

Antalya Orman Bölge Müdürlüğü'nde yayılış gösteren kızılçam meşcereleri için uyumlu gövde profili denklem sistemlerinin geliştirilmesi

Development of compatible taper and volume equations for calabrian pine in Antalya Regional Directorate

Gökberkhan KUMAŞ, Aydın KAHRİMAN

Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümü, Artvin, Türkiye

Eser Bilgisi

Araştırma makalesi

DOI: 10.17474/acuofd.13340

Sorumlu yazar: Aydın KAHRİMAN

e-mail: kahramanaydin@artvin.edu.tr

Geliş tarihi: 05.01.2016

Düzeltilme tarihi: 25.03.2016

Kabul tarihi: 28.03.2016

Anahtar kelimeler:

Kızılçam

Uyumlu gövde profili modelleri

Ağaç hacmi

Doğrusal olmayan regresyon analizi

Keywords:

Calabrian pine

Compatible stem taper models

Tree volume

Nonlinear regression analysis

Özet

Bu çalışmada, Antalya Orman Bölge Müdürlüğü'nde yayılış gösteren Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ağaçları için Demaerschalk (1972), Demaerschalk (1973), Bruce ve ark. (1968), Max ve Burkhart (1976), Parresol ve ark. (1987), Jiang ve ark. (2005) ve Cao ve ark., (1980) denklemleri kullanılarak uyumlu gövde çapı ve gövde hacim modelleri geliştirilmiş ve bu denklemlerin başarı durumları karşılaştırılmıştır. Modeller arasında gövde çapı tahminlerinde en başarılı model Jiang ve ark. (2005) tarafından geliştirilen model olurken, gövde hacim tahminleri için en başarılı model ise Demaerschalk (1972) tarafından geliştirilen model olmuştur. Jiang ve ark. (2005) tarafından geliştirilen gövde çapı modelinin belirtme katsayısı 0.977 iken Demaerschalk (1972) tarafından geliştirilen gövde hacim modelinin belirtme katsayısı ise 0.969'dur. Bu çalışmada Demaerschalk (1972) modelini esas alarak geliştirilen ağaç hacim modeli, Uğurlu ve Özer (1979) ve Çatal (2009) tarafından geliştirilen çift girişli ağaç hacim denklemlerine oranla daha başarılı, Alemdağ (1962) ve Sun ve ark. (1978) tarafından geliştirilen hacim denklemlerine oranla daha kötü hacim tahminleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar uygun bulunan modellerin, verilerin sağlandığı Antalya ili için kullanılabilir nitelikte olduğunu göstermiştir.

Abstract

The compatible taper and volume equations were developed by using Demaerschalk, (1972), Demaerschalk, (1973), Bruce et al. (1968), Max and Burkhart (1976), Parresol et al. (1987), Jiang et al. (2005) and Cao et al. (1980) equations for Calabrian Pine (*Pinus brutia* Ten.) trees located in Antalya Forest District Directorate, and these models' fitting results were compared. The proposed models generally performed better for tree diameter and tree volume. Results show that the Jiang et al. (2005) taper equation was superior to the other equations in predicting diameter, while the Demaerschalk (1972) taper model provided the best predictions for tree volume than the other models. The coefficient of the determination of the stem profile equation is 0.977, while the coefficient of the determination of the stem volume equation is 0.969. In this study, the volume equation based on Demaerschalk (1972)'s equation produced better predictive volume predictions than Uğurlu and Özer (1979) and Çatal (2009)'s double entry volume equation and tables. The results obtained have shown that the models formulated can be used to predict stem taper and stem volume of Calabrian Pine trees in Antalya where the data were gathered.

GİRİŞ

Ülkemiz ormanları orman amenajman planlarına göre işletilmekte olup, özellikle ormanlardan elde edilecek servetin büyük bir kısmını ağaç serveti oluşturmaktadır (Yavuz 1999; Kapucu 2004). Bu bakımdan, orman amenajman planlarının düzenlenmesinde, özellikle meşcere hacminin tahmin edilmesi büyük bir önem taşımaktadır. Meşcere hacminin tahmin edilmesinde birçok farklı yöntem olmasına karşın, pratik olmaları ile ağaç hacim denklemleri ve tabloları yöntemi daha çok tercih edilmektedir (Kalıpsız 1984). Bununla birlikte, ağaç hacim denklemleri tek ağaçların toplam gövde hacimlerinden gidilerek meşcerenin hektardaki hacim

miktarını vermekte olup, ağaç gövdelerinden üretilebilecek tomruk, maden direği ve sanayi odunu gibi odun çeşitlerinin miktarları konusunda herhangi bir tahmin olanağı sunamamaktadırlar (Sakıcı 2002; Meydan-Aktürk 2006; Özçelik ve ark. 2012).

Bu bağlamda gövde çapı ve gövde hacim denklemleri ile ağaç gövdesi üzerindeki herhangi bir yükseklik veya çapa kadar olan kısmına kadar veya gövde üzerinde belirlenen herhangi iki yükseklik ya da çap değerleri arasında kalan kısmının ayrıntılı hacim tahminleri yapılabilmektedir (Yavuz 1995). Diğer bir ifadeyle, gövde çapı ve hacim denklemleri yardımıyla ağaç gövdelerinden üretilebilecek tomruk, maden direği ve sanayi odunu gibi odun

çeşitlerinin miktarları belirlenebilmektedir. Larson (1963)'a göre meşçere sıklığı, taç sınıfı, yetiştirme ortamı verim gücü, ağaçların genetik özellikleri, aralama ve budama ağaçların gövde formunun şekillenmesinde en önemli faktörlerdir. Ülkemiz ekonomisi açısından önemli olan Kızılçam ağacının gövde çapı ve modellerinin doğru bir şekilde ortaya konulması önem arz etmektedir.

Ormanlıkta ağaçların gövde şekli üzerine ilk çalışma 1903 yılında Avrupa ladini ağaç türünde Hojer (1903) tarafından yapılmıştır. 1960'lı yılların sonlarına doğru istatistiksel anlamda ilk gövde profili modelleri geliştirilmeye başlanmıştır (Cao ve ark. 1980). Bu modeller en basit gövde profili modelleri olup Basit-Tek Gövde Profili Modeli (Simple Taper Model) olarak adlandırılmaktadır. Bu modeller, göğüs çapı (D) ve ağaç boyunun (H) fonksiyonu olarak yerden belirli bir yükseklikteki (hi) gövde çaplarını (di) belirlemeye yarayan modeller biçiminde olup, gövdenin tamamı için ortalama bir şekil katsayısı değeri vermektedirler (Kozak ve ark. 1969). Daha sonra gövde çaplarını daha doğru bir şekilde tahmin eden Parçalı Gövde Profili Modelleri (Segmented Taper Model) geliştirilmiştir. Gövde modellerinin tamamı yerine bu şekil farklılıkları gösteren her bir bölüm için ayrı bir polinom oluşturan ve bu polinomları bir modelde birleştiren gövde çapı modelleri, istatistiksel olarak oldukça başarılı sonuçlar sunmuşlardır. Daha sonraki yıllarda ise Değişken-Şekil Gövde Çapı Modelleri (Variable Exponent Stem Profile Equation) kullanılarak gövde çapları ve gövde tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu modeller göğüs çapı ve ağaç boyu ile gövde eğrisinin değişim gösterdiği oransal boy değeri ve bunlardan türetilen pek çok bağımsız değişkenin fonksiyonu olarak oluşturulmuştur. Bununla birlikte, bu modellerin gövde üzerindeki farklı şekillerin hacim hesaplamalarında birleştirilememesi ve en yüksekteki çap değeri için ticari boyun doğrudan hesaplanamayıp, bir iterasyon ile hesaplanmasının gerekli olması gibi bazı olumsuz yönleri de bulunmaktadır (Özçelik ve Alkan 2011; Özçelik ve ark. 2012; Atalay 2014).

Ülkemizde farklı araştırmacılar tarafından çeşitli gövde çapı modelleri geliştirilmiştir: Yavuz (1995), Yavuz ve Saraçoğlu (1999), Sakıcı (2002), Meydan-Aktürk (2006), Brooks ve ark. (2008), Sakıcı ve ark. (2008), Özçelik (2010), Özçelik

ve Alkan (2011), Özçelik ve ark. (2011), Özçelik ve Brooks (2012), Özçelik ve ark. (2012), Bal (2012), Şahin (2012), Ercanlı ve Kahrıman (2013), Atalay (2014), Ercanlı vd. (2014), Kurt (2014), Karaer (2015).

Bu çalışmada, Antalya Orman Bölge Müdürlüğü'nde yayılış gösteren Kızılçam ağaçları için ayrıntılı hacim tahminlerine imkân tanıyan uyumlu gövde çapı ve gövde hacim modellerinin geliştirilmesi, geliştirilecek uyumlu gövde çapı ve gövde hacim modelleri ile çalışma alanı için geçerli olabilecek çift girişli ağaç hacim denklemleri ve tablolarının geliştirilmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Materyal

Bu çalışmada, araştırma materyali olarak "Antalya ve Mersin Yöresi Saf Kızılçam Meşcerelerinde Hasılat Araştırmaları" adlı ve "1120808" nolu TÜBİTAK Projesi verilerinin bir kısmı kullanılmıştır. Bu bağlamda, Antalya Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde yer alan eşityaşlı ve saf Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinden kesilen 216 adet örnek ağaçtan elde edilen veriler kullanılmıştır (Kumaş 2016).

Çalışma kapsamında kesilen örnek ağaçlar proje kapsamında alınan örnek alanların göğüs yüzeyi orta ağacını temsil eden ağaçlardan seçilmiştir. Örnek ağaçların kesildiği bu örnek alanların seçiminde de Antalya Bölge Müdürlüğü kapsamındaki meşcerelerin yaş sınıfı, bonitet sınıfı ve sıklık derecelerine göre dağılımı dikkate alınmıştır. Özellikle bu çalışma kapsamında, elde edilen 216 adet ağaç, çalışma alanında gözlemlenen hacim gelişimindeki değişkenliği en iyi bir şekilde temsil edecek özelliklere sahip olmasına dikkat edilerek seçilmiştir. Özellikle alınan örnek ağaçların; kusurlu (tepe kırıklığı, çatallılık, kurumuş) ve bozuk tepeli olmamasına, böcek tahribatına uğramamış, mantar zararı ve özellikle çeşitli nedenlerle yaralanıp dip çürüklüğü olmayan bir özellik taşımasına özen gösterilmiştir.

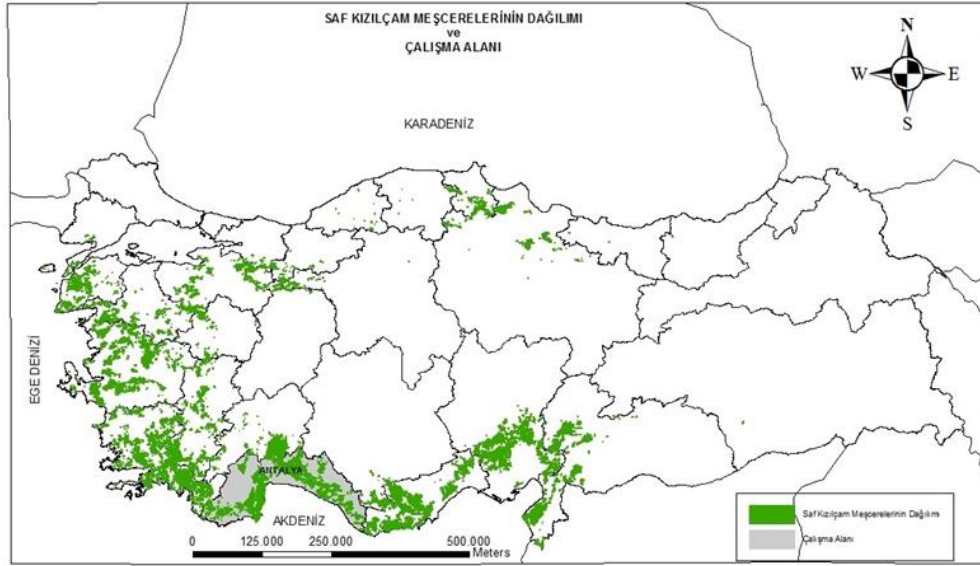
Antalya Türkiye'nin güneybatısında 29°20'-32°35' doğu boylamları ile 36°07'-37°29' kuzey enlemleri arasında kalmaktadır. Kuzeyinde denize paralel uzanan Toroslar, güneyinde, Akdeniz, batısında Muğla, doğusunda ise Mersin, Konya, Karaman, kuzeyinde Isparta, Burdur yer

bulunmaktadır. Şehrin 1.164.425 (%55) hektarı ormanlık alan, 946.572 (%45) hektarı açık alanlardan oluşmaktadır. Ormanlık alanın 641.837 hektarı verimli orman, 522.588 hektarı bozuk ormandır. Antalya Orman Bölge Müdürlüğü ülkemiz ormanlarının %5,4' ünü oluşturmaktadır (Anonim 2012).

Kızılcım (*Pinus brutia* Ten.)'in yayılış alanı, artım ve büyüme özellikleri, yarattığı ekonomik değer dolayısıyla ülkemizin en önemli asli orman ağacı türlerinden biri olmasından dolayı araştırmaya konu ağaç türü olarak seçilmiştir. Kızılcım meşcerelerinin Antalya sınırları içerisinde kapladığı 430279,1 ha'lık alan ile Kızılcım meşcerelerinin ülkemizdeki yayılışının yaklaşık %8'ini temsil etmesinden dolayı çalışma alanı olarak Antalya

seçilmiştir. Kızılcım'ın ülkemizdeki yayılış alanları ve çalışma alanı Şekil 1'de verilmiştir.

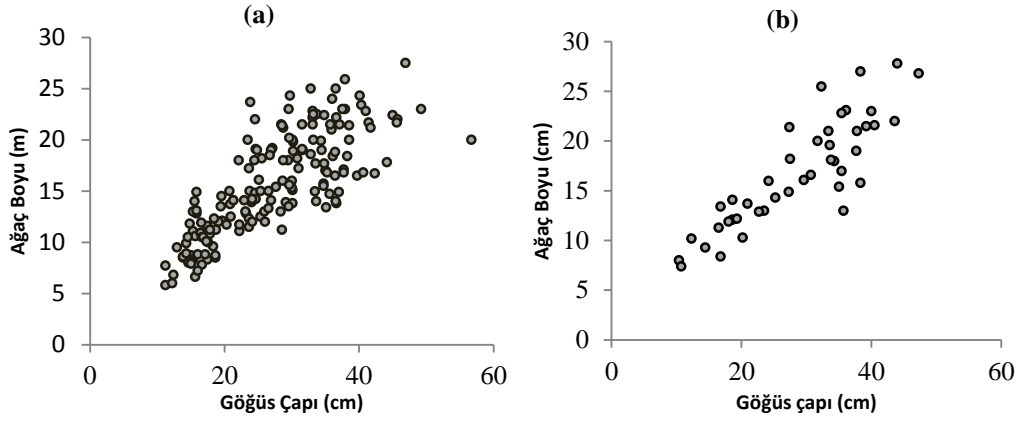
Çalışma kapsamındaki örnek ağaçlar dip kütük yüksekliğinden (0.3 m) kesilerek, ilk olarak dip kütük çapları ($d_{0,30}$) ölçülmüş, sonra göğüs yüksekliği çapı ($d_{1,30}$) ölçülmüş ve daha sonrada sırasıyla 1.3, 2.3, 3.3, ... metrelerde 1'er metre ara ile mümkün olduğunca düzenli bir şekilde çap ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca ağaçların toplam boy değerleri de çelik şerit metre ile ölçülmüştür. Çalışmada kullanılan bu 216 adet örnek ağaçta, toplam 3448 adet çap ölçümü yapılmıştır. Bu ölçümler yapılırken, eğer ağaç gövdesi daire biçimli olmayıp bozuk şekilli ise; gövde kesimine dik iki yönde çap ölçümü yapıp, iki ölçümün ortalaması alınmıştır.



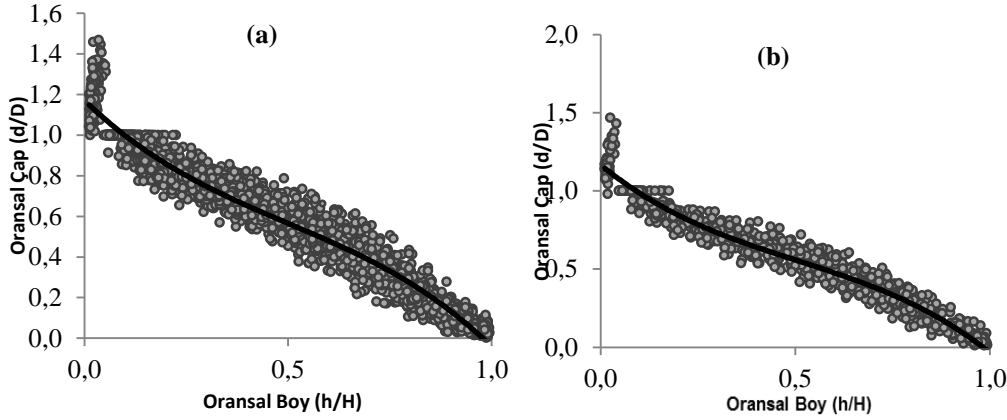
Şekil 1. Saf Kızılcım Meşcerelerinin Dağılımı ve Çalışma Alanı

Çalışmada kullanılan veriler; gövde hacim modellerinin parametrelerinin tahmininde ve bu modellerin meşcereye uygunluğunun denetiminde kullanılan veriler olmak üzere rastgele olarak iki gruba ayrılmıştır. Toplam verinin yaklaşık % 80'i (n=173) model verisi olacak şekilde I. grupta ve yaklaşık % 20'si (n=43) ise kontrol verisi olacak şekilde II. grupta yer almaktadır. Şekil 2'de, gövde çapı

denkleminin oluşturulmasında (I.) ve denetiminde (II.) kullanılan veri gruplarına ilişkin göğüs çapı-boy ilişkisi verilmiştir. Şekil 3'de ise, farklı gövde yüksekliklerinde ölçülen çap değerlerinin göğüs çapına oranı şeklinde hesaplanan oransal çapların, ölçüm yüksekliğinin ağaçların boyuna oranı şeklinde hesaplanan oransal boy değerlerine dağılımı verilmiştir.



Şekil 2. Modellerin oluşturulmasında (a) ve denetiminde (b) kullanılan verilerin çap-boy ilişkisi



Şekil 3. Modellerin oluşturulmasında (a) ve denetiminde (b) kullanılan verilerin oransal çap değerlerinin oransal boy değerlerine dağılımı

Yöntem

Bu çalışma kapsamında diğer çalışmalarda da yaygın bir kullanımı olan üç adedi Basit Gövde Profili Modeli (Model 1 Bruce ve ark. 1968; Model 2 Demaerschalk 1972, Model 3 Demaerschalk 1973) ve dört adedi Parçalı Gövde Profili Modeli (Model 4 Max ve Burkhardt 1976; Model 5 Cao ve

ark. 1980; Model 6 Parresol ve ark. 1987; Model 7 Jiang ve ark. 2005) olmak üzere yedi adet gövde çapı ve gövde hacim modeli kullanılmıştır. Kullanılacak modellerin tümü uyumlu gövde profili modelleridir. Çalışmada kullanılacak 7 farklı gövde çapı ve gövde hacim modeline ilişkin denklemler aşağıda verilmiştir.

$$\text{Model 1} \quad d = b_1 D^{b_2} (H - h)^{b_3} H^{b_4} \quad (1)$$

$$\text{Model 2} \quad d^2 = b_1 D^2 [(H - h)^{b_2} / (b_3 H^{b_2+1} + b_4 H^{b_2})] \quad (2)$$

$$\text{Model 3} \quad \left(\frac{d}{D}\right)^2 = \left(\frac{b_1 X^{1,5}}{10}\right) + \left(\frac{b_2 (X^{1,5} - X^3) D}{10^2}\right) + \left(\frac{b_3 (X^{1,5} - X^3) H}{10^3}\right) + \left(\frac{b_4 (X^{1,5} - X^{32}) H D}{10^5}\right) + \left(\frac{b_5 (X^{1,5} - X^{32}) \sqrt{H}}{10^3}\right) + \left(\frac{b_6 (X^{1,5} - X^{40}) H^2}{10^6}\right) \quad (3)$$

$$\text{Model 4} \quad \frac{d^2}{D^2} = [b_1 (Z - 1) + b_2 ((Z)^2 - 1) + b_3 (a_1 - Z)^2 I_1 + b_4 (a_2 - Z)^2 I_2] \quad (4)$$

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

$$\text{Model 5} \quad \frac{d^2}{D^2} = Z_i^2(b_1 - b_2 z_1) + (z_i - a)^2[b_3 + b_4(z_i + 2a)]I \quad (5)$$

$$Z = \frac{H-h}{H} \quad I = \begin{cases} 1 & \text{\textit{Şayet}} Z \geq a_1 \\ 0 & \text{\textit{Şayet}} Z < a_1 \end{cases}$$

$$\text{Model 6} \quad d = \left\{ \begin{array}{l} I_S \left[D^2 \left(1 + \frac{\left(1 - \frac{h}{H}\right)^{b_1} - \left(1 - \frac{1,30}{H}\right)^{b_1}}{1 - \left(1 - \frac{1,30}{H}\right)^{b_1}} \right) \right] \\ + I_B \left[D^2 - \frac{(D^2 - F^2) \left(\left(1 - \frac{1,30}{H}\right)^{b_2} - \left(1 - \frac{h}{H}\right)^{b_2} \right)}{\left(1 - \frac{1,30}{H}\right)^{b_2} - \left(1 - \frac{5,30}{H}\right)^{b_2}} \right] \\ + I_T \left[F^2 \left(\left(\frac{h - 5,30}{H - 5,30} - 1 \right)^2 + I_M \left(\frac{1 - b_4}{b_3^2} \right) \left(b_3 - \frac{h - 5,30}{H - 5,30} \right)^2 \right) \right] \end{array} \right\}^{0,5} \quad (6)$$

$$I_S = \begin{cases} 1 & h < 1,30 \\ 0 & \text{\textit{Diğer}} \end{cases}$$

$$I_B = \begin{cases} 1 & 1,30 \leq h < 5,30 \\ 0 & \text{\textit{Diğer}} \end{cases}$$

$$I_T = \begin{cases} 1 & h < 5,30 \\ 0 & \text{\textit{Diğer}} \end{cases}$$

$$I_M = \begin{cases} 1 & h < (5,30 + b_3(H - 5,30)) \\ 0 & \text{\textit{Diğer}} \end{cases}$$

$$\text{Model 7} \quad \frac{d^2}{D^2} = \frac{c_0}{k} [2Z + b_1(3Z^2 - 2Z) + b_2(Z - a_1)^2 I_1 + b_3(Z - a_2)^2 I_2] \quad (7)$$

$$Z = \frac{H-h}{H} \quad i = \begin{cases} 1 & \text{\textit{Şayet}} Z_i \geq a_i \\ 0 & \text{\textit{Şayet}} Z_i < a_i \end{cases} \quad i = 1,2$$

Bu modellerde; H = Toplam ağaç boyu (m), D = Kabuklu göğüs çapı (cm), h = Ölçüm noktasının yerden yüksekliği (m), d = h yüksekliğindeki kabuklu göğüs çapı (cm), $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, c_0$ = regresyon katsayılarını, a, a_1, a_2 = örnek ağaçlardan tahmin edilen katılma noktalarını, k=çapın kesit yüzeyine çevrilmesi için kullanılan sabit bir katsayıyı (0.0000785) göstermektedir.

Bu çalışmada; kızılçam için geliştirilen gövde çapı ve gövde hacmi modellerinin tahmin performanslarını

değerlendirmek amacıyla, Düzeltilmiş Belirtme Katsayısı (R^2), Tahminin Standart Hatası ($S_{y,x}$), Ortalama Hata (\bar{D}), Ortalama Mutlak Hata ($|\bar{D}|$), Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi (%OMH) ve Toplam Hata Yüzdesi (%TH) ölçütleri kullanılmıştır. Bu ölçüt değerlerinden Tahminin Standart Hatası, Ortalama Hata, Ortalama Mutlak Hata, Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi ve Toplam Hata Yüzdesi değerlerinin küçük, belirtme katsayısı değerlerinin ise olabildiğince büyük ve 1'e yakın olması istenilmektedir (Castedo-Dorado ve ark. 2006). Bu istatistiki değerlere ilişkin formüller aşağıda verilmiştir;

$$\text{Belirtme Katsayısı} \quad R_d^2 = 1 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 (n-1) \right)}{\left(\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2 (n-p) \right)} \quad (8)$$

$$\text{Tahminin Standart Hatası} \quad S_{y,x} = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-p}} \quad (9)$$

$$\text{Ortalama Hata} \quad \bar{D} = \frac{(\sum D)}{n} = \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)}{n} \quad (10)$$

$$\text{Ortalama Mutlak Hata} \quad |\bar{D}| = \frac{(\sum |D|)}{n} = \frac{\sum |y_i - \hat{y}_i|}{n} \quad (11)$$

$$\text{Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi} \quad \%OMH = \left(\frac{\sum |V_i - \hat{V}_i|}{\sum V_i} \right) \times 100 \quad (12)$$

$$\text{Toplam Hata Yüzdesi} \quad \%TH = \frac{\sum (V_i - \hat{V}_i)}{\sum V_i} \times 100 \quad (13)$$

Burada, n: veri sayısını, p: parametre sayısını, y_i : ölçülen değeri, \hat{y}_i : model ile tahmin edilen değeri, V_i : ölçülen hacim değerini, \hat{V}_i : model ile tahmin edilen hacim değerini göstermektedir.

Çalışma kapsamında kullanılan gövde çapı ve gövde hacmi modellerinin parametre tahminleri ile çeşitli istatistiksel başarı ölçütlerinin belirlenmesinde, SAS İstatistik Paket Programındaki PROC MODEL prosedürü kullanılmıştır (SAS Institute Inc. 2004).

En başarılı olarak belirlenen denkleme ilişkin tahminlerin doğruluğu ve tutarlılığı, denklemin oluşturulmasında kullanılmayan bağımsız veriler ile denetlenmiştir. Bunun için, toplam verinin yaklaşık %20'sini oluşturan 43 adet örnek ağaç kullanılmıştır. Özellikle denklemlerin

oluşturulmasında kullanılmamış olan 43 adet ağaca ilişkin arazide ölçülen çap değerleri ile denklem kullanılarak tahmin edilen çap değerleri hem grafiksel olarak karşılaştırılmış hem de geliştirilen denklemin istatistiksel olarak uygunluğu "Eşlendirilmiş İki Örnek Testi (Paired samples t test)" ile analiz edilmiştir. Ayrıca bu veriler, gövde çapını esas alan hacim formüllerine ilişkin hacim tahminlerinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

BULGULAR ve TARTIŞMA

216 örnek ağaca ilişkin kütük ve göğüs çapı, boy ve yaş özelliklerinin minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma gibi çeşitli istatistiksel bilgileri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Gövde çapı ve gövde hacim modellerinin geliştirilmesi ve test edilmesi için kullanılan verilere ilişkin istatistiksel değerler

Veri Tipi	Özellik	Ortalama	Minimum	Maksimum	Standart Sapma
Model Verileri (173 Ağaç)	Kütük çapı (cm)	31.7	14.7	61.0	9.4
	Göğüs Çapı (cm)	27.1	11.2	56.3	9.2
	Boy (m)	15.6	5.8	27.5	4.9
	Yaş (Yıl)	56.1	12.0	130.0	30.3
Kontrol Verileri (43 ağaç)	Kütük çapı (cm)	34.4	13.5	57.8	10.6
	Göğüs Çapı (cm)	28.7	10.4	47.3	9.9
	Boy (m)	16.9	7.4	27.8	5.4
	Yaş (Yıl)	62.6	16.0	137.0	36.1

Bu çalışmada basit ve parçalı gövde çapı modelleri ayrı olacak şekilde kullanılan 7 farklı modele ilişkin parametre tahminleri, standart hata değerleri, t-hesap değerleri ile önem düzeyleri ve çeşitli model başarı ölçüt değerleri, Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'nin incelenmesinde de görüleceği gibi, gövde çapı tahminlerindeki varyansın % 97.7'sini Jiang ve ark. (2005) modeli, % 96.4'ünü Demaerschalk (1972) modeli, % 95.1'ini Bruce ve ark. (1968) modeli, % 95.0'ünü Demaerschalk (1973) modeli, %

93.8'ini Parresol ve ark. (1987) modeli, 93.7'ini Max ve Burkhart (1976) modeli ve % 84.0'ünü ise Cao ve ark. (1980) modeli tarafından açıklanmaktadır. Gövde çapı denklemlerinin belirtme katsayıları (R^2) 0.840-0.977 arasında değişmektedir. Denklemlerin standart hataları ($S_{y,x}$) 1.6302-4.0094, ortalama hataları (\bar{D}) -0.0347-0.8135 ve ortalama mutlak hataları ($|\bar{D}|$) ise 1.0748-3.0598 arasında değişmektedir (Tablo 2). Bütün bu model başarı ölçüt değerleri değerlendirildiğinde; Jiang ve ark.

(2005) tarafından geliştirilen Model 6'nın gövde çapı denkleminin, Kızılçam'ın gövde çapı gelişimini modellemede en başarılı model olduğu belirlenmiştir. Jiang ve ark. (2005) denkleminde bağımsız değişken olan 5.30 metre yüksekliğindeki çap değerinin, göğüs çapına ve boy değerine göre tahmin denklemi aşağıda verilmiştir.

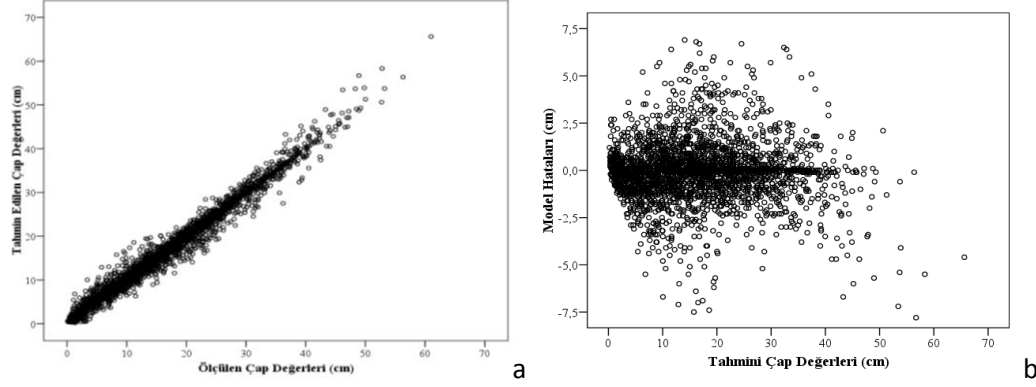
$$F_{d5.3} = d_{1.3} \left(0.840 + \left(-1.067 \frac{5.27}{H} \right)^2 \right) (14)$$

Bu denklemde tüm parametreler, $p < 0.0001$ önem düzeyinde anlamlı bulunmuş olup, modelin belirtme katsayısı (R^2) ise; 0.963, standart hatası ($S_{y,x}$) 1.616 cm, ortalama hatası (\bar{D}) -0.053 cm, ortalama mutlak hatası ($|\bar{D}|$) 1.269 cm olarak elde edilmiştir.

Tablo 2. Gövde çapı modelleri için parametre tahminleri ile çeşitli model başarı ölçütleri

Parametre	Tahmin	Standart Hata	t Değeri	P>t	R^2	$S_{y,x}$	\bar{D}	$ \bar{D} $
b ₁	1.255201	0.0388	37.15	<0.0001				
b ₂	1.034219	0.0102	101.64	<0.0001				
b ₃	0.877931	0.0054	162.49	<0.0001	0.964	2.0375	-0.0347	1.4777
b ₄	-0.976290	0.0124	-78.63	<0.0001				
b ₁	10.07881	1.4131	7.13	<0.0001				
b ₂	1.771798	0.0147	120.55	<0.0001				
b ₃	7.54E-12	3E-11	0.25	0.8013	0.950	2.0584	-0.0379	1.4941
b ₄	8.642622	1.2526	6.90	<0.0001				
b ₁	9.643873	0.0446	216.03	<0.0001				
b ₂	0.856788	0.1715	5.00	<0.0001				
b ₃	-23.8565	2.9339	-8.13	<0.0001				
b ₄	-0.67184	0.0549	-12.25	<0.0001	0.951	1.9996	-0.1803	1.4962
b ₅	5.555952	0.6105	9.10	<0.0001				
b ₆	-61.8886	10.821	-5.72	<0.0001				
b ₁	0.200693	0.2170	0.92	0.3552				
b ₂	-0.26938	0.1226	-2.20	0.0281				
b ₃	1.071681	0.1286	8.33	<0.0001				
b ₄	17.6192	2.1152	8.33	<0.0001	0.937	2.0397	-0.3066	1.5258
a ₁	0.963844	0.0204	47.23	<0.0001				
a ₂	0.160316	0.00838	19.14	<0.0001				
b ₁	1.741405	0.0332	52.47	<0.0001				
b ₂	0.792203	0.0439	18.03	<0.0001				
b ₃	1976.316	198.1	9.97	<0.0001	0.938	1.9273	-0.0525	1.4218
b ₄	-711.226	71.9096	-9.89	<0.0001				
a ₁	0.872353	0.00152	575.4	<0.0001				
b ₁	66.81693	1.9969	33.46	<0.0001				
b ₂	3.679618	0.2049	17.96	<0.0001				
b ₃	0.623632	0.0123	50.56	<0.0001	0.977	1.6302	-0.0666	1.0748
b ₄	1.587315	0.0200	79.20	<0.0001				
b ₁	-0.311131	0.00342	-91.04	<0.0001				
b ₂	10.08394	0.3052	33.04	<0.0001				
b ₃	2.557877	0.2116	12.09	<0.0001				
c ₀	0.000035	7.07E-7	49.99	<0.0001	0.840	4.0094	-0.8135	3.0598
a ₁	0.535371	0.00287	186.7	<0.0001				
a ₂	0.317136	0.0197	16.08	<0.0001				

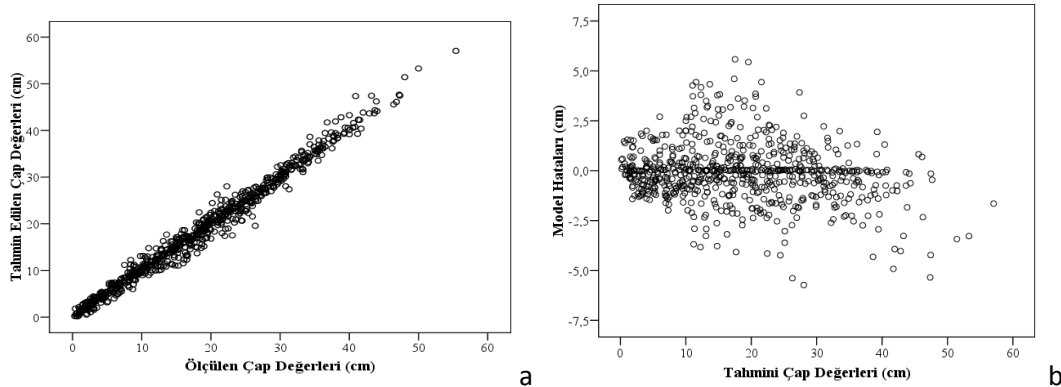
Çalışma kapsamında gövde çapı gelişimini modellemede en başarılı modelin (Jiang ve ark. 2005) tahmin değerleri ile arazide ölçülen çap değerleri arasındaki ilişki, Şekil 4a'da verilmiştir. Şekil 4b'de ise, modele ilişkin hataların tahmin değerlerine göre değişimleri verilmiştir. Bu şekiller



Şekil 4. Jiang ve ark. (2005) modelinin oluşturulmasında kullanılan veriler için elde edilen tahmin değerlerinin arazide ölçülen çap değerlerine göre (a) ve model hatalarının tahmin edilen çap değerleri göre (b) değişimi

Jiang ve ark. (2005)'in denklemine ilişkin tahminlerin doğruluğu ve tutarlılığı, denklemin oluşturulmasında kullanılmamış olan bağımsız bir veri grubu ile de denetlenmiştir. Bunun için toplam verinin yaklaşık %20'sini oluşturan 43 adet ağaca ilişkin arazide ölçülen çap değerleri ile denklem kullanılarak tahmin edilen çap değerlerinin değişimi, Şekil 5a'da ve model hataları ile tahmin değerlerinin değişimi ise Şekil 5b'de verilmiştir. Modelde yapılan karşılaştırmada varyansların homojen olduğu (Jiang modeli için; $F=0.144$, $p=0.704$) belirlenmiştir. Modellerin grup varyansları homojen olduğundan parametrik testlerden "Eşlendirilmiş İki

Örnek Testi (Paired samples t test)" kullanılarak tahmini ve ölçülen çap artımları karşılaştırılmıştır. Geliştirilen denklemin denetlenmesinde kullanılan t testinde, veri sayısı $n=718$ olup, ortalama fark $=-0.10171$, farka ilişkin standart sapma $=1.49211$, t hesap değeri $=-1.827$, $p=0.068$ olarak hesaplandığından, arazide ölçülen gerçek çap değerleri ile geliştirilen denklem ile bu ağaçlar için tahmin edilen çap değerleri arasında $p>0.05$ önem düzeyi ile bir farklılık belirlenmemiştir. Bu bakımdan, bu çalışma kapsamında oluşturulan gövde çapı denkleminin, örnek ağaçların seçildiği alanlar için kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.



Şekil 5. Bağımsız veri grubuna ilişkin model tahmin değerlerinin arazide ölçülen çap değerlerine göre (a) ve model hatalarının tahmin değerlerine göre (b) değişimi

Kızılcam ağaç türü için dört farklı (Model 1 Demaerschalk (1972); Model 5 Parresol ve ark. (1987); Model 6 Jiang ve ark. (2005); Model 7 Cao ve ark. (1980)) gövde çapı

modelinden geliştirilen gövde hacim modellerinin çeşitli model başarı ölçüt değerleri Tablo 3'de verilmiştir. Tablo 3'de de görüleceği üzere, geliştirilen dört gövde hacim

modeli arasından 1 nolu model (Demaerschalk 1972) tahminin standart hatası, ortalama hata ve ortalama mutlak hata ölçütlerine göre, Kızılcım'ın gövde hacmini modellemede en başarılı model olduğu belirlenmiştir. Demaerschalk (1972) tarafından geliştirilen modelin tahminin standart hatası 0.0728 m³, ortalama hatası 0.0069 m³ ve ortalama mutlak hatası ise 0.0409 m³'dür.

Tablo 3. Toplam gövde hacmi için dört farklı gövde hacmi modelinin çeşitli başarı ölçütleri

Modeller	Tahminin standart hatası $S_{y,x}$	Ortalama hata (\bar{D})	Ortalama mutlak hata $ \bar{D} $
Demaerschalk (1972)	0.0728	0.0069	0.0409
Parresol ve ark. (1987)	0.4423	0.3308	0.3308
Jiang ve ark. (2005)	0.8335	-0.5544	0.5546
Cao ve ark. (1980)	0.4731	-0.3485	0.3497

Demaerschalk (1972) gövde çapı modelinin (Model 1) integrali alındığında gövde hacim denklemi ile uyumlu olan Schumacher-Hall gövde hacim denklemi aşağıda verilmiştir. Bu hacim denklemi uyumlu gövde profili denklemdir ve bu denklem ile gövde hacmini hesaplamak oldukça kolaydır.

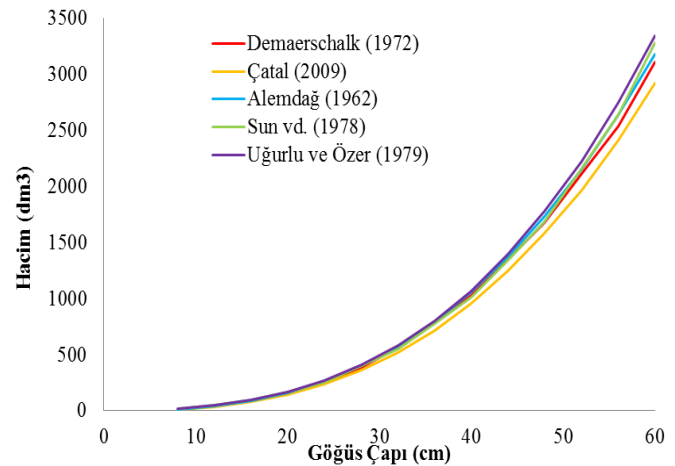
$$V = 0,0000449 \cdot D^{2,0688} H^{0,8033} \quad (22)$$

Bu denklemde D göğüs çapını ve H ağaç boyunu göstermektedir.

Kızılcım ağaç türünün gövde hacmini modellemede en başarılı model (Demaerschalk 1972) ile kızılcım ağaç türü için daha önce Alemdağ (1962), Sun ve ark. (1978), Uğurlu ve Özer (1979) ve Çatal (2009) tarafından geliştirilen çift girişli ağaç hacim tablosu verileri karşılaştırılmıştır (Tablo 4). Tablo 4'de görüleceği üzere Demaerschalk (1972) tarafından geliştirilen gövde hacim modelinin standart hatası, ortalama hata ve ortalama mutlak hata ölçütlerine göre, Alemdağ (1962) ve Sun ve ark. (1978) tarafından geliştirilen hacim tablosu tahminlerine göre daha kötü sonuç verirken, Uğurlu ve Özer (1979) ve Çatal (2009) tarafından geliştirilen hacim tablosu tahminlerine göre ise daha doğru sonuçlar verdiği görülmüştür (Şekil 6).

Tablo 4. Toplam gövde hacmi için önerilen Demaerschalk (1972) gövde hacmi modeli ile bu ağaç türü için geliştirilen çift girişli hacim tablolarının karşılaştırılması

Modeller	Tahminin standart hatası $S_{y,x}$	Ortalama mutlak hata yüzdesi (%OMH)	Toplam hata yüzdesi (%TH)
Demaerschalk (1972)	0.0728	8.519	1.436
Alemdağ (1962)	0.0631	8.190	-1.887
Sun ve ark. (1978)	0.0659	8.302	0.573
Uğurlu ve Özer (1979)	0.0852	10.582	-6.260
Çatal (2009)	0.0806	9.444	7.159



Şekil 6. Gövde hacmi için önerilen Demaerschalk (1972) modelinin tahminleri ile bu ağaç türü için geliştirilen çift girişli hacim tablolarının karşılaştırılması

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Antalya Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde yer alan Kızılcım meşceresinden alınan 216 adet Kızılcım ağacına ilişkin veriler kullanılarak gövde çapı ve gövde hacmi denklemlerinin geliştirilmiştir. Ağaçların dipten uca kadar olan gövde çapını modellemek üzere; Demaerschalk, (1972), Demaerschalk, (1973), Bruce ve ark., (1968), Max ve Burkhart, (1976), Parresol ve ark., (1987), Jiang ve ark., (2005) ve Cao ve ark., (1980) tarafından geliştirilen yedi adet uyumlu gövde çap modelleri kullanılmıştır.

Başarı ölçüt değerleri değerlendirildiğinde; Jiang ve ark. (2005) tarafından geliştirilen Model 6'nın, Kızılcım'ın gövde çapı gelişimini modellemede en başarılı model olduğu belirlenmiştir. Jiang ve ark. (2005)'in denklemi, birçok çalışmada gövde çapının modellenmesinde

oldukça başarılı sonuçlar vermiştir. Gövde çapının modellenmesinde dört parçalı bu segmented polinomial denklem yapısı ile Jiang ve ark. (2005) %98.37'lik, Özçelik ve Bal (2013) %98.59'luk, Bal (2012) %98.13'lük, Şahin (2012) %98.28'lik, Atalay (2014) %94.44'lük ve Kurt (2014) % 98.43'lük bir açıklayıcılık elde etmiştir. Ayrıca, çalışma kapsamında geliştirilen gövde hacim modelleri arasından 1 nolu model (Demaerschalk 1972) Kızılçam'ın gövde hacmini modellemede en başarılı model olduğu belirlenmiştir. Gövde hacmini modellemede önerilen 1 nolu model daha önce Kızılçam ağaç türü için geliştirilen çift grışli ağaç hacim denklemleri ile karşılaştırıldığında, gövde hacmi tahminlerinde başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Sonuç olarak, (Demaerschalk 1972) tarafından geliştirilen model kullanılarak Antalya Orman Bölge Müdürlüğü kızılçam meşcereleri için doğru ve güvenilir hacim tahminlerinin yapılabileceği söylenebilir. Uygulamada meşcere hacminin tahmin edilmesinde genellikle ağaç hacim denklemleri ve tabloları yöntemi daha çok tercih edilmekle birlikte, ağaç gövdelerinden üretilebilecek tomruk, maden direği ve sanayi odunu gibi odun çeşitlerinin miktarlarını tahmin edebilen gövde çapı ve gövde hacmi denklemlerinin kullanılması daha doğru olacaktır. Bu sayede, ağaçlardan elde edilebilecek odun çeşitlerine ilişkin tahminler yapılabilecek ve ayrıca özellikle dikili satış uygulamasının yoğun olarak kullanılmaya başlandığı Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Kızılçam meşcerelerindeki ağaçların gövde hacim tahminleri daha doğru bir şekilde elde edilebilecektir. Sonuç olarak, sürekli değişen pazar koşullarının gerektirdiği gövde hacmine ilişkin ayrıntılı hacim tahminlerine imkân sağlayabilen bu gövde çapı ve gövde hacmi modelleri kullanılarak uygulamadaki ihtiyaçların giderilmesine katkı sağlanmış olacaktır.

Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar Antalya Orman Bölge Müdürlüğü aynı yaşlı saf ve doğal kızılçam meşcereleri için geçerlidir. Yetiştirme ortamı, meşcere sıklığı, meşcerelere yapılan müdahaleler gibi pek çok faktör ağaçların gövde şekli ve buna bağlı olarak gövde hacminin değişimine neden olmaktadır. Bu nedenle herhangi bir gövde çapı ve gövde hacim modelinin genel veya bölgesel bazda kullanılabilmesi için bu faktörleri de dikkate alacak şekilde

uygulanması gerekmektedir. Bu bağlamda her yöre için gövde çapı ve gövde hacim modellerinin geliştirilmesi daha doğru olacaktır. Bu bakımdan ülkemiz ekonomisi açısından önemli olan Kızılçam ağacının gövde çapı ve gövde hacim modellerinin doğru bir şekilde ortaya konulması önem arz etmektedir.

TEŞEKKÜR

Çalışma kapsamında verilerin elde edilmesinde verdiği maddi destekten dolayı, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumuna (TÜBİTAK-TOVAG Proje No:1120808; Proje adı: Antalya ve Mersin Yöresi Saf Kızılçam Meşcerelerinde Hasılat Araştırmaları) teşekkür ederiz. Bu çalışma, aynı zamanda 1120808 nolu TÜBİTAK projesinin bir parçası olarak Yrd. Doç. Dr. Aydın KAHRİMAN danışmanlığında Gökberkhan KUMAŞ tarafından hazırlanan Yüksek Lisans Tezi çalışmasıdır. Ayrıca proje ekibinin tümüne ve Antalya Orman Bölge Müdürlüğündeki çalışanlara teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Alemdağ Ş (1962) Türkiye'deki kızılçam ormanlarının gelişimi, hasılat ve amenajman Esasları. Ormanlık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten No: 11, Ankara, s.160
- Anonim (2012) Türkiye orman varlığı. Orman Genel Müdürlüğü, Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı, Ankara
- Atalay F (2014) Mudurnu-Sırçalı Orman İşletme Şefliğinde yayılış gösteren Anadolu Karaçamı [*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe] meşcereleri için gövde profil denklem sistemlerinin geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çankırı
- Bal C (2012) Karaçam için gövde çapı ve gövde hacmi denklemlerinin geliştirilmesinde tepe tacı değişkenlerinin kullanılması. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek lisans tezi, 61s
- Brooks JR, Jiang L, Özçelik R (2008) Compatible stem volume and taper equations for Brutian Pine, Caedar of Lebanon, and Cilicica Fir in Turkey. *Forest Ecology and Management* 256:147-151
- Bruce D, Curtis R, Vanndevering C (1968) Development of system of taper and volume tables for res alder. *Forest Science* 14: 339-350
- Cao QV, Burkhart HE, Max TA (1980) Evaluating of two methods for Cubic-Volume prediction of loblolly pine to any merchantable limit. *Forest Science* 2(1):71-80
- Çatal Y (2009) Batı Akdeniz Bölgesi Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinde artım ve büyüme. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi, Isparta
- Demaerschalk JP (1972) Converting volume equations to compatible taper equations. *Forest Science* 18:241-245
- Demaerschalk JP (1973) Integrated systems for the estimation of tree taper and volume. *Canadian Journal of Forest Research* 3:90-94

- 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, 613-621
- Ercanlı İ, Kurt AK, 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. I. Ulusal Akdeniz Orman Ve Çevre Sempozyumu, 22-24 Ekim, Isparta
- Hojer A (1903) Growth of Scots pine and Norway spruce. Stockholm, Bilaga till. Loven, F.A. om vara barrskor
- Jiang L, Brooks JR, Wang J (2005) Compatible taper and volume equations for yellow-poplar in West Virginia. For Ecol Manage 213: 399-409
- Kalıpsız A (1984) Dendrometri. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, No:3194/354, İstanbul. 406 s
- Kapucu F (2004) Orman amenajmanı. KTÜ Matbaası, KTÜ Yayın No:215, Orman Fakültesi Yayın No:33, Trabzon, 515s
- Karaer K (2015) Eğirdir Yöresi Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ve Karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) meşcereleri için gövde çapı modellerinin geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 71s
- Kozak A, Munro DO, Smith JHG (1969) Taper functions and their application in forest inventory. Forest Chronicle 45: 278-283
- Kumaş G (2016) Antalya Orman Bölge Müdürlüğünde yayılış gösteren Kızılçam meşcereleri için uyumlu gövde profili denklem sistemlerinin geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin
- Kurt AK (2014) Tarsus Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde yayılış gösteren Anadolu Karaçamı [*Pinus nigra* Arnold. Subsp. *Pallasiana* (Lamb.) Holmboe] meşcereleri için uyumlu gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin karışık etkili modelleme yaklaşımı ile geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çankırı
- Larson PR (1963) Stem form development of forest trees. For. Sci. Monogr. 5
- Max TA, Burkhart HE (1976) Segmented polynomial regression applied to taper equations. Forest Science 22(3):283-289
- Meydan-Aktürk (2006) Doğu Ladini (*Picea orientalis* (L.) Link) için trigonometrik gövde profili denkleminin oluşturulması. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon
- Özçelik R (2010) Sarıçam için uyumlu gövde çapı ve gövde hacim modeli. III. Ulusal Karadeniz Ormanlık Kongresi Artvin, Bildiriler Kitabı, 358-366
- Özçelik R, Alkan H (2011) Okaliptüs ağaçlandırmaları için uyumlu gövde çapı ve gövde hacim modellerinin geliştirilmesi. I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu Kahramanmaraş, Bildiriler Kitabı, 720-730
- Özçelik R, Brooks JR, 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 JR (2012) Compatible volume and taper models for economically important tree species of Turkey. Annals of Forest Science 69:105-118
- Özçelik R, Yavuz H, Karatepe Y, Gürlevik N, Kiriş R (2012) Burdur Yöresi Kızılçam meşcereleri için gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin geliştirilmesi. SDÜ Orman Fakültesi Dergisi, 85-91
- 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
- Parresol BR, Hotvedt JE, Cao QV (1987) A volume and taper prediction system for bald cypress. Can J For Res 17:250-259
- Sakıcı O (2002) Kastamonu Yöresi Uludağ Göknarı meşcerelerinde gövde profili, hacim, hacim oran sistemlerinin geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon
- Sakıcı OE, 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. (2004) SAS/ETS 9.1 User's Guide. Cary, NC, SAS Institute Inc
- Sun O, Eren ME, Orpak M (1978) Temel ağaç türlerimizde tek ağaç ve birim alandaki odun çeşidi oranlarının saptanması. TÜBİTAK-TOVAG, Ormanlık Araştırma Grubu Yayını, No:288
- Şahin D (2012) Karaçam meşcereleri için uyumlu gövde çapı ve gövde hacmi denklem sistemlerinin geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 64s
- Uğurlu S, Özer E, (1979) Aynalı Relaskop Fh/d değerlerinden elde edilen ya da çift girişli hacim tablolarına göre elde edilen hacimlerin seksiyondan hesaplanan hacimlerle karşılaştırması. Ormanlık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten No 99. Ankara
- Yavuz H (1995) Taşköprü Orman İşletmesinde Sarıçam ve Karaçam için uyumlu gövde çapı, gövde hacmi ve hacim oran denklem sistemlerinin geliştirilmesi. KTÜ Orman Mühendisliği Bölümü, Orman Amenajmanı Anabilim Dalı, Basılmamış Doçentlik Tezi, 101s
- Yavuz H, Saraçoğlu N (1999) Kızılağaç için uyumlu ve uyumsuz gövde çapı modelleri. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 23(5):1275-1282