

Türkiye'nin bazı önemli ağaç türleri için yöresel gövde çapı modellerinin geliştirilmesi: Bucak örneği

Onur Alkan^{a,*}, Ramazan Özçelik^a, Hasan Alkan^a

Özet: Bu çalışma ile Bucak yöresi kızılçam (*Pinus brutia* Ten.), Toros sediri (*Cedrus libani* A. Rich.) ve Toros göknarı (*Abies cilicica* Carr.) meşcereleri için uyumlu gövde çapı ve gövde hacim denklemleri geliştirilmiştir. Test edilen model, tüm ağaç türleri için gövde çapı ve hacim tahminlerinde başarılı sonuçlar vermiştir. Kullanılan gövde çapı ve hacim modelinin, çap ve hacim tahminlerindeki doğruluğu ve hassasiyeti, 10 nisbi boy değeri için de test edilmiştir. Diğer yandan, Bucak yöresindeki üç ağaç türü için geliştirilen gövde çapı modellerinin kendi aralarında ve Mut ve Elmalı yörelerindeki aynı türler için geliştirilen gövde çapı modellerinden farklılık gösterip göstermediği doğrusal olmayan ekstra kareler yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Doğrusal olmayan ekstra kareler yöntemi sonuçlarına göre, güvenilir gövde çapı, ticari veya toplam hacim tahminleri için yörelere ve türlere özgü geliştirilen gövde çapı ve gövde hacmi denklemlerinin kullanılması ya da parametre tahminlerinin yapılması gerektiği anlaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Gövde çapı denklemleri, Kızılçam, Toros sediri, Toros göknarı, *F*-test

Development of regional stem taper models for some important tree species of Turkey: Case study of Bucak

Abstract: Compatible stem taper and volume models were developed for Brutian pine (*Pinus brutia* Ten.), Cedar of Lebanon (*Cedrus libani* A. Rich.), and Cilicica fir (*Abies cilicica* Carr.) in Bucak forest region of Southern Turkey. The proposed models generally performed better for the whole tree for all tree species. Diameter and volume predictions at 10 points along the stem were made to verify the accuracy and precision of these models for the three species. More specifically, differences among different tree species in one region and regional differences of the taper equation were examined using the nonlinear extra sum of squares method. The results of the non-linear extra sum of squares method indicated that species-specific taper equations for estimating diameters along the stem and predicting merchantable or total volume for each region are required.

Keywords: Stem taper equations, Brutian pine, Taurus cedar, Cilicica fir, *F*-test

1. Giriş

Orman Genel Müdürlüğü (OGM), orman kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi çerçevesinde kendisinden beklenen hedefleri gerçekleştirebilmek için, orman ekosistemlerinin planlanması amacıyla ekosistem tabanlı fonksiyonel planlama yaklaşımını benimsemiş ve orman amenajman planlarını bu doğrultuda hazırlamaya başlamıştır. Ancak bu planlama sisteminin başarı ile gerçekleştirilebilmesi, ağaç türleri ve bunların yayılış gösterdiği farklı yörelere özgü büyüme ve hasılat modellerinin varlığını gerektirmektedir. Ağaç hacim tahminleri, büyüme ve hasılat modellerinin önemli bir parçasını oluşturmaktadır (Klos vd., 2007; Özçelik ve Cao, 2017). Hacim tahminleri, ağaç ve meşcerelere ilişkin hacmin ve bu hacim miktarının farklı ticari sınıflara dağılımının doğru hesaplanması (Diéguez-Aranda vd. 2006; Crecente-Campo vd., 2009), orman amenajman planlarının düzenlenmesi (Rodríguez vd. 2015; Özçelik ve Cao, 2017), orman ürünleri sanayiinin geleceğine ilişkin projeksiyonların yapılması (Fang vd., 2000; Jiang vd., 2005; de-Miguel vd., 2012), ormanların sağlığının ve verimlilik durumlarının belirlenmesi (Paresol,

2001; de-Miguel vd., 2012) ve uygun biyokütle dönüşüm faktörleri yardımı ile biyokütle ve karbon birikim miktarının hesaplanması (Castedo-Dorado vd., 2012; Gomez-Garcia vd., 2015) gibi amaçlar için gereklidir.

Türkiye'deki ağaç türlerinin hacim tahminlerinde, genel olarak tek veya çift girişli ağaç hacim denklemleri kullanılmaktadır. Hatta bu ağaç hacim denklemleri, zaman zaman oldukça geniş alanlarda ve yöresel farklılıklar dikkate alınmaksızın kullanılabilir. Ancak, bir ağacın büyüme ve gelişimi üzerine yetiştirme ortamı şartları başta olmak üzere meşcere sıklığı, gençleştirme yöntemi ve diğer çevresel faktörler gibi pek çok etmen etki etmektedir (Li vd., 2012). Bu nedenle, orman kaynaklarının rasyonel olarak planlanabilmesi ve belirtilen faktörlerin etkisini en aza indirebilmek için, eldeki imkânlar ölçüsünde her ağaç türü ve yöre için türe ya da yöreye özgü ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi ve kullanılması gerekmektedir. Aksi halde, hacim denklemlerinin geliştirilmiş olduğu yöre dışında ya da oldukça geniş alanlarda kullanılması sonucunda, yüksek hacim tahmin hatalarının ortaya çıkması kaçınılmazdır. Pillsbury vd. (1995) tarafından yapılan bir çalışmada, hacim denklemlerinin çok geniş alanlarda

✉ ^a Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, 32260, Isparta

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): onuralkan@isparta.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 09.12.2019, **Accepted** (Kabul tarihi): 17.12.2019



Citation (Atf): Alkan, O., Özçelik, R., Alkan, H., 2019. Türkiye'nin bazı önemli ağaç türleri için yöresel gövde çapı modellerinin geliştirilmesi: Bucak örneği. Turkish Journal of Forestry, 20(4): 333-340.
DOI: [10.18182/tjf.656457](https://doi.org/10.18182/tjf.656457)

kullanılması sonucu ortaya çıkacak hacim hatası miktarının %40'a kadar ulaşabileceği ifade edilmektedir.

Ağaç hacimlerinin tahmin edilmesi için son yıllarda kullanılan en etkin yöntemlerden birisi, gövde çapı modelleridir (Clark vd., 1991; Jiang vd., 2005; Rojo vd., 2005; Li ve Weiskittel, 2010; Li vd., 2012; Özçelik ve Crecente-Campo, 2016). Gövde çapı modelleri, ağaç gövdesi üzerindeki herhangi bir yükseklikteki kabuklu ve/veya kabuksuz çap tahminleri veya herhangi bir çap değerinin hangi yükseklikte olduğunu tahmin etmek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlara ek olarak, bir ağacın toplam hacmini ya da herhangi iki yükseklik değeri arasındaki bölümün hacminin tahmin edilmesi amacıyla da kullanılmaktadır (Kozak, 2004; Li vd., 2012). Yüzyılı aşkın bir süredir, çok farklı formlarda gövde çapı modelleri geliştirilmiştir. Ancak bunlar arasında parçalı gövde çapı modelleri ile değişken şekil gövde çapı modelleri diğer model formlarına göre gövde çapı ve hacim tahminlerinde daha başarılı olmuştur. Parçalı gövde çapı modellerinin, değişken şekil gövde çapı modellerine göre en önemli üstünlüğü, gövde çapı modelinin integralinin alınması suretiyle hacim denklemine dönüştürülebilir olmasıdır. Bu nedenle de, parçalı gövde çapı modelleri nispeten daha yaygın olarak kullanılmaktadır (Cao vd., 1980; Martin 1981; Parresol vd., 1987; Clark vd., 1991; Figueiredo-Filho vd., 1996; Cao 2009; Cao ve Wang, 2015; Özçelik ve Cao, 2017).

Ülkemizde de yöresel düzeyde farklı ağaç türleri için gövde çapı modelleri geliştirilmiştir. Yavuz (1995), Taşköprü yöresi sarıçam meşcereleri için, Yavuz ve Saraçoğlu (1998), Doğu Karadeniz bölgesinde kızılçam için, Sakıcı vd. (2008), Kastamonu yöresinde Uludağ göknarı için gövde çapı modelleri geliştirmiştir. Brooks vd. (2008), Mut ve Elmalı yörelerindeki kızılçam, Toros sediri ve Toros göknarı türleri için uyumlu gövde çapı ve hacim denklemleri geliştirmiştir. Sakıcı ve Özdemir (2018), Doğu kayını ve Kazdağı göknarı için gövde çapı modelleri geliştirmiştir. Ercanlı vd. (2014), Adana-Feke Yöresi kızılçam meşcereleri için ve Şenyurt vd. (2017), Çankırı yöresi karaçam meşcereleri için karışık etkili modelleme tekniği kullanılarak gövde çapı modelleri geliştirmiştir. Şenyurt ve Ercanlı (2019) ise, Çankırı yöresi karaçam ağaçlarının hacim tahminleri için, gövde çapı modeli ile yapay sinir ağları yöntemlerini karşılaştırmıştır.

Sharma ve Zang (2004) tarafından da belirtildiği gibi, gövde çapı modelleri genellikle türe özgü olup, modellerin gövde çapı ve buna bağlı olarak hacim tahminlerindeki başarısı, ağaç türüne bağlıdır. Bu nedenle de, her ağaç türü ve farklı yöreler için ayrı model geliştirilmeli ya da model parametreleri tahmin edilmelidir. Bu nedenle çalışmanın birinci aşamasında, Bucak yöresi kızılçam, Toros sediri ve Toros göknarı meşcereleri için Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen gövde çapı modeli kullanılarak yöresel uyumlu gövde çapı ve gövde hacim denklemleri geliştirilmiştir. İkinci aşamada ise, üç ağaç türü arasında ve aynı ağaç türü için farklı yöreler arasında farklılıkların olup olmadığı doğrusal olmayan ekstra kareler yöntemi kullanılarak araştırılmıştır.

2. Materyal ve yöntem

Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.), Toros sediri (*Cedrus libani* A. Rich.), ve Toros göknarı (*Abies cilicica* Carr.), Türkiye'nin önemli asli ağaç türleri olup, 6 milyon hektar ile toplam ülke ormanlarının yaklaşık dörtte birini

oluşturmaktadır. Bu çalışmada, üç ağaç türü için gerekli örnek ağaç verileri, türlerin oldukça geniş yayılış alanına sahip olduğu Bucak Yöresinden elde edilmiştir. Bu amaçla, her üç ağaç türünün yöredeki doğal meşcerelerinden ve değişik çap-boy basamaklarından örnek ağaçlar seçilmiştir. Örnek ağaçların seçiminde; tepesi kırık, çatallı ve gövde formu çok bozuk olmamasına özen gösterilmiştir. Örnek ağaçların kesilmeden önce göğüs yüksekliği çapları (1.30 m), elektronik çap ölçer yardımı 0.01 cm hassasiyetle ölçülmüş, ağaçlar kesildikten sonra ise 0.3 m, 1.3 m, 2.3 m ve 1'er m aralıklarla ağacın uç kısmına kadar gövde üzerindeki kabuklu çap değerleri ölçülmüştür. Ağaçların toplam boy değerleri ise, şerit metre yardımı ile ölçülmüş bu değere dip kütük yüksekliği de eklenmiştir. Ağaçların gerçek hacim değerleri, Bailey (1995) tarafından önerilen overlapping bolt (üst üste eklemeli hacim tahmini) yöntemiyle tahmin edilmiştir. Her bir ağaç türü için, toplanan verilerin yaklaşık %75'lik kısmı tesadüfi olarak ayrılarak model geliştirilmesi amacıyla ve kalan %25'lik kısmı ise geliştirilen modellerin test edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Verilere ilişkin nitelendirici istatistikler, Tablo 1 de verilmiştir. Bununla birlikte türler için yöresel farklılıkların var olup olmadığını ortaya koymak amacıyla yapılacak değerlendirmelerde kullanılmak üzere Elmalı (Antalya) yöresi Toros sediri ve Mut (Mersin) yöresi kızılçam ve Toros göknarına ilişkin örnek ağaç verileri Brooks vd. (2008)'den alınmıştır. Bu verilere ilişkin nitelendirici istatistikler ise, Tablo 2'de verilmiştir.

2.1. Gövde çapı modelinin seçimi

Araştırmada, pek çok çalışmada (Martin, 1981; Brooks vd., 2008; Cao ve Wang 2015) başarılı sonuçlar vermesi nedeniyle, Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen parçalı gövde çapı modeli kullanılmıştır. Denklem, ağaç gövde formunu üç farklı geometrik şekil olarak tanımlamaktadır. Buna göre, ağaç gövdesinin en alt kısmı nayloid, orta kısmı kesik paraboloid ve en üst kısmı ise koni şeklindedir. Bu amaçla her üç farklı bölüm için farklı polinomial regresyon denklemleri geliştirilmiş ve bu denklemler iki farklı katılma noktası ile birleştirilmiştir. Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen gövde çapı modeli aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

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

Burada,

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

$$Z = \frac{h}{H}$$

h = ölçüm noktasının yerden yüksekliği (m),

H = toplam ağaç boyu (m),

D = göğüs yüksekliğindeki kabuklu çap (cm),

d = h yüksekliğinde ölçülen kabuklu çap,

a_i = katılma noktaları. $i = 1, 2$,

b_i = regresyon katsayıları, $i = 1, 2$.

Max ve Burkhart (1976) modelinin türevi alınmak suretiyle elde edilen hacim denklemi ise aşağıdaki gibi yazılabilir:

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

Burada,

$$K = 0.0000785,$$

$$Z_l = \frac{h_l}{H},$$

$$Z_u = \frac{h_u}{H},$$

h_l = alt ölçüm noktası (m),

h_u = üst ölçüm noktası (m),

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

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

Diğer tüm değişkenler daha önce tanımlanmıştır.

2.2. Model performanslarının değerlendirilmesi

Model performanslarının değerlendirilmesi amacıyla; Schlaegel (1981) tarafından önerilen ortalama hata (MB), tahminlerin standart hatası (SEE) ve Uyum indeksi (FI) ölçüt değerleri kullanılmıştır. Bir yöredeki farklı ağaç türleri için türe özgü katsayıların kullanılmaması sonucunda ortaya çıkacak hacim tahmin hatalarının ortaya konması amacıyla da ortalama mutlak hata (MAE), ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE), Hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE) ve yüzde hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE%) ölçütleri kullanılmıştır.

Tablo 1. Bucak Yöresi kızılçam, Toros sediri ve Toros göknarı türleri için nitelendirici istatistikler

Türler	Ortalama	S.D.	Min.	Maks.
Model geliştirme verisi				
Kızılçam (n = 102 ağaç)				
DBH (cm)	38.75	16.57	12.00	75.00
Toplam ağaç boyu (TH, m)	17.19	5.66	4.50	26.50
Disk çapı (cm)	23.75	14.98	3.00	79.00
Disk boyu (m)	8.58	6.11	0.30	26.30
Toros sediri (n = 112 ağaç)				
DBH (cm)	32.48	7.30	12.00	64.00
Toplam ağaç boyu (TH, m)	16.36	3.33	7.50	26.90
Disk çapı (cm)	20.31	10.35	3.00	67.00
Disk boyu (m)	8.20	5.30	0.30	26.30
Toros göknarı (n = 140 ağaç)				
DBH (cm)	37.50	12.75	14.00	72.00
Toplam ağaç boyu (TH, m)	16.98	4.35	7.80	27.50
Disk çapı (cm)	22.60	13.18	1.00	77.00
Disk boyu (m)	7.35	5.62	0.30	27.30
Model test verisi				
Kızılçam (n = 40 ağaç)				
DBH (cm)	40.74	16.42	11.00	71.00
Toplam ağaç boyu (TH, m)	17.77	5.33	4.60	25.50
Disk çapı (cm)	24.27	15.33	3.00	75.00
Disk boyu (m)	8.87	6.05	0.30	26.30
Toros sediri (n = 40 ağaç)				
DBH (cm)	31.25	6.32	17.00	46.00
Toplam ağaç boyu (TH, m)	15.92	3.36	9.60	23.70
Disk çapı (cm)	19.19	16.30	3.00	50.00
Disk boyu (m)	8.24	5.23	0.30	23.30
Toros göknarı (n = 50 ağaç)				
DBH (cm)	40.97	14.69	15.00	74.00
Toplam ağaç boyu (TH, m)	17.76	4.85	6.00	26.00
Disk çapı (cm)	24.36	14.42	1.00	77.00
Disk boyu (m)	8.50	5.85	0.30	25.30

Tablo 2 Farklı bölgelerdeki üç ağaç türü için tanımlayıcı istatistikler

Yöreler ^a	Ağaç türü ^b	Değişken ^c	n	Ortalama	Minimum	Maksimum	SD ^d
A	1	DBH	103	40.23	16.00	73.00	14.81
		TH	103	18.87	9.00	28.90	5.08
	3	DBH	159	28.96	11.00	54.00	10.45
		TH	159	13.71	6.80	21.50	2.97
B	2	DBH	90	32.16	12.00	58.00	8.33
		TH	90	16.43	8.00	27.60	3.87
C	1	DBH	190	35.67	14.00	73.00	13.49
		TH	190	16.05	6.00	27.50	4.71
	2	DBH	152	31.29	12.00	64.00	6.70
		TH	152	15.80	7.50	26.90	3.36
	3	DBH	142	33.59	11.00	75.00	16.92
		TH	142	15.10	4.50	26.50	6.11

^aA: Mut Orman İşletmesi, B: Elmalı Orman İşletmesi, C: Bucak Orman İşletmesi, ^b1-Toros göknarı, 2-Toros sediri, and 3- Kızılçam, ^cDBH=göğüs çapı (cm), TH=toplam ağaç boyu (m), n=ağaç sayısı, ^dSD=Standard sapma.

Söz konusu ölçüt değerleri aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$MB = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i) \quad (3)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (4)$$

$$MAPE = \frac{100}{n} \times \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i} \quad (5)$$

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-p}} \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (7)$$

$$RMSE \% = 100 \times \frac{RMSE}{\bar{y}} \quad (8)$$

$$FI = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (9)$$

Burada,

Y_i = i^{th} ölçümün gözlenen değeri,

\hat{Y}_i = i^{th} ölçümün tahmini değeri,

\bar{Y} = Y_i 'nin ortalaması,

k = tahmin edilen parametre sayısı,

n = ölçüm sayısı,

Toplam hacmi tahminleri için MAE, MAPE, RMSE ve RMSE% değerlerinin hesaplanmasında birini dışarda bırakma yaklaşımı (leave one-out) kullanılmıştır. Örneğin Bucak yöresi için model katsayıları sedir verileri kullanılarak tahmin edilmiş, ancak yukarıda verilen ölçüt değerleri kızılçam ve göknar verileri kullanılarak hesaplanmıştır.

Çap ve hacim tahminlerindeki hataları eş zamanlı olarak minimize edebilmek için, gövde çapı ve hacim denklemleri SAS yazılımındaki SUR (PROC MODEL) prosedürü kullanılarak eş zamanlı çözülmüştür (SAS Institute, 2002). Tüm parametreler gövde çapı ve gövde hacim denklemlerine paylaştırılmıştır. Veri setindeki ilişkili hata yapısı SAS MODEL prosedüründe dikkate alınmamıştır. Bazı araştırmacılar tarafından ifade edildiği gibi (Williams ve Reich 1997; Kozak 1997), modellerin tahmin performansı; ilişkili hata yapısı tarafından çok fazla etkilenmemektedir.

2.3. Farklı ağaç türleri ve yöresel düzeyde gövde çapı denklemlerinin karşılaştırılması

Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen gövde çapı modeli için Bucak Yöresindeki farklı ağaç türleri ve farklı yörelerdeki aynı ağaç türleri için türe ya da yöreye özgü katsayıların gerekli olup olmadığını test etmek amacıyla doğrusal olmayan ekstra kareler yöntemi kullanılmıştır (Neter vd., 1996). Bu yöntem, Huang vd., (2000a), Rodríguez vd. (2015) ve Özçelik vd. (2016) tarafından gövde çapı denklemleri, Huang vd. (2000b) ve Peng vd. (2001) tarafından çap-boy denklemleri ve Pillsbury vd., (1995) ve Brooks ve Wiant (2008) tarafından ise ağaç hacim denklemleri bakımından yöresel farklılıkların ortaya konması amacıyla kullanılmıştır. Söz konusu yöntem, hem tam hem de indirgenmiş modelin kullanılmasını

gerektirmektedir. Max ve Burkhart (1976)'ın tam modeli, farklı yöreler için farklı model parametrelerinin kullanılmasını, indirgenmiş model ise tüm bölgeler için aynı parametrelerin kullanılmasını gerektirmektedir (Bates ve Watts 1988).

P -değerinin 0.05'den daha az olması, türler ya da yöreler arasında önemli fark olduğu anlamına gelmektedir. Doğrusal olmayan ekstra kareler yöntemi F -dağılımını kullanmakta olup, aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$F = \frac{(SSE_R - SSE_F)/(df_R - df_F)}{SSE_F/df_F} \quad (10)$$

Burada,

SSE_R = tüm ağaç türleri için aynı parametreleri kullanan indirgenmiş modelin hata karelerinin toplamı,

SSE_F = her bir ağaç türü için boş değişken kullanmak suretiyle farklı parametreler kullanan tam modelin hata karelerinin toplamı,

df_R = indirgenmiş modelin serbestlik derecesi,

df_F = tam modelin serbestlik derecesidir.

3. Bulgular ve tartışma

3.1. Bucak yöresi için elde edilen sonuçlar

Parametre tahminleri, Bucak yöresindeki her bir ağaç türü için gövde çapı ve hacim denklemleri için eş zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Her bir ağaç türü için geliştirilen denklemlerin tüm parametreleri 0.0001 düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Bucak yöresindeki üç ağaç türü için gövde çapı ve gövde hacim tahminlerine ilişkin istatistiksel ölçütler (MB , SEE ve FI) Tablo 3'de verilmiştir. Sonuçlar, üç ağaç türü içinde, Max ve Burkhart (1976) modelinin, ağaçların gövde çapı tahminlerindeki varyasyonun %98'den fazlasını açıkladığını göstermektedir. Tahminlerin standart hatası (SEE) değeri ise, tüm türler için 1.9 cm'den daha az olarak bulunmuştur. Hacim tahminlerindeki ortalama hata miktarı türlere göre değişkenlikler göstermekle birlikte, 0.002 m³ civarında olup, modellerin hacim tahminlerindeki varyasyonu açıklama yüzdesi ise %97'den fazladır. Tablo 3'deki sonuçlar incelendiğinde, Toros göknarı için elde edilen sonuçların diğer ağaç türlerine göre nispeten daha başarısız olduğu görülmektedir. Bunun önemli bir nedeni olarak, örnek ağaç sayısının diğer türlere göre daha fazla olmasına karşın, aynı çap ya da boy değerine sahip ağaçlar arasındaki değişkenliğin yüksek olması gösterilebilir.

Tablo 3. Bucak Yöresindeki üç ağaç türü için uyumlu gövde çapı ve hacim denklemlerine ilişkin uyum istatistikleri

Türler	Ortalama hata	SEE	FI
Kızılçam			
Gövde çapı (cm)	0.0105	1.8856	0.9864
Hacim (m ³)	0.0018	0.0079	0.9885
Toros sediri			
Gövde çapı (cm)	0.1926	1.2574	0.9860
Hacim (m ³)	0.0002	0.0044	0.9861
Toros göknarı			
Gövde çapı (cm)	0.2370	1.7402	0.9841
Hacim (m ³)	0.0020	0.0112	0.9668

Max ve Burkhart (1976) gövde çapı denkleminin, gövdenin değişik bölümlerindeki çap ve hacim tahminlerindeki başarısının ortaya konması amacıyla ağaç gövdesi dipten tepeye on eşit parçaya ayrılmış ve bu nispi boy sınıfları (h/H) için MB ve SEE değerleri hesaplanmıştır (Tablo 4 ve 5). Çap tahminlerinde SEE 'nin hem Toros sediri hem de kızılçam için gövdenin alt kısımlarında nispeten daha küçük olduğu görülmektedir (Tablo 4). Buna karşın, Toros göknarı için hata ve SEE değerleri gövdenin alt kısımlarında daha yüksektir. Her üç ağaç türü için de gövdenin %60-80'lik kısmındaki SEE değerlerinin diğer bölümlere göre nispeten daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun nedeni olarak, her üç ağaç türü için de dallanmanın başladığı yüksekliğin bu bölüme yakın olması söylenebilir.

Gövdenin değişik bölümlerine ilişkin hacim tahminleri incelendiğinde ise, hem MB hem de SEE değerleri bakımından gövdenin %10-30'luk bölümündeki değerlerin diğer gövde bölümlerine göre nispeten daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun en temel nedeni, ağaçların dip kısmının herhangi bir geometrik şekle tam benzememesi ve hacim tahmininin bu bölüm için zor olmasıdır.

Bucak yöresindeki üç ağaç türü için önerilen gövde çapı ve gövde hacim modelleri ile elde edilen hacim tahminleri; kızılçam için Alemdağ (1962) ve Toros sedir ve Toros göknarı için ise Bozkuş ve Carus (1997) tarafından geliştirilen ağaç hacim denklemleri ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Tablo 6'da incelendiğinde, her üç ağaç türü için de Max ve Burkhart (1976) gövde çapı ve gövde hacim modeli ile elde edilen sonuçların, ağaç hacim denklemlerine göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Her üç ağaç türü için de, geliştirilen gövde çapı ve gövde hacim modelleri, ağaç hacim denklemlerine göre daha düşük MB ve SEE değerleri üretmiştir. Geliştirilen gövde çapı ve hacim modelleri, ağaç hacim denklemlerinin aksine, tüm ağaç gövdesi için daha başarılı hacim tahminleri yapabilmelerinin yanı sıra, ağaç gövdelerinin değişik bölümleri için de başarılı hacim tahminleri yapılabilmesine imkân sağlamaktadır.

Tablo 7'de, Max ve Burkhart (1976) modeli için, Bucak yöresindeki üç ağaç türüne ilişkin tüm veri setleri kullanılarak elde edilen parametre tahminleri verilmiştir.

Tablo 4. Bucak Yöresindeki üç ağaç türü için çap değerlerine ilişkin ortalama hata ve tahminlerin standart hatası (SEE) değerlerinin nispi boy sınıfları (RH) itibarıyla değişimi.

Türler	Kızılçam			Toros sediri			Toros göknarı		
		Ortalama hata	SEE		Ortalama hata	SEE		Ortalama hata	SEE
RH	n	(cm)	(cm)	n	(cm)	(cm)	n	(cm)	(cm)
0.0-0.1	170	-0.3168	1.5212	176	0.0139	1.0114	281	0.2872	1.3386
0.1-0.2	157	0.0781	1.1627	147	0.1005	0.8780	255	0.0893	1.4235
0.2-0.3	136	-0.1734	1.4571	154	0.1051	1.1918	231	0.1584	1.8723
0.3-0.4	150	0.0807	1.7856	155	0.1953	1.3624	251	0.1352	1.9264
0.4-0.5	156	0.0250	1.9957	152	0.3009	1.3999	261	0.2522	2.1804
0.5-0.6	142	-0.0600	2.3290	146	0.2412	1.6228	236	0.3245	1.9740
0.6-0.7	149	0.0725	2.2789	152	0.3122	1.5666	247	0.2278	1.9087
0.7-0.8	152	0.0811	2.3910	155	0.1653	1.4484	250	0.3395	1.8541
0.8-0.9	147	-0.0277	2.0797	149	0.0474	1.2088	253	0.3064	1.6413
0.9-1.0	168	0.3210	1.5794	164	0.4494	0.9302	234	0.2466	1.2567
Toplam	1527	0.0105	1.8556	1550	0.1926	1.2574	2506	0.2370	1.7402

Tablo 5. Bucak Yöresindeki üç ağaç türü için hacim değerlerine ilişkin ortalama hata ve tahminlerin standart hatası (SEE) değerlerinin nispi boy sınıfları (RH) itibarıyla değişimi

Türler	Kızılçam			Toros sediri			Toros göknarı		
		Ortalama hata	SEE		Ortalama hata	SEE		Ortalama hata	SEE
RH	n	(cm)	(cm)	n	(cm)	(cm)	n	(cm)	(cm)
0.0-0.1	170	0.0026	0.0095	176	0.0005	0.0052	281	0.0018	0.0218
0.1-0.2	157	0.0018	0.0080	147	0.0001	0.0046	255	0.0037	0.0131
0.2-0.3	136	0.0030	0.0097	154	0.0001	0.0057	231	0.0031	0.0128
0.3-0.4	150	0.0023	0.0101	155	0.0002	0.0059	251	0.0027	0.0118
0.4-0.5	156	0.0024	0.0100	152	0.0006	0.0054	261	0.0028	0.0112
0.5-0.6	142	0.0025	0.0100	146	0.0001	0.0055	236	0.0023	0.0083
0.6-0.7	149	0.0013	0.0078	152	0.0004	0.0042	247	0.0017	0.0065
0.7-0.8	152	0.0012	0.0061	155	0.0001	0.0031	250	0.0014	0.0048
0.8-0.9	147	0.0008	0.0035	149	0.0000	0.0016	253	0.0007	0.0026
0.9-1.0	168	0.0002	0.0011	164	0.0001	0.0004	234	0.0003	0.0009
Toplam	1527	0.0018	0.0079	1550	0.0002	0.0044	2506	0.0020	0.0112

Tablo 6. Bucak Yöresindeki üç ağaç türü için var olan hacim tablosu ve önerilen modelden elde edilen hacimlerin Ortalama hata ve SEE değerleri bakımından karşılaştırılması

Türler	Ortalama hata (m ³)	SEE (m ³)
Kızılcım		
Max-Burkhardt (1976)	-0.0147	0.1168
Alemdağ (1962)	-0.0570	0.1474
Toros sediri		
Max-Burkhardt (1976)	-0.0253	0.0467
Bozkuş ve Carus (1997)	-0.0377	0.0691
Toros göknarı		
Max-Burkhardt (1976)	-0.1147	0.2643
Bozkuş ve Carus (1997)	-0.1786	0.4367

Tablo 7. Bucak Yöresindeki üç ağaç türü için tüm veri setini temel alan uyumlu gövde çapı ve hacim denklemleri için parametre tahminleri

Parametreler	Kızılcım	Toros sediri	Toros göknarı
b_1	-2.0460	-2.3419	-2.3621
b_2	0.8727	0.9960	1.0462
b_3	-0.3337	-0.3999	-0.3624
b_4	17.9394	24.7448	11.3651
a_1	0.4572	0.7331	0.7350
a_2	0.1044	0.0903	0.1152

3.2. Türler ve yöreler bazında gövde çapı denklemlerinin karşılaştırılması

Bucak Yöresindeki farklı ağaç türleri açısından gövde çapı modelleri arasında ve türler itibarıyla yöreler arasında farklılığın olup olmadığını belirlemek amacıyla doğrusal olmayan ekstra kareler yöntemi kullanılmıştır (Neter vd., 1996).

Tüm veri seti için tam ve indirgenmiş modellerin sonuçları Tablo 8’de verilmiştir. Yapılan tüm ikili ve üçlü karşılaştırmalar, önemli F değerleri üretmiştir. Bu durum, Bucak Yöresindeki farklı türler ve değişik yörelerdeki aynı ağaç türleri için, güvenilir çap ve hacim tahminleri yapılabilmesi amacıyla, türe ya da yörelere özgü model parametrelerinin tahmin edilmesine ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Tablo 8’deki F değerleri incelendiğinde en yüksek farklılığı Bucak Yöresi Toros sediri ve Toros göknarı arasında olduğu, en küçük farklılığın ise aynı yöredeki kızılçam ile Toros göknarı arasında olduğu görülmektedir.

Birini dışarıda bırakma yaklaşımı kullanılarak, yöreye ya da türe özgü katsayıların kullanılmaması durumunda hacim tahminlerinde ortaya çıkacak hatalar araştırılmıştır. Bir yörede türlere özgü katsayıların kullanılmaması durumunda ortaya çıkabilecek hacim tahmin hataları Tablo 9’da verilmiştir. Tablo 9’dan da görüleceği gibi, Bucak yöresindeki türler için hacim tahminleri sırasında türe özgü katsayıların kullanılmaması durumunda RMSE% değerlerinin %9-30 arasında değiştiği, yine farklı yörelerde çalışılırken, yöreye özgü model parametrelerinin kullanılmaması durumunda ise bu değerlerin %10-48 arasında değiştiği görülmüştür. Benzer durum, MAPE değeri içinde geçerlidir. Bu sonuçlar, hacim tahminleri üzerinde, yöreselliğin ve ağaç türlerinin gövde formundaki farklılıkların önemli faktörler olduğu ortaya koymaktadır.

Tablo 8. Gövde çapı modellerinin türler ve yöreler açısından karşılaştırılması için F -testi sonuçları

Bölgeler	Türler	Tam model			İndirgenmiş model			n	F -değeri ^a
		SSE_F	df_F	MSE_F	SSE_R	df_R	MSE_R		
A	1-3	12153.0	2967	4.0961	13190.5	2973	4.4368	2979	42.215*
	1-2	12376.4	5334	2.3203	14673.0	5340	2.7478	5346	164.965*
C	1-3	15733.7	5381	2.9239	15771.9	5387	2.9278	5393	2.177*
	2-3	9307.9	4173	2.2305	11085.7	4176	2.6527	4185	132.840*
	1+2+3	18709.0	7444	2.5133	21211.7	7456	2.8449	7462	82.9819*
A+B+C	1-1	15423.6	4653	3.3148	15566.0	4659	3.3411	4665	7.159*
	2-2	8585.1	3234	2.6546	9033.0	3240	2.7880	3240	28.121*
	3-3	12463.1	3695	3.3730	13304.8	3701	3.5949	3707	41.591*

^a (*) F -değeri $\alpha=0.05$ düzeyinde denklem 5 kullanılarak hesaplanmıştır. 1-Toros göknarı, 2-Toros sediri, and 3- Kızılcım; n gözlem sayısı, SSE_F , df_F , SSE_R ve df_R sırasıyla tam ve indirgenmiş modeller için hata kareler toplamı ve serbestlik derecesini ifade etmektedir.

Tablo 9. Birini dışarıda bırakma yöntemi (leave one-out) ile hacim tahmini için değerlendirme istatistikleri

Parametre tahmin seti	Hacim tahmin seti	MAE (m ³)	MAPE (%)	RMSE (m ³)	RMSE (%)
Bucak-Kızılcım	Bucak –Göknar	0.0887	7.9	0.1928	23.11
Bucak -Kızılcım	Bucak –Sedir	0.0309	5.77	0.0521	8.69
Bucak -Sedir	Bucak –Kızılcım	0.1263	11.92	0.2424	27.65
Bucak -Sedir	Bucak –Göknar	0.1238	9.59	0.2535	30.39
Bucak -Göknar	Bucak -Kızılcım	0.0943	11.55	0.1832	20.9
Bucak -Göknar	Bucak –Sedir	0.0306	5.5	0.0548	9.14
Bucak -Kızılcım	Mut-Kızılcım	0.2876	35.3	0.4786	47.9
Bucak -Göknar	Mut-Göknar	0.1932	31.6	0.4365	44.67
Bucak -Sedir	Elmalı-Sedir	0.2444	33.39	0.3443	43.81
Mut-Kızılcım	Bucak-Kızılcım	0.0942	11.55	0.1831	20.89
Mut-Göknar	Bucak -Göknar	0.0699	10.47	0.1107	13.27
Elmalı-Sedir	Bucak –Sedir	0.0322	5.35	0.0607	10.12

4. Sonuç

Bu çalışmada, Max ve Burkhart (1976) parçalı gövde çapı modeli kullanılarak, Bucak yöresi kızılçam, Toros sediri ve Toros göknarı meşcereleri için yöresel gövde çapı ve gövde hacim modelleri geliştirilmiştir. Gövde çapı ve gövde hacim modelleri arasındaki uyumu sağlamak amacıyla her iki model de, bir denklem sistemi içerisinde ve eş zamanlı olarak çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar, Max ve Burkhart (1976) modeli kullanılarak hem gövdenin tümü hem de değişik bölümleri için oldukça yüksek doğrulukta çap ve hacim tahminleri yapılabileceğini göstermektedir. Diğer yandan, bağımsız veri seti kullanılarak yapılan değerlendirmelerde, Max ve Burkhart (1976) modeli ile elde edilen sonuçların, ilgili yörede farklı araştırmacılar tarafından geliştirilen ağaç hacim denklemlerine göre daha başarılı olduğu ortaya konmuştur.

Gövde çapı modellerinin geliştirilmesinde yöreselliğin ve türler arası farklılığın önemini ortaya koymak amacıyla doğrusal olmayan ekstra kareler yöntemi kullanılmıştır. Yapılan değerlendirmeler, Bucak Yöresindeki farklı türler ve farklı yörelerdeki aynı ağaç türü için, gerçeğe yakın çap ve buna bağlı hacim tahminleri yapılabilmesi için farklı denklem parametrelerinin tahmin edilmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Bu sonuçlara göre, Mut, Bucak ve Elmalı yörelerindeki Toros sediri, Toros göknarı ve kızılçam ağaç türleri, büyüme- gelişme özellikleri ve özellikle de gövde formu açısından farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle, imkânlar ölçüsünde yetişme ortamına ve türe özgü verilerin toplanabileceği durumlarda, her tür veya yöre için farklı gövde çapı modellerinin geliştirilmesi ya da parametre tahminlerinin yapılması gereklidir.

Kaynaklar

Alemdağ, Ş., 1962. Development, yield and management rules of Brutian pine (*Pinus brutia* Ten.) forests in Turkey. Forestry research publication, Technical Bulletin No:11, 160 p., Ankara.

Bailey, R.L., 1995. Upper stem volumes from stem analysis data: an overlapping bolts method. Canadian Journal of Forest Research, 25(1):170-173.

Bates, D.M., Watts, D.G., 1988. Nonlinear regression analysis and its applications (Vol. 2). New York, Wiley.

Bozkuş, H., Carus, S., 1997. Toros göknarı (*Abies cilicica* Carr.) sedir (*Cedrus libani* Link.)'in çift girişli gövde hacmi tabloları ve mevcut tablolarla karşılaştırılması. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 47(1):51-70.

Brooks, J. R., Harry Jr, V., 2008. Ecoregion-based local volume equations for Appalachian Hardwoods. Northern Journal of Applied Forestry, 25:87-92.

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(1-2):147-151.

Cao, Q. V., Wang, J., 2014. Evaluation of methods for calibrating a tree taper equation. Forest Science, 61(2):213-219.

Cao, Q.V., 2009. Calibrating a segmented taper equation with two diameter measurements. Southern Journal of Applied Forestry, 33(2):58-61.

Cao, Q.V., Burkhart, H.E., 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., 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, III A., Souter, R.A., Schlaegel, B.E., 1991. Stem profile equations for Southern tree species. USDA For. Serv. Res. Pap. SE-282, 124 p.

Crecente-Campo, F., Alboreca, A. R., Dieguez – 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., Mehtatalo, L., Shater, Z., Kraid, B., Pukkala, T., 2012. Evaluating marginal and conditional predictions of taper models in the absence of calibration data. Canadian Journal of Forest Research, 42:1383-1394.

Dieguez-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.

Ercanlı, İ., Kurt, A.K., Bolat, F., 2014. Adana-Feke kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcereleri için gövde çapı ve Gövde hacim denklemlerinin karışık etkili modelleme ile geliştirilmesinde bazı varyans yapılarının karşılaştırılması. II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, s.585-591.

Ercanlı, İ., Günlü, A., Şenyurt, M., Keleş, S., 2019. Artificial neural network models predicting the leaf area index: a case study in pure even-aged Crimean pine forests from Turkey. Forest Ecosystems, 5(1):29.

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. Forest Science, 46:1-12.

Figueiredo-Filho, A., Borders, B.E., Hitch, K.L., 1996. Taper equations for *Pinus taeda* plantations in Southern Brazil. Forest Ecology and Management, 83(1-2):39-46.

Gomez-Garcia, E., Fonseca, T.F., Crecente-Campo, F., Almeida, L.R., Dieguez-Aranda, U., Huang, S., Marques, C.P., 2015. Height-diameter models for maritime pine in Portugal: a comparison of basic, generalized and mixed-effects models. iForest, 9:72-78.

Huang, S., Price, D., Morgan, D., Peck, K., 2000a. Kozak's variable-exponent taper equation regionalized for white spruce in Alberta. Western Journal of Applied Forestry, 15(2):75-85.

Huang, S., Price, D., Titus, S.J., 2000b. Development of ecoregion-based height-diameter models for white spruce in boreal forests. Forest Ecology and Management, 129(1-3):125-141.

Jiang, L., Brooks, J. R., Wang, J., 2005. Compatible taper and volume equations for yellow-poplar in West Virginia. Forest ecology and management, 213(1-3):399-409.

Klos, R.J., Wang, G.G., Dang, Q.L., East, E.W., 2007. Taper equations for five major commercial tree species in Manitoba, Canada. Western Journal of Applied Research, 22:163-170.

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. Forestry Chronicle, 80:507-515.

Li, R., Weiskittel, A., Dick, A.R., Kershaw, J.A., Seymour, R.S., 2012. Regional stem taper equations for eleven conifer species in the Acadian region of North America: development and assessment. Northern Journal of Applied Forestry, 29:5-14.

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, 67:302-317.

Martin, A.J., 1981. Taper and volume equations for selected Appalachian hardwood species. Res. Pap. NE-490. Broomall, PA: US Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, 22p.

Max, T.A., Burkhart, H.E., 1976. Segmented polynomial regression applied to taper equations. Forest Science, 22(3):283-289.

- Neter, J., Kutner, M.H., Nachtsheim, C.J., Wasserman, W., 1996. Applied Linear Statistical Models. Irwin, Chicago.
- Özçelik, R., 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., 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):78-91.
- Özçelik, R., Karatepe, Y., Gürlevik, N., Cañellas, I., Crecente-Campo, F., 2016. Development of ecoregion-based merchantable volume systems for *Pinus brutia* Ten. and *Pinus nigra* Arnold. In Southern Turkey. *Journal of Forestry Research* 27:101-117.
- Parresol, B.R., 2001. Additivity of nonlinear biomass equations. *Canadian Journal of Forest Research*, 31(5):865-878.
- Parresol, B.R., Hotvedt, J.E., Cao, Q.V., 1987. A volume and taper prediction system for bald cypress. *Canadian Journal of Forest Research*, 17(3):250-259.
- Peng, C., Zhang, L., Liu, J., 2001. Developing and validating nonlinear height-diameter models for major Tree species of Ontario's boreal forests. *Northern Journal of Applied Forestry*, 18(3):87-94.
- Pillsbury, N.H., McDonald, P.M., Simon, V., 1995. Reliability of tanoak volume equations when applied to different areas. *Western Journal of Applied Forestry*, 10(2):72-78.
- Rodríguez, F., Lizarralde, I., Bravo, F., 2015. Comparison of stem taper equations for eight major tree species in the Spanish Plateau. *Forest Systems* e034, 13p.
- Rojo, A., Perales, X., Sanchez-Rodriguez, F., Álvarez, J.G., Gadow, K.V., 2005. Stem taper functions for maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) in Galicia (North-western Spain). *European Journal of Forest Research*, 124:177-186.
- Sakıcı, O. E., Misir, N., Yavuz, H., Misir, M. 2008. Stem taper functions for *Abies nordmanniana* subsp. *bornmulleriana* in Turkey. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 23(6):522-533.
- Sakıcı, O. E., Özdemir, G., 2018. Stem Taper Estimations with Artificial Neural Networks for Mixed Oriental Beech And Kazdağı Fir Stands in Karabük Region, Turkey. *Cerne*, 24(4):439-451.
- SAS Institute Inc., 2002. SAS/ETS User's Guide, Version 9.0, SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Schlaegel, B.E., 1981. Testing, reporting, and using biomass estimation models. In *Southern Forest Biomass Workshop* (Vol. 1, pp. 95-112). Clemson: Clemson University.
- Sharma, M., Zhang, S.Y., 2004. Height-diameter models using stand characteristics for *Pinus banksiana* and *Picea mariana*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19:442-451.
- Şenyurt, M., Ercanlı, İ., & Bolat, F., 2017. Taper equations based on nonlinear mixed effect modeling approach for *Pinus nigra* in Çankırı forests. *Bosque*, 38(3):545-554.
- Williams, M.S., Reich, R.M., 1997. Exploring the error structure of taper equations. *Forest science*, 43(3):378-386.
- Yavuz, H., 1995. Development of compatible stem taper, total tree volume and volume ration equations for *Pinus sylvestris* L. Hamata (Steven) Fomin and *Pinus nigra* Arn. Subsp. *Pallasianan* (Lamb.) Holmboe in Taşköprü Forest Enterprise, Karadeniz Technical University, Faculty of Forestry (unpublished), 101 p
- Yavuz, H., Saraçoğlu, N., 1998. Compatible and non-compatible stem taper equations for alder. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23:1275-1282.