliştiren bir çalışma yapmışlardır. Modelleri 6 adet korunan ormanda farklı çağlardaki 13 farklı türü kapsayan 101 ağaçtan alınan verileri kullanarak, sadece ağaç çapı ve fırın kurusu biyokütle veya ağaç çapına ek olarak ağaç boyu ile fırın kurusu biyokütle arasındaki istatistiksel ilişkilere dayandırmışlardır. Sadece göğüs çapına bağlı olarak geliştirilen denklemin R^2 'sini 0,934, göğüs çapı ve ağaç boyuna bağlı olarak geliştirilen regresyon denkleminin R^2 'sini ise 0,813 olarak bulmuşlardır. Bütün türler için geliştirilen modellerde göğüs çapına bağlı olarak geliştirilen denklemlerin, ağaç boyuna dayalı olarak geliştirilen denklemlere göre daha yüksek R^2 değerine sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Son yıllarda teknolojideki ilerlemelerle birlikte uzaktan algılama tekniklerinin ormancılıkta yaygın olarak kullanılmaya başlanmasıyla birlikte, uzaktan algılama tekniklerinin biyokütle tahminlerinde kullanım olanaklarının ortaya konduğu çalışmalar da literatürde yerini almıştır (Steininger, 2000; Lefsky vd., 2005; Hall, Skakun, Arsenault ve Case, 2006; Muukkonen ve Heiskanen, 2006; Clark, Roberts, Ewel ve Clark, 2011; Frazer, Magnussen, Wulder ve Niemann, 2011; Gleason ve Im, 2012).

Biyokütle tahminleri ile ilgili olarak Türkiye’de yapılan çalışmalara bakıldığında, ilk çalışmaların 1970’li yıllarda yapıldığı anlaşılmaktadır. Uğurlu vd. (1976) tarafından sarıçam ve Sun vd. (1980) tarafından kızılçam için yapılan yaş ve fırın kuru biyokütle tahminleri ile başlayan araştırmalar, Saraçoğlu (1988) tarafından ve ülkemizde ilk defa regresyon yöntemine dayalı olarak kızılçam meşcereleri için yapılan çalışma ile devam etmiştir.

Saraçoğlu (1998), Doğu Karadeniz Bölgesi doğu kayını meşcerelerinde yaptığı çalışmada tek ağaç ve hektarda yaş ve fırın kuru biyokütle miktarlarını veren tablolar geliştirmiştir.

Özkaya (2004), Genya Dağı (Artvin) normal kapalı doğu ladini meşcerelerinden 30 adet örnek ağaç alarak yaptığı çalışmada yaş ve fırın kuru ağırlıklara göre biyokütle tabloları düzenlemiştir.

Ünsal (2007), Adana Orman Bölge Müdürlüğü, Karaisalı Orman İşletme Müdürlüğü’ndeki kızılçam meşcereleri için tek ağaç ve hektardaki biyokütle miktarlarını veren denklemler geliştirmiştir.

Atmaca (2008), Erzurum Orman Bölge Müdürlüğü sarıçam meşcerelerinin tek ağaç ve hektardaki biyokütle miktarlarını tahmin etmek amacıyla 33 örnek alandan alınan verilerle biyokütle tabloları düzenlemiştir.

Çakıl (2008), Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü’nde bulunan karaçam meşcerelerinde tek ağaç ve hektardaki biyokütle miktarlarını tahmin etmek amacıyla yaş ve fırın kuru ağırlıklara göre biyokütle tabloları oluşturmuştur.

Ülküdür (2010), Antalya Orman Bölge Müdürlüğü sedir meşcereleri için tek ağaç ve hektardaki biyokütle miktarlarını tahmin etmiştir. Bu amaçla yaş ve fırın kuru ağırlıklara göre biyokütle tablolarının düzenlenmesi için 36 adet örnek alandan alınan verilerden yararlanmıştır.

Ülker (2010), Amasya Orman Bölge Müdürlüğü sarıçam meşcerelerinde tek ağaç bazında biyokütle miktarlarını tahmin etmek için 50 adet örnek ağaçtan alınan verilere dayanarak yaş ve kuru ağırlıklara göre biyokütle denklemleri geliştirmiştir.

Aydın (2010), Artvin Orman Bölge Müdürlüğü Borçka Orman İşletme Müdürlüğü sarıçam meşcerelerinde 46 örnek ağaçtan alınan verilerle fırın kuru biyokütle tabloları düzenlemiştir.

Karabürk (2011), Bartın yöresi Uludağ göknarı meşcerelerinde 34 örnek ağaçtan alınan verilere dayanarak tek ağaç ve hektarda biyokütle miktarlarını veren denklemler geliştirmiştir.

Orhan (2013), daha önce çalışılmış olan Adana yöresi kızılçam (Ünsal 2007), Zonguldak yöresi karaçam (Çakıl 2008) ve Erzurum yöresi sarıçam (Atmaca 2008) meşcereleri için tekrar toprak üstü biyokütle tabloları hazırlamıştır. Daha önce yapılan çalışmalarda dal odunlarında herhangi bir sınıflamaya gidilmediğini belirterek, dal odunlarını kalın dal ($d_{\text{çap}} \geq 4$ cm) ve ince (dalçap < 4 cm) olarak ayırmış ve biyokütle miktarlarını hesaplamıştır.

Yılmaz (2015), Antalya yöresi kızılçam meşcerelerinde biyokütle miktarlarının belirlenmesi amacıyla fırın kuru ağırlıklara dayanarak biyokütle tablolarını düzenlemiştir.

Bu çalışmalardan anlaşılacağı üzere ülkemizde yapılan çalışmaların sayılarının kısıtlı olduğu görülmektedir. Ormanların sürdürülebilirliğinin sağlanması, karbon birikiminin güvenilir bir şekilde tahmin edilmesi için biyokütle miktarının ortaya konulması gerekmektedir. Bu sebeple; ülkemizde yayılış gösteren ağaç türleri için biyokütle tablolarının düzenlenmesi, orman ürünlerinin tüm yönleriyle değerlendirilebilmesi ve çeşitli uluslararası sözleşmelere karşı olan yükümlülüklerin yerine getirilmesi için bu bilgilerin ortaya konulması büyük önem arz etmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

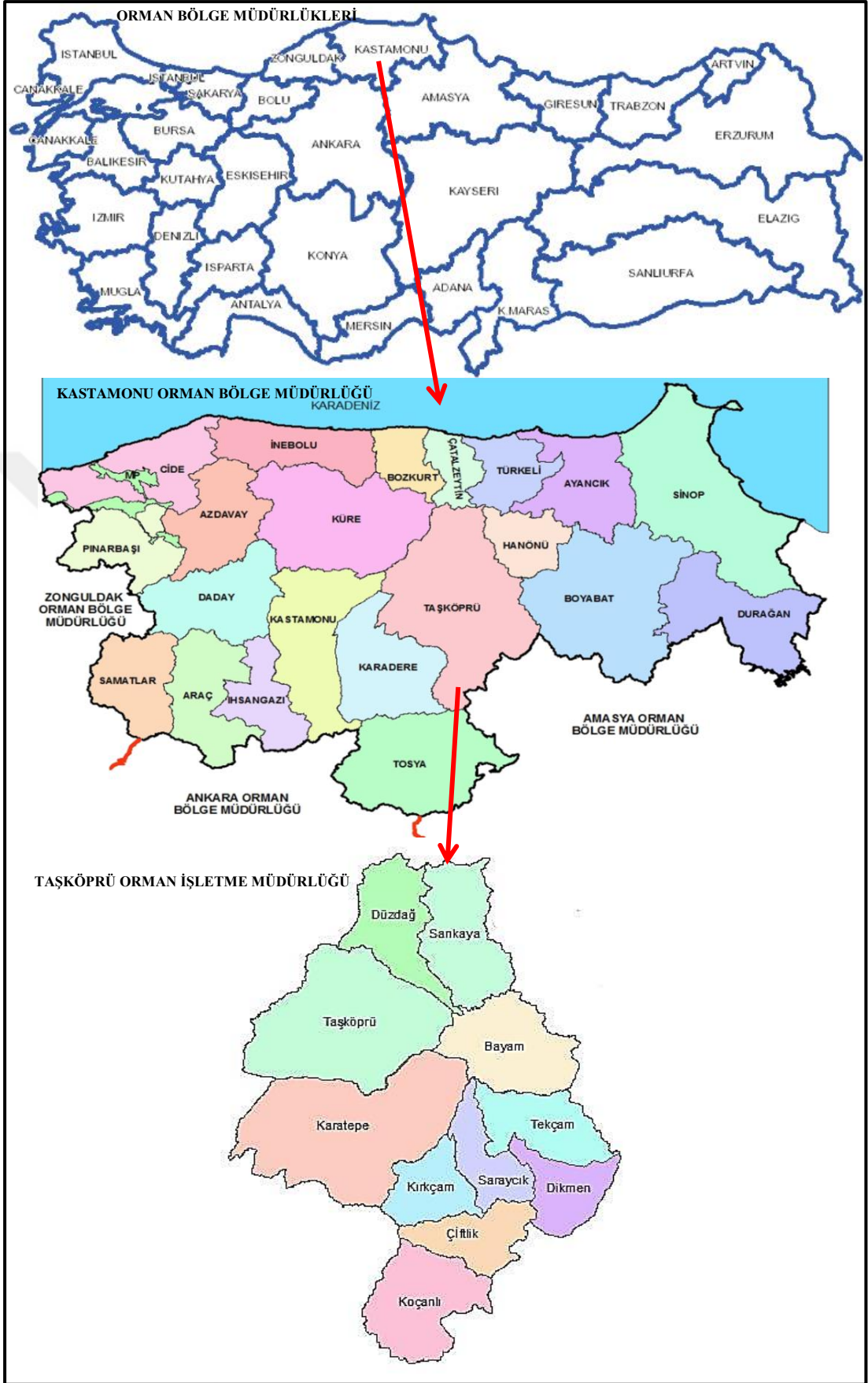
Karaçam (*Pinus nigra* J.F.Arnold) ağaç türünün ülkemizdeki önemli yayılış alanlarından biri olan Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde kalan saf karaçam meşcereleri için tek ağaç bazında biyokütle miktarlarını veren denklemlerin geliştirildiği ve biyokütle tablolarının düzenlendiği bu çalışmada kullanılan araştırma materyali ile bu kapsamda kullanılan yöntemler aşağıda açıklanmıştır.

3.1. Materyal

Çalışma materyali olarak kullanılacak veriler, örnek ağaçlar üzerinde yapılan ölçümler ile elde edilmiştir. Örnek ağaçların seçiminde meşcerelere ilişkin gelişme çağı, kapalılık, bonitet sınıfı gibi farklı özelliklerin gözönüne alınarak, örnek ağaçların söz konusu farklılıkları yansıtacak şekilde seçilebilmesi amacıyla öncelikle Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı 11 Orman İşletme Şefliği'ne ait orman amenajman planlarında yer alan Alan Döküm Tabloları yardımıyla Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisindeki tüm saf karaçam meşcereleri tespit edilmiştir. Bu meşcereler içerisinde farklı gelişme çağı, kapalılık ve bonitet sınıflarına dağıtımını sağlanmaya çalışılarak alınan örnek alanlarda göğüs yüzeyi orta ağaçları belirlenmiş ve bu ağaçlar örnek ağaç olarak seçilmiştir. Seçilen örnek ağaçlar üzerinde yapılan ölçümler sonucu elde edilen veriler bu çalışmanın materyalini oluşturmuştur.

3.1.1. Araştırma Alanının Tanıtımı

Çalışmanın yapıldığı Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü, Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde bulunmakta olup, doğusunda Hanönü ve Boyabat, batısında Küre, Kastamonu ve Karadere, kuzeyinde Bozkurt, Çatalzeytin ve Türkeli ve güneyinde de Tosya ve Kargı Orman İşletme Müdürlükleri yer almaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü coğrafi konumu

Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü 113 518,9 ha ormanlık alan ve 63 129,0 ha açıklık alan olmak üzere toplam 176 647,9 ha yüzölçümüne sahiptir (URL-1). Yürütülen bu çalışmaya konu olan karaçam ağaç türünün saf ve karışık meşcereleri bakımından oldukça zengin olan Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde 39 128,6 ha saf, 18 101,3 ha karışık ve 11 664,9 ha bozuk karaçam meşceresi bulunmaktadır. İşletme Müdürlüğü'ne bağlı toplam 11 Orman İşletme Şefliği'nin orman varlığına ve karaçam meşcerelerinin alansal dağılımlarına ilişkin bilgiler Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı Orman İşletme Şefliklerinin orman varlığı (URL-1)

Orman İşletme Şefliği	Verimli Orman (Ha)	Bozuk Orman (Ha)	Toplam Ormanlık Alan (Ha)	Açıklık Alan (Ha)	Genel Toplam (Ha)	Karaçam*		
						Verimli		Bozuk (Ha)
						Saf (Ha)	Karışık (Ha)	
Bayam	10303,4	2558,4	12861,8	3144,4	16006,2	4922,7	2458,1	506,7
Çiftlik	6818,6	1034,1	7852,7	1585,3	9438,0	2175,0	949,1	393,6
Düzdağ	6705,7	3600,2	10305,9	2770,1	13076,0	1874,4	1999,8	1268,6
Dikmen	5602,1	1280,6	6882,7	2111	8993,7	3038,4	798,8	932,9
Karatepe	12161,4	6470,3	18631,7	14648,5	33280,2	8575	2455,8	2847,7
Kırçam	6112,1	622,5	6734,6	2310,2	9044,8	3831,6	1507,9	572,6
Koçanlı	9579,3	2370,6	11949,9	4136,7	16086,6	3964,6	1168,7	1131,3
Saraycık	5619,1	510,3	6129,4	2222,5	8351,9	2637	626,2	333,2
Sarıkaya	6076,2	5762,5	11838,7	3782,8	15621,5	1870,9	1466,1	1360,2
Taşköprü	6117,4	5825,7	11943,1	23015,2	34958,3	2861,9	2677,2	1748,0
Tekçam	7374,2	1014,2	8388,4	3402,3	11790,7	3377,1	1993,6	570,1
Toplam	82469,5	31049,4	113518,9	63129,0	176647,9	39128,6	18101,3	11664,9

* Orman İşletme Şefliklerine ait amenajman planlarından alınmıştır.

3.1.2. Örnek Alanların Özellikleri ve Seçimi

Meşcerelere ilişkin gelişme çağı, kapalılık ve yetiştirme ortamı farklılıklarının temsil edilebilmesi için örnek alanların farklı çağ, kapalılık ve bonitet sınıflarına dağıtımını sağlanmaya çalışılarak 85 adet örnek alan alınmıştır. Meşcere gelişme çağları olarak meşcere orta çapına (d_q) göre a ($0 < d_q < 8$ cm), b ($8 \leq d_q < 20$), c ($20 \leq d_q < 36$) ve d ($d_q \geq 36$) çağları ile bunlara ek olarak birbirini takip eden gelişme çağlarının birleştirilmesiyle elde edilen bc ve cd gelişme çağları, kapalılık sınıfları olarak meşcere kapalılığına

göre 1 (%11-40), 2 (%41-70) ve 3 kapalılık (>%70) ve bonitet sınıfları olarak da Kalıpsız (1963) tarafından karaçam meşcereleri için geliştirilen I., II., III., IV. ve V. bonitet sınıfları dikkate alınmıştır. Örnek alanlara ilişkin bazı temel bilgiler Tablo 3.2'de ve örnek alanların gelişme çağı, kapalılık ve bonitet sınıflarına dağılımı da Tablo 3.3'te verilmiştir.

Örnek alan büyüklükleri meşcere kapalılığı dikkate alınarak belirlenmiş ve kapalılığı %11-40 olan meşcerelerde 800 m², %41-70 olan meşcerelerde 600 m² ve %70'ten fazla olan meşcerelerde de 400 m² büyüklüğünde dairesel örnek alanlar alınmıştır (Fotoğraf 3.1-3.2). Ancak, a çağındaki genç meşcerelerde meşceredeki ağaç sayısının diğer meşcere tiplerine göre oldukça fazla olması sebebiyle örnek alan büyüklüğü 200 m² olarak alınmıştır.

Tablo 3.2. Örnek alan tanıtım tablosu

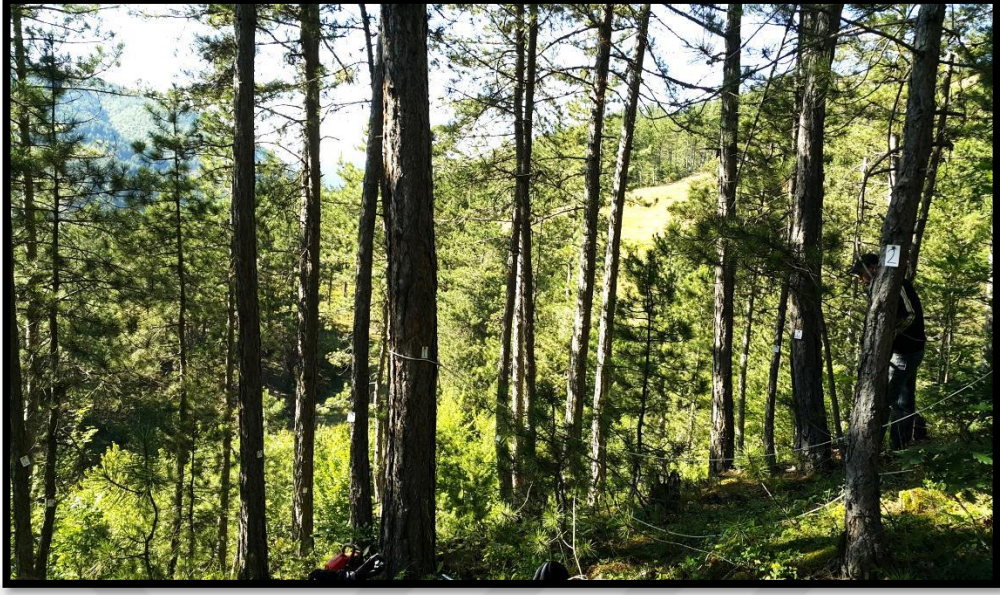
Örnek Alan No	Orman İşletme Şefliği	Meşcere Tipi	Bonitet Sınıfı	Bakı	Eğim (%)	Yükselti (m)	Örnek Alan Büyüklüğü (m ²)	Meşcere Orta Çapı (cm)	Ağaç Sayısı (adet)	Alınan Örnek Ağaç Sayısı
1	Taşköprü	Çkcd3	I	KB	9	1410	400	35,6	22	2
2	Taşköprü	Çkbc3	IV	B	7	1330	400	19,1	54	1
3	Taşköprü	Çkcd3	V	KB	16	1315	400	27,2	30	1
4	Taşköprü	Çka3	IV	G	18	1300	200	5,0	40	2
5	Taşköprü	Çka3	V	GD	22	1150	200	4,6	128	2
6	Taşköprü	Çkbc2	IV	K	28	1160	600	21,5	27	2
7	Düzdağ	Çkc1	V	GB	23	1130	800	21,9	37	2
8	Düzdağ	Çkc2	I	K	12	1390	600	26,5	24	1
9	Düzdağ	Çkc1	IV	GB	22	1185	800	27,0	27	2
10	Düzdağ	Çkcd1	V	GD	10	1315	800	31,0	16	1
11	Sarıkaya	Çkc2	IV	G	26	1060	600	25,2	36	2
12	Sarıkaya	Çkd1	III	GD	11	1045	800	37,0	19	2
13	Sarıkaya	Çkd2	IV	GB	9	1040	600	40,0	20	2
14	Tekçam	Çkc2	III	G	9	1160	600	24,1	29	2
15	Tekçam	Çkc2	IV	KD	10	1160	600	25,1	19	2
16	Tekçam	Çkc3	IV	GD	8	1165	400	23,7	41	2
17	Tekçam	Çkd2	III	K	11	1160	600	43,9	23	2
18	Tekçam	Çkc2	II	D	3	1100	600	29,2	22	2
19	Tekçam	Çkc3	II	KD	4	1110	400	28,2	18	1
20	Tekçam	Çkbc2	III	D	10	1120	600	18,2	38	2
21	Tekçam	Çkd2	II	K	4	1130	600	39,0	21	1
22	Kırkçam	Çkcd2	IV	K	9	1050	600	32,3	24	2
23	Kırkçam	Çkc3	IV	K	9	1055	400	24,4	37	2
24	Kırkçam	Çkcd2	IV	KD	8	1190	600	30,3	27	2
25	Kırkçam	Çkc3	IV	KD	12	1175	400	23,5	32	2
26	Kırkçam	Çkcd1	I	K	10	1200	600	26,5	27	1
27	Dikmen	Çkbc3	III	KD	3	1220	400	14,4	46	1
28	Dikmen	Çkc3	III	KD	5	1210	400	24,5	41	2
29	Dikmen	Çka3	II	KD	4	1030	200	7,1	61	2
30	Dikmen	Çkb3	II	KD	2	1210	400	18,2	50	2
31	Dikmen	Çkcd3	I	GD	7	1300	400	34,5	25	2
32	Dikmen	Çkd1	I	GD	8	1270	800	33,2	35	2
33	Dikmen	Çka3	I	GD	9	1290	200	4,6	73	3
34	Dikmen	Çkc3	I	K	14	1320	400	27,9	36	2
35	Dikmen	Çkc3	I	K	12	1300	400	27,8	45	2
36	Saraycık	Çkb3	III	K	11	1150	400	14,8	35	2
37	Saraycık	Çkcd3	II	KD	12	1160	400	23,0	32	2
38	Saraycık	Çkcd1	IV	GD	6	1210	800	26,2	39	2
39	Saraycık	Çkcd3	IV	B	20	1050	400	24,6	37	1
40	Saraycık	Çkb3	IV	K	12	1100	400	17,5	56	1
41	Saraycık	Çkbc3	IV	K	13	1110	400	21,8	39	2
42	Saraycık	Çka3	III	KB	15	1120	400	5,4	88	2
43	Saraycık	Çkbc3	III	G	17	1060	400	21,8	30	1
44	Çiftlik	Çkb3	I	GB	17	1290	400	17,3	58	1
45	Çiftlik	Çkcd3	II	KB	15	1175	400	32,8	28	1

Tablo 3.2'nin devamı

Örnek Alan No	Orman İşletme Şefliği	Meşçere Tipi	Bonitet Sınıfı	Bakı	Eğim (%)	Yükselti (m)	Örnek Alan Büyüklüğü (m ²)	Meşçere Orta Çapı (cm)	Ağaç Sayısı (adet)	Alınan Örnek Ağaç Sayısı
46	Çiftlik	Çkcd1	II	G	24	1155	800	26,7	21	1
47	Çiftlik	Çkbc1	III	B	23	1160	800	27,3	26	1
48	Koçanlı	Çkd1	II	D	41	1145	800	40,5	17	1
49	Koçanlı	Çkc1	III	K	32	1190	800	27,3	19	1
50	Koçanlı	Çkb2	III	D	16	1200	600	13,1	25	1
51	Koçanlı	Çkc1	I	GD	30	1310	800	27,2	21	1
52	Koçanlı	Çkb2	II	KD	27	1180	600	18,1	31	1
53	Koçanlı	Çkd3	I	K	16	1335	400	36,5	19	1
54	Koçanlı	Çkb3	III	D	17	1330	400	17,7	47	1
55	Koçanlı	Çkc1	II	B	21	1450	800	38,0	30	1
56	Koçanlı	Çkcd3	III	KD	24	1310	400	47,3	17	1
57	Koçanlı	Çkd2	II	KD	27	1320	600	42,3	15	1
58	Bayam	Çkbc3	II	D	17	1140	400	24,7	32	2
59	Bayam	Çkcd2	II	G	10	1140	600	31,2	24	2
60	Bayam	Çkbc3	II	GD	12	1025	400	25,3	28	2
61	Bayam	Çkc2	II	GD	21	1050	600	21,9	32	1
62	Bayam	Çkcd3	II	KD	18	980	400	28,2	27	2
63	Bayam	Çkcd2	II	B	26	1025	600	27,6	23	1
64	Bayam	Çkcd3	III	KB	13	1080	400	34,0	16	1
65	Bayam	Çkc3	II	KB	8	870	400	27,0	22	1
66	Bayam	Çkb3	III	KB	10	1075	400	15,0	72	2
67	Bayam	Çka3	III	KB	8	1125	100	3,5	120	2
68	Bayam	Çkbc2	III	G	12	1215	600	24,8	35	1
69	Karatepe	Çkc2	III	B	13	1190	600	31,9	17	1
70	Karatepe	Çkcd1	III	D	16	1100	800	30,6	25	1
71	Karatepe	Çkcd3	IV	K	8	1100	400	30,9	27	1
72	Karatepe	Çkb2	V	K	13	940	600	14,2	36	1
73	Karatepe	Çkbc1	V	KB	14	910	800	19,7	33	1
74	Karatepe	Çkbc2	V	K	19	920	600	19,4	39	2
75	Karatepe	Çkc3	V	KB	20	985	400	24,4	25	1
76	Karatepe	Çkc2	V	GD	9	930	600	24	36	1
77	Karatepe	Çkc3	V	KD	15	890	400	26,3	32	2
78	Karatepe	Çkcd1	IV	D	13	960	800	28,2	30	1
79	Karatepe	Çkbc3	V	K	6	920	400	16,8	32	1
80	Karatepe	Çkc3	III	KB	9	1240	400	34	19	1
81	Karatepe	Çkbc2	II	GB	17	1240	600	13,5	58	1
82	Karatepe	Çkb3	II	B	28	1185	400	22	45	1
83	Karatepe	Çkcd2	III	B	8	1340	600	43,5	23	1
84	Karatepe	Çkc1	IV	KB	16	815	800	30,3	16	1
85	Karatepe	Çkcd2	IV	B	12	790	600	27,9	35	2

Tablo 3.3. Örnek alanların bonitet, gelişme çağı ve kapalılık sınıflarına dağılımı

Bonitet Sınıfı	Gelişme Çağı	Kapalılık			Toplam
		1	2	3	
I	a	-	-	1	1
	b	-	-	1	1
	bc	-	-	-	-
	c	1	1	2	4
	cd	1	-	2	3
	d	1	-	1	2
Toplam		3	1	7	11
II	a	-	-	1	1
	b	-	1	2	3
	bc	-	1	2	3
	c	1	2	2	5
	cd	1	2	3	6
	d	1	2	-	3
Toplam		3	8	10	21
III	a	-	-	2	2
	b	-	1	3	4
	bc	1	2	2	5
	c	1	2	2	5
	cd	1	1	2	4
	d	1	1	-	2
Toplam		4	7	11	22
IV	a	-	-	1	1
	b	-	-	1	1
	bc	-	1	2	3
	c	2	2	3	7
	cd	2	3	2	7
	d	-	1	-	1
Toplam		4	7	9	20
V	a	-	-	1	1
	b	-	1	-	1
	bc	1	1	1	3
	c	1	1	2	4
	cd	1	-	1	2
	d	-	-	-	-
Toplam		3	3	5	11
Genel Toplam		17	26	42	85



Fotoğraf 3.1. Örnek alanların alınması



Fotoğraf 3.2. Örnek alanlardan bir görünüm

Çalışma kapsamında alınan 85 örnek alanda aşağıda açıklanan ölçüm ve tespitler yapılmış ve elde edilen veriler, her bir örnek alan için ayrı ayrı düzenlenen Örnek Alan Ölçüm Karnesi'ne kaydedilmiştir. Örnek alanlarda yapılan ölçüm ve tespitler aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- *b*, *bc*, *c*, *cd* ve *d* çağlarındaki meşcerelerden alınan örnek alanlarda, örnek alan içerisinde kalan ve göğüs çapı 8 cm veya daha fazla olan ($d_{1.30} \geq 8$ cm)

tüm ağaçların göğüs çapları ($d_{1.30}$) çapölçer yardımıyla 0,1 cm hassasiyetinde ölçülmüştür. a çığındaki meşcerelerden alınan örnek alanlarda ise örnek alan içerisinde kalan tüm ağaçların göğüs çapları ($d_{1.30}$) ölçülmüştür.

- Hacim ve biyokütle hesaplamalarında kullanılacak verilerin elde edilmesi amacıyla örnek alanların her birinde göğüs yüzeyi orta ağacı (d_q) ya da göğüs yüzeyi orta ağacına en yakın olması şartıyla canlı, tepesi sağlam, çatallı olmayan ve sağlıklı olmaları koşuluyla en az 1 adet örnek ağaç kesilmek üzere seçilmiştir.

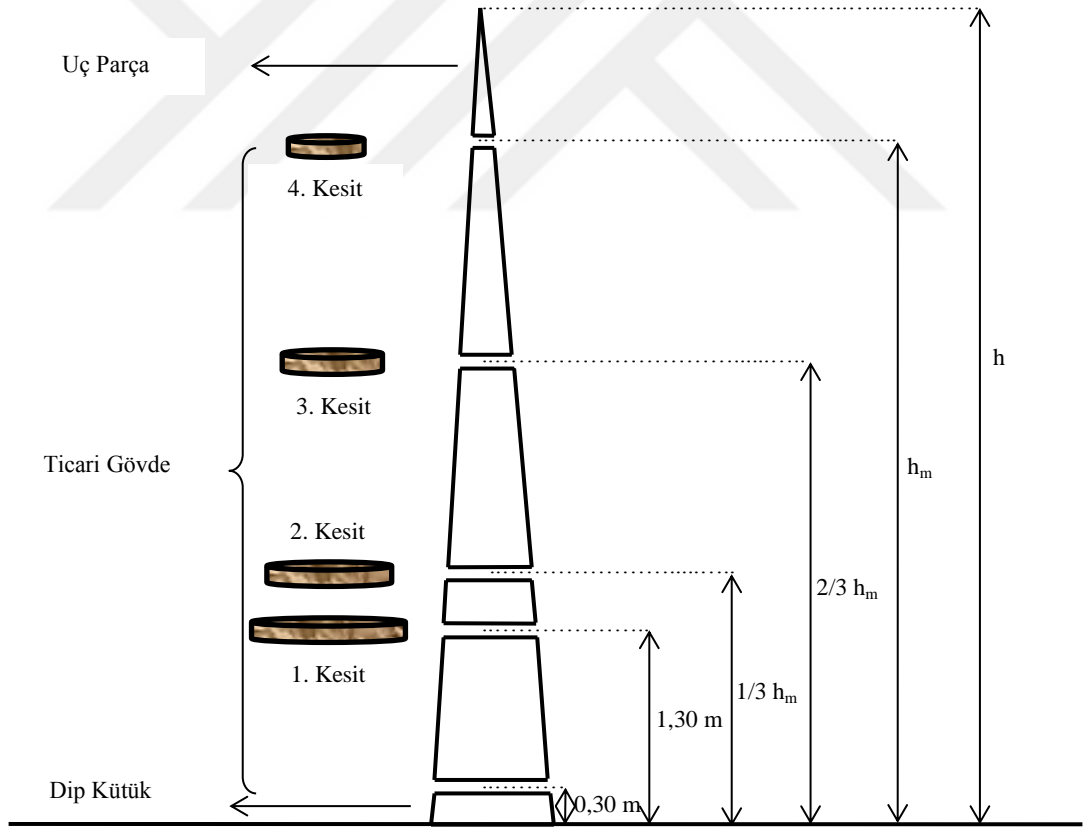
3.1.3. Örnek Ağaçlar Üzerinde Yapılan Ölçümler

85 örnek alanda yapılan ölçümler sonucunda seçilen 127 adet örnek ağaç 0,30 m yüksekliğinden kesilmiş ve ağaçlar üzerinde aşağıda açıklanan işlemler yapılmıştır.

