

Kaş Yöresi doğal kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcereleri için ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi

Ramazan Özçelik^{a,*}, Şerife Kalkanlı^b

Özet: Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ülkemizin ekonomik ve ekolojik açıdan en önemli ağaç türlerinden birisidir. Ormanların büyüme ve hasılatına ilişkin tahminlerde kullanılan en önemli yapı taşlarından birisi, hacim tahminleridir. Hacim tahminleri, ağaç ve meşcerelere ilişkin hacmin ve bu hacim miktarının farklı ticari sınıflara dağılımının doğru hesaplanmasında, orman amenajman planlarının düzenlenmesinde, orman ürünleri sanayisinin geleceğine ilişkin projeksiyonların yapılmasında ve biyokütle ve karbon birikim miktarının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Kaş yöresi doğal kızılçam meşcereleri için ağaç hacim denklemleri geliştirilmiştir. Bu amaçla, 517 örnek ağaç ölçülmüş ve bu örnek ağaçlar tesadüfi olarak iki gruba ayrılmıştır. Gruplardan biri model geliştirmek, diğeri ise geliştirilen modellerin test edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Çalışmada 19 farklı regresyon modeli test edilmiştir. En uygun hacim denkleminin seçimi; model geliştirme ve test verileri için, beş farklı uygunluk ölçütü (ortalama mutlak hata, hata kareler ortalamasının karekökü, belirtme katsayısı, maksimum mutlak hata ve Akaike bilgi kriteri) kullanılarak belirlenen model nisbi sıralamalarına göre gerçekleştirilmiştir. Model nisbi sıralarına göre, en başarılı hacim tahmin modeli Model 4 olurken en başarısız model ise Model 3 olmuştur. Model 4 ile test verileri için elde edilen sonuçlar diğer hacim denklemleri ile elde edilen sonuçlar ile de karşılaştırılmış ve Model 4'ün daha başarılı olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, Model 4 kullanılarak Kaş yöresi doğal kızılçam meşcerelerinde daha doğru hacim tahminleri yapılabileceğini ortaya koymuştur.

Anahtar kelimeler: Kızılçam, Hacim denklemi, Göğüs çapı, Boy, Nisbi sıra

Development of tree volume equations for natural brutian pine (*Pinus brutia* Ten.) stands in Kaş District

Abstract: Brutian pine (*Pinus brutia* Ten.) forests are economically and ecologically one of the most important forests in Turkey. The one of the essential building blocks in forest growth and yield prediction models is the equations for estimating individual tree volume. Individual tree volume estimations can be used to tree and stand volume estimations and to any merchantable limit of this volume, forest management plans arrangement, to projections of forest products industries, and to estimations of biomass and carbon budgets. In this study, tree volume equations were developed for brutian pine stands in Kaş Region. In this study, 517 sample trees destructively measured and then these trees are randomly divided into two groups as model development data and validation data. Nineteen regression models tested in this study. The tested models were compared using five performance criteria (average absolute residuals, root mean square error, coefficient of determination, maximum absolute error, and, Akaike Information criteria) for model development and validation dataset. Accordingly relative rank of models, while the best volume equation is Model 4, the worst equation is Model 3 for tree volume predictions. The results of Model 4 are compared with results of the other volume equations for model validation dataset. The proposed model performed better than the other models for volume estimations. The obtained results showed that, more accurate volume estimations can be obtained using model 4 for natural brutian pine stands of Kaş District.

Keywords: Brutian pine, Volume equation, Diameter, Height, Relative rank

1. Giriş

Kızılçam ekolojik ve ekonomik açıdan ülkemizin en önemli asli ağaç türlerinden birisidir. Son orman envanteri verilerine göre, kızılçam ülkemizde 5.6 milyon hektardan fazla alan kaplamakta ve yaklaşık 270 milyon m³ dikili ağaç servetine sahiptir (OGM, 2015). Ülke ormanlık alanlarının %25'ini kaplayan kızılçam ormanları farklı ekolojik özelliklere sahip geniş bir coğrafik alan üzerinde yayılış göstermekte olup, toprak ve su kaynaklarının korunması, iklim değişiminin olumsuz etkisinin azaltılması ve buna

adaptasyon sağlanması ve biyolojik çeşitliliğin korunması gibi önemli çevresel konularda anahtar bir role sahiptir.

Bu nedenle kızılçam ormanlarının yönetim ve planlanması ile ilgili stratejilerin geliştirilmesinde bu geniş coğrafik dağılışın ve buna bağlı olarak ortaya çıkan farklı ekolojik koşulların dikkate alınması gerekmektedir. Ülkemizde orman kaynaklarının planlanması çalışmaları, son on yıldır ekosistem tabanlı fonksiyonel planlama ilkelerine uygun bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Ekosistem tabanlı fonksiyonel amenajman planlarının düzenlenebilmesi, bu planlara bağlı olarak ormanların sürdürülebilir yönetimi ve işletilmesi için ağaç türlerine

✉ ^a Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta

^b Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta

@ * **Corresponding author** (İletişim yazarı): ramazanozcelik@orman.sdu.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 09.02.2018, **Accepted** (Kabul tarihi): 26.03.2018



Citation (Atf): 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.

DOI: [10.18182/tjf.392873](https://doi.org/10.18182/tjf.392873)

ilişkin dinamik büyüme ve hasılat modellerine ihtiyaç duyulmaktadır. Büyüme ve hasılat modellerinin en önemli altlıklarından birisi de ağaç ve meşcere hacim tahminleridir.

