

Asarkaya Kızılçam Meşcereleri İçin Tek ve Çift Girişli Ağaç Hacim Denklemlerinin Geliştirilmesi^x

M. Şenyurt¹, M. Ümit^{2,*}

¹ Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, 18200 ÇANKIRI

² Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, 18200, ÇANKIRI

MAKALE KÜNYESİ

Geliş Tarihi: 30 Temmuz 2019

Kabul Tarihi : 30 Aralık 2019

*Sorumlu yazarın e-posta adresi:
msenyurt@karatekin.edu.tr

ÖZ

Bu çalışmada, Antalya Orman Bölge Müdürlüğü, Antalya Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı Asarkaya Orman İşletme Şefliği içerisinde yer alan kızılçam meşcerelerindeki ağaçların hacim denklemlerini modellemek üzere tek ve çift girişli ağaç hacim denklemleri geliştirilmiştir. Tek girişli hacim denklemleri için 6 ve çift girişli ağaç hacim denklemleri için ise 27 farklı fonksiyon, tahminin standart hatası (S_{yx}), ortalama hata (\bar{D}), ortalama mutlak hata $|\bar{D}|$, toplam hata yüzdesi (TH) ve ortalama mutlak hata yüzdesi (OMH) değerleri ve belirtme katsayısı (R^2) olmak üzere 6 adet başarı ölçütüne göre karşılaştırılmıştır. Bu ölçütlere göre seçilen en başarılı tek girişli hacim fonksiyonuna ilişkin uygunluk ölçütleri, $OH= 8,77 \times 10^{16} \text{ m}^3$, $OMH= 0,0721 \text{ m}^3$, $R^2= 0,9410$, $S_{yx} = 0,1197 \text{ m}^3$, $OMHY= \% 11,2465$, $THY= \% 2,96 \times 10^9$ olarak hesaplanmıştır. En başarılı çift girişli hacim fonksiyonuna ilişkin uygunluk ölçütleri ise; $OH= 0,0052 \text{ m}^3$, $OMH = 0,0723 \text{ m}^3$, $R^2 = 0,9402$, $S_{yx} = 0,1204 \text{ m}^3$, $THY = \% 0,8142$, $OMH = \% 11,2666$ olarak hesaplanmıştır. En başarılı denklem olarak belirlenen tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerinin çalışmaya konu bölgedeki kızılçam ağaçları için uygunluğu bağımsız bir veri grubu ile test edilerek $p < 0,05$ önem düzeyi ile uygun olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tek girişli ağaç hacim denklemleri, Çift girişli ağaç hacim denklemleri, Regresyon modelleri, Kızılçam.

Single and Double Entry Tree Volume Tables for Asarkaya Turkish Pine Stands

ABSTRACT

In this study, the single and double entry volume equations were developed for Turkish Pine [*Pinus brutia* Ten.] trees located in Antalya Forest Enterprise, Antalya Forest District Directorate. The six functions for single entry volume equations and twenty-seven functions for double entry volume equations were compared by using six fitting performance criteria, i.e. standard deviation of residuals, average residuals or bias, average absolute residuals, percentage total error, percentage of absolute mean error and the coefficient of determination. The performance criteria for best fitted single and double entry tree volume equations were $MSE= 8,77 \times 10^{16} \text{ m}^3$, $RMSE= 0,0721 \text{ m}^3$, $R^2= 0,9410$, $S_{yx} = 0,1197 \text{ m}^3$, $RMSE (\%)= \% 11,2465$, $PTE= \% 2,96 \times 10^9$ for single entry volume equation and $MSE= 0,0052 \text{ m}^3$, $RMSE = 0,0723 \text{ m}^3$, $R^2 = 0,9402$, $S_{yx} = 0,1204 \text{ m}^3$, $PTE = \% 0,8142$, $PAME = \% 11,2666$ for double entry volume equation. The best predictive single and double entry volume equations were decided to be appropriate at 0,05 significant levels for the studied Turkish pine trees by testing independent data.

Keywords: Single entry volume equations, Double entry volume equations, Regression models, Calabrian pine.

Bu makaleye atf:

Şenyurt, M., Ümit, M., 2019. Asarkaya Kızılçam Meşcereleri İçin Tek ve Çift Girişli Ağaç Hacim Denklemlerinin Geliştirilmesi. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi 5(2): 108-116.

1. Giriş

Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ülkemizde orman ağacı türlerine göre, yayılış alanı olarak 5,4 milyon hektar ile ilk sırada gelmektedir. 270 milyon metreküp hacim ile de karaçamdan sonra gelen asli ağaç türümüzdür. Ayrıca, iğne yapraklı ormanlarda yıllık toplam üretimi içerisinde %39'luk odun üretimi ile ön sırada yer almaktadır (Anonim, 2006; Carus ve Çatal, 2008).

Kızılçam Ormanlarının planlanmasında ve işletilmesinde, ilk aşama orman envanterinin gerçekleştirilmesi ve ormanlar hakkında sayısal bilgilerin elde edilmesidir. Orman envanteri, belirli bir zaman kesitinde üretim sürecine katılan faktörlerin ve oluşan ürün miktarının sayım, ölçüm ve değerlendirme yolu ile saptanması işlemi olarak tanımlanmaktadır (Kalıpsız, 1999). Ağaç serveti envanterinde, farklı tek ağaç özellikleri ölçülmekte, bu ölçümler yardımıyla meşcere orta çapı, orta boyu, göğüs yüzeyi, ağaç sayısı, hacmi ve artımı gibi çeşitli meşcere özellikleri hesaplanmaktadır. Ormanın temel ürünü olan odunun, özellikle hacim veya ağırlık birimi ile ölçülerek piyasaya sunulması nedeniyle, meşcere hacmi ve artımı, diğer özelliklerine göre öne çıkmaktadır. Meşcere hacmi olarak ölçülen ağaç serveti, orman işletmelerinden elde edilen ana ürün olarak orman işletmelerinin sermayesinin önemli kısmını oluşturmaktadır (Yeşil, 1992; Yavuz ve Saraçoğlu, 1999; Kapucu, 2004).

Ormanların envanterinde, en önemli ölçüm bileşenlerden birisi de ormanların ekonomik yönünü oluşturan ağaç serveti tahminidir. Çünkü orman işletmelerinin gelirinin büyük bir kısmını ağaçlardan elde edilen odun ürünlerinin satışı oluşturmaktadır (Fırat 1973; Kalıpsız, 1999). Bu önemi ile birlikte ağaçların hacimlerini tahmin etmek üzere çok farklı yöntem ve yaklaşımlar geliştirilmiştir. Farklı bir çok yöntem ve yaklaşımın geliştirilmesinin temel nedeni ise; ağaç gövdelerinin silindir, parabolit, koni ve nayloit gibi bilinen geometrik şekillerde olmaması ile standart yöntemlerle ağaç hacmini doğrudan hesaplamının mümkün olmamasıdır (Yavuz ve ark., 2002). Tüm farklı yöntemler içinde uygulamada ağaç hacim denklemleri ve tabloları; pratik açıdan daha elverişli olduklarından tercih edilmektedir (Kalıpsız, 1984; 1999).

Ağaç hacim denklemleri istatistik biliminin bir konusu olan regresyon analizi ile elde edilmektedirler. Ağaç hacim denklemleri, içerdikleri bağımsız değişken sayısına göre; tek girişli (sadece göğüs çapı içeren), çift girişli (göğüs çapı ve ağaç boyu içeren) ve çok girişli (göğüs çapı ve ağaç boyuna ek olarak ağaç boyunun belirli bir oranına (örneğin % 30) karşılık gelen yükseklikteki gövde çapı ya da yerden 7 metre yüksekliğindeki gövde

çapı gibi üç ya da daha çok değişken içeren) olarak üç sınıfa ayrılmaktadır (Kapucu ve ark., 2002). Ağaç hacim denklemleri kullanıldıkları alan bakımından ise “Yöresel (Lokal) Ağaç Hacim Denklemleri”, “Bölgesel Ağaç Hacim Denklemleri” ve “Genel Ağaç Hacim Denklemleri” olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır (Kapucu vd., 2002). Meşcerelerdeki hacim gelişimini temsil etmek üzere elde edilen veriler kullanılarak ağaç hacim denklemlerinin düzenlenmesinde; ağaçların hacimlerinin, göğüs çapı ya da boyuna göre modellenmesi söz konusu olup, bunun için ‘Grafik Yöntem’ ya da istatistiksel bir yöntem olan ‘Regresyon Analizi’ yöntemlerinden yararlanılmaktadır (Yavuz ve Şentürk, 1997).

Ülkemizde asli ağaç türleri için birçok ağaç hacim denklemleri ve tabloları düzenlenmiştir. Meşe (Eraslan, 1954), Anadolu karaçamı (Gülen, 1959; Kalıpsız, 1963), Doğu kayını (Kalıpsız, 1962), Toros sediri (Evcimen, 1963), Okaliptus (Fırat ve Kalıpsız, 1963; Özkurt, 2000) hacim tablolarının oluşturulmasında grafik metotlar kullanılmıştır. Gökmar (Miraboğlu, 1955), Sarıçam (Erkin, 1956; Alemdağ, 1967; Pehlivan, 2010; Şenyurt, 2011, Ölmez, 2018), Kızılçam (Alemdağ, 1962), Doğu ladini (Akalp, 1978), Karakavak (Birler ve Yüksel, 1983), Kazdağı göknarı (Asan, 1984), Gökmar (Saraçoğlu, 1988, Sakıcı ve Yavuz, 2003), Kızılağaç (Saraçoğlu, 1998), Dişbudak (Yavuz ve Şentürk, 1997), Sarıçam-Uludağ göknarı-Doğu kayını değişik yaşlı karışık meşcereleri (Durkaya, 2004), Titrekavak (Bayburtlu, 2007), Sahil Çamı (Ercanlı ve ark., 2008), Kızılçam (Kahriman ve ark., 2017), Sedir (Özçelik ve Çevlik, 2017), Karaçam (Sakıcı ve ark., 2018) gibi çeşitli ağaç türleri için ağaç hacim denklemlerini istatistiksel bir analiz olan regresyon analizi yöntemi ile geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, Antalya Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde yer alan Asarkaya Orman İşletme Şefliği’nde yayılış gösteren Kızılçam için tek ve çift girişli yöresel ağaç hacim tablolarının düzenlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

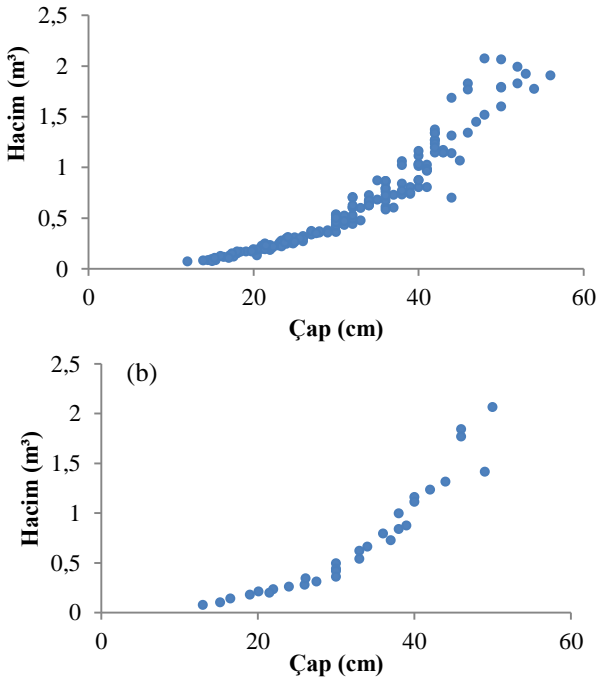
Bu çalışmada, Antalya Orman Bölge Müdürlüğü, Antalya Orman İşletme Müdürlüğü’ne bağlı Asarkaya Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yer alan Kızılçam meşcerelerinden 206 adet örnek ağaçtan elde edilen veriler kullanılmıştır. Ağaçların farklı çap ve boy baamaklarında olmalarına dikkat edilmeye çalışılmıştır. Örnek ağaçlar dip kütük yüksekliğinden (0,3 m) kesilmiş ve 0,3 m, 1,3 m, 3,3 m gibi, 2 metre ara ile gövde çapları ölçülmüştür. Gövde boyunca, öncelikle dip kütük yüksekliği (0,3 m) ve göğüs yüksekliği (1,3 m) çapları ölçülmüş, daha sonra tepe ucuna kadar 2 m aralıklarla (3,3, 5,3,

7,3, ... m'lerde) gövde çapı ölçümleri yapılmıştır. Ağaçların boyu da şerit metre yardımıyla ölçülmüştür. Çizelge 1'de örnek ağaçlarla ilgili istatistiksel bilgiler verilmiştir.

Çizelge 1. Örnek ağaçlara ilişkin istatistiksel bilgiler.

	Göğüs çapı (cm)	Boy (m)	Hacim (m ³)
Minimum	12,0	7,0	0,0709
Maksimum	56,0	22,8	2,0727
Ortalama	31,6	13,8	0,6516
Standart sapma	9,87	3,74	0,49

Veriler, ağaç hacim fonksiyonlarının parametrelerinin tahmininde ve bu fonksiyonların meşcereye uygunluğunun denetiminde kullanılan veriler olmak üzere rasgele iki gruba ayrılmıştır, I. grupta, toplam verinin yaklaşık % 85'i (n=175), II. grupta ise yaklaşık % 15'i (n=31) bulunmaktadır. Bu verilere ait çap boy grafikleri şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Hacim denklemlerinin geliştirilmesinde (a) ve denetiminde (b) kullanılan verilerin göğüs çapı-hacim ilişkisi.

Ağaçların hacimleri, dip kütük, seksiyon ve uç parça olmak üzere üç temel bölümde hacimlendirilmiş, bu bölümlere ilişkin hacim değerleri toplanarak toplam gövde hacmi elde edilmiştir. Dip kütüğün silindir, uç parçanın ise koni şeklinde olduğu varsayılarak hacim hesapları yapılmıştır. Seksiyonlar Smalian formülü ile hacimlendirilmiştir.

$$\text{Dip kısım için; } V_{dip} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{0,3}^2 \cdot 0,3 \quad (1)$$

$$\text{Uç kısmı için; } V_{uç} = \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_{uç}^2 \cdot h_{uç} \quad (2)$$

$$\text{Smalian formülü; } V_{seksiyon} = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_0^2 + d_n^2}{2} \right) \cdot l \quad (3)$$

Literatür incelendiğinde, tek ve çift girişli pek çok hacim fonksiyonu bulunduğu görülecektir. Bu çalışmada çeşitli kaynaklardan (Şentürk, 1997; Yavuz ve Saraçoğlu, 1999) sağlanan tek girişli hacim fonksiyonları için 6 (4-9 no'lu denklemler) ve çift girişli ağaç hacim fonksiyonları için 27 (10-36 no'lu denklemler) farklı hacim fonksiyonu kullanılmıştır. Bu denklemlere ilişkin katsayılar, katsayıların önemlilik düzeyleri ve diğer istatistiklerin hesaplanmasında SPSS 15,0 adlı paket program kullanılmıştır (SPSS 15.0 Inc, 2006).

Tek girişli ağaç hacim fonksiyonları;

$$V = b_0 + b_1 \cdot d^2 \quad (4)$$

$$V = b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot d^2 \quad (5)$$

$$V = b_0 + b_1 \cdot d^2 + b_2 / d \quad (6)$$

$$\log V = \log b_0 + b_1 \cdot \log d \quad (7)$$

$$\log V = b_0 + b_1 \cdot \log d + b_2 \cdot d^{-1} \quad (8)$$

$$\log V = b_0 + b_1 \cdot \log d + b_2 \cdot (\log d)^4 \quad (9)$$

Çift girişli ağaç hacim fonksiyonları;

$$V = b_1 \cdot d^2 \cdot h \quad (10)$$

$$V = b_0 + b_1 \cdot d^2 \cdot h \quad (11)$$

$$V = b_0 + b_1 \cdot d^2 + b_2 h + b_3 \cdot d^2 \cdot h \quad (12)$$

$$V = d^2 (b_1 + b_2 h) \quad (13)$$

$$V = b_1 d^2 + (b_2 h + b_3 dh + b_4 d^2) h \quad (14)$$

$$V = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + (b_3 + b_4 d + b_5 d^2) h \quad (15)$$

$$V = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + (b_3 d + b_4 d^2) h \quad (16)$$

$$\log V = b_0 + b_1 \log d + b_2 (\log d)^2 + b_3 \log h + b_4 (\log h)^2 \quad (17)$$

$$V = b_0 + b_1 d^2 + b_2 h^2 + b_3 dh^2 + b_4 d^2 h \quad (18)$$

$$V = b_1 d + b_2 d^2 + b_3 h + b_4 dh + b_5 d^2 h \quad (19)$$

$$V = b_1 d + b_2 d^2 + b_3 dh + b_4 d^2 h \quad (20)$$

$$V = b_1 d^2 + b_2 h^2 + b_3 dh^2 + b_4 d^2 h^2 \quad (21)$$

$$V = b_1 dh + b_2 d^2 h \quad (22)$$

$$\log V = b_0 + b_1 \log d + b_2 \log h + b_3 (1/d) \quad (23)$$

$$\log V = b_0 + b_1 \log d + b_2 \log h + b_3 (\log d)^4 \quad (24)$$

$$\log V = b_0 + b_1 \log d + b_2 (\log d)^4 + b_3 \log h + b_4 (\log h)^4 \quad (25)$$

$$\log V = b_0 + b_1 \log d + b_2 d^2 + b_3 \log h \quad (26)$$

$$\log V = b_0 + b_1 d + b_2 h + b_3 d^2 + b_4 h^2 + b_5 dh^2 + b_6 d^2 h \quad (27)$$

$$\log V = b_0 + b_1 \log(d^2 h) \quad (28)$$

$$\log V = b_0 + b_1 \cdot \log d + b_2 \cdot \log h \quad (29)$$

$$\log V = b_0 + b_1 \log d + b_2 \log h + b_3 (\log h)^2 \quad (30)$$

$$\log V = b_0 + b_1 \log d + b_2 \log h + b_3 (\log h)^4 \quad (31)$$

$$\log V = b_0 + b_1 \log d + b_2 \log h + b_3 (1/h) \quad (32)$$

$$\log V = b_0 + b_1 \log d + b_2 \log h + b_3 d^2 \quad (33)$$

$$\log V = b_0 + b_1 \log d + b_2 \log h + b_3 d^2 h \quad (34)$$

$$\log V = b_0 + b_1 \log d + b_2 \log h + b_3 h^2 \quad (35)$$

$$\log V = b_0 + b_1 \log d + b_2 \log h + b_3 dh^2 \quad (36)$$

En iyi sonucu veren fonksiyonun belirlenmesi için, altı adet uygunluk ölçütünden faydalanılmıştır. Bunlardan tahminin standart hatası, ortalama hata, ortalama mutlak hata, toplam hata yüzdesi ve ortalama mutlak hata yüzdesi değerlerinin küçük, belirtme katsayısı değerlerinin ise büyük olması durumunda başarılı hacim tahminleri elde edilmektedir. Bu farklı hacim denklemlerinden, ağaçların hacim tahminlerinde en başarılı olan denklemin belirlenmesinde tüm ölçütlerinin kapsayacak biçimde başarı sıralaması yapılmıştır. Tahminin standart hatası, ortalama hata, ortalama mutlak hata, toplam hata yüzdesi ve ortalama mutlak hata yüzdesi değerlerine göre en küçüğüne, belirtme katsayısı değerlerinin en büyüğüne 1 sıra numarası verilerek suretiyle sıralama yapılmış, sıra numaraları toplamı, ilgili hacim fonksiyonu için başarı derecesi olarak kabul edilmiştir. En küçük toplam sıra numarasına sahip fonksiyon, en iyi sonucu veren hacim fonksiyonu olarak belirlenmiştir, (Yavuz ve Saraçoğlu, 1999).

Belirtme Katsayısı;

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum (V_i - \hat{V}_i)^2}{\sum (V_i - V_{ort})^2} \right) \quad (37)$$

Tahminin Standart Hatası;

$$S_{y.x} = \sqrt{\frac{\sum (V_i - \hat{V}_i)^2}{N - p}} \quad (38)$$

Ortalama Hata;

$$OH = \frac{(\sum D)}{N} \quad (39)$$

Ortalama Mutlak Hata;

$$OMH = \frac{(\sum |D|)}{N} \quad (40)$$

Toplam Hata Yüzdesi;

$$THY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \hat{V}_i - \sum_{i=1}^n V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (41)$$

Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi;

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{V}_i - V_i|}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (42)$$

N: veri sayısı, p: parametre sayısı, $D : \hat{V}_i - V_i$, \hat{V}_i : hacim fonksiyonu ile tahmin edilen hacim değeri, V_i : ölçülen hacim değeri, V_{ort} : ölçülen ortalama ağaç hacim değeri

Bu ölçütlere göre en iyi sonucu veren hacim denklemleri belirlendikten sonra, bu denklemin çalışma alanındaki kızılçam meşcerelerine uygun olup olmadığı, toplam verinin yaklaşık % 15'sini oluşturan ve tesadüfi olarak belirlenen örnek ağaçlar (31 adet) kullanılarak Bağımlı İki Örneklem T Testi (Paired t test) ile belirlenmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Tek ve çift girişli hacim fonksiyonlarına ilişkin parametrelerin tahmin değerleri, Çizelge 2'de, hacim fonksiyonları ölçüt değerleri ise Çizelge 3'te yer almaktadır. Tüm tek ve çift girişli hacim fonksiyonları; $p < 0,05$ önem düzeyi ile anlamlı olarak elde edilmiştir. Bu fonksiyonların bazı parametreleri $p < 0,05$ önem düzeyi ile anlamlı iken, bazıları ise anlamsız elde edilmiştir. Tek girişli hacim denklemlerinde uygunluk ölçütleri dikkate alındığında, en küçük sıra numara toplamına sahip olan 5 no'lu denklem hacim tahminlerinde başarılı sonuçlar vermektedir. En başarılı olarak belirlenen tek girişli ağaç hacim denklemi aşağıda verilmiştir.

$$V = 0,186967 - 0,0224d + 0,001062d^2$$

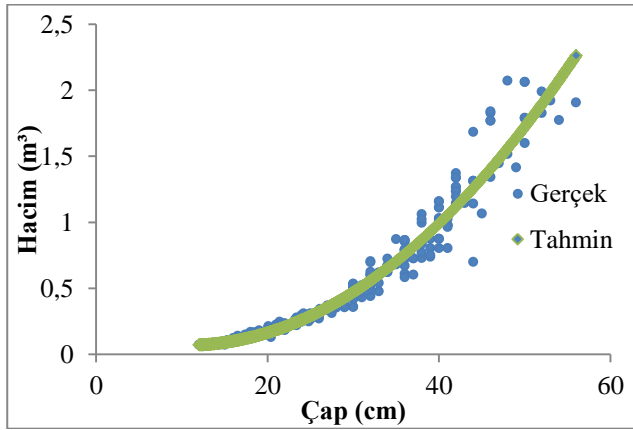
En başarılı tek girişli hacim fonksiyonuna ilişkin uygunluk ölçütleri, $OH = 8,77 \times 10^{16} \text{ m}^3$, $OMH = 0,0721 \text{ m}^3$, $R^2 = 0,9410$, $S_{y.x} = 0,1197 \text{ m}^3$, $OMHY = \% 11,2465$, $THY = \% 2,96 \times 10^9$ olarak hesaplanmıştır.

Çift girişli ağaç hacim fonksiyonun elde edilmesinde, regresyon analizi ile üretilen denklemlerden en başarılı denklem; 27 numaralı denklem olarak belirlenmiştir. Ancak bazı parametreleri anlamsız çıktığı için bu denklem yerine, sıradaki başarı sırasına sahip denklem değerlendirmeye alınmıştır. Yine aynı şekilde sırasıyla 20, 16, 15, 19, 12, 18, 14 ve 21 no'lu denklemler değerlendirmeye alınmış, ancak bazı parametreleri anlamsız çıktığı için kullanılmamıştır. Başarı kriterlerine göre bu denklemlerden sonra gelen 23 no'lu denkleminin tüm parametreleri anlamlı olduğu için en başarılı çift girişli denklem olarak seçilmiştir.

$$\log V = -4,948181 + 2,86296 \cdot \log d + 0,163804 \cdot \log h + 5,846506/d$$

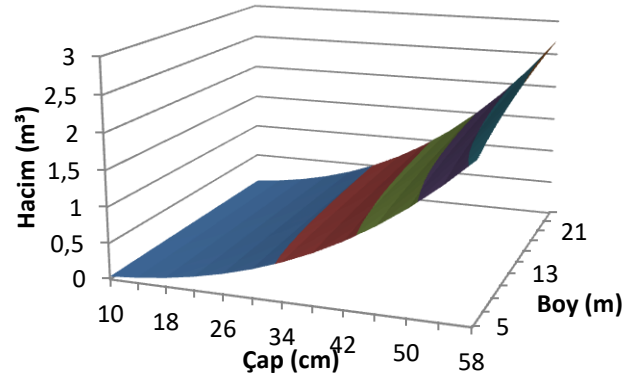
En başarılı fonksiyon olarak seçilen denkleme ilişkin başarı ölçütleri ise; $OH = 0,0052 \text{ m}^3$, $OMH = 0,0723 \text{ m}^3$, $R^2 = 0,9402$, $S_{y.x} = 0,1204 \text{ m}^3$, $THY = \%0,8142$, $OMHY = \%11,2666$ olarak hesaplanmıştır.

Şekil 2'de, en başarılı olarak belirlenen tek girişli ağaç hacim denklemi ile elde edilen hacim tahminlerinin, çapa göre değişimi gösterilmiştir. Şekil 3'te çift girişli ağaç hacim denkleminin çap ve boya göre değişimi yer almaktadır. Şekil 4 ve Şekil 5'te örnek ağaçları için hesaplanan hacim değerlerine göre tek ve çift girişli ağaç hacim denklemleri ile elde edilen tahmin değerleri yer almaktadır.

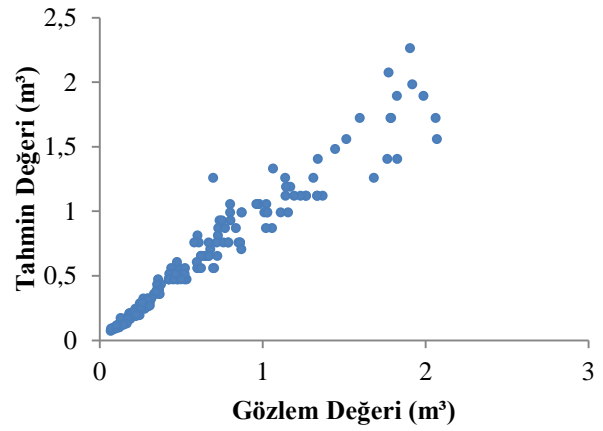


Şekil 2. Tek girişli ağaç hacim denklemi ile elde edilen hacim tahminleri ve arazide gözlemlenen hacim gelişimi.

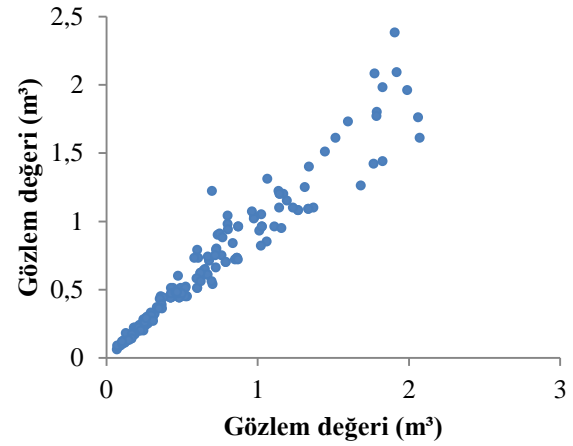
Şekil 3'te, çift girişli ağaç hacim denkleminin çap ve boya göre değişimi yer almaktadır.



Şekil 3. Çift girişli ağaç hacim denklemi ile elde edilen hacim tahminlerinin değişimi.



Şekil 4. Tek girişli ağaç hacim denklemlerine ilişkin tahmin değerlerine göre değişimi.



Şekil 5. Çift girişli ağaç hacim denklemlerine ilişkin tahmin değerlerine göre değişimi.

Çizelge 2. Tek ve çift girişli denklemlere ilişkin parametre tahminleri.

Model No	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅	b ₆
Tek Girişli Ağaç Hacim Denklemleri							
4	-0,155***	0,001***					
5	0,187*	-0,022***	0,001***				
6	-0,472***	0,001***	5,941***				
7	-3,966***	2,464***					
8	-5,163***	3,097***	7,428***				
9	-3,229***	1,778***	0,055***				
Çift Girişli Ağaç Hacim Denklemleri							
10		3,52x10 ⁻⁵ ***					
11	0,059***	3,32x10 ⁻⁵ ***					
12	0,076 ^{ns}	0,0004***	-0,013*	1,9x10 ⁻⁵ ***			
13		0,0003***	1,9x10 ⁻⁵ ***				
14		0,0004***	-0,001 ^{ns}	1,38x10 ⁻⁵ ^{ns}	1,54x10 ⁻⁵ ^{ns}		
15	0,359 ^{ns}	-0,019 ^{ns}	0,001**	-0,031 ^{ns}	0,001 ^{ns}	8,82x10 ⁻⁷ ^{ns}	
16	-0,008 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,0004 ^{ns}	-0,0005 ^{ns}	2,2x10 ⁻⁵ ^{ns}		
17	-3,140***	0,485 ^{ns}	0,650**	1,019 ^{ns}	-0,378 ^{ns}		
18	0,015 ^{ns}	0,0004***	-0,0001 ^{ns}	1,8x10 ⁻⁵ ^{ns}	1,5x10 ⁻⁵ ^{ns}		
19		0,002 ^{ns}	0,0004 ^{ns}	-0,004 ^{ns}	-0,0004 ^{ns}	2,2x10 ⁻⁵ ^{ns}	
20		0,0002 ^{ns}	0,0005**	-0,0005 ^{ns}	2,14x10 ⁻⁵ ^{ns}		
21		0,001***	-0,001 ^{ns}	2,03x10 ⁻⁵ ^{ns}	3,69x10 ⁻⁷ ^{ns}		
22		0,0002 ^{ns}	3,01x10 ⁻⁵ ***				
23	-4,948***	2,863***	0,164**	5,847**			
24	-3,834***	1,502***	0,945***	0,033*			
25	-3,562***	1,762***	0,048 ^{ns}	0,404 ^{ns}	-0,040 ^{ns}		
26	-3,770***	2,153***	4,61x10 ⁻⁵ ^{ns}	0,186**			
27	-2,052***	0,058***	0,044 ^{ns}	0,0003 ^{ns}	-0,003 ^{ns}	5,61x10 ⁻⁵ ^{ns}	-1,9x10 ⁻⁵ ^{ns}
28	-4,088***	0,919***					
29	-4,020***	2,329***	0,223***				
30	-3,925***	2,328***	0,055 ^{ns}	0,074 ^{ns}			
31	-3,931***	2,328***	0,118 ^{ns}	0,017 ^{ns}			
32	-4,011***	2,329***	0,217 ^{ns}	-0,035 ^{ns}			
33	-3,77***	2,153***	0,186**	4,61x10 ⁻⁵ ^{ns}			
34	-3,845***	2,25***	0,149*	1,42x10 ⁻⁶ ^{ns}			
35	-3,929***	2,327***	0,125 ^{ns}	0,0001 ^{ns}			
36	-3,868***	2,29***	0,119 ^{ns}	2,91x10 ⁻⁶ ^{ns}			

Çizelge 3. Denklemlere ilişkin hesaplanan başarı ölçütleri.

Denklemler No	R ²	Sıra	S _{yx}	Sıra	OH	Sıra	OMH	Sıra	OMHY	Sıra	THY	Sıra	Toplam Sıra
Tek girişli ağaç hacim denklemleri													
4	0,9356	5	0,1250	5	4,57x10 ¹⁶	2	0,0828	6	12,9092	6	2,96x10 ¹¹	2	26
5	0,9410	2	0,1197	2	8,77x10 ¹⁶	3	0,0721	1	11,2465	1	2,96x10 ¹¹	1	10
6	0,9412	1	0,1194	1	1,83x10 ¹⁶	1	0,0733	4	11,4266	4	2,96x10 ¹¹	3	14
7	0,9373	3	0,1233	3	0,0123	6	0,0724	2	11,2844	2	1,9200	6	22
8	0,9361	4	0,1245	4	0,0053	4	0,0729	3	11,3641	3	0,8210	4	22
9	0,9336	6	0,1269	6	0,0053	5	0,0736	5	11,4776	5	0,8297	5	32
Çift girişli ağaç hacim denklemleri													
10	0,9166	27	0,1423	27	0,0234	27	0,1039	27	16,1988	27	3,6540	27	162
11	0,9223	25	0,1373	25	5,7x10 ¹⁶	2	0,1018	25	15,8764	25	2,96x10 ¹¹	3	105
12	0,9446	1	0,1159	5	6,55x10 ¹⁶	4	0,0754	19	11,7618	19	2,96x10 ¹¹	5	53
13	0,9384	19	0,1222	19	0,0126	26	0,0841	23	13,1148	23	1,9706	26	136
14	0,9448	4	0,1157	4	0,0005	9	0,0756	20	11,7819	20	0,0819	9	66
15	0,9449	2	0,1156	2	8,6x10 ¹⁶	5	0,0747	17	11,6453	17	2,96x10 ¹¹	1	44
16	0,9445	8	0,1160	8	5,3810 ¹⁶	1	0,0741	16	11,5479	16	2,96x10 ¹¹	4	53
17	0,9377	22	0,1229	22	0,0054	11	0,0723	10	11,2707	10	0,8440	11	86
18	0,9448	3	0,1157	3	6,37x10 ¹⁶	3	0,0756	21	11,7954	21	2,96x10 ¹¹	2	53
19	0,9446	7	0,1159	7	0,0002	7	0,0748	18	11,6598	18	0,0289	7	64
20	0,9445	9	0,1160	9	3,44x10 ⁵	6	0,0739	15	11,5292	15	0,0054	6	60
21	0,9446	6	0,1159	6	0,0003	8	0,0765	22	11,9250	22	0,0508	8	72
22	0,9190	26	0,1402	26	0,0094	19	0,1028	26	16,0237	26	1,4649	19	142
23	0,9402	18	0,1204	18	0,0052	10	0,0723	8	11,2666	8	0,8142	10	72
24	0,9424	12	0,1182	12	0,0098	21	0,0716	6	11,1635	6	1,5277	21	78
25	0,9374	23	0,1232	23	0,0060	12	0,0726	11	11,3133	11	0,8536	12	92
26	0,9382	20	0,1224	21	0,0060	14	0,0731	13	11,4016	13	0,9394	14	95
27	0,9485	1	0,1117	1	0,0062	15	0,0682	1	10,6404	1	0,9714	15	34
28	0,9239	24	0,1358	24	0,0086	18	0,0984	24	15,3387	24	1,3365	18	132
29	0,9419	15	0,1187	15	0,0102	24	0,0715	3	11,1523	3	1,5873	24	84
30	0,9422	14	0,1184	14	0,0010	23	0,0716	4	11,1605	4	1,5556	23	82
31	0,9424	13	0,1182	13	0,0098	22	0,0716	7	11,1635	7	1,5277	22	84
32	0,9419	16	0,1187	16	0,0102	25	0,0715	2	11,1512	2	1,5902	25	86
33	0,9382	21	0,1224	20	0,0060	13	0,0731	14	11,4016	14	0,9394	13	95
34	0,9404	17	0,1202	17	0,0069	16	0,0729	12	11,3637	12	1,0710	16	90
35	0,9427	10	0,1179	10	0,0095	20	0,0716	5	11,1608	5	1,4859	20	70
36	0,9424	11	0,1182	11	0,0080	17	0,0723	9	11,2671	9	1,2433	17	74

En iyi sonucu veren hacim denklemleri belirlendikten sonra, bu hacim fonksiyonlarının Asarkaya yöresindeki kızılçam meşcereleri için uygun olup olmadığının denetimi, tesadüfi olarak seçilen ve toplam verinin yaklaşık % 15'ini oluşturan veriler (n=31) ile test edilmiştir. Bunun için Bağımlı İki Örneklem T Testi (Paired t test) uygulanmıştır. Tek girişli denklem için p = 0,121 ve çift girişli için p = 0,094 olarak hesaplanmıştır. Bu bakımdan, bu çalışmada elde edilen tek ve çift girişli

hacim fonksiyonlarının, örnek ağaçların alındığı Asarkaya Kızılçam meşcereleri için istatistiksel olarak uygun olduğu kanaatine varılmıştır.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, Antalya Orman Bölge Müdürlüğü, Antalya Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı Asarkaya Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yer alan Kızılcım meşcerelerinden ölçülen veriler yardımıyla tek ve çift girişli ağaç hacim denklemleri geliştirilmiştir. Bu amaçla, farklı çap ve boylarda 206 adet ağaçta gövde boyunca çaplar ölçülmüş ve seksiyon yöntemine göre hacimleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu hacimler ile tek ve çift girişli ağaç hacim denklemleri elde edilmiştir. Tek girişli ağaç hacim denklemi için 6 ve çift girişli ağaç hacim denklemi için 27 tane denkleminin parametreleri regresyon analizi ile tahmin edilmiş, elde edilen sonuçlar belirtme katsayısı, tahminin standart hatası, ortalama hata, ortalama mutlak hata, toplam hata yüzdesi ve ortalama mutlak hata yüzdesi başarı ölçütlerine göre karşılaştırılarak en başarılı hacim denklemleri belirlenmiştir. Geliştirilen ağaç hacim denklemlerinin verilerin alındığı meşcerelere uygunluğu denetlenmiş ve geliştirilen tek ve çift girişli ağaç denklemlerinin Asarkaya Orman İşletme Şefliği'ndeki kızılcım meşcereleri için uygun olduğu kanaatine varılmıştır.

En başarılı tek girişli hacim fonksiyonuna ilişkin uygunluk ölçütleri, $OH = 8,77 \times 10^{16} \text{ m}^3$, $OMH = 0,0721 \text{ m}^3$, $R^2 = 0,9410$, $S_{y.x} = 0,1197 \text{ m}^3$, $THY = \% 2,96 \times 10^9$, $OMHY = \% 11,2465$ olarak hesaplanmıştır. En başarılı fonksiyon çift girişli hacim fonksiyonuna ilişkin başarı ölçütleri ise; $OH = 0,0052 \text{ m}^3$, $OMH = 0,0723 \text{ m}^3$, $R^2 = 0,9402$, $S_{y.x} = 0,1204 \text{ m}^3$, $THY = \% 0,8142$, $OMHY = \% 11,2666$ olarak hesaplanmıştır.

Toplam Hata Yüzdesinin, -%1 ile +%1 arasında ve Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi değerinin ise %10 ve daha küçük olması istenmektedir (Kalıpsız, 1999). Çalışmamızda oluşturulan tek ve çift girişli hacim denklemlerinin THY değeri %-1 ile %1 arasındadır. Her iki denklem de OMHY değerleri %10'un biraz üzerindedir. Bu çalışmada olduğu gibi özellikle tek girişli hacim tablolarında önerilen ortalama mutlak hata yüzdesinin sağlanması oldukça zordur. Çünkü göğüs çapları eşit olan ağaçlarda, boy ve gövde şekli farklılıkları hacim üzerinde önemli değişimlere neden olmaktadır.

Tek girişli ağaç hacim denklemleri ve ağaç hacim tablolarının kullanımında sadece gövde çapına ihtiyaç varken, çift girişli ağaç hacim denklemlerinde gövde çapına ek olarak ağaç boyunun da ölçülmesi gerekmektedir. Dolayısıyla çift girişli ağaç hacim tablolarından yararlanmak için tek girişli ağaç denklemleri ve hacim tablolarına

göre ağaç boyunun da ölçülmesi gerekmekte ve bu durum da, çift girişli denklemin uygulanabilirliğini kısıtlamaktadır. Bu çalışma kapsamında geliştirilen tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerinin başarı durumları değerlendirildiğinde, tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerinin başarı durumlarının, özellikle belirtme katsayısı (R^2) ve OMHY değerlerinin, birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Bu sonuç çalışma alanı olan Asarkaya Orman İşletme Şefliği'nde, yetişme ortamı farklılığın belirgin olmaması ile kızılcım ağaçlarında aynı çapa karşılık gelen boy değerlerinin farklılık göstermemesi ve bu bakımdan da hacim tahminlerinde boy değişkeninin etkisinin sınırlı kalması ile açıklanabilir.

Kaynaklar

- Akalp, T., 1978. Türkiye'deki Doğu Ladini (*Picea orientalis* Lk. Carr) ormanlarında hasılat araştırmaları. Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, İstanbul.
- Alemdağ, Ş., 1962. Türkiye'deki kızılcım ormanlarının gelişimi, hasılat ve Amenajman esasları. Ormanlık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten No, 11, Ankara, 160 s.
- Alemdağ, Ş., 1967. Türkiye'deki sarıçam ormanlarının kuruluşu, verim gücü ve bu ormanların işletilmesinde takip edilecek esaslar. Ormanlık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten No, 20, Ankara, 160 s.
- Anonim, 2006. Orman Varlığımız. Orman Genel Müdürlüğü Yayını, 160 s., Ankara.
- Asan, Ü., 1984. Kazdağı Göknarı (*Abies equi-trojani* Aschers, Et Sinten.) ormanlarının hasılat ve amenajman esasları üzerine araştırmalar. İ.Ü. Orman Fakültesi, İ.Ü. Yayın No, 3205, O.F. Yayın No, 365, Taş Matbaası, İstanbul, 207 s.
- Bayburtlu, Ş., 2007. Titrek kavak (*Populus tremula* L.) hacim ve bonitet endeks tablolarının düzenlenmesi. Yüksek lisans tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Birler, A. S., Yüksel, Y., 1983. Sahil çamı ağaçlandırma meşcerelerinde hasılat araştırması. Kavak ve Hızlı Gelişen Yabancı Tür Orman Ağaçları Enstitüsü Yayınları, No,25.
- Carus, S., Çatal, Y., 2008. Kızılcım (*Pinus brutia* Ten.) Meşcerelerinde 7-Ağaç Örnek Nokta Yöntemiyle Meşcere Ağaç Sayısının Çap Basamaklarına Dağılımının Belirlenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi Seri: A, Sayı: 2, Yıl: 2008, ISSN: 1302-7085, Sayfa: 158-169
- Durkaya, B., 2004. Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.)- uludağ göknarı (*Abies bornmülleriana* Mattf.)-doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) karışık meşcerelerinde artım-büyüme ilişkileri. Doktora Tezi, Z.K.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın
- Eraslan, İ., 1954. Trakya ve Bilhassa Demirköy Mıntıkası Meşe Ormanlarının Amenajman Esasları

Hakkında Araştırmalar, Orman Genel Müdürlüğü Yayın No 132, 250s. İstanbul.

Ercanlı, İ., Güvendi, E., Güney, D., Günlü, A., Altun, L., 2008. Sinop Yöresi Sahilçamı (*Pinus pinaster* Ait.) ağaçlandırmalarına ilişkin tek ve çift girişli ağaç hacim tablolarının düzenlenmesi. K.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, 8, 1, 14-25.

Erkin, K., 1956. Seben muntıkası sarıçamları hacim eğrisine ait tamamlayıcı etütler. İstanbul Orman Fakültesi Dergisi, A, 6, 2, 243-263

Evcimen, B. S., 1963. Türkiye Sedir ormanlarının ekonomik önemi, hasılatı ve amenajman esasları. O.G.M. Yayınları, 355, 16, Ankara.

Fırat, F., Kalıpsız A., 1963. Tarsus-Karabucak ormanları için *Eucalyptus camaldulensis* ağaç hacim tablosu. İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri A, Cilt 18, Sayı 1, İstanbul.

Fırat, F. 1973., Dendrometri. IV. Baskı, İ.Ü. Orman Fakültesi, İ. Ü Yayın No, 1800, O. Yayın No, 193, Kutulmuş Matbaası, İstanbul.

Gülen, İ., 1959, Karaçam Hacim Tablosu, İÜ Orman Fakültesi Dergisi, A-9(1), 97- 112.

Kahriman, A. Sönmez, T., Şahin, A., 2017. Antalya ve Mersin Yöresi kızılçam meşcereleri için ağaç hacim tabloları. Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 17(1): 9-22.

Kalıpsız, A., 1962. Değişikyaşlı Doğu Kayınında Artım ve Büyüme Araştırmaları, Orman Genel Müdürlüğü Yayın No 339/7, 112s. İstanbul.

Kalıpsız, A., 1963. Türkiye’de Karaçam meşcerelerinin tabii bünyesi ve verim kudreti üzerine araştırmalar. O.G.M. Yayını, İstanbul, 141 s

Kalıpsız, A., 1984, Dendrometri. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No, 3194, O.F. Yayın No, 354, İstanbul, 407 s.

Kalıpsız, A., 1999, Dendrometri. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No,3194/354, İstanbul.

Kapucu, F., Yavuz, H., Gül, A.U., Mısır, N., 2002. Kestane meşcerelerinin hasılatı ve amenajman esasları. TÜBİTAK TOGTAG-TARP 2229 nolu Proje, Sonuç Raporu

Kapucu, F., 2004. Orman amenajmanı. KTÜ Orman Fakültesi Yay No, 215 / 33, ISBN-975-6983-35-3, 514 sayfa

Miraboğlu, M., 1955. Gökarnalarda şekil ve hacim araştırmaları. T.C. Ziraat Vekaleti, Orman Umum Müdürlüğü, Neşriyat Sıra No,188, Seri No, 5, Yenilik Basımevi, İstanbul, 103 s

Ölmez, K., 2018. Sarıçam ağaçları (*Pinus sylvestris* L.) için tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi (Bozalan ve Çubuk yöresi örneği). Yüksek Lisans Tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 41 s.

Özçelik, R., Çevlik, M., 2017. Batı Akdeniz yöresi doğal sedir meşcereleri için hacim denklemleri. Turkish Journal of Forestry, 18(1): 37-48.

Özkurt, A., 2000. Okaliptüs (*Eucalyptus grandis* W.Hill ex. Maiden) İçin Hacim Tablosu, Doğu Akdeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi 6, 87-106.

Pehlivan, S., 2010. Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ağaç hacim tablolarının düzenlenmesi. Yüksek lisans tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 48 s.

Sakıcı, O.E., Yavuz, H., 2003. Ilgaz Dağı Gökarn Meşcereleri İçin Hacim Fonksiyonları. Kastamonu Orman Fakültesi Dergisi, Cilt:3, No:2, s.219-232.

Sakıcı, O.E., Sağlam, F., Sek, M., 2018. Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü karaçam meşcereleri için tek ve çift girişli ağaç hacim denklemleri. Turkish Journal of Forestry, 19(1): 20-29

Saraçoğlu, Ö., 1988. Karadeniz Yöresi Gökarn Meşcerelerinde Artım ve Büyüme, Doktora Tezi İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın, İstanbul.

Saraçoğlu, N., 1998. Kızılagaç (*Alnus glutinosa* Gaertn subsp. *barbata* (C.A. Mey.) Yalt.) Gövde Hacim Tablosu, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 22, 215-225

SPSS Institute Inc. 2006. SPSS Base 12.0User’s Guide, 680 s.

Şentürk, N., 1997. Dişbudak (*Fraxinus angustifolia* Wahl. subps. *oxycarpa* (Bieb. ExWilld.) Franco&RochaAfonso) gövde hacim ve ağaç hacim tablolarının düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Şenyurt, M. 2011. Batı Karadeniz yöresi Sarıçam meşcerelerinde artım ve büyüme, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 210s.

Yavuz, H. 1995. Uyumlu ve uyumsuz gövde çapı modelleri. KTÜ Orman Fakültesi Bahar Yarıyılı Seminerleri, Fakülte Yayın No,49, 101-106.

Yavuz, H., Şentürk, N., 1997. Dişbudak Ağaç Hacim Tablosunun Düzenlenmesi, İ.Ü. Orman Fakültesi Cumhuriyetimizin 75. Yılında Ormancılığımız Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Yayın No 4187/458, s.413-424, İstanbul.

Yavuz, H., Saraçoğlu, N., 1999. Kızılagaç için uyumlu ve uyumsuz gövde çapı modelleri. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 23, Ek Sayı 5, 1275-1282.

Yavuz, H, Gül, A.U, Mısır, N., Özçelik, R., Sakıcı, O.E., 2002. Meşcerelerde çap dağılımlarının düzenlenmesi ve bu dağılımlara ilişkin parametreler ile çeşitli meşcere ögeleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi. Orman Amenajman’ında Yeni Kavramsal Açılımlar ve Yeni Hedefler Sempozyumu, İstanbul, 203-212

Yeşil, A., 1992. Değişik Sıklık ve Bonitetteki Kızılçam Meşcerelerinin Yaşa Göre Gelişimi, Doktora Tezi, İ.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü.