

# Taşköprü Yöresinde Karaçam İçin Hacim Fonksiyonları ve Hacim Tabloları

Hakkı YAVUZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi 61080 Trabzon - TÜRKİYE

Geliş Tarihi: 28.09.1998

**Özet:** Bu çalışmada, Taşköprü yöresinde karaçam ağaç türü (*Pinus nigra Arn. Subs. Pallasiana*) için altı farklı uygunluk ölçütüne (ortalama fark, ortalama mutlak fark, farkların standart sapması, belirtme katsayısı, toplam hata yüzdesi ve ortalama mutlak hata yüzdesi) göre en uygun tek, çift ve çok girişli ağaç hacim fonksiyonları düzenlenmiştir. Sonuçlar; her bir hacim fonksiyon grubu için belirlenen en uygun hacim fonksiyonlarının yöreye uygun olduğunu göstermiştir ( $p>0.05$ ).

## Volume Equations and Volume Tables For Black Pine in Taşköprü

**Abstract:** In this study, single, double and multiple-entry tree volume equations were constructed according to six performance criteria (average residuals or bias, average absolute residuals, standard deviation of residuals or precision, coefficient of determination, percent total error and percent absolute mean error) for black pine (*Pinus nigra Arn. Subs. Pallasiana*) in Taşköprü Forest District. The results indicate that the best volume equations chosen from each equation systems can be used for black pine in Taşköprü Forest District at the 0.05 significant level.

### Giriş

Orman işletmelerinde sermayenin büyük bir bölümünü ağaç serveti oluşturmaktadır. Özellikle üretimin planlanması ve ürün hasadı aşamalarında ağaç ya da onun en değerli bölümünü oluşturan gövde hacminin önceden bilinmesi gerekmektedir.

Ağaç gövdeleri geometrik şekillere tam olarak uymamakta ve gövdelerin biri diğerine benzememektedir (1, 2). Buna karşın, enine kesidi genellikle yuvarlak olup, kalınlığı dipten doruğa doğru giderek azalmaktadır. Gövdenin bu özelliğinden yararlanarak, gövde biçimi ve hacmini belirleyebilmek amacıyla geliştirilen pek çok yöntem ve formül bulunmaktadır (1, 2, 3, 4). Bu yöntem ve formüller tarihsel gelişim sırasına göre doğuray denklemleri, alan fonksiyonları ve istatistiksel yöntemlere göre hacimlendirme olmak üzere üç bölüme ayrılarak sınıflandırılabilir (4).

Doğuray fonksiyonunun entegre edilmesi ile oluşan hacim formüllerinin kuramsal olarak dört temel geometrik şekilden (silindir, paraboloid, koni ve noyloid) yalnız birine uyması nedeniyle, bunların tümü için ortak ve doğru sonuçlar verememektedir. Alan fonksiyonlarının entegre edilmesi ile oluşan hacim formülleri ise belirtilen

dört geometrik şekil ve kesikleri için doğru sonuç vermektedir (1, 2, 4). Ancak bazı ibrelili ve yapraklı ağaç türleri için yapılan bir araştırmaya göre alan fonksiyonlarına ilişkin katsayıların işaretine, ölçülen çap sayısına ve çapın ölçüldüğü noktaların simetrik olup olmadığına göre farklı hacimler verdiği, gerçeğe en yakın değerlerin ise gövde üzerinde simetrik olarak dağıtılmış beş çap değeri ( $d_{0.1h}$ ,  $d_{0.3h}$ ,  $d_{0.5h}$ ,  $d_{0.7h}$ , ve  $d_{0.9h}$ ) ile elde edildiği belirtilmektedir (4). Ancak uygulamada, dikili ağaçlar üzerinde ölçümü zor ve fazla sayıda değışkene bağlı olarak gövde hacminin hesaplanması pratik değildir.

İstatistiksel yöntemlerle elde edilen hacim fonksiyonları deneysel formüllerdir ve ancak katsayılarının hesaplanması için örnekleme yapılmış olan toplumlarda geçerlidir (2, 4). Buna karşın çok sayıda gövdenin hacimlendirilmesinde diğer yöntemlere göre daha pratik olması nedeniyle uygulamada genellikle bu yöntem tercih edilmektedir. Ağaç hacim fonksiyonları bilindiği gibi kullanılan serbest değışken sayısına bağlı olarak tek, çift ve çok girişli olmak üzere üç bölüme ayrılmakta ve bu fonksiyonların tek ağaçlar için hata yüzdesi değeri serbest değışken sayısı ile doğru orantılı olarak azalmaktadır (3, 5). Diğer taraftan, ağaç hacim fonksiyonlarının oluşturulmasındaki temel amaç; en az

sayıdaki serbest değişken yardımıyla en doğru hacim değerinin hesaplanmasıdır. Bu nedenle gövde hacmi, benzer yapıdaki meşcerelerde yalnız göğüs çapının, farklı yapıdaki meşcerelerde göğüs çapı ve boyun, daha duyarlı hacim hesaplamaları için ise göğüs çapı ve boya ek olarak gövde biçimi ile yüksek ilişki gösteren üçüncü bir serbest değişkenin (örneğin tepe uzunluğu, 7 metre yüksekliğindeki gövde çapı, boyun belirli bir oranına karşılık gelen gövde çapı ya da göğüs çapının belirli bir oranına eşit olan gövde çapının yüksekliği gibi) fonksiyonu olarak hesaplanmaktadır (3, 6, 7, 8). Bu değişkenlerden özellikle göğüs çapının belirli bir oranına (örneğin *Pseudotsuga menziesii* için % 67 ve *Abies bornmülleriana* için % 70) eşit olan gövde çapına ilişkin yüksekliğin kullanılması durumunda gerçeğe oldukça yakın hacim değerleri elde edildiği belirtilmektedir (6, 7).

Ülkemizde çeşitli ağaç türleri için yöresel, bölgesel ve genel ağaç hacim tabloları düzenlenmiştir. Yöresel (tek girişli) ağaç hacim tabloları amenajman planlarında yer almakta olup, uygulayıcılar tarafından bazı tür ve yöreler için sistematik hata (gerçeğe göre sürekli fazla ya da eksik sonuçlar veren) gösterdikleri belirtilmektedir. Bölgesel ve genel ağaç hacim tabloları ise genellikle göğüs çapı ve boy ya da belirli göğüs çapı ve boy basamaklarına göre ortalama şekil katsayıları yardımıyla düzenlenmişlerdir (9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18).

Bu çalışmada, yöresel bazda (Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü) olmak üzere karaçam ağaç türü için yalnız göğüs çapı, göğüs çapı ve boy ile göğüs çapı ve boya ek olarak üçüncü bir değişkenin fonksiyonu ile üç farklı gövde hacim fonksiyonu oluşturularak, elde edilen sonuçların birbirleriyle ve karaçam için daha önce düzenlenmiş olan ilgili yöresel ve bölgesel ağaç hacim tabloları ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. Üçüncü bir serbest değişken olarak; yukarıda belirtilen ve çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen değişkenlerin hacim üzerindeki etkilerinin deneysel olarak belirlendiği ve bu etkilerin ağaç türü ve çeşitli meşcere özelliklerine göre değişebileceği varsayımı da dikkate alınarak, bu çalışmada daha geniş sınırlar içinde 5, 6 ve 7 metre yüksekliklerindeki gövde çapları, boyun % 10, 30 ve 50'sindeki çaplar ile göğüs çapının % 50, 60, 62.5, 65, 67.5, 70 ve 75'ine eşit gövde çaplarının yükseklikleri olmak üzere toplam 13 farklı serbest değişken ayrı ayrı test edilmiştir.

## Materyal

Bu çalışmada Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü, Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü' ndeki karaçam meşcerelerinden seçilen toplam 538 örnek ağaca ilişkin veriler kullanılmıştır. Kesilen örnek ağaçlar üzerinde toprak seviyesi, dip kütük, göğüs yüksekliği çapları ( $d_0$ ,  $d_{0.3}$ ,  $d_{1.3}$ ) ve birer metre ara ile gövde üzerindeki tüm çaplar ( $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ , ...,  $d_n$ ) ile ağaç boyu ( $h$ ) ölçülmüştür. Ağaç hacim fonksiyonlarının düzenlenmesi ve bu fonksiyonların meşcereye uygunluğunun denetlenmesi amacıyla, örnek ağaçlar rasgele sayılar tablosundan (19, 20), yararlanarak iki gruba ayrılmıştır. I. grupta örnek ağaçların % 80'i (431 örnek ağaç) ve II. grupta ise % 20'si (107 örnek ağaç) bulunmaktadır. Tablo 1' de I. ve II. grupta bulunan örnek ağaçların dörder santimetrelik çap ve ikişer metrelik boy basamaklarına göre dağılımı verilmiştir. Parantez içindeki sayılar II. grupta yer alan örnek ağaç sayılarını göstermektedir.

## Yöntem

Ağaç hacim tablolarının düzenlenenebilmesi için pek çok hacim fonksiyonu denenmektedir. Ancak, bu fonksiyonlardan çeşitli istatistiksel ölçütlere göre en uygun hacim fonksiyonu belirlenerek, bu fonksiyon yardımıyla hesaplanan hacim değerleri serbest değişken ya da değişkenlere göre tablolaştırılmaktadır. Bu çalışmada çeşitli kaynaklardan sağlanan hacim fonksiyonlarından (1, 2, 3, 4, 5, 8, 21, 22) tek girişli hacim fonksiyonu için 6 (1-6'nolu eşitlikler), çift girişli için 13 (7-19'nolu eşitlikler) ve çok girişli için 9 (20-28'nolu eşitlikler) farklı hacim fonksiyonu denenmiştir.

Tek girişli ağaç hacim fonksiyonları:  $v = f(d)$

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

$$v = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + \varepsilon \quad (2)$$

$$v = b_1 d + b_2 d^2 + \varepsilon \quad (3)$$

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

$$\log(v) = b_0 + b_1 \log(d) + b_2 d^{-1} + \varepsilon \quad (5)$$

$$\log(v) = b_0 + b_1 \log(d) + b_2 (\log d)^4 + \varepsilon \quad (6)$$

Çift girişli ağaç hacim fonksiyonları:

$$v = b_0 d^2 h + \varepsilon \quad (7)$$

$$v = b_0 + b_1 d^2 h + \varepsilon \quad (8)$$

$$v = b_0 + b_1 d^2 + b_2 h + b_3 d^2 h + \varepsilon \quad (9)$$

$$v = d^2 (b_0 + b_1 h^{-1}) + \varepsilon \quad (10)$$

$$v = d^2 (b_0 + b_1 h) + \varepsilon \quad (11)$$

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

$$v = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + (b_3 + b_4 d + b_5 d^2) h + \varepsilon \quad (13)$$

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

$$v = d^2 h (b_0 + b_1 d) + \varepsilon \quad (15)$$

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

$$\log(v) = \log(b_1) + b_2 \log(d) + b_3 \log(h) + \varepsilon \quad (17)$$

$$\log(v) = b_0 + b_1 \log(d^2 h) + \varepsilon \quad (18)$$

$$\log(v) = b_0 + b_1 \log(d) + b_2 (\log d)^2 + b_3 \log(h) + b_4 (\log h)^2 + \varepsilon \quad (19)$$

Çok girişli ağaç hacim fonksiyonları kullanılan serbest değişkenlere göre üç gruba ayrılmıştır.

I. grup:  $v = f(d, d_i, h)$

$$v = b_0 + b_1 d_i d h + \varepsilon, i = 5, 6, 7 \text{ m.} \quad (20)$$

$$v = b_0 + b_1 d_i d^{-1} + b_2 d_i^2 h + b_3 d_i d h + \varepsilon, i = 5, 6, 7 \text{ m.} \quad (21)$$

$$\log(v) = b_0 + b_1 \log(d_i d h) + \varepsilon, i = 5, 6, 7 \text{ m.} \quad (22)$$

$$\log(v) = b_0 + b_1 \log(d) + b_2 \log(h) + b_3 \log(d_i) + \varepsilon, i = 5, 6, 7 \text{ m.} \quad (23)$$

II. grup:  $v = f(d, h, d_{ih})$

$$v = b_0 + b_1 d_{ih} d h + \varepsilon, i = 0.1, 0.3, 0.5 \quad (24)$$

$$v = b_0 d^2 h + b_1 d d_{ih} + b_2 d_{ih}^2 h + \varepsilon, i = 0.1, 0.3, 0.5 \quad (25)$$

$$v = b_0 d^2 h + b_1 d d_{ih} h + b_2 d_{ih}^3 d_{ih}^{-1} + \varepsilon, i = 0.1, 0.3, 0.5 \quad (26)$$

III. grup:  $v = f(d, h, h_{id})$

$$v = b_0 d^2 h + b_1 d^2 (h_{id} - 1.3) + \varepsilon, i = 0.5, 0.6, 0.625, 0.65, 0.675, 0.7, 0.75 \quad (27)$$

$$v = b_0 d^2 h + b_1 d^2 + b_2 d^2 h_{id} + \varepsilon, i = 0.5, 0.6, 0.625, 0.65, 0.675, 0.7, 0.75 \quad (28)$$

Yukarıda verilen hacim fonksiyonlarında d: göğüs çapını (cm), h: ağaç boyunu (m), v: dip kütük dahil gövde hacmini ( $m^3$ ),  $d_i$ : 5, 6 ve 7 metre yüksekliğindeki gövde çaplarını (cm),  $d_{ih}$ : ağaç boyunun %10, 30 ve 50'si yüksekliğindeki gövde çaplarını (cm),  $h_{id}$ : göğüs çapının %50, 60, 62.5, 65, 67.5, 70 ve 75'ine eşit gövde çaplarının yüksekliklerini (m) ve  $\varepsilon$  ise hata terimlerini göstermektedir. Bu değişkenlerden göğüs çapı ve boy ile 5, 6 ve 7 metre yüksekliğindeki çaplar örnek ağaçlar üzerinde doğrudan ölçülmüştür. Diğer değişkenlerden  $d_{0.1h}$ ,  $d_{0.3h}$ ,  $d_{0.5h}$  çapları ile  $h_{0.5d}$ ,  $h_{0.6d}$ ,  $h_{0.625d}$ ,  $h_{0.65d}$ ,  $h_{0.675d}$ ,  $h_{0.7d}$  ve  $h_{0.75d}$  yükseklikleri ise gövde üzerinde birer metre ara ile ölçülen çap değerlerinden yararlanarak doğrusal enterpolasyon yöntemi ile hesaplanmışlardır. Ölçüm sırasında gövdeler birer metrelik seksiyonlara

ayrıldığından, gövde üzerindeki her bir seksiyonun hacmi Smalian formülü ile hesaplanarak, seksiyon hacimleri toplamı ilgili gövdenin gerçek hacmi olarak kabul edilmiştir.

Bu çalışmada test edilen hacim fonksiyonları doğrusal ya da doğrusal duruma getirilebilen modeller olduğundan, ilgili parametrelerin tahmin değerleri "En Küçük Kareler Yöntemi" ile hesaplanmıştır. En uygun hacim fonksiyonunun belirlenmesinde ise; belirtme katsayısı ( $R^2$ ), tahminin standart hatası ( $S_{y,x}$ ), ortalama sapma (D), ortalama mutlak sapma ( $|\bar{D}|$ ), toplam hata (TH) ve ortalama mutlak hata (OMH) olmak üzere toplam altı farklı uygunluk ölçütünden yararlanılmıştır (2, 11, 23). Güvenilir bir ağaç hacim fonksiyonunun bu ölçüt değerlerinden ortalama fark, ortalama mutlak fark, standart hata, toplam hata ve ortalama mutlak hata değerlerinin küçük, belirtme katsayısı değerinin ise büyük olması arzu edilir. Ancak; bu ölçüt değerlerinden bir ya da birkaçına göre iyi sonuç veren bir hacim fonksiyonu diğer ölçüt değerlerine göre başarısız sonuçlar verebilir. Bu durumda; hacim fonksiyonları arasında her bir ölçüt değerine göre karşılaştırma yapmak yerine, ölçüt değerlerinin tümünü kapsayacak biçimde bir başarı sıralaması yapılması gerekir. Pek çok uygunluk ölçütüne göre en uygun regresyon modelinin belirlenmesinde; her bir uygunluk ölçütüne göre regresyon modellerine sıra numarası verilir, sıra numaraları toplamına (rank değeri) bağlı olarak en uygun modelin belirlenmesi önerilmektedir (23). Bu çalışmada da aynı yaklaşım uygulanarak; ortalama fark, ortalama mutlak fark, tahminin standart hatası, toplam hata ve ortalama mutlak hata değerlerine göre en küçüğüne, belirtme katsayısı değerlerine göre ise en büyüğüne 1 (bir) sıra numarası verilerek giderek artan bir biçimde her ölçüt değerine göre hacim fonksiyonlarına sıra numarası verilmiş ve daha sonra sıra numaraları toplamı, ilgili hacim fonksiyonu için başarı derecesi olarak dikkate alınmıştır. Bu durumda en küçük toplam sıra numarasına sahip fonksiyon en başarılı hacim fonksiyon olmaktadır.

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{\text{residual}} / (n-p)}{SS_{\text{total}} / (n-1)} \quad (29)$$

$$S_{y,x} = \sqrt{\frac{\sum (v_i^\dagger - v_i)^2}{n-p}} \quad (30)$$

$$\bar{D} = n^{-1} \sum (v_i^\dagger - v_i) \quad (31)$$

$$|\bar{D}| = n^{-1} \sum |v_i^t - v_i| \quad (32)$$

$$TH (\%) = \frac{\sum v_i^t - \sum v_i}{\sum v_i} 100 \quad (33)$$

$$OMH (\%) = \frac{\sum |v_i^t - v_i|}{\sum v_i} 100 \quad (34)$$

Burada,  $SS_{residual}$ : hata varyansını,  $SS_{total}$ : bağlı değişkenin varyansını,  $n$ : veri sayısını,  $p$ : parametre

sayısını,  $v_i$ : bağlı değişkenin ölçülen değerlerini,  $v_i^t$ : bağlı değişkenin regresyon modeli ile tahmin edilen değerlerini göstermektedir.

Her bir grup için en uygun hacim fonksiyonları belirlendikten sonra, bu fonksiyonların Taşkoprü Orman İşletme Müdürlüğü karaçam meşcereleri için uygun olup olmadığının denetimi ile ayrıca daha önce ilgili yöre ve bölge için düzenlenmiş olan karaçam hacim tabloları ile bir farklılık olup olmadığının belirlenmesi için "Student'in t Test"inden yararlanılmıştır (24, 25, 26).

Tablo 1. Örnek ağaçların çap ve boy basamaklarına dağılımı

Çap basa. (cm)	Boy basamakları (m.)											Toplam
	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	
6	6 (2)	1										7 (2)
10		5 (3)	5	1								11 (3)
14		15 (2)	25 (10)	16 (4)	7							63 (16)
18		1	20 (4)	42 (11)	15 (6)	3 (1)						81 (22)
22			5 (1)	26 (5)	19 (6)	12 (4)	3					65 (16)
26				1	20 (4)	14 (4)	7 (2)					42 (10)
30				1	2	14 (4)	15 (4)	8 (2)				40 (10)
34				1	3	7 (2)	9 (4)	9 (1)	1			30 (7)
38					1 (1)	5 (1)	2 (1)	3 (1)	2 (1)			13 (3)
42					1 (1)	4 (1)	5 (2)	8 (2)				18 (5)
46							1 (1)	5 (1)	1			7 (2)
50						1	5	5	5			16 (4)
54								4 (1)	1	2 (1)		7 (2)
58									7 (2)	2		9 (2)
62								1	2 (1)	3 (1)	1	7 (2)
66									3	1 (1)		4 (1)
70									1	2	1	4
78									2			2
86									1			1
90									2			2
94										1		1
98										1		1
Toplam	6 (2)	22 (5)	55 (15)	88 (20)	69 (18)	59 (15)	47 (14)	47 (8)	26 (6)	10 (4)	2 (0)	431 (107)

## Bulgular

Bu çalışmada test edilen tek ve çift girişli hacim fonksiyonlarına ilişkin parametrelerin tahmin değerleri ve önemlilik düzeyleri, logaritmik fonksiyonlar için düzeltme faktörü değerleri ile model denetimi için F oranları Tablo 2' de, ölçüt değerleri ise Tablo 3'de verilmiştir. Tablo 2'den de görülebileceği gibi, test edilen tüm tek ve çift girişli hacim fonksiyonları  $p < 0.001$  önem düzeyi ile anlamlı bulunmuştur. Uygunluk ölçütleri birlikte dikkate alındığında; en küçük rank değerine (sıra numaraları toplamı) sahip olması nedeniyle, tek girişli fonksiyonlardan 2'nolu ve çift girişli fonksiyonlardan ise 16'nolu eşitlik en başarılı hacim fonksiyonu olarak belirlenmiştir (Tablo 3). Bu fonksiyonlara ilişkin uygunluk ölçütleri 2 ve 16'nolu eşitlik sırasına göre  $\bar{D} = 0.0$ , ve  $-0.0 \text{ m}^3$ ,  $|\bar{D}| = 0.094$ , ve  $0.075 \text{ m}^3$ ,  $S_{yx} = 0.188$ , ve  $0.159 \text{ m}^3$ ,  $R^2 = 0.968$ , ve  $0.977$ ,  $TH = \% 0.001$ , ve  $0.0 \text{ m}^3$ ,  $OMH = \% 12.7$  ve  $9.3 \text{ m}^3$  olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre belirlenen en uygun tek ve çift girişli hacim fonksiyonları arasında ortalama fark ve toplam hata değerlerine bakımından bir farklılık bulunmamasına karşın, ortalama mutlak fark, tahminin standart hatası, belirtme katsayısı ve ortalama mutlak hata değerlerine göre çift girişli hacim fonksiyonunun daha başarılı olduğu görülmektedir.

Çok girişli hacim fonksiyonları için elde edilen sonuçların geniş bir yer tutması nedeniyle, her bir değişken grubuna göre en başarılı bulunan hacim fonksiyonlarına ilişkin parametreler ve önemlilik düzeyleri ile model denetimi için F oranları Tablo 4'de, uygunluk ölçütleri ise Tablo 5'de verilmiştir. Bu fonksiyonların tümü  $p < 0.001$  önem düzeyi ile anlamlı bulunmuş olup (Tablo 4), uygunluk ölçütleri birlikte dikkate alındığında; göğüs çapı ve boya ek olarak 7 metre ( $d_7$ ) çapı ile 21'nolu eşitlik, boyun ortasındaki çap ( $d_{0.5h}$ ) ile 24'nolu eşitlik ve göğüs çapının %62.5'ine eşit gövde çapının yüksekliği ( $h_{0.625d}$ ) ile 28'nolu eşitlik en başarılı çok girişli hacim fonksiyonları olarak belirlenmiştir (Tablo 5). Bu eşitliklere ilişkin ölçüt değerleri 21, 24 ve 28'nolu eşitlik sırasına göre  $\bar{D} = 0.0$ ,  $-0.0$  ve  $-0.0 \text{ m}^3$ ,  $|\bar{D}| = 0.048$ ,  $0.027$  ve  $0.022 \text{ m}^3$ ,  $S_{yx} = 0.089$ ,  $0.061$  ve  $0.045 \text{ m}^3$ ,  $R^2 = 0.993$ ,  $0.997$  ve  $0.998$ ,  $TH = \% 0.0$ ,  $-0.0$  ve  $-0.0 \text{ m}^3$ ,  $OMH = \% 6.5$ ,  $3.7$  ve  $3.5 \text{ m}^3$ 'tür. Bu sonuçlardan; 5 ve 6 metre yüksekliğindeki çaplara göre 7 metre yüksekliğindeki gövde çapının, ağaç boyunun % 10 ve 30'u yüksekliğindeki çaplara göre % 50'sindeki çapın ve göğüs çapının % 50, 60, 65, 67.5, 70 ve 75'ine eşit gövde çapının yüksekliklerine göre % 62.5'ine karşılık gelen gövde çapının yüksekliği serbet değişkenlerinin gövde hacmi ile oldukça yüksek ilişki gösterdikleri

Tablo 2. Tek ve çift girişli ağaç hacim fonksiyonlarına ilişkin parametre değerleri

Model No	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	d. f.	F oranı
1	-0.13***	0.008***						3146
2	-0.06**	-0.004**	$9 \times 10^{-4}$ ***					3098
3		-0.008***	$9 \times 10^{-4}$ ***					4005
4	3.85***	2.42***					1.0107	1689
5	-3.66***	2.33***	-1.07 <sub>ns</sub>				1.0106	2136
6	-4.41***	2.82***	-0.028**				1.0139	2292
7		$36 \times 10^{-6}$ ***						4668
8	0.017*	$35 \times 10^{-6}$ ***						3748
9	-0.01 <sub>ns</sub>	$23 \times 10^{-5}$ ***	-0.0012 <sub>ns</sub>	$3 \times 10^{-4}$ ***				3821
10	415.1**	20769***						3363
11	3364.2***	-96.7***						1425
12	0.0003***	$27 \times 10^{-5}$ *	$7 \times 10^{-6}$ *	$2 \times 10^{-5}$ ***				3624
13	0.125 <sub>ns</sub>	-0.0094 <sub>ns</sub>	$37 \times 10^{-5}$ *	-0.01*	$55 \times 10^{-5}$ *	$4 \times 10^{-5}$ ***		3746
14	-0.001*	-0.0034 <sub>ns</sub>	$29 \times 10^{-5}$ *	$13 \times 10^{-5}$ <sub>ns</sub>	$2 \times 10^{-5}$ ***			3784
15	25199***	70.9***						3146
16	-0.036**	$45 \times 10^{-5}$ ***	$-9 \times 10^{-5}$ ***	$12 \times 10^{-5}$ ***	$12 \times 10^{-7}$ **			4290
17		-4.19***	2.03***	0.77***			1.0060	3859
18	-4.28***	.961***					1.0063	3610
19	-3.95***	2.01***	0.002 <sub>ns</sub>	0.35 <sub>ns</sub>	0.19 <sub>ns</sub>		1.0060	701

ns:  $p > 0.05$ , \*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$ , \*\*\*:  $p < 0.001$ , d. f. : Düzeltme faktörü

Tablo 3. Tek ve çift girişli ağaç hacim fonksiyonlarına ilişkin ölçüt değerleri

Model No	$\bar{D}$ (m <sup>3</sup> )	$\bar{DI}$ (m <sup>3</sup> )	$S_{yx}$ (m <sup>3</sup> )	$R^2$	TH (%)	OMH(%)	Rank*
				Tek girişli			
1	.000(1.5)	.009(6)	.189(3.5)	.968(2)	.000(1)	13.6(5)	(19.0)
2	.000(1.5)	.094(3.5)	.188(2)	.968(2)	.001(2)	12.7(2.5)	(13.5)
3	.003(4)	.089(2)	.189(3.5)	.968(2)	-.468(4)	12.2(1)	(16.5)
4	.016(6)	.098(5)	.254(6)	.942(6)	-2.15(6)	13.3(4)	(33.0)
5	-.007(5)	.094(3.5)	.226(5)	.954(5)	-.943(5)	12.7(2.5)	(26.0)
6	.002(3)	.077(1)	.173(1)	.957(4)	.373(3)	13.8(6)	(18.0)
				Çift girişli			
7	-.001(4)	.074(5.5)	.173(9)	.978(10)	-.000(2)	9.3(8)	(38.5)
8	-.000(4)	.073(3)	.172(8)	.973(8)	-.000(2)	9.0(3)	(28)
9	-.000(4)	.074(5.5)	.169(3.5)	.974(4.5)	-.001(4.0)	9.2(4.5)	(26.0)
10	.028(12)	.074(5.5)	.181(11)	.970(12)	3.87(12)	10.0(12)	(64.5)
11	-.030(13)	.099(13)	.271(13)	.932(10)	-4.11(13)	12.6(13)	(75.0)
12	-.000(4)	.075(9.5)	.169(3.5)	.974(4.5)	-.066(7)	9.3(8)	(36.5)
13	-.000(4)	.075(9.5)	.169(3.5)	.974(4.5)	-.039(6)	9.3(8)	(35.5)
14	.000(4)	.074(5.5)	.169(3.5)	.974(4.5)	.010(5)	9.2(4.5)	(27)
15	.016(11)	.078(12)	.187(12)	.968(13)	2.28(11)	9.7(11)	(70)
16	-.000(4)	.075(9.5)	.159(1)	.977(1)	.000(2)	9.3(8)	(25.5)
17	.005(9)	.072(1.5)	.170(6.5)	.974(4.5)	.684(9)	8.8(1)	(31.5)
18	.009(10)	.075(9.5)	.177(10)	.972(10)	1.35(10)	9.3(8)	(57.5)
19	.001(8)	.072(1.5)	.170(6.5)	.874(4.5)	.230(8)	8.9(2)	(30.5)

\*: Parantez içindeki sayılar modellerin başarı sıralamalarını göstermektedir.

anlaşılmaktadır. Göğüs çapı ve boya ek olarak  $d_7$ ,  $d_{0.5h}$  ve  $h_{0.625d}$  serbest değişkenleri ayrı ayrı test edildiğinden, bu değişkenlere ilişkin hacim fonksiyonları arasında bir karşılaştırma yapılacak olursa; tek ve çift girişli hacim fonksiyonlarının karşılaştırılmasında olduğu gibi, ortalama fark ve toplam hata değerleri bakımından bir farklılık bulunmamakla birlikte, diğer ölçüt değerleri bakımından belirgin bir farklılık söz konusudur ve en başarılı sonuç; sırasıyla  $h_{0.625d}$ ,  $d_{0.5h}$  ve  $d_7$  serbest değişkenleri ile elde edilmiştir.

Bu çalışmada düzenlenen en uygun tek, çift ve çok girişli hacim fonksiyonlarının, bağımsız bir veri grubu ile yapılan denetime göre Taşkoprü Orman İşletme Müdürlüğü karaçam meşcereleri için uygun olduğu sonucuna varılmıştır (tek girişli hacim fonksiyonu için  $t=0.994$ ,  $p>0.05$ , Çift girişli için  $t=-0.709$ ,  $p>0.05$ , çok girişli I. grup için  $t=0.204$ ,  $p>0.05$ , II. grup için  $t=-0.444$ ,  $p>0.05$  ve III. grup için  $t=-0.260$ ,  $p>0.05$ ). Diğer taraftan Taşkoprü Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı Bayam, Çiftlik, Düzdağ, Kırkçam ve Merkez İşletme

Tablo 4. En uygun çok girişli hacim fonksiyonlarına ilişkin parametre değerleri

Model No	Açıklayıcı değişkenler	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	F oranı
I.grup						
20	d,h,d <sub>5</sub>	0.0410***	41x10 <sup>-6</sup> ***			7334
20	d,h,d <sub>6</sub>	0.0493***	43x10 <sup>-6</sup> ***			8563
21	d,h,d <sub>7</sub>	-0.0013 <sub>ns</sub>	0.1497***	-22x10 <sup>-6</sup> ***	71x10 <sup>-6</sup> ***	14469
II. grup						
24	d,h,d <sub>0.3h</sub>	0.0134***	45x10 <sup>-6</sup> ***			10296
25	d,h,d <sub>0.4h</sub>	9x10 <sup>-6</sup> ***	10x10 <sup>-5</sup> ***	45x10 <sup>-6</sup> ***		25647
24	d,h,d <sub>0.5h</sub>	0.0109***	54x10 <sup>-6</sup> ***			34563
III. grup						
28	d,h,h <sub>0.625d</sub>	11x10 <sup>-6</sup> ***	72x10 <sup>-6</sup> ***	45x10 <sup>-6</sup> ***		51397

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



Tablo 5. En uygun çok girişli ağaç hacim fonksiyonlarına ilişkin ölçüt değerleri

Model No	$\bar{D}$ (m3)	$\bar{ID}$ (m <sup>3</sup> )	$S_{yx}$ (m <sup>3</sup> )	$R^2$	TH(%)	OMH(%)	Rank*
I. grup							
20(d,h,d <sub>5</sub> )	-.000(5)	.051(7)	.126(7)	.986(7)	-.000(5)	6.9(7)	(42)
20(d,h,d <sub>6</sub> )	-.000(5)	.049(6)	.117(6)	.988(6)	.0000(5)	6.7(6)	(34)
21(d,h,d <sub>7</sub> )	.0000(5)	.048(5)	.089(4)	.993(4)	.0000(5)	6.5(5)	(28)
II. grup							
24(d,h,d <sub>0,3h</sub> )	-.000(5)	.043(4)	.106(5)	.990(5)	-.000(5)	5.9(4)	(28)
25(d,h,d <sub>0,4h</sub> )	.0020(5)	.029(3)	.064(3)	.996(3)	.313(10)	4.0(3)	(32)
24(d,h,d <sub>0,5</sub> )	-.000(5)	.027(2)	.061(2)	.997(2)	-.000(5)	3.7(2)	(18)
III. grup							
28(d,h,h <sub>0,625d</sub> )	-.000(5)	.022(1)	.045(1)	.998(1)	-.000(5)	3.5(1)	(14)

\*: Parantez içindeki sayılar modellerin başarı sıralamalarını göstermektedir.

Şeflikleri'ne ilişkin amenajman planlarında karaçam için düzenlenmiş olan tek girişli hacim tablosu ile bu çalışmada düzenlenen tek girişli hacim tablosu karşılaştırıldığında; Merkez dışındaki tüm tabloların istatistiksel anlamda farklı olduğu ( $p < 0.05$ ) ve daha fazla hacim değerleri verdikleri belirlenmiştir. Ayrıca, yapılan diğer bir karşılaştırmada da, ilgili bölge için daha önce düzenlenmiş olan çift girişli karaçam hacim tablosunun, bu çalışmada düzenlenen çift girişli hacim tablosundan farklı olduğu ( $p < 0.05$ ) ve daha az hacim değerleri verdiği saptanmıştır.

## Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada test edilen hacim fonksiyonları arasında çeşitli uygunluk ölçütlerine göre yapılan karşılaştırmalar sonucunda, tek girişli fonksiyonlardan 2'nolu, çift girişli fonksiyonlardan 16'nolu ve çok girişli fonksiyonlardan ise 28'nolu eşitliğin en uygun hacim fonksiyonları olduğu, ayrıca bağımsız bir veri grubu ile yapılan denetime göre bu fonksiyonların her birine ilişkin ortalama hatanın sıfır kabul edilebileceği ve bu nedenle Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü'nde yer alan karaçam meşcereleri için güvenilir bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Diğer taraftan, ortalama hatanın sıfır olması, hacim fonksiyonlarının hatasız olduğu anlamına gelmemektedir. Yalnız örnek ağaçların gerçek hacim değerleri toplamı ile hacim fonksiyonuna göre hesaplanan hacimler toplamı arasında bir farklılık bulunmadığı anlamını taşımaktadır. Ortalama hata bakımından tek, çift ve çok girişli hacim fonksiyonları arasında bir farklılık olmaması nedeniyle, pek çok ağaca ilişkin toplam hacmin hesaplanması durumunda, uygulamada diğer tablolara göre çok daha

pratik olması nedeniyle tek girişli ağaç hacim tablolarının tercih edilmesi gerekir. Ancak, her bir örnek ağaca ilişkin hacmin hesaplanması durumunda; hata miktarlarında beklenildiği gibi, tek girişli hacim fonksiyonundan çift ve çok girişli hacim fonksiyonlarına doğru giderek belirgin bir azalış söz konusudur. Örneğin yalnız göğüs çapına göre gövde hacminin hesaplanması durumunda ortalama mutlak hata % 12.7 olmasına karşın, göğüs çapı ve boya göre % 9.3'e ve göğüs çapı ve boy ile göğüs çapının % 62.5'ine eşit gövde çapının yüksekliğine göre % 3.5'e düşmüştür. Bu sonuçlara göre, pek çok ağacın toplam hacmi yerine bu ağaçların her birine ilişkin hacmin duyarlı bir şekilde hesaplanması isteniyorsa; öngörülecek hata miktarı ile ölçüm giderlerine bağlı olarak çift ya da çok girişli hacim tablolarından biri tercih edilmelidir. Test edilen çok girişli hacim fonksiyonları, çift girişli hacim fonksiyonlarına göre belirgin bir üstünlük göstermesine karşın, bu fonksiyonlarda çift girişli hacim fonksiyonlarında kullanılan göğüs çapı ve boya ek olarak üçüncü bir serbest değişkenin daha ölçülmesi gerekmektedir. Bu çalışmada test edilen üçüncü serbest değişkenlerden h0.625 değişkeni, gövde hacmi ile çok yüksek bir ilişki göstermekle birlikte, dikili ağaçlar üzerinde ölçülebilmesi için teleçapölçerlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yönüyle çok girişli ağaç hacim tablolarına uygulamada pek fazla yer verilmemekte, çoğu kez bilimsel araştırma amacıyla düzenledikleri ve gerçeğe çok yakın hacim değerleri vermeleri nedeniyle de özellikle yatık gövdelerde bölümlenme (seksiyon) yöntemiyle hacimlendirmenin yerini alabileceği belirtilmektedir (6, 7).

Verilerin elde edilmesi sırasında ilgili orman işletme müdürlüğündeki teknik elemanlarla yapılan

görüşmelerde, özellikle karaçam ve sarıçam ağaç türleri için ara ve son hasılat kesimleri ile elde edilen gövdeler üzerinde yapılan ölçüm ve gözlemlere bağlı olarak, amenajman planlarında yer alan hacim tablolarının çoğu kez gerçeğe göre fazla sonuç verdiği bildirilmiştir. Bu durum dikkate alınarak, ilgili amenajman planlarında yer alan tek girişli karaçam ağaç hacim tabloları ile bu çalışmada düzenlenen tek girişli ağaç hacim tabloları arasında yapılan istatistiksel karşılaştırmalar sonucunda Merkez bölgesi dışındaki tüm karaçam hacim tablolarının (Bayam, Çiftlik, Düzdağ ve Kırkçam) fazla sonuç verdiği belirlenmiştir. Bu nedenle, ilgili amenajman planlarında yer alan karaçam hacim tablolarının, uygulayıcılar

tarafından da gözlemlendiği gibi, sistematik hata içerdiği ve Merkez Bölgesi dışındaki karaçam hacim tablolarının kullanılmaması gerektiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, bu çalışmada düzenlenen çift girişli hacim tablosu ile Kuzey Anadolu Bölgesi için düzenlenen çift girişli karaçam hacim tabloları arasında da bir farklılık bulunduğu ve bu çalışmada düzenlenen hacim tablosunun daha fazla hacim değeri verdiği belirlenmiştir. Bu farklılıklara neden olarak; hacim tablolarının hazırlanması aşamasında yeterli sayıda ve uygun örneklerin seçilmemesi ya da hacim tablosunun uygulandığı meşcere yapılarında zamanla oluşan değişikliklerin dikkate alınmaması gösterilebilir.

## Kaynaklar

1. Fırat, F., Dendrometri, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 193, 359 s., 1973.
2. Kalıpsız, A., Dendrometri, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 354, 407 s., 1984.
3. Loetsch, F., Zöhner, F. ve Haller, H.E., Forest Inventory, Vol. II, BLV Verlagsgesellschaft, München, 469 s., 1973.
4. Akgür, N., Gövde Hacminin Tayininde Kullanılan Formüllerin İrdelenmesi, İ. Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri A, 32(2), 301-365 s., 1982.
5. Avery, T. E. ve Burkhart H. E., Forest Measurements, Third Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, 331 s., 1983.
6. Günel, A., Gövde Şekil Emsalinin Tayininde Kullanılabilecek Bir Formül, İ. Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri A, 29(2), 31-41, 1979.
7. Rustagi, K. P. ve Loveless, R. S., Compatible-Variable Form Volume and Stem Profile Equations for Douglas fir, Canadian Journal of Forest Research No:21, 143-151, 1990.
8. Kilki, P., Varmola, M., Taper Curve Models for Scots Pine and Their Applications, Acta Forestalia Fennica No: 174, 1-60 s., 1981.
9. Eraslan, İ., Trakya ve Bilhassa Demirköy Mintikası Meşe Ormanlarının Amenajman Esasları Hakkında Araştırmalar, O.G.M. Yayını, Ankara 250 s., 1954.
10. Miraboğlu, M., Gökнарlarda Şekil ve Hacim Araştırmaları, O.G.M. Yayın No: 188, Seri No: 5, İstanbul, 103 s., 1955.
11. Alemdağ, İ. Ş., Türkiyedeki Kızılcım Ormanlarının Gelişimi, Hasılatı ve Amenajman Esasları, Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten Serisi No:11, Ankara, 160 s., 1962.
12. Evcimen, B. S., Türkiye'deki Sedir Ormanlarının Ekonomik Önemi, Hasılat ve Amenajman Esasları, O.G.M. Yayını, Sıra No: 355, Seri No: 16, İstanbul, 199 s., 1963.
13. Kalıpsız, A., Doğu Kayınında Artım ve Büyüme Araştırmaları, O. G. M. Yayın No: 339, 112 s., 1962.
14. Alemdağ, İ. Ş., Türkiyedeki Sarıçam Ormanlarını Kuruluşu, Verim Gücü ve Bu Ormanların İşletilmesinde Takip Edilecek Esaslar, Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten Serisi No:20, Ankara, 160 s., 1967.
15. Akalp, T., Türkiye'deki Doğu Ladini Ormanlarında Hasılat Araştırmaları, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 261, 145 s., 1978.
16. Sun, O., Eren, M. E., Orpak, M., Temel Ağaç Türlerimizde Tek Ağaç ve Birim Alandaki Odun Çeşidi Oranlarının Saptanması, TÜBİTAK, Proje No:TOAG-288, 119 s., 1978.
17. Asan, Ü., Kazdağı Gökнарı Ormanlarının Hasılat ve Amenajman Esasları, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 365, 207 s., 1984.
18. Batu, F., Kapucu, F., Doğu Karadeniz Bölgesi Kızılağaç Meşcerelerinde Bonitet Endeks ve Hasılat Tablosunun Düzenlenmesi, I. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, Bildiriler, Cilt 4, 349-362 s., 1995.
19. Sun, O., İstatistiksel Değerlendirme Yöntemleri ve Uygulamalar, Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Muhtelif Yayınlar Serisi No: 37, Ankara, 376 s., 1990.
20. Yoğurtçugil, M. K., Örnekleme: Yöntemler ve Uygulama, İ.Ü. İktisat Fakültesi Yayın No: 380, Sermet Matbaası, İstanbul, 259 s., 1976.
21. Clutter, J. L., Fortson, J. C., Pienaar, L. V., Birester, G. H., Bailey, R. L. Timber Management, John Wiley & Sons Inc., New York, 339 s., 1983.
22. MgTaque, J. P., Stansfield, W. F., Total and Merchantable Volume Equations and Taper Functions for Southwestern Ponderosa Pine, Western Journal of Applied Forestry, 3(4), 123-125 s., 1988.
23. Reed, D. D., Green, E. J., Compatible Stem Taper and Volume Ratio Equations, Forest Science, 30(4), 977-990 s., 1984.
24. Kalıpsız, A., İstatistik Yöntemler, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 394, İstanbul, 558 s., 1988.
25. Meyers, R.H., Classical and Modern Regression with Applications, Second Edition, PWS-Kent Publishing Company, Boston, 448 s., 1990.
26. Batu, F., Uygulamalı İstatistik Yöntemler, K. T. Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 22, Trabzon, 312 s., 1995.