Hacim tahminleri, ağaç ve meşcerelere ilişkin hacmin ve bu hacim miktarının farklı ticari sınıflara dağılımının hesaplanmasında (Dieguez-Aranda vd., 2006), orman amenajman planlarının düzenlenmesinde (de-Miguel vd., 2012; Rodríguez vd., 2014), orman ürünleri sanayisinin geleceğine ilişkin projeksiyonların yapılmasında (de-Miguel vd., 2012) ve uygun biyokütle dönüşüm faktörleri yardımı ile biyokütle ve karbon birikim miktarının hesaplanmasında (Castedo-Dorado vd., 2012) kullanılan önemli bir meşcere parametresidir. Bu nedenle; ülkemizde, tek ağaç ve meşcere hacminin en doğru şekilde belirlenmesine olanak veren, büyüme ve hasılat modellerine entegre edilebilen, esnek ve güvenilir hacim tahmin metodlarına ihtiyaç duyulmaktadır (de-Miguel vd., 2012).

Ağaç hacim denklemleri veya ağaç hacim tabloları geçmişten günümüze dikili bir ağacın gövde hacmini ya da kalın odun hacmini tahmin etmek amacıyla en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Ağaç hacim tablolarının düzenlenmesinde, genel olarak tek girişli, çift girişli ya da çok girişli ağaç hacim denklemleri kullanılmaktadır (Burkhart ve Tome, 2012). Ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi amacıyla yapılan çalışmalarda, oldukça fazla sayıda ve farklı tipte modelin kullanıldığı görülmektedir (Ritchie ve Hann, 1984; Hjelm ve Johansson, 2012; Rachid vd., 2014). Ülkemizde, çeşitli araştırmacılar tarafından bazı asli ağaç türleri için yöresel ağaç hacim denklemleri geliştirilmiştir (Saraçoğlu, 1988; Bozkuş ve Carus, 1997; Yavuz, 1999; Özkurt, 2000; Mısır ve Mısır, 2004; Sakıcı ve Yavuz, 2003; Özçelik ve Çevlik, 2017; Kahrman vd., 2017)

Ülkemizde, geniş bir coğrafik alanda yayılış gösteren kızılçam meşcereleri için ekosistem tabanlı fonksiyonel planlama çalışmalarının başarıyla gerçekleştirilebilmesi, farklı yetiştirme ortamları ve bu yetiştirme ortamlarındaki tek ağaç ve meşcereler için düzenlenmiş ağaç hacim denklemlerinin bulunmasını zorunlu hale getirmiştir. Ancak, orman amenajman planları incelendiğinde, aynı hacim tablosunun yetiştirme ortamı farklılıkları dikkate alınmadan geniş coğrafi bölgeler içerisinde kullanıldığı da çoğu zaman göze çarpmaktadır. Bunun sonucu olarak, gövde hacim tahminlerinde oldukça büyük hataların ortaya çıkabildiği değişik çalışmalarda ortaya konulmuştur (Brooks vd., 2008). Pillsbury vd. (1995); aynı hacim tablosunun farklı yetiştirme ortamı özelliklerine sahip yörelerde kullanılması ile ortaya çıkacak hacim hatasının %40'a kadar yükselebileceğini belirtmiştir. Bu nedenle; eldeki olanaklar izin verdiği müddetçe yöresel farklılıkları da dikkate alan ağaç hacim tablolarının düzenlenmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Brooks ve Wiant, 2008).

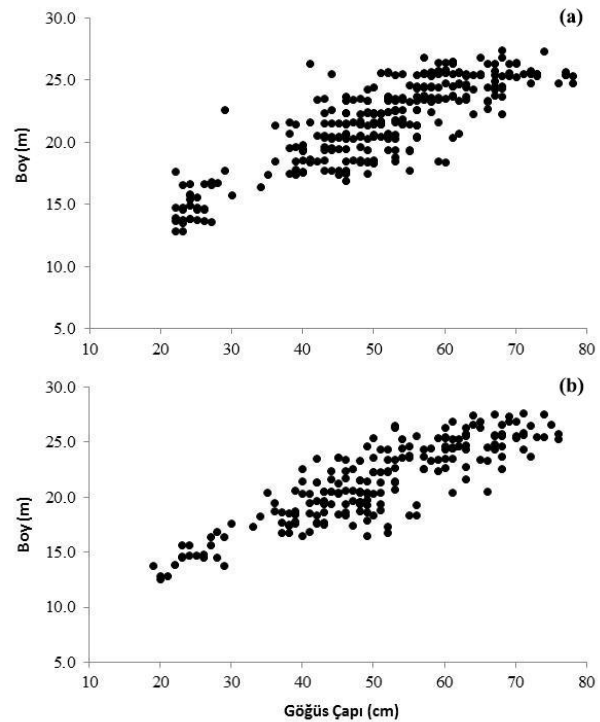
Bu çalışmada, Kaş yöresi doğal kızılçam meşcereleri için değişik formlarda 19 adet hacim denklemi kullanılarak ağaç hacim denklemleri geliştirilmiştir. Bu amaçla, model geliştirme ve test verisi olmak üzere iki ayrı veri seti kullanılarak modeller test edilmiş ve yöre için en uygun ağaç hacim denklem veya denklemlerinin belirlenmesine çalışılmıştır.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

Örnek ağaç verileri, Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Kaş Orman İşletme Müdürlüğü Kalkan Orman İşletme Şefliği'ndeki doğal kızılçam meşcerelerinden toplanmıştır. Bu amaçla toplam 517 adet örnek ağaç ölçülmüş, bu veriler rasgele yöntemle, yaklaşık %60'ı (307 ağaç) model geliştirmek, geri kalan yaklaşık %40'lık (210 örnek ağaç) kısmı ise geliştirilen modellerin test edilmesi amacıyla ikiye ayrılmıştır. Örnek ağaçların seçiminde, ağaçların meşcere kuruluşlarını ve dolayısıyla farklı çap ve boy sınıflarını en iyi şekilde temsil etmesini sağlamak amacıyla, tüm çap ve boy sınıflarına olabildiğince eşit dağılımının sağlanmasına dikkat edilmiştir. Örnek ağaçlar hem galip hem de müşterek galip ağaçlar arasından seçilmiştir. Örnek ağaçların seçiminde gövdelerin çatallı ve eğri, tepelerin kırık olmamasına ve yöresel koşulları en iyi biçimde yansıtmasına özen gösterilmiştir. Örnek ağaçların çapı (d), ağaçlar kesildikten önce, elektronik çap ölçer yardımı ile 0.1 cm, boyu (h) ise ağaçlar kesildikten sonra, şerit metre yardımı ile 0.05 m hassasiyetle ölçülmüştür. Ağaç hacimlerinin belirlenmesi amacıyla Bailey (1995) tarafından önerilen üst üste eklemeli seksiyon metodu (the overlapping bolt method) kullanılmıştır. Ölçümü yapılan ağaçların çap-boy dağılım grafiği, model geliştirme ve test verileri için ayrı ayrı Şekil 1'de verilmiştir.

Model geliştirmek ve geliştirilen modellerin test edilmesi amacıyla kullanılan örnek ağaçların çap ve boy sınıflarına dağılımları Çizelge 1 ve 2'de; çap, boy ve hacim değerlerine ilişkin nitelendirici istatistikleri ise Çizelge 3'te verilmiştir.



Şekil 1. Ölçümü yapılan örnek ağaçlara ilişkin çap-boy dağılım grafiği a) Model geliştirme verisi, b) model test verisi

Çizelge 1. Model geliştirme verilerinin çap ve boy basamaklarına dağılımı

Çaplar (cm)	Boylar (m)									Σ
	12	14	16	18	20	22	24	26	28	
22	9	1	1							11
26	10	9								19
30		2	1		1					4
34		1	1							2
38			6	3	3					12
42			8	8	3	2	1			22
46		1	8	13	8	3	1			34
50			7	10	19	5	1			42
54			3	13	15	11	4			46
58			1	3	6	18	11			39
62			1	2		13	12			28
66					2	9	9			20
70					1	3	7	3	1	15
74						1	3	2	1	7
78						2	4			6
Σ	19	14	37	52	58	67	53	5	2	307

Çizelge 2. Model test verilerinin çap ve boy basamaklarına dağılımı

Çaplar (cm)	Boylar (m)									Σ
	12	14	16	18	20	22	24	26	28	
22	7	1								8
26	4	2	1							7
30	2	2	1							5
34			2	1						3
38		2	12	2						16
42		2	7	8	5	1				23
46			4	9	6	3				22
50		1	5	13	8	4	1			32
54		1	2	1	5	8	3			20
58			1	1	3	5	3			13
62				1	4	9	9			23
66				1		6	3	2	2	14
70					1	3	11	1	1	17
74							4	1		5
78							2			2
Σ	13	11	35	37	32	39	38	5	3	210

Çizelge 3. Çalışmada kullanılan örnek ağaçlara ilişkin nitelendirici istatistikler

Değişkenler	Model geliştirme verileri (n = 307)				Model test verileri (n = 210)			
	Ortalama	Min.	Max.	S.D.	Ortalama	Min.	Max.	S.D.
DBH (cm)	50.84	22.00	78.00	12.85	50.44	19.00	76.00	13.20
TH (m)	21.62	12.84	27.46	3.41	21.43	12.59	27.68	3.62
V (m ³)	2.1090	0.1904	5.5218	1.20	2.0766	0.1693	5.2292	1.25

DBH: göğüs çapı; TH: Toplam ağaç boyu; V: hacim

2.2. Yöntem

Ormançılık çalışmalarında; 50 yılı aşkın zamandır pek çok ağaç hacim denklemi geliştirilmiştir (Clutter vd., 1983; Kelly ve Beltz, 1987; Saraçoğlu, 1988; Pillsbury vd., 1995; Fowler, 1997; Bi ve Hamilton, 1998; Yavuz, 1999; Mısır ve Mısır, 2004; Teshome 2005; Akindele ve LeMay, 2006;

Perez, 2008; Alegria ve Tome, 2011; Hjelm ve Johansson, 2012; Stolarikova vd., 2014; Lee vd., 2017; Özçelik ve Çevlik 2017). Bu çalışmada, yukarıda belirtilen kaynaklardan temin edilen farklı formlardaki hacim fonksiyonları kullanılmıştır. Bu fonksiyonlara ilişkin detaylı açıklamalar aşağıda verilmiştir.

- $$v = \beta_0 + (\beta_1 d^2 h) \quad (\text{Borset, 1954}) \quad (1)$$
- $$v = \beta_0 + \beta_1 d^{\beta_2} h^{\beta_3} \quad (\text{Fowler ve Hussain, 1987}) \quad (2)$$
- $$v = (\beta_0 + \beta_1 d)^2 \quad (\text{Perez ve Kanninen (2003)}) \quad (3)$$
- $$v = \beta_0 d^2 h \quad (\text{Spurr, 1952}) \quad (4)$$
- $$v = \beta_0 d^{\beta_1} h^{\beta_2} \quad (\text{Schumacher-Hall, 1933}) \quad (5)$$
- $$v = \beta_0 + \beta_1 d^{\beta_2} h^{\beta_3} \quad (\text{Schumacher-Hall, 1933}) \quad (6)$$
- $$v = \frac{\beta_0 + \beta_1 h^{-1}}{d^2} \quad (\text{Honer, 1967}) \quad (7)$$
- $$v = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h}{d}\right)^{\beta_2} (d^2 h) \quad (\text{Newnham, 1967}) \quad (8)$$
- $$v = \beta_0 + \beta_1 d^2 h + \beta_2 h \quad (\text{Rachid-Casnati vd., 2014}) \quad (9)$$

$$v = \frac{d^2h}{\beta_0 + \beta_1 d} \quad (\text{Takata, 1958}) \quad (10)$$

$$v = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \beta_2 d^2 h^2 \quad (\text{Alegria ve Tome, 2011}) \quad (11)$$

$$v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \beta_3 d^2 h^2 \quad (\text{Alegria ve Tome, 2011}) \quad (12)$$

$$v = \beta_0 \left(2 + \frac{d}{h}\right) + \beta_1 h^2 + \beta_2 d h^2 \quad (\text{Hjelm ve Johansson, 2012}) \quad (13)$$

$$v = \beta_0 + \beta_1 d^2 h + \beta_2 d^3 h + \beta_3 d^2 h^2 + \beta_4 d + \beta_5 h \quad (\text{Bi ve Hamilton, 1998}) \quad (14)$$

$$v = d^2(\beta_0 + \beta_1 h) \quad (\text{Ogaya, 1968}) \quad (15)$$

$$v = \beta_0 d^2 + \beta_1 d^2 h - \beta_2 d^2 h^2 - \beta_3 d h + \beta_4 d h^2 \quad (\text{Eriksson, 1973}) \quad (16)$$

$$v = \beta_0 + \beta_1 d^2 h + \beta_2 d^3 h + \beta_3 d^2 h^2 + \beta_4 h \quad (\text{Bi ve Hamilton, 1998}) \quad (17)$$

$$v = \beta_0 + \beta_1 d h + \beta_2 d h^2 + \beta_3 d^2 h^2 \quad (\text{Alegria ve Tome, 2011}) \quad (18)$$

$$v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d h^2 + \beta_3 d^2 h^2 \quad (\text{Alegria ve Tome, 2011}) \quad (19)$$

Yukarıda verilen doğrusal olmayan regresyon denklemlerinin çözümü için doğrusal olmayan en küçük kareler yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada logaritmik denklemler tercih edilmemiştir. Çünkü bu modeller ağaç gövde hacminin logaritmasını göğüs çapı ve ağaç boyunun logaritmasına göre vermektedir. Gerçek gövde hacim değerlerinin hesaplanabilmesi için elde edilen logaritmik değerlerin antilogaritmalarının alınması gerekmektedir (Burkhardt ve Tome, 2012).

En uygun hacim denkleminin belirlenmesinde ise; ortalama hata (E), ortalama mutlak hata (OMH), maksimum mutlak hata (MMH), belirtme katsayısı (R^2), hata kareler ortalamasının karekökü ($RMSE$) ve Akaike bilgi kriteri (AIC) gibi altı farklı uygunluk ölçütü kullanılmıştır.

$$E = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (y_i - \hat{y}_i)}{n} \quad (20)$$

$$OMH = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} |y_i - \hat{y}_i|}{n} \quad (21)$$

$$MMH = \max(|y_i - \hat{y}_i|) \quad (22)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{i=n} (y_i - \bar{y})^2} \quad (23)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p}} \quad (24)$$

$$AIC = n * \log \left[\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p} \right] + 2p \quad (25)$$

Bu formüllerde y_i, \hat{y}_i ve \bar{y} sırasıyla ölçülen, tahmin edilen ve ölçülen değerlerin ortalamasını ifade etmektedir. n model geliştirmek için kullanılan toplam gözlem sayısını, p geliştirilen modellerdeki parametre sayısını ifade etmektedir.

Geleneksel olarak M tane yöntemin sıralanması 1, 2, ..., m şeklinde gösterilmektedir. Bu sıralama biçimi, yöntemlerin sıralamasını göstermekle birlikte, yöntemler ile elde edilen sonuçların birbirine ne kadar yakın olduğu hakkında bilgi vermemektedir (Poudel ve Cao, 2013). Bu çalışmada, modellerin başarı sıralarının daha gerçekçi bir şekilde ortaya konabilmesi için Poudel ve Cao (2013) tarafından geliştirilen nispi sıralama yöntemi kullanılmıştır. Nispi sıralama yöntemiyle, karşılaştırılan denklemlerin birbirine olan nispi yakınlıkları hakkında bilgi edinilebilmektedir. Bir i modelinin nispi sıralaması aşağıdaki formülasyon yardımı ile bulunabilmektedir.

$$R_i = 1 + \frac{(m-1)(S_i - S_{\min})}{S_{\max} - S_{\min}} \quad (26)$$

Burada,

R_i : i yönteminin nispi sırasını ($i=1, 2, \dots, m$),

S_i : i yöntemi ile elde edilen uyum istatistiğini,

S_{\min} : uyum istatistiğinin minimum değerini,

S_{\max} : uyum istatistiğinin maksimum değerini ifade etmektedir.

Bu yönteme ilişkin detaylı açıklamalar Özçelik ve Çevlik (2017)'de bulunabilir. Bu yeni sıralama sistemi, geleneksel sıralama sistemlerine göre daha fazla bilgi sunmakta ve modeller arasındaki farklılığın tam olarak ortaya konmasına yardımcı olmaktadır (Poudel ve Cao, 2013).

Çalışmada, yukarıda açıklanan altı ölçüt değerinden ortalama hatanın yanıltıcı sonuçlar ortaya koyabiliyor olması nedeniyle onun dışında kalan diğer beş ölçüt değeri kullanılarak modellerin nisbi sıraları belirlenmiştir. Çünkü, bir model için pozitif veya negatif yöndeki ekstrem hatalar, ortalama hata hesaplanırken birbirini yok edebilmekte ve ortalama hatanın küçük elde edilmesine neden olabilmektedir. Belirtme katsayısı dışındaki bütün ölçütler için, en küçük değere sahip olan model en iyi olarak nitelendirilmiştir.

