

## Kızılağaç için Uyumlu ve Uyumsuz Gövde Çapı Modelleri

Hakkı YAVUZ

K.T.Ü. Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Trabzon-TÜRKİYE

Nedim SARAÇOĞLU

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Bartın-TÜRKİYE

Geliş Tarihi: 18.08.1998

**Özet:** Bu çalışmada, Doğu Karadeniz Bölgesi kızılğaç meşcerelerinden seçilen 510 örnek ağaç verilerine göre uyumlu ve uyumsuz gövde çapı modelleri geliştirilmiştir. Modellerin başarı düzeylerinin belirlenebilmesi için, ortalama fark, farkların standart sapması ve açıklanan varyans yüzdesi ölçütlerinden yararlanılmıştır. Bu ölçütlere göre yalnız gövde çaplarının modellenmesi durumunda Kozak (10) tarafından geliştirilen 6'nolu eşitlik, gövde çapı, ağaç hacmi ve hacim oranlarının birlikte modellenmesi durumunda ise Max ve Burkhardt (17) tarafından geliştirilen 23'nolu eşitlik en iyi sonucu vermiştir.

### Compatible and Noncompatible Stem Taper Equations for Alder

**Abstract:** In this study, compatible and noncompatible stem taper equations were developed for alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) depending on 510 sample trees data taken from alder stands in Black Sea Region. For estimating only stem tapers of sample trees, the noncompatible stem taper equation developed by Kozak (10) was the best according to average residual (bias), standart deviation of residuals (precision) and percent variation explained criteria, among all compatible and noncompatible stem taper equations tested in this study. Besides, according to the same criteria, for estimating stem tapers, total tree volume and volume ratios together, the compatible stem taper equation developed by Max and Burkhardt (17) was the best among all the compatible stem taper equations.

### Giriş

Ağaç ve ağaçlardan elde edilebilecek odun sınıflarına ilişkin hacim miktarlarının doğru hesaplanması, orman amenajman planlarının düzenlenmesinde çok büyük önem taşımaktadır. Ağaç hacmi, genellikle göğüs çapı ya da göğüs çapı ve boyun foksiyonu olarak oluşturulan ağaç hacim fonksiyonları ile hesaplanmaktadır. Odun sınıflarına ilişkin hacim miktarlarının ise bir gövde çapı (gövde profili) ya da hacim oran eşitliği ile hesaplanması mümkündür. Ancak, aynı meşcerede bulunan ağaçların gövde şekilleri arasında dahi farklılıkların oluşabilmesi nedeniyle, ağaçların gövde çaplarını formüle etmek oldukça zordur. Buna karşın araştırmacılar, özellikle 1960'lı yıllardan bu yana, ağaçların gövde şekli ve çap eşitliklerini formüle etmek için, gövde çaplarına göre ölçümü daha kolay olan göğüs çapı ve boy değişkenlerinden yararlanarak, çeşitli yöntemler geliştirmişlerdir (1-15). Analitik yöntemlerin geliştirilmesiyle birlikte, gövde çaplarının modellenmesi üzerine yürütülen çalışmalar, grafik yön-

temden sayısal çözüm yöntemlerine geçişi sağlamıştır (16). Başlangıçta tüm gövde için tek bir gövde çapı eşitliğinden yararlanılmasına karşın, zamanla gövdenin dip, orta ve uç bölümleri için ayrı ayrı eşitlikler geliştirilerek, daha karmaşık modeller denenmeye başlanmıştır (10, 17-22). Günümüzde ise gelişen bilgisayar olanaklarından yararlanarak, karmaşık bir yapı gösteren gövde çapı eşitliklerinin oluşturulması oldukça kolaydır.

Gövde çapı eşitlikleri ile gövdenin tamamının, toprak seviyesinden gövde üzerindeki herhangi bir yükseklik ya da çapa kadar olan bölümünün, gövde üzerinde belirlenen herhangi iki yükseklik ya da çap değerleri arasında kalan bölüme ilişkin hacmin hesaplanması mümkün olmaktadır. Bu amaçla çeşitli ağaç türleri için düzenlenmiş pek çok gövde çapı eşitliği bulunmaktadır (23-30).

Türkiye'de çoğu ağaç türleri için ağaç hacim tabloları düzenlenmesine karşın (31, 32), bazı ağaç türleri için yalnız standart boyutlar dikkate alınarak çeşitli odun sınıflarına ilişkin hacim oran tabloları (33) ve iki ağaç

türü (sarıçam ve karaçam) için yöresel bazda gövde çapı eşitlikleri (34) düzenlenmiştir. Oysa, yukarıda da belirtildiği gibi, gövde çapı eşitlikleri ile gövdenin toplam hacmi ile standartları ne olursa olsun dikili ağaçlardan elde edilebilecek tüm odun sınıflarına ilişkin boyut (çap ve boy) ve hacim değerleri hesaplanabilmektedir. Bu nedenle ağaç hacim tabloları yerine, bu tablolardan daha ayrıntılı bilgiler veren ve düzenlenebilmeleri için ek veri gerektirmeyen gövde çapı eşitliklerinin tüm türler için oluşturulması gerekir. Bu çalışmada, Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki saf kızağaç meşcerelerinden seçilen örnek ağaç verilerine göre kızağaç için uyumlu ve uyumsuz gövde çapı modellerinin oluşturulması amaçlanmıştır.

### Materyal

Bu çalışmada veriler, Doğu Karadeniz Bölgesi saf kızağaç meşcerelerinden seçilen 510 örnek ağaç verilerine bağlı olarak yürütülmüştür. Örnek ağaçların alındığı meşcereler hakkında ayrıntılı bilgiler (35)'nolu kaynaktan elde edilebilir. Örnek ağaçlar üzerinde dip kütük (0.30 m.), göğüs yüksekliği (1.3 m.) ve göğüs yüksekliğinden sonra 2'şer metre ara ile (3.3, 5.3, ... gibi) tüm gövde çapları ölçülmüştür. Böylece 510 örnek ağaç üzerinde toplam 4723 gövde çapı ölçülmüştür. Tablo 1' de örnek ağaçların 4'er cm'lik çap ve 2'şer m'lik boy basamaklarına göre dağılımı verilmiştir.

### Yöntem

Ağaç gövdeleri herhangi bir geometrik şekle tam olarak benzemediğinden, gövde çapları genellikle göğüs çapı ve ağaç boyunun fonksiyonu olarak oluşturulan regresyon modelleri ile tahmin edilmektedir. Diğer taraftan, ağaçların gövde çaplarındaki azalış doğrusal değildir. Ağaçların dip bölümünün nayloite, orta bölümünün parabolite ve uç bölümünün ise koniye benzediği belirtilmektedir (10, 17, 36). Böylece, gövde çapları dip kütükten uç kısma doğru genellikle düzensiz bir azalış göstermektedir. Bu durumu basit bir regresyon modeli ile dengelemenin mümkün olmayacağı açıktır. Bu nedenle, gövde çapı eşitlikleri oldukça karmaşık bir yapı gösterirler. Gövde çapı eşitliklerinin başarısı; ağaçların gövde şekli, eşitlikte yer alan açıklayıcı değişkenler ile seçilen regresyon modeline bağlı olarak değişmesi nedeniyle, başlangıçta hangi modelin verilere daha uygun olacağını kestirilmesi oldukça zordur. Bu sorunun çözümü için, ağaç hacim tablolarının düzenlenmesinde olduğu gibi, başlangıçta pek çok regresyon modeli denemekte ve bu modellerden çeşitli istatistiksel ölçütlere göre en başarılı bulunan model, ilgili ağaç türü için gövde çapı eşitliği olarak seçilmektedir (27, 37-42). Bu çalışmada, çeşitli kaynaklardan elde edilen (10, 16, 17, 24, 37, 43-45) 3'ü ağaç hacim fonksiyonları ile uyumsuz (4, 5 ve 6 nolu eşitlikler) ve 5'i uyumlu (7, 11, 15, 19 ve 23 nolu eşitlikler) olmak üzere toplam 8 değişik gövde çapı eşitliği

Çap basamakları (cm)	Boy basamakları (m)									Toplam
	9	11	13	15	17	19	21	23	25	
8	18	22	25	3						68
12	4	12	23	26	12	9				86
16	1	5	21	18	15	9	4			73
20		2	12	12	12	15	6			59
24			5	13	16	5	7	1		47
28		8	6	6	9	3	4	2		38
32		8	10	10	9	3	4	2		46
36		4	4	10	8	1	2	1	1	31
40		1	3	6	7	1	2	2	1	23
44					3	3	5	3	3	17
48					4	2	5	6	4	21
56									1	1
Toplam	23	62	109	104	95	51	39	17	10	510

Tablo 1. Örnek ağaçların çap ve boy basamaklarına göre dağılımı.

denenerek, bu eşitliklerden her birine ilişkin katsayılar (parametreler), katsayıların önemlilik düzeyleri, model denetimi için F oranları, ortalama fark ( $\bar{D}$ ), farkların standart sapması (S) ve açıklanan varyans yüzdesi (PVE) değerleri hesaplanmıştır. F denetimi sonucunda anlamlı bulunan modellerin,  $\bar{D}$ , S ve PVE ölçütlerine göre başarı durumları karşılaştırılarak, en başarılı gövde çapı modeli belirlenmiştir.

$$\text{Ortalama fark : } \bar{D} = (\sum D_i)/n \quad (1)$$

Farkların standart sapması :

$$S = \sqrt{\frac{\sum D_i^2 - (\sum D_i)^2 / n}{n-1}} \quad (2)$$

Açıklanan varyans yüzdesi :

$$PVE = 1 - \sqrt{\frac{\sum D_i^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

Burada  $D_i = \hat{y}_i - y_i$ ,  $y_i$ : açıklanan değişkenin ölçülen değerlerini,  $\hat{y}_i$ : açıklanan değişkenin regresyon modelinden tahmin edilen değerlerini,  $\bar{y}$ :  $y_i$  değerlerinin aritmetik ortalamasını, ve n: gözlem sayısını göstermektedir.

Bu çalışmada test edilen uyumsuz gövde çapı eşitlikleri:

$$d^2 / D^2 = a_1 (z - 1) + a_2 (z^2 - 1) + e_i \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{Log}(d) &= \text{log}(a_0) + a_1 \text{log}(D) + a_2 \text{log}(x)z^2 \\ &+ a_3 \text{log}(x) \text{log}(z) + a_4 \text{log}(x)(D / H) + e_i \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{Log}(d) &= \text{log}(a_0) + a_1 \text{log}(D) + \text{log}(a_2)D \\ &+ a_3 \text{log}(x)z^2 + a_4 \text{log}(x) \text{log}(z) \\ &+ a_5 \text{log}(x)\sqrt{z} + a_6 \text{log}(x)(D / H) + e_i \end{aligned} \quad (6)$$

Burada d: istenen herhangi bir (h) yüksekliğindeki (m.) gövde çapı (cm.), D: göğüs çapı (cm), H: ağaç boyu (m.),  $a_1, a_2, \dots, a_6$ : eşitliğin katsayıları,  $e_i$ : hata terimleri,  $z = h/H$ ,  $x = (1 - \sqrt{z})(1 - \sqrt{1})$ , I: gövde şeklinin değişim gösterdiği oransal boy değeridir. I değerinin belirlenebilmesi için, önce tahmini bir aralık seçilmekte ve daha sonra bu aralıktaki değişik I değerleri için gövde çapı eşitliklerine ilişkin çeşitli ölçüt değerleri hesaplanarak, bu sonuçlara göre en uygun I değeri belirlenmektedir (10, 16). Bu çalışmada da aynı yaklaşımdan hareketle I değeri ağaç boyunun % 20, 25, 30, 35 ve 40'ı alınarak, elde edilen model sonuçlarına göre bu değerlerden en uygun olan I değeri belirlenmiştir.

Uyumlu gövde çapı modellerinde, önce modelin katsayılarına ilişkin tahmin değerleri regresyon analizi ile elde edilmekte ve daha sonra ağaç hacim ve hacim oran eşitlik-

lerine ilişkin katsayılar, bu değerlerden yararlanarak hesaplanmaktadır. Uyumlu gövde çapı eşitlikleri ile ağaç hacim ve hacim oran eşitlikleri arasındaki matematiksel bağıntıların teorisi konusunda ayrıntılı bilgiler (24, 37, 41)'nolu kaynaklardan elde edilebilir. Bu çalışmada dene- nen 5 değişik uyumlu gövde çapı eşitliği ve bu eşitliklerle uyumlu olan ağaç hacim ve hacim oran eşitlikleri aşağıda verilmiştir.

Gövde çapı eşitliği:

$$d^2 / D^2 = a_1((H - h) / H^{a_2}) + e_i \quad (7)$$

Ağaç hacim eşitliği:

$$\begin{aligned} V &= b_1 D^2 H \\ b_1 &= (ka_1) / (a_2 + 1) \end{aligned} \quad (8)$$

Hacim oran eşitliği (h'a göre):

$$\begin{aligned} R_h &= 1 - ((H - h) / H)^{c_1} \\ c_1 &= a_2 + 1 \\ V_{R_h} &= V.R_h \end{aligned} \quad (9)$$

Hacim oran eşitliği (d'ye göre):

$$\begin{aligned} R_d &= 1 + c_2 (d / D)^{c_3} \\ c_1 &= -a_1^{-(a_2 + 1) / a_2} \\ c_3 &= 2(a_2 + 1) / a_2 \\ V_{R_d} &= V.R_d \end{aligned} \quad (10)$$

Gövde çapı eşitliği:

$$d = a_1 D^{a_2} (H - h)^{a_3} / H^{a_4} + e_i \quad (11)$$

Ağaç hacim eşitliği:

$$\begin{aligned} V &= b_1 D^{b_2} H^{b_3} \\ b_1 &= (ka_1^2) / (2a_3 + 1) \\ b_2 &= 2a_2 \\ b_3 &= 2a_3 + 1 - 2a_4 \end{aligned} \quad (12)$$

Hacim oran eşitliği (h'a göre):

$$\begin{aligned} R_h &= 1 - ((H - h) / H)^{c_1} \\ c_1 &= 2a_3 + 1 \\ V_{R_h} &= V.R_h \end{aligned} \quad (13)$$

Hacim oran eşitliği (d'ye göre):

$$\begin{aligned} R_d &= 1 + (c_2 d^{c_3}) / (D^{c_4} H^{c_5}) \\ c_2 &= -a_1^{-(2a_3 + 1) / a_3} \\ c_3 &= (2a_3 + 1) / a_3 \\ c_4 &= a_2 ((2a_3 + 1) / a_3) \end{aligned} \quad (14)$$

$$c_5 = 2a_3 + 1 - (a_4 / a_3) (2a_3 + 1)$$

$$V_{R_d} = V.R_d$$

Gövde çapı eşitliği:

$$d^2 = (a_1 D^2 (H - h)^{a_2} / (a_3 H^{a_2 + 1} + a_4 H^{a_2})) + e_i \quad (15)$$

Ağaç hacim eşitliği:

$$V = D^2 / (b_1 + b_2 / H)$$

$$b_1 = ((a_2 + 1) a_3) / (ka_1)$$

$$b_2 = ((a_2 + 1) a_4) / (ka_1) \quad (16)$$

Hacim oran eşitliği (h'a göre):

$$R_h = 1 - ((H - h) / H)^{c_1}$$

$$c_1 = a_2 + 1$$

$$V_{R_h} = V.R_h \quad (17)$$

Hacim oran eşitliği (d'ye göre):

$$R_d = 1 + c_2 (d / D)^{c_3} (c_4 H + c_5)^{c_6}$$

$$c_2 = -a_1^{-(a_2 + 1) / a_2}$$

$$c_3 = 2(a_2 + 1) / a_2$$

$$c_4 = a_3$$

$$c_5 = a_4$$

$$c_6 = (a_2 + 1) / a_2$$

$$V_{R_d} = V.R_d \quad (18)$$

Gövde çapı eşitliği:

$$d^2 = (a_1 (H - h)^{a_2} / H^{a_2 + 1} + a_3 D^2 ((H - h) / H^{a_4}) + e_i \quad (19)$$

Ağaç hacim eşitliği:

$$V = b_1 + b_2 D^2 H$$

$$b_1 = (ka_1) / (a_2 + 1)$$

$$b_2 = (ka_3) / (a_4 + 1) \quad (20)$$

Hacim oran eşitlikleri (h'a göre):

$$R_{1h} = 1 - ((H - h) / H)^{c_1} \quad (21)$$

$$R_{2h} = 1 - ((H - h) / H)^{c_2} \quad (22)$$

$$c_1 = a_2 + 1$$

$$c_2 = a_4 + 1$$

$$V_{R_h} = b_1 R_{1h} + b_2 R_{2h} D^2 H$$

Hacim oran eşitliği (d'ye göre): Hesaplanamıyor.

Gövde çapı eşitliği:

$$d^2 / D^2 = a_1 (z - 1) + a_2 (z^2 - 1) + a_3 (\alpha_1 - z)^2 \\ I_1 + a_4 (\alpha_2 - z)^2 I_2 + e_i \quad (23)$$

$$I_i = \begin{cases} 1, & h / H \leq \alpha_i \\ 0, & h / H > \alpha_i \end{cases}, i = 1, 2$$

Ağaç hacim eşitliği:

$$V = \phi D^2 H \quad (24)$$

$$\phi = k\gamma$$

$$\gamma = a_1 / 2 + a_2 / 3 - a_1 - a_2 + (a_1 / 3) \alpha_1^3 + a_4 / 3 \alpha_2^3$$

Hacim oran eşitliği (h'a göre):

$$R_h = 1 / \gamma [(a_2 / 3) (h / H)^3 + (a_1 / 2) (h / H)^2 - (a_1 + a_2) (h / H)]$$

$$V_{R_h} = V.R_h \quad (25)$$

Hacim oran eşitliği (d'ye göre):

$$R_d = 1 / \gamma [(a_2 / 3) (w / H)^3 + (a_1 / 2) (w / H)^2 - (a_1 + a_2) (w / H)] \quad (26)$$

$$w = (H / 2A) (-B - \sqrt{B^2 - 4AC})$$

$$A = a_2 + a_3 J_1 + a_4 J_2$$

$$B = a_1 - 2\alpha_1 a_3 J_1 - 2\alpha_2 a_3 J_2$$

$$C = -a_1 - a_2 + a_3 \alpha_1^2 J_1 + a_4 \alpha_2^2 J_2 - (d / D)^2$$

$$J_i = \begin{cases} 1, & d \geq M_i \\ 0, & d < M_i \end{cases}, i = 1, 2$$

$$M_i = D \sqrt{a_1 (\alpha_i - 1) + a_2 (\alpha_i^2 - 1) + a_3 (\alpha_i - a_i)^2}$$

$$V_{R_d} = V.R_d$$

Burada d: istenen herhangi bir (h) yüksekliğindeki (m.) gövde çapını (cm.), D: göğüs çapını (cm), H: ağaç boyunu (m.),  $z = h / H$  = boy oranını,  $a_1, a_2, \dots, a_5, \alpha_1, \alpha_2, c_1, c_2, \dots, c_6$ : eşitliğin katsayılarını,  $e_i$ : hata terimlerini,  $R_h$ : gövde üzerinde herhangi bir (h) yüksekliğine kadar hacim oranını, : toprak seviyesinden (h) yüksekliğine kadar olan hacim miktarını ( $m^3$ ),  $R_d$ : gövde üzerinde herhangi bir (d) çapına kadar hacim oranını,  $V_{R_d}$ : toprak seviyesinden (d)

çapına kadar hacim miktarını ( $m^3$ ),  $k = \frac{\pi \cdot 10^{-4}}{4} =$

0.0000785: çapın (cm) kesit yüzeyine ( $m^2$ ) çevrilmesi için kullanılan sabit bir sayıyı göstermektedir.

## Bulgular

Bu çalışmada test edilen uyumsuz gövde çapı eşitliklerine ilişkin (4, 5 ve 6'nolu eşitlikler) katsayılar doğrusal regresyon analizi ile hesaplanmıştır. 5 ve 6'nolu eşitliklerde bulunan I değeri (gövde şeklinin değişim gösterdiği

orsal boy değeri) için % 20, 25, 30, 35 ve 40 olmak üzere beş değişik değer seçilmiş ve  $I=0.3$  ( $h/H=\% 30$ ) alınması durumunda diğer  $I$  değerlerine göre daha iyi sonuç elde edilmiştir. Uyumsuz gövde çapı modellerine ilişkin katsayılar ile önemlilik düzeyleri Tablo 2'de ve çeşitli istatistiksel ölçütlerden ortalama fark ( $\bar{D}$ ), farkların standart sapması ( $S$ ) ve açıklanan varyans yüzdesi ( $PVE$ ) değerleri ise Tablo 3'de verilmiştir. Tablo 2'den de görülebileceği gibi, uyumsuz gövde çapı modellerine ilişkin tüm katsayılar anlamlı bulunmuştur ( $p<0.05$ ). 4, 5, ve 6'nolu eşitlik sırasına göre, ortalama fark değerleri: -0.0821, -0.0027 ve -0.0019 cm, farkların standart sapması değerleri; 1.85, 1.64 ve 1.53 cm, açıklanan varyans yüzdesi değerleri: % 94.8, 98.2 ve 99.0 olarak hesaplanmıştır (Tablo 3). Bu sonuçlardan; denenen uyumsuz gövde çapı modelleri arasında,  $\bar{D}$  ve  $S$  değerleri en küçük,  $PVE$  değeri en büyük olan 6'nolu eşitliğin daha başarılı olduğu açıkça anlaşılmaktadır.

Tablo 2. Uyumsuz gövde çapı eşitliklerine ilişkin katsayılar ve önemlilik düzeyleri.

Katsayılar	Eşitlik No		
	4	5	6
$a_0$		-0.09257***	-0.53173***
$a_1$	-1.73753***	0.99608***	0.93002***
$a_2$	0.56989***	0.39848***	0.001341**
$a_3$		0.247992**	0.76728***
$a_4$		0.040345**	1.038442**
$a_5$			-0.595568*
$a_6$			0.041283**

\*:  $p<0.05$ , \*\*:  $p<0.01$ , \*\*\*:  $p<0.001$

Tablo 3. Uyumsuz gövde çapı eşitliklerine ilişkin çeşitli istatistiksel değerler.

Eşitlik No	F oranı	$\bar{D}$ (cm)	$S$ (cm)	$PVE$ (%)
4	25249.7***	-0.0821	1.85	94.8
5	6241.8***	-0.0027	1.64	98.2
6	4987.6***	-0.0019	1.53	99.0

\*\*\*:  $p<0.001$

Bu çalışmada test edilen uyumlu gövde çapı modellerinden 7 ve 11'nolu modeller doğrusal, 15, 19 ve 23'nolu modeller ise doğrusal olmayan regresyon modelleridir. Bu nedenle, 7 ve 11'nolu regresyon modellerine

ilişkin katsayıların hesaplanmasında, uyumsuz gövde çapı modellerinde olduğu gibi, doğrusal regresyon analizi, 15, 19 ve 23'nolu modellerde ise doğrusal olmayan regresyon analizi uygulanmıştır. Bu analizler sonucunda; 19'nolu eşitlikle verilen  $a_1$  katsayısı dışındaki tüm katsayılar anlamlı bulunmuştur (Tablo 4). Ayrıca, yine Tablo 4'de, Yöntem Bölümü'nde de açıklandığı gibi, uyumlu gövde çapı modellerine ilişkin katsayı değerlerinden yararlanarak, bu eşitliklerle uyumlu ağaç hacim ve hacim oran eşitliklerinin katsayıları hesaplanmıştır. Tablo 5'de uyumlu gövde çapı eşitliklerinin başarılarını belirleyebilmek amacıyla her bir eşitlik için ortalama fark, farkların standart sapması ve açıklanan varyans yüzdesi değerleri hesaplanmıştır. Bu ölçütler birlikte dikkate alındığında, uyumlu gövde çapı eşitlikleri arasında en iyi sonuç 23'nolu eşitlikle elde edilmiştir. Bu eşitliğe ilişkin  $\bar{D}$ ,  $S$  ve  $PVE$  ölçüt değerleri sırasıyla, gövde çapı için -0.14 cm, 1.68 cm. ve % 97.5, ağaç hacmi için -0.0 m<sup>3</sup>, 0.133 m<sup>3</sup> ve % 98.5, (h) değişkenine göre hacim oranı için 0.014, 0.0112 ve % 99.1, (d) değişkenine göre hacim oranı için -0.019, 0.021 ve % 95.9 olarak hesaplanmıştır. Uyumlu gövde çapı modelleri arasında en iyi sonucu veren 23'nolu eşitliğin, gövdenin belirli bölümleri için gösterdiği ortalama fark ve farkların standart sapması değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Bu tablodan da görülebileceği gibi 23'nolu eşitlik; gövde çapları ile (d)'ye göre hacim oran değerleri bakımından, toprak seviyesi ile ağaç boyunun

Tablo 4. Uyumlu gövde çapı, ağaç hacmi ve hacim oran eşitlik sistemlerine ilişkin katsayılar

Katsayılar	Eşitlik No				
	7	11	15	19	23
$a_1$	1.08025	1.33278	1.29821	0.00000	-1.88736
$a_2$	1.35588	0.96443	1.48862	0.79834	0.68953
$a_3$		0.74154	-0.0004	1.09872	-0.14926
$a_4$		0.76963	1.22627	1.39584	133.3446
$b_1$	0.000036	0.000056	-10.815	0.00000	
$b_2$		1.92886	29948.2	0.000036	
$b_3$		0.94382			
$\alpha_1$					0.79143
$\alpha_2$					0.09019
$c_1$	2.35588	2.48308	2.48862	1.79834	
$c_2$	-0.87447	-0.38215	-0.41785	2.39585	
$c_3$	3.47505	3.34854	3.34353		
$c_4$		3.22944	-0.00044		
$c_5$		-0.09407	1.22627		
$c_6$			1.67176		
$\phi$					0.0000386
$\gamma$					0.4919344

%40'ına kadar olan bölüm için eksik, gövdenin diğer bölümü için fazla sonuç vermiştir. (h) değişkenine göre hacim oranları dikkate alındığında; aynı eşitlik gövdenin ilk %20'lik bölümü için eksik ve geriye kalan bölümünde ise fazla sonuç vermiştir.

Tablo 5. Uyumlu gövde çapı eşitliklerine ilişkin ölçüt değerleri.

Eşitlikler	Ölçütler	Eşitlik No				
		7	11	15	19	23
Gövde çapı	(cm)	0.54	-0.18	-0.23	0.24	-0.14
	S (cm)	1.80	1.70	1.72	1.73	1.68
	PVE (%)	95.8	97.1	97.0	96.8	97.5
Ağaç hacmi	(m <sup>3</sup> )	0.00	-0.34	-0.17	0.09	-0.00
	S (m <sup>3</sup> )	0.115	0.143	0.145	0.149	0.133
	PVE (%)	96.9	97.3	97.3	97.00	98.5
Hacim oran (h'a göre)	$\bar{D}$	0.0087	0.0068	0.0057	0.0075	0.014
	S	0.0143	0.0141	0.0129	0.0133	0.0112
	PVE (%)	96.2	97.9	97.8	97.4	99.1
Hacim oran (d'ye göre)	$\bar{D}$	0.048	-0.096	-0.044	-0.088	-0.019
	S	0.036	0.027	0.034	0.032	0.021
	PVE (%)	93.8	95.2	94.9	94.8	95.9

Tablo 6. Çeşitli gövde bölümleri için 23'nolu eşitliğe ilişkin ölçüt değerleri.

Eşitlik	Oransal boy (z=h/H)	$\bar{D}$	S
Gövde çapı (cm)	0.0<z 0.2	-0.88	2.64
	0.2<z 0.4	-0.09	0.85
	0.4<z 0.6	0.26	1.55
	0.6<z 0.8	0.39	0.99
	0.8<z 1.0	0.12	0.91
Hacim oranı (h'a göre)	0.0<z 0.2	-0.0066	0.0149
	0.2<z 0.4	0.0048	0.0362
	0.4<z 0.6	0.0101	0.0222
	0.6<z 0.8	0.0188	0.0092
	0.8<z 1.0	0.0018	0.0035
Hacim oranı	0.0<z 0.2	-0.0416	0.0688
	0.2<z 0.4	-0.0535	0.0544
	0.4<z 0.6	0.0266	0.0286
	0.6<z 0.8	0.0022	0.0127
	0.8<z 1.0	0.0006	0.0027

## Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada test edilen gövde çapı modelleri arasında en iyi sonuç 6'nolu eşitlikle elde edilmiştir. Ancak bu eşitlik, ağaç hacim ve hacim oran eşitlikleri ile uyumlu değildir. Belirli yüksekliklerdeki gövde çaplarının hesaplanmasında diğer eşitliklere göre daha iyi sonuç vermesine karşın, ağaç hacim ve hacim oranlarının hesaplanabilmesi için, gövdenin bölümlere (seksiyonlara) ayrılması ve her bir bölüm için Smalian ve Huber gibi standart tomruk hacim formüllerinin kullanılması gerekmektedir.

Bilindiği gibi, tomrukların hacimlendirilmesinde, seksiyon uzunluğu ne kadar kısa alınırsa o kadar doğru sonuç elde edilmektedir. Bu nedenle, 6'nolu eşitlik ile gövdenin belirli bölümlerine ilişkin hacim ya da hacim oranları hesaplanmak istenirse, gövdenin her bir bölümü mümkün olduğu kadar alt bölümlere ayrılmalı ve her bir alt bölüm için bu gövde çapı eşitliği ile hesaplanacak ilgili gövde çapı değerlerinden yararlanarak, alt bölümlere ilişkin hacim değerleri hesaplanmalı ve bu değerlerin toplanmasıyla da ilgili bölümün hacmi bulunmalıdır. Bu açıklamalardan, 6'nolu eşitlik ile gövde hacmi ya da hacim oran değerlerine ilişkin hesaplamaların pratik olmadığı açıktır. Pratik bakımdan uyumlu gövde çapı modelleri tercih edilmektedir. Çünkü bu modellerde gövde üzerinde herhangi bir yüksekliğe ya da çapa kadar olan hacim ve hacim oran değerleri basit bir dört işlem uygulanarak hesaplanabilmektedir.

Bu çalışmada test edilen uyumlu gövde çapı eşitlikleri dikkate alındığında en iyi sonuç 23'nolu eşitlikle elde edilmiştir. Ancak, bu eşitlik ile özellikle hacim oran değerlerinin hesaplanması işlemleri oldukça karmaşıktır. Test edilen diğer uyumlu gövde çapı eşitliklerinden 11'nolu eşitlik ise basit bir yapıya sahip olmakla birlikte, aynı zamanda 23'nolu eşitliğe çok yakın bir başarı da sağlamıştır. Bu sonuçlara göre, kıızılağaç için gövde çapı, ağaç hacmi ve hacim oran değerleri birbirleri ile uyumlu ve duyarlı bir şekilde hesaplanmak isteniyorsa 23'nolu eşitlik, ancak pratik bakımdan 11'nolu gövde çapı eşitliğinin tercih edilmesi önerilebilir.

**Kaynaklar**

1. Fries, J., ve Martin, B., On the use of multivariate methods for the construction of tree taper curves. Advisory Group of forest Statisticians of the IUFRO Section 25, Stockholm Conference. October. Paper No: 9, 32 s., 1965.
2. Bruce, D., Curtis, R. O. ve Vandevering, C., Development of a system of taper and volume tables for red alder, *Forest Science* 14, 339-350, 1968.
3. Bennett, F. A., ve Swindel, B. F., Taper curves for planted slash pine. USDA Forest Service, Research Note SE-179, 4 s., 1972.
4. Gallant, A. R., ve W. A., Fuller. Fitting segmented polynomial regression models whose join point have to be estimated. *Journal of American Statistical Association* 68, 144-147 s., 1973.
5. Ormerod, D. W., A simple bole model, *Forestry Chronicle* 49, 136-138, 1973.
6. Kilkki, P., ve Varmola, M., A nonlinear simultaneous equation to determine taper curve, *Silva Fennica* 13, 293-303, 1979.
7. Lahtinen, A., ve Laasasenaho, J., On the construction of taper curves by using spline function, *Forestalia Fennica* 95, 8 s., 1979.
8. Hiilt, D. E., Taper-based system for estimating stem volumes of upland oaks, USDA Forest Service, Research Paper NE-458, 12 s., 1980.
9. Amidon, E. L., A general taper functional form to predict bole volume for five mixed conifer species in California, *Forest Science* 30, 166-171, 1984.
10. Kozak, A., A variable exponent taper equation, *Canadian Journal of Forest Research* 18, 1363-1368, 1988.
11. Lahtinen, A., ve Laasasenaho, J., On the construction of monotony preserving taper curves, *Acta Forestalia Fennica* 203, 34 s, 1988
12. McTague, J. P. ve Standsfield, W. F., Total and merchantable volume equations and taper functions for southwestern ponderosa pine, *Western Journal of Applied Forestry*, 3(4), 123-125, 1988.
13. Lahtinen, A. ve Laurila, K., The monotony preserving QQ-spline as a taper curve, *Scandavian Journal of Forest Research* 5, 277-283, 1990.
14. Korhonen, K. T., Using taper curve models based on mixed linear models in forest inventory, *Folia Forestalia* 774, 27 s., 1991.
15. Lahtinen, A., On the construction of shape taper curves, *Silva Fennica*, 27(1), 29-46, 1993.
16. Perez, D. N., Burkhart, H. E., ve Stiff, C. T., A variable-form taper function for *pinus oxycarpa schiede* in Central Honduras. *Forest Science* 36(1), 186-191, 1990.
17. Max, T. G. ve Sullivan, A. D. Variable top volume and height prediction for slash pine. *Forest Science* 28, 274-282, 1982.
18. Bennet, F. A., Lloyd, F. T., Swindel, B. F., ve Whitehorn, E. W., Yields of veener and associated from unthinned, old-field plantations of slash pine in the North Florida and South Georgia Flatwoods. Southeastern Forest Experiment Station, Research Paper SE-176, 80 s. 1978.
19. Ormerod, D. W., The diameter-point method for tree taper description. *Canadian Journal of Forest Research* 16, 484-490, 1986.
20. Newberry, J. D. ve Burkhart, H. E., Variable-form stem profile models for loblolly pine, *Canadian Journal of Forest Research* 16, 109-114, 1986.
21. Newnham, R. M., A variable form taper function. *Canadian Forest Service, Pettawa Natl. For. Inst. Rep.*, Pl-X-83, 1988.
22. Newnham, R. M., Variable-form taper functions for four Alberta tree species. *Canadian Journal of Forest Research*, 22(2), 210-223, 1992.
23. Demaerschalk, J. P., Converting volume equations to compatible taper equations., *Forest Science* 18, 241-245, 1972.
24. Breyne, J. C. ve Reed, D. D., Complex taper and volume estimation system for red and loblloy pine, *Forest Science*, 32(2), 423-443, 1986.
25. McClure, J. P. ve Czuplewski, R. L., Compatible taper equation for loblolly pine, *Canadian Journal of Forest Research* 16, 1272-1277, 1986.
26. Czuplewski, R. L. ve McClure, J. P., Conditioning a segmented stem profile model for two diameter measurement, *Forest Science*, 34(2), 512-522, 1988.
27. Czuplewski, R. L., Brown, A. S., ve Walker, R. C., Profile models for estimating log and diameters in the Rocky Mountain Region, USDA Forest Service, Research Paper RM-284, 9 s. 1989.
28. Rustagi, K. P., ve Loveless, R. S., Improved taper and volume ratio equations. *Forest Science* 30.,977-990, 1990.
29. Rustagi, K. P.,ve Loveless, R. S., Compatible-variable form volume and stem profile equations for douğas-fir.,*Canadian Journal of Forest Research* 21, 143-151, 1990.
30. Bailey, R. L., A compatible volume-taper model based on the Schumacher and Hall generalized constant form factor volume equation, *Forest science*, 40(2), 303-313, 1994.
31. Firat, F., *Dendrometri, İ. Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 193*, 359 s, 1973.
32. Kalıpsız, A., *Dendrometri, İ. Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 354*, 407 s, 1984.
33. Sun, O., Eren, M. E., ve Orpak, M., Temel ağaç türlerimizde tek ağaç ve birim alandaki odun çeşidi oranlarının saptanması, TÜBTAK Tarım ve Ormanlık Araştırma Grubu, Proje NO: TOAG-288, 119 s, 1978.
34. Yavuz, H., Compatible stem taper, total tree volume and volume ratio equation systems, XI. World Forestry Congress, Antalya, Vol. 1, 1997.
35. Saraçoğlu, N., Kızılağaç gövde hacım ve biyokütle tablolarının düzenlenmesi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 105 s, 1988.
36. Günel, A., Gövde şekil emsalinin tayininde kullanılabilecek bir formül. *İ.Ü. Orman Fkültesi Dergisi, Seri A*, 29(2) 31-41, 1979.

37. Demaerschalk, J. P., Integrated systems for the estimation of tree taper and volume., Canadian Journal of Forest Research 3, 90-94, 1973.
38. Farrar, R. M., Crown ratio used as a surrogate in a volume equation for natural longleaf pine stems.,USDA Forest Service, General Technical Report SO-54, 429-435, 1985.
39. Clutter, J. L., Development of taper functions from variable-top merchantable volume equations, Forest Science, 26(1), 117-120, 1980.
40. Burkhart, H. E. ve Sprinz, P. T., Compatible cubic volume and basal area projection equation for thinned old-field loblolly pine plantations, Forest Science 30, 86-93, 1984.
41. Reed, D. D., ve Green, E. J., Compatible stem taper and volume ratio equations, Forest Science, 30(4), 977-990, 1984.
42. Green, E. J., ve Reed, D. D., Compatible tree volume and taper functions for pitch pine, Northern Journal of Applied Forestry 2, 14-16, 1985.
43. Kozak, A., Munro, D. D., ve Smith, J. H. G., Taper functions and their applications in forest inventory, Forestry Chronicle 45, 278-283, 1969.
44. Matney, T. G., ve Sullivan, A. D., Absolute form quotient taper curves and their application to old-field pine trees, Colorado State University, P. 831-842 in Forest Resource Inventories, 1979.
45. Van Deusen, P. C., Matney, T. G., ve Sullivan, A. D., A compatible system for predicting the volume and diameter of sweetgum trees to any height.,Southern Journal of Applied Forestry 6, 159-163, 1982.