

## Eğirdir Yöresi doğal kızılçam ve karaçam meşcereleri için ticari hacim denklemlerinin geliştirilmesi

Ramazan Özçelik <sup>1\*</sup>, Kaan Karaer <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Süleyman Demirel University, Faculty of Forestry, Forest Engineering Division, 32260, Isparta, Turkey

<sup>2</sup> Süleyman Demirel University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, 32260, Isparta, Turkey

\* Corresponding author e-mail (İletişim yazarı e-posta): [ramazanozcelik@sdu.edu.tr](mailto:ramazanozcelik@sdu.edu.tr)

Received (Geliş tarihi): 20.01.2015 - Revised (Düzeltilme tarihi): 29.01.2015 - Accepted (Kabul tarihi): 02.02.2015

**Özet:** Ağaçlara ilişkin hacim tahminleri, hem odun kaynağının sürdürülebilir yönetimi, hem de pratik ormancılık amaçları için çok gerekli ve yararlıdır. Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ve karaçam (*Pinus nigra* Arnold.), Türkiye'nin orman ürünleri sanayinin önemli hammadde kaynaklarıdır. Sürekli değişen pazar şartları, standartları karşılayacak doğru ve güvenilir çap ve hacim modellerinin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Maalesef, halen kullanılmakta olan hacim tabloları bu ihtiyacı karşılamak için yetersizdir. Günümüzde ağaç hacim ve biyokütle tahminleri için en güvenilir yollardan birisi gövde çapı ve gövde hacim modelleridir. Bu çalışmada, Eğirdir Yöresi kızılçam meşcerelerinden 132 ve karaçam meşcerelerinden alınan 121 örnek ağaç verisi kullanılarak değişken şekil gövde çapı modelleri geliştirilmiştir. Bu amaçla Lee ve ark. (2003), Kozak (2004) ve Sharma ve Zhang (2004) tarafından geliştirilen gövde çapı modelleri kullanılmıştır. Hiyerarşik bir kümelenme gösteren verilerde, veri yapısında var olan otokorelasyonun ortadan kaldırılması için ikinci derece otoregresive hata yapısı kullanılmıştır. Çalışmada test edilen modeller, çap ve ticari hacim tahminleri için başarılı sonuçlar vermiştir. Gövde çapı ve ticari boy tahminlerinde, en başarılı model Kozak (2004), ticari hacim tahminlerinde ise, en başarılı model her iki ağaç türü için de Sharma ve Zhang (2004) tarafından geliştirilen model olmuştur. Bu çalışmanın önemli sonuçlarından birisi de, herhangi bir ağaç türü için gövde çapı modelinin seçiminde, modelin hem çap tahminlerindeki başarısı hem de hacim tahminlerindeki başarısı da dikkate alınmalıdır. Sonuç olarak, Eğirdir yöresi kızılçam ve karaçam meşcereleri için gövde çapı ve ticari hacim tahminleri için Sharma ve Zhang (2004) tarafından geliştirilen model önerilebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Gövde çapı denklemi, otokorelasyon, gövde formu, ticari hacim, sayısal iterasyon.

## Development of merchantable volume equations for natural brutian pine and black pine stands in Eğirdir District

**Abstract:** Determination of stem standing volume is very useful for both sustainable management of timber resources and practical purposes in forestry. Brutian pine (*Pinus brutia* Ten.) and black pine (*Pinus nigra* Arnold.) are important raw material of forest products industry of Turkey. With ever changing market conditions, there is a need to accurately estimate tree volumes utilizing multiple upper stem merchantability limits. This is not currently possible with the existing total stem volume tables for these three species. Nowadays, taper equations are the best way to estimate volume for saw timber and biomass purposes. In this study, variable exponent taper equations evaluated and fitted to data come from 253 destructively sampled trees which were collected in natural brutian pine and black pine stands in Eğirdir district. For this aim, the taper equations of Lee et al. (2003), Kozak (2004), and Sharma and Zhang (2004) were used. A second-order continuous-time autoregressive error structure was used to correct the inherent autocorrelation in the hierarchical data. The proposed models generally performed better for Merchantable tree volume. Results show that the Kozak (2004) taper equation was superior to the other equations in predicting diameter and merchantable height, while The Sharma and Zhang (2004) taper model provided the best predictions for merchantable volume than the other models. The one of the important results of this study, the importance of checking fit statistics of taper equations for both diameters and volume estimations. As a results, Sharma and Zhang (2004) taper model recommended for estimating diameter at a specific height, height to a specific diameter along the stem, and merchantable volume for brutian pine and black pine stands in Eğirdir analyzed.

**Keywords:** Taper equation, autocorrelation, stem form, commercial volume, numerical integration.

**To cite this article (Atıf):** Özçelik, R., Karaer, K., 2016. Eğirdir Yöresi doğal kızılçam ve karaçam meşcereleri için ticari hacim denklemlerinin geliştirilmesi. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University* 66(1): 59-74. DOI: [10.17099/jffiu.24073](http://dx.doi.org/10.17099/jffiu.24073)



## 1.GİRİŞ

Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ve karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) Türkiye'nin ekolojik ve ekonomik açıdan en önemli ağaç türlerindedir. Son yapılan envanter çalışmalarına göre kızılçam yaklaşık 5.9 milyon ha, karaçam ise 4.7 milyon ha alanda yayılış alanı ile Türkiye'de en geniş yayılış alanına sahip türler olup (Anonim, 2012), dikili ağaç serveti ise yaklaşık olarak, kızılçamda 270 milyon m<sup>3</sup> ve karaçamda ise 296 milyon m<sup>3</sup>'dür. Türkiye'de, kızılçam ve karaçam ormanları, toprak ve su kaynaklarının korunması, biyolojik çeşitliliğin sürekliliğinin sağlanması, ilkim değişiminin olumsuz etkisinin azaltılması ve adaptasyon gibi önemli çevresel konularda anahtar bir role sahiptir. Bu çerçevede farklı yetişme ortamı ve yörelerdeki kızılçam ve karaçam meşcerelerinin geleceğe dönük yönetimi ve planlanması ile ilgili stratejilerinin geliştirilmesinde, ormanlarının büyüme ve hasılatına ilişkin mevcut durumun ve kısıtların ortaya konması gerekmektedir. Ormanların büyüme, gelişme ve hasılat tahminlerinde kullanılan en önemli yapı taşlarından birisi ağaç hacim tahminleridir. Ancak, Türkiye'de ağaç ve meşcere hacminin tahmin edilmesinde kullanılan hacim tabloları, gerek sürekli değişen pazar şartlarının ortaya çıkardığı standartlarını karşılayamamaktadır. Diğer yandan, ülkemizde yetişme ortamı şartları, iklim ve topoğrafik faktörlere bağlı olarak büyük değişkenlikler gösterebilmektedir. Mevcut hacim tabloları yöresel düzeydeki bu değişkenlikleri açıklamakta yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle de Orman Genel Müdürlüğü, ekosistem tabanlı fonksiyonel planlama ilkeleri çerçevesinde asli ağaç türlerinin ağaç ve meşcere hacminin tahmini için model geliştirilmesine ihtiyaç duymaktadır.

Özellikle orman ürünleri sanayindeki sürekli değişen ticari standartları karşılayacak ticari ağaç hacim tahminleri günümüzde çok daha önemlidir. Ticari hacim, ağaç gövdenin tümü ya da dip çap ile gövde üzerinde belirlenen herhangi bir nokta arasındaki hacim değeri olarak ifade edilebilir. Bu nokta herhangi bir minimum çap değeri yada gövde boyu olarak belirlenebilmektedir. Herhangi bir ticari standartı karşılayan hacmin tahmini için farklı alternatifler bulunmaktadır. Bunlar içinde en çok kullanılanlar hacim-oran denklemleri ve gövde çapı modelleridir. Hacim oran denklemleri, ticari hacmi, toplam ağaç hacminin oranı olarak tahmin etmekte iken, gövde çapı modelleri, önce ağacın gövde formunu matematiksel bir formülle tanımlamakta ve daha sonra bu modelinin yerden herhangi bir yüksekliğe kadar integrali alınarak ağaç gövdesinin ilgili kısmının ticari hacmi bulunmaktadır. Her iki yöntemde de ticari meşcere hacmi, bütün ağaçların ticari hacim değerleri toplanarak elde edilmektedir (Crecente-Campo ve ark., 2009). Hacim oran denklemlerinden ticari hacim denklemlerinin geliştirilmesi ve uygulanması oldukça kolay olmasına rağmen, günümüzde bu amaçla gövde çapı modelleri daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Çünkü ağaç gövde formu ne kadar doğru tanımlanabilirse, herhangi ticari limit için hacim de o kadar doğru olarak tahmin edilebilir (Jordan ve ark., 2005).

Gövde çapı modelleri yardımı ile; a) herhangi bir gövde yüksekliğindeki çap, b) herhangi bir gövde çapının hangi yükseklikte olduğu, c) ticari (satılabilir) gövdenin hacmi, d) toplam gövde hacmi, e) bir gövdeden elde edilebilecek tüm odun çeşitlerinin hacimleri, f) gövde üzerinde herhangi iki yükseklik arasındaki gövde bölümünün hacmi kolaylıkla tahmin edilebilmektedir (Kozak, 2004). Gövde çapı modellerinin diğer önemli bir avantajı da, bu modellerin büyüme ve hasılat modellerine entegre edilerek, farklı yetişme ortamları ve farklı yönetim uygulamaları sonunda elde edilebilecek farklı nitelik ve ticari standartlardaki odun hacminin tahminine de imkan sağlamalarıdır (De-Miguel ve ark., 2012).

Yüz yılı aşkın bir süredir en basitinden çok karmaşık model formlarına kadar çok sayıda gövde çapı modeli geliştirilmiştir (Kozak ve ark., 1969; Max ve Burkhart, 1976; Clark ve ark., 1991; Fang ve ark., 2000; Zakrzewski, 1999; Kozak, 1988 ve 2004). Newnham (1988)'e göre gövde çapı denklemleri üzerindeki çalışmaların her geçen gün artmasının iki temel sebebi vardır. Birincisi; bütün ağaç türleri için gövde formundaki varyasyonu tam olarak açıklayabilen bir teorinin bulunmaması, ikinci ise; sürekli değişen pazar koşullarına bağlı olarak değişen odun çeşidi standartlarını dikkate alan bir yöntemin elde edilememesidir. Bu nedenle gövde çapı modelleri bu alandaki önemli bir boşluğu doldurmaktadır. Ormancılık çalışmalarında iki grup gövde çapı modelinin başarı ile kullanıldığı belirtilmektedir (Fang ve ark. 2000). Bunlardan ilki parçalı-gövde çapı (Segmented-polynomial) modelleridir. Bu modeller farklı ağaç bölümlerinin çap düşüşlerini farklı denklem formları kullanılarak tanımlamaktadır (Max ve Burkhart, 1976;

Clark ve ark., 1991; Fang ve ark., 2000; Sharma ve Oderwald, 2001). İkinci grup ise; değişken şekil çap modelleridir. Bu modellerde bir ağaç gövdesinin, dipten tepeye doğru nayloid, paraboloid ve konik parçalardan oluştuğu düşünülmektedir (Newnham, 1988; Kozak, 1988; Perez ve ark., 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 olmasıdır. Rojo ve ark. (2005), Yang ve ark. (2009) ve Li ve Weiskittel (2012) tarafından yapılan çalışmalarda ise sürekli değişken üssel ya da sürekli değişken form gövde çapı modellerinin gövde çapı ve ağaç hacim tahminlerinde daha başarılı olduğu belirtilmiştir.

Gövde çapı modellerinin önemli bir özelliği de modellerin tür tabanlı olmasıdır. Dolayısı ile bir modelin çap ve ticari hacim tahminlerindeki başarısı türe bağlıdır (Sharma ve Zhang, 2004). Diğer yandan, meşcere sıklığı, gençleştirme metodu, toprak tipi, jeo-klimatik faktörler de bir ağacın gövde formu ve büyümesi üzerine önemli etkiye sahiptir (Li ve ark., 2012). Bu nedenle her ağaç türü ve farklı yetiştirme ortamları için farklı gövde çapı modellerinin geliştirilmesi ya da farklı parametre setinin kullanılması gerekmektedir.

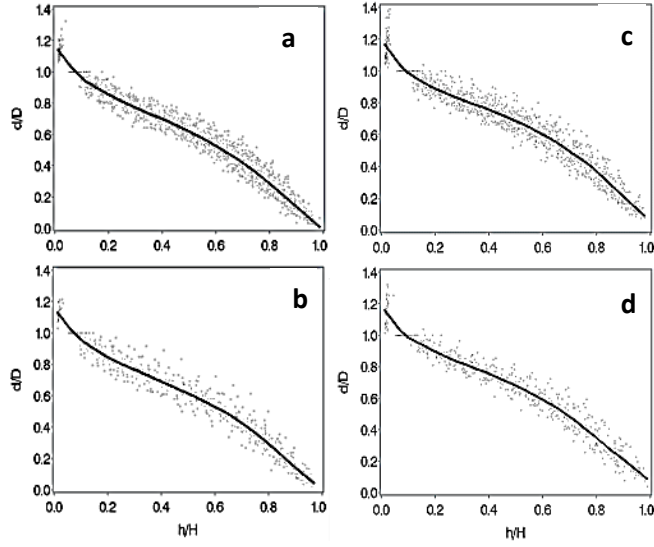
Ülkemizde gövde çapı modelleri çok yaygın olarak kullanılmamış olmakla birlikte, bazı gövde çapı modellerinin bazı ağaç türleri için uygun ve uygulanabilir olup olmadığı yöresel düzeyde yapılan çalışmalarla değerlendirilmiştir (Yavuz, 1995; Yavuz ve Saraçoğlu, 1999; Sakıcı ve ark., 2008; Meydan-Aktürk, 2006; Brooks ve ark., 2008; Özçelik, 2010; Özçelik ve ark., 2011; Özçelik ve Brooks, 2012; Özçelik ve Bal, 2013; Ercanlı ve Kahriman, 2013). Ancak, gövde çapı modelleri, ülkemizde ağaç türlerinin ticari hacim tahminleri için kullanılmamıştır.

Bu amaçla bu çalışmada; Lee ve ark. (2003), Sharma ve Zhang (2004) ve Kozak (2004) tarafından önerilen değişken şekil gövde çapı modelleri kullanılarak Eğirdir Yöresi doğal kızılçam ve karaçam meşcereleri için gövde çapı ve ticari hacim denklemleri geliştirilmiştir. Yukarıda da belirtildiği gibi, bu modeller pek çok çalışmada diğer gövde çapı modellerine göre daha güvenilir sonuçlar vermiştir (Rojo ve ark. 2005; Berhe ve Arnoldsson, 2008; Heidarsson ve Pukkala, 2011; Li ve ark., 2012; Schröder ve ark., 2014).

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1 Materyal

Bu çalışma için gerekli örnek ağaç verileri, Eğirdir Orman İşletme Müdürlüğü doğal kızılçam ve karaçam meşcerelerinden elde edilmiştir. Bu amaçla, doğal kızılçam meşcerelerinden 132 ve doğal karaçam meşcerelerinden 121 adet olmak üzere 253 adet örnek ağaç ölçümü gerçekleştirilmiştir. Örnek ağaçların meşcere kuruluşlarını ve dolayısıyla çap ve boy sınıflarını en iyi şekilde temsil etmesini sağlamak amacıyla, tüm çap ve boy sınıflarına mümkün olduğu kadar eşit dağılımının sağlanmasına çalışılmıştır. Örnek ağaçların seçiminde gövdelerin çatalı ve eğri, tepelerin kırık olmamasına ve ağaçların yetiştirme ortamı şartlarını en iyi biçimde yansıtmasına dikkat edilmiştir. Örnek ağaçlar kesildikten sonra her ağaç üzerinde sırasıyla şerit metre yardımı ile ağaç boyları ölçülmüş ve daha sonra her ağaç üzerinde birer metre aralıkla gövde çapları ölçülmüştür. Çap ölçümleri için elektronik çap ölçer kullanılmıştır. Boy ölçümleri 5 cm; çap ölçümleri ise 0.1 cm hassasiyetle gerçekleştirilmiştir. Örnek ağaç hacimlerinin belirlenmesi amacıyla Bailey (1995) tarafından geliştirilen “the overlapping bolt method” yöntemi kullanılmıştır. Örnek ağaçlar SAS istatistiksel programındaki ranuni fonksiyonu kullanılarak rasgele iki gruba ayrılmıştır. Genel olarak, örnek ağaçların yaklaşık %70’i model geliştirmek amacıyla, geri kalan yaklaşık %30’lük kısmı ise geliştirilen modellerin test edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Şekil / Figure 1’de model geliştirmek ve geliştirilen modelleri test etmek için kullanılan örnek ağaçlara ilişkin nisbi çap-boy grafiği; Tablo / Table 1 ve 2’de ise nitelendirici istatistikî bilgiler verilmiştir.



Şekil 1. Kızılçam (a-b) ve Karaçam (c-d) için model geliştirme (a-c) ve test verilerinin (b-d) nisbi çap- nisbi boy ilişkisi  
Figure 1. Relative height against relative diameter for model fitting (b-d) and model validation data (a-c) for brutian pine (a-b) and black pine (c-d)

Tablo 1. Kızılçamda model geliştirmek ve modelin testi için kullanılan verilere ilişkin nitelleyici istatistikler  
Table 1. Descriptive statistics for model fitting and model validation data for brutian pine

Tür	Ortalama	S.Hata	Minimum	Maksimum
<b>Kızılçam</b>				
Model Geliştirme Verisi (n=93)				
Göğüs Çapı (cm)	30.5	9.4	17.0	61.2
Toplam Boy (m)	17.1	3.7	7.4	24.9
Hacim (m <sup>3</sup> )	0.63	0.52	0.09	2.53
Model Test Verisi (n=39)				
Göğüs Çapı (cm)	30.6	9.0	16.0	51.5
Toplam Boy (m)	17.6	3.8	9.0	24.0
Hacim (m <sup>3</sup> )	0.62	0.45	0.06	2.01

Tablo 2. Karaçamda model geliştirmek ve modelin testi için kullanılan verilere ilişkin nitelleyici istatistikler  
Table 2. Descriptive statistics for model fitting and model validation data for black pine

Tür	Ortalama	S.hata	Minimum	Maksimum
<b>Karaçam</b>				
Model Geliştirme Verisi (n=80)				
Göğüs Çapı (cm)	30.5	9.6	15.0	50.2
Toplam Boy (m)	15.1	3.4	8.5	22.2
Hacim (m <sup>3</sup> )	0.61	0.44	0.07	2.00
Model Test Verisi (n=41)				
Göğüs Çapı (cm)	32.2	10.1	12.0	54.0
Toplam Boy (m)	15.6	4.1	6.8	24.1
Hacim (m <sup>3</sup> )	0.71	0.55	0.04	2.20

## 2.2 Yöntem

### 2.2.1 Gövde çapı modelleri

Bu çalışmada; Lee ve ark. (2003), Sharma ve Zhang (2004) ve Kozak (2004) tarafından önerilen değişken üssel gövde çapı modelleri kullanılarak doğal kızılçam ve karaçam ağaç türleri için gövde çapı modelleri geliştirilmiştir.

Lee ve ark. (2003) tarafından gövde formunun tahmin edilmesi amacıyla değişken üssel gövde çapı modeli geliştirilmiştir. Bu model gövde formunda dipten tepeye doğru meydana gelen değişimi farklı indislerle tanımlamaya çalışmıştır. Yapılan istatistiksel ve grafiksel değerlendirmeler, geliştirilen modelin Max ve Burkhardt (1976) tarafından geliştirilen modelden daha başarılı olduğu ve en az Kozak (1988) tarafından geliştirilen model kadar da başarılı olduğu görülmüştür (Lee ve ark., 2003).

Sharma ve Zhang (2004) ise Sharma ve Oderwald (2001) tarafından geliştirilmiş olan boyutsal uyumlu gövde çapı modelini temel alarak değişken şekil gövde çapı modeli geliştirmiştir. Yapılan istatistiksel değerlendirmeler, gövde çapı tahminlerinde Sharma ve Zhang (2004) tarafından geliştirilen modelin, Max ve Burkhardt (1976), Kozak (1988) ve Zakrzewski (1999) tarafından geliştirilen farklı formlardaki gövde çapı modellerinden daha başarılı olduğunu ortaya koymuştur (Sharma ve Parton, 2009).

Kozak (2004) ise bir ağaç gövdesi boyunca tutarlı gövde çapı, ticari boy ve ticari hacim tahminleri için en iyi çözümü sunan bir değişken üssel gövde çapı modeli önermiştir. Bu model formu Kozak (1988) tarafından geliştirilen diğer bir değişken üssel gövde çapı modelinde ortaya çıkan çoklu bağıntı problemini azaltmak amacıyla kısmi değişiklikler yapılarak elde edilmiştir. Çalışmada kullanılacak üç farklı değişken üssel gövde çapı modeline ilişkin denklemler aşağıda verilmiştir.

#### **Model-1 (Lee ve ark. 2003)**

Gövde çapı modeli;

$$d = b_1 D^{b_2} (1 - z)^{b_3 z^2 + b_4 z + b_5} \quad (1)$$

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

#### **Model-2 (Sharma ve Zhang 2004)**

Gövde çapı modeli;

$$\left(\frac{d}{D}\right)^2 = b_0 \left(\frac{h}{h_D}\right)^{2 - (b_1 + b_2 z + b_3 z^2)} \left(\frac{H - h}{H - h_d}\right) \quad (2)$$

$$h_D = 1.3 \text{ m}$$

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

**Model-3 (Kozak 2004)**

Gövde çapı modeli;

$$d = a_0 D^{a_1} H^{a_2} x^{b_1 z^4 + b_2 (1/e^{D/H}) + b_3 x^{0.1} + b_4 (1/D) + b_5 H^w + b_6 x} \quad (3)$$

$$x = w / (1 - (1.3/H)^{1/3})$$

$$w = 1 - z^{1/3}$$

 $D$  = kabuklu göğüs çapı (cm), $H$  = toplam ağaç boyu (m), $d$  = ölçüm noktasındaki kabuklu çap, $h$  = ölçüm noktasının yerden yüksekliği (m), $a_i, b_i$  = regresyon katsayıları,  $i=1 \dots 5$ **2.2.2 İstatistiksel Analiz**

En küçük kareler yöntemi kullanılarak gövde çapı modellerinin geliştirilmesinde, bazı temel problemler bulunmaktadır ve bunlar arasında en yaygın ve en çok karşılaşılanları çoklu bağıntı ve otokorelasyon problemleridir (Kozak, 1997). Bu problemler sıradan en küçük kareler (OLS) yaklaşımının temel varsayımı olan hataların bağımsızlığı kuralını bozmaktadır. Yine bu problemler, model katsayılarının standart hatalarını ciddi şekilde etkileyebilmektedirler. Bu yüzden gövde çapı modellerinin geliştirilmesinde otokorelasyon probleminden kaçınabilmek ve çoklu bağıntı problemini azaltabilmek için uygun istatistiksel yaklaşımların seçilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Kozak, 1997).

Çoklu bağıntı; çoklu doğrusal veya doğrusal olmayan regresyon analizlerinde bağımsız değişkenler arasındaki güçlü bir ilişkinin varlığını göstermektedir. Çoklu bağıntı, doğrusal ya da doğrusal olmayan regresyon analizinde bağımsız değişkenler arasındaki yüksek korelasyonu ifade etmektedir. Model yapısındaki değişkenler arasındaki çoklu-bağıntı probleminin varlığını değerlendirmek için Koşul Sayısı (Condition Number-CN) kullanılmıştır. Koşul sayısı, korelasyon matrisinin en küçük ve en büyük özdeğerlerinin oranının karekökü olarak ifade edilmektedir. Belsey (1991)'e göre, koşul Sayısı 5-10 arasında ise çoklu bağıntı problem değildir, şayet 30-100 arasında ise çoklu bağıntı ile ilgili bir problem olabilir, ama 1000-3000 arasında ise şiddetli çoklu bağıntı problemi olabileceği ifade edilmektedir. Myers (1990) ise koşul sayısı değerinin 32'den daha yüksek çıkması durumunda çoklu bağıntı ile ilgili bir problemin varlığını göstereceğini ifade etmektedir.

Genel olarak gövde çapı modellerinin geliştirilmesinde kullanılan veriler her ağaç üzerinde çok sayıda benzer ölçümler içermesi nedeniyle, bu ölçümler arasında korelasyonun ortaya çıkma ihtimalini arttırmakta ve bu durum hata terimlerinin bağımsız olma varsayımına ters düşmektedir. Bu çalışmada otokorelasyon problemini ortadan kaldırabilmek için ikinci derece otoregresif hata yapısı (CAR(x)) kullanılmıştır. Otokorelasyonun varlığını test etmek için otoregresif hata yapısının farklı dizinleri kullanılmış ve her ağaç için gözlemlerin artıklarına karşılık gelen temsili örneklerin hataları görsel olarak araştırılmıştır. Bu amaçla SAS istatistiksel analiz programındaki MODEL Yöntemi kullanılmıştır (SAS Institute, 2013). Otokorelasyon probleminin çözümüne ilişkin detaylı bilgiler Zimmerman ve Nunez-Anton (2001)'de bulunabilir.

**2.2.3 Model Performanslarının Değerlendirmesinde Kullanılan Ölçütler**

Geliştirilen gövde çapı modellerin tahmin performansının testi için ortalama hata (E), ortalama hata yüzdesi (%E), tahminlerin standart hatası (SEE), tahminlerin standart hata yüzdesi (%SEE), belirtme katsayısı ( $R^2$ ) ve Akaike bilgi kriteri (AIC) gibi ölçüt değerleri kullanılmıştır. Bu değerlerin elde edilmesi için aşağıdaki formüller kullanılmıştır.

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

$$E\% = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (y_i - \hat{y}_i) / n}{\bar{y}} \times 100 \quad (5)$$

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

$$SEE\% = \left( \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p}} / \bar{y} \right) \cdot 100 \quad (7)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (8)$$

$$AIC = n \log \left( \sum_{i=1}^{i=n} (Y_i - \hat{Y}_i)^2 / n \right) + 2p \quad (9)$$

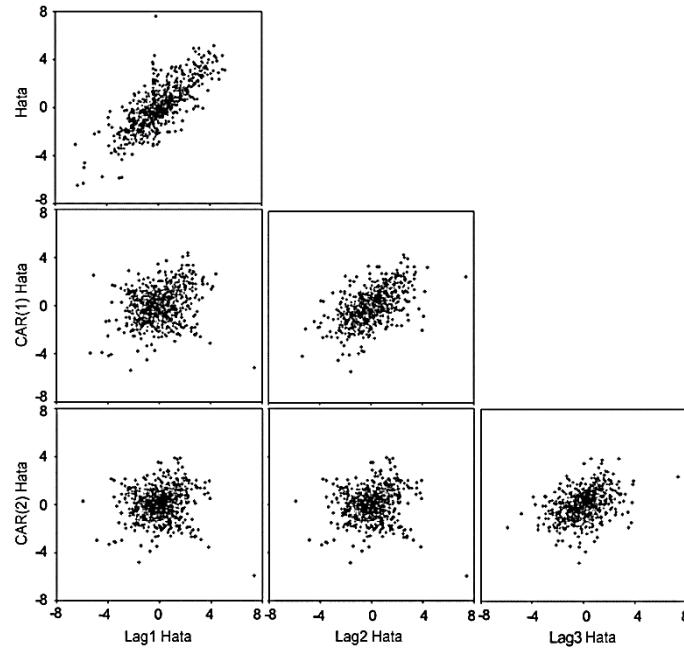
Burada;  $y_i$  ölçülen değerleri,  $\hat{y}_i$  model ile tahmin edilen değerleri,  $\bar{y}$  ölçülen değerlerin ortalamasını,  $n$  model geliştirmek için kullanılan toplam gözlem sayısını ve  $P$  ise tahmin edilen parametre sayısını göstermektedir.

Test edilen modeller için, her bir ticari çap değeri için boy tahminleri de yapılmıştır. Çalışmada kullanılan modeller, ilgili ticari çap değerine bağlı olarak, matematiksel yünden boy tahminine imkan sağlamadığı için tekrarlı (iterative) metod yardımı ile sayısal çözüm gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla “Bisection metodu” kullanılmıştır. Yine çalışmada kullanılan gövde çapı modelleri, değişken şekil gövde çapı modelleri olduğu için, modellerin doğrudan integrali alınarak hacim denklemine dönüştürülmesi mümkün değildir. Bu nedenle çalışmada kullanılan gövde çapı modelleri için ticari hacim tahminleri, dipten itibaren her bir çap değeri için SAS paket programındaki QUAD prosedürü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gövde çapı modelleri yardımı ile ticari hacim tahminleri iki aşamada gerçekleştirilmektedir. Birinci aşamada ilgilenilen ticari hacim için gerekli en küçük çap değeri ve bunun dip çaptan olan uzaklığı belirlenmekte, ikinci aşamada ise ticari hacim hesaplanmaktadır. Dolayısı ile ticari hacim için ayrı bir denkleme gerek duyulmamaktadır.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Gövde çapı modellerinin geliştirilmesinde otokorelasyon probleminde kaçınılmaz ve çoklu bağıntı problemini azaltabilmek için uygun istatistiksel yaklaşımların seçilmesi gerektiği belirtilmektedir (LeMay ve ark., 1993; Kozak, 1997; Williams and Reich, 1997). İlk önce, otokorelasyonun göstergesi olan hata terimindeki artış dikkate alınmaksızın doğrusal olmayan en küçük kareler (OLS) yöntemi kullanılarak model parametreleri tahmin edilmiştir. Lag 1 ve lag 2 artıkların bir fonksiyonu olarak test edilen bütün modeller için aynı ağaç içerisinde model geliştirme sırasında kullanılan verilerin doğası gereği beklendiği

gibi, benzer bir eğilim görülmektedir. Şekil / Figure 2'nin 1.satırında Kozak (2004) için bu durum görülmektedir. Otokorelasyonun ortadan kaldırılması için II. dereceden otoregresif hata yapısının CAR(2) kullanılmasından sonra, Şekil / Figure 2'nin 3. satırında görüldüğü gibi hatalarda görülen eğilim ortadan kalkmıştır. İlgili grafiğin 3. Satır 3. Sütunu incelendiğinde yüksek bir otokorelasyon görülmemektedir. Otokorelasyonun düzeltilerek ve düzeltilmeden yapılan parametre tahminleri arasında önemli farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Yapılan çalışmalar gövde çapı modellerindeki otokorelasyonun, otoregresif hata yapısı modelleri ile tam olarak ortadan kaldırılamadığı da ifade edilmektedir (Garber ve Maguire, 2003; Trincado ve Burkhart, 2006). Yine burada belirtilmesi gereken önemli bir husus; otokorelasyon probleminin düzeltilmesinin tek amacı modelin istatistiksel özelliklerinin iyileştirilmesidir. Eğer çalışmada, aynı ağaçta farklı boy değerlerinde ölçülmüş çap değerleri kullanılmıyor ise otokorelasyonun pratik açıdan bir önemi yoktur (Corral-Rivas ve ark., 2007; Barrio-Anta ve ark., 2007).



Şekil 2. Çap tahmininde ortaya çıkan artıklar için, Kozak (2004) modelinin parametreleri arasında otokorelasyon olmadığı düşüncesiyle testi (ilk satır) ve birinci ve ikinci derece otoregresive hata yapısı ile testi (sırasıyla ikinci ve üçüncü satırlar)

Figure 2.  $d$  residuals plotted against: Lag1-residuals (left column), Lag2-residuals (middle column), and Lag3-residuals (right column) for the model of Kozak. (2004) fitted without considering the autocorrelation parameters (first row), and with continuous autoregressive error structures of first and second order (second and third rows, respectively).

Çalışmada kullanılan üç model içinde parametre tahminleri ve onlara ilişkin standart hata değerleri, kızılçam ve karaçam ağaç türleri için ayrı ayrı Tablo / Table 3'de verilmiştir. Bütün parametreler Kozak (2004) modeli için kızılçamda  $a_2$ ,  $b_5$  ve  $b_6$  ve karaçamda  $a_2$ ,  $b_2$  ve  $b_5$  hariç %1 seviyesinde anlamlı bulunmuştur.

Modeldeki değişkenler arasındaki çoklu-bağıntı probleminin ortaya çıkarılmasında koşul sayısı (*Condition Number-CN*) kullanılmıştır. Kızılçam ve Karaçam için test edilen tüm modellerde Sharma ve Zhang (2004) modeli hariç, orta derecede çoklu bağıntı problemi olduğu görülmüştür. Örneğin Kızılçam için Lee ve ark. (2003), Kozak (2004) ve Sharma ve Zhang (2004) modelleri için koşul sayıları sırasıyla 43, 90 ve 12 olarak



bulunmuştur (Tablo / Table 4). Bununla birlikte, çoklu bağıntı problemi modellerin pratik kullanımları açısından büyük önem arz etmemektedir.

Kızılçam ve karaçam ağaç türleri ve üç model için Belirtme katsayısı ( $R^2$ ), hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE), Akaike Bilgi Kriteri (AIC) değerleri Tablo / Table 4'de verilmiştir. Her üç model de kızılçam için çap, boy ve ticari hacim tahminlerindeki varyasyonun %99, %97 ve %99'undan daha fazlasını açıklamakta iken, karaçamda %98, %95 ve %98'inden daha fazlasını açıklayabilmektedir.

Tablo / Table 4'deki ölçüt değerleri dikkate alındığında; kızılçam ve karaçam ağaç türleri için, çap ve boy tahminlerinde en başarılı modelin Kozak (2004) olduğu, hacim tahminlerinde ise Sharma ve Zhang (2004) olduğu görülmektedir. Kızılçam ve karaçam ağaç türleri için genel bir değerlendirme yapılacak olursa her üç model de kızılçam için karaçama göre daha başarılı sonuçlar üretmiştir.

Kızılçam ve karaçam türleri için, geliştirilen gövde çapı modellerinin etkinliğini daha yakından test etmek için çap tahminlerine ilişkin hata ve hata yüzde, (E ve %E) ve standart hata ve yüzde değerlerinin (SSE ve %SEE) nisbi boy değerleri için (Tablo / Table 5-6) değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu amaçla ağaç gövdesi on eşit parçaya ayrılmış ve her parça için hata ve standart hata değerleri bulunmuştur. Kızılçam için en yüksek SEE değerleri ağaç boyunun %60-70'inde görülürken, Karaçam ağaç türünde ise ağaç boyunun %0-20'nde görülmüştür.

Jiang ve ark. (2005) tarafından da belirtildiği gibi; ağaç boyunun yerden itibaren %60'lık kısmı dallanmanın başladığı ve dolayısı ile de gövde formunda değişkenliğin en yoğun olduğu bölgedir. Yine ağaç gövdesinin %20'lik kısmı ise ağaçlarda gövde şişkinliğinin en yüksek olduğu ve dolayısı ile ağaçlar arasında çapların en düzensiz dağıldığı bölgedir. Test edilen üç model için de; kızılçam ağaç türü için ağaç gövdesinin %50 ve daha alt kısımlardaki hata düzeyinin ağacın üst kısımlarına göre daha düşük olduğu söylenebilir (Tablo / Table 5). Karaçam da ise her üç model için de kızılçamın aksine en yüksek hata oranları gövdenin %20 ve daha alt kısımlarında ortaya çıkmıştır (Tablo / Table 6).

Bu durum, araştırmanın yürütüldüğü Eğirdir yöresinde kızılçam ağaçlarının dip kısımlarının karaçama göre daha dolgun ve silindirik olduğunu göstermektedir. Çap tahmini için standart hata yüzdesi düşünüldüğünde tüm modellerin gövdenin %0-70'lik bölümleri arasındaki tahmin hatası nisbi boy sınıfları için yaklaşık olarak eşit dağılmıştır. Ağaç gövdesinin ticari açıdan en değerli bölümü gövdenin alt ve orta bölümü olduğu düşünüldüğünde modellerin çap tahmini performanslarının başarılı olduğu söylenebilir.

Kızılçam ve karaçam ağaç türleri için geliştirilen modelleri değerlendirmek ve karşılaştırmak için kullanılacak diğer bir yöntem de hatalara ilişkin grafikleri incelemektir. Ölçülen ve tahmin edilen çap ve boy değerlerine ilişkin hataların nisbi boy sınıfları için dağılımı Şekil / Figure 3'de, farklı göğüs çapları için tahmin edilen ve ölçülen hacim tahminleri arasındaki farka ilişkin hataların dağılımı ise Şekil / Figure 4'de verilmiştir.

Şekil / Figure 3 incelendiğinde; çap ve boy tahminlerinde her iki ağaç türü içinde test edilen gövde çapı modelleri arasında büyük farklılıklar bulunmamaktadır. Bununla birlikte Sharma ve Zhang (2004) tarafından geliştirilen modelin hem kızılçam hem de karaçam için çap ve boy tahminlerinde gövdenin orta bölümü için diğer modellerden farklı olarak negatif yönlü hata verdiği görülmektedir.

Aynı model, gövdenin alt ve uç kısmında ise pozitif yönlü hata göstermektedir. Gövde çapı tahminlerinde özellikle gövdenin alt ve orta bölümlerindeki tahmin hataları büyük öneme sahiptir. Çünkü ağacın parasal ve miktar olarak en değerli kısmı bu kısımlarda bulunmaktadır (Li ve Weiskittel, 2010; Li ve ark., 2012). Bu çalışmada kullanılan modellerin üçü de ağaç gövdesinin alt ve orta kısımlarındaki çap tahminleri büyük ve kabul edilemez hata değerleri içermemektedir.

Tablo 3 Test edilen modeller için parametre tahminleri ve bu tahminlere ilişkin standart hata değerleri  
Table 3. Parameter estimates and corresponding standard errors of the models analyzed

Modeller	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$
<b>Kızılcım</b>										
Lee ve ark. (2003)					1.5325 (0.0351)	0.9202 (0.0064)	2.4778 (0.1090)	-3.3186 (0.1299)	1.9455 (0.0390)	
Kozak (2004)	0.9981 (0.0383)	0.9378 (0.0125)	0.0749* (0.0208)		0.5429 (0.0253)	-0.6268 (0.1071)	0.4773 (0.0166)	3.3862 (0.7254)	-0.0061* (0.0057)	0.0174* (0.0426)
Sharma ve Zhang (2004)	0.9547 (0.0071)	2.1317 (0.0044)	-0.3604 (0.0453)	0.8567 (0.0564)						
<b>Karaçam</b>										
Lee ve ark. (2003)					1.8008 (0.0707)	0.8785 (0.0110)	1.7762 (0.1336)	-2.6172 (0.1706)	1.6835 (0.0556)	
Kozak (2004)	1.1608 (0.0652)	0.9382 (0.0192)	0.0295* (0.0298)		0.4244 (0.0287)	-0.1105* (0.1631)	0.4268 (0.0236)	-0.0211 (0.9231)	-0.0225* (0.0096)	0.1476 (0.0572)
Sharma ve Zhang (2004)	0.9850 (0.0100)	2.1377 (0.0066)	-0.4217 (0.0605)	0.686 (0.0714)						

Tablo 4. Test edilen modeller için ölçüt değerleri ve koşul sayıları  
Table 4. Goodness-of-fit statistics and condition number of the models analyzed

Modeller	Gövde Çapı			Boy*			Ticari Hacim			CN
	$R^2$	RMSE	AIC	$R^2$	RMSE	AIC	$R^2$	RMSE	AIC	
<b>Kızılcım</b>										
Lee ve ark. (2003)	0.9936	0.8886	-356	0.9704	0.8852	-311	0.9922	0.0422	-9794	43
Kozak (2004)	0.9940	0.8625	-445	0.9716	0.8676	-402	0.9916	0.0437	-9682	90
Sharma ve Zhang (2004)	0.9923	0.9763	-66	0.9659	0.9509	-136	0.9925	0.0413	-9867	12
<b>Karaçam</b>										
Lee ve ark. (2003)	0.9849	1.3105	567	0.9558	0.9477	-61	0.9842	0.0473	-6269	48
Kozak (2004)	0.9862	1.2581	485	0.9571	0.9348	-117	0.9847	0.0467	-6295	79
Sharma ve Zhang (2004)	0.9849	1.3107	565	0.9567	0.9392	-108	0.9856	0.0451	-6369	13

\*Ağaç Gövdesi üzerindeki herhangi bir çap değeri için boyun matematiksel olarak tahmini için Bisection Yöntemi Kullanılmıştır. Sayısal Çözümler iterasyon yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

Tablo 5. Kızılcım için gövde çapı tahminlerine ilişkin ortalama hata (B) ve tahminlerin standart hatası (SEE) değerlerinin nisbi boy sınıfları itibarıyla dağılımı

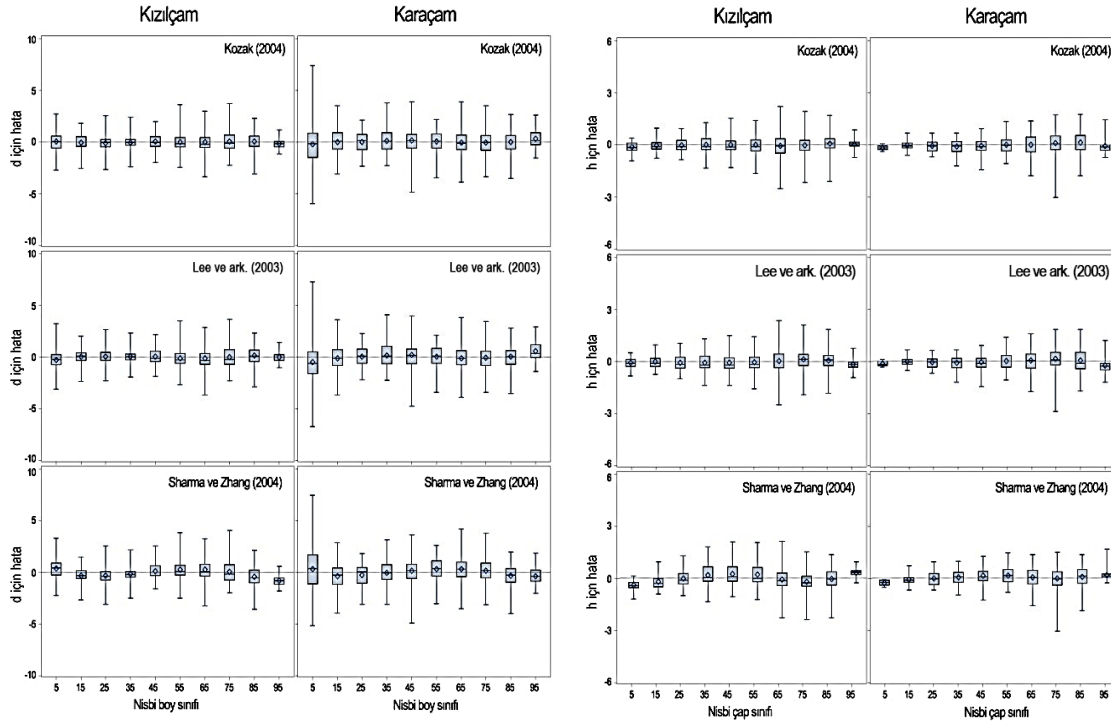
Table 5. Biases (B) and standard errors of estimates (SEE) by relative heights for outside bark diameter estimations for brutian pine

Nisbi Boylar	n	Kozak (2004)				Lee ve ark. (2003)				Sharma ve Zhang (2004)			
		Gövde çapı				Gövde çapı				Gövde çapı			
		B (cm)	%B	SEE (cm)	%SEE	B (cm)	%B	SEE (cm)	%SEE	B (cm)	%B	SEE (cm)	%SEE
0.0-0.1	180	0.2980	0.0873	0.9627	2.8244	-0.2444	-0.7170	1.0158	2.9803	0.3661	1.0740	1.1532	3.3835
0.1-0.2	153	-0.0384	-0.1339	0.8612	3.0054	0.0393	0.1372	0.8669	3.0253	-0.3184	-1.1110	0.9224	3.2187
0.2-0.3	161	-0.0808	-0.3056	0.8560	3.2380	0.0517	0.1955	0.8428	3.1882	-0.3325	-1.2578	0.8904	3.3680
0.3-0.4	163	-0.0330	-0.1402	0.7646	3.2490	0.0638	0.2711	0.7493	3.1839	-0.1831	-0.7780	0.7637	3.2453
0.4-0.5	157	0.0336	0.1596	0.7826	3.7222	0.0375	0.1785	0.7879	3.7471	0.1056	0.5021	0.8042	3.8250
0.5-0.6	160	-0.0146	-0.0781	0.9505	5.0997	-0.0981	-0.5263	0.9775	5.2446	0.2604	1.3971	1.0443	5.6031
0.6-0.7	162	-0.0059	-0.0392	1.0119	6.6741	-0.1233	-0.8135	1.0598	6.9905	0.2638	1.7397	1.1334	7.4756
0.7-0.8	159	0.0664	0.5894	1.0307	9.1539	0.0255	0.2260	1.0562	9.3805	0.0540	0.4794	1.1102	9.8599
0.8-0.9	161	0.0661	0.9636	0.9105	13.2660	0.1763	2.5693	0.9389	13.6803	-0.4072	-5.9333	1.0631	15.4898
0.9-1.0	93	-0.1816	-6.6608	0.5326	19.5396	0.0047	0.1730	0.4908	18.0068	-0.8214	-30.135	1.0174	37.3242
<b>Toplam</b>	<b>1549</b>	<b>-0.0081</b>	<b>-0.0413</b>	<b>0.8625</b>	<b>4.3805</b>	<b>-0.0104</b>	<b>-0.0530</b>	<b>0.8886</b>	<b>4.5128</b>	<b>-0.0637</b>	<b>-0.3233</b>	<b>0.9769</b>	<b>4.9617</b>

Tablo 6. Karaçam için gövde çapı tahminlerine ilişkin ortalama hata (B) ve tahminlerin standart hatası (SEE) değerlerinin nisbi boy sınıfları itibariyle dağılımı

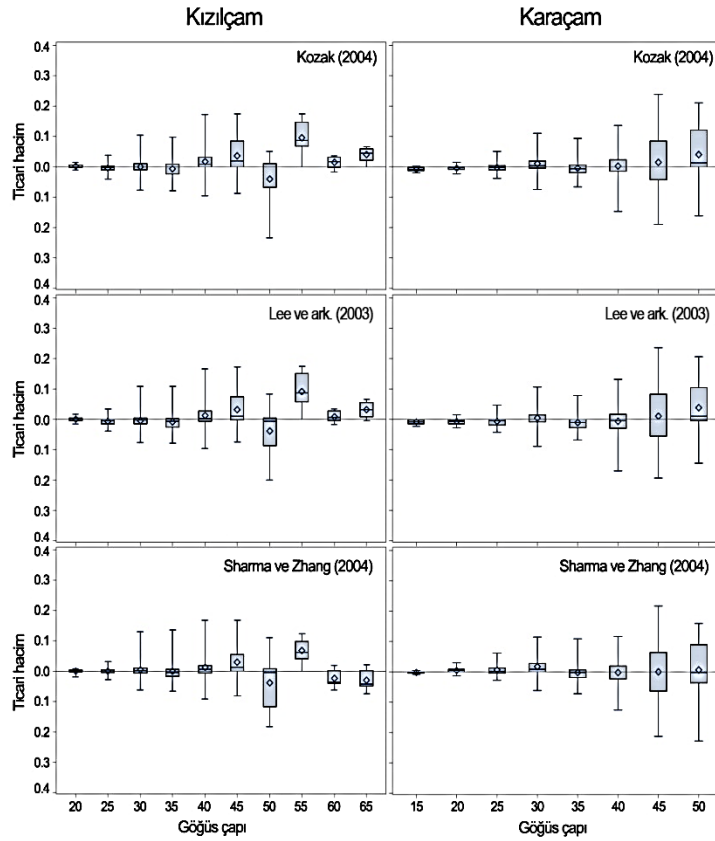
Table 6. Biases (B) and standard errors of estimates (SEE) by relative heights for outside bark diameter estimations for black pine

Nisbi Boylar	n	Kozak (2004)				Lee ve ark. (2003)				Sharma ve Zhang (2004)			
		Gövde çapı				Gövde çapı				Gövde çapı			
		B (cm)	%B	SEE (cm)	%SEE	B (cm)	%B	SEE (cm)	%SEE	B (cm)	%B	SEE (cm)	%SEE
0.0-0.1	136	-0.2239	-0.6430	1.8438	5.2951	-0.4859	-1.3954	1.9812	5.6896	0.3116	0.8948	2.0100	5.7721
0.1-0.2	98	0.0057	0.0206	1.4894	5.3594	-0.1126	-0.4052	1.5410	5.5452	-0.3537	-1.2727	1.4950	5.3798
0.2-0.3	107	0.0042	0.0165	1.0474	4.0920	0.0722	0.2819	1.0633	4.1544	-0.2487	-0.9716	1.1062	4.3220
0.3-0.4	101	0.1130	0.4822	1.3013	5.5557	0.1843	0.7867	1.3225	5.6464	-0.0711	-0.3035	1.2398	5.2930
0.4-0.5	103	0.1525	0.6891	1.2583	5.6861	0.1913	0.8646	1.2511	5.6536	0.1585	0.7164	1.2475	5.6373
0.5-0.6	100	0.0569	0.2888	1.1706	5.9378	0.0586	0.2975	1.1431	5.7982	0.3280	1.6636	1.2182	6.1795
0.6-0.7	106	-0.0752	-0.4450	1.3067	7.7361	-0.1166	-0.6903	1.2867	7.6172	0.3178	1.8815	1.3089	7.7490
0.7-0.8	102	-0.0341	-0.2595	1.1860	9.0174	-0.0726	-0.5519	1.1710	8.9040	0.1735	1.3192	1.1808	8.9782
0.8-0.9	111	-0.0174	-0.2002	1.0677	12.2904	0.0380	0.4370	1.0524	12.1139	-0.3117	-3.5877	1.1453	13.1830
0.9-1.0	65	0.3099	6.3466	1.0859	22.2380	0.5947	12.1783	1.2474	25.5461	-0.3709	-7.5962	0.9960	20.3963
<b>Toplam</b>	<b>1029</b>	<b>0.0098</b>	<b>0.0477</b>	<b>1.2581</b>	<b>6.0982</b>	<b>-0.0020</b>	<b>-0.0099</b>	<b>1.3105</b>	<b>6.3526</b>	<b>0.0153</b>	<b>0.0741</b>	<b>1.3120</b>	<b>6.3595</b>



Şekil 3. Kızılçam ve Karaçam için gövde çapı ve boy tahminlerinde ortaya çıkan hataların nisbi boy sınıflarına dağılımı grafiği. Kare işareti, çap sınıfına ilişkin tahmin hatalarının ortalamasını, Kutular ise, hataların yayılma alanını temsil etmektedir. Yukarı ve aşağı uzanan dikey çizgiler ise, maksimum ve minimum çap ve hacim tahmin hatalarını temsil etmektedir.

Figure 3. Box plots of  $d$  and  $h$  residuals ( $Y$ -axis, cm) against relative height classes ( $X$ -axis, in percent) for brutian pine and black pine. The plus signs represent the mean of prediction errors for the corresponding relative height classes. The boxes represent the interquartile range. The maximum and minimum diameter over bark prediction errors are represented respectively by the upper and lower small horizontal lines crossing the vertical lines.



Şekil 4. Kızılçam ve Karaçam için ticari hacim tahminlerinde ortaya çıkan hataların nispi göğüs çapı değerlerine göre dağılım grafiği. Kare işareti, çap sınıfına ilişkin tahmin hatalarının ortalamasını, Kutular ise, hataların yayılma alanını temsil etmektedir. Yukarı ve aşağı uzanan dikey çizgiler ise, maksimum ve minimum çap ve hacim tahmin hatalarını temsil etmektedir.

Figure 4. Box plots of  $v$  (Y-axis, cm) against diameter classes (X-axis, in percent) for brutian pine and black pine. The plus signs represent the mean of prediction errors for the corresponding relative height classes. The boxes represent the interquartile range. The maximum and minimum diameter over bark prediction errors are represented respectively by the upper and lower small horizontal lines crossing the vertical lines.

Ticari hacim tahminleri açısından dikkat edilmesi gereken diğer önemli bir noktada; Tablo / Table 3’de test edilen üç modelin çap ve boy tahminleri için yapılan karşılaştırmasında Kozak (2004) modeli en başarılı iken, ticari hacim tahminlerinde en başarılı model olarak karşımıza, Sharma ve Zhang (2004) modeli çıkmıştır. Bu farklı durum, Fortin ve ark. (2013) tarafında da izah edilmeye çalışıldığı gibi, ağaç gövdesi üzerinde herhangi bir boy değerindeki göğüs yüzeyinin tahmini için gövde boyunca yapılan çap tahminlerinden yapılan dönüştürme sonucu ortaya çıkmıştır. Hacim tahminlerinde ortaya çıkan bu ilginç durum gövde çapı modelinin seçiminde hem çap tahmini hem de hacim tahmini sonuçlarının birlikte dikkate alınması gerektiğini göstermektedir (Li ve Weiskittel, 2010; Schröder ve ark., 2014).

Eğirdir Yöresi kızılçam ve karaçam meşcereleri için geliştirilen modellerin yöreye uygun olup olmadığı bağımsız bir veri seti kullanılarak da test edilmiştir. Kozak ve Kozak (2003) tarafında da ifade edildiği gibi, geliştirilen bir modelin bağımsız bir veri seti ile test edilmesi önerilmektedir. Modellerin geçerliliğinin testine ilişkin olarak elde edilen sonuçlar Tablo / Table 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Test edilen modellerin bağımsız veri seti kullanılarak testi  
Table 7. Goodness-of-fit statistics for model validation data of tested models

	Gövde Çapı				Ticari Hacim*			
	Ort. Hata	R <sup>2</sup>	RMSE	AIC	Ort. Hata	R <sup>2</sup>	RMSE	AIC
<b>Kızılçam</b>								
<b>Modeller</b>								
Lee ve ark. (2003)	-0.075	0.977	1.627	654	-0.009	0.986	0.048	-4024
Kozak (2004)	-0.096	0.978	1.609	643	-0.007	0.985	0.050	-3986
Sharma ve Zhang (2004)	-0.051	0.972	1.781	774	-0.003	0.988	0.045	-4137
<b>Karaçam</b>								
<b>Modeller</b>								
Lee ve ark. (2003)	0.012	0.970	1.985	739	0.008	0.987	0.053	-3111
Kozak (2004)	0.040	0.972	1.923	709	0.013	0.987	0.053	-3106
Sharma ve Zhang (2004)	0.057	0.972	1.912	699	0.011	0.988	0.050	-3173

\*Ağaç Gövdesi üzerindeki herhangi iki çap değeri arasındaki ticari hacmin hesaplanması için sayısal çözümler iterasyon yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

Kızılçam ve karaçam ağaç türlerinin her ikisi için de; çap tahminlerde en başarılı model Kozak (2004) iken, ticari hacim tahminleri için en başarılı model Sharma ve Zhang (2004) tarafından geliştirilen model olmuştur. Kozak ve Kozak (2003), modelin bağımsız bir veri seti ile geçerliliğinin testi ile elde edilen ekstra bilgilerin, model geliştirme verileri ile elde edilenlere çok az katkısı olduğu ifade etmektedirler.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Lee ve ark. (2003), Kozak (2004) ve Sharma ve Zhang (2004) tarafından geliştirilmiş gövde çapı modelleri kullanılarak, Eğirdir Yöresi kızılçam ve karaçam ağaç türleri için ticari hacim denklemleri geliştirilmiştir. Modellerin geliştirilmesi sırasında ortaya çıkan otokorelasyon ve değişken varyans problemlerinin ortadan kaldırılması için ikinci derece otoregresive hata yapısı CAR(2), çoklu bağıntı probleminin varlığının araştırılması için koşul sayısı (CN) kullanılmıştır.

Modellerin kızılçam ve karaçam türlerine uygunluğu; gövde çapı, ticari boy ve ticari hacim tahminleri açısından değerlendirilmiştir. Farklı ölçüt değerleri kullanılarak yapılan değerlendirmelerde; gövde çapı ve ticari boy tahminleri için en başarılı modelin Kozak (2004), ticari hacim tahminlerinde ise, Sharma ve Zhang (2004) tarafından geliştirilen model olduğu ortaya konmuştur. Bağımsız veri seti kullanılarak yapılan değerlendirmelerde de benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Bu sonuçlar, bir gövde çapı modelinin seçimde, o modelin çap tahminlerindeki başarısı kadar, hacim tahminlerindeki başarısının da dikkate alınması gerektiğini göstermiştir.

Pratik ormancılık çalışmalarında, ağaçların göğüs çaplarının doğru tahmin edilmesinden daha ziyade hacminin doğru tahmin edilmesi önemlidir. Bütün bu değerlendirmeler sonucunda; Eğirdir Yöresi kızılçam ve karaçam meşcereleri için en uygun modelin Sharma ve Zhang (2004) tarafından geliştirilen model olduğu ortaya konmuştur. Ancak, burada yine belirtmek gerekir ki, herhangi bir yöredeki bir ağaç türü için uygun modelin seçilmesinde benzer tahmin başarısına sahip modeller arasından tercih yapılması gerektiğinde, yöntemin pratik olarak uygulanabilmesi ve orman yöneticilerinin tercihleri de önemlidir.

Eğirdir Yöresi kızılçam ve karaçam meşcereleri için geliştirilen ticari hacim denklemleri, ağaç gövdesinin farklı bölümlerine ilişkin hacim hesaplamalarına imkan vermesi nedeniyle, OGM'nin son yıllarda orman ürünleri satışında kullandığı dikili satış yönteminde bir ağaç gövdesinden elde edilebilecek bir ağaç gövdesinden elde edilebilecek farklı ürün çeşitleri ve bunların miktarlarının tahmin edilmesinde de kullanılabilir.

Pek çok araştırmacı tarafından da belirtildiği gibi, gövde şekli ve buna bağlı olarak gövde hacmi, yetişme ortamı, meşcere kapallığı, sıklığı, meşcerelerin bugüne kadar maruz kaldığı silvikültürel olan ya da olmayan müdahale şekilleri gibi pek çok faktöre göre değişiklikler göstermektedir. Bu yüzden herhangi bir

gövde çapı ve gövde hacim modelinin geniş alanlarda kullanılabilmesi için bu faktörleri de dikkate alacak şekilde uygulanması veya daha doğrusu her yöre için geliştirilmesi uygun olacaktır.

### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, SDÜ-Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından BAP-3930-YL1-14 proje numarası ile desteklenmiştir.

### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Anonim, 2012. Forest Resources. The General Directorate of Forests, Ankara, 159 pp.
- Bailey, R.L., 1995. Upper stem volumes from stem analysis data: an overlapping bolts method. *Canadian Journal of Forest Research* 26: 170-173.
- Bario-Anta, M., Dieguez-Aranda, U., Castedo-Dorado, F., Alvarez, J.G., von Gadov, K., 2007. Merchantable volume systems for pedunculate oak in northwestern Spain. *Annals of Forest Science* 64: 511-520. DOI:10.1051/forest/2007028.
- Behre, L., Arnoldsson, G., 2008. Tree taper models for Cupressus lusitanica plantations in Ethiopia. *Southern Forests* 70(3): 193-203. DOI.org./10.2989/SF.2008.70.3.2.663.
- Belsey, D.A., 1991. Conditioning diagnostics, collinearity and weak data in regression, John Wiley and Sons Inc., New York.
- Brooks, J.R., Jiang L., Ozcelik, R., 2008. Compatible stem volume and taper equations for Brutian pine, Cedar of Lebanon, and Cilicica fir in Turkey. *Forest Ecology and Management* 256: 147-151.
- Clark, III A., Souter, R.A., Schlaegel B.E., 1991. Stem profile equations for southern tree species. USDA For. Serv. Res. Pap. SE-282.
- Corral-Rivas, J.J., Diéguez-Aranda, U., Corral, S., Castedo-Dorado, F. 2007. A merchantable volume systems for major pine species in El Salto, Durango (Mexico). *Forest Ecology and Management* 238: 118-129. DOI:10.1016/j.foreco.2006.09.074
- 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: 1-12. DOI:10.1051/forest/2009078
- 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., and Rojo A., 2006. Compatible taper function for Scots pine plantations in Northwest Spain. *Canadian Journal of Forest Research* 36: 1190-1205. DOI:10.1139/X06-008.
- Ercanlı, İ., Kahrıman, A., 2013. Trabzon ve Giresun Orman Bölge Müdürlükleri sınırları içerisinde yer alan Doğu ladini (Picea orientalis (L.) Link) ve sarıçam (Pinus sylvestris L.) karışık meşcereleri için gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin karışık etkili modelleme yaklaşımı ile geliştirilmesi. Ormanlıkta Sektörel Planlamanın 50. Yılı Uluslararası Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s.613-621.
- 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.
- Fortin, M., Schneider, R., Saucier, J.P., 2013. Volume and error variance estimation using integrated stem taper models. *Forest Science* 59: 345-358.

- Garber, S.M., Maguire, D.A., 2003. Modeling stem taper of three central Oregon species using nonlinear mixed-effects models and autoregressive error structures. *Forest Ecology and Management* 179: 507-522.
- Heidarsson, L., Pukkala, T., 2011. Taper functions for lodgepole pine (*Pinus contorta*) and Siberian larch (*Larix sibirica*) in Iceland. *Icelandic Agricultural Sciences* 24: 3-11.
- Jiang, L., Brooks J.R., Wang J., 2005. Compatible taper and volume equations for yellow-poplar in West Virginia. *Forest Ecology and Management* 213: 399-409.
- Jordan, L., Berenhaut, K., Souter, R., Daniels, R.F., 2005. Parsimonious and completely compatible taper, total, and merchantable volume models. *Forest Science* 51: 578-584.
- Kozak, A. 1988. A Variable-Exponent Taper Equation. *Canadian Journal of Forest Research* 18: 1363-1368.
- Kozak, A., 1997. Effects of multicollinearity and autocorrelation on the variable-exponent taper functions. *Canadian Journal of Forest Research* 27: 619-629
- Kozak, A., 2004. My last words on taper equations. *Forest Chronicle* 80, 507-515.
- Kozak, A., Kozak, R.A., 2003. Does cross validation provide additional information in the evaluation of regression models? *Canadian Journal of Forest Research* 33: 976-987. DOI:10.1139/X03-022.
- Kozak, A., Munro, D.O., Smith, J.H.G., 1969. Taper functions and their application in forest inventory. *Forest Chronicle* 45: 278-283.
- Lee, W.K., Seo, J.H., Son, Y.M., Lee K.H., von Gadow, K., 2003. Modeling stem profiles for *Pinus densiflora* in Korea. *Forest Ecology and Management* 172: 69-77.
- LeMay, V.M., Kozak, A., Muhairwe, C.K., Kozak, R., 1993. Factors affecting the performance of Kozak's (1988) variable-exponent taper functions. Proceeding of IUFRO Conference on Modern methods of estimating tree and log volume. West Virginia University.
- Li, R., Weiskittel, A.R., 2010. Comparison of model forma for estimating stem taper and volume in the primary conifer species of the North American Acadian Region. *Annals of Forest Science* 67: 302-317. DOI:10.1051/forest/2009109
- Li, R., Weiskittel, A.R., 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. DOI.org./10.5849/njaf.10-037.
- Max, T.A., Burkhart, H.E., 1976. Segmented polynomial regression applied to taper equations. *Forest Science* 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.
- Myers, R.H., 1990. Classical and modern regression with applications. PWS-KENT, Boston.
- Newnham, R.M., 1988. A Variable form taper function. Information Report PI-X-83. Forestry. Canada. 33 pp.
- Özçelik, R., 2010. Sarıçam İçin Uyumlu Gövde Çapı ve Gövde Hacim Modeli. III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, Bildiriler Kitabı s.358-366, Artvin.
- Özçelik, R., Brooks J.R., Jiang L., 2011. Modeling stem profile of Lebanon cedar, brutian pine, and cilicica fir in southern Turkey using nonlinear mixed-effects models. *European Journal of Forest Research* 130: 613-621.
- Özçelik, R., Brooks, J.R., 2012. Compatible volume and taper models for economically important tree species of Turkey. *Annals of Forest Science* 69: 105-118.

Özçelik, R., Bal, C., 2013. Effects of adding crown variables in stem taper and volume predictions for black pine. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 37: 231-242.

Perez, D.N., Burkhart, H.E., Stiff, C.T., 1990. A variable-form taper function for *Pinus oocarpa* Schiede in central Honduras. *Forest Science* 36: 186-191.

Rojo, A., Perales, X., Sánchez-Rodríguez, F., Álvarez-González, J.G., Gadow, K., 2005. Stem taper functions for maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) in Galicia (Northwestern Spain). *European Journal of Forest Research* 124: 177-186. DOI:10.1007/s10342-005-0066-6.

Sakıcı, O.E., Mısır N., Yavuz H., Mısır M., 2008. Stem taper functions for *Abies nordmanniana* subsp. *bornmulleriana* in Turkey. *Scandinavian Journal of Forest Research* 23: 522-533.

SAS Institute Inc. (2013) Base SAS® 9.4 Procedures Guide, Statistical Procedures. SAS Institute Inc, 2 ed. Cary, North Carolina.

Schröder, T., Arnoni Costa, E., Felipe Valerio, A., Lisboa, G.S., 2014. Taper equations for *Pinus elliottii* Engelm. in Southern Parana, Brazil. *Forest Science* (in press).

Sharma, M., Oderwald, R.G., 2001. Dimensionally compatible volume and taper equations. *Canadian Journal of Forest Research* 31: 797-803.

Sharma, M., Zhang, S.Y., 2004. Variable-exponent taper equations for jack pine, black spruce, and balsam fir in eastern Canada. *Forest Ecology and Management* 198: 39-53.

Sharma, M., Parton, J., 2009. Modeling stand density effects on taper for jack pine and black spruce plantations using dimensional analysis. *Forest Science* 55(3): 268-282.

Trincado, G., Burkhart, H.E., 2006 A generalized approach for modeling and localizing stem profiles curves. *Forest Science* 52: 670-682.

Williams, M.S., Reich, R.M., 1997. Exploring the error structure of taper equations. *Forest Science* 43:378-386.

Yang, Y., Huang, S., Meng, S.X., 2009. Development of a tree-specific stem profile model for white spruce: a nonlinear mixed model approach with a generalized covariance structure. *Forestry* 82(5):541-555

Yavuz, H., Saraçoğlu, N., 1999. Compatible and non-compatible stem taper equations for Alder. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 23: 1275-1282.

Yavuz, H., 1995. Taşkoprü 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.

Zakrzewski, W.T., 1999. A mathematically tractable stem profile model for jack pine in Ontario. *Northern Journal of Applied Forestry* 16: 138-143

Zimmerman, D.L., Nunez-Anton, V., 2001. Parametric modelling of growth curve data: An overview. *Test*, 10: 1-73.