

## Burdur Yöresi kızılçam meşcereleri için uyumlu gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin geliştirilmesi

Ramazan Özçelik<sup>a\*</sup>, Hakkı Yavuz<sup>b</sup>, Yasin Karatepe<sup>a</sup>, Nevzat Gürlevik<sup>a</sup>, Rüstem Kırışç<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Isparta

<sup>b</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Trabzon

<sup>c</sup> Orman Genel Müdürlüğü, Orman İdaresi ve Planlama Daire Başkanlığı, Ankara

\* İletişim yazarı/Corresponding author: ramazanozcelik@sdu.edu.tr, Geliş tarihi/Received: 05.04.2012, Kabul tarihi/Accepted: 30.07.2012

**Özet:** Kızılçam, ülkemizde orman ürünleri sanayisi için en önemli ticari ağaç türlerinden biridir. Bu çalışmada, Burdur yöresi kızılçam meşcereleri için uyumlu gövde çapı ve gövde hacim modelleri geliştirilmiştir. Bu amaçla, Max ve Burkhardt (1976) ve Parresol vd. (1987) tarafından geliştirilen parçalı gövde çapı ve gövde hacim modelleri kullanılmıştır. Önerilen modeller, gövde çapı ve gövde hacim tahminlerinde, genel olarak tüm ağaç gövdesi ve gövdenin farklı bölümleri için güvenilir sonuçlar vermiştir. Ancak, en başarılı sonuçlar Max ve Burkhardt (1976) tarafından geliştirilen parçalı gövde çapı ve hacim modeli ile elde edilmiştir. Bu model ile gövde üzerinde değişik noktalarda yapılan çap tahminlerinde ortalama hata 2.3 cm'den ve hacim tahminlerinde 0.008 m<sup>3</sup>'den daha az bulunmuştur. Önerilen model, bağımsız veri seti kullanılarak, yöresel tek girişli ağaç hacim tablosu ile de karşılaştırılmış, ağaç hacim tablosu kullanılarak elde edilen hacim değerlerinin daha yüksek hata miktarına sahip oldukları görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Kızılçam, Gövde çapı, Gövde hacmi, Parçalı gövde çapı modeli

## Compatible stem taper and volume equations for Brutian pine stands in Burdur Region

**Abstract:** Brutian pine is one of the important commercial species for forest products industry of Turkey. In this study, compatible segmented taper and volume models were developed for Brutian pine stands in Burdur Region of Turkey. Max and Burkhardt (1976) and Parresol et al. (1987) segmented taper and volume functions were used in this study. The proposed models generally performed better for whole tree and different sections of tree bole for taper and stem volume. The equation proposed by Max and Burkhardt (1976) performed significantly better than Parresol et al. (1987) equation for this tree species. Average diameter prediction error was less than 2.3 cm and average volume error was less than 0.008 m<sup>3</sup> in different points on bole. Model estimates compared, using an independent dataset, well to existing tree volume table and tree volume equation prediction errors for Brutian pine were found to be larger than those for the proposed volume models.

**Keywords:** Brutian pine, Taper, Volume, Segmented taper model

### 1. Giriş

Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Türkiye'de ekonomik ve ekolojik açıdan en önemli ağaç türlerinin başında gelmektedir. Son yapılan çalışmalara göre, 5.4 milyon hektar alan kaplamakta ve bu alan üzerindeki dikili ağaç serveti yaklaşık 270 milyon m<sup>3</sup>'tür (Anonim, 2006). Kızılçam ülkemizde orman ürünleri endüstrisinin en önemli ham madde kaynaklarından biridir.

Tek ağaç hacim tahmini orman envanteri çalışmalarının en önemli unsurlarından biridir (Ter-Mikaelian vd. 2004). Dikili gövde hacminin doğru tahmini odun kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi açısından hem pratik ormancılık çalışmaları hem de bilimsel araştırmalar için gerekli ve yararlıdır (Barrio-Anta vd., 2007). Bir ağaca ilişkin gövde hacim tahminleri, genel olarak ilgili ağaç türü için geliştirilen çift girişli ya da tek girişli hacim tabloları yardımı ile yapılmaktadır. Ancak, ülkemizde ağaç hacim tahminlerinde genellikle tek girişli ağaç hacim tabloları kullanılmakta, bu tablolarda amenajman planları düzenlenirken çoğunlukla ilgili ağaç türünün çift girişli ağaç hacim tablosundan türetilmektedir. Ancak bu tablolar

yardımı ile gerçekleştirilen hacim tahminleri, sürekli değişen pazar koşulları ve ticari standartların ihtiyaçlarını karşılamada yetersiz kalmaktadır. Özellikle son yıllarda orman işletmelerinin odun satışında dikili satış yöntemini yoğun olarak kullanmaları, doğru ve güvenilir hacim tahminlerinin yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle, farklı ticari standartların ihtiyaçlarını karşılayacak esnek ve güvenilir bir ağaç hacmi tahmin sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Değişik araştırmacılar tarafından bu amaçla kullanılabilir en doğru yaklaşım tarzlarından birisi olarak uyumlu gövde çapı ve gövde hacim denklemleri gösterilmektedir (Jiang vd., 2005; Dieguez-Aranda vd. 2006; Berhe ve Arnoldsson, 2008; Li and Weiskittel, 2010; Özçelik ve Brooks, 2012). Ancak, ülkemizde pek çok ağaç türü ve bunların farklı yetiştirme ortamları için gövde çapı ve gövde hacim modelleri geliştirilmemiştir.

Gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin geliştirilmesine ilişkin çalışmalar pek çok ülkede 100 yılı aşkın bir süredir devam etmektedir (Kozak vd., 1969; Max ve Burkhardt, 1976; Kozak, 1988; Clark vd., 1991; Thomas ve Parresol, 1991; Newnham, 1992, Fang vd., 2000; Corral-Rivas vd., 2007; Crecente-Campo vd., 2009; Sherrill vd.,

2011). Gövde çapı modelleri yardımıyla, bir ağaç gövdesi üzerindeki farklı noktadaki boy değerleri için kabuklu ya da kabuksuz çap tahminleri yapılabilmektedir. Gövde çapı modellerinin en önemli avantajı; gövde çapı denkleminin her hangi iki boy değeri arasındaki integrali alınarak gövdenin belirli bir kısmı ya da tümü için hacim tahmini yapılabilmesine imkân sağlamasıdır (Calama ve Montero, 2006).

Gövde çapı modelleriyle, ağaçların göğüs çapı ve boyu ile bunlardan türetilen bağımsız değişkenlerin fonksiyonu olarak;

- Herhangi bir gövde yüksekliğindeki gövde çapı
- Herhangi bir gövde çapının kaç metre yükseklikte olduğu
- Ticari (satılabilir) gövdenin hacmi
- Toplam gövde hacmi
- Bir gövdeden elde edilebilecek tüm odun çeşitlerinin hacimleri
- Gövde üzerinde herhangi iki yükseklik arasındaki gövde bölümünün hacmi
- Gövde üzerinde herhangi iki çap arasındaki gövde bölümünün hacmi çok pratik biçimde hesaplanabilmektedir (Kozak, 2004).

Newnham (1988)'e göre gövde çapı denklemleri üzerindeki çalışmaların her geçen gün artmasının iki temel sebebi vardır. Bunlardan birincisi; bütün ağaç türleri için gövde formundaki varyasyonu tam olarak açıklayabilen bir teorinin bulunmaması, ikincisi ise; sürekli değişen pazar koşullarına bağlı olarak farklı odun çeşidi standartlarını dikkate alan bir yöntemin elde edilememesidir. Bu nedenle gövde çapı modelleri bu alandaki önemli bir boşluğu doldurmaktadır. Çünkü basit bir gövde çapı modeli ile hem toplam gövde hacminin hem de ticari hacmin belirlenmesi oldukça kolaydır. Ancak, bugüne kadar yayınlanmış pek çok gövde çapı ve gövde hacim modeli belirli bir tür ve belirli bir yöre için geliştirilmiş ve bu modelin performansı sınırlı sayıdaki alternatif model ile karşılaştırılmıştır. Bu nedenle belirli bir tür için geliştirilen gövde çapı ve gövde hacim modelinin diğer türler için uygun olup olmadığının araştırılması, gelecekte bu model ile yapılacak diğer çalışmalar için gerekli ve yararlı olacaktır. Örneğin Rojo vd., (2005) İspanya'da Sahilçamı (*Pinus pinaster*) türü için 31 farklı formdaki gövde çapı modellerini karşılaştırmış ve en doğru gövde çapı tahmini için uygun modele karar vermiştir. Ancak Rojo vd., (2005) bu modellerin hacim tahminlerindeki performansını karşılaştırmamıştır. Sakıcı vd., (2008) tarafından yapılan çalışmada Kastamonu Yöresi Uludağ Göknaarı meşcereleri için gövde profili modelleri geliştirilmiştir. Çalışmada 30 farklı gövde çapı modeli kullanılmıştır. Bu çalışma sonucunda en iyi sonuçların değişken-şekil gövde profili modelleri ile elde edildiği görülmüştür.

Ormancılık çalışmalarında genel olarak iki grup gövde çapı modelinin başarı ile kullanıldığı belirtilmektedir (Berhe ve Arnoldsson, 2008). Bunlardan ilki değişken-şekil gövde profili modelleridir. Bu modellerde, ağaç gövdesinin, dipten tepeye doğru nayloid, paraboloid ve konik parçalardan oluştuğu düşünülmektedir (Newnham, 1988; Kozak, 1988; Perez vd., 1990). Ancak bu model formunun bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar; gövde üzerindeki farklı şekillerin hacim hesaplamalarında birleştirilememesi ve en yüksekteki çap değeri için ticari boyun doğrudan hesaplanamayıp, bir iterasyon ile hesaplanmasının gerekli

olması belirtilebilir. İkinci grup ise; parçalı-gövde çapı (Segmented-polinomial) modelleridir. Bu modeller ağacın farklı bölümlerindeki çap düşüşlerini farklı denklem formları kullanılarak tanımlamaktadır. Araştırma sonuçlarına göre, parçalı gövde çapı modellerinin, diğer gövde profili modellerine göre daha üstün oldukları belirtilmektedir (Martin, 1981; Parresol vd., 1987; Clark vd., 1991; Figueiredo-Filho vd., 1996; Jiang 2004; Li ve Weiskittel 2010). Parçalı gövde çapı modellerinin diğer gövde çapı modellerine göre önemli bir üstünlüğü de, gövde çapı modellerinin hacim hesaplamaları için kolaylıkla hacim denklemlerine dönüştürülebilir olmasıdır (Fang vd., 2000). Ülkemizde de bazı ağaç türleri için yöresel düzeyde gövde çapı modelleri (Yavuz, 1995; Yavuz ve Saraçoğlu, 1999; Meydan-Aktürk, 2006; Sakıcı vd., 2008; Özçelik vd., 2011) ile gövde çapı ve gövde hacim modelleri (Brooks vd., 2008; Özçelik ve Brooks, 2012) geliştirilmiştir.

Ancak; yukarıda da belirtildiği gibi pek çok gövde profili ve gövde hacim modeli geliştirilmektedir. Bir ağaç türü veya bir yöre için hangi gövde çapı ve gövde hacim modelinin seçiminde dikkat edilmesi gereken kurallar bulunmaktadır. Kozak ve Smith (1993); en uygun modelin seçilebilmesini kolaylaştırmak amacıyla bazı kriterler ortaya koymuştur. Bunlar;

- Gövde çapı modeli basit, orman yöneticisinin ihtiyaç duyabileceği ve değişik nitelikteki orman ürünlerinin hacmini tahmin etmesine imkân verebilecek şekilde olmalıdır.
- Regresyon denkleminin katsayıları kolaylıkla tahmin edilebilmelidir.
- Denklem kolaylıkla uygulanabilmelidir.
- Denklemde kullanılacak bağımsız değişkenler (çap, vb.) kolaylıkla ölçülebilmelidir.
- Denklem kullanılabilmesi için geniş bir alanda test edilmiş olması gerekmektedir.

Sonuç olarak; Türkiye'de odun hacminin daha doğru olarak belirlenebilmesi ve sürdürülebilir orman yönetimi uygulamaları için, her ağaç türü ve farklı yetiştirme ortamları için gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma ile Burdur yöresi kızılçam meşcereleri için gövde çapı ve gövde hacim modellerinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Geliştirilen gövde hacim modelleri ile elde edilen sonuçlar, yörede kullanılan tek girişli hacim tablosu değerleri ile de karşılaştırılmıştır.

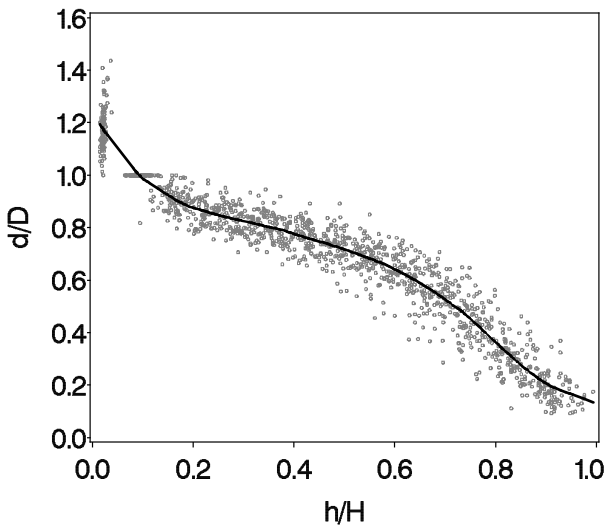
## 2. Materyal ve yöntem

### 2.1. Materyal

Bu çalışma için gerekli örnek ağaç verileri Bucak Orman İşletme Müdürlüğü, Uğurlu Orman İşletme Şefliği kızılçam meşcerelerinden toplanmıştır. Örnek ağaçlar, çalışma alanı içerisinde mevcut tüm çap ve boy sınıflarını temsil edecek şekilde galip ya da müşterek galip ağaçlar arasından seçilmiştir. Yine örnek ağaçlar seçilirken çatal gövdelerin, tepesi kırık ağaçların, azman yapmış bireylerin ve gövde formu bozuk bireyler alınmamasına azami özen gösterilmiştir. Toplam 100 ağaç üzerinde ölçüm yapılmıştır. Bu amaçla önce ağaçlar kesilmiş ve şerit metre yardımı ile toplam ağaç boyu (H) ve dijital çap ölçer yardımı ile kabuklu göğüs çapları (D) ölçülmüştür. Buna ilaveten ağaç gövdesi üzerinde dipten en uç tomurcuğa kadar birer metre

ara ile değişik yükseklik (h) noktalarında çap (d) değerleri ölçülmüştür. Her bir ağaç için seksiyon hacimleri ve toplam ağaç hacmi Smalian formülü yardımı ile hesaplanmıştır.

Elde edilen örnek ağaç ölçümlerinde olması muhtemel anormal verilerin belirlenmesi amacıyla, nisbi çap değerlerine karşılık gelen nisbi boy değerleri grafik üzerinde görsel olarak değerlendirilmiş ve bazı anormal verilerin olduğu görülmüştür. Model performansını arttırmak amacıyla anormal verileri ortaya çıkarmak amacıyla, Bi (2000) tarafından önerilen "Sistemik Yaklaşım Yöntemi" kullanılmıştır. Bu yöntem yardımı ile anormal ya da ekstrem değerler hesaplanmıştır. Bu yönteme ilişkin grafik Şekil 1'de verilmiştir. Örnek ağaç verilerinin yaklaşık %75'i model geliştirmek için geri kalan yaklaşık %25'lik kısmı ise geliştirilen modelin test edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Model geliştirmek ve geliştirilen modellerin test edilmesi amacıyla kullanılacak verilere ilişkin tanımlayıcı istatistikler Çizelge 1 ve 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Kızılçam ağaç türü için nisbi kabuklu çap değerlerine karşılık nisbi boy değerlerinin dağılımı

Çizelge 1. Kızılçam ağaç türü için model geliştirmek amacıyla kullanılacak verilere ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Kızılçam (n=75)	Ortalama	Std. Sapma	Minimum	Maksimum
DBH (cm)	36.00	8.80	16.50	62.10
THT (m)	13.90	2.40	7.80	19.90
Hacim (m <sup>3</sup> )	0.77	0.46	0.08	2.43
Disk Çapı (cm)	25.93	11.58	3.50	65.40
Disk Boyu (m)	6.66	4.19	0.30	18.30

Çizelge 2. Kızılçam ağaç türü için geliştirilen modellerin test edilmesi amacıyla kullanılacak verilere ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Kızılçam (n=25)	Ortalama	Std. Sapma	Minimum	Maksimum
DBH (cm)	37.50	8.60	19.00	53.50
THT (m)	14.10	2.00	11.40	19.70
Hacim (m <sup>3</sup> )	0.85	0.50	0.19	1.93
Disk Çapı (cm)	26.99	12.11	2.40	60.50
Disk Boyu (m)	6.73	4.17	0.30	18.30

## 2.2. Gövde çapı ve gövde hacim modelleri

Yüz yılı aşkın bir zamandır pek çok formda gövde profili modeli geliştirilmiştir (Max ve Burkhart, 1976; Cao vd., 1980; Parresol vd., 1987; Kozak, 1988; Clark vd., 1991; Fang vd., 2000; Kozak, 2004). Basit olarak nitelendirilebileceğimiz gövde çapı modelleri ağacın genel çap düşüşünü oldukça başarılı olarak tanımlayabilseler de; tüm gövde profilini tanımlamakta başarısız olmuşlardır (Kozak, 1977; Kozak, 1988; Newnham, 1992). Bazı denklemler gövde profilinin ortasını tanımlamakta başarılı iken, bu denklemler tepeye yakın veya dibe yakın seksiyonlarının tanımlanmasında yetersiz kalmaktadır (Fang vd., 2000). Parçalı gövde çapı modelleri (Segmented Polynomial Models) ise ağaç gövdesini parçalara ayırarak ve her parçayı ayrı ayrı tanımlaması nedeniyle, tüm gövde profilini gerçeğe en yakın şekilde tahmin edebilmektedir.

Bu çalışmada Burdur Yöresi kızılçam meşcereleri için gövde çapı ve gövde hacmi modellerinin geliştirilmesi amacıyla Max ve Burkhart (1976) ve Parresol vd., (1987) tarafından geliştirilen parçalı gövde çapı ve gövde hacmi modelleri seçilmiştir. Bu modeller Clark vd. (1991) ve Fang vd., (2000) tarafından geliştirilen parçalı gövde çapı modellerine göre tahmin edilmesi gereken parametre sayısı daha az ve modelde kullanılacak bağımsız değişken sayısı daha azdır. Bu nedenle pratik ormancılık çalışmalarında kullanılabilme imkânı daha fazladır.

Max ve Burkhart Modeli (1976); Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen gövde çapı modeli tüm ağaç gövdesini üç farklı geometrik şekille tanımlamıştır. Buna göre; gövdenin dibe yakın kısmı neiloid, ortan kısmı kesik paraboloid ve uç kısmı da koni olarak tanımlanmıştır. Bu üç farklı geometrik şekil için regresyon denklemleri oluşturulmuş ve iki katılma noktası ile birleştirilerek tek bir formül olarak verilmiştir. Bu denklem formu:

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

Burada:

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

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

$H$  = toplam ağaç boyu (m),

$D$  = kabuklu göğüs çapı (cm),

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

$a_i$  = örnek ağaçlardan tahmin edilen katılma noktaları,  $i=1,2$

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

Max ve Burkhart (1976) gövde çapı denkleminin integralinin alınması ile elde edilen gövde hacim denklemi aşağıda verilmiştir.

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

Burada:

$$K = 0.0000785,$$

$$Z_l = \frac{h_l}{H}, \quad Z_u = \frac{h_u}{H}, \quad J_i = \begin{cases} 1 & Z_u \leq a_i \\ 0 & Z_u > a_i \end{cases},$$

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

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

$h_u$  = ilgilenilen üst boy değeri (m),

Bu formülde kullanılan diğer değişkenler daha önce tanımlanmıştır.

Parresol vd. Modeli (1987); Bu model iki adet kübik alt fonksiyona ve bu fonksiyonları birleştirmek amacıyla bir adet katılma noktasına (yapay değişken) sahiptir. Özellikle ağacın dip kısmında büyük varyasyon gösteren Bataklik servisi (*Taxodium distichum*) ağaç türü için geliştirilmiştir.

$$\frac{d^2}{D^2} = z_i(b_1 - b_2 z_i) + (z_i - a_1)^2 [b_3 + b_4(z_i + 2a_1)] I \quad (3)$$

Burada:

$$I_i = \begin{cases} 1 & Z_i \geq a_i \\ 0 & Z_i < a_i \end{cases} \quad Z_i = \frac{H - h_i}{H}$$

$a_1$  = örnek ağaçlardan tahmin edilen katılma noktaları

Parresol vd., (1987) gövde çapı denkleminin integralinin alınması ile elde edilen gövde hacim denklemi aşağıda verilmiştir.

$$V = KD^2 H \left\{ \begin{array}{l} \frac{b_1}{3}(Z_i^3 - Z_u^3) + \frac{b_2}{4}(Z_i^4 - Z_u^4) + \frac{b_3}{3}[(Z_i - a_1)^3 I_1 - (Z_u - a_1)^3 I_u] + \\ \left[ \frac{b_4}{4} \right] [Z_i^4 - 6a_1^2 Z_i^2 + 8a_1^3 Z_i] I_1 - [Z_u^4 - 6a_1^2 Z_u^2 + 8a_1^3 Z_u] I_u \end{array} \right\} \quad (4)$$

Burada:

$$I_i = \begin{cases} 1 & Z_i \geq a_i \\ 0 & Z_i < a_i \end{cases} \quad i = l, u$$

Bu denklemlerdeki diğer değişkenler daha önce tanımlanmıştır.

### 2.3. Model değerlendirme ölçütleri

Bu çalışmada; kızılçam için geliştirilen gövde çapı ve gövde hacmi modellerinin tahmin performanslarını değerlendirmek amacıyla, Kozak ve Smith (1993) tarafından önerilen ortalama hata (B) tahminin standart hatası (SEE) ve uyum indeksi (FI) ölçütleri kullanılmıştır.

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)}{n} \quad (5)$$

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n - k}} \quad (6)$$

$$FI = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \right] \quad (7)$$

Burada:

$Y_i$  = i. ağaç için ölçülen değer

$\hat{Y}_i$  = i. ağaç için tahmin edilen değer

$\bar{Y}$  = Ölçülen değerlerin ortalaması

$k$  = Tahmin edilen parametre sayısı

$n$  = Toplam gözlem sayısıdır.

Gövde çapı ve gövde hacim modellerindeki hatayı eş zamanlı olarak minimum yapabilmek amacıyla SAS PROC MODEL (SAS Institute 2002) kullanılmıştır. Bütün parametreler gövde çapı ve gövde hacim modellerine paylaştırılmıştır. SAS PROC MODEL işleminde verilerde bulunan ilişkili hata yapısı geliştirilen modellerin doğruluğunu çok fazla etkilemediğinden ve model yapısı içerisinde kendiliğinden değerlendirildiğinden dolayı hesaplamalarda dikkate alınmamıştır (Williams ve Reich, 1997; Kozak, 1997). Otokorelasyon genellikle pratik uygulamalarda kullanılmamakta ve önemsenmemektedir (Jiang ve Liu, 2011).

### 3. Bulgular ve tartışma

Burdur yöresi kızılçam meşcereleri için Max ve Burkhart (1976) ve Parresol vd., (1987) tarafından geliştirilen parçalı gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin ayrı ayrı eş zamanlı olarak çözümünü yapılmış ve elde edilen parametre tahmin değerleri ve parametrelerin önemlilik düzeyleri Çizelge 3'de verilmiştir. Bütün parametreler  $p < 0.0001$  önem düzeyinde önemli bulunmuştur.

Tüm ağaç gövdesi için elde edilen sonuçlara ilişkin ölçüt değerleri Çizelge 4'de verilmiştir. Max ve Burkhart (1976) ve Parresol vd. (1987) tarafından geliştirilen gövde çapı ve gövde hacim modelleri çap ve hacimdeki varyasyonun %96'dan daha fazlasını açıklayabilmektedir. Max ve Burkhart (1976) ve Parresol vd., (1987) gövde çapı ve gövde hacim modelleri için tahminlerin standart hatası (SEE) değerleri sırasıyla gövde çapı tahminleri için 2.3 cm ve 2.40 cm'den ve gövde hacim tahminleri için 0.0084 m<sup>3</sup> ve 0.0092 m<sup>3</sup> den daha azdır. Çizelge 4'de verilen üç ölçüt değerine göre; bu çalışmada değerlendirilen gövde çapı ve gövde hacim modelleri karşılaştırıldığında Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen modelin daha başarılı olduğu söylenebilir. Max ve Burkhart (1976) modeli hem daha düşük ortalama hata (B) ve SEE değerlerine hem de daha yüksek uyum indeksi değerine sahiptir.

Çizelge 3. Kızılcım için geliştirilen gövde çapı ve gövde hacim modellerine ilişkin parametre tahminleri

Modeller	Parametre tahminleri					
	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$a_1$	$a_2$
Max ve Burkhardt (1976)	-5.2029	2.5116	-3.6129	11.7203	0.7363	0.2355
Parresol vd. (1987)	4.2168	-4.1257	14.7899	-0.6020	0.7021	-

Çizelge 4. Kızılcım için uyumlu gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin tüm ağaç için uygunluk istatistikleri

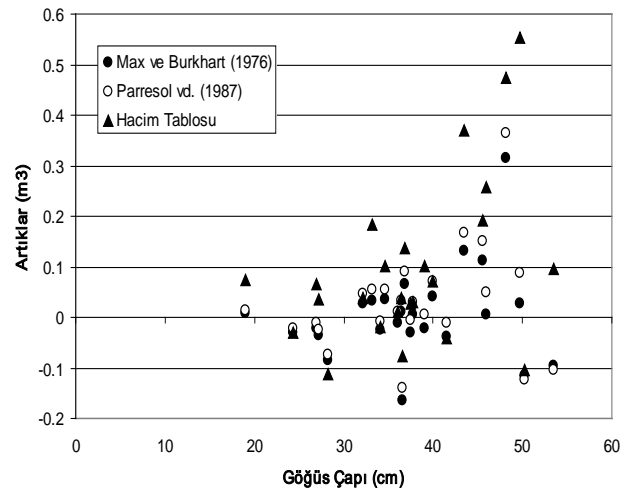
Modeller	B	SEE	FI
Max ve Burkhardt (1976)			
Gövde Çapı(cm)	0.2281	2.2522	0.9622
Hacim (m <sup>3</sup> )	0.0013	0.0084	0.9677
Parresol vd. (1987)			
Gövde Çapı (cm)	0.6380	2.4098	0.9610
Hacim (m <sup>3</sup> )	0.0031	0.0092	0.9657

Her iki modelin de; gövde çapı ve gövde hacim tahminlerinde, gövdenin farklı kısımlarındaki başarı durumunu da görmek amacıyla, nisbi boy değerleri içinde değerlendirmeler yapılmış ve sonuçlar Çizelge 5'de verilmiştir. Bu amaçla ağaç gövdesi 10 eşit parçaya bölünmüş ve bu parçalar için ayrı ayrı değerlendirmeler yapılmıştır. Çizelge 5'in incelenmesinden de görüleceği gibi her iki modelin kullanılması ile gövde üzerinde farklı noktalar için elde edilen çap ve hacim değerlerinde *B* ve *SEE* değerleri bakımından büyük bir varyasyonun ortaya çıkmadığı görülmektedir. Her iki model için de; çap ve boy tahminlerinde oldukça tutarlı sonuçlar elde edilmiştir. Ancak modeller karşılaştırıldığında; Max ve Burkhardt (1976) tarafından geliştirilen modelin farklı nisbi boy değerleri için daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Her iki model içinde farklı nisbi boy gruplarındaki çap tahminlerinde en yüksek hata değerleri ağaç boyunun yaklaşık %60-70'lerinde sonra daha yüksek olduğu görülmektedir. İlgili ağaç türünde ve genel olarak ağaç türlerinde boyun %60-70'inden sonra tepe tacının başladığı; bu bölgelerin dallanmanın yoğun olduğu bölgeler olduğu ve bu nedenle bu bölgelerde çap tahminlerinde daha çok hataların ortaya çıktığı düşünülmektedir (Jiang vd., 2005; Özçelik ve Brooks, 2012).

Her iki modelin farklı nisbi boy grupları için hacim tahminlerindeki performansları ise Çizelge 6'da verilmiştir. Çizelge 6'nın incelenmesinden de görüleceği gibi hacim tahminleri için en yüksek *B* ve *SEE* değerleri ağaç boyunun ilk % 20'lik kısmında meydana geldiği görülmektedir. Bilindiği gibi ağaç dış kütük kısmı herhangi bir geometrik şekle çok benzemediği ve hacim hesabının bu bölge için oldukça zor olması nedeniyle ortalama hata değerlerinin her iki model içinde ağacın bu bölümünde daha yüksek çıkması beklenen bir durumdur.

Yukarıda da açıklandığı üzere Max ve Burkhardt (1976) tarafından geliştirilen modelinin Parresol vd., (1987) tarafından geliştirilen parçalı gövde çapı ve gövde hacim modeline göre kızılçam ağaç türü için gerek gövde üzerindeki farklı noktadaki çap ve hacim tahminlerinde daha başarılı olduğu görülmektedir. Bu nedenle Max ve Burkhardt (1976) tarafından geliştirilen gövde çapı ve gövde hacim modelinin Burdur yöresi kızılçam meşcerelerinde yapılacak çap ve hacim tahminleri için daha uygun olduğu söylenebilir. Ancak geliştirilen gövde hacim modelinin ilgili yörede kullanılabilir olduğunu ortaya koymak için bağımsız bir veri seti ile de test edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle; Çizelge 2'de verilen bağımsız veri seti ve ilgili gövde çapı

ve gövde hacim modelleri için elde edilen parametre değerleri kullanılarak, gövde hacim değerleri elde edilmiş ve elde edilen sonuçlar tek girişli ağaç hacim tablosu ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Çizelge 7'de verilen sonuçlar ve Şekil 2 incelendiğinde Max ve Burkhardt (1976) tarafından geliştirilen model ile elde edilen sonuçların ağaç hacim tablosu değerlerine göre daha doğru olduğu söylenebilir. Her iki ağaç hacim modeli de gerçek hacim değerlerine göre daha düşük ortalama hata ve *SEE* değerleri vermiştir. Şekil 2'nin incelenmesinden de anlaşılacağı gibi her iki gövde çapı ve gövde hacim modeli küçük ve orta çap değerleri için oldukça küçük hata değerleri ve tutarlı sonuçlar vermiştir. Ancak yöresel tek girişli hacim tablosu her çap grubu için olmak üzere ve özellikle büyük çap değerleri için çok daha yüksek hata değerleri vermiştir. Brooks vd. (2008) tarafından kızılçam için Özçelik ve Brooks (2012) tarafından karaçam ağaç türü için geliştirilen yöresel gövde çapı ve gövde hacim modelleri ilgili ağaç türü için geliştirilen çift girişli ve tek girişli ağaç hacim tablolarına göre daha doğru hacim tahminleri yapılmasına imkân sağlamıştır. Benzer sonuçlar bu çalışmada da ortaya çıkmıştır. Ancak bura da unutulmaması gereken önemli bir durumda gövde çapı ve gövde hacim modelleri geliştirilirken yöresel özelliklere mutlaka dikkat edilmelidir. Gomat vd., (2011) tarafından yapılan bir çalışmada bir ağacın gövde formu üzerinde ağacın genel büyüme özellikleri yanında; genetik özelliklerinin ve yetiştirme ortamı şartlarının da önemli bir etkiye sahip olduğu belirtilmektedir.



Şekil 2. Bağımsız veri seti kullanılarak, önerilen gövde hacim modeli ve yöresel tek girişli hacim tablosuna ilişkin hacim farkları

Çizelge 5. Çap değerleri için nisbi boy değerleri (RH) itibariyle ortalama hata (B) ve tahminin standart hatası (SEE) değerleri

RH	Max ve Burkhart (1976)			Parresol vd. (1987)		
	n	B (cm)	SEE (cm)	n	B (cm)	SEE (cm)
0.0-0.1	125	0.8790	2.6203	125	1.6580	2.9530
0.1-0.2	98	0.5581	1.6892	98	1.2363	1.9893
0.2-0.3	107	0.3602	1.7266	107	1.7171	2.4070
0.3-0.4	100	-0.1778	1.7912	100	0.2354	1.8117
0.4-0.5	107	0.0456	1.8464	107	-0.2082	1.8581
0.5-0.6	101	0.0676	2.1115	101	-0.0726	2.1065
0.6-0.7	110	0.2715	2.5909	110	0.5036	2.6247
0.7-0.8	99	0.3884	3.0135	99	0.5795	3.0587
0.8-0.9	104	-0.4960	2.3885	104	-0.2868	2.3643
0.9-1.0	44	0.2986	2.8977	44	1.0419	3.1468
Tümü	995	0.2281	2.2522	995	0.6380	2.4098

Not: Bütün nisbi boy değerleri için B ve SEE ortalama değer olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6. Hacim değerleri için nisbi boy değerleri (RH) itibariyle ortalama hata (B) ve tahminin standart hatası (SEE) değerleri

RH	Max ve Burkhart (1976)			Parresol vd. (1987)		
	n	B (cm)	SEE (cm)	n	B (cm)	SEE (cm)
0.0-0.1	125	0.0036	0.0115	125	0.0076	0.0128
0.1-0.2	98	0.0032	0.0093	98	0.0079	0.0115
0.2-0.3	107	0.0006	0.0091	107	0.0070	0.0113
0.3-0.4	100	-0.0011	0.0088	100	-0.0006	0.0088
0.4-0.5	107	0.0010	0.0084	107	-0.0002	0.0083
0.5-0.6	101	0.0013	0.0084	101	0.0012	0.0084
0.6-0.7	110	0.0019	0.0092	110	0.0028	0.0094
0.7-0.8	99	0.0015	0.0075	99	0.0018	0.0076
0.8-0.9	104	-0.0003	0.0039	104	0.0002	0.0039
0.9-1.0	44	-0.0001	0.0020	44	0.0004	0.0020
Tümü	995	0.0013	0.0084	995	0.0031	0.0092

Not: Bütün nisbi boy değerleri için B ve SEE ortalama değer olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 7. Önerilen modeller ile var olan ağaç hacim denkleminin toplam ağaç hacmindeki hata ve standart hata bakımından karşılaştırılması

Modeller	B (m <sup>3</sup> )	SEE (m <sup>3</sup> )
Max-Burkhardt (1976)	0.0005	0.0976
Parresol vd. (1987)	0.0281	0.1040
Yöresel Hacim Tablosu	0.1006	0.1885

#### 4. Sonuçlar ve öneriler

Bu çalışmada; Burdur yöresi kızılçam meşcereleri için uyumlu gövde çapı ve gövde hacim modelleri geliştirilmiştir. Gövde çapı ve gövde hacim modelleri arasında uyumu sağlamak amacıyla her iki model için eş zamanlı çözüm yapılmış; çap ve hacim modelleri için ortak katsayılar elde edilmiştir. Bu çalışma kapsamında değerlendirilen parçalı gövde çapı ve gövde hacim modelleri ile ağaç gövdesi üzerinde farklı noktalardaki çap tahminleri yanında gerek tüm ağaç gövdesi, gerekse gövdenin farklı bölümlerdeki hacim tahminlerinde oldukça başarılı bir performans gösterdiği söylenebilir. Ancak Max ve Burkhardt (1976) tarafından geliştirilen model, literatür bilgileri ile de uyumlu olarak daha başarılı olmuştur. Bağımsız veri grubu ile yapılan denetim sonucunda da; Max ve Burkhardt (1976) tarafından geliştirilen gövde çapı ve gövde hacim modelinin, Parresol vd. (1987) tarafından geliştirilen modele göre gerek çap gerekse hacim tahminlerinde daha başarılı olduğu görülmüştür. Önerilen modeller; yöresel tek girişli ağaç hacim tablosu ile de karşılaştırılmış ve toplam ağaç

gövde hacmi tahminlerinde daha başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Sonuç olarak; Max ve Burkhardt (1976) tarafından geliştirilen model kullanılarak Burdur yöresi kızılçam meşcereleri için ve bu ağaç türünün değişik ticari boyutları için daha doğru ve güvenilir hacim tahminlerinin yapılabileceği söylenebilir. Özellikle çalışmanın yürütüldüğü Burdur ve civarında kızılçam ağaç türünün satışında yoğun olarak uygulanmaya başlanan dikili satış uygulamalarında daha doğru ağaç gövde hacmi tahminleri için geliştirilen veya geliştirilecek gövde hacim modelleri kullanılabilir. Ancak, ağaç gövde formu üzerinde pek çok faktör etkili olduğu için, bir yöre için geliştirilen gövde çapı ve gövde hacim modeli diğer bölgelerde uygunluğu denetlenmeden kullanılmamalıdır. Diğer unutulmaması gereken önemli bir durumda herhangi bir yöre ve ağaç türü için gövde çapı ve gövde hacim modeli geliştirilirken model seçimine büyük özen gösterilmelidir. Model pratik ormancılık çalışmalarında kullanılabilir kadar kolay olmalıdır.

#### Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan veriler, TÜBİTAK tarafından desteklenmekte olan 109-O-714 nolu "Kızılçam, Karaçam ve Sedir Ağaç Türleri İçin Yetiştirme Ortamı Bazlı Çap-Boy Modelleri İle Gövde Çapı Ve Gövde Hacmi Denklem Sistemlerinin Geliştirilmesi" proje çalışmasında elde edilmiştir.

**Kaynaklar**

- Anonim, 2006. Orman varlığımız. Orman Genel Müdürlüğü, 159 s., Ankara.
- Barrio-Anta, M, Dieguez-Aranda, U., Castedo-Dorado, F., Alvarez-Gonzalez, J.G., von Gadow, K., 2007. Merchantable volume system for pedunculate oak in northwestern Spain. *Ann For Sci* 64: 511-520.
- Berhe, L., Arnoldsson, G., 2008. Tree taper models for *Cupressus lusitanica* plantations in Ethiopia. *Southern Forests*. 70: 193-203.
- Bi H., 2000. Trigonometric variable-form taper equations for Australian eucalyptus. *For. Sci.* 46: 397-409.
- Brooks J.R., Jiang L. and Ozcelik R., 2008. Compatible stem volume and taper equations for Brutian pine, Cedar of Lebanon, and Cilicica fir in Turkey. *For. Ecol. Manage.* 256: 147-151.
- Calama, R., Montero, G., 2006. Stand and tree-level variability on stem form and tree volume in *Pinus pinea* L: A multilevel random components approach. *Forest Systems* 15:24-41
- Clark., A., Souther, R.A., Schlaegel, B.E. 1991. Stem Profile Equations for Southern Tree Species. USDA For. Serv. Res. Pap. SE-282.
- Corral-Rivas, J.J., Dieguez-Aranda, U., Rivas, S.C., Dorado, F.C., 2007. A merchantable volume system for major pine species in El Salto, Durango (Mexico). *For. Ecol. Manage.* 238:118-129.
- 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. *Ann. For. Sci.* 66: 808-819.
- Dieguez-Aranda, U., Castedo-Dorado, Alvarez-Gonzalez, J.G., Rojo, A. 2006. Compatible taper function for plantations in north-western Spain. *Can. For. Res.* 36:1190-1205.
- Fang, Z., Borders, B.E., Bailey, R.L. 2000. Compatible Volume Taper Models for Loblolly and Slash Pine Based on System with Segmented-Stem Form Factors. *For. Sci.* 46:1-12.
- Figueiredo-Filho, A., Borders, B.E., Hitch, K.L. 1996. Taper Equations for Pinus Taeda Plantations in Southern Brazil. *For. Ecol. Manage.* 83:39-46
- Gomat, HY., Deleporte, P., Moukini, R., Mialoungoula, G., Ognouabi, N., Saya, AR., Vigneron, P., Saint-Andre, L. 2011. What factors influence the stem taper of *Eucalyptus*: growth, environmental conditions, or genetics? *Annals of Forest Science*. 2011:109-120.
- Jiang L, Liu, R. 2011. Segmented taper equations with crown ratio and stand density for Dahurian Larch (*Larix gmelinii*) in Northeastern China. *J For Res* 22:347-352.
- Jiang L., Brooks, J.R., Wang J. 2005. Compatible taper and volume equations for yellow-poplar in West Virginia. *For. Ecol. Manage.* 213: 399-409.
- Jiang, L. 2004. Compatible Taper and Volume Equations for Yellow-Poplar in West Virginia. MS Thesis. West Virginia University. Morgantown. WV. 75pp.
- Kozak, A. 1988. A Variable-Exponent Taper Equation. *Can. J. For. Res.* 18:1363-1368.
- Kozak, A. 1997. Effects of Multicollinearity and Autocorrelation on the Variable-Exponent Taper Functions. *Can. J. For. Res.* 27:619-629
- Kozak, A. 2004. My Last Words on Taper Equations. *For. Chron.* 80:507-515.
- Kozak, A., Munro, D.O., Smith, J.H.G. 1969. Taper Functions and Their Application in Forest Inventory. *For. Chron.* 45:278-283.
- Kozak, A., Smith, J.H.G. 1993. Standards for evaluating taper estimating systems. *For. Chron.* 69: 438-444.
- Li, R., Weiskittel, A.R. 2010. Comparison of model forms for estimating stem taper and volume in the primary conifer species of North American Acadian Region. *Ann For Sci* 67: 302-520.
- Martin, A.J. 1981. Taper and Volume Equations for Selected Appalachian Hardwood Species. USDA Forest Service. NE-490.
- Max, T.A., Burkhart, H.E. 1976. Segmented Polynomial Regression Applied to Taper Equations. *For. Sci.* 22:283-289.
- Meydan-Aktürk, G. 2006. Doğu Ladini (*Picea orientalis* (L.) Link) İçin Trigonometrik Gövde Profili Denkleminin Oluşturulması. KTU Fen Bilimleri Enstitüsü. Basılmamış Yüksek Lisans Tezi. 120s.
- Newnham, R.M. 1988. A Variable form Taper Function. Information Report PI-X-83. Forestry. Canada. 33 pp.
- Newnham, R.M. 1992. Variable-Form Taper Functions for Four Alberta Tree Species. *Can. J. For. Res.* 22: 210-223.
- Özçelik, R., Brooks, J.R. 2012. Compatible volume and taper models for economically important tree species of Turkey. *Ann. For. Sci.* 69:105-118.
- Özçelik, R., Brooks, J.R., Jiang, L. 2011. Modeling stem profile of Lebanon cedar, Brutian pine, and Cilicica fir in southern Turkey using nonlinear mixed-effects models. *Eur. J. For. Res.* 130:613-621.
- Parresol, B.R., Hotvedt, J.E., Cao, Q.V. 1987. A Volume and Taper Prediction System for Bald Cypress. *Can. J. For. Res.* 17:250-259.
- Perez, D.N., Burkhart, H.E., Stiff, C.T. 1990. A variable-Form Taper Function for Pinus Oocarpa Schiede in Central Honduras. *For. Sci.* 36: 186-191.
- Rojo, A., Peles, X., Sacherz-Rodriguez, F., Alvarez-Gonzalez, J.G., von Gadow, K. 2005. Stem taper functions for maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) in Galicia (northwest Spain). *Eur. J. For. Res.* 25:177-186.
- Sakıcı, O.E., Mısır, N., Yavuz, H., Mısır, M. 2008. Stem Taper Functions for *Abies nordmanniana* subsp. *bormmulleriana* in Turkey *Scand. J. For. Res.* 23:522-533.
- Sas Institute Inc 2002. SAS/ETS User's Guide. Version 9.0. SAS Institute Inc.. Cary. NC.
- Sherrill, J.R., Bullock, B.P., Mullin, T.J., McKenad, S.E., Purnell, R.C. 2011. Total and merchantable stem volume equations for Midrotation loblolly pine (*Pinus taeda* L.). *South. J. Appl. For.* 35:105-108.
- Ter-Mikaelian, M.T., Zakrzewski, W.T., MacDonald, G.B., Weingartner, D.H. 2004. Stem Profile Equations for Young Trembling Aspen in Northern Ontario. *Ann. For. Sci.*, 61:109-115.
- Thomas, C.E., Parresol, B.R. 1991. Simple, flexible, trigonometric taper equations. *Can. J. For. Res.* 21:1132-1137.
- Williams, M.S., Reich, R.M. 1997. Exploring the Error Structure of Taper Equations. *For. Sci.*, 43:378-386.
- Yavuz, H., 1995. Taşköprü Orman İşletmesinde Sarıçam ve Karaçam İçin Uyumlu Gövde Çapı, Gövde Hacmi ve Hacim Oran Denklem Sistemlerinin Geliştirilmesi. KTU Orman Mühendisliği Bölümü. Orman Amenajmanı Anabilim Dalı. Basılmamış Doçentlik Tezi. 101s.
- Yavuz, H., Saraçoğlu, N. 1999. Compatible and non-compatible stem taper equations for Alder. *Turk. J. Agric. For.* 23:1275-1282