- Örnek ağaçların dip kütük çapları ($d_{0.30}$) ve göğüs çapları ($d_{1.30}$) ile ağaç hacimlerinin belirlenmesinde kullanılmak üzere gövdenin 2,30 m yüksekliğinden başlayarak ağacın tepe ucuna kadar 2 m aralıklarla gövde çapları ($d_{2.30}, d_{4.30}, d_{6.30}, \dots, d_i$) çapölçer yardımıyla 0,1 cm hassasiyetinde ölçülmüştür.
- Örnek ağaçların boyları (h) ve çapın 8 cm'ye düştüğü gövde yükseklikleri (ticari gövde boyu, h_m) şeritmetre kullanılarak 0,01 m hassasiyetinde ölçülmüş ve ticari gövde boyu üç eşit parçaya bölünerek, ticari gövde boyunun 1/3 ve 2/3'üne karşılık gelen gövde yükseklikleri de ($1/3 h_m, 2/3 h_m$) belirlenmiştir.
- Örnek ağaçlar topraküstü biyokütle bileşenlerine (gövde, kabuk, dallar ve ibreler) ayrılmış ve aşağıda açıklanan işlemler yapılmıştır.
 - Gövde odununa ilişkin olarak fırın kurusu ağırlıkların belirlenmesinde kullanılacak enine kesitlerin alınmasında Alemdağ (1980) tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır. Bu amaçla gövde odunu, ince uç çapı 8 cm olan ticari gövde bölümünün eşit uzunluklu 3 parçaya bölünmesi ve bunlara ek olarak tepe kısmında bulunan ticari olmayan gövde bölümü ile dip kütük bölümü olmak üzere toplam 5 parçaya ayrılmıştır. Beş parçaya ayrılan her bir ağacın göğüs yüksekliğinden (1,30 m), ticari gövde

bölümünün $1/3$, $2/3$ yüksekliklerinden ($1/3 h_m$, $2/3 h_m$) ve gövde çapının 8 cm'ye düştüğü gövde yüksekliğinden (h_m) 5-7 cm kalınlığında toplam 4 adet enine kesit alınmıştır. Gövde odunu biyokütlesinin hesaplanması amacıyla gövde enine kesitlerinin alındığı yüksekliklerin örnek ağaç üzerindeki gösterimi Şekil 3.2'de verilmiştir.

- Örnek ağaç üzerinde bulunan tüm dalların boyları ve gövdeye birleştikleri noktada çapları ölçülmüştür. Ardından tüm dallar kesilerek kümelенmiş ve her bir örnek ağaç için ortalama dal çapı ve dal boyu hesaplanarak hesaplanan bu ortalama değerlere sahip bir dal örnek olarak alınmış ve ibrelerinden ayrılmıştır.
- Örnek daldan ayrılan ibreler de örnek ağaca ilişkin ibre örneği olarak alınmıştır.



Şekil 3.2. Gövde biyokütlesinin hesaplanmasında kullanılan gövde enine kesitlerinin alındığı yüksekliklerin örnek ağaç üzerinde gösterimi (Alemdağ, 1980).

Dalları temsil eden dal örneği, ibre örneği ve gövdeden alınan 4 adet enine kesit, tüm ağaç ve biyokütle bileşenlerinin fırın kurusu ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla polietilen poşetlere konularak laboratuvara götürülmüştür.

Hacim ve biyokütle hesaplamaları için kullanılacak verilerin elde edilmesi amacıyla örnek alanlar içerisinde yukarıda açıklandığı şekilde seçilen 127 adet örnek ağaç ile ilgili yapılan işlemler ve ölçümler Örnek Ağaç Ölçüm Karnesi'ne kaydedilmiştir.

127 örnek ağacın yaklaşık %75'i (95 adet örnek ağaç) topraküstü biyokütle denklemlerinin geliştirilmesinde kullanılırken, %25'i (32 adet örnek ağaç) ise geliştirilen biyokütle denklemlerinin kontrolünde kullanılmıştır. Gerek denklemlerin geliştirilmesinde kullanılan 95 ağacın ve gerekse geliştirilen denklemlerin kontrolünde kullanılan 32 ağacın çap ve boy basamaklarına dağılımı Tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.4. Örnek ağaçların çap ve boy basamaklarına dağılımı

Çap Basamakları (cm)	Boy Basamakları (m)											Σ	
	4,0-5,9	6,0-7,9	8,0-9,9	10,0-11,9	12,0-13,9	14,0-15,9	16,0-17,9	18,0-19,9	20,0-21,9	22,0-23,9	24,0-25,9		26,0-27,9
4,0-7,9	3 (1)	3 (1)											6 (2)
8,0-11,9	1	2 (1)	1										4 (1)
12,0-15,9			2	2 (1)	1 (1)								5 (2)
16,0-19,9			1 (1)	2	3 (1)	1 (1)	1						8 (3)
20,0-23,9			1 (1)	2 (1)	3 (1)	4 (1)	4 (1)						14 (5)
24,0-27,9				2	7 (2)	5 (2)	6 (2)	4 (2)	1				25 (8)
28,0-31,9				1	3	3 (1)	4 (2)	1 (1)	1 (1)		1		14 (5)
32,0-35,9						1	1	2 (1)	2 (1)				6 (2)
36,0-39,9							1 (1)		3 (1)	2 (1)	1		7 (3)
40,0-43,9						1		2		(1)		1	4 (1)
44,0-47,9									1				1
48,0-51,9													-
52,0-55,9									1				1
Σ	4 (1)	5 (2)	5 (2)	9 (2)	17 (5)	15 (5)	17 (6)	9 (4)	9 (4)	2 (1)	2	1	95 (32)

* Parantez içindeki sayılar kontrol amacıyla ayrılan örnek ağaçları ifade etmektedir

3.1.4. Laboratuvar Çalışmaları

Biyokütle bileşenlerine ilişkin fırın kurusu ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla alınan tüm alt örnekler polietilen poşetlere konularak ve poşetler üzerine örnek alan numarası, örnek ağaç numarası ve örnek kodu kaydedilerek laboratuvara getirilmiştir (Fotoğraf 3.3-3.4).

Bu amaçla daha önce değinildiği gibi göğüs yüksekliğinden, ticari gövde bölümünün 1/3 ve 2/3 yüksekliklerinden ve çapın 8 cm'ye düştüğü gövde bölümünden 5-7 cm kalınlığında toplam 4 adet enine kesit alınmıştır. Dallara ilişkin olarak, her bir ağacın dallarını temsil edecek şekilde ortalama bir dal örneği seçilmiş ve ibre örneği olarak da bu örnek daldaki ibrelerden faydalanılmıştır.

Enine kesitlerin çapları (d_i , cm) ve kabuk kalınlıkları (B_i , mm) ölçülmüş, kesit yükseklikleri de kuzey-güney ve doğu-batı yönünde yapılan 4 ölçümün ortalaması alınmak suretiyle hesaplanmıştır. Silindire benzedikleri kabul edilen kesitler üzerinde yapılan çap ve yükseklik ölçümleri ile elde edilen değerler yardımıyla kesitlerin kabuklu hacimleri hesaplanmış, daha sonra kabukları soyularak kabuksuz hacimleri belirlenmiştir. Kabuksuz hacimlerin kabuklu hacimlerden çıkarılması ile de kabuk hacimleri hesaplanmıştır.



Fotoğraf 3.3. Gövde enine kesitleri ve kabuk örnekleri



Fotoğraf 3.4. İbre örnekleri

3.1.4.1. Gövde odunu fırın kurusu ağırlıkların hesaplanması

Gövde odununa ilişkin fırın kurusu ağırlıkların hesaplanması amacıyla örnek ağaçların göğüs yüksekliğinden (1,30 m) ve ayrıca ticari gövdenin 1/3, 2/3 ve 3/3 yüksekliklerinden olacak şekilde her örnek ağaçtan alınan ve kabukları soyulan 4 adet enine kesit kurutma fırınında 105 ± 3 °C'de 72 saat süre ile kurutularak fırın kurusu hale getirilmiştir (Fotoğraf 3.5). Kurutma fırınından çıkarılan örnekler desikatörde soğutulmuş ve hassas terazi yardımıyla fırın kurusu ağırlıkları belirlenmiştir.

Örnek ağaçların hacimlerinin belirlenmesi amacıyla, arazi çalışmaları sırasında her bir örnek ağacın dip kütük yüksekliğinde (0,30 m), göğüs yüksekliğinde (1,30 m) ve 2,30 m'den başlamak üzere 2 m aralıklarla diğer tüm gövde yüksekliklerinde (4,30, 6,30, 8,30 m gibi) kabuklu gövde çapı ve kabuk kalınlığı ölçümleri yapılmış, ayrıca ağaç boyları belirlenmiştir. İlgili gövde yüksekliklerinden elde edilen kabuklu gövde çapı (d_i) değerlerinden çift kabuk kalınlığı değerleri ($2B_i$) çıkarılarak kabuksuz gövde çapı değerleri elde edilmiştir. Örnek ağaçların kabuksuz gövde hacimlerinin belirlenmesinde Bölümlenme Yönteminden yararlanılmış olup, ağaç gövdeleri dip kütük, seksiyonlar ve uç parça olmak üzere üç ana bölüme ayrılmış ve bu üç gövde

bölümün hacimleri ayrı ayrı hesaplanarak toplam suretiyle toplam kabuksuz gövde hacimleri elde edilmiştir. Uzunlukları 2 m olacak şekilde ayrılan seksiyonların hacimlendirilmesinde Uçlardaki Yüzeyle Ortalaması Denklemi'nden (Smalian Hacim Formülü) yararlanılmıştır.



Fotoğraf 3.5. Fırın kurusu ağırlıkların belirlenmesi

Her bir örnek ağacın toplam kabuksuz gövde hacmi, ilgili örnek ağaçtan alınan enine kesitlerin kabuksuz hacimleri ortalamasına oranlanarak bir oran elde edilmiş ve elde edilen oran, enine kesitlerin kabuksuz fırın kurusu ağırlıkları ortalaması ile çarpılarak her bir örnek ağacın gövde odunu fırın kurusu ağırlığı hesaplanmıştır. Sözü edilen oranlamalar için aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır:

$$M_G = M_{G(s)} \frac{V_G}{V_{G(s)}} \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte;

M_G : Gövde odununa ilişkin fırın kurusu biyokütle (kg),

$M_{G(s)}$: Enine kesitlere ilişkin ortalama gövde fırın kurusu biyokütle (kg),

V_G : Örnek ağacın gövde hacmi (m^3),

$V_{G(s)}$: Enine kesitlere ilişkin ortalama hacim (m^3).

3.1.4.2. Kabuk fırın kurusu ağırlıklarının hesaplanması

Kabuk örnekleri kurutma fırınına konularak 105 ± 3 °C'de 72 saat boyunca bekletilmiş ve fırından alınan örnekler desikatörde soğutulularak fırın kurusu ağırlıkları hassas terazide yapılan tartımlar ile belirlenmiştir.

Örnek ağaçların kabuklu hacimleri ile kabuksuz hacimleri arasındaki farklar yardımıyla her bir örnek ağacın toplam kabuk hacmi belirlenmiştir. Örnek ağacın kabuk hacmi, örnek ağaçtan alınan enine kesitlerin kabuk hacimleri ortalamasına oranlanarak elde edilen oran, enine kesitlerin kabuk fırın kurusu ağırlıklarının ortalaması ile çarpılarak her bir örnek ağacın kabuk fırın kurusu ağırlığı hesaplanmıştır. Sözü edilen oranlamalar için aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır:

$$M_K = M_{K(s)} \frac{V_K}{V_{K(s)}} \quad (3.2)$$

Bu eşitlikte;

M_K : Kabuğa ilişkin fırın kurusu biyokütle (kg),

$M_{K(s)}$: Enine kesitlere ilişkin ortalama kabuk fırın kurusu biyokütle (kg),

V_K : Örnek ağacın kabuk hacmi (m^3),

$V_{K(s)}$: Enine kesitlere ilişkin ortalama kabuk hacmi (m^3).

3.1.4.3. Dal fırın kurusu ağırlıklarının hesaplanması

Arazi çalışmaları sırasında seçilen örnek dalların fırın kurusu ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla dal örnekleri kurutma fırınında 105 ± 3 °C'de 72 saat boyunca kurutulmuş ve fırından alınarak desikatörde soğutulmuştur. Kurutulan dalların fırın kurusu ağırlıkları hassas terazi yardımıyla belirlenmiştir.

Örnek ağaçlarda fırın kurusu toplam dal ağırlığını hesaplayabilmek için Porté, Trichet, Bert ve Loustau (2002) tarafından önerilen aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır.

$$M_d = b_0 d_d^{b_1} \quad (3.3)$$

Bu eşitlikte;

M_d : Dallara ilişkin fırın kurusu biyokütle (kg),

d_d : Dallların gövde ile birleştiği noktadaki çap (cm).

Bu eşitliğe ilişkin katsayıların hesaplanabilmesi amacıyla örnek ağaçlardan alınan dal örneklerinde ölçülen çap değerleri ile bu dallara ilişkin fırın kurusu ağırlık değerleri kullanılarak Regresyon Analizi yapılmıştır. Çalışma kapsamında alınan 127 örnek ağaçtan toplam 230 adet örnek dal alınmıştır. Söz konusu eşitliğe ilişkin Regresyon Analizi'nde örnek dalların %75'ine (172 adet örnek dal) ilişkin verilerden yararlanılmış olup, kalan %25'lik kısma (58 adet örnek dal) ilişkin veriler ise elde edilen denklemlerin geçerliliğinin kontrolü amacıyla yapılacak Eşlendirilmiş t Testi için kullanılmıştır.

Her bir örnek ağaca ilişkin fırın kurusu toplam dal ağırlıkları, yapılan Regresyon Analizi sonucunda elde edilen denklem yardımıyla belirlenmiştir. Bu amaçla, her bir örnek ağaçta gövdeye birleştikleri yerden çapları ölçülen dalların fırın kurusu ağırlıkları ilgili denklem yardımıyla hesaplanmış ve tüm dallara ilişkin fırın kurusu ağırlıklar toplanarak ilgili örnek ağaca ilişkin fırın kurusu toplam dal ağırlığı aşağıdaki eşitlik yardımıyla elde edilmiştir.

$$M_D = \sum M_d \quad (3.4)$$

3.1.4.4. İbre fırın kurusu ağırlıklarının hesaplanması

Arazi çalışmaları sırasında seçilen örnek dallardan ayıklanan ibrelerin fırın kurusu ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla ibre örnekleri kurutma fırınında 105 ± 3 °C'de 48

saat boyunca kurutulmuş ve fırından alınarak desikatörde soğutulmuştur. Kurutulan ibrelerin fırın kurusu ağırlıkları hassas terazi yardımıyla belirlenmiştir.

Örnek ağaçlarda fırın kurusu toplam ibre ağırlığını hesaplayabilmek için yine Porté vd. (2002) tarafından dal ağırlıkları için önerilen ve bu çalışma kapsamında ibre ağırlıkları için uyarlanan aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır.

$$M_i = b_0 d_d^{b_1} \quad (3.5)$$

Bu eşitlikte;

M_i : İbrelere ilişkin fırın kurusu biyokütle (kg),

d_d : Dallarin gövde ile birleştiği noktadaki çap (cm).

Bu eşitliğe ilişkin katsayıların hesaplanabilmesi amacıyla örnek ağaçlardan alınan ibre örneklerinin alındığı dalların gövdeye birleştiği noktadaki çap değerleri ile ibre örneklerine ilişkin fırın kurusu ağırlık değerleri kullanılarak Regresyon Analizi yapılmıştır. Söz konusu eşitliğe ilişkin Regresyon Analizi'nde ibre örneklerinin %75'ine (172 adet ibre örneği) ilişkin verilerden yararlanılmış olup, kalan %25'lik kısma (58 adet ibre örneği) ilişkin veriler ise elde edilen denklemlerin geçerliliğinin kontrolü amacıyla yapılacak Eşlendirilmiş t Testi için kullanılmıştır.

Her bir örnek ağaca ilişkin fırın kurusu toplam ibre ağırlıkları, yapılan Regresyon Analizi sonucunda elde edilen denklemler yardımıyla belirlenmiştir. Bu amaçla, her bir örnek ağaçta gövdeye birleştikleri yerden çapları ölçülen dallara ilişkin fırın kurusu ibre ağırlıkları ilgili denklem yardımıyla hesaplanmış ve tüm dallara ilişkin fırın kurusu ibre ağırlıklar ayrı ayrı toplanarak ilgili örnek ağaca ilişkin fırın kurusu toplam ibre ağırlığı aşağıdaki eşitlik yardımıyla elde edilmiştir.

$$M_I = \sum M_i \quad (3.6)$$

3.1.4.5. Topraküstü toplam biyokütlenin hesaplanması

Örnek ağaçlara ilişkin toplam topraküstü biyokütle değerleri, her bir örnek ağaçtan alınan biyokütle bileşeni örneklerine ilişkin olarak hesaplanan toplam fırın kurusu ağırlıkların toplanması ile elde edilmiştir.

$$M_T = M_G + M_K + M_D + M_I \quad (3.7)$$

3.2. Yöntem

Arazi çalışmalarında örnek alanların alınmasının ve gerekli ölçümlerin yapılmasının ardından göğüs yüzeyi orta çapları belirlenmiş ve örnek alanlarda bu çaplara en yakın çap değerlerine sahip en az bir adet olmak üzere örnek ağaçlar alınmıştır. Örnek ağaçlardan elde edilen verilerle topraküstü tüm ağacın ve topraküstü bileşenlerin biyokütle denklemlerinin geliştirilmesi ve biyokütle tablolarının hazırlanmasında Regresyon Yöntemi'nden yararlanılmıştır.

Regresyon Analizi Yöntemi'nin amacı, örnek ağaçlarda yapılan ölçümlere dayanarak topraküstü ağaç bileşenlerinin ve ağacın topraküstü bölümünün tamamının biyokütlelerini, göğüs çapı ve boy gibi kolay ölçülebilen parametreler yardımıyla tahmin etmektir (Saraçoğlu, 1988). Örnek ağaçların gövde, kabuk, dal ve ibre olmak üzere her bir biyokütle bileşeninin ve bunların toplamından oluşan topraküstü biyokütlelerinin hesaplanmasında, bağımsız değişken olarak sadece göğüs çapının kullanıldığı Tek Girişli Biyokütle Denklemleri ve göğüs çapının yanında ağaç boyunun da bağımsız bir değişken olarak kullanıldığı Çift Girişli Biyokütle Denklemleri geliştirilmiştir. Çalışmada kullanılan regresyon analizleri için SPSS 20.0 paket programı kullanılmıştır.

Biyokütle denklemleri ve bu denklemler yardımıyla hazırlanan biyokütle tabloları yaş ve kuru biyokütle için olmak üzere iki farklı biçimde düzenlenmektedir. Fakat yaş ağırlık içerisinde bulunan nem miktarının ağaç türüne, yetişme ortamına, kesim zamanına, iklim koşullarına ve ağaç içerisinde gövdenin boyuna kesitinde alt bölümden üst bölüme ve yatay kesitinde de dışta içe farklılıklar göstermesi nedenleriyle biyokütle tablolarının fırın kurusu ağırlıklara göre düzenlenmesinin

daha uygun olduğu belirtilmektedir (Saraçoğlu, 1988; Saraçoğlu, 1998). Bu çalışmada da her bir topraküstü bileşenin (gövde, kabuk dal ve ibre) biyokütlesine ve topraküstü toplam biyokütleye ilişkin denklem ve tabloların fırın kurusu ağırlıklar esas alınarak düzenlenmesi kararlaştırılmıştır.

3.2.1. Biyokütle Denklemlerinin Geliştirilmesi

Biyokütle denklemleri, kullanılan bağımsız değişken sayısına göre Tek, Çift veya Çok Girişli Biyokütle Denklemleri şeklinde sınıflandırılabilirler. Tek girişli denklemler yalnızca göğüs çapı ve göğüs çapından türetilen değişkenleri (d^2 , $\log(d)$ gibi), çift girişli denklemler göğüs çapı ile birlikte ağaç boyu ve bu iki değişkenden türetilen değişkenleri (d^2 , h^2 , $\log(d)$, $\log(h)$ gibi) ve çok girişli denklemler de göğüs çapı ve ağaç boyuna ek olarak hacim yoğunluk değeri, nem oranı vb. değişkenleri de bağımsız değişken olarak içeren denklemlerdir.

Tek girişli denklemler sadece çap ölçümüne bağlı olarak biyokütle miktarını vermesi bakımından büyük kolaylık sağlamaktadır. Alvarez vd. (2012), biyokütle tahmini için yöresel olarak hazırlanan denklemlerin genellikle tek girişli olduğunu, bölgesel veya daha büyük alanlar için biyokütle tahminlerinde ise yalnızca göğüs çapının kullanılmasının çift veya çok girişli denklemlerin kullanımına göre daha fazla yanılma payına sahip olabileceğini belirtmişlerdir. Bu çalışma kapsamında tek girişli ve çift girişli biyokütle denklemlerinin geliştirilmesi amaçlanmış, çok girişli denklemler ise çalışma kapsamına alınmamıştır.

Literatürde çok sayıda tek ve çift girişli biyokütle denklemleri bulunmaktadır (Alemdađ, 1981; Brown vd., 1989; Brown, 1997; Araujo vd., 1999; Good, Paterson, Brack ve Mengersen, 2001; Keller, Palace ve Hurtt, 2001; Jenkins vd., 2003; Chave vd., 2005; Cienciala, Černý, Apltauer ve Exnerová, 2005; Cole ve Ewel, 2006; Ünsal, 2007; Zianis, 2008; Lima vd., 2012; Guendehou vd., 2012; Chaturvedi ve Raghubanshi, 2013; Lim vd., 2013; Alfaro-Sanchez vd., 2014; Colgan, Swemmer ve Asner, 2014; Ma, Liu, Sun ve Grabosky, 2014; Yılmaz, 2015). Çalışma kapsamında topraküstü bileşenlerin biyokütleleri ile topraküstü toplam biyokütlenin tahmin edilmesinde kullanılmak üzere geliştirilecek denklemlerin belirlenmesi için, sözü

edilen literatürde yer alan denklemler arasından 18 adet tek girişli ve 21 adet çift girişli biyokütle denklemi seçilmiştir. Seçilen tek ve çift girişli biyokütle denklemleri aşağıda verilmiştir:

Tek Girişli Denklemler;

$$M = b_0 + b_1d \quad (3.8)$$

$$M = b_0 + b_1d + b_2d^2 \quad (3.9)$$

$$M = b_0 + b_1d + b_2d^2 + b_3d^3 \quad (3.10)$$

$$M = b_0 + \frac{b_1}{d} \quad (3.11)$$

$$M = b_0 + b_1d^2 \quad (3.12)$$

$$M = b_1d + b_1d^2 \quad (3.13)$$

$$M = b_0d^2 \quad (3.14)$$

$$M = b_0d^{b_1} \quad (3.15)$$

$$M = b_0 + b_1d^{b_2} \quad (3.16)$$

$$M = b_0b_1^d \quad (3.17)$$

$$M = e^{b_0+b_1d} \quad (3.18)$$

$$M = e^{b_0+\frac{b_0}{d}} \quad (3.19)$$

$$M = b_0e^{b_1d} \quad (3.20)$$

$$M = b_0 + b_1\ln(d) \quad (3.21)$$

$$\ln(M) = b_0 + b_1\ln(d) \quad (3.22)$$

$$\ln(M) = b_0 + b_1d + b_2d^2 \quad (3.23)$$

$$\ln(M) = b_0 + b_1\ln(d^2) \quad (3.24)$$

$$\log(M) = b_0 + b_1\log(\pi d) \quad (3.25)$$

Çift Girişli Denklemler;

$$M = b_0 + b_1d + b_2d^2 + b_3h \quad (3.26)$$

$$M = b_0 + b_1d + b_2d^2 + b_3(dh) \quad (3.27)$$

$$M = b_0 + b_1d + b_2h + b_3(d^2h) \quad (3.28)$$

$$M = b_0 + b_1h + b_2d^2 \quad (3.29)$$

$$M = b_0 + b_1d^2 + b_2(dh) \quad (3.30)$$

$$M = b_0 + b_1d + b_2h + b_3d^2 + b_4h^2 \quad (3.31)$$

$$M = b_0 + b_1 \frac{d}{h} \quad (3.32)$$

$$M = b_0d^{b_1}h^{b_2} \quad (3.33)$$

$$M = b_0 + b_1(d^2h) \quad (3.34)$$

$$M = b_1(d^2h) \quad (3.35)$$

$$M = b_0(d^2h)^{b_1} \quad (3.36)$$

$$M = b_0 + b_1d^2 + b_2(d^2h) \quad (3.37)$$

$$M = b_1d^2 + b_2h + b_3(d^2h) \quad (3.38)$$

$$M = b_0 + b_1d + b_2(dh) + b_3d^2 + b_4(d^2h) \quad (3.39)$$

$$M = b_0 + b_1d + b_2(dh) + b_3d^2 + b_4h + b_5(d^2h) \quad (3.40)$$

$$\ln(M) = b_0 + b_1\ln(d) + b_2\ln(h) \quad (3.41)$$

$$\ln(M) = b_0 + b_1\ln(d^2) + b_2\ln(h) \quad (3.42)$$

$$\ln(M) = b_0 + b_1\ln(d^2) + b_2\ln(h^2) \quad (3.43)$$

$$\ln(M) = b_0 + b_1\ln(d) + b_2\ln(d^2h) \quad (3.44)$$

$$\ln(M) = b_0 + b_1\ln(d) + b_2\ln(h) + b_3\ln(d^2h) \quad (3.45)$$

$$\ln(M) = b_0 + b_1\ln(d^2h) \quad (3.46)$$

Yukarıda verilen biyokütle denklemlerinin parametrelerinin tahmin edilmesinde Regresyon Analizi Yöntemi kullanılmış ve bu analiz için tek girişli denklemlerde örnek ağaçlara ilişkin göğüs çapı ve fırın kurusu biyokütle değerleri, çift girişli denklemlerde ise örnek ağaçlara ilişkin göğüs çapı, boy ve fırın kurusu biyokütle değerleri dikkate alınmıştır.

3.2.2. Uyumlu Hacim-Biyokütle Denklemlerinin Geliştirilmesi

Ağaç hacim denklemleri ve biyokütle denklemleri üzerine yapılan araştırmalar genellikle birbirinden bağımsız olarak yürütülmekte olup, biyokütle denklemlerinin hacim denklemleri ile uyumluluğu üzerine yapılan çalışmalar sınırlı sayıdadır. Zang ve Teng (2012), aynı matematiksel forma sahip çift girişli bir hacim denklemi ile çift girişli bir biyokütle denkleminin uyumluluğu üzerine yapmış oldukları araştırmada sözü edilen biyokütle denkleminde hacmin de bağımsız değişken olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Sözü edilen hacim (V) ve biyokütle (M) denklemleri;

$$V = a_0 d^{a_1} h^{a_2} \quad (3.47)$$

$$M = b_0 d^{b_1} h^{b_2} \quad (3.48)$$

şeklinindedir. Bu iki denklemin birbirlerine oranlanması ile elde edilecek Biyokütle Çevirme Katsayısı (BÇF) yardımıyla hacmi bilinen bir ağaca ilişkin çeşitli biyokütle değerleri doğrudan hesaplanabilmektedir. BÇF denklemi;

$$BÇF = M/V = (b_0 d^{b_1} h^{b_2}) / (a_0 d^{a_1} h^{a_2})$$

şeklinde olup, denklemin sadeleştirilmesiyle elde edilen 3.49 nolu denklem uyumlu biyokütle hacim denklemi olmaktadır.

$$M/V = c_0 d^{c_1} h^{c_2}$$

$$M = (c_0 d^{c_1} h^{c_2}) V \quad (3.49)$$

Denkleminde yer alan c_i katsayıları, uyumlu denklemin elde edildiği hacim ve biyokütle denklemlerine ilişkin a_i ve b_i katsayıları ile aşağıdaki şekilde ilişki göstermektedir.

$$c_0 = b_0 / a_0$$

$$c_1 = b_1 - a_1$$

$$c_2 = b_2 - a_2$$

Yukarıda açıklanan çift girişli hacim, çift girişli biyokütle ve uyumlu biyokütle-hacim denklemlerinin katsayıları (a_i , b_i , c_i) Regresyon Analizi yardımıyla birbirlerinden bağımsız olarak hesaplandıklarında bu denklemler arasında bir uyumluluk oluşturulamamaktadır. Ancak, her üç denklemin katsayıları İki Aşamalı En Küçük Kareler Yöntemi ile eşzamanlı hesaplanacak olursa uyumlu biyokütle ve hacim denklemleri geliştirilebilmektedir.

Bu çalışma kapsamında ; (i) Uyumlu gövde odunu biyokütlesi ve kabuksuz gövde hacmi denklemleri, (ii) Uyumlu kabuklu gövde biyokütlesi ve kabuklu gövde hacmi denklemleri ve (iii) Uyumlu topraküstü toplam biyokütle ve kabuklu gövde hacmi denklemleri olmak üzere üç farklı uyumlu biyokütle-hacim denklemleri geliştirilmiştir.

Uyumlu gövde odunu biyokütlesi ve kabuksuz gövde hacmi denklemlerinin geliştirilmesinde öncelikle kabuksuz gövde hacim tahminlerinde kullanılmak üzere çift girişli hacim denklemi (3.47 nolu denklem) geliştirilmiştir. Bu denklemlerin geliştirilmesi için Doğrusal Olmayan Regresyon Analizinden yararlanılmış, analizde örnek ağaçlara ilişkin kabuksuz gövde hacimleri (V_{kbs}) bağımlı değişken ve göğüs çapı (d) ve boy (h) değerleri de bağımsız değişkenler olarak kullanılmıştır. İkinci aşamada ise yine Doğrusal Olmayan Regresyon Analizinden yararlanılarak gövde odunu biyokütlesinin (M_g) bağımlı değişken ve göğüs çapı (d), boy (h) ve ilk aşamada geliştirilen denklem yardımıyla tahmin edilen kabuksuz gövde hacmi değerlerinin (V_{kbs}) bağımsız değişkenler olarak kullanıldığı uyumlu gövde odunu biyokütle denklemi (3.49 nolu denklem) geliştirilmiştir.

Uyumlu kabuklu gövde odunu biyokütlesi ve kabuklu gövde hacmi denklemleri için ilk olarak Doğrusal Olmayan Regresyon Analizinden yararlanılarak çift girişli kabuklu gövde hacmi denklemi (3.47 nolu denklem) geliştirilmiştir. Bu amaçla örnek ağaçlara ilişkin kabuklu gövde hacimleri (V_{kbl}) bağımlı değişken ve göğüs çapı (d) ve boy (h) değerleri de bağımsız değişkenler olarak kullanılmıştır. Sonrasında, kabuklu gövde biyokütlesinin (M_{gk}) bağımlı değişken ve göğüs çapı (d), boy (h) ve ilk

aşamada geliştirilen denklem yardımıyla tahmin edilen kabuklu gövde hacmi değerlerinin (V_{kbl}) bağımsız değişkenler olarak kullanıldığı uyumlu kabuklu gövde biyokütle denklemi (3.49 nolu denklem) geliştirilmiştir. Bu çalışmanın biyokütle tahminlerine ilişkin denklemlerin geliştirilmesi aşamasında topraküstü biyokütle bileşenlerinden gövde odunu ve kabuk biyokütlerinin ayrı ayrı dikkate alınmış olması nedeniyle, kabuklu gövde biyokütlesi tahminlerinde kullanılacak denklemin geliştirilmesi için bağımlı değişken olarak kullanılacak kabuklu gövde biyokütlesi değerleri gövde odunu biyokütlesi ile kabuk biyokütlesi değerlerinin toplanması suretiyle elde edilmiştir.

Uyumlu topraküstü toplam biyokütle ve kabuklu gövde hacmi denklemlerinin geliştirilmesinde ise yine Doğrusal Olmayan Regresyon Analizinden yararlanılarak topraküstü toplam biyokütlenin (M_t) bağımlı değişken ve göğüs çapı (d), boy (h) ve kabuklu gövde hacmi değerlerinin (V_{kbl}) bağımsız değişkenler olarak kullanıldığı uyumlu topraküstü toplam biyokütle denklemi geliştirilmiştir.

3.2.3. Biyokütle Denklemlerinin İstatistiksel Başarılarının Belirlenmesi

Biyokütle denklemlerinin başarılarının ortaya konulmasında 4 farklı istatistiksel ölçütten yararlanılmıştır. Bu ölçütler; Belirtme Katsayısı (R^2), Ortalama Hata ($Bias$), Hata Kareler Ortalamasının Karekökü ($RMSE$) ve Akaike Bilgi Kriteri (AIC)'dir. Kullanılan ölçütlere ilişkin eşitlikler aşağıda verilmiştir.

Belirtme Katsayı:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} \quad (3.47)$$

Ortalama Hata:

$$Bias = \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)}{n} \quad (3.48)$$

Hata Kareler Ortalamasının Karekökü:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{n-p}} \quad (3.49)$$

Akaike Bilgi Kriteri:

$$AIC = n \ln \left(\frac{SSE}{n} \right) + 2p \quad (3.50)$$

Bu eşitliklerde;

y_i : Ölçülen değer,

\hat{y}_i : Denklemden hesaplanan değer,

\bar{y} : Ölçülen ortalama değer,

SSE : Gerçek değerler ile tahmin değerlerinin farklarının karelerinin toplamı,

p : Regresyon denklemindeki parametre sayısı,

n : Örnek sayısı.

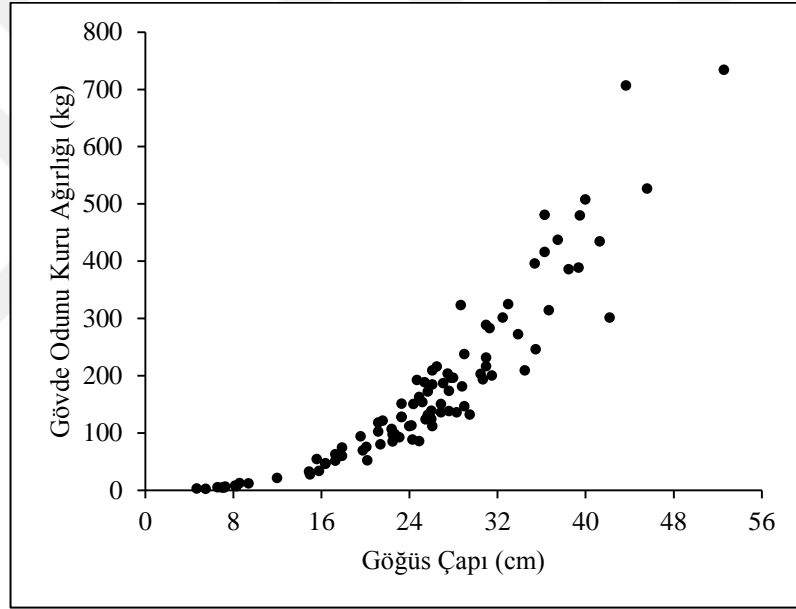
Her bir biyokütle bileşenine ilişkin ayrı ayrı biyokütlelerin ve ağacın topraküstü toplam biyokütlesinin tahmini için kullanılacak olan en uygun biyokütle denklemleri, tüm parametreleri %95 güven düzeyinde anlamlı bulunan denklemler arasında belirtme katsayısı en yüksek, ortalama hata, hata kareler ortalaması ve Akaike bilgi kriteri değerleri en düşük olan denklemler seçilmiştir. Bu amaçla, denenen regresyon denklemlerine ilişkin uygunluk ölçütlerinin her birine göre başarı sıralaması yapılarak, en iyi denkleme 1 ve en kötü denkleme n (denenen denklem sayısı) olmak üzere 1'den n'e kadar sıra numarası (RANK) verilmiştir. Daha sonra her bir denklemin dört ölçüte ilişkin sıra numaraları toplanarak en küçük toplam değere sahip denklem en uygun denklem olarak belirlenmiştir.

3.2.4. Biyokütle Denklemlerinin Kontrolü

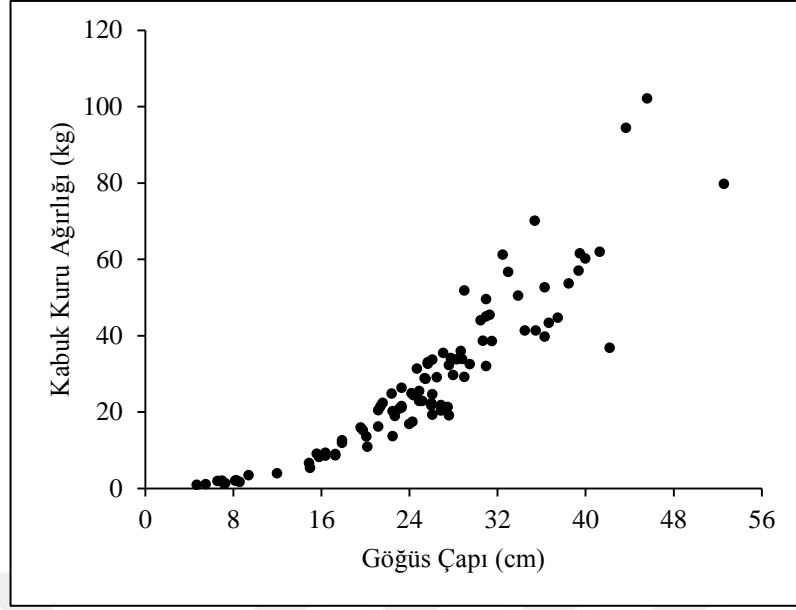
95 adet örnek ağaçtan elde edilen veriler kullanılarak geliştirilen denklemlerin bağımsız bir veri grubu için geçerlilikleri, kontrol için ayrılan 32 örnek ağaca ilişkin gerçek biyokütle değerleri ile geliştirilen denklemler yardımıyla hesaplanan tahmini biyokütle değerlerinin Eşlendirilmiş Örnekler İçin t Testi yardımıyla karşılaştırılması ile kontrol edilmiştir.

4. BULGULAR

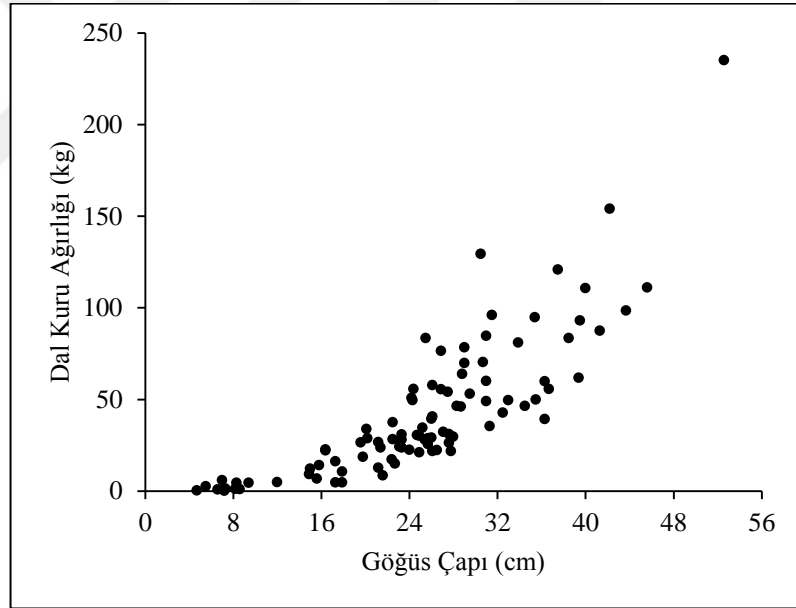
Örnek ağaçlara ilişkin her bir biyokütle bileşenine ve topraküstü toplam biyokütleyle ilişkin olarak, çalışma kapsamında gerçekleştirilen arazi çalışmaları ile elde edilen biyokütle değerlerinin göğüs çapı ile göstermiş olduğu ilişkiler Grafik 4.1-4.5'te verilmiştir. Şekiller incelendiğinde her bir biyokütle bileşeninin ve toplam topraküstü biyokütlenin çap ile pozitif yönlü bir değişim gösterdiği gözlenmektedir. Diğer bir ifadeyle her bir bileşenin biyokütlesi ve topraküstü toplam biyokütle çap ile birlikte artmaktadır.



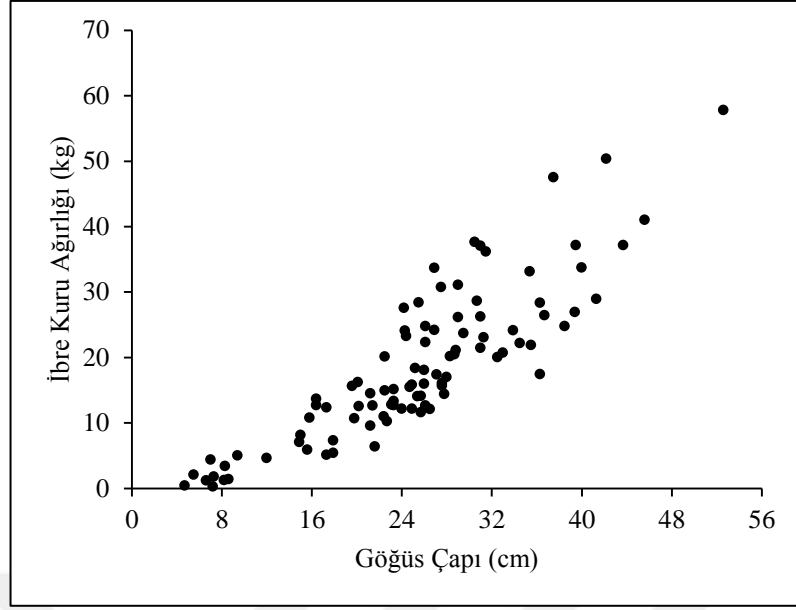
Grafik 4.1. Gövde odunu kuru ağırlığının göğüs çapına göre değişimi



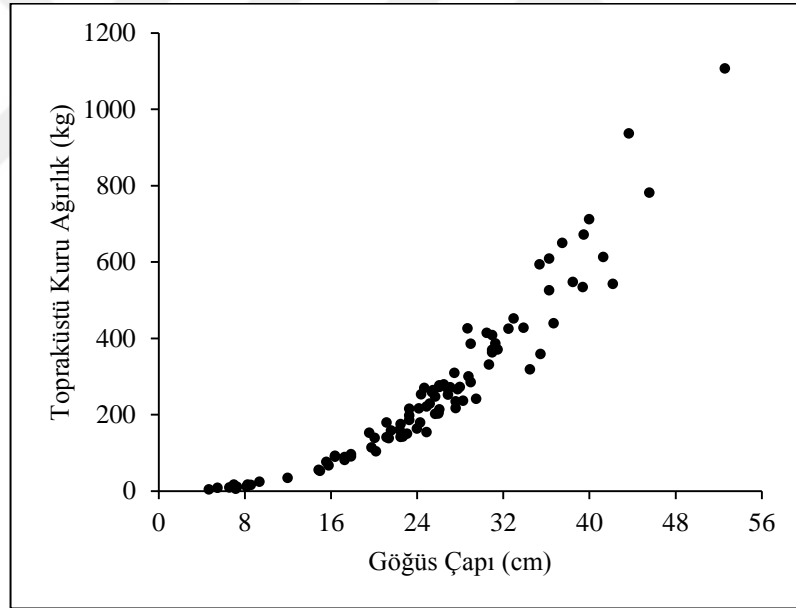
Grafik 4.2. Kabuk kuru ağırlığının göğüs çapına göre değişimi



Grafik 4.3. Dal kuru ağırlığının göğüs çapına göre değişimi



Grafik 4.4. İbre kuru ağırlığının göğüs çapına göre değişimi



Grafik 4.5. Topraküstü toplam kuru ağırlığının göğüs çapına göre değişimi

Biyokütle denklemlerinin geliştirilmesi amacıyla 18 adet tek girişli ve 21 adet çift girişli biyokütle denklemi olmak üzere toplam 39 adet regresyon denklemi denenmiştir.

Örnek ağaçlara ilişkin fırın kuru toplam dal ve ibre ağırlıklarını hesaplayabilmek için, örnek ağaçlardan alınan dal ve ibre örneklerinin fırın kuru ağırlıkları ile bu

örnek dalların gövdeye birleştikleri noktadaki çap değerleri kullanılarak Porté vd. (2002) tarafından geliştirilen denklemin katsayıları dal ve ibre için ayrı ayrı hesaplanmış olup, bu katsayılar Tablo 4.1’de verilmiştir. Geliştirilen bu denklemlerin geçerlilikleri 58 örnek daldan oluşan bağımsız bir veri grubuyla test edilmiş ve denklemlerin %95 güven düzeyinde kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır ($p>0,05$).

Tablo 4.1. *Tek dala ilişkin dal ve ibre biyokütle denklemlerinin parametre tahmin değerleri*

Biyokütle Bileşeni	Katsayılar		R^2	F	p
	b_0	b_1			
Dal	86,456	2,119	0,904	1600,446	0,000
İbre	99,468	1,356	0,853	983,016	0,000

Her bir biyokütle bileşeni ve topraküstü tüm ağaç için denenen tek ve çift girişli biyokütle denklemlerine ait R^2 , F ve p değerleri ile parametre tahmin değerleri ve bu değerlere ilişkin önemlilik düzeyleri Tablo 4.2-4.6’da verilmiştir. Tablo 4.6’dan görüleceği üzere topraküstü toplam biyokütle denklemlerinden 3.16 nolu denklemin katsayıları hesaplanamamıştır.

Tablo 4.2. Gövde odunu biyokütle denklemlerine ilişkin parametre tahmin değerleri

Model No	R ²	F	p	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅
Tek Girişli Denklemler									
3.8	0,810	396,850	0,000	178,421 ^{***}	14,079 ^{***}				
3.9	0,900	415,987	0,000	4,787 ^{ns}	-2,935 ^{ns}	0,338 ^{***}			
3.10	0,902	279,133	0,000	43,412 ^{ns}	-9,317 ^{ns}	0,616 [*]	-0,003 ^{ns}		
3.11	0,342	48,380	0,000	302,546 ^{***}	-2488,938 ^{***}				
3.12	0,898	818,172	0,000	-29,829 ^{**}	0,284 ^{***}				
3.13	0,959	1076,483	0,000		-2,581 ^{***}	0,332 ^{***}			
3.14	0,952	1875,648	0,000		0,256 ^{***}				
3.15	0,971	3114,943	0,000	0,033 ^{***}	2,578 ^{***}				
3.16	0,900	704,265	-	-14,331 ^{ns}	0,143 ^{ns}	2,177 ^{ns}			
3.17	0,861	574,311	0,000	4,719 ^{***}	1,132 ^{***}				
3.18	0,861	574,311	0,000	1,552 ^{***}	0,124 ^{***}				
3.19	0,895	796,407	0,000	6,402 ^{***}	-34,289 ^{***}				
3.20	0,861	574,311	0,000	4,719 ^{***}	0,124 ^{***}				
3.21	0,584	130,797	0,000	-558,835 ^{***}	234,891 ^{***}				
3.22	0,971	3114,943	0,000	-3,406 ^{***}	2,578 ^{***}				
3.23	0,960	1110,100	0,000	-0,087 ^{ns}	0,276 ^{***}	-0,003 ^{***}			
3.24	0,971	3114,943	0,000	-3,406 ^{***}	1,289 ^{***}				
3.25	0,971	3114,943	0,000	-2,761 ^{***}	2,578 ^{***}				
Çift Girişli Denklemler									
3.26	0,956	654,335	0,000	-20,448 ^{ns}	-11,960 ^{***}	0,406 ^{***}	13,775 ^{***}		
3.27	0,967	894,192	0,000	35,459 [*]	-8,682 ^{***}	0,214 ^{***}	0,500 ^{***}		
3.28	0,970	967,646	0,000	-20,616 ^{ns}	-0,007 ^{ns}	3,130 ^{**}	0,012 ^{***}		
3.29	0,927	581,152	0,000	-109,283 ^{***}	8,313 ^{***}	0,225 ^{***}			
3.30	0,948	840,110	0,000	-59,904 ^{***}	0,097 ^{***}	0,406 ^{***}			
3.31	0,965	617,996	0,000	66,297 ^{**}	-4,284 [*]	-11,675 [*]	0,283 ^{***}	0,770 ^{***}	
3.32	0,144	15,604	0,000	-71,262 ^{ns}	146,499 ^{***}				
3.33	0,971	2480,967	-	0,027 ^{***}	1,717 ^{***}	1,119 ^{***}			
3.34	0,966	2667,122	0,000	12,140 ^{**}	0,013 ^{***}				
3.35	0,985	6080,724	0,000		0,014 ^{***}				
3.36	0,991	10833,518	0,000	0,020 ^{***}	0,965 ^{***}				
3.37	0,967	1331,469	0,000	16,014 ^{**}	-0,021 ^{ns}	0,014 ^{***}			
3.38	0,987	2347,555	0,000		-0,024 ^{ns}	1,768 ^{***}	0,014 ^{***}		
3.39	0,971	740,536	0,000	-16,384 ^{ns}	2,004 ^{ns}	0,080 ^{ns}	-0,076 ^{ns}	0,013 ^{**}	
3.40	0,971	591,672	0,000	5,977 ^{ns}	1,482 ^{ns}	0,265 ^{ns}	-0,080 ^{ns}	-3,823 ^{ns}	0,011 [*]
3.41	0,992	5472,405	0,000	-3,952 ^{***}	1,860 ^{***}	1,062 ^{***}			
3.42	0,992	5472,405	0,000	-3,952 ^{***}	0,930 ^{***}	1,062 ^{***}			
3.43	0,992	5472,405	0,000	-3,952 ^{***}	0,930 ^{***}	0,531 ^{***}			
3.44	0,992	5472,405	0,000	-3,952 ^{***}	-0,264 ^{ns}	1,062 ^{***}			
3.45	0,992	3644,219	0,000	-4,138 ^{***}	-0,582 ^{ns}	-0,011 ^{ns}	1,213 ^{***}		
3.46	0,991	10833,518	0,000	-3,916 ^{***}	0,965 ^{***}				

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

Tablo 4.3. Kabuk biyokütle denklemlerine ilişkin parametre tahmin değerleri

Model No	R ²	F	p	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅
Tek Girişli Denklemler									
3.8	0,826	440,040	0,000	-20,367***	1,935***				
3.9	0,855	270,845	0,000	-6,163 ^{ns}	0,615 ^{ns}	0,026***			
3.10	0,863	191,722	0,000	6,197 ^{ns}	-1,427 ^{ns}	0,115**	-0,001*		
3.11	0,410	64,562	0,000	47,168***	-370,713***				
3.12	0,849	522,468	0,000	1,094 ^{ns}	0,038***				
3.13	0,950	878,754	0,000		0,159 ^{ns}	0,034***			
3.14	0,949	1738,025	0,000		0,039**				
3.15	0,958	2111,433	0,000	0,024***	2,135***				
3.16	0,856	602,476	-	-4,251 ^{ns}	0,150 ^{ns}	1,645 ^{ns}			
3.17	0,855	546,662	0,000	1,461***	1,108***				
3.18	0,855	546,662	0,000	0,379**	0,103***				
3.19	0,865	597,475	0,000	4,390***	-28,107***				
3.20	0,855	546,662	0,000	1,461***	0,103***				
3.21	0,647	170,473	0,000	-76,914***	33,640***				
3.22	0,958	2111,433	0,000	-3,718***	2,135***				
3.23	0,960	1092,223	0,000	-1,024***	0,233***	-0,003***			
3.24	0,958	2111,433	0,000	-3,718***	1,068***				
3.25	0,958	2111,433	0,000	-2,676*	2,135*				
Çift Girişli Denklemler									
3.26	0,873	208,956	0,000	-8,146*	-0,094 ^{ns}	0,032***	1,082***		
3.27	0,882	226,841	0,000	-3,497 ^{ns}	0,116 ^{ns}	0,015*	0,043***		
3.28	0,882	226,556	0,000	-7,459*	0,798***	0,236 ^{ns}	0,001***		
3.29	0,873	316,603	0,000	-8,842**	1,040***	0,030***			
3.30	0,882	343,395	0,000	-2,225 ^{ns}	0,017***	0,045***			
3.31	0,878	162,637	0,000	0,770 ^{ns}	0,695 ^{ns}	-1,534 ^{ns}	0,019*	0,079 ^{ns}	
3.32	0,206	24,158	0,000	-12,011 ^{ns}	23,888***				
3.33	0,883	746,017	-	0,038***	1,500***	0,620***			
3.34	0,852	535,890	0,000	7,394***	0,002***				
3.35	0,930	1254,740	0,000		0,002***				
3.36	0,962	2337,105	0,000	0,017***	0,793***				
3.37	0,864	292,793	0,000	4,042*	0,018**	0,001**			
3.38	0,957	687,299	0,000		0,017**	0,460***	0,001**		
3.39	0,884	170,798	0,000	-8,313 ^{ns}	1,109 ^{ns}	0,004 ^{ns}	-0,011 ^{ns}	0,001 ^{ns}	
3.40	0,888	140,971	0,000	3,560 ^{ns}	0,831 ^{ns}	0,103 ^{ns}	-0,014 ^{ns}	-2,030 ^{ns}	0,0002 ^{ns}
3.41	0,964	1237,620	0,000	-3,970***	1,803***	0,491***			
3.42	0,964	1237,620	0,000	-3,970***	0,902***	0,491***			
3.43	0,964	1237,620	0,000	-3,970***	0,902***	0,246***			
3.44	0,964	1237,620	0,000	-3,970***	0,821*	0,491***			
3.45	0,964	816,274	0,000	-3,925***	0,898 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,455 ^{ns}		
3.46	0,962	2337,105	0,000	-4,081***	0,793***				

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

Tablo 4.4. Dal biyokütle denklemlerine ilişkin parametre tahmin değerleri

Model No	R ²	F	p	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅
Tek Girişli Denklemler									
3.8	0,670	188,734	0,000	-39,191 ^{***}	3,257 ^{***}				
3.9	0,756	142,262	0,000	6,231 ^{ns}	-0,962 ^{ns}	0,084 ^{***}			
3.10	0,765	98,811	0,000	-18,030 ^{ns}	3,047 ^{ns}	-0,091 ^{ns}	0,002 ^{ns}		
3.11	0,291	38,088	0,000	72,453 ^{***}	-583,410 ^{***}				
3.12	0,752	281,275	0,000	-5,108 ^{ns}	0,066 ^{***}				
3.13	0,893	386,151	0,000		-0,500 ^{ns}	0,076 ^{***}			
3.14	0,889	750,256	0,000		0,061 ^{***}				
3.15	0,837	475,816	0,000	0,009 ^{**}	2,547 ^{***}				
3.16	0,759	259,670	-	3,490 ^{ns}	0,011 ^{ns}	2,474 ^{ns}			
3.17	0,732	254,319	0,000	1,179 ^{***}	1,129 ^{***}				
3.18	0,732	254,319	0,000	0,164 ^{ns}	0,121 ^{***}				
3.19	0,782	333,086	0,000	4,947 ^{***}	-34,090 ^{***}				
3.20	0,732	254,319	0,000	1,179 ^{***}	0,121 ^{***}				
3.21	0,487	88,146	0,000	-127,773 ^{***}	54,522 ^{***}				
3.22	0,837	475,816	0,000	-4,751 ^{***}	2,547 ^{***}				
3.23	0,824	215,261	0,000	-1,509 ^{***}	0,277 ^{***}	-0,003 ^{***}			
3.24	0,837	475,816	0,000	-4,751 ^{***}	1,273 ^{***}				
3.25	0,837	475,816	0,000	-3,329 ^{***}	2,547 ^{***}				
Çift Girişli Denklemler									
3.26	0,822	140,032	0,000	13,261 ^{ns}	1,553 ^{ns}	0,065 ^{***}	-3,838 ^{***}		
3.27	0,831	149,308	0,000	-2,066 ^{ns}	0,593 ^{ns}	0,118 ^{***}	-0,135 ^{***}		
3.28	0,811	130,173	0,000	7,984 ^{ns}	3,743 ^{***}	-5,390 ^{***}	0,002 ^{***}		
3.29	0,814	201,826	0,000	24,795 ^{***}	-3,129 ^{***}	0,088 ^{***}			
3.30	0,830	224,219	0,000	4,447 ^{ns}	0,125 ^{***}	-0,129 ^{***}			
3.31	0,826	106,897	0,000	-1,606 ^{ns}	0,237 ^{ns}	0,524 ^{ns}	0,086 ^{***}	-0,132 ^{ns}	
3.32	0,485	87,613	0,000	-72,986 ^{***}	68,476 ^{***}				
3.33	0,834	390,359	-	0,059 ^{***}	2,954 ^{***}	-1,164 ^{***}			
3.34	0,618	150,173	0,000	9,495 [*]	0,003 ^{***}				
3.35	0,820	429,397	0,000		0,003 ^{***}				
3.36	0,774	317,957	0,000	0,008 [*]	0,907 ^{***}				
3.37	0,798	181,401	0,000	-14,673 ^{***}	0,130 ^{***}	-0,003 ^{***}			
3.38	0,922	363,217	0,000		0,131 ^{***}	-1,538 ^{***}	-0,002 ^{***}		
3.39	0,831	110,793	0,000	-3,736 ^{ns}	0,937 ^{ns}	-0,149 ^{ns}	0,108 ^{ns}	0,000 ^{ns}	
3.40	0,832	88,036	0,000	-12,148 ^{ns}	1,134 ^{ns}	-0,219 ^{ns}	0,110 ^{ns}	1,438 ^{ns}	0,001 ^{ns}
3.41	0,879	334,870	0,000	-3,915 ^{***}	3,646 ^{***}	-1,626 ^{***}			
3.42	0,879	334,870	0,000	-3,915 ^{***}	1,823 ^{***}	-1,626 ^{***}			
3.43	0,879	334,870	0,000	-3,915 ^{***}	1,823 ^{***}	-0,813 ^{***}			
3.44	0,879	334,870	0,000	-3,915 ^{***}	6,897 ^{***}	-1,626 ^{***}			
3.45	0,879	220,834	0,000	-3,859 ^{***}	6,993 ^{***}	0,003 ^{ns}	-1,671 [*]		
3.46	0,774	317,957	0,000	-4,845 ^{***}	0,907 ^{***}				

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

Tablo 4.5. İbre biyokütle denklemlerine ilişkin parametre tahmin değerleri

Model No	R ²	F	p	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅
Tek Girişli Denklemler									
3.8	0,749	278,082	0,000	-7,708 ^{***}	1,042 ^{***}				
3.9	0,761	146,154	0,000	-2,736 ^{ns}	0,580 [*]	0,009 [*]			
3.10	0,761	96,568	0,000	-4,169 ^{ns}	0,817 ^{ns}	-0,001 ^{ns}	0,000 ^{ns}		
3.11	0,430	70,095	0,000	29,432 ^{***}	-214,684 ^{***}				
3.12	0,744	270,467	0,000	4,109 ^{***}	0,020 ^{***}				
3.13	0,933	650,323	0,000		0,378 ^{***}	0,013 ^{***}			
3.14	0,918	1053,510	0,000		0,024 ^{***}				
3.15	0,840	487,261	0,000	0,049 ^{***}	1,804 ^{***}				
3.16	0,760	432,834	-	-1,162 ^{ns}	0,193 ^{ns}	1,421 ^{ns}			
3.17	0,718	237,080	0,000	1,625 ^{***}	1,089 ^{***}				
3.18	0,718	237,080	0,000	0,485 ^{**}	0,085 ^{***}				
3.19	0,803	378,852	0,000	3,861 ^{***}	-24,421 ^{***}				
3.20	0,718	237,080	0,000	1,625 ^{***}	0,085 ^{***}				
3.21	0,626	155,486	0,000	-39,999 ^{***}	18,706 ^{***}				
3.22	0,840	487,261	0,000	-3,021 ^{***}	1,804 ^{***}				
3.23	0,825	217,278	0,000	-0,792 ^{***}	0,204 ^{***}	-0,002 ^{***}			
3.24	0,840	487,261	0,000	-3,021 [*]	0,902 [*]				
3.25	0,840	487,261	0,000	-2,208 [*]	1,804 [*]				
Çift Girişli Denklemler									
3.26	0,801	121,794	0,000	-1,083 ^{ns}	1,171 ^{***}	0,005 ^{ns}	-0,902 ^{***}		
3.27	0,797	118,728	0,000	-4,467 ^{ns}	0,905 ^{***}	0,016 ^{***}	-0,028 ^{***}		
3.28	0,801	121,834	0,000	-1,185 ^{ns}	1,315 ^{***}	-1,023 ^{***}	0,000 ^{ns}		
3.29	0,754	140,672	0,000	7,617 ^{**}	-0,367 ^{ns}	0,023 ^{***}			
3.30	0,761	146,860	0,000	5,471 ^{***}	0,028 ^{***}	-0,018 [*]			
3.31	0,801	90,818	0,000	0,934 ^{ns}	1,350 ^{**}	-1,494 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,018 ^{ns}	
3.32	0,487	88,236	0,000	-16,564 ^{***}	20,756 ^{***}				
3.33	0,800	523,331	-	0,233 ^{***}	1,884 ^{***}	-0,649 ^{***}			
3.34	0,613	147,040	0,000	8,497 ^{***}	0,0008 ^{***}				
3.35	0,826	446,775	0,000		0,001 ^{***}				
3.36	0,788	344,770	0,000	0,044 ^{**}	0,647 ^{***}				
3.37	0,789	171,696	0,000	1,267 ^{ns}	0,039 ^{***}	-0,001 ^{***}			
3.38	0,942	493,547	0,000		0,040 ^{***}	0,089 ^{ns}	-0,001 ^{***}		
3.39	0,798	88,759	0,000	-6,929 ^{ns}	1,412 ^{ns}	-0,048 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,001 ^{ns}	
3.40	0,801	71,507	0,000	-1,390 ^{ns}	1,283 ^{ns}	-0,002 ^{ns}	0,001 ^{ns}	-0,947 ^{ns}	0,0001 ^{ns}
3.41	0,865	295,724	0,000	-2,563 ^{***}	2,406 ^{***}	-0,891 ^{***}			
3.42	0,865	295,724	0,000	-2,563 ^{***}	1,203 ^{***}	-0,891 ^{***}			
3.43	0,865	295,724	0,000	-2,563 ^{***}	1,203 ^{***}	-0,445 ^{***}			
3.44	0,865	295,724	0,000	-2,563 ^{***}	4,187 ^{***}	-0,891 ^{***}			
3.45	0,866	196,044	0,000	-2,950 ^{***}	3,527 ^{**}	-0,022 ^{ns}	-0,578 ^{ns}		
3.46	0,788	344,770	0,000	-3,127 ^{***}	0,647 ^{***}				

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

Tablo 4.6. Topraküstü toplam biyokütle denklemlerine ilişkin parametre tahmin değerleri

Model No	R ²	F	p	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅
Tek Girişli Denklemler									
3.8	0,859	568,016	0,000	-245,687***	20,313***				
3.9	0,943	767,822	0,000	2,118 ^{ns}	-2,701 ^{ns}	0,457***			
3.10	0,944	509,557	0,000	27,411 ^{ns}	-6,880 ^{ns}	0,640*	-0,002 ^{ns}		
3.11	0,377	56,183	0,000	451,599***	-3657,744***				
3.12	0,942	1521,570	0,000	-29,734**	0,408***				
3.13	0,979	2117,894	0,000		-2,544**	0,455***			
3.14	0,976	3767,369	0,000		0,380***				
3.15	0,978	4212,881	0,000	0,097***	2,387***				
3.17	0,873	639,484	0,000	9,485***	1,122***				
3.18	0,873	639,484	0,000	2,250***	0,115***				
3.19	0,895	796,255	0,000	6,743***	-31,621***				
3.20	0,873	639,484	0,000	9,485***	0,115***				
3.21	0,630	158,665	0,000	-803,521***	341,759***				
3.22	0,978	4212,881	0,000	-2,330***	2,387***				
3.23	0,969	1452,850	0,000	0,764***	0,253***	-0,003***			
3.24	0,978	4212,881	0,000	-2,330***	1,193***				
3.25	0,978	4212,881	0,000	-2,198***	2,387***				
Çift Girişli Denklemler									
3.26	0,959	703,590	0,000	-16,417 ^{ns}	-9,329***	0,508***	10,118***		
3.27	0,963	792,295	0,000	25,429 ^{ns}	-7,068***	0,363***	0,380***		
3.28	0,966	853,313	0,000	-21,276 ^{ns}	5,849***	-3,047 ^{ns}	0,015***		
3.29	0,950	867,857	0,000	-85,713***	5,857***	0,366***			
3.30	0,957	1015,720	0,000	-52,211***	0,268***	0,303***			
3.31	0,963	584,467	0,000	66,395 ^{ns}	-2,001 ^{ns}	-14,178 ^{ns}	0,390***	0,736**	
3.32	0,230	27,769	0,000	-172,822*	259,619***				
3.33	0,965	2254,466	-	0,101***	1,895***	0,582***			
3.34	0,955	1962,074	0,000	37,526***	0,018***				
3.35	0,977	4062,107	0,000		0,020***				
3.36	0,975	3674,025	0,000	0,067***	0,883***				
3.37	0,964	1247,665	0,000	6,650 ^{ns}	0,166***	0,011***			
3.38	0,987	2255,482	0,000		0,163***	0,779 ^{ns}	0,011***		
3.39	0,965	628,806	0,000	-35,362 ^{ns}	5,462 ^{ns}	-0,113 ^{ns}	0,023 ^{ns}	0,015*	
3.40	0,966	501,704	0,000	-4,000 ^{ns}	4,730 ^{ns}	0,147 ^{ns}	0,017 ^{ns}	-5,362 ^{ns}	0,013 ^{ns}
3.41	0,981	2405,238	0,000	-2,516***	2,142***	0,363***			
3.42	0,981	2405,238	0,000	-2,516***	1,071***	0,363***			
3.43	0,981	2405,238	0,000	-2,516***	1,071***	0,181***			
3.44	0,981	2405,238	0,000	-2,516***	1,416***	0,363***			
3.45	0,982	1611,889	0,000	-2,188***	1,975***	0,019 ^{ns}	0,098 ^{ns}		
3.46	0,975	3674,025	0,000	-2,707***	0,883***				

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

Her bir topraküstü biyokütle bileşeni ve topraküstü toplam biyokütle için denenen tek ve çift girişli denklemlerden tüm parametreleri anlamlı bulunanlar ($p<0,05$) için dört istatistiksel ölçüte göre (Belirtme Katsayısı (R^2), Ortalama Hata (*Bias*), Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (*RMSE*) ve Akaike Bilgi Kriteri (*AIC*)) değerlendirme yapılarak bu ölçütlere ilişkin sıra numaraları ile her bir denklem için elde edilen toplam sıra numaraları (*RANK*) Tablo 4.7-4.11’de verilmiştir. Tablolarda parantez içerisinde verilen değerler her bir istatistiksel ölçüte ilişkin başarı sıralamasını ifade etmektedir.

Tablo 4.7. *Gövde odunu biyokütle denklemlerine ilişkin istatistiksel ölçüt ve RANK değerleri*

Model No	R^2	Bias	RMSE	AIC	RANK
Tek Girişli Denklemler					
3.8	0,810 (12)	0,000 (2,5)	65,698 (8)	797,141 (8)	30,5
3.11	0,342 (14)	0,000 (2,5)	122,289 (11)	915,193 (11)	38,5
3.12	0,898 (7)	0,000 (2,5)	48,171 (2)	738,181 (2)	13,5
3.13	0,959 (5)	-0,194 (5)	47,588 (1)	735,869 (1)	12
3.14	0,952 (6)	9,506 (10)	50,816 (3)	747,356 (3)	22
3.15	0,971 (2,5)	-0,802 (7)	51,152 (4)	749,591 (4)	17,5
3.17	0,861 (10)	39,313 (13)	280,091 (13)	1072,650 (13)	49
3.18	0,861 (10)	38,610 (12)	278,368 (12)	1071,478 (12)	46
3.19	0,895 (8)	-27,320 (11)	97,830 (10)	872,793 (10)	39
3.20	0,861 (10)	39,326 (14)	280,123 (14)	1072,672 (14)	52
3.21	0,584 (13)	0,000 (2,5)	97,198 (9)	871,561 (9)	33,5
3.22	0,971 (2,5)	3,447 (8,5)	52,323 (6,5)	753,890 (6,5)	24
3.24	0,971 (2,5)	3,447 (8,5)	52,323 (6,5)	753,890 (6,5)	24
3.25	0,971 (2,5)	-0,248 (6)	51,270 (5)	750,029 (5)	18,5
Çift Girişli Denklemler					
3.27	0,967 (8)	0,000 (3)	27,610 (5)	634,366 (7)	23
3.29	0,927 (12)	0,000 (3)	41,056 (12)	708,792 (12)	39
3.30	0,948 (11)	0,000 (3)	34,540 (11)	675,955 (11)	36
3.31	0,965 (10)	0,000 (3)	28,727 (10)	642,855 (10)	33
3.33	0,971 (7)	0,144 (6)	25,981 (1)	621,852 (1)	15
3.34	0,966 (9)	0,000 (3)	27,677 (6)	632,893 (5)	23
3.35	0,985 (6)	-5,367 (12)	28,700 (9)	638,808 (9)	36
3.36	0,991 (4,5)	0,520 (7)	27,795 (7)	633,702 (6)	24
3.41	0,992 (2)	1,879 (9)	27,475 (2)	632,477 (2)	15
3.42	0,992 (2)	1,880 (10,5)	27,476 (3,5)	632,479 (3)	19
3.43	0,992 (2)	1,880 (10)	27,476 (3,5)	632,480 (4)	20
3.46	0,991 (4,5)	1,782 (8)	28,105 (8)	635,808 (8)	28,5

Tablo 4.8. Kabuk biyokütle denklemlerine ilişkin istatistiksel ölçüt ve RANK değerleri

Model No	R ²	Bias	RMSE	AIC	RANK
Tek Girişli Denklemler					
3.8	0,826 (11)	0,000 (2)	8,572 (7)	410,203 (7)	27
3.11	0,410 (13)	0,000 (2)	15,767 (10)	525,987 (10)	35
3.14	0,949 (6)	-0,348 (8)	7,959 (1)	395,123 (1)	16
3.15	0,958 (3,5)	-0,383 (9)	8,345 (2)	405,095 (2)	16,5
3.17	0,855 (9)	3,220 (12)	29,245 (13)	643,365 (13)	47
3.18	0,855 (9)	3,218 (10,5)	29,241 (11,5)	643,340 (12)	43
3.19	0,865 (7)	-3,374 (13)	12,626 (9)	483,776 (9)	38
3.20	0,855 (9)	3,218 (10,5)	29,241 (11,5)	643,339 (11)	42
3.21	0,647 (12)	0,000 (2)	12,193 (8)	477,144 (8)	30
3.22	0,958 (3,5)	0,309 (6,5)	8,465 (5,5)	407,799 (5,5)	21
3.23	0,959 (1)	0,247 (4)	8,402 (4)	407,366 (4)	13
3.24	0,958 (3,5)	0,309 (6,5)	8,465 (5,5)	407,799 (5,5)	21
3.25	0,958 (3,5)	-0,280 (5)	8,357 (3)	405,372 (3)	14,5
Çift Girişli Denklemler					
3.29	0,873 (10)	0,000 (1,5)	7,349 (5)	381,928 (5)	21,5
3.33	0,883 (9)	0,201 (4)	7,058 (1)	374,234 (1)	15
3.34	0,852 (12)	0,000 (1,5)	7,892 (11)	394,493 (11)	35,5
3.35	0,930 (8)	-3,269 (12)	9,276 (12)	424,216 (12)	44
3.36	0,962 (5,5)	-0,355 (11)	7,259 (2)	378,616 (2)	20,5
3.37	0,864 (11)	-0,001 (3)	7,603 (10)	388,381 (10)	34
3.38	0,957 (7)	0,288 (10)	7,341 (3,5)	381,709 (4)	24,5
3.41	0,964 (2,5)	0,238 (6,5)	7,491 (7,5)	385,554 (7,5)	24
3.42	0,964 (2,5)	0,238 (6,5)	7,491 (7,5)	385,554 (7,5)	24
3.43	0,964 (2,5)	0,238 (6,5)	7,491 (7,5)	385,554 (7,5)	24
3.44	0,964 (2,5)	0,238 (6,5)	7,491 (7,5)	385,554 (7,5)	24
3.46	0,962 (5,5)	0,270 (9)	7,341 (3,5)	380,739 (3)	21

Tablo 4.9. Dal biyokütle denklemlerine ilişkin istatistiksel ölçüt ve RANK değerleri

Model No	R ²	Bias	RMSE	AIC	RANK
Tek Girişli Denklemler					
3.8	0,670 (10)	0,000 (2)	22,037 (6)	589,595 (6)	24
3.11	0,291 (12)	0,000 (2)	32,306 (10)	662,279 (10)	34
3.14	0,889 (1)	1,628 (5)	19,237 (3)	562,795 (2)	11
3.15	0,837 (3,5)	-1,893 (6)	19,088 (1)	562,295 (1)	11,5
3.17	0,732 (8,5)	6,651 (10)	59,063 (11)	776,913 (11)	40,5
3.19	0,782 (7)	-7,834 (12)	28,084 (9)	635,665 (9)	37
3.20	0,732 (8,5)	6,656 (11)	59,076 (12)	776,955 (12)	43,5
3.21	0,487 (11)	0,000 (2)	27,482 (8)	631,553 (8)	29
3.22	0,837 (3,5)	4,863 (8,5)	21,148 (4,5)	581,777 (4,5)	21
3.23	0,824 (6)	4,778 (7)	25,089 (7)	615,217 (7)	27
3.24	0,837 (3,5)	4,863 (8,5)	21,148 (4,5)	581,777 (4,5)	21
3.25	0,837 (3,5)	-0,766 (4)	19,154 (2)	562,957 (3)	12,5
Çift Girişli Denklemler					
3.29	0,814 (8)	0,000 (2)	16,614 (3)	536,902 (4)	17
3.32	0,485 (13)	0,000 (2)	27,523 (13)	631,833 (2)	30
3.33	0,834 (6)	0,019 (5)	15,728 (1)	526,481 (1)	13
3.34	0,618 (12)	0,000 (2)	23,720 (9)	603,578 (10)	33
3.35	0,820 (7)	-4,198 (8)	24,432 (11)	608,216 (12)	38
3.36	0,774 (10,5)	-3,180 (7)	24,007 (10)	605,864 (11)	38,5
3.37	0,798 (9)	0,003 (4)	17,344 (4)	545,073 (5)	22
3.38	0,922 (1)	-0,581 (6)	16,260 (2)	532,812 (3)	12
3.41	0,879 (3,5)	5,387 (10,5)	21,792 (6,5)	588,446 (6,5)	27
3.42	0,879 (3,5)	5,387 (10,5)	21,792 (6,5)	588,448 (8,5)	29
3.43	0,879 (3,5)	5,387 (10,5)	21,792 (6,5)	588,448 (8,5)	29
3.44	0,879 (3,5)	5,387 (10,5)	21,792 (6,5)	588,446 (6,5)	27
3.46	0,774 (10,5)	6,158 (13)	26,487 (12)	624,546 (13)	48,5

Tablo 4.10. İbre biyokütle denklemlerine ilişkin istatistiksel ölçüt ve RANK değerleri

Model No	R ²	Bias	RMSE	AIC	RANK
Tek Girişli Denklemler					
3.8	0,749 (9)	0,000 (2,5)	5,810 (2)	336,287 (2)	15,5
3.11	0,430 (15)	0,000 (2,5)	8,763 (12)	414,38 (12)	41,5
3.12	0,744 (10)	0,000 (2,5)	5,870 (3)	338,257 (3)	18,5
3.13	0,933 (1)	0,114 (5)	5,705 (1)	332,840 (1)	8
3.14	0,918 (2)	-1,309 (14)	6,287 (8)	350,318 (6)	30
3.15	0,840 (4,5)	-0,399 (7)	5,947 (4)	340,731 (4)	19,5
3.17	0,718 (12)	0,677 (9)	12,533 (14)	482,367 (15)	50
3.18	0,718 (12)	0,677 (9)	12,533 (14)	482,365 (13,5)	48,5
3.19	0,803 (8)	-1,626 (15)	7,237 (11)	378,030 (11)	45
3.20	0,718 (12)	0,677 (9)	12,533 (14)	482,365 (13,5)	48,5
3.21	0,626 (14)	0,000 (2,5)	7,100 (10)	374,386 (10)	36,5
3.22	0,840 (4,5)	1,013 (12,5)	6,286 (6,5)	351,258 (7,5)	31
3.23	0,825 (7)	0,956 (11)	6,761 (9)	366,081 (9)	36
3.24	0,840 (4,5)	1,013 (12,5)	6,286 (6,5)	351,258 (7,5)	31
3.25	0,840 (4,5)	-0,157 (6)	5,973 (5)	341,556 (5)	20,5
Çift Girişli Denklemler					
3.30	0,761 (9)	0,000 (2)	5,698 (2)	333,584 (2)	15
3.32	0,487 (11)	0,000 (2)	8,313 (10)	404,366 (10)	33
3.33	0,800 (6)	0,107 (4)	5,224 (1)	317,084 (1)	12
3.34	0,613 (10)	0,000 (2)	7,223 (8)	377,671 (8)	28
3.35	0,826 (5)	-3,757 (11)	9,159 (11)	421,791 (11)	38
3.36	0,788 (7,5)	-0,666 (5)	6,939 (7)	370,049 (7)	26,5
3.41	0,865 (2,5)	1,084 (7,5)	6,282 (5)	352,098 (6)	21
3.42	0,865 (2,5)	1,084 (7,5)	6,282 (5)	352,096 (3)	18
3.43	0,865 (2,5)	1,084 (7,5)	6,282 (5)	352,097 (4,5)	19,5
3.44	0,865 (2,5)	1,084 (7,5)	6,281 (3)	352,097 (4,5)	17,5
3.46	0,788 (7,5)	1,201 (10)	7,330 (9)	380,466 (9)	35,5

Tablo 4.11. *Topraküstü toplam biyokütle denklemlerine ilişkin istatistiksel ölçüt ve RANK değerleri*

Model No	R ²	Bias	RMSE	AIC	RANK
Tek Girişli Denklemler					
3.8	0,859 (13)	0,000 (2)	79,227 (9)	832,719 (9)	33
3.11	0,377 (15)	0,000 (2)	166,771 (12)	974,136 (12)	41
3.12	0,942 (8)	-0,003 (4)	50,693 (2)	747,879 (2)	16
3.13	0,979 (1)	-0,082 (5)	50,219 (1)	746,093 (1)	8
3.14	0,976 (6)	9,476 (11)	53,172 (3)	755,964 (3)	23
3.15	0,978 (3,5)	-0,205 (6)	53,486 (4)	758,068 (4)	17,5
3.17	0,873 (11)	48,577 (15)	339,637 (15)	1109,275 (15)	56
3.18	0,873 (11)	48,557 (14)	339,592 (14)	1109,250 (14)	53
3.19	0,895 (9)	-35,081 (12)	129,932 (11)	926,711 (11)	43
3.20	0,873 (11)	48,555 (13)	339,589 (13)	1109,249 (13)	50
3.21	0,630 (14)	0,000 (2)	128,401 (10)	924,458 (10)	36
3.22	0,978 (3,5)	3,857 (8,5)	54,530 (6,5)	761,740 (6,5)	25
3.23	0,969 (7)	6,109 (10)	73,315 (8)	818,956 (8)	33
3.24	0,978 (3,5)	3,857 (8,5)	54,530 (6,5)	761,740 (6,5)	25
3.25	0,978 (3,5)	0,226 (7)	53,573 (5)	758,377 (5)	20,5
Çift Girişli Denklemler					
3.29	0,950 (11)	0,000 (2,5)	47,646 (10)	737,073 (10)	33,5
3.30	0,957 (9)	0,000 (2,5)	44,204 (8)	722,825 (8)	27,5
3.32	0,230 (12)	0,000 (2,5)	185,354 (12)	994,210 (12)	38,5
3.33	0,965 (8)	0,278 (5)	39,906 (1)	703,390 (1)	15
3.34	0,955 (10)	0,000 (2,5)	44,933 (9)	724,961 (9)	30,5
3.35	0,977 (5)	-16,591 (12)	51,252 (11)	748,976 (11)	39
3.36	0,975 (6,5)	-0,732 (6)	42,906 (2)	716,191 (2)	16,5
3.41	0,981 (2,5)	3,253 (9)	44,151 (5,5)	722,598 (6)	23
3.42	0,981 (2,5)	3,253 (9)	44,151 (5,5)	722,598 (6)	23
3.43	0,981 (2,5)	3,253 (9)	44,151 (5,5)	722,598 (6)	23
3.44	0,981 (2,5)	3,252 (7)	44,151 (5,5)	722,597 (4)	19
3.46	0,975 (6,5)	3,913 (11)	43,761 (3)	719,938 (3)	23,5

İstatistiksel ölçütlere göre başarı sıralaması yapılan denklemlerin geçerlilikleri, 32 örnek ağaçtan oluşan kontrol veri grubundan elde edilen verilerden yararlanılarak “Eşlendirilmiş örnekler için t Testi” ile test edilmiştir. Yapılan bu test ile örnek ağaçlara ilişkin gerçek biyokütle değerleri ile geliştirilen denklemlerden elde edilen tahmini biyokütle değerleri karşılaştırılmış ve gerçek değerler ile tahmini değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmayan ($p>0,05$) denklemlerin kullanılabilmesine karar verilmiştir. Test sonuçları Tablo 4.12-4.16’da verilmiştir.

Tablo 4.12. *Gövde odunu biyokütle denklemlerine ilişkin t testi sonuçları*

Model No	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	t	p
Tek Girişli Denklemler					
3.8	-6,355	49,207	8,699	-0,731	0,471
3.11	-15,038	97,292	17,199	-0,874	0,389
3.12	-1,160	33,991	6,009	-,193	0,848
3.13	-0,117	33,188	5,867	-0,020	0,984
3.14	-11,460	36,672	6,483	-1,768	0,087
3.15	2,764	33,628	5,945	0,465	0,645
3.17	-5,549	100,779	17,815	-0,311	0,758
3.18	-5,047	100,119	17,699	-0,285	0,777
3.19	19,074	72,328	12,786	1,492	0,146
3.20	-5,559	100,791	17,818	-0,312	0,757
3.21	-11,907	74,382	13,149	-0,906	0,372
3.22	-1,214	33,930	5,998	-0,202	0,841
3.24	-1,214	33,930	5,998	-0,202	0,841
3.25	2,246	33,652	5,949	0,378	0,708
Çift Girişli Denklemler					
3.27	-4,443	20,365	3,600	-1,234	0,226
3.29	-4,988	30,143	5,329	-0,936	0,356
3.30	-6,076	26,215	4,634	-1,311	0,199
3.31	-2,966	20,336	3,595	-0,825	0,416
3.33	-4,520	19,570	3,459	-1,307	0,201
3.34	-2,865	21,219	3,751	-0,764	0,451
3.35	2,765	21,697	3,836	0,721	0,476
3.36	-3,448	21,380	3,779	-0,912	0,369
3.41	-5,208	21,216	3,750	-1,389	0,175
3.42	-5,208	21,216	3,750	-1,389	0,175
3.43	-5,209	21,216	3,751	-1,389	0,175
3.46	-4,665	21,635	3,825	-1,220	0,232

Tablo 4.13. Kabuk biyokütle denklemlerine ilişkin t testi sonuçları

Model No	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	t	p
Tek Girişli Denklemler					
3.8	-0,037	13,890	2,455	-0,015	0,988
3.11	-1,297	20,435	3,612	-0,359	0,722
3.14	1,014	11,792	2,085	0,486	0,630
3.15	1,197	11,195	1,979	0,605	0,550
3.17	0,726	7,738	1,368	0,531	0,599
3.18	0,728	7,738	1,368	0,532	0,599
3.19	2,983	17,763	3,140	0,950	0,349
3.20	0,728	7,738	1,368	0,532	0,598
3.21	-0,816	17,328	3,063	-0,266	0,792
3.22	0,535	11,009	1,946	0,275	0,785
3.23	-0,266	12,714	2,247	-0,119	0,906
3.24	0,535	11,009	1,946	0,275	0,785
3.25	1,099	11,167	1,974	0,557	0,582
Çift Girişli Denklemler					
3.29	0,157	11,881	2,100	0,075	0,941
3.33	-0,097	11,407	2,016	-0,048	0,962
3.34	0,381	10,830	1,914	0,199	0,844
3.35	3,810	9,107	1,610	2,367	0,024*
3.36	0,530	10,534	1,862	0,284	0,778
3.37	0,517	11,135	1,968	0,263	0,794
3.38	0,014	11,304	1,998	0,007	0,995
3.41	0,188	10,469	1,851	0,102	0,920
3.42	0,188	10,469	1,851	0,102	0,920
3.43	0,188	10,469	1,851	0,102	0,920
3.44	0,188	10,469	1,851	0,102	0,920
3.46	-0,082	10,363	1,832	-0,045	0,965

*: $p < 0,05$

Tablo 4.14. Dal biyokütle denklemlerine ilişkin t testi sonuçları

Model No	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	t	p
Tek Girişli Denklemler					
3.8	4,893	20,537	3,630	1,348	0,187
3.11	2,867	30,784	5,442	0,527	0,602
3.14	4,342	18,825	3,328	1,305	0,202
3.15	8,673	17,688	3,127	2,774	0,009**
3.17	7,096	24,458	4,324	1,641	0,111
3.19	12,288	26,178	4,628	2,655	0,012*
3.20	7,092	24,462	4,324	1,640	0,111
3.21	3,607	25,693	4,542	0,794	0,433
3.22	2,339	17,077	3,019	0,775	0,444
3.23	0,367	17,642	3,119	0,118	0,907
3.24	2,339	17,077	3,019	0,775	0,444
3.25	7,617	17,498	3,093	2,462	0,020*
Çift Girişli Denklemler					
3.29	7,549	16,870	2,982	2,531	0,017*
3.32	6,552	31,136	5,504	1,190	0,243
3.33	7,996	16,841	2,977	2,686	0,012*
3.34	5,521	21,673	3,831	1,441	0,163
3.35	9,925	20,945	3,703	2,681	0,012*
3.36	8,624	21,041	3,719	2,319	0,027*
3.37	6,493	16,888	2,985	2,175	0,037*
3.38	7,761	15,957	2,821	2,751	0,010*
3.41	5,024	14,040	2,482	2,024	0,052
3.42	5,024	14,040	2,482	2,024	0,052
3.43	5,024	14,040	2,482	2,024	0,052
3.44	5,0240	14,040	2,482	2,024	0,052
3.46	-0,426	21,058	3,723	-0,115	0,910

*: $p < 0,05$, **: $p < 0,01$

Tablo 4.15. İbre biyokütle denklemlerine ilişkin t testi sonuçları

Model No	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	t	p
Tek Girişli Denklemler					
3.8	3,012	7,939	1,403	2,146	0,040*
3.11	2,299	10,962	1,938	1,186	0,244
3.12	3,365	7,906	1,398	2,408	0,022*
3.13	3,121	7,869	1,391	2,243	0,032*
3.14	4,784	7,372	1,303	3,671	0,001**
3.15	3,777	7,419	1,312	2,880	0,007**
3.17	3,960	8,246	1,458	2,717	0,011*
3.18	3,960	8,246	1,458	2,717	0,011*
3.19	4,406	9,525	1,684	2,617	0,014*
3.20	3,960	8,246	1,458	2,717	0,011*
3.21	2,586	9,245	1,634	1,583	0,124
3.22	2,410	7,257	1,283	1,878	0,070
3.23	1,923	7,302	1,291	1,490	0,146
3.24	2,410	7,257	1,283	1,878	0,070
3.25	3,543	7,386	1,306	2,713	0,011*
Çift Girişli Denklemler					
3.30	3,588	7,722	1,365	2,628	0,013*
3.32	3,504	11,465	2,027	1,729	0,094
3.33	3,427	7,555	1,336	2,566	0,015*
3.34	3,189	9,125	1,613	1,977	0,057
3.35	7,130	8,571	1,515	4,706	0,000***
3.36	3,679	8,313	1,470	2,503	0,018*
3.41	2,921	6,640	1,174	2,488	0,018*
3.42	2,921	6,640	1,174	2,488	0,018*
3.43	2,921	6,640	1,174	2,488	0,018*
3.44	2,921	6,640	1,174	2,488	0,018*
3.46	1,835	8,212	1,452	1,264	0,216

*: $p < 0,05$, **: $p < 0,01$, ***: $p < 0,001$

Tablo 4.16. Topraküstü toplam biyokütle denklemlerine ilişkin t testi sonuçları

Model No	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	t	p
Tek Girişli Denklemler					
3.8	1,514	67,623	11,954	0,127	0,900
3.11	-11,169	146,894	25,967	-0,430	0,670
3.12	8,954	39,429	6,970	1,285	0,208
z3.13	9,856	38,235	6,759	1,458	0,155
3.14	-1,319	45,738	8,085	-0,163	0,871
3.15	12,229	34,268	6,058	2,019	0,052
3.17	3,080	113,498	20,064	0,154	0,879
3.18	3,095	113,480	20,061	0,154	0,878
3.19	33,470	111,199	19,657	1,703	0,099
3.20	3,096	113,479	20,060	0,154	0,878
3.21	-6,529	110,399	19,516	-0,335	0,740
3.22	8,390	33,375	5,900	1,422	0,165
3.23	-2,541	42,414	7,498	-0,339	0,737
3.24	8,390	33,375	5,900	1,422	0,165
3.25	11,822	34,163	6,039	1,957	0,059
Çift Girişli Denklemler					
3.29	6,252	38,345	6,778	0,922	0,363
3.30	5,275	36,178	6,395	0,825	0,416
3.32	6,157	178,863	31,619	0,195	0,847
3.33	6,003	31,542	5,576	1,077	0,290
3.34	6,226	36,176	6,395	0,974	0,338
3.35	23,631	32,124	5,679	4,161	0,000***
3.36	5,698	32,292	5,708	0,998	0,326
3.41	5,894	28,665	5,067	1,163	0,254
3.42	5,894	28,665	5,067	1,163	0,254
3.43	5,894	28,665	5,067	1,163	0,254
3.44	5,895	28,666	5,067	1,163	0,254
3.46	1,186	31,743	5,611	0,211	0,834

***: $p < 0,001$

Her bir bileşene ilişkin biyokütle ve topraküstü toplam biyokütle tahminlerinde kullanılmak üzere geliştirilen denklemler arasından, yapılan t Testi ile geçerli (kullanılabilir) olduklarına karar verilen ($p > 0,05$) ve bunlar arasında en küçük RANK değerine sahip olan denklemler en başarılı denklemler olarak seçilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre; tek girişli denklemler olarak gövde odunu ve topraküstü toplam biyokütle için 3.13 nolu, kabuk ve dal biyokütlesi için 3.14 nolu ve ibre biyokütlesi için 3.22 nolu denklemler ve çift girişli denklemler olarak da gövde odunu, kabuk ve topraküstü toplam biyokütle için 3.33 nolu, dal ve ibre biyokütlesi için ise 3.34 nolu denklemler en başarılı denklemler olarak belirlenmiştir. Tüm parametreleri anlamlı bulunan denklemlerde yapılan t-testleri sonucunda gövde odunu (tek girişli 3.13 ve çift girişli 3.33 nolu denklemler), kabuk (tek girişli 3.14 ve çift girişli 3.33 nolu denklemler), dal (tek girişli 3.14 nolu denklem) ve topraküstü toplam biyokütle (tek girişli 3.13 ve çift girişli 3.33 nolu denklemler) için en küçük RANK'a sahip denklemler 0,05 önem düzeyinde anlamlı sonuçlar verirken, çift girişli dal ve hem çift hem tek girişli ibre biyokütle denklemlerinde en küçük RANK'a sahip olan denklemlerin (3.38 nolu çift girişli dal biyokütle denklemi ile 3.13 nolu tek girişli ve 3.33 nolu çift girişli ibre biyokütle denklemi) anlamlı sonuçlar vermedikleri görülmüş ve bu sebeple daha yüksek RANK'a sahip denklemler (3.34 nolu çift girişli dal biyokütle denklemi ile 3.22 nolu tek girişli ibre ve 3.34 nolu çift girişli ibre biyokütle denklemi) en başarılı denklemler olarak seçilmişlerdir.

Bağımlı değişkenlerin tahmin edilmesinde logaritmik formulu denklemlerin kullanılması durumunda, düzeltme faktörü (f) kullanılması önerilmektedir (Baskerville, 1972; Sprugel, 1983). Seçilen tek girişli ibre biyokütle denkleminin (3.22 nolu denklem) logaritmik formda olması nedeniyle, bu denklem ile elde edilen değerlere düzeltme faktörü uygulanması gerekmektedir. Logaritmik değerlerde düzeltme faktörü;

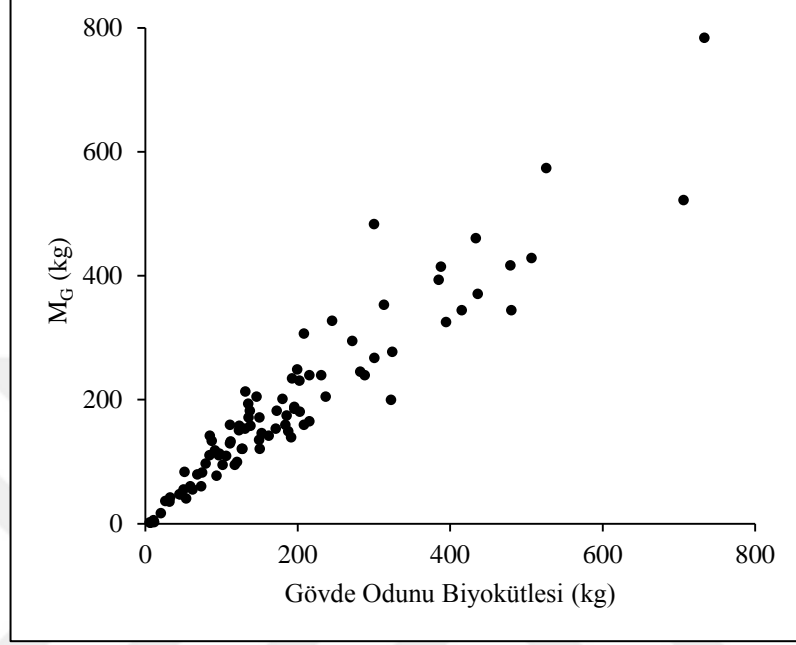
$$f = e^{(SE^2/2)}$$

şeklinde hesaplanmaktadır (Baskerville, 1972; Sprugel, 1983).

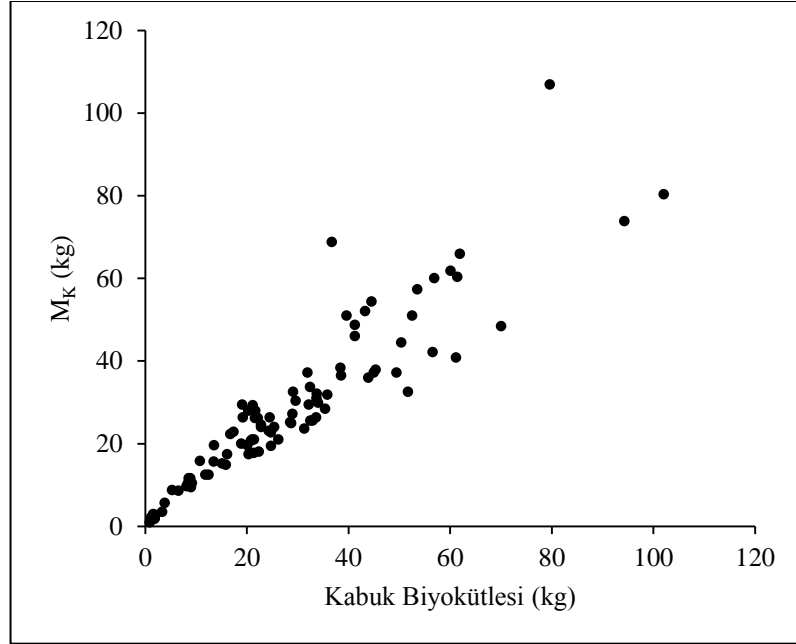
Bu çalışmada tek girişli ibre biyokütle denklemi (3.22 nolu denklem) için hesaplanan düzeltme faktörü $f=1,077618$ 'dir.

Örnek ağaçlara ilişkin gerçek biyokütle miktarları ile örnek ağaçlardan elde edilen veriler kullanılarak geliştirilen tek girişli denklemler arasından seçilen en başarılı

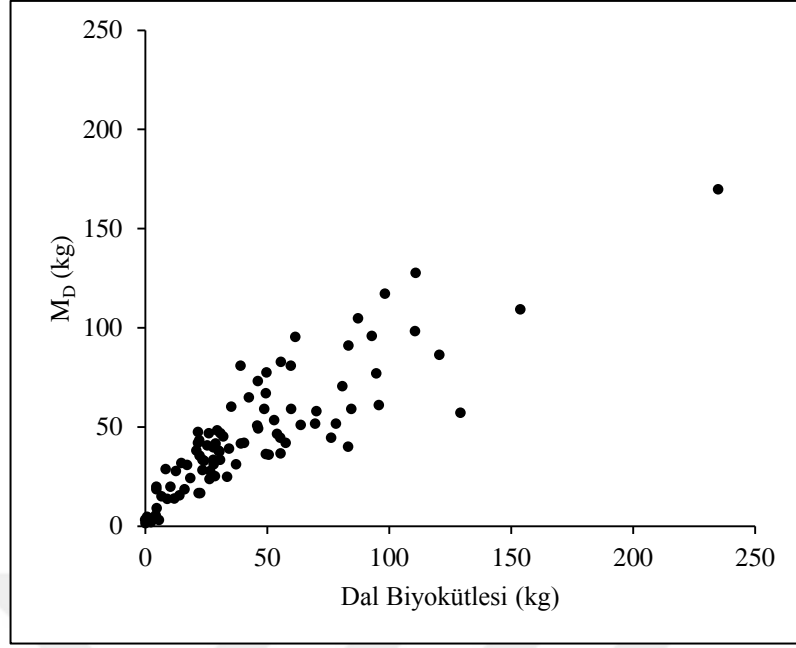
denklemler yardımıyla tahmin edilen biyokütle miktarlarının dağılımı Grafik 4.6-4.10'da verilmiştir. Grafikler incelendiğinde gerçek biyokütle değerleri ile tahmin edilen biyokütle değerlerinin birbirlerine yakın değerler olduğu görülmektedir.



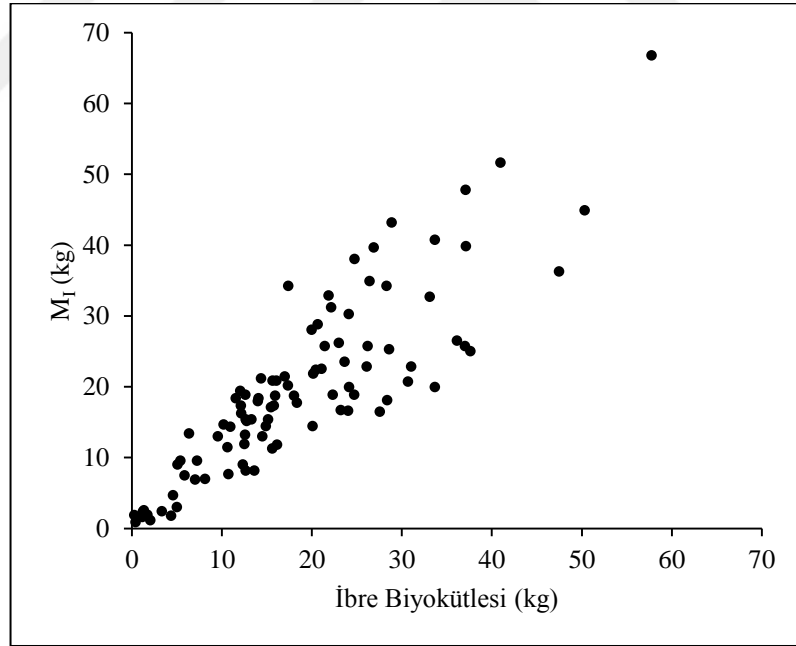
Grafik 4.6. Ölçülen gövde odunu biyokütlesi ile tek girişli denklem ile tahmin edilen gövde odunu biyokütlesi ilişkisi



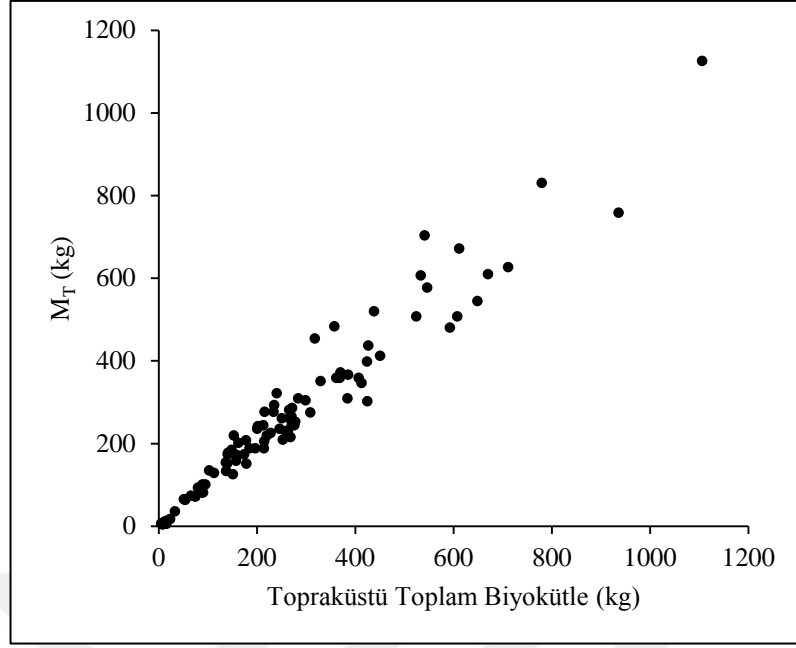
Grafik 4.7. Ölçülen kabuk biyokütlesi ile tek girişli denklem ile tahmin edilen kabuk biyokütlesi ilişkisi



Grafik 4.8. Ölçülen dal biyokütlesi ile tek girişli denklem ile tahmin edilen dal biyokütlesi ilişkisi

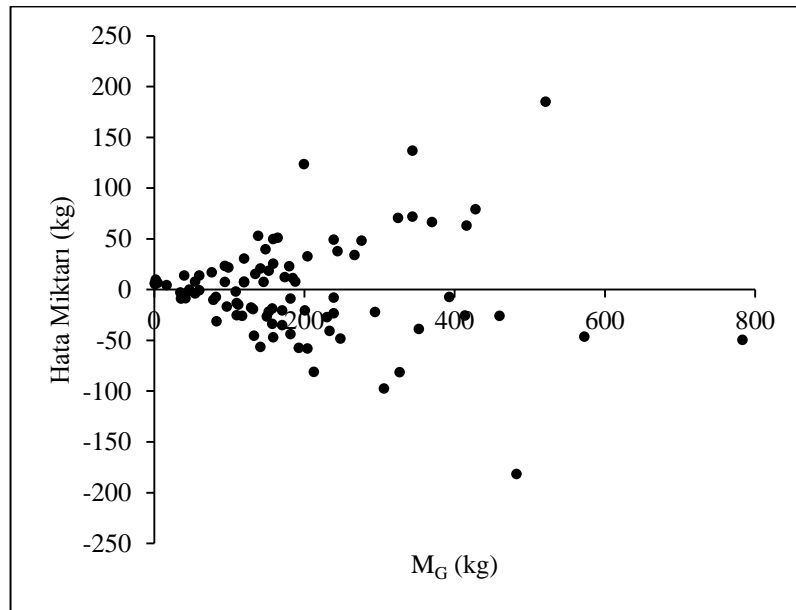


Grafik 4.9. Ölçülen ibre biyokütlesi ile tek girişli denklem ile tahmin edilen ibre biyokütlesi ilişkisi

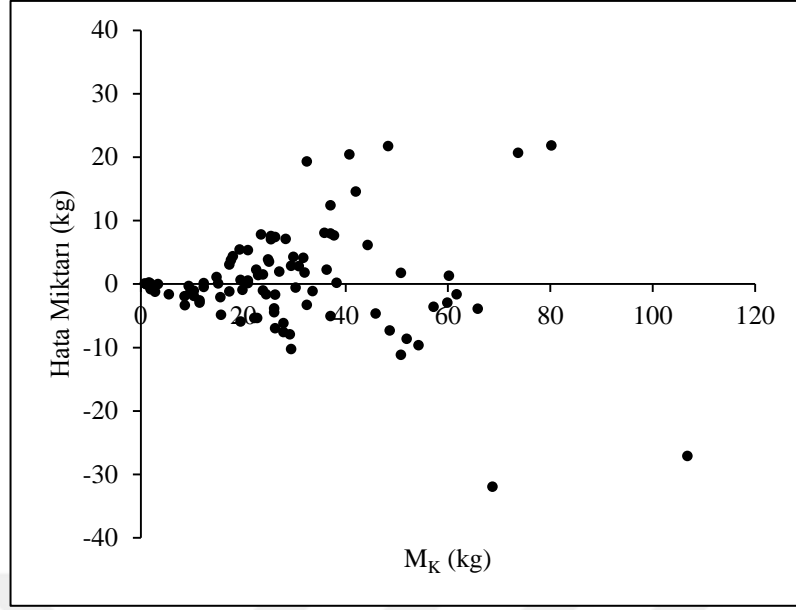


Grafik 4.10. Ölçülen topraküstü toplam biyokütle ile tek girişli denklem ile tahmin edilen topraküstü toplam biyokütle ilişkisi

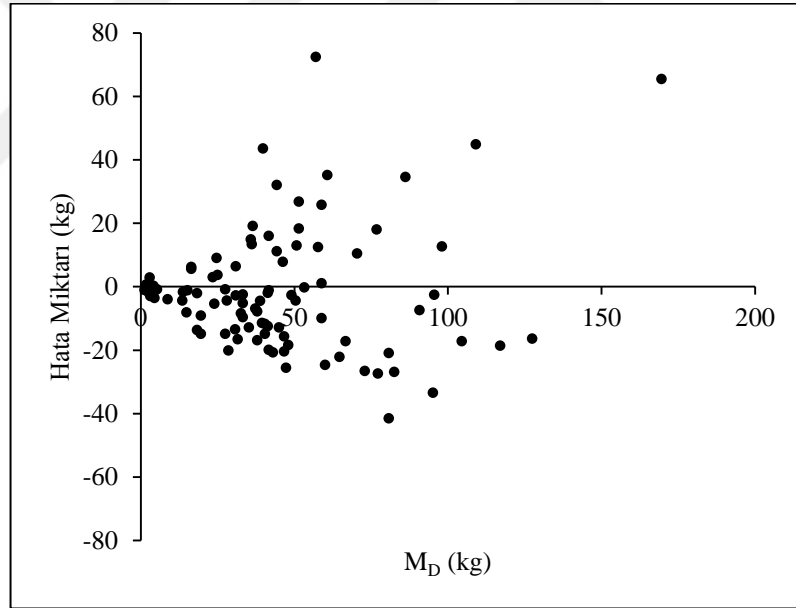
En başarılı bulunan tek girişli denklemler ile elde edilen biyokütle değerlerine ilişkin hata dağılımları Grafik 4.11-4.15'te verilmiştir. Grafikler incelendiğinde küçük çap değerlerinde hata miktarının da küçük olduğu, çap artışıyla birlikte hata miktarının da arttığı gözlenmektedir. Grafiklerden de görüldüğü üzere hatalar rasgele bir dağılım göstermektedir.



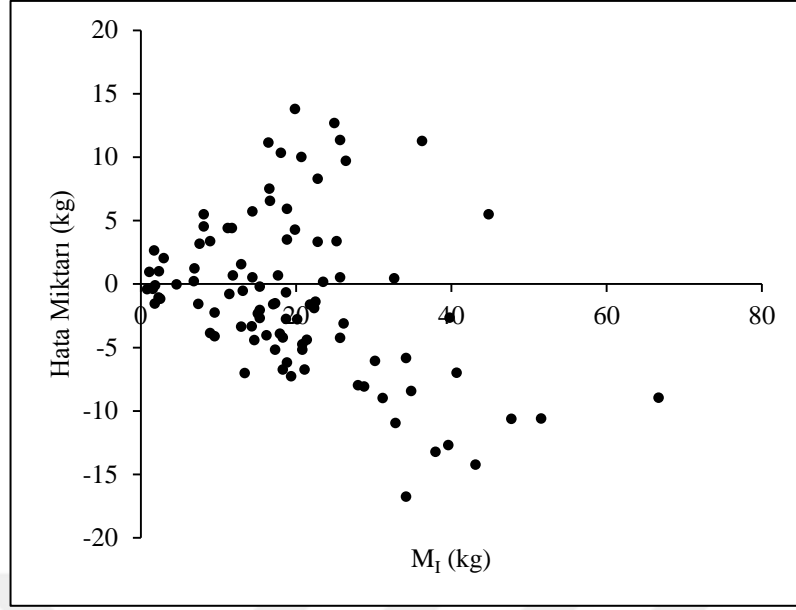
Grafik 4.11. Tek girişli gövde odunu biyokütle denkleminin hata dağılımı



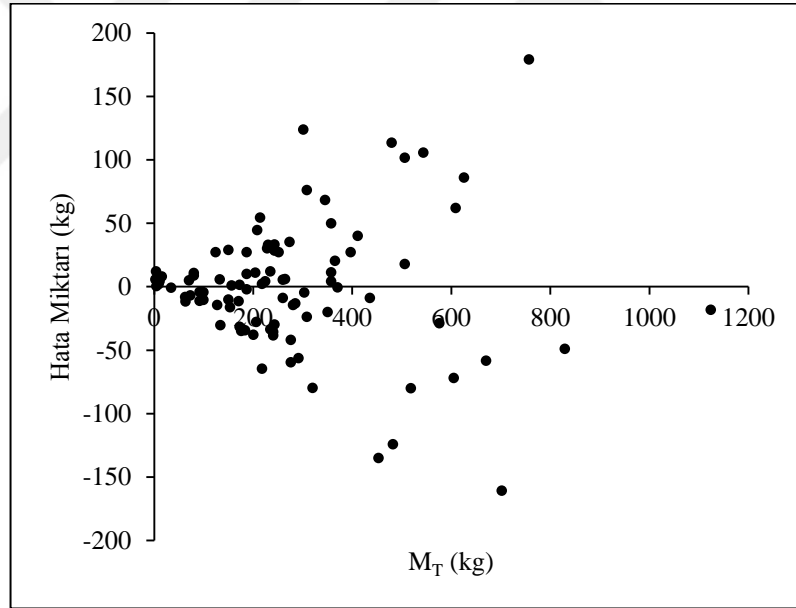
Grafik 4.12. Tek girişli kabuk biyokütle denkleminin hata dağılımı



Grafik 4.13. Tek girişli dal biyokütle denkleminin hata dağılımı

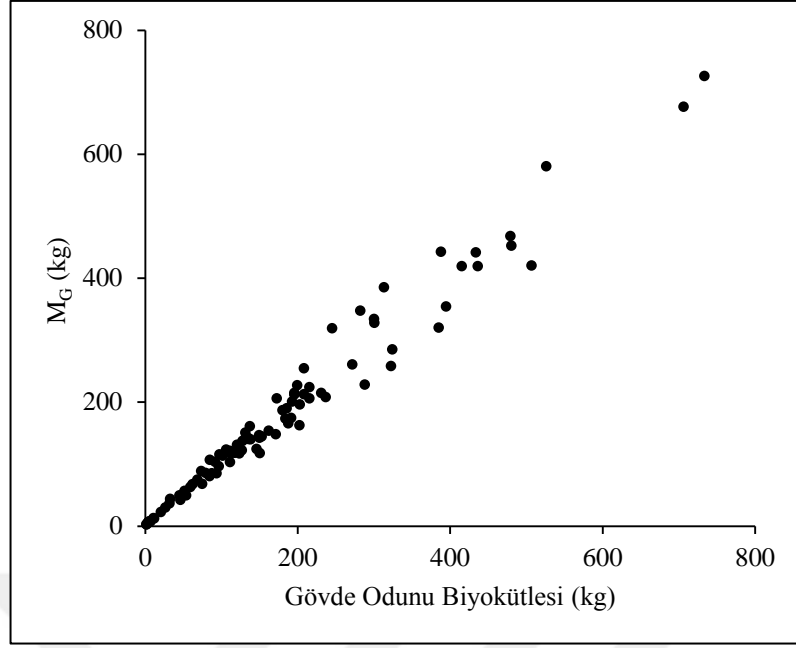


Grafik 4.14. Tek girişli ibre biyokütle denkleminin hata dağılımı

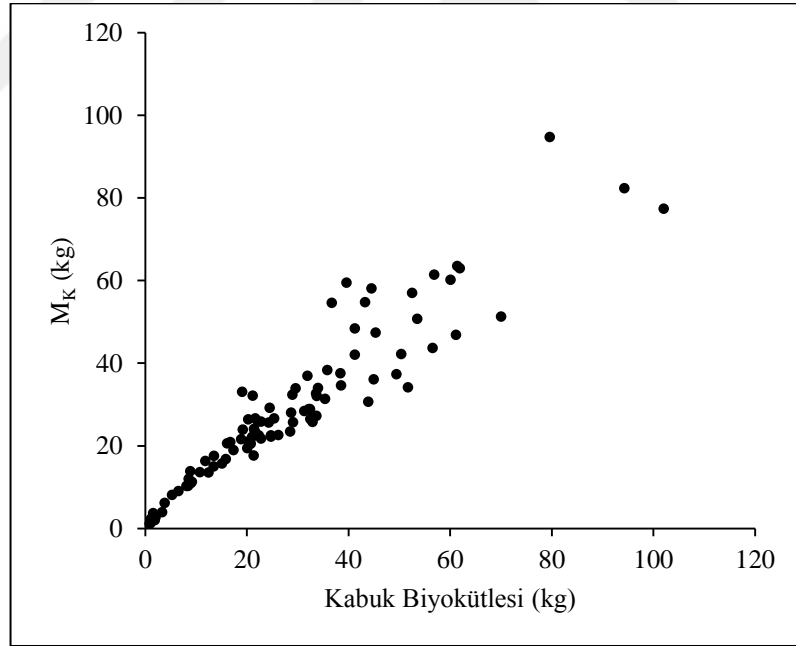


Grafik 4.15. Tek girişli topraküstü toplam biyokütle denkleminin hata dağılımı

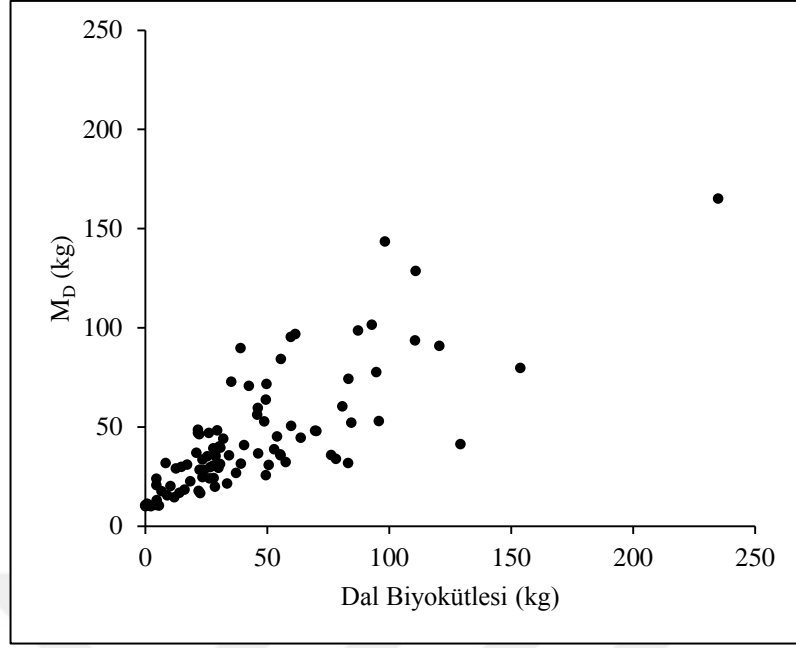
Örnek ağaçlara ilişkin gerçek biyokütle miktarları ile örnek ağaçlardan elde edilen veriler kullanılarak geliştirilen çift girişli denklemler arasından seçilen en başarılı denklemler yardımıyla tahmin edilen biyokütle miktarlarının dağılımı Grafik 4.16-4.20'da verilmiştir. Grafikler incelendiğinde gerçek biyokütle değerleri ile tahmin edilen biyokütle değerlerinin birbirlerine yakın değerler olduğu görülmektedir.



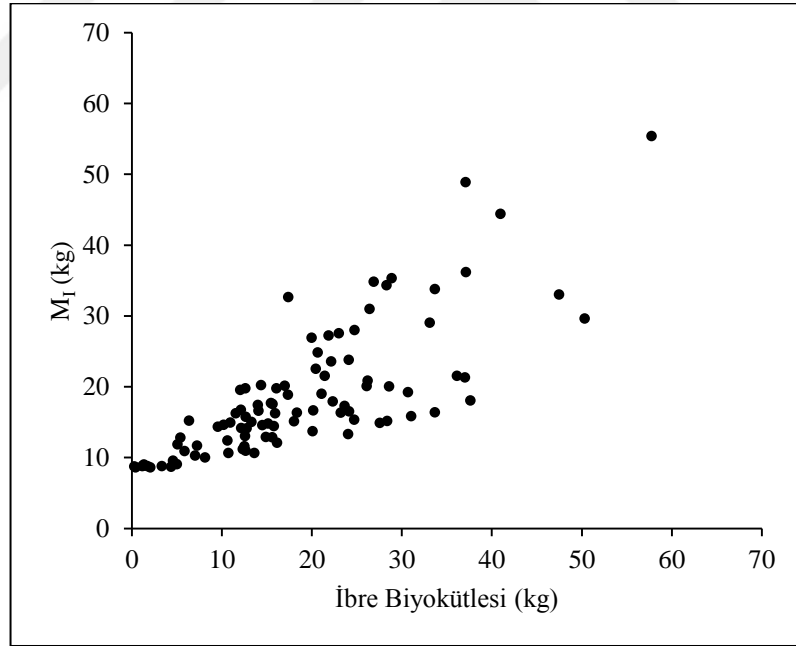
Grafik 4.16. Ölçülen gövde odunu biyokütlesi ile çift girişli denklem ile tahmin edilen gövde odunu biyokütlesi ilişkisi



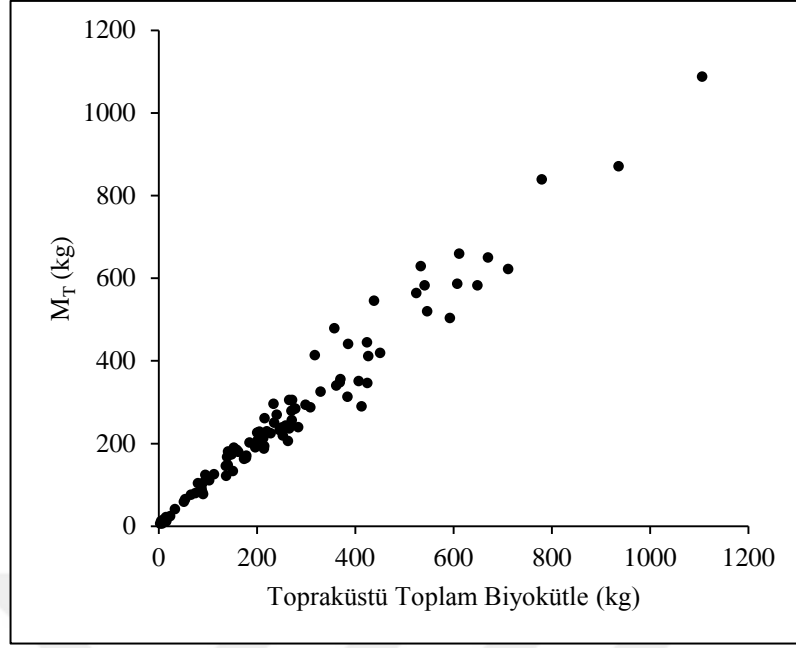
Grafik 4.17. Ölçülen kabuk biyokütlesi ile çift girişli denklem ile tahmin edilen kabuk biyokütlesi ilişkisi



Grafik 4.18. Ölçülen dal biyokütlesi ile çift girişli denklem ile tahmin edilen dal biyokütlesi ilişkisi

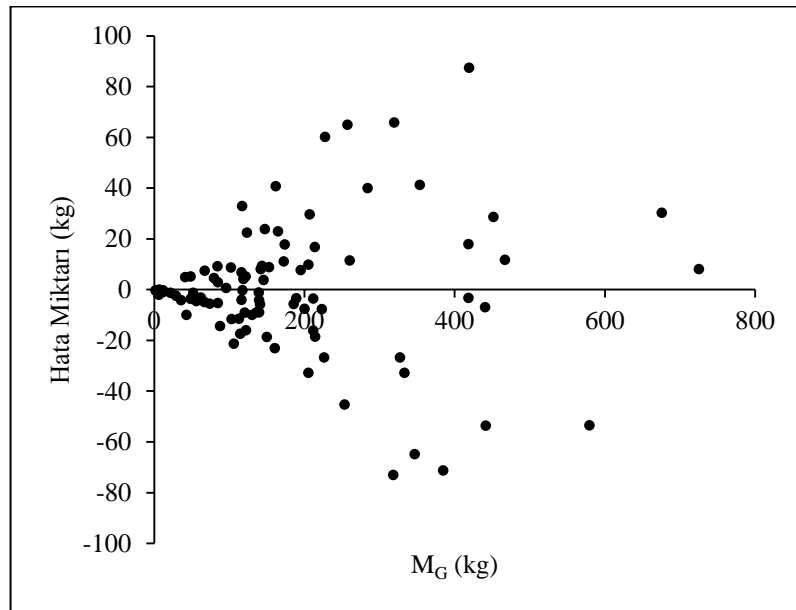


Grafik 4.19. Ölçülen ibre biyokütlesi ile çift girişli denklem ile tahmin edilen ibre biyokütlesi ilişkisi

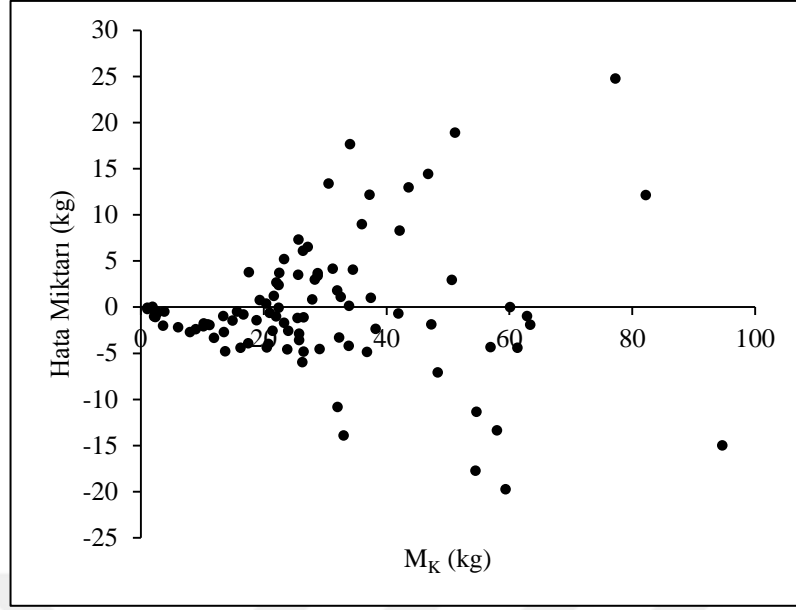


Grafik 4.20. Ölçülen topraküstü toplam biyokütle ile çift girişli denklem ile tahmin edilen topraküstü toplam biyokütle ilişkisi

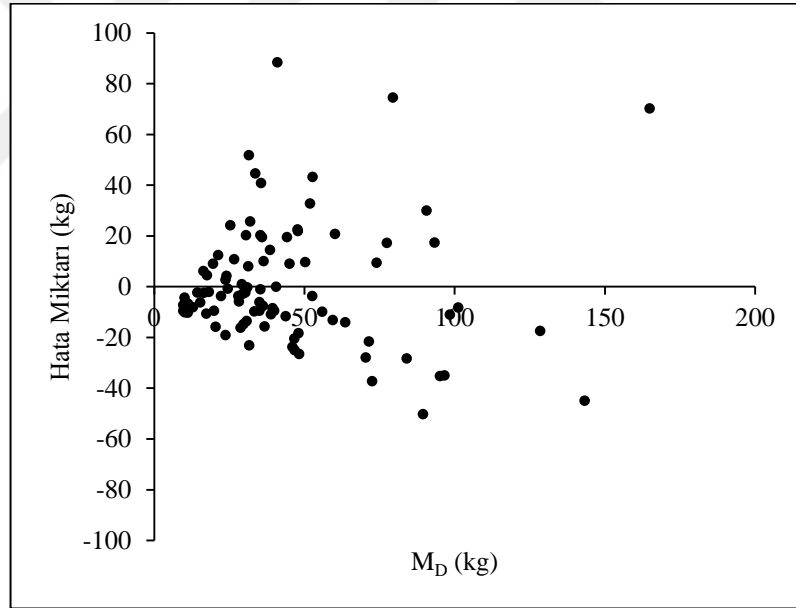
En başarılı bulunan çift girişli denklemler ile elde edilen biyokütle değerlerine ilişkin hata dağılımları Grafik 4.21-4.25'te verilmiştir. Grafikler incelendiğinde küçük çap değerlerinde hata miktarının küçük olduğu, çap artışıyla birlikte hata miktarının da arttığı gözlenmektedir. Grafiklerden de görüldüğü üzere hatalar rasgele bir dağılım göstermektedir.



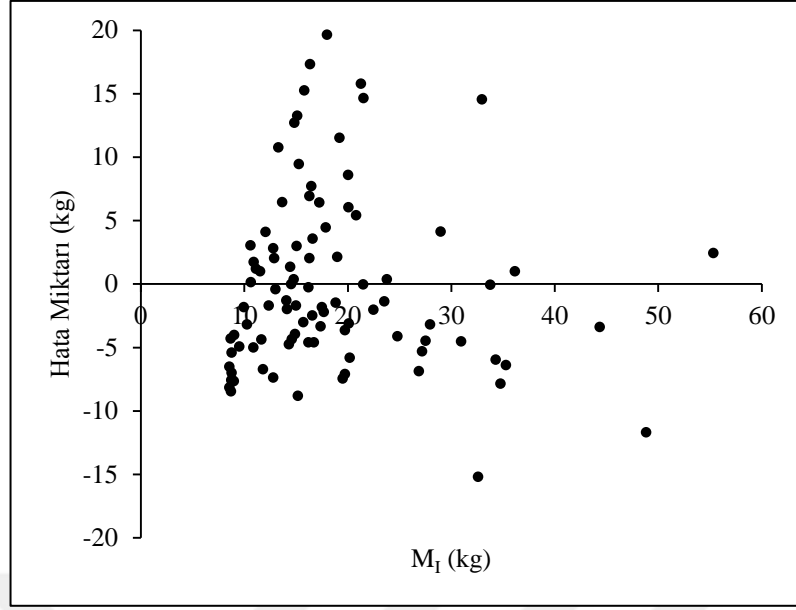
Grafik 4.21. Çift girişli gövde odunu biyokütle denkleminin hata dağılımı



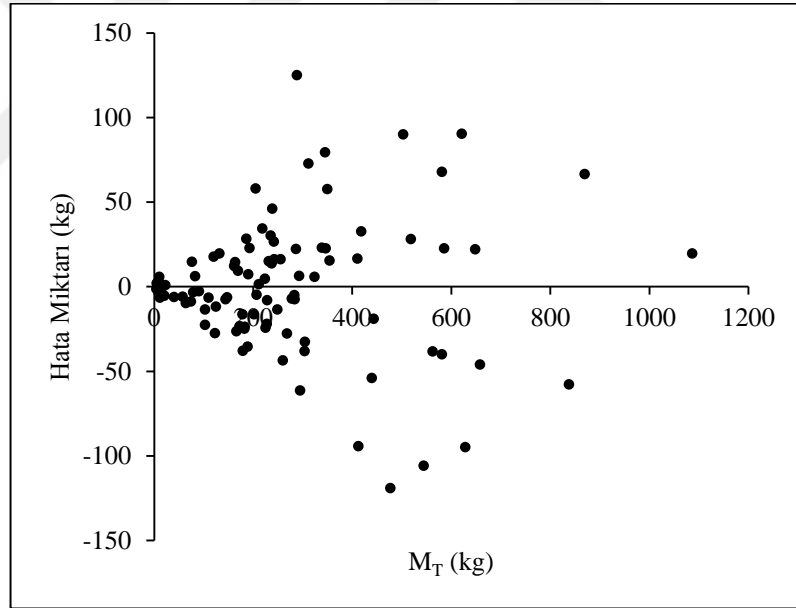
Grafik 4.22. Çift girişli kabuk biyokütle denkleminin hata dağılımı



Grafik 4.23. Çift girişli dal biyokütle denkleminin hata dağılımı



Grafik 4.24. Çift girişli ibre biyokütle denkleminin hata dağılımı



Grafik 4.25. Çift girişli topraküstü toplam biyokütle denkleminin hata dağılımı

Uyumlu biyokütle-hacim denklemlerine ilişkin parametre tahmin değerleri ve istatistiksel sonuçlar Tablo 4.17’de ve bu denklemlerin geçerliliklerine ilişkin t testi sonuçları Tablo 4.18’de verilmiştir. Tablolar incelendiğinde geliştirilen uyumlu biyokütle-hacim denklemlerinin oldukça yüksek R^2 değerlerine sahip olduğu ve bu denklemlerin %95 güvenle kullanılabilir oldukları görülmektedir.

Tablo 4.17. *Uyumlu-biyokütle hacim denklemlerine ilişkin parametre tahmin değerleri*

Denklem	R^2	a_0	a_1	a_2	b_0	b_1	b_2	c_0	c_1	c_2
<u>Uyumlu gövde odunu biyokütlesi-kabuksuz gövde hacmi denklemleri</u>										
Hacim	0,969	0,000036	1,863	1,081						
Biyokütle	0,971				0,027	1,717	1,119			
Uyumlu	0,971							740,963	-0,146	0,038
<u>Uyumlu kabuklu gövde biyokütlesi-kabuklu gövde hacmi denklemleri</u>										
Hacim	0,983	0,00007	1,813	1,008						
Biyokütle	0,972				0,042	1,686	1,052			
Uyumlu	0,972							596,985	-0,127	0,044
<u>Uyumlu topraküstü toplam biyokütle-kabuklu gövde hacmi denklemleri</u>										
Hacim	0,983	0,00007	1,813	1,008						
Biyokütle	0,965				0,101	1,895	0,582			
Uyumlu	0,965							1449,037	0,082	-0,426

Tablo 4.18. *Uyumlu-biyokütle hacim denklemlerine ilişkin t testi sonuçları*

Denklem	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	t	p
<u>Uyumlu gövde odunu biyokütlesi-kabuksuz gövde hacmi denklemleri</u>					
Hacim Denklemi	0,007	0,031	0,006	1,180	0,247
Biyokütle Denklemi	-6,515	19,761	3,493	1,865	0,072
Uyumlu Biyokütle-Hacim Denklemi	-4,417	19,564	3,458	1,277	0,211
<u>Uyumlu kabuklu gövde biyokütlesi-kabuklu gövde hacmi denklemleri</u>					
Hacim Denklemi	0,008	0,063	0,011	0,673	0,506
Biyokütle Denklemi	-5,637	23,979	4,239	1,330	0,193
Uyumlu Biyokütle-Hacim Denklemi	-4,625	24,093	4,259	1,086	0,286
<u>Uyumlu topraküstü toplam biyokütle-kabuklu gövde hacmi denklemleri</u>					
Biyokütle Denklemi	6,683	31,735	5,610	1,191	0,243
Uyumlu Biyokütle-Hacim Denklemi	5,580	31,402	5,551	1,005	0,323

Geliştirilen uyumlu biyokütle-hacim denklemleri incelendiğinde, bu denklemlerin biyokütle bileşenleri için geliştirilen denklemler arasından 3.33 nolu denklem ile benzerlik gösterdiği ve gövde odunu, kabuk ve topraküstü toplam biyokütle için en

başarılı denklem olarak bulunan 3.33 nolu denklemin kabuksuz gövde odunu, kabuklu gövde ve topraküstü toplam biyokütle için geliştirilen uyumlu denklemler olarak da oldukça başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda geliştirilen denklemler arasından seçilen en başarılı denklemlerle, topraküstü bileşenlere ilişkin biyokütle miktarları ve topraküstü toplam biyokütle miktarı sadece çap değerlerine ya da çapa ek olarak boy değerlerine göre tahmin edilebilecektir. Bu denklemler kullanılarak oluşturulan Tek Girişli Topraküstü Biyokütle Tablosu Ek 1’de, Çift Girişli Gövde Odunu Biyokütle Tablosu Ek 2’de, Çift Girişli Kabuk Biyokütle Tablosu Ek 3’te, Çift Girişli Dal Biyokütle Tablosu Ek 4’te, Çift Girişli İbre Biyokütle Tablosu Ek 5’te ve Çift Girişli Topraküstü Toplam Biyokütle Tablosu Ek 6’da verilmiştir.

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada, literatürde yaygın olarak kullanılan tek ve çift girişli biyokütle denklemlerinin Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü saf karaçam meşcereleri için kullanılabilirlikleri araştırılmış ve bu amaçla Regresyon Analizi yardımıyla 18 adet tek girişli ve 21 adet çift girişli denkleme ilişkin parametreler tahmin edilmiştir.

Her bir biyokütle bileşeni (gövde odunu, kabuk, dal ve ibre) ve topraküstü toplam biyokütle için denenen 39 denklemden, gövde odunu biyokütlesi için 14 adet tek girişli ve 12 adet çift girişli denklemin tüm parametreleri anlamlı bulunurken, kabuk biyokütlesi için 13 adet tek ve 12 adet çift girişli, dal biyokütlesi için 12 adet tek ve 13 adet çift girişli, ibre biyokütlesi için 15 adet tek ve 11 adet çift girişli ve topraküstü toplam biyokütle için de 15 adet tek ve 12 adet çift girişli denklemin tüm parametreleri anlamlı ($p<0,05$) bulunmuştur.

Her bir biyokütle bileşeni ve topraküstü toplam biyokütle için tüm parametreleri anlamlı bulunan denklemler Belirtme Katsayısı (R^2), Ortalama Hata (*Bias*), Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (*RMSE*) ve Akaike Bilgi Kriteri (*AIC*) olmak üzere 4 farklı istatistiksel ölçüte göre değerlendirilerek denklemlerin başarı sıraları (*RANK*) belirlenmiştir. Başarı sıralamalarında genel olarak yüksek R^2 değerine sahip olan denklemlerin üst sıralarda olduğu görülmektedir. Bunun yanında, üst sıralarda bulunan denklemlerin *RMSE* ve *AIC* değerleri alt sıralardaki denklemlere göre daha düşüktür. Denklemlere ilişkin *Bias* değerleri karşılaştırıldığında ise denklemlerin büyük çoğunluğunun oldukça düşük *Bias* değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Tüm parametreleri anlamlı bulunan denklemlerde yapılan t testleri sonucunda gövde odunu biyokütlesi için 3.13 nolu tek girişli ve 3.33 nolu çift girişli denklemler, kabuk biyokütlesi için 3.14 nolu tek girişli ve 3.33 nolu çift girişli denklemler, dal biyokütlesi için 3.14 nolu tek girişli ve 3.34 nolu çift girişli denklemler, ibre biyokütlesi için 3.22 nolu tek girişli ve 3.34 nolu çift girişli denklemler ve topraküstü toplam biyokütle için 3.13 nolu tek girişli ve 3.33 nolu çift girişli denklemler en başarılı denklemler olarak seçilmişlerdir.

Gövde odunu biyokütlesi (tek ve çift girişli denklemler için sırasıyla $R^2=0,959$ ve $R^2=0,971$) ve topraküstü toplam biyokütle (tek ve çift girişli denklemler için sırasıyla $R^2=0,979$ ve $R^2=0,965$) miktarını veren denklemlerin diğer biyokütle bileşenlerine göre (tek ve çift girişli denklemler olarak, sırasıyla kabuk için $R^2=0,949$ ve $R^2=0,883$, dal için $R^2=0,889$ ve $R^2=0,618$ ve ibre için $R^2=0,840$ ve $R^2=0,613$) daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Bunun sebebi gövde odunu biyokütlesi ve topraküstü biyokütle miktarlarının yalnızca göğüs çapı ya da göğüs çapı ve boy ikilisi ile daha yüksek korelasyona sahip olmasıyla açıklanabilmektedir. İbre biyokütlesinin ise tüm biyokütle bileşenleri arasında çap ya da çap ve boy ikilisi ile en düşük ilişkiye sahip olduğu görülmektedir.

Parresol (1999) ve Bi, Birk, Turner, Lambert ve Jurskis (2001), topraküstü biyokütle tahmini için geliştirilen biyokütle denklemi yardımıyla elde edilen topraküstü biyokütle tahminlerinin, biyokütle bileşenleri (gövde, kabuk, dal ve ibre) için geliştirilen denklemler yardımıyla her bir bileşen için ayrı ayrı hesaplanan biyokütle tahminlerinin toplamına eşit olması gerektiğini belirtmektedirler. Bu çalışma kapsamında geliştirilen tek girişli ve çift girişli topraküstü biyokütle denklemleri ile elde edilen biyokütle tahminleri ile biyokütle bileşenlerine ilişkin tek ve çift girişli denklemler ile elde edilen biyokütle tahminlerinin toplamları, çalışma materyalini oluşturan örnek ağaçlara ilişkin veriler yardımıyla karşılaştırıldığında;

- Tek girişli topraküstü biyokütle denklemi ile elde edilen topraküstü toplam biyokütle değerleri ile biyokütle bileşenlerine ilişkin tek girişli denklemler kullanılarak hesaplanan biyokütle değerlerinin toplamları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunduğu ($p<0,05$), ancak bu istatistiksel farklılığın tek girişli topraküstü biyokütle denkleminin toplamsal değerlere göre daima eksik sonuçlar vermesinden, bir başka ifade ile tek girişli topraküstü biyokütle denklemi ile elde edilen tahminler ile biyokütle bileşenlerine ilişkin biyokütle tahminlerinin toplamları arasındaki farkın sürekli negatif olmasından kaynaklandığı görülmektedir. Gerek tek girişli biyokütle denklemi ile elde edilen topraküstü toplam biyokütle değerleri ve gerekse bileşenlere ilişkin tek girişli denklemler kullanılarak elde edilen biyokütle değerlerinin toplamları ile elde edilen toplam biyokütle değerleri,

örnek ağaçlara ilişkin ölçülen (gerçek) topraküstü biyokütle değerleri ile karşılaştırıldığında, her iki gruptaki tahmin değerlerinin de gerçek değerler ile istatistiksel olarak anlamlı fark göstermediği belirlenmiştir ($p>0,05$).

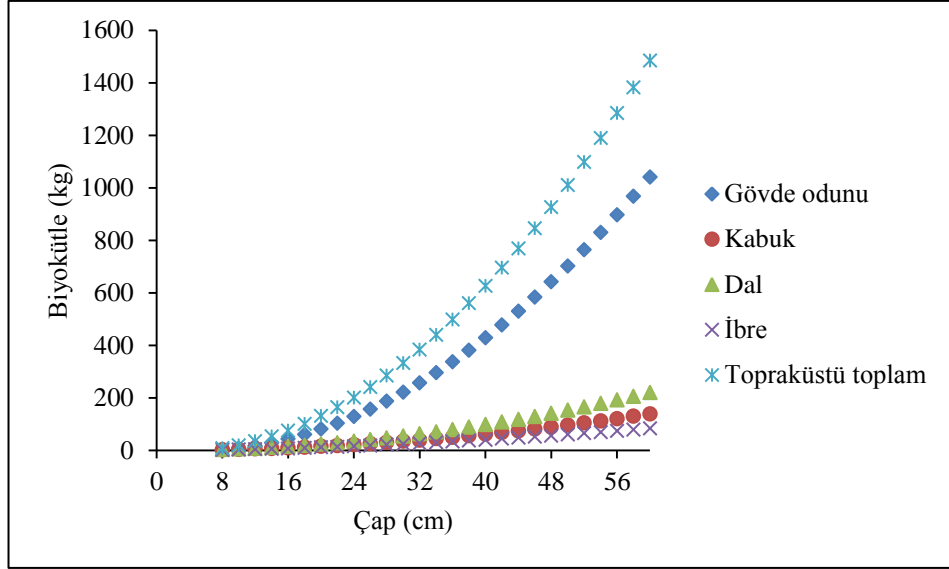
- Tek girişli denklem ile elde edilen topraküstü biyokütle değerleri ile biyokütle bileşenlerine ilişkin tek girişli denklemler kullanılarak hesaplanan biyokütle değerleri arasındaki farklar rölatif olarak karşılaştırıldığında, ortalama rölatif fark değeri %1,18 olarak bulunmuş ve %0,19 - %5,26 aralığında değişen rölatif farkların ince çaplardan kalın çaplara doğru azaldığı anlaşılmıştır.
- Çift girişli topraküstü biyokütle denklemi ile elde edilen topraküstü toplam biyokütle değerleri ile biyokütle bileşenlerine ilişkin çift girişli denklemler kullanılarak hesaplanan biyokütle değerlerinin toplamları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır ($p>0,05$). Gerek çift girişli biyokütle denklemi ile elde edilen topraküstü toplam biyokütle değerleri ve gerekse bileşenlere ilişkin çift girişli denklemler kullanılarak elde edilen biyokütle değerlerinin toplamları ile elde edilen toplam biyokütle değerleri, örnek ağaçlara ilişkin ölçülen (gerçek) topraküstü biyokütle değerleri ile karşılaştırıldığında da her iki gruptaki tahmin değerlerinin gerçek değerler ile istatistiksel olarak anlamlı fark göstermediği görülmüştür ($p>0,05$).
- Çift girişli denklem ile elde edilen topraküstü biyokütle değerleri ile biyokütle bileşenlerine ilişkin çift girişli denklemler kullanılarak hesaplanan biyokütle değerleri arasındaki farklar rölatif olarak karşılaştırıldığında, ortalama rölatif fark değerinin %8,45 olduğu ve %0,03 - %91,1 aralığında değişen rölatif farkların çap ve/veya boy artışıyla birlikte azaldığı belirlenmiştir.

Biyokütle bileşenlerinin ve topraküstü toplam biyokütlenin tahmininde kullanılmak üzere seçilen tek ve çift girişli denklemlere ilişkin hata dağılımları incelendiğinde; gerek tek ve gerekse çift girişli gövde odunu, kabuk ve topraküstü toplam biyokütle denklemleri ile tek girişli ibre ve çift girişli dal biyokütle denklemlerinin hata

ortalamalarının düşük değerler aldığı ve rasgele bir dağılım gösterdiği, buna karşın tek girişli dal ve çift girişli ibre biyokütle denklemlerinin hata ortalamalarının diğer denklemlere göre kısmen daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, her bir biyokütle bileşeni ve topraküstü toplam biyokütle için geliştirilen çift girişli denklemlerin hata miktarları tek girişli denklemlere göre daha düşüktür.

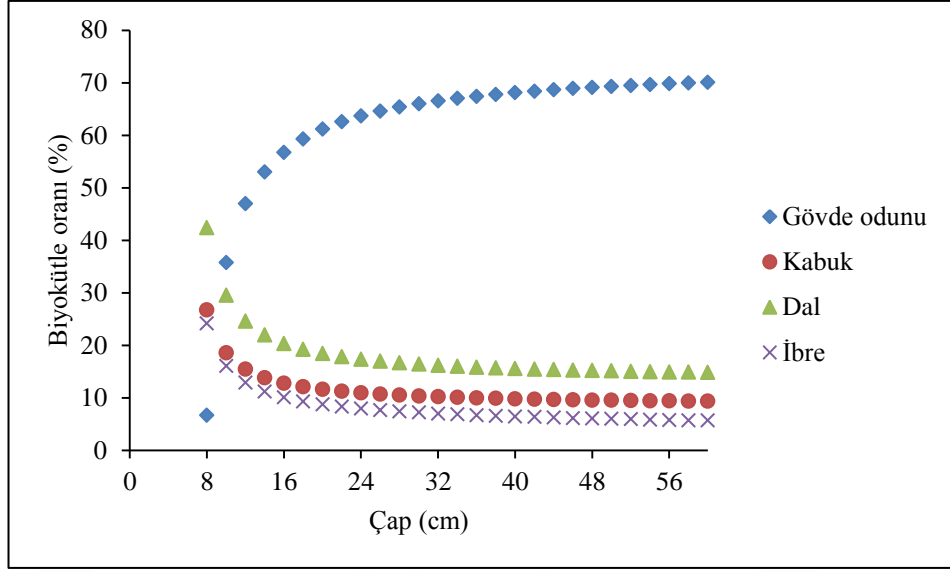
Çalışma kapsamında kabuksuz gövde odunu biyokütlesi, kabuklu gövde biyokütlesi ve topraküstü toplam biyokütle tahminleri için geliştirilen uyumlu biyokütle-hacim denklemlerinin oldukça başarılı sonuçlar (sırasıyla $R^2=0,971$, $R^2=0,972$ ve $R^2=0,965$) verdiği görülmektedir. Bu denklemlerin biyokütle bileşenleri ile topraküstü toplam biyokütle için geliştirilen çift girişli denklemler arasından 3.33 nolu denklem ile benzer formda oldukları görülmektedir. Sözü edilen çift girişli denklem gövde odunu biyokütlesi, kabuk biyokütlesi ve topraküstü toplam biyokütle için en başarılı denklem olmuş ve uyumlu denklemler olarak da başarılı sonuçlar vermiştir. Bu çalışma kapsamında, uyumlu biyokütle-hacim denklemlerinde bağımsız değişken olarak kullanılacak olan hacim değerlerinin tahmin edilmesinde kullanılmak üzere çift girişli hacim denklemleri de geliştirilmiştir. İlgili hacim denklemleri, çalışma alanındaki karaçam ağaçlarının hacim tahminlerinde doğrudan kullanılabilir niteliktedir.

Seçilen tek girişli biyokütle denklemleri kullanılarak 8 cm ile 60 cm göğüs çapı değerleri aralığında hesaplanan gövde odunu, kabuk, dal, ibre ve topraküstü toplam biyokütle değerlerinin göğüs çapına göre değişimi Grafik 5.1'de verilmiştir. Bu grafikten de anlaşılacağı gibi küçük çap değerlerinde birbirlerine oldukça yakın değerler alan biyokütle değerleri arasındaki farklar çap artışıyla birlikte artmaktadır. Biyokütle bileşenleri arasında en yüksek biyokütle değerlerinin gövde odununda görüldüğü, bunu sırasıyla dal ve kabuk biyokütlelerinin izlediği ve en düşük değerlere ise ibre biyokütlesinin sahip olduğu görülmektedir. Çap artışıyla birlikte gövde odunu biyokütlesinde diğer biyokütle bileşenlerine nazaran önemli artışlar gözlemlenirken, kabuk, dal ve ibre biyokütlelerindeki artış daha düşük olmaktadır.



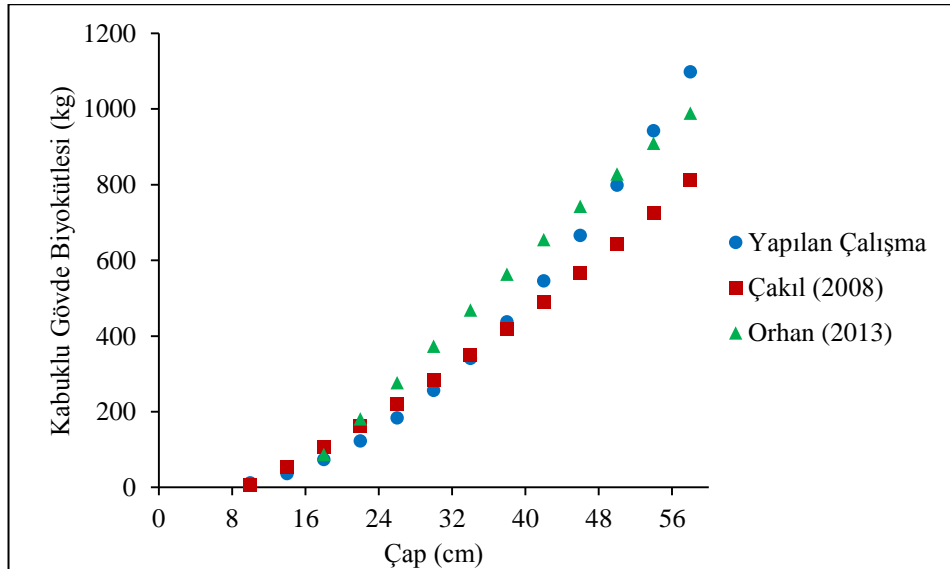
Grafik 5.1. Biyokütle değerlerinin çapa göre değişimi

Tek girişli denklemler ile hesaplanan gövde odunu, kabuk, dal ve ibre biyokütlelerinin toplam topraküstü biyokütle içerisinde çapa göre oransal değişimi Grafik 5.2’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde, biyokütle bileşenlerinin topraküstü toplam biyokütle içerisindeki oranlarının ince çaplarda birbirlerine yakın değerler aldığı, ancak çap değerlerinin artışıyla birlikte gövde odunu biyokütlesi oranının diğer bileşenlere ilişkin biyokütle oranlarından oldukça yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. İnce çaplardan kalın çaplara doğru gidildikçe, yaklaşık olarak gövde odunu biyokütlesi oranının %15’ten %70’e çıktığı, buna karşın kabuk biyokütlesi oranının %25’ten %10’a, dal biyokütlesi oranının %30’dan %15’e ve ibre biyokütlesi oranının da %20’den %5’e düştüğü anlaşılmaktadır.

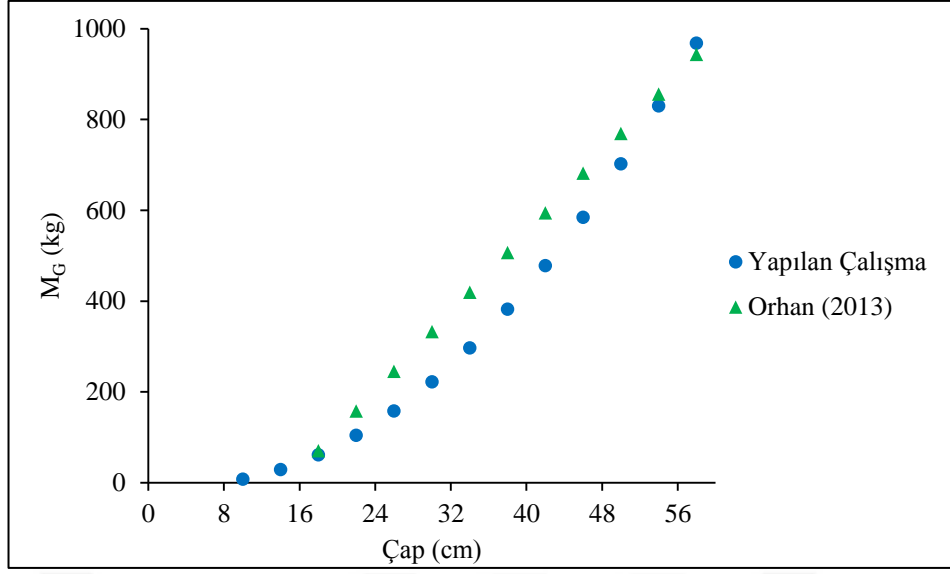


Grafik 5.2. Biyokütle oranlarının çapa göre değişimi

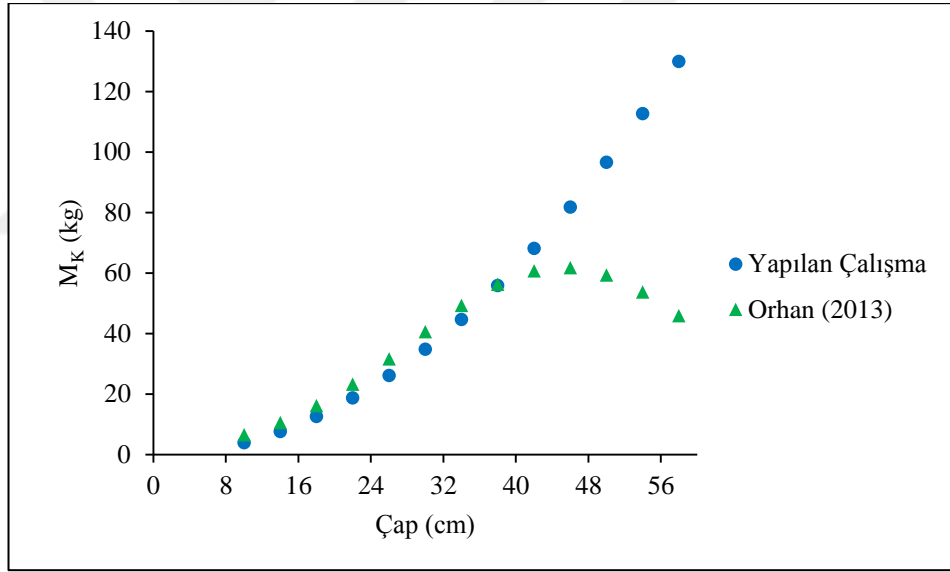
Karaçam ağaç türü için Zonguldak yöresinde Çakıl (2008) ve Orhan (2013) tarafından yapılan çalışmalarda biyokütle bileşenleri ile topraküstü toplam biyokütle miktarlarını veren denklemler geliştirilmiştir. Yapılan bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar ile Çakıl (2008) ve Orhan (2013) tarafından yapılan çalışmalara ilişkin sonuçlar grafikler yardımıyla karşılaştırılmıştır (Grafik 5.3-Grafik 5.8).



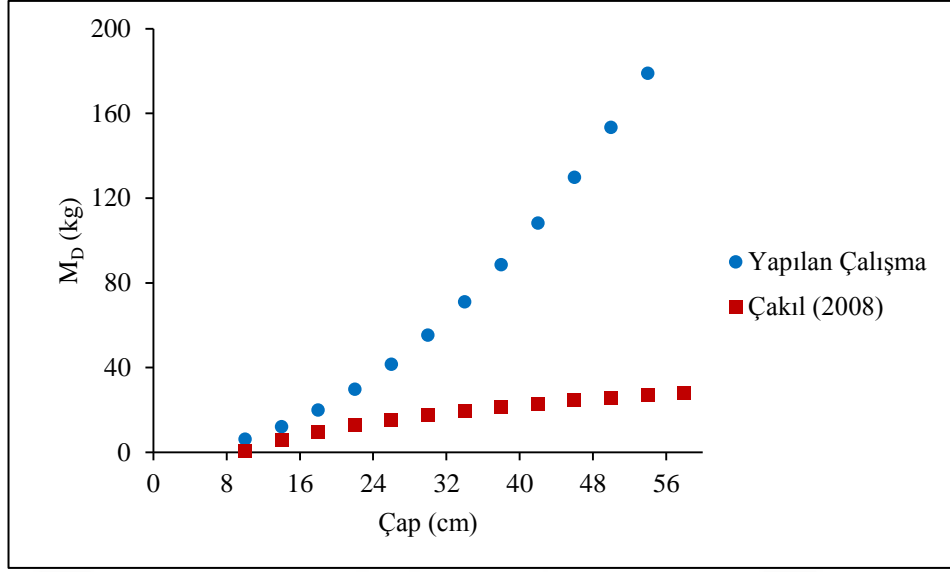
Grafik 5.3. Kabuklu gövde biyokütlesine ilişkin karşılaştırma



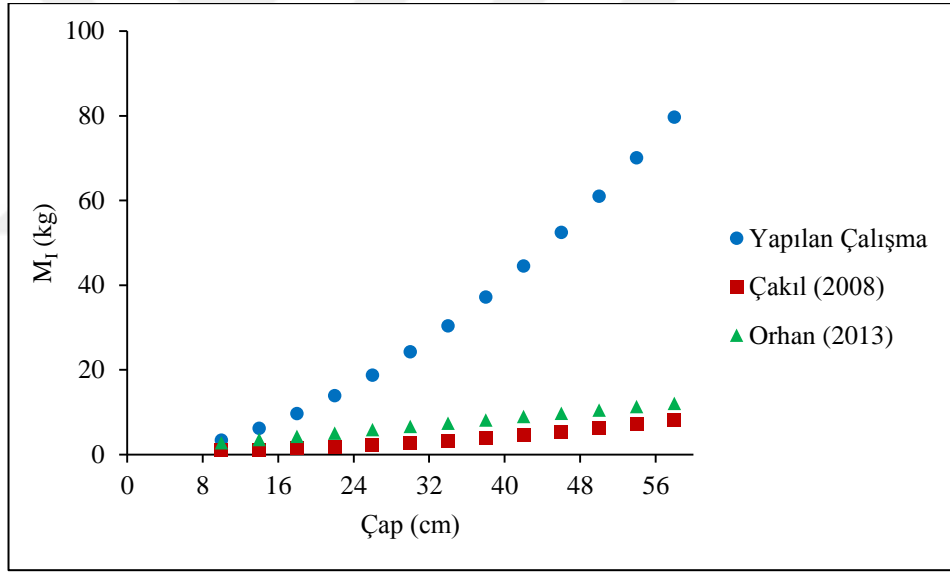
Grafik 5.4. Gövde odunu biyokütlesine ilişkin karşılaştırma



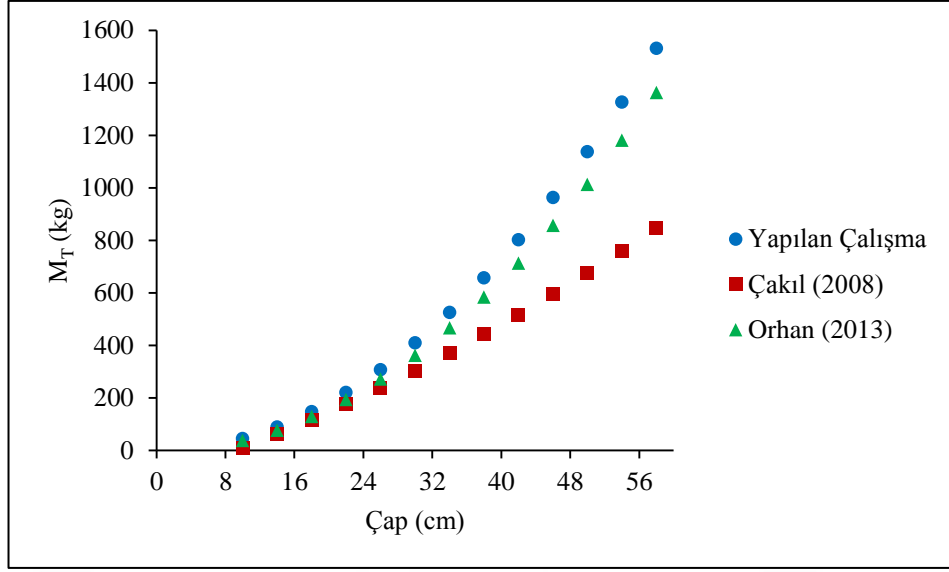
Grafik 5.5. Kabuk biyokütlesine ilişkin karşılaştırma



Grafik 5.6. Dal biyokütlesine ilişkin karşılaştırma



Grafik 5.7. İbre biyokütlesine ilişkin karşılaştırma



Grafik 5.8. Topraküstü toplam biyokütleyle ilişkin karşılaştırma

Çakıl (2008) tarafından yapılan çalışmada gövde odunu ve kabuk biyokütellerinin ayrı ayrı tahmin eden denklemlerin geliştirilmesi yerine doğrudan kabuklu gövde biyokütle denklemlerinin geliştirilmiş olması nedeniyle, karşılaştırmaların yapılabilmesi için bu tez çalışmasında ve Orhan (2013) tarafından yapılan çalışmada geliştirilen denklemler kullanılarak hesaplanan gövde odunu biyokütle miktarları ile kabuk biyokütle miktarları toplanarak kabuklu gövde biyokütle miktarları elde edilmiştir. Grafik 5.3 incelendiğinde bu çalışma ile kıyaslanan diğer iki çalışmanın gövde odunu biyokütle miktarlarının ince çaplarda birbirine yakın değerler almasına rağmen kalın çaplarda farklılıkların olduğu gözlenmektedir. Yapılan çalışmayla elde edilen kabuklu gövde biyokütelleri ince ve orta çaplarda Çakıl (2008) tarafından geliştirilen denklem ile tahmin edilen kabuklu gövde biyokütelleri ile benzerlik gösterirken, kalın çaplarda Orhan (2013) tarafından geliştirilen denklem ile tahmin edilen kabuklu gövde biyokütelleri ile benzerlik göstermektedir. Çakıl (2008) ve Orhan (2013) tarafından kalın çaplardaki bireyler için elde edilen kabuklu gövde biyokütelleri, yapılan çalışmayla elde edilen kabuklu gövde biyokütle miktarlarına göre eksik sonuçlar vermektedir.

Yapılan bu çalışma ile Orhan (2013) tarafından yapılan çalışma gövde odunu biyokütle tahminleri bakımından karşılaştırıldığında (Grafik 5.4), elde edilen sonuçların kabuklu gövde odunu tahminlerinin karşılaştırıldığı Grafik 5.3 ile benzer

olduğu görülmektedir. Her iki çalışmada elde edilen gövde odunu biyokütle değerlerinin ince ve kalın çaplarda benzerlik gösterdiği, orta çaplarda ise belirgin farklılıkların ortaya çıktığı görülmüştür. Sözü edilen bu fark, yapılan çalışmada elde edilen değerlerin Orhan (2013)'e göre daha düşük olduğu yönündedir.

Yapılan bu çalışma ve Orhan (2013) tarafından yapılan çalışma sonucu tahmin edilen kabuk biyokütlesi değerlerinin incelendiği Grafik 5.5'te 40 cm çapına kadar sonuçların benzerlik gösterdiği, 40 cm'den sonra Orhan (2013)'e ilişkin denklem ile elde edilen değerlerin giderek azaldığı, ancak bu çalışma ile elde edilen değerlerin ise çap artışıyla birlikte artmaya devam ettiği görülmektedir.

Bu çalışmada geliştirilen tek girişli denklem ile hesaplanan dal biyokütlesi ile Çakıl (2008) tarafından hesaplanan dal biyokütlesinin karşılaştırıldığı Grafik 5.6 incelendiğinde, iki çalışma ile elde edilen dal biyokütle miktarları arasında önemli farklılıklar olduğu ve bu farklılıkların ince çaplarda nispeten düşük olmasına rağmen 20 cm çapından itibaren önemli artış gösterdiği görülmektedir.

Yapılan bu çalışma ve kıyaslanan diğer çalışmalar (Çakıl, 2008; Orhan, 2013) ile hesaplanan ibre biyokütle miktarlarının karşılaştırıldığı Grafik 5.7 incelendiğinde, yapılan çalışma ile kıyaslanan diğer iki çalışma arasında önemli farklılıkların olduğu ve bu çalışma ile elde edilen ibre biyokütlesi değerlerinin diğer iki çalışmaya göre oldukça yüksek değerler aldığı görülmektedir. Bu farklılıklar ince çaplardan itibaren kendini göstermeye başlamış ve çap kalınlaştıkça daha da belirginleşmiştir. Ritchie (2013), ibre biyokütlesinde meydana gelen bu farklılıkların meşcerelere yapılan farklı müdahalelerin etkisiyle ortaya çıktığını belirtmektedir. Ayrıca bu farklılıklar yetişme ortamlarının farklı olmasından da kaynaklanabilmektedir.

Topraküstü toplam biyokütle için yapılan çalışma ile Çakıl (2008) ve Orhan (2013) tarafından elde edilen sonuçların kıyaslandığı Grafik 5.8 incelendiğinde ince çaplarda üç çalışmada geliştirilen denklemlerle elde edilen biyokütle miktarlarının birbirine yakın değerler aldığı, 30 cm'den itibaren Çakıl (2008) tarafından geliştirilen denklemle elde edilen biyokütle miktarlarının düşük kaldığı, Orhan (2013) tarafından geliştirilen denklemle elde edilen biyokütle miktarlarının ise yapılan bu çalışmada

elde edilen değerlerle benzerlik gösterdiği görülmektedir. İnce aplardan itibaren tüm çap değerlerinde, yapılan bu çalışma ile elde edilen topraküstü toplam biyokütle değerleri en yüksek değerler olmuş, bunu Orhan (2013) tarafından elde edilen değerler izlemiş ve en düşük değerler de çakıl (2008) tarafından elde edilen değerler olmuştur.



6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü'nde yayılış gösteren karaçam (*Pinus nigra* J.F.Arnold) türü için topraküstü biyokütle bileşenleri (gövde odunu, kabuk, dal ve ibre) ve topraküstü toplam biyokütle için tek ağaç bazında tek ve çift girişli biyokütle denklemleri geliştirilmiştir. Bu amaçla 85 adet örnek alan alınarak, her bir örnek alandan en az bir adet olmak üzere toplam 127 örnek ağaç seçilmiştir. Örnek ağaçlardan elde edilen verilerle denklemlerin geliştirilmesinde Regresyon Yöntemi kullanılmıştır. Biyokütle denklemlerinin yaş veya fırın kuru ağırlıklara göre geliştirilebilmesine rağmen yaş ağırlıklıkların birçok faktöre göre değişim göstermesinden dolayı bu çalışmada biyokütle denklemlerinin fırın kuru ağırlıklara göre geliştirilmesi tercih edilmiştir. Literatürde yaygın olarak kullanılan 18 adet tek girişli biyokütle denkleminde göğüs çapı ve fırın kuru ağırlıklar, 21 adet çift girişli biyokütle denkleminde ise göğüs çapı, boy ve fırın kuru ağırlıklar dikkate alınarak Regresyon Analizi yapılmış ve denklemlere ilişkin parametreler tahmin edilmiştir.

Denklemlerin başarılarının ortaya konulmasında 4 farklı istatistiksel ölçütten (Belirtme Katsayısı (R^2), Ortalama Hata (*Bias*), Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (*RMSE*) ve Akaike Bilgi Kriteri (*AIC*)) yararlanılmıştır. Denklemler, bu istatistiksel ölçütlerin her biri için verilen sıralama değerlerin toplamına (RANK) göre karşılaştırılmış ve bu karşılaştırma sonucunda tek girişli biyokütle denklemlerinden gövde odunu ve topraküstü toplam biyokütle için 3.13, kabuk ve dal biyokütlesi için 3.14 ve ibre biyokütlesi için 3.22 nolu denklemler başarılı bulunurken, çift girişli biyokütle denklemlerinden gövde odunu, kabuk ve topraküstü toplam biyokütle için 3.33, dal ve ibre biyokütlesi için 3.34 nolu denklemler başarılı bulunmuştur. Söz konusu denklemler her bir biyokütle bileşeni için tek ve çift girişli denklemler olarak aşağıda verilmiştir.

Gövde Odunu Biyokütle Denklemleri:

$$M_G = -2,581 d + 0,332 d^2$$

$$M_G = 0,027 d^{1,717} h^{1,119}$$

Kabuk Biyokütle Denklemleri:

$$M_K = 0,039 d^2$$

$$M_K = 0,038 d^{1,500} h^{0,620}$$

Dal Biyokütle Denklemleri:

$$M_D = 0,061 d^2$$

$$M_D = 9,495 + 0,003(d^2 h)$$

İbre Biyokütle Denklemleri:

$$\ln(M_I) = -3,021 + 1,804 \ln(d)$$

$$M_I = 8,497 + 0,0008 (d^2 h)$$

Topraküstü Toplam Biyokütle Denklemleri:

$$M_T = -2,544 d + 0,455 d^2$$

$$M_T = 0,101 d^{1,895} h^{0,582}$$

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen bu denklemlerle, topraküstü bileşenlere ilişkin biyokütle miktarları ve topraküstü toplam biyokütle miktarı sadece çap değerlerine ya da çapa ek olarak boy değerlerine göre ortaya konulabilecektir. Bu denklemler kullanılarak oluşturulan Tek Girişli Topraküstü Biyokütle Tablosu Ek 1'de, Çift Girişli Gövde Odunu Biyokütle Tablosu Ek 2'de, Çift Girişli Kabuk Biyokütle Tablosu Ek 3'te, Çift Girişli Dal Biyokütle Tablosu Ek 4'te, Çift Girişli İbre Biyokütle Tablosu Ek 5'te ve Çift Girişli Topraküstü Toplam Biyokütle Tablosu Ek 6'da verilmiştir.

Seçilen denklemlerin, kontrol amacıyla ayrılan 32 örnek ağaçtan elde edilen veriler kullanılarak yapılan t Testi sonuçlarına göre %95 güven düzeyinde kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

İbre biyokütle denklemlerinin diğer biyokütle bileşenleri ve topraküstü toplam biyokütle denklemlerine göre daha düşük başarı gösterdiği, gövde odunu biyokütle denklemleri ile topraküstü toplam biyokütle denklemlerinin ise en yüksek başarıya sahip oldukları görülmüştür. Bu durum, literatürde yer alan sonuçlarla paralellik göstermektedir.

Biyokütle miktarlarının tahmininde ağaç çapı ve boyuna ek olarak hacmin de bağımsız bir değişken olarak denkleme dahil edilmesiyle denklem başarılarında önemli oranda artış olduğu bilinmektedir. Bu çalışma kapsamında aynı matematiksel forma sahip çift girişli bir hacim denklemi ile çift girişli bir biyokütle denkleminin uyumluluğu araştırılmış olup, bu bağlamda oldukça yüksek R^2 değerlerine sahip olan uyumlu gövde odunu biyokütlesi ve kabuksuz gövde hacmi, uyumlu kabuklu gövde biyokütlesi ve kabuklu gövde hacmi, uyumlu topraküstü toplam biyokütle ve kabuklu gövde hacmi denklemleri geliştirilmiştir. Bahsedilen denklemler aşağıdaki gibidir:

Uyumlu gövde odunu biyokütlesi ve kabuksuz gövde hacmi denklemleri:

$$V_{Ksz} = 0,000036d^{1,863} h^{1,081}$$

$$M_G = 0,027d^{1,717} h^{1,119}$$

$$M_G = 740,963d^{-0,146} h^{0,038}V_{Ksz}$$

Uyumlu kabuklu gövde biyokütlesi ve kabuklu gövde hacmi denklemleri:

$$V_{Kbl} = 0,00007d^{1,813} h^{1,008}$$

$$M_{GK} = 0,042d^{1,686} h^{1,052}$$

$$M_{GK} = 596,985d^{-0,127} h^{0,044}V_{Kbl}$$

Uyumlu topraküstü toplam biyokütle ve kabuklu gövde hacmi denklemleri:

$$V_{Kbl} = 0,00007d^{1,813} h^{1,008}$$

$$M_T = 0,101d^{1,895} h^{0,582}$$

$$M_T = 1449,037d^{0,082} h^{-0,426}V_{Kbl}$$

Günümüzde fosil yakıtlar gibi yenilemeyen enerji kaynaklarının tükenmeye yüz tutması ve çevreye yaptığı olumsuz etkilerden dolayı yenilenebilir bir kaynak olan orman biyokütlesi artan bir öneme sahip olmaktadır. Bu sebeple biyokütle ile ilgili çalışmaların ülkemizde yayılış gösteren tüm ağaç türleri için yapılması yararlı olacaktır.

Bu çalışmada topraküstü biyokütle miktarlarının belirlenmesi üzerine çalışılmış olup, toprakaltı biyokütle miktarı çalışma dışında tutulmuştur. Bir ağaç biyokütlesi toprakaltı ve topraküstü biyokütle olarak iki kısımdan oluşmaktadır ve bundan sonra yapılacak olan çalışmalarda karaçam için toprakaltı biyokütle miktarlarının ortaya konulması önemli bir yere sahip olacaktır.

Biyokütle denklemleri tek girişli, çift girişli ve çok girişli olarak üçe ayrılmaktadır. Tek girişli denklemler sadece göğüs çapına dayanan denklemlerdir. Biyokütle denklemlerinde göğüs çapına ek olarak ağaç boyunun ve hacim yoğunluk değerinin dahil edilmesi ile denklem başarılarında önemli artışlar olduğu ifade edilmektedir (Brown vd., 1989; Brown, 1997; Baker vd., 2004; Chave vd., 2006; Steege vd., 2006; Wang vd., 2006; Nogueira vd., 2008). Çok girişli denklemlerin kullanımı zor olmasına rağmen daha güvenilir sonuçlar verdiği bilinmektedir. Bu çalışmada tek girişli ve çift girişli biyokütle denklemleri geliştirilmiş olup, çok girişli biyokütle denklemlerine yer verilmemiştir. Fakat bu eksiklik, bu çalışmanın bir parçasını oluşturduğu ve henüz tamamlanmamış olan TOVAG-2140217 nolu TÜBİTAK projesinde giderilmeye çalışılacaktır.

Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar Taşköprü yöresi Karaçam ağaç türü için geçerlidir. Ancak elde edilen sonuçların Karaçamın yayılış gösterdiği diğer alanlarda

kullanılabilmesi için, seçilen denklemlerin ilgili yöreler için uygun olup olmadıklarının araştırılması gerekir.

Biyokütle denklemlerinin ülkemizdeki bazı ağaç türleri için geliştirilmiş olduğu düşünüldüğünde, bu çalışmaların ülkemizde yayılış gösteren tüm ağaç türleri için yapılması gerekliliği açıktır. Ayrıca yapılacak olan çalışmalarda biyokütle miktarlarının Regresyon Yöntemi kullanılarak belirlenmesi en güvenilir seçenek olmaktadır.



KAYNAKLAR

- Akkemik, Ü. (2014). *Türkiye'nin doğal-egzotik ağaç ve çaluları I*. Ankara: Orman Genel Müdürlüğü Yayınları.
- Alban, D.H., Perala, D.A. & Schlaegel. B.E. (1978). Biomass and nutrient distribution in aspen, pine and spruce stands on the same soil type in Minnesota. *Canadian Journal of Forest Research*, 8, 290-299.
- Alemdağ, İ.Ş. (1980). *Manual of data collection and processing for the development of forest biomass relationships*. Canada: Petawawa National Forestry Service.
- Alemdağ, İ.Ş. (1981). *Aboveground-mass equations for six hardwood species from natural stands of the research forest at Petawawa*. Canadian Forestry Service, Canada, Information Report, 6-9.
- Alfaro-Sanchez, R., Lopez-Serrano, F.R., Rubio, E., Moya, Daniel., Sanchez-Salguero, R., De Las Heras J. (2014). Biomass storage in low timber productivity Mediterranean forests managed after natural post-fire regeneration in south-eastern Spain. *European Journal of Forest Research*, 133, 793–807.
- Alvarez, E., Duque, A., Saldarriaga, J., Cabrera, K., Salas, G., Valle, I., Lema, A., Moreno, F., Orrego, S., Rodriguez, L. (2012). Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the natural forests of Colombia. *Forest Ecology and Management*, 267, 297-308.
- Anonim, (2001). *Climate Change: Impacts, Adaptations and Vulnerability, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Working Group II. Cambridge University, UK.
- Anşin, R. (1988). *Tohumlu bitkiler (Gymnospermae)*. Trabzon: KTÜ Orman Fakültesi Yayınları.
- Araújo, T.M., Higuchi, N. & Carvalho Junior, J.A. (1999). Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Pará, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 117, 43-52.
- Arslan, I.E., Aslan, S. & Topal, M. (2007a). Biyokütlenin Enerjiye Dönüştürülmesi. *I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi Bildiri Kitabı*, 485-492, İstanbul.
- Arslan, I.E., Aslan, S. & Topal, M. (2007b). Biyokütle Yetiştiriciliği. *I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi Bildiri Kitabı*, 479–484, İstanbul.
- Asan, Ü. (2012). Türkiye ormanlarındaki yıllık karbon stok değişimi trendinin irdelenmesi ve 2023 yılındaki durumun kestirilmesi. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi, Özel Sayı*, 109-120.

- Ata, C. & Demirci, A. (1992). *Silvikültürün temel prensipleri (Silvikültür I)*. Trabzon: KTÜ Orman Fakültesi.
- Atmaca, S. (2008). Erzurum Orman Bölge Müdürlüğü Sarıçam Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Zonguldak.
- Aydın, Ç. (2010). Artvin Orman Bölge Müdürlüğü Borçka Orman İşletme Müdürlüğü Sarıçam Biyokütle Tabloları. Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Trabzon.
- Baker, T.R., Phillips, O.L., Malhi, Y., Almeida, S., Arroyo, L., Di Fiore, A., Erwin, T., Killeen, T.J., Laurance, S.G., Laurance, W.F., Lewis, S.L., Lloyd, J., Monteagudo, A., Neill, D.A., Patino, S., Pitman, N.C.A., Silva, J.N.M., Vasquez Martinez, R. (2004). Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian biomass. *Global Change Biology*, 10, 1–18.
- Baskerville, G.L. (1972). Use of logarithmic Regression in The Estimation of Plant Biomass. *Canadian Journal of Forest*, 2, 49-53.
- Başçetinçelik, A., Karaca, C. & Öztürk, H.H. (2004). Bazı Avrupa Birliği Ülkelerinde Biyokütle Politikaları. V. *Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, 439-448, İstanbul.
- Bi, H., Birk, E., Turner, J., Lambert, M. & Jurskis, V. (2001). Converting stem volume to biomass with additivity, bias correction, and confidence bands for two Australian tree species. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 31(3), 298-319.
- Blankenhorn, P.R., Bowersox, T.W. & Wires, R.E. (1982). Energy relationship for selected cultivar investments. *Forest Science*, 64, 355-367.
- Brandeis, T.J., Delaney, M., Parresol, B.R. & Royer, L. (2006). Development of equations for predicting Puerto Rican subtropical dry forest biomass and volume. *Forest Ecology and Management*, 233, 133–142.
- Brown, S. & Lugo, A.E. (1982). *Biotropica*. 14,161.
- Brown, S. & Lugo, A.E. (1984). Biomass of tropical forests: a new estimate based on forest volumes. *Science*, 223, 1290-1293.
- Brown, S., Gillespie, A.J.R. & Lugo, A.E. (1989). Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science*, 35, 881–902.
- Brown, S. (1997). Ormanlar ve İklim Değişikliği: Karbon Rezervi Olarak Ormanlık Alanların Rolü. XI. *Dünya Ormanlık Kongresi Bildirileri*, 1, 89-102.

- Brown, S. (2002). Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environmental Pollution*, 16, 363-372.
- Chaturvedi, R.K. & Raghubanshi, A.S. (2013). Aboveground biomass estimation of small diameter woody species of tropical dry forest. *New Forests*, 44, 509–519.
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M.A., Chambers, J.Q., Eamus, D., Folster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J.P., Nelson, B.W., Ogawa, H., Puig, P., Riera, B., Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145, 87-99.
- Chave, J., Muller-Landau, H.C., Baker, T.R., Easdale, T.A., ter Steege, H., Webb, C.O. (2006). Regional and phylogenetic variation of wood density across 2,456 neotropical tree species. *Ecological Applications*, 16, 2356-2367.
- Cienciala, E., Černý, M., Apltauer, J. & Exnerová, Z. (2005). Biomass functions applicable to European beech. *Journal Of Forest Science*, 51(4), 147–154.
- Clark, D.A., Roberts, D.A., Ewel, J.J., Clark, D.B. (2011). Estimation of tropical rain forest aboveground biomass with small-footprint lidar and hyperspectral sensors. *Remote Sensing of Environment*, 115, 2931–2942.
- Cole, T. & Ewel, J. (2006). Allometric equations for four valuable tropical tree species. *Forest Ecology and Management*, 229, 351-360.
- Colgan, M.S., Swemmer, T. & Asner, G.P. (2014). Structural relationships between form factor, wood density, and biomass in African savanna woodlands. *Trees*, 28, 91–102.
- Çakıl, E. (2008). Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü Karaçam Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Zonguldak.
- Çevre ve Orman Bakanlığı, (2006). *Arazi Kullanımı, Arazi Kullanım Değişikliği ve Ormancılık (Land Use, Land-Use Change and Forestry-LULUCF) Çalışma Grubu Raporu*. Çevre ve Orman Bakanlığı Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Çevre ve Orman Bakanlığı, (2009). *Türkiye’de Arazi Kullanım Şekillerinin UNFCCC/IPCC Standardına Göre Belirlenmesi, Değişimlerin İzlenmesi ve Raporlanmasına Uygun Sistem Kurulumunun Araştırılması Projesi Hazırlık Toplantısı*. “Lulucf-Akakdo” İklim Değişikliği Çalışma Grubu. Ankara.
- Çevre ve Orman Bakanlığı, (2010). *Karbon Piyasalarında Ormancılık Sektörüne Bakış*. Ekim. 15 s.

- Çömez, A. (2010). Sündiken Dağlarında Sarıçam (*Pinus Sylvestris* L.) Meşcerelerinde Karbon Birikiminin Belirlenmesi. Yayınlanmamış Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Dixon, R.K., Trexler, M.C., Wisniewski, J., Brown, S., Houghton, R.A., Solomon, A.M. (1994). Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, 263, 185-190.
- Doucet, R., Berglund, J.V. & Farnsworth, C.E. (1976). Dry matter production in 40 year-old *Pinus banksiana* stands in Quebec. *Canadian Journal of Forest Research*, 6, 357-367.
- Durkaya, B. (1998). Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü Meşe Meşcerelerinin Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Zonguldak.
- Eler, Ü. (2013). *Dendrometri*. Yayın No: 30. Isparta: SDÜ Basımevi.
- Feldpausch, T.R., Lloyd, J., Brien, R., Lewis, S., Gloor, E., Monteagudo, A., Lopez-Gonzalez, G., Banin, L., Abu Salim, K., Alexiades, M., Almeida, S., Amaral, I., Andrade, Ana., Aragao, L. E. O. C., Murakami, A., Arets, E. J. M. M., Arroyo, L., Aymard, G., Baker, T., Banki, O., Berry, N.J., Cardozo, N., Stropp, J., Carneiro J., Phillips, O.L. (2012). Tree height integrated into pantropical forest biomass estimates. *Biogeosciences*, 9, 3381–3403.
- Frazer, G.W., Magnussen, S., Wulder, M.A. & Niemann, K.O. (2011). Simulated impact of sample plot size and co-registration error on the accuracy and uncertainty of LiDAR-derived estimates of forest stand biomass. *Remote Sensing of Environment*, 115, 636–649.
- Gleason, C.J. & Im, J. (2012). Forest biomass estimation from airborne LiDAR data using machine learning approaches. *Remote Sensing of Environment*, 125, 80–91.
- Good N.M., Paterson, M., Brack, C. & Mengersen, K. (2001). Estimating tree component biomass using variable probability sampling methods. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 6, 258-267.
- Goodale, C.L., Apps, M.J., Birdsey, R.A., Field, C.B., Heath, L.S., Houghton, R.A., Jenkins, J.C., Kohlmaier, G.H., Kurz, W., Liu, S., Nabuurs, G., Nilsson, S., Shvidenko, A.Z. (2002). Forest carbon sinks in the northern hemisphere. *Ecological Applications*, 12, 891-899.
- Guendehou, G.H.S., Lehtonen, A., Moudachirou, M., Mäkipää, R. & Sinsin, B. (2012). Stem biomass and volume models of selected tropical tree species in West Africa. *Southern Forests*, 74, 77-88.
- Günel, A. (1981). *Orman hasılat bilgisi ders notları*. İstanbul.

- Hall, R.J., Skakun, R.S., Arsenault, E.J. & Case, B.S. (2006). Modeling forest stand structure attributes using Landsat ETM+ data: application to mapping of aboveground biomass and stand volume. *Forest Ecology and Management*, 225, 378-390.
- Holdridge, L.R., Grenke, W., Hatheway, W.H., Liang, T. & Tosi, J.A. (1971). *Forest environments in tropical life zones: A Pilot Study*. Oxford Pergamon: Press.
- IPCC, (2003). Good Practise Guidance for Land Use, Land-use Change and Forestry, In: IGES, Eds. Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishy, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., Wagner, F., IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan, http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_contents.html, Erişim Tarihi: 05/09/2009.
- IPCC, (2006). IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories, prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, In: IGES, Japan (Eds.: H.S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara and K. Tanabe), <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>, Erişim Tarihi: 23/01/2010.
- İkinci, O. (2000). Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü Kestane Meşcerelerinin Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Zonguldak.
- Jenkins, J.C. Chojnacky, D.C., Heath, L.S. & Birdsey, R. (2003). National-scale biomass estimators for United States tree species. *Forest Science*, 49, 12-35.
- Kalıpsız, A. (1963). *Türkiye'de (Pinus nigra Arnold) meşcerelerinin tabii bünyesi ve verim kudreti üzerine araştırmalar*. Yayın No: 34918. Ankara: O.G.M.
- Karabürk, T. (2011). Bartın İli Göknar Meşcerelerinin Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Bartın.
- Kaya, Z. & Temerit, A. (1994). Genetic structure of marginally located *Pinus nigra* var. *pallasiana* populations in Central Turkey. *Silvae Genetica*, 43 (513), 272-277.
- Kayacık, H. (1980). *Orman ve park ağaçlarının özel sistematiği*. İstanbul: Orman Fakültesi Yayınları.
- Keller, M., Palace, M. & Hurtt, G. (2001). Biomass estimation in the Tapajos National Forest, Brazil: Examination of sampling and allometric uncertainties. *Forest Ecology and Management*, 154, 371-382.
- Laar, A. & Akça, A. (2007). *Forest mensuration*. The Netherlands: Springer.
- Lefsky, M.A., Harding, D.J., Keller, M., Cohen, W.B., Carabajal, C.C., Espirito-Santo, F.D., Hunter, M.O., De Oliveira Jr., R.C. (2005). Estimates of forest

canopy height and aboveground biomass using ICESat. *Geophysical Research Letters*, 32, L22S02.

- Lewis, S.L., Sonké, B.; Sunderland, T., Begne, S.K., Lopez-Gonzalez, G., van der Heijden, G.M.F., Phillips, O.L., Affum-Baffoe, K.; Baker, T.R., Banin, L., et al. (2013). Above-ground biomass and structure of 260 African tropical forests. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368. doi:10.1098/rstb.2012.0295.
- Lim, H., Lee, K., Lee, KH. & Park, I.H. (2013). Biomass expansion factors and allometric equations in an age sequence for Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) in southern Korea. *Journal of Forest Research*, 18, 316-322.
- Lima, A., Suwa, R., de Mello Ribeiro, G., Kajimoto, T., dos Santos, J., da Silva, R.P., de Souza, C.A.S., de Barros, P.C., Noguchi, H., Ishizuka, M., Higuchi, N. (2012). Allometric models for estimating above- and below-ground biomass in Amazonian forests at Sao Gabriel da Cachoeira in the upper Rio Negro, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 277, 163-172.
- Loetsch, F., Zöhrer, F. & Haller, K.E. (1973). *Forest inventory*. München: BLV Verlagsgesellschaft.
- Losi, C.J., Siccama, T.G., Condit, R., & Morales, J.E. (2003). Analysis of alternative methods for estimating carbon stock in young tropical plantations. *Forest Ecology and Management*, 184, 355–368.
- Ma, W., Liu, Y.H., Sun, Y.J. & Grabosky, J. (2014). Carbon stock in Korean larch plantations along a chronosequence in the Lesser Khingan Mountains, China. *Journal of Forestry Research*, 25(4), 749–760.
- MacLean, D.A. & Wein, W. (1976). Biomass of jack pine and mixed hardwood stands in northeastern New Brunswick. *Canadian Journal of Forest Research*, 6, 441-447.
- McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (Part 2): Conversion Technologies. *Bioresource Technology*, 83(1), 47-54.
- Mbow, C. Neufeldt, H., Minang, P. A., Luedeling, E. & Kowero, G. (2014). Can Agroforestry option values improve the functioning of drivers of agricultural intensification in Africa? *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 6, 35–40.
- Menéndez-Miguélez, M., Canga, E., Barrio-Anta, M., Majada, J. & Álvarez-Álvarez, P. (2013). A three level system for estimating the biomass of *Castanea sativa* Mill. coppice stands in north-west Spain. *Forest Ecology and Management* 291, 417–426.
- Muukkonen, P. & Heiskanen, J. (2006). Biomass estimation over a large area based standwise forest inventory data and ASTER and MODIS satellite data: a

possibility to verify carbon inventories. *Remote Sensing of Environment*, 107, 617-624.

Nogueira, E.M., Nelson, B.W., Fearnside, P.M., Franca, M.B. & Oliveira, A.C.A.D. (2008). Tree height in Brazil's "arc of deforestation": shorter trees in South and Southwest Amazonia imply lower biomass. *Forest Ecology and Management*, 255, 2963-2972.

OGM, (2008). *Orman Amenajman Yönetmeliği*. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara: Orman Genel Müdürlüğü Yayını.

OGM, (2009). *Türkiye'de Odunsu Biyokütleden Temiz Enerji Üretimi*. OGM Biyoenerji Çalışma Grubu, Ankara.

OGM, (2013). *Orman Atlası*. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara: Orman Genel Müdürlüğü Yayını.

OGM, (2014). *Türkiye Orman Varlığı*. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara: Orman Genel Müdürlüğü Yayını.

Orhan, İ. (2013). Kızılçam, Karaçam Ve Sarıçam'ın Ticari ve Ticari Olmayan Bileşenlerinin Biyokütle Miktarlarının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Bartın.

Özkaya, S. (2004). Artvin-Genya Dağı Yöresi Doğu Ladini (*Picea orientalis* (L.) Link.) Ormanlarında Toprak Üstü Biyokütlenin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Kars.

Pajtk, J., Konopka B. & Lukac, M. (2008). Biomass functions and expansion factors in young Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst) trees. *Forest Ecology and Management*, 256, 1096-1103.

Papadopol, C. (2001). *Climate change mitigation. Are there any forestry options?* Canada: OFRI.

Parresol, B.R. (1999). Assessing Tree and Stand Biomass: A Review with Examples and Critical Comparisons. *Forest Science*, 45(4), 573-593.

Peichl, M. & Arain, M.A. (2007). Allometry and partitioning of above- and belowground tree biomass in an age-sequence of white pine forests. *Forest Ecology and Management*, 253, 68-80.

Pilli, R., Anfodillo, T. & Carrer, M. (2006). Towards a functional and simplified allometry for estimating forest biomass. *Forest Ecology and Management*, 237, 583-593.

Porté, A., Trichet, P., Bert, D. & Loustau, D. (2002). Allometric relationships for branch and tree woody biomass of Maritime pine (*Pinus pinaster* Ait). *Forest Ecology and Management*, 158, 71-83.

- Rutishauser, E., Noor'an, F., Laumonier, Y., Halperin, J., Rufi'ie, Hergoualc'h, K., Verchot, L.V. (2013). Generic allometric models including height best estimate forest biomass and carbon stocks in Indonesia. *Forest Ecology and Management*, 307, 219–222.
- Ritchie, M.W., Zhang, J. & Hamilton, T.A. (2013). Aboveground tree biomass for *Pinus ponderosa* in Northeastern California. *Forest*, 4, 179-196.
- Saatçioğlu, F. (1976). *Silvikültür tekniği (Silvikültür II)*. İstanbul: İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları.
- Saraçoğlu, N. (1988). Kızılağaç (*Alnus glutinosa* var. *barbata* (C. A. Mey.) Ledeb.) Gövde Hacim ve Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. Yayınlanmamış Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Trabzon.
- Saraçoğlu, N. (1990). *Orman hasılat bilgisi ders notu*. Trabzon: K.T.Ü. Orman Fakültesi Ders Notları.
- Saraçoğlu, N. (1998). Kayın (*Fagus orientalis* Lipsky) biyokütle tabloları. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 22, 93-100.
- Saraçoğlu, N. (2008). Biyokütleden Enerji Üretiminde Enerji Ormancılığının Önemi, VII. *Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, Aralık, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 265-271.
- Segura, M. & Kanninen, M. (2005). Allometric models for tree volume and total aboveground biomass in a tropical humid forest in Costa Rica. *Biotropica* 37(1), 2–8.
- Sivrikaya, F. & Bozali, N. (2012). Karbon depolama kapasitesinin belirlenmesi: Türkoğlu planlama birimi örneği. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 14, Özel Sayı, 69-76.
- Skovsgaard, J.P. & Nord-Larsen, T. (2012). Biomass, basic density and biomass expansion factor functions for European beech (*Fagus sylvatica* L.) in Denmark. *European Journal of Forest Research*, 131, 1035–1053.
- Snorrason, A. & Einarsson, S.F. (2006). Single-tree biomass and stem volume functions for eleven tree species used in Icelandic forestry. *Icelandic Agricultural Sciences*, 19, 15-24.
- Son, Y., Hwang, J.W., Kim, Z.S., Lee, W.K. & Kim, J.S. (2001). Allometry and biomass of Korean pine (*Pinus koraiensis*) in central Korea. *Bioresource Technology*, 78, 251-255.
- Sprugel, D.G. (1983). Correcting for bias in log-transformed allometric equations. *Ecology*, 64(1), 209-210.

- Steege, H., Pitman, N.C.A., Phillips, O.L., Chave, J., Sabatier, D., Duque, A., Molino, J.F., Prevoist, M.F., Spichiger, R., Castellanos, H., von Hildebrand, P., Vásquez, R. (2006). Continental-scale patterns of canopy tree composition and function across Amazonia. *Nature*, 443, 444-447.
- Steininger, M. K. (2000). Satellite estimation of tropical secondary forest above-ground biomass: Data from Brazil and Bolivia. *International Journal of Remote Sensing*, 21 (6-7), 1139-1157.
- Sun, O., Uğurlu, S. & Özer, E. (1980). *Kızılçam (Pinus brutia Ten.) türüne ait biyolojik kütleinin saptanması*. Ankara: Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları.
- Ter-Mikaelian, M.T. & Korzukhin, M.D. (1997). Biomass equations for sixty-five North American tree species. *Forest Ecology and Management*, 97, 1-24.
- Uğurlu, S., Araslı, B. & Sun, O. (1976). *Steppe geçiş yörelerindeki sarıçam meşcerelerinde biyolojik kütleinin saptanması*. Ankara: Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları.
- URL-1. Kastamonu OBM-Taşköprü OİŞ Orman Varlığı, 08/11/2015 tarihinde “<http://kastamonuobm.ogm.gov.tr/Sayfalar/%C4%B0%C5%9Fletme%20M%C3%BCd%C3%BCrl%C3%BCkleri/Ta%C5%9Fk%C3%B6pr%C3%BC-Orman%C4%B0%C5%9FletmeM%C3%BCd%C3%BCrl%C3%BC%C4%9F%C3%BC.aspx>” adresinden alınmıştır.
- Usoltsev, V.A. & Vanclay, J.K. (1995). Stand biomass dynamics of pine plantations and natural forests on dry steppe in Kazakhstan. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 10, 305-312.
- Ülker, C. (2010). Amasya Orman Bölge Müdürlüğü Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Meşcerelerinin Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi (Kunduz Örneği). Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Trabzon.
- Ülküdür, M. (2010). Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Sedir Meşcerelerinin Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Bartın.
- Ünsal, A. (2007). Adana Orman Bölge Müdürlüğü Karaisalı Orman İşletme Müdürlüğü Kızılçam Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Zonguldak.
- Verma, V., Tewari, A. & Shah, S. (2012). Carbon storage capacity of high altitude *Quercus semecarpifolia*, forests of Central Himalayan region. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 27, 609-618.

- Vieilledent, G., Vaudry, R., Andriamanohisoa, S.F.D., Rakotonarivo, S.O., Randrianasolo, Z.H., Razafindrabe, H.N., Bidaud Rakotoarivony, C., Ebeling, J., Rasamoelina, M. (2011). A universal approach to estimate biomass and carbon stock in tropical forests using generic allometric models. *Ecological Applications*, 22, 572–583.
- Vogt, K. (1991). Carbon budgets of temperate forest ecosystems. *Tree Physiology*, 9, 69-86.
- Wang, X., Fang, J., Tang, Z. & Zhu, B. (2006). Climatic control of primary forest structure and DBH-height allometry in Northeast China. *Forest Ecology and Management*, 234, 264-274.
- Yaltrık, F. (1988) *Dendroloji*. İstanbul: İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları.
- Yaltrık, F. (1993). *Dendroloji (Gymnospermae) kitabı*. İstanbul: İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları.
- Yılmaz, S. (2015). Antalya Yöresi Aynı Yaşlı ve Saf Kızılcım Meşçerelerinde Toprak Üstü Biyokütlenin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Artvin.
- Young, H.E. (1980). Forest biomass as a renewable source of energy: inventory productivity and availability. *Pulp and Paper*, 81 (10), 21-22.
- Zeng, W.S. & Tang, S.Z. (2012). Modeling compatible single-tree aboveground biomass equations of Masson Pine (*Pinus massoniana*) in South China. *Journal of Forest Research*. 23(4), 593-598.
- Zianis, D., Muukkonen, P., Mäkipääand, R.& Mencuccini, M. (2005). Biomass and stem volume equations for tree species in Europe. *Silva Fennica Monographs* 4, Printed by Tammer-Paino Oy, Tampere, Finland.
- Zianis, D. (2008). Predicting mean aboveground forest biomass and its associated variance. *Forest Ecology and Management* 256, 1400 – 1407.

EKLER

- EK 1** **Karaçam tek girişli biyokütle tablosu**
- EK 2** **Karaçam çift girişli gövde odunu biyokütle tablosu**
- EK 3** **Karaçam çift girişli kabuk biyokütle tablosu**
- EK 4** **Karaçam çift girişli dal biyokütle tablosu**
- EK 5** **Karaçam çift girişli ibre biyokütle tablosu**
- EK 6** **Karaçam çift girişli topraküstü toplam biyokütle tablosu**

EK 1 Karaçam tek girişli biyokütle tablosu

Göğüs Çapı (cm)	Gövde Biyokütlesi (kg)	Kabuk Biyokütlesi (kg)	Dal Biyokütlesi (kg)	İbre Biyokütlesi (kg)	Topraküstü Biyokütle (kg)
8	0,600	2,496	3,904	2,237	8,768
9	3,663	3,159	4,941	2,766	13,959
10	7,390	3,900	6,100	3,346	20,060
11	11,781	4,719	7,381	3,973	27,071
12	16,836	5,616	8,784	4,648	34,992
13	22,555	6,591	10,309	5,371	43,823
14	28,938	7,644	11,956	6,139	53,564
15	35,985	8,775	13,725	6,952	64,215
16	43,696	9,984	15,616	7,811	75,776
17	52,071	11,271	17,629	8,713	88,247
18	61,110	12,636	19,764	9,660	101,628
19	70,813	14,079	22,021	10,650	115,919
20	81,180	15,600	24,400	11,682	131,120
21	92,211	17,199	26,901	12,757	147,231
22	103,906	18,876	29,524	13,874	164,252
23	116,265	20,631	32,269	15,032	182,183
24	129,288	22,464	35,136	16,232	201,024
25	142,975	24,375	38,125	17,472	220,775
26	157,326	26,364	41,236	18,753	241,436
27	172,341	28,431	44,469	20,074	263,007
28	188,020	30,576	47,824	21,436	285,488
29	204,363	32,799	51,301	22,836	308,879
30	221,370	35,100	54,900	24,277	333,180
31	239,041	37,479	58,621	25,756	358,391
32	257,376	39,936	62,464	27,274	384,512
33	276,375	42,471	66,429	28,831	411,543
34	296,038	45,084	70,516	30,426	439,484
35	316,365	47,775	74,725	32,060	468,335
36	337,356	50,544	79,056	33,731	498,096
37	359,011	53,391	83,509	35,440	528,767
38	381,330	56,316	88,084	37,187	560,348
39	404,313	59,319	92,781	38,971	592,839
40	427,960	62,400	97,600	40,792	626,240
41	452,271	65,559	102,541	42,650	660,551
42	477,246	68,796	107,604	44,545	695,772
43	502,885	72,111	112,789	46,477	731,903
44	529,188	75,504	118,096	48,445	768,944
45	556,155	78,975	123,525	50,449	806,895
46	583,786	82,524	129,076	52,490	845,756
47	612,081	86,151	134,749	54,566	885,527
48	641,040	89,856	140,544	56,679	926,208
49	670,663	93,639	146,461	58,827	967,799
50	700,950	97,500	152,500	61,010	1010,300
51	731,901	101,439	158,661	63,229	1053,711
52	763,516	105,456	164,944	65,483	1098,032
53	795,795	109,551	171,349	67,773	1143,263
54	828,738	113,724	177,876	70,097	1189,404
55	862,345	117,975	184,525	72,456	1236,455
56	896,616	122,304	191,296	74,850	1284,416
57	931,551	126,711	198,189	77,279	1333,287
58	967,150	131,196	205,204	79,742	1383,068
59	1003,413	135,759	212,341	82,239	1433,759
60	1040,340	140,400	219,600	84,771	1485,360

EK 2 Karaçam çift girişli gövde odunu biyokütle tablosu

Göğüs Çapı (cm)	Gövde Odunu Biyokütlesi (kg)										
	Boy (m)										
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
8	7,124	9,829	12,617	15,473	18,386	21,349	24,357	27,404	30,489	33,607	36,756
10	10,450	14,419	18,508	22,697	26,970	31,317	35,728	40,199	44,723	49,297	53,916
12	14,291	19,719	25,312	31,040	36,884	42,828	48,862	54,976	61,163	67,418	73,735
14	18,622	25,694	32,981	40,445	48,060	55,805	63,667	71,634	79,696	87,846	96,077
16	23,420	32,314	41,480	50,868	60,444	70,186	80,073	90,093	100,233	110,483	120,835
18	28,669	39,557	50,777	62,269	73,992	85,917	98,020	110,286	122,698	135,246	147,918
20	34,354	47,401	60,846	74,617	88,664	102,954	117,458	132,155	147,029	162,065	177,250
22	40,463	55,829	71,664	87,883	104,429	121,259	138,342	155,652	173,171	190,880	208,765
24	46,983	64,825	83,212	102,045	121,256	140,798	160,634	180,734	201,075	221,637	242,405
26	53,904	74,376	95,471	117,078	139,120	161,541	184,299	207,360	230,698	254,290	278,117
28	61,219	84,468	108,426	132,965	157,998	183,461	209,307	235,498	262,002	288,796	315,856
30	68,918	95,091	122,062	149,687	177,868	206,534	235,630	265,115	294,952	325,115	355,579
32	76,994	106,234	136,366	167,228	198,712	230,737	263,243	296,182	329,517	363,214	397,248
34	85,441	117,888	151,326	185,574	220,511	256,049	292,121	328,674	365,666	403,060	440,827
36	94,251	130,045	166,930	204,710	243,250	282,452	322,244	362,567	403,372	444,623	486,284
38	103,420	142,695	183,169	224,624	266,913	309,929	353,592	397,837	442,612	487,875	533,590
40	112,941	155,833	200,033	245,304	291,486	338,463	386,145	434,464	483,361	532,791	582,715
42	122,810	169,450	217,512	266,739	316,957	368,038	419,887	472,428	525,598	579,348	633,633
44	133,022	183,540	235,598	288,919	343,312	398,641	454,802	511,711	569,302	627,521	686,321
46	143,572	198,096	254,284	311,834	370,541	430,258	490,873	552,296	614,455	677,291	740,754
48	154,457	213,114	273,561	335,474	398,632	462,877	528,086	594,166	661,037	728,637	796,912
50	165,671	228,588	293,424	359,831	427,575	496,484	566,429	637,306	709,033	781,541	854,772
52	177,212	244,511	313,864	384,898	457,361	531,070	605,887	681,701	758,425	835,984	914,317
54	189,075	260,880	334,876	410,665	487,979	566,623	646,448	727,338	809,198	891,949	975,526
56	201,258	277,690	356,453	437,126	519,421	603,133	688,102	774,204	861,338	949,421	1038,384
58	213,757	294,936	378,590	464,273	551,680	640,590	730,835	822,285	914,830	1008,384	1102,871
60	226,569	312,613	401,282	492,100	584,745	678,984	774,639	871,570	969,662	1068,823	1168,973

EK 3 Karaçam çift girişli kabuk biyokütle tablosu

Göğüs Çapı (cm)	Kabuk Biyokütlesi (kg)										
	Boy (m)										
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
8	2,611	3,121	3,584	4,013	4,416	4,797	5,160	5,509	5,844	6,168	6,482
10	3,650	4,362	5,009	5,609	6,171	6,704	7,212	7,699	8,167	8,620	9,059
12	4,797	5,734	6,585	7,373	8,113	8,813	9,480	10,120	10,736	11,331	11,908
14	6,045	7,226	8,298	9,291	10,223	11,105	11,947	12,753	13,529	14,279	15,006
16	7,386	8,828	10,138	11,352	12,490	13,568	14,596	15,581	16,530	17,446	18,334
18	8,813	10,534	12,097	13,545	14,904	16,190	17,417	18,592	19,724	20,817	21,876
20	10,322	12,338	14,169	15,864	17,455	18,962	20,398	21,775	23,101	24,381	25,622
22	11,909	14,234	16,346	18,302	20,138	21,876	23,534	25,122	26,651	28,129	29,560
24	13,569	16,219	18,625	20,854	22,946	24,926	26,814	28,625	30,367	32,050	33,681
26	15,300	18,288	21,001	23,515	25,873	28,106	30,235	32,276	34,241	36,139	37,978
28	17,099	20,438	23,470	26,279	28,915	31,411	33,790	36,071	38,267	40,388	42,443
30	18,964	22,666	26,029	29,145	32,067	34,835	37,474	40,004	42,439	44,792	47,071
32	20,891	24,970	28,675	32,107	35,327	38,376	41,284	44,070	46,753	49,345	51,855
34	22,880	27,348	31,405	35,164	38,690	42,030	45,214	48,266	51,204	54,042	56,792
36	24,928	29,796	34,217	38,312	42,154	45,792	49,261	52,587	55,788	58,880	61,876
38	27,034	32,313	37,107	41,548	45,715	49,661	53,423	57,029	60,501	63,854	67,103
40	29,196	34,897	40,075	44,871	49,371	53,632	57,696	61,590	65,339	68,961	72,470
42	31,413	37,547	43,118	48,278	53,120	57,705	62,076	66,267	70,301	74,197	77,972
44	33,683	40,260	46,234	51,767	56,959	61,875	66,563	71,056	75,381	79,560	83,608
46	36,006	43,036	49,422	55,337	60,886	66,142	71,152	75,955	80,579	85,045	89,372
48	38,379	45,873	52,680	58,984	64,900	70,502	75,843	80,963	85,891	90,652	95,264
50	40,803	48,770	56,007	62,709	68,998	74,954	80,632	86,075	91,315	96,376	101,280
52	43,276	51,725	59,400	66,509	73,179	79,496	85,518	91,291	96,848	102,216	107,417
54	45,796	54,738	62,860	70,383	77,441	84,126	90,499	96,608	102,489	108,170	113,673
56	48,364	57,807	66,384	74,329	81,783	88,842	95,573	102,024	108,235	114,234	120,046
58	50,978	60,931	69,972	78,346	86,204	93,644	100,738	107,539	114,085	120,408	126,535
60	53,637	64,110	73,622	82,433	90,701	98,529	105,994	113,149	120,036	126,690	133,136

EK 4 Karaçam çift girişli dal biyokütle tablosu

Göğüs Çapı (cm)	Dal Biyokütlesi (kg)										
	Boy (m)										
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
8	10,647	11,031	11,415	11,799	12,183	12,567	12,951	13,335	13,719	14,103	14,487
10	11,295	11,895	12,495	13,095	13,695	14,295	14,895	15,495	16,095	16,695	17,295
12	12,087	12,951	13,815	14,679	15,543	16,407	17,271	18,135	18,999	19,863	20,727
14	13,023	14,199	15,375	16,551	17,727	18,903	20,079	21,255	22,431	23,607	24,783
16	14,103	15,639	17,175	18,711	20,247	21,783	23,319	24,855	26,391	27,927	29,463
18	15,327	17,271	19,215	21,159	23,103	25,047	26,991	28,935	30,879	32,823	34,767
20	16,695	19,095	21,495	23,895	26,295	28,695	31,095	33,495	35,895	38,295	40,695
22	18,207	21,111	24,015	26,919	29,823	32,727	35,631	38,535	41,439	44,343	47,247
24	19,863	23,319	26,775	30,231	33,687	37,143	40,599	44,055	47,511	50,967	54,423
26	21,663	25,719	29,775	33,831	37,887	41,943	45,999	50,055	54,111	58,167	62,223
28	23,607	28,311	33,015	37,719	42,423	47,127	51,831	56,535	61,239	65,943	70,647
30	25,695	31,095	36,495	41,895	47,295	52,695	58,095	63,495	68,895	74,295	79,695
32	27,927	34,071	40,215	46,359	52,503	58,647	64,791	70,935	77,079	83,223	89,367
34	30,303	37,239	44,175	51,111	58,047	64,983	71,919	78,855	85,791	92,727	99,663
36	32,823	40,599	48,375	56,151	63,927	71,703	79,479	87,255	95,031	102,807	110,583
38	35,487	44,151	52,815	61,479	70,143	78,807	87,471	96,135	104,799	113,463	122,127
40	38,295	47,895	57,495	67,095	76,695	86,295	95,895	105,495	115,095	124,695	134,295
42	41,247	51,831	62,415	72,999	83,583	94,167	104,751	115,335	125,919	136,503	147,087
44	44,343	55,959	67,575	79,191	90,807	102,423	114,039	125,655	137,271	148,887	160,503
46	47,583	60,279	72,975	85,671	98,367	111,063	123,759	136,455	149,151	161,847	174,543
48	50,967	64,791	78,615	92,439	106,263	120,087	133,911	147,735	161,559	175,383	189,207
50	54,495	69,495	84,495	99,495	114,495	129,495	144,495	159,495	174,495	189,495	204,495
52	58,167	74,391	90,615	106,839	123,063	139,287	155,511	171,735	187,959	204,183	220,407
54	61,983	79,479	96,975	114,471	131,967	149,463	166,959	184,455	201,951	219,447	236,943
56	65,943	84,759	103,575	122,391	141,207	160,023	178,839	197,655	216,471	235,287	254,103
58	70,047	90,231	110,415	130,599	150,783	170,967	191,151	211,335	231,519	251,703	271,887
60	74,295	95,895	117,495	139,095	160,695	182,295	203,895	225,495	247,095	268,695	290,295

EK 5 Karaçam çift girişli ibre biyokütle tablosu

Göğüs Çapı (cm)	İbre Biyokütlesi (kg)										
	Boy (m)										
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
8	8,804	8,907	9,009	9,111	9,214	9,316	9,419	9,521	9,623	9,726	9,828
10	8,977	9,137	9,297	9,457	9,617	9,777	9,937	10,097	10,257	10,417	10,577
12	9,188	9,419	9,649	9,879	10,110	10,340	10,571	10,801	11,031	11,262	11,492
14	9,438	9,751	10,065	10,379	10,692	11,006	11,319	11,633	11,947	12,260	12,574
16	9,726	10,135	10,545	10,955	11,364	11,774	12,183	12,593	13,003	13,412	13,822
18	10,052	10,571	11,089	11,607	12,126	12,644	13,163	13,681	14,199	14,718	15,236
20	10,417	11,057	11,697	12,337	12,977	13,617	14,257	14,897	15,537	16,177	16,817
22	10,820	11,595	12,369	13,143	13,918	14,692	15,467	16,241	17,015	17,790	18,564
24	11,262	12,183	13,105	14,027	14,948	15,870	16,791	17,713	18,635	19,556	20,478
26	11,742	12,823	13,905	14,987	16,068	17,150	18,231	19,313	20,395	21,476	22,558
28	12,260	13,515	14,769	16,023	17,278	18,532	19,787	21,041	22,295	23,550	24,804
30	12,817	14,257	15,697	17,137	18,577	20,017	21,457	22,897	24,337	25,777	27,217
32	13,412	15,051	16,689	18,327	19,966	21,604	23,243	24,881	26,519	28,158	29,796
34	14,046	15,895	17,745	19,595	21,444	23,294	25,143	26,993	28,843	30,692	32,542
36	14,718	16,791	18,865	20,939	23,012	25,086	27,159	29,233	31,307	33,380	35,454
38	15,428	17,739	20,049	22,359	24,670	26,980	29,291	31,601	33,911	36,222	38,532
40	16,177	18,737	21,297	23,857	26,417	28,977	31,537	34,097	36,657	39,217	41,777
42	16,964	19,787	22,609	25,431	28,254	31,076	33,899	36,721	39,543	42,366	45,188
44	17,790	20,887	23,985	27,083	30,180	33,278	36,375	39,473	42,571	45,668	48,766
46	18,654	22,039	25,425	28,811	32,196	35,582	38,967	42,353	45,739	49,124	52,510
48	19,556	23,243	26,929	30,615	34,302	37,988	41,675	45,361	49,047	52,734	56,420
50	20,497	24,497	28,497	32,497	36,497	40,497	44,497	48,497	52,497	56,497	60,497
52	21,476	25,803	30,129	34,455	38,782	43,108	47,435	51,761	56,087	60,414	64,740
54	22,494	27,159	31,825	36,491	41,156	45,822	50,487	55,153	59,819	64,484	69,150
56	23,550	28,567	33,585	38,603	43,620	48,638	53,655	58,673	63,691	68,708	73,726
58	24,644	30,027	35,409	40,791	46,174	51,556	56,939	62,321	67,703	73,086	78,468
60	25,777	31,537	37,297	43,057	48,817	54,577	60,337	66,097	71,857	77,617	83,377

EK 6 Karaçam çift girişli topraküstü toplam biyokütle tablosu

Göğüs Çapı (cm)	Topraküstü Toplam Biyokütle (kg)										
	Boy (m)										
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
8	14,742	17,429	19,846	22,068	24,139	26,090	27,941	29,708	31,403	33,034	34,609
10	22,501	26,602	30,292	33,683	36,844	39,822	42,647	45,344	47,930	50,420	52,825
12	31,787	37,581	42,793	47,583	52,049	56,256	60,247	64,057	67,711	71,228	74,625
14	42,571	50,331	57,310	63,726	69,708	75,341	80,687	85,789	90,683	95,393	99,942
16	54,829	64,823	73,812	82,075	89,779	97,035	103,920	110,491	116,794	122,860	128,719
18	68,540	81,033	92,270	102,600	112,230	121,300	129,907	138,122	146,000	153,584	160,908
20	83,687	98,940	112,661	125,273	137,031	148,105	158,614	168,645	178,264	187,524	196,466
22	100,253	118,525	134,962	150,071	164,157	177,423	190,012	202,028	213,551	224,644	235,357
24	118,224	139,772	159,156	176,972	193,583	209,228	224,073	238,244	251,832	264,914	277,547
26	137,588	162,665	185,223	205,958	225,290	243,497	260,774	277,265	293,080	308,304	323,006
28	158,332	187,191	213,150	237,011	259,258	280,210	300,092	319,070	337,269	354,788	371,707
30	180,447	213,336	242,922	270,116	295,470	319,348	342,007	363,635	384,376	404,342	423,624
32	203,922	241,090	274,524	305,256	333,908	360,893	386,500	410,942	434,381	456,945	478,735
34	228,748	270,441	307,946	342,419	374,559	404,829	433,553	460,971	487,264	512,574	537,017
36	254,917	301,379	343,174	381,591	417,408	451,141	483,151	513,705	543,006	571,212	598,452
38	282,420	333,895	380,199	422,761	462,443	499,815	535,279	569,129	601,591	632,840	663,019
40	311,250	367,979	419,011	465,917	509,649	550,837	589,921	627,227	663,002	697,442	730,701
42	341,399	403,624	459,599	511,049	559,017	604,194	647,064	687,984	727,225	765,001	801,481
44	372,862	440,821	501,954	558,146	610,535	659,876	706,696	751,387	794,244	835,501	875,344
46	405,631	479,563	546,069	607,199	664,193	717,869	768,805	817,423	864,047	908,930	952,274
48	439,701	519,843	591,934	658,199	719,979	778,164	833,378	886,080	936,620	985,273	1032,257
50	475,066	561,653	639,543	711,137	777,886	840,751	900,405	957,346	1011,951	1064,517	1115,280
52	511,719	604,987	688,887	766,004	837,904	905,619	969,876	1031,210	1090,028	1146,649	1201,330
54	549,657	649,839	739,959	822,794	900,024	972,759	1041,780	1107,661	1170,840	1231,659	1290,393
56	588,873	696,203	792,753	881,498	964,238	1042,163	1116,108	1186,690	1254,376	1319,534	1382,459
58	629,363	744,073	847,261	942,108	1030,538	1113,821	1192,851	1268,285	1340,625	1410,264	1477,515
60	671,123	793,444	903,479	1004,619	1098,916	1187,725	1271,998	1352,438	1429,578	1503,838	1575,551

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Fadime SAĞLAM
Doğum Yeri ve Yılı : Karaisalı / 19.09.1988
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : fsaglam@kastamonu.edu.tr



Eğitim Durumu

Lise : Adana Kız Lisesi (2001-2005)
Lisans : Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman
Mühendisliği Bölümü (2005-2010)

Mesleki Deneyim

İş Yeri : Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman
Mühendisliği Bölümü, Araştırma Görevlisi (2012-...)