

# Antalya-Gebiz Yöresi Kızılcım Meşcereleri için Uyumlu Gövde Hacmi ve Gövde Çapı Modelleri

Mustafa Turgut<sup>1</sup>, Ramazan Özçelik<sup>2</sup>, Onur Alkan<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, Türkiye  
<sup>2,\*</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

## Makale Tarihi

Gönderim: 08.03.2022

Kabul: 02.06.2022

Yayın: 15.08.2022

## Araştırma Makalesi



**Öz** – Ülkemizin ekolojik ve ekonomik açıdan önemli ağaç türlerinden birisi Kızılcım (*Pinus brutia* Ten.)'dır. Bu nedenle türün sürdürülebilir yönetimi ve planlaması için hasılat ve büyüme modellerine ihtiyaç vardır. Hasılat ve büyüme modellerinin en önemli bileşenlerinden birisi de ağaç hacim tahminleridir. Ülkemizde ağaç hacim tahminleri genellikle tek girişli hacim tabloları kullanılarak yapılmaktadır. Ancak söz konusu hacim tabloları kullanılarak, güvenilir ve doğru hacim tahminleri yapılması oldukça güçtür. Günümüzde ağaç hacim tahminleri için en doğru yaklaşım tarzlarından birinin uyumlu gövde çapı ve gövde hacim denklemleri olduğu ifade edilmektedir. Bu çalışmada, Antalya-Gebiz yöresi doğal kızılcım meşcereleri için uyumlu gövde hacmi ve gövde çapı denklemleri geliştirilmiştir. Bu amaçla, Max ve Burkhardt (1976), Parresol vd. (1987), Clark vd. (1991) ve Jiang vd. (2005) tarafından geliştirilen parçalı gövde çapı modelleri seçilmiştir. Seçilen modeller, gövde çapı ve gövde hacim tahminleri açısından tüm ağaç ve gövdenin farklı bölümleri için karşılaştırılmıştır. Geliştirilen tüm modeller gerek gövde çapı gerekse gövde hacim tahminlerinde başarılı sonuçlar üretmiştir. Test edilen tüm modeller, gövde çapı tahminlerindeki varyasyonun %94'ünden; gövde hacim tahminlerindeki varyasyonun ise %95'inden daha fazlasını açıklamıştır. Gövde çapı tahminlerindeki hatalar 2,8 cm'den, gövde hacim tahminlerindeki hatalar ise 0,02 m<sup>3</sup>'ten daha az bulunmuştur. En başarılı tahminler Clark vd. (1991) tarafından geliştirilen gövde çapı modeli ile elde edilmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında geliştirilen modeller, yöresel tek girişli hacim tablosu değerleri ile de karşılaştırılmıştır. Test edilen dört gövde hacim modeli de yöresel tek girişli hacim tablosundan daha iyi sonuçlar ortaya koymuştur.

**Anahtar Kelimeler** – Gövde çapı, ağaç hacmi, Kızılcım, nispi boy

## Compatible Stem Volume and Stem Diameter Equations for Brutian Pine Stands in Antalya-Gebiz Region

<sup>1</sup> Isparta University of Applied Sciences, Institute of Graduate Education, Department of Forest Engineering, Isparta, Türkiye

<sup>2</sup> Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Forestry, Department of Forest Engineering, Isparta, Türkiye

## Article History

Received: 08.03.2022


Accepted: 02.06.2022


Published: 15.08.2022


## Research Article

**Abstract** – Brutian pine (*Pinus brutia* Ten.) is one of the most important tree species ecologically and economically. Reliable and accurate growth and yield models are needed for sustainable forest management and planning of this species. One of the most important components of the growth and yield models is tree stem volume estimates. Usually, tree volume estimations are still made with single-entry volume tables in Turkey. However, these local volume tables are insufficient for reliable and accurate volume estimation. It is stated that one of the most correct approaches to meet the deficiency in this subject is the use of compatible stem diameter and stem volume equations. In this study, compatible stem diameter and volume equations were developed for Brutian pine trees in Antalya-Gebiz region. For this purpose, parameter estimates were made for the stem diameter and stem volume equations that have been developed by Max and Burkhardt (1976), Parresol et al. (1987), Clark et al. (1991), and Jiang et al. (2005). All developed models yielded successful results in both stem diameter and stem volume estimations. The errors in the diameter and volume estimations were found to be less than 2.8 cm and less than 0.02 m<sup>3</sup>, respectively. In addition, diameter and volume estimates were made at 10 distinct parts of the stem to determine the accuracy and reliability of the models developed. Additionally, the stem volume predictions obtained from proposed models in this study were compared with the volume estimates obtained with the regional volume table, and it was seen that proposed models gave better results than the local volume table. Among the four stem diameter and stem volume models developed, the most successful results were obtained with the model developed by Clark et al. (1991). In addition, the developed models were also compared with the results of local volume table. Tested models produced better results than the local volume table.

**Keywords** – Stem diameter, stem volume, Brutian pine, relative height

<sup>1,\*</sup>  mustafaturgut32@outlook.com

<sup>2</sup>  ramazanozcelik@isparta.edu.tr

<sup>3</sup>  onuralkan@isparta.edu.tr

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Onur ALKAN

## 1. Giriş

Kızılçam ekonomik ve ekolojik açıdan ülkemizin önemli ağaç türlerinden birisidir. 2020 yılı envanter verilerine göre, tür yaklaşık 5,2 milyon ha alan kaplamakta olup, dikili ağaç serveti miktarı da yaklaşık 270 milyon m<sup>3</sup>'tür (OGM, 2020). Kızılçam, bir yandan orman ürünleri endüstrisi için önemli bir hammadde kaynağı durumunda iken, diğer yandan da biyolojik çeşitliliğin, toprak ve su kaynaklarının ve yaban hayatının korunması açısından önemli çevresel ve ekolojik hizmetlerin yerine getirilmesine yardımcı olmaktadır. Bu nedenlerle, doğal kızılçam ormanlarının sürdürülebilir yönetimi ve çok amaçlı yararlanma alternatiflerinin ortaya konması için türün büyüme ve hasılatına ilişkin güvenilir bilgilerin bulunmasını zorunludur. Amenajman planlarının hazırlanmasına temel olan ekosistem tabanlı fonksiyonel planlama yaklaşımı da ağaç türlerine ilişkin büyüme ve hasılat modellerine ihtiyaç duymaktadır. Klos vd. (2007)'e göre, hasılat ve büyüme modellerinin en önemli bileşenlerinden birisi ağaç hacim denklemleridir. Ağaç hacmi tahmin modelleri, ağaç ve meşcere hacminin ve bu hacim miktarının farklı ticari sınıflara dağılımının ortaya konmasında (Dieguez-Aranda vd., 2006), orman amenajman planlarının düzenlenmesinde (Rodríguez vd., 2014), orman ürünleri sanayisinin geleceğine ilişkin projeksiyonların yapılmasında (de-Miguel vd., 2012) ve uygun biyokütle dönüşüm faktörleri yardımı ile biyokütle ve karbon birikim miktarının hesaplanmasında (Castedo-Dorado vd., 2012; Pancoast, 2018) kullanılmaktadır. Bu nedenle, ülkemizde tek ağaç ve meşcere hacminin gerçeğe yakın bir şekilde tahmin edilmesine imkân veren, hasılat ve büyüme modellerine entegre edilebilen güvenilir hacim tahmin modellerine ihtiyaç duyulmaktadır (de-Miguel vd., 2012). Ancak, günümüzde kullanılmakta olan geleneksel ağaç hacim tabloları, değişen ve gelişen ürün ve pazar şartlarını karşılamakta yetersiz kalmaktadır. Pek çok araştırmacı, uyumlu gövde çapı ve hacim modellerinin, değişen pazar ve ürün standartlarının karşılanması için en doğru ve modern yaklaşım tarzlarından biri olduğunu ifade etmektedir (Jiang vd., 2005; Li ve Weiskittel, 2010; Özçelik ve Crecente-Campo, 2016).

Yüzyılı aşkın bir süredir basit gövde çapı modellerinden (Kozak vd., 1969; Ormerod, 1973; Biging, 1984) daha karmaşık parçalı gövde çapı modelleri formuna (Max ve Burkhart, 1976—MB76; Cao vd., 1980; Parresol vd., 1987—PA87; Clark vd., 1991—CL91; Jiang vd., 2005—JI05; Fang vd., 2000; Poudel vd., 2018) çok fazla sayıda gövde çapı modeli geliştirilmiştir. Ülkemizde de farklı araştırmacılar tarafından gövde profili modelleri geliştirilmiştir (Sakıcı vd., 2008; Brooks vd., 2008; Ercanlı vd., 2014; Özçelik ve Cao, 2017; Sakıcı ve Özdemir, 2018; Şenyurt ve Ercanlı, 2019). Figueiredo-Filho vd. (1996), taeda çamı plantasyonları için MB76, PA87 ve CL91'i de içeren beş farklı gövde çapı modelini gövde çapı tahminleri için karşılaştırmış ve hem çap hem de gövde hacmi tahminleri için en başarılı sonuçların CL91 ile elde edildiğini ortaya koymuştur. Jiang vd. (2005) tarafından yapılan çalışmada MB76, CL91 ve CL91'in değiştirilmiş bir formu olan JI05 parçalı gövde çapı modelleri kullanılarak Amerikan lale ağacı (*Liriodendron tulipifera* L.) için uyumlu gövde hacmi ve gövde çapı denklemleri geliştirilmiştir. Bu denklemler kullanılarak elde edilen çap ve hacim tahminleri tüm gövde ve gövdenin farklı bölümleri için tahmin performansları açısından karşılaştırılmış ve en başarılı sonuçlar JI05 ile elde edilmiştir. Sakıcı vd. (2008), Karadeniz göknarı için gövde çapı tahminleri amacıyla değişik formlarda gövde çapı modellerini test etmiştir. En başarılı tahminlerin Kozak (1988) tarafından geliştirilen gövde çapı modeli ile elde edildiği belirlenmiştir. Li ve Weiskittel (2010), Kuzey Amerika'nın Acadian Bölgesinin asli çam türleri için gövde çapı ve gövde hacmi tahmin modelleri geliştirmiştir. Çalışmada, 10 farklı parçalı ve değişken şekil gövde çapı modeli kullanılmıştır. Gövde çapı tahminlerinde en başarılı sonuçlar Kozak (2004) ve Bi (2000) ile elde edilmişken; gövde hacim tahminlerinde en başarılı sonuçlar CL91 ile elde edilmiştir. Özçelik ve Brooks (2012) tarafından Türkiye'nin önemli asli ağaç türleri için (Kızılçam, Karaçam, Toros sediri, Toros göknarı ve sarıçam) MB76 ve CL91 parçalı gövde çapı modelleri kullanılarak uyumlu gövde çapı ve gövde hacim modelleri geliştirilmiştir. Çalışmada gövde çapı ve toplam gövde hacmi tahminleri hem tüm gövde hem de gövdenin farklı bölümleri için değerlendirilmiş ve en başarılı sonuçlar CL91 ile elde edilmiştir. Özçelik ve Crecente-Campo (2016) tarafından farklı formlardaki gövde çapı modelleri, sedir ağaçlarının gövde çapı, ticari hacim ve toplam gövde hacmi tahminleri için karşılaştırılmıştır. En başarılı sonuçların CL91 ile elde edildiği görülmüştür. Tang vd. (2016), Çin'deki göknar plantasyonları için uyumlu gövde çapı ve meşcere düzeyinde ticari hacim modelleri geliştirmiştir. Bu amaçla Fang vd. (2000) tarafından

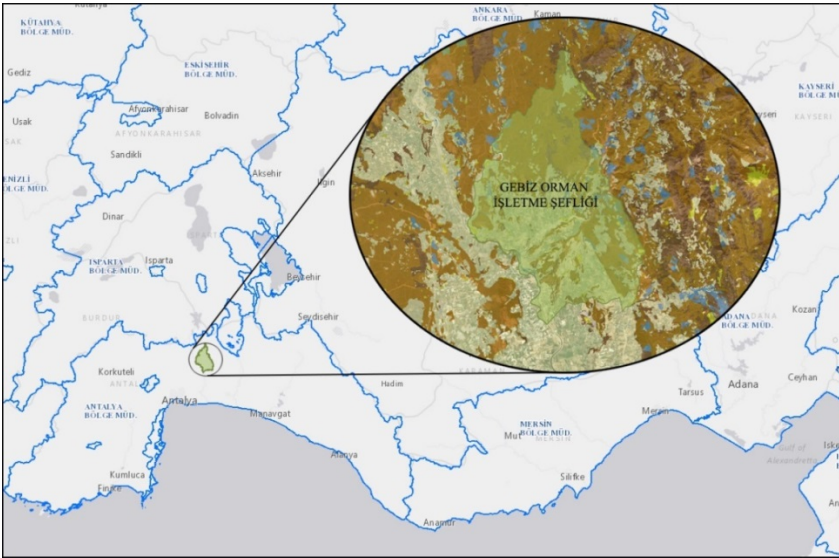
önerilen parçalı gövde çapı modeli kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, uyumlu gövde çapı modeli ile oldukça başarılı çap ve gövde hacmi tahminleri yapılabildiği rapor edilmiştir. Hussain vd. (2020), Kuzeydoğu Çin'in üç aslı çam türü için gövde çapı modelleri geliştirmişlerdir. Bu amaçla iki farklı gruptan çok yaygın kullanılan beş farklı gövde çapı modeli karşılaştırılmıştır. İstatistiksel değerlendirmeler sonucunda, CL91'in gövde çapı, ticari hacim ve toplam gövde hacmi tahminlerinde diğer modellere göre daha başarılı olduğu ortaya konmuştur. Hussain vd. (2021) tarafında yapılan çalışmada ise, Kore ladini (*Picea koraiensis* Nakai) ve Mançurya göknarı (*Abies nephrolepis* Maxim) türleri için parçalı ve değişken şekil gövde çapı model formlarından modeller kullanılarak gövde çapı, ticari hacim ve toplam gövde hacmi tahminleri açısından karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan ölçüt değerleri itibariyle en başarılı sonuçlar CL91 ile elde edilmiştir.

Bu çalışmada, Antalya-Gebiz yöresi doğal kızılçam meşcereleri için uyumlu gövde çapı ve gövde hacmi denklemleri geliştirilmiştir. Bu kapsamda, gövde çapı ve gövde hacmi tahminleri amacıyla yaygın olarak kullanılan dört farklı parçalı gövde çapı modeli kullanılmış ve elde edilen sonuçlar tüm gövde ve gövdenin on farklı bölümü için değerlendirilmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Materyal

Uyumlu gövde hacmi ve gövde çapı modellerinin geliştirilmesi amacıyla gerekli örnek ağaç verileri, Antalya-Gebiz Yöresi doğal kızılçam meşcerelerinden 2020- 2021 yıllarında toplanmıştır (Şekil 1). Örnek ağaçlar, meşcere içerisindeki hâkim ve yarı hâkim ağaçlar arasından seçilmiştir. Tepesi kırık, gövdesi çatallı, azman yapmış ve gövde formu bozuk ağaçların örnek ağaç olarak seçilmemesine özen gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışmaların yürütüldüğü Antalya-Gebiz Yöresi

Bu kapsamda toplam 204 adet örnek ağaçta ölçümler gerçekleştirilmiş, rastgele yöntemle bu ağaçların yaklaşık %75'i (157 ağaç) model geliştirmek, %25'lik (47 ağaç) kısmı ise geliştirilen modellerin test edilmesi amacıyla iki gruba ayrılmıştır. Model geliştirme ve geliştirilen modellerin test edilmesi amacıyla kullanılan örnek ağaçlara ilişkin tanımlayıcı istatistikler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1  
Örnek ağaç verileri için tanımlayıcı istatistikler

Değişkenler	Ortalama	S.D.	Minimum	Maksimum
<b>Model Geliştirme Verisi (n=157 ağaç)</b>				
DBH (cm)	38,08	7,46	11,80	59,70
Toplam ağaç boyu (m)	22,67	2,51	9,00	28,00
Kesit çapı (cm)	23,24	11,74	1,00	62,30
Kesit boyu (m)	10,82	6,53	0,30	27,30
Toplam ağaç hacim (m <sup>3</sup> )	1,125	0,50	0,033	3,068
<b>Model Test Verisi (n=77 ağaç)</b>				
DBH (cm)	24,52	12,33	9,50	56,20
Toplam ağaç boyu (m)	23,17	8,40	6,00	28,00
Kesit çapı (cm)	24,52	12,33	1,60	63,00
Kesit boyu (m)	10,97	6,62	0,30	26,30
Toplam ağaç hacmi (m <sup>3</sup> )	1,275	0,57	0,019	3,031

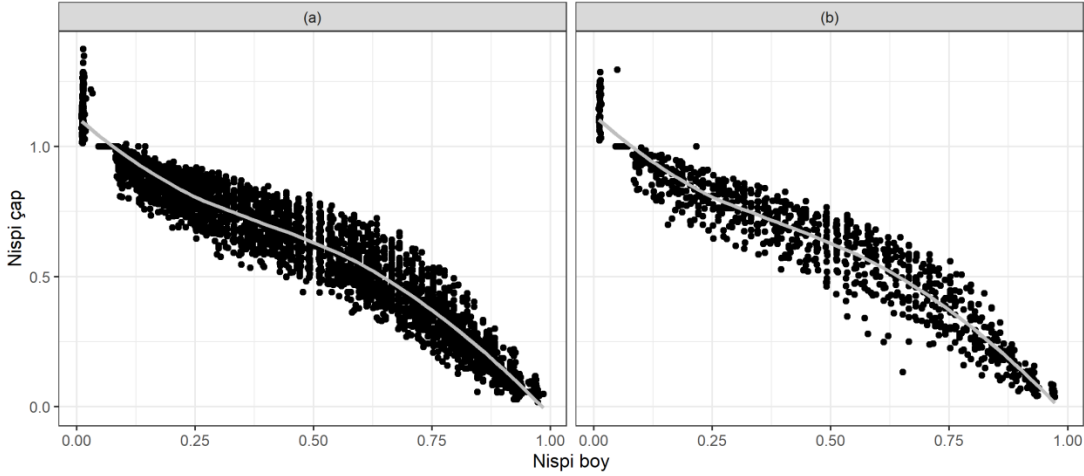
Çalışma kapsamında kullanılan örnek ağaçların çap ve boy basamaklarına dağılımları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2  
Örnek ağaçların (Model geliştirme ve Model test verileri) çap ve boy basamaklarına dağılımı\*

Çaplar (cm)	Boylar (m)											Σ	
	7	9	11	15	17	19	21	23	25	27	29		
10	(1)	1											1 (1)
14			1										1
18				1									1
26					2	4 (2)	5	1	(1)				12 (3)
30						1 (1)	12 (3)	2 (1)					15 (5)
34						1 (1)	13 (3)	18 (5)	6 (1)	2			40 (10)
38					1	1	8 (1)	19 (5)	3 (2)			1	33 (8)
42							1	6 (2)	11 (4)	5 (1)	1		24 (7)
46						1	1	3 (2)	4 (2)	4			13 (4)
50							2	4	4 (3)	1 (2)			11 (5)
54									2 (1)	2 (1)	(1)		4 (3)
58									1	(1)	1		2 (1)
Σ	(1)	1	1	1	3	8 (4)	42 (7)	53 (15)	31 (14)	14 (5)	3 (1)		157 (47)

\* Model test verileri parantez içerisinde gösterilmiştir.

Örnek ağaçların nispi çap – nispi boy grafikleri Şekil 2’de gösterilmiştir. Örnek ağaçlar üzerinde önce dikili halde göğüs çapları ölçülmüş, ağaçlar kesildikten sonra ise şerit metre yardımı ile toplam ağaç boyları ölçülmüş, gövde üzerindeki çap değerleri ise dijital çap ölçer kullanılarak sırasıyla 0,3, 1,3, 2,3 ve ağaç uç tomurcuğuna kadar 1 metre aralıkla ölçülmüştür. Çap ölçümleri, 0,1 cm hassasiyetle, birbirine dik olarak yapılan iki ölçümün aritmetik ortalaması alınarak; boy ölçümleri ise 5 cm hassasiyetle gerçekleştirilmiştir. Örnek ağaçlara ilişkin gövde hacimleri, Bailey (1995) tarafından önerilen “overlapping bolt” yöntemi ile tahmin edilmiştir.



Şekil 2. Model geliştirme (a) ve model test (b) verileri için nispi çap-nispi boy grafikleri

## 2.2. Metot

### 2.2.1. Gövde Profili Modelleri

Çalışma kapsamında Max ve Burkhart (1976), Parresol vd. (1987), Clark vd. (1991) ve Jiang vd. (2005) tarafından geliştirilmiş ve yaygın olarak kullanılan dört farklı parçalı gövde çapı modeli değerlendirilmiştir. Clark vd. (1991) ve Jiang vd. (2005) tarafından geliştirilen modeller, ağaçların göğüs çapı ve toplam ağaç boyuna ek olarak 5,3 m yükseklikteki çap değerinin de bilinmesi gerekmektedir. Gövde çapı modellerine ilişkin detaylı bilgiler aşağıda verilmiştir.

#### MB76 (Max ve Burkhart, 1976)

MB76, ağaç gövdesindeki değişimi 3 farklı geometrik şekille açıklamaktadır. Bu kapsamda, ağaç gövdesinin dip kısmı nayloid, orta kısmı kesik paraboloid ve uç kısmı ise koni olarak tanımlanmaktadır. Bu farklı geometrik şekiller ise iki farklı katılma noktası ile tek bir formülde birleştirilmektedir.

$$d^2 = D^2(b_1(Z - 1) + b_2(Z^2 - 1) + b_3(a_1 - Z)^2 I_1 + b_4(a_2 - Z)^2 I_2) \quad (2.1)$$

Burada,

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

$h$  = ölçüm noktasının yerden yüksekliği (m),

$H$  = toplam ağaç boyu (m),

$D$  = kabuklu göğüs çapı (cm),

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

$a_i$  = bükülme noktaları,  $i = 1, 2$ ,

$b_i$  = regresyon katsayıları,  $i = 1, 4$ .

Gövde hacim denklemi MB76 gövde çapı modelinin integralinin alınması ile aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

$$V = KD^2H \left\{ \begin{array}{l} \frac{b_2}{3}(Z_u^3 - Z_l^3) + \frac{b_1}{2}(Z_u^2 - Z_l^2) - (b_1 + b_2)(Z_u - Z_l) \\ -\frac{b_3}{3}[(a_1 - Z_u)^3 J_1 - (a_1 - Z_l)^3 K_1] \\ -\frac{b_4}{3}[(a_2 - Z_u)^3 J_2 - (a_2 - Z_l)^3 K_2] \end{array} \right\} \quad (2.2)$$

Burada

$$Z_l = \frac{h_l}{H}, \quad Z_u = \frac{h_u}{H}, \quad K = 0.0000785$$

$h_l$  = ilgilenilen en düşük boy (m) ,  $h_u$  = ilgilenilen en yüksek boy (m)

$$J_i = \begin{cases} 1 & Z_u \leq a_i \\ 0 & Z_u > a_i \end{cases} \quad i = 1, 2 \quad K_i = \begin{cases} 1 & Z_l \leq a_i \\ 0 & Z_l > a_i \end{cases} \quad i = 1, 2$$

### PA87 (Parresol vd., 1987)

$$d^2 = D^2[z^2(b_1 + b_2z) + (z - a)^2[b_3 + b_4(z + 2a)]I] \quad (2.3)$$

Burada

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

Gövde hacim modeli ise PA87'ni integrali ile aşağıdaki şekilde elde edilmektedir:

$$V = KD^2H \left\{ \begin{array}{l} (b_1/3)(z_l^3 - z_u^3) + (b_2/4)(z_l^4 - z_u^4) + \\ (b_3/3)[(z_l - a)^3 I_l - (z_u - a)^3 I_u] + \\ (b_4/4) \begin{bmatrix} (z_l^4 - 6a^2 z_l^2 + 8a^3 z_l) I_l \\ -(z_u^4 - 6a^2 z_u^2 + 8a^3 z_u) I_u \end{bmatrix} \end{array} \right\} \quad (2.4)$$

Burada

$$I_i = \begin{cases} 1 & Z_l \leq a \\ 0 & Z_l > a_i \end{cases} \quad i = l, u$$

### CL91 (Clark vd. 1991)

CL91 ise; Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen gövde çapı modeli ile Schlaegel (1983) tarafından geliştirilen gövde çapı modelinin kombine edilmesi ile elde edilmiştir. Bu model, ağaç gövdesini dört farklı parçada incelemektedir. Bunlar,

- 0,30 m – 1,30 m arasında kalan dip bölümü
- 1,30 – 5,30 m arasındaki alt gövde bölümü
- 5,30 m ile toplam ağaç boyunun yüzde 40-70'lik bölümünü kapsayan orta gövde bölümü
- Ağaç boyunun yüzde 40-70'inden ağacın tepe kısmına kadar olan üst gövde bölümüdür.

$$d = \left\{ \begin{aligned} & I_S \left( D^2 \left( 1 + \frac{(b_2 + b_3/D^3)(1 - h/H)^{b_1} - (1 - 1,30/H)^{b_1}}{1 - (1 - 1,30/H)^{b_1}} \right) \right) + \\ & I_B \left( D^2 - \frac{(D^2 - F^2)((1 - 1,30/H)^{b_4} - (1 - h/H)^{b_4})}{(1 - 1,30/H)^{b_4} - (1 - 5,30/H)^{b_4}} \right) + \\ & I_T \left( F^2 \left( b_6 \left( \frac{h - 5,30}{H - 5,30} - 1 \right)^2 + I_M \left( \frac{1 - b_6}{b_5^2} \right) \left( b_6 - \frac{h - 5,30}{H - 5,30} \right)^2 \right) \right) \end{aligned} \right\}^{0.5} \quad (2.5)$$

Burada

$b_1, b_2$  ve  $b_3$  = Gövdenin 1,3 m'nin altında kalan kısmı için regresyon katsayıları.

$b_4$  = Gövdenin 1,3-5,3 m arasında kalan kısmı için regresyon katsayıları.

$b_5$  ve  $b_6$  = Gövdenin 5,3 m'nin üzerinde olan kısmı için regresyon katsayıları.

$F$  = 5,3 m yükseklikteki gövde çapı değeri (cm)

$F$  değeri ya da ağacın 5,30 m yükseklikteki çap değeri, arazide ölçüm yolu ile elde edilebileceği gibi ağacın göğüs çapı ve boyunun bir fonksiyonu olarak aşağıda verilen eşitlik yardımı ile de bulunabilmektedir.

$$F_{d0b5.3} = D(b_1 + b_2(5,30/H)^2) \quad (2.6)$$

Clark vd. (1991) tarafından geliştirilen gövde profili modeli kapsamında kullanılan dört indikatör değişken aşağıda tanımlanmıştır.

$$I_S = \begin{cases} 1 & h < 1,30 \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases}, \quad I_B = \begin{cases} 1 & 1,30 \leq h < 5,30 \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases},$$

$$I_T = \begin{cases} 1 & h > 5,30 \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases}, \quad I_M = \begin{cases} 1 & h < (5,30 + b_5(H - 5,30)) \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases},$$

Hacim tahminleri ise, bu modelin türevinin alınması ile elde edilen denklem ile gerçekleştirilmektedir.

$$V = k \left\{ \begin{aligned} & I_1 D^2 \left[ (1 - GW)(U_1 - L_1) + \frac{W((1 - L_1/H)^{b_1}(H - L_1) - (1 - U_1/H)^{b_1}(H - U_1))}{(b_1 + 1)} \right] \\ & + I_2 I_3 \left[ T(U_2 - L_2) + \frac{Z((1 - L_2/H)^{b_4}(H - L_2) - (1 - U_2/H)^{b_4}(H - U_2))}{(b_4 + 1)} \right] \\ & + I_4 F^2 \left[ \begin{aligned} & b_6(U_3 - L_3) - \frac{b_6((U_3 - 5,30)^2 - (L_3 - 5,30)^2)}{(H - 5,30)} \\ & + \frac{b_6/3((U_3 - 5,30)^3 - (L_3 - 5,30)^3)}{(H - 5,30)^2} \\ & + \frac{I_5(1/3)(1 - b_6/b_5^2)(b_5(H - 5,30) - (L_3 - 5,30))^3}{(H - 5,30)^2} \\ & - \frac{I_6(1/3)(1 - b_6/b_5^2)(b_5(H - 5,30) - (U_3 - 5,30))^3}{(H - 5,30)^2} \end{aligned} \right] \end{aligned} \right\} \quad (2.7)$$

Burada

$$G = (1 - \frac{1,30}{H})^{b_1}, W = \frac{b_2 + \frac{b_3}{D^3}}{1-G}, X = (1 - 1,30/H)^{b_2}, Y = (1 - 5,30/H)^{b_2}, T = D^2 - ZX,$$

$$Z = \frac{D^2 - F^2}{X - Y}, L_1 = \max(L, 0,30), L_2 = \max(L, 1,30), L_3 = \max(L, 5,30),$$

$$U_1 = \min(U, 1,30), U_2 = \min(U, 5,30) \text{ ve } U_3 = \min(U, H),$$

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

$$I_5 = \begin{cases} 1 & (L_3 - 5,30) < b_5(H - 5,30) \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases}, I_6 = \begin{cases} 1 & (U_3 - 5,30) < b_5(H - 5,30) \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases},$$

$$k = 0.0000785$$

Bu modelde kullanılan diğer terimler daha önceki denklemlerde açıklandığı için tekrar verilmemiştir.

**J105 (Jiang vd., 2005)**

Bu model Jiang vd. (2005) tarafından, CL91 modelinde yapılan bazı değişikliklerle elde edilmiştir.

$$d = \left\{ \begin{aligned} & I_5 \left( D^2 \left( 1 + \frac{(1 - h/H)^{b_1} - (1 - 1,30/H)^{b_1}}{1 - (1 - 1,30/H)^{b_1}} \right) \right) + \\ & I_B \left( D^2 - \frac{(D^2 - F^2)((1 - 1,30/H)^{b_4} - (1 - h/H)^{b_4})}{(1 - 1,30/H)^{b_4} - (1 - 5,30/H)^{b_4}} \right) + \\ & I_T \left( F^2 \left( b_6 \left( \frac{h - 5,30}{H - 5,30} - 1 \right)^2 + I_M \left( \frac{1 - b_6}{b_5^2} \right) \left( b_5 - \frac{h - 5,30}{H - 5,30} \right)^2 \right) \right) \end{aligned} \right\}^{0.5} \tag{2.8}$$

Hacim denklemi ise J105 denkleminin gövdenin iki noktası arasındaki integrali alınarak elde edilmiştir.

$$V = k \left\{ \begin{aligned} & I_1 D^2 \left[ (1 - GW_1)(U_1 - L_1) + \frac{W_1((1 - L_1/H)^{b_1}(H - L_1) - (1 - U_1/H)^{b_1}(H - U_1))}{(b_1 + 1)} \right] \\ & + I_2 I_3 \left[ T(U_2 - L_2) + \frac{Z((1 - L_2/H)^{b_4}(H - L_2) - (1 - U_2/H)^{b_4}(H - U_2))}{(b_4 + 1)} \right] \\ & + I_4 F^2 \left[ \begin{aligned} & b_6(U_3 - L_3) - \frac{b_6((U_3 - 5,30)^2 - (L_3 - 5,30)^2)}{(H - 5,30)} \\ & + \frac{b_6/3((U_3 - 5,30)^2 - (L_3 - 5,30)^2)}{(H - 5,30)} \\ & + \frac{I_5(1/3)((1 - b_6)/b_5^2)(b_5(H - 5,30) - (L_3 - 5,30))^3}{(H - 5,30)^2} \\ & - \frac{I_6(1/3)((1 - b_6)/b_5^2)(b_5(H - 5,30) - (U_3 - 5,30))^3}{(H - 5,30)^2} \end{aligned} \right] \end{aligned} \right\} \tag{2.9}$$

$W_1 = \frac{1}{1} - G$ ’dir. Diğer tüm değişkenler daha önce açıklanmıştır.



### 2.2.2. Model Değerlendirme Kriterleri

Çalışma kapsamında geliştirilen modellerinin tahmin performansları, Ortalama Fark (MD), Tahminlerin Standart Hatası (SEE) ve Uyum İndeksi (FI) ölçütleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Bu ölçütlere ilişkin matematiksel formüller aşağıda verilmiştir.

$$MD = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)}{n} \quad (2.10)$$

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n - k}} \quad (2.11)$$

$$FI = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (2.12)$$

$$MD = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)}{n} \quad (2.13)$$

Burada,  $Y_i$ , ölçülen değerleri;  $\hat{Y}_i$ , tahmin edilen değerleri ve  $\bar{Y}$  ise gözlemlenen değerlerin ortalamasını;  $n$ , toplam gözlem sayısı ve  $k$ , tahmin edilen parametre sayısını ifade etmektedir.

Gövde çapı ve gövde hacim modellerindeki hataları eş zamanlı minimize etmek amacıyla, her iki denklem de görünürde uyum regresyon (SUR) prosedürü kullanılarak SAS PROC MODEL’de eş zamanlı çözülmüştür (SAS Institute, 2008). Tüm parametreler, gövde çapı ve hacim denkleminde paylaştırılmıştır. Veri yapısındaki ilişkili hata yapısı, SAS MODEL yönteminde dikkate alınmamıştır. Williams ve Reich (1997) ve Kozak (1997), otoregresif hata yapısının, modelin tahmin başarısını olumsuz olarak etkileyebileceğini, ancak modelin tahmin başarısı üzerindeki bu etkinin, göz ardı edilebilecek kadar küçük olduğu belirtilmişlerdir.

## 3. Bulgular ve Tartışma

### 3.1. Gövde Çapı Modelleri

Gövde çapı ve gövde hacim modelleri için parametre tahminleri Tablo 3’te verilmiştir. Tüm parametreler  $p < 0.001$  düzeyinde anlamlı bulunmuştur.

Tablo 3  
Modellere ilişkin parametre tahminleri ve standart hata değerleri

Parametreler	Uyumlu gövde çapı ve hacim modelleri			
	MB76	PA87	CL91	J105
$a_1$	0,7574 (0,0079)	0,7803 (0,0064)		
$a_2$	0,1664 (0,0054)			
$b_1$	-4,2814 (0,0959)	2,3926 (0,0240)	9,5691 (2,0557)	59,7068 (1.1435)
$b_2$	2,1514 (0,0512)	-1,6704 (0,0368)	0,3106 (0,0162)	
$b_3$	-2,1182 (0,0498)	11,1170 (0,6288)	3171,614 (561,3)	
$b_4$	13,2608 (1,0025)	0,0004 (0,0007)	7,6731 (0,2551)	7,8644 (0,2631)
$b_5$			0,6592 (0,0064)	0,6595 (0,0065)
$b_6$			1,8228 (0,0165)	1,8284 (0,0169)

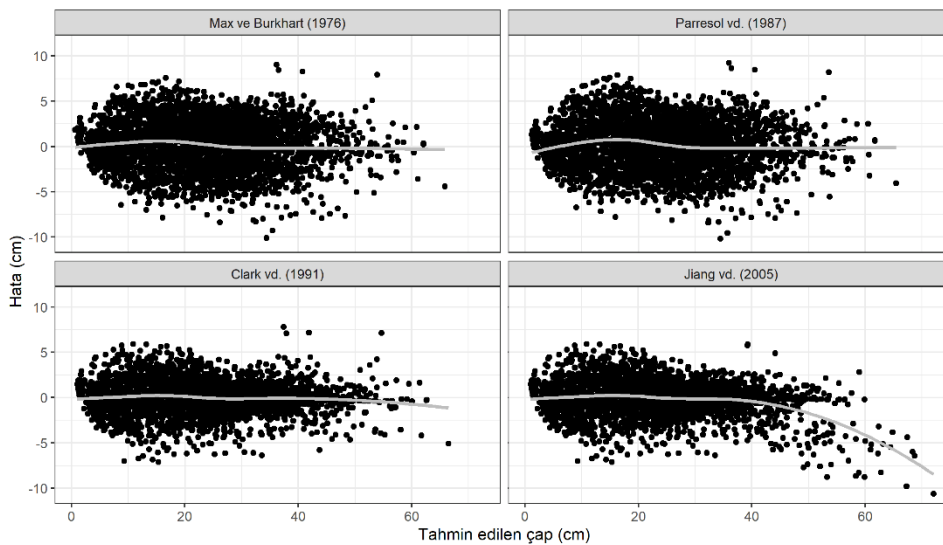
Gövde çapı ve gövde hacim modelleri için değerlendirme istatistikleri (MD, SEE ve FI) ise Tablo 4'te verilmiştir. Çalışma kapsamında değerlendirilen tüm gövde çapı modelleri de çap tahminlerinde varyasyonun %94'ten fazlasını açıklayabilmektedir. Tahminlerin standart hatası ise 2,8 cm'den daha azdır. Modellerin çap tahminlerindeki performansları ayrı ayrı değerlendirildiğinde ise en başarılı sonuçların CL91 ile elde edildiği ve bu modelin çap tahmininde toplam varyasyonun %97,8'den fazlasını açıklayabildiği; çap tahminlerinin standart hata değerinin 1,8 cm'den daha az olduğu görülmektedir. MB76 ve PA87'nin çap tahminleri açısından benzer tahmin performansları gösterdiği, çap tahminlerindeki varyasyonu açıklayabilme yüzdelerinin sırasıyla MB76 ve PA87 için %95,06 ve %94,93; tahminlerin standart hata değerlerinin ise 2,7 cm olduğu görülmüştür.

Şekil 3'te gövde çapı modelleri ile elde edilen çap tahminlerine ilişkin hata dağılımları gösterilmektedir. Şekil 3 incelendiğinde, CL91 ve JI05 ile elde edilen hata dağılımlarının daha homojen ve sıfır çizgisi civarında dağıldığı görülmektedir. Bununla birlikte JI05, çap tahminlerinde özellikle büyük çap değerleri için negatif yönde önemli bir sapma göstermektedir.

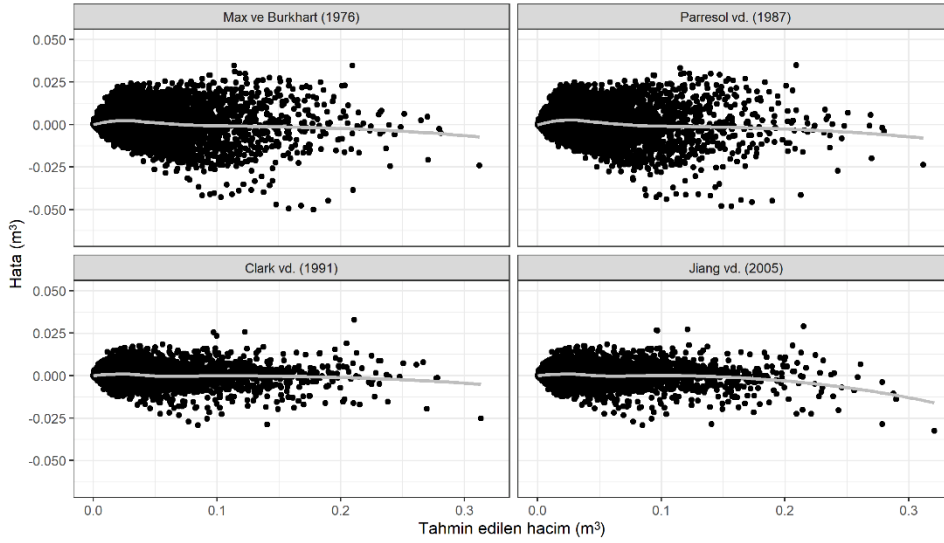
Tablo 4

Kızılçam için uyumlu gövde çapı ve gövde hacim denklemlerine ilişkin ölçüt değerleri

Modeller	MD	SEE	FI
<b>MB76</b>			
Gövde Çapı (cm)	0,1670	2,6571	0,9506
Hacim (m <sup>3</sup> )	0,0008	0,0101	0,9512
<b>PA87</b>			
Gövde Çapı (cm)	0,1762	2,6903	0,9493
Hacim (m <sup>3</sup> )	0,0008	0,0102	0,9505
<b>CL91</b>			
Gövde Çapı (cm)	0,0138	1,7560	0,9784
Hacim (m <sup>3</sup> )	0,0003	0,0054	0,9860
<b>JI05</b>			
Gövde Çapı (cm)	-0,0934	1,8652	0,9756
Hacim (m <sup>3</sup> )	0,0003	0,0055	0,9855



Şekil 3. Test edilen modellerin gövde çapı tahminlerine ilişkin hata dağılımları



Şekil 4. Test edilen modellerin hacim tahminlerine ilişkin hata dağılımları

### 3.2. Gövde Hacim Modelleri

Çalışma kapsamında test edilen dört farklı modelin gövde hacmi tahminindeki başarı performansları Tablo 4'te gösterilmiştir. Geliştirilen dört farklı model de hacim tahminlerinde toplam varyasyonun %95'ten fazlasını açıklayabilmektedir. Tahminlerin standart hatası değerleri ise  $0,02 \text{ m}^3$ 'ten daha az bulunmuştur. Modellerin hacim tahminindeki performansları ayrı ayrı değerlendirildiğinde de en başarılı sonuçların CL91 ile elde edildiği ve bu model ile hacim tahminlerindeki toplam varyasyonun %98,6'dan fazlasının açıklanabildiği, hacim tahminindeki standart hatanın ise  $0,0054 \text{ m}^3$ 'ten daha az olduğu görülmektedir. MB76 ve PA87 modelleri ağaç hacim tahminlerinde de benzer performanslar göstermekte olup, MB76 ve PA87 için toplam varyasyonu açıklama oranları sırasıyla %95,12 ve %95,05; tahminlerin standart hatasının ise sırasıyla  $0,0101 \text{ m}^3$  ve  $0,0102 \text{ m}^3$  olduğu belirlenmiştir. JI05 ile elde edilen sonuçlar ise CL91'den nispeten daha kötü, MB76 ve PA87'den ise daha iyidir. Şekil 4'te test edilen gövde çapı modellerinin gövde hacmi tahminleri açısından hata dağılımları verilmiştir. CL91 ve JI05 modelleri ile elde edilen dağılımların daha homojen ve sıfır çizgisine yakın olduğu; MB76 ve PA87 ile elde edilen hata dağılımlarının ise kısmen daha heterojen yapıda olduğu görülmektedir.

### 3.3. Nispi Boy Sınıfları (RH) İçin Gövde Çapı Denklemlerinin Değerlendirilmesi

Gövde çapı ve gövde hacim modellerinin gövdenin değişik bölümlerindeki tahmin performanslarının değerlendirilmesi amacıyla, ağaç gövdesi 10 eşit parçaya bölünmüş ve gövde çapı ve gövde hacim tahminleri için ölçüt değerleri, her bir nispi boy sınıfı için hesaplanmıştır. Her bir nispi boy sınıfı için modellerin gövde çapı ve gövde hacim tahminlerindeki başarısını gösteren ölçüt değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5

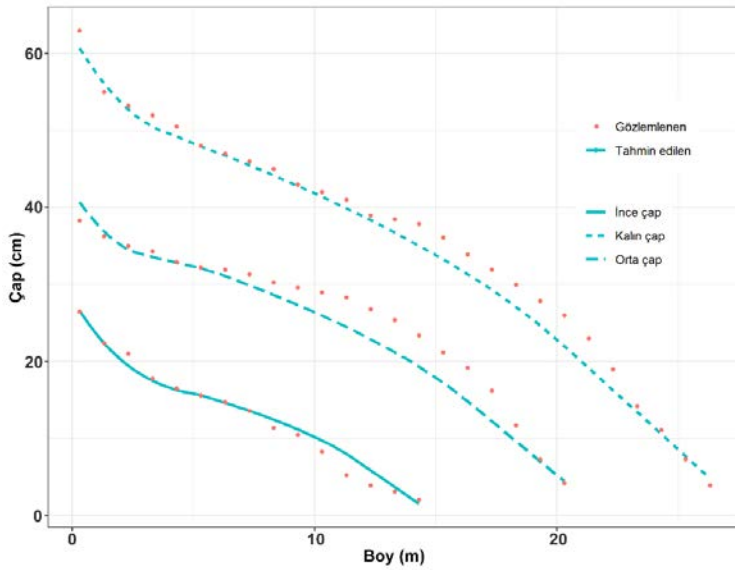
Gövde çapı ve gövde hacim tahminleri için farklı nispi boy (RH) sınıfları için MD ve SEE değerleri

Nispi Boy	n	MB76		PA87		CL91		JI05	
		MD (cm)	SEE (cm)	MD (cm)	SEE (cm)	MD (cm)	SEE (cm)	MD (cm)	SEE (cm)
0,0-0,1	406	0,4385	2,0633	0,4030	2,1363	-0,0558	1,7404	-1,0045	2,5452
0,1-0,2	349	0,3361	2,1209	0,4225	2,1397	0,0779	1,0113	0,1061	1,0082
0,2-0,3	350	-0,1257	2,5893	0,0885	2,5934	-0,0613	0,6906	-0,0574	0,6914
0,3-0,4	379	-0,2084	2,9474	-0,4108	2,9782	-0,2523	1,1756	-0,2520	1,1742
0,4-0,5	370	0,0740	2,9234	-0,1156	2,9341	-0,0989	1,5467	-0,0990	1,5447
0,5-0,6	359	0,3387	3,1371	0,4322	3,1489	0,1639	1,8922	0,1630	1,8895
0,6-0,7	353	0,4805	3,2675	0,8740	3,3286	0,3440	2,3448	0,3419	2,3412

Tablo 5

Gövde çapı ve gövde hacim tahminleri için farklı nispi boy (RH) sınıfları için MD ve SEE değerleri (devam ediyor)

		MB76		PA87		CL91		JI05	
Gövde çapı tahminleri									
Nispi Boy	n	MD (cm)	SEE (cm)	MD (cm)	SEE (cm)	MD (cm)	SEE (cm)	MD (cm)	SEE (cm)
0,7-0,8	374	0,4136	3,0044	0,6775	3,0376	0,3965	2,5279	0,3929	2,5241
0,8-0,9	361	-0,1990	2,2930	-0,4547	2,3522	-0,2838	2,1797	-0,2863	2,1771
0,9-1,0	224	0,0660	1,3348	-0,3366	1,3905	-0,1270	1,4299	-0,1280	1,4270
Tümü	3.525	0,1670	2,6571	0,1762	2,6903	0,0138	1,7760	-0,0934	1,8652
		FI	0,9506	FI	0,9493	FI	0,9784	FI	0,9756
Gövde hacim tahminleri									
Nispi Boy	n	MD (cm)	SEE (cm)	MD (cm)	SEE (cm)	MD (cm)	SEE (cm)	MD (cm)	SEE (cm)
0,6-0,7	406	0,0018	0,0093	0,0010	0,0094	0,0002	0,0070	0,0001	0,0076
0,7-0,8	349	0,0016	0,0121	0,0027	0,0123	0,0009	0,0041	0,0010	0,0041
0,8-0,9	350	-0,0006	0,0135	-0,0002	0,0135	-0,0005	0,0036	-0,0005	0,0036
0,9-1,0	379	-0,0006	0,0134	-0,0016	0,0136	-0,0010	0,0054	-0,0010	0,0054
0,6-0,7	370	0,0009	0,0120	0,0003	0,0120	0,0001	0,0066	0,0001	0,0066
0,7-0,8	359	0,0017	0,0111	0,0022	0,0112	0,0010	0,0070	0,0010	0,0070
0,8-0,9	353	0,0016	0,0091	0,0028	0,0093	0,0013	0,0068	0,0013	0,0068
0,9-1,0	374	0,0010	0,0059	0,0014	0,0060	0,0010	0,0051	0,0010	0,0051
0,6-0,7	361	-0,0001	0,0025	-0,0004	0,0026	-0,0001	0,0024	-0,0002	0,0024
0,7-0,8	224	0,0001	0,0006	-0,0001	0,0005	-0,0001	0,0006	-0,0000	0,0006
Tümü	3.525	0,0008	0,0101	0,0008	0,0102	0,0003	0,0054	0,0003	0,0055
		FI	0,9512	FI	0,9505	FI	0,9860	FI	0,9855



Şekil 5. CL91 ile ince, orta ve kalın çaplı ağaçlar için oluşturulan gövde profilleri

Şekil 5'te ise gövde çapı ve gövde hacim tahminleri açısından en başarılı sonuçları üreten CL91 ile ince, orta ve kalın çap sınıflarından birer ağaç için çap tahminlerindeki başarı durumu görsel olarak da gösterilmiştir. Her üç çap sınıfı için de CL91 ile elde edilen çap tahminlerinin ağacın alt ve kısmen orta bölümü ile uç bölümlerinde oldukça başarılı olduğu, üst orta kısmındaki tahminlerin ise nispeten daha başarısız oldukları görülmektedir. Ancak kızılçam ağaçlarının özellikle alt ve alt orta kısımlarının (0-10 m arası) ekonomik açıdan daha değerli olduğu düşünüldüğünde, CL91 ile başarılı çap tahminlerinin yapıldığı söylenebilir.

Dört farklı gövde çapı modeli ile model test verileri için elde edilen toplam gövde hacmi tahminleri ile amenajman planında kızılçam için verilen tek girişli hacim tablosundan model test verileri için elde edilen hacim tahminleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalara ilişkin ölçüt değerleri Tablo 6'da gösterilmiştir. Geliştirilen dört modelle de ortalama hata ve tahminlerin standart hatası değerleri bakımından yöresel hacim

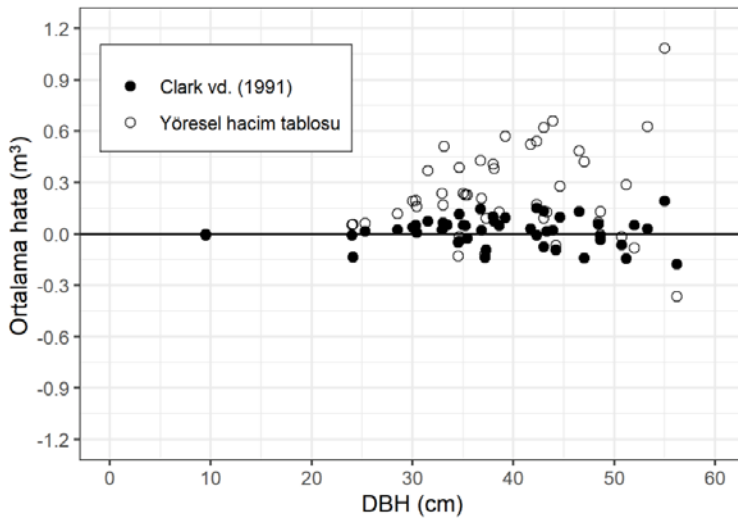
tablosuna göre daha başarılı hacim tahminleri yapılabildiği görülmüştür. En başarılı tahminlerin CL91 ile elde edildiği söylenebilir.

Tablo 6

Test edilen modeller ve yöresel hacim tablosu ile toplam gövde hacim tahminleri için MD ve SEE değerleri

Modeller	MD (m <sup>3</sup> )	SEE (m <sup>3</sup> )
MB76	-0,0320	0,2127
PA87	-0,0300	0,2120
CL91	0,0170	0,0854
JI05	0,0163	0,0856
Yöresel Hacim Tablosu	0,2305	0,3456

Şekil 6'da model test verileri için CL91 ile elde edilen gövde hacim tahminleri ile yöresel tek girişli hacim tablosu ile elde edilen toplam hacim tahminleri karşılaştırılmıştır. Yöresel hacim tablosu ile elde edilen hacim tahminlerinin, CL91 ile elde edilen hacim tahminlerine göre daha yüksek hata değerleri ürettiği görülmektedir. CL91 ile elde edilen hata değerlerinin tüm çap sınıfları için nispeten homojen bir dağılıma sahip olduğu, yöresel hacim tablosu ile elde edilen tahminlerin ise farklı çap değerleri için heterojen bir yapı gösterdiği ve çap büyüdükçe hata miktarının arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 6. CL91 ve Yöresel Hacim Tablosu ile elde edilen gövde hacimleri için hataların dağılımı.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışma ile Antalya-Gebiz Yöresi doğal kızılçam meşcereleri için uyumlu gövde çapı ve gövde hacim denklemleri geliştirilmiştir. Gövde hacmi ve gövde çapı modellerindeki hatalarının eş zamanlı minimize edilmesi amacıyla, modeller görünürde uyumuz regresyon (SUR) prosedürü kullanılarak eş zamanlı çözülmüştür. Kullanılan ölçüt değerleri itibarıyla gövde çapı ve gövde hacim tahminleri için en başarılı sonuçların CL91 ile elde edildiği; dolayısıyla CL91 kullanılarak ilgili yörede kızılçam için güvenilir gövde çapı ve gövde hacim tahminleri yapılabileceği ortaya konmuştur. CL91 ile elde edilen hacim tahminlerinin yöresel ağaç hacim tablosuna göre daha doğru sonuçlar ürettiği de görülmüştür. Bu nedenle, Antalya-Gebiz yöresi kızılçam meşcereleri için gerek amenajman planlarının hazırlanması sürecinde gerekse bilimsel amaçlı çalışmalarda güvenilir gövde çapı ve gövde hacim tahminlerine ihtiyaç duyulması halinde CL91 modeli tercih edilebilir ve CL91 için elde edilen parametre tahminleri güvenle kullanılabilir. Benzer şekilde, ülkemizde farklı yöreler ve ağaç türleri ile bilimsel çalışmalarda gövde çapı ve gövde hacim tahminlerine ihtiyaç duyulması halinde, başarılı tahminler yapılabilmesi amacıyla CL91 modelinin tercih edilmesi uygun olacaktır.

### Yazar Katkıları

Mustafa Turgut: Analizi planlamış ve tasarlamıştır.

Mustafa Turgut, Ramazan Özçelik: Veri toplamış ve analizini yapmıştır.

Ramazan Özçelik, Onur Alkan: Çalışmanın istatistiksel analizlerini yapmış ve makaleyi yazmıştır.

### Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

### Kaynaklar

- Bailey, R. L. (1995). Upper stem volumes from stem analysis data: an overlapping bolts method. *Canadian Journal of Forest Research*, 25(1), 170-173.
- Bi, H. (2000). Trigonometric variable-form taper equations for Australian eucalypts. *Forest Science*, 46(3), 397-409.
- Biging, G. S. (1984). Taper equations for second-growth mixed conifers of Northern California. *Forest Science*, 30(4), 1103-1117.
- Brooks, J. R., Jiang, L. and Özçelik, R. (2008). Compatible stem volume and taper equations for Brutian pine, Cedar of Lebanon, and Cilicica fir in Turkey. *Forest Ecology and Management*, 256(1-2), 147-151.
- Cao, Q. V., Burkhart, H. E. and Max, T. A. (1980). Evaluation of two methods for cubic-volume prediction of loblolly pine to any merchantable limit. *Forest Science*, 26(1), 71-80.
- Castedo-Dorado, F., Gómez-García, E., Diéguez-Aranda, U., Barrio-Anta, M. and Crecente-Campo, F. (2012). Aboveground stand-level biomass estimation: a comparison of two methods for major forest species in northwest Spain. *Annals of Forest Science*, 69(6), 735-746.
- Clark, A. (1991). *Stem profile equations for southern tree species* (Vol. 282). Southeastern Forest Experiment Station.
- Crecente-Campo, F., Alboreca, A. R. and Diéguez-Aranda, U. (2009). A merchantable volume system for *Pinus sylvestris* L. in the major mountain ranges of Spain. *Annals of forest science*, 66(8), 808.
- de-Miguel, S., Mehtätalo, L., Shater, Z., Kraid, B. and Pukkala, T. (2012). Evaluating marginal and conditional predictions of taper models in the absence of calibration data. *Canadian Journal of Forest Research*, 42(7), 1383-1394.
- Diéguez-Aranda, U., Castedo-Dorado, F., Álvarez-González, J. G. and Rojo, A. (2006). Compatible taper function for Scots pine plantations in northwestern Spain. *Canadian Journal of Forest Research*, 36(5), 1190-1205.
- Ercanlı, İ., Kurt, A. K. ve Bolat, F. (2014). Adana-Feke Kızılcım (*Pinus Brutia* Ten.) meşcereleri için gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin karışık etkili modelleme ile geliştirilmesinde bazı varyans yapılarının karşılaştırılması. I. *Ulusal Akdeniz Orman Ve Çevre Sempozyumu*, 22, 24.
- Fang, Z., Borders, B. E., & Bailey, R. L. (2000). Compatible volume-taper models for loblolly and slash pine based on a system with segmented-stem form factors. *Forest Science*, 46(1), 1-12.
- Figueiredo-Filho, A., Borders, B. E. and Hitch, K. L. (1996). Taper equations for *Pinus taeda* plantations in Southern Brazil. *Forest Ecology and Management*, 83(1-2), 39-46.
- Fortin, M., Schneider, R. and Saucier, J. P. (2013). Volume and error variance estimation using integrated stem taper models. *Forest Science*, 59(3), 345-358.
- Heiðarsson, L. and Pukkala, T. (2011). Taper functions for lodgepole pine (*Pinus contorta*) and Siberian larch (*Larix sibirica*) in Iceland.
- Hussain, A., Shahzad, M. K., Burkhart, H. E. and Jiang, L. (2021). Stem taper functions for white birch (*Betula platyphylla*) and costata birch (*Betula costata*) in the Xiaoxing'an Mountains, northeast China. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 94(5), 714-733.
- Hussain, A., Shahzad, M. K., He, P. and Jiang, L. (2020). Stem taper equations for three major conifer species of Northeast China. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 35(8), 562-576.
- Jiang, L., Brooks, J. R. and Wang, J. (2005). Compatible taper and volume equations for yellow-poplar in West Virginia. *Forest ecology and management*, 213(1-3), 399-409.
- Jordan, L., Berenhaut, K., Souter, R. and Daniels, R. F. (2005). Parsimonious and completely compatible taper, total, and merchantable volume models. *Forest science*, 51(6), 578-584.

- Klos, R. J., Wang, G. G., Dang, Q. L. and East, E. W. (2007). Taper equations for five major commercial tree species in Manitoba, Canada. *Western Journal of Applied Forestry*, 22(3), 163-170.
- Kozak, A. (1988). A variable-exponent taper equation. *Canadian Journal of Forest Research*, 18(11), 1363-1368.
- Kozak, A. (1997). Effects of multicollinearity and autocorrelation on the variable-exponent taper functions. *Canadian Journal of Forest Research*, 27(5), 619-629.
- Kozak, A. (2004). My last words on taper equations. *The Forestry Chronicle*, 80(4), 507-515.
- Kozak, A., Munro, D. D. and Smith, J. H. G. (1969). Taper functions and their application in forest inventory. *The Forestry Chronicle*, 45(4), 278-283.
- Li, R. and 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(3), 302.
- Max, T. A. and Burkhart, H. E. (1976). Segmented polynomial regression applied to taper equations. *Forest Science*, 22(3), 283-289.
- McTague, J. P. and Bailey, R. L. (1987). Simultaneous total and merchantable volume equations and a compatible taper function for loblolly pine. *Canadian Journal of Forest Research*, 17(1), 87-92.
- OGM (2020). Orman Genel Müdürlüğü Resmi İstatistikleri. <http://www.ogm.gov.tr/ekutuphane/Sayfalar/Istatistikler.aspx> (05.02.2022).
- Ormerod, D. W. (1973). A simple bole model. *The Forestry Chronicle*, 49(3), 136-138.
- Özçelik, R. and Brooks, J. R. (2012). Compatible volume and taper models for economically important tree species of Turkey. *Annals of Forest Science*, 69(1), 105-118.
- Özçelik, R. and Cao, Q. V. (2017). Evaluation of fitting and adjustment methods for taper and volume prediction of black pine in Turkey. *Forest Science*, 63(4), 349-355.
- Özçelik, R. and Crecente-Campo, F. (2016). Stem taper equations for estimating merchantable volume of Lebanon cedar trees in the Taurus Mountains, Southern Turkey. *Forest Science*, 62(1), 78.
- Özçelik, R., Diamantopoulou, M. J., Wiant Jr, H. V. and Brooks, J. R. (2008). Comparative study of standard and modern methods for estimating tree bole volume of three species in Turkey. *Forest Products Journal*, 58(6), 73.
- Pancoast, A. D. (2018). Evaluation of Taper and Volume Estimation Techniques for Ponderosa Pine in Eastern Oregon and Eastern Washington.
- Parresol, B. R., Hotvedt, J. E. and Cao, Q. V. (1987). A volume and taper prediction system for bald cypress. *Canadian Journal of Forest Research*, 17(3), 250-259.
- Poudel, K. P., Temesgen, H. and Gray, A. N. (2018). Estimating upper stem diameters and volume of Douglas-fir and Western hemlock trees in the Pacific northwest. *Forest Ecosystems*, 5(1), 1-12.
- Rodríguez, F. and Lizarralde, I. (2009, April). Non-destructive measurement techniques for taper equation development. A study case for black pine (*Pinus nigra* Arn.) in the northern Iberic Range (Spain). In *Proceedings of the IUFRO Conference Forest, Wildlife and Wood Sciences for Society Development, Prague, Czech Republic* (pp. 16-18).
- Sakici, O. E., Misir, N., Yavuz, H. and Misir, M. (2008). Stem taper functions for *Abies nordmanniana* subsp. *bornmulleriana* in Turkey. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 23(6), 522-533.
- Sakici, O. E. and Ozdemir, G. (2018). Stem taper estimations with artificial neural networks for mixed Oriental beech and Kazdağı fir stands in Karabük region, Turkey. *Cerne*, 24, 439-451.
- SAS Institute Inc. (2008). SAS/ETS® 9.2 User's guide. SAS Institute Inc. Cary, N.C.
- Schlaegel, B. E. (1983). *Development of a form class taper model for willow oak*. Athens, GA: University of Georgia. 69 p (Doctoral dissertation, Ph. D. dissertation. How To Use Volume Tables).
- Şenyurt, M. and Ercanli, I. (2019). A comparison of artificial neural network models and regression models to predict tree volumes for Crimean Black Pine trees in Cankiri forests. *Šumarski list*, 143(9-10), 413-423.
- Tang, X., Pérez-Cruzado, C., Fehrmann, L., Álvarez-González, J. G., Lu, Y. and Kleinn, C. (2016). Development of a compatible taper function and stand-level merchantable volume model for Chinese fir plantations. *PloS one*, 11(1), e0147610.
- Williams, M. S. and Reich, R. M. (1997). Exploring the error structure of taper equations. *Forest science*, 43(3), 378-386.