



**ARDAHAN YÖRESİ SARIÇAM MEŞÇERELERİ İÇİN UYUMLU GÖVDE ÇAPI
MODELLERİNİN KARIŞIK ETKİLİ MODELLEME TEKNİĞİ
KULLANILARAK GELİŞTİRİLMESİ**

Burak SAYGILI

**Yüksek Lisans Tezi
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Aydın KAHRİMAN**

2019

**T.C.
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ARDAHAN YÖRESİ SARIÇAM MEŞÇERELERİ İÇİN UYUMLU GÖVDE ÇAPI
MODELLERİNİN KARIŞIK ETKİLİ MODELLEME TEKNİĞİ
KULLANILARAK GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burak SAYGILI

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Aydın KAHRİMAN**

Artvin-2019

TEZ BEYANNAMESİ

Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Ardahan Yöresi Sarıçam Meşcereleri İçin Uyumlu Gövde Çapı Modellerinin Karışık Etkili Modelleme Tekniğı Kullanılarak Geliştirilmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Aydın KAHRİMAN'ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 16/04/2019

Burak SAYGILI

T.C.
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ARDAHAN YÖRESİ SARIÇAM MEŞÇERELERİ İÇİN UYUMLU GÖVDE ÇAPI
MODELLERİNİN KARIŞIK ETKİLİ MODELLEME TEKNİĞİ
KULLANILARAK GELİŞTİRİLMESİ**

Burak SAYGILI

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 16/04/2019

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 02/05/2019

Tez Danışmanı :Dr. Öğr. Üyesi Aydın KAHRİMAN

Jüri Üyesi :Prof. Dr. Günay ÇAKIR

Jüri Üyesi :Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahman ŞAHİN

ONAY:

Bu Yüksek Lisans Tezi, AÇÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından .../.../...tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun.../.../... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

.../.../...

Doç. Dr. Hilal TURGUT

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Ardahan Yöresi Sarıçam Meşçereleri İçin Uyumlu Gövde Çapı Modellerinin Karışık Etkili Modelleme Tekniği Kullanılarak Geliştirilmesi”adlı çalışma Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Konu seçimimden çalışmamın son aşamasına kadar, ilgili ve yol gösterici tutumu ile çalışmaların planlanması, yürütülmesi ve değerlendirilme aşamalarında bilgi ve katkılarını esirgemeyen danışmanım sayın hocam Dr. Öğretim Üyesi Aydın KAHRİMAN’a teşekkürlerimi sunarım.

Destek ve katkılarından dolayı Prof. Dr. Günay ÇAKIR ve Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahman ŞAHİN’ e teşekkür ederim.

Tez çalışması süresince arazi çalışmalarımnda desteklerini gördüğüm Ardahan Orman İşletme Müdürlüğü çalışanlarına ve meslektaşlarıma teşekkür ederim.

Hayatımın her döneminde maddi ve manevi destekleri ile sürekli yanımda olan aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

Burak SAYGILI

Artvin - 2019

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
TEZ BEYANNAMESİ.....	I
ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET.....	III
SUMMARY	IV
TABLolar DİZİNİ	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VI
1 GENEL BİLGİLER.....	1
1.1 Giriş.....	1
1.2 Sarıçam Türüne ait Genel Bilgiler	7
1.3 Sarıçam Türünün Amenajman Esasları ve Hasılat Çalışmaları.....	10
2 MATERYAL VE YÖNTEM.....	13
2.1 Materyal	13
2.2 Metod	24
2.2.1 Gövde Çapı Denklemleri	24
2.2.2 Karışık Etkili Modelleme ile Gövde Çapı Modelinin Geliştirilmesi	28
2.2.3 Karışık Etkili Modellerin Kalibrasyon Yanıtlarının Belirlenmesi.....	30
2.2.4 Gövde Hacminin Belirlenmesi.....	33
3 BULGULAR.....	36
3.1 Gövde Çapı Modellerine İlişkin Bulgular.....	36
3.2 Karışık Etkili Gövde Çapı Denklemine İlişkin Bulgular	38
3.3 Kalibrasyon Yanıtlarına İlişkin Bulgular	40
3.4 Gövde Çapı Tahminlerinin Değerlendirmesi.....	41
3.5 Gövde Hacmine İlişkin Bulgular	47
3 TARTIŞMA	51
4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER	56
EKLER.....	59
KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ.....	74

ÖZET

ARDAHAN YÖRESİ SARIÇAM MEŞÇERELERİ İÇİN UYUMLU GÖVDE ÇAPI MODELLERİNİN KARIŞIK ETKİLİ MODELLEME TEKNİĞİ KULLANILARAK GELİŞTİRİLMESİ

Bu çalışmada Ardahan yöresinde yayılış gösteren saf Sarıçam meşçereleri için doğrusal olmayan karışık etkili modelleme yaklaşımıyla gövde çapı ve gövde hacim modeli geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla değişik çap ve boy basamağında kesilen 137 adet örnek ağaçtan elde edilen veriler kullanılmıştır. En başarılı olarak belirlenen Jiang et al. gövde çapı denkleminin belirtme katsayısı %98.3, tahminin standart hatası 1.955 cm, ortalama hatası 0.043 cm, ortalama mutlak hatası ise 1.300 cm olarak elde edilmiştir. AIC, BIC ve $-2\ln L$ ölçüt değerleri dikkate alındığında, Ardahan yöresi Sarıçam için b_1 ve b_3 parametreleri tesadüfî etkili Jiang et al. modelinin en başarılı olduğu tespit edilmiştir. İki parametresi tesadüfî olan bu karışık etkili model, homojen bir hata varyansı dağılımı göstermiş ve veriler arası otokorelasyon problemini hemen hemen gidermiştir. Ayrıca, test edilen 20 farklı kalibrasyon seçenekleri içinde en iyi tahmin sonuçları, göğüs ($d_{1,3}$) ve $d_{5,3}$ çapları olacak şekilde iki çapın ölçümüne ilişkin kalibrasyon seçeneği ile elde edilmiştir. Bu çalışma kapsamında ayrıca geliştirilen tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerinin düzeltilmiş belirtme katsayıları sırasıyla 0.969 ve 0.992 olarak elde edilmiştir. Geliştirilen tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerinin, bu denklemlerin geliştirilmesinde kullanılan verilerin alındığı Ardahan yöresindeki meşçerelere uygun olduğu belirlenmiştir.

AnahtarKelimeler: Doğrusal olmayan karışık etkili modelleme, Uyumlu gövde profili modeli, Kalibrasyon, Rastgele parametre, Ağaç hacmi

SUMMARY

MODELING COMPATIBLE STEM PROFILE OF SCOTS PINE STANDS IN ARDAHAN, TURKEY USING NONLINEAR MIXED-EFFECTS MODELS

The objective of this study is to develop segmented polynomial taper equations which enable detailed volume estimations using the nonlinear mixed-effects modeling approach for pure Scots pine stands in Ardahan region of Turkey. For this purpose, the data obtained from 137 felled sample trees were used. The Jiang et al.'s stem profile model produced the best prediction results for the species. The adjusted coefficient of determination, Standard Error of Estimate, Bias, and Mean Absolute Error values of the model were found as 98.3 %, 1.955 cm, 0.043 cm, 1.300 cm, respectively. Based on AIC, BIC and -2LnL criteria, the model including random-effects in two parameters (b_1 ve b_3) were the best for the tree species. This mixed-effects model with two random parameters showed homogeneous residual variance and autocorrelation was almost removed. In addition, among 20 different calibration choices, the best results were obtained with the choice involving the measurement of two diameters such as the diameters at breast high ($d_{1.30}$) and $d_{5.30}$. It is also proposed to construct both single and double entry tree volume equations. These selected models accounted for 96.9 and 99.2 % of the total variance in single and double entry tree volume equations, respectively. Tree volume equations were tested with independent data set within the border of Ardahan Forest District Directorates, and concluded that these equations can be used for these stands at the 0.05 significant level.

Key Words: Nonlinear mixed-effects model, Segmented polynomial taper models, Calibration, Random parameters, Tree volume

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Orman İşletme Şefliği bazında örnek ağaç sayıları	13
Tablo 2. Örnek ağaçların meşcere gelişim çağlarına göre dağılımları ve çap, boy, hacim değerlerinin değişimi.....	16
Tablo 3. Modellerin oluşturulmasında ve denetiminde kullanılan verilerin çap ve boy sınıflarına dağılımı	21
Tablo 4. Çalışma kapsamında kullanılan gövde çapı modelleri.....	26
Tablo 5. Çalışma kapsamında kullanılan tek girişli ağaç hacim denklemleri	34
Tablo 6. Çalışma kapsamında kullanılan çift girişli ağaç hacim denklemleri.....	35
Tablo 7. Gövde çapı modellerinin geliştirilmesi ve test edilmesinde kullanılan verilerin istatistikî değerleri.	36
Tablo 8. Gövde çapı modellerinin parametre tahminleri ile çeşitli model başarı ölçütleri	37
Tablo 9. Farklı rastgele parametre seçenekleri için başarı ölçütleri.....	39
Tablo 10. Seçilen karışık etkili modelin parametre ve varyans değerlerine ilişkin tahminler	40
Tablo 11. Farklı kalibrasyon seçeneklerine ilişkin tahmin sonuçları.....	41
Tablo 12. Sabit ve karışık etkili modeller için oransal boy değerlerine göre çeşitli hata değerlerinin değişimi.....	42
Tablo 13. Tek girişli ağaç hacim denklemlerine ilişkin başarı ölçütleri	47
Tablo 14. Çift girişli ağaç hacim denklemlerine ilişkin başarı ölçütleri	47
Tablo 15. Sarıçam için hacim tablolarının karşılaştırılması.....	53

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Sarıçamın dünyadaki yayılış alanları (EUFORGEN, 2009)	7
Şekil 2. Sarıçamın ülkemizdeki yayılış alanları (Çepel ve ark., 1977)	8
Şekil 3. Saf Sarıçam meşcerelerinin ülkemizdeki dağılımı.....	14
Şekil 4. Çalışma alanındaki saf Sarıçam meşcerelerinin yayılışı.....	14
Şekil 5. Sarıçam meşceresinden genel bir görünüm	16
Şekil 6. Sarıçam meşceresinden genel bir görünüm	17
Şekil 7. Sarıçam meşceresinden genel bir görünüm	17
Şekil 8. Sarıçam meşceresinden genel bir görünüm	18
Şekil 9. Sarıçam meşceresinde kesilen ağaçlardan ve yapılan ölçümlerden genel bir görünüm	18
Şekil 10. Sarıçam meşceresinde kesilen ağaçlardan ve yapılan ölçümlerden genel bir görünüm	19
Şekil 11. Sarıçam meşceresinde kesilen ağaçlardan ve yapılan ölçümlerden genel bir görünüm	19
Şekil 12. Sarıçam meşceresinde kesilen ağaçlardan ve yapılan ölçümlerden genel bir görünüm	20
Şekil 13. Sarıçam meşceresinde kesilen ağaçlardan ve yapılan ölçümlerden genel bir görünüm	20
Şekil 14. Modellerin oluşturulmasında (a) ve denetiminde (b) kullanılan verilerin çap-boy ilişkisi.....	22
Şekil 15. Modellerin oluşturulmasında (a) ve denetiminde (b) kullanılan verilerin oransal çap değerlerinin oransal boy değerlerine dağılımı.....	23
Şekil 16. Sarıçam için oransal boy sınıfları itibariyle sabit ve karışık etkili modelin RMSE-SEE değerleri	43
Şekil 17. Nisbi boylar itibariyle sabit etkili (a) ve karışık etkili (b) modeller için hata varyansı	44
Şekil 18. Sabit etkili (a) ve karışık etkili (b) modeller için Lag-hata otokorelasyonu grafikleri	45

Şekil 19. Sarıçam için sabit etkili ve tesadüfi etkili (b_1 ve b_3) parametrelere sahip modeller kullanılarak iki ağaç için gövde şekilli eğrileri.....	46
Şekil 20. Ağaçların hacimlerinin göğüs çapı ve ağaç boyuna göre değişimi.....	50
Şekil 21. Sarıçam tek girişli ağaç hacim eğrilerinin karşılaştırması	54
Şekil 22. Sarıçam çift girişli ağaç hacim eğrilerinin karşılaştırması.....	55



1 GENEL BİLGİLER

1.1 Giriş

Orman Genel Müdürlüğü envanter verilerine göre 2015 yılındaki ülkemizin ormanlık alanı yaklaşık 22.342.935 ha olup, bu ormanlık alan Türkiye'nin % 28,6'sını oluşturmaktadır. Ayrıca 2015 yılı envanter verilerine göre, bu ormanlık alanlarımızdaki servet 1.611.774.193 m³, yıllık cari atım 45.904.083 m³ ve yıllık ortalama hasılat miktarı 18.314.621 m³ olarak saptanmıştır (Anonim, 2015).

Yayılış alanları, ekonomik değeri, artım ve büyüme özellikleri nedenleriyle Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ülkemizin en önemli ağaç türlerinin biridir. Orman Genel Müdürlüğü'nün orman envanteri verilerine göre 2015 yılındaki ülkemizin toplam ormanlık alanının 1.518.929 ha'lık (%6,80) kısmında Sarıçam yayılış göstermektedir. Bu alanın da yaklaşık % 58,1'ini (882.231 ha) verimli kuru ormanı ve yaklaşık % 41,9'unu (636.698 ha) bozuk kuru ormanı kaplamaktadır (Anonim, 2015).

Ülkemizdeki Sarıçam'ın 192.323,2 ha'lık kısmı (yaklaşık % 12,7) Erzurum Orman Bölge Müdürlüğü'nde yer almaktadır. Erzurum bölgesinde yer alan Sarıçam'ın 142.480 ha'ı verimli kuru ormanı ve 49.843,2 ha'ı ise bozuk kuru ormanıdır. Diğer taraftan bu alanların 139.469,1 ha'ı kuru ormanı ve 37.346,9 ha'ı bozuk kuru ormanı olmak üzere toplam 176.816 ha'lık kısmı ise saf Sarıçam meşcerelerinden oluşmaktadır (Anonim, 2015).

Ülkemiz için önemi olan ve yüzölçümünün % 6,80'inini kaplayan bu Sarıçam meşcerelerindeki meşcere hacminin belirlenmesi önem arz etmektedir. Meşcere hacminin belirlenmesinde daha pratik olması nedeniyle genellikle ağaç hacim tabloları veya denklemleri yöntemi daha çok tercih edilmektedir. Fırat (1973)'a göre "Ağaç Hacim Tabloları, Tek Girişli (göğüs çapı), Çift Girişli (göğüs çapı ve boy) ve Çok Girişli (göğüs çapı ve boya ek olarak tepe uzunluğu, tepe yüksekliği, şekil katsayısı, tepe uzunluğunun ağaç boyuna oranı veya gövdenin belirli bir yükseklikteki çap) olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Ağaç hacim tabloları ayrıca,

geçerli oldukları alanın-meşcerenin büyüklüğüne göre de Genel Ağaç Hacim Tabloları, Bölgesel Ağaç Hacim Tabloları ve Yöresel (Lokal) Ağaç Hacim Tabloları olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Yöresel hacim tabloları için 50-100, bölgesel hacim tabloları için 100-500 ve genel hacim tabloları için 1000-5000 adet örnek ağacın seçilmesi yeterli görülmektedir” (Loetsch ve ark., 1973; Kalıpsız, 1984; Kahriman ve ark. 2016).

Sarıçam için Türkiye geneli için hacim tablosu Alemdağ (1967) ve Sun ve ark. (1978) tarafından, bölgesel hacim tabloları Yavuz ve ark. (2010) ve Pehlivan (2010) tarafından Kuzey Anadolu Bölgesi’nde, Şenyurt (2011) tarafından Batı Karadeniz Bölgesinde ve yöresel ağaç hacim tablosu ise Erkin (1956) tarafından Bolu’daki Sarıçam meşcereleri için düzenlenmiştir.

Ağaç hacim denklemleri ile ağaçların hacimleri pratik bir şekilde hesaplanabilirken, ağaçlardan elde edilebilecek tomruk, maden direği, sanayi odunu, kağıtlık ve yakacak odun gibi odun çeşitlerinin miktarları ya da oranları belirlenmemektedir. Bu nedenle hem ayrıntılı hacim tahminlerine olanak sağlayan hem de ağaçlardan elde edilecek odun çeşitlerine ilişkin tahminler yapabilecek yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır (Yavuz ve Saraçoğlu, 1999; Özçelik ve Alkan, 2011; Çakır ve Kahriman, 2018). Yavuz (1995b)’ye göre “Gövde çapı ve hacim denklemleri (Stem taper and volume equations) ile tek ağaçların toprak seviyesinden ağaç gövdesi üzerindeki herhangi bir yükseklik ya da çapa kadar olan kısmına veya ağaç gövdesi üzerinde belirlenen herhangi iki yükseklik ya da çap değerleri arasında kalan bölüme ilişkin hacim tahminleri yapılabilmektedir” (Yavuz ve Saraçoğlu, 1999; Özçelik, 2008). Kozak (2004)’e göre “Özellikle gövde çapı ve gövde hacim modelleri ile elde edilebilecek bu tahminler ile; (i) herhangi bir yükseklikteki gövde çapı, (ii) herhangi bir gövde çapının hangi yükseklikte olduğu, (iii) toplam gövde hacmi, (iv) ticari (satılabilir) 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 elde edilebilmektedir” (Özçelik ve Alkan, 2011; Özçelik ve ark., 2012).

Ormancılıkta ağaçların gövde şekli ile ilgili yapılan ilk çalışmalar, yirminci yüzyılın başlarında Avrupa Ladini, Sarıçam ve Kırmızı Ladin için yapılmıştır. Bu ilk yapılan gövde çapı modeli çalışmalarında ağaç gövdelerinin ticari olarak kullanılabilir

kısımlarının belirlenmesi üzerine yoğunlaşmış ve basit matematiksel denklemlerle ticari odun oranları saptanmaya çalışılmıştır. Çakır (2018)'a göre "1960'lı yılların sonlarına doğru gövdenin ticari (satılabilir) bölümlerine ilişkin hacim değerlerini veren hacim oran denklemleri ile istatistiksel anlamda ilk gövde profili modelleri geliştirilmeye başlanmıştır (Honer, 1967; Burkhardt, 1977; Cao ve ark., 1980; Newnham, 1992). Bu modeller en basit gövde profili modelleri olup Basit-Tek Gövde Profili Modeli (Simple Taper Model) olarak adlandırılmaktadır. Farklı araştırmacılar tarafından pek çok Basit-Tek Gövde Profili Modeli geliştirilmiştir (Munro, 1966; Bruce ve ark., 1968; Kozak ve ark., 1969; Bennet ve Swindel, 1972; Demaerschalk, 1972, 1973; Reed ve Green, 1984; Fang ve Bailey, 1999; Sharma ve Oderwald, 2001). Bu modeller, göğüs çapı (D) ve ağaç boyunun (H) fonksiyonu olarak yerden belirli bir yükseklikteki (hi) gövde çaplarını (di) belirlemeye yarayan modeller biçiminde olup, gövdenin tamamı için ortalama bir şekil katsayısı değeri vermektedirler (Bruce ve ark., 1968; Kozak ve ark., 1969; Bennet ve Swindel, 1972)".

Sonraki yıllarda Parçalı Gövde Profili Modelleri (Segmented Taper Model) geliştirilmiştir. İlk olarak Max ve Burkhardt (1976) tarafından geliştirilen ve gövde çaplarını daha doğru ve tutarlı bir şekilde tahmin eden bu modeller, gövdenin alt kısmını (toprak seviyesine yakın olan) nayloit, orta kısmını parabolit ve üst kısmını ise koni biçiminde varsayarak geliştirilmiştir. Jiang ve ark. (2005)'a göre "Gövde modellerinin tamamı yerine bu şekil farklılıkları gösteren her bir bölüm için ayrı bir polinom oluşturan ve bu polinomları bir modelde birleştiren gövde çapı modelleri, istatistiksel olarak oldukça başarılı sonuçlar sunmuş ve bu model daha sonra pek çok araştırmacı tarafından da değişik ağaç türlerine ilişkin gövde çaplarının tahmin edilmesi amacıyla kullanılmıştır (Demaerschalk ve Kozak, 1977; Cao ve ark., 1980; Byrne ve Reed, 1986). Farklı araştırmacılar tarafından pek çok Parçalı Gövde Profili Modeli geliştirilmiştir (Cao ve ark., 1980; Parresol ve ark., 1987; Farrar, 1987; Clark ve ark., 1991; Fang ve ark., 2000)".

Daha sonraki yıllarda ise Parçalı Gövde Profili Modellerinden farklı olarak gövde çapları ve gövde hacimleri, Değişken-Şekil Gövde Çapı Modelleri (Variable Exponent Stem Profile Equation) kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Kozak, (2004)'a göre "Bu modeller göğüs çapı ve ağaç boyu ile gövde eğrisinin değişim

gösterdiği oransal boy değeri ve bunlardan türetilen pek çok bağımsız değişkenin fonksiyonu olarak oluşturulmuştur. Bu gövde profili modellerinde, ağaç gövdesi dipten uca doğru nayloid, paraboloid ve konik bir formda olduğu varsayılmaktadır (Kozak, 1988; Newnham, 1988; Perez ve ark., 1990). Bununla birlikte, bu modellerin gövde üzerindeki farklı şekillerin hacim hesaplamalarında birleştirilememesi ve en yüksekteki çap değeri için ticari boyun doğrudan hesaplanamayıp, bir iterasyon ile hesaplanmasının gerekli olması gibi bazı olumsuz yönleri de bulunmaktadır (Özçelik ve Alkan, 2011; Özçelik ve ark. 2012; Atalay, 2014). Birçok araştırmacı tarafından Değişken-Şekil Gövde Çapı Modeli geliştirilmiştir (Kozak, 1988, Perez ve ark., 1990; Newnham, 1992; Muhairwe, 1999; Bi, 2000; Lee ve ark., 2003)’’.

Ülkemizde çeşitli gövde çapı modelleri farklı araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir: Taşköprü Orman İşletmesinde Yavuz (1995b) tarafından Sarıçam ve Karaçam için, Doğu Karadeniz Bölgesinde Yavuz ve Saraçoğlu (1999) tarafından Kızılağaç için, Kastamonu yöresinde Sakıcı (2002) tarafından Uludağ Göknaarı için, Artvin Orman İşletme Müdürlüğünde Meydan-Aktürk (2006) tarafından Doğu Ladini ağaç türü için, Mut ve Elmalı yörelerinde Brooks ve ark. (2008) tarafından Kızılçam, Lübnan Sediri ve Toros Göknaarı için, Kastamonu yöresinde Sakıcı ve ark. (2008) tarafından Uludağ Göknaarı meşcereleri için, Erzincan yöresinde Özçelik (2010) tarafından Sarıçam meşcereleri için, Tarsus-Karabucak yöresinde Özçelik ve Alkan (2011) tarafından Ökalyptus ağaçlandırmaları için, Bucak Orman İşletme Müdürlüğünde Özçelik ve ark. (2011) tarafından Kızılçam, Toros Sediri ve Göknaar ağaç türleri için, Isparta Orman Bölge Müdürlüğünde Özçelik ve Brooks (2012) tarafından Kızılçam, Toros Sediri, Toros Göknaarı, Karaçam türleri için, Erzurum Orman Bölge Müdürlüğünde Özçelik ve Brooks (2012) tarafından Sarıçam için, Bucak-Uğurlu Orman İşletme Şefliğinde Özçelik ve ark. (2012) tarafından Kızılçam için, Konya-Beyşehir Orman İşletme Müdürlüğünde Bal (2012) tarafından Karaçam meşcereleri için, Sütçüler Orman İşletme Müdürlüğünde Şahin (2012) tarafından Karaçam meşcereleri için, Trabzon ve Giresun illerinde Ercanlı ve Kahrıman (2013) tarafından Doğu Ladini ve Sarıçam karışık meşcereleri için, Konya - Beyşehir Orman İşletme Müdürlüğünde Özçelik ve Bal (2013) tarafından Karaçam meşcereleri için, Sırçalı Orman İşletme Şefliği’nde Atalay (2014) tarafından Karaçam ağaçları için, Batı Karadeniz yöresinde Şenyurt ve ark. (2014) tarafından saf Sarıçam meşcereleri için,

Adana-Feke'de Ercanlı ve ark. (2014a) tarafından Kızılçam için, Mersin-Tarsus-Buladan ve Cehennemdere Orman İşletme Şefliği'nde Kurt (2014) tarafından Anadolu Karaçamı ağaçları için, Eğirdir Orman İşletme Müdürlüğü'nün Yukarı Gökdere ve Merkez Orman İşletme Şefliklerinde Karaer (2015) ve Özçelik ve Karaer (2016) tarafından Kızılçam ve Karaçam ağaçları için, Zonguldak'taki Dorukan ve Akcasu Orman işletme Şefliklerinde Kaya (2015) tarafından doğal Sarıçam ve Karaçam karışık meşcereleri için, Mersin ilindeki Karabucak Orman İşletme Şefliğinde Göçeri (2015) ve Özçelik ve Göçeri (2015) tarafından Okaliptüs grandis ve Okaliptüs camaldulensis plantasyonları için, Sinop Orman Bölge Müdürlüğü'ndeki Kepez Orman İşletme Şefliğinde Yaşar (2015) ve Özçelik ve Yaşar (2015) tarafından doğal Uludağ Göknarı meşcereleri için gövde çapı ve hacim modelleri geliştirilmiştir.

Gövde çapı gövde hacim modellerinin geliştirilirken tek ağaç üzerindeki farklı yüksekliklerden elde edilen çap değerleri kullanılmaktadır. Aynı ağaç üzerinde ölçülen ve birbiri ile ilişkili olan bu ardışık çap değerleri gövde çapı ve hacim modellerinin oluşturulmasında kullanıldığında, hiyerarşik veri yapısı olmasından dolayı, “otokorelasyon” veya “seri korelasyon” problemi olarak adlandırılan verilerin bağımlılığı söz konusu olabilmektedir (Leites ve Robinson, 2004; Özçelik ve Yaşar, 2015). Searle ve ark. (1992) ve İyit ve ark. (2006)'e göre “Örnek veriler arasındaki bu gibi seri-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 (Kurt, 2014). Bu nedenle, verilerin bağımsızlığı varsayımının sağlanamadığı ve veriler arasında seri korelasyon probleminin olduğu hiyerarşik veri yapılarında; varyans-kovaryans matris yapısının modellenmesine olanak sağlayan Doğrusal Olmayan Karışık Etkili Modelleme (Nonlinear Mixed Effect Models) yaklaşımının kullanılması önerilmektedir (Laird ve Ware, 1982; Keselman ve ark., 1998; Wolfinger ve Chang 1999; Littell ve ark., 2005)”.

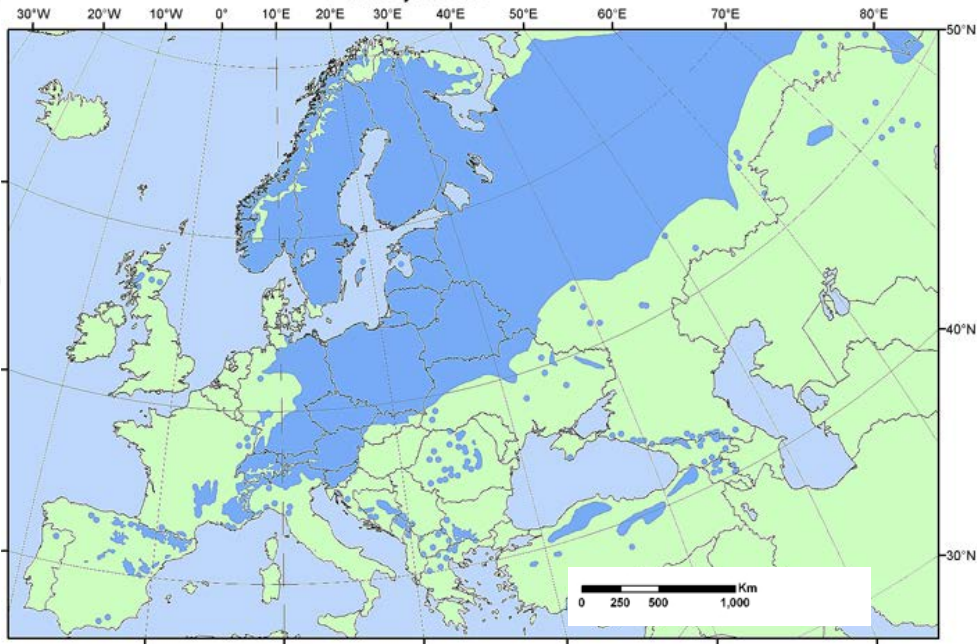
Doğrusal Olmayan Karışık-Etkili Modelleme tekniği kullanılarak farklı araştırmacılar tarafından çeşitli gövde çapı modelleri geliştirilmiştir. Loblolly pine ağaç türü için Tasissa ve Burkhart (1998), *Abies grandis-Pinus contorta-Pinus ponderosa* ağaç türleri için Garber ve Maguire (2003), Loblolly pine (*Pinus taeda* L.) meşcereleri

için Leites ve Robinson (2004), Loblolly pine (*Pinus taeda* L.) için Trincado ve Burkhart (2006), *Pinus cooperi* ağaç türü için Cruz-Cobos ve ark. (2008), Jack pine ve Black spruce türleri için Sharma ve Parton (2009), Black spruce ağaç türü için Lejeune ve ark. (2009), White spruce için Yang ve ark. (2009a), Lodgepole pine türü için Yang ve ark. (2009b), kuzeydoğu Amerika'daki 19 ağaç türü grubu için Westfall ve Scott (2010), Kuzey Amerik-Acadian bölgesindeki önemli ibreli ağaç türleri için Li ve Weiskittel (2010), Kuzey Amerika-Acadian Bölgesindeki 11 ibreli ağaç türü için Li ve ark. (2011), Kızılçam, Toros Sediri ve Gökmar ağaç türleri için Özçelik ve ark. (2011), Loblolly pine türü için Cao ve Wang (2011), Jack pine (*Pinus banksiana* Lamb.) için Subedi ve Sharma (2011), Scots pine ve Sitka spruce ağaç türleri için Fonweban ve ark. (2011), *Pinus occidentalis* için Bueno-López ve Bevilacqua (2012), Scots pine ve Sitka spruce ağaç türleri için Fonweban ve ark. (2012), Norway spruce (*Picea abies* (L.) için Kublin ve ark. (2013), White spruce için Fortin ve ark. (2013), huş meşcereleri için Gómez-García ve ark. (2013), Anadolu Karaçamı için Kurt (2014), Kızılçam için Ercanlı ve ark. (2014a), Uludağ Gökmarı meşcereleri için Özçelik ve Yaşar (2015), Maritime pine için Arias-Rodil ve ark. (2015a), *Cunninghamia lanceolata* türü için Guangyi ve ark. (2015), *Pinus radiata* ağaç türü için Arias-Rodil ve ark. (2015b), Uludağ Gökmarı için Yaşar (2015), *Pinus elliottii* (Engelm.) türü için Schröder ve ark. (2015), *Calocedrus formosana* için Chiu ve ark. (2015), Sarıçam meşcereleri için Gómez-García ve ark. (2016), Karaçam meşcereleri için Şenyurt ve ark. (2017), *Quercus variabilis* için Zheng ve ark. (2017), Toros gökmarı ve Sedir karışık meşcereleri için Dirican (2017), *Loblolly pine* türü için Zhao ve Kane (2017), Toros gökmarı için Yiğit (2018), Doğu Karadeniz Gökmarı ve Doğu Ladini karışık meşcereleri için Çakır (2018) ve Çakır ve Kahrıman (2018) tarafından karışık-etkili modelleme tekniği kullanılarak gövde çapı denklemleri geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, Erzurum Orman Bölge Müdürlüğü Ardahan Orman İşletme Müdürlüğünde yayılış gösteren saf ve doğal Sarıçam meşcereleri için ayrıntılı hacim tahminlerine olanak sağlayan gövde çapı ve gövde hacim modellerinin Karışık Etkili Modelleme yaklaşımı ile geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca tüm gövde hacmini veren tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerinin de geliştirilmesi amaçlanmıştır.

1.2 Sarıçam Türüne ait Genel Bilgiler

Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) türü yayılış alanı ve ekonomik değeri bakımından Türkiye'nin en önemli ağaç türlerinden biridir. Anonim (1994)'e göre "Çam türleri içerisinde en geniş coğrafi yayılışa sahip olan Sarıçam, Avrupa ve Asya'da yaklaşık 3700 km eninde ve 14700 km uzunluğunda (37° –70° N ve 7° –137° E) çok geniş doğal yayılışa sahiptir. Kuzey sınırı İskoçya, Norveç, İsveç ve Finlandiya'nın kuzeyinde 70. enlem derecesine kadar olan yerlerde, Sibirya steplerinde Sibirya Melezi ile birlikte iğne yapraklıların orman sınırını teşkil eder. Güney sınırı ise İspanya'da Pirene dağlarının yüksek kesimlerinde, Alp'lerde, Karpat'larda, serpilmiş durumda Yugoslavya ve Bulgaristan ile Anadolu, Kırım ve Kafkas'larda bulunmaktadır" (Şekil 1).



Şekil 1. Sarıçamın dünyadaki yayılış alanları (EUFORGEN, 2009)

Anşin ve Özkan (2006)'ya göre "*Pinus sylvestris* L. ssp. *hamata* (Steven) Fomin, ülkemizde Eskişehir'in batısındaki Yeşildağ'dan başlayıp doğuya doğru Kuzey Anadolu dağlarının yüksek kesimlerini kaplayarak Sarıkamış üzerinden Kafkas'lara geçen Sarıçam, 38° 34' - 41° 48' kuzey enlemleri (Pınarbaşı Ayancık hattı) ile 28° 00' - 43° 05' (Orhaneli – Kağızman hattı) doğu boylamları arasında doğal yayılışa sahiptir. Ülkemizin en önemli ağaç türlerinden birisi olan sarıçam, doğal olarak saf ya da karışık ormanlar kurmaktadır. Doğu Karadeniz Bölgesinde saf ya da Doğu

Ladini ve Gökmar ile karışık, Orta ve Batı Karadeniz Bölgelerinde saf ya da Gökmar ve Kayın ile karışık, Orta Anadolu'daki Dumanlı, Yıldız ve Akdağı ormanlarında saf, Tokat, Yozgat, Kayseri Pınarbaşı ilçesinin batısı, Kızılcahamam ve Eskişehir-Kütahya arasındaki dağlık yerlerde saf ve karışık, Kuzeybatı ve Batı Anadolu'daki Uludağ ve Dursunbey Alaçam ormanlarında karışık, Karadeniz etkisinin hissedildiği Karadeniz dağlarının güney yamaçlarında ve Çoruh vadisinde ve Kuzeydoğu Anadolu'da Ardahan, Oltu, Göle, Sarıkamış dolaylarında çoğunlukla saf meşcereler oluşturur (Anonim, 1994)". Ülkemizde kapladığı alan itibariyle önemli ağaç türlerimiz içerisinde Meşe, Kızılçam, Karaçam ve Kayından sonra beşinci sırada gelirken, iğne yapraklılar içerisinde ise üçüncü sırada yer almaktadır (Çepel ve ark., 1977) (Şekil 2).



Şekil 2. Sarıçamın ülkemizdeki yayılış alanları (Çepel ve ark., 1977)

Sarıçam, yetişme ortamı koşullarına göre 40 metreye kadar boylanabilen, narın gövdeli, sivri tepeli ve ince dallı veya dolgun ve düzgün gövdeli veyahut yayvan tepeli ve kalın dallı herdem yeşil bir ağaçtır Çepel ve ark. (1977). Anşin ve Özkan (2006)'a göre "Kabuk genç bireylerde ve yaşlı ağaçların üst kesimlerinde tilki sarısı, kirli sarımsı kırmızı ya da kırmızımsı kahverengi bir renktedir. Kök sistemleri genellikle sağlam ve kuvvetli kazık köktür". Çepel ve ark. (1977)'ye göre "Sarıçam, denizden yükseltisi 0-2700 m arasında olan çeşitli yükseklik kademelerinde

bulunabilmekle beraber ortalama 1000-2500 m arasında saf ve karışık meşcereler oluşturmaktadır. Genellikle dağlık bölgelerde yayılmakta ise de yüksek ovalarda ve dar vadi tabalarında da görülmektedir. Sarıçam'ın genellikle kuzey bakılı yamaçları tercih ettiği ifade edilmektedir. Bununla birlikte, güneşli bakılar (SE, S, SW, W) ile gölgeli bakılar (NW, N, ME, E) dağılımı arasında, çok önemli bir fark bulunmadığı ileri sürülmektedir. İyi ve orta bonitetteki meşcerelerin, % 64'ünün gölgeli ve % 36'sının güneşli bakılarda, fena bonitetlerin ise, % 54'ünün gölgeli ve % 46'sının güneşli bakılarda bulunmaktadır. Sarıçam, çok eğimli (%18-36) ve orta eğimli (%10-17) yamaçlarda daha fazla bulunmaktadır. İyi bonitetten kötü bonitete doğru, eğimin arttığı görülmüştür" (Anonim, 1994).

Sarıçam ağaç türünün yayıldığı meşcereler, Karadeniz, İç Anadolu step ve Doğu Anadolu iklim özelliği gösteren yerlerde bulunmaktadır. Çepel ve ark. (1977)'ye göre "Sarıçam ekstrem sıcaklıklara dayanabilen ve ilkbahar donlarından etkilenmeyen bir türdür. Dolayısıyla karasal iklime uyum sağlayabilen bir türdür. Sarıçam tipik bir ışık ağacıdır ve ışık isteği yetiştirme ortamının fakirleşmesi oranında artmaktadır. Sarıçamın ülkemizdeki yayılış alanlarında yıllık sıcaklık ortalamasının, 4,10°C – 14,30°C arasında olduğu ve +39,4°C ile -37°C arasındaki sıcaklıklara karşı duyarlı olmadığı belirtilmektedir. Sarıçam'ın yetiştiği ortamlarda, yıllık yağışın 400-600 mm olduğu, kurak devrenin Temmuz ve Ağustosta bulunduğu, kuraklığa dayanıklı olup fazla yağış istemediği belirtilmekte ise de; Karadeniz makro iklim tipinde 628-1371 mm, İç Anadolu step Makro iklim tipinde 500-878 mm ve Doğu Anadolu step Makro iklim tipinde 500-878 mm ve Doğu Anadolu Makro iklim tipinde ise 556-620 mm yıllık ortalama yağış görüldüğü tespit edilmiştir".

Çepel ve ark. (1977)'ye göre "Sarıçam ağacı genellikle kırıntı bünyeli, gevşek, geçirgen, kumlu kil topraklarını tercih etmekle birlikte, tuz konsantrasyonu fazla olan topraklardan kaçındığı belirtilmektedir. Türkiye'deki Sarıçam alanlarının genel yayılışını kapsayacak şekilde yapılan bir çalışmada, %54'lük bir oranla en yaygın tekstürün kumlu killi balçık, %16'sının kumlu balçık, %14'nün killi balçık, %13'nün kil ve %3'nün ile balçık tekstürü izlemiştir".

1.3 Sarıçam Türünün Amenajman Esasları ve Hasılat Çalışmaları

Ekolojik, botanik ve silvikültürel faktörler yönünden eşit yaşlı orman formu teşkil etmesi nedeniyle ülkemizdeki Sarıçam ormanlarında uygulanan amenajman metodu yaş sınıfları metodudur. Kahrıman (2011)'e göre "Sarıçam meşcerelerinin idare süreleri, başlangıçta en yüksek odun hasılatı veren olgunluk süresi ile teknik olgunluk süresi göz önünde tutularak hesaplanmış, ancak daha sonraları bonitet sınıflarına ait idare süreleri belirlenirken, kerestelik teknik olgunluk sürelerinin idare süresi olarak alınması uygun görülmüştür (Alemdağ, 1967). Alemdağ (1967), ülkemizdeki doğal yolla yetişmiş aynı yaşlı normal Sarıçam meşcerelerine uygulanacak idare sürelerinin tomruk amaçlı üretimler için; iyi bonitet sınıfında 100 yıl, orta bonitet sınıfında 120 yıl ve fena bonitet sınıfında ise 140 yıl, Erdemir (1974) ise, Kuzeydoğu Anadolu'da geniş yayılış gösteren Sarıçam ormanlarının idare sürelerini I., II., III., IV. ve V. Bonitet sınıfları için sırasıyla 110, 120, 130, 140 ve 150 yıl olarak önermişlerdir. Bununla birlikte Geray (1992), müdahale görmüş aynı yaşlı Sarıçam meşcerelerine ilişkin idare sürelerinin I., II., III., IV. ve V. Bonitet sınıfları için sırasıyla 100, 120, 140, 160 ve 180 yıl olarak önermiştir. Bununla birlikte, farklı işletme amaçları ve planlama stratejileri doğrultusunda farklı idare süreleri belirlenebilmektedir. Özellikle maden direği ve selüloz odunu yetiştirmek amacıyla işletilen Sarıçam meşcerelerinin idare süreleri, iyi bonitet sınıfı için 40 yıl, orta bonitet sınıfı için 60 yıl ve fena bonitet sınıfı için 80 yıl olması önerilmiştir (Alemdağ, 1967). Orman Genel Müdürlüğü tarafından asli ağaç türlerimizin idare süreleri 1941, 1955 1973, 1977 ve 1978 tarihlerinde çeşitli tamimlerle değiştirilmiş olup, 1978 yılından itibaren Sarıçam türü için kullanılan idare süreleri iyi bonitet için 80 yıl, orta ve kötü bonitetler için ise 100 yıl olarak alınmaktadır (Anonim 2008). Bu amaçla aynı yaşlı ve maktalı ormanlarda üretim fonksiyonunun ana amaç olduğu ormanlarda teknik olgunluk süresi, üretim fonksiyonu dışındaki diğer fonksiyonlara göre işletilen ormanlarda ise fiziksel olgunluk süresi göz önüne alınarak idare müddeti belirlenmelidir (Asan, 1998; Anonim, 1994). Bu öneri ve değerlendirmeler özellikle günümüzde (son 5-6 yıldan beri) tüm sarıçam meşcereleri için geçerli bir idare süresi yerine, her Orman İşletme Müdürlüğü kendi şartlarına bağlı olarak idare sürelerini belirlemektedir (Anonim 2008). Özellikle ekolojik tabanlı çok amaçlı planlamada ise odun üretimi yanında su üretimi ve karbon depolanması gibi ormanların diğer hizmetlerini gerçekleştirecek şekilde idare süreleri belirlenmekte ve

genellikle odun üretimi için belirlenen idare süresinde daha uzun bir idare süresi önerilmektedir (Başkent ve ark., 2001)”.

Ülkemizde Sarıçam ağaç türüne ilişkin ilk hacim tablosu, Erkin (1956) tarafından Bolu yöresindeki meşcereler için düzenlenmiştir. Sarıçam için genel ağaç hacim tabloları Alemdağ (1967) ve Sun ve ark. (1978) tarafından, bölgesel ağaç hacim tabloları Yavuz ve ark. (2010) ve Pehlivan (2010) tarafından Kuzey Anadolu Bölgesi’nde düzenlenmiştir. Erzincan yöresi Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) meşcereleri için uyumlu gövde çapı ve gövde hacim modeli Özçelik (2010) tarafından geliştirilmiştir. Batı Karadeniz Yöresi Sarıçam meşcereleri için uyumlu Gövde Çapı ve Gövde Hacim Denklemleri Şenyurt ve ark. (2014) tarafından Karışık Etkili Modelleme ile geliştirilmiştir. Kahrıman (2011)’e göre “Türkiye’deki Sarıçam meşcerelerinin büyüme ilişkilerini belirlemeye yönelik ilk çalışma Alemdağ (1967) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada Sarıçamın teşkil ettiği ormanların verim kapasiteleri, kuruluşları ve işletme esasları belirlenmiştir. Daha sonraki yıllarda, Sarıkamış, Göle ve Oltu Orman İşletmeleri sınırları içerisinde yer alan müdahale görmemiş ve saf Sarıçam meşcereleri için yöresel normal hasılat tablosu geliştirilmiştir (Erdemir, 1974). Sözü edilen bu iki çalışmada, müdahale görmemiş normal sıklıktaki Sarıçam meşcerelerinin büyüme ilişkileri, normal hasılat tabloları ile ortaya konulmuştur. Ayrıca, Karadeniz Bölgesi saf ve karışık Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) meşcereleri için mekanistik büyüme modelleri geliştirilmiş, biyokütle ve karbon depolama miktarları belirlenmiştir (Yavuz ve ark. 2010). Diğer taraftan, müdahale görmüş meşcereler için yöresel sıklığa bağlı hasılat tablosu ise, Erzurum Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde yer alan Yalnızçam ve Uğurlu Orman İşletme Şeflikleri sınırları içerisinde yer alan Sarıçam meşcereleri için geliştirilmiştir (Ercanlı ve ark., 2007a)”. Batı Karadeniz yöresi sarıçam meşcerelerinde artım ve büyüme ilişkileri Şenyurt (2011) tarafından ortaya konulmuştur. Çamkoru araştırma ormanı (Çamlıdere-Ankara) saf, aynı yaşlı ve doğal Sarıçam meşcerelerinin büyüme özellikleri Fakılı (2012) tarafından ve Ilgaz Dağı üst orman zonundaki (Alpinetum Kuşağı) Sarıçam meşcerelerinde artım ve büyüme ilişkileri Carus (2002) tarafından ortaya konulmuştur. Ayrıca, Kahrıman (2011) tarafından Karadeniz Bölgesinde doğal olarak yayılış gösteren Sarıçam-Doğu Kayını karışık meşcerelerinde ve Ercanlı (2010) tarafından Trabzon ve Giresun Orman Bölge Müdürlüklerindeki Sarıçam-

Doğu Ladini karışık meşcereleri için meşcere ve tek ağaç bazında büyüme modelleri geliştirilmiştir. Erzurum - Yalnızçam ve Uğurlu Orman İşletme Şeflikleri sınırları içerisinde yer alan doğal ve saf Sarıçam meşcerelerinin hacim artımının, meşcere yaşı, bonitet endeksi ve sıklık derecelerine göre değişimi Ercanlı ve ark. (2007b) tarafından ortaya konulmuştur. Çankırı yöresi Sarıçam meşcereleri için Ercanlı ve ark. (2014b) tarafından dinamik bonitet endeks modelleri otoregresif modelleme ile geliştirilmiştir. Batı Karadeniz yöresi Sarıçam meşcereleri için bonitet tablosu Şenyurt ve Saraçoğlu (2012) tarafından düzenlenmiştir.



2 MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Materyal

Bu çalışmada, materyal olarak Erzurum Orman Bölge Müdürlüğü Ardahan Orman İşletme Müdürlüğü'ndeki saf ve doğal Sarıçam meşcerelerinde kesilen 137 adet örnek ağaçta ölçülen gövde çapı verileri kullanılmıştır. Ardahan yöresindeki saf ve karışık Sarıçam alanlarının Orman İşletme Şefliklerindeki yüzölçümleri ve örnek ağaçların bu Orman İşletme Şefliklerine göre dağılımı Tablo 1'de verilmiştir. Örnek ağaçlar alınırken saf Sarıçam meşcerelerinin Orman İşletme Şefliklerine alansal olarak dağılımına özen gösterilmeye çalışılmıştır. Örnek ağaçlar genellikle üretim yapılan sahalardan elde edildiğinden, bu üretim yapılan sahalardan amacımıza uygun ağaçlarda ölçümler yapılmıştır. Bundan dolayı bazı işletme şefliklerinde daha az veya daha fazla sayıda ağaçta ölçüm yapılmak zorunda kalınmıştır.

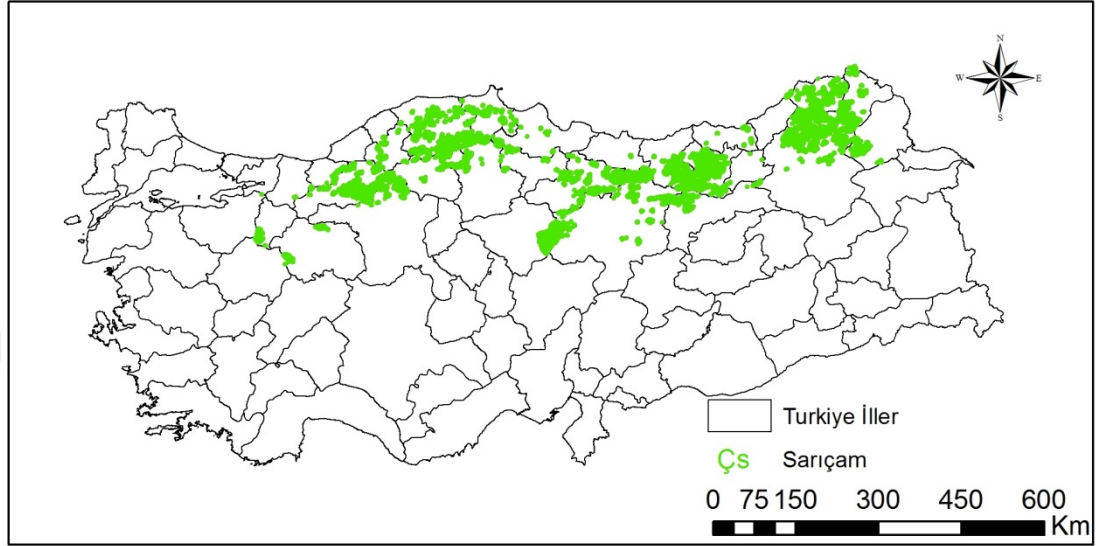
Tablo 1. Orman İşletme Şefliği bazında örnek ağaç sayıları

Orman İşletme Şefliği	Saf Sarıçam (ha)	Karışık Sarıçam (ha)	Toplam Sarıçam (ha)	Örnek ağaç sayısı
Ardahan	3.819,4	-	3.819,4	33
Köroğlu	4.525,1	-	4.525,1	24
Posof	1.582,6	873,1	2.455,3	23
Uğurlu	7.865,0	-	7.865,0	32
Yalnızçam	6.314,2	180,5	6.494,7	25
Toplam	24.106,3	1.053,6	25.159,5	137

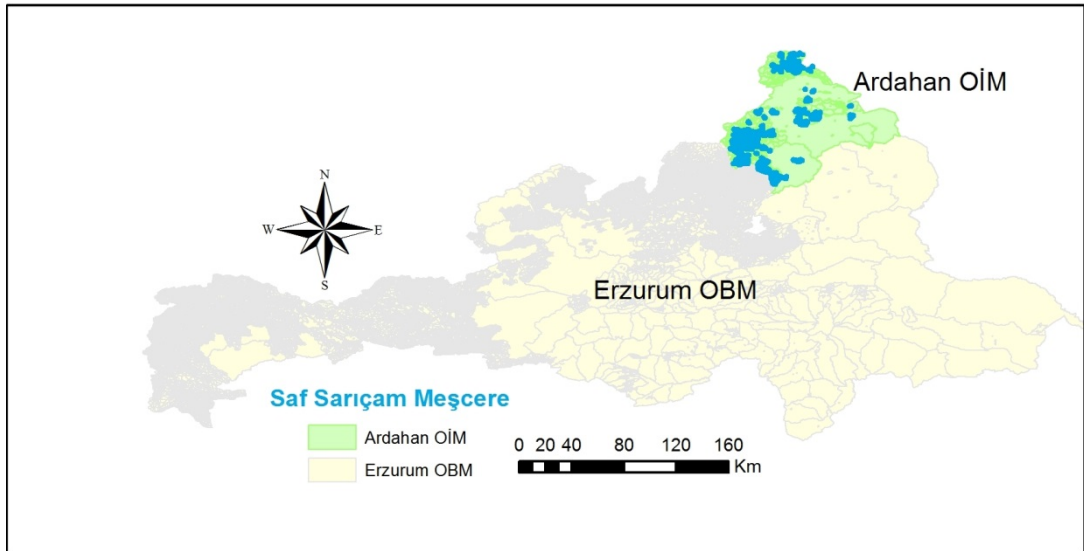
Erzurum Orman Bölge Müdürlüğü'nün alanı 6.628.733 ha olup, bu alanın 541.924 ha (%8,18)'i ormanlık alanlardan oluşmaktadır. Erzurum Orman Bölge Müdürlüğü'ndeki bu ormanlık alanın 193.408 ha (%35,69)'i verimli orman vasfındadır. Diğer taraftan, Erzurum Orman Bölge Müdürlüğü'ndeki bu ormanlık alanın 176.816 ha'lık kısmını saf Sarıçam ve 15.507 ha'lık kısmını karışık Sarıçam olmak üzere toplamda 192.323 ha Sarıçam meşcereleri oluşturmaktadır (Anonim, 2015).

Ardahan Orman İşletme Müdürlüğü'nün yüzölçümü 547.671 ha olup, bu alanın 30.757,4 ha (%5,6)'i ormanlık ve 516.913,6 ha (%94,4)'i ise ormansız (açık) alanlardan oluşmaktadır. Ormanlık vasfında olan alanın da 24.343,3 ha (%79)'i

verimli orman, 6.414,1 ha (%21)'ı ise verimsiz ormandır. Çalışma alanı olan Ardahan yöresindeki bu ormanlık alanın 24.106,3 ha'lık kısmını saf Sarıçam meşcereleri oluşturmaktadır. (Anonim, 2015). Saf sarıçam meşcerelerinin çalışma alanındaki yayılışı Şekil 3 ve 4'de verilmiştir.



Şekil 3. Saf Sarıçam meşcerelerinin ülkemizdeki dağılımı



Şekil 4. Çalışma alanındaki saf Sarıçam meşcerelerinin yayılışı

Çalışmaya konu olan saf Sarıçam meşcerelerinin yer aldığı Ardahan ilinde ($40^{\circ}45'24''$ - $41^{\circ}36'13''$ kuzey enlemi, $42^{\circ}25'43''$ - $43^{\circ}29'17''$ doğu boylamı) hava sıcaklığı aylık ortalama $-11,1$ - $16,4^{\circ}\text{C}$ (yıllık ortalama $3,9^{\circ}\text{C}$) arasında değişmekte, en düşük sıcaklık ise $-39,8^{\circ}\text{C}$ ile $-2,2^{\circ}\text{C}$ arasında seyretmekte, en yüksek sıcaklık ise 35°C 'ye

ulaşmaktadır. Ortalama yıllık toplam yağış 573,9 mm iken, yıllık ortalama bağıl nem % 65-71 arasında değişmektedir (Anonim, 2016). Ardahan'da karasal iklim hakim olup; kışlar uzun (7 ay) sürer; ilkbahar ve sonbahar çok kısa sürer; yaz ilkbahar mevsimi serinliğinde gerçekleşir.

Bu çalışmada 137 adet Sarıçam ağacında ölçümler yapılmıştır. Örnek ağaçlar, üretim sahalarının içerisinde kesilen ağaçlardan ve silvikültürel işlemlerin yapıldığı alanlardan elde edilmiştir. Ardahan Orman İşletme Müdürlüğü'nün üretim sahalarında silvikültürel amaçlarla kesilen farklı özelliklere sahip ağaçlardan, tez amaçları doğrultusunda aşağıda ifade edilmiş olan örnek ağaç özelliklerini taşıyan ağaçlar, örnek ağaç olarak belirlenmiş ve gerekli ölçümler gerçekleştirilmiştir. Örnek ağaçların seçiminde; değişik çap ve boy kademelerine de mümkün olduğunca eşit ve dengeli bir biçimde dağıtılmasına ve hacim değişkenliğini iyi bir şekilde yansıtmasına özen gösterilmiştir.

Bu çalışmadaki örnek ağaçlar kütük yüksekliğinden (0.3 m) kesilerek, dip kütük (0,30) ve göğüs yüksekliği çapı (1,30) ve daha sonra sırasıyla 1'er metre ara ile düzenli bir şekilde olacak şekilde 2,3 3,3 4,3 ... metrelerdeki çaplar ölçülmüştür. Ayrıca ağaçların boyları da çelik şerit metre ile m olarak ölçülmüştür. Gövde üzerinde daire biçimli olmayan kısımların çapları, gövde kesitine dik iki yönde olacak şekilde ölçülmüş ve bu iki ölçümün ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

Örnek ağaçların alındığı meşcerelere ve ağaç üzerinde yapılan ölçümlere ilişkin genel görünüm Şekil 5-13'de verilmiştir.

Bu çalışma kapsamında ölçülen örnek ağaçların gelişim çağlarına göre dağılımları, çap, boy ve hacim değişimleri Tablo 2'de verilmiştir. Sarıçam için meşcere gelişim çağlarına göre örnek ağaçların dağılımı a, b, c, d ve e çağları için sırasıyla 4, 22, 48, 39 ve 24 adettir. Meşcere gelişim çağlarındaki ortalama çap değerleri sırasıyla 6,6; 16,6; 27,8; 43,1 ve 60,7 cm ve ortalama boy değerleri ise 7,9; 16,0; 19,8; 23,3 ve 27,5 m olarak hesaplanmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Örnek ağaçların meşcere gelişim çağlarına göre dağılımları ve çap, boy, hacim değerlerinin değişimi

Gelişim Çağı	Çap Sınıfı Sınırları	Çağ Sınıfı Simgesi	Değişken	Veri Sayısı	Min.	Mak.	Ort.	Std. Sapma
Gençlik ve Sıklık	0,0 - 7,9	a	Çap (cm)	4	6,0	7,5	6,6	0,7
			Boy (m)		6,6	9,1	7,9	1,2
			Hacim (m ³)		0,008	0,022	0,015	0,006
Sırlıklık ve Direklik	8,0 - 19,9	b	Çap (cm)	22	12,0	19,6	16,6	2,0
			Boy (m)		7,2	20,5	16,0	3,7
			Hacim (m ³)		0,045	0,271	0,178	0,070
İnce Ağaçlık	20,0 - 35,9	c	Çap (cm)	48	20,0	35,5	27,8	5,0
			Boy (m)		11,9	27,7	19,8	3,0
			Hacim (m ³)		0,129	1,218	0,615	0,290
Orta Ağaçlık	36,0 - 51,9	d	Çap (cm)	39	36,0	51,4	43,1	4,2
			Boy (m)		14,7	28,8	23,3	3,4
			Hacim (m ³)		0,689	2,500	1,570	0,450
Kalın Ağaçlık	>52,0	e	Çap (cm)	24	52,4	74,5	60,7	6,3
			Boy (m)		22,2	32,0	27,5	2,6
			Hacim (m ³)		2,110	5,920	3,592	1,020



Şekil 5. Sarıçam meşceresinden genel bir görünüm



Şekil 6. Sarıçam meşceresinden genel bir görünüm



Şekil 7. Sarıçam meşceresinden genel bir görünüm



Şekil 8. Sarıçam meşçeresinden genel bir görünüm



Şekil 9. Sarıçam meşçeresinde kesilen ağaçlardan ve yapılan ölçümlerden genel bir görünüm



Şekil 10. Sarıçam meşceresinde kesilen ağaçlardan ve yapılan ölçümlerden genel bir görünüm



Şekil 11. Sarıçam meşceresinde kesilen ağaçlardan ve yapılan ölçümlerden genel bir görünüm



Şekil 12. Sarıçam meşceresinde kesilen ağaçlardan ve yapılan ölçümlerden genel bir görünüm



Şekil 13. Sarıçam meşceresinde kesilen ağaçlardan ve yapılan ölçümlerden genel bir görünüm

Bu çalışma kapsamında kesilen 137 adet örnek ağaç gövdesi üzerinde toplam 2939 adet çap ölçümü yapılmıştır. Çalışmada kullanılan veriler ikiye ayrılmıştır: (i) gövde hacim modellerinin parametrelerinin tahmininde kullanılan veriler (I. grup verileri: toplam verinin yaklaşık % 80'i (110 ağaç: 2340 gövde çapı)) ve (ii) bu modellerin meşçereye uygunluğunun denetiminde kullanılan veriler (II. grup verileri: toplam verinin yaklaşık % 20'si (27 ağaç: 599 gövde çapı)). Tablo 3'de Sarıçam için olmak üzere model ve kontrol verilerinin, 4'er cm'lik çap ve 2'şer m'lik boy basamaklarına dağılımı verilmiştir.

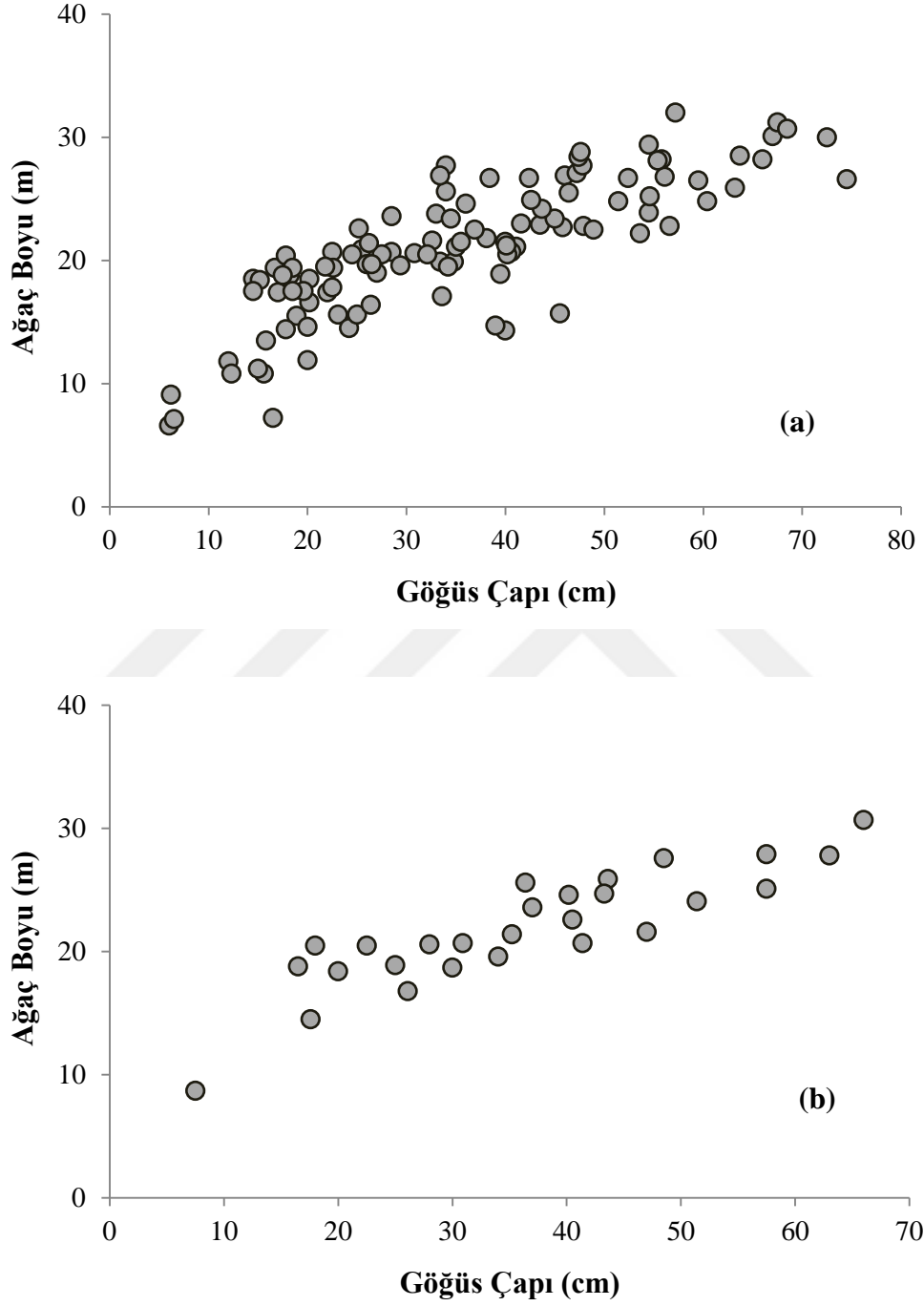
Tablo 3. Modellerin oluşturulmasında ve denetiminde kullanılan verilerin çap ve boy sınıflarına dağılımı

Çap (cm)	Boy (m)														Σ
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	
8	1	1(1)	1												3(1)
12			1	1											2
16		1	1	1	2(1)	5(1)	2								12(2)
20				1	1	2	4(1)	2(1)							10(2)
24					1	2	2(1)	4(1)	1						10(2)
28						1(1)		7(1)	1	1					10(2)
32							1(1)	3(1)	1	1	1				7(2)
36								2(1)	3(1)	2(1)	1(1)	1			9(4)
40					2		1	2(1)	4(1)	1(1)	1				11(3)
44						1			2	3(1)	1(1)				7(2)
48									2(1)		2	4(1)			8(2)
52									1	1(1)	1				3(1)
56									1	1	2(1)	2(1)	1	1	8(2)
60										1	1				2
64											1	1(1)			2(1)
68												1	2	1	4
72													1		1
76											1				1
Σ	1	2(1)	3	3	6(1)	6(1)	13(4)	22(6)	16(3)	11(4)	12(3)	9(3)	4(1)	2	110(27)

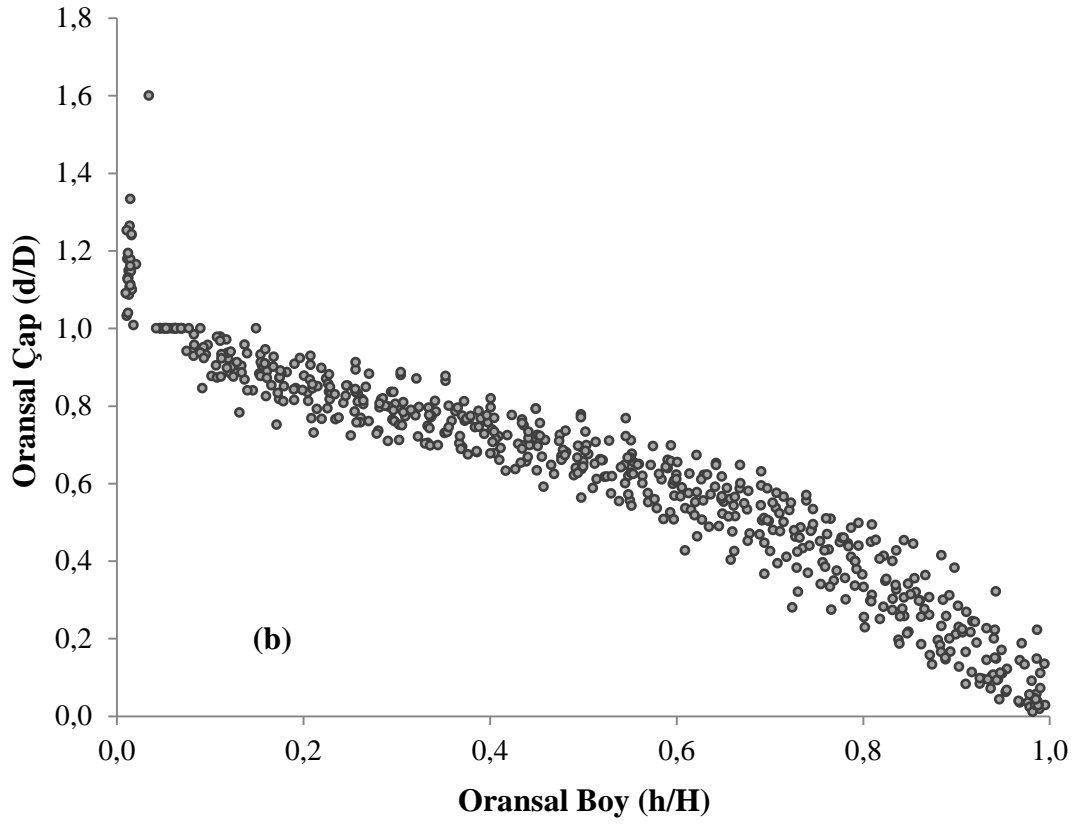
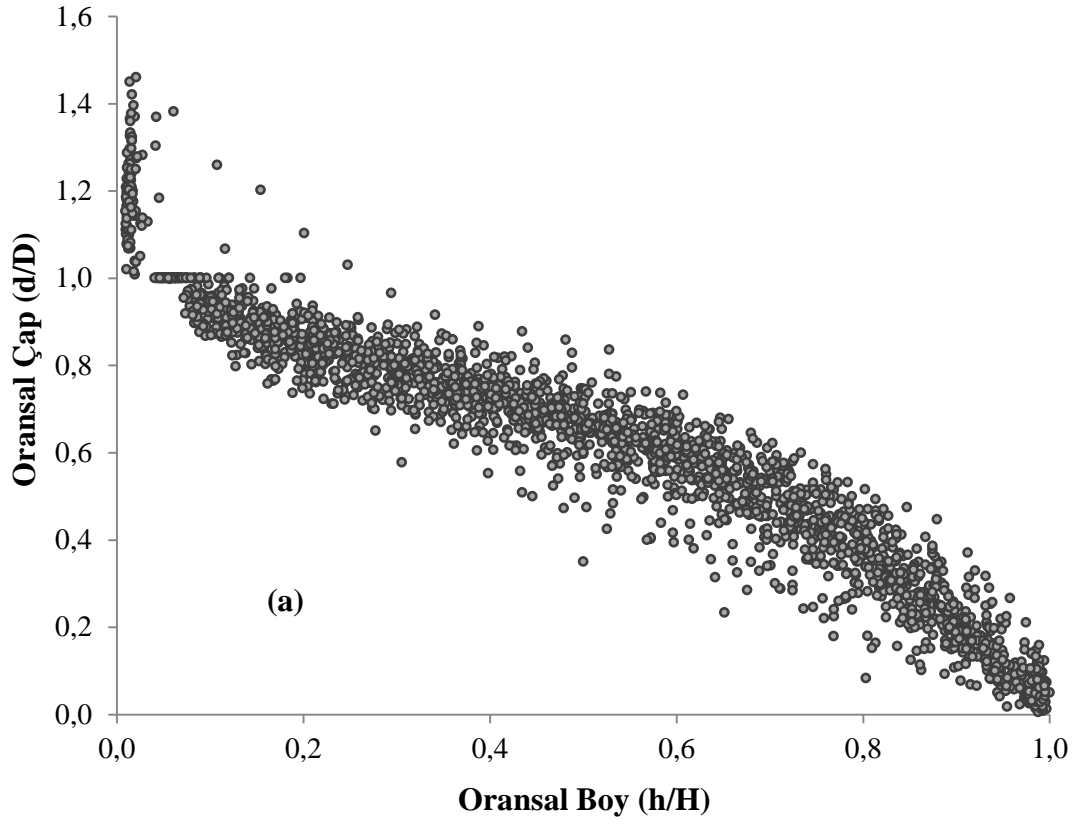
*parantez içindeki değerler, modellerin denetiminde kullanılan verilerdir

Şekil 14'de Sarıçam için, gövde çapı denklemlerinin oluşturulmasında ve denetiminde kullanılan verilerin göğüs çapı-boy ilişkisi verilmiştir. Ayrıca Şekil

15’de ise hem model verileri ve hem de kontrol verileri için oransal çapların oransal boy değerlerine göre dağılımı verilmiştir.



Şekil 14. Modellerin oluşturulmasında (a) ve denetiminde (b) kullanılan verilerin çap-boy ilişkisi



Şekil 15. Modellerin oluşturulmasında (a) ve denetiminde (b) kullanılan verilerin oransal çap değerlerinin oransal boy değerlerine dağılımı

2.2 Metod

2.2.1 Gövde Çapı Denklemleri

Hacim denklemlerine uygunluğuna göre Gövde Çapı Modelleri ikiye ayrılmaktadır: (i) Uyumlu Gövde Profili Modelleri (Noncompatible Stem Profile Models), (ii) Uyumsuz Gövde Profili Modelleri (Compatible Stem Profile Models) (Reed ve Green, 1984). Yavuz (1995a)'ya göre "Gövde profili modeli ile bir ağaç hacmi denklemi üretilemeyip, hacim hesapları tahmin edilen çap değerleri üzerinden yapılıyorsa bu modellere "Uyumsuz Gövde Profili Modelleri" adı verilmektedir. Bir gövde profili denkleminin toprak seviyesi ile uç nokta arasında integrali alındığında elde edilen hacim miktarının, ağaç hacim denklemi ile hesaplanan gövde hacmine eşit olması durumunda, bu tür gövde profili modellerine Uyumlu Gövde Profili Modelleri adı verilmektedir".

1900'lü yıllardan beri değişik formlarda pekçok gövde çapı modeli geliştirilmiştir. Bu Gövde Profili Modelleri, Diéguez – Aranda ve ark. (2006)'na göre "basit gövde profili modelleri (Kozak ve ark., 1969; Demaerschalk, 1972; Demaerschalk, 1973), Değişken-Form Gövde Profili Modelleri (Kozak, 1988; Newnham, 1992; Bi, 2000; Lee ve ark., 2003; Kozak, 2004), ve Parçalı Gövde Çapı Modelleri (Max ve Burkhart, 1976; Parresol ve ark., 1987; Fang ve ark., 2000; Jiang ve ark., 2005) olmak üzere üç sınıfa ayrılabilir". Bu gövde çapı modellerinin başarısı, ağaç türüne, veri setine ve kullanılan modelin formuna bağlı olarak değişmektedir (Sakıcı ve ark. 2008; Özçelik ve ark., 2011; Şenyurt ve ark., 2017). Bennet ve Swindel (1972)'ye göre "Birinci gruptaki modeller, göğüs çapı ve ağaç boyunun fonksiyonu olarak belirli bir yükseklikteki gövde çaplarını belirlemeye yarayan modeller biçiminde olup, gövdenin tamamı için ortalama bir şekil katsayısı değeri vermektedir" (Kozak, 1988; Newnham, 1992). Newnham (1988)'e göre "İkinci grup modellerde bir ağaç gövdesinin, dipten tepeye doğru nayloid, paraboloid ve konik parçalardan oluştuğu düşünülmektedir (Kozak, 1988; Perez ve ark., 1990; Kozak 2004). Ancak, ağaç gövdesi üzerindeki farklı şekillerin (gövde kısımları) hacim hesaplamalarında birleştirilememesi ve ticari boyun bir iterasyon-orantı ile hesaplanmasının gerekliliği, bu modellerin dezavantajıdır". Fang ve ark. (2000)'e göre "son gruptaki modeller ise ağaç gövdesini parçalara ayırmakta ve her parçayı ayrı bir şekilde tanımlaması sayesinde, tüm ağaç gövdesini gerçeğe en yakın şekilde ortaya koyabilmektedir

(Demaerschalk ve Kozak, 1977; Cao ve ark., 1980; Byrne ve Reed, 1986). Diğer taraftan, üçüncü grup modeller ile ağaçların toplam hacim ve ticari hacimleri, hacim denklemlerine dönüştürülebilen denklemleri ile kolaylıkla hesaplanabilmektedir”.

Bu tez çalışmasında daha önce yapılan bilimsel çalışmalarda da tercih edilen dört adet gövde çapı ve gövde hacim modeli (Model 1: Max ve Burkhart, 1976; Model 2: Parresol ve ark., 1987; Model 3: Jiang ve ark., 2005; Model 4: Fang ve ark., 2000) kullanılmıştır. Bu gövde çapı modelleri Parçalı Gövde Profili Modeli olup, aynı zamanda hepsi de uyumlu gövde profili modelleridir. Bu tezde kullanılan 4 farklı gövde profili modeli Tablo 4’de verilmiştir. Jiang ve ark. (2005) modeli, Clark ve ark. (1991)’in önerdiği Segmented Polinomial Gövde Profil Denklemini esas alarak, çeşitli dönüşümler yapılarak daha az parametreye sahip yeni bir denklem geliştirilmiş formudur. Çakır (2018)’e göre “Bu model ile ağaç gövdesi dört parçaya ayrılmıştır. (i) Dip kütük ile göğüs yüksekliği ile arası; (ii) 1.30 ile 5.30 m. arası olan alt gövde bölümü; (iii) 5.30 m ile toplam ağaç boyunun % 40-70’lık bölümü arasındaki orta gövde bölümü; (iv) ağaç boyunun % 40–70’lık kısmından daha sonraki üst gövde bölümü”.

Bu tez çalışmasında gövde çapı ve hacimlerinin tahmin edilmesinde kullanılan Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi için SAS / STAT® 9.0 istatistik yazılımında bulunan PROC MODEL prosedürü kullanılmıştır (SAS Institute, 2004). Bu amaçla Ardahan yöresi saf Sarıçam meşcereleri için geliştirilen gövde çapı ve hacim modellerinin tahmin başarılarını değerlendirmek amacıyla, “Kozak ve Smith (1993) ve Castedo-Dorado ve ark. (2006) tarafından önerilen ve Byrne ve Reed, (1986), Muhairwe, (1999), Jiang ve ark., (2005), Diéguez – Aranda ve ark.,(2006), Brooks ve ark., (2007), Sakıcı ve ark., (2008), Özçelik ve Brooks, (2012),. Atalay, (2014), Çakır ve Kahrıman (2018) tarafından kullanılan Düzeltilmiş Belirtme Katsayısı (R_{adj}^2), Tahminin Standart Hatası (SEE), Ortalama Hata (\bar{E}), Ortalama Mutlak Hata ($|\bar{E}|$), Akaike Bilgi Ölçütü (AIC) ve Bayesian Bilgi Ölçütü (BIC) ölçütleri kullanılmıştır. Bu ölçüt değerlerinden belirtme katsayısı değerlerinin olabildiğince büyük ve 1’e yakın olması ve Tahminin Standart Hatası, Ortalama Hata ve Ortalama Mutlak Hata, Akaike Bilgi Ölçütü ve Bayesian Bilgi Ölçütü kriterlerinin değerlerinin ise küçük olması istenilmektedir” (Castedo-Dorado ve ark., 2006).

Tablo 4. Çalışma kapsamında kullanılan gövde çapı modelleri

Model adı	Model
Max ve Burkhart (1976)	$d = D[b_1(Z - 1) + b_2((Z)^2 - 1) + b_3(a_1 - Z)^2 I_1 + b_4(a_2 - Z)^2 I_2]^{0.5}$ $I_i = \begin{cases} 1 & Z \leq a_i \\ 0 & Z \geq a_i \end{cases} \quad i = 1,2$ $Z = \frac{h}{H}$
Parresol ve ark. (1987)	$d = D\{Z_i^2(b_1 - b_2 Z_i) + (z_i - a)^2[b_3 + b_4(z_i + 2a)]\}^{0.5}$ $I = \begin{cases} 1 & \text{Şayet } Z \geq a_1 \\ 0 & \text{Şayet } Z < a_1 \end{cases}$ $Z = \frac{H - h}{H}$
Jiang ve ark. (2005)	$d = \left\{ \begin{aligned} & I_S \left[D^2 \left(1 + \frac{\left(1 - \frac{h}{H}\right)^{b_1} - \left(1 - \frac{1,30}{H}\right)^{b_1}}{1 - \left(1 - \frac{1,30}{H}\right)^{b_1}} \right) \right] \\ & + I_B \left[D^2 - \frac{(D^2 - F^2) \left(\left(1 - \frac{1,30}{H}\right)^{b_2} - \left(1 - \frac{h}{H}\right)^{b_2} \right)}{\left(1 - \frac{1,30}{H}\right)^{b_2} - \left(1 - \frac{5,30}{H}\right)^{b_2}} \right] \\ & + I_T \left[F^2 \left(b_4 \left(\frac{h - 5,30}{H - 5,30} - 1 \right)^2 + I_M \left(\frac{1 - b_4}{b_3^2} \right) \left(b_3 - \frac{h - 5,30}{H - 5,30} \right)^2 \right) \right] \end{aligned} \right\}^{0.5}$ $I_S = \begin{cases} 1 & h < 1,30 \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases} \quad I_B = \begin{cases} 1 & 1,30 \leq h < 5,30 \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases}$ $I_T = \begin{cases} 1 & h < 5,30 \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases} \quad I_m = \begin{cases} 1 & h < (5,30 + b_3(H - 5,30)) \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases}$
Fang ve ark. 2000	$d = c_1 [H^{(k-b_1)/b_1} (1 - Z)^{(k-\beta)/\beta} \alpha_1^{I_1+I_2} \alpha_2^{I_2}]^{0.5}$ $Z = \frac{h}{H} \quad p_1 = \frac{h_1}{H} \quad p_2 = \frac{h_2}{H}$ $I_1 = 1, \text{ eğer } p_1 \leq q \leq p_2; 0 \text{ aksi takdirde}$ $I_2 = 1, \text{ eğer } p_2 \leq q \leq 1; 0 \text{ aksi takdirde}$ $\beta = b_1^{1-(I_1+I_2)} b_2^{I_1} b_3^{I_2}$ $c_1 = \sqrt{\frac{\alpha_1 D^{\alpha_2} H^{\alpha_3 - k/b_1}}{b_1(r_0 - r_1) + b_2(r_1 - \alpha_1 r_2) + b_3(\alpha_1 r_2)}}$ $\alpha_1 = (1 - p_1)^{(b_2 - b_1)k/b_1 b_2} \quad \alpha_2 = (1 - p_2)^{(b_3 - b_2)k/b_2 b_3}$ $r_0 = ((1 - h_{st})/H)^{k/b_1} \quad r_1 = (1 - p_1)^{k/b_1} \quad r_2 = (1 - p_2)^{k/b_2}$

Bu denklemlerde;

$d = h$ yüksekliğindeki kabuklu göğüs çapı (cm),

D = Kabuklu göğüs çapı (cm),

h = Ölçüm noktasının yerden yüksekliği (m),

H = Toplam ağaç boyu (m),

a_1, a_2 = Max ve Burkhardt (1976) denklemi için örnek ağaçlardan tahmin edilen katılma noktalarını,

a = Parresol ve ark. (1987) denklemi için örnek ağaçlardan tahmin edilen katılma noktasını,

F = 5.30 m deki kabuklu ağaç çapını (Girard'ın form class boyutu)

h_1, h_2 = Fang ve ark. (2000) denklemi için örnek ağaçlardan tahmin edilen katılma noktalarını,

k = çapın kesit yüzeyine çevrilmesi için kullanılan sabit bir katsayıyı ($\Pi/40000$: 0.0000785),

h_{st} = ağaçların kütük yüksekliğini (m),

a_1 - a_3 ; b_1 - b_4 ; p_1 - p_2 = regresyon katsayılarını göstermektedir.

Belirtme Katsayısı
$$R_{adj}^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 (n-1)}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 (n-p)} \right) \quad (1)$$

Tahminin Standart Hatası
$$SEE = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-p}} \quad (2)$$

Ortalama Hata
$$\bar{E} = \frac{(\sum E)}{n} = \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)}{n} \quad (3)$$

Ortalama Mutlak Hata
$$|\bar{E}| = \frac{(\sum |E|)}{n} = \frac{\sum |y_i - \hat{y}_i|}{n} \quad (4)$$

Akaike Bilgi Ölçütü
$$AIC = -2 \ln(L) + 2k \quad (5)$$

Bayesian Bilgi Ölçütü
$$BIC = -2 \ln(L) + k \cdot \ln(n) \quad (6)$$

Burada, n: veri sayısını, p: parametre sayısını, y_i : belirli bir yükseklikte ölçülen çap değerini, \bar{y} : belirli bir yükseklikte ölçülen çap değerinin ortalamasını, \hat{y}_i : model ile tahmin edilen çap değerini, k tahmin edilen sabit etkili ve rastgele etkili varyans bileşeni sayısını, L Logaritmik Likelihood fonksiyonunun (ML) maksimum değerini göstermektedir.

Bu tez çalışmasında kullanılan dört gövde çapı modelinden en başarılı olan modele ilişkin tahminlerin tutarlılığı, gövde çapı modellerinin oluşturulmasında kullanılmayan veriler ile denetlenmiştir. Bu amaçla toplam gövde çapı verisi olan 2939 gövde çapı verisinin; yaklaşık % 80'i (2340 gövde çapı) I. grupta yer alarak gövde çapı modellerinin parametrelerinin tahmini için ve geriye kalan yaklaşık %20'si ise (599 gövde çapı) II. grupta yer alarak bu modellerin denetimi için kullanılmıştır. En başarılı gövde profili modelinin belirlenmesinde kullanılmamış 599 gövde çapı verisine (27 örnek ağaçtan elde edilmiş) ilişkin ölçülen ve tahmini çap değerleri, hem grafiksel olarak karşılaştırılmış ve hem de geliştirilen denklemin uygunluğu “t testi: Wilcoxon Testi” ile analiz edilmiştir.

2.2.2 Karışık Etkili Modelleme ile Gövde Çapı Modelinin Geliştirilmesi

Bu tez çalışmasında kullanılan uyumlu ve parçalı 4 gövde çapı modelinden en başarılı olan belirlenmesinden sonra, tahmin başarısı en yüksek gövde profili modelinin parametreleri “Karışık Etkili Modelleme Yöntemi” ile tahmin edilmiştir.

Gövde çapı modellerinin geliştirilmesinde, değişik çap ve boydaki her bir ağacın gövde boyunca ölçümü yapılan gövde çapları kullanılmaktadır. Bu ölçümü yapılan çap değerleri aynı ağaç gövdesinden elde edildiğinden, veriler birbiri ile bağımlıdır (seri korelasyon “otokorelasyon”). Gövde çapı modeli geliştirilmesinde birbiri ile bağımlı olan bu çap değerleri kullanıldığında, regresyon analizi temel varsayımlarından olan verilerin bağımsızlığı ilkesi gözardı edilmektedir. Searle ve ark. (1992) ve İyit ve ark. (2006)'e göre “Özellikle regresyon analizine ilişkin bu varsayımın ihlal edilmesi, parametrelere ilişkin güven aralıklarının sistematik bir hata ile tahmin edilmesine ve model sonuçlarının güvenilirliğinin olumsuz yönde etkilemesine ve hatalı tahminlerin elde edilmesine neden olabilmektedir. Bu gibi hiyerarşik veri yapıları ile istatistiksel regresyon modellerinin geliştirilmesinde, çeşitli Sayısal Çözümleme Yöntemlerini esas alan Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi ile parametre tahmini tekniklerinin kullanılması yerine, varyans-kovaryans matris yapısının modellenmesine olanak sağlayan Doğrusal Olmayan Karışık Etkili Modelleme (Nonlinear Mixed Effect Models) yaklaşımının kullanılması önerilmektedir” (Laird ve Ware, 1982; Keselman ve ark. 1998; Wolfinger ve Chang, 1999; Littell ve ark. 2005).

Özçelik ve Yaşar (2015)'e göre “Karışık etkili modellemenin model yapısı, doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon analizinden farklı olarak, parametrelerin sabit etkilere ve rasgele etkilere ilişkin parametre olmak üzere iki gruba ayrıldığı bir yapıya dayanmaktadır. Rastgele etkili parametre farklı örnekleme üniteleri (örnek ağaçlar) arasında oluşan değişkenliği tanımlarken, sabit etkili parametre ise, toplumun tamamı için genel ilişkileri ifade etmektedir”. Karışık modellerdeki denklem yapısı:

$$Y_{ij} = f(\Phi_i, X_{ij}) + \varepsilon_{ij} \quad (7)$$

Burada, Φ_i modele ilişkin parametre değerlerini, “ X_{ij} i. örnek ağaçtaki j. ölçüme ilişkin ölçülen bağımsız değişken değerini, ε_{ij} model hatalarını, Y_{ij} i. örnek ağaçtaki j. ölçüme ilişkin ölçülen bağımlı değişken değerini, göstermektedir (Calama ve Montero, 2006; Castedo Dorado ve ark. 2006; Crecente-Campo ve ark. 2010). Karışık etkili modellerin, model parametrelerini rasgele etkili ve sabit etkili parametre olarak iki sınıfta değerlendirmesi aşağıda verilmiştir (Castedo Dorado ve ark. 2006).

$$\Phi_i = A_{ij}\beta + B_{ij}b_i \quad (8)$$

Burada, β sabit etkilere ilişkin parametre olup, toplumun tamamı için hesaplanırken, b_i rasgele etkilere ilişkin parametre olup, örnek ağaçlar arasındaki farklılığı göstermektedir. Karışık modellerdeki rasgele etkilere ilişkin parametre ve model hataları için temel varsayım:

$$b_i \sim N(0, D) \quad (9)$$

$$\varepsilon_{ij} \sim N(0, R) \quad (10)$$

Burada, b_i rasgele etkilere ilişkin parametrenin, aritmetik ortalaması 0 ve varyansı D, model hatası olan ε_{ij} 'nin, aritmetik ortalaması 0 ve varyansı R olan bir normal dağılıma sahip olduğu şeklinde ifade edilebilir (Lappi, 1997). D bileşeni, örnek ağaçlar arasındaki değişkenliği (ağaçlar arasındaki değişkenlik) ifade eden ve pozitif tanımlı varyans-kovaryans matrisi iken, R bileşeni ise örnek ağaçlarda ölçülen veriler arasındaki değişkenliği (ağaç içi değişkenlik) tanımlayan varyans-kovaryans matrisidir. Varyans-kovaryans matrislerinin eşitlikleri:

$$D = \begin{bmatrix} \sigma_u^2 & \sigma_{uv}^2 \\ \sigma_{uv}^2 & \sigma_v^2 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$R = \sigma^2 I_i \quad (12)$$

Burada, σ_u^2 u rasgele etkili parametrenin varyansını, σ_v^2 v rasgele etkili parametrenin varyansını, σ_{uv}^2 rasgele etkili parametreler arasındaki kovaryansını, σ^2 modele ilişkin hata değerini, I_i satır-sütun sayısı karışık etkili modelin uygulanacağı örnek ağaç için kullanılacak veri sayısına eşit olan ve sabit olmayan varyansı tanımlayan diagonal matris değerini ifade etmektedir. (Castedo-Dorado ve ark. 2006; Trincado ve ark. 2007).

En uygun uyumlu gövde profile modelinin varyans bileşenleri ve sabit parametreleri, SAS/ETS 9.0 istatistik paket programındaki NLME yaklaşımı ile NLMIXED yöntemi ile tahmin edilmiştir (SAS Institute, 2004). Bu yöntem ile en iyi gövde çapı modeli için farklı tesadüfi parametre kombinasyonları test edilmiştir. En uygun tesadüfi etkili parametre kombinasyonunun belirlenmesinde Akaike Bilgi Ölçütü (AIC: Akaike's Information Criterion), Bayesian Bilgi Ölçütü (BIC: Schwarz's Bayesian Information Criterion) ve iki kez negatif logaritmik olabilirlik (-2Ln(L): twice the negative log-likelihood) kriterleri kullanılmıştır. AIC, BIC ve (-2Ln(L) kriterlerinin küçülmesi, gövde çapı model tahmin başarısının arttığını ifade etmektedir.

2.2.3 Karışık Etkili Modellerin Kalibrasyon Yanıtlarının Belirlenmesi

Gövde profili modelinin parametreleri Karışık Etkili Modelleme Yöntemi ile tahmin edildikten sonra, daha tutarlı, doğru ve güvenilir tahminler elde edebilmek için modelin "Kalibrasyon Yanıtlarının" ortaya konulması gerekmektedir (Castedo-Dorado ve ark. 2006; Calama ve Montero, 2006; Trincado ve Burkhart, 2006; Yang ve ark. 2009a; Crecente-Campo ve ark. 2010; Cao ve Wang, 2011). Özçelik ve Yaşar (2015)'e göre "Karışık etkili modellerde, örnek alanlardan yeni elde edilen gözlem değerleri kullanılarak, rasgele parametreler hesaplanmakta ve popülasyonun tamamı için geçerli olan sabit etkili parametre değerlerine, bu rasgele parametre eklenerek (rastgele parametre negatif ise; çıkarılarak), söz konusu örnek alan için geçerli parametre değerleri hesaplanmaktadır. Lappi (1991)'nin ormancılıkta kullandığı ve

Henderson eşitlikleri olarak da adlandırılan (En iyi Doğrusal Yansız Ön kestirici (Best Linear Unbiased Predictor, BLUP) yöntemi) ormancılık uygulamalarında karışık modellerin kalibre edilmesinde kullanılmaktadır”.

En iyi Doğrusal Yansız Ön kestirici (BLUP) yönteminde, rasgele etkili parametrenin belirlenmesinde kalibre edilecek yeni verilerin ölçümüne ihtiyaç duyulmaktadır (Crecente-Campo ve ark. 2010). “Örnek alanlarda veya ağaçlarda hangi ağaçların (En ince, orta çapa yakın veya en kalın çaplı ağaçlar) veya çapların (en dip, orta, en üstteki çaplar) ölçüleceğinin belirlenmesi, karışık etkili modellerin “Kalibrasyon Yanıtı” (Calibration response) olarak adlandırılmaktadır. “Bu amaçla, örnek alanlarda, farklı özellikte ve sayıda ağaçlar kullanılarak, rasgele parametreler hesaplanmakta, bir sonraki aşamada yapılan tahminlerin hata değerleri analiz edilmektedir” (Özçelik ve Yaşar, 2015). Bu yöntem ile rasgele etkili parametre değerleri, şu şekilde belirlenmektedir.

$$\hat{b}_i \approx DZ_i'(R + Z_i DZ_i')^{-1}(Y_i - A_{ij}\beta) \quad (13)$$

Burada, D ve R bileşenleri daha önce tanımlanmış varyans-kovaryans matrislerini; Z_i bileşeni rasgele etkili parametreler için dizayn matrisini; $Z_i' Z_i$ matrisinin tersini ifade etmektedir. Ayrıca yukarıdaki eşitlikte, $(Y_i - A_{ij}\beta)$ bileşeni, karışık modelde sadece sabit etkili parametreler kullanılarak yapılacak tahminin, gözlem değerinden çıkarılması ile hesaplanmaktadır” (Schmidt ve ark. 2010).

Bu çalışmada en başarılı olarak belirlenen Jiang ve ark. (2005) modelinin kalibrasyon yanıtlarının ortaya konulmuştur. Bu amaçla parametre tahminlerinde kullanılmamış olan 27 örnek ağaç verisi ile Jiang ve ark. (2005) modeli kalibre edilmiştir.

Bu tez çalışmasında karışık etkili modellerin kalibrasyon yanıtlarının belirlenmesinde; Garber ve Maguire (2003), Trincado ve Burkhart (2006), Yang ve ark. (2009a ve 2009b), Sharma ve Parton (2009), Özçelik ve ark. (2011), Cao ve Wang (2011), Subedi ve Sharma (2011), Gómez-García ve ark. (2013 ve 2016), Şenyurt ve ark. (2017), Çakır (2018) ve Çakır ve Kahrman (2018)'in çalışmalarında önerdiği farklı senaryolar da dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Kalibrasyon seçenekleri için kullanılan gövde çapları ve bu çaplara ilişkin kodlamalar: 1 ($d_{0,3}$), 2

($d_{1,3}$), 3 ($d_{2,3}$), 4 ($d_{5,3}$), 5 ($d_{h/2-1}$), 6 ($d_{h/2}$), 7 ($d_{h/2+1}$), 8 ($d_{h:TBY}(\%65*h)$), 9 ($d_{u\check{c}-2}$), 10 ($d_{u\check{c}-1}$), 11 ($d_{u\check{c}}$) şeklindedir. Söz konusu kalibrasyon yanıt seçenekleri:

- i) 12: ağaçların dip kısmına en yakın 2 çap ($d_{0,3}$, $d_{1,3}$),
- ii) 14: $d_{0,3}$ ve $d_{5,3}$ çapları,
- iii) 16: $d_{0,3}$ ve $d_{h/2}$ çapları,
- iv) 18: $d_{0,3}$ ve $d_{h:TBY}$ çapları,
- v) 24: $d_{1,3}$ ve $d_{5,3}$ çapları,
- vi) 26: $d_{1,3}$ ve $d_{h/2}$ çapları,
- vii) 28: $d_{1,3}$ ve $d_{h:TBY}$ çapları,
- viii) 46: $d_{5,3}$ ve $d_{h/2}$ çapları,
- ix) 56: ağaçların ortasındaki 2 çap ($d_{h/2}$ ve $d_{h/2\pm 1}$),
- x) 1011: ağaçların uç kısmına en yakın 2 çap ($d_{u\check{c}-1}$ ve $d_{u\check{c}}$),
- xi) 123: ağaçların dip kısmına en yakın 3 çap ($d_{0,3}$, $d_{1,3}$, $d_{2,3}$),
- xii) 124: $d_{0,3}$, $d_{1,3}$ ve $d_{5,3}$ çapları,
- xiii) 126: $d_{0,3}$, $d_{1,3}$ ve $d_{h/2}$ çapları,
- xiv) 128: $d_{0,3}$, $d_{1,3}$ ve $d_{h:TBY}$ çapları,
- xv) 246: $d_{1,3}$, $d_{5,3}$ ve $d_{h/2}$ çapları,
- xvi) 248: $d_{1,3}$, $d_{5,3}$ ve $d_{h:TBY}$ çapları,
- xvii) 268: $d_{1,3}$, $d_{h/2}$ ve $d_{h:TBY}$ çapları,
- xviii) 468: $d_{5,3}$, $d_{h/2}$ ve $d_{h:TBY}$ çapları,
- xix) 567: ağaçların ortasındaki 3 çap ($d_{h/2-1}$, $d_{h/2}$ ve $d_{h/2+1}$),
- xx) 91011: ağaçların uç kısmına en yakın 3 çap ($d_{u\check{c}-2}$, $d_{u\check{c}-1}$ ve $d_{u\check{c}}$)

Karışık etkili modellerin kalibrasyon yanıtının belirlemede, en iyi sonucu veren seçeneğin belirlenmesinde ise; Hata Kareler Toplamı (SSE:Sum of Squared Errors), Hata Kareler Ortalaması (MSE:Mean Squared error) ve Tahminin Standart Hatası-Hata Kareler Ortalamasının Karekökü - (SEE- RMSE) (Eşitlik 2) değerleri kullanılmıştır (Castedo-Dorado ve ark., 2006).

$$\text{Hata Kareler Toplamı} \quad SSE = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (14)$$

$$\text{Hata Kareler Ortalaması} \quad MSE = \frac{HKT}{n} = \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n} \quad (15)$$

2.2.4 Gövde Hacminin Belirlenmesi

Bu çalışmada denenen 4 uyumlu ve parçalı 4 adet gövde profili modelinden sadece en başarılı olan Jiang ve ark. (2005) modeline göre, ağaçlara ilişkin hacim tahminleri hesaplanmıştır. Uyumlu bir gövde profili odeli olan Jiang ve ark. (2005) modelinin hacim denklemi ile bir ağaca ilişkin toplam ağaç hacmi ile çeşitli yükseklikler arasındaki hacim değerleri hesaplanabilmektedir.

Jiang ve ark. (2005) Gövde Hacim Modeli;

$$V = k \left[I_1 D^2 \left[(1 - GW_1)(U_1 - L_1) + \frac{W_1 \left(\left(1 - \frac{L_1}{H}\right)^{b_1} (H - L_1) - \left(1 - \frac{U_1}{H}\right)^{b_1} (H - U_1) \right)}{(b_1 + 1)} \right] + I_2 I_3 \left[T(U_2 - L_2) - \frac{Z \left(\left(1 - \frac{L_2}{H}\right)^{b_2} (H - L_2) - \left(1 - \frac{U_2}{H}\right)^{b_2} (H - U_2) \right)}{(b_2 + 1)} \right] + I_4 F^2 \left[\begin{aligned} & b_4(U_3 - L_3) - \frac{b_4((U_3 - 5,30)^2 - (L_3 - 5,30)^2)}{(H - 5,30)} + \\ & \frac{\left(\frac{b_4}{3}\right) ((U_3 - 5,30)^3 - (L_3 - 5,30)^3)}{(H - 5,30)^2} + \\ & \frac{I_5 \left(\frac{1}{3}\right) \left(\frac{(1-b_4)}{b_4^2}\right) (b_3(H - 5,30) - (L_3 - 5,30))^3}{(H - 5,30)^2} - \\ & \frac{I_6 (1/3) \left((1 - b_2)/b_4^2\right) (b_4(H - 5,30) - (U_3 - 5,30))^3}{(H - 5,30)^2} \end{aligned} \right] \right] \quad (16)$$

$$L_1 = \max(L, 0,30) \quad L_2 = \max(L, 1,30) \quad L_3 = \max(L, 5,30)$$

$$U_1 = \min(L, 1,30) \quad U_2 = \min(L, 5,30) \quad U_3 = \min(L, H)$$

$$I_1 = \begin{cases} 1 & L < 1,30 \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases} \quad I_2 = \begin{cases} 1 & L < 5,30 \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases} \quad I_3 = \begin{cases} 1 & U > 1,30 \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases} \quad I_4 = \begin{cases} 1 & U > 5,30 \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases}$$

$$I_5 = \begin{cases} 1 & (L_3 - 5,30) < b_3(H - 5,30) \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases} \quad I_6 = \begin{cases} 1 & (U_3 - 5,30) < b_3(H - 5,30) \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases}$$

$$G = \left(1 - \frac{1,30}{H}\right)^{b_1} \quad W_1 = \frac{1}{1 - G} \quad X = (1 - 1,30/H)^{b_2} \quad Y = \left(1 - \frac{5,30}{H}\right)^2$$

$$T = D^2 ZX \quad Z = \frac{D^2 - F^2}{X - Y} \quad F_{d5.3} = D \left(b_1 + \left(b_2 \frac{5,27}{H} \right)^2 \right)$$

Burada:

b1 = gövdenin 1.30 m den daha aşağı kısmı için regresyon katsayısını,

b2 = gövdenin 1.30 m ile 5.30 m leri arası için regresyon katsayısını,
b3 ve b4= gövdenin 5.30 m'den sonraki kısmı için regresyon katsayılarını,
F = 5.30 m deki kabuklu ağaç çapını (Girard'ın form class boyutu),
k= 0.0000785'i göstermektedir.

Bu tez çalışmasında ayrıca tek ve çift girişli ağaç hacim denklemleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada tek ve çift girişli ağaç hacim denklemleri için, daha önceki çalışmalarda en çok kullanılan ve genel itibariyle başarılı olan ağaç hacim denklemleri tercih edilmiştir (Tablo 5 ve 6). Ayrıca, daha önceki ağaç hacim denklemlerine ilaveten hem tek hem de çift girişli yeni ağaç hacim denklemleri de geliştirilmiştir. Bunun için göğüs çapı (d) ve ağaç boyu (h) değişkenleri ve bu değişkenlerden türetilen birçok yeni değişkenler hacimle ilişkiye getirilmiş ve istatistiksel olarak en az P<0.05 önem düzeyi ile ilişki gösteren değişkenler ile hacim fonksiyonları oluşturulmuştur. Bu işlemler SPSS adlı istatistik yazılım programı yardımıyla, “İleri Doğru Seçim (Forward Selection)”, “Geriye Doğru Seçim (Bacward Selection)” ve “Aşamalı Regresyon (Stepwise Selection)” yöntemleri olarak isimlendirilen Regresyon analizinde değişken belirleme yöntemleriyle yapılmıştır. SPSS (SPSS 19.0 Institute Inc., 2010) adlı istatistik yazılım programı kullanılarak sözkonusu doğrusal ve doğrusal olmayan ağaç hacim modellerinin parametreleri tahmin edilmiştir.

Tablo 5. Çalışma kapsamında kullanılan tek girişli ağaç hacim denklemleri

Model adı	Model	Eşitlik no
Hohenadl-Krenn	$V = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2$	(17)
Kopezky-Gehrhardt	$V = \beta_0 + \beta_1 d^2$	(18)
Dissescu-Meyer	$V = \beta_1 d + \beta_2 d^2$	(19)
Berkhout(üssel)	$V = \beta_0 d^{\beta_1}$	(20)
Tek Girişli-Bu çalışma	$\log V = \beta_0 + \beta_1 \log d$	(21)

Tablo 6. Çalışma kapsamında kullanılan çift girişli ağaç hacim denklemleri

Model adı	Model	Eşitlik no
Schumacher-Hall	$V = \beta_0 d^{\beta_1} h^{\beta_2}$	(22)
Schumacher-Hall	$V = \beta_0 + \beta_1 d^{\beta_2} h^{\beta_3}$	(23)
Naslund	$V = \beta_0 + \beta_1 d^2 + (\beta_2 h + \beta_3 dh + \beta_4 d^2 h)h$	(24)
Spurr	$V = \beta_0 d^2 h$	(25)
Spurr	$V = \beta_0 + \beta_1 d^2 h$	(26)
Meyer	$V = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + (\beta_3 + \beta_4 d + \beta_5 d^2)h$	(27)
Takata	$V = d^2 h / (\beta_0 + \beta_1 d)$	(28)
Prodan	$\log V = \beta_0 + \beta_1 \log d + \beta_2 (\log d)^2 + \beta_3 \log h + \beta_4 (\log h)^2$	(29)
Ogaya	$V = d^2 (\beta_0 + \beta_1 h)$	(30)
Çift G-Bu çalışma	$\log V = \beta_0 + \beta_1 \log d + \beta_2 \log h$	(31)

(Kalıpsız (1984)'e göre “Çalışma kapsamında tek girişli ve çift girişli ağaç hacim eşitliklerinden büyüme yasaları ile uyumlu özellikleri taşıyan, düzeltilmiş belirtme katsayısı (R_{adj}^2) değeri yüksek ve standart hata (SEE), Ortalama Hata (\bar{E}) ve Ortalama Mutlak Hata ($|\bar{E}|$) değerleri düşük model seçilmiştir”.

$$\text{Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi} \quad \%|\bar{E}| = 100 \times \frac{\sum |\hat{V}_i - V_i|}{\sum V_i} \quad (32)$$

$$\text{Ortalama Hata Yüzdesi} \quad \% \bar{E} = 100 \times \frac{\sum \hat{V}_i - \sum V_i}{\sum V_i} \quad (33)$$

Ağaç gövdeleri üzerinde her 1 m'de ölçülen çaplar kullanılarak toplam gövde hacimleri, Smalian formülü aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$V_{smalian} = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_0^2 + d_n^2}{2} \right) l \quad (34)$$

Bu denklemde d_0 seksiyonun kalın uc çapını, d_n seksiyonun ince uc çapını, l seksiyon uzunluğunu ifade etmektedir.

3 BULGULAR

Ardahan yöresinde kesilen 137 örnek ağaca ilişkin bazı ağaç özelliklerinin çeşitli istatistiksel bilgileri Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Gövde çapı modellerinin geliştirilmesi ve test edilmesinde kullanılan verilerin istatistiki değerleri.

Veri Tipi	Özellik	Veri Sayısı	Minimum	Ortalama	Maksimum	Standart Sapma
Model Veri	D (cm)	110	6,0	35,3	74,5	16,2
	H (m)	110	6,6	21,0	32,0	5,5
	t (yıl)	110	19,0	99,2	181,0	37,3
	V (m ³)	110	0,008	1,317	5,920	1,315
	d (cm)	2340	0,2	24,0	86,0	15,2
	h (m)	2340	0,3	11,1	31,3	7,1
Kontrol Veri	D (cm)	27	7,5	36,5	66,0	15,0
	H (m)	27	8,7	21,9	30,7	4,6
	t (yıl)	27	17,0	103,3	171,0	32,2
	V (m ³)	27	0,022	1,337	4,465	1,123
	d (cm)	599	0,5	24,2	72,0	14,2
	h (m)	599	0,3	11,3	30,3	7,1

Burada D: göğüs çapını, H: ağaç boyunu, t: ağaç yaşlarını, V: ağaç hacmini, h: kesit yüksekliklerini ve d: belirli kesit yüksekliklerdeki gövde çaplarını göstermektedir.

3.1 Gövde Çapı Modellerine İlişkin Bulgular

Sarıçam ağaç türü için gövde çapı modellerinin çeşitli model başarı ölçüt değerleri, Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8’in incelenmesinde de görüleceği gibi Sarıçam için, gövde çapı tahminlerindeki varyansın % 98,34’ünü Jiang ve ark. (2005) modeli, % 97,82’sini Fang ve ark. (2000) modeli, % 97,74’ünü Max ve Burkhart (1976) modeli ve % 97,26’sını Parresol ve ark. (1987) modeli tarafından açıklanmaktadır. Gövde profili denklemlerinin belirtme katsayıları (R_{adj}^2) 0,9726-0,9834 standart hataları (SEE) 1,955-2,514 ortalama hataları (\bar{E}) 0,043-0,291 ortalama mutlak hataları ($|\bar{E}|$) 1,300-1,881 Akaike Bilgi Ölçütü (AIC) değerleri 5582,3-6094,8 ve Bayesian Bilgi Ölçütü

(BIC) değerleri 5589,2-6103,0 arasında değişmektedir. Ayrıca, bu çalışmada kullanılan 4 parçalı polinomial gövde çapı modellere ilişkin tüm parametre değerlerinin $p < 0.001$ önem düzeyi ile anlamlı olduğu görülmektedir (Tablo 8).

Tablo 8. Gövde çapı modellerinin parametre tahminleri ile çeşitli model başarı ölçütleri

Parametre	Tahmin	P>t	R ²	SEE	\bar{E}	\bar{E}	AIC	BIC
b ₁	-6,31331	<0,0001						
b ₂	3,114493	<0,0001						
b ₃	35,87637	<0,0001						
b ₄	-3,26965	<0,0001						
a ₁	0,128333	<0,0001	0,9774	2,282	0,111	1,674	5900,1	5909,7
a ₂	0,843195	<0,0001						
Model 1 (Max ve Burkhart, 1976)								
b ₁	4,845493	<0,0001						
b ₂	6,807834	<0,0001						
b ₃	-11,1853	<0,0001						
b ₄	11,10006	<0,0001	0,9726	2,514	0,291	1,881	6094,8	6103,0
a ₁	0,308675	<0,0001						
Model 2 (Parresol ve ark., 1987)								
b ₁	76,47923	<0,0001						
b ₂	7,49191	<0,0001						
b ₃	0,823433	<0,0001						
b ₄	3,475003	<0,0001	0,9834	1,955	0,043	1,300	5582,3	5589,2
Model 3 (Jiang ve ark., 2005)								
a ₁	0,000027	<0,0001						
a ₂	1,834183	<0,0001						
a ₃	1,269305	<0,0001						
b ₁	0,000011	<0,0001						
b ₂	0,000038	<0,0001						
b ₃	0,00003	<0,0001	0,9782	2,234	0,134	1,663	5859,8	5872,1
p ₁	0,085951	<0,0001						
p ₂	0,698639	<0,0001						
Model 4 (Fang ve ark., 2000)								

Çalışma kapsamında kullanılan dört gövde çapı modelinin başarı ölçütleri değerlendirildiğinde, Jiang ve ark. (2005) tarafından geliştirilen Model 3'ün en başarılı model olduğu görülecektir (Tablo 8). En başarılı olan Jiang ve ark. (2005) modeli gövde çapı tahminindeki varyansın % 98,3'ünü açıklarken, bu modelin SEE değeri 1,955 cm, (\bar{E}) değeri 0,043 cm, ($|\bar{E}|$) değeri 1,300 cm, AIC değeri 5582,3 ve BIC değeri ise 5589,2 olarak elde edilmiştir (Tablo 8).

Jiang ve ark. (2005) denkleminin kullanılması ve parametrelerinin tahmin edilebilmesi için ağacın 5,30 m yüksekliğindeki gövde çapının bilinmesi gerekmektedir. Ağacın 5,30 m yüksekliğindeki gövde çapının ($d_{5,30}$) dikili ağaçlarda ölçümü zor olmakla birlikte, bu çap ağacın göğüs çapı ve boyu aracılığı ile tahmin edilebilmektedir. Ardahan yöresi Sarıçam ağacı için, 5,30 metre yüksekliğindeki çap değerinin, göğüs çapına ve boy değerine göre tahmin denklemi aşağıda verilmiştir.

$$F_{d_{5,3}} = d_{1.3} \left(0,881 + \left(-1,140 \frac{5,27}{H} \right)^2 \right) \quad (35)$$

Söz konusu bu denklemde tüm parametreler, $p < 0,001$ önem düzeyinde anlamlı bulunmuştur ve modelin düzeltilmiş belirtme katsayısı (R_{adj}^2) 0,976, tahminin standart hatası (SEE) 2,451 cm, ortalama hatası (\bar{E}) 0,115 cm, ortalama mutlak hatası ($|\bar{E}|$) 2,006 cm olarak elde edilmiştir.

3.2 Karışık Etkili Gövde Çapı Denklemine İlişkin Bulgular

Çalışma kapsamında kullanılan 4 adet gövde çapı modelinden en başarılı olan (Model 3: Jiang ve ark., 2005) belirlendikten sonra, diğer bir aşama ise söz konusu en başarılı gövde çapı modelinin parametrelerinin Karışık Etkili Modelleme yaklaşımı ile elde edilmesidir. Bu amaçla, ağaçların gövde boyunca çap gelişimlerini modelleme en başarılı olarak belirlenen Jiang ve ark. (2005)'in denklemine ilişkin parametreler, karışık etkili modelleme ile de tahmin edilmiştir. Gövde çapı modelinin b_1 , b_2 , b_3 ve b_4 parametrelerinin bir, iki, üç ve dördü tesadüfi etkili parametre kombinasyonları test edilmiştir. Bu çerçevede toplam 15 farklı kombinasyon

istatistiksel olarak test edilmiştir. En uygun tesadüfi etkili parametre kombinasyonun belirlenmesinde kullanılan ölçüt değerleri Tahminin Standart Hatası (SEE), Akaike Bilgi Kriteri (Akaike's Information Criterion: AIC), Bayesian Bilgi Ölçütü (Schwarz's Bayesian Information Criterion: BIC) ve iki kez logaritmik olabilirlik fonksiyonu (twice the negative log-likelihood: -2LnL) Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Farklı rastgele parametre seçenekleri için başarı ölçütleri

Rastgele parametreler	SEE	-2LnL	AIC	BIC
b_1	1,831	5434,2	5448,2	5457,8
b_2	2,096	5709,5	5723,5	5733,1
b_3	1,435	4935,4	4949,4	4959,0
b_4	1,329	4769,2	4783,2	4792,8
b_1, b_2	1,914	5523,5	5541,5	5553,8
b_1, b_3	1,282	4706,1	4724,1	4736,4
b_1, b_4	1,141	4463,7	4481,7	4494,0
b_2, b_3	1,564	5108,9	5126,9	5139,2
b_2, b_4	1,426	4910,5	4928,5	4940,8
b_3, b_4	3,496	6488,4	6506,4	6518,6
b_1, b_2, b_3	1,277	4695,7	4719,7	4736,1
b_1, b_2, b_4	1,122	4426,9	4450,9	4467,3
b_1, b_3, b_4	2,997	6230,0	6254,0	6270,3
b_2, b_3, b_4	7,306	5124,9	5148,9	5162,9
b_1, b_2, b_3, b_4	2,877	6153,3	6185,3	6207,0

Karışık etkili doğrusal olmayan regresyon modellerinin karşılaştırılmasında, AIC, BIC ve -2LnL değerleri kullanılmaktadır. Bu kriterlerin sayısal değeri en düşük olan model daha başarılı olarak değerlendirilmektedir (Castedo-Dorado ve ark. 2006). Tablo 9'da de görüleceği üzere, AIC, BIC ve -2LnL ölçüt değerleri dikkate alındığında, Ardahan yöresi Sarıçam için b_1 ve b_3 parametreleri tesadüfü etkili model en başarılıdır. İkili, üçlü ve dörtlü tesadüfi etkili modellerden daha düşük hata değerleri olanlar (b_1, b_3 ; b_1, b_2, b_3 ve b_1, b_2, b_4), bir veya birden fazla parametrelerinin 0.05 önem düzeyinde anlamlı olmadığı için tercih edilmemiştir. En başarılı olarak belirlenen karışık etkili modelin (b_1 ve b_3 rastgele parametre: random effect parameters) parametre tahminleri ise Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Seçilen karışık etkili modelin parametre ve varyans değerlerine ilişkin tahminler

Parametreler		Tahmin	Standart Hata	t değeri	p
Parametre Değerleri	b_1	85,8733	5,2503	16,36	<0,0001
	b_2	7,5179	0,4927	15,26	<0,0110
	b_3	0,8822	0,003690	239,07	<0,0001
	b_4	3,4950	0,07717	45,29	<0,0001
Rastgele Etkili Parametre Varyansları	σ_u^2	7931,70	0,01639	483861	<0,0001
	σ_v^2	0,007793	0,001454	5,36	<0,0001
Kovaryans	σ_{uv}^2	2,8341	1,1269	2,51	0,0134
Model Hatası	σ^2	1,5132	0,04661	32,47	<0,0001

3.3 Kalibrasyon Yanıtlarına İlişkin Bulgular

Bu çalışmada modellerin oluşturulmasında ve parametre tahminlerinde kullanılmamış olan Ardahan yöresi Sarıçam ağaç türünde 27 örnek ağaç verisi ile Jiang ve ark. (2005) modeli kalibre edilmiştir.

En iyi Doğrusal Yansız Ön kestirici “(BLUP) yöntemine ilişkin 13 numaralı eşitlikle rastgele etkili parametreler, söz konusu bu örnek ağaçlar için Trincado ve ark. (2007) tarafından verilmiş olan SAS program kodu kullanılarak hesaplanmıştır. Her bir Sarıçam örnek ağaç (27 adet örnek ağaç) için 20 farklı şekilde hesaplanan rastgele etkili parametre değerleri (u ve v parametreleri), b_1 ve b_3 parametrelerine eklenerek, her bir örnek ağaç için b_1 ve b_3 parametre değerinin değişmesi ile bu ağaçlar için farklı gövde çapı denklemleri elde edilmiştir. Karışık etkili modellerin kalibrasyonunda daha sonra 20 farklı kalibrasyon seçeneğine bağlı olarak hesaplanan rastgele parametreler ile elde edilen farklı gövde çapı denklemleri kullanılarak 27 adet örnek ağaç için gövde boyunca ölçülen çap değerleri için tahminler elde edilmiştir.

Söz konusu bu örnek ağaçlarda yapılan tahminlere ilişkin Hata Kareler Toplamı (SSE), Hata Kareler Ortalaması (MSE) ve Tahminin Standart Hatası (SEE) değerleri, Tablo 11’de verilmiştir. Bu kalibrasyon seçenekleri içinde en iyi tahmin sonuçları,

ağaçların göğüs ($d_{1,3}$) ve $d_{5,3}$ çapları olacak şekilde 2 adet (SSE: 2684,0, MSE: 4,4808 ve SEE: 2,1168”) çap ölçümüne ilişkin kalibrasyon seçeneği ile elde edilmiştir.

Tablo 11. Farklı kalibrasyon seçeneklerine ilişkin tahmin sonuçları

Kalibrasyon Seçenekleri	SSE	MSE	SEE
(i) 12: ($d_{0,3}$; $d_{1,3}$)	2713,1	4,5293	2,1282
(ii) 14: ($d_{0,3}$; $d_{5,3}$)	2712,9	4,5291	2,1282
(iii) 16: ($d_{0,3}$; $d_{h/2}$)	2719,9	4,5408	2,1309
(iv) 18: ($d_{0,3}$; $d_{h:TBY}$)	2741,0	4,5760	2,1392
(v) 24: ($d_{1,3}$; $d_{5,3}$)	2684,0	4,4808	2,1168
(vi) 26: ($d_{1,3}$; $d_{h/2}$)	2691,1	4,4926	2,1196
(vii) 28: ($d_{1,3}$; $d_{h:TBY}$)	2699,2	4,5062	2,1228
(viii) 46: ($d_{5,3}$; $d_{h/2}$)	2690,9	4,4923	2,1195
(ix) 56: ($d_{h/2}$; $d_{h/2\pm 1}$)	2699,2	4,5062	2,1228
(x) 1011: ($d_{u\check{c}-1}$; $d_{u\check{c}}$)	2705,2	4,5162	2,1251
(xi) 123: ($d_{0,3}$; $d_{1,3}$; $d_{2,3}$)	2700,7	4,5086	2,1233
(xii) 124: ($d_{0,3}$; $d_{1,3}$; $d_{5,3}$)	2703,3	4,5130	2,1244
(xiii) 126: ($d_{0,3}$; $d_{1,3}$; $d_{h/2}$)	2708,0	4,5208	2,1262
(xiv) 128: ($d_{0,3}$; $d_{1,3}$; $d_{h:TBY}$)	2722,0	4,5443	2,1317
(xv) 246: ($d_{1,3}$; $d_{5,3}$; $d_{h/2}$)	2688,7	4,4886	2,1186
(xvi) 248: ($d_{1,3}$; $d_{5,3}$; $d_{h:TBY}$)	2702,7	4,5121	2,1242
(xvii) 268: ($d_{1,3}$; $d_{h/2}$; $d_{h:TBY}$)	2707,5	4,5200	2,1260
(xviii) 468: ($d_{5,3}$; $d_{h/2}$; $d_{h:TBY}$)	2707,3	4,5198	2,1260
(xix) 567: ($d_{h/2-1}$; $d_{h/2}$; $d_{h/2+1}$)	2703,8	4,5139	2,1246
(xx) 91011: ($d_{u\check{c}-2}$; $d_{u\check{c}-1}$; $d_{u\check{c}}$)	2712,4	4,5282	2,1280
Sabit etkili karışık etkili model	2757,9	4,6042	2,1457
Doğrusal olmayan regresyon modeli	2891,8	4,8277	2,1972

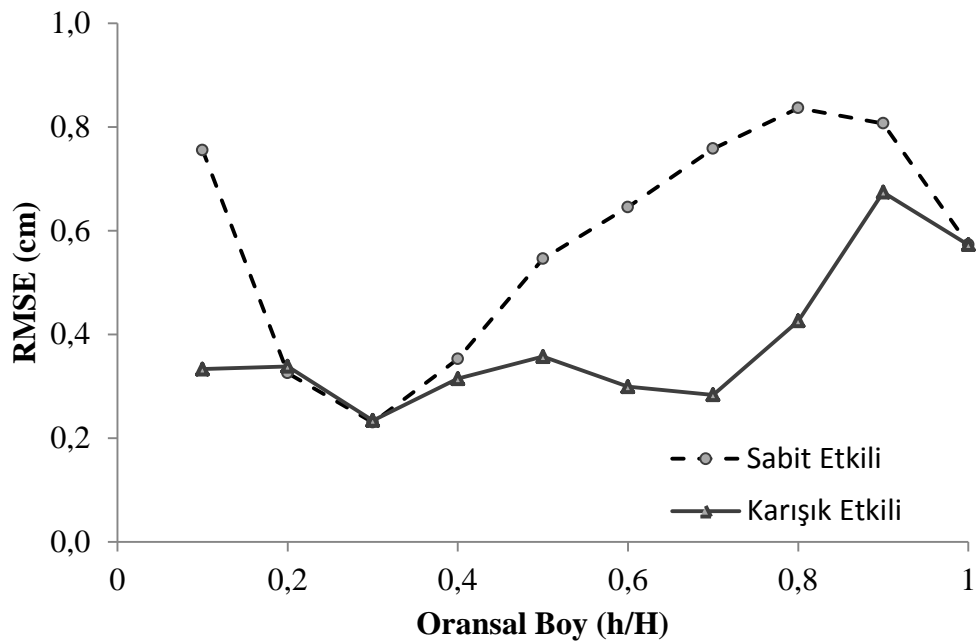
3.4 Gövde Çapı Tahminlerinin Değerlendirmesi

Ardahan yöresi Sarıçam ağaçları için geliştirilen gövde çapı modellerinin hata değerleri daha ayrıntılı olarak da irdelenmiştir. Bu bağlamda, geliştirilen sabit etkili ve karışık etkili gövde çapı modellerinin tahminlerine ilişkin tahminlerin standart hata (“SEE), ortalama hata (\bar{E}) ve ortalama mutlak hata ($|\bar{E}|$) değerleri, oransal boy (nisbi boy) değerleri için değerlendirilmiştir (Tablo 11). Ayrıca tahminin standart hata (SEE) değerlerinin oransal boy değerlerine göre değişimi Şekil 16’da verilmiştir.

Ardahan yöresi Sarıçam ağaçları için geliştirilen Jiang ve ark. (2005) gövde çapı modelinin sabit etkili doğrusal olmayan model için hata değerlerinin 0,25-0,35 oransal boy değerleri arasında en düşük, 0,75-0,80 oransal boy değerleri arasında ise en yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. Diğer taraftan aynı gövde çapı modelinin karışık etkili modeli için ise en düşük hata değeri 0,3 civarında elde edilirken en yüksek hata değeri ise 0,9 oransal boy değeri civarında elde edilmiştir (Tablo 12 ve Şekil 16).

Tablo 12. Sabit ve karışık etkili modeller için oransal boy değerlerine göre çeşitli hata değerlerinin değişimi

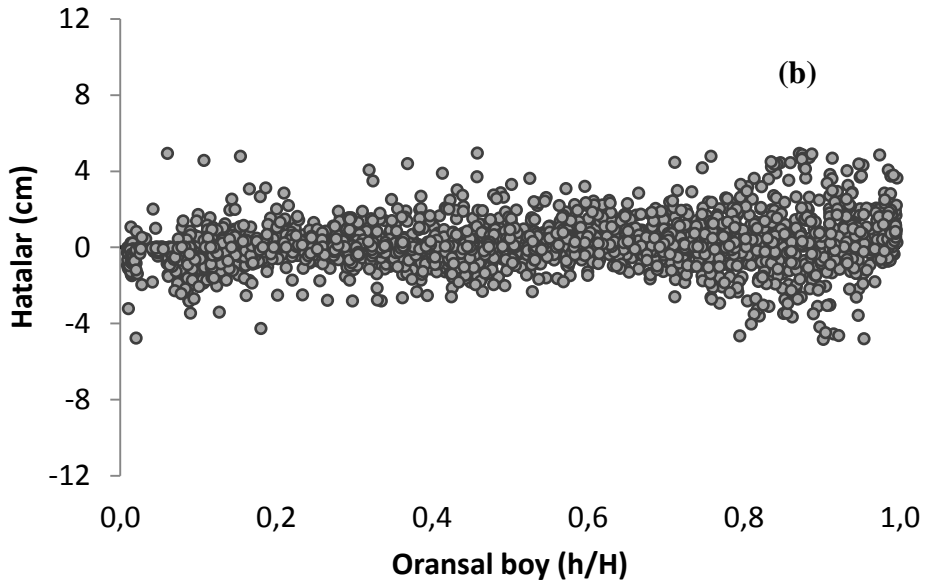
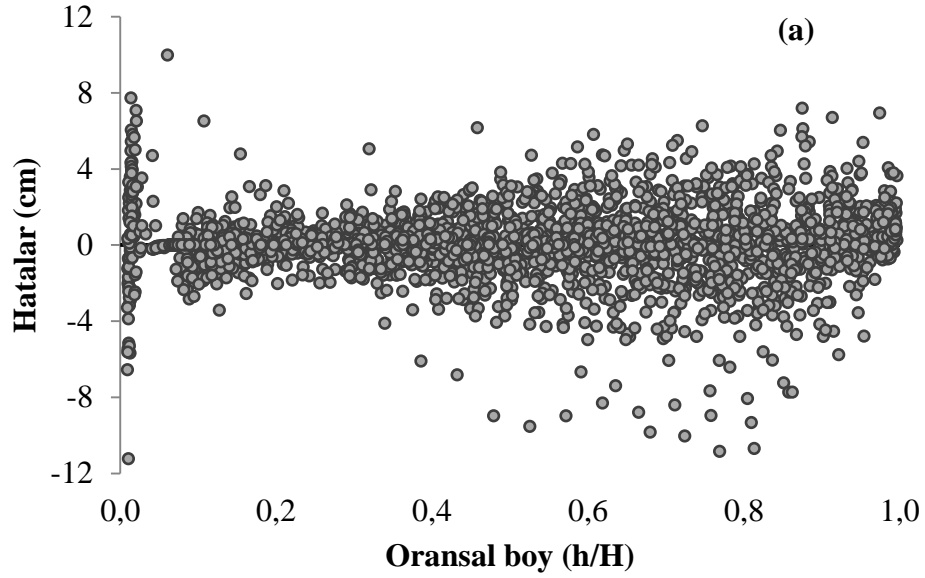
Oransal Boy	n	Sabit etkili			n	Karışık etkili		
		SEE	\bar{E}	$ \bar{E} $		SEE	\bar{E}	$ \bar{E} $
0,0-0,1	249	0,755	0,021	0,147	249	0,333	-0,045	0,065
0,1-0,2	238	0,326	-0,015	0,066	238	0,339	-0,017	0,069
0,2-0,3	228	0,231	0,011	0,048	228	0,234	0,008	0,047
0,3-0,4	229	0,353	0,001	0,076	229	0,315	0,003	0,066
0,4-0,5	235	0,546	-0,002	0,125	235	0,357	0,003	0,079
0,5-0,6	229	0,645	0,002	0,149	229	0,299	0,026	0,068
0,6-0,7	234	0,758	0,004	0,176	234	0,284	0,034	0,068
0,7-0,8	234	0,836	-0,019	0,199	234	0,426	0,031	0,101
0,8-0,9	231	0,807	-0,017	0,183	229	0,674	0,031	0,153
0,9-1,0	233	0,573	0,057	0,130	233	0,573	0,056	0,130
Tümü	2340	1,955	0,043	1,300	2338	1,282	0,130	0,846



Şekil 16. Sarıçam için oransal boy sınıfları itibariyle sabit ve karışık etkili modelin RMSE-SEE değerleri

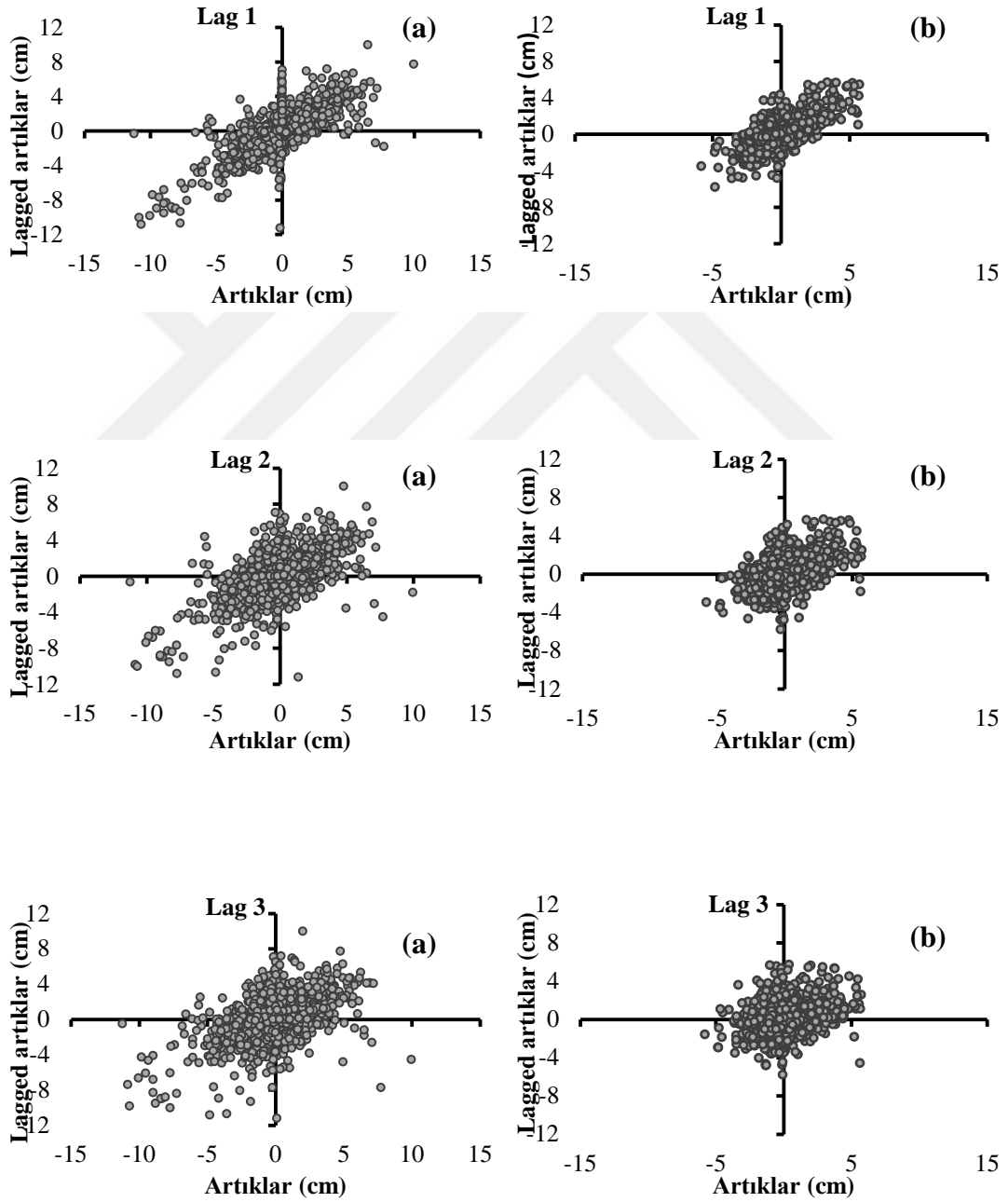
Ardahan yöresi sarıçam ağaçlarının gövde formları incelendiğinde, ağaç boyunun yaklaşık % 70-80'ninde genel olarak dallanmanın başladığı görülmektedir. Dolayısıyla dallanmanın başladığı bu yüksekliklerde gövde şişkinliği gibi nedenlerle ve devamında dallanmanın yoğun olduğu kısımlarda çap değerlerinin tahminlerindeki güvenilirlik azaltabilmektedir.

Jiang ve ark. (2005) gövde çapı modelinin hem doğrusal olmayan (nonlinear) ve hem de karışık etkili yapısına ilişkin nisbi boy-hata dağılımları, Şekil 17'de verilmiştir.



Şekil 17. Nisbi boylar itibariyle sabit etkili (a) ve karışık etkili (b) modeller için hata varyansı

Şekil 17’de de görüleceği üzere, tüm nisbi boy değerlerinde tesadüfi etkili parametrelere sahip modelin nonlinear modele göre daha homojen bir hata varyansı yapısına sahip olduğu görülecektir (Şekil 17). Diğer bir ifadeyle, doğrusal olmayan modelde hata varyansı değerleri nisbi boy değerlerinin artmasına paralel olarak artış gösterirken, karışık etkili modelde ise sabit kalmaktadır.

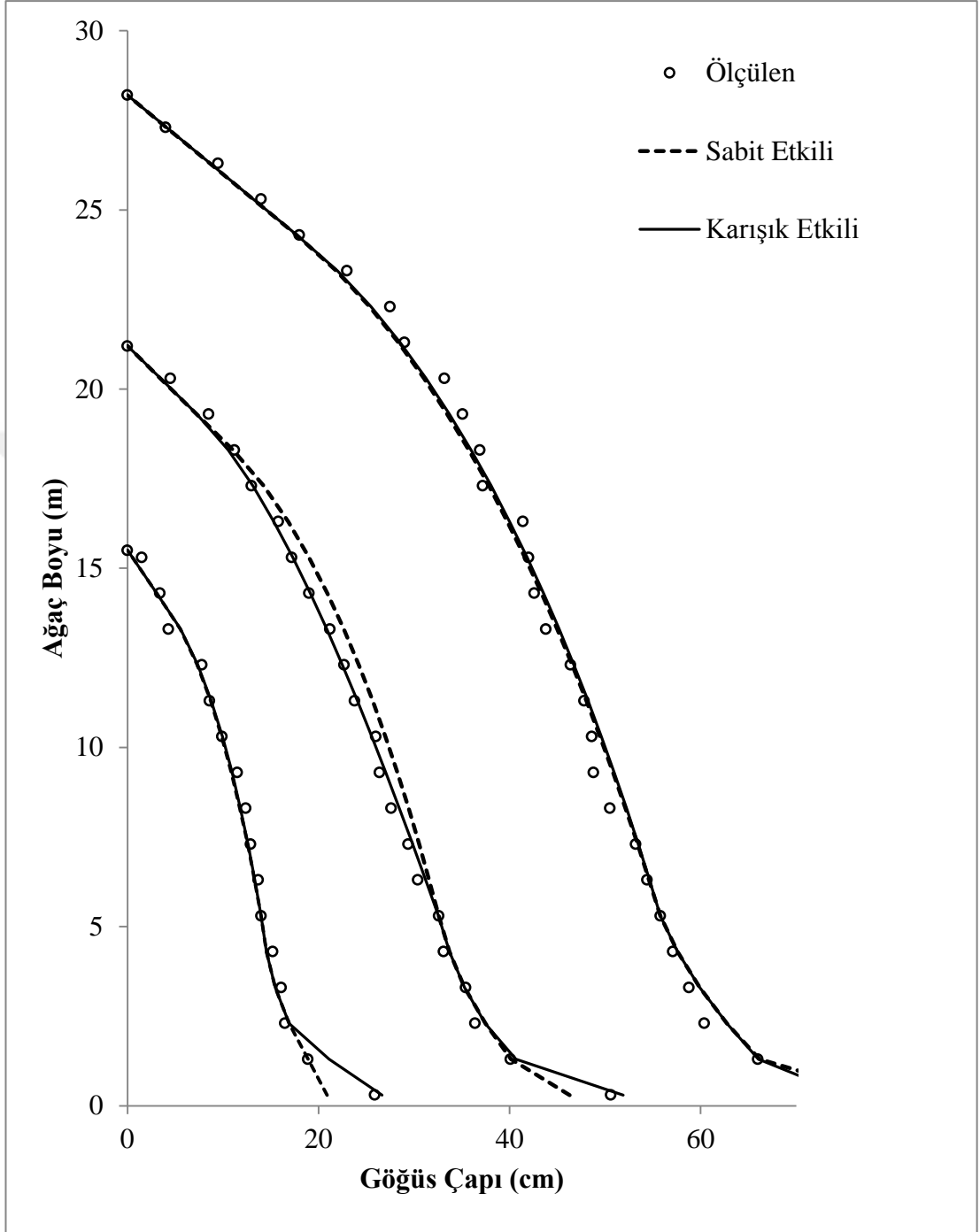


Şekil 18. Sabit etkili (a) ve karışık etkili (b) modeller için Lag-hata otokorelasyonu grafikleri

Ardahan yöresi Sarıçam ağaçlarda düzenlenen gövde çapı modelinin ilk üç laglar için hata otokorelasyonu Şekil 18’de verilmiştir. Burada, doğrusal olmayan regresyon modelinde pozitif bir korelasyon gözlenmektedir (Şekil 18a). Ancak, modele tesadüfi etkili parametreler eklendikten sonra, hata ile ilişkili otokorelasyon probleminin giderildiği görülmektedir (Şekil 18b).

Sabit ve tesadüfi etkili parametreler kullanılarak ince, orta ve büyük çap sınıflarından birer ağaç olmak üzere toplamda üç ağaç için yapılan gövde çapı tahminleri, gövde çapı tahminlerine örnek olması amacıyla grafiksel olarak Şekil 19’da verilmiştir. Örnek olarak seçilen bu ağaçların çapları sırasıyla, 18,9; 40,1 ve 66,0 cm iken boyları ise 15,5; 21,2 ve 28,2 m’dir. Şekil 19’da görülebileceği üzere, sabit etkili parametrelere sahip model tesadüfi parametrelere sahip modele göre gövde şeklini tanımlamakta daha başarısız olmuştur. Sarıçam ağaçları için oluşturulan karışık etkili model sabit etkili modele göre, özellikle ağaçların alt ve üst bölümlerini tanımlamada daha başarılıdır.

Jiang ve ark. (2005)’in denklemine ilişkin tahminlerin örneklerin alındığı Ardahan yöresi saf Sarıçam meşcereleri için uygun olup olmadığı ve bu yöre için kullanılıp kullanılmayacağı, denklemin oluşturulmasında kullanılmamış olan yaklaşık % 20 (27 örnek ağaçtaki 599 gövde çapı ölçümü kontrol verisi) bağımsız veri grubu ile denetlenmiştir. Öncelikle bu modelde kullanılacak verilerin normal dağılım gösterip göstermediği ve grup varyanslarının homojen olup olmadığı test edilmiştir. Yapılan testler sonucunda Sarıçam (kontrol verileri için $Z= 1,273$ ve $p=0,078$; tahmin verileri için ise $Z= 1,355$ ve $p=0,051$) gövde çaplarının kontrol ve tahmini kontrol verilerinin normal dağıldığı ve grup varyanslarının (Jiang modeli için; $F=0,345$, $p=0,557$) homojen olduğu belirlenmiştir. Modelin grup varyansları homojen olduğundan parametrik testlerden “Eşlendirilmiş İki Örnek Testi (Paired samples t test)” kullanılarak tahmini ve aktüel çap artımları karşılaştırılmıştır. Sarıçam için t testinin $t= -1,863$ ve $p= 0,063$ olarak hesaplandığından, ölçülen çap değerleri ile tahmini çap değerleri arasında istatistiksel bir farklılık belirlenmemiştir. Bu bakımdan, bu çalışmada belirlenen gövde çapı denkleminin, örnek ağaçların seçildiği Ardahan yöresi saf Sarıçam meşcereleri için kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.



Şekil 19. Sarıçam için sabit etkili ve tesadüfi etkili (b_1 ve b_3) parametrelere sahip modeller kullanılarak iki ağaç için gövde şekilli eğrileri

3.5 Gövde Hacmine İlişkin Bulgular

Ardahan yöresi Sarıçam ağaç türleri için Jiang ve ark. (2005) hacim modelinin standart hata, ortalama hata ve ortalama mutlak hataları sırasıyla, 0,1241, 0,0070 ve 0,0833 m³ olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada denenen tek (Tablo 13) ve çift girişli (Tablo 14) ağaç hacim denklemlerinin çeşitli başarı istatistikleri aşağıda verilmiştir.

Tablo 13. Tek girişli ağaç hacim denklemlerine ilişkin başarı ölçütleri

Modeller	R_{adj}^2	SEE	$ \bar{E} $	\bar{E}	% $ \bar{E} $	% \bar{E}
Hohenadl-Krenn	0,949*	0,297	0,187	0,000	14,203	-0,002
Kopezky-Gehrhardt	0,946	0,306	0,206	0,000	15,610	-0,002
Dissescu-Meyer	0,949	0,291	0,192	0,007	14,603	0,531
Berkhout(Üssel)	0,969	0,229	0,184	-0,005	13,993	-0,405
Tek Girişli-Bu çalışma	0,969	0,315	0,185	-0,041	14,010	-3,076

*Bazı parametreler 0.05 önem düzeyinde anlamsız

Tablo 14. Çift girişli ağaç hacim denklemlerine ilişkin başarı ölçütleri

Modeller	R_{adj}^2	SEE	$ \bar{E} $	\bar{E}	% $ \bar{E} $	% \bar{E}
Schumacher-Hall	0,987*	0,153	0,092	0,005	6,984	0,400
Schumacher-Hall	0,987*	0,153	0,093	0,001	7,075	0,114
Naslund	0,988*	0,147	0,092	0,001	6,961	0,052
Spurr	0,983	0,173	0,097	0,014	7,336	1,046
Spurr	0,983*	0,172	0,096	0,001	7,319	0,093
Meyer	0,987*	0,152	0,097	-0,002	7,384	-0,130
Takata	0,984	0,169	0,096	-0,004	7,274	-0,310
Prodan	0,991*	0,154	0,090	0,002	6,859	0,183
Ogaya	0,983	0,172	0,099	0,026	7,505	1,937
Tek Girişli-Bu çalışma	0,992	0,159	0,019	-0,005	6,919	-0,369

*Bazı parametreler 0.05 önem düzeyinde anlamsız

Yapılan değerlendirmeler sonucunda en iyi tek girişli ağaç hacim denklemi Berkhout tarafından geliştirilen üssel modeli olmuştur (Tablo 13). Sarıçam için en başarılı tek girişli ağaç hacim denklemi ve denklemin istatistiki değerleri aşağıda verilmiştir.

$$\text{Sarıçam} \quad V = 0,0001609 d^{2,441262} \quad (36)$$

En başarılı tek girişli ağaç hacim denklemin belirtme katsayısı 0,969 olup standart hatası 0,229 m³, ortalama hatası -0,005 m³, ortalama mutlak hatası 0,184 m³, ortalama hata yüzdesi % -0,405 ve ortalama mutlak hata yüzdesi ise % 13,993 olarak elde edilmiştir (“Tablo 13).

Tablo 14’de de görüleceği üzere en başarılı çift girişli ağaç hacim denklemi bu çalışma kapsamında geliştirilen 31 nolu eşitliktir (Tablo 6). En başarılı çift girişli ağaç hacim denklemi ve denklemin istatistikî değerleri aşağıda verilmiştir.

$$\text{Sarıçam} \quad \log V = -4,468077 + 1,867412 \log d + 1,174256 \log h \quad (37)$$

Çift girişli ağaç hacim denklemlerin belirtme katsayısı 0,992 olup standart hatası 0,159 m³, ortalama hatası -0,005 m³, ortalama mutlak hatası 0,019 m³, ortalama hata yüzdesi % -0,369 ve ortalama mutlak hata yüzdesi ise % 6,919 olarak elde edilmiştir (Tablo 14). Bu denklem için düzeltme faktörü 1,0064 olarak hesaplanmıştır.

Çift girişli ağaç hacmine ilişkin denklem logaritmik olduğundan, bu değerlerin anti logaritması alınarak tahmini değerler bulunmuş olur. Ancak bu denklemlerin katsayıları, logaritmik değerler üzerinden hesaplandıkları için sistematik bir hata söz konusudur (Spurr, 1952; Alemdağ, 1962; Akalp, 1978). Bu sistematik hatanın giderilmesi için, regresyon denklemleri ile elde edilen değerler bir düzeltme faktörü ile çarpılmalıdır. Bu çalışmada, düzeltme faktörü (Meyer, 1938);

$$df = 10^{(1,1513 \times S_{y,x}^2)} \quad (90)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Bu eşitlikte $S_{y,x}$, denklemin standart hatasını ifade etmektedir.

Elde edilen toplam hata yüzdelерinin % 1’den daha düşük ve ortalama mutlak hata yüzdelерinin ise %10’dan daha düşük olması önerilmektedir (Chapman ve Meyer, 1949; Loetsch ve ark., 1973; Husch, 1963). Diğer bir değerlendirme de ortalama mutlak hata yüzdesinin ise iyi ağaç hacim tablolarında genellikle \pm % 8’in altında olduğu belirtilmektedir (Chapman ve Meyer, 1949).

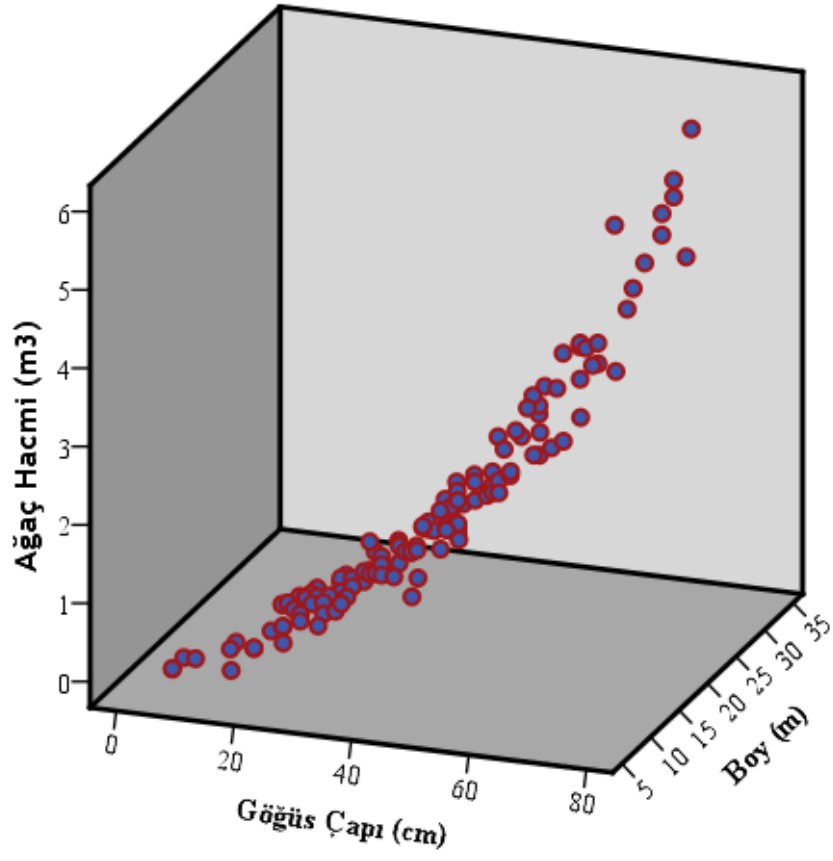
Bu çalışma kapsamındaki en başarılı tek (ortalama hata yüzdesi % -0,405 ve ortalama mutlak hata yüzdesi ise % 13,993) ve çift (ortalama hata yüzdesi % -0,369

ve ortalama mutlak hata yüzdesi ise % 6,919) girişli ağaç hacim denklemlerinin toplam hata ve ortalama mutlak hata yüzdelерinin, kabul edilen hata sınırlarını aşmadığı görülmüştür. Bu da bu modellerin kabul edilebilir olduklarını ve çalışma alanlarındaki meşcerelerdeki ağaçların hacimlerinin doğruya yakın tahmin edilebileceklerini göstermektedir. Diğer taraftan çift girişli ağaç hacim denklemlerinin tek girişli ağaç hacim denklemlerine göre daha başarılı oldukları tespit edilmiştir. Bu denklemlere göre Ardahan yöresi Sarıçam ağaç türü için geçerli olacak şekilde tek girişli ve çift girişli ağaç hacim tablosu Ek Tablo 1 ve 2’de verilmiştir. Oluşturulan tablolar tek girişliler için 6-75 cm aralığında ve çift girişliler için ise 6 cm -5 m ile 75 cm – 33 m aralığı için geçerlidir.

Ağaç hacim denklemlerinin örneklerin alındığı meşcereye uygunluğu uygunluğu, denklemlerin oluşturulmasında kullanılmayan bağımsız bir veri grubu ile yapılmaktadır (Loetsch ve ark., 1973; Kalıpsız, 1984; Laar ve Akça”, 2007). Bu çalışmada toplam örnek ağaç sayısının %20’sini (kontrol ağaç sayısı 27 adet) oluşturan örnek ağaç bu amaçla seçilmiştir (Tablo 3). Bu çalışmada, kontrol grupların örnek sayıları 30 adetten düşük olduğu (27 adet) için “Wilcoxon Testi” ile karşılaştırma yapılmıştır (Kalıpsız, 1988). İlgili test “SPSS” adlı paket bir program yardımıyla uygulanmıştır.

Wilcoxon Testi sonuçlarına göre hem tek girişli ağaç hacim denklemleri (20 nolu model; Berkhout (“Üssel); $Z=-0,698$; $p>0,05$; $p=0,485$) hem de çift girişli ağaç hacim denklemleri (31 nolu model; çift girişli-bu çalışma; $Z=-0,781$; $p>0,05$; $p=0,435$) ile tahmin edilen hacim değerleri ve arazide ölçülen hacim değerleri arasında $\alpha=0,05$ önem düzeyi ile istatistiksel olarak bir fark olmadığı sonucuna varılmıştır. Sarıçam için geliştirilen hem tek girişli hem de çift girişli ağaç hacim denklemlerinin, bu denklemlerin geliştirilmesinde kullanılan verilerin alındığı meşcerelere uygun olduğu söylenebilir.

Aşağıda çift girişli ağaç hacim modelinin belirlenmesinde kullanılan ağaçların hacimlerinin göğüs çapı ve ağaç boyuna göre değişimi üç boyutlu olarak verilmiştir (Şekil 20).



Şekil 20. Ağaçların hacimlerinin göğüs çapı ve ağaç boyuna göre değişimi

3 TARTIŞMA

Bu çalışmada en başarılı olarak elde edilen Jiang ve ark. (2005)'in denklemi, birçok çalışmada gövde profilinin modellenmesinde başarılı sonuçlar vermiştir. Bu gövde çapı modeli birçok çalışmada gövde çapı ve gövde hacminin modellenmesinde başarılı sonuçlar vermiştir. Gövde çapının modellenmesinde Jiang ve ark. (2015) gövde çapı modeli kullanılarak, düzeltilmiş belirtme katsayıları (R_{adj}^2), tahminin satandart hata (SEE) değerleri sırasıyla Jiang ve ark. (2005)'nin yaptığı çalışmada %98,37 ve 1,2798 cm, Li ve Weiskittel (2010) tarafından yapılan çalışmada Balsam fir için % 98,4 ve 0,7505, Red spruce için %98,2 ve 0,8517 cm ve White pine için %97,2 ve 1,4205 cm, Şahin (2012) %98,28 ve 1,6703 cm, Özçelik ve Bal (2013) tarafından yapılan çalışmada %98,13 ve 1,3848 cm, Atalay (2014) tarafından yapılan çalışmada %94,44 ve 2,2029 cm, Kurt (2014) tarafından yapılan çalışmada % 98,43 ve 0,9843 cm, Kumaş ve Kahrıman (2015) tarafından yapılan çalışmada %97,70 ve 1,6302 cm, Doyog ve ark, (2017) tarafından yapılan çalışmada %92,6 ve 2,4190 cm, Şenyurt ve ark, (2017) tarafından yapılan çalışmada %97,6 ve 1,4755 cm ve Çakır (2018) ve Çakır ve Kahrıman (2018) tarafından yapılan çalışmada %98,7 ve 1,7000 cm olarak elde edilmiştir.

Bu çalışmada 20 farklı kalibrasyon seçenekleri içinde en iyi tahmin sonuçları, ağaçların ağaçların göğüs ($d_{1,3}$) ve $d_{5,3}$ çapları olacak şekilde 2 adet çapın ölçümüne ilişkin kalibrasyon seçeneği ile elde edilmiştir. Farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda da gövdenin değişik yüksekliklerindeki tek çap, iki çap, üç çap, dört çap veya beş çap değeri kullanılarak kalibrasyon yanıtları analiz edilmiştir (Trincado ve Burkhart 2006, Yang ve ark. 2009; Lejeune ve ark. 2009; Sharma ve Parton 2009; Özçelik ve ark. 2011; Gómez-García ve ark. 2013; Şenyurt ve ark. 2017; Çakır 2018;” Çakır ve Kahrıman 2018).

Tez kapsamında gövde çapı modellerinin hata değerleri daha ayrıntılı olarak incelendiğinde elde edilen bulgular, daha önce yapılan çalışmalar ile benzerlik göstermektedir Jiang ve ark. (2005), Özçelik ve Brooks (2012), Karaer (2014), Kumaş (2015), Çakır (2018) ve Çakır ve Kahrıman (2018).

Jiang ve ark. (2005) gövde çapı modelinin doğrusal olmayan modelde hata varyansı değerleri nisbi boy değerlerinin artmasına paralel olarak artış gösterirken, karışık etkili modelde ise sabit kalmaktadır. Daha önce farklı araştırmacılar tarafından yapılan benzeri çalışmalarda da aynı veya yakın sonuçlar elde edilmiştir (Trincado ve Burkhart 2006; Yang ve ark. 2009; Sharma ve Parton 2009; Özçelik ve ark. 2011; Özçelik ve Yaşar 2015; Şenyurt ve ark. 2017; Çakır 2018; Çakır ve Kahrıman 2018).

Jiang ve ark. (2005) gövde çapı modeline tesadüfi etkili parametreler eklendikten sonra, hata ile ilişkili otokorelasyon problemin giderildiği görülmektedir (Şekil 18b). Trincado ve Burkhart (2006), Sharma ve Parton (2009), Gomez-Garcia ve ark. (2013), Özçelik ve Yaşar (2015), Ercanlı (2015), Şenyurt ve ark. (2017), Zhang ve ark. (2017), Çakır (2018) ve Çakır ve Kahrıman (2018) gibi araştırmacılar da bu konuda benzer sonuçlar elde edilmiştir. Modellerin hataları (SEE), doğrusal olmayan (nonlinear) regresyon modeline göre karışık etkili (mixed-effects) model için 1,955 cm'den 1,282 cm'ye düşmüştür.

Sabit etkili parametrelere sahip model tesadüfi parametrelere sahip model göre gövde şeklini tanımlamakta daha başarısız olmuştur (Şekil 19). Gövde çapı modelinin karışık etkili modelleme ile elde edildiği önceki çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir ("Trincado ve Burkhart 2006; Yang ve ark. 2009; Sharma ve Parton 2009; Li ve Weiskittel 2010; Subedi ve Sharma 2011; Gomez-Garcia ve ark. 2013; Chiu ve ark. 2015; Özçelik ve Yaşar 2015; Şenyurt ve ark. 2017; Çakır 2018; Çakır ve Kahrıman 2018).

Bu çalışma kapsamında saf Sarıçam için geliştirilen Jiang ve ark. (2005) gövde hacim denklemi, tek ve çift girişli ağaç hacim denklemi tahmin değerleri, daha önce geliştirilen ağaç hacim denklemlerinin tahmin değerleri ile karşılaştırılmıştır. Erkin (1956) tarafından Bolu yöresindeki meşcereler için tek girişli, Alemdağ (1967) tarafından ülkemiz geneli için çift girişli, Sun ve ark. (1978) tarafından ülkemizdeki tüm Sarıçam meşcereleri için çift girişli, Yavuz ve ark. (2010) tarafından Karadeniz Bölgesi için hem tek hem de çift girişli, Pehlivan (2010) tarafından Kuzey Anadolu Bölgesi için hem tek hem de çift girişli ve Şenyurt (2011) tarafından Batı Karadeniz Bölgesi için çift girişli ağaç hacim denklemleri geliştirilmiştir. Ağaç hacim karşılaştırmaları Tablo 15 ve Şekil 21'de verilmiştir.

Tablo 15. Sarıçam için hacim tablolarının karşılaştırılması

Denklemler	SEE	$ \bar{E} $	\bar{E}	Z	p
Jiang ve ark.-Bu çalışma	0,124	0,083	0,007	-0,565	0,572
Tek girişli-Bu çalışma	0,229	0,184	-0,005	-0,698	0,485
Çift girişli-Bu çalışma	0,159	0,019	-0,005	-0,781	0,435
Erkin (1956)_TG	0,312	0,198	-0,003	-0,240	0,810
Yavuz ve ark. (2010)_TG	0,353	0,199	-0,115	-1,778	0,075
Pehlivan (2010)_TG	0,305	0,197	0,063	-2,006	0,045
Alemdağ (1967)_ÇG	0,176	0,099	0,029	-0,817	0,414
Sun ve ark. (1978)_ÇG	0,221	0,124	0,077	-1,951	0,051
Yavuz ve ark. (2010)_ÇG	0,209	0,115	0,065	-1,826	0,068
Pehlivan (2010)_ÇG	0,254	0,146	0,094	-2,739	0,006
Şenyurt (2011)_ÇG	0,122	0,079	0,058	-3,003	0,003

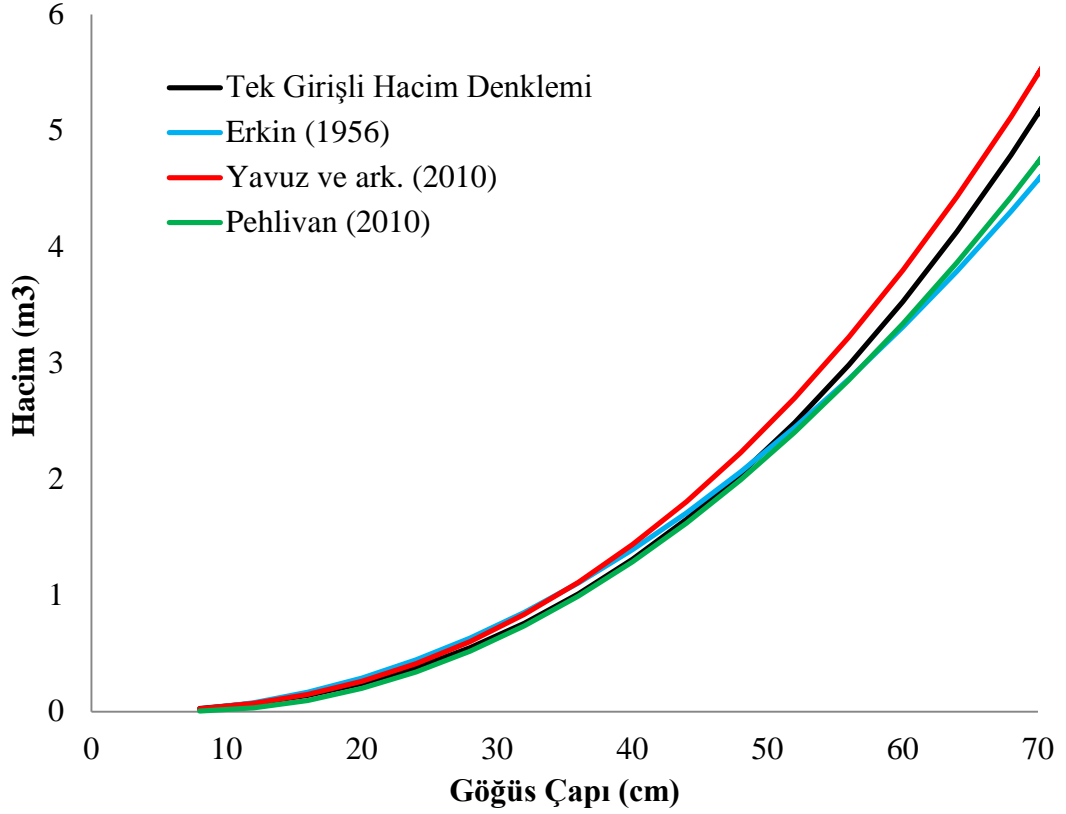
TG: Tek Girişli, ÇG: Çift Girişli

Tablo 15’den görüleceği üzere Sarıçam için, toplam hata ve ortalama mutlak hata yüzdeleri dikkate alındığında bu çalışmada geliştirilen çift girişli ağaç hacim denkleminin (31 nolu eşitlik) en başarılı olduğu söylenebilir.

Ayrıca, ağaç hacim denklemlerinin örneklerin alındığı Ardahan yöresindeki saf Sarıçam meşcereleri için uygunluğu, “Wilcoxon Testi” ile test edilmiştir. Yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda, Yavuz ve ark. (2010), Pehlivan (2010) ve Şenyurt (2011) tarafından üretilen çift girişli ağaç hacim denklemleri dışındaki denklemlerin, tahmin edilen hacim değerleri ve arazide ölçülen hacim değerleri arasında $\alpha=0,05$ önem düzeyi ile istatistiksel olarak bir fark olmadığı ($p<0,05$) ve verilerin alındığı Ardahan yöresi saf sarıçam meşcerelerine uygun olduğu söylenebilir.

Hacim denklemleri-tablolarının grafiksel karşılaştırmaları tek girişli denklemler için Şekil 21 ve çift girişliler için ise Şekil 22’de verilmiştir. Bu çalışmada geliştirilen tek girişli ağaç hacim denkleminin değerleri, 50 cm’ye kadar Pehlivan (2010) tarafından geliştirilen denklemin değerlerine göre daha yüksek iken, Erkin (1956) ve Yavuz ve ark. (2010) tarafından geliştirilen denklemlerin değerlerine göre daha düşüktür. Diğer taraftan 50 cm’den sonra ise Pehlivan (2010) ve Erkin (1956) tarafından geliştirilen denklemlerin değerlerine göre daha yüksek iken, Yavuz ve ark. (2010) tarafından geliştirilen denklemin değerlerine göre daha düşüktür (Şekil 21). Erkin (1956), Pehlivan (2010), bu çalışmada geliştirilen tek girişli ağaç hacim denklemi, Yavuz ve

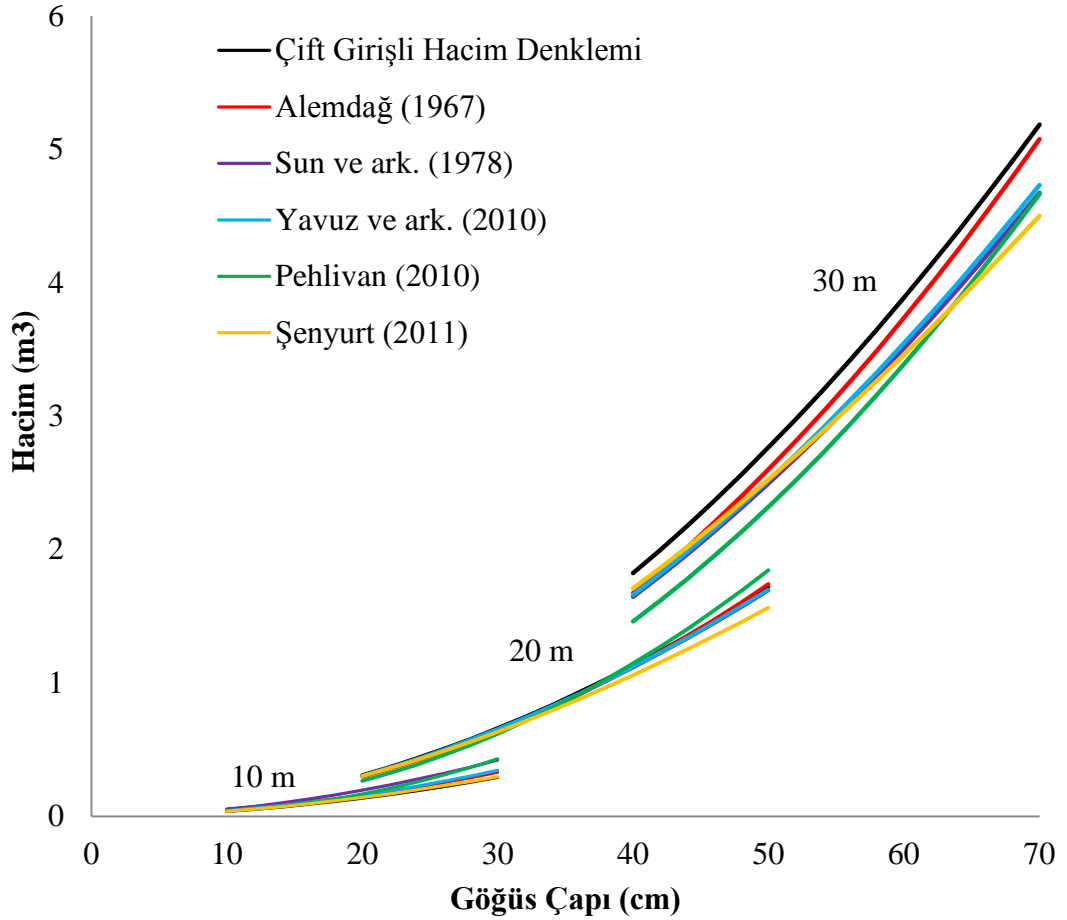
ark. (2010) denklemlerinin 70 cm göğüs çapındaki bir ağaç için hacim değerleri sırasıyla 4,572; 4,724; 5,140 ve 5,482 m³ olarak elde edilmiştir.



Şekil 21. Sarıçam tek girişli ağaç hacim eğrilerinin karşılaştırması

Bu çalışmada geliştirilen çift girişli ağaç hacim denkleminin hacim değerleri, 10 m boy değeri ve 10-30 cm çap değerleri için diğer denklemlerin hacim değerlerine göre daha düşük, 20 m boy değerinde 20-38 cm çap değerleri için diğer denklemlerin hacim değerlerine göre daha yüksek, 38-44 cm çap değerleri için Pehlivan (2010) tarafından geliştirilen denklemin değerlerine göre daha düşük iken diğer hacim denklemlerin hacim değerlerine göre daha yüksek, 44-50 cm çap değerleri için ise Alemdağ (1978) ve Pehlivan (2010) tarafından geliştirilen denklemlerin değerlerine göre daha düşük iken diğer hacim denklemlerin hacim değerlerine göre daha yüksek, 30 m boy değerinde ise diğer denklemlerin hacim değerlerine göre daha yüksek olarak elde edilmiştir. Şenyurt (2011), Sun ve ark. (1978), Yavuz ve ark. (2010), Erkin (1956), bu çalışmadaki çift girişli ağaç hacim denklemi, Alemdağ (1978) ve Pehlivan (2010) denklemlerinin 50 cm göğüs çapı ve 20 m boyundaki bir ağaç için hacim değerleri sırasıyla 1,565; 1,695; 1,703; 1,718; 1,741; 1,845 m³ olarak elde edilmiştir. 70 cm göğüs çapı ve 30 m boyundaki bir ağacın hacim değerleri Şenyurt

(2011), Pehlivan (2010), Sun ve ark. (1978), Yavuz ve ark. (2010), Alemdağ (1978) ve bu çalışmadaki çift girişli ağaç hacim denklemi için sırasıyla 4,502; 4,666; 4,676; 4,732; 5,077; 5,185 m³ olarak elde edilmiştir.



Şekil 22. Sarıçam çift girişli ağaç hacim eğrilerinin karşılaştırması

Sarıçam için daha önce üretilen ve bu çalışmada karşılaştırmalarda kullanılan ağaç hacim denklemleri ya ülkemiz geneli için yada farklı yörelerde farklı ekolojik bölgeler için üretilmiştir. Dolayısıyla ülkemiz geneli, bölgesel veya yöresel olarak geliştirilen bu denklemlerin Ardahan yöresi saf Sarıçam meşcerelerinde geliştirilen ağaç hacim denklemleri ile benzer veya aynı sonuçları vermeyebilir. Şekil 21 ve 22’de görüleceği üzere, özellikle göğüs çapı ve ağaç boyu arttıkça farklılıklar daha da artmaktadır. Dolayısıyla, ister aynı yöre için ister farklı bir yöre için isterse ülke geneli için üretilen ağaç hacim denklemi olsun, ağaç hacim denklemlerinin örneklerin alındığı meşcereye uygunluğu ilgili istatistik testlerle denetlenmelidir.

4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Ardahan yöresi saf Sarıçam meşcereleri için karışık etkili modelleme tekniği kullanılarak uyumlu gövde çapı modeli geliştirilmiştir. Ağaçların gövde çapını modellemek üzere, Max ve Burkhart (1976), Parresol ve ark. (1987), Fang ve ark. (2000) ve Jiang ve ark. (2005) tarafından geliştirilen dört adet uyumlu gövde çap modelleri kullanılmıştır.

Sarıçam için gövde çapı gelişimini modellemede en başarılı model Jiang ve ark. (2005) tarafından geliştirilen modelin olduğu belirlenmiştir (Tablo 8). Bu model ile Sarıçam ağaç türü için gövde çapı tahminindeki varyansın % 98,3'ünün açıklanabildiği ve bu denklemin tahminin standart hata (SSE) değeri de 1,955 cm olarak elde görülmektedir (Tablo 8).

Hiyerarşik veri yapısı ile geliştirilen modellerde otokorelasyon ve hata varyansı dağılımının homojen olmaması gibi önemli sorunlar ortaya çıkmaktadır. Geleneksel regresyon modellerinde oluşabilen ve giderilemeyen otokorelasyon ve hata varyansı dağılımının homojen olmaması sorunu, karışık etkili modelleme sayesinde giderilebilmektedir. Bu sorunların giderilmesi karışık etkili modellerin geleneksel regresyon modellerinde göre en önemli avantajı ve üstünlüğü olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada da, karışık etkili modelleme tekniği kullanılarak otokorelasyon problemi hemen hemen ortadan kaldırılmış ve hata varyansı dağılımı tüm nisbi boy sınıfları için homojen bir yapıya dönüştürülmüştür. Bu çalışmada modele tesadüfi etkili parametrelerin eklenmesinden sonra, hata ile ilişkili otokorelasyon probleminin giderildiği (Şekil 18b) ve tüm nisbi boy değerlerinde tesadüfi etkili parametrelere sahip modelin daha homojen bir hata varyansı yapısına sahip (Şekil 17b) olduğu görülmektedir. Ayrıca Karışık Etkili model yaklaşımının SSE değerlerinin, nonlinear regresyon modeline göre 1,955 cm'den 1,282 cm'ye düşmesi diğer önemli bir başarıdır (Tablo 8 ve 9).

Kalibre edilen modeller, daha doğru, tutarlı ve güvenilir tahminler elde edilmesi imkanlarını sağlamaktadır. Bu çalışmada 20 farklı kalibrasyon seçenekleri içinde en

iyi tahmin sonuçları, ağaçların ağaçların göğüs ($d_{1,3}$) ve $d_{5,3}$ çapları olacak şekilde 2 adet çapın ölçümüne ilişkin kalibrasyon seçeneği ile elde edilmiştir.

Bütün bu değerlendirmeler sonucunda, Ardahan yöresi saf Sarıçam meşcerelerinde doğrusal olmayan karışık etkili modelleme tekniği kullanılarak gövde çapı tahminlerinin başarılı ve doğru bir şekilde yapılabileceği saptanmıştır. Bununla birlikte gövde çapı tahminlerindeki başarı doğrudan hacim tahminlerini etkilemektedir. Ormancılık uygulamaları ve çalışmalarında meşcerelerin hacim ve hacim artımlarının belirlenmesi önemli olduğundan ağaç hacminin doğru olarak belirlenmesi de önem arz etmektedir. Diğer bir ifadeyle, belirli bir yörede, havzada, veya Orman İşletme Şefliği- Müdürlüğündeki ağaç türü veya türlerinin hacminin pratik olarak elde edilmesi her zaman uygulayıcı tarafından daha ön planda tutulmaktadır. Ağaç hacim denklemlerine oranla daha karmaşık yapıda olan gövde çapı ve hacim modelleri ile herhangi bir yükseklikteki gövde çapı, herhangi bir gövde çapının hangi yükseklikte olduğu, toplam gövde hacmi, ticari gövde hacmi, bir gövdeden elde edilebilecek tüm odun çeşitlerinin hacmi, gövde üzerinde herhangi iki yükseklik arasındaki gövde bölümünün hacmi, gövde üzerinde herhangi iki çap arasındaki gövde bölümünün hacmi elde edilebilmektedir. Ancak uygulamada gövde hacim modellerinden ziyade, hesabı daha basit ve kolay olmasından dolayı, çift girişli ağaç hacim denklemi ve özellikle tek girişli ağaç hacim denklemleri tercih edilmektedir. Eğer gövde hacim modellerinin tahminin başarısı, ortalama hata ve ortalama mutlak hata yüzdesi açısından önemli oranda ağaç hacim denklemlerine göre daha başarılı ise tercihen kullanılmalıdır. Böyle bir durumda gövde hacim modelinin kullanılması öneriliyorsa veya kullanılacaksa, gövde hacim modellerinin uygulayıcı tarafından kolay bir şekilde kullanılabilmesi için çap ve boy kullanılarak ağaç hacmini hesaplayan arayüz programlarının da yazılması ve uygulayıcıya sunulması gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında ayrıca Ardahan yöresi için saf sarıçam meşcereleri için geçerli yöresel tek ve çift girişli ağaç hacim denklemleri geliştirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda en iyi tek girişli ağaç hacim denkleminin belirtme katsayısı 0.969 olarak elde edilirken (Tablo 13), en başarılı çift girişli ağaç hacim denkleminin belirtme katsayısı 0,992 olarak ekde edilmiştir (Tablo 14). Diğer

tarafından, Ardahan yöresindeki saf sarıçam için geliştirilen tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerinin verilerin alındığı bu yöreye uygun olduğu söylenebilir.



EKLER

Ek Tablo 1. Ardahan yöresi Sarıçam için Tek Girişli Kabuklu Gövde Hacmi Tablosu

d _{1.30} (cm)	v (m ³)	d _{1.30} (cm)	v (m ³)	d _{1.30} (cm)	v (m ³)	d _{1.30} (cm)	v (m ³)
6	0,013	24	0,377	42	1,477	60	3,528
7	0,019	25	0,416	43	1,564	61	3,673
8	0,026	26	0,458	44	1,655	62	3,822
9	0,034	27	0,502	45	1,748	63	3,974
10	0,044	28	0,549	46	1,844	64	4,130
11	0,056	29	0,598	47	1,944	65	4,289
12	0,069	30	0,650	48	2,046	66	4,452
13	0,084	31	0,704	49	2,152	67	4,619
14	0,101	32	0,760	50	2,261	68	4,789
15	0,120	33	0,820	51	2,373	69	4,963
16	0,140	34	0,882	52	2,488	70	5,140
17	0,162	35	0,946	53	2,606	71	5,321
18	0,187	36	1,014	54	2,728	72	5,506
19	0,213	37	1,084	55	2,853	73	5,694
20	0,241	38	1,157	56	2,981	74	5,887
21	0,272	39	1,233	57	3,113	75	6,083
22	0,305	40	1,311	58	3,248		
23	0,340	41	1,393	59	3,386		

Ek Tablo 2. Ardahan yöresi Sarıçam için Çift Girişli Kabuklu Gövde Hacmi Tablosu

Göğüs Çapları (cm)	Ağaç Boyu (m)																				
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	Kabuklu Gövde Hacmi (m ³)																				
6	0,006	0,008	0,010	0,011	0,013	0,015	0,016	0,018	0,020	0,022	0,023	0,025	0,027	0,029	0,031	0,033	0,035	0,037	0,039	0,041	0,043
7	0,009	0,011	0,013	0,015	0,017	0,019	0,022	0,024	0,026	0,029	0,031	0,034	0,036	0,039	0,041	0,044	0,046	0,049	0,052	0,054	0,057
8	0,011	0,014	0,016	0,019	0,022	0,025	0,028	0,031	0,034	0,037	0,040	0,043	0,046	0,050	0,053	0,056	0,059	0,063	0,066	0,069	0,073
9	0,014	0,017	0,020	0,024	0,027	0,031	0,035	0,038	0,042	0,046	0,050	0,054	0,058	0,062	0,066	0,070	0,074	0,078	0,082	0,087	0,091
10	0,017	0,021	0,025	0,029	0,033	0,038	0,042	0,047	0,051	0,056	0,061	0,065	0,070	0,075	0,080	0,085	0,090	0,095	0,100	0,105	0,111
11	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040	0,045	0,050	0,056	0,061	0,067	0,073	0,078	0,084	0,090	0,096	0,102	0,108	0,114	0,120	0,126	0,132
12	0,023	0,029	0,035	0,041	0,047	0,053	0,059	0,066	0,072	0,079	0,085	0,092	0,099	0,106	0,113	0,120	0,127	0,134	0,141	0,148	0,155
13	0,027	0,034	0,040	0,047	0,054	0,062	0,069	0,076	0,084	0,091	0,099	0,107	0,115	0,123	0,131	0,139	0,147	0,155	0,164	0,172	0,180
14	0,031	0,039	0,046	0,054	0,062	0,071	0,079	0,088	0,096	0,105	0,114	0,123	0,132	0,141	0,150	0,159	0,169	0,178	0,188	0,198	0,207
15	0,036	0,044	0,053	0,062	0,071	0,080	0,090	0,100	0,109	0,119	0,129	0,140	0,150	0,160	0,171	0,181	0,192	0,203	0,214	0,225	0,236
16	0,040	0,050	0,060	0,070	0,080	0,091	0,101	0,112	0,123	0,135	0,146	0,157	0,169	0,181	0,193	0,205	0,217	0,229	0,241	0,254	0,266
17	0,045	0,056	0,067	0,078	0,090	0,102	0,114	0,126	0,138	0,151	0,163	0,176	0,189	0,203	0,216	0,229	0,243	0,256	0,270	0,284	0,298
18	0,050	0,062	0,074	0,087	0,100	0,113	0,126	0,140	0,154	0,168	0,182	0,196	0,211	0,225	0,240	0,255	0,270	0,285	0,300	0,316	0,331
19	0,055	0,069	0,082	0,096	0,110	0,125	0,140	0,155	0,170	0,186	0,201	0,217	0,233	0,249	0,266	0,282	0,299	0,316	0,332	0,349	0,367
20	0,061	0,076	0,090	0,106	0,122	0,138	0,154	0,170	0,187	0,204	0,221	0,239	0,257	0,274	0,292	0,310	0,329	0,347	0,366	0,385	0,403
21	0,067	0,083	0,099	0,116	0,133	0,151	0,169	0,187	0,205	0,224	0,243	0,262	0,281	0,300	0,320	0,340	0,360	0,380	0,401	0,421	0,442
22	0,073	0,090	0,108	0,126	0,145	0,164	0,184	0,204	0,224	0,244	0,265	0,285	0,306	0,328	0,349	0,371	0,393	0,415	0,437	0,459	0,482
23	0,079	0,098	0,117	0,137	0,158	0,179	0,200	0,221	0,243	0,265	0,287	0,310	0,333	0,356	0,379	0,403	0,427	0,451	0,475	0,499	0,524
24	0,086	0,106	0,127	0,149	0,171	0,193	0,216	0,240	0,263	0,287	0,311	0,336	0,361	0,386	0,411	0,436	0,462	0,488	0,514	0,541	0,567

09

Ek Tablo 2'nin Devamı

Göğüs Çapları (cm)	Ağaç Boyu (m)																				
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	Kabuklu Gövde Hacmi (m ³)																				
25	0,209	0,233	0,258	0,284	0,310	0,336	0,362	0,389	0,416	0,443	0,471	0,499	0,527	0,555	0,583	0,612	0,641	0,670	0,699	0,729	0,758
26	0,225	0,251	0,278	0,306	0,333	0,361	0,390	0,419	0,448	0,477	0,507	0,537	0,567	0,597	0,628	0,659	0,690	0,721	0,752	0,784	0,816
27	0,241	0,269	0,298	0,328	0,358	0,388	0,418	0,449	0,480	0,512	0,544	0,576	0,608	0,641	0,674	0,707	0,740	0,773	0,807	0,841	0,875
28	0,258	0,288	0,319	0,351	0,383	0,415	0,448	0,481	0,514	0,548	0,582	0,616	0,651	0,686	0,721	0,756	0,792	0,828	0,864	0,900	0,937
29	0,275	0,308	0,341	0,375	0,409	0,443	0,478	0,513	0,549	0,585	0,621	0,658	0,695	0,732	0,770	0,807	0,846	0,884	0,922	0,961	1,000
30	0,293	0,328	0,363	0,399	0,435	0,472	0,509	0,547	0,585	0,623	0,662	0,701	0,740	0,780	0,820	0,860	0,901	0,942	0,983	1,024	1,066
31	0,312	0,349	0,386	0,424	0,463	0,502	0,542	0,581	0,622	0,663	0,704	0,745	0,787	0,829	0,872	0,915	0,958	1,001	1,045	1,089	1,133
32	0,331	0,370	0,410	0,450	0,491	0,533	0,575	0,617	0,660	0,703	0,747	0,791	0,835	0,880	0,925	0,970	1,016	1,062	1,109	1,155	1,202
33	0,350	0,392	0,434	0,477	0,520	0,564	0,609	0,654	0,699	0,745	0,791	0,838	0,885	0,932	0,980	1,028	1,076	1,125	1,174	1,224	1,273
34	0,371	0,414	0,459	0,504	0,550	0,597	0,643	0,691	0,739	0,787	0,836	0,886	0,935	0,985	1,036	1,087	1,138	1,190	1,241	1,294	1,346
35	0,391	0,437	0,485	0,532	0,581	0,630	0,679	0,729	0,780	0,831	0,883	0,935	0,987	1,040	1,094	1,147	1,201	1,256	1,311	1,366	1,421
36	0,412	0,461	0,511	0,561	0,612	0,664	0,716	0,769	0,822	0,876	0,930	0,985	1,041	1,096	1,153	1,209	1,266	1,324	1,381	1,439	1,498
37	0,434	0,485	0,538	0,591	0,644	0,699	0,754	0,809	0,865	0,922	0,979	1,037	1,095	1,154	1,213	1,273	1,333	1,393	1,454	1,515	1,576
38	0,456	0,510	0,565	0,621	0,677	0,734	0,792	0,850	0,910	0,969	1,029	1,090	1,151	1,213	1,275	1,338	1,401	1,464	1,528	1,592	1,657
39	0,479	0,535	0,593	0,652	0,711	0,771	0,831	0,893	0,955	1,017	1,080	1,144	1,208	1,273	1,338	1,404	1,470	1,537	1,604	1,671	1,739
40	0,502	0,561	0,622	0,683	0,745	0,808	0,872	0,936	1,001	1,067	1,133	1,200	1,267	1,335	1,403	1,472	1,541	1,611	1,682	1,752	1,824
41	0,526	0,588	0,651	0,715	0,780	0,846	0,913	0,980	1,048	1,117	1,186	1,256	1,327	1,398	1,469	1,542	1,614	1,687	1,761	1,835	1,910
42	0,550	0,615	0,681	0,748	0,816	0,885	0,955	1,025	1,096	1,168	1,241	1,314	1,388	1,462	1,537	1,613	1,689	1,765	1,842	1,920	1,998
43	0,575	0,643	0,712	0,782	0,853	0,925	0,998	1,071	1,146	1,221	1,297	1,373	1,450	1,528	1,606	1,685	1,764	1,844	1,925	2,006	2,087

Ek Tablo 2'nin Devamı

Göğüs Çapları (cm)	Ağaç Boyu (m)																				
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
	Kabuklu Gövde Hacmi (m ³)																				
44	0,743	0,816	0,890	0,965	1,041	1,118	1,196	1,274	1,353	1,433	1,514	1,595	1,677	1,759	1,842	1,925	2,009	2,094	2,179	2,264	2,350
45	0,775	0,851	0,928	1,007	1,086	1,166	1,247	1,329	1,411	1,495	1,579	1,663	1,748	1,834	1,921	2,008	2,095	2,183	2,272	2,361	2,451
46	0,807	0,887	0,967	1,049	1,132	1,215	1,299	1,385	1,471	1,557	1,645	1,733	1,822	1,911	2,001	2,092	2,183	2,275	2,367	2,460	2,554
47	0,840	0,923	1,007	1,092	1,178	1,265	1,353	1,441	1,531	1,621	1,712	1,804	1,896	1,989	2,083	2,178	2,273	2,368	2,464	2,561	2,658
48	0,874	0,960	1,047	1,136	1,225	1,316	1,407	1,499	1,592	1,686	1,781	1,876	1,972	2,069	2,167	2,265	2,364	2,463	2,563	2,664	2,765
49	0,908	0,998	1,089	1,180	1,273	1,367	1,462	1,558	1,655	1,752	1,851	1,950	2,050	2,150	2,252	2,354	2,457	2,560	2,664	2,768	2,874
50	0,943	1,036	1,130	1,226	1,322	1,420	1,518	1,618	1,718	1,820	1,922	2,025	2,129	2,233	2,338	2,444	2,551	2,658	2,766	2,875	2,984
51	0,979	1,075	1,173	1,272	1,372	1,473	1,576	1,679	1,783	1,888	1,994	2,101	2,209	2,317	2,426	2,536	2,647	2,758	2,870	2,983	3,096
52	1,015	1,115	1,216	1,319	1,423	1,528	1,634	1,741	1,849	1,958	2,068	2,179	2,290	2,403	2,516	2,630	2,745	2,860	2,976	3,093	3,211
53	1,052	1,155	1,260	1,367	1,474	1,583	1,693	1,804	1,916	2,029	2,143	2,258	2,373	2,490	2,607	2,725	2,844	2,964	3,084	3,205	3,327
54	1,089	1,196	1,305	1,415	1,527	1,639	1,753	1,868	1,984	2,101	2,219	2,338	2,458	2,578	2,700	2,822	2,945	3,069	3,194	3,319	3,445
55	1,127	1,238	1,351	1,465	1,580	1,696	1,814	1,933	2,053	2,174	2,296	2,419	2,543	2,668	2,794	2,920	3,048	3,176	3,305	3,435	3,565
56	1,166	1,280	1,397	1,515	1,634	1,754	1,876	1,999	2,123	2,249	2,375	2,502	2,630	2,759	2,889	3,020	3,152	3,285	3,418	3,552	3,687
57	1,205	1,323	1,444	1,566	1,689	1,813	1,939	2,066	2,195	2,324	2,455	2,586	2,719	2,852	2,987	3,122	3,258	3,395	3,533	3,672	3,811
58	1,244	1,367	1,491	1,617	1,745	1,873	2,003	2,135	2,267	2,401	2,536	2,672	2,808	2,946	3,085	3,225	3,366	3,507	3,650	3,793	3,937
59	1,285	1,411	1,540	1,670	1,801	1,934	2,068	2,204	2,341	2,479	2,618	2,758	2,900	3,042	3,185	3,330	3,475	3,621	3,768	3,916	4,065
60	1,326	1,456	1,589	1,723	1,859	1,996	2,134	2,274	2,415	2,558	2,701	2,846	2,992	3,139	3,287	3,436	3,586	3,737	3,888	4,041	4,194
61	1,367	1,502	1,639	1,777	1,917	2,058	2,201	2,345	2,491	2,638	2,786	2,935	3,086	3,237	3,390	3,543	3,698	3,854	4,010	4,168	4,326
62	1,409	1,548	1,689	1,832	1,976	2,122	2,269	2,418	2,568	2,719	2,872	3,026	3,181	3,337	3,494	3,653	3,812	3,972	4,134	4,296	4,459

62

Ek Tablo 2'nin Devamı

Göğüs Çapları (cm)	Ağaç Boyu (m)																		
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
	Kabuklu Gövde Hacmi (m ³)																		
63	1,887	2,036	2,186	2,338	2,491	2,646	2,802	2,959	3,118	3,277	3,438	3,600	3,764	3,928	4,093	4,259	4,426	4,594	4,764
64	1,944	2,097	2,251	2,408	2,565	2,725	2,885	3,047	3,211	3,375	3,541	3,708	3,876	4,045	4,215	4,386	4,558	4,732	4,906
65	2,001	2,158	2,317	2,478	2,641	2,805	2,970	3,137	3,305	3,474	3,645	3,817	3,990	4,164	4,339	4,515	4,692	4,871	5,050
66	2,059	2,221	2,384	2,550	2,717	2,886	3,056	3,228	3,401	3,575	3,750	3,927	4,105	4,284	4,464	4,646	4,828	5,011	5,196
67	2,117	2,284	2,452	2,623	2,795	2,968	3,143	3,320	3,497	3,677	3,857	4,039	4,222	4,406	4,592	4,778	4,966	5,154	5,344
68	2,177	2,348	2,521	2,696	2,873	3,051	3,231	3,413	3,596	3,780	3,965	4,152	4,340	4,530	4,720	4,912	5,105	5,299	5,494
69	2,237	2,413	2,591	2,771	2,952	3,136	3,321	3,507	3,695	3,884	4,075	4,267	4,460	4,655	4,851	5,048	5,246	5,445	5,646
70	2,298	2,479	2,661	2,846	3,033	3,221	3,411	3,602	3,796	3,990	4,186	4,383	4,582	4,782	4,983	5,185	5,389	5,594	5,799
71	2,359	2,545	2,733	2,923	3,114	3,307	3,503	3,699	3,897	4,097	4,298	4,501	4,705	4,910	5,117	5,324	5,533	5,744	5,955
72	2,422	2,612	2,805	3,000	3,197	3,395	3,595	3,797	4,001	4,206	4,412	4,620	4,829	5,040	5,252	5,465	5,680	5,896	6,113
73	2,485	2,681	2,878	3,078	3,280	3,484	3,689	3,896	4,105	4,315	4,527	4,741	4,955	5,172	5,389	5,608	5,828	6,049	6,272
74	2,549	2,750	2,952	3,157	3,364	3,573	3,784	3,996	4,211	4,426	4,644	4,863	5,083	5,305	5,528	5,752	5,978	6,205	6,433
75	2,614	2,819	3,027	3,238	3,450	3,664	3,880	4,098	4,317	4,539	4,762	4,986	5,212	5,439	5,668	5,898	6,130	6,363	6,597

KAYNAKLAR

- Akalp, T., 1978. Türkiye'deki Doğu Ladini (*Picea orientalis* Lk. Carr) Ormanlarında Hasılat Araştırmaları. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alemdağ, İ.Ş., 1967. Türkiye'deki Sarıçam Ormanlarının Kuruluşu, Verim Gücü ve Bu Ormanların İşletilmesinde Takip Edilecek Esaslar. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Teknik Bülten No: 20, Ankara, 160s.
- Anonim, 1994. Sarıçam El Kitabı, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayını, Muhtelif Yayınlar Serisi No: 67, Ankara.
- Anonim. 2008. Orman Amenajmanı Yönetmeliği, Çevre ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara, 141 s.
- Anonim, 2015. Türkiye Orman Varlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Anonim, 2016. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Resmi İstatistikler, Artvin.
- Anşin, R., Özkan, Z.C., 2006. Tohumlu Bitkiler (*Spermatophyta*) Odunsu Taksonlar. KTÜ Orman Fakültesi Yayın No 167/19, Tranzon.
- Arias-Rodil, M., Castedo-Dorado, F., Cámara-Obregón, A., Diéguez-Aranda, U., 2015a. Fitting and Calibrating a Multilevel Mixed-Effects Stem Taper Model for Maritime Pine in NW Spain. PLoS ONE 10 (12): e0143521. doi:10.1371/journal.pone.0143521.
- Arias-Rodil, M., Diéguez-Aranda, U., Puerta, F. R., López-Sánchez, C. A., Lı́bano, E. C., Obregón, A. C., Castedo-Dorado, F., 2015b. Modelling and localizing a stem taper function for *Pinus radiata* in Spain, Can. J. For. Res. 45: 647–658.
- Asan, Ü., 1998. Fonksiyonel Planlamada İdare Süreleri ve Amaç Çapları, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, 48(1-2-3-4): 23-40.
- Atalay, F., 2014. Mudurnu-Sırçalı Orman İşletme Şefliğinde Yayılış Gösteren Anadolu Karaçamı [*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe] Meşcereleri için Gövde Profil Denklem Sistemlerinin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çankırı.
- Bal, C., 2012. Karaçam İçin Gövde Çapı ve Gövde Hacmi Denklemlerinin Geliştirilmesinde Tepe Tacı Değişkenlerinin Kullanılması, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek lisans tezi, 61s.
- Başkent, E., Yolasığmaz, H. A., Mısır, M., 2001. Orman Ekosistem Amenajmanı, I. Ulusal Ormancılık Kongresi, Ankara, Bildiriler Kitabı, 60-74.
- Bennet, F. A., Swindel, B. F., 1972, Taper curves for planted slash pine. USDA Forest Service Research Note SE-179, 4 s.

- Bi, H., 2000. Trigonometric variable-form taper equations for Australian eucalyptus. *For. Sci.* 46: 397-409.
- Brooks, J. R., Jiang, L., Clark, A. III., 2007. Compatible Stem Taper, Volume, and Weight Equations for Young Longleaf Pine Plantations in Southwest Georgia, *South. J. Appl. For.* 31(4), 187-191.
- Brooks, J. R., Jiang, L., Özçelik, R. 2008. Compatible stem volume and taper equations for Brutian Pine, Cedar of Lebanon, and Cilicica Fir in Turkey. *Forest Ecology and Management*, 256,147-151.
- Bruce D., Curtis R., Vandevering C., 1968. Development of system of taper and volume tables for res alder. *forest science*, 14, 339-3350.
- Bueno-López, S.W., Bevilacqua, E., 2012. Nonlinear mixed model approaches to estimating merchantable bole volume for *Pinus occidentalis*. *iForest*, 5: 247-254.
- Burkhart, H. E., 1977. Cubic foot volume of Loblolly pine to any merchantable top limit. *Southern Journal of Applied Forestry*, 1 7-9.
- Byrne, J., Reed, D.D., 1986. Complex compatible taper and volume estimation system for red and loblolly pine. *Forest Science*, 32, 2, 423-443.
- Cao, Q. V., Burkhart, H. E., Max, T. A., 1980. Evaluating of Two Methods for Cubic-Volume Prediction Of Loblolly Pine to Any Merchantable Limit, *Forest Science*, 2, 1, 71-80.
- Cao, Q.V., Wang, J., 2011. Calibrating fixed- and mixed-effects taper equations. *Forest Ecology and Management*, 262, 671-673.
- Calama, R., Montero, G., 2006. Stand and tree-level variability on the stem form and tree volume in *Pinus pinea* L.: A multilevel random components approach. *Forest Systems*, 15, 24-41.
- Carus, S., 2002. Ilgaz Dağı Üst Orman Zonundaki (Alpinetum Kuşağı) Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Meşcerelerinde Artım ve Büyüme. *Türkiye Dağları I. Ulusal Sempozyumu*, 25-27 Haziran 2002, Ilgaz Dağı-Kastamonu.
- Castedo-Dorado, F., Diéguez-Aranda, U., Barrio, M., Sánchez, M., von Gadow, K., 2006. A generalized height-diameter model including random components for radiata pine plantations in northeastern Spain . *For.Ecol.Manage.* 229:202-213.
- Chapman, H.H., Meyer, W.H., 1949. *Forest Mensuration*, McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Chiu, C. M., Chien, C. T., Nigh, G., 2015. A comparison of three taper equation formulations and an analysis of the slenderness coefficient for Taiwan incense cedar (*Calocedrus formosana*), *Australian Forestry*, 78 (3): 159–168.
- Clark, A., Souther, R. A., Schlaegel, B.E., 1991. *Stem Profile Equations For Southern Tree Species*. USDA Forest Service Research Paper, SE-282.
- Crecente-Campo, F., Soares, P., Tomé, M., Diéguez-Aranda, U., 2010. Modelling Annual Individual-Tree Growth and Mortality of Scots Pine With Data Obtained at Irregular Measurement Intervals and Containing Missing Observations, *Forest Ecology and Management* 260, 1965–1974.

- Cruz-Cobos, F., Santos-Posadas, H. M., Valdez-Lazalde, J. R., 2008. Compatible Taper-Volume System For Pinus Cooperi Blanco In Durango, México, *Agrociencia* 42: 473-485.
- Çakır, C. Y., 2018. Doğu Karadeniz Göknaarı - Doğu Ladini Karışık Meşcereleri İçin Uyumlu Gövde Çapı Ve Gövde Hacim Denklemlerinin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin, 88 s.
- Çakır, C.Y., Kahriman, A. 2018. Modeling Stem Profile of Caucasian Fir and Oriental Spruce Mixed Stands in Turkey Using Nonlinear Mixed-Effects Models, *Applied Ecology and Environmental Research*, 16 (5):6815-6833, DOI: http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1605_68156833.
- Çepel, N., DüNDAR, M., Günel, A., 1977. Türkiye'nin Önemli Yetiştirme Bölgelerinde Saf Sarıçam Ormanlarının Gelişimi İle Bazı Edafik ve Fizyografik Etmenler Arasındaki İlişkiler. Tübitak Yayınları, Yayın No: 354/65, Ankara.
- Demaerschalk, J. P., 1972. Converting volume equations to compatible taper equations. *Forest Science*, 18, 241-245.
- Demaerschalk, J. P. 1973. Integrated systems for the estimation of tree taper and volume. *Canadian Journal of Forest Research*, 3, 9094.
- Demaerschalk, J. P., 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.
- Diéguez – Aranda, U., Castedo- Dorado, F., Alvarez-Gonzalez, J.G., Rojo A., 2006. Compatible taper function for Scots pine plantations in Northwestern Spain. *Canadian Journal of Forest Research* 36: 1190–1205. DOI:10.1139/X06-008.
- Dirican, O., 2017. Bucak yöresi doğal sedir (*Cedrus libani* A. Rich.) ve Toros göknaarı (*Abies cilicica* Carr.) karışık meşcereleri için ticari hacim denklemlerinin geliştirilmesi, (Yüksek Lisans Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi, Isparta.
- Doyog, N. D., Lee, Y. J., Lee, S. 2017. Stem taper equation analysis for Larix kaempferi species in the Central Region of South Korea. *Journal of Sustainable Forestry*, 36(8), 747–763. doi:10.1080/10549811.2017.1356737.
- Ercanlı, İ., 2010. Trabzon ve Giresun Orman Bölge Müdürlükleri Sınırları İçerisinde Yer Alan Doğu Ladini (*Picea orientalis* (L.) Link)-Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Karışık Meşcerelerine İlişkin Büyüme Modelleri. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 351 s.
- Ercanlı, İ., Keleş, S., Sivrikaya, F., Çakır, G., Günlü, A., Karahalil, U., Kadioğulları, A., Başkent, E. Z., Köse, S., 2007a. Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Meşcereleri İçin Yöresel (Yalnızçam ve Uğurlu Orman İşletme Şeflikleri) Sıklığa Bağlı Hasılat Tablosunun Düzenlenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi 70-101.
- Ercanlı, İ., Sivrikaya, F., Keleş, S., Günlü, A., , 2007b. Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Meşcerelerinin Hacim Artımının Meşcere Yaşı, Bonitet Endeksi ve sıklık Derecesine Göre Değişimi, Kastamonu Orman Fakültesi Dergisi, 7 (1), 24-37.

- Ercanlı, İ., Kahriman, A., 2013. Trabzon ve Giresun Orman Bölge Müdürlükleri sınırları içerisinde yer alan Doğu Ladini (*Picea orientalis* (L.) Link) ve sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) karışık meşcereleri için gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin karışık etkili modelleme yaklaşımı ile geliştirilmesi. Ormancılıkta Sektörel Planlamanın 50. Yılı Uluslararası Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s.613-621.
- Ercanlı, İ., Kurt, A.K., Bolat, F., 2014a. Adana-Feke Kızılçam (*Pinus Brutia* Ten.) Meşcereleri İçin Gövde Çapı ve Gövde Hacim Denklemlerinin Karışık Etkili Modelleme ile Geliştirilmesinde Bazı Varyans Yapılarının Karşılaştırılması, II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, 22-24 Ekim, Isparta.
- Ercanlı, İ., Şenyurt, M., Bolat, F. , 2014b. Çankırı yöresi sarıçam meşcereleri için dinamik bonitet endeks modellerinin otoregresif modelleme ile geliştirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi, 15, 53-60.
- Erdemir, Ö., 1974. Sarıkamış, Otlu ve Göle Mıntıkları Saf Sarıçam Meşcerelerinde Hasılat Araştırması, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Teknik Bülten No: 59, Ankara.
- Erkin, K., 1956. Seben mıntıkası sarıçamları hacim eğrisine ait tamamlayıcı etütler. İstanbul Orman Fakültesi Dergisi, A, 6, 2, 243-263.
- EUFORGEN (European Forest Genetic Resources Programme), 2009. Distribution map of Scots pine (*Pinus sylvestris*), www.euforgen.org.
- Fakılı, M., 2012. Çamkoru araştırma ormanı (Çamlıdere-Ankara) saf, aynı yaşlı ve doğal sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) meşcerelerinin büyüme özellikleri. Süleyman Demirel Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Fang, Z., Bailey, R. L., 1999. Compatible volume and taper models with coefficients for tropical species on Hainan Island in Southern China. Forest Science, 45, 8599.
- Fang, Z., Borders, B.E., Bailey, R.L. 2000. Compatible Volume Taper Models for Loblolly and Slash Pine Based on System with Segmented-Stem Form Factors. For. Sci. 46:1-12.
- Farrar, R. M., 1987. Stem profile functions for predicting multiple product volumes in natural longleaf pines. Southern Journal of Applied Forestry, 11, 161-167.
- Fırat, F., 1973. Dendrometri, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ. Ü. Yayın No: 1800, O. F. Yayın No: 193, Kurtuluş Matbaası, İstanbul, 359 s.
- Fonweban, J., Gardiner, B., Macdonald, E., Auty, D., 2011. Taper functions for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) in Northern Britain, Forestry, 84(1):1-12.
- Fonweban, J., Gardiner, B., Auty, D., 2012. Variable-top merchantable volume equations for Scots pine (*Pinus sylvestris*) and Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) in Northern Britain, Forestry, 85(2):1-17.
- Fortin, M., Schneider, R., Saucier, J.P., 2013. Volume and Error Variance Estimation Using Integrated Stem Taper Models, Forest Science, 59(3):1-14.

- Garber, S.M., Maguire, D.A., 2003. Modeling stem taper of three central Oregon species using nonlinear mixed effects models and autoregressive error structures, *Forest Ecology and Management*, 179, 507-507.
- Geray, A. U. 1992. Orman Amenajman Planlarının Kritiği ve Yeni Yaklaşımlar. Ormancılığımızda Orman Amenajmanının Dünü, Bugünü ve Geleceğine İlişkin Genel Görüşme. *Bildiriler Kitabı*, s.197-207, Ankara.
- Gómez-García, E., Crecente-Campo, F., Diéguez-Aranda, U., 2013. Selection of mixed-effects parameters in a variable-exponent taper equation for birch trees in northwestern Spain, *Annals of Forest Science*, 70:707-715.
- Gómez-García, E., Diéguez-Aranda, U., Özçelik, Ö., Sal-Cando, M., Castedo-Dorado, F., Crecente-Campo, F., Corral-Rivas, J.J., Arias-Rodil, M., 2016. Development of a stem taper function using mixed-effects models for *Pinus sylvestris* in Turkey: selection of fixed parameters to expand. *Bosque* 37 (1): 159-167. DOI: 10.4067/S0717-92002016000100015.
- Göçeri, M.F. 2015. Okaliptüs (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn. ve *E. grandis* W. Hill ex Maiden) ağaçlandırmaları için uyumlu çap ve hacim denklemlerinin geliştirilmesi, (Yüksek Lisans Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi, Isparta.
- Guangyi, M., Yujun, S., Hao, X., de-Miguel, S., 2015. A Mixed-Effects Model with Different Strategies for Modeling Volume in *Cunninghamia lanceolata* Plantations. *PLoS ONE* 10(10): e0140095. doi:10.1371/journal.pone.0140095.
- 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*, 21 s.
- Husch, B., 1963. *Forest Mensuration*. The Ronald Press Company, 402p., New York.
- İyit, N., Genç, A., 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., Brooks J. R., Wang J., 2005. Compatible taper and volume equations for yellow-poplar in West Virginia. *For. Ecol. Manage.* 213: 399-409.
- Kahriman, A. 2011. Karadeniz Bölgesi sınırları içerisinde yer alan Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) - Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) karışık meşcerelerine ilişkin büyüme modellerinin geliştirilmesi. *Doktora Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kahriman, A., Sönmez, T., Yavuz, M., Şahin, A., Yılmaz, S., Uzun, M., Kumaş, G., Genç, Y. 2016. Antalya ve Mersin Yöresi Saf Kızılcık Meşcerelerinde Hasılat Araştırmaları, (TÜBİTAK-TOVAG Projesi, Proje No: 112O808), Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi, Artvin.
- Kalıpsız, A., 1984. *Dendrometri*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, No:3194/354, İstanbul. 406 s.
- Kalıpsız, A., 1988. *Orman Hasılat Bilgisi*. İ.Ü. Yayın No: 3516, Orman Fakültesi Yayın No: 397, 349 s., İstanbul.

- Karaer, K., 2015. Eğirdir Yöresi Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ve Karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) Meşcereleri İçin Gövde Çapı Modellerinin Geliştirilmesi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek lisans tezi, 71s.
- Keselman, H.J., Algina, J., Kowalchuk, R.K., 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.
- Kaya, B., 2015. Devrek yöresi sarıçam ve karaçam karışık meşcereleri için gövde çapı ve gövde hacmi denklemlerinin geliştirilmesi, (Yüksek Lisans Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi, Isparta.
- Kozak, A., 1988. A Variable Exponent Taper Equation, *Canadian Journal of Forest Research*, 18, 1363-1368.
- Kozak, A., 2004. My Last Words on Taper Equations. *Forest Chronicle*, 80, 507-515.
- Kozak, A., Smith, J.H.G. 1993. Standards for evaluating taper estimating systems. *For. Chron.* 69: 438-444.
- Kozak, A., Munro, D.O., Smith, J.H.G., 1969. Taper functions and their application in forest inventory. *Forest Chronicle* 45: 278-283.
- Kublin, E., Breidenbach, J., Kändler, G., 2013. A flexible stem taper and volume prediction method based on mixed-effects B-spline regression, *European Journal of Forest Research*, 132:983–997.
- Kumaş, G. 2015. Antalya Orman Bölge Müdürlüğünde Yayılış Gösteren Kızılçam Meşcereleri İçin Uyumlu Gövde Profili Denklem Sistemlerinin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin, 73 s.
- Kurt, A.K., 2014. 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, Yüksek Lisans Tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çankırı.
- Laar A.V., Akça A., 2007. Forest mensuration: in *Managing Forest Ecosystems*, Dordrecht, The Netherlands: Springer. 383 s.
- Laird, N.M., Ware, J.H. 1982. Random-Effects Models for Longitudinal Data. *Biometrics*, 38, 963-974.
- Lappi, J., 1997. A longitudinal analysis of height–diameter curves. *Forest Science*. 43:555-570.
- Lee, W.K., Seo, J.H., Son, Y.M., Lee, K.H. and Von Gadow, K., 2003. Modeling stem profiles for *Pinus densiflora* in Korea. *Forest Ecology and Management*, 172, 69-77.
- Lejeune, G., Ung, C.H., Fortin, M., Guo, X.J., Lambert, M.C., Ruel, J.C., 2009. A simple stem taper model with mixed effects for boreal black spruce. *European Journal of Forest Research*, 128(5): 505-513.

- Leties, L.P., Robinson, A.P., 2004. Improving taper equations of loblolly pine with crown dimensions in a mixed-effects modeling framework, *Forest Science*, 50, 204-212.
- Li, R., Weiskittel, A.R., 2010. Comparison of model forms for estimating stem taper and volume in the primary conifer species of the North American Acadian Region, *Annals of Forest Science* 67(302):1-16.
- Li, R., Weiskittel, A., Dick, A.R., Kershaw J.A., Seymour, R.S., 2011. Regional Stem Taper Equations for Eleven Conifer Species in the Acadian Region of North America: Development and Assessment, *North. J. Appl. For.* 29(1):1-10.
- Littell, R.C., Miliken, G.A., Stroup, W.W., Wolfinger, R.D. 2005. SAS system for mixed models. SAS Institute Inc., Cary,, NC, USA.
- Loetsch, F., Zöhrer, F., Haller, K.E., 1973. Forest Inventory. Volume II, ISBN 3-405-10812-8, BLV Verlagsgesellschaft München Benn Wien, München.
- Max, T. A, Burkhart, H. E., 1976. Segmented Polynomial Regression Applied to Taper Equations, *Forest Science*, 22, 3, 283-289.
- Meydan-Aktürk, 2006. Doğu Ladini (*Picea orientalis* (L.) Link) için trigonometrik gövde profili denkleminin oluşturulması / Construction of trigonometric variable- taper equations for spruce (*Picea orientalis* (L.) Link) trees, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Meyer, H., 1938. The Standard Error of estimate of Tree Volume from Logarithmic Volume Equations, *Journal of Forestry*, 36,3: 340-342.
- Muhairwe, C. K., 1999. Taper equations for *Eucalyptus pilularis* and *Eucalyptus grandis* for the north coast in New South Wales, Australia. *Forest Ecology and Management*, 113, 251-269.
- Munro, D.D., 1966. The distribution of log size and volume within trees. A preliminary investigation. University of British Columbia. Fac. of For., p 27.
- Newnham, R. M. 1988, A Variable Form Taper Function, Canada Frest 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), 210-22.
- Özçelik, R., 2008. Comparison of Formulae for Estimating Tree Bole Volumes of *Pinus sylvestris*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 23 (5), 412-418.
- Özçelik, R., 2010. Sarıçam için uyumlu gövde çapı ve gövde hacim modeli. III. Ulusal Karadeniz Ormançılık Kongresi Artvin, Bildiriler Kitabı, 358-366.
- Özçelik, R., Alkan, H., 2011. Okaliptüs Ağaçlandırmaları için Uyumlu Gövde Çapı ve Gövde Hacim Modellerinin Geliştirilmesi. I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu Kahramanmaraş, Bildiriler Kitabı, 720-730.
- Özçelik, R., Bal, C., 2013 Effects of adding crown variables in stem taper and volume predictions for black pine, *Turkish Journal of Agriculture and Foresry*, 27,231-242

- Özçelik, R., Brooks, J.R., Jiang, L., 2011. Modeling stem profile of Lebanon cedar, Brutian pine, and Cilicica fir in Southern Turkey using nonlinear mixed-effects models. *European Journal of Forest Research*, 130, 613-621.
- Özçelik, R., Brooks, J. R., 2012. Compatible volume and taper models for economically important tree species of Turkey, *Annals of Forest Science*, 69, 105-118.
- Özçelik, R., Yavuz, H., Karatepe, Y., Gürlevik, N., Kiriş, R., 2012. Burdur Yöresi Kızılcım Meşcereleri için Gövde Çapı ve Gövde Hacim Denklemlerinin Geliştirilmesi, *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 85-91.
- Özçelik, R., Göçeri, M.F., 2015. Compatible merchantable stem volume and taper equations for eucalyptus plantations in the Eastern Mediterranean Region of Turkey, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39:851-863.
- Özçelik, R., Yaşar, Ü., 2015. Development of stem diameter model for Bormullerian fir (*Abies nordmanniana* (Stev.) subsp. *bormulleriana* (Mattf.)) stands in Ayancık District using mixed effects modeling approach, *Turkish Journal of Forestry*, 16(2): 86-95.
- Özçelik, R., Karaer, K. 2016. Eğirdir Yöresi doğal kızılçım ve karaçım meşcereleri için ticari hacim denklemlerinin geliştirilmesi, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 66:59-74.
- Özkurt, A., 2000. Okalıptüs (*Eucalyptus grandis* W. Hill Ex Maiden) için hacim tablosu. *DOA Dergisi*, s.87-105.
- Parresol, B.R., Hotvedt, J.E., Cao Q.V. 1987. A Volume and Taper Prediction System for Bald Cypress. *Can. J. For. Res.* 17:250-259.
- Pehlivan, S., 2010. Sarıçım (*Pinus sylvestris* L.) Ağaç Hacim Tablolarının Düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 53 s.
- Perez, D.N., Burkhart, H.E., Stiff, C.T. 1990. A variable-Form Taper Function for *Pinus Oocarpa* Schiede in Central Honduras. *For. Sci.* 36: 186-191.
- Reed, D.D., Green E., 1984. Compatible stem taper and volume ratio equations. *For Sci* 30(4):977-990.
- SAS Institute Inc. 2004. SAS/ETS 9.0 User's Guide. Cary, NC, SAS Institute Inc.
- Sakıcı, O., 2002. Kastamonu Yöresi Uludağ Göknarı Meşcerelerinde Gövde Profili, Hacim, Hacim Oran Sistemlerinin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Sakıcı, O.E., Mısır N., Yavuz H., Mısır M., 2008. Stem taper functions for *Abies nordmanniana* subsp. *bormulleriana* in Turkey. *Scandinavian Journal of Forest Research* 23: 522-533.
- Schmidt, M., Kiviste, A., Von Gadow, K.A. 2010. Spatially explicit height-diameter model for Scots pine in Estonia. *European Journal of Forest Research*, 130 (2); 303-315.
- Schröder, T., Costa, E.A., Valério, A.F., Lisboa, G.S., 2015. Taper Equations for *Pinus elliottii* Engelm. In Southern Paraná, Brazil, *For. Sci.* 61(2):311-319.

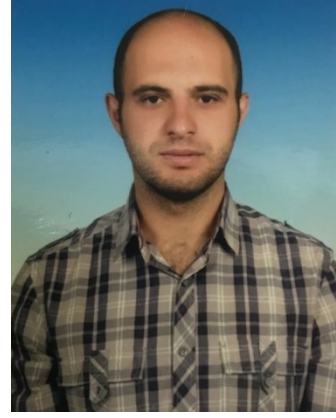
- Searle, S.R., Casella, G., Mc Culloch, C.E., 1992. Variance components. John Wiley and Sons Inc., USA.
- Sharma, M., Oderwald, R. G. 2001. Dimensionally compatible volume and taper equations. Canadian Journal of Forest Research, 31, 797803.
- Sharma, M., Parton J., 2009. Modeling stand density effects on taper for Jack pine black spruce plantations Using Dimensional Analysis. Forest Science, 55 (3); 268-282.
- SPSS Institute Inc. 2010. IBM SPSS Statistics 19 Core System User's Guide, SPSS Programming and Data Management, 426 pp.
- Spurr, S.H. 1952. Forest Inventory, The Ronald Press Co. N. Y., 476 s.
- Subedi, N., Sharma, M., 2011. Applying wavelet-based functional approach in modelling tree taper, Annals of Forest Science, 68:1039-1048.
- Sun, O., Eren, M. E., 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.
- Şahin, D., 2012. Karaçam meşcereleri için uyumlu gövde çapı ve gövde hacmi denklem sistemlerinin geliştirilmesi. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek lisans tezi, 64s.
- Şenyurt, M., 2011, Batı Karadeniz yöresi Sarıçam meşcerelerinde artım ve büyüme, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 210 s.
- Şenyurt, M., Saraçoğlu, Ö., 2012. Batı Karadeniz Yöresi Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Meşcereleri İçin Bonitet Tablosunun Düzenlenmesi. Kastamonu Orman Fakültesi Dergisi Cilt:12 No:1 102-111.
- Şenyurt, M., Ercanli, İ., Saraçoğlu, Ö. 2014. Batı Karadeniz Yöresi Sarıçam Meşcereleri İçin Uyumlu Gövde Çapı ve Gövde Hacim Denklemlerinin Karışık Etkili Modelleme ile Geliştirilmesi, II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, 22-24 Ekim 2014, Isparta, 601-607.
- Şenyurt, M., Ercanli, İ., Bolat, F. 2017. Taper equations based on nonlinear mixed effect modeling approach for *Pinus nigra* in Çankırı forests, Bosque, 38(3): 545-554.
- Tasissa, G., Burkhart, H.E., 1998. An application of mixed effects analysis to modeling thinning effects on stem profile of Loblolly pine. Forest Ecology and Management, 103 (1); 87-101.
- Trincado, G., Burkhart, H.E. 2006. A generalized approach for modeling and localizing stem profile curve. Forest Science, 52 (6); 670-682.
- Trincado, G., Vander-Schaaf, C.L., Burkhart, H.E., 2007. Regional mixed-effects height-diameter models for loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantations. European Journal Forest Research, 126:253-262.
- Westfall, J.A., Scott, C.T., 2010. Taper Models for Commercial Tree Species in the Northeastern United States, Forest Science, 56(6):1-14.
- Wolfinger, R., Chang, M. 1999. Comparing the SAS glm and mixed procedures for repeated measures. SAS Institute, Inc., Cary, NC.

- Yaşar, Ü., 2015. Sinop yöresi Uludağ göknarı (*Abies nordmanniana* (Stev.) Subsp. *bornmülleriana* (Mattf.) meşcereleri için gövde çapı modelinin karışık etkili modelleme tekniği kullanılarak geliştirilmesi, (Yüksek Lisans Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi, Isparta.
- Yang, Y., Huang, S., Meng, S.X., 2009a. Development of a Tree-Specific Stem Profile Model for White spruce: A Nonlinear Mixed Model Approach with a Generalized Covariance Structure. *Forestry* 82(5):541-555. DOI: 10.1093/forestry/cpp026.
- Yang, Y., Huang, S., Trincado, G., Meng, S.X. 2009b. 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., 1995a. Taşköprü Orman İşletmesinde Sarıçam ve Karaçam İçin Uyumlu Gövde Çapı, Gövde Hacmi ve Hacim Oran Denklem Sistemlerinin Geliştirilmesi, KTU Orman Mühendisliği Bölümü, Orman Amenajmanı Anabilim Dalı, Basılmamış Doçentlik Tezi, 101s.
- Yavuz, H., 1995b. Uyumlu ve Uyumsuz Gövde Çapı Modelleri, KTÜ Orman Fakültesi Bahar Yarıyılı Seminerleri, Fakülte Yayın No:49, 101-106.
- Yavuz, H., 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., Mısır, N., Tüfekçiöğlü, A., Altun, L., Mısır, M., Ercanlı, İ., Sakıcı, O. E., Kahriman, A., Karahalil, U., Yılmaz, M., Sarıyıldız, T., Küçük, M., Meydan, G., Bayburtlu, Ş., Bilgili, F., Aydın, A. C., Kara, Ö., Bolat, İ., Usta, A., 2010. Karadeniz Bölgesi Saf ve Karışık Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Meşcereleri İçin Mekanistik Büyüme Modellerinin Geliştirilmesi, Biyokütle ve Karbon Depolama Miktarlarının Belirlenmesi. (TÜBİTAK-TOVAG Projesi, Proje No: 106O274), Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi, Trabzon.
- Yiğit, E., 2018. Toros göknarı (*Abies cilicica* Carr.) için gövde çapı modelinin karışık etkili modelleme tekniği kullanılarak geliştirilmesi, (Yüksek Lisans Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Zhao, D., Kane, M., 2017. New Variable-Top Merchantable Volume and Weight Equations Derived Directly from Cumulative Relative Profiles for Loblolly Pine, *For. Sci.* 63(3):261–269.
- Zheng, C., Wang, Y., Jia, L., Mason, E.G., We, S., Sun, C., Duan, J. 2017. Compatible taper volume models of *Quercus variabilis* Blume forests in north China. *iForest* 10: 567-575, doi: 10.3832/ifor2114-010.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : SAYGILI, Burak
Uyruğu : T.C
Doğum tarihi ve yeri : 28/08/1987 - Posof
Medeni hali : Bekar
Telefon : 05363484858
e-mail : saygili7561@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	KTÜ/Orman Mühendisliği Bölümü	26.06.2011
Lise	Posof Lisesi-posof-Ardahan	15.06.2004

Yabancı Dil

İngilizce