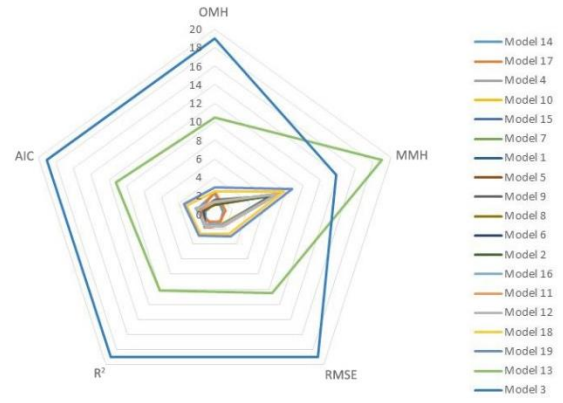
3. Bulgular ve tartışma

Model geliştirme verileri kullanılarak 19 farklı ağaç hacim denklemi için yapılan parametre tahminleri ve bu parametrelerin önem düzeyleri Çizelge 4'te verilmiştir.

Model geliştirme verileri kullanılarak test edilen modeller için elde edilen ölçüt değerleri Çizelge 5'te ve bu ölçüt değerlerine göre ortaya çıkan model nispi sıraları ise Çizelge 6'da verilmiştir. Beş ölçüt değerine göre test edilen modellerin radar grafiği ise Şekil 2'deki gibidir. Çizelge 6'daki model nispi sıraları ve Şekil 2'de ortaya çıkan durum birlikte değerlendirildiğinde, modelleri nisbi sıra değerlerine ve radar grafiğine göre 5 gruba ayırmak mümkündür. En başarılı tahminlerin yapıldığı 4, 14 ve 17 nolu modeller birinci gruba, 18 ve 19 nolu modeller üçüncü gruba; 13 nolu model dördüncü gruba; en başarısız tahminlerin yapıldığı 3 nolu model beşinci gruba ve diğer 12 model ise ikinci gruba oluşturmaktadır. Radar grafiği incelendiğinde en içteki grupta kalan modeller başarılı model ya da model gruplarını, en dışta yer alan modeller ise en başarısız gruba oluşturmaktadır.

Model geliştirme verileri yardımı ile elde edilen parametre tahminleri kullanılarak bağımsız veri seti ya da test grubu için yapılan hacim tahminleri sonucunda elde

edilen ölçüt değerleri de Çizelge 7’de verilmiştir. Modeller arasında ağaç hacim tahminleri bakımından farklılıklar olup olmadığını görmek için modellerin ölçüt değerleri kullanılarak bulunan nispi sıralama sonuçları da Çizelge 8’de verilmiştir. Çizelge 8’in incelenmesinden de görüleceği gibi, model geliştirme verileri için en başarılı modeller arasında yer alan 14 ve 17 nolu modeller, bağımsız veri seti için nispeten daha başarısız sonuçlar üretmiştir. Model test verileri için en başarılı modeller sırasıyla Model 4, Model 15, Model 7 ve Model 9 olmuştur. Model 4 (Spurr, 1952), hem model geliştirme verileri hem de model test verisi için uyumlu sonuçlar ortaya koymuş ve başarılı modeller arasında yer almıştır.



Şekil 2. Model geliştirme verileri için modellerin beş ölçüte göre nispi sıralarının radar grafiği

Çizelge 4. Ağaç hacim fonksiyonlarına ilişkin parametre tahminleri

Model no	Katsayılar						
	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	
1	-0.02935 NS	0.000034 ****					
2	0.008919 NS	0.000026 **	2.04416 ****	1.0219 ****			
3	-0.37906 ****	0.034616 ****					
4	0.000034 ****						
5	0.000027 ***	2.036405 ****	1.016735 ****				
6	0.008919 NS	0.000026 ****	2.044183 **	1.02189 ****			
7	-78.7995 NS	31628.6 ****					
8	-0.02305 NS	0.000033 ****	-0.01882 NS				
9	-0.10179 NS	0.000034 ****	0.004441 NS				
10	31120.41 ****	-22.4952 NS					
11	-0.03876 NS	0.000381 ****	7.53×10^{-7} ****				
12	0.0522 NS	-0.0431 NS	0.000436 ****	7.37×10^{-7} ****			
13	0.948331 ****	-0.00582 ****	0.000159 ****				
14	-0.30892 NS	0.000044 *	1.17×10^{-7} NS	-6.30×10^{-7} NS	-0.01362 NS	0.039718 **	
15	-0.00004 ****	0.000035 ****					
16	0.000601 NS	-1.71×10^{-6} NS	-4.29×10^{-7} *	0.001056 *	0.000044 **		
17	-0.56791 *	0.000025 ****	1.85×10^{-7} **	-3.06×10^{-7} NS	0.04146 **		
18	-0.27375 ***	0.00215 ****	-0.00007 ****	1.25×10^{-6} ****			
19	-0.40338 ****	0.02611 ****	-0.00002 ***	1.17×10^{-6} ****			

NS: $p > 0.05$; *: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$; ****: $p < 0.0001$

Çizelge 5. Model geliştirme verileri için elde edilen ölçüt değerleri

Model No	AAE	MAE	RMSE	E	R ²	AIC
1	0.15336	1.77556	0.23175	0.00000	0.96258	-893.7145
2	0.15325	1.76764	0.23233	0.00002	0.96264	-888.2006
3	0.20145	2.00284	0.28795	0.00490	0.94223	-760.4088
4	0.15315	1.75304	0.23181	-0.00678	0.96244	-895.5775
5	0.15303	1.77077	0.23195	0.00043	0.96274	-891.1900
6	0.15325	1.76764	0.23233	0.00001	0.96264	-888.2006
7	0.15430	1.75553	0.23177	-0.00195	0.96257	-893.6701
8	0.15298	1.77901	0.23210	0.00002	0.96259	-890.8075
9	0.15447	1.75464	0.23200	0.00000	0.96262	-891.0568
10	0.15303	1.76856	0.23156	-0.00016	0.96264	-894.2272
11	0.15373	1.78713	0.23217	0.00000	0.96257	-890.6208
12	0.15409	1.78173	0.23239	0.00000	0.96262	-888.0453
13	0.17853	2.17780	0.26100	-0.00177	0.95269	-818.7348
14	0.15650	1.57346	0.23067	0.00000	0.96341	-888.5925
15	0.15418	1.75493	0.23180	-0.00182	0.96256	-893.6007
16	0.15366	1.77700	0.23192	0.00206	0.96289	-887.2889
17	0.15697	1.58181	0.23053	0.00000	0.96334	-890.9569
18	0.15694	1.80270	0.23569	0.00000	0.96155	-879.3861
19	0.15816	1.83617	0.23663	0.00000	0.96124	-876.9445

Çizelge 6. Model geliştirme verileri ve modeller için nispi sıralama sonuçları

Model No	Nispi Sıralama					Sıra Toplamları	Genel Sıralama
	AAE	MAE	RMSE	R ²	AIC		
1	1.141	7.019	1.383	1.710	1.248	12.501	2.139
2	1.102	6.783	1.562	1.657	1.982	13.087	2.267
3	19.000	13.789	19.000	19.000	19.000	89.789	19.000
4	1.199	6.349	1.399	1.573	1.000	11.520	1.925
5	1.018	6.877	1.445	1.660	1.584	12.584	2.157
6	1.101	6.784	1.562	1.657	1.982	13.087	2.267
7	1.489	6.423	1.388	1.714	1.254	12.268	2.088
8	1.000	7.122	1.490	1.699	1.635	12.947	2.236
9	1.553	6.396	1.461	1.674	1.602	12.685	2.179
10	1.019	6.811	1.322	1.657	1.180	11.988	2.027
11	1.278	7.364	1.512	1.719	1.660	13.533	2.364
12	1.411	7.203	1.580	1.674	2.003	13.871	2.438
13	10.486	19.000	10.553	10.111	11.233	61.382	12.803
14	2.306	1.000	1.043	1.000	1.930	7.279	1.000
15	1.446	6.405	1.396	1.722	1.263	12.232	2.081
16	1.253	7.062	1.433	1.441	2.104	13.293	2.312
17	2.483	1.249	1.000	1.066	1.615	7.413	1.029
18	2.471	7.828	2.615	2.582	3.156	18.652	3.481
19	2.923	8.825	2.910	2.843	3.481	20.982	3.989

Çizelge 7. Model test verileri için elde edilen ölçüt değerleri

Model No	AAE	MAE	RMSE	E	R ²	AIC
1	0.13902	1.32275	0.20876	-0.00955	0.97209	-653.9593
2	0.13996	1.31921	0.21128	-0.01046	0.97169	-644.9213
3	0.18975	1.94019	0.28023	-0.00007	0.94970	-530.2971
4	0.13865	1.31998	0.20736	-0.01657	0.97233	-658.7791
5	0.13981	1.32071	0.21057	-0.00985	0.97174	-648.3368
6	0.13996	1.31925	0.21128	-0.01047	0.97168	-644.9180
7	0.13941	1.29191	0.20876	-0.01242	0.97209	-653.9673
8	0.13917	1.33547	0.20985	-0.00965	0.97193	-649.7662
9	0.13910	1.30799	0.20847	-0.00895	0.97230	-652.5465
10	0.14002	1.32951	0.21052	-0.01061	0.97162	-650.4405
11	0.14089	1.31541	0.21182	-0.01359	0.97140	-645.8409
12	0.14183	1.33272	0.21383	-0.01371	0.97100	-639.8867
13	0.16171	1.03285	0.22393	-0.02277	0.96804	-622.4977
14	0.14223	1.35992	0.21475	-0.00459	0.97103	-634.0794
15	0.13917	1.29380	0.20850	-0.01177	0.97216	-654.4753
16	0.13881	1.35438	0.21043	-0.00904	0.97205	-644.6173
17	0.14339	1.33939	0.21466	-0.00753	0.97091	-636.2477
18	0.14492	1.22037	0.21359	-0.01510	0.97106	-640.3470
19	0.14575	1.21648	0.21474	-0.01797	0.97075	-638.0978

Çizelge 8. Model test verileri ve test edilen modeller için nisbi sıralama sonuçları

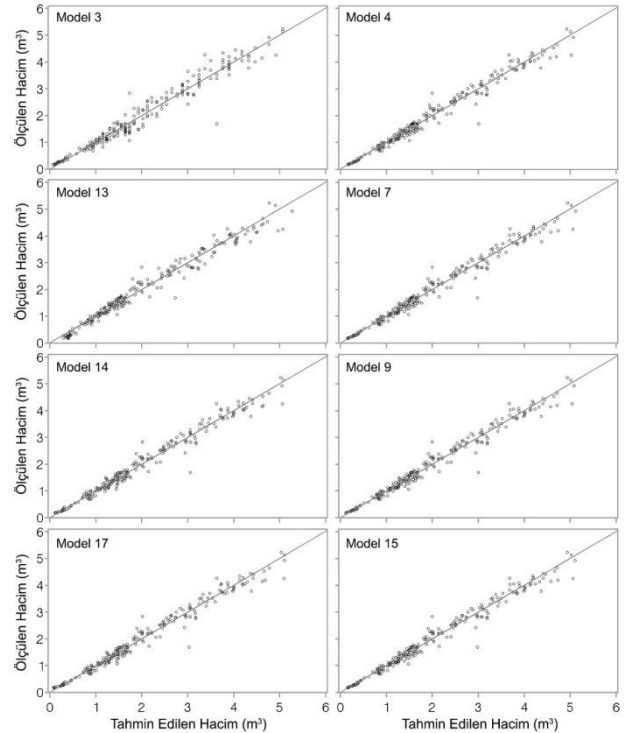
Model No	Nispi Sıralama					Sıralamalar Toplamı	Genel Sıralama
	AAE	MAE	RMSE	R ²	AIC		
1	1.129	6.751	1.345	1.191	1.675	12.092	1.298
2	1.463	6.681	1.967	1.511	2.941	14.564	1.826
3	19.000	19.000	19.000	19.000	19.000	95.000	19.000
4	1.000	6.696	1.000	1.000	1.000	10.696	1.000
5	1.409	6.711	1.792	1.469	2.463	13.842	1.672
6	1.463	6.682	1.968	1.512	2.942	14.566	1.826
7	1.267	6.139	1.344	1.190	1.674	11.614	1.196
8	1.182	7.003	1.615	1.316	2.263	13.379	1.573
9	1.157	6.458	1.273	1.022	1.873	11.784	1.232
10	1.483	6.885	1.779	1.566	2.168	13.881	1.680
11	1.788	6.606	2.102	1.737	2.813	15.045	1.929
12	2.121	6.949	2.597	2.058	3.647	17.371	2.425
13	9.123	1.000	5.092	4.413	6.083	25.711	4.206
14	2.261	7.489	2.824	2.031	4.460	19.066	2.787
15	1.185	6.177	1.282	1.136	1.603	11.382	1.147
16	1.057	7.379	1.757	1.222	2.984	14.398	1.790
17	2.669	7.081	2.803	2.126	4.157	18.836	2.738
18	3.207	4.720	2.539	2.007	3.582	16.056	2.144
19	3.502	4.643	2.822	2.255	3.897	17.120	2.372

Şekil 3'te model test verisi için en başarılı (4, 7, 9 ve 15 nolu modeller) ve en başarısız (3, 13, 14 ve 15 nolu modeller) modellere ilişkin tahmin edilen hacim değerlerinin ölçülen hacim değerlerine göre dağılımı verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi başarılı olan modellerde sonuçlar, 1:1 çizgisine çok yakın iken, başarısız modellerde noktalar, 1:1 çizgisinden oldukça ayrılmaktadır. Genel olarak tüm modeller için 1:1 çizgisinden ayrılma, büyük hacim değerleri için nispeten daha yüksektir. Bu durum, yüksek hacim değerine sahip ağaçların hacim tahminlerinde, kullanılan modellerin daha yüksek hata miktarı ortaya çıkardığını göstermektedir.

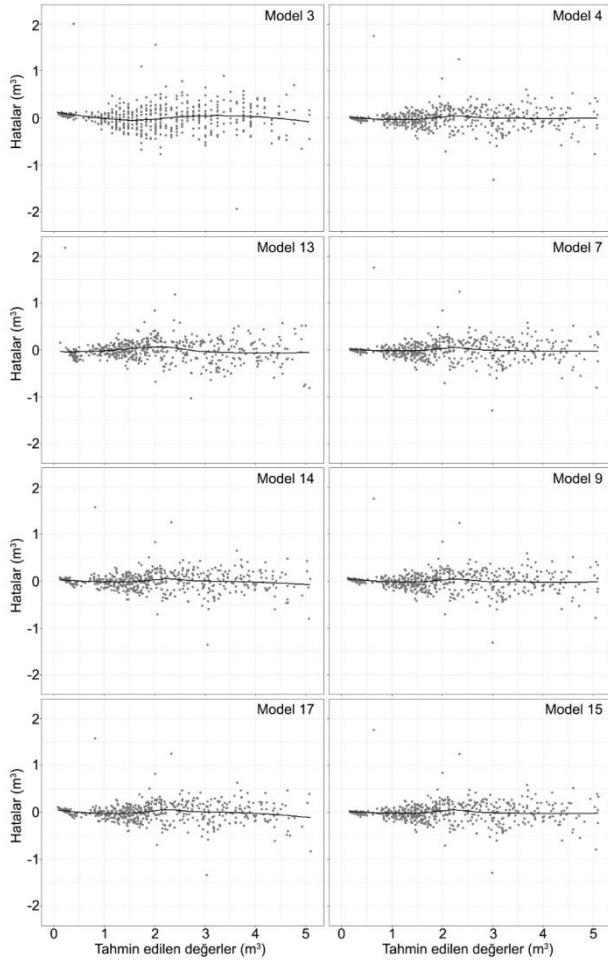
Şekil 4'te ise tüm veri seti için nispi sıralama değerleri bakımından en başarılı ve en başarısız dört model için, tahmin edilen hacim değerlerine karşılık hata dağılım grafiği verilmiştir. Loess regresyon çizgisi dikkate alındığında, başarılı modeller kullanılarak elde edilen sonuçların nispeten daha hatasız olarak elde edildiği, ancak başarısız modeller ile elde edilen sonuçların ise nispeten daha hatalı olduğunu göstermektedir. Özellikle en başarısız modeller olan Model 3 ve Model 13'e ait Loess regresyon çizgisinin sıfır hattından oldukça ayrıldığı görülmektedir. Buna karşın en başarılı model olan Model 4'e ait Loess regresyon çizgisinin sıfır hattına çok yakın olduğu görülmektedir.

Çalışma kapsamında model test verileri kullanılarak, bu çalışmada en başarılı model olarak ortaya çıkan Model 4 ile diğer araştırmacılar (Alemdağ, 1962; Çatal 2009; Kahrıman vd., 2017) tarafından doğal kızılçam meşcereleri önerilen ağaç hacim denklemleri ve Kalkan İşletme Şefliği Orman Amenajman Planındaki kızılçam tek girişli ağaç hacim tablosu (OGM, 2015), ağaç hacim tahminlerindeki başarıları bakımından karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalara ilişkin sonuçlar Çizelge 9'da verilmiştir. Ortalama hata ve RMSE değerleri bakımından yapılan bu karşılaştırmada, Model 4'ün diğer modellere göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Bu durum açık bir şekilde ağaç hacim tahminlerinde yöreselliğin etkisinin önemini ortaya koymaktadır. Çünkü Çatal (2009) tarafından önerilen model Batı Akdeniz Bölgesindeki, Kahrıman vd. (2017) tarafından önerilen model Antalya ve Mersin Bölge Müdürlüğündeki, Alemdağ (1962) tarafından önerilen model Kızılçamın tüm yayılış alanındaki daha geniş bir coğrafyadan toplanmış veriler kullanılarak ortaya konulduğundan, bu modellerin

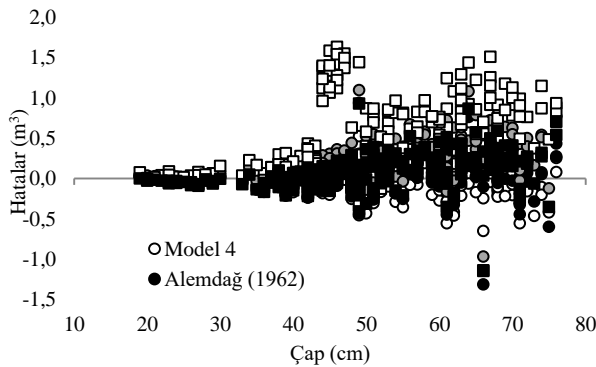
daha yüksek hata üretmesi oldukça normaldir. Yöresel ekolojik koşulların, ağaç gövde formu ve buna bağlı olarak ağaçların çap ve boy gelişimi üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Daha geniş coğrafik bölgeler için geliştirilen ağaç hacim denklemleri, yöresel ağaç hacim denklemlerinin aksine ağaç formundaki varyasyonun açıklanmasında yeterli olamamaktadır. Şekil 5'ten de görüleceği gibi yöresel tek girişli hacim tablosu dışındaki tüm modellerin ince ve orta çap sınıfları için oldukça yakın hacim tahminleri ürettiği ve hata dağılımının bu çap sınıfları için nispeten homojen olduğu söylenebilir. Ancak, kalın çap sınıfları için tüm modellerin hata dağılımının varyansı yükselmiştir. Bu yükselme Model 4 dışındaki denklemlerde daha yüksektir.



Şekil 3. En başarılı (sağ sütun) ve en başarısız (sol sütun) modeller kullanılarak model test verileri için ölçülen hacim değerlerine karşı tahmin edilen hacimlerin 1:1 dağılımı



Şekil 4. Loess regresyon ile tüm veri seti için en başarılı (sağ sütun) ve en başarısız (sol sütun) modellerin hata dağılımı.



Şekil 5. Farklı hacim denklemleri ile elde edilen sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 5'in ve Çizelge 9'un incelenmesinden görüleceği gibi, Model 4 dışındaki tüm modeller ağaç hacimlerini eksik tahmin etmekte ve negatif yönde bir hata vermektedir.

Sonuç olarak; 4 nolu modelin ormancılık çalışmalarında ağaç hacim tahminleri için yaygın olarak kullanılan bir model olması, diğer model formlarına göre daha az sayıda parametre içermesi nedeniyle, Kaş Yöresi doğal kızılçam

meşcerelerinde tek ağaç ve buna bağlı olarak meşcere hacimlerinin tahmin edilmesi için önerilebilecek bir modeldir. Diğer yandan Model 4 (Spurr, 1952)'ün bölgesel olarak kullanılabilirliğinin denetimi için, kontrol verileri kullanılarak yapılan "Eşlendirilmiş t-testi" sonuçlarına göre de, geliştirilen hacim denkleminin $p > 0.05$ önem düzeyinde güvenle kullanılacağı sonucuna varılmıştır.

Her iki veri seti içinde yapılan değerlendirmeler ışığında, en başarılı model olan model 4 tüm veri seti için tekrar çözülmüş ve tüm veri seti için elde edilen katsayı kullanılarak ($\beta_0 = 0.000034$) Kaş Yöresi doğal kızılçam meşcereleri için çift girişli ağaç hacim tablosu düzenlenmiş ve Çizelge 10'da verilmiştir. Bu tablo kullanılarak, göğüs çapı 20-80 cm ve ağaç boyu 10-30 m arasında değişen ağaçların dikili gövde hacim değerleri m^3 olarak bulunabilmektedir. Çalışmada kullanılan veri seti göğüs çapı 20 cm'den daha büyük ağaçları içermesinden dolayı, çift girişli hacim tablosu düzenlenirken tabloda göğüs çapı 20 cm'nin altındaki ağaçlara yer verilmemiştir.

4. Sonuçlar ve öneriler

Bu çalışmada, Kaş yöresi doğal kızılçam meşcereleri için hacim denklemleri geliştirilmiştir. Bu amaçla seçilen farklı formlardaki 19 adet hacim denklemi, altı farklı ölçüt değeri kullanılarak test edilmiştir. Yörede 517 örnek ağaç ölçülmüş, bu ağaçların tesadüfi olarak yaklaşık %60'ı (307 örnek ağaç) model geliştirmek ve geri kalan yaklaşık %40'lık kısım (210 örnek ağaç) ise geliştirilen modellerin test edilmesi için kullanılmıştır. Yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucunda, gerek model geliştirme verisi, gerekse de model test verileri için en başarılı sonuçlar Model 4 (Spurr, 1952) ile elde edilmiştir. Benzer sonuçlar tüm veri setinin için yapılan değerlendirmelerde de ortaya çıkmıştır.

Geliştirilen ve yörede kullanılması önerilen ağaç hacim denkleminin yöresel olarak kullanılabilirliğinin denetimi için kontrol verileri ile gerçekleştirilen denetimler sonucunda bu modelin ilgili ağaç türü için gövde hacim tahminlerinde güvenle kullanılacağı sonucuna varılmıştır. Kızılçam ağaç türü için geliştirilen ve önerilen ağaç hacim denkleminin ilgili yörede ağaç hacