

Asar Orman İşletme Şefliği (Antalya) kızılçam meşcereleri için gövde çapı denklemlerinin geliştirilmesi

Mustafa Ümit^a, Muammer Şenyurt^{a,*}

Özet: Bu çalışmada, Antalya Orman Bölge Müdürlüğü, Antalya Orman İşletme Müdürlüğü, Asar İşletme Şefliği sınırları içinde yayılış gösteren kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcereleri için geliştirilen uyumlu gövde çapı denklemlerinin gövde çapını modellemedeki başarıları karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, Max and Burkhart (1976), Jiang vd. (2005) ve Kozak (1988)'in denklemleri esas alınarak geliştirilen 3 denklemin oluşturduğu 5 farklı model kullanılmıştır. Başarı ölçütlerine göre yapılan karşılaştırmada, Jiang vd. (2005) tarafından geliştirilen denklemin %95.95'lik açıklayıcılığı ile kızılçamın gövde çapı gelişimlerini modellemede daha başarılı olduğu görülmüştür. Jiang vd. (2005) denkleminin uygunluğu, bağımsız bir veri grubu kullanılarak iki eş arasındaki farkın önemlilik testi ile test edilmiş ve $p < 0.05$ önem düzeyinde denklemin çalışma alanına uygulanabileceği sonucuna varılmıştır. Bu bakımdan, bu denklemin kızılçam meşcerelerinde daha doğru ve tutarlı gövde çapı tahminlerinin yapılmasına imkan sağlayacağı söylenebilir.

Anahtar kelimeler: Kızılçam, Gövde çapı, Gövde çapı tahmini, Gövde çapı modeli, Asar Orman İşletme Şefliği

Development of compatible taper equations for brutian pine stands in Asar Forest Sub-district (Antalya)

Abstract: In this study, five different compatible taper equations were used for Brutian pine (*Pinus brutia* Ten.) trees within the border of Asar Forest Sub-district in Antalya Forest Management Directorate of Antalya Forest District Regional. These five equations were produced from the equations of Max & Burkhart (1976), Jiang et al. (2005) and 3 different models of Kozak (1988). The fitting results of these equations were compared. As a result of the comparison that made according to success criteria's, the equation of Jiang et al. (2005) with 95.95% model explanation was found to be more successful in predicting stem diameter of Brutian pine. The suitability of Jiang et al. (2005) of the equation was tested by using an independent data group with paired sample t test and it was concluded that the equation can be applied to the study area at $p < 0.05$ significance level. In this regard, it can be concluded that it is possible to obtain more accurate and consistent estimations of stem diameters for Brutian pine (*Pinus brutia* Ten.) stands by using this equation.

Keywords: Brutian pine, Stem diameter, Stem diameter prediction, Stem diameter model, Asar Forest Sub-district

1. Giriş

Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ülkemizde orman ürünleri endüstrisinde en önemli hammadde kaynaklarından biridir (Özçelik vd., 2012). Son yapılan çalışmalarda, kızılçamın kapladığı alan ülkemizde yaklaşık 5.9 milyon hektar (toplam orman alanının % 27'si) ve bu alan üzerinde dikili ağaç servetiyse yaklaşık 301 milyon metreküptür (OGM 2015).

İnsanoğlu talepleri ile orman kaynaklarının durumu arasındaki denge göz önüne alındığında, ormanlardan optimal ve sürekli bir faydalanma için mevcut orman alanlarının planlanarak kullanılması gerektiği görülmektedir. Gelecek kuşakların orman ürün ve hizmetlerine olan gereksinimlerini ormanlardan odun üretimiyle birlikte birçok fonksiyondan devamlı ve optimal olarak yararlanabilmek için, orman ekosistemlerinin sürekliliğini göz ardı etmeyecek şekilde yapılacak tüm planlar ve uygulanacak tüm müdahaleler bu ölçütlere göre dikkat edilerek oluşturulmalıdır (Yavuz ve Sakıcı, 2002).

Ağaç gövdesinin herhangi bir yüksekliğinde çaplar hesaplandıktan sonra bu çaplar yardımıyla gövdenin istenilen kısımlarının hacmi Orta Yüzey, Smalian veya Newton-Riecke gibi ağaç hacim denklemleri ile hesaplanabilmektedir. Sayısal modellerde kullanılmak üzere gövde çaplarını hesaplayan bu denklemlere "Uyumsuz Gövde Profili Denklemleri" denilmektedir (Yavuz, 1995; Sakıcı ve Yavuz, 2005).

Herhangi bir gövde profili denkleminin dipten uca, $0 \leq h \leq H$, integrali alındığında hesaplanan hacim değerinin, ağaç hacim denklemleri ile hesaplanan toplam gövde hacmine, toprak seviyesi ile gövdenin herhangi bir yükseklikleri (hi) arasında integrali alındığında elde edilen hacim değerinin de hacim oran denklemleri ile hesaplanan hacim değerine eşit olması halinde, bu tür gövde profili denklemlerine "Uyumlu Gövde Profili Denklemleri" denilmektedir (Yavuz, 1995; Sakıcı ve Yavuz, 2005).

Gövde çapı modelinin integrali alınmak suretiyle, gövde üzerinde belirli mesafeler arasında bulunan kısmın hacmi doğru bir şekilde hesaplanabilmektedir. Şayet gövde çapı fonksiyonunun integrali alınmıyorsa, bu denklemler

✉ ^a Çankırı Karatekin Üniversitesi Orman Fakültesi, Çankırı

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): muammer1907@gmail.com

✓ **Received** (Geliş tarihi): 07.01.2020, **Accepted** (Kabul tarihi): 20.03.2020



Citation (Atıf): Ümit, M., Şenyurt, M., 2020. Asar Orman İşletme Şefliği (Antalya) kızılçam meşcereleri için gövde çapı denklemlerinin geliştirilmesi. Turkish Journal of Forestry, 21(1): 35-42.

DOI: [10.18182/tjf.671618](https://doi.org/10.18182/tjf.671618)

sayesinde sık aralılarla gövde çapları tahmin edilebilmekte ve bu çaplar sayesinde istenilen kısma ait hacim, Huber ve Smalian gibi bazı hacim formülleri ile tahmin edilebilmektedir. Son zamanlarda bir ağaçtan temin edilebilecek odun çeşitleri ve hacim miktarları karmaşık yapılarına rağmen gövde çapı modelleri ile doğru ve güvenilir olarak belirlenebilmektedir (Yavuz ve Sakıcı, 2002). Özellikle gövde çapı modellerinin ormancılıkta önemli bilgiler sağlamaları ile yüzyılı aşkın bir süredir, basitten çok karmaşığa kadar, pek çok ağaç türü için gövde çapı modelleri geliştirilmiştir (Max ve Burkhart, 1976; Hilt, 1980; Kozak, 1988; Clark vd., 1991; Newnham, 1992; Fang vd. 2000; Sakıcı vd., 2008).

Orman işletmelerinin odun satışında dikili satış yöntemini yoğun olarak kullanmaları, doğru ve güvenilir hacim tahminlerinin yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Bundan dolayı, değişik ticari standartların gereksinimlerini karşılayacak esnek ve güvenilir bir ağaç hacmi tahmin sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Farklı araştırmacılar tarafından bu doğrultuda kullanılabilecek en uygun yaklaşımlardan birisi olarak uyumlu gövde çapı ve gövde hacim denklemleri söylenebilir (Jiang vd., 2005; Barrio-Anta vd., 2007; Özçelik ve Brooks, 2012). Ülkemizde pek çok ağaç türünün ve bunların farklı yetiştirme ortamlarına göre gövde çapı denklemleri ile ilgili son zamanlarda çok çalışmalar yapılmıştır.

Ormancılıkta, ağaç gövdesi toplam hacmine ek olarak, gövdeden üretilebilecek odun çeşitlerinin hacminin ve değerinin tahmin edilmesinde; uyumlu gövde çapı ve gövde hacim denklemleri öne çıkmaktadır (Kozak, 2004; Jiang vd., 2005; Özçelik vd., 2011).

Newnham (1988)'e göre gövde çapı denklemleri üzerindeki çalışmaların yaygınlaşmasının iki ana nedeni bulunmaktadır. İlki; tüm ağaç çeşitleri için gövde formundaki varyasyonu tam olarak açıklayabilen bir teorinin olmaması, diğeri; her zaman değişen pazar şartlarına bağlı olarak çeşitli odun standartlarını dikkate alan bir metodun temin edilememesidir (Yavuz ve Sakıcı, 2002; Özçelik vd., 2011).

Ağaç gövdesinin ticari kısımlarına ilişkin hacim değerlerini kapsayan hacim oran modelleri yardımıyla, istatistiki olarak ilk gövde çapı modelleri 1960'lı yılların sonlarına doğru geliştirilmeye başlanmıştır (Honer, 1967; Burkhart, 1977; Cao vd., 1980; Clutter, 1980; Newnham, 1992). Bu modellere yönelik, göğüs çapı ($d_{1.3}$) ve ağaç boyunun (h) fonksiyonu olarak yerden belirli bir yükseklikteki (h_i) gövde çaplarını (d_i) belirlemeye yarayan denklemler biçiminde olup, gövdenin tamamı için ortalama bir şekil katsayısı değeri vermektedirler (Bruce vd., 1968; Bennet ve Swindel, 1972). Bu gövde çapı modellerinin öteki gövde çapı modellerine göre önemli bir üstünlüğü, parçalı polinomsal gövde çapı modeller kullanılmış olmasıdır (Fang vd., 2000). Ağaç göğüs çapı ve boyu ile gövde eğrisinin değişiklik gösterdiği oransal boy değeri ve bunlardan üretilen çok sayıda bağımsız değişkenin fonksiyonu olarak oluşturulan ve "Değişken-Şekil Gövde Çapı Modeli (Variable Exponent Stem Profile Equation)" denilen çok karmaşık ve üssel formda regresyon modelleri kullanılmaya başlanmıştır (Kozak, 1988; Newnham, 1988; Perez vd., 1990). Ancak değişken-şekil gövde çapı modelleri, gövdedeki değişik şekillerin hacim hesaplamalarında birleştirilememesi gibi bir olumsuzluğa sahiptir (Özçelik ve Alkan, 2011). Gövde profilinin modellenmesi için yukarıda verilenlere ek olarak daha

birçok yöntem kullanılmıştır. Denkleştirilmiş (spline) fonksiyonlar (Liu, 1980); Chapman-Richards fonksiyonu (Biging, 1984; Matney vd., 1985), Polinomial Enterpolasyon Yaklaşımı (Therien ve Chamire, 1986), Asal Bileşenler Analizi (Real vd., 1989), Asal Bileşenler Regresyonu (Tatsuo, 1988) ve parametrik olmayan yöntemler (M'hirit ve Postaire, 1985), gövde profilinin modellenmesinde kullanılan diğer yöntemlerdir (Yavuz ve Sakıcı, 2002).

Sakıcı (2010), Balıkesir yöresi karışık meşcerelerinde bulunan karaçam ağaçlarının gövde çaplarının modellenmesi üzerine yaptığı çalışmada 29 farklı gövde çap denklemini incelemiş ve Kozak (1988) tarafından önerilen denklemin en başarılı ($R^2=97.81$) gövde çapı modeli olduğunu belirlemiştir.

Özçelik vd. (2012) Bucak Orman İşletme Müdürlüğü, Uğurlu Orman İşletme Şefliği kızılçam meşcerelerinden elde ettiği veriler ile Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen parçalı gövde çapı ve hacim modeli ile % 96'lık R^2 elde etmiştir.

Sakıcı ve Özdemir (2018), Karabük yöresi Doğu kayını-Kazdağı göknarı karışık meşcerelerinde, gövde çaplarının tahmin edilmesinde yapay sinir ağları ile farklı 4 adet gövde çapı denklemini karşılaştırmıştır. Yapay sinir ağları ile elde ettiği sonuçlarda Doğu kayını için ara katmanda sigmoid fonksiyonu ve çıktı katmanında hiperbolik tanjant fonksiyonunun kullanıldığı 10 nöronlu model, Kazdağı göknarı için ise ara katmanda sigmoid fonksiyonu ve çıktı katmanında doğrusal fonksiyonunun kullanıldığı 10 nöronlu model başarılı olmuştur. Her iki tür için gövde çapı denklemleri olarak Kozak (2004) tarafından geliştirilen denklemler daha iyi sonuçlar vermiştir.

Bu çalışmada; Antalya Orman Bölge Müdürlüğü, Antalya Orman İşletme Müdürlüğü, Asar Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yayılış gösteren kızılçam meşcerelerindeki ağaçlara ilişkin gövde çapı denklemlerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

Çalışma alanı olan Asar Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yayılış gösteren kızılçam meşcerelerinden farklı çaplarda ve boylarda 206 adet örnek ağaçtan veriler elde edilmiştir (Ümit, 2019). Çalışmada seçilen örnek ağaçların, gözlemlenen gövde çapı gelişimindeki değişkenliğini en iyi biçimde temsil edecek özelliklere sahip olmasına özen gösterilmiştir. Ağaçların; bozuk tepeli, kusurlu olmamasına, böcek tahribatına uğramamış, mantar zararları ve özellikle çeşitli sebeplerden yaralanıp dip çürüklüğü olmayan bir özellik taşımasına dikkat edilmiştir. Ağaçlar, farklı çap ve boy kademelerine mümkün olduğunca dengeli olarak seçilmiştir. Örnek ağaçların alındığı yere ait harita Şekil 1'de verilmiştir.

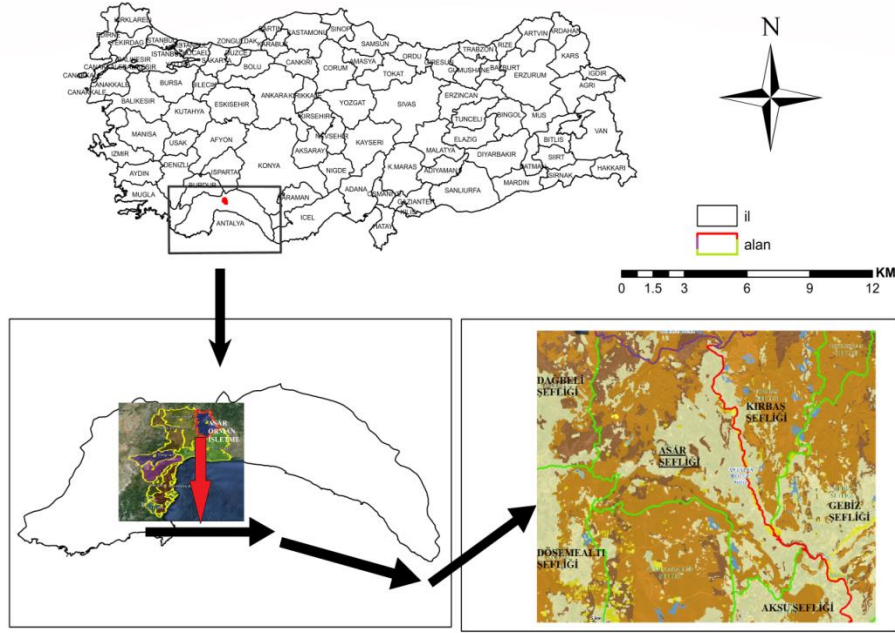
Özellikle farklı çap ve boylarda ağaçlar seçilerek kütük yüksekliğinden (0.3 m) kestirilerek mümkün olduğunca düzenli bir şekilde (0.3 m, 1.3 m, 3.3 m gibi, 2'şer metre ara ile) gövde çapları ölçülmüştür. Özellikle ağacının son kısmına doğru eğer 2 metreden daha kısa bir mesafe kalmış ise, kalan uç parçanın uzunluğu şerit metre ile ölçülmüştür. Örnek ağaçların temel istatistik değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Modelde kullanılan ve denetim için ayrılan örnek ağaçlara ilişkin temel istatistikler

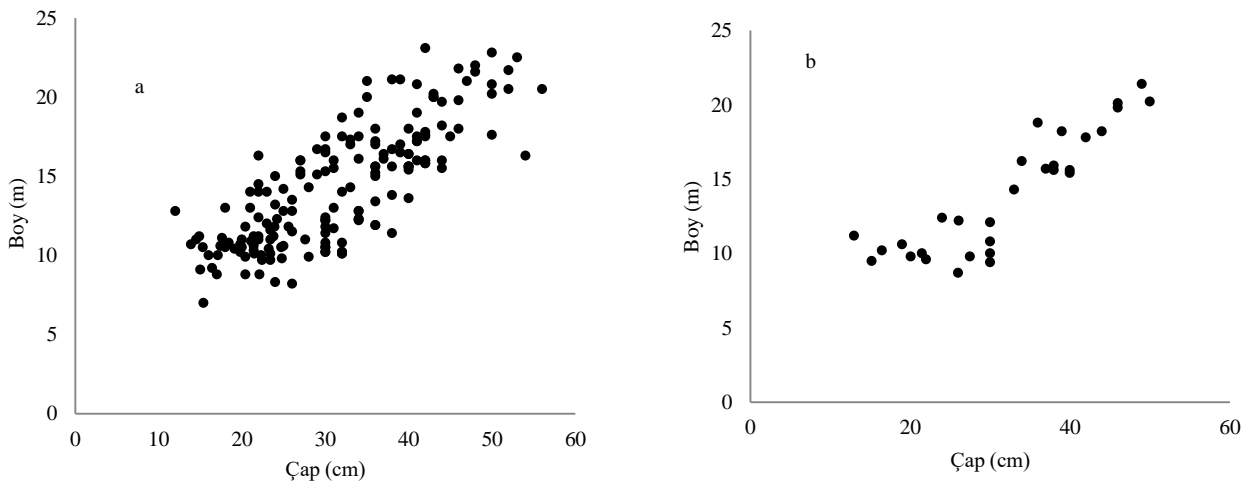
	Model		Denetim	
	Göğüs çapı (cm)	Boy (m)	Göğüs çapı (cm)	Boy (m)
Minimum	12.0	7.0	13	8.7
Maksimum	56.0	23.1	50	21.4
Ortalama	31.6	14.	32.1	14.09
Standart sapma	9.9	3.8	10.2	3.9

gruba ayrılmıştır. İlk grupta, toplam verinin yaklaşık %85'i (n=175), II. grupta ise yaklaşık %15'i (n=31) bulunmaktadır (Şekil 2).

Çalışmada kullanılan veriler; gövde çapı denklemlerinin parametrelerinin tahmininde ve meşcereye uygunluğunun denetiminde kullanılan veriler olarak rastgele bir olarak 2



Şekil 1. Çalışma alanının coğrafik konumu



Şekil 2 Modellerin oluşturulmasında (a) ve denetimde (b) kullanılan verilerin çap-boy ilişkileri

2.2. Yöntem

Örnek ağaçlar üzerinde dip kısımdan başlayarak uca doğru yapılan çap ölçümleri ile gövde boyunca çap düşüşü elde edilmiştir. Gövdenin dibinden uca doğru sürekli azalış gösteren ve çap düşüşü de denilen ağaç çapındaki değişimin modellenmesinde, gövde çapı denklemleri kullanılmaktadır. Ağaçların gövde şekli üzerine çalışmalar takriben 100 yıldır devam etmekte olup (Claughton-Wallin ve McVicker, 1920; Behre, 1923), özellikle gövdenin ticari kısımlarının hacim değerlerini veren hacim oran denklemleri ile istatistiksel anlamda ilk gövde çapı modelleri 1960’lı yıllardan sonra geliştirilmeye başlanmıştır (Honer, 1967; Burkhart, 1977; Cao vd., 1980; Clutter, 1980; Newnham, 1992). İlk yıllarda geliştirilen basit gövde çapı denklemleri, gövde boyunca çap değişimini tek bir denklem ile temsil etmeye çalışırken, gövde modellerinin tamamı yerine, şekil farklılıkları gösteren her bir bölüm için ayrı bir polinom oluşturularak, bu polinomları bir modelde birleştirip “Parçalı Polinomsal Gövde Çapı Modeli” olarak isimlendirilen gövde çapı modeli ilk olarak Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilmiştir. 1 no.lu Max ve Burkhart (1976) modeli;

MODEL 1:

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

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

biçiminde olup, denklemde;

d = Yerden herhangi bir h yüksekliğindeki kabuklu çap değeri (cm),

D = Kabuklu göğüs çapı (cm),

h = Ölçüm noktasının yerden olan yüksekliği (m),

H = Toplam ağaç boyu (m),

ai = Örnek ağaçlardan tahmin edilen katılma noktaları, i=1,2

bi = regresyon katsayıları, i=1,4, göstermektedir.

Clark vd. (1991), Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen modelden farklı bir formda parçalı polinomsal gövde çapı modeli geliştirmiştir. Jiang vd. (2005) ise, Clark vd. (1991)’in önerdiği Parçalı Polinomsal Gövde Çapı Modeli esas alarak, çeşitli dönüşümler ile daha az parametreye sahip yeni bir denklem formu geliştirmiştir. 2 no.lu Jiang vd. (2005)’in denklem yapısı aşağıda verilmiştir.

MODEL 2:

$$d = \left\{ \begin{aligned} & I_S \left[D^2 \left(1 + \frac{(1-h/H)^{b_1} - (1-1.30/H)^{b_1}}{1 - (1-1.30/H)^{b_1}} \right) \right] \\ & + I_B \left[D^2 - \frac{(D^2 - F^2)((1-1.30/H)^{b_2} - (1-h/H)^{b_2})}{(1-1.30/H)^{b_2} - (1-5.30/H)^{b_2}} \right] + \\ & \left. \left(+ I_T \left[F^2 \left(b_4 \left(\frac{h-5.30}{H-5.30} - 1 \right)^2 + I_M \left(\frac{1-b_4}{b_3} \right) \left(b_3 - \frac{h-5.30}{H-5.30} \right)^2 \right) \right] \right) \right\}^{0.5} \quad (2)$$

Bu denklemde;

d= Gövde boyunca herhangi bir yükseklikte ölçülen çap değeri (cm),

D = Kabuklu göğüs çapı (cm),

h = Ölçüm noktasının yerden olan yüksekliği (m),

H = Toplam ağaç boyu (m),

F= 5.30 metre yüksekliğindeki gövde çapını (cm) göstermektedir.

$$I_S = \begin{cases} 1 & h < 1.30 \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases}$$

$$I_B = \begin{cases} 1 & 1.30 \leq h < 5.30 \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases}$$

$$I_T = \begin{cases} 1 & h > 5.30 \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases}$$

$$I_S = \begin{cases} 1 & h < (5.30 + b_3(H - 5.30)) \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases}$$

Gövde çapı modellemesi çalışmalarında başarılı uygulamaları bulunan Kozak (1988)’in denklemi esas alınarak geliştirilmiş 3 farklı modele (3-5) ilişkin parametre tahminleri de elde edilmiştir.

MODEL 3:

$$dib = a_0 D^{a_1} X^{b_0 + b_1 z^2 + b_2 z^{1/3} + b_3 \sqrt{z} + b_4 \exp(z) + b_5 (D/H)} + \epsilon \quad (3)$$

$$X = \frac{1 - z^{1/2}}{1 - p^{1/2}}$$

MODEL 4:

$$dib = a_0 D^{a_1} X^{b_0 + b_1 z^{1/4} + b_2 z^{1/3} + b_3 z^{1/2} + b_4 \arcsin(Q) + b_5 (D/H)} + \epsilon \quad (4)$$

$$X = \frac{1 - z^{1/2}}{1 - p^{1/2}}, \quad Q = 1 - z^{1/2}$$

MODEL 5:

$$dib = a_0 D^{a_1} H^{a_2} X^{b_0 + b_1 z^4 + b_2 [1/\exp(D/H)] + b_3 X^{0.1} + b_4 (1/D) + b_5 H^Q + b_6 X} + \epsilon \quad (5)$$

$$X = \frac{1 - z^{1/3}}{1 - p^{1/3}}, \quad Q = 1 - z^{1/3}, \quad p = \frac{1.3}{H}$$

Bu 5 farklı gövde çapı modeli arasından, gövde çapını modellemede en başarılı olan denklemi belirlemek üzere çeşitli istatistiksel başarı ölçütleri kullanılmıştır. Kullanılan başarı ölçütleri; Hata kareler toplamı (HKT), Hata Kareler Ortalaması (HKO), Hata Kareler Ortalamasının karekökü (HKOK) ve Düzeltmiş Belirtme Katsayısı (R^2) değerleridir. Bu ölçüt değerlerinden, HKT, HKO ve HKOK değerlerinin küçük, Belirtme Katsayısı değerlerinin ise olabildiğince 1’e yakın olması istenilmektedir. Bu istatistiki değerlere ilişkin formüller (6-9) aşağıda verilmiştir;

$$\text{Hata Kareler Ortalaması (HKO)} = \frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \hat{d}_i)^2}{n} \quad (6)$$

$$\text{Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (HKOK)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \hat{d}_i)^2}{n-p}} \quad (7)$$

$$\text{Hata Kareler Toplamı (HKT)} = \sum_{i=1}^n (d_i - \hat{d}_i)^2 \quad (8)$$

$$\text{Düzeltmiş Belirtme Katsayısı (R}_{\text{düz}}^2) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \hat{d}_i)^2 (n-1)}{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2 (n-p)} \quad (9)$$

Yukarıdaki formüllerdeki, d_i ; belirli bir h yüksekliğinde ölçülen çap değerini, \hat{d}_i geliştirilen gövde çapı modeli ile tahmin edilen çap değerini, n: veri sayısını ve p: modeldeki parametre sayısını ifade etmektedir.

Denklem yapısı verilen gövde çapı denkleminin ilişkin parametre tahminleri ile çeşitli istatistiksel başarı ölçüt değerlerinin elde edilmesinde, SAS İstatistik Paket Programındaki PROC MODEL prosedürü kullanılmıştır (SASI, 2004).

En başarılı olarak tespit edilen denkleme ait tahminlerin doğruluğu ve tutarlılığı, ikinci grup olarak ayrılan ve model geliştirilmesinde kullanılmayan bağımsız veriler ile denetlenmiştir. Özellikle denklemlerin oluşturulmasında kullanılmamış olan 31 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 t test)” ile analiz edilmiştir.

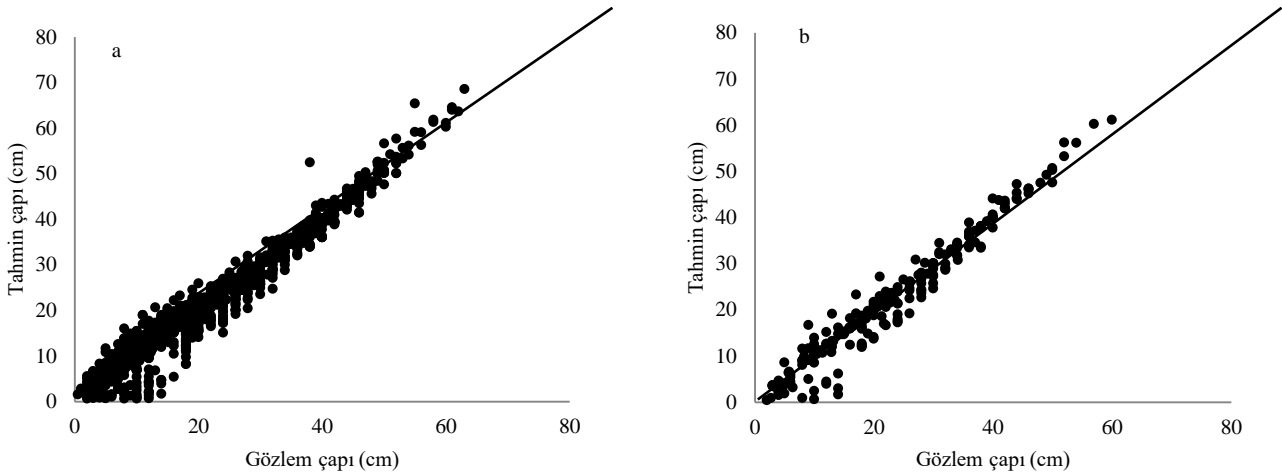
3. Bulgular

Bu çalışmada kullanılan 5 farklı denklem modeline ilişkin parametre tahminleri, standart hata değerleri, t-hesap değerleri ile önem düzeyleri ve çeşitli model başarı ölçüt değerleri, Çizelge 2’de verilmiştir. Şekil 3’de en başarılı modele ait gözlem çap-tahmini çap ve Şekil 4’de gözlem ve tahmin değerlerine ait hata grafikleri de verilmiştir.

Max ve Burkhart (1976) (Model 1) denkleminde HKT = 15896.8, HKO = 11.3382, HKOK = 3.3672 elde edilirken $R^2_{adj} = 0.9288$ elde edilmiştir. Bu denklemin bazı parametrelerinin $p < 0.05$ önem düzeyi ile anlamlı olmadığı görülmektedir. Kozak (1988)’ın denklemini esas alarak geliştirilmiş olan Model 3, Model 4 ve Model 5 denklemleri

incelendiğinde; Model 3’te HKT = 10965.5, HKO = 7.8775, HKOK = 2.8067 elde edilirken $R^2_{adj} = 0.9505$ elde edilmiştir. Model 4’te HKT = 10692.2, HKO = 7.6867, HKOK = 2.7725 elde edilirken $R^2_{adj} = 0.9517$ elde edilmiştir. Model 5’te HKT = 10072.8, HKO = 7.2518, HKOK = 2.6929 elde edilirken $R^2_{adj} = 0.9540$ elde edilmiştir. Bu denklemlerde de bazı parametrelerin anlamsız olduğu görülmektedir. Model 2 olarak adlandırdığımız Jiang vd. (2005) denkleminde ise HKT = 8988.3, HKO = 6.4432, HKOK = 2.5384 elde edilirken $R^2_{adj} = 0.9595$ elde edilmiştir. Denklemdaki tüm parametreler anlamlı olarak elde edilmiştir. HKT, HKO, HKOK ve R^2_{adj} değerlerinden oluşan başarı ölçütleri değerlendirildiğinde en başarılı denklem olarak Jiang vd. (2005) denklemi (Model 2) olduğu belirlenmiştir. Jiang vd. (2005) denkleminde tahmin edilen katsayılar yerine konulursa aşağıda gösterildiği şekilde gövde çapı denklemi elde edilmiş olur;

$$d = \left\{ \begin{array}{l} I_S \left[D^2 \left(1 + \frac{(1-h/H)^{44.16112} - (1-1.30/H)^{44.16112}}{1 - (1-1.30/H)^{44.16112}} \right) \right] \\ + I_B \left[D^2 - \frac{(D^2 - F^2)((1-1.30/H)^{2.170594} - (1-h/H)^{2.170594})}{(1-1.30/H)^{2.170594} - (1-5.30/H)^{2.170594}} \right] + \\ + I_T \left[F^2 \left(2.970218 \left(\frac{h-5.30}{H-5.30} - 1 \right)^2 + I_M \left(\frac{1-b_4}{0.882257^2} \right) \left(0.882257 - \frac{h-5.30}{H-5.30} \right)^2 \right) \right] \end{array} \right\}^{0.5}$$



Şekil 3 Model 2’nin (Jiang vd., 2005) oluşturulmasında kullanılan veriler için elde edilen tahmin değerlerinin arazide ölçülen çap değerlerine göre değişimi (a) ve bağımsız veri grubuna ilişkin model tahmin değerlerinin arazide ölçülen çap değerlerine göre değişimi (b)

Arazide ağaçlar üzerinde ölçümü zor olan 5.3 m yüksekliğindeki çap değerlerinin göğüs çapı ile ilişkisi aşağıda verilmiştir:

$$d_{5.3} = 0.521 \cdot d_{1.3}^{1.092}$$

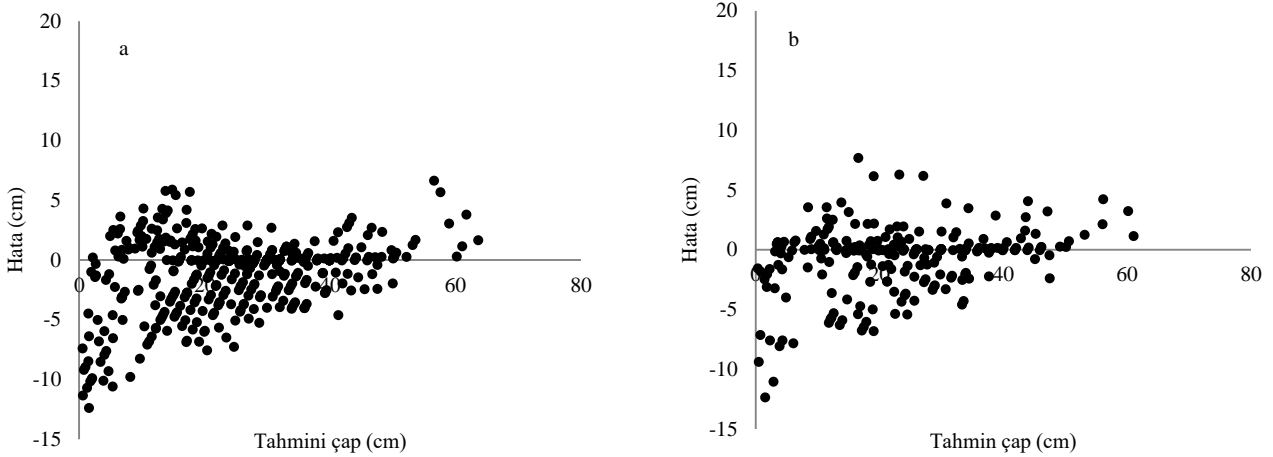
Bu denklemden, $d_{5.3}$: ağacın 5.3 m yüksekliğindeki gövde çapı, $d_{1.3}$: Ağacın 1.3 m yüksekliğindeki göğüs çapı olup, bu denkleme ilişkin tüm katsayılar 0.95 düzeyinde anlamlı olup, belirtme katsayısı; 0.86 ve standart hata; 0.119 cm olarak elde edilmiştir.

Denklemlerin oluşturulmasında kullanılmamış olan 31 adet ağaca ilişkin arazide ölçülen çap değerleri ile denklem kullanılarak tahmin edilen çap değerleri % 95 güven aralığında “Eşlendirilmiş İki Örnek Testi (Paired t test)” ile analiz edilmiştir ve ölçülen değerler ile tahmin edilen değerler arasında anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir ($p=0.148$).

Çizelge 3. Geliştirilen farklı gövde çapı denklemlerinin parametre değerleri ile çeşitli model başarı ölçütleri

MODEL	HKT	HKO	HKOK	R^2_{adj}	Tahmin	Standart Hata	t-değeri	P>t	
MODEL 1	15897	11.338	3.3672	0.929	b_1	-1.50444	0.5054	-2.98	0.003
					b_2	0.493916	0.3066	1.61	0.1074
					b_3	0.363421	0.3257	1.12	0.2647
					b_4	48.57662	10.275	4.73	<0.0001
					a_1	0.635857	0.1787	3.56	0.0004
MODEL 2	8988.3	6.4432	2.5384	0.96	a_2	0.100739	0.00937	10.5	<0.0001
					b_1	44.16112	1.8953	23.3	<0.0001
					b_2	2.170594	0.4615	4.7	<0.0001
					b_3	0.882257	0.00894	98.74	<0.0001
					b_4	2.970218	0.122	24.36	<0.0001
MODEL 3	10966	7.8775	2.8067	0.951	a_0	1.11142	0.0461	24.11	<0.0001
					a_1	0.971384	0.0116	83.9	<0.0001
					b_0	-3.79573	1.3229	-2.87	0.0042
					b_1	-6.44122	1.7096	-3.77	0.0002
					b_2	-3.631	0.917	-3.96	<0.0001
MODEL 4	10692	7.6867	2.7725	0.952	b_3	5.508133	1.4518	3.79	0.0002
					b_4	-0.22777	0.0119	-19.19	<0.0001
					a_0	1.085608	0.0486	22.32	<0.0001
					a_1	0.974883	0.0125	77.82	<0.0001
					b_0	-88.0009	26.948	-3.27	0.0011
MODEL 5	10073	7.2518	2.6929	0.954	b_1	174.8788	73.6136	2.38	0.0177
					b_2	-153.859	74.4755	-2.07	0.039
					b_3	68.00397	27.3746	2.48	0.0131
					b_4	54.00526	15.0769	3.58	0.0004
					b_5	-0.22435	0.0116	-19.28	<0.0001
MODEL 5	10073	7.2518	2.6929	0.954	a_0	1.033477	0.0499	20.71	<0.0001
					a_1	1.027411	0.0182	56.34	<0.0001
					a_2	-0.04066	0.0222	-1.83	0.0668
					b_0	-1.68162	0.2213	-7.6	<0.0001
					b_1	0.540078	0.0726	7.44	<0.0001
					b_2	2.457046	0.1501	16.37	<0.0001
MODEL 5	10073	7.2518	2.6929	0.954	b_3	2.367465	0.2499	9.47	<0.0001
					b_4	-5.18538	0.8597	-6.03	<0.0001
					b_5	-0.00152	0.0117	-0.13	0.8963
					b_6	-0.25963	0.0623	-4.17	<0.0001

HKT: Hata Kareler Toplamı; HKO: HKOK Hata kareler ortalaması; HKOK Hata kareler Ortalamasının Karekökü; R^2_{adj} :Düzeltilmiş belirleme katsayısı



Şekil 4. Model 2'nin (Jiang vd., 2005) oluşturulmasında kullanılan veriler için elde edilen model hatalarının tahmin edilen çap değerlerine göre değişimi (a) ve kullanılmayan veriler için elde edilen model hatalarının tahmin edilen çap değerlerine göre değişimi (b)

Modellerin oluşturulmasında kullanılan veriler için elde edilen model hatalarının tahmin edilen çap değerlerine göre değişimleri de incelenmiş ve grafikleri çizilmiştir. Hatalar incelendiğinde; hata değerlerinin Model 1'de -10.9 ile 14.9 arasında, Model 2'de -12.4 ile 6.3 arasında, Model 3'te -9.6 ile 6.8 arasında, Model 4'te -9.6 ile 6.7 arasında ve Model 5'te ise -9.8 ile 8.1 arasında değerler aldığı görülmüştür.

Hata değerleri arasında en az farkın Model 4'te olduğu gözükse de başarı ölçüt durumları ve parametrelerin anlamlılık durumlarına göre Model 2 (Jiang vd., 2005) daha uygundur. Ayrıca Jiang vd. (2005) ile elde edilen tahminlere ilişkin hata değerlerinin ortalaması sıfır olup, artı ve eksi yöndeki hataların dağılımının dengeli ve rasgele bir biçimde olduğu görülmektedir.

4. Sonuç ve öneriler

Bu çalışmada, Antalya Orman Bölge Müdürlüğü, Antalya Orman İşletme Müdürlüğü, Asar Orman İşletme Şefliği sınırları içinde yayılış gösteren kızılçam meşcerelerindeki ağaçlara ilişkin gövde çapı denklem modelleri geliştirilmiştir. Çalışma alanı olan Asar Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yer alan kızılçam meşcerelerinden farklı çaplarda ve boylarda 206 adet örnek ağaçtan veriler elde edilmiştir. Bu amaçla Max ve Burkhart (1976), Jiang vd. (2005) ve Kozak (1988)'indenklemini esas alarak geliştirilmiş 3 farklı model olmak üzere toplam 5 adet "parçalı polinomsal" gövde çapı denklemleri kullanılmıştır. Denklemlerin parametrelerinin tahmininde ve model başarı ölçütleri hesaplamalarında, doğrusal olmayan regresyon analizi yöntemi kullanılmıştır. Denklemler incelendiğinde Model 1 olarak adlandırdığımız Max ve Burkhart (1976) denkleminde HKT = 15896.8, HKO = 11.3382, HKOK = 3.3672 elde edilirken $R^2_{adj} = 0.9288$ elde edilmiştir. Kozak (1988)'in denklemini esas alarak geliştirilmiş olan Model 3, Model 4 ve Model 5 denklemleri incelendiğinde; Model 3'te HKT = 10965.5, HKO = 7.8775, HKOK = 2.8067 elde edilirken $R^2_{adj} = 0.9505$ elde edilmiştir. Model 4'te HKT = 10692.2, HKO = 7.6867, HKOK = 2.7725 elde edilirken $R^2_{adj} = 0.9517$ elde edilmiştir. Model 5'te HKT = 10072.8, HKO = 7.2518, HKOK = 2.6929 elde edilirken $R^2_{adj} = 0.9540$ elde edilmiştir. Sözü edilen her dört denklemin de (Model 1, 3, 4 ve 5) bazı parametrelerinin anlamlı olduğu görülürken bazı parametreleri ise anlamsız bulunmuştur. Model 2 olarak adlandırdığımız Jiang vd. (2005) denkleminde ise HKT = 8988.3, HKO = 6.4432, HKOK = 2.5384 elde edilirken $R^2_{adj} = 0.9595$ elde edilmiştir. Denklemdaki tüm parametreler anlamlı çıkmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, en başarılı denklem olarak Jiang vd. (2005) denklemi (Model 2) belirlenmiştir.

Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen parçalı polinomsal denklemi gövde şeklini üç temel bölüme ayırırken, Jiang vd. (2005)'in denklemi gövde şeklini dört farklı bölüme ayırarak modellemekte, bu çalışma da elde edildiği üzere gövde çapının modellenmesinde birçok çalışmada daha başarılı sonuçları elde edilebilmektedir.

Jiang vd. (2005), Özçelik ve Bal (2013), Şahin (2012) ve Atalay (2014) dört parçalı bu parçalı polinomsal denklem yapısı ile sırasıyla gövde çapının modellenmesinde %98.37'lik %98.59, %98.28 ve %94.44'lük bir açıklayıcılık elde etmiştir. Jiang vd. (2005)'in denkleminin daha başarılı tahminler elde etmesinin, gövde gelişimindeki değişkenliği yansıtabilmesi ve karmaşık bir denklem yapısı ile açıklanabilir. Jiang vd. (2005) gövde çapı modelinde; ağacın çapı, boyu, 5.30 m yüksekliğindeki çapı ve tahmin edilmek istenilen yükseklik değerleri bağımsız değişken olarak denklemde girilmelidir. Ağacın 5.30 m yüksekliğinin ölçümü zor bir değişken olmasına karşın, 5.30 m yüksekliğindeki çap değerini, ağacın göğüs çapı yardımıyla %95.95 açıklayıcılıkla tahmin eden $d_{5.3} = 0.521 \cdot d_{1.3}^{1.092}$ denklemi bu değer tahmin edilmesinde kullanılabilir.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen Jiang vd. (2005) gövde çapı modeli ile elde edilen tahminlerin, ağaçların alındığı Asar Orman İşletme Şefliği sınırları içerisindeki kızılçam meşcereleri için uygun olup olmadığı, toplam verinin %15 olan 31 ağaçtaki veriler ile test edilmiş ve denklemin, kızılçam ağaçlarının çap değerlerini tahmin etmede kullanılabileceği test sonuçları ile kanaatine

varılmıştır. Öte yandan, bu denklemin başka kızılçam meşcerelerin de kullanılıp kullanılmayacağı istatistiksel olarak bir analiz ile ayrıca test edilmelidir.

Son yıllarda değişen pazar koşulları ve dikili satışın yaygınlaşması ile birlikte ayrıntılı ve daha doğru hacim tahminleri önem arz etmektedir. Bunun sonucu olarak gövde çapı denklemlerinin kullanımı büyük gereksinim oluşturmaktadır. Asli ve farklı ağaç türlerimizin farklı yetiştirme ortamları ve meşcere kuruluşları için gövde çapı denklemlerinin geliştirmesi oldukça önemlidir.

Gövde çapı denklemleri, ağaçların gövde çaplarının gövde boyunca değişimini, gövde şeklindeki farklılıklarını esas alarak modelleyen ve oldukça karmaşık bir denklem yapısına sahip olup, bu denklemler kullanılarak ayrıntılı gövde hacimlerini tahmin etmede de oldukça başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Orman amenajman planları olmak üzere pek çok ormancılık uygulamalarında, pratik olmaları sebebiyle tercih edilen tek girişli ağaç denklemlerine göre özellikle ayrıntılı gövde hacim tahminlerine imkan tanıyan gövde çapı denklemleri, ülkemiz ormancılığı açısından daha doğru ve hassas hacim tahminlerinin elde edilmesine imkan tanıyabilecektir. Ülkemiz ormancılığında, dikili satışın önem kazanması ile ağaç daha kesilmeden ayrıntılı ve daha doğru hacim tahminlerine olan gereksinim artmakta; bu bakımdan da gövde çapı denklemlerinin kullanımı daha da önem kazanacaktır. Başta asli ağaç türlerimiz olmak üzere farklı ağaç türlerimizin değişik yetiştirme ortamları ve meşcere kuruluşları için gövde çapı denklemlerinin geliştirmesi büyük bir öncelik arz etmektedir. Bu bakımdan, ülkemiz ormancılarının temel görevlerinden birisi de bu hacim tahmin sistemlerinin geliştirilmesine ilişkin çalışmalara ağırlık verilmelidir. Ayrıca, Dünya'da gövde çapı denklemlerinin geliştirilmesinde öne çıkan ve birçok uygulamasının olduğu karışık etkili modellemenin kullanımı da sağlanmalıdır.

Açıklama

Bu çalışma, Mustafa Ümit tarafından 2019 yılında bitirilen "Asar Orman İşletme Şefliği (Antalya) Kızılçam Meşcereleri İçin Gövde Çapı Denklemlerinin Geliştirilmesi" isimli yüksek lisans çalışmasının özetidir. Yardım ve katkılarından dolayı Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Atalay, F.A., 2014. Mudurnu-Sırçalı Orman İşletme Şefliği'nde Yayılış Gösteren Anadolu Karaçamı [*Pinus nigra* arnold. subsp. *pallasiana* (lamb.) holmboe] Meşcereleri İçin Gövde Profil Denklem Sistemlerinin Geliştirilmesi. Yüksek lisans tezi, ÇAKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çankırı.
- 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.
- Behre, C.E., 1923. Preliminary notes on studies of tree form. *Journal of Forestry*, 21: 507-511.
- Bennet, F.A., Swindel, B.F., 1972. Taper Curves for Planted Slash Pine. USDA Forest Service, Research Note, SE-179.
- Biging, G.S., 1984. Taper equations for second-growth mixed conifers of northern California. *Forest Science*, 30(4): 1103-1117.

- Bruce, D., Curtis, R., Vanndevering, C., 1968. Development of system of taper and volume tables for res alder. *Forest science*, 14: 339-3350.
- Burkhart, H.E., 1977. Cubic foot volume of Loblolly pine to any merchantable top limit. *Southern Journal of Applied Forestry*, 1: 7-9.
- Cao, Q.V., Burkhart, H.E., Max. T.A., 1980. Evaluation of the two methods for cubic-volume prediction of loblolly pine to any merchantable limit. *For. Sci.*, 26: 71-80.
- Clark, A., Souther, R.A., Schlaegel, B.E., 1991. Stem Profile Equations for Southern Tree Species. USDA For. Serv., Res. Pap., SE-282.
- Claughton-Wallin, H., McVicker, F., 1920. The Jonson "absolute form quotient" as an expression of taper. *Journal of Forestry* 18: 346-357.
- Clutter, J.L., 1980. Development of taper functions from variable-top merchantable volume equations. *For. Sci.*, 26:117-120.
- Fang, Z., Borders, B.E., Bailey, R.L., 2000. Compatible volume-taper models for loblolly and slash pine based on a system with segmented-stem form factors. *forest science*, 46(1): 1-11.
- Hilt, D.E., 1980. Taper-Based System for Estimating Stem Volumes Ofupland Oaks. USDA Forest Service, Research Paper, NE-458.
- Honer, T.G., 1967. Standard Volumes and Merchantable Conversion Factors for the Commercial Tree Species of Central and Eastern Canada. Forest Management Research and Service Institute, Ottawa, Ontario, Inform Rep., FMR-X-5.
- 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.
- Kozak, A., 1988. A Variable exponent taper equation. *Canadian Journal of Forest Research*, 18: 1363-1368.
- Kozak, A., 2004. My last words on taper equations. *Forest Chronicle*, 80: 507-515.
- Liu, C.J., 1980. Long volume Estimating with spline approximation. *Forest Science*, 26(3): 361-369.
- M'Hirit, D., Postaire, J.G., 1985. A Nonparametric technique for taper function estimaion. *Canadaian Journal of Forest Research*, 15: 862-871.
- Matney, T.G., Hodges, J.D., Sullivan, A.D., Ledbetter, J.R., 1985. Tree profile and volume ratio equations for sweetgum and cherrybark oak trees. *Southern Journal of Applied Forestry*, 9: 222-226.
- Max, T.A., Burkhart, H.E., 1976. Segmented polynomial regression applied to taper equations. *Forest Science*, 22(3): 283-289.
- Newnham, R.M., 1988. A Variable Form Taper Function. Canada Frest Service, Petawawa Natl. For. Ins. Inf. Rep. PI-X-83.
- Newnham, R.M., 1992. Variable-form taper functions for four Alberta tree species. *Can. J. For. Res.*, 22: 210-223.
- OGM, 2015. Orman Atlası. Orman Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.
- 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., Alkan, H., 2011. Okaliptüs ağaçlandırmaları için uyumlu gövde çapı ve gövde hacim modellerinin geliştirilmesi. I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu Kahramanmaraş, Bildiriler Kitabı, 26-28 Ekim, s. 720-730.
- 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., Yavuz, H., Karatepe, Y., Gürlevik, N., Kırış, R., 2012. Burdur yöresi kızılçam meşcereleri için gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin geliştirilmesi. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 13(2):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.Perez, D.N., Burkhart, H.E., Stiff, C.T., 1990. A variable form taper function for pinus ocarpa schiede in central honduras. *Forest Science*, 36(1): 186-191.
- Real, P.L., Moore, J.A., Newberry, J.D., 1989. Principal components analysis of tree stem profile. *Canadian Journal of Forest Research*, 19: 1538-1542.
- Sakıcı, O.E., Yavuz, H., 2005. Kastamonu-Bostan Yöresi Uludağ göknarı meşcerelerinde gövde profili denklemleriyle biyokütle miktarının belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Kastamonu, 5(1): 7-22.
- 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(6): 522-533.
- Sakıcı, O.E., 2010. Stem taper functions for *Pinus nigra* in the mixed coniferous-broadleaf forests in Balıkesir, Turkey. 1st International Turkey&Japan Environment and Forestry Symposium, 4-6 November, Trabzon, Turkey, pp. 384-409.
- Sakıcı, O.E., Özdemir, G., 2018. Stem taper estimations with artificial neural networks for mixed Oriental Beech and Kazdağı fir stands in Karabük Region, Turkey. *Cerne*, 24(4): 439-451.
- SASI, 2004. SAS/ETS 9.1 User's Guide. SAS Institute Inc. Cary, NC, SAS Institute Inc. USA.
- Şahin, D., 2012. Karaçam meşcereleri için uyumlu gövde çapı ve gövde hacmi denklem sistemlerinin geliştirilmesi. Yüksek lisans tezi, SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Tatsuo, S., 1988. A theoretical taper curve (II). *Journal of Japan Forest Society*, 70: 199-205.
- Therien, G., Camire, C., 1986. Use of taper curve solved by an algebraic method in silvicultural research. *The Forestry Chronicle*, 62: 259-532.
- Ümit, M., 2019. Asar Orman İşletme Şefliği (Antalya) Kızılçam Meşcereleri İçin Gövde Çapı Denklemlerinin Geliştirilmesi. Yüksek lisans tezi, ÇAKÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çankırı.
- Yavuz, H., 1995. Taşköprü Orman İşletmesinde Sarıçam ve Karaçam için uyumlu gövde çapı, gövde hacmi ve hacim oran denklem sistemlerinin geliştirilmesi, Araştırma notu, Trabzon.
- Yavuz, H., Sakıcı, O.E., 2002. Gövde profili modellerinin bilimsel ve pratik açıdan irdelenmesi. Orman Amenajmanında Kavramsal Açılımlar ve Yeni Hedefler Sempozyumu. Bildiriler Kitabı, 18-19 Nisan, İstanbul, s. 233-241.