

Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü karaçam meşcereleri için tek ve çift girişli ağaç hacim denklemleri

Oytun Emre Sakıcı^{a,*}, Fadime Sağlam^a, Mehmet Seki^a

Özet: Bu çalışmada, Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde yayılış gösteren saf ve doğal karaçam (*Pinus nigra* J.F.Arnold subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) meşcereleri için tek ve çift girişli kabuklu ve kabuksuz ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Araştırma materyali olarak farklı sıklık, yaş ve verim gücündeki meşcerelerden alınan 227 örnek ağaca ilişkin kabuklu ve kabuksuz gövde hacmi değerlerinden yararlanılmıştır. Çalışma kapsamında, kabuklu ve kabuksuz ağaç hacim tahminleri için ayrı ayrı olmak üzere 7 adet tek girişli ve 12 adet çift girişli denklem geliştirilmiştir. Bu denklemler dört adet uygunluk ölçütüne (belirtme katsayısı (R^2), hata kareler ortalamasının karekökü (HKOK), ortalama mutlak hata (OMH) ve Akaike bilgi kriteri (AIC)) göre rölatif olarak sıralanmış ve en başarılı denklemler belirlenmiştir. Gerek kabuklu ve gerekse kabuksuz gövde hacim tahminleri için en başarılı bulunan tek ve çift girişli denklemler sırasıyla 4 ve 8 nolu denklemler olmuştur. Bu denklemlere ilişkin R^2 değerleri kabuklu gövde hacmi için sırasıyla 0.964 ve 0.994 ve kabuksuz gövde hacmi için de sırasıyla 0.957 ve 0.992 olarak bulunmuştur. Çalışma kapsamında geliştirilen tek ve çift girişli denklemler ile Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü karaçam meşcerelerinde bulunan ağaçların kabuklu ve kabuksuz gövde hacmi tahminleri yapılabilecektir.

Anahtar kelimeler: Karaçam, Kabuklu gövde hacmi, Kabuksuz gövde hacmi, Ağaç hacim denklemi

Single- and double-entry volume equations for Crimean pine stands in Kastamonu Regional Directorate of Forestry

Abstract: The aim of this study was to develop single- and double-entry over-bark and under-bark stem volume equations for pure and natural Crimean pine (*Pinus nigra* J.F.Arnold subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) stands in Kastamonu Regional Directorate of Forestry. A total of 227 sample trees taken from available sites, densities, and ages were measured for over-bark and under-bark stem volumes. Seven single-entry and twelve double-entry stem volume equations were fitted for over-bark and under-bark stem volume estimations, separately. The fitted equations were ranked according to four goodness-of-fit criteria (coefficient of determination (R^2), root mean square error (RMSE), mean absolute error (MAE) and Akaike information criterion (AIC)), and the most successful equations were selected based on relative ranks. Among the tested equations, the most successful single- and double-entry equations for both over-bark and under-bark stem volume estimations were equations 4 and 8, respectively. The R^2 values for these equations were 0.964 and 0.994 for over-bark stem volume and 0.957 and 0.992 for under-bark stem volume, respectively. With the developed single- and double-entry equations, over-bark and under-bark stem volumes of individual trees can be estimated in the Crimean pine stands of Kastamonu Regional Directorate of Forestry.

Keywords: Crimean pine, Over-bark stem volume, Under-bark stem volume, Stem volume equation

1. Giriş

Dikili ağaç serveti, orman işletmelerinin sermayesinin temel unsurlarından birisini oluşturmaktadır (Kalıpsız, 1984; Yavuz, 1999; Kapucu, 2004). Dikili ağaç serveti, meşcerede dikili halde bulunan ağaçların hacimleri toplamı olup, meşcerelerin büyüme ve artım tahminlerinde, ormanların ekonomik, ekolojik ve sosyal fonksiyonlarının kararlaştırılmasında, orman amenajman planlarının düzenlenmesinde, orman ürünleri üretim ve pazarlama faaliyetlerinin düzenlenmesinde ve ormanların biyokütle ve karbon birikim miktarlarının hesaplanmasında kullanılan önemli bir meşcere parametresidir (Kalıpsız, 1984; Yavuz, 1999; Kapucu, 2004; Crecente-Campo vd., 2009; Castedo-Dorado vd., 2012; Özçelik ve Çevlik, 2017).

Ağaç gövdeleri silindir, paraboloid, koni ve nayloid gibi geometrik şekillere tam olarak benzemediğinden meşcere hacmini oluşturan tek ağaç hacimlerinin analitik yöntemler yardımıyla ağaçlar kesilmeden doğrudan hesaplanmasının mümkün olmaması nedeniyle dikili ağaçların gövde hacimlerinin belirlenmesi için çok sayıda araştırma yapılmakta ve çeşitli yöntemler geliştirilmektedir (Fırat, 1973; Loetsch vd., 1973; Kalıpsız, 1984; Yavuz, 1999; Yavuz ve Sakıcı, 2002). Bu yöntemlerden en çok kullanılanı ağaç hacim denklemleri veya bu denklemler yardımıyla geliştirilen ağaç hacim tabloları yöntemidir (Bozkuş ve Carus, 1997; Yavuz, 1999; Özçelik, 2010).

Ağaç hacim denklemleri (veya ağaç hacim denklemlerinden türetilen ağaç hacim tabloları), doğrudan tayini güç olan gövde hacminin, kolay ölçülebilen ağaç boyutları (çap ve boy gibi) yardımıyla tahmin edilmesini

✉ ^a Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Kastamonu, Türkiye

@ * **Corresponding author** (İletişim yazarı): oesakici@kastamonu.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 14.02.2018, **Accepted** (Kabul tarihi): 12.03.2018



Citation (Atf): 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.

DOI: [10.18182/tjf.394876](https://doi.org/10.18182/tjf.394876)

sağlarlar (Kalıpsız, 1984). Ağaç hacim denklemleri, kullanılan bağımsız değişken sayısına bağlı olarak tek girişli (yalnızca göğüs çapına bağlı), çift girişli (göğüs çapı ve ağaç boyuna bağlı) ve çok girişli (göğüs çapı ve ağaç boyuna ek olarak şekil katsayısı, herhangi bir gövde yüksekliğindeki gövde çapı gibi üç veya daha fazla bağımsız değişkene bağlı) ağaç hacim denklemleri olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır (Loetsch vd., 1973; Kalıpsız, 1984; Philip, 1994; Mısır ve Mısır, 2004; Laar ve Akça, 2007). Ağaç hacim denklemleri, geçerli oldukları alanın büyüklüğüne göre de yöresel (lokal), bölgesel ve genel ağaç hacim denklemleri şeklinde gruplandırılmaktadır (Köhl vd., 2006).

Genellikle yöresel ölçekte geliştirilen tek girişli ağaç hacim denklemlerinin hacim tahminlerinde daha yüksek hatalara sahip olduğu, bölgesel veya genel ölçekte geliştirilen çift veya çok girişli ağaç hacim denklemlerinin ise daha düşük tahmin hataları gösterdiği belirtilmektedir (Philip, 1994; Mısır ve Mısır, 2004; Köhl vd., 2006). Bunun yanında Laar ve Akça (2007); Naslund (1947), Pollanschütz (1965) ve Schmidt vd. (1971) gibi kimi araştırmacıların ağaç hacim denklemlerine göğüs çapı ve ağaç boyuna ek olarak şekil katsayısı veya herhangi bir gövde yüksekliğindeki çap gibi diğer değişkenlerin eklenmesinin hacim tahminlerinin başarısına olumlu katkıda bulunduğu görüşünde olduklarını, Akça (1996) gibi kimi araştırmacıların ise göğüs çapı ve ağaç boyuna ilave edilecek diğer değişkenlerin tahmin başarısında önemli bir katkı sağlamayacağı görüşünde olduklarını ifade etmektedir. Clutter vd. (1983) ve Husch vd. (2003) ağaç hacim denklemlerinde göğüs çapı ve ağaç boyuna ilaveten farklı değişkenlerin eklenmesinin tercih edilmeme nedenlerini şu şekilde açıklamışlardır: (i) Göğüs çapına ek olarak herhangi bir gövde yüksekliğindeki çap ölçümlerinin zaman alıcı ve maliyetli olması, (ii) Ağaçların gövde şeklindeki değişimin, ağaçların göğüs çapı ve boyundaki değişime göre hacim üzerinde daha düşük etkiye sahip olması, (iii) Bazı ağaç türlerinde, gövde şeklinin ağaç boyutlarındaki değişime rağmen sabit kalması ve (iv) Çoğu ağaç türünde, göğüs çapı ve ağaç boyunun gövde hacimindeki değişimin önemli bir kısmını açıklamada yeterli olması. Bu nedenlerden dolayı ağaç serveti envanteri çalışmalarında genellikle tek veya çift girişli ağaç hacim denklemleri kullanılmaktadır. Çok girişli ağaç hacim denklemleri ise daha çok bilimsel araştırmalarda tercih edilmektedir.

Türkiye'nin asli ağaç türlerinin doğal meşcereleri için grafik yöntemle hazırlanmış ulusal ağaç hacim tabloları (Eraslan, 1954; Kalıpsız, 1962; Evcimen, 1963) ve istatistiksel yöntemle hazırlanmış ulusal ağaç hacim denklemleri (Miraboğlu, 1955; Alemdağ, 1962; Alemdağ, 1967; Akalp, 1978; Sun vd., 1978; Asan, 1984; Bozkuş ve Carus, 1997; Mısır ve Mısır, 2004) bulunmaktadır. Bunun yanında birçok ağaç türü için yöresel ve bölgesel ağaç hacim denklemleri geliştirilmiştir (Saraçoğlu, 1991; Çalışkan ve Yeşil, 1996; Sakıcı ve Yavuz, 2003; Özçelik, 2010; Özçelik ve Çevlik, 2017; Kahriman vd., 2017). Bazı ağaç türleri için ise ağaçlandırma alanlarına yönelik yöresel ağaç hacim denklemleri geliştirilmiştir (Ercanlı vd., 2008; Carus ve Su, 2014; Carus vd., 2016).

Türkiye genelinde Karaçam 4.2 milyon ha yayılış alanı ile ülke ormanlarının %19'unu kaplamakta ve ağaç türlerinin alansal dağılımı bakımından üçüncü sırada yer almaktadır. Bununla birlikte yaklaşık 297 milyon m³ servet ve 8.3 milyon m³ yıllık artım değerlerine göre ise ülkede ilk

sıradaki ağaç türüdür (OGM, 2006; OGM, 2015). Yaklaşık 1.3 milyon ha orman varlığına sahip Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü'nün ise %34'ü (0.4 milyon ha) karaçam ormanları ile kaplıdır (OGM, 2006). Ülke genelinde geniş bir yayılış alanına sahip olan ve aynı zamanda Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü'nde en yaygın ağaç türü olan karaçam meşcerelerinin dikili servetlerinin ortaya konulması, söz konusu meşcerelerin hem ekonomik değerleri hem de ekolojik işlevleri bakımından büyük önem arz etmektedir. Karaçam ağaç türüne ilişkin hacim tahminlerine yönelik çalışmalar incelendiğinde ulusal ölçekli olarak Gülen (1959) tarafından grafik yöntemle ve Sun vd. (1978) tarafından istatistiksel yöntemle geliştirilen ağaç hacim tabloları ile Yavuz (1995, 1999) ve Baynazoğlu (2014) tarafından hazırlanan yöresel ölçekli ağaç hacim denklemleri bulunmaktadır.

Türkiye'de bulunan Karaçam meşcereleri yetişme ortamı koşulları, iklimatik ve topografik özellikler bakımından geniş çeşitlilik göstermektedir. Pillsbury vd. (1995) ve Özçelik (2008), herhangi bir ağaç türü için geliştirilen hacim denklemlerinin aynı ağaç türünün farklı yetişme ortamı koşullarındaki meşcerelerinde kullanılması ile hacim tahminlerinde önemli hatalara neden olunabileceğini ifade etmektedir. Bu nedenle, imkanlar ölçüsünde farklı yetişme ortamı koşullarına sahip meşcereler için farklı ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi önerilmektedir (Brooks ve Wiant, 2008).

Bu çalışmanın amacı, Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnold subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) meşcereleri için kabuklu ve kabuksuz gövde hacimlerinin tahmininde kullanılmak üzere tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesidir. Ayrıca, bu çalışma kapsamında geliştirilen ağaç hacim denklemleri ile elde edilen kabuklu ve kabuksuz gövde hacim tahminleri ile Gülen (1959), Sun vd. (1978) ve Yavuz (1999) tarafından düzenlenen hacim denklemlerine ilişkin kabuklu gövde hacim tahminleri ve Yavuz (1995) tarafından düzenlenen hacim denklemlerine ilişkin kabuksuz gövde hacim tahminleri karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve yöntem

Bu araştırmanın çalışma alanı karaçamın oldukça geniş bir yayılış alanına sahip olduğu Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü'dür. Kastamonu ve Sinop illerini kapsayan Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü yaklaşık 1.3 milyon ha orman alanına, 201 milyon m³ dikili servete ve 5.9 milyon m³ yıllık artıma sahiptir (OGM, 2015). Karaçamın Türkiye'deki yayılış alanı ve çalışma alanı Şekil 1'de gösterilmiştir. Araştırma verileri, Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde yer alan farklı sıklık, yaş ve verim gücündeki saf ve doğal karaçam meşcerelerinden 2015 yılı yaz aylarında alınan 227 örnek ağaç üzerinde yapılan ölçümler ile elde edilmiştir. Örnek ağaçlar karaçamın geniş yayılış gösterdiği Azdavay, Boyabat, Daday, Hanönü, Karadere, Kastamonu, Pınarbaşı, Samatlar, Taşköprü ve Tosya Orman İşletme Müdürlüklerinden alınmış ve bu ağaçların mümkün olduğunca ilgili müdürlüklerdeki karaçam varlığı ile orantılı olarak dağıtılmasına çalışılmıştır. Örnek ağaçların farklı çap ve boy basamaklarında, düzgün ve tek gövdeli, tepesi sağlam ve sağlıklı olmasına özen gösterilmiştir.



Şekil 1. Karaçamın Türkiye'deki doğal yayılışı (OGM, 2013) ve çalışma alanı

Verilerin elde edilmesi amacıyla seçilen örnek ağaçlar dip kütük yüksekliğinden (0.30 m) kesilmiştir. Kesilen örnek ağaçların göğüs çapları (d , cm) ve 0.30 m yükseklikten itibaren tepe ucuna kadar 2 m aralıklarla gövde çapları (d_i , cm) 0.1 cm hassasiyetle çapölçer ile ve boyları (h , m) 0.1 m hassasiyetle şeritmetre ile ölçülmüştür. Örnek ağaçlar üzerinde çap ölçümü yapılan tüm gövde yüksekliklerinde kabuk kalınlıkları (b_i , mm) 1 mm hassasiyetle kabukölçer ile ölçülmüştür. Kabuksuz çapların hesaplanmasında kabuk kalınlıklarından yararlanılmıştır. Örnek ağaçların kabuklu ve kabuksuz gövde hacimleri

Bölümlene Yöntemi'ne göre hesaplanmıştır. Bu yöntemle göre ağaçlar (i) dip kütük, (ii) dip kütük ile uç parça arasında kalan 2 m'lik seksiyonlar ve (iii) uç parça olmak üzere üç bölüme ayrılarak tüm bölümler için kabuklu ve kabuksuz hacimler ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hacim hesaplarında dip kütüğün silindir ve uç parçanın ise koni biçiminde olduğu varsayılmış, 2 m'lik seksiyon hacimleri de Smalian denklemine göre belirlenmiştir. Gövde bölümlerine ilişkin hacimlerin toplanması ile de kabuklu ve kabuksuz gövde hacimleri belirlenmiştir.

