

Karışık etkili modelleme yaklaşımıyla karaçam hacim denklemlerinin geliştirilmesi

Development of Crimean pine volume equations: a mixed-effects modeling approach

Abdurrahman ŞAHİN¹
İlker ERCANLI²

¹ Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Artvin

² Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Çankırı

Sorumlu yazar (*Corresponding author*)
Abdurrahman ŞAHİN
asahin84@windowslive.com

Geliş tarihi (*Received*)
06.06.2022

Kabul Tarihi (*Accepted*)
13.09.2022

Sorumlu editör (*Corresponding editor*)
Mustafa BATUR
mustafabatur01@ogm.gov.tr

Atıf (*To cite this article*): Şahin, A. & Ercanlı, İ. (2023). Karışık etkili modelleme yaklaşımıyla karaçam hacim denklemlerinin geliştirilmesi. Ormanlık Araştırma Dergisi, 10 (1), 32-44. DOI: 10.17568/ogmoad.900501

Öz

Bu çalışmada, İç Anadolu ve Akdeniz Bölgelerindeki dört farklı yörede bulunan saf Anadolu Karaçamı meşcereleri için bölgesel tek ve çift girişli kabuklu ağaç hacim denklemleri geliştirilmiştir. Bu amaçla, ölçülen ağaçlardan 170'i denklem geliştirmede, 30'u ise kontrolde kullanılmıştır. Denklem geliştirmek için 4 adet tek ve 16 adet çift girişli ağaç hacim denklemi, 6 farklı başarı ölçütüne göre kıyaslanmış ve en başarılı olan denklemler belirlenmiştir. Seçilen denklemlerin düzeltilmiş belirleme katsayısı ($R^2_{düz}$), hata kareler ortalamasının karekökü (HKOK), ortalama mutlak hata yüzdesi (%OMH) ve toplam hata yüzdesi (%TH) değerleri sırasıyla; tek girişli denklemde 0,951; 0,145; 12,798 ve 0,263 şeklinde, çift girişli denklemde ise 0,976; 0,103; 8,978 ve 6×10^{-4} olarak hesaplanmıştır. Ayrıca karışık etkili modelleme yaklaşımıyla, elde edilen hacim denklemlerinin katsayıları, her yöre için ayrı ayrı yeniden hesaplanmış ve hacim gelişimindeki bölgesel farklılık ortaya konmuştur. Son olarak da, geliştirilen denklemlerin daha önceki karaçam hacim denklemleriyle kıyaslaması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Anadolu Karaçamı, bölgesel ağaç hacim denklemleri, karışık etkili modelleme, regresyon yöntemi

Abstract

In this study, single- and double-entry over-barked volume equations were developed for pure Anatolian Crimean Pine stands in four different areas in Central Anatolia and the Mediterranean. For this purpose, 170 of the measured trees were used in model development and 30 in control. Six different success criteria were used on 4 single- and 16 double-entry tree volume equations in order to develop the equations, and the best equations were determined. The adjusted coefficient of determination (R^2_{adj}), the root mean squared error (RMSE), the mean absolute percent error (MAPE) and the total percent error (TPE) values of the selected equations are respectively; it was calculated as 0.951, 0.145, 12.798 and 0.263 for the single-entry equation, and as 0.976, 0.103, 8.978 and 6×10^{-4} for the double-entry equation. In addition, the regional heterogeneity in volume development was shown by recalculating the coefficients of the volume equations obtained using the mixed effect modeling approach independently for each region. Finally, the developed equations were compared with the earlier Anatolian Crimean pine equations.

Key words: Crimean pine, regional tree volume equations, mixed-effect modeling, regression method



Creative Commons Atıf -
Türetilmez 4.0 Uluslararası
Lisansı ile lisanslanmıştır.

1. Giriş

Ağaç serveti, orman ekosisteminin temel ürünüdür. Bu servete bağlı olan odun üretimi de, işletme sermayesi üzerinde en büyük paya sahip olan kısımdır (Kalıpsız, 1984; Yeşil, 1992; Yavuz, 1999; Kapucu, 2004). Bu yüzden, orman amenajman planlarının hazırlanarak üretim işlerinin planlanabilmesinde (Fırat, 1973; Kalıpsız, 1984; de-Miguel ve ark., 2012; Rodríguez ve ark., 2014; Carus ve ark., 2016), tek ağaç ve meşcerelerdeki toplam hacmin ve bu hacim miktarının ticari sınıflara dağılımının belirlenmesinde (Diéguez-Aranda ve ark., 2006), orman ürünleri endüstrisinde (de-Miguel ve ark., 2012) ve günümüzde oldukça önem kazanan toplam biyokütle miktarı ile karbon birikimi düzeylerinin belirlenmesinde de ağaç hacminin en doğru şekilde bilinmesi gerekmektedir (Kalıpsız, 1984; Yavuz, 1999; Kapucu, 2004; Crecente-Campo ve ark., 2009; Castedo-Dorado ve ark., 2012; Özçelik ve Çevlik, 2017; Özçelik ve Kalkanlı, 2018; Sakıcı ve ark., 2018).

Ağaçlardan üretilen odun ürünleri de, ağırlık veya hacim şeklinde ölçülerek piyasaya sunulmakta olup ağaçları hiç kesmeden gerçek değerlerini belirleyebilmek; ancak istatistiksel denklemler vasıtasıyla sağlanabilmektedir (Carus ve Su, 2014). Ayrıca literatürde, büyüme ve hasılat modellerine entegre olabilecek, güvenilir hacim tahmin metodlarına ihtiyaç duyulduğu ifade edilmektedir (de-Miguel ve ark., 2012; Özçelik ve Kalkanlı, 2018). Bu nedenle yöresel veya bölgesel olarak pratik hacim tahmin çalışmalarına olan gereksinimlerin devam ettiği düşünülmektedir.

Ağaçların hacimlerini tahmin etmek üzere çok farklı yöntem ve yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bunun temel nedeni ise; ağaç gövdelerinin silindirik, paraboloid, koni ve nayloit gibi bilinen geometrik şekillerde olmayışı ve buna bağlı olarak da, standart yöntemlerle ağaç hacmini doğrudan hesaplamının mümkün olmamasıdır (Yavuz ve ark., 2002; Şenyurt ve Ümit, 2019). Ağaç hacim denklemleri veya ağaç hacim tabloları geçmişten günümüze kadar gelen, dikili bir ağacın gövde hacmini ya da kalın odun hacmini tahmin etmek amacıyla en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Çünkü ağaç hacim denklemleri ve tabloları; ağaç hacmi hesaplama yöntemleri içinde uygulamada pratik olmaları sebebiyle daha çok tercih edilen yöntemlerdir (Kalıpsız, 1984; 1999).

Ağaç hacim tabloları, göğüs çapı ve ağaç boyu gibi ölçülmesi kolay olan ağaç özelliklerinin bağımsız değişken olarak kullanılmasıyla, ölçümü çok daha zor olan ağaç hacmini tahmin eden tablolar olup, korelasyonu yüksek olan çap-boy ve hacim arasın-

daki ilişkinin, regresyon denklemleri vasıtasıyla türetildiği tablolardır (Bozkuş ve Carus, 1997). Bu sebeple ağaç hacim tablolarının düzenlenmesinde, genellikle tek girişli (çapa bağımlı), çift girişli (çapa ve boya bağımlı) ya da çok girişli ağaç hacim denklemleri (çap ve boy yanında şekil katsayısı, tepe yüksekliği, tepe uzunluğu, tepe uzunluğunun ağaç boyuna oranı ve gövdenin belirli bir yükseklikteki çapı gibi daha başka ağaç özelliklerine de bağımlı olan) (Loetsch ve ark., 1973; Kalıpsız, 1984; Philip, 1994; Mısır ve Mısır, 2004; Laar ve Akça, 2007; Burkhart ve Tomé, 2012) ve bunların yanı sıra her bonitet (yetişme ortamı verim gücü) için ayrı düzenlenecek şekilde bonitete dayalı ağaç hacim denklemleri de kullanılmaktadır (Kahriman ve ark., 2017).

Ancak, kullanılan orman amenajman planlarına bakıldığında, bir yöre veya bölge için düzenlenmiş olan ağaç hacim tablosunun, farklı planlama birimlerinde ve hatta daha geniş bölgelerde de kullanılabilirliği görülmektedir. Bu sebeple de dikili gövde hacimlerinin tespitinde çok büyük hataların olduğu (Brooks ve ark., 2008; Özçelik, 2008); hatta Pillsbury ve ark. (1995)'a göre %40'a kadar artan oranlarda tahmin hatası çıkabileceği belirtilmiştir. Bunun için ilgili ağaç türünün değeri ve sağlanacak ekonomik fayda dikkate alınarak, farklı yetiştirme özelliklerindeki meşcereler için kendine özgü ağaç hacim denklemleri veya tablolarının geliştirilmesi önerilmektedir (Brooks ve Wiant, 2008; Sakıcı ve ark., 2018).

Ağaç hacim tabloları; geçerli oldukları alanın büyüklüğüne bağlı olarak; yalnızca düzenlendikleri yer için geçerli olan tek girişli yöresel, ülke çapında düzenlenen ve çoğunlukla çift girişli olan bölgesel ve belli türler veya tüm ağaç türleri için hazırlanan ve her yerde kullanılabilir bir dizi halinde tek girişli genel ağaç hacim tabloları olmak üzere de üç çeşittir (Loetsch ve ark., 1973; Kalıpsız, 1984; Kapucu ve ark., 2002; Laar ve Akça, 2007).

Türkiye'de çeşitli araştırmacılar tarafından asli ağaç türleri için, a.) grafik yöntemle (Eraslan, 1954; Kalıpsız, 1962; Evcimen, 1963) ve b.) istatistik yöntemlerle (Miraboğlu, 1955; Alemdağ, 1962; Alemdağ, 1967; Akalp, 1978; Sun ve ark. 1978; Asan, 1984; Bozkuş ve Carus, 1997; Mısır ve Mısır, 2004) geliştirilmiş olan birçok genel ağaç hacim denklemleri bulunmaktadır. Ayrıca yine doğal ormanlardaki birçok ağaç türü için de yöresel ve bölgesel ağaç hacim tabloları (Saraçoğlu, 1988; Saraçoğlu, 1991; Çalışkan ve Yeşil, 1996; Bozkuş ve Carus, 1997; Yavuz, 1999; Özkurt, 2000; Sakıcı ve Yavuz, 2003; Özçelik, 2010; Özçelik ve Çevlik, 2017; Kahriman ve ark. 2017; Sakıcı ve ark. 2018; Özçankaya ve ark., 2021) ile ağaçlandırma yoluyla

gelişmiş bazı ağaç türleri için de çeşitli ağaç hacim denklemlerimiz (Ercanlı ve ark. 2008; Carus ve Su, 2014; Carus ve ark. 2016) mevcuttur. Ayrıca, günümüzde yaygın olarak kullanılmaya başlayan yapay sinir ağları kullanılarak da ülkemizde ağaç hacim tahmini araştırmaları (Ercanlı ve ark. 2018; Şenyurt ve Ercanlı, 2019) yapılmaktadır.

Ağaç hacim tahmin modellerinin geliştirilmesinde farklı bölgelerden elde edilen verilerdeki bölgesel farklılığı ortaya koymak üzere de, “Doğrusal Olmayan Karışık Etkili Modelleme (Nonlinear Mixed Effect Models)” yaklaşımının kullanımı öne çıkmaktadır (Keselman ve ark., 1998; Wolfinger ve Chang, 1999; Littell ve ark., 2005). Zira, ormancılıkta çeşitli tahminlerin elde edilmesinde bölgesel farklılıkların ve hiyerarşik veri yapılarının söz konusu olmasından dolayı, Karışık Etkili Modellerin kullanımı önerilmektedir (Tasissa ve Burkhart, 1998; Valentine ve Gregorie, 2001, Fang ve Bailey, 2001; Garber ve Maguire, 2003; Leites ve Robinson, 2004; Trincado ve Burkhart, 2006; Özçelik ve ark., 2011).

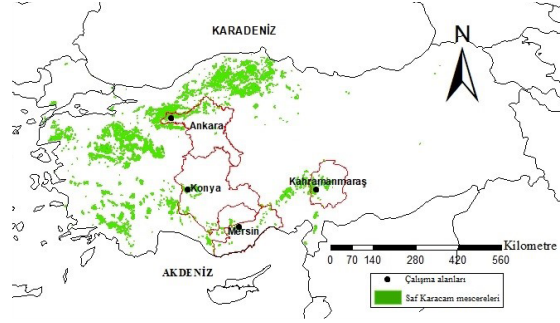
Türkiye’de, çok çeşitli yetiştirme ortamlarında yayılış gösteren ve üretimi en fazla yapılan ağaç türlerinden birisi de karaçam olup, sahip olduğu servetin belirlenmesi ve dolayısıyla hacminin doğru tespiti önem taşımaktadır. Araştırmada, farklı bölgelerde (İç Anadolu ve Akdeniz) gelişim göstermiş olan karaçam ağaçlarının hacimlerinin tahmini için tek ve çift girişli ağaç hacim denklemleri geliştirilmesi ve hacim tahminlerindeki bölgesel farklılığı ortaya koymak üzere karışık etkili regresyon modellemesinin kullanılması amaçlanmıştır.

Çalışmada, 4 adet tek girişli ve 16 adet çift girişli hacim denklemi denenmek suretiyle, karaçam için bölgesel tek ve çift girişli kabuklu ağaç hacim denklemleri geliştirilmiş, çalışma sonuçlarının daha önceki benzer çalışmalarla (Gülen (1959); Sun ve ark., (1978); Yavuz (1999); Baynazoğlu (2014); Özdal (2014); Carus ve ark., (2016); Sakıcı ve ark., (2018)) karşılaştırılması yapılmış ve ayrıca daha önceki çalışmalarda geliştirilmiş olan denklemlerin, bu çalışma bölgesine uygunlukları da test edilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmanın araştırma alanı, Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) ’nın yayılış gösterdiği iki farklı coğrafi bölge olan İç Anadolu ve Akdeniz Bölgelerinde bulunan, dört ayrı yöredeki (Uludağ/Nallıhan (Ankara), Açıncı (Kahramanmaraş), Aşağıçiğil/Ilgın (Konya) ve Alahan/Mut (Mersin)) farklı ekosistemlerden oluşmaktadır. Karaçamın ülkemizde saf olarak yayılış

gösterdiği alanlar ve araştırma alanları Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanları
Figure 1. Study areas

Çalışmada, araştırma alanını oluşturan dört farklı yöre (Tablo 1) her birinden 50’şer adet olmak üzere; farklı çap ve boy basamaklarında, sağlıklı, sağlam tepeli, tek ve düzgün gövdeye sahip olan toplam 200 adet örnek ağaç kesilmiştir. Kesilen örnek ağaçların dalları budandıktan sonra, gövdeleri üzerinde dip kütük yüksekliğinden (0,30 m) başlayarak 1’er metre arayla, en uca kadar (1,30m, 2,30m, 3,30m, ... şeklinde) kabuklu gövde çapları ve ağaçların toplam boy uzunlukları (cm hassasiyetinde) ölçülmüştür.

Bu ölçümler kullanılarak örnek ağaçların kabuklu gövde hacimleri, bölümlene yöntemiyle hesaplanmıştır. Çünkü, Carus (2002)’un da belirttiği gibi, hacim formülleri, kısa gövde parçalarındaki hacimleri daha doğru olarak vermektedir. Bunun sebebi, kısa parçaların şeklen daha düzgün olup, benzetildikleri dönel cisimlere olan benzerliklerinin daha da artmasıdır. Bu yüzden, bir gövdeyi kısa bölümlere ayırmakla hacmin gerçeğe daha yakın doğrulukta elde edileceği düşünülmüştür. Literatürde belirttiği gibi, hacimleri hesaplanırken bölümlere ayrılan örnek ağaçların dip kütüklerinin silindirik ve uç parçalarının da koni şeklinde olduğu varsayılmıştır (Sakıcı ve ark. 2018). Bu yüzden, örnek ağaçların dip kütük hacimleri silindirik formülüyle (1), seksiyon hacimleri Smalian formülüyle (2) ve uç parça hacimleri ise koni formülüyle (3) hesaplanmış ve tüm kesitler için hesaplanan parça hacim değerleri toplanarak da her bir örnek ağacın toplam gövde hacmi bulunmuştur.

$$V_{dip\ kütük} = \frac{\pi}{4} d_{0,3}^2 l \quad (1)$$

$$V_{(Smalian)} = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_0^2 + d_n^2}{2} \right) l \quad (2)$$

$$V_{uç} = \frac{1}{3} \frac{\pi}{4} d_n^2 l \quad (3)$$

Burada V : Kabuklu hacmi (m^3), d : kabuklu gövde çapı (cm), d_o : dip çap (cm), d_n : uç çap (cm) ve l : kesit uzunluğunu (m) ifade etmektedir.

Araştırmamızda kullanılan örnek ağaç verileri (200 ağaç); SPSS programı vasıtasıyla, ağaç hacim

denklemlerinin geliştirilmesinde kullanılmak (170 ağaç için %85) ve geliştirilen denklemlerin uygunluklarının kontrolünde kullanılmak üzere (30 ağaç için %15), rastgele yöntemle iki gruba ayrılmış (Tablo 1) ve bu verilere ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Örnek ağaçların çap ve boy basamaklarına dağılımı
Table 1. Distribution of sample trees in diameter and height classes

Göğüs çapı orta değeri (cm)	Boy basamağı orta değeri (m)											Σ
	5,0	7,0	9,0	11,0	13,0	15,0	17,0	19,0	21,0	23,0	25,0	
10,0	1*											1*
14,0		2*	2*	2* (1)								6* (1)
18,0		8* (1)	6* (1)	8* (2)	1*							23* (4)
22,0		1*	8* (1)	16* (4)								25* (6)
26,0		1*	7* (2)	4* (1)	2*			1*				15* (2)
30,0			4*	9* (2)	4* (1)	3*						20* (3)
34,0			1*	10* (3)	3*	3*	2*					19* (3)
38,0			1*	8* (1)	1*	5* (1)	3* (1)	2*				20* (3)
42,0					1*	5* (1)	5* (1)	3*				14* (2)
46,0						1*	1*	6* (2)	1*			9* (2)
50,0							1*	2*	6* (2)	1*		10* (2)
54,0									3* (1)			3* (1)
58,0								1*		2* (1)	1*	4* (1)
62,0										1*		1*
Σ	1*	12* (1)	29* (4)	57* (14)	12* (1)	17* (2)	12* (2)	15* (2)	10* (3)	4* (1)	1*	170* (30)

* Denklem geliştirmede kullanılan ağaç sayılarını; () parantez içinde yazılı olanlar ise geliştirilen denklemlerin kontrolü için kullanılan ağaç sayılarını ifade etmektedir.

Tablo 2. Örnek ağaçlara ilişkin çeşitli tanımlayıcı bilgiler
Table 2. Various descriptive information about sample trees

Değişkenler	N*	Min.	Max.	Aritmetik Ortalama	Standart sapma
Göğüs çapı ($d_{1,30}$ /cm)		11,0	60,0	31,41	11,06
Ağaç boyu (h/m)	170	5,64	24,0	12,73	4,16
Toplam gövde hacmi (V/m^3)		0,04	3,12	0,6603	0,6084
Göğüs çapı ($d_{1,30}$ /cm)		13,9	58,0	33,06	13,5
Ağaç boyu (h/m)	30	7,27	23,0	13,45	5,04
Toplam gövde hacmi (V/m^3)		0,08	2,96	0,8148	0,8027

* N: 170 adet denklem geliştirme verisi ve 30 adet kontrol verisini ifade etmektedir.

Ulusal ve uluslararası ormancılık araştırmalarında birçok ağaç hacim denklemi kullanılmakta ve önerilmektedir. Çalışmamızda da, literatürde en yaygın kullanılan denklemlerden aşağıdaki tek girişli

(4 adet, 4 ila 7 nolu denklemler) ve çift girişli (16 adet, 8 ila 23 nolu denklemler) ağaç hacim denklemleri, SPSS 19.0 (IBM, 2019) paket programı vasıtasıyla test edilmiştir.

Tek Girişli Ağaç Hacim Denklemleri

$$V = b_0 + b_1 * dbh^2 \quad (4)$$

$$V = b_1 * d + b_2 * dbh^2 \quad (5)$$

$$V = b_0 * dbh^{b_1} \quad (6)$$

$$\log V = b_0 + b_1 * \log dbh \quad (7)$$

Çift Girişli Ağaç Hacim Denklemleri

$$V = b_0 * dbh^{b_1} * h^{b_2} \quad (8)$$

$$V = dbh^2 / (b_0 + b_1/h) \quad (9)$$

$$V = dbh^2 * h / (b_0 + b_1 * dbh) \quad (10)$$

$$V = b_1 * dbh^2 * h \quad (11)$$

$$V = b_0 + b_1 * dbh^2 * h \quad (12)$$

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

$$\log V = b_0 + b_1 * \log dbh^2 h \quad (14)$$

$$\log V = b_0 + b_1 * \log dbh + b_2 * \log h \quad (15)$$

$$\log V = b_0 + b_1 * \log dbh + b_2 * (\log h)^2 \quad (16)$$

$$\log V = b_0 + b_1 * \log dbh + b_2 * (\log h)^4 \quad (17)$$

$$\log V = b_0 + b_1 * (\log dbh)^4 + b_2 * h \quad (18)$$

$$\log V = b_0 + b_1 * (\log dbh)^2 + b_2 * \log h \quad (19)$$

$$\log V = b_0 + b_1 * (\log dbh)^2 + b_2 * (\log h)^2 \quad (20)$$

$$\log V = b_0 + b_1 * (\log dbh)^4 + b_2 * \log h \quad (21)$$

$$\log V = b_0 + b_1 * (\log dbh)^4 + b_2 * (\log h)^4 \quad (22)$$

$$\log V = b_0 + b_1 * \log dbh^2 + b_2 * \log h^2 \quad (23)$$

Bu denklemlerde V : Kabuklu gövde hacmini (m^3), dbh : Kabuklu göğüs çapı (cm), h : Ağaç boyunu (m) ve b_i : Denklem katsayılarını ifade etmektedir.

Hacim denklemleri arasında logaritmik şekilde verilen denklemler kullanırken, elde edilen sonuçlar da logaritma tabanında olacağı için, aritmetik forma dönüştürülmeleri gerekecektir. Çünkü logaritmik olarak hesaplanan tahmini hacim değerleri, gerçek hesaplanması gereken hacim değerinden daha düşük çıkacaktır. Baskerville (1972) ile Sprugel (1983)'e göre de logaritmik formdan aritmetik forma dönüştürülen değerler sistematik bir hataya sahiptir ve bu hatanın giderilmesi için bir düzeltme faktörüyle (df , 24) çarpılmaları gerekmektedir (Akalp, 1978; Burkhardt ve Tomé, 2012).

$$df = e^{(SE^2/2)} \quad (24)$$

Bu eşitlikte df : Düzeltme faktörü, e : Doğal logaritma tabanı olan 2,7183 sayısını ve SE : Tahminin standart hatasını ifade etmektedir.

Araştırmamızda geliştirilen denklemler arasında, en başarılı olan denklemlerin belirlenmesi için de; OH, OMH, %TH, %OMH, HKOK ve $R^2_{düz.}$ (25 ila 30 nolu denklemler) gibi çeşitli başarı ölçütleri kullanılmıştır.

$$\begin{array}{l} \text{Ortalama} \\ \text{Hata} \end{array} \quad OH = \frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \hat{V}_i)}{n} \quad (25)$$

$$\begin{array}{l} \text{Ortalama} \\ \text{Mutlak Hata} \end{array} \quad OMH = \frac{\sum_{i=1}^n |V_i - \hat{V}_i|}{n} \quad (26)$$

$$\begin{array}{l} \text{Toplam Hata} \\ \text{Yüzdesi} \end{array} \quad \%TH = \frac{\sum (V_i - \hat{V}_i)}{\sum V_i} \times 100 \quad (27)$$

$$\begin{array}{l} \text{Ortalama} \\ \text{Mutlak Hata} \\ \text{Yüzdesi} \end{array} \quad \%OMH = \left(\frac{\sum |V_i - \hat{V}_i|}{\sum V_i} \right) \times 100 \quad (28)$$

$$\begin{array}{l} \text{HKOK (Hata} \\ \text{Kareler} \\ \text{Ortalamasının} \\ \text{Karekökü)} \end{array} \quad HKOK = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \hat{V}_i)^2}{n - p}} \quad (29)$$

$$\begin{array}{l} \text{Belirtme} \\ \text{katsayısı} \\ \text{(düzeltmiş)} \end{array} \quad R^2_{düz.} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \hat{V}_i)^2 (n - 1)}{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V}_i)^2 (n - p)} \quad (30)$$

Bu eşitliklerde V_i : Ölçümle hesaplanan kabuklu gövde hacmini; \hat{V}_i : Tahmin edilen kabuklu gövde hacmini; \bar{V}_i : Ölçümle hesaplanan ortalama kabuklu gövde hacmini; n : Örnek ağaç sayısını; p : Denklemdaki parametre sayısını ifade etmektedir.

Araştırmamızdaki en başarılı olan denklemleri belirleyebilmek için altı farklı başarı ölçütünü birlikte değerlendirebilmek amacıyla, Poudel ve Cao (2013) tarafından önerilmiş olan nisbî (rölatif) sıralamaları dikkate alınmıştır. Tüm modellerin dâhil olduğu rölatif sıralama yapılırken de aşağıda tanımlanmış olan formül kullanılmıştır (31):

$$R_i = 1 + \frac{(k - 1) \cdot (S_i - S_{min.})}{S_{maks.} - S_{min.}} \quad (31)$$

Burada, R_i : i . denklemin rölatif sıralaması ($i = 1, 2, 3, \dots, k$), k : kullanılan denklem sayısı, S_i : i . denklemle üretilen uyum istatistiği, $S_{min.}$: S_i 'nin minimum değeri, $S_{maks.}$: S_i 'nin maksimum değerini ifade etmektedir.

Bu aşamadaki sıralama (ya da puanlama) sistemi, en başarılı ve en başarısız denklemlerin sırasıyla 1'den k 'ya kadar puanlanması şeklindedir (Alkan ve Özçelik, 2020; Ercanlı, 2020a, b). Bu sıralama neticesinde, en düşük sıralama toplamına sahip

olan denklem, ağaç hacmi tahmininde en başarılı denklem olarak kabul edilmiştir.

En başarılı denklem belirlendikten sonra, özellikle 4 farklı bölgeden (Ankara, Konya, Kahramanmaraş ve Mersin bölgeleri) elde edilen bu verilerin hacim gelişimindeki bölgesel farklılıkları ortaya koyabilmek için ise karışık etkili regresyon modellenmesi kullanılmıştır. Bu aşamada, R yazılım dili ile kodlanmış olan “nlme” paketi ile bölgelere ilişkin rastgele parametreler tahmin edilmiş ve her bir bölgeye özgü olmak üzere tek ve çift girişli ağaç hacim denklemleri elde edilmiştir (R Development Core Team, 2018).

Araştırmamızda geliştirilen tek ve çift girişli kabuklu ağaç hacim denklemlerinin çalışma alanındaki meşcerelere uygunluğu da, kontrol verisi olarak ayrılan 30 ağaç verisi kullanılarak, eşleştirilmiş örneklem t-testi yardımıyla yapılmıştır. Yine aynı test kullanılarak araştırmamızda geliştirilen kabuklu ağaç hacim denklemlerinin, karaçam türü için yapılmış olan önceki çalışmalarla (Gülen (1959); Sun ve ark. (1978); Yavuz (1999); Bayna-

zoğlu (2014); Özdal (2014); Carus ve ark. (2016) ve Sakıcı ve ark. (2018)) da kıyaslaması yapılmıştır.

3. Bulgular

Araştırmamızda test edilen tek ve çift girişli kabuklu ağaç hacim denklemlerine ait parametrelerin katsayıları ile logaritmik olan denklemler için hesaplanan düzeltme faktörleri Tablo 3'te; ayrıca ilgili hacim denklemlerine ilişkin başarı ölçütleri ile rölatif sıralamaları ise Tablo 4'te verilmiştir. Tablolara göre, tüm parametreleri anlamlı olan ve rölatif sıralaması en düşük hesaplanarak, en başarılı bulunan tek girişli kabuklu ağaç hacim denklemi, 6 nolu ve en başarılı çift girişli kabuklu ağaç hacim denklemi ise 8 nolu denklem olmuştur.

Burada hem tek girişli hem de çift girişli ağaç hacim denklemleri, kabuklu gövde hacmindeki değişkenliği yüksek başarıyla tahmin edebilmişlerdir. Yine beklenildiği gibi çift girişli ağaç hacim denklemleri, kabuklu gövde hacminin tahmininde, tek girişli ağaç hacim denklemlerine göre daha başarılı bulunmuşlardır.

Tablo 3. Tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerine ilişkin parametre tahminleri
Table 3. Parameter estimates for single- and double-entry tree volume equations

	No	p	b_0	b_1	b_2	df
Tek girişli	4	0,000	-0,2065***	0,0008***		
	5	0,000		-0,0144***	0,0010***	
	6	0,000	$0,49 \times 10^{-5}$	2,6853		
	7	0,000	-4,0877***	2,5389***		1,014
Çift girişli	8	0,000	$1,01 \times 10^{-4}$ ***	1,8146***	0,9043***	
	9	0,000	368,6214***	19753,5528**		
	10	0,000	18760,7573*	166,1950***		
	11	0,000		$3,72 \times 10^{-5}$ ***		
	12	0,000	0,062115***	$3,55 \times 10^{-5}$ ***		
	13	0,000		41×10^{-5} ***	$2,85 \times 10^{-5}$ ***	
	14	0,000	-4,10044***	0,93063***		1,007
	15	0,000	-4,12034***	2,04549***	0,69912***	1,006
	16	0,000	-3,74190***	2,04797***	0,31447***	1,006
	17	0,000	-3,59656***	2,08585***	0,11460***	1,006
	18	0,000	-1,38602***	0,17245***	0,01292***	1,018
	19	0,000	-2,59489***	0,71921***	0,61419***	1,007
	20	0,000	-2,25991***	0,72345***	0,26908***	1,007
	21	0,000	-1,78452***	0,16338***	0,56223***	1,015
	22	0,000	-1,32817***	0,17451***	0,06381***	1,018
23	0,000	-4,12034***	1,02275***	0,34956***	1,006	

*: $p < 0,05$, **: $p < 0,01$, ***: $p < 0,001$

Tablo 4. Tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerine ilişkin başarı ölçütleri ve rölatif sıralamaları
Table 4. Success criteria and relative rankings for single- and double-entry tree volume equations

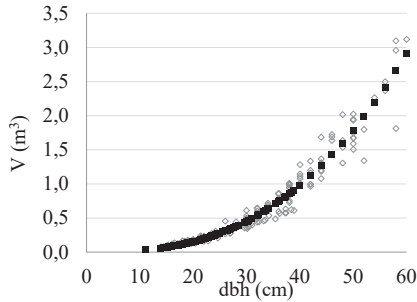
	No	R ² _{düz.}	R	HKOK	R	OH	R	OMH	R	%TH	R	%OMH	R	ΣR
Tek girişli	4	0,938	4	0,1638	4	-3,85 x10 ⁻⁶	1	0,11431	4	-0,0006	1	16,4216	4	18
	5	0,946	3	0,1528	3	0,00597	3	0,10372	3	0,8577	3	14,9005	3	18
	6	0,951	1	0,1454	1	0,00183	2	0,08909	1	0,2631	2	12,7983	1	8
	7	0,947	2	0,1518	2	0,01073	4	0,09467	2	1,5418	4	13,5999	2	16
	8	0,976	1	0,1026	1	4,17x10⁻⁶	2	0,0625	5	0,0006	2	8,9777	5	33
	9	0,975	4	0,1051	4	0,0069	9	0,0622	4	0,9912	9	8,935	4	48
	10	0,976	2	0,1032	2	0,0032	6	0,0632	7	0,4603	6	9,0769	7	46
	11	0,970	11	0,1139	11	0,0318	13	0,0759	13	4,5651	13	10,903	13	81
Çift girişli	12	0,975	5	0,1051	5	-5,71 x10 ⁻¹⁵	1	0,0689	11	0,0000	1	9,8996	11	47
	13	0,975	3	0,1032	3	-0,0001	3	0,0660	9	-0,02	3	9,4778	9	45
	14	0,975	6	0,1052	6	-0,0061	8	0,0632	6	-0,8781	8	9,0765	6	52
	15	0,974	7	0,1058	7	-0,0019	4	0,0612	2	-0,2679	4	8,793	2	37
	16	0,974	9	0,1064	9	-0,0049	7	0,0613	3	-0,7092	7	8,8001	3	47
	17	0,970	10	0,1138	10	-0,0092	10	0,0639	8	-1,3231	10	9,1852	8	64
	18	0,844	15	0,2599	15	-0,0431	16	0,1245	15	-6,1865	16	17,8912	15	95
	19	0,963	12	0,1275	12	-0,0126	11	0,0676	10	-1,8163	11	9,7119	10	72
	20	0,959	13	0,1335	13	-0,0152	12	0,0712	12	-2,1781	12	10,2257	12	79
	21	0,874	14	0,2336	14	-0,0388	14	0,1138	14	-5,5693	14	16,3504	14	88
	22	0,842	16	0,2617	16	-0,0431	15	0,1255	16	-6,1863	15	18,0306	16	96
	23	0,974	8	0,1058	8	-0,0019	5	0,0612	1	-0,2679	5	8,793	1	38

Tablo 4 incelendiğinde de yine tek girişli ağaç hacim denklemlerinin beklenildiği gibi yaklaşık %10'a yakın (%8,9-%11,4 arasında) bir mutlak hatayla ve çift girişli ağaç hacim denklemlerinin ise %6 dolayında kadar başarıyla tahminlerde buldukları görülmektedir. Tablo 4 detaylı incelendiğinde, genel olarak, diğer hata ölçütlerinin de birbirine yakın düzeylerde benzerlik gösterdiği ve çift

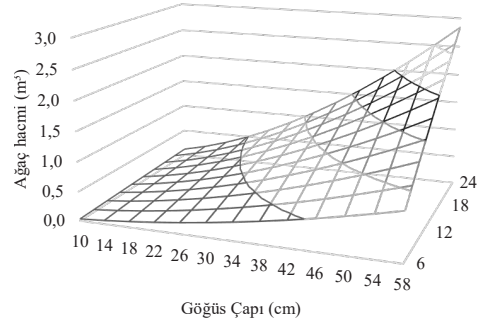
girişli denklemlerde başarı oranının yükselerek hata oranının daha düşük bulunduğu görülmektedir. Tablo 4'te yapılan rölatif sıralama sonucunda çalışma alanındaki karaçam meşcereleri için en başarılı denklemler 6 nolu tek girişli (katsayılarıyla birlikte 32 nolu) ve 8 nolu çift girişli (katsayılarıyla birlikte 33 nolu) denklemler olarak bulunmuş ve bu denklemlerin grafiksel seyri de sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3'te verilmiştir.

$$V=0,4885410666275*10^{-5} * dbh^{2,685333440517} \quad (32)$$

$$V=1,012127228186 * 10^{-4} * dbh^{1,814582803786} * h^{0,9043461312602} \quad (33)$$



Şekil 2. Ölçüm verileri ile tek girişli ağaç hacim denkleminin tahmini arasındaki ilişki
Figure 2. The relationship between the measurement data and the estimation of the single-entry tree volume equations



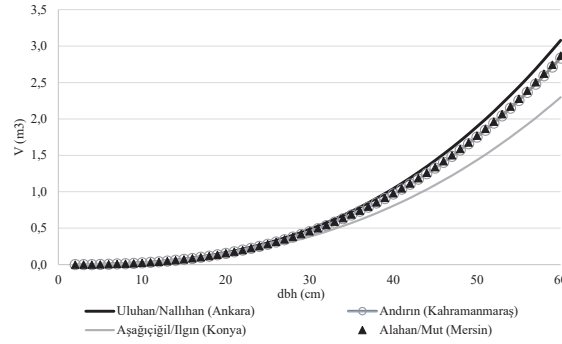
Şekil 3. Ölçüm verileri ile çift girişli ağaç hacim denkleminin tahmini arasındaki ilişki
Figure 3. The relationship between the measurement data and the estimation of the double-entry tree volume equations

Tek girişli hacim tahminleri için en başarılı olarak belirlenen 32 nolu ve çift girişli hacim tahminleri için en başarılı olarak belirlenen 33 nolu denklemlerin parametreleri, 4 farklı bölgedeki hacim farklılıklarını daha iyi ortaya koymak amacıyla, karışık etkili regresyon modelleri ile her bölge için

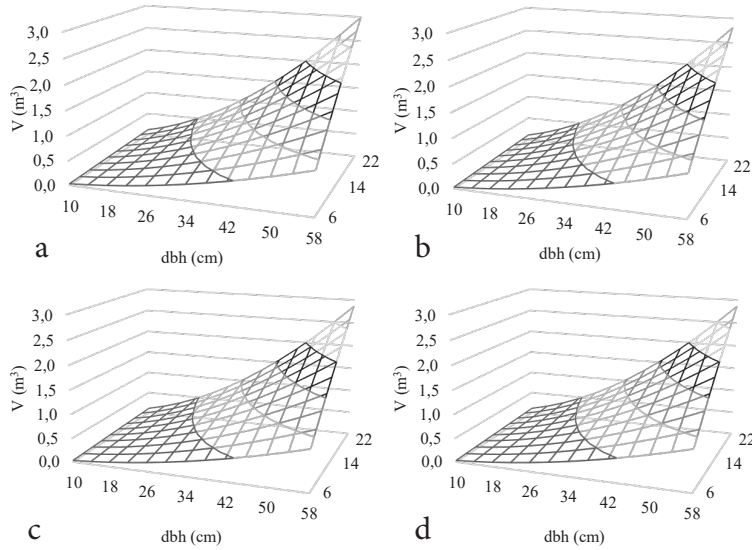
ayrı ayrı olmak üzere yeniden tahmin edilmiştir (uyarlanmıştır, Tablo 5). Ayrıca farklı bölgelerdeki karaçam ağaçlarının gelişim farklılığını ortaya koyabilmek amacıyla da, her bir denklem için grafiksel gösterimler ise Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Bölgelere göre uyarlanmış tek ve çift girişli karaçam ağaç hacim denklemleri
Table 5. Single- and double-entry tree volume equations customized for regions

Bölge	Tek girişli denklemler	Çift girişli denklemler
Uluhan/Nallıhan (Ankara)	$V=5,5279548*10^{-5} * dbh^{0,668884531}$	$V=8,567473*10^{-5} * dbh^{1,880007} * h^{0,889429032}$
Andırın (Kahramanmaraş)	$V=5,62260055*10^{-5} * dbh^{2,644806686}$	$V=8,567473*10^{-5} * dbh^{1,880007} * h^{0,870014563}$
Aşağıçiğil/Ilgın (Konya)	$V=5,865957*10^{-5} * dbh^{2,58289404}$	$V=8,567473*10^{-5} * dbh^{1,880007} * h^{0,875417248}$
Alahan/Mut (Mersin)	$V=5,60980358*10^{-5} * dbh^{2,648062744}$	$V=8,567473*10^{-5} * dbh^{1,880007} * h^{0,875373156}$



Şekil 4. Bölgesel karaçam tek girişli ağaç hacim denklemlerinin grafiksel görünümü
Figure 4. Graphical view of regional Crimean pine single-entry tree volume equations



Şekil 5. Bölgesel karaçam çift girişli ağaç hacim denklemlerinin grafiksel görünümü: a.) Uluhan/Nallıhan (Ankara), b.) Andırın (Kahramanmaraş), c.) Aşağıçiğil/Ilgın (Konya), d.) Alahan/Mut (Mersin)
Figure 5. Graphical view of regional Crimean pine double-entry tree volume equations: a.) Uluhan/Nallıhan (Ankara), b.) Andırın (Kahramanmaraş), c.) Aşağıçiğil/Ilgın (Konya), d.) Alahan/Mut (Mersin)

Şekil 4 ve Şekil 5 incelendiğinde, Uluhan/Nallihan (Ankara) bölgesinden elde edilen örnek karaçamların hacimlerinin, diğer bölgelere göre daha yüksek, Aşağıçığıl/Ilgın (Konya) bölgesinden elde edilen örnek karaçamların hacimlerinin ise diğer bölgelere göre en düşük hacme sahip olduğu, bunlar dışında Andırın (Kahramanmaraş) ve Alahan/Mut (Mersin) bölgelerinden elde edilen örnek karaçamların hacimlerinin ise birbirine yakın oldukları görülmektedir. Bu bölgelerdeki benzerliğin ve farklılığın ise beklendiği gibi yetiştirme ortamı değişkenliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu sonuç da araştırmamızda yapılan karışık etkili modellemenin önemini ve gerekliliğini desteklemektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Çalışmamızda elde edilen bulguların uygunlukları, kontrol veri grubuyla (30 ağaçla) test edilmiştir. Bunun için eşleştirilmiş örneklem t-testi uygulanmış ve üretilen tek ve çift girişli kabuklu genel ağaç hacim denklemlerinin kontrol verileri üzerindeki tahmin başarıları benzer şekilde bulunmuştur ($p>0,05$).

Ayrıca, araştırmamızda geliştirilen tek ve çift girişli kabuklu ağaç hacim denklemleri, ülkemizde karaçam için daha önce yapılmış olan (Gülen (1959); Sun ve ark. (1978) tarafından geliştirilen genel çift girişli kabuklu gövde hacim denklemleri; Yavuz (1999) tarafından Taşköprü/Kastamonu için, Baynazoğlu (2014) tarafından Mudurnu/Bolu için, Özdal (2014) tarafından Yozgat Orman İşletme Müdürlüğü için, Carus ve ark. (2016) tarafından Isparta Orman İşletme Müdürlüğü'ndeki Şehit Ali İhsan Kalmaz Ormanı için ve Sakıcı ve ark. (2018) tarafından Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü için geliştirilen yöresel tek ve çift girişli kabuklu gövde hacim denklemleri) ağaç hacim tahmini çalışmaları ile kıyaslanmıştır. Bu aşamada yapılan eşleştirilmiş örneklem t-testi sonuçları da Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6'daki karşılaştırmalara göre Gülen (1959), Sun ve ark. (1978) tarafından geliştirilen genel tek ve çift girişli hacim denklemleri ile Sakıcı ve ark. (2018)'nin geliştirdiği yöresel çift girişli hacim denklemi çalışma alanında ölçülen kontrol grubu verileriyle uyumlu sonuçlar ($p>0,05$) verirken; Yavuz (1999), Baynazoğlu (2014), Özdal (2014), Carus ve ark. (2016) tarafından geliştirilen tek ve çift girişli hacim denklemleri ile Sakıcı ve ark. (2018)'nin geliştirdiği yöresel tek girişli ağaç hacim çalışmaları ise anlamlı derecede farklılık göstermiştir ($p<0,05$). Yapılan ağaç hacim denklemleri kıyaslamasında, tek ve çift girişli kabuklu ağaç hacim denklemlerinin tahminine ilişkin hata mik-

tarlarının (yani gerçek ağaç hacmine göre hesaplanan farkların) kıyaslanması da Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir. Burada da hata oranının artışına bağlı olarak grafiklerin seyrinin, eşleştirilmiş t-testi sonuçlarıyla uyumlu olduğu gözlenmektedir.

Tablo 6. Karaçam ağaç hacim çalışmaları için yapılan t-testi sonuçları

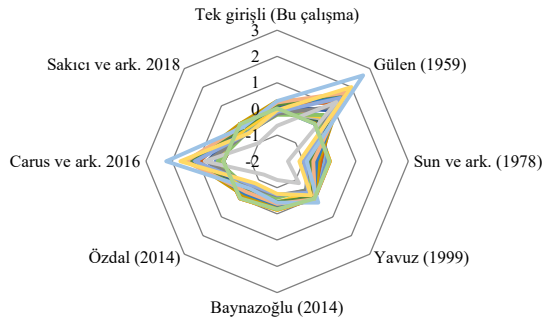
Table 6. T-test results for Crimean pine volume studies

Tek girişli denklemler	t	p
Bu çalışma	0,265	0,793
Gülen (1959)	5,464	6,99x10 ⁻⁶
Sun ve ark. (1978)	-5,127	1,78x10 ⁻⁵
Yavuz (1999)	-3,791	7,04x10 ⁻⁴
Baynazoğlu (2014)	-8,172	5,2x10 ⁻⁹
Özdal (2014)	-4,972	2,74x10 ⁻⁵
Carus ve ark. (2016)	4,983	2,66x10 ⁻⁵
Sakıcı ve ark. (2018)	-4,097	3,1x10 ⁻⁴
Çift girişli denklemler		
Bu çalışma	0,093	0,926
Gülen (1959)	-1,622	0,1157
Sun ve ark. (1978)	-1,064	0,296
Yavuz (1999)	-5,069	2,09x10 ⁻⁵
Baynazoğlu (2014)	-5,791	2,83x10 ⁻⁵
Özdal (2014)	-4,126	2,8x10 ⁻⁴
Carus ve ark. (2016)	4,609	7,51x10 ⁻⁵
Sakıcı ve ark. (2018)	1,263	0,2165

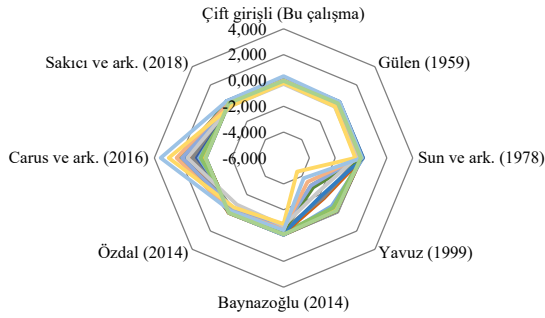
Araştırmamızda, Anadolu Karaçamı için regresyon yöntemiyle, bölgesel, tek ve çift girişli kabuklu gövde hacim denklemleri geliştirilmiştir. Bunun için, daha önceki çalışmalarda yaygın olarak kullanılan 4 adet tek girişli ve 16 adet çift girişli ağaç hacim denklemi denenmiş ve bu denklemler arasından belirtme katsayısı ($R^2_{düz.}$) en yüksek ve hata ölçütleri (OH, OMH, %TH, %OMH ve HKOK) en düşük olan denklemler; "Karaçam tek ve çift girişli kabuklu gövde hacim denklemleri" olarak belirlenmiştir. En başarılı olarak belirlenen bu tek ve çift girişli denklemlerin uygunlukları, 30 adet seçilmiş kontrol verisi kullanılarak, eşleştirilmiş örneklem t-testi yardımıyla test edilmiş ve bu denklemlerin, çalışmanın yapıldığı bölge için uygunluk gösterdiği belirlenmiştir.

Çalışmada belirlenen karaçam genel tek girişli denklem %95,1 açıklama oranı, %0,263 toplam hata yüzdesi ve %12,75 ortalama mutlak hata yüzdesi; genel çift girişli denklem ise %97,6 açıklama oranı, %6x10⁻⁴ toplam hata yüzdesi ve %8,98 ortalama mutlak hata yüzdesiyle kabuklu hacim tahmini yapabilmektedirler.

Bu da denklemlerin kabul edilebilir olduklarını ve çalışma alanlarında bulunan meşcerelerdeki karaçam hacimlerinin gerçeğe yakın tahmin edilebileceklerini göstermektedir. Ayrıca beklenildiği gibi de, çift girişli ağaç hacim denklemlerinin; tek girişli ağaç hacim denklemlerine göre daha başarılı oldukları tespit edilmiştir.



Şekil 6. Karaçam tek girişli ağaç hacim denklemlerine ilişkin hata değerlerinin (m^3) kıyaslanması
Figure 6. Comparison of error values for Crimean pine single-entry tree volume equations



Şekil 7. Karaçam çift girişli ağaç hacim denklemlerine ilişkin hata değerlerinin (m^3) kıyaslanması
Figure 7. Comparison of error values for Crimean pine double-entry tree volume equations

Araştırma kapsamında kullanılan örnek ağaçların, 4 farklı araştırma bölgesinden elde edildiği düşünüldüğünde, yetişme ortamı farklılıklarının olduğu ve buna bağlı olarak da tek bir denklemin küçük miktarda da olsa hata barındırabileceği beklenmektedir. Bu suretle, 4 farklı bölgeden elde edilen örnek verilerle genel tek ve çift girişli kabuklu ağaç hacim denklemleri geliştirilmiştir; ardından yetişme ortamı farklılığını ortaya koyabilmek amacıyla da, karışık etkili modelleme yaklaşımı kullanılarak, her bir farklı yöre için yeni denklem katsayıları belirlenmiştir. Çalışmanın bulgular kısmında ortaya konduğu gibi, bölgesel farklılıklar grafiksel olarak da görülmüştür (Şekil 4 ve Şekil 5).

Araştırma sonuçları, daha önceki çalışmalarla da benzerlik göstermektedir. Ancak bu çalışma, İç

Anadolu ve Akdeniz Bölgesindeki, dört farklı yöreye Uluhan/Nallıhan (Ankara), Andırın (Kahramanmaraş), Aşağıçığıl/Ilgın (Konya) ve Alahan/Mut (Mersin) özgü olup, bu bölgede 11 cm - 60 cm çap ve 5,64 m - 24,0 m boy aralıklarında gelişim gösteren saf Anadolu Karaçamı meşcerelerinde, denenerek kullanılabilir.

Araştırmamızda geliştirilen modellerin farklı yörelerde kullanılmasında farklılık içerebileceği, bunun için kullanılmadan önce uygunluklarının kontrol edilmesi gerekliliği, ayrıca da belirtilen çap ve boy değerleri aralıklarında gelişim gösteren Anadolu Karaçamlarında geçerli oldukları unutulmamalıdır.

Şahin ve ark. (2018)'e göre; yöresel ve bölgesel ağaç hacim tabloları, genel ağaç hacim tablolarına göre daha güvenilir bulunmakta ve yöresel olarak önem arz eden türlerde geliştirilmeleri önerilmektedir. Dolayısıyla araştırmamızın sonuçları da bu düşüncüyü destekler niteliktedir. Yine bu çalışma kapsamında ortaya konduğu gibi, örneklerin elde edildiği bölgelerin, yetişme ortamı farklılıkları içerdiği durumlarda; karışık etkili modelleme yaklaşımıyla bu farkın ortaya konabilmesi, hacim hesaplamalarında oluşabilecek hataları önleyecek ve daha doğru tespitler sağlayacaktır.

Araştırmamızda geliştirilen ağaç hacim denklemlerinin kullanılması; odunu önemli miktarda üretilen Anadolu Karaçamı için ormancılık çalışmalarına pratiklik sağlayabilecek ve hacim hesaplamalarındaki hataları minimize edebilecek niteliktedir. Bu gibi araştırmaların, önem arz eden diğer ağaç türlerimizde de yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Teşekkür

Bu araştırmanın hazırlanması amacıyla, ölçümlerin yapılması konusunda desteklerini aldığımız Uluhan, Andırın, Aşağıçığıl ve Alahan Orman İşletme Şefliklerine ve emeği geçen personellerine teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

Akalp, T., 1978. Türkiye'deki Doğu Ladini (*Picea orientalis* Lk. Carr.) Ormanlarında Hasılat Araştırmaları. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayın No: 2483/261, 145 s., İstanbul.

Alemdağ, Ş., 1962. Türkiye'deki Kızıldağ Ormanlarının Gelişimi, Hasılat ve Amenajman Esasları. Ormanlık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten No: 11, Ankara.

Alemdağ, Ş., 1967. Türkiye'deki Sarıçam Ormanlarının Kuruluşu, Verim Gücü ve Bu Ormanların İşletilmesinde Takip Edilecek Esaslar, Ormanlık Araştırma Enstitüsü

sü, Teknik Bülten No: 20, Ankara.

Alkan, O., Özçelik, R., 2020. Stem taper equations for diameter and volume predictions of *Abies cilicica* Carr. in the Taurus Mountains, Turkey. *Journal of Mountain Science* 17 (12): 3054–3069. <https://doi.org/10.1007/s11629-020-6071-x>

Asan, Ü., 1984. Kazdağı Gökarnarı (*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, 207 s. İstanbul.

Baskerville, G.L., 1972. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass. *Canadian Journal of Forest Research* 2: 49-53. <https://doi.org/10.1139/X72-009>

Baynazoğlu, F., 2014. Mudurnu-Sırçalı Orman İşletme Şefliğinde yayılış gösteren Anadolu karaçamı (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) meşcereleri için tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi. 55s. Yüksek Lisans Tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çankırı.

Bozkuş, H.F., Carus, S., 1997. Toros göknarı (*Abies cilicica* Carr.) sedir (*Cedrus libani* Link.)'in çift girişli gövde hacmi tabloları ve mevcut tablolarla karşılaştırılması. *Journal of the Faculty of Forestry İstanbul University (JFFIU)* 47 (1): 51-70.

Brooks, J.R., Wiant, H.V., 2008. Ecoregion-based local volume equations for Appalachian hardwoods. *Northern Journal of Applied Forestry* 25 (2): 87-92. <https://doi.org/10.1093/njaf/25.2.87>

Brooks, J.R., Jiang, L., Ozçelik, R., 2008. Compatible stem volume and taper equations for Brutian pine, Cedar of Lebanon, and Cilicica fir in Turkey. *Forest Ecology and Management* 256: 147–151. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.04.018>

Burkhart, H.E., Tomé, M., 2012. Modeling Forest Trees and Stands. 457p., Dordrecht: Springer Netherlands, ISBN: 9789048131709

Carus, S., 2002. Bazı hacim formüllerinin seksiyon, gövde ve bağıl uzunluklara göre kıyaslanması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* Seri: A (1): 101-114.

Carus, S., Su, Y., 2014. Antalya–Korkuteli Yöresi Kızılcım Ağaçlandırmaları için tek ve çift girişli ağaç hacim tablosunun düzenlenmesi ve mevcut tablolar ile kıyaslanması. II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, Isparta, 22-24 Ekim 2014, s.22-24.

Carus, S., Memiş, İ., Kündü, K., Alem, Ö., 2016. Şehit Ali İhsan Kalmaz Ormanı Karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) ağaçlandırması için tek ve çift girişli ağaç hacim tablolarının düzenlenmesi. *Turkish Journal of Forestry* 17 (1): 37-42. <https://doi.org/10.18182/tjf.59768>

Crecente-Campo, F., Alboreca, A.R., Diéguez-Aranda, U., 2009. A merchantable volume system for *Pinus sylvestris* L. in the major mountain ranges of Spain.

Annals of Forest Science 66 (8): 808, 1-12. <https://doi.org/10.1051/forest/2009078>

Castedo-Dorado, F., Gómez-García, E., Diéguez-Aranda, U., Barrio-Anta, M., Crecente-Campo, F., 2012. Aboveground stand-level biomass estimation: a comparison of two methods for major forest species in north west Spain. *Annals of Forest Science* 69: 735-746. <https://doi.org/10.1007/s13595-012-0191-6>

Çalışkan, A., Yeşil, A., 1996. Büyükdüz Araştırma Ormanı sarıçam-gökarnar-kayın karışık meşcerelerinde bulunan sarıçam için tek ve çift girişli hacim tablosu. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* 46 (1): 39-50.

de-Miguel, S., Mehtätalo, L., Shater, Z., Kraid, B., Pukkala, T., 2012. Evaluating marginal and conditional predictions of taper models in the absence of calibration data. *Canadian Journal of Forest Research* 42: 1383-1394. <https://doi.org/10.1139/x2012-090>

Diéguez-Aranda, U., Castedo-Dorado, F., Álvarez-González, J.G., Rojo, A., 2006. Compatible taper function for scots pine plantations in Northwestern Spain. *Canadian Journal of Forest Research* 36 (5): 1190-1205. <https://doi.org/10.1139/x06-008>

Eraslan, Ü., 1954. Trakya ve Bilhassa Demirköy Mıntıkası Meşe Ormanlarının Amenajman Esasları Hakkında Araştırmalar. OGM Yayını, Ankara.

Ercanlı, İ., 2020a. Innovative deep learning artificial intelligence applications for predicting relationships between individual tree height and diameter at breast height. *Forest Ecosystems* 7, 12. <https://doi.org/10.1186/s40663-020-00226-3>

Ercanlı, İ., 2020b. Artificial intelligence with deep learning algorithms to model relationships between total tree height and diameter at breast height. *Forest Systems* 29 (2): e013. <https://doi.org/10.5424/fs/2020292-16393>

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. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* 8 (1): 14-25.

Ercanlı, İ., Kurt, A.K., Şenyurt, M., Günlü, A., Bolat, F., Keleş, S., 2018. Tarsus Yöresi Anadolu Karaçamı ağaçlarında hacim tahminlerinin yapay sinir ağları ile elde edilmesi. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi* 4 (1): 24-35.

Evcimen, B.S., 1963. Türkiye Sedir Ormanlarının Ekonomik Önemi, Hasılatı ve Amenajman Esasları. O.G.M. Yayınları, 355, 16, Ankara.

Fang, Z., Bailey R. L. 2001. Nonlinear mixed effects modeling for slash pine dominant height growth following intensive silvicultural treatments. *Forest Science* 47: 287-300. <https://doi.org/10.1093/forestscience/47.3.287>

Fırat, F., 1973. Dendrometri. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları no:1800/1 93, 359 s, İstanbul.

- Garber, S. M., Maguire D. A. 2003. Modeling stem taper of three central Oregon species using nonlinear mixed effects models and autoregressive error structures. *Forest Ecology and Management* 179: 507-522. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00528-5](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00528-5)
- Gülen, İ., 1959. Karaçam (*Pinus nigra* Arnold) hacim tablosu. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* Seri A, 9 (1): 97-112.
- IBM, 2019. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 19.0. Armonk, NY: IBM Corp., USA.
- Kahrıman, 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. <https://doi.org/10.17475/kastorman.295706>
- Kalıpsız, A., 1962. Değişik yaşlı Doğu Kayınında Artım ve Büyüme Araştırmaları, Orman Genel Müdürlüğü Yayın No 339/7, 112s. İstanbul.
- Kalıpsız, A., 1984. Dendrometri. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayın No: 354, 407 s, İstanbul.
- Kalıpsız, A., 1999. Dendrometri. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayın No,3194/354, İstanbul.
- Kapucu, F., 2004, Orman Amenajmanı, Karadeniz Teknik Üniversitesi (KTÜ) Yayın No: 215, Orman Fakültesi Yayın No: 33, KTÜ Matbaası, 515 s, Trabzon.
- Kapucu, F., Yavuz, H., Gül, A.U., Mısır, N., 2002. Kestane meşcerelerinin hasılatı ve amenajman esasları. TÜBİTAK TOGTAG-TARP 2229 nolu Proje, Sonuç Raporu.
- Keselman, H. J., Algina, J., Kowalchuk, R. K., Wolfinger, R. D. 1998. A Comparison of Two Approaches for Selecting Covariance Structures in the Analysis of Repeated Measures. *Communications in Statistics-Simulation and Computation* 27 (3): 591-604. <https://doi.org/10.1080/03610919808813497>
- Laar, A.V., Akça, A., 2007. Forest Mensuration. 390 p., Springer Netherlands, ISBN: 1402059906.
- Leties, L.P., Robinson, A. P. 2004. Improving taper equations of loblolly pine with crown dimensions in a mixed-effects modeling framework. *Forest Science*, 50 (2): 204-212. <https://doi.org/10.1093/forestscience/50.2.204>
- Littell, R. C., Miliken, G. A., Stroup, W. W., Wolfinger, R. D. 2005. SAS system for Mixed Models, SAS Institute Inc., Cary,, NC, USA.
- Loetsch, F., Zöhrer, F., Haller, KE. 1973. Forest Inventory (2 ed., Vol. II). 905 p., Munich: BLV Verlagsgesellschaft, ISBN: 3405108128.
- Mısır, N., Mısır, M., 2004. Developing double-entry tree volume table for ash in Turkey. *Artvin Orman Fakültesi Dergisi* 3 (4): 135-144.
- Miraboğlu, M., 1955. Gökarnlarda Şekil ve Hacim Araştırmaları. s.103, Orman Genel Müdürlüğü Yayın No: 188, Seri No: 5, İstanbul.
- Özçankaya, N, Batur, M, Kiracıoğlu, Ö. 2021. İzmir Orman Bölge Müdürlüğü fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.) meşcereleri için gövde hacim tablolarının düzenlenmesi. *Ormanlık Araştırma Dergisi* 8 (2): 125-145. <https://doi.org/10.17568/ogmoad.813362>
- Özçelik, R., 2008. Comparison of formulae for estimating tree bole volumes of *Pinus sylvestris*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 23: 412-418.
- Özçelik, R., 2010. Bucak yöresi kızılçam, sedir ve Toros göknarı türleri için hacim denklemleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* Seri A (2): 1-15.
- 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(4): 613-621. <https://doi.org/10.1007/s10342-010-0453-5>
- Özçelik, R., Çevlik, M., 2017. Batı Akdeniz yöresi doğal sedir meşcereleri için hacim denklemleri. *Turkish Journal of Forestry* 18 (1): 37-48. <https://doi.org/10.18182/tjf.270694>
- Özçelik, R., Kalkanlı, Ş., 2018. Kaş Yöresi doğal kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcereleri için ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi. *Turkish Journal of Forestry* 19 (1): 9-19. <https://doi.org/10.18182/tjf.392873>
- Özdal, T., 2014. Yozgat Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde yayılış gösteren karaçam (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) meşcereleri için tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi. 49 s. Yüksek Lisans Tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çankırı.
- Özkurt, A., 2000. Okaliptüs (*Eucalyptus grandis* W.Hill ex. Maiden) için hacim tablosu, *Doğu Akdeniz Ormanlık Araştırma Enstitüsü Dergisi* 6: 87-106.
- Philip, M.S., 1994. Measuring Trees and Forests. CAB International, Wallingford, UK. ISBN: 0851988830.
- Pillsbury, N.H., McDonald, P.M., Simon, V., 1995. Reliability of Tanoak volume equations when applied to different areas. *Western Journal of Applied Forestry* 10 (2): 72-78.
- Poudel, K.P., Cao, Q.V., 2013. Evaluation of methods to predict Weibull parameters for characterizing diameter distributions. *Forest Science* 59 (2): 243-252. <https://doi.org/10.5849/forsci.12-001>
- R Core Team (2018) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna., Austria.: <https://www.R-project.org>
- Rodríguez, F., Lizarralde, I., Fernandez-Landa, A., Condes, S., 2014. Non-destructive measurement techniques for taper equation development: a study case in the Spanish Northern Iberian Range. *European Journal of Forest Research* 133: 213-223. <https://doi.org/10.1007/s10342-013-0739-5>

- Sakıcı, O.E., Yavuz, H., 2003. Ilgaz Dağı Gökmar meşcereleri için hacim fonksiyonları. *Kastamonu Orman Fakültesi Dergisi* 3(2): 219-232.
- Sakıcı, O.E., Sağlam, F., Seki, M., 2018. Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü karaçam meşcereleri için tek ve çift girişli ağaç hacim denklemleri. *Turkish Journal of Forestry* 19 (1): 20-29. <https://doi.org/10.18182/tjf.394876>
- Saraçoğlu, Ö., 1988. Karadeniz Yöresi Gökmar Meşcerelerinde Artım ve Büyüme. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, Orman Genel Müdürlüğü, İstanbul.
- Saraçoğlu, N., 1991. Kızılağaç (*Alnus glutinosa* Gaertn. subsp. *barbata* (C.A. Mey) Yalt.) gövde hacim ve biyokütle tablolarının düzenlenmesi. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* Seri A, 41 (1): 117-139.
- Sprugel, D.G., 1983. Correcting for bias in log-transformed allometric equations. *Ecology* 64 (1): 209-210.
- Sun O., Eren M. E., Orpak M. 1978. Temel ağaç türlerimizde tek ağaç ve birim alandaki odun çeşidi oranlarının saptanması. (TÜBİTAK, proje no: TOAG-288), Tarım ve Ormancılık Araştırma Grubu Yayını, Ankara.
- Şahin, A. Kahriman, A., Yüksel, Y.B., 2018. Artvin yöresindeki Doğu Karadeniz Gökmarlarının ağaç hacmini tahmin etmek için mevcut denklemlerin karşılaştırılması. Uluslararası Artvin Sempozyumu (IAS 2018), Artvin, 18-20 Ekim 2018,,s. 671-684.
- Şenyurt, M., Ümit, M., 2019 Asarkaya Kızılağaç meşcereleri için tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi* 5 (2): 108-116.
- Şenyurt, M., Ercanlı, İ., 2019. A comparison of artificial neural network models and regression models to predict tree volumes for Crimean Black pine trees in Çankırı Forests. *Şumarski list* 9-10: 413-423. <https://doi.org/10.31298/sl.143.9-10.3>
- Tassia, G., Burkhart, H. E. 1998. An application of mixed effects analysis to modeling thinning effects on stem profile of loblolly pine. *Forest Ecology and Management* 103 (1): 87-101. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(97\)00179-5](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00179-5)
- Trincado, G., Burkhart, H. E. 2006. A generalized approach for modeling and localizing stem profile curve. *Forest Science* 52: 670-682.
- Valentine H.T., Gregoire T. G. 2001. A switching model of bole taper. *Canadian Journal of Forest Research* 31 (8): 1400-1409. <https://doi.org/10.1139/x01-061>
- Wolfinger, R., Chang, M.1999. Comparing the SAS GLM and MIXED Procedures for repeated measures. SAS Institute, Inc., Cary, NC.
- Yavuz, H., 1999. Taşköprü yöresinde karaçam için hacim fonksiyonları ve hacim tabloları, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 23: 1181-1188.
- 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 Ameenajmanında Yeni Kavramsal Açılımlar ve Yeni Hedefler Sempozyumu, İ.Ü. Orman Fakültesi, İstanbul, 18-19 Nisan 2002, s. 203-212.
- Yeşil, A., 1992. Değişik Sıklık ve Bonitetlerdeki Kızılağaç Meşcerelerinin Yaşa Göre Gelişimi. Doktora Tezi, 179 s., İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.