

**ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TARSUS ORMAN İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ SINIRLARI İÇERİSİNDE  
YAYILIŞ GÖSTEREN ANADOLU KARAÇAMI [*Pinus nigra* Arnold. subsp.  
*pallasiana* (Lamb.) Holmboe] MEŞCERELERİ İÇİN UYUMLU GÖVDE ÇAPI  
VE GÖVDE HACİM DENKLEMLERİNİN KARIŞIK ETKİLİ MODELLEME  
YAKLAŞIMI İLE GELİŞTİRİLMESİ**

**AZİM KUTLAY KURT**

**ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ÇANKIRI  
2014**

**Her hakkı saklıdır**

## TEZ ONAYI

Azim Kutlay KURT tarafından hazırlanan ‘‘Tarsus Orman İşletme Müdürlüğü Sınırları İçerisinde Yayılış Gösteren Anadolu Karaçamı [*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe] Meşçereleri İçin Uyumlu Gövde Çapı Ve Gövde Hacim Denklemlerinin Karışık Etkili Modelleme Yaklaşımı İle Geliştirilmesi’’ adlı tez çalışması 23.12.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. İlker ERCANLI

Jüri Üyeleri :

Başkan : Yrd. Doç. Dr. İlker ERCANLI

Üye : Yrd. Doç. Dr. Muammer ŞENYURT

Üye : Yrd. Doç. Dr. Emrah ÖZDEMİR

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Sezgin ÖZDEN**  
**Enstitü Müdürü**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### TARSUS ORMAN İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ SINIRLARI İÇERİSİNDE YAYILIŞ GÖSTEREN ANADOLU KARAÇAMI [*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe] MEŞCERELERİ İÇİN UYUMLU GÖVDE ÇAPI VE GÖVDE HACİM DENKLEMLERİNİN KARIŞIK ETKİLİ MODELLEME YAKLAŞIMI İLE GELİŞTİRİLMESİ

Azım Kutlay KURT

Çankırı Karatekin Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İlker ERCANLI

Tek ağaçlara ilişkin toplam hacim yanında ağaç gövdelerinden üretilebilecek tomruk, maden direği ve sanayi odunu gibi odun çeşitlerinin miktarlarına ilişkin daha ayrıntılı hacim tahminleri, Gövde Çapı ve Gövde Hacim Denklemi ile elde edilebilmektedir. Bu bakımdan; her ağaç türü ve farklı yetiştirme ortamlarında, tek ağaçların odun hacminin daha doğru ve ayrıntılı olarak belirlenebilmesi için Gövde Çapı ve Gövde Hacim Denklemelerinin geliştirilmesi büyük bir önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, Mersin Orman Bölge Müdürlüğü, Tarsus İşletme Müdürlüğü, Buladan ve Cehennemdere Orman İşletme Şefliği'nde yayılış gösteren Anadolu Karaçamı [*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe] Ağaçları için Max and Burkhart (1976), Parresol *et al.* (1987) ve Jiang *et al.* (2005) gövde çapı ve gövde hacim denklemleri kullanılarak uyumlu gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin geliştirilmesi ve bu denklemlerin başarı durumları karşılaştırılmıştır. Çeşitli istatistiksel başarı ölçütleri ile yapılan karşılaştırmada, Jiang *et al.* (2005) denklemi % 98.43'lük model açıklayıcılığı ile ağaçların gövde çapı gelişimlerini modellemede en başarılı denklem olarak belirlenmiştir. Ayrıca geliştirilen tek girişli ağaç hacim denklemi ile hacimdeki değişimin % 91.8'i açıklanabilirken, çift girişli denklem ile % 98.1'ni açıklanmaktadır.

En başarılı olarak belirlenen Jiang *et al.* (2005) gövde çapı denklemine, karışık etkili modelleme uygulanmış, özellikle rastgele ve sabit etkili parametreleri birlikte içeren karışık etkili denklem yapısı (HKT: 8484.27, HKO: 3.4929) ile doğrusal olmayan regresyon analizine (HKT: 10888.80, HKO: 4.4828), göre daha iyi tahmin sonuçları elde edilmiştir. Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi kullanılarak denklem parametrelerinin tahmini yanında, veriler arasındaki seri-korelasyon problemine bir çözüm olarak bir çok çalışmada önerilen Karışık Etkili Modellemenin kullanımı ile Jiang *et al.* (2005) gövde çapı denkleminin tahmin gücünde iyileşme sağlanmıştır. Ayrıca denklemlerin oluşturulmasında kullanılmamış olan 48 adet ağaç verisi kullanılarak karışık etkili modellerin kalibrasyon yanıtları analiz edilmiş ve gövde çapı denkleminin kalibre edilmesi ile tahmin güçlerinin iyileştiği belirlenmiştir. Ülkemizde Anadolu Karaçamının yayılış gösterdiği diğer alanlar için daha ayrıntılı ve doğru sonuçlar verebilecek gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin geliştirilmesi, bu alanlardaki ormanların işletilmesine önemli katkılar sağlaması beklenmektedir.

2014, 77 sayfa

**ANAHTAR KELİMELELER:** Ağaç hacim tahminleri, Anadolu karaçamı, gövde çapı denklemleri, karışık etkili modelleme

## ABSTRACT

MSc Thesis

### DEVELOPING STEM TAPER AND STEM VOLUME EQUATIONS USING NONLINEAR MIXED EFFECT MODELING APPROACH FOR CRIMEAN PINE STANDS [PINUS NIGRA ARNOLD. SUBSP. PALLASIANA (LAMB.) HOLMBOE] IN TARSUS FOREST ENTERPRISE

Azim Kutlay KURT

Çankırı Karatekin University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Forest Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. İlker ERCANLI

In addition to the total volume predictions of individual trees, the detailed volume predictions for timber assortments, i. e. mine poles, sawlogs, firewoods and industrial wood, can be acquired by the compatible taper and volume equations. In this regard, the compatible taper and volume equations are important to accurately and comprehensively obtain individual tree wood volume predictions in various tree species and sites.

The compatible taper and volume equations were developed by using Max and Burkhart (1976), Parresol *et al.* (1987) and Jiang *et al.* (2005) equations for Crimean Pine [*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe] trees located in Buladan and Cehennemdere Planning Units, Tarsus Forest Enterprise, Mersin Forest District Directorate, and these models' fitting results were compared. Based on some statistical indices, Jiang *et al.* (2005)'s equation with 98.43% of the coefficient of determination produced the most satisfactory predictive results than other equation. Also, single entry volume equation with 91.8 % of the coefficient of determination and double entry volume equation with 98.1 % of the coefficient of determination were developed in this study.

Nonlinear mixed effect modeling procedure was applied to Jiang *et al.* (2005)'s equation and these modeling procedure including simultaneously fixed and random parameters produced in more predictive results (SSE: 8484.27, MSE: 3.4929) than ones which were obtained by nonlinear regression (SSE: 10888.80, MSE: 4.4828). In addition to nonlinear regression, the use of nonlinear mixed effect modeling that were proposed for solving serially correlated data could be improved the predictions of Jiang *et al.* (2005)'s tree taper equation. Also, calibration response of nonlinear mixed effect model were analyzed by using 48 sample trees which were not used in predicting the parameters of equation and calibration practice enhanced tree taper predictions. In Turkey, The development of the compatible taper and volume equations to obtain the detailed volume predictions for other Crimean pine's distribution areas will provide important contributions to these forest managements.

**2014, 77 pages**

**Key Words:** Tree volume predictions, Crimean pine, compatible taper and volume equations, nonlinear mixed effect modeling

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

“Tarsus Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde yayılış gösteren Anadolu karaçamı [*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe] meşcereleri için uyumlu gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin karışık etkili modelleme yaklaşımı ile geliştirilmesi” adlı bu çalışma Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tez çalışması olarak hazırlanmıştır.

İlk olarak çalışma konusunun seçiminden, çalışmanın sonlandırılmasına kadar her aşamada desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübesinden sıkça yararlandığım danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. İlker ERCANLI'ya, değerli görüş ve fikirlerinden yararlandığım, bilgisini ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Yrd. Doç. Dr. Muammer ŞENYURT'a ve Yrd. Doç. Dr. Emrah ÖZDEMİR'e, Arş. Gör. Ferhat BOLAT ve Arş. Gör. Sinan BULUT'a, Arş. Gör. İbrahim AYTAŞ'a, Mersin Orman İşletme Müdür Yardımcıları Refik ULUSOY ve Salim KARABULUT'a, Tarsus Orman İşletme Müdürü Mehmet FULİN'e, Tarsus Orman İşletme Müdür yardımcısı Hüseyin ÇAKICIOĞLU'a, Çamlıyayla orman İşletme Şefi Adnan Zorlukan ABER'e, Cehennemdere Orman İşletme Şefi Aydın AKIŞ'a, Buladan İşletme Şefi Ertuğrul TOPAL'a, teşekkürlerimi bir borç bilirim. Tez çalışmamın kaynağını oluşturan 1130729 nolu projenin yürütülebilmesi için gerekli izni veren Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Dış İlişkiler, Eğitim Araştırma Daire Başkanlığına ve projenin gerçekleştirilmesinde ve sonuçlandırılmasında her yönüyle desteklerini esirgemeyen TÜBİTAK'a, arazi çalışmalarım sırasında yardımını esirgemeyen, Çamlıyayla, Cehennemdere ve Buladan Orman İşletme Şefliklerinin personeline ve son olarak bütün hayatım boyunca beni hem maddi hem de manevi olarak destekleyen ve her durumda yanımda olduklarını bildiğim aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

Ülkemiz ormancılığında yeni iki konu olan Gövde Çapı Denklemleri ile Karışık Etkili Modelleme konusunda yapılan bu çalışmanın uygulayıcılara ve akademisyenlere katkı sağlamasını ümit ederim.

Azım Kutlay KURT  
Çankırı, Aralık 2014

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vii
1.GİRİŞ .....	1
1.1 Karaçam ( <i>Pinus nigra</i> ) Türüne Ait Genel Bilgiler.....	9
1.1.1 Karaçamın botanik özellikleri .....	9
1.1.2 Karaçamın doğal yayılışına ilişkin bilgiler .....	10
1.2.3 Silvikültürel ve ekolojik özellikleri .....	11
2.MATERYAL VE YÖNTEM.....	13
2.1 Materyal.....	13
2.1.1 Çalışma alanı .....	13
2.2 Yöntem .....	19
2.2.1 Gövde çapı ve gövde hacim denklemleri.....	19
2.2.2 Doğrusal olmayan karışık etkili modelleme .....	22
2.2.3 Karışık etkili modellerin kalibrasyon yanıtlarının belirlenmesi .....	25
2.2.4 Tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi .....	27
3.BULGULAR.....	33
3.1 Gövde Çapı Denklemlerine İlişkin Bulgular .....	33
3.2 Karışık Etkili Gövde Çapı Denklemine İlişkin Bulgular .....	41
3.3 Kalibrasyon Yanıtlarına İlişkin Bulgular.....	45
3.4 Hacim Tahminlerine İlişkin Bulgular .....	47
3.5 Tek ve Çift Girişli Ağaç Hacim Denklemlerine İlişkin Bulgular.....	50
4.SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	55
KAYNAKLAR .....	61
EKLER.....	69
Ek 1 Buladan ve Cehennemdere Orman İşletme Şefliği Anadolu Karaçamı İçin Tek Girişli Ağaç Hacim Tablosu (m <sup>3</sup> ).....	69
Ek 2 Buladan ve Cehennemdere Orman İşletme Şefliği Anadolu Karaçamı İçin Çift Girişli Ağaç Hacim Tablosu (m <sup>3</sup> ).....	70
ÖZGEÇMİŞ.....	77

## SİMGELER DİZİNİ

D	:Göğüs çapı
H	:Ağaç boyu
ha	:Hektar
m	:Metre
mm	:Milimetre
m <sup>2</sup>	:Metrekare
m <sup>3</sup>	:Metreküp
Log	:10 tabanında logaritma
R <sup>2</sup>	:Belirtme katsayısı
V	:Gövde hacmi
$b_0, b_1, \dots$	:Denklemlerin katsayıları
$\overline{D}$	:Ortalama mutlak hata
$\overline{D}$	:Ortalama hata
$S_{y,x}$	:Tahminin standart hatası

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Anadolu karaçamının Türkiye'deki doğal yayılışı .....	11
Şekil 2.1 Çalışma alanlarının konumları.....	15
Şekil 2.2 Modellerin oluşturulmasında kullanılan verilerin oransal çap değerlerinin (d/D) oransal boy (h/H) değerlerine dağılımı.....	18
Şekil 2.3 Modelin denetiminde kullanılan verilerin oransal çap (d/D) değerlerinin oransal boy (h/H) değerlerine dağılımı .....	18
Şekil 2.4 Ağaç gövdesi üzerinde farklı gövde gelişim formları.....	21
Şekil 3.1 Doğrusal olmayan regresyon analizi uygulanarak Jiang <i>et al.</i> (2005) denklemi ile elde edilen tahmin değerlerinin arazide ölçülen çap değerlerine göre değişimi .....	39
Şekil 3.2 Karışık etkili modelleme uygulanarak Jiang <i>et al.</i> (2005) denklemi ile elde edilen tahmin değerlerinin arazide ölçülen çap değerlerine göre değişimi ..	39
Şekil 3.3 Doğrusal olmayan regresyon analizi uygulanarak Jiang <i>et al.</i> (2005) denklemi ile elde edilen model hatalarının tahmin edilen çap değerleri göre değişimi .....	40
Şekil 3.4 Karışık etkili modelleme uygulanarak Jiang <i>et al.</i> (2005) denklemi ile elde edilen model hatalarının tahmin edilen çap değerleri göre değişimi .....	40
Şekil 3.5 18 cm çap ve 10.2 m boyundaki bir ağaç için çap tahminlerinin karşılaştırılması .....	44
Şekil 3.6 21 cm çap ve 12.75 m boyundaki bir ağaç için çap tahminlerinin karşılaştırılması .....	44



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Örnek ağaçlara ilişkin tanımlayıcı istatistikler .....	15
Çizelge 2.2 Modellerin oluşturulmasında ve denetiminde kullanılan verilerin çap ve boy sınıflarına dağılımı .....	17
Çizelge 3.1 Geliştirilen farklı gövde çapı denklemlerinin parametre değerleri ile çeşitli model başarı ölçütleri .....	35
Çizelge 3.2 Oransal çap değerlerine göre çeşitli hata değerlerinin değişimi .....	37
Çizelge 3.3 Oransal boy değerlerine göre çeşitli hata değerlerinin değişimi.....	38
Çizelge 3.4 Farklı rastgele ve sabit etkili parametre seçenekleri için AIC ve BIC kriterleri.....	42
Çizelge 3.5 Karışık etkili Jiang <i>et al.</i> (2005) denklem yapısına ilişkin parametreler ile varyans değerlerine ilişkin tahminler .....	43
Çizelge 3.6 Farklı kalibrasyon seçeneklerine ilişkin tahmin sonuçları.....	47
Çizelge 3.7 Bağımsız veri grubu için hacim değerlerine ilişkin çeşitli hata değerleri....	50
Çizelge 3.8 Kullanılan tek ve çift girişli denklemlere ilişkin parametre tahminleri .....	52
Çizelge 3.9 Kullanılan tek ve çift girişli denklemlere ilişkin hesaplanan başarı ölçütleri .....	53
Çizelge 3.10 Çift girişli ağaç hacim denklemlerine ilişkin hesaplanan başarı ölçütleri .	54

## 1.GİRİŞ

İnsanoğlu talepleri ile orman kaynaklarının durumu arasındaki denge göz önüne alındığında, ormanlardan optimal ve sürekli bir faydalanma için mevcut orman alanlarının planlanarak kullanılması gerekmektedir. Ormanların odun üretimi ile diğer bir çok fonksiyondan devamlı ve optimal bir biçimde yararlanma sırasında, gelecek kuşakların orman ürün ve hizmetlerine olan gereksinimleri ve orman ekosistemlerinin sürekliliği göz ardı edilmemeli, yapılacak tüm planlar ve uygulanacak tüm müdahalelerde bu ölçütler kesinlikle dikkate alınmalıdır. Bu bakımdan, her bir ağaçtan sağlanacak ürün çeşidi ve miktarı arttırılmalıdır (Yavuz ve Sakıcı 2002).

Ormanların planlamasında en önemli temel altlıklar; planlamaya konu olan orman alanına ilişkin alansal veriler ile yetiştirme ortamına, ağaç servetine ve odun dışı ürünlerine ilişkin sayısal verilerdir. Tüm bu sayısal değerlerin ortaya konulmasına, ormanların aktüel durumunun belirlenmesi veya kısaca orman envanteri adı verilmektedir (Eraslan ve Kalıpsız 1967). Orman envanteri, ormancılıktaki bütün planlama işlemlerinin temelini oluşturur. Özellikle, orman amenajman planlarının düzenlenmesinde; orman envanteri en temel altlık görevi görmektedir. Bu temel ne kadar sağlam ve güvenilir ise, düzenlenecek plan ve bu plana bağlı olarak yürütülecek tüm işletme teknikleri de o kadar sağlam ve güvenilir olacaktır (Fırat 1973, Eler 1977).

Ormanlardan sürekli ve optimal bir yararlanmayı hedef alan amenajman planlarının hazırlanmasında, orman envanterinin gerçekleştirilebilmesi için meşcerelerin bugünkü yapısı ile dinamiği hakkındaki çok sayıda verinin toplanması gerekmektedir. Meşcere dinamiğinin bir bileşeni olarak; meşcere hacmi ve meşcereden elde edilebilecek odun çeşitleri ile miktarının bilinmesi, orman envanterinde en önemli unsurlarından birisidir. Dikili gövde hacminin doğru tahmini, odun kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi açısından hem pratik ormancılık çalışmaları hem de bilimsel araştırmalar için gereklidir (Barrio-Anta *et al.* 2007). Ülkemiz ormancılık uygulamalarında, diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında daha pratik olmaları nedeniyle ağaçlara ilişkin hacim tahminlerinde “Ağaç Hacim Tabloları Yöntemi” yaygın bir biçimde kullanılmaktadır (Kalıpsız 1984). Ağaç hacim tabloları, dikili ağaçların çeşitli boyutlarının fonksiyonu olarak hacim

değerlerini veren tablolarıdır (Kalıpsız 1999). Ağaç hacim tabloları, nispeten ölçümü kolay olan ağaç özellikleri (göğüs çapı ve ağaç boyu) yardımı ile doğrudan ölçümü zor olan ağaç hacminin belirlenmesinde kullanılan ve çap-boy-hacim ilişkisini gösteren regresyon denklemlerinden türetilen tablolarıdır (Bozkuş ve Carus 1997). Yalnız göğüs çapına göre düzenlendiklerinde “Tek Girişli Ağaç Hacim Tabloları”, göğüs çapı ve ağaç boyuna göre düzenlendiklerinde “Çift Girişli Ağaç Hacim Tabloları”, göğüs çapı ve ağaç boyuna ek olarak ağaç boyunun belirli bir oranına (örneğin % 30) karşılık gelen yükseklikteki gövde çapı ya da yerden 7 metre yüksekliğindeki gövde çapı gibi üç ya da daha çok değişkene göre düzenlendiklerinde ise “Çok Girişli Ağaç Hacim Tabloları” olarak isimlendirilmektedir. Geçerli oldukları alanın büyüklüğüne göre de “Yöresel (Lokal) Ağaç Hacim Tabloları”, “Bölgesel Ağaç Hacim Tabloları” ve “Genel Ağaç Hacim Tabloları” olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır (Kapucu vd. 2002). Ağaç hacim tablolarının düzenlenmesinde temel amaç, ağaçların göğüs çapı ve boyu gibi kolay ölçülebilen boyutları ile hacim arasındaki ilişkinin belirlenmesi ve bu ilişkiye bağlı olarak ağaç hacminin tahmin edilmesidir (Kapucu vd. 2002).

Tek ağaçların boyutlarına göre ortalama hacmini veren ağaç hacim tabloları, 19. yüzyılın başlarından beri kullanılmaktadır. İlk hacim tablosunu 1804 yılında kayın için düzenleyen araştırmacının H.Von Cotta olduğu bilinmektedir. Cotta'nın konu ile görüşü özetle, ‘Bir ağacın hacmi; çapı, boyu ve şekline bağlıdır. Bir ağacın hacmi tam olarak belirlenmiş ise bu hacim benzer çap, boy ve şekilde olan bütün ağaçlar için geçerlidir.’ biçiminde belirtmiştir. (Meyer 1953, Peters 1971). Almanya’da ilk geliştirilen ağaç hacim tabloları, satılabilirliğin alt sınırı olan 7 cm çapın üzerindeki ağaçların dallarıyla birlikte toplam ağaç hacmini veren tablolar biçimindedir (Laar and Akça 2007).

Ülkemizde ise, her bir planlama birimi ve genellikle asli ağaç türleri için tek ve çift girişli ağaç hacim tabloları düzenlenmiş ve ilgili amenajman planlarında bu tablolar verilmiştir. Ayrıca Meşe (Eraslan 1954), Sarıçam (Erkin 1956), Anadolu karaçamı (Gülen 1959), Doğu kayını (Kalıpsız 1962), Toros sediri (Evcimen 1963), Okaliptüs (Firat ve Kalıpsız 1963) hacim tablolarının oluşturulmasında grafik metotlar kullanılmıştır. Göknar (Miraboğlu 1955, Saraçoğlu 1988), Kazdağı göknarı (Asan 1984), Kızılçam (Alemdağ 1962, Uğurlu ve Özer 1976, Usta 1990), Sarıçam (Alemdağ

1967, Pehlivan 2010, Şenyurt 2011), Karaçam (Carus vd. 2006, Özdal 2014, Baynazoğlu 2014), Doğu ladini (Akalp 1978, Ercanlı ve Yavuz 2006), Sahilçamı (Birler ve Yüksel. 1983, Ercanlı vd.. 2008, Özcan 2002), Kızılağaç (Saraçoğlu 1988), Sedir (Yıldızbakan vd. 2013), Titrek kavak (Bayburtlu 2007), Melez kavak (Birler 1983), Boylu ardıç (Aykın 1978, Eler 1988) Dişbudak (Şentürk 1997), Okaliptüs (Özkurt 2000), Kestane (Kapucu vd. 2002, Özcan 1997), Meşe (Aylak Özdemir 2013), Yalancı Akasya (Çatal vd. 2005), Çınar (Uludağ 2006), Sarıçam-Anadolu karaçamı (Yavuz 1995), Kızılçam-Karaçam-Sarıçam-Gökmar-Sedir-Kayın (Sun vd. 1978), Sarıçam-Uludağ gökmarı-Doğu kayını değişik yaşlı karışık meşcereleri (Durkaya 2004), Kızılçam-Sedir-Toros gökmarı (Özçelik 2010) için istatistiksel bir analiz olan Regresyon Analizi yöntemi kullanılmıştır.

Orman amenajman planlarının hazırlanmasında, sadece çap ölçümü ile ağaç hacim tahminlerini sağlamaları ile pratik bir yöntem olarak, tek girişli ağaç hacim denklemleri tercih edilmektedir. Tek girişli ağaç hacim denklemleri; tek ağaçların toplam gövde hacimlerinden gidilerek meşcerenin 1 hektarlık toplam alanına veya tamamına ilişkin hacim miktarının tahmin edilmesinde kullanılmakta olup, bu denklemler; ağaç gövdelerinden üretilebilecek tomruk, maden direği ve sanayi odunu gibi odun çeşitlerinin miktarları konusunda herhangi bir tahmin olanağı sunmamaktadırlar (Sakıcı 2002, Aktürk 2006, Özçelik vd. 2012). Bu bakımdan, ağaçlardan elde edilebilecek odun çeşitlerine ilişkin tahminler yapabilecek ve böylece dikili satış yönteminin yoğun olarak kullanılması ve sürekli değişen pazar koşullarının gerektirdiği gövde hacmine ilişkin ayrıntılı hacim tahminlerine imkân sağlayabilecek yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır (Yavuz ve Saraçoğlu 1999, Yavuz ve Sakıcı 2002, Özçelik ve Alkan 2011). Ayrıca, orman ürünlerine olan talep artışına paralel olarak ticari standartlar da hızla değişmektedir. Bu durumda, geçmişte sabit standartlar doğrultusunda oluşturulan gövde hacmi eşitlikleri veya ağaç hacim tabloları günümüz koşullarında yetersiz kaldığından dolayı, ağaçlar için ayrıntılı hacim tahminleri veren denklemlerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. (Yavuz ve Sakıcı 2002).

Tek ağaçların toprak seviyesinden gövde üzerindeki herhangi bir yükseklik ya da çapa kadar olan kısmına veya gövde üzerinde belirlenen herhangi iki yükseklik ya da çap

değerleri arasında kalan bölümüne ilişkin ayrıntılı hacim tahminleri, gövde çapı ve gövde hacim denklemleri (Stem taper and volume equations) ile elde edilebilmektedir (Yavuz 1995, Yavuz ve Saraçoğlu 1999, Sakıcı 2002, Özçelik vd. 2012). Bu bakımdan; tek ağaçların odun hacminin daha doğru ve ayrıntılı olarak belirlenebilmesi, her ağaç türü ve farklı yetiştirme ortamlarında, Gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle gövde çapı ve gövde hacim modelleri ile elde edilebilecek bu tahminler, Kozak (2004) tarafından;

- (i) herhangi bir yükseklikteki gövde çapı,
- (ii) herhangi bir gövde çapının hangi yükseklikte olduğu,
- (iii) ticari (satılabilir) gövde hacmi,
- (iv) toplam gövde hacmi,
- (v) bir gövdeden elde edilebilecek tüm odun çeşitlerinin hacmi,
- (vi) gövde üzerinde herhangi iki yükseklik arasındaki gövde bölümünün hacmi,
- (vii) gövde üzerinde herhangi iki çap arasındaki gövde bölümünün hacmi

olarak belirtilmiştir (Özçelik ve Alkan 2011, Özçelik vd. 2012).

Yüzyılı aşkın bir süredir, basitten çok karmaşığa kadar, pek çok ağaç türü için gövde çapı modelleri geliştirilmiştir (Max and Burkhart 1976, Hilt 1980, Kozak 1988, Clark *et al.* 1991, Newnham 1992, Fang *et al.* 2000). Ormancılıkta ağaçların gövde şekli üzerine ilk çalışma 1903 yılında Hojer tarafından yapılmıştır. Bunu 1920'li yıllarda Behre (1923) tarafından yapılan çalışmalar izlemiştir. Gray (1956), çalışmalarını çap düşüşünün modellenmesi üzerine yoğunlaştırmıştır. Gövdenin ticari (satılabilir) bölümlerine ilişkin hacim değerlerini veren hacim oran denklemleri ile istatistiksel anlamda ilk gövde profili modelleri 1960'lı yılların sonlarına doğru geliştirilmeye başlanmıştır (Honer 1967, Burkhart 1977, Cao *et al.* 1980, Clutter 1980, Newnham 1992). Bu modeller, Göğüs çapı (D) ve ağaç boyunun (H) fonksiyonu olarak yerden belirli bir yükseklikteki ( $h_i$ ) gövde çaplarını ( $d_i$ ) belirlemeye yarayan modeller biçiminde olup, gövdenin tamamı için ortalama bir şekil katsayısı değeri vermektedirler (Bruce *et al.* 1968, Kozak *et al.* 1969, Bennet and Swindel 1972). Gövde modellerinin tamamı yerine, şekil farklılıkları gösteren her bir bölüm için ayrı bir polinom oluşturarak, bu polinomları bir modelde birleştirip ‘‘Segmented Polinomiyal Gövde

Profili Modeli'' olarak isimlendirilen gövde çapı modeli ilk olarak Max and Burkhart (1976) tarafından geliştirilmiştir. İstatistiksel olarak oldukça başarılı bulunan bu model daha sonra pek çok araştırmacı tarafından da değişik ağaç türlerine ilişkin gövde çaplarının tahmin edilmesi amacıyla kullanılmıştır (Demaerschalk and Kozak 1977, Cao *et al.* 1980, Green and Reed 1985, Byrne and Reed 1986, Czaplewski and McClure 1988).

Newnham (1988)'e göre gövde çapı denklemleri üzerindeki çalışmaların her geçen gün artmasının iki temel sebebi vardır. Birincisi; bütün ağaç türleri için gövde formundaki varyasyonu tam olarak açıklayabilen bir teorinin bulunmaması, ikincisi ise; sürekli değişen pazar koşullarına bağlı olarak farklı odun çeşidi standartlarını dikkate alan bir yöntemin elde edilememesidir (Sakıcı 2002, Özçelik vd. 2012).

Araştırma sonuçlarına göre parçalı gövde çapı modellerinin, diğer gövde profili modellerine göre daha üstün oldukları görülmüştür (Martin 1981, Parresol *et al.* 1987, Clark *et al.* 1991, Figueiredo-Filho *et al.* 1996, Jiang 2004). Bu gövde çapı modellerinin diğer gövde çapı modellerine göre önemli bir üstünlüğü, gövde çapı modellerinin hacim hesaplamaları için kolaylıkla hacim denklemlerine dönüştürülebilir olmasıdır (Fang *et al.* 2000).

Segmented Polinomial Modellerden sonra, göğüs çapı ve ağaç boyu ile gövde eğrisinin değişim gösterdiği oransal boy değeri ve bunlardan türetilen pek çok bağımsız değişkenin fonksiyonu olarak oluşturulan ve "Değişken-Şekil Gövde Çapı Modeli (Variable Exponent Stem Profile Equation)" adı verilen oldukça karmaşık ve üssel formda regresyon modelleri kullanılmaya başlanmıştır (Kozak 1988, Newnham 1988, Perez *et al.* 1990). Ancak Değişken-Şekil Gövde Çapı Modelleri, gövde üzerindeki farklı şekillerin hacim hesaplamalarında birleştirilememesi ve en yüksekteki çap değeri için ticari boyun doğrudan hesaplanmaması ve iterasyona gerek duyulması gibi birkaç olumsuzluğa sahiptir (Özçelik ve Alkan 2011, Özçelik vd. 2012). Gövde profilinin modellenmesi için yukarıda verilenlere ek olarak daha birçok yöntem kullanılmıştır. Denkleştirilmiş (spline) fonksiyonlar (Liu 1980); Champman-Richards fonksiyonu

(Biging 1984, Matney *et al.* 1985), Polinomiyal Enterpolasyon Yaklaşımı (Therien and Chamire 1986), Asal Bileşenler Analizi (Real *et al.* 1989), Asal Bileşenler Regresyonu (Tatsuo 1988) ve parametrik olmayan yöntemler (M'hirit and Postaire 1985), gövde profiline modellenmesinde kullanılan diğer yöntemlerdir (Sakıcı 2002).

Gövde çapı denklemleri geliştirilirken; tek ağaç üzerinde farklı yüksekliklerden elde edilen çap verileri kullanılmakta olup, özellikle farklı gövde gelişimlerine sahip ağaçlardan çoklu ölçümler ile elde edilen bu veriler bir veri havuzunda bir araya getirilmektedir. Her bir ağacın kendine özel bir gövde gelişiminin olduğu bu gibi hiyerarşik veri yapılarında; “*seri-korelasyon*” ya da “*otokorelasyon*” problemi olarak adlandırılan verilerin birbirine bağımlılığı söz konusu olabilmektedir (Leites and Robinson 2004). Her bir ağaç üzerinde yapılan çap ölçümleri arasında oluşan seri-korelasyon probleminin temel nedeni; gövde üzerinde herhangi bir noktada yapılan ölçümün, bir sonraki ölçüm noktasında elde edilecek çap değerini etkilemesidir. Örneğin; bir ağaç üzerinde 1.30 metre yüksekliğindeki çapı 30 cm, diğer bir ağaç üzerinde ise 25 cm ölçüldüğü ve bu iki ağacın 2 metrelik bölümündeki çap düşüşünün 2 cm olduğu varsayılırsa; 1.30 metredeki çapı 30 cm olan ağacın 3.30 metredeki çapı 28 cm ve çapı 28 cm olan ağacın da 3.30 metredeki çapı 23 cm olarak elde edilir. Bu örnekte görüldüğü üzere; iki ağacın çap düşüşü aynı olmasında karşın, özellikle bir önceki ölçüm yüksekliğindeki değer etkisiyle; 3.30 metredeki çap değerleri farklılaşmış olup, bir verinin bir sonraki veriye bu şekilde etkilemesi; Regresyon Analizde “*seri korelasyon (serial correlation)*” problemi olarak adlandırılır. Her ağacın farklı bir gövde gelişimine sahip olduğu bu gibi hiyerarşik veri yapılarının bir sonucu olarak da; gövde üzerinde herhangi bir noktada yapılan ölçümün, bir sonraki ölçüm noktasında elde edilecek çap değerine etkisi ağaçtan ağaca değişmektedir. Gerçekte bu durum, ormancılık bilimi açısından olağan ve beklenen bir durumdur. Ancak istatistik biliminin ortaya koyduğu Regresyon Analizinde ise; her bir örnek bireyin kendine özel gelişimlerinin denklemlerin parametrelerinin tahmin edilmesi aşamasından tam olarak modellenememesi, bu analizdeki temel varsayımlardan birisi olan verilerin bağımsızlığı ilkesinin ihlal edilmesine neden olmaktadır. Regresyon Analizinde, farklı örnek ağaçlardan elde edilen bu veriler, tek bir veri havuzunda toplanarak; çeşitli düzeylerde gövde çapı denklemleri geliştirilmektedir. Ancak bu örnek ağaçlar, gerçekte kendi

içinde (intra) homojen ve kendi aralarında (inter) ise heterojen bir yapıda olup, bu şekildeki veri yapısı ise hiyerarşik bir özellik göstermektedir.

Hiyerarşik veri yapılarında, aynı grup içindeki veriler birbiri ile bağımlı bir özelliktedir. Örnek ağaçlar arasındaki hiyerarşik yapılanma ve veriler arasındaki söz konusu olabilecek korelasyon; “seri korelasyon (serially correlated data)” problemi olarak adlandırılmaktadır. Örnek veriler arasındaki bu gibi korelasyonlar, gövde çapı ve gövde hacim denklemlerine ilişkin parametre tahminlerinde güven aralıklarının sistematik bir hata ile tahmin edilmesine ve böylece model sonuçlarının güvenilirliğinin olumsuz yönde etkilenmesine neden olabilmektedir (Searle *et al.* 1992, İyit *et al.* 2006). İstatistik biliminde; özellikle Doğrusal Olmayan Regresyon Modellerinin tahmin edilmesinde, farklı ağaçlarda yapılan ölçümler ile elde edilen verilerin birbirinden bağımsız olması ve homojen bir varyansa ve dolayısıyla da örnekleme ünitelerinin benzer bir varyans-kovaryans matrisine sahip olduğu varsayımı esas olmasına karşın, gerçekte bu varsayım çoğu durumda özellikle biyolojik bir varlıkla uğraşan bilim dallarında sağlanamamaktadır (Doğanay 2007). Ölçümler ve gruplar arası varyans-kovaryans matrisinin heterojenliği, regresyon modellerinde “otokorelasyon” veya “seri korelasyon” sorunu olarak belirginleşmektedir. Veri yapısında yer alan tekrarlı ölçümlerin birbiri ile ilişkisiz ve homojen varyansa sahip olduğu varsayımı üzerine dayanan Doğrusal Olmayan (nonlinear) regresyon Modelleri, hiyerarşik bir kümelenme gösteren verilerin modellenmesinde oldukça kullanışsız ve hatalı sonuçlar veren bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır (İyit *et al.* 2006, Searle *et al.* 1992). Özellikle bu gibi bir veri yapısına sahip veriler için doğrusal olmayan regresyon modellerinin kullanılmasının, regresyon modellerinde parametrelere ilişkin güven aralıklarının sistematik bir hata ile tahmin edilmesine neden olduğunu ifade edilmektedir (İyit *et al.* 2006). Bu durum, regresyon modellerinin sonuçlarının güvenilirliğini olumsuz yönde etkilemekte ve hatalı tahminlerin elde edilmesinde neden olabilmektedir (Ye 2005). Bu bakımdan, verilerin bağımsızlığı varsayımının sağlanamadığı ve veriler arasında seri korelasyon probleminin olduğu hiyerarşik veri yapılarında; varyans-kovaryans matris yapısının modellenmesine imkan sağlayan *Doğrusal Olmayan Karışık Etkili Modelleme* (Linear and Nonlinear Mixed Effect Models) yaklaşımının kullanımı öne çıkmaktadır (Keselman *et al.* 1998, Wolfinger and Chang 1999, Littell *et al.* 2005).



Ormanlıkta karışık etkili modeller, 1990'lı yılların başlarında kullanılmaya başlanmış olup, özellikle 1990'lı yılların ortalarında kullanımı yoğunlaşmıştır. Lindstrom and Bates (1990), Lappi (1991) ve Jones (1990)'un çalışmaları, hiyerarşik veri yapılarının regresyon modellerindeki tahminleri olumsuz etkilediğini ifade eden ve rastgele etkili parametre ile birlikte karışık etkili modellemenin kullanımını öneren ilk çalışmalardır. 1990'lı yılların ortalarında, Gregoire *et al.* (1995), Gregoire and Schabenberger (1996), Zeger *et al.* (1998) çalışmalarında karışık etkili modellemeyi kullanmışlardır. Hiyerarşik veri yapılarının kaçınılmaz olduğu Gövde çapı denklemlerinin geliştirilmesinde birçok çalışma, karışık etkili modellerin kullanımını önermişlerdir (Tasissa and Burkhart 1998, Valentine and Gregorie 2001, Fang and Bailey 2001, Garber and Maguire 2003, Leites and Robinson 2004, Trincado and Burkhart 2006).

Ülkemizde farklı araştırmacılar tarafından çeşitli gövde çapı modelleri geliştirilmiştir. Yavuz (1995), Taşköprü Orman İşletmesi'nde Sarıçam ve Karaçam için uyumlu gövde çapı, gövde hacmi ve hacim oranı denklem sistemleri geliştirmiştir. Yavuz ve Saraçoğlu (1999), Doğu Karadeniz Bölgesi'nde 510 örnek ağaçtan elde ettiği verilere bağlı olarak, Kızılağaç için uyumlu ve uyumsuz gövde çapı modelleri geliştirmiştir. Sakıcı (2002), Kastamonu yöresi için 114 adet örnek ağaçtan elde ettiği verileri kullanarak Uludağ Gökarnı meşcerelerinde gövde profili hacim ve hacim oranı denklem sistemlerini geliştirmiştir. Aktürk (2006), Artvin Orman İşletme Müdürlüğünden elde edilen 160 adet örnek ağaç için trigonometrik gövde profil denklemini kullanarak Doğu Ladini için trigonometrik gövde profil denklemlerini oluşturmuştur. Brooks *et al.* (2008), Mut ve Elmalı yörelerinde Kızılağaç, Lübnan Sediri ve Toros Gökarnı için toplam 359 adet örnek ağaç kullanılarak Max and Burkhart tarafından geliştirilmiş Segmented Polinomial Gövde Çapı Denklemleri ile uyumlu gövde hacmi ve gövde çapı denklemleri geliştirmiştir. Özçelik (2010), Erzincan Yöresinde yayılış gösteren Sarıçam meşcerelerinden alınan 100 adet örnek ağaç verileri kullanılarak Jiang (2004)'ın gövde çapı ve gövde hacim denklemi ile uyumlu gövde çapı ve gövde hacim modeli geliştirmiştir. Özçelik ve Alkan (2011), Tarsus-Karabucak Okaliptüs ağaçlandırmalarından aldıkları 79 adet örnek ağaç verisine bağlı olarak Max and Burkhart (1976) ile Thomas and Parresol (1991)'un denklemlerini kullanarak uyumlu gövde çapı ve gövde hacim modellerini geliştirmiştir. Özçelik vd. (2011), Bucak Orman

İşletme Müdürlüğünden 138'si Kızılçam, 129'u Toros Sediri ve 204'ü Gökmar olmak üzere toplam 471 adet örnek ağaç verisi kullanılarak Max and Burkhardt (1976), tarafından geliştirilen Segmented Polinomiyal Denklemi ile gövde çapı ve gövde hacim modelleri geliştirmiştir. Özçelik ve Brooks (2012), Isparta Orman bölge müdürlüğünden elde ettiği 248 adet Kızılçam, 124 adet Toros Sedir, 196 adet Toros Gökmarı ve 162 adet Karaçam ağacı ve Erzurum Orman Bölge Müdürlüğünden elde ettiği 95 adet Sarıçam ağacı olmak üzere toplam 825 örnek ağaç için Clark *et al.* (1991)' in Segmented Polinomiyal Gövde Çapı Denklemi kullanarak uyumlu gövde hacim modeli geliştirmiştir. Özçelik vd. (2012), Bucak-Uğurlu işletme şefliğinden elde ettiği 100 adet Kızılçam örnek ağacı verisini kullanarak Max and Burkhardt (1976) ve Parresol *et al.* (1987) denklemleri ile uyumlu gövde çapı ve gövde hacim denklemleri geliştirmiştir. Şahin (2012), Sütçüler Orman İşletme Müdürlüğünde aldığı 103 adet Karaçam örnek ağacı verisi ile Max and Burkhardt (1976), Parresol *et al.* (1987) ve Clark *et al.* (1991)'ın gövde çapı denklemleri ile gövde çapı ve gövde hacmi modelleri geliştirmiştir. Özçelik ve Bal (2013), kızılçam ağaçları için geliştirdikleri gövde çapı denklemlerinde, çeşitli ağaç tepe özelliklerinin model başarısına etkisini araştırmışlardır. Atalay (2014), Bolu Orman Bölge Müdürlüğü, Mudurnu Orman İşletme Müdürlüğü, Sırçalı Orman İşletme Şefliği'nde yayılış gösteren Anadolu Karaçamı Ağaçları için Uyumlu Gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, Tarsus Orman İşletme Müdürlüğünde önemli bir yayılış alanına sahip alan Anadolu Karaçamı ağaçları için ayrıntılı hacim tahminlerine imkân tanıyan gövde çapı ve gövde hacim modellerinin “Karışık Etkili Modelleme” ile geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca uygulayıcının kullanılabileceği ağaçların tüm gövde hacmini veren tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerinin de geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

## **1.1 Karaçam (*Pinus nigra*) Türüne Ait Genel Bilgiler**

### **1.1.1 Karaçamın botanik özellikleri**

Karaçam ortalama 1 m gövde çapı yapabilen, 40 m boya ulaşabilen ve genç ağaçlarda tepe konik; yaşlı ağaçlarda geniş dağınık ve konik biçiminde olup yoğun bir yaprak

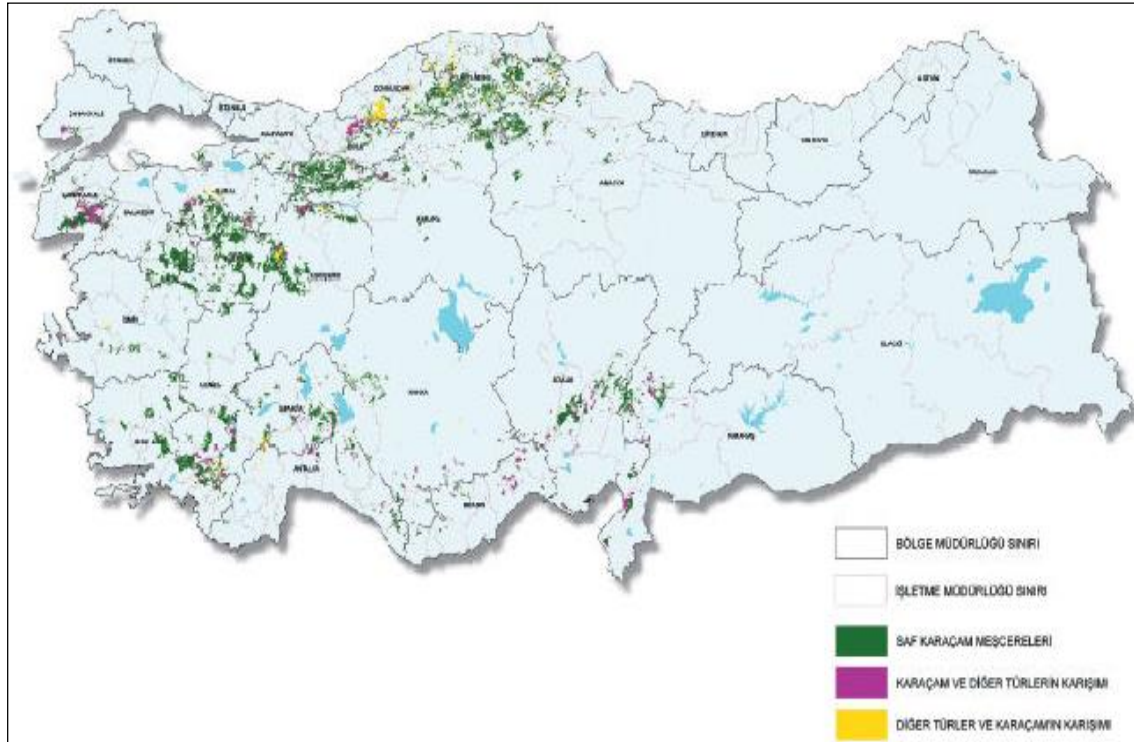
kütlesine sahiptir. Kabuk özelliği ise yaşlandıkça çatlaklı yapıya sahip olmaktadır. Karaçam ağacının kabuk kalın ve derin Sarıçama göre dallar daha kalındır. Genç sürgünler sarı-kahverengi, kısa tüylü ve tek nodludur. Karaçamın karakteristik özelliklerinden birisi tomurcukların uçları sivri ve iri olmasıdır. Tomurcuklar kör, küt ve tomurcuk pullarının kenarları kirpiklidir. Tomurcuklar bol reçinelidir. Tomurcukların bu özelliği Karaçamlar için karakteristiktir. Bilindiği gibi Sarıçamda kör ve küt uçlu tomurcuklar vardır. İkili iğne yapraklı olup iğne yapraklar koyu yeşil ve serttir; sürgün uçlarında bulunan yapraklar ise tomurcuğa yönelmiş olduğundan, çanak görünümünde bir boşluk oluştururlar. İğne yaprakların kenarı ince dişli, uç kısımları sertleşmiştir ve iğne gibi batıcıdır. 8-14 cm boyunda 0.15-0.20 cm yaprak kını daimi, koyu kahverengi 1-1.3 cm; yaprak koparılıp ovuşturulduğunda reçine kokusu salar. Yaz başlarında aynı yılda oluşan sürgünlerin uçlarında görülürler. Erkek çiçekler soluk sarı renkli olmasına karşın, dişli kozalaklar parlak saman sarısı renktedir. Yumurtamsı-konik şeklindeki kozalakları, Sarıçam kozalaklarının aksine, simetrik ve kozalak yok denecek kadar kısa saplıdır. Kalkan çıkık, göbek koyu renktedir. Kozalağın uç kısmındaki karpellerin çoğunun göbeğinde (umbo) iğne gibi ufak dikenimsi çıkıntı bulunur. Kozalak boyu 3.5-10 cm, 2.5 cm genişliğindedir. Olgunlaşma süresi 2 yıldır ve olgunlaştığında kahverengiye dönüşür. Kozalak gençken simetrik, parlak saman sarısı renkte, göbek (umbo) dikenlidir. (Yaltırık 1993).

### **1.1.2 Karaçamın doğal yayılışına ilişkin bilgiler**

Karaçamın genel coğrafi yayılış alanı Asya, Trakya, Kıbrıs, Suriye ve Kırım'dır. Türkiye'de çok geniş bir alana sahiptir (Şekil 1.1). Kuzey Anadolu dağlarının içe dönük yamaçlarında, Batı Anadolu ve özellikle Güney Anadolu'da Toroslarda çok güzel ormanlar oluşturmaktadır. Bu yayılışında ya saf ya da Kızılçam, Sedir, Sarıçam, Ardıç, Gökmar, Kayın ve Meşelerle karışık meşcereler kurar. Kütahya'nın Tavşanlı ormanları, Dursunbey'in Alaçam ormanları, Adana'nın Pos ormanları Karaçamın en iyi meşcereler kurduğu alanlardır. Yine Boyabat Elek dağlarında, Kargı ve Tosya yörelerinde güzel Karaçam ormanları bulunmaktadır (Kayacık 1980). Karaçamın (*Pinus nigra* Arnold.) ülkemizde ve Kırım'da yayılış yapan alttürü *Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* Emdl; Güney ve Güneydoğu Avrupa ile Batı Asya'da yayılış yapan türleri ise *Pinus*

*nigra* subsp. *nigra* Badaux(Avusturya karaçamı), *Pinus nigra* subsp. *calabria* Schneid.(Kalabriya karaçamı), *Pinus nigra* subsp. *larico* Suring. (Korsika karaçamı), *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* Schneid.(Toros karaçamı) (Yaltırık 1993).

Ülkemizin çam türleri arasında ikinci en fazla yayılışı yapan Karaçam, 4.693.060 hektar alan kaplamaktadır. Bu alanın 2.580.193 hektarı normal kuru meşceresi ve 2.112.867 hektarı ise bozuk karaçam meşceresi olup, toplam ormanlık alanlar için karaçam ormanlarının oranı % 21,6'dır( OGM, 2014).



Şekil 1.1 Anadolu Karaçamının Türkiye’deki doğal yayılışı (OGM, 2014)

### 1.1.3 Silvikültürel ve ekolojik özellikleri

Karaçam türleri arasında iklim ekstremlerine en fazla dayanıklı olan Toros Karaçamıdır. Stepe kadar girmektedir. Bugün Ankara yörelerinde eski Karaçam artıklarına ve meşcerelerine yer yer rastlanmaktadır. Bu alttürde gövde ötekilere oranla çatallanmaya daha eğilimlidir. Yayılış yükseklikleri bölgelere göre önemli farklılıklar göstermektedir;

Ender olarak deniz seviyesine oldukça yakın lokal yayılışlar yapmakla birlikte genellikle 400-2100 metre yükseklikler arasında yer alır (Boydak 2001).

Karaçam sadece Doğu Karadeniz'in deniz iklimli mntıklarında bulunmaz. Bu durum Karaçam yetişme ortamı isteklerini değerlendirme bakımından önemlidir. Karaçam, Karadeniz'in doğusu hariç diğer bölümlerinde yaklaşık olarak 400-1400 metre yükseklikler arasında geniş alanlarda saf meşcereler kurmakla beraber 1400-1700 metreler arasında Sarıçamla karışık olarak ve daha çok küçük alanlarda bulunur. Karadeniz'in batı kısımlarında özellikle Gökmar ve Meşe ile karışıma girmektedir. Batı Anadolu'da çam türleri arasında Karaçam, geniş saf meşcereler halinde başta gelir ve Batı Anadolu dağlarının özellikle yüksek yerlerinde en belirgin ağacıdır, hatta denize bakan yamaçlarda vadilere kadar iner (Saatçioğlu 1976).

Karaçam sıcak ve kuru iklimlerde yetişmesine karşın, kış soğuklarına büyük ölçüde dayanıklı bir türdür, sıcaklık isteği bakımından Sarıçama oranla daha toleranslıdır. Karaçam yarı ışık ağacı olup bu niteliği optimum alanlarda yarı gölge ağacı karakterine kadar gider. Karaçam toprak isteği bakımından çok kanaatkar bir türdür. Nemli ağır topraklarda büyümesi çok kuvvetli ve hızlıdır. Ancak kalın dallar ve kaba bir odun meydana getirir. Bu tür, Sarıçam gibi rutubet değişikliklerine ve özellikle su taşkınlarına karşı hassastır (Saatçioğlu 1976) Karaçam kök sistemi olarak derin topraklarda kazık kök yapıp sıkı ve sert topraklarda ise yürek kök sistemi geliştirir. Karaçam gençlikte hızlı büyümesi ve özellikle gölgeye dayanması nedeniyle, iklimin elverişli olduğu yerlerde Gökmar, Kayın ve hatta ışık ağaçlarından Meşe ile karışıma girmektedir. Ancak, azman yapma eğiliminde olduğu için saf ve sık meşcerelerde daha kaliteli gövdeler ve dar tepeler meydana getirir. Sarıçamda olduğu gibi sık dikimlerle yapay gençleştirme çok iyi sonuç verir. Fakir topraklarda kuvvetli köklenme ile kalite bakımından üstün teknolojik niteliklere sahip ağaçlar meydana verir (Saatçioğlu 1976).

## **2.MATERYAL VE YÖNTEM**

### **2.1 Materyal**

#### **2.1.1 Çalışma alanı**

Bu çalışmada, çalışma alanı olarak seçilen Mersin Orman Bölge Müdürlüğü, Tarsus Orman İşletme Müdürlüğü; Tarsus Merkez, Buladan, Cehennemdere, Çamlıyayla, Gülek, Karabucak ve Çamalan orman işletme şeflikleri olmak üzere toplam yedi farklı şeflikten oluşmaktadır. Bu şefliklerden Cehennemdere, Gülek, Çamlıyayla ve Buladan orman işletme şefliklerinde, çalışma kapsamında örneklenebilecek miktar ve yapıda saf Anadolu Karaçamı ormanları mevcut olup, diğer şefliklerde ise saf Anadolu Karaçamı ağaç türünün alanı oldukça azdır. Bu bakımdan, Cehennemdere, Gülek, Çamlıyayla ve Buladan orman işletme şeflikleri dışındaki diğer şefliklerde, kesimler diğer ağaç türlerinden (Kızılcım, sedir, Toros göknarı) oluşan meşcerelerde yürütülmüştür. Diğer taraftan, Gülek ve Çamlıyayla orman işletme şefliklerinde ise; çalışmanın arazisinin gerçekleştirildiği 2014 yılı yazında, Anadolu Karaçamı ağaçlandırma alanlarında (Dikim ile tesis edilmiş Anadolu Karaçamı plantasyonları) kesimler gerçekleştirmiş olup, bu şefliklerdeki saf ve doğal yolla oluşmuş Anadolu Karaçamı ormanlarında herhangi bir kesim çalışması yürütülmemiştir. Çalışma amaçları doğrultusundaki yapılan ölçümler ise, kesilmiş ağaç gövdeleri üzerinde 1 metre ara ile yapılmış çap ölçümlerinden oluşmaktadır. Özellikle saf ve doğal yolla oluşmuş Anadolu Karaçamı ormanları ile belirli bir dikim aralığı tesis edilen suni Anadolu Karaçamı ormanlarında gövde üzerindeki çap ölçümlerinin, özellikle farklı meşcere orjinine sahip ormanlardaki gövde gelişimlerinin farklılıklar nedeniyle, bir arada değerlendirilmesi gövde çapının modellenmesinde önemli derecede hata arz edecektir. Bu bakımdan, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü'nün vermiş olduğu Tübitak Arazi Çalışma İzninde belirtildiği üzere; "Adı geçen çalışma kapsamında, yapılacak ölçümlerin yalnızca Tarsus Orman İşletme Müdürlüğü'nün bilgisi dahilindeki silvikültürel işlemlerin yapıldığı alanlar veya üretim sahalarının içerisinde kesilen ağaçlar üzerinde yapılması koşuluyla" olduğundan, çalışmanın yürütüldüğü Tarsus Orman İşletme Müdürlüğü, Gülek ve Çamlıyayla Orman İşletme Şefliklerinde doğal Anadolu Karaçamı ormanlarında

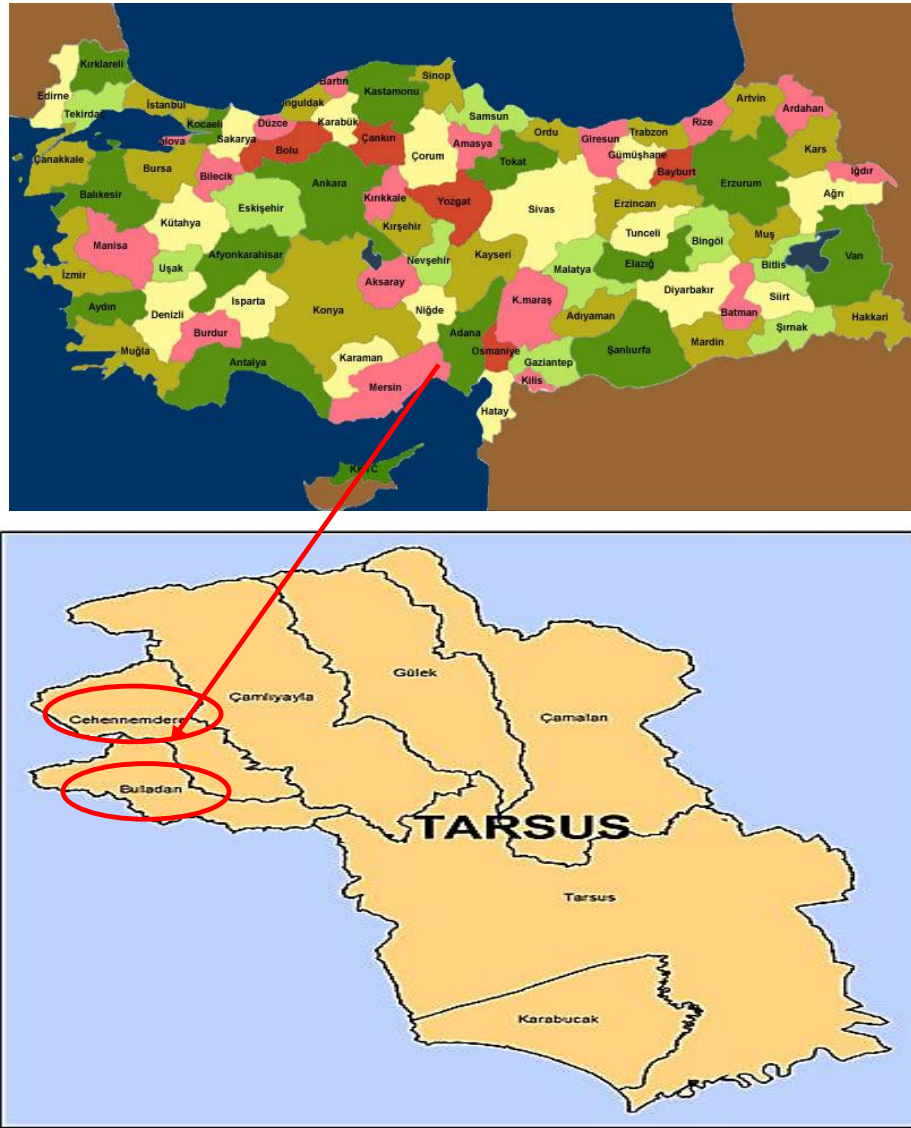
herhangi bir kesim olmaması ve doğal olan alanlarda da kesime izin verilmemesi nedeniyle; çalışma kapsamındaki gövde çapı ölçümleri gerçekleştirilememiştir. Böylece, çalışma amaçları doğrultusunda saf ve doğal yolla oluşmuş Anadolu Karaçamı ormanlarında kesilmiş ağaçlar üzerinde çap ölçümleri, Buladan ve Cehennemdere Orman İşletme Şefliklerinde gerçekleştirilebilmiştir.

Bu çalışmada, Mersin Orman Bölge Müdürlüğü, Tarsus Orman İşletme Müdürlüğü, Buladan ve Cehennemdere Şefliklerindeki Anadolu Karaçamı meşcerelerinden kesilen 355 adet ağaca ilişkin veriler kullanılmıştır (Şekil 2.1). Çalışma alanından elde edilen örnek ağaçların; çalışma alanında gözlemlenen hacim gelişimindeki değişkenliği en iyi şekilde temsil edebilmesi için bozuk tepeli, kusurlu (tepe kırıklığı, çatallılık, kurumuş) olmamasına, böcek tahribatına uğramamış, mantar zararı ve çeşitli nedenlerle yaralanıp dip çürüklüğü taşımamasına ve değişik sosyal sınıflardan seçilmesine özen gösterilmiştir.

Çalışma kapsamındaki örnek ağaçlar dip kütük yüksekliğinden (0.3 m) kestirilerek, ilk olarak kesilen kısım olan 0.3 metrede dip çap ölçülmüş sonra, çelik şerit metre yardımıyla gövde üzerinde 1'er metre ara ile 1.3, 2.3, 3.3... metrelerde mümkün olduğunca düzenli bir şekilde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca ağaçların toplam boy değerleri de çelik şerit metre ile ölçülmüştür. Çalışmada kullanılan bu 355 adet örnek ağaçta, toplam 3197 adet çap ölçümü yapılmıştır. Bu ölçümler yapılırken, eğer ağaç gövdesi daire biçimli olmayıp bozuk şekilli ise; gövde kesitine dik iki yönde çap ölçümü alınıp, iki ölçümün ortalaması alınmıştır. Çizelge 2.1'de, örnek ağaçlara ilişkin bazı istatistiki değerler verilmiştir.

Çizelge 2.1 Örnek ağaçlara ilişkin tanımlayıcı istatistikler

	n		h (m)	d (cm)
Model Oluşturma Verisi	307	Max	3	90
		Min	38	3.5
		Ortalama	12.13	25.78
		Standart Sapma	5.03	17.69
Model Denetim Verisi	48	Max	7.2	10
		Min	26	68
		Ortalama	15.97	38.16
		Standart Sapma	4.37	15.84



Şekil 2.1 Çalışma alanlarının konumları

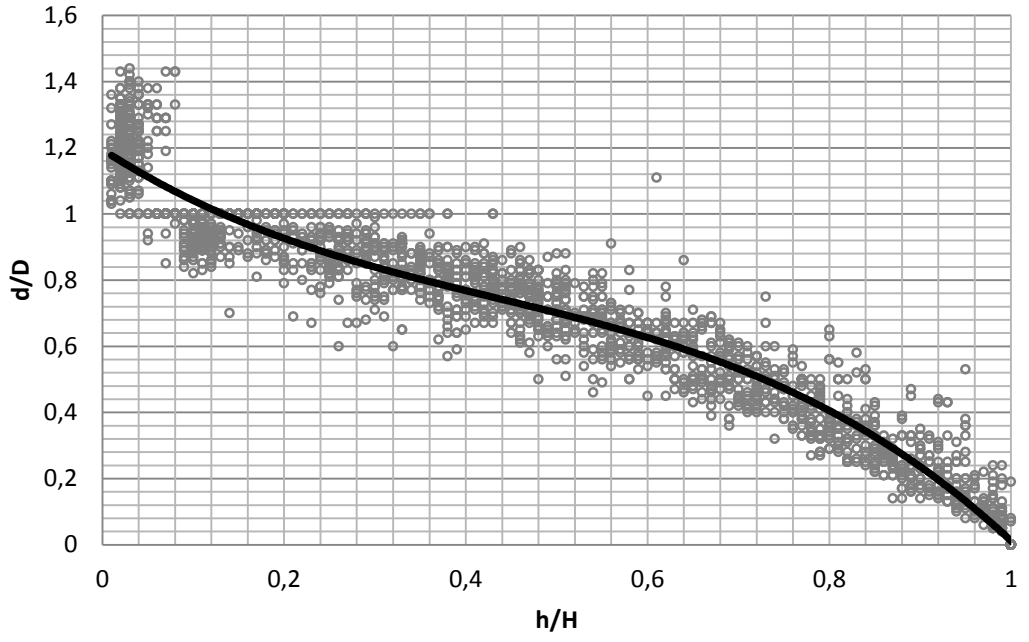


Çalışmada kullanılan veriler; ağaç hacim fonksiyonlarının parametrelerinin tahmininde (modeling data) ve bu fonksiyonların meşcereye uygunluğunun denetiminde kullanılan veriler (validation data) olmak üzere rastgele iki gruba ayrılmıştır. I. grupta, toplam verinin yaklaşık % 86.5'i (n=307 ağaç), II. grupta ise yaklaşık % 13.5'i (n=48 ağaç) bulunmaktadır. Çizelge 2.2'de, I. ve II. grupta bulunan verilerin, 4'er santimetrelik çap ve 2'şer metrelik boy basamaklarına dağılımı verilmiştir. Şekil 2.2'de ise, gövde çapı denkleminin oluşturulmasında (I.) ve denetiminde (II.) kullanılan veri gruplarına ilişkin farklı gövde yüksekliklerinde ölçülen çap değerlerinin göğüs çapına oranı şeklinde hesaplanan oransal çapların, ölçüm yüksekliğinin ağaçların boyuna oranı şeklinde hesaplanan oransal boy değerlerine dağılımı verilmiştir. Bu grafikler, arazi örnek ağaçlar üzerinde gerçekleştirilen gövde çapı ölçümlerinde muhtemel hatalı verilerin belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır.

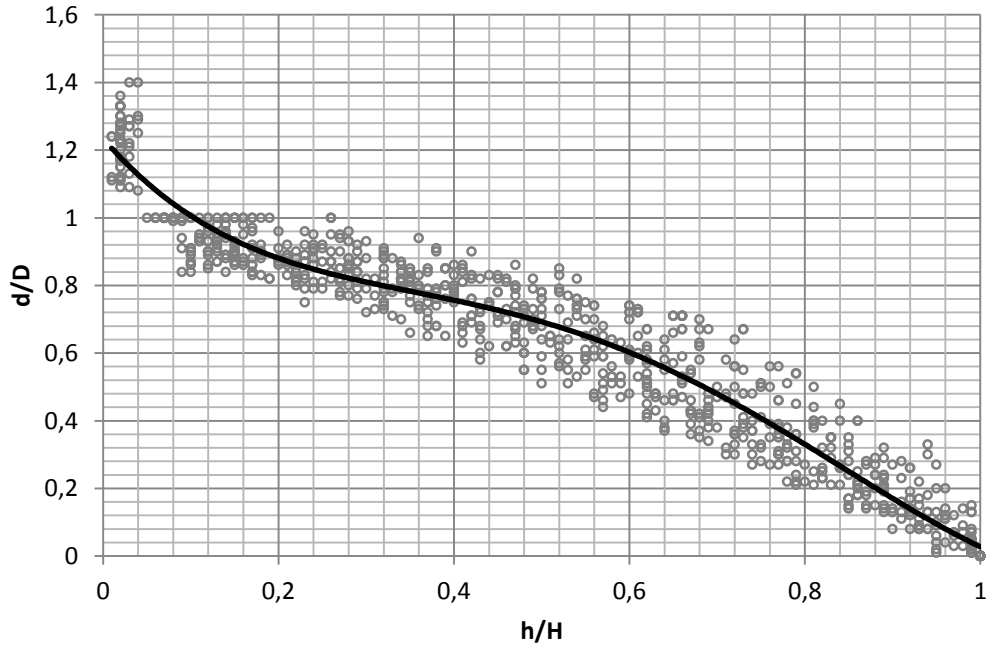
**Çizelge 2.2** Modellerin oluşturulmasında ve denetiminde kullanılan verilerin çap ve boy sınıflarına dağılımı

Boylar (m)	Çaplar (cm)																					
	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92
6	7	4	2																			13
8	6(3)*	20(4)	12(1)	4(1)																		42
10	5	12(1)	17(3)	9(2)	2																	45
12	1		8(2)	13(1)	5(1)	2																29
14				7	9(4)	3	1(1)	1	1	3(1)	3(1)											28
16						2(1)	3(1)	5(3)	7(1)	8(2)	3(1)	3	3(1)				1					35
18							1	3	10	7(2)	9	9(1)	4	5	1	1						50
20								1	4(2)	8	3	9	6(1)	8(2)	1	2	1					43
22										2	2	1	2	4	2(1)	1(1)						14
24								1(1)							1	2						4
26													1(1)									1
28																					1	1
30																	1					1
32																						
34																						
36																						
38															1							1
Σ	19 (3)	36 (5)	39 (6)	33 (4)	16 (5)	7 (1)	5 (2)	11 (4)	22 (3)	28 (5)	20 (2)	22 (1)	16 (3)	17 (2)	6 (1)	6 (1)	3				1	307 (48)

\*Parantez içindeki veriler, modellerin denetiminde kullanılan verilerdir



**Şekil 2.2** Modellerin oluşturulmasında kullanılan verilerin oransal çap değerlerinin ( $d/D$ ) oransal boy ( $h/H$ ) değerlerine dağılımı



**Şekil 2.3** Modelin denetiminde kullanılan verilerin oransal çap ( $d/D$ ) değerlerinin oransal boy ( $h/H$ ) değerlerine dağılımı

## 2.2 Yöntem

### 2.2.1 Gövde çapı ve gövde hacim denklemleri

Örnek ağaçlarda 0.3 metreden başlayıp, 1.30 m ve devamındaki 2' şer metre ara ile yapılan çap ölçümleri ile birlikte, gövde boyunca çap değerlerinin değişimi (çap düşüşü, tree taper) elde edilmiştir. Gövdenin en dip kısmından uça doğru devamlı azalan bir gelişim gösteren ve böylece çap düşüşü (Stem taper) olarak da adlandırılan ağaç çapındaki değişimin modellenmesinde, gövde çapı denklemleri kullanılmıştır. İlk yıllarda geliştirilen basit gövde çapı denklemleri, gövde boyunca çap değişimini tek bir denklem ile temsil etmeye çalışırken, gövde modellerinin tamamı yerine, şekil farklılıkları gösteren her bir bölüm için ayrı bir polinom oluşturularak, bu polinomları bir modelde birleştirip "Segmented Polinomiyal Gövde Profili Modeli" olarak isimlendirilen gövde çapı modeli ilk olarak Max and Burkhart (1976) tarafından geliştirilmiştir. Max and Burkhart (1976) modeli;

#### MODEL 1:

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

$$Z = \frac{h}{H} \quad I_i = \begin{cases} 1 & Z \leq a_i \\ 0 & Z > a_i \end{cases} \quad i = 1, 2$$

biçiminde olup, bu denklemde;

d = Yerden herhangi bir h yüksekliğindeki kabuklu çap değeri (cm)

D = Kabuklu göğüs çapı (cm),

h = Ölçüm noktasının yerden olan yüksekliği (m),

H = Toplam ağaç boyu (m),

a<sub>i</sub> = Örnek ağaçlardan tahmin edilen katılma noktaları, i=1.2

b<sub>i</sub> = regresyon katsayıları, i=1.4 göstermektedir. I<sub>i</sub> kukla değişkeni (dummy variable) ise, çap tahmininin yapılacağı gövde yüksekliğinin ağacın boyuna oranı şeklinde hesaplanan Z oranına göre 1 ya da 0 değeri almaktadır.

Max and Burkhart (1976) denklemini esas alan bir dönüşüm ile Parresol *et al.* (1987) aşağıdaki denklemi geliştirmişlerdir. Parresol *et al.* (1987) denklemi aşağıda verilmiştir.

### MODEL 2:

$$\frac{d^2}{D^2} = z_i(b_1 - b_2 z_i) + (z_i - a)^2 [b_3 + b_4(z_i + 2a)] I \quad (2)$$

$$I = \begin{cases} 1 & \text{Şayet } z_i \leq a_i \\ 0 & \text{Şayet } z_i > a_i \end{cases} \quad i=1,2 \quad Z = (H - h)/H$$

$a_i$  = örnek ağaçlardan tahmin edilen katılma noktaları

Clark *et al.* (1991), Max and Burkhart (1976) tarafından geliştirilen model yapısından farklı bir formda ve ağacın gövdesi üzerinde 4 farklı gelişim formunu esas alan Segmented Polinomiyal Gövde Profili Modeli geliştirmiştir (Şekil 2.4). Jiang *et al.* (2005) ise, Clark *et al.* (1991)'in önerdiği Segmented Polinomiyal Gövde Profil Denklemini esas alarak, çeşitli dönüşümler ile daha az parametreye sahip yeni bir denklem formu geliştirmiştir. Jiang *et al.* (2005)'in denklem yapısı aşağıda verilmiştir.

### MODEL 3:

$$d = \left\{ \begin{aligned} & I_S \left[ D^2 \left( 1 + \frac{(1-h/H)^{b_1} - (1-1.30/H)^{b_1}}{1 - (1-1.30/H)^{b_1}} \right) \right] \\ & + I_B \left[ D^2 - \frac{(D^2 - F^2)((1-1.30/H)^{b_2} - (1-h/H)^{b_2})}{(1-1.30/H)^{b_2} - (1-5.30/H)^{b_2}} \right] + \\ & + I_T \left[ F^2 \left( b_4 \left( \frac{h-5.30}{H-5.30} - 1 \right)^2 + I_M \left( \frac{1-b_4}{b_3^2} \right) \left( b_3 - \frac{h-5.30}{H-5.30} \right)^2 \right) \right] \end{aligned} \right\}^{0.5} \quad (3)$$

Bu denklemde;

$d$  = Gövde boyunca herhangi bir yükseklikte ölçülen çap değeri (cm),

$D$  = Kabuklu göğüs çapı (cm),

$h$  = Ölçüm noktasının yerden olan yüksekliği (m),

$H$  = Toplam ağaç boyu (m),

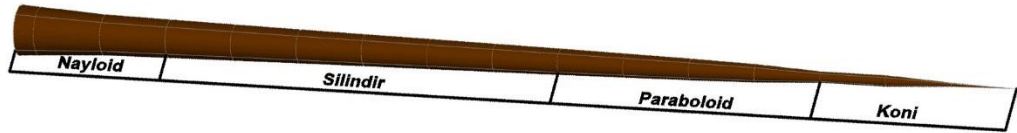
F= 5.30 metre yüksekliğindeki gövde çapını (cm) göstermektedir.  $I_S$ ,  $I_B$ ,  $I_T$  ve  $I_M$  kukla değişkenleri, tahmin edilmek istenilen gövde yüksekliğine göre 1 ya da 0 değerini almaktadır.

$$I_S = \begin{cases} 1 & h < 1.30 \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases} \quad I_B = \begin{cases} 1 & 1.30 \leq h < 5.30 \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases}$$

$$I_T = \begin{cases} 1 & h > 5.30 \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases} \quad I_M = \begin{cases} 1 & h < (5.30 + b_3(H - 5.30)) \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases}$$

Jiang *et al.* (2005) denkleminde bağımsız değişken olan 5.30 metre yüksekliğindeki çap değerinin, özellikle arazide dikili haldeki ağaçlar için ölçümünün zor olması nedeniyle; ağacın 5.30 metre yüksekliğindeki çap değerini, göğüs çapına ( $d_{1.30}$ ) ve ağaç boyuna bağlı olarak tahmin eden aşağıdaki denklem, Clark *et al.* (1991) tarafından önerilmiştir.

$$d_{5.30} = d_{1.30} \left( b_1 + \left( b_2 \left( \frac{5.30}{H} \right)^2 \right) \right) \quad (4)$$



**Şekil 2.4** Ağaç gövdesi üzerinde farklı gövde gelişim formları

Geliştirilen bu 3 farklı gövde çapı modeli arasından, gövde çapını modellemede en başarılı olan denklemi belirlemek üzere çeşitli istatistiksel başarı ölçütleri kullanılmıştır. Kullanılan başarı ölçütleri; Hata Kareler Toplamı (HKT), Hata Kareler Ortalaması (HKO), Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (HKOK), Ortalama Mutlak Hata (OMH), Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi (OMHY) ve Düzeltilmiş Belirtme Katsayısı ( $R^2$ ) değerleridir. Bu ölçüt değerlerinden, HKT, HKO ve HKOK değerlerinin

küçük, Belirtme Katsayısı değerlerinin ise olabildiğince 1'e yakın olması istenilmektedir. Bu istatistiki değerlere ilişkin formüller aşağıda verilmiştir;

$$\text{Hata Kareler Ortalaması (HKO)} = \sum_{i=1}^n \frac{(d_i - \hat{d}_i)^2}{n} \quad (5)$$

$$\text{Hata kareler Ortlamasının Karekökü (HKOK)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(d_i - \hat{d}_i)^2}{n}} \quad (6)$$

$$\text{Hata Kareler Toplamı (HKT)} = \sum_{i=1}^n (d_i - \hat{d}_i)^2 \quad (7)$$

$$\text{Düzeltilmiş Belirtme Katsayısı (R}_{\text{düz.}}^2) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \hat{d}_i)^2 (n-1)}{\sum_{i=1}^n (d_i - \hat{d}_i)^2 (n-p-1)} \quad (8)$$

$$\text{Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi (OMHY)} = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{V}_i - V_i|}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (9)$$

$$\text{Ortalama Mutlak Hata (OMH)} \left| \bar{D} \right| = \frac{(\sum |D|)}{N} \quad (10)$$

Yukarıdaki formüllerdeki,  $d_i$ ; belirli bir h yüksekliğinde ölçülen çap değeri,  $\hat{d}_i$ : geliştirilen gövde çapı modeli ile tahmin edilen çap değerini, n: veri sayısını ve p: modeldeki parametre sayısını ifade etmektedir.

Denklem yapısı verilen gövde profil denkleminin ilişkin parametre tahminleri ile çeşitli istatistiksel başarı ölçüt değerlerinin elde edilmesinde, Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi kullanılmış olup, bu analizin gerçekleştirilmesinde ise; SAS İstatistik Paket Programındaki PROC MODEL prosedürü kullanılmıştır (SAS Institute Inc. 2013).

### 2.2.2 Doğrusal olmayan karışık etkili modelleme

Ağaçların gövde boyunca çap düşüşlerini modellenmesinde kullanılan 3 farklı gövde çapı denkleminin en başarılı olarak belirlenen denklemin parametreleri ve varyans bileşenleri, Karışık Etkili Modelleme tekniği ile de tahmin edilecektir. Karışık etkili

modelleme, denklem yapısı içindeki parametreleri, sabit (fixed effect) ve rastgele (random effect) etkili parametre olarak sınıflamaktadır. Sabit etkili parametre, denklemin geliştirilmesinde kullanılan tüm örnekler için genel ilişkileri ifade eden ve örnekten örneğe değişmediği kabul edilen parametredir. Rastgele etkili parametre ise, örnekten örneğe göre rastgele olarak değiştiği kabul edilen ve bu bakımdan da örnekleme üniteleri arasındaki farklılığı temsil eden parametredir (Calama and Montero 2004, Castedo Dorado *et al.* 2006, Crecente-Campo *et al.* 2010). Karışık Etkili Modelleme ismi de, bu iki farklı özellikteki parametreyi içeren denklem yapısından dolayı adlandırılmaktadır. Böylece, karışık etkili modellerin denklem yapısı;

$$Y_{ij} = f(\Phi_i, X_{ij}) + \epsilon_{ij} \quad (11)$$

biçiminde olup,  $Y_{ij}$  i. örnek ağaçtaki j. ölçüme ilişkin ölçülen bağımlı değişken değerini,  $X_{ij}$  i. örnek ağaçtaki j. ölçüme ilişkin ölçülen bağımsız değişken değerini,  $\Phi_i$  modele ilişkin parametre değerlerini,  $\epsilon_{ij}$  model hatalarını göstermektedir (Calama and Montero 2004, Castedo Dorado *et al.* 2006, Crecente-Campo *et al.* 2010). Karışık etkili modellerin, model parametrelerini sabit etkili ve rastgele etkili parametre olarak iki sınıfta değerlendirmesi,

$$\Phi_i = A_{ij}\beta + B_{ij}b_i \quad (12)$$

formülü ile gösterilebilir. Bu gösterimde,  $\beta$  sabit etkilere ilişkin parametre olup, popülasyonun tamamı için hesaplanırken,  $b_i$  rastgele etkilere ilişkin parametre olup, örnek ağaçlar arasındaki farklılığı göstermektedir (Castedo Dorado *et al.* 2006, Crecente-Campo *et al.* 2010). Karışık etkili modellerde, rastgele etkilere ilişkin parametreye ve model hataları için temel varsayım,

$$b_i \sim N(0, D) \quad (13)$$

$$\epsilon_{ij} \sim N(0, R) \quad (14)$$



biçiminde gösterilip,  $b_i$  rastgele etkilere ilişkin parametrenin, aritmetik ortalaması 0 ve varyansı D; model hatası olan  $\epsilon_{ij}$ 'nin, aritmetik ortalaması 0 ve varyansı R olan bir normal dağılıma sahip olduğu şeklinde ifade edilebilir (Calama and Montero 2004, Castedo Dorado *et al.* 2006). Bu varsayımlarda ifade edilen D ve R matrislerinin tahmini, karışık etkili modellerin önemli bir yönünü oluşturmaktadır (Lappi 1997). D matrisi, örnek ağaçlar arasındaki değişkenliği ifade eden ve pozitif tanımlı varyans-kovaryans matrisi iken, R matrisi ise örnek ağaçlarda ölçülen veriler arasındaki değişkenliği (ağaç içi değişkenlik) tanımlayan varyans-kovaryans matrisidir. Özellikle gerek örnek ağaçlar gerekse örnek ağaçlarda ölçülen veriler arasındaki değişkenliği tanımlayan ve modelleyen söz konusu bu D ve R varyans-kovaryans matrislerinin formülleri aşağıdaki eşitliklerle gösterilmiştir.

$$D = \begin{bmatrix} \sigma_u^2 & \sigma_{uv} \\ \sigma_{uv} & \sigma_v^2 \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$R = \sigma^2 I_i \quad (16)$$

Yukarıda gösterilen bu eşitliklerde,  $\sigma_u^2$ ; u rastgele etkili parametrenin varyansını,  $\sigma_v^2$ ; v rastgele etkili parametrenin varyansını,  $\sigma_{uv}$ ; rastgele etkili parametreler arasındaki kovaryansını,  $\sigma^2$ ; modele ilişkin hata değerinin karesini,  $I_i$ ; satır-sütun sayısı karışık etkili modelin uygulanacağı örnek ağaç için kullanılacak veri sayısına eşit olan ve sabit olmayan varyansı tanımlayan diagonal matris değeridir (Castedo Dorado *et al.* 2006, Trincado *et al.* 2007).

Karışık etkili modellemenin en başarılı gövde çapı denkleminde uygulanmasında, gövde çapı modelinin farklı tüm parametreleri için yukarıda ifade edildiği şekilde, sabit etkili ve rastgele etkili parametre ayırımına gidilerek, farklı sabit ve rastgele etkili parametreleri içerecek şekilde parametre tahminleri elde edilmiştir. Farklı sabit ve rastgele etkili parametreleri içeren karışık etkili modelleme seçeneklerine ilişkin model tahmin başarıları ise; Akaike Bilgi Ölçütü (Akaike's Information Criterion, AIC) ve Bayesian Bilgi Ölçütü (BIC) kriterleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. AIC ve BIC ölçütleri, karışık etkili modeller ile elde edilen tahmin başarılarının

karşılaştırılmasında yaygın bir biçimde kullanılan başarı ölçütleridir. Bu başarı ölçütlerine ilişkin eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$AIC = -2\log L + 2q \quad (17)$$

$$BIC = -2\log(L) + q\log(N) \quad (18)$$

Bu eşitliklerde,  $L$ ; *Logaritmik Likelihood* fonksiyonun maksimum değerini,  $q$ ; tahmin edilen sabit etkili ve rastgele etkili varyans bileşeni sayısını,  $N$ ; örnek sayısını ifade etmektedir. Özellikle Akaike Bilgi Ölçütü (Akaike's Information Criterion, AIC) ve Bayesian Bilgi Ölçütü (BIC) kriterlerinin küçülmesi, model tahmin başarısının arttığını ve daha doğru tahminlerin yapıldığını göstermektedir.

### 2.2.3 Karışık etkili modellerin kalibrasyon yanıtlarının belirlenmesi

Karışık Etkili Modellemenin uygulanmasında, denklem yapısı içinde bulunan sabit etkili parametrelerin ve bu parametrelere ilişkin varyans bileşenlerinin tahmin edilmesini izleyen süreçte, farklı yetişme ortamları ve meşçere için kullanılabilmesi için, rastgele etkili parametrelerin bu alanlardan alınacak yeni verilere bağlı olarak tahmin edilmektedir.

Rastgele etkili parametrelerin söz konusu bu alanlar için tahmin edilmesi ile karışık etkili modeller, bu alanlar için özgü bir denklem olarak uygulanabilir bir duruma gelmektedir ki, bu süreç; modellerin “*kalibre edilmesi, (Calibration)*” olarak adlandırılmaktadır (Crecente-Campo *et al.* (2010). Kalibre edilen modeller söz konusu bu alanlar için doğru, tutarlı ve güvenilir tahminlerin elde edilmesini sağlamaktadırlar (Castedo Dorado *et al.* 2006, Crecente-Campo *et al.* 2010). Karışık etkili modellerin bir alana kalibre edilmesinde, bu alanlardan alınan örnek ağaçlarda ölçülen belirli sayıda çap değerleri kullanılarak, rastgele parametreler hesaplanmakta ve popülasyonun tamamı için geçerli olan sabit etkili parametre değerlerine hesaplanan bu rastgele etkili parametre eklenerek (değeri negatif ise çıkarılarak), söz konusu alan için geçerli parametre değerleri hesaplanmaktadır. Ormancılık uygulamalarında, karışık etkili

modellerin kalibre edilmesinde, Lappi (1991)'nin ormancılıkta ilk olarak kullandığı ve Henderson eşitlikleri olarak da adlandırılan *En iyi Doğrusal Yansız Ön kestirici (Best Linear Unbiased Predictor, BLUP)* formülü kullanılmaktadır. Garber and Maguire (2003), Calama and Montero (2006), Trincado and Burkhart (2006), Lejeune *et al.* (2009), Sharma and Parton (2009), Yang *et al.* (2009), Özçelik vd. (2011) çalışmalarında, rastgele etkili parameter tahmininde Henderson eşitliğini kullanılmışlardır.

*En iyi Doğrusal Yansız Ön kestirici (Best Linear Unbiased Predictor, BLUP)* eşitliği, rastgele etkili parametrenin tahmininde kalibre edilecek yetişme ortamı veya örnek ağaçta belirli sayıda yeni verinin ölçümüne, alt örneğe (sub-sample), gerek duymaktadır (Crecente-Campo *et al.* 2010). Özellikle, örnek ağaçta hangi çapların (dip, orta ve uç çapların) ölçüleceğinin belirlenmesi, karışık etkili modellerin “Kalibrasyon Yanıtı” (Calibration response)'nin belirlenmesi olarak adlandırılmaktadır. Bu amaçla, örnek ağaçlarda, farklı yüksekliklerden ölçülen çap değerleri kullanılarak, rastgele etkili parametreler hesaplanmakta ve yapılan tahminlerin hata değerleri analiz edilmektedir. Rastgele etkili parametre, aşağıdaki BLUP eşitliği ile hesaplanmıştır.

$$\hat{b}_i \approx DZ_i'(R + Z_iDZ_i')^{-1}(Y_i - A_{ij}\beta) \quad (19)$$

Bu eşitlikte yer alan  $D$  ve  $R$  bileşenleri, daha önce tanımlanmış varyans-kovaryans matrisleri olup,  $Z_i$  bileşeni; rastgele etkili parametreler için dizayn matrisi iken  $Z_i'$ ;  $Z_i$  matrisinin tersi olarak tanımlanmaktadır (Lappi 1991). Ayrıca yukarıdaki eşitlikte,  $(Y_i - A_{ij}\beta)$  bileşeni, karışık etkili modelde sadece sabit etkili parametreler kullanılarak yapılacak tahminin, gözlem değerinden (observed value) çıkarılması ile hesaplanmaktadır (Schmidt *et al.* 2010).

Bu çalışmada; karışık etkili modellerin kalibrasyon yanıtını belirlemesinde, yukarıda özetlenmeye çalışılan yöntem ile model kalibrasyonu için ayrılmış olan 48 adet ağaç verisi kullanılmıştır. Özellikle *BLUP* formülünün uygulanmasında ve rastgele parametrelerin hesaplanmasında, Trincado *et al.* (2007) tarafından verilmiş olan SAS

program kodu kullanılmıştır. Bu çalışmada, Karışık Etkili Doğrusal Olmayan Gövde Çapı Modelinin kalibrasyon yanıtının belirlenmesi için ağaçların farklı yüksekliklerinde ölçülmüş çap değerlerinin kullanımını içeren 4 farklı kalibrasyon yanıt seçeneği karşılaştırılmıştır. Söz konusu kalibrasyon yanıtına ilişkin seçenekler;

1. İlgili ağacın en dip kısmına en yakın 3 adet çap,
2. İlgili ağaçta ölçülmüş çapları iki eşit parçaya bölen 3 adet çap,
3. İlgili ağaçta en uç kısmına en yakın 3 adet çap,
4. İlgili ağaçta dip, orta ve uç bölgelerden birer adet olmak üzere toplam 3 adet çap değerleri kullanılarak elde edilmiştir.

Her bir örnek ağaca ilişkin hesaplanan rastgele etkili parametreler, sabit etkili parametreye ilave edilerek (değeri negatif ise çıkarılarak) bu örnek ağaçlara özgü yeni gövde çapı denklemleri elde edilmiştir. Farklı kalibrasyon yanıtı seçenekleri ile elde edilen gövde çapı eşitlikleri kullanılarak, 48 adet örnek ağaca ilişkin farklı yüksekliklere ilişkin çap değerleri tahmin edilmiştir. Örnek ağaçların arazide ölçülen çap değerleri ile farklı kalibrasyon yanıtı seçeneklerine bağlı olarak oluşturulan gövde çapı eşitliği ile tahmin edilen çap değerleri arasındaki farklara göre hesaplanan model tahmin başarıları; HKO, HKT ve HKOK başarı ölçütleri ile karşılaştırılmıştır.

#### **2.2.4 Tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi**

Ağaç hacim tablolarının düzenlenmesinde; ağaçlar üzerindeki ölçümlerden sağlanan verilerin dengelenmesi söz konusu olup, bunun için ‘Grafik Yöntem’ ya da istatistiksel bir yöntem olan ‘Regresyon Analizi’ yöntemlerinden yararlanılmaktadır (Yavuz 1995, Şentürk 1997). Özellikle günümüzde istatistik bilgisayar yazılımlarının gelişmesi ile regresyon analizi yöntemi öne çıkmaktadır. Dengeleme işleminde daha önce denenmiş ya da denenmemiş aritmetik ve logaritmik denklemler uygulanmaktadır. Matematik yöntem, grafik yöntemine göre daha objektiftir ve hacmi belirlemek için seçilen denkleme belirli verileri uygulayan herkes aynı sonuçları vermektedirler (Kalıpsız 1984, Şentürk, 1997).

Bu çalışmada, tek ve çift girişli ağaç hacim tablolarının düzenlenmesinde; çalışma alanı olan Buladan ve Cehennemdere Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yer alan Anadolu Karaçamı meşcerelerinden değişik çap ve boy basamaklarında seçilen toplam 355 adet örnek ağaç kesilerek, gövde boyunca farklı yüksekliklerden ölçülen çap verileri kullanılmıştır. Bu verilerden yararlanarak her bir örnek ağaç, dip kütük, seksiyonlar ve uç parça olmak üzere üç ayrı bölümde hacimlendirilmiş ve bunların toplanması ile toplam gövde hacmi hesaplanmıştır. Dip kütüğün silindirik, uç parçanın ise koni biçiminde olduğu varsayılmıştır. Her bir Seksiyonun hacimlendirilmesinde, seksiyon uzunlukları eşit olduğundan “Huber” formülü kullanılmıştır. Ağaç hacimlerinin hesaplanmasında kullanılan formüller aşağıda verilmiştir. Ağaçlar üzerinde ölçülen çap değerlerine bağlı olarak dip, uç ve seksiyonlar için elde edilen hacim değerleri toplanarak, tüm ağacın toplam hacmi elde edilmiştir.

$$\text{Dip kısım için; } V_{dip} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{0,3}^2 \cdot 0.3 \quad (20)$$

$$\text{Uç kısmı için; } V_{uç} = \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_{uç}^2 \cdot h_{uç} \quad (21)$$

Seksiyon hacimleri için Huber formülü;

$$V_{seksiyon} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{1,3}^2 + \dots + d_n^2) \cdot 2 \quad (22)$$

Ağaç denklemlerinin geliştirilmesinde diğer bir aşama ise tek ağaçların hacimlerini; ağaç çapına (tek girişli ağaç hacim denklemleri) ya da çap ile birlikte boya (Çift girişli ağaç hacim denklemleri) göre tahmin eden Regresyon Denklemlerinin geliştirilmesidir. Regresyon denklemlerinin geliştirilmesinde ise; Regresyon Analizi adı verilen istatistik analiz yöntemi kullanılır. Bu bakımdan, ağaç hacim denklemleri; regresyon analizleri üretilen regresyon modelleri olup, bu modellerde; hacim değişkeni (Dendrometrik formüller ile belirlenen değerler) bağımlı değişken iken (Zor ölçülen değişken=Y değişkeni), çap ve boy ise bağımsız değişkendir (Kolay ölçülen değişken=X değişkeni).

Ormancılık literatüründe tek ve çift girişli pek çok hacim fonksiyonu bulunmaktadır. Bu çalışmada çeşitli kaynaklardan (Şentürk 1997, Yavuz 1999) sağlanan tek girişli hacim fonksiyonları için 4 ve (22-25'nolu denklemler) çift girişli ağaç hacim fonksiyonları için 9 (26-34'nolu denklemler) farklı hacim fonksiyonu kullanılmıştır. Bu denklemlere ilişkin katsayılar, katsayıların önemlilik düzeyleri ve diğer istatistiklerin hesaplanmasında SPSS 15.0 adlı paket programı kullanılmıştır (SPSS 15.0 Inc. 2007).

Tek girişli ağaç hacim fonksiyonları;  $V = f(d)$

$$V = b_0 + b_1 \cdot d^2 \quad (23)$$

$$V = b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot d^2 \quad (24)$$

$$V = b_0 + b_1 \cdot d^2 + b_2 / d \quad (25)$$

$$V = b_0 \cdot d^h \quad (26)$$

Çift girişli ağaç hacim fonksiyonları;  $V = f(d, h)$

$$V = b_0 + b_1 \cdot d^2 \cdot h \quad (27)$$

$$V = b_0 + b_1 \cdot d^2 + b_2 h + b_3 \cdot d^2 \cdot h \quad (28)$$

$$V = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + (b_3 + b_4 d + b_5 d^2) h \quad (29)$$

$$V = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + (b_3 d + b_4 d^2) h \quad (30)$$

$$V = b_0 + b_1 d^2 + b_2 h^2 + b_3 d h^2 + b_4 d^2 h \quad (31)$$

$$V = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 h + b_4 d h + b_5 d^2 h \quad (32)$$

$$V = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 d h + b_4 d^2 h \quad (33)$$

$$V = b_0 + b_1 d^2 + b_2 h^2 + b_3 d h^2 + b_4 d^2 h^2 \quad (34)$$

$$V = b_0 + b_1 dh + b_2 d^2 h \quad (35)$$

Burada;

V	: Gövde hacmini (m <sup>3</sup> )
D	: Göğüs çapını (cm)
h	: Ağaç boyunu (m)
b <sub>0</sub> , b <sub>1</sub> , ... b <sub>k</sub>	: Denklem katsayıları

Bu çalışmada kullanılan hacim fonksiyonlarından, en iyi sonucu veren fonksiyonun belirlenmesinde, aşağıdaki formüllerle ifade edilen altı adet uygunluk ölçütü kullanılmıştır (Şentürk 1997, Yavuz 1999). Bu ölçüt değerlerinden, tahminin standart hatası, ortalama hata, ortalama mutlak hata, toplam hata yüzdesi ve ortalama mutlak hata yüzdesi değerleri küçük, belirtme katsayısı değerlerinin ise büyük olması istenmektedir. Diğer taraftan, bir ya da birkaç ölçüt değerlerine göre başarılı olan bir hacim fonksiyonu, diğer bir ölçüt değerine göre başarısız olabilir. Bu nedenle tüm başarı ölçütlerinin kapsayacak şekilde, bir başarı sıralaması yapılmıştır. Bu amaçla, tahminin standart hatası, ortalama hata, ortalama mutlak hata, toplam hata yüzdesi ve ortalama mutlak hata yüzdesi değerlerine göre en küçüğüne, belirtme katsayısı değerlerinin en büyüğüne 1 sıra numarası verilerek giderek artan bir biçimde her ölçüt değerine göre hacim fonksiyonlarına sıra numarası verilmiş ve daha sonra sıra numaraları toplamı, ilgili hacim fonksiyonu için başarı derecesi olarak kabul edilmiştir. Özellikle en küçük toplam sıra numarasına sahip fonksiyon, en iyi sonucu veren hacim fonksiyonu olarak belirlenmiştir (Yavuz 1999).

Belirtme Katsayısı;

$$R^2 = 1 - \left( \frac{\sum (V_i - \hat{V}_i)^2}{\sum (V_i - V_{ort})^2} \right) \quad (36)$$

Tahminin Standart Hatası;

$$S_{y.x} = \sqrt{\frac{\sum (V_i - \hat{V}_i)^2}{N - p}} \quad (37)$$

Ortalama Hata

$$\bar{D} = \frac{(\sum D)}{N} \quad (38)$$

Ortalama Mutlak Hata;

$$|\bar{D}| = \frac{(\sum |D|)}{N} \quad (39)$$

Toplam Hata Yüzdesi;

$$THY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \hat{V}_i - \sum_{i=1}^n V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (40)$$

Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi;

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{V}_i - V_i|}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (41)$$

Burada, N: veri sayını, p: parametre sayısını,  $D$ :  $\hat{V}_i - V_i$ ,  $\hat{V}_i$  hacim fonksiyonu ile tahmin edilen hacim değeri,  $V_i$ : ölçülen hacim değeri,  $V_{ort}$ : ölçülen ortalama ağaç hacmi değerlerini göstermektedir.

Bu çalışmada kullanılan hacim denklemlerinden, yukarıda sözü edilen altı adet ölçüte göre en iyi sonucu veren hacim denklemleri belirlendikten sonra, bu hacim fonksiyonlarının çalışma alanındaki Anadolu Karaçamı meşcerelerine uygun olup olmadığının denetimi, tesadüfi olarak seçilen ve toplam verinin yaklaşık % 13.5'ini oluşturan örnek ağaçlar (48 adet) yardımıyla yapılmıştır. Seçilen hacim fonksiyonun



denetiminde kullanılan ağaçların (48 adet) bölümlene yöntemi ile hesaplanan ( $V_i$ ) ve oluşturulan hacim denklemi ile tahmin edilen hacim değerleri ( $\hat{V}_i$ ), “Eşlendirilmiş İki Örnek Testi (Paired t test)” kullanılarak karşılaştırılmıştır (Kalıpsız 1988). İki farklı şekilde elde edilen bu hacim değerleri arasında, istatistiksel olarak bir farklılık olmaması durumunda ( $p>0.05$ ); bu hacim denkleminin çalışma alanı için uygun olduğu sonucuna varılır. Bununla birlikte hacim değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olması durumunda ise ( $p<0.05$ ); hacim fonksiyonun, çalışma alanı için uygun olmadığı sonucuna varılabilir.

### 3.BULGULAR

#### 3.1 Gövde Çapı Denklemlerine İlişkin Bulgular

Bu çalışmada kullanılan 3 farklı modele ilişkin Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi ile elde edilen parametre tahminleri, standart hata değerleri, t-hesap değerleri ile önem düzeyleri ve çeşitli model başarı ölçüt değerleri, Çizelge 3.1’de verilmiştir. Bu modellere ilişkin parametre tahminlerinde, Max and Burkhardt (1976)  $p < 0.05$  önem düzeyi ile anlamlı iken, Parresol *et al.* (1987) ve Jiang *et al.* (2005) modellerinin tüm parametre değerlerinin ise  $p < 0.001$  önem düzeyi ile anlamlı olduğu görülmektedir.

Max and Burkhardt (1976) denkleminin başarı ölçüt değerleri, HKO: 8.1934, HKOK: 2.8659, HKT: 19901.72, OMH: 1.6071, OMHY (%): 8.885,  $R^2$ : 0.8630 iken, Parresol *et al.* (1987) denkleminin başarı ölçüt değerleri, HKO: 14.4783, HKOK: 3.8089, HKT: 35167.18, OMH: 2.6994, OMHY (%): 13.509,  $R^2$ : 0.7567 olarak hesaplanmıştır. Jiang *et al.* (2005) denklemine ilişkin başarı ölçütleri ise, HKO: 4.4828, HKOK: 2.1190, HKT: 10888.80, OMH: 1,1171, OMHY (%): 5.965,  $R^2$ : 0.9843 olarak elde edilmiştir. Bütün bu model başarı ölçüt değerleri değerlendirildiğinde; Jiang *et al.* (2005) tarafından geliştirilen gövde çapı denkleminin, Anadolu Karaçamının gövde çapı gelişimini modellemede en başarılı model olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada en başarılı olarak belirlenen Jiang *et al.* (2005)’ in gövde çapı modelinde parametreler yerine konulursa, aşağıdaki gibi bir gövde çapı denklemi elde edilmiş olur;

$$d = \left\{ \begin{array}{l} I_S \left[ D^2 \left( 1 + \frac{(1-h/H)^{45.58358} - (1-1.30/H)^{45.58358}}{1 - (1-1.30/H)^{45.58358}} \right) \right] \\ + I_B \left[ D^2 - \frac{(D^2 - F^2)((1-1.30/H)^{2.304089} - (1-h/H)^{2.304089})}{(1-1.30/H)^{2.304089} - (1-5.30/H)^{2.304089}} \right] + \\ + I_T \left[ F^2 \left( 4.733111 \cdot \left( \frac{h-5.30}{H-5.30} - 1 \right)^2 + I_M \left( \frac{1-4.733111}{0.87417^2} \right) \left( 0.87417 - \frac{h-5.30}{H-5.30} \right)^2 \right) \right] \end{array} \right\}^{0.5} \quad (42)$$

Bu denklemde, d; ağacın gövdesi boyunca herhangi bir yükseklikteki gövde çapını (cm), D: ağacın göğüs çapını (cm), h: ölçüm yüksekliğini (m), H: ağaç toplam boyunu

(m), F: 5.30 metre yüksekliğinde ölçülen çapını (cm) ve  $I_S$ ,  $I_B$ ,  $I_T$  ile  $I_M$  değişkenleri ise; tahmin edilecek çapın gövde üzerindeki yerine bağlı olarak kodlanan kukla değişkeni ifade etmektedir.

**Çizelge 3.1** Geliştirilen farklı gövde çapı denklemlerinin parametre değerleri ile çeşitli model başarı ölçütleri

MODEL	$R^2_{düz.}$	HKO	HKT	HKOK	OMH	OMHY(%)	Parametre	Tahmin	Standart Hata	t değeri	P>t
Model 1: Max ve Burkhart (1976)	0.8630	8.1934	19901.72	2.8659	1.6071	8.885	b <sub>1</sub>	-2.84614	0.8655	-3.29	0.0010
							b <sub>2</sub>	1.145364	0.5153	2.22	0.0263
							b <sub>3</sub>	-1.4946	0.5240	-2.85	0.0044
							b <sub>4</sub>	16.58604	2.8345	5.85	<.0001
							a <sub>1</sub>	0.666297	0.0684	9.75	<.0001
							a <sub>2</sub>	0.18947	0.0140	13.57	<.0001
Model 2: Parresol vd. (1987)	0.7567	14.4783	35167.78	3.8089	2.6994	13.509	b <sub>1</sub>	3.275442	0.0730	44.86	<.0001
							b <sub>2</sub>	3.297542	0.0799	41.25	<.0001
							b <sub>3</sub>	-3.65065	0.4803	-7.60	<.0001
							b <sub>4</sub>	6.315387	0.3176	19.88	<.0001
							a	0.593861	0.00365	162.85	<.0001
Model 3: Jiang vd. (2005)	0.9843	4.4828	10888.80	2.1190	1,1171	5.965	b <sub>1</sub>	45.58358	1.3287	34.31	<.0001
							b <sub>2</sub>	2.304089	0.2273	10.14	<.0001
							b <sub>3</sub>	0.874173	0.00899	97.26	<.0001
							b <sub>4</sub>	4.733111	0.2546	18.59	<.0001

Jiang *et al.* (2005) denkleminde bağımsız değişken olan 5.30 metre yüksekliğindeki çap değerinin, göğüs çapına ve boy değerine göre tahmin denklemi aşağıda verilmiştir.

$$d_{5.30} = d_{1.30} \left( 0.831 + \left( -0.569 \cdot \left( \frac{5.30}{H} \right)^2 \right) \right) \quad (43)$$

Bu denklemde tüm parametreler,  $p < 0.0001$  önem düzeyinde anlamlı bulunmuş olup, belirtme katsayısı ( $R^2$ ) ise; 0.973 olarak elde edilmiştir.

Jiang *et al.* (2005) denkleminin çap tahminlerindeki performansını daha iyi analiz etmek için, oransal çap ve boy değerlerine göre HKT, HKO ve HKOK değerleri hesaplanmıştır. Jiang *et al.* (2005) denklemi ile elde edilen çap tahminlerine ilişkin hata değerlerinin, ilgili çap değerinin göğüs çapına oranı şekilde hesaplanan oransal çap değerine göre değişimi Çizelge 3.2’de ve ilgili çapın ölçüldüğü yüksekliğin ağaç boyuna oranı şeklinde hesaplanan oransal boy değerine göre değişimi ise Çizelge 3.3’te verilmiştir.

**Çizelge 3.2** Oransal çap değerlerine göre çeşitli hata değerlerinin değişimi

Oransal Çap	n	HKT	HKO	HKOK
0.0-0.10	338	875.972	2.591	1.609
0.11-0.20	81	227.068	2.803	1.674
0.21-0.30	99	798.835	8.069	2.840
0.31-0.40	93	252.696	2.717	1.648
0.41-0.50	138	853.766	6.186	2.487
0.51-0.60	129	616.886	4.782	2.186
0.61-0.70	188	673.464	3.582	1.892
0.71-0.80	226	349.702	1.547	1.243
0.81-0.90	244	1270.215	5.205	2.281
0.91-1.00	504	508.514	1.008	1.004
1.01-1.10	27	1853.619	68.652	8.285
1.11-1.20	110	750.981	6.827	2.612
1.21-1.30	97	675.303	6.961	2.638
1.31-1.40	50	1000.493	20.009	4.473
1.41-1.50	17	421.167	24.774	4.977

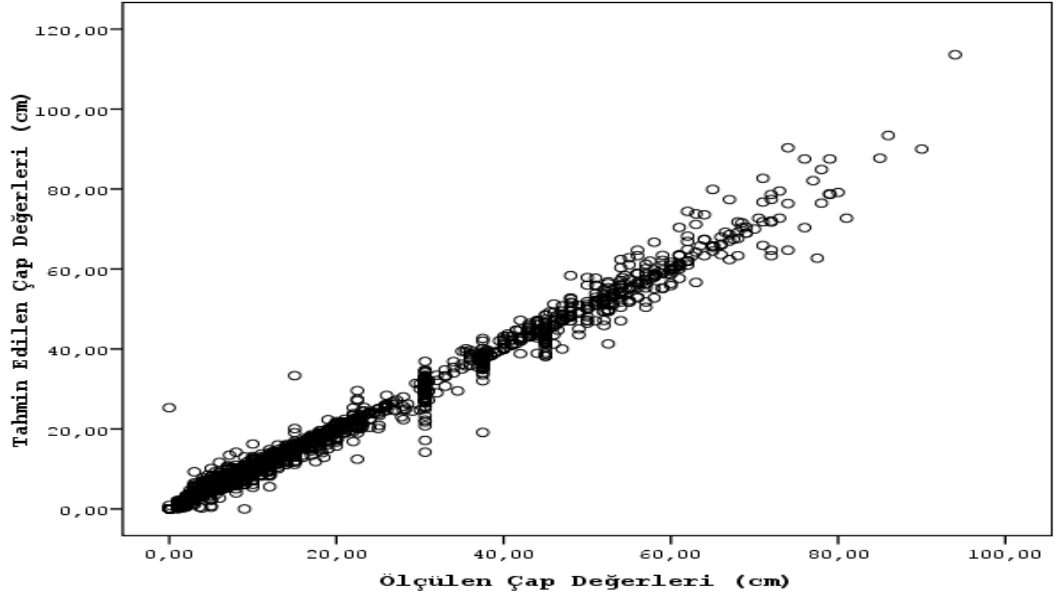
Çizelge 3.2 incelendiğinde; oransal çap değerlerine göre en düşük hata değeri 0.91-1.00; en yüksek hata değeri 1.41-1.50 aralıklarında elde edilmiştir.

**Çizelge 3.3** Oransal boy değerlerine göre çeşitli hata değerlerinin değişimi

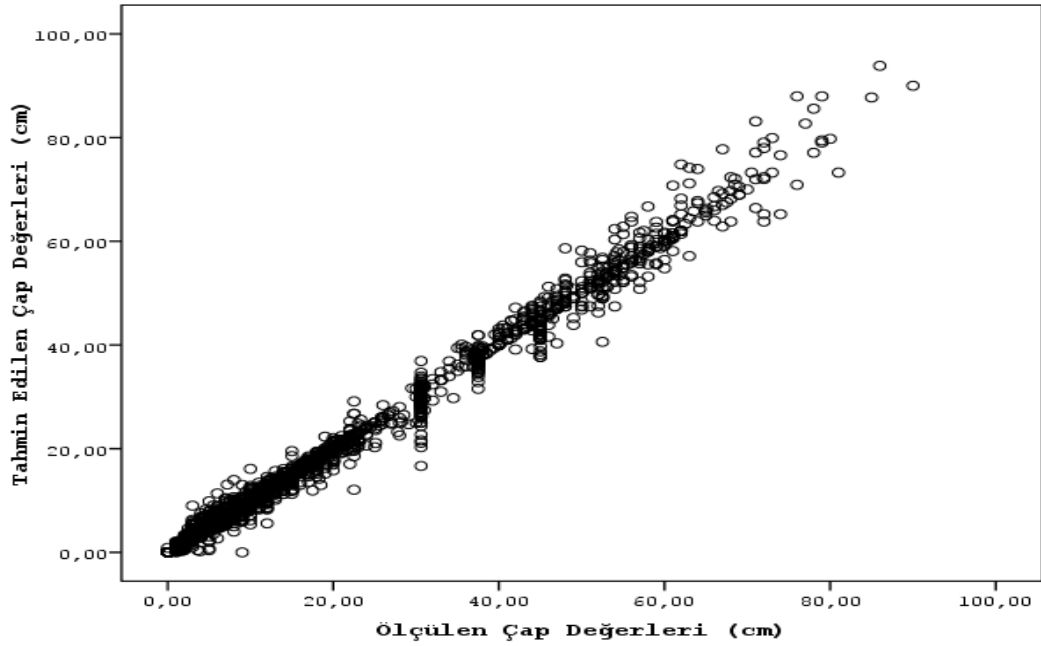
Oransal Boy	n	HKT	HKO	HKOK
0.0-0.10	482	5285.926	10.966	3.311
0.11-0.20	272	931.295	3.423	1.850
0.21-0.30	174	209.303	1.202	1.096
0.31-0.40	189	815.388	4.314	2.077
0.41-0.50	188	370.201	1.969	1.403
0.51-0.60	157	914.744	5.826	2.413
0.61-0.70	152	289.940	1.907	1.381
0.71-0.80	152	583.152	3.836	1.958
0.81-0.90	135	1238.201	9.171	3.028
0.91-1.00	440	490.532	1.114	1.055

Çizelge 3.3 incelendiğinde, oransal boy değerlerine göre en düşük hata değeri 0.91-1.0; en yüksek hata değeri ise 0.0-0.10 aralıklarında elde edilmiştir

Jiang *et al.* (2005) denklemine bağlı olarak elde edilen tahmin değerleri ile arazide ölçülen çap değerleri arasındaki ilişki, Şekil 3.1’de verilmiştir. Şekil 3.2’de ise, modele ilişkin hataların tahmin değerlerine göre değişimleri verilmiştir

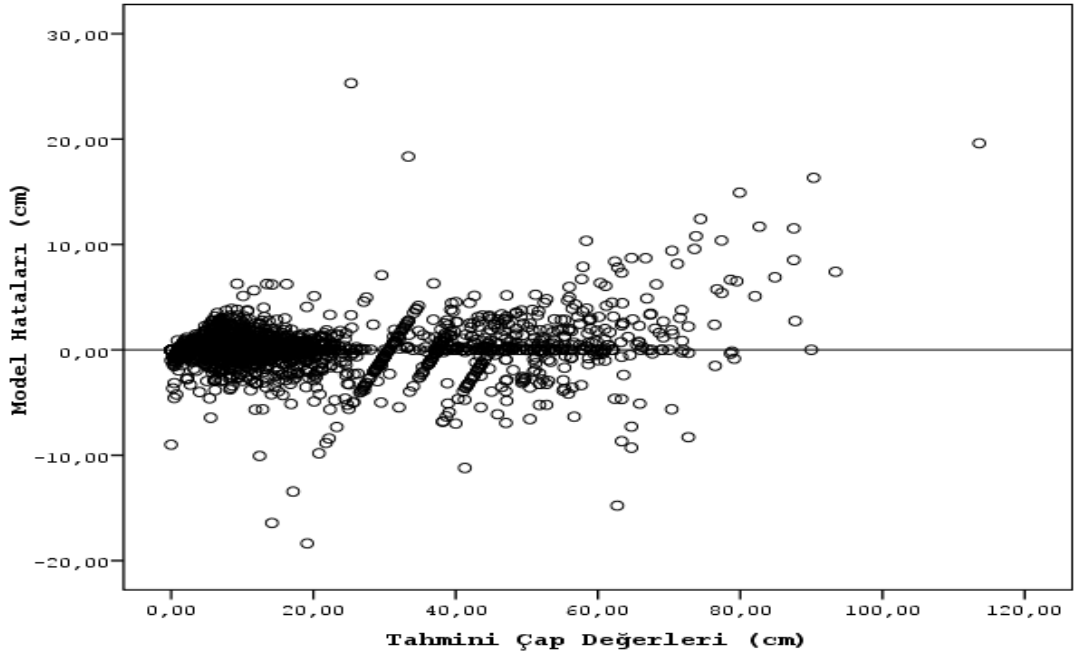


**Şekil 3.1** Doğrusal olmayan regresyon analizi uygulanarak Jiang *et al.* (2005) denklemi ile elde edilen tahmin değerlerinin arazide ölçülen çap değerlerine göre değişimi

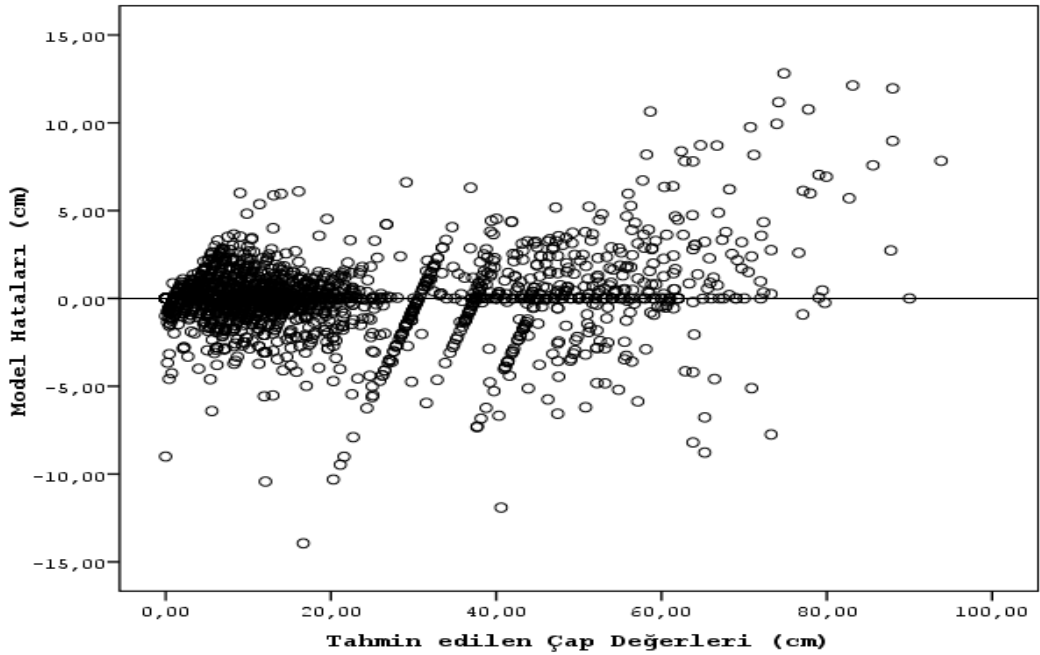


**Şekil 3.2** Karışık etkili modelleme uygulanarak Jiang *et al.* (2005) denklemi ile elde edilen tahmin değerlerinin arazide ölçülen çap değerlerine göre değişimi





Şekil 3.3 Doğrusal olmayan regresyon analizi uygulanarak Jiang *et al.* (2005) denklemi ile elde edilen model hatalarının tahmin edilen çap değerleri göre değişimi



Şekil 3.4 Karışık etkili modelleme uygulanarak Jiang *et al.* (2005) denklemi ile elde edilen model hatalarının tahmin edilen çap değerleri göre değişimi

Bu şekiller incelendiğinde, Jiang *et al.* (2005) ile elde edilen tahminlere ilişkin hata değerlerinin ortalaması sıfır olup, artı ve eksi yöndeki hataların dağılımının dengeli ve rastgele bir biçimde olduğu görülmektedir.

Jiang *et al.* (2005)'in denklemine geliştirilen denklemin, örneklerin alındığı Anadolu Karaçamı meşcereleri için uygun olup olmadığı, bu denklemin oluşturulmasında kullanılmamış olan 48 adet ağaç verisi ile denetlenmiştir. Geliştirilen denklemin denetlenmesinde ise, “Eşlendirilmiş İki Örnek Testi (Paired t test)” ile kullanılmıştır. Yapılan bu teste, veri sayısı  $n=855$  olup, ortalama fark  $\bar{D}$ : -0.00293, farka ilişkin standart sapma  $S$ : 0.05756, t hesap değeri  $t$ : 1.490, p: 0.137 olarak hesaplandığından, arazide ölçülen gerçek çap değerleri ile geliştirilen denklem ile bu ağaçlar için tahmin edilen çap değerleri arasında  $p>0.05$  önem düzeyi ile bir farklılık belirlenmemiştir. Bu bakımdan, bu çalışma kapsamında oluşturulan gövde çapı denkleminin, örnek ağaçların seçildiği alanlar için kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

### **3.2 Karışık Etkili Gövde Çapı Denklemine İlişkin Bulgular**

Bu çalışmada, karışık etkili modellemenin bir uygulaması olarak; ağaçların gövde boyunca çap gelişimlerini modelleme en başarılı olarak belirlenen Jiang *et al.* (2005)'in denklemine ilişkin parametreler, karışık etkili modelleme ile de tahmin edilmiştir. Diğer taraftan, karışık etkili modellemede; denklem yapısı içinde hangi parametrelerin sabit etkili, diğer hangi parametrelerin de rastgele etkili parametre olduğu belirlenmelidir. Karışık etkili modellemenin uygulanmasında, genellikle tüm farklı sabit ve rastgele etkili parametre seçenekleri için çeşitli model başarı ölçüt değerleri hesaplanarak, bu seçenekler içinde en iyi tahmin sonuçlarını veren parametre kombinasyonu; karışık etkili denklem yapısı olarak önerilmektedir. Bu çalışmada da, tüm farklı tekli ve ikili rastgele ve sabit etkili parametre seçenekleri için AIC ve BIC kriterleri hesaplanmış ve Çizelge 3.4'de verilmiştir. Özellikle 3 ve 4 parametrenin rastgele etkili olduğu denklem yapısı ise, denklem parametrelerinin tahmin edilmesinin ve sonuçların yorumlanmasının çok zor olması nedeniyle değerlendirmeye alınmamıştır. Bu AIC ve BIC kriter değerleri

değerlendirildiğinde; en iyi model tahmin sonuçları,  $b_1$  ve  $b_4$  rastgele diğer  $b_2$  ve  $b_3$  parametrelerin ise sabit etkili olduğu karışık etkili denklem yapısı ile elde edilmiştir.

**Çizelge 3.4** Farklı rastgele ve sabit etkili parametre seçenekleri için AIC ve BIC kriterleri

Başarı Kriterleri	Rastgele Parametre Seçenekleri									
	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_1$ ve $b_2$	$b_1$ ve $b_3$	$b_1$ ve $b_4$	$b_2$ ve $b_3$	$b_2$ ve $b_4$	$b_3$ ve $b_4$
AIC	8469.5	8966.8	9496.4	8719.4	8431.9	8230.4	7814.1	8886.9	8714.7	8987
BIC	8491.4	8988.7	9518.3	8741.3	8461.1	8259.6	7843.3	8916	8743.9	9016.2

En başarılı olarak belirlenen  $b_1$  ve  $b_4$  rastgele diğer  $b_2$  ve  $b_3$  parametrelerin ise sabit etkili olduğu Jiang *et al.* (2005)'in Karışık Etkili Denklem yapısı aşağıda verilmiştir.

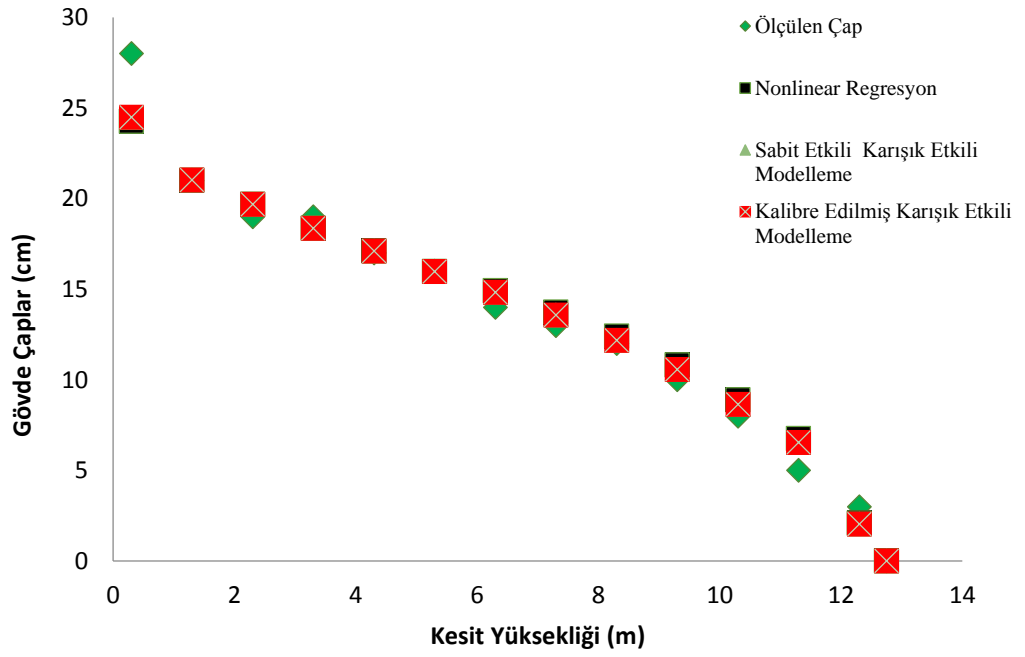
$$d = \left\{ \begin{array}{l} I_S \left[ D^2 \left( 1 + \frac{(1-h/H)^{42.529+u} - (1-1.30/H)^{42.529+u}}{1 - (1-1.30/H)^{42.529+u}} \right) \right] \\ + I_B \left[ D^2 - \frac{(D^2 - F^2)((1-1.30/H)^{2.3013} - (1-h/H)^{2.3013})}{(1-1.30/H)^{2.3013} - (1-5.30/H)^{2.3013}} \right] + \\ + I_T \left[ F^2 \left( (4.4665 + v) \cdot \left( \frac{h-5.30}{H-5.30} - 1 \right)^2 + I_M \left( \frac{1-(4.4665+v)}{0.8758^2} \right) \left( 0.8758 - \frac{h-5.30}{H-5.30} \right)^2 \right) \right] \end{array} \right\}^{0.5} \quad (44)$$

Bu denklemde geçen ifadeler daha önce metin içinde tanımlanmış olup, özellikle  $b_1$  ve  $b_4$  parametreleri rastgele parametre olarak kabul eden karışık etkili denklem yapısı kullanıldığından; bu iki parametrenin varyansını ifade eden  $u$  ve  $v$  parametreleri denklem yapısına ilave edilmiştir. Çizelge 3.5'te ise,  $b_1$  ve  $b_4$  parametrelerinin rastgele ve  $b_2$  ve  $b_3$  parametrelerinin ise sabit etkili olduğu karışık etkili model yapısının sabit etkili parametreleri, rastgele parametrelere ilişkin varyans değerleri ( $\sigma_u^2$ ,  $\sigma_v^2$ ), kovaryans değeri ( $\sigma_{uv}$ ) ile HKO, HKT, HKOK, OMH ve OMHY değerleri verilmiştir. Karışık Etkili Modelleme elde edilen HKT (8484.27), HKO (3.4929) ve HKOK (1.87047), OMH (1.1051) ve OMHY (%5.901) değerlerinin, Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi

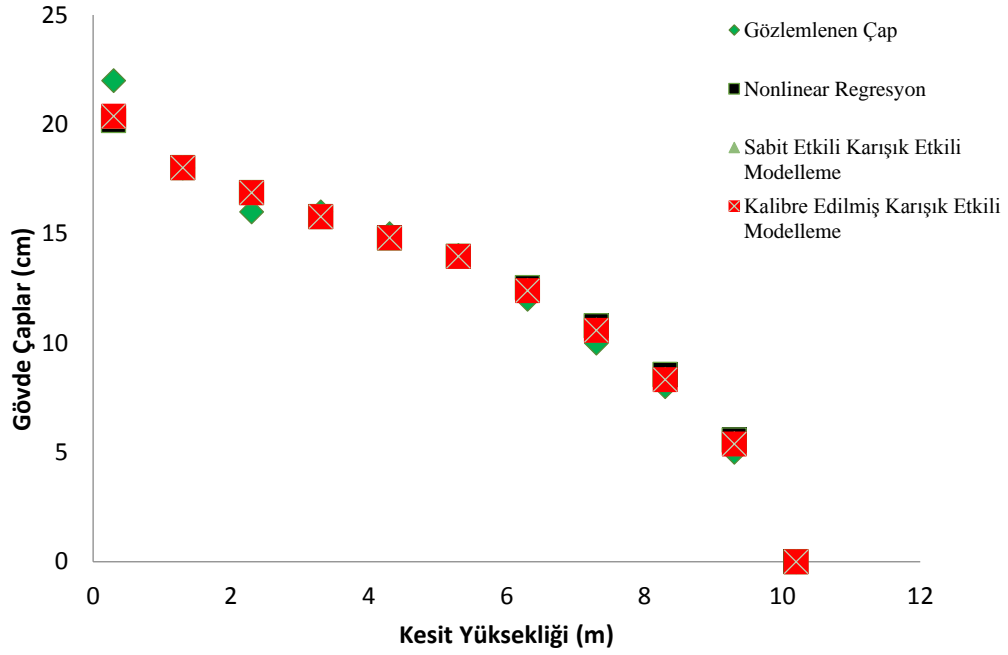
ile edilen HKT (10888.80), HKO (4.4828), HKOK (2.1190), OMH (1.1171) ve OMHY (%5.965) değerlere göre daha başarılı olarak elde edilmiştir.

**Çizelge 3.5** Karışık etkili Jiang *et al.* (2005) denklem yapısına ilişkin parametreler ile varyans değerlerine ilişkin tahminler

Parametreler		Parametre Tahmini	Standart Hata	t değeri	p>t
Parametre değerleri	b <sub>1</sub>	42.5290	1.7071	24.91	<.0001
	b <sub>2</sub>	2.3013	0.1442	15.96	<.0001
	b <sub>3</sub>	0.8758	0.007215	121.38	<.0001
	b <sub>4</sub>	4.4665	0.2559	17.45	<.0001
Rastgele Etkili Parametre Varyansları	$\sigma_u^2$	1340.41	166.50	8.05	<.0001
	$\sigma_v^2$	5.2090	0.8542	6.10	<.0001
Kovaryans	$\sigma_{uv}$	17.4655	7.4007	2.36	0.019
Model Hatası	$\sigma^2$	1.8512	0.06690	27.67	<.0001
HKT=8484.27    HKO=3.4929    HKOK=1.87047 OMH=1.1051    OMHY=%5.901					



Şekil 3.5 18 cm çap ve 10.2 m boyundaki bir ağaç için çap tahminlerinin karşılaştırılması



Şekil 3.6 21 cm çap ve 12.75 m boyundaki bir ağaç için çap tahminlerinin karşılaştırılması

### 3.3 Kalibrasyon Yanıtlarına İlişkin Bulgular

Karışık etkili modellerin en önemli özelliklerinden biri olan farklı alanlardan elde edilen veriler ile kalibre edilebilmelerine ilişkin sonuçlar da, bu çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Karışık etkili modellerin belirli bir alana kalibre edilebilmesi için; bu alandan elde edilen ağaçlarda yapılacak ölçümlere (sub-samples) ihtiyaç bulunmaktadır. Karışık etkili modellere ilişkin parametrelerden rastgele etkili olan parametrelerin varyans değerleri ile model hata değeri kullanılarak D ve R matrisleri oluşturulurken, BLUP formülünde ayrıca yapılacak yeni ölçümlere ilişkin hesaplamalar da yer almaktadır. Bir önceki bölümde denklem yapısı ve parametre değerleri verilen karışık etkili modelin rastgele etkili parametrelerin varyans değerleri ve iki parametre arasındaki kovaryans değerleri kullanılarak D matrisi şu şekilde edilir;

$$D = \begin{bmatrix} 1340.41 & 17.4655 \\ 17.4655 & 5.2090 \end{bmatrix} \quad (45)$$

Bu matris değerinde; 1340.41 değeri  $b_1$  parametresine ilişkin varyans değeri, 5.2090 değeri;  $b_4$  parametresinin varyans değeri ve 17.4655 ise iki parametre arasındaki kovaryans değeridir. R matrisi ise;

$$R = 1.8512 \cdot I(3) \quad (46)$$

olarak elde edilmiştir. Bu matristeki, 1.8512 değeri denklemin hatasını ifade etmekte olup,  $I(3)$ ;  $3 \times 3$ 'lük (Karışık etkili modelin uygulanacağı örnek ağaçlarda kalibrasyon için seçilmiş veri sayısı) diagonal matris değeridir. D ve R varyans-kovaryans matrislerinin belirlendikten sonra, kalibrasyon verisini oluşturan 48 örnek ağaçtaki ağaçların en dip kısmına en yakın 3 adet çap değerini (1. Kalibrasyon seçeneği), ağaçlarda ölçülmüş çapları iki eşit parçaya bölen ortadaki 3 adet çap değerini (2. Kalibrasyon seçeneği), ağaçlarda en uç kısmına en yakın 3 adet çap değerlerini (3. Kalibrasyon seçeneği), ağaçlarda dip, orta ve uç bölgelerden birer adet olmak üzere toplam 3 adet çap değerlerini (4. Kalibrasyon seçeneği) kullanılarak, En iyi Doğrusal Yansız Ön kestirici (Best Linear Unbiased Predictor, BLUP) yöntemine ilişkin 17

numaralı eşitlikle rastgele etkili parametreler, söz konusu bu örnek ağaçlar için Trincado *et al.* (2007) tarafından verilmiş olan SAS program kodu kullanılarak hesaplanmıştır. Her bir örnek ağaç (48 adet örnek ağaç) için 4 farklı şekilde hesaplanan rastgele etkili parametre değerleri ( $u$  ve  $v$  parametreleri),  $b_1$  ve  $b_4$  parametrelerine eklenerek (değer negatif ise çıkarılarak), her bir örnek ağaç için  $b_1$  ve  $b_4$  parametre değerinin değişmesi ile bu ağaçlar için farklı gövde çapı denklemleri elde edilmiştir. Karışık etkili modellerin kalibrasyonunda en son aşamada ise; 4 farklı kalibrasyon seçeneğine bağlı olarak hesaplanan rastgele parametreler ile elde edilen farklı gövde çapı denklemleri kullanılarak 48 adet örnek ağaç için gövde boyunca ölçülen çap değerleri için tahminler elde edilmişlerdir. Bu örnek ağaçlarda yapılan tahminlere ilişkin HKT, HKO ve HKOK değerleri, Çizelge 3.6'da verilmiştir. Ayrıca Çizelge 3.6'da, bu örnek ağaçlar için Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi ile elde edilen tahmin değerleri ile kalibre edilmeden sadece sabit etkili parametreleri içeren Karışık Etkili Modelleme ile yapılan tahminlere ilişkin HKT, HKO ve HKOK değerleri verilmiştir. Bu kalibrasyon seçenekleri içinde en iyi tahmin sonuçları, ağaçların uç bölgesindeki üç adet çapın ölçümüne ilişkin kalibrasyon seçeneği ile elde edilmiştir (HKT: 10095.68, HKO: 11.79402 ve HKO: 3.434242). Daha sonra, dip, orta ve uç bölgelerinden ölçülecek birer çap değerleri ile toplamda üç farklı bölgedeki üç çap değerine ilişkin kalibrasyon yanıtı seçeneği (HKT: 10217.75, HKO: 11.93662 ve HKO: 3.454942), orta çapa yakın üç adet çap değerlerini kullanan kalibrasyon yanıtı (HKT: 10270.56, HKO: 11.99831 ve HKO: 3.463858) ve dip çapa yakın üç adet çap değerlerini kullanan kalibrasyon yanıtı (HKT: 10392.39, HKO: 12.14064 ve HKO: 3.484342) olarak başarı durumları bakımından sıralanmaktadır. Diğer taraftan, Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi ile 48 adet ağaca ilişkin yapılan tahminler HKT: 11677.33, HKO: 13.64175 ve HKO: 3.693473 olarak elde edilmiştir. Kalibre edilmeden sadece sabit etkili parametreler ile elde edilecek tahminlere ilişkin başarı ölçüt değerleri ise; HKT: 10488.3, HKO: 12.25268 ve HKO: 3.500383 olarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 3.6** Farklı kalibrasyon seçeneklerine ilişkin tahmin sonuçları

Kalibrasyon Seçenekleri	HKT	HKO	HKOK
Dip çapları içeren 1. Seçenek	10392.39	12.14064	3.484342
Orta çapları içeren 2. Seçenek	10270.56	11.99831	3.463858
Uç çapları içeren 3. Seçenek	10095.68	11.79402	3.434242
Dip, Orta ve Uç çapları içeren 4. Seçenek	10217.75	11.93662	3.454942
Sabit Etkili Karışık Etkili Modelleme	10488.3	12.25268	3.500383
Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi	11677.33	13.64175	3.693473

### 3.4 Hacim Tahminlerine İlişkin Bulgular

Jiang *et al.* (2005)'in denklemi, uyumlu bir gövde çapı denklemi olduğundan, bu denklem kullanılarak dikili haldeki ağaçlara ilişkin gövde üzerindeki iki yükseklik arasındaki gövde hacmi; gövde çapı denkleminin herhangi iki boy değeri arasındaki integral dönüşümleri ile hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada, ağaçlara ilişkin hacim tahminleri Jiang *et al.* (2005)'de verilmiş olan hacim formülü yardımıyla hesaplanmıştır. Jiang *et al.* (2005)'in hacim formülü;



$$V = k \left[ I_1 D^2 \left[ (1 - GW_1)(U_1 - L_1) + \frac{W_1 \left( (1-L_1/H)^{b_1}(H-L_1) - (1-U_1/H)^{b_1}(H-U_1) \right)}{(b_1+1)} \right] \right. \\ \left. + I_2 I_3 \left[ T(U_2 - L_2) - \frac{Z \left( (1-L_2/H)^{b_2}(H-L_2) - (1-U_2/H)^{b_2}(H-U_2) \right)}{(1+1.30/H)^{b_2} - (1-5.30/H)^{b_2}} \right] \right. \\ \left. + I_4 F^2 \left[ \begin{array}{l} b_3(U_3 - L_3) - \frac{b_3((U_3-5.30)^2 - (L_3-5.30)^2)}{(H-5.30)} + \\ \frac{(b_3/3)((U_3-5.30)^2 - (L_3-5.30)^2)}{(H-5.30)} + \\ \frac{I_5(1/3)((1-b_3)/b_4^2)(b_4(H-5.30) - (U_3-5.30))^3}{(H-5.30)^2} - \\ \frac{I_6(1/3)((1-b_3)/b_4^2)(b_4(H-5.30) - (U_3-5.30))^2}{(H-5.30)^2} \end{array} \right] \right] \quad (47)$$

biçiminde olup, bu formüldeki ifadeler aşağıda açıklanmıştır.

$$k = 0.0000785 \quad L_1 = \max(L, 0), \quad L_2 = \max(L, 1.30), \quad L_3 = \max(L, 5.30)$$

$$U_1 = \min(U, 1.30), \quad U_2 = \min(U, 5.30), \quad U_3 = \min(U, H)$$

$$G = \left(1 - \frac{1.30}{H}\right)^{b_1} \quad W_1 = \frac{1}{1-G} \quad X = \left(\frac{1-1.30}{H}\right)^{b_2} \quad Y = \left(1 - \frac{5.30}{H}\right)^{b_2}$$

$$T = D^2 - ZX \quad Z = \frac{D^2 - F^2}{X - Y}$$

$$I_1 = \begin{cases} 1 & L < 1.30 \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases} \quad I_2 = \begin{cases} 1 & L > 5.30 \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases} \quad I_3 = \begin{cases} 1 & U > 1.30 \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases}$$

$$I_4 = \begin{cases} 1 & U > 5.30 \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases} \quad I_5 = \begin{cases} 1 & (L_3 - 5.30) < b_3(H - 5.30) \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases}$$

Jiang et al (2005)'in hacim formülü ile bir ağaca ilişkin çeşitli yükseklikler arasındaki hacim değerleri ile toplam ağaç hacmi hesaplanabilmektedir. Formüldeki,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  ve  $b_4$  katsayıları, Jiang *et al.* (2005) gövde çapına ilişkin model katsayıları olup, bu çalışma için Çizelge 3.5'te verilmiştir. Diğer taraftan formüldeki,  $L$  ve  $U$  değerleri, ağaç üzerinde hacmi bulunmak istenen iki yüksekliğin dip ve uç yükseklikleri olup, formülde bu değerler denklemini kullanan kişi tarafından girilerek ağaç daha dikili halde iken ondan elde edilebilecek ürün çeşitleri tahmin edilebilmektedir. Özellikle denkleme ilişkin  $L_1 = \max(L, 0)$  sorgulamasında;  $L$  yüksekliğinin 1.30 metre olması durumunda 1.30 ve 0 değerleri arasında maksimum değer olan 1.30 değerini,  $L_2 = \max(L, 1.30)$

sorgulamasında; L yüksekliğinin 3.30 metre olması durumunda 3.30 ve 1.30 değerleri arasında maksimum değer olan 3.30 değerini,  $L_3 = \max(L, 5.30)$  sorgulamasında; L yüksekliğinin 7.30 metre olması durumunda 7.30 ve 5.30 değerleri arasında maksimum değer olan 7.30 değerini üretmektedir. Bununla birlikte,  $U_1 = \min(U, 1.30)$  sorgulamasında; U yüksekliğinin 3.30 metre olması durumunda 3.30 ve 1.30 değerleri arasında minimum değer olan 1.30 değerini,  $U_2 = \min(U, 5.30)$  sorgulamasında; U yüksekliğinin 7.30 metre olması durumunda 7.30 ve 5.30 değerleri arasında minimum değer olan 5.30 değerini,  $U_3 = \min(U, H)$  sorgulamasında; U yüksekliğinin 7.30 metre olması durumunda 7.30 ve ağaç boyu değerleri arasından minimum değeri üretmektedir.  $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5$  ve  $I_6$  sorgulamaları ise, seçilen alt (L) ve üst (U) değerlere bağlı olarak gerçekleştirilecek sorgulamalar ile 1 ya da 0 değerlerini üretmektedir. Bu şekilde kullanımı özetlenmeye çalışılan Jiang *et al.* (2005) hacim formülü ile ağaçlara ilişkin hacim tahminleri 48 adet örnek ağaçta her bir ölçüm kesiti için (0.30-1.30, 1.30-3.30, 3.30-5.30, 5.30-7.30, 7.30-9.30...), elde edilmiş olup, bu hacim değerlerinin toplanması ile de ağaçlara ilişkin toplam hacim değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca Anadolu Karaçamı için günümüzde birçok yörede kullanılan ve grafik yöntem ile 1959 yılında geliştirilmiş olan Gülen (1959)'in genel çift girişli ağaç denklemi ile de ağaçlara ilişkin hacim tahminleri elde edilmiştir. Grafik yöntem ile geliştirilen Gülen (1959) denkleminin uygulanmasında, ağaç hacim tablolarındaki hacim verilerinden yararlanılarak çift girişli ağaç hacim denklemi üretilmiştir. Bu çalışmada geliştirilen Jiang *et al.* (2005)'in gövde çapına dayanan hacim formülü ile elde edilen hacim tahminleri ile Gülen (1959)'in çift girişli ağaç denklemi ile elde edilen hacim tahminlerine ilişkin hata değerleri, arazide ölçülen çap değerleri kullanılarak bölümlenme yöntemi ile hesaplanan hacim değerlerinden sözü edilen iki farklı yöntem ile elde edilen tahmini hacim değerlerinin çıkarılması ile hesaplanmıştır. Bu hata değerleri kullanılarak, denklemin geliştirilmesinde kullanılmayan bağımsız veri grubu (48 ağaç) için HKO, HKT ve HKOK değerleri ile toplam hata ve ortalama mutlak hata değerleri hesaplanmış ve Çizelge 3.7'de verilmiştir. Çizelge 3.7'deki bu hata değerleri incelendiğinde; Jiang *et al.* (2005) denklemi ile toplam hata ve ortalama mutlak değerlerinin; %1.284 ve %8.254 olarak elde edildiği görülmektedir. Gülen (1959) denklemi için ise, toplam hata ve ortalama mutlak değerlerinin; model verileri için %4.353 ve %12.234 olarak hesaplanmıştır. Jiang *et al.* (2005) denklemi ile HKT, HKO

ve HKOK değerleri; sırasıyla 13.254, 0.2761 ve 0.5254 olarak elde edilmiştir. Gülen (1959) denklemi ile HKT, HKO ve HKOK değerleri ise; 25.258, 0.5262 ve 0.7254 olarak elde edilmiştir. Bütün bu değerler değerlendirildiğinde; Jiang *et al.* (2005)'in çap denklemini esas alan hacim formülü kullanıldığında, Gülen (1959)'in çift girişli hacim denklemine oranla daha doğru ve gerçekçi hacim tahmin değerleri elde edilmiştir.

**Çizelge 3.7** Bağımsız veri grubu için hacim değerlerine ilişkin çeşitli hata değerleri

Model	HKT	HKO	HKOK	TH (%)	OMH (%)
Jiang <i>et al.</i> (2005)	13.254	0.2761	0.5254	1.284	8.254
Gülen (1959)	25.258	0.5262	0.7254	4.353	12.234

### 3.5 Tek ve Çift Girişli Ağaç Hacim Denklemlerine İlişkin Bulgular

Bu çalışmada test edilen tek ve çift girişli hacim fonksiyonlarına ilişkin parametrelerin tahmin değerleri, Çizelge 3.8'de verilmiştir. Ayrıca bu hacim fonksiyonları için hesaplanan ölçüt değerleri ise Çizelge 3.9'da verilmiştir. Test edilen tüm tek ve çift girişli hacim fonksiyonları  $p < 0.05$  önem düzeyi ile anlamlı bulunmuştur. Diğer taraftan, denklemlere ilişkin parametrelerin birçoğu  $p < 0.05$  önem düzeyi ile istatistiksel olarak anlamlı iken, bazıları ise anlamsız olarak elde edilmiştir. Çizelge 3.9'da verilen uygunluk ölçütleri birlikte dikkate alındığında, en küçük toplam sıra değerine (sıra numaraları toplamı) sahip olmaları nedeniyle tek girişli hacim fonksiyonlarından 23 nolu denklem en başarılı hacim fonksiyonu olarak belirlenmiştir. En başarılı olarak belirlenen tek girişli ağaç hacim denklemi aşağıda verilmiştir.

$$V = 0.1426 - 0.01926 \cdot d + 0.000989 \cdot d^2 \quad (48)$$

Burada;

V= Ağaç Hacmi (m<sup>3</sup>)

d=Göğüs yüksekliği çapı (cm) göstermektedir.

Denklemin tüm parametreleri,  $p < 0.05$  önem düzeyi ile anlamlıdır. En başarılı 24 nolu tek girişli hacim fonksiyonuna ilişkin uygunluk ölçütleri,  $\bar{D} : 1.83 \times 10^{-16} \text{m}^3$ ,  $|\bar{D}| : 0.1231 \text{m}^3$ ,  $R^2 : 0.918$ ,  $S_{y.x} : 0.20365 \text{m}^3$ ,  $TH : \% 0.0$ ,  $OMH : \% 14.771$  olarak hesaplanmıştır.

Çalışma kapsamında karşılaştırılan çift girişli ağaç hacim fonksiyonlarından, 28 nolu denklem en başarılı hacim fonksiyonu olarak belirlenmiştir. En başarılı olarak belirlenen çift girişli ağaç hacim denklemi aşağıda verilmiştir.

$$V = 0.0461 + 0.000306 \cdot d^2 - 0.00778 \cdot h + 0.0000213 \cdot d^2 \cdot h \quad (49)$$

Burada;

$V =$  Ağaç hacmi ( $\text{m}^3$ )

$d =$  Göğüs yüksekliği çapı (cm)

$h =$  Ağacın boyu (m)

Denklemin tüm parametreleri,  $p < 0.05$  önem düzeyi ile anlamlıdır. En başarılı 27 nolu çift girişli hacim fonksiyonuna ilişkin uygunluk ölçütleri,  $\bar{D} : 2.35185 \times 10^{-16} \text{m}^3$ ,  $|\bar{D}| : 0.0675 \text{m}^3$ ,  $R^2 : 0.981$ ,  $S_{y.x} : 0.1787 \text{m}^3$ ,  $TH : \% -1.11 \times 10^{-14}$ ,  $OMH : \% 8.104$  olarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 3.8** Kullanılan tek ve çift girişli denklemlere ilişkin parametre tahminleri

Model No	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	b <sub>5</sub>	b <sub>6</sub>
23	-0.09488***	0.000726***					
24	0.1426***	-0.0192***	0.000989***				
25	-0.1464***	0.000739***	0.5626***				
26	0.000182***	2.3147***					
27	0.03914**	0.000034***					
28	0.0461**	0.000306***	-0.00778*	0.0000213***			
29	-0.1179 <sup>ns</sup>	0.001085**	0.00039***	0.0222*	-0.00102**	0.0000269***	
30	-0.0108**	0.0.0035***	0.000292**	-0.000457 <sup>ns</sup>	0.000025***		
31	-0.0684*	0.000075 <sup>ns</sup>	0.00179**	-0.000075***	0.000047***		
32	-0.1178***	0.001085***	0.00039**	0.0222*	-0.00102***	0.000027***	
33	-0.0108 <sup>ns</sup>	0.0035***	0.000292**	-0.00045***	0.000025***		
34	-0.0779***	0.000581***	0.0013*	-0.000059**	0.00000095***		
35	0.027 <sup>ns</sup>	0.0000803***					

ns:nonsignificant, anlamsız parametre, p>0.05, \*:p<0.05, \*\*:p<0.01,\*\*\*:p<0.001

**Çizelge 3.9** Kullanılan tek ve çift girişli denklemlere ilişkin hesaplanan başarı ölçütleri

Model No	R <sup>2</sup>		S <sub>y,x</sub>		Ort. Hata		Ort. Mutlak Hata		THY		OMHY		Toplam Sıra
23	0.903	4	0.222	3	1.997 x10 <sup>-16</sup>	3	0.1368	4	-6.666x10 <sup>-14</sup>	3	16.423	4	21
24	0.918	1	0.20365	1	1.830 x10 <sup>-16</sup>	2	0.1231	2	0	1	14.771	2	9
25	0.905	3	0.21968	2	1.04 x10 <sup>-16</sup>	1	0.1330	3	1.111 x10 <sup>-14</sup>	2	15.966	3	14
26	0.910	2	0.2997	4	0.04051	4	0.1156	1	-4.8615	4	13.878	1	16
27	0.976	9	0.199	9	2.648 x10 <sup>-16</sup>	3	0.0767	9	-5.555 x10 <sup>-14</sup>	5.5	9.199	9	44.5
28	0.981	6	0.1787	7	2.352 x10 <sup>-16</sup>	2	0.0675	3	-1.111 x10 <sup>-14</sup>	1.5	8.104	3	22.5
29	0.982	2.5	0.1766	3.5	3.316 x10 <sup>-16</sup>	8.5	0.0675	4.5	-2.222 x10 <sup>-14</sup>	3	8.105	4.5	26.5
30	0.981	6	0.17758	5.5	2.897 x10 <sup>-16</sup>	5.5	0.0664	1.5	-5.555 x10 <sup>-14</sup>	5.5	7.970	1.5	25.5
31	0.982	2.5	0.17499	1	3.044 x10 <sup>-16</sup>	7	0.0694	6	-6.666 x10 <sup>-14</sup>	8.5	8.334	6	31
32	0.982	2.5	0.1766	3.5	3.316 x10 <sup>-16</sup>	8.5	0.0675	4.5	-5.555 x10 <sup>-14</sup>	5.5	8.105	4.5	29
33	0.981	6	0.17758	5.5	2.896 x10 <sup>-16</sup>	5.5	0.0664	15	-5.555 x10 <sup>-14</sup>	5.5	7.970	1.5	25.5
34	0.982	2.5	0.1755	2	1.821 x10 <sup>-16</sup>	1	0.0704	7	-6.666 x10 <sup>-14</sup>	8.5	8.446	7	28
35	0.977	8	0.19871	8	2.699 x10 <sup>-16</sup>	4	0.0748	8	-1.111x10 <sup>-14</sup>	1.5	8.976	8	37.5

Bu çalışmada verilerin elde edildiği Anadolu Karaçamı meşcereleri için uygun olup olmadığının denetimi, tesadüfi olarak seçilen ve toplam verinin yaklaşık % 13.5’ni oluşturan veriler (n=48) yardımıyla yapılmıştır. Seçilen tek ve çift girişli ağaç hacim fonksiyonunun denetiminde kullanılan ağaçların (48 adet) bölümlenme yöntemi ile hesaplanan ve oluşturulan hacim denklemleri ile tahmin edilen hacim değerleri, “Eşlendirilmiş İki Örnek Testi (Paired t test)” kullanılarak karşılaştırılmıştır (Kalıpsız 1988, Batu 1995). Yapılan bu karşılaştırma ile tek girişli hacim fonksiyonu için; t istatistiği: -1.356 olarak hesaplanmış olup, bu istatistiğe ilişkin önem düzeyi p: 0.214, çift girişli hacim fonksiyonu için ise t istatistiği: -0.966 ve önem düzeyi p: 0.339 olarak belirlenmiştir. Böylece bu çalışmada düzenlenen en uygun tek ve çift girişli hacim fonksiyonlarının, örnek ağaçların alındığı Anadolu Karaçamı meşcereleri için istatistiksel olarak uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Jiang *et al.* (2005) ile geliştirilen çift girişli ağaç hacim denklemi ve Gülen (1959) denklemine ilişkin hesaplanan başarı ölçütlerinde THY (%) ve OMHY (%) Çizelge 3.10’da verilmiştir. Çizelge 3.10’daki bu hata değerleri incelendiğinde; çalışmamızda geliştirilen çift girişli ağaç hacim denklemi ile toplam hata ve ortalama mutlak yüzdesinin; %29.227 ve %7.008 olarak elde edildiği görülmektedir. Gülen (1959) denklemi için ise, toplam hata ve ortalama mutlak yüzdesinin; %29.367 ve %24.46 olarak hesaplanmıştır. Bu hata değerler değerlendirildiğinde; çalışmamızda geliştirilen çift girişli ağaç hacim denkleminin tek ağaçların hacim tahminlerinde kullanıldığında, Gülen (1959)’in çift girişli ağaç hacim denklemine oranla daha doğru ve gerçekçi hacim tahmin değerleri elde edilmiştir.

**Çizelge 3.10** Çift girişli ağaç hacim denklemlerine ilişkin hesaplanan başarı ölçütleri

Model	THY (%)	OMHY (%)
Kurt (2014)	29.227	7.008
Gülen (1959)	29.367	24.46

#### 4.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Mersin Orman Bölge Müdürlüğü, Tarsus Orman İşletme Müdürlüğü, Buladan ve Cehennemdere Şefliklerinde yer alan Anadolu Karaçamı Meşcerelerinden alınan 355 adet ağaca Anadolu Karaçamı ağacına ilişkin veriler kullanılarak gövde çapı ve gövde hacmi denklemleri geliştirilmiştir. Ayrıca, uygulayıcıların kullanabileceği tek ve çift girişli ağaç hacim denklemleri ve tabloları da geliştirilmiştir. Ağaçların dipten uca kadar olan gövde çapını modellemek üzere; Max and Burkhart (1976), Parresol *et al.* (1987) ve Jiang *et al.* (2005)'in geliştirdikleri “Segmented Polinomiyal Gövde Çapı Denklemleri” kullanılmıştır.

Denklemlere ilişkin parametrelerin tahmin edilmesinde ve çeşitli model başarı ölçütlerinin hesaplanmasında, En başarılı olarak belirlenen Jiang *et al.* (2005)'nin gövde çapı denkleminin başarı ölçüt değerleri; HKT: 10888.80, HKO: 4.4828, HKOK: 2.1190,  $R^2$ : 0.9843. OMH: 1,1171 OMHY: %5.965 olarak hesaplanmıştır. Böylece Jiang *et al.* (2005)'nin gövde çapı denklemi ile gövde çapındaki değişimin %98.43'ü açıklanmıştır. Ayrıca denkleme ilişkin bütün parametreler, istatistiksel olarak  $p < 0.001$  önem düzeyi ile anlamlı bulunmuştur. Jiang *et al.* (2005)'in denklemi, birçok çalışmada gövde çapının modellenmesinde oldukça başarılı sonuçlar vermiştir. Jiang *et al.* (2005), Özçelik ve Bal (2013), Şahin (2012) ve Atalay (2014); dört parçalı bu Segmented Polinomiyal Denklem yapısı ile gövde çapının modellenmesinde sırasıyla %98.37'lik, %98.59, %98.28 ve %94.44'lük bir açıklayıcılık elde etmişlerdir. Jiang *et al.* (2005)'in denkleminin gövde çapını modellemedeki bu başarısı, özellikle karmaşık bir denklem yapısı ile gövde gelişimindeki değişkenliği yansıtabilmesi ile açıklanabilir.

Jiang *et al.* (2005)'in gövde çapı modelinin kullanımında; ağacın göğüs çapı, boyu, 5.30 metredeki çap ve çapı tahmin edilmek istenilen yükseklik değerleri bağımsız değişken olarak denklemde girilmesi gerekmektedir. Bu değişkenlerde, ağacın 5.30 metredeki yüksekliğinin ölçümü zor bir değişken olarak karşımıza çıkmasına karşın, özellikle 5.30 yüksekliğindeki çap değerini, ağacın göğüs çapına ve boyuna göre %97.3'lük açıklayıcılıkla tahmin eden 43 nolu denklem, ölçümü zor olan bu değer tahmin edilmesinde bir çözüm olarak kullanılabilir.



Geliştirilen Jiang *et al.* (2005)'in gövde çapı modeli ile elde edilen tahminlerin, ağaçların alındığı Buladan ve Cehennemdere Şeflikleri sınırları içerisindeki Anadolu Karaçamı meşcereleri için uygun olup olmadığı, denklemin oluşturulmasında kullanılmamış olan veriler ile test edilmiş ve geliştirilen denklemin, Anadolu Karaçamı ağaçlarının çap değerlerini tahmin etmede kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Diğer taraftan geliştirilen denklemlerin Anadolu Karaçamının yayılış gösterdiği diğer bölgeler için kullanılabilmesi için; denkleme ilişkin tahminlerin uygunluğunun istatistiksel olarak bir analiz ile test edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, en başarılı olarak belirlenen Jiang *et al.* (2005)'in gövde çapı denklemine karışık etkili modelleme uygulanmış ve böylece gövde çapı denklemlerinin geliştirilmesinde kullanılan verilerdeki seri-korelasyon problemi giderilmeye çalışılmıştır. Farklı meşcere ve yetiştirme ortamlarında kesilen ağaçlar üzerinde yapılan ölçümlerin regresyon analizinde kullanımı ile oluşan seri-korelasyon problemi, gövde çapı modellerinde önemli bir problem olarak görülmektedir. Literatürde, birçok gövde çapı denklemi, Karışık Etkili Modelleme ile geliştirilmiştir (Tassia and Burkhart 1998, Valentine and Gregorie 2001, Fang and Bailey 2001, Garber and Maguire 2003, Leites and Robinson 2004, Trincado and Burkhart 2006, Özçelik vd. 2011). Anadolu Karaçamı ağaçları için geliştirilen gövde çapı denklemlerinde, karışık etkili modellemenin kullanımı ile daha iyi tahmin sonuçları elde edilmiştir. Jiang *et al.* (2005)'in gövde çapı denkleminin geliştirilmesinde kullanılan doğrusal olmayan regresyon analizi elde edilen HKO: 4.4828, HKOK: 2.1190, HKT: 10888.80, OMH: 1,1171 OMHY: %5.965 iken; karışık etkili modelleme ile HKT: 8484.27, HKO: 3.4929 ve HKOK: 1.87047 OMH: 1.1051 OMHY: %5.901 olarak hesaplanmıştır. Bu beş model başarı ölçütünde, karışık etkili modelleme kullanımı ile görülen iyileşme, farklı yetiştirme ortamları ve meşcerelerden alınan örnek ağaçların sahip olduğu ağaçlar arası değişkenliği (heterojenliğin), doğrusal olmayan regresyon analizi ile iyi bir şekilde tahmin edilememesi ile ilişkilidir (Garber and Maguire, 2003,;Leites and Robinson, 2004; Trincado and Burkhart 2004). Çalışma kapsamında verilerin elde edildiği örnek ağaçlar, kendi içinde (intra) homojen ancak, kendi aralarında (inter) ise heterojen bir yapıda olup, bu şekilde edilen veri yapısı hiyerarşik bir özellik göstermektedir. Bu bakımdan, örnek ağaçlar arasındaki bu değişkenliği dikkate almadan, örnek ağaçları bir veri

havuzunda toplanması ile denklemlerin tahmin edilmesinde kullanılan doğrusal olmayan regresyon analizinde ise seri-korelasyon problemi oluşmaktadır. “Seri korelasyon” ya da “otokorelasyon” olarak adlandırılan bu problem, gerek denklemlerin parametrelere ilişkin güven aralıklarının sistematik bir hata ile tahmin edilmesine neden olmakta, gerekse regresyon modellerinin sonuçlarının güvenilirliğini olumsuz yönde etkilemekte ve böylece hatalı tahminlerin elde edilmesinde neden olabilmektedir (Searle *et al.* 1992, Ye 2005, İyit 2006). Farklı meşcere ve yetiştirme ortamlarında kesilen ve gövde gelişimleri açısından farklılık gösteren örnek ağaçlar üzerinde yapılan ölçümler kullanılarak geliştirilen gövde çapı denklemlerinde, Karışık Etkili Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi kullanımı ile modellerin tahmin başarısındaki artış; birçok çalışmada da elde edilmiştir (Tasissa and Burkhart 1998, Valentine and Gregorie 2001, Fang and Bailey 2001, Garber and Maguire 2003, Leites and Robinson 2004, Trincado and Burkhart 2006, Yang *et al.* 2009, Özçelik vd. 2011).

Karışık etkili modellerin örnekleme üniteleri arasındaki değişkenliğin daha iyi temsil edilmesindeki katkıları ve model tahmin güçlerindeki başarıları yanında, diğer bir önemli özellikleri ise; farklı yetiştirme ortamlarına ve meşcere yapılarına ek ölçümler ile birlikte kalibre edilmedeki başarılarıdır. Bu çalışmada da, toplam verinin %13.5’ni oluşturan ve gövde çapı denklemlerinin geliştirilmesinde kullanılmamış olan 48 adet ağaç verisi kullanılarak, Jiang *et al.* (2005)’in gövde çapı denklemi kalibre yanıtı “*Calibration Response*” belirlenmiştir. Karışık etkili modellerin kalibrasyon yanıtları değerlendirilirken en önemli konu; karışık etkili modelin belirli bir meşcere ve yetiştirme ortamına kalibre edilmesinde ağaçlar üzerinde hangi çapların ölçüleceğinin belirlenmesidir. Trincado and Burkhart (2006), farklı yüksekliklerde (2.4 m, 3.7 m, 4.9 m veya 6.1 m’deki tek bir çap ile 3.7 m ve 6.1 metre yüksekliğinde ölçülen iki adet çap) kullanılarak geliştirdikleri gövde çapını kalibre yanıtını belirlemeye çalışmışlardır. Yang *et al.* (2009), dip kısmında uca doğru (0.3, 1.3, 2.8, 5.3, 7.8, 10.3, 12.8, 15.3, 17.8, 20.3, 22.8 metrelerde ölçülen çaplar) çok farklı çapları kullanılarak kalibre yanıtları analiz etmişlerdir. Lejeune *et al.* (2009), 3., 5., 7. ve 10. metrelerde ölçülen tek bir çap ile 3.5 metre ile 7 metre ve 3.5 metre ile 10. metrelerde ölçülen iki çap değerlerini kullanılarak, gövde çapı denklemlerini kalibre etmişlerdir. Sharma and Parton (2009), 9 farklı seçenektan oluşan tek çapın ölçülmesi, 18 farklı seçenektan oluşan iki çapın

ölçülmesi ve 47 farklı seçenektan oluşan üç farklı çapın ölçülmesine dayanan Karışık Etkili Modellemeye ilişkin kalibrasyon yanıtlarını analiz etmişlerdir. Özçelik vd. (2011), 3.3 m ve 6.3 metre ölçülen çaplar ile gövde çapı denklemlerini kalibre etmişlerdir. Bu çalışma kapsamında ise; 1. Kalibrasyon seçeneği olarak en dip kısmına en yakın 3 adet çap, 2. Kalibrasyon seçeneği olarak ağaçlarda ölçülmüş çapları iki eşit parçaya bölen 3 adet çap, 3. Kalibrasyon seçeneği olarak ağaçlarda en uç kısmına en yakın 3 adet çap ve 4. Kalibrasyon seçeneği olarak da ağaçlarda dip, orta ve uç bölgelerden birer adet olmak üzere toplam 3 adet çap değerleri kullanılarak geliştirilen Jiang *et al.* (2005)'in gövde çapı denklemi kalibre edilmiştir. Çeşitli istatistiki ölçütlere göre yapılan karşılaştırma da, en iyi model tahmin sonuçları, ağaçların uç bölgesindeki üç adet çapın ölçümüne ilişkin kalibrasyon seçeneği ile elde edilmiştir. Ayrıca modellerin kalibre edilmesi ile doğrusal olmayan regresyon analizi veya karışık etkili modele ilişkin rastgele etkili parametreyi hesaplamadan ve denklemi kalibre etmeden elde edilen model tahmin sonuçlarına göre daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Diğer bir çok çalışmada da (Trincado and Burkhart 2006, Yang *et al.* 2009, Lejeune *et al.* 2009, Sharma and Parton 2009, Özçelik vd. 2011) benzer şekilde, karışık etkili modelin ek çap ölçümleri kullanılarak kalibre edilmesi ile daha iyi model tahmin sonuçları elde edilmişlerdir.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerinin başarı durumları değerlendirildiğinde, tek girişli ağaç hacim denklemi ile hacimdeki değişimin % 91.8'i açıklanabilirken, çift girişli denklem ile % 98.1'ni açıklanmakta ve böylece çift girişli ağaç denkleminin kullanımı ile yaklaşık % 6.3'lük bir tahmin başarısında artış elde edilmiştir. Ayrıca, toplam hata yüzdesi (tek girişli ağaç hacim denklemi için,  $TH$  : % 0.0; çift girişli ağaç hacim denklemi için,  $TH$  : %  $-1.11 \times 10^{-14}$ ) ile ortalama mutlak hata yüzdesi (tek girişli ağaç hacim denklemi için,  $OMH$  : % 14.771; çift girişli ağaç hacim denklemi için,  $OMH$  : % 8.104) değerleri bakımından geliştirilen iki hacim denkleminin durumları değerlendirildiğinde; özellikle ağaçların hacim gelişimini açıklamada ve modellemekte ağaçların çapları yanında boylarının önemli derecede etkili olması ile açıklanabilmektedir. Böylece ağaç hacim denklemlerinde, ağaçların çapları yanında boylarının da bir bağımsız değişken olarak içerilmesi; regresyon modellerinin hacim tahminlerini açıklamada belirtme katsayısı ile hesaplanan tahmin

güçlerinin daha da artmasına neden olmaktadır. Çift girişli ağaç hacim denklemleri ile daha başarılı hacim tahminleri ise, ortalama mutlak hata yüzdesinin daha düşük elde edilmesini sağlamaktadır. Tek ve çift girişli ağaç hacim fonksiyonlarına ilişkin toplam hata yüzdesinin, sıfır olması, iki hacim fonksiyonun hatasız olduğu anlamına gelmeyip; yalnız hacim değerleri toplamı ile hacim fonksiyonlarına ilişkin hesaplanan hacimler toplamı arasında bir farklılık bulunmadığı anlamını taşımaktadır. Bu iki hacim fonksiyonunun toplam hata bakımından bir farklılık göstermemesi nedeniyle, pek çok ağaca ilişkin toplam hacim hesaplanması durumunda, özellikle uygulamada tek girişli hacim fonksiyonları pratik olmasıyla, çift girişli hacim fonksiyonlarına göre tercih edilebilecektir (Yavuz 1999). Bu çalışma kapsamında geliştirilen tek girişli ağaç hacim denkleminin, 1 cm ara ile hacim tahminleri, Ek Tablo 1’de, çift girişli ağaç hacim denklemlerinin 2 cm çap aralığı ile 2 metre boy aralığındaki değişimleri Ek Tablo 2’de verilmiştir.

Gövde boyunca çap değişimini modelleyen Jiang *et al.* (2005) gövde çapı denklemi, uyumlu gövde çapı eşitliği olup, bu eşitlikler yardımıyla çift girişli ağaç hacim denklemleri üretilebilmektedir. Bu bakımdan, 47 numaralı eşitlikte görüldüğü üzere, Jiang *et al.* (2005) gövde çapı modelinden çok girişli ağaç hacim denklemi oluşturulmuştur. Bu denklem, özellikle dikili ağaçların gövde üzerindeki iki nokta arasındaki (L ve U yükseklikleri) bölümünün hacmini veren bir eşitlik olup, ayrıca ağaçların toplam hacmine ilişkin tahminlere de imkan sağlamaktadırlar. Bu hacim eşitliği kullanılarak, ağaçların hacim değerleri ve bu ağaçlardan elde edilebilecek ürün çeşitleri de tahmin edilebilmektedir. Jiang *et al.* (2005)’in çap denklemine dayanan hacim eşitliği ile elde edilen hacim tahminleri, Ülkemizde kullanılan Gülen (1959)’in genel çift girişli ağaç hacim denklemi ile elde edilen hacim tahminleri ile de karşılaştırılmıştır. Gülen (1959)’in toplam hata değeri 4.353 iken, Ortalama Mutlak Hata Oranlarının 12.234’dur. Jiang *et al.* (2005)’in çap denklemine dayanan hacim eşitliği ile Toplam Hata değerleri 1.2834 ve Ortalama Mutlak Hata Oranı ise 8.254 olarak elde edilmiştir. Bu bakımdan Jiang *et al.* (2005)’in çap denklemine dayanan hacim eşitliği ile mevcut ormancılık uygulamalarında kullanılan çift girişli ağaç hacim denklemine oranla daha doğru ve gerçekçi hacim tahminleri elde edilmiştir. Ayrıca, Jiang *et al.* (2005)’in çap denklemine dayanan hacim eşitliği ile dikili haldeki bir ağaç

için; bu ağaç kesilmeden iki gövde noktası arasındaki hacim tahminleri elde edilebilmekte, bu bakımdan geliştirilen gövde çapı ile daha ayrıntılı hacim tahminleri mümkün olabilmektedir. Gövde çapı ve gövde hacim denklemleri, ormancılık uygulamalarında özellikle ağaçlara ilişkin daha ayrıntılı hacim tahminlerine imkan sağlamaları ile öne çıkmaktadırlar. Çift girişli ağaç hacim denklemlerine ait hata değerleri incelendiğinde; çalışmada geliştirilen çift girişli ağaç hacim denklemi için toplam hata (%29.227) ve ortalama mutlak yüzdesinin (%7.008), Gülen (1959) denklemi ait toplam hata (%29.367) ve ortalama mutlak yüzdesine (%24.46) bakılarak değerlendirildiğinde; çalışmamızda geliştirilen çift girişli ağaç hacim denkleminin tek ağaçların hacim tahminlerinde kullanıldığında, Gülen (1959)'in çift girişli ağaç hacim denklemine oranla daha doğru ve gerçekçi hacim tahmin değerleri elde edilmiştir.

Gövde çapı denklemleri, ağaçların gövde çaplarının gövde boyunca değişimini, gövde şeklindeki farklılıklarını esas alarak modelleyen ve oldukça karmaşık bir denklem yapısına sahip olup, bu denklemler kullanılarak ayrıntılı gövde hacimlerini tahmin etmede de oldukça başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Başta orman amenajman planları olmak üzere birçok ormancılık uygulamasında, pratik olmaları nedeniyle çok tercih edilen tek girişli ağaç denklemlerine göre özellikle ayrıntılı gövde hacim tahminlerine imkân sağlayan gövde çapı denklemleri, ormancılığımız için daha doğru ve tutarlı hacim tahminlerinin elde edilmesine imkân sağlayabileceklerdir. Ülkemiz ormancılığında, dikili satışın önem kazanması ile ağaç daha kesilmeden ayrıntılı ve daha doğru hacim tahminlerine olan gereksinim artmakta; bu bakımdan da gövde profili çapı denklemlerinin kullanımı daha da önem kazanacaktır. Başta asli ağaç türlerimiz olmak üzere farklı ağaç türlerimizin değişik yetişme ortamları ve meşcere kuruluşları için gövde çapı denklemlerinin geliştirmesi büyük bir öncelik arz etmektedir. Bu bakımdan, ülkemiz ormancılarının temel görevlerinde birisi de, bu hacim tahmin sistemlerinin geliştirilmesine ilişkin çalışmalar ağırlık verilmelidir. Ayrıca, Dünya'da gövde çapı denklemlerinin geliştirilmesinde öne çıkan ve birçok uygulamasının olduğu Karışık Etkili Modellemenin kullanımı da sağlanmalıdır.

## KAYNAKLAR

- Akalp, T. 1978. Türkiye'deki Doğu ladini (*Picea orieantalıs* Lk. Carr) ormanlarında hasılat araştırmaları. Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, İstanbul.
- Aktürk, G.M. 2006. Doğu ladini için trigonometrik gövde profili denkleminin oluşturulması. K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 120 s., Trabzon
- Alemdağ, İ.Ş. 1962. Türkiye'deki Kızılcım ormanlarının gelişimi, hasılatı ve amenajman esasları. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Teknik Bülten No: 11, Ankara.
- Alemdağ, İ. Ş. 1967. Türkiye'deki sarıçam ormanlarının kuruluşu, verim gücü ve bu ormanların işletilmesinde takip edilecek esaslar. Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten No: 20, 160 s., Ankara.
- Asan, Ü. 1984. Kazdağı göknarı (*Abies equi-trojaniashers*, et sinten.) ormanlarının hasılat ve amenajman esasları üzerine araştırmaları. Orman Fakültesi Yayın No: 365, Taş Matbaası, 207 s., İstanbul.
- Atalay, F.A., 2014. Mudurnu-Sırçalı Orman İşletme Şefliğinde yayılış gösteren Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) meşcereleri için gövde profil denklem sistemlerinin geliştirilmesi. Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek lisans tezi. 47 s.
- Aykın, R. 1978. Ardıç çift girişli hacim tablosu-Pressler yöntemi ve relaskopla gövde hacmi, Blume-Leiss ve relaskopla ağaç boyu ölçmelerinin sağlık düzeyi. Ormancılık Araştırma Enstitüsü dergisi. 24 (1); 65-141.
- Aylak Özdemir G., 2013. Trakya meşe ormanlarında artım ve büyüme ilişkileri. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Doktora tezi, 186 s., İstanbul
- Barrio-Anta, M, Dieguez-Aranda, U., Castedo-Dorado, F., Alvarez-Gonzalez, J.G. and Von Gadow, K. 2007. Merchantable volume system for Pedunculate oak in northwestern Spain. *Annals of Forest Science*, 64 (5); 511-520.
- Batu, F. 1995. Uygulamalı İstatistik Yöntemler, K.T.Ü Orman Fakültesi, Genel Yayın No: 179, Fakülte Yayın No: 22 312 s., Trabzon.
- Bayburtlu, Ş. 2007. Titrek kavak (*Populus tremula*.) hacim ve bonitet endeks tablolarının düzenlenmesi. Yüksek lisans tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Baynazoğlu, F. 2014. Mudurnu-Sırçalı Orman İşletme Şefliğinde yayılış gösteren Anadolu karaçamı [*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe] meşcereleri için tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi.
- Behre, C.E. 1923. Preliminary notes on studies of tree form. *Journal of Forestry* 21: 507-511.
- Bennet, F.A. and Swindel, B. F. 1972. Taper curves for planted Slash pine. USDA Forest Service Research Note SE-179.
- Biging, G.S. 1984. Taper equations for second-growth mixed conifers of Northern California. *Forest Science*, 30 (4); 1103-1117.
- Birler, A.S. ve Yüksel, Y. 1983. Sahil çamı ağaçlandırma meşcerelerinde hasılat araştırması. Kavak ve Hızlı Gelişen Yabancı Tür Orman Ağaçları Enstitüsü Yayınları, No, 25.

- Birler, A.S. 1983. I-214 Melez kavağı plantasyonlarında hasılat araştırmaları. Kavak ve Yabancı Tür Orman Ağağları Araştırma Enstitüsü Yıllık Bülteni, No:19 , s. 2-143, İzmit
- Boydak, M. 2001. Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana*) Anadolu'da saptanan yeni bir varyetesi. The Karaca Arboretum Magazine, 6 (1); 15-23.
- Bozkuş, H.F. ve Carus, S. 1997. Toros Göknarı (*Abies clicica* Carr.) ve Sedir (*Cedrus libani* Link.)'in çift girişli gövde hacim tabloları ve mevcut tablolarla karşılaştırılması. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 47 (1); 51-70.
- Brooks, J.R., Jiang, L. and Özçelik, R. 2008. Compatible stem volume and taper equations for Brutian Pine, Cedar of Lebanon, and Cilicica Fir in Turkey. Forest Ecology and Management, 256 (1); 147-151.
- Bruce, D., Curtis, R. and Vandevering, C. 1968. Development of system of taper and volume tables for Red alder. Forest Science, 14 (3); 339-3350.
- Bryne, J. and Reed, D.D. 1986. Complex compatible taper and volume estimation system for Red and Loblolly pine. Forest Science, 32 (2); 423-443.
- Burkhart, H.E. 1977. Cubic foot volume of Loblolly pine to any merchantable top limit. Southern Journal of Applied Forestry, 1 (2); 7-9.
- Calama, R. and Montero, G. 2004. Interregional nonlinear height– diameter model with random coefficients for Stone pine in Spain. Canadian Journal of Forest Research, 34 (1); 150–163.
- Cao, Q.V., Burkhart, H.E. and Max, T.A. 1980. Evaluation of the two methods for cubic-volume prediction of Loblolly pine to any merchantable limit. Forest Science 26 (1); 71– 80.
- Carus, S., ve Çatal, Y., 2006. Isparta Yöresi Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra* Arnold subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) meşcerelerinde büyüme özellikleri. S.D.Ü Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi (E-Dergi). 2007, 2(1), 1-10
- Castedo-Dorado, F., Diéguez-Aranda, U., Barrio, M., Sánchez, M. and Von Gadow, K. 2006. A generalized height-diameter model including random components for radiata pine plantations in northeastern Spain. Forest Ecology and Management, 229 (1-3); 202–213.
- Clark, A., Souther, R.A. and Schlaegel, B.E. 1991. Stem profile equations for southern tree species. USDA For. Serv. Res. Pap. SE-282.
- Clutter, J.L. 1980. Development of taper functions from variable-top merchantable volume equations. Forest Science 26 (1); 117-120.
- Crecente-Campo, F., Tomé, M., Soares, P. and Diéguez-Aranda, U. 2010. A generalized nonlinear mixed-effects height-diameter model for Eucalyptus globulus L. in northwestern Spain. Forest Ecology and Management, 259 (5); 943-952.
- Czaplewski, R.L. and McClure, J.P. 1988. Conditioning a segmented stem profile model for two diameter measurement. Forest Science, 34 (2); 512-522.
- Çatal, Y., Gürlevik N., Karatepe Y. ve Carus S., 2005. Isparta-Gölcük Yöresi Yalancı akasya (*Robinia Pseudoacacia* L.) meşcereleri için tek ve çift girişli ağaç hacim tablosu. S.D.Ü Orman Fakültesi Dergisi, Seri: A, Sayı: 2, ISSN: 1302-7085, 78-90 s.,
- Demeerschalk, J.P. and Kozak, A. 1977. The whole-bole system, a conditional dual-equation system for precise prediction of tree profiles. Canadian Journal of Forest Research, 7, 488-497.
- Doğanay, B. 2007. Uzunlamasına çalışmaların analizinde karma etki modelleri. Ankara Üniversitesi, Sağlık bilimleri Enstitüsü Yüksek lisans tezi, 94 s., Ankara.

- Durkaya, B. 2004. Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.)-Uludağ göknarı (*Abies bornmülleriana* Mattf.)-Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) karışık meşcerelerinde artım-büyüme ilişkileri. Doktora tezi, Z.K.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın
- Eler, Ü. 1977. Ağaç serveti envanteri yapılması amacıyla meşcere tipi ayrımı üzerine araştırmalar. İ.Ü. Orman Fakültesi, Doktora tezi.
- Eler, Ü. 1988. Türkiye’de Boylu ardıç (*Juniperus excelsa* Bieb.) ormanlarında hasılat araştırmaları. Ormancılık Araştırma Enstitüsü. Teknik bülten no:192. 80 s.
- Eraslan, İ. 1954. Trakya ve bilhassa Demirköy mıntıkası meşe ormanlarının amenajman esasları hakkında araştırmalar. O.G.M. Yayınları, 132 (13); 250 s., Ankara.
- Eraslan, İ. ve Kalıpsız, A. 1967. Belgrad Ormanlarının amenajmanında uygulanan envanter metotları. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 1259, O.F. Yayın No:112.
- Ercanlı, İ., Yavuz, H., 2006. Doğu Ladini (*Picea orientalis* (L.) Link.) Meşcereleri İçin Yöresel (Artvin Merkez İşletme Şefliği) sıklığa bağlı hasılat tablosunun düzenlenmesi. S.D.Ü. Orman Fakültesi Dergisi Seri: A, Sayı: 1, 11-24.
- Ercanlı, İ., Güvendi, E., Güney, D., Günlü, A. ve Altun, L. 2008. Sinop Yöresi Sahilçamı (*Pinus pinaster* Ait.) ağaçlandırmalarına ilişkin tek ve çift girişli ağaç hacim tablolarının düzenlenmesi. K.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, 8 (1); 14-25.
- Erkin, K. 1956. Seben mıntıkası sarıçamları hacim eğrisine ait tamamlayıcı etütler. İstanbul Orman Fakültesi Dergisi, A, 6 (2); 243-263
- Evcimen, B.S. 1963. Türkiye Sedir ormanlarının ekonomik önemi, hasılatı ve amenajman esasları. O.G.M. Yayınları, 355 (16); 199s., Ankara.
- Fang, Z. and Bailey, R.L. 2001. Nonlinear mixed effects modeling for Slash pine dominant height growth following intensive silvicultural treatments. Forest Science, 47 (3); 287-300.
- Fang, Z., Borders, B.E. and Bailey, R.L. 2000. Compatible volume-taper models for loblilly and slash pine based on a system with segmented-stem form factors. Forest Science, 46 (1); 1-11.
- Figueiredo-Filho, A., Borders, B.E. and Hitch, K.L. 1996. Taper equations for *Pinus taeda* plantations in southern Brazil. Forest Ecology and Management, 83 (1-2); 39-46.
- Fırat, F. ve Kalıpsız A., 1963. Tarsus-Karabucak ormanları için *Eucalyptus camaldulensis* ağaç hacim tablosu. İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri A, Cilt 18, Sayı 1, İstanbul.
- Fırat, F. 1973. Dendrometri. IV. Baskı, İ.Ü. Orman Fakültesi, İ.Ü Yayın No: 1800, Orman Yayın No: 193, Kutulmuş Matbaası, İstanbul.
- Garber, S.M. and Maguire D.A. 2003. Modeling stem taper of three central Oregon species using nonlinear mixed effects models and autoregressive error structures. Forest Ecology and Management, 179 (1-3); 507-522.
- Gray H.R. 1956. The form and taper of forest tree stems. Imperial Forest Institute, Oxford, p 32.
- Green, E.J. and Reed, D.D. 1985. Compatible tree volume and taper functions for Pitch pine. Northern Journal of Applied Forestry. 2(1); 14-16.
- Gregoire, T.G. and Schabenberger, O. 1996. A non-linear mixed-effects model to predict cumulative bole volume of standing trees. Journal of Applied Statistics, 23 (2-3); 257-271.



- Gregoire, T.G., Schabenberger, O. and Barrett, J.P. 1995. Linear modeling of irregularly spaced, unbalanced, longitudinal data from permanent plot measurement. *Canadian Journal of Forest Research*, 25 (1); 137-156.
- Gülen, İ. 1959. Karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) hacim toblosu. İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri A, 97-112.
- Hilt, D.E. 1980. Taper-based system for estimating stem volumes of upland oaks. USDA Forest Service, Research Paper NE-458, p 12, 1980.
- Hojer A., 1903. Growth of Scots pine and Norway spruce. Bilaga till. Loven, F.A. om vara barrskorlar, Stockholm,
- Honer, T.G. 1967. Standard volumes and merchantable conversion factors for the commercial tree species of central and Eastern Canada. Forest Management Research and Service Institute. Ottawa, Ontario, Inform Rep. FMR-X-5, p 21.
- İyit, N., Genç, A. and Arslan, F. 2006. Analysis of repeated measures for continuous response data using general linear model and mixed models. Proceedings of the International Conference on Modeling and Simulation, Konya, Turkey, 937-942.
- Jiang, L. 2004. Compatible taper and volume equations for yellow-poplar in West Virginia. MSc thesis. West Virginia University. p 75, Morgantown. WV.
- Jiang, L., Brooks, J.R. and Wang, J. 2005. Compatible taper and volume equations for yellow-poplar in West Virginia. *Forest Ecology and Management*, 213 (1-3); 399-409.
- Jones, R.H. 1990. Serial correlation or random subject effects. *Communications in Statistics-Simulation and Computation* 19 (3); 1105-1123.
- Kalıpsız, A. 1962. Değişik yaşlı doğu kayınında artım ve büyüme araştırmaları. O.G.M Yayınları, No: 339.
- Kalıpsız, A. 1984. Dendrometri. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No: 3194, O.F. Yayın No: 354, İstanbul.
- Kalıpsız, A., 1988. Orman Hasılat Bilgisi. İ.Ü. Yayın No: 3516, Orman Fakültesi Yayın No: 397, 349 s., İstanbul.
- Kalıpsız, A. 1999. Dendrometri. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No:3194/354, İstanbul.
- Kapucu, F., Yavuz, H., Gül, A.U. ve Mısır, N. 2002. Kestane meşcerelerinin hasılatı ve amenajman esasları. Tübitak TAGTOG TARP-2229 No'lu Proje, 118 s.
- Kayacık, H. 1980. Orman ve park ağaçlarının özel sistematiği. Gymnospermae (Açık Tohumlular) İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 2642/281, 1. Cilt, Bozak Matbaası, Dördüncü Baskı, 388 s., İstanbul.
- Keselman, H.J., Algina, J., Kowalchuk, R.K. and Wolfinger, R.D. 1998. A comparison of two approaches for selecting covariance structures in the analysis of repeated measures. *Communications in Statistics-Computation and Simulation*, 27 (3); 591-604.
- Kozak, A., Munro, D.O. and Smith, J.H.G. 1969. Taper functions and their application in forest inventory. *Forest Chronicle* 45 (4); 278-283.
- Kozak, A. 1988. A Variable exponent taper equation. *Canadian Journal of Forest Research*, 18 (11); 1363-1368.
- Kozak, A. 2004. My last words on taper equations. *Forest Chronicle*. 80 (4); 507-515.
- Laar, A. and Akça, A. 2007. Forest mensuration. Dordrecht, The Netherlands, Springer, p 383.
- Lappi, J. 1991. Calibration of height and volume equations with random parameters. *Forest Science*, 37 (3); 781- 801.

- Lappi, J. 1997. A longitudinal analysis of height–diameter curves. *Forest Science*, 43 (4); 555–570.
- Lejeune, G., Ung, C.H. Fortin, M., Guo, X.J., Lambert, M.C. and Ruel, J.C. 2009. A simple stem taper model with mixed effects for boreal Black spruce. *European Journal of Forest Research*, 128 (5); 505–513.
- Leites, L.P. and Robinson, A.P. 2004. Improving taper equations of Loblolly pine with crown dimensions in a mixed-effects modeling framework. *Forest Science*, 50 (2); 204-212.
- Lindstrom, M. and Bates, D.M. 1990. Nonlinear mixed effects models for repeated measures data. *Biometrics*, 46 (3); 673-687.
- Littell, R.C., Milliken, G.A., Stroup, W.W. and Wolfinger, R.D. 2005. SAS system for mixed models. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Liu, C.J. 1980. Long volume estimating with spline approximation. *Forest Science*, 26 (3); 361-369.
- Martin, A.J. 1981. Taper and volume equations for selected appalachian hardwood species. USDA Forest Service Research Paper, NE-490, p 22.
- Matney, T.G., Hodges, J.D., Sullivan, A.D. and Ledbetter, J.R. 1985. Tree profile and volume ratio equations for sweetgum and cherrybark oak trees. *Southern Journal of Applied Forestry*, 9 (4); 222-226.
- Max, T.A. and Burkhart, H.E. 1976. Segmented polynomial regression applied to taper equations. *Forest Science*, 22 (3); 283-289.
- Meyer, H.A. 1953. *Forest Mensuration*, Pennsylvania. Pens. Valley Publishers, p 357.
- M’Hirit, D. and Postaire, J.G. 1985. A nonparametric technique for taper function estimation. *Canadian Journal of Forest Research*, 15 (5); 862-871
- Miraboğlu, M. 1955. Gökknarlarda şekil ve hacim araştırmaları. T.C. Ziraat Vekaleti, Orman Umum Müdürlüğü, Neşriyat Sıra No:188, Seri No; 5, Yenilik Basımevi, 103 s., İstanbul.
- Newnham, R.M. 1988. A variable from taper function. Canadian Forest Service. Petawawa Natl. For. Ins. Inf. Rep. PI-X-83.
- Newnham, R.M. 1992. Variable-form taper functions for four Alberta tree species. *Canadian Journal of Forest Research*, 22 (2); 210 – 223.
- OGM, 2014. Web Sitesi. <http://www.ogm.gov.tr>. Erişim Tarihi: 03.09.2014
- Özcan, B.G. 2002. Sahilçamı (*Pinus pinaster*) ağaçlandırmalarında artımın tayini. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora tezi. İstanbul.
- Özcan, M. 1997. Batı Karadeniz bölgesi için Kestane hacim tablosunun düzenlenmesi. K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek lisans tezi. 44s., Trabzon.
- Özçelik, R. 2010. Sarıçam için uyumlu gövde çapı ve gövde hacim modeli. III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi Artvin, Bildiriler Kitabı, 358-366.
- Özçelik, R. 2010. Bucak yöresi Kızılcım, Sedir ve Toros göknarı türleri için hacim denklemleri. S.D.Ü Orman Fakültesi Dergisi, Seri: A, Sayı: 2, Yıl: 2010, ISSN: 1302-7085, Sayfa: 1-15.
- Özçelik, R., Brooks, J.R. and Jiang, L. 2011. Modeling stem profile of Lebanon cedar, Brutian pine and Cilicica fir in Southern Turkey using nonlinear mixed-effects models. *European Journal of Forest Research*, 130 (4); 613-621
- Özçelik, R. ve Alkan, H. 2011. Okalıptüs ağaçlandırmaları için uyumlu gövde çapı ve gövde hacim modellerinin geliştirilmesi. I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu Kahramanmaraş, Bildiriler Kitabı, 720-730.

- Özçelik, R., Yavuz, H., Karatepe, Y., Gürlevik, N. ve Kırış, R. 2012. Burdur yöresi Kızılçam meşcereleri için gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin geliştirilmesi. S.D.Ü Orman Fakültesi Dergisi, 85-91
- Özçelik, R. and Brooks, J.R. 2012. Compatible volume and taper models for economically important tree species of Turkey. *Annals of Forest Science*, 69 (1); 105-118.
- Özçelik, R. ve Bal, C. 2013. Effects of adding crown variables in stem taper and volume predictions for Black pine. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 37 (2); 231-242.
- Özdal, T. 2014. Yozgat Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde yayılış gösteren Anadolu Karaçamı [*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe] meşcereleri için tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi. Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek lisans tezi. 40 s., Çankırı.
- Özkurt, A. 2000. Okaliptüs (*Eucalyptus grandis* W. HillEx Maiden) için hacim tablosu. DOA Dergisi, 87-105.
- Parresol, B.R., Hotveld, J.E. and Cao, Q.V. 1987. A volume and taper prediction system for bald cypress. *Canadian Journal of Forest Research*, 17 (3); 250-259.
- Pehlivan, S. 2010. Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ağaç hacim tablolarının düzenlenmesi. Yüksek lisans tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 48 s., Trabzon.
- Perez, D.N., Burkhardt, H.E. and Stiff, C.T. 1990, A variable form taper function for *Pinus ocarpa schiede* in central Honduras. *Forest Science*, 36 (1); 186-191.
- Peters, R. 1971. Konstruktion eines massentafel modells. Diss, Freiburg, p. 95.
- Real, P.L., Moore, J.A. and Newberry, J.D. 1989. Principal components analysis of tree stem profile. *Canadian Journal of Forest Research*, 19, 1538-1542.
- Saatçioğlu, F. 1976. Silvikültür I, Sivikültürün Biyolojik Esasları ve Prensipleri, İ.Ü. Orman Fakültesi, Yayın No: 2187/222, İkinci Baskı, Sermet matbaası, 423 s., İstanbul.
- Sakıcı, O. 2002. Kastamonu yöresi Uludağ Göknarı meşcerelerinde gövde profili, hacim, hacim oran sistemlerinin geliştirilmesi., K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 94 s., Trabzon.
- Saraçoğlu, N. 1988. Kızılağaç (*Alnus glutinosa* var. *barbata* C.A Mey Ledep) gövde hacim ve biyokütle tablolarının düzenlenmesi. K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora tezi. 99 s., Trabzon.
- Saraçoğlu, Ö. 1988. Karadeniz yöresi Göknar meşcerelerinde artım ve büyüme. O.G.M Yayınları, No: 25, 312.
- SAS Institute Inc., 2013. SAS/STAT 9.3 User's Guide: statistics, Version 9.3, SAS Institute Inc., Cary, NC., p. 666.
- Schmidt, M., Kiviste, A. and Von Gadow, K.A. 2010. Spatially explicit height-diameter model for Scots pine in Estonia. *European Journal of Forest Research*, 130 (2); 303-315.
- Searle, S.R., Casella, G., and Mc Culloch, C.E. 1992. Variance components, John Wiley and Sons Inc., USA.
- Sharma, M. and Parton J. 2009. Modeling stand density effects on taper for Jack pine black spruce plantations Using Dimensional Analysis. *Forest Science*, 55 (3); 268-282.
- SPSS Institute Inc., 2007. SPSS Base 12.0 User's Guide, 688 s.

- Sun, O. Eren, M.E. ve Orpak, M. 1978. Temel ağaç türlerimizde tek ağaç ve birim alandaki odun çeşidi oranlarının saptanması. TÜBİTAK, Proje No: TOAG-288, Tarım ve Ormancılık Araştırma Grubu Yayını. Roto baskı, 198 s.
- Şahin, D. 2012. Karaçam meşcereleri için uyumlu gövde çapı ve gövde hacmi denklem sistemlerinin geliştirilmesi. S.D.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek lisans tezi, 64s., Isparta.
- Şentürk, N. 1997. Dişbudak (*Fraxinus angustifolia* Wahl. subps. *Oxycarpa* (Bieb. Ex. Wild.) Franco&Rocha Afonso) gövde hacim ve ağaç hacim tablolarının düzenlenmesi. K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, Trabzon.
- Şenyurt, M. 2011. Batı Karadeniz Yöresi Sarıçam meşcerelerinde artım ve büyüme, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, İstanbul.
- Tatsuo, S. 1988. A theoretical taper curve (II). Journal of Japan Forest Society, 70, 199-205.
- Tassia, G. and Burkhart, H.E. 1998. An application of mixed effects analysis to modeling thinning effects on stem profile of Loblolly pine. Forest Ecology and Management, 103 (1); 87-101.
- Therien, G. and Camire, C. 1986. Use of taper curve solved by an algebraic method in silvicultural research. The Forestry Chronicle, 62 (6); 259-532.
- Thomas, C.E. and Parresol, B.R. 1991. Simple, flexible, trigonometric taper equations. Canadian Journal of Forest Research, 21 (7); 1132-1137.
- Trincado, G. and Burkhart, H.E. 2006. A generalized approach for modeling and localizing stem profile curve. Forest Science, 52 (6); 670-682.
- Trincado, G., VanderSchaaf, C.L. and Burkhart, H.E. 2007. Regional mixed-effects height-diameter models for Loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantations. European Journal of Forest Research, 126 (2); 253-262.
- Uludağ, M., 2006. Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü Çatalzeytin Orman İşletme Müdürlüğü Çınar (*Platanus orientalis* L.) gövde hacim tablolarının düzenlenmesi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 56 s.,
- Uğurlu, S. ve Özer, E. 1976 Bük yöresi Kızılçamlarında çap-çift kabuk kalınlığı ilişkisi. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi. Sayı :2. 129-132 s.
- Usta, H.Z. 1990. Kızılçam ağaçlandırmalarında hasılat araştırmaları. Ormancılık Araştırma Enstitüsü. Teknik yayın no:219, 138 s.
- Valentine H.T. and Gregoire T.G. 2001. A switching model of bole taper. Canadian Journal of Forest Research, 31 (8); 1400-1409.
- Yaltrık, F., 1993. Dendroloji Ders Kitabı II Angiospermae (Kapalı Tohumlular). Bolum I, 2. Baskı, 46-48 s., İstanbul.
- Yang, Y., Huang, S., Trincado, G. and Meng, S.X. 2009. Nonlinear mixed effects modelling of variable exponent taper equations for Lodgepole pine in Alberta, Canada. European Journal of Forest Research, 128 (4); 415-429.
- Yavuz, H., 1995. Uyumlu ve uyumsuz gövde çapı modelleri. K.T.Ü Orman Fakültesi bahar yarıyılı seminerleri, Fakülte Yayın No:49, 101-106.
- Yavuz, H., 1999. Comparison of the centroid method and four standart formulas for estimating log volumes, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 23, 597-602
- Yavuz, H. ve Saraçoğlu, N. 1999. Kızılağaç için uyumlu ve uyumsuz gövde çapı modelleri. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 23, Ek Sayı 5, 1275-1282.

- Yavuz, H. ve Sakıcı, O. E. 2002. Gövde profili modellerinin bilimsel ve pratik açıdan irdelenmesi. Orman amenajmanı'nda kavramsal açılımlar ve yeni hedefler sempozyumu, 233-241. İstanbul.
- Ye, S. 2005. Covariance structure selection in linear mixed models for longitudinal data. MSc. Thesis, department of Bioinformatics and Biostatistics, University of Louisville, Kentucky, USA.
- Yıldızbakan, A., Saraçoğlu, Ö., Akgün, C. ve Aydın, C.A. 2013. Sedir (*Cedrus libani* A.rich.) meşcerelerinin hacim artımını maksimize eden optimum kuruluşlar. Doğu Akdeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Yayın No: 69, 254 s., ISBN: 978-605-4610-35-8.
- Wolfinger, R. and Chang, M. 1999. Comparing the SAS glm and mixed procedures for repeated measures. SAS Institute, Inc., Cary, NC.
- Zeger, S.L., Liang, K.Y. and Albert, F.S. 1998. Models for longitudinal data: a generalized estimating equation approach. Biometrics, 44 (4); 1049-1060

## EKLER

**Ek 1** Buladan ve Cehennemdere Orman İşletme Şefliği Anadolu Karaçamı İçin Tek Girişli Ağaç Hacim Tablosu (m<sup>3</sup>)

<b>Göğüs Çapı (cm)</b>	<b>Kabuklu Gövde Hacmi (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Göğüs Çapı (cm)</b>	<b>Kabuklu Gövde Hacmi (m<sup>3</sup>)</b>
8	0.051816	35	0.680025
9	0.049369	36	0.730984
10	0.04890	37	0.783921
11	0.050409	38	0.838836
12	0.053896	39	0.895729
13	0.059361	40	0.95460
14	0.066804	41	1.015449
15	0.076225	42	1.078276
16	0.087624	43	1.143081
17	0.101001	44	1.209864
18	0.116356	45	1.278625
19	0.133689	46	1.349364
20	0.15300	47	1.422081
21	0.174289	48	1.496776
22	0.197556	49	1.573449
23	0.222801	50	1.65210
24	0.250024	51	1.732729
25	0.279225	52	1.815336
26	0.310404	53	1.899921
27	0.343561	54	1.986484
28	0.378696	55	2.075025
29	0.415809	56	2.165544
30	0.45490	57	2.258041
31	0.495969	58	2.352516
32	0.539016	59	2.448969
33	0.584041	60	2.54740
34	0.631044		

**Ek 2** Buladan ve Cehennemdere Orman İşletme Şefliği Anadolu Karaçamı İçin Çift Girişli Ağaç Hacim Tablosu (m<sup>3</sup>)

Ağaç Boyları	Ağaç Çapları (cm)									
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
4	0.04002	0.04667	0.05410	0.06232	0.07131					
5	0.03360	0.04061	0.04845	0.05711	0.06660	0.07691				
6	0.02718	0.03456	0.04280	0.05191	0.06189	0.07273	0.08444			
7	0.02077	0.02850	0.03715	0.04671	0.05717	0.06855	0.08084	0.09404		
8	0.01435	0.02245	0.03150	0.04150	0.05246	0.06437	0.07723	0.09105		
9	0.00793	0.01639	0.02585	0.03630	0.04775	0.06019	0.07363	0.08806	0.10349	
10	0.00152	0.01034	0.02020	0.03110	0.04304	0.05601	0.07002	0.08508	0.10116	
11		0.00428	0.01455	0.02590	0.03832	0.05183	0.06642	0.08209	0.09884	0.11667
12			0.00890	0.02069	0.03361	0.04765	0.06281	0.07910	0.09651	0.11504
13			0.00325	0.01549	0.02890	0.04347	0.05921	0.07611	0.09418	0.11342
14				0.01029	0.02418	0.03929	0.05560	0.07313	0.09186	0.11179
15				0.00509	0.01947	0.03511	0.05200	0.07014	0.08953	0.11017
16					0.01476	0.03093	0.04839	0.06715	0.08720	0.10855
17					0.01005	0.02675	0.04479	0.06416	0.08487	0.10692
18					0.00533	0.02257	0.04118	0.06118	0.08255	0.10530
19					0.00062	0.01839	0.03758	0.05819	0.08022	0.10367
20						0.01421	0.03397	0.05520	0.07789	0.10205
21						0.01003	0.03037	0.05221	0.07556	0.10042
22						0.00585	0.02676	0.04923	0.07324	0.09880
23						0.00167	0.02316	0.04624	0.07091	0.09718
24							0.01955	0.04325	0.06858	0.09555
25								0.04026	0.06626	0.09393
26								0.03728	0.06393	0.09230
27										0.09068

Ek 2'nin devamı

Ağaç Boyları (m)	Ağaç Çapları (cm)									
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
9	0.14173	0.15620	0.17146	0.18750						
10	0.14085	0.15611	0.17220	0.18911	0.20685	0.22541				
11	0.13997	0.15602	0.17294	0.19073	0.20938	0.22890	0.24929			
12	0.13909	0.15593	0.17368	0.19234	0.21191	0.23239	0.25378	0.27608		
13	0.13821	0.15584	0.17442	0.19395	0.21444	0.23588	0.25827	0.28161	0.30591	
14	0.13733	0.15575	0.17516	0.19557	0.21697	0.23936	0.26276	0.28714	0.31253	
15	0.13646	0.15566	0.17590	0.19718	0.21950	0.24285	0.26724	0.29268	0.31914	0.34665
16	0.13558	0.15557	0.17664	0.19879	0.22203	0.24634	0.27173	0.29821	0.32576	0.35440
17	0.13470	0.15548	0.17738	0.20041	0.22455	0.24983	0.27622	0.30374	0.33238	0.36215
18	0.13382	0.15539	0.17812	0.20202	0.22708	0.25331	0.28071	0.30927	0.33900	0.36989
19	0.13294	0.15530	0.17886	0.20363	0.22961	0.25680	0.28520	0.31481	0.34562	0.37764
20	0.13206	0.15521	0.17960	0.20525	0.23214	0.26029	0.28969	0.32034	0.35224	0.38539
21		0.15511	0.18034	0.20686	0.23467	0.26378	0.29418	0.32587	0.35886	0.39314
22		0.15502	0.18108	0.20847	0.23720	0.26726	0.29867	0.33140	0.36548	0.40088
23			0.18182	0.21009	0.23973	0.27075	0.30315	0.33694	0.37209	0.40863
24			0.18256	0.21170	0.24226	0.27424	0.30764	0.34247	0.37871	0.41638
25				0.21331	0.24479	0.27773	0.31213	0.34800	0.38533	0.42413
26					0.24732	0.28122	0.31662	0.35353	0.39195	0.43188
27						0.28470	0.32111	0.35907	0.39857	0.43962
28							0.32560	0.36460	0.40519	0.44737
29								0.37013	0.41181	0.45512
30									0.41843	0.46287



Ek 2'nin devamı

Ağaç Boyları (m)	Ağaç Çapları (cm)									
	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
9	0.36628	0.39465	0.42401	0.45437	0.48572					
10	0.37520	0.40478	0.43540	0.46706	0.49976	0.53349				
11	0.38412	0.41491	0.44679	0.47975	0.51379	0.54891	0.58511			
12	0.39303	0.42505	0.45818	0.49244	0.52782	0.56432	0.60195	0.64070		
13	0.40195	0.43518	0.46957	0.50513	0.54185	0.57974	0.61879	0.65901	0.70040	
14	0.41087	0.44531	0.48096	0.51782	0.55588	0.59515	0.63564	0.67733	0.72022	
15	0.41979	0.45545	0.49235	0.53051	0.56991	0.61057	0.65248	0.69564	0.74005	0.78571
16	0.42871	0.46558	0.50374	0.54319	0.58394	0.62599	0.66932	0.71395	0.75987	0.80709
17	0.43763	0.47571	0.51513	0.55588	0.59797	0.64140	0.68616	0.73226	0.77970	0.82847
18	0.44655	0.48585	0.52652	0.56857	0.61201	0.65682	0.70301	0.75058	0.79952	0.84985
19	0.45547	0.49598	0.53791	0.58126	0.62604	0.67223	0.71985	0.76889	0.81935	0.87123
20	0.46439	0.50611	0.54930	0.59395	0.64007	0.68765	0.73669	0.78720	0.83917	0.89261
21	0.47331	0.51625	0.56069	0.60664	0.65410	0.70306	0.75353	0.80551	0.85900	0.91399
22	0.48223	0.52638	0.57208	0.61933	0.66813	0.71848	0.77038	0.82383	0.87882	0.93537
23	0.49115	0.53651	0.58347	0.63202	0.68216	0.73390	0.78722	0.84214	0.89865	0.95675
24	0.50006	0.54665	0.59486	0.64471	0.69619	0.74931	0.80406	0.86045	0.91847	0.97813
25		0.55678	0.60625	0.65740	0.71022	0.76473	0.82091	0.87876	0.93830	0.99951
26		0.56691	0.61764	0.67009	0.72426	0.78014	0.83775	0.89708	0.95812	102.089
27			0.62903	0.68278	0.73829	0.79556	0.85459	0.91539	0.97795	104.227
28				0.69547	0.75232	0.81097	0.87143	0.93370	0.99777	106.365
29					0.76635	0.82639	0.88828	0.95201	101.760	108.503
30						0.84181	0.90512	0.97033	103.742	110.641

Ek 2'nin devamı

Ağaç Boyları (m)	Ağaç Çapları (cm)									
	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
11	0.74071	0.78232	0.82500	0.86876	0.91361	0.95953	1.00654	1.05463	1.10379	1.15404
12	0.76369	0.80693	0.85130	0.89679	0.94340	0.99114	1.04000	1.08998	1.14109	1.19331
13	0.78667	0.83155	0.87760	0.92481	0.97320	1.02274	1.07345	1.12533	1.17838	1.23259
14	0.80964	0.85617	0.90390	0.95284	1.00299	1.05435	1.10691	1.16069	1.21567	1.27186
15	0.83262	0.88079	0.93020	0.98087	1.03278	1.08595	1.14037	1.19604	1.25296	1.31113
16	0.85560	0.90540	0.95650	1.00889	1.06258	1.11755	1.17382	1.23139	1.29025	1.35040
17	0.87858	0.93002	0.98280	1.03692	1.09237	1.14916	1.20728	1.26674	1.32754	1.38967
18	0.90155	0.95464	1.00910	1.06494	1.12216	1.18076	1.24074	1.30210	1.36483	1.42894
19	0.92453	0.97925	1.03540	1.09297	1.15195	1.21236	1.27420	1.33745	1.40212	1.46822
20	0.94751	1.00387	1.06170	1.12099	1.18175	1.24397	1.30765	1.37280	1.43941	1.50749
21	0.97049	1.02849	1.08800	1.14902	1.21154	1.27557	1.34111	1.40815	1.47670	1.54676
22	0.99346	1.05311	1.11430	1.17704	1.24133	1.30718	1.37457	1.44351	1.51399	1.58603
23	1.01644	1.07772	1.14060	1.20507	1.27113	1.33878	1.40802	1.47886	1.55128	1.62530
24	1.03942	1.10234	1.16690	1.23309	1.30092	1.37038	1.44148	1.51421	1.58858	1.66457
25	1.06239	1.12696	1.19320	1.26112	1.33071	1.40199	1.47494	1.54956	1.62587	1.70385
26	1.08537	1.15158	1.21950	1.28914	1.36051	1.43359	1.50839	1.58492	1.66316	1.74312
27	1.10835	1.17619	1.24580	1.31717	1.39030	1.46519	1.54185	1.62027	1.70045	1.78239
28	1.13133	1.20081	1.27210	1.34519	1.42009	1.49680	1.57531	1.65562	1.73774	1.82166
29	1.15430	1.22543	1.29840	1.37322	1.44989	1.52840	1.60876	1.69097	1.77503	1.86093
30	1.17728	1.25005	1.32470	1.40125	1.47968	1.56001	1.64222	1.72633	1.81232	1.90021

Ek 2'nin devamı

Ağaç Boyları (m)	Ağaç Çapları (cm)									
	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57
11	1.20537	1.25778	1.31127	1.36584	1.42149	1.47822	1.53603	1.59493	1.65490	1.71595
12	1.24667	1.30114	1.35674	1.41346	1.47131	1.53027	1.59037	1.65158	1.71392	1.77738
13	1.28796	1.34450	1.40221	1.46108	1.52112	1.58233	1.64470	1.70823	1.77293	1.83880
14	1.32926	1.38786	1.44768	1.50870	1.57094	1.63438	1.69903	1.76489	1.83195	1.90023
15	1.37055	1.43123	1.49315	1.55633	1.62075	1.68643	1.75336	1.82154	1.89097	1.96165
16	1.41185	1.47459	1.53862	1.60395	1.67057	1.73848	1.80769	1.87819	1.94998	2.02307
17	1.45314	1.51795	1.58409	1.65157	1.72038	1.79053	1.86202	1.93484	2.00900	2.08450
18	1.49444	1.56131	1.62956	1.69919	1.77020	1.84258	1.91635	1.99150	2.06802	2.14592
19	1.53573	1.60467	1.67503	1.74681	1.82001	1.89464	1.97068	2.04815	2.12704	2.20734
20	1.57703	1.64803	1.72050	1.79443	1.86983	1.94669	2.02501	2.10480	2.18605	2.26877
21	1.61832	1.69139	1.76597	1.84205	1.91964	1.99874	2.07934	2.16145	2.24507	2.33019
22	1.65962	1.73475	1.81144	1.88967	1.96946	2.05079	2.13367	2.21811	2.30409	2.39162
23	1.70091	1.77812	1.85691	1.93730	2.01927	2.10284	2.18800	2.27476	2.36310	2.45304
24	1.74221	1.82148	1.90238	1.98492	2.06909	2.15489	2.24234	2.33141	2.42212	2.51446
25	1.78350	1.86484	1.94785	2.03254	2.11890	2.20695	2.29667	2.38806	2.48114	2.57589
26	1.82480	1.90820	1.99332	2.08016	2.16872	2.25900	2.35100	2.44472	2.54015	2.63731
27	1.86609	1.95156	2.03879	2.12778	2.21853	2.31105	2.40533	2.50137	2.59917	2.69873
28	1.90739	1.99492	2.08426	2.17540	2.26835	2.36310	2.45966	2.55802	2.65819	2.76016
29	1.94868	2.03828	2.12973	2.22302	2.31816	2.41515	2.51399	2.61467	2.71720	2.82158
30	1.98998	2.08165	2.17520	2.27065	2.36798	2.46721	2.56832	2.67133	2.77622	2.88301

Ek 2'nin devamı

Ağaç Boyları (m)	Ağaç Çapları (cm)									
	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67
14	1.96971	2.04040	2.11230	2.18541	2.25972	2.33525	2.41198	2.48993	2.56908	2.64943
15	2.03358	2.10677	2.18120	2.25689	2.33382	2.41201	2.49145	2.57214	2.65408	2.73727
16	2.09746	2.17313	2.25010	2.32836	2.40792	2.48877	2.57091	2.65435	2.73908	2.82511
17	2.16133	2.23950	2.31900	2.39984	2.48202	2.56553	2.65038	2.73656	2.82408	2.91294
18	2.22520	2.30586	2.38790	2.47132	2.55611	2.64229	2.72984	2.81878	2.90909	3.00078
19	2.28907	2.37223	2.45680	2.54279	2.63021	2.71905	2.80931	2.90099	2.99409	3.08861
20	2.35295	2.43859	2.52570	2.61427	2.70431	2.79581	2.88877	2.98320	3.07909	3.17645
21	2.41682	2.50496	2.59460	2.68575	2.77841	2.87257	2.96824	3.06541	3.16409	3.26428
22	2.48069	2.57132	2.66350	2.75723	2.85250	2.94933	3.04770	3.14763	3.24910	3.35212
23	2.54457	2.63769	2.73240	2.82870	2.92660	3.02609	3.12717	3.22984	3.33410	3.43996
24	2.60844	2.70405	2.80130	2.90018	3.00070	3.10285	3.20663	3.31205	3.41910	3.52779
25	2.67231	2.77042	2.87020	2.97166	3.07479	3.17961	3.28610	3.39426	3.50411	3.61563
26	2.73619	2.83678	2.93910	3.04314	3.14889	3.25637	3.36556	3.47648	3.58911	3.70346
27	2.80006	2.90315	3.00800	3.11461	3.22299	3.33313	3.44503	3.55869	3.67411	3.79130
28	2.86393	2.96951	3.07690	3.18609	3.29709	3.40989	3.52449	3.64090	3.75911	3.87913
29	2.92781	3.03588	3.14580	3.25757	3.37118	3.48665	3.60396	3.72311	3.84412	3.96697
30	2.99168	3.10225	3.21470	3.32905	3.44528	3.56341	3.68342	3.80533	3.92912	4.05481

Ek 2'nin devamı

Ağaç Boyları (m)	Ağaç Çapları (cm)							
	68	69	70	71	72	73	74	75
15	2.82171	2.90741	2.99435	3.08255	3.17199	3.26269	3.35464	3.44784
16	2.91242	3.00103	3.09094	3.18214	3.27463	3.36842	3.46350	3.55987
17	3.00313	3.09466	3.18753	3.28173	3.37727	3.47414	3.57236	3.67190
18	3.09385	3.18829	3.28412	3.38133	3.47991	3.57987	3.68121	3.78394
19	3.18456	3.28192	3.38071	3.48092	3.58255	3.68560	3.79007	3.89597
20	3.27527	3.37555	3.47730	3.58051	3.68519	3.79133	3.89893	4.00800
21	3.36598	3.46918	3.57389	3.68011	3.78783	3.89706	4.00779	4.12003
22	3.45669	3.56281	3.67048	3.77970	3.89047	4.00278	4.11665	4.23207
23	3.54740	3.65644	3.76707	3.87929	3.99311	4.10851	4.22551	4.34410
24	3.63811	3.75007	3.86366	3.97889	4.09574	4.21424	4.33437	4.45613
25	3.72882	3.84370	3.96025	4.07848	4.19838	4.31997	4.44323	4.56816
26	3.81954	3.93733	4.05684	4.17807	4.30102	4.42569	4.55208	4.68020
27	3.91025	4.03096	4.15343	4.27767	4.40366	4.53142	4.66094	4.79223
28	4.00096	4.12459	4.25002	4.37726	4.50630	4.63715	4.76980	4.90426
29	4.09167	4.21822	4.34661	4.47685	4.60894	4.74288	4.87866	5.01629
30	4.18238	4.31185	4.44320	4.57645	4.71158	4.84861	4.98752	5.12833

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Azim Kutlay KURT  
Doğum Yeri : Tarsus  
Doğum Tarihi : 19.04.1989  
Medeni Hali : Bekar  
Yabancı Dili : İngilizce  
Adres : Gaziler Mah. 1846 Sk. No:10/1  
Tarsus, MERSİN.  
Tel : 0 536 320 97 97  
E-posta : azimkurt@gmail.com  
Eğitim Durumu  
Lise : Tarsus İclal Ekenler Lisesi (YDAL) – Tarsus/Mersin  
(2002-2007)  
Lisans : Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman  
Mühendisliği (2008-2012)  
Yüksek Lisans : Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı (2012-2014)

Yayınları :

- Bolat, F., Ercanlı, İ. ve Kurt, A., 2014. Bursa-Kestel ormanlarındaki ağaç tür çeşitliliğinin meşcere çap dağılımı üzerine etkisi . II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu.
- Ercanlı, İ., Kurt, A. ve Bolat, F., 2014. Adana-Feke Kızılçam (*Pinus brutia* ten.) meşcereleri için gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin karışık etkili modelleme ile geliştirilmesinde bazı varyans yapılarının karşılaştırılması. II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu.
- Ercanlı, İ., Şenyurt, M., Günlü, A., Bolat, F., Kurt, A.. 2013-2014. Mersin Orman Bölge Müdürlüğü Sınırları İçerisinde Yayılış Yapan Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) Meşcereleri İçin Uyumlu Gövde Çapı ve Gövde Hacim Denklemlerinin Karışık Etkili Modelleme Yaklaşımı ile Geliştirilmesi (Destekleyen Kuruluş: TÜBİTAK) (Araştırma Projesi)