Örnek ağaç verileri; (i) ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesinde kullanılacak veriler (denklem geliştirme verileri) ve (ii) geliştirilen denklemlerin geçerliliklerinin test edilmesinde kullanılacak veriler (kontrol verileri) olmak üzere tesadüfi olarak iki gruba ayrılmıştır. Bu amaçla çap ve boy basamaklarına ayrılan örnek ağaçların, her iki veri grubunda da benzer çap ve boy dağılımı sağlanacak şekilde %75'i (170 örnek ağaç) denklem geliştirme verileri ve kalan %25'i de (57 örnek ağaç) kontrol verileri olarak ayrılmıştır. Gruplardaki örnek ağaçların çap ve boy basamaklarına dağılımı Çizelge 1'de ve örnek ağaçlara ilişkin istatistiksel bilgiler ise Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Örnek ağaçların çap ve boy basamaklarına dağılımı*

Göğüs çapı (cm)	Boy (m)															Σ
	4.0 - 5.9	6.0 - 7.9	8.0 - 9.9	10.0 - 11.9	12.0 - 13.9	14.0 - 15.9	16.0 - 17.9	18.0 - 19.9	20.0 - 21.9	22.0 - 23.9	24.0 - 25.9	26.0 - 27.9	28.0 - 29.9	30.0 - 31.9	32.0 - 33.9	
8.0 - 11.9	2 (1)	2 (1)	2 (1)	1												7 (3)
12.0 - 15.9		3 (1)	4 (1)	3 (1)	2 (1)	1										13 (4)
16.0 - 19.9		1	4 (1)	4 (2)	7 (3)	4 (1)	1									21 (7)
20.0 - 23.9			1 (1)	3 (1)	5 (2)	7 (1)	5 (2)									21 (7)
24.0 - 27.9				1 (1)	10 (3)	7 (2)	7 (3)	8 (3)	1							34 (12)
28.0 - 31.9				1	4 (1)	4 (2)	7 (2)	2 (1)	4 (1)		1					23 (7)
32.0 - 35.9				2	1	1 (1)	1 (1)	2 (1)	5 (1)							12 (4)
36.0 - 39.9							2 (1)	3 (2)	3 (1)	4 (1)	1					13 (4)
40.0 - 43.9					1	2 (1)	2 (1)	2 (1)	3 (1)	1		1				12 (4)
44.0 - 47.9				1					1	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1			6 (2)
48.0 - 51.9									2 (1)	1 (1)	1 (1)		1			5 (3)
52.0 - 55.9									1							1 (-)
56.0 - 59.9								1							1	2 (-)
Σ	2 (1)	6 (2)	11 (4)	15 (5)	31 (10)	26 (8)	25 (9)	18 (6)	20 (6)	7 (3)	4 (1)	2 (1)	2 (1)	-	1 (-)	170 (57)

* İtalik sayılar denklem geliştirmede kullanılan örnek ağaç sayılarını ve parantez içerisindeki sayılar denklemlerin kontrolü için kullanılan örnek ağaç sayılarını ifade etmektedir.

Çizelge 2. Örnek ağaçlara ilişkin çeşitli istatistiksel bilgiler

Veri grubu	Değişkenler	Minimum	Maksimum	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma
Denklem geliştirme verileri (n=170)	Göğüs çapı (cm)	9.5	58.5	28.0	10.4
	Ağaç boyu (m)	4.4	32.9	15.8	5.0
	Kabuklu gövde hacmi (m ³)	0.0209	4.3390	0.6230	0.6240
	Kabuksuz gövde hacmi (m ³)	0.0144	3.4594	0.4680	0.4814
Kontrol verileri (n=57)	Göğüs çapı (cm)	8.5	51.3	27.6	10.6
	Ağaç boyu (m)	5.2	28.2	15.8	5.0
	Kabuklu gövde hacmi (m ³)	0.0188	2.0109	0.5899	0.5421
	Kabuksuz gövde hacmi (m ³)	0.0103	1.4836	0.4378	0.4071

Literatürde çok sayıda ağaç hacim denklemi bulunmaktadır (Fırat, 1973; Loetsch vd., 1973; Clutter vd., 1983; Kalıpsız, 1984; Bi ve Hamilton, 1998; Köhl vd., 2006). Bu denklemler arasından aşağıda verilen 7 adet tek girişli ve 12 adet çift girişli denklem seçilmiş ve bu denklemlerin katsayı tahminleri IBM SPSS 20 (2011) programı kullanılarak Regresyon Analizi yöntemi yardımıyla belirlenmiştir. Regresyon analizi yardımıyla ağaç hacim denklemlerinin düzenlenmesinde denklemlerin geliştirilmesi için seçilen 170 örnek ağaca ilişkin olarak tek girişli denklemler için göğüs çapı (d) ile göğüs çapından türetilen diğer değişkenler (d^2 , $\log(d)$) gibi ve çift girişli denklemler için ise göğüs çapı (d) ve ağaç boyu (h) ile bunlardan türetilen diğer değişkenler (d^2 , h^2 , $\log(d)$, $\log(h)$) gibi bağımsız değişken olarak kullanılmış, her iki denklem tipinde de bağımlı değişken kabuklu veya kabuksuz gövde hacmi olmuştur. Ağaç hacim denklemleri kabuklu gövde hacmi ve kabuksuz gövde hacmi için ayrı ayrı düzenlenmiştir.

Tek girişli ağaç hacim denklemleri:

$$V = b_0 + b_1 d^2 \quad (1)$$

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

$$V = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 \quad (3)$$

$$\log V = \log b_0 + b_1 \log d \quad (4)$$

$$\log V = b_0 + b_1 \log d \quad (5)$$

$$\ln V = b_0 + b_1 \ln d + b_2 (\ln d)^4 \quad (6)$$

$$\log V = b_0 + b_1 \log d + b_2 (1/d) \quad (7)$$

Çift girişli ağaç hacim denklemleri:

$$V = b_1 d^2 h \quad (8)$$

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

$$V = d^2 (b_0 + b_1 h) \quad (10)$$

$$V = b_0 + b_1 d^2 + b_2 d^2 h + b_3 h \quad (11)$$

$$V = b_1 d^2 + b_2 d^2 h + b_3 d h^2 + b_4 h^2 \quad (12)$$

$$V = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 d h + b_4 d^2 h \quad (13)$$

$$V = b_0 + b_1 d^2 + b_2 d^2 h + b_3 h^2 + b_4 d h^2 \quad (14)$$

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

$$V = (d^2 h) / (b_0 + b_1 d) \quad (16)$$

$$\log V = b_0 + b_1 \log d + b_2 \log h \quad (17)$$

$$\log V = \log b_0 + b_1 \log d + b_2 \log h \quad (18)$$

$$\log V = b_0 + b_1 \log(d^2 h) \quad (19)$$

Bu eşitliklerde; V : Kabuklu veya kabuksuz gövde hacmini (m³), d : Göğüs çapını (cm), h : Ağaç boyunu (m) ve b_i : Denklem katsayılarını ifade etmektedir.

Logaritmik formulu denklemler kullanılarak elde edilen tahmin değerleri logaritmik formda olduklarından aritmetik forma dönüştürülmeleri gerekmektedir. Baskerville (1972) ve Sprugel (1983) logaritmik tahmin değerlerinin doğrudan aritmetik forma dönüştürülmesinin sistematik bir hataya neden olduğunu ve bu dönüşümlerin bir düzeltme faktörü

(df) ile çarpılarak söz konusu sistematik hatanın ortadan kaldırılabileceğini belirtmişler ve df için aşağıdaki denklemi önermişlerdir.

$$df = e^{(SE^2/2)} \quad (20)$$

Bu eşitlikte; df : Düzeltme faktörünü, e : Doğal logaritma tabanını (=2.7183) ve SE : Tahminin standart hatasını ifade etmektedir.

Geliştirilen denklemler arasından en başarılı olanların seçilmesinde belirtme katsayısı (R^2), hata kareler ortalamasının karekökü ($HKOK$), ortalama mutlak hata (OMH) ve Akaike bilgi kriteri (AIC) olmak üzere dört adet uygunluk ölçütü kullanılmıştır.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(V_i - \hat{V}_i)^2}{\sum(V_i - \bar{V})^2} \quad (21)$$

$$HKOK = \sqrt{\frac{\sum(\hat{V}_i - V_i)^2}{n - p}} \quad (22)$$

$$OMH = \frac{\sum|\hat{V}_i - V_i|}{n} \quad (23)$$

$$AIC = n \ln \left(\frac{\sum(\hat{V}_i - V_i)^2}{n} \right) + 2p \quad (24)$$

Bu eşitliklerde; V_i : Ölçülen kabuklu veya kabuksuz gövde hacimlerini, \hat{V}_i : Tahmin edilen kabuklu veya kabuksuz gövde hacimlerini, \bar{V} : Ortalama kabuklu veya kabuksuz gövde hacmini, p : Denklemin parametre sayısını ve n : Örnek sayısını ifade etmektedir.

Kullanılan uygunluk ölçütü değerlerinden R^2 değerlerinin büyük ve $HKOK$, OMH ve AIC değerlerinin ise küçük olması istenmektedir. Ancak, bir veya birkaç ölçüte göre başarılı olan bir hacim denklemi, diğer bir ölçüt ya da ölçütlere göre başarısız olabilir. Bu nedenle başarı sıralamasının tüm başarı ölçütlerini kapsayacak şekilde yapılması daha uygundur. Bu çalışmada geliştirilen ağaç hacim denklemlerinin başarı sıralamalarının yapılması için Poudel ve Cao (2013) tarafından önerilen rölâtif sıralama yönteminden yararlanılmıştır. Bu yöntemde kullanılan tüm ölçütler için denklemlerin rölâtif sıralamaları aşağıdaki denklem yardımıyla ayrı ayrı hesaplanmış ve hesaplanan rölâtif sıralamalar toplanarak denklemlere ilişkin toplam rölâtif sıralama değerleri belirlenmiştir. Toplam rölâtif sıralama değerleri dikkate alınarak yapılan rölâtif sıralama ile de denklemlere ilişkin genel sıralamalar hesaplanmıştır.

$$R_i = 1 + \frac{(m-1)(S_i - S_{min})}{S_{max} - S_{min}} \quad (25)$$

Bu eşitlikte; R_i : i . denklemin rölatif sıralamasını ($i=1, 2, \dots, m$), S_i : i . denklemin ilgilenilen uygunluk ölçütüne ilişkin değerini, S_{min} : İlgilenilen uygunluk ölçütü için en küçük S_i değerini ve S_{max} : İlgilenilen uygunluk ölçütü için en büyük S_i değerini ifade etmektedir.

Geliştirilen kabuklu ve kabuksuz gövde hacim denklemlerinin Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü karaçam meşcereleri için uygunluğu, kontrol verisi olarak ayrılan ağaçlara (57 örnek ağaç) ilişkin gerçek hacim değerleri ile geliştirilen denklemler yardımıyla tahmin edilen hacim değerlerinin Eşlendirilmiş t Testi yardımıyla karşılaştırılması ile test edilmiştir. Aynı test, bu çalışma kapsamında geliştirilen hacim denklemleri ile yapılacak kabuklu ve kabuksuz gövde hacim tahminlerinin Gülen (1959), Sun vd. (1978) ve Yavuz (1995, 1999) tarafından geliştirilen denklemlere ilişkin tahminler ile karşılaştırılması için de kullanılmıştır.

3. Bulgular ve tartışma

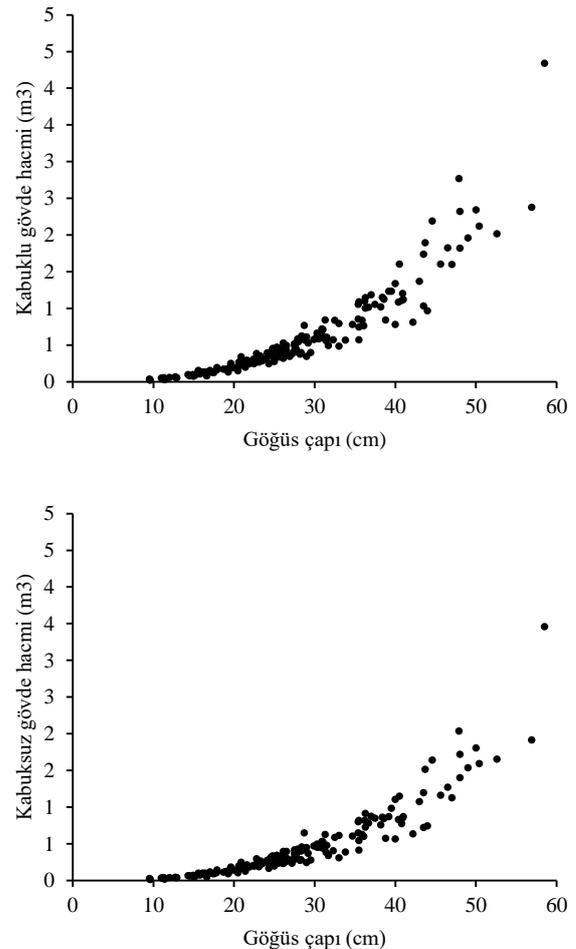
Kabuklu ve kabuksuz ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi için 227 örnek ağaç üzerinde ölçülen kabuklu ve kabuksuz gövde hacimleri ile göğüs çapı arasındaki ilişkiler Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde gerek kabuklu hacimler gerekse kabuksuz hacimler ile göğüs çapı arasında pozitif yönlü artan bir ilişki olduğu görülmektedir.

Çalışma kapsamında kabuklu ve kabuksuz gövde hacimleri için ayrı ayrı olmak üzere Regresyon Analizi yardımıyla geliştirilen 7 adet tek (1-7 nolu denklemler) ve 12 adet çift girişli (8-19 nolu denklemler) ağaç hacim denkleminin katsayı tahminleri Çizelge 3'te verilmiştir. Tüm denklemler $p < 0.001$ önem düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Geliştirilen denklemlere ilişkin istatistiksel ölçütler, bu ölçütlere göre hesaplanan rölatif sıralama değerleri ve ölçütlere ilişkin rölatif sıralama değerleri yardımıyla hesaplanan genel sıralama değerleri de Çizelge 4'te verilmiştir.

Geliştirilen ağaç hacim denklemlerine ilişkin uygunluk ölçütlerinden R^2 değerleri incelendiğinde denklemlerin büyük çoğunluğunun oldukça yüksek R^2 değerlerine sahip oldukları görülmektedir. Gerek kabuklu ve gerekse kabuksuz gövde hacim tahminleri için geliştirilen çift girişli denklemlerin R^2 değerleri tek girişli denklemlere göre daha yüksektir. Benzer şekilde kabuklu gövde hacim denklemlerinin R^2 değerlerinin kabuksuz gövde hacim denklemlerine göre kısmen daha yüksek olduğu görülmektedir. Denklemlere ilişkin OMH değerleri ise oldukça düşük olup, denklemlerin tahmin hatalarının sıfıra yakın olduğu söylenebilir. Çift girişli denklemlerin OMH değerleri tek girişli denklemlere göre daha düşüktür. Kabuklu gövde hacim denklemlerinin OMH değerleri ise kabuksuz gövde hacim denklemlerine ilişkin değerlere göre kısmen daha yüksek bulunmuştur. Tek girişli kabuklu gövde hacim denklemleri $HKOK$, OMH ve AIC ölçütleri bakımından ayrı ayrı değerlendirildiklerinde, denklemlerin bu ölçütler için aldıkları değerler birbirlerine oldukça benzemektedir. Aynı durum, çift girişli kabuklu gövde hacim, tek girişli kabuksuz gövde hacim ve çift girişli kabuksuz gövde hacim denklemleri için de geçerlidir. Denklemler rölatif sıraları bakımından karşılaştırıldığında,

tek girişli denklemler arasında gerek kabuklu ve gerekse kabuksuz gövde hacim tahminleri için ilk sırayı 4 nolu denklem almıştır. Çift girişli kabuklu ve kabuksuz gövde hacim denklemleri arasında ise ilk sırada 8 nolu denklem yer almıştır (Çizelge 4). Elde edilen bu sonuçlara göre 4 nolu tek girişli ve 8 nolu çift girişli denklemlerin hem kabuklu hem de kabuksuz gövde hacim tahminleri için en başarılı denklemler olduğu söylenebilir.

Geliştirilen ağaç hacim denklemlerinin uygunluğunun denetimi amacıyla kontrol veri grubunda yer alan 57 örnek ağaca ilişkin kabuklu ve kabuksuz gövde hacim değerleri ile geliştirilen denklemler kullanılarak tahmin edilen hacim değerleri Eşlendirilmiş t Testi yardımıyla karşılaştırılmıştır (Çizelge 5). Test sonuçlarına göre kabuklu gövde hacim denklemlerinin ve tek girişli kabuksuz gövde hacim denklemlerinin tamamını ölçülen değerler ile istatistiksel olarak benzer sonuçlar verdiği görülmektedir ($p > 0.05$). Çift girişli kabuksuz gövde hacim denklemlerinin dördü (9, 11, 13 ve 14 nolu denklemler) ölçülen kabuksuz gövde hacim değerleri ile istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermiş ($p < 0.05$), diğer denklemler ise ölçülen değerlere benzer sonuçlar vermiştir ($p > 0.05$). Bu sonuçlara göre, gerek kabuklu ve gerekse kabuksuz gövde hacim tahminleri için en başarılı bulunan 4 nolu tek girişli ve 8 nolu çift girişli denklemlerin Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü karaçam meşcerelerinde kullanılabilir olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 2. Kabuklu ve kabuksuz gövde hacmi ile göğüs çapı ilişkisi

Çizelge 3. Ağaç hacim denklemlerine ilişkin parametre tahminleri

No.	R ²	F	p	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅	CF
Kabuklu gövde hacmi										
<i>Tek girişli denklemler</i>										
1	0.896	1446.024	0.000	-0.1835***	0.0009***					
2	0.953	1692.334	0.000		-0.0144***	0.0011***				
3	0.911	853.304	0.000	0.3141**	-0.0354***	0.0015***				
4	0.964	4473.640	0.000	8.7x10 ⁻⁵ ***	2.5820***					1.003665
5	0.964	4473.640	0.000	-4.0593***	2.5820***					1.003665
6	0.964	2242.284	0.000	-9.8183***	2.7827***	-0.0015 ^{ns}				1.019542
7	0.964	2253.154	0.000	-3.6547***	2.3602***	-2.1769 ^{ns}				1.003640
<i>Çift girişli denklemler</i>										
8	0.994	28231.026	0.000		3.7x10 ⁻⁵ ***					
9	0.988	14075.292	0.000	0.0098 ^{ns}	3.7x10 ⁻⁵ ***					
10	0.988	14032.278	0.000	-7.6x10 ⁻⁸ ^{ns}	3.7x10 ⁻⁵ ***					
11	0.988	4703.960	0.000	0.0381 ^{ns}	-4.1x10 ⁻⁵ ^{ns}	3.9x10 ⁻⁵ ***	-0.0014 ^{ns}			
12	0.994	7033.856	0.000		5.7x10 ⁻⁵ ^{ns}	3.0x10 ⁻⁵ ***	1.2x10 ⁻⁵ ^{ns}	-0.0002 ^{ns}		
13	0.989	3576.824	0.000	-0.0561 ^{ns}	0.0103 ^{ns}	-0.0002*	-0.0003 ^{ns}	4.6x10 ⁻⁵ ***		
14	0.989	3547.880	0.000	0.0333 ^{ns}	2.8x10 ⁻⁵ ^{ns}	3.1x10 ⁻⁵ ***	-0.0003 ^{ns}	1.5x10 ⁻⁵ ^{ns}		
15	0.989	2863.988	0.000	-0.1268 ^{ns}	0.0134*	-0.0007 ^{ns}	-0.0003*	0.0079 ^{ns}	5.0x10 ⁻⁵ ***	
16	0.988	13972.419	0.000	26831.4***	-1.8112 ^{ns}					
17	0.993	12551.266	0.000	-4.2248***	1.9481***	0.9040***				1.000672
18	0.988	9363.262	0.000	3.8x10 ⁻⁵ ***	1.9668***	1.0348***				1.001031
19	0.993	24895.530	0.000	-4.2274***	0.9542***					1.000678
Kabuksuz gövde hacmi										
<i>Tek girişli denklemler</i>										
1	0.887	1312.559	0.000	-0.1510***	0.0007***					
2	0.948	1524.227	0.000		-0.0120***	0.0009***				
3	0.906	803.529	0.000	0.2856***	-0.0310***	0.0012***				
4	0.957	3758.026	0.000	5.6x10 ⁻⁵ ***	2.6247***					1.004510
5	0.957	3758.026	0.000	-4.2518***	2.6247***					1.004510
6	0.957	1879.994	0.000	-10.2480***	2.8197***	-0.0014 ^{ns}				1.024139
7	0.958	1887.339	0.000	-3.8554***	2.4074***	-2.1327 ^{ns}				1.004492
<i>Çift girişli denklemler</i>										
8	0.992	20085.149	0.000		2.8x10 ⁻⁵ ***					
9	0.984	10177.154	0.000	-0.0041 ^{ns}	2.9x10 ⁻⁵ ***					
10	0.984	10213.395	0.000	-3.3x10 ⁻⁵ ^{ns}	3.0x10 ⁻⁵ ***					
11	0.984	3500.381	0.000	0.0447 ^{ns}	-6.1x10 ⁻⁵ *	3.2x10 ⁻⁵ ***	-0.0027 ^{ns}			
12	0.992	5073.002	0.000		-7.9x10 ⁻⁵ ^{ns}	3.5x10 ⁻⁵ ***	-8.7x10 ⁻⁵ ^{ns}	0.0001 ^{ns}		
13	0.985	2668.454	0.000	-0.0126 ^{ns}	0.0059 ^{ns}	-0.0002 ^{ns}	-0.0003*	3.7x10 ⁻⁵ ***		
14	0.985	2628.389	0.000	0.0312*	-0.0001 ^{ns}	3.6x10 ⁻⁵ ***	-2.1x10 ⁻⁵ ^{ns}	-5.6x10 ⁻⁶ ^{ns}		
15	0.985	2213.504	0.000	-0.1663*	0.0125*	-0.0012**	-0.0002*	0.0171**	4.6x10 ⁻⁵ ***	
16	0.985	10599.376	0.000	39071.5***	-86.8775***					
17	0.989	7424.761	0.000	-4.4264***	1.9557***	0.9540***				1.001177
18	0.984	6899.278	0.000	2.1x10 ⁻⁵ ***	2.0436***	1.0439***				1.001776
19	0.989	14924.233	0.000	-4.4273***	0.9711***					1.001171

ns: $p > 0.05$, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$

Karaçam türü için ağaç hacim tahminlerine ilişkin çalışmalar, Gülen (1959) tarafından ulusal ölçekli olarak düzenlenen çift girişli kabuklu gövde hacim tablosu, Sun vd. (1978) tarafından ulusal ölçekli olarak geliştirilen tek ve çift girişli kabuklu gövde hacim denklemleri, Yavuz (1995, 1999) tarafından Taşköprü yöresi (Kastamonu) için geliştirilen yöresel ölçekli tek ve çift girişli kabuklu ve kabuksuz gövde hacim denklemleri ve Baynazoğlu (2014) tarafından Mudurnu yöresi (Bolu) için geliştirilen yöresel ölçekli tek ve çift girişli kabuklu gövde hacim denklemleri şeklindedir. Kontrol veri grubuna ait kabuklu gövde hacim değerleri Gülen (1959), Sun vd. (1978) ve Yavuz (1999) tarafından yapılan çalışmalara göre ve yine kontrol veri grubuna ait kabuksuz gövde hacim değerleri de Yavuz (1995) tarafından geliştirilen denklem ile tahmin edilmiş ve söz konusu tahminlerin istatistiksel olarak geçerlilikleri

Eşleştirilmiş t Testi yardımıyla test edilmiştir (Çizelge 6). Elde edilen sonuçlara göre kabuklu gövde hacmi için Sun vd. (1978) tarafından geliştirilen tek girişli denklem ile Gülen (1959), Sun vd. (1978) ve Yavuz (1999) tarafından geliştirilen çift girişli denklemler kontrol veri grubundaki örnek ağaçlara ilişkin kabuklu gövde hacimlerinden istatistiksel olarak anlamlı farklılık gösteren tahminlerde bulunmuşlardır ($p < 0.05$). Yavuz (1999) tarafından geliştirilen tek girişli kabuklu gövde hacim denkleminin tahminleri ise farksız bulunmuştur ($p > 0.05$). Kabuksuz gövde hacim tahminleri ile ilgili olarak da Yavuz (1995) tarafından geliştirilen tek girişli denkleme ilişkin tahminler ölçülen değerler ile istatistik olarak benzer bulunurken ($p > 0.05$), çift girişli denkleme ilişkin tahminler ise ölçülen değerlerden anlamlı farklılık göstermiştir ($p < 0.05$).

Çizelge 4. Ağaç hacim denklemlerine ilişkin uygunluk ölçütleri ve rölatif sıralamalar*

	R^2	$HKOK$	OMH	AIC	$\sum R_i$	Genel sıralama
Kabuklu gövde hacmi						
<i>Tek girişli denklemler</i>						
1	0.896 (7.00)	0.202 (7.00)	0.117 (7.00)	-541.994 (7.00)	28.00	7.00
2	0.953 (1.97)	0.193 (3.82)	0.112 (5.24)	-558.034 (3.73)	14.76	3.64
3	0.911 (5.68)	0.187 (1.71)	0.107 (3.47)	-566.362 (2.03)	12.88	3.16
4	0.964 (1.00)	0.185 (1.00)	0.101 (1.35)	-571.413 (1.00)	4.35	1.00
5	0.964 (1.00)	0.185 (1.00)	0.101 (1.35)	-571.047 (1.07)	4.43	1.02
6	0.964 (1.00)	0.190 (2.76)	0.101 (1.35)	-561.886 (2.94)	8.06	1.94
7	0.964 (1.00)	0.191 (3.12)	0.100 (1.00)	-559.782 (3.37)	8.49	2.05
<i>Çift girişli denklemler</i>						
8	0.994 (1.00)	0.069 (2.10)	0.040 (1.00)	-909.460 (1.57)	5.67	1.00
9	0.988 (12.00)	0.068 (1.00)	0.041 (4.67)	-912.015 (1.00)	18.67	5.85
10	0.988 (12.00)	0.069 (2.10)	0.043 (12.00)	-907.411 (2.03)	28.13	9.38
11	0.988 (12.00)	0.068 (1.00)	0.042 (8.33)	-910.613 (1.32)	22.65	7.33
12	0.988 (12.00)	0.068 (1.00)	0.042 (8.33)	-910.613 (1.32)	22.65	7.33
13	0.989 (10.17)	0.068 (1.00)	0.040 (1.00)	-911.525 (1.11)	13.28	3.84
14	0.989 (10.17)	0.068 (1.00)	0.041 (4.67)	-909.275 (1.62)	17.45	5.39
15	0.989 (10.17)	0.068 (1.00)	0.040 (1.00)	-906.131 (2.32)	14.49	4.29
16	0.988 (12.00)	0.068 (1.00)	0.043 (12.00)	-910.415 (1.36)	26.36	8.71
17	0.993 (2.83)	0.078 (12.00)	0.042 (8.33)	-863.072 (12.00)	35.17	12.00
18	0.988 (12.00)	0.068 (1.00)	0.043 (12.00)	-909.555 (1.55)	26.55	8.79
19	0.993 (2.83)	0.077 (10.90)	0.042 (8.33)	-871.124 (10.19)	32.26	10.91
Kabuksuz gövde hacmi						
<i>Tek girişli denklemler</i>						
1	0.887 (7.00)	0.163 (7.00)	0.094 (7.00)	-615.545 (7.00)	28.00	7.00
2	0.948 (1.85)	0.154 (3.63)	0.091 (5.80)	-633.852 (3.90)	15.17	3.73
3	0.906 (5.39)	0.149 (1.75)	0.088 (4.60)	-645.304 (1.95)	13.70	3.35
4	0.957 (1.08)	0.147 (1.00)	0.080 (1.40)	-650.931 (1.00)	4.48	1.00
5	0.957 (1.08)	0.147 (1.00)	0.080 (1.40)	-650.013 (1.16)	4.64	1.04
6	0.957 (1.08)	0.151 (2.50)	0.080 (1.40)	-640.172 (2.82)	7.81	1.85
7	0.958 (1.00)	0.152 (2.88)	0.079 (1.00)	-637.316 (3.31)	8.18	1.94
<i>Çift girişli denklemler</i>						
8	0.992 (1.00)	0.062 (3.44)	0.035 (1.00)	-943.187 (3.78)	9.23	1.00
9	0.984 (12.00)	0.062 (3.44)	0.036 (6.50)	-941.014 (4.26)	26.21	6.85
10	0.984 (12.00)	0.061 (2.22)	0.036 (6.50)	-949.353 (2.42)	23.14	5.80
11	0.984 (12.00)	0.062 (3.44)	0.035 (1.00)	-942.864 (3.85)	20.30	4.82
12	0.992 (1.00)	0.061 (2.22)	0.037 (12.00)	-946.358 (3.08)	18.30	4.13
13	0.985 (10.63)	0.060 (1.00)	0.035 (1.00)	-950.727 (2.11)	14.74	2.90
14	0.985 (10.63)	0.061 (2.22)	0.035 (1.00)	-947.478 (2.83)	16.68	3.57
15	0.985 (10.63)	0.060 (1.00)	0.036 (6.50)	-952.265 (1.77)	19.90	4.68
16	0.985 (10.63)	0.060 (1.00)	0.036 (6.50)	-955.757 (1.00)	19.13	4.41
17	0.989 (5.13)	0.069 (12.00)	0.037 (12.00)	-906.064 (12.00)	41.13	12.00
18	0.984 (12.00)	0.061 (2.22)	0.036 (6.50)	-950.732 (2.11)	22.83	5.69
19	0.989 (5.13)	0.069 (12.00)	0.037 (12.00)	-909.124 (11.32)	40.45	11.76

*Parantez içindeki değerler her bir denklem için ilgili uygunluk ölçütüne ilişkin rölatif sıralamayı ifade etmektedir.

Çizelge 5. Ağaç hacim denklemleri için t-testi sonuçları

No	Kabuklu gövde hacmi		Kabuksuz gövde hacmi	
	t	p	t	p
<i>Tek Girişli Denklemler</i>				
1	-0.817	0.417	-1.053	0.297
2	-0.551	0.584	-0.725	0.471
3	-0.947	0.348	-1.171	0.247
4	-0.476	0.636	-0.740	0.462
5	-0.556	0.581	-0.743	0.460
6	-0.843	0.403	-1.119	0.268
7	-0.312	0.757	-0.528	0.599
<i>Çift Girişli Denklemler</i>				
8	-1.032	0.307	-1.656	0.103
9	-1.821	0.074	-2.472	0.017*
10	-1.027	0.309	-1.846	0.070
11	-1.987	0.052	-2.562	0.013*
12	-1.270	0.209	-1.692	0.096
13	-1.765	0.083	-2.106	0.040*
14	-1.675	0.099	-2.203	0.032*
15	-1.314	0.194	-1.438	0.156
16	-1.452	0.152	-1.380	0.173
17	-1.631	0.109	-1.738	0.088
18	-1.587	0.118	-1.513	0.136
19	-1.669	0.101	-1.747	0.086

* $p < 0.05$

Çizelge 6. Karaçama ilişkin diğer hacim denklemleri için t-testi sonuçları

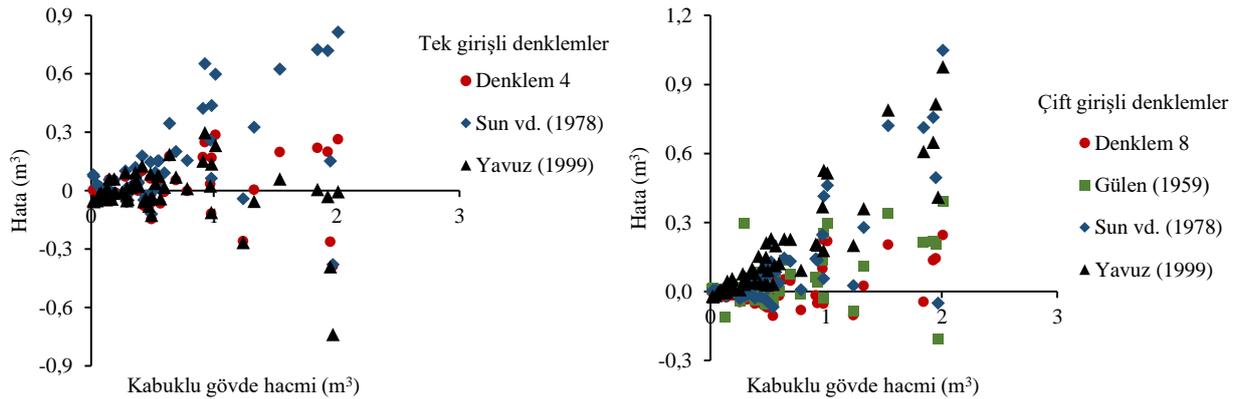
	t	p
Kabuklu gövde hacmi		
<i>Tek girişli denklemler</i>		
Sun vd. (1978)	-3.987	0.000*
Yavuz (1999)	0.456	0.650
<i>Çift girişli denklemler</i>		
Gülen (1959)	-3.342	0.001*
Sun vd. (1978)	-3.583	0.001*
Yavuz (1999)	-5.563	0.000*
Kabuksuz gövde hacmi		
<i>Tek girişli denklemler</i>		
Yavuz (1995)	-0.056	0.956
<i>Çift girişli denklemler</i>		
Yavuz (1995)	2.383	0.021*

* $p < 0.05$

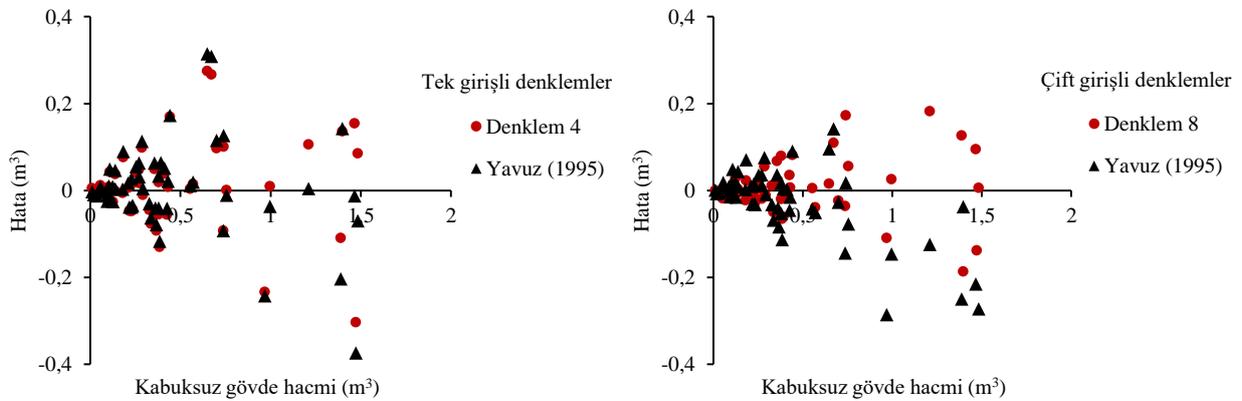
Bu çalışma kapsamında en başarılı bulunan ve karaçam için daha önce geliştirilmiş olan ağaç hacim denklemlerine ilişkin hata dağılımları kabuklu gövde hacim tahminleri için Şekil 3'te ve kabuksuz gövde hacim tahminleri için Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde, ağaçların kabuklu gövde hacim değerleri arttıkça Sun vd. (1978) tarafından geliştirilen tek girişli denklemin pozitif yönlü hatalara (gerçeğe göre yüksek tahminlere) ve Yavuz (1999) tarafından geliştirilen denklemin negatif yönlü hatalara (gerçeğe göre düşük tahminlere) sahip olduğu, buna karşın bu çalışma kapsamında geliştirilen 4 nolu denklem ilişkin hataların rastgele dağılım gösterdiği görülmektedir. Benzer şekilde bu çalışma kapsamında geliştirilen 8 nolu denklem dışında kalan diğer tüm çift girişli denklemler (Gülen, 1959; Sun vd., 1978; Yavuz, 1999) kabuklu gövde hacim tahminlerinde pozitif yönlü yüksek hatalara sahip olup gerçeğe göre daha yüksek hacim tahminlerinde bulunmaktadır. Kabuksuz gövde hacim tahminlerinde ise Yavuz (1995) tarafından geliştirilen tek girişli denklemin bu çalışmada geliştirilen 4 nolu denklem ile benzer hata dağılımı gösterdiği, çift girişli denklemin bu çalışmada geliştirilen 8 nolu denklemdeki gibi rastgele hatalara sahip olmayıp negatif yönlü hatalar gösterdiği (gerçeğe göre düşük tahminlere sahip olduğu) söylenebilir (Şekil 4).

4. Sonuçlar ve öneriler

Bu çalışma kapsamında Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü Karaçam meşcerelerinde kabuklu ve kabuksuz gövde hacim tahminleri için kullanılabilir tek ve çift girişli ağaç hacim denklemleri geliştirilmiştir. Bu amaçla 7 adet tek girişli ve 12 adet çift girişli hacim denklemi test edilmiştir. Geliştirilen denklemler genel olarak yüksek R^2 değerlerine sahip olmakla birlikte, diğer üç uygunluk ölçütü de ($HKOK$, OMH ve AIC) dikkate alınarak yapılan rölatif sıralamalara göre 4 nolu tek girişli ve 8 nolu çift girişli denklemler gerek kabuklu ve gerekse kabuksuz gövde hacim tahminlerinde en başarılı denklemler olarak seçilmişlerdir. En başarılı bulunan denklemlerin geçerlilikleri 57 örnek ağaçtan elde edilen kontrol verileri kullanılarak test edilmiş ve bu denklemlerin Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü karaçam meşcereleri için kullanılabilir oldukları belirlenmiştir.



Şekil 3. Kabuklu gövde hacmi denklemlerine ilişkin hata dağılımları



Şekil 4. Kabuksuz gövde hacmi denklemlerine ilişkin hata dağılımları

Çalışma materyalini oluşturan örnek ağaçlar yaklaşık olarak 8 – 60 cm çap ve 4 – 34 m boy aralıklarında olduklarından özellikle bu aralıklardaki çap ve boylara sahip ağaçların kabuklu ve kabuksuz gövde hacimleri ilgili denklemler ile güvenli bir şekilde tahmin edilebilir. En başarılı bulunarak önerilen tek girişli ağaç hacim denklemlerinin kullanılabilmesi için yalnızca göğüs çapının, önerilen çift girişli ağaç hacim denklemlerinin kullanılabilmesi için ise göğüs çapı ve ağaç boyunun ölçülmesi yeterli olacaktır. Ölçülen bu değerler ilgili denklemlerde yerine konularak ağaçların kesilmesine gerek duyulmadan kabuklu ve kabuksuz gövde hacimleri kolaylıkla tahmin edilebilecektir.

Meşcerelere ilişkin projeksiyonların ortaya konulabilmesi için temel araçlardan biri olan ağaç hacim denklemlerinin Türkiye’de yayılış gösteren asli orman ağacı türlerinin farklı ekolojik koşullardaki meşcereleri için geliştirilmesi ve karşılaştırılması ile ilgili çalışmaların sürdürülmesi ülke ormancılığına önemli katkılar sunacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenen 214O217 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiş olup, katkılarından dolayı TÜBİTAK’a teşekkür ederiz. Ayrıca, arazi çalışmalarına sağladığı katkılardan dolayı merhum Prof. Dr. Mehmet Hakan AKYILDIZ’a teşekkür eder, kendisini saygıyla anarız.

Kaynaklar

- Akalp, T., 1978. Türkiye’deki Doğu ladini (*Picea orientalis* Lk. Carr.) ormanlarında hasılat araştırmaları. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alemdağ, Ş., 1962. Türkiye’deki Kızılcım Ormanlarının Gelişimi, Hasılat ve Amenajman Esasları. Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten No: 11, Ankara.
- Alemdağ, Ş., 1967. Türkiye’deki Sarıçam Ormanlarının Kuruluşu, Verim Gücü ve Bu Ormanların İşletilmesinde Takip Edilecek Esaslar, Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten No: 20, Ankara.
- Asan, Ü., 1984. Kazdağı Göknaarı (*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.
- Baskerville, G.L., 1972. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass. Canadian Journal of Forest Research, 2: 49-53.
- Baynazoğlu, F., 2014. Mudurnu-Sırçalı Orman İşletme Şefliğinde yayılış gösteren Anadolu karaçamı (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Homboe) meşcereleri için tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çankırı.
- Bi, H., Hamilton, F., 1998. Stem volume equations for native tree species in southern New South Wales and Victoria. Australian Forestry, 61: 275-286.

- Bozkuş, H.F., Carus, S., 1997. Toros göknarı (*Abies clicica* Carr.) ve sedir (*Cedrus libani* Link.)’in çift girişli gövde hacim tabloları ve mevcut tablolarla karşılaştırılması. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 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.
- 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.
- Carus, S., Su, Y., 2014. Antalya-Korkuteli Yöresi kızılçam ağaçlandırmaları için tek ve çift girişli ağaç hacim tablosunun düzenlenmesi ve mevcut tablolar ile kıyaslanması. II. Ulusal Akdeniz Orman Ve Çevre Sempozyumu, 22-24 Ekim 2014, Isparta, s. 574-584.
- Castedo-Dorado, F., Gomez-Garcia, E., Dieguez-Aranda, U., Barrio-Anta, M., Crecente-Campo, F., 2012. Aboveground stand-level biomass estimation: a comparison of two methods for major forest species in northwest Spain. Annals of Forest Science, 69: 735-746.
- Clutter, J.L., Fortson, J.C., Pienaar, L.V., Birester, G.H., Bailey, R.L., 1983. Timber Management. John Wiley and Sons, New York.
- Crecente-Campo, F., Alboreca, A.R., Dieguez-Aranda, U., 2009. A merchantable volume system for *Pinus sylvestris* L. in the major mountain ranges of Spain. Annals of Forest Science, 66(8): 808p1-p12.
- Çalışkan, A., Yeşil, A., 1996. Büyükdüz Araştırma Ormanı sarıçam-göknaar-kayın karışık meşcerelerinde bulunan sarıçam için tek ve çift girişli hacim tablosu. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 46(1): 39-50.
- Eraslan, Ü., 1954. Trakya ve Bilhassa Demirköy Mıntıkası Meşe Ormanlarının Amenajman Esasları Hakkında Araştırmalar. OGM Yayını, Ankara.
- 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.
- Evcimen, B.S., 1963. Türkiye Sedir Ormanlarının Ekonomik Önemi, Hasılat ve Amenajman Esasları. OGM Yayını, Ankara.
- Fırat, F., 1973. Dendrometri. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayını, İ.Ü Yayın No: 1800, O.F. Yayın No: 193, Kutulmuş Matbaası, İstanbul.
- Gülen, İ., 1959. Karaçam (*Pinus nigra* Arnold) hacim tablosu. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri A, 9(1): 97-112.
- Husch, B., Beers, T.W., Kershaw, J.A., 2003. Forest Mensuration. 4th ed. Wiley, New York.
- IBM SPSS 20, 2011. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 20, Armonk, New York, IBM Corporation.
- 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.
- Kalipsız, A., 1962. Doğu Kayınında Artım Büyüme Araştırmaları. Teknik Bülten, OGM Yayını, Ankara.

- Kalıpsız, A., 1984. Dendrometri. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayını, İ.Ü. Yayın No: 3194, O.F. Yayın No: 354, İstanbul.
- Kapucu, F., 2004. Orman Amenajmanı. KTÜ Yayın No:215, Orman Fakültesi Yayın No:33, KTÜ Matbaası, Trabzon.
- Köhl, M., Magnussen, S., Marchetti, M., 2006. Sampling Methods, Remote Sensing and GIS Multiresource Forest Inventory. Springer, Berlin.
- Laar, A.V., Akça, A., 2007. Forest Mensuration. Springer, The Netherlands.
- Loetsch, F., Zöhrer, F., Haller, KE. 1973. Forest Inventory, Volume 2. BLV Verlagsgesellschaft mbH, München.
- 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. Göknarlarda Şekil ve Hacim Araştırmaları. O.G.M. Yayın No: 188, Seri No: 5, İstanbul, s.103.
- OGM, 2006. Orman Varlığımız. Çevre ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.
- OGM, 2013. Orman Atlası. Orman Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.
- OGM, 2015. Türkiye Orman Varlığı. Orman Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.
- 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., Çevlik, M., 2017. Batı Akdeniz yöresi doğal sedir meşcereleri için hacim denklemleri. Turkish Journal of Forestry, 18(1): 37-48.
- Philip, M.S., 1994. Measuring Trees and Forests. CAB International, Wallingford.
- 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.
- Sakıcı, O.E., Yavuz, H., 2003. Ilgaz Dağı göknar meşcereleri için hacim fonksiyonları. Gazi Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 3(2): 155-168.
- 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 Tarım ve Ormancılık Araştırma Grubu Proje No:288, Ankara.
- Yavuz, H., 1995. Taşköprü Orman İşletmesinde sarıçam ve karaçam için uyumlu gövde çapı, gövde hacmi ve hacim oran denklemlerinin geliştirilmesi. Basılmamış Doçentlik Tezi, KTÜ Orman Mühendisliği Bölümü, Orman Amenajmanı Anabilim Dalı, Trabzon.
- Yavuz, H., 1999. Taşköprü yöresinde karaçam için hacim fonksiyonları ve hacim tabloları. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 23: 1181-118.
- Yavuz, H., Sakıcı, O.E., 2002. Gövde profili modellerinin bilimsel ve pratik açıdan irdelenmesi. Orman Amenajmanı'nda Kavramsal Açılımlar ve Yeni Hedefler Sempozyumu, 18-19 Nisan 2002, İstanbul, S.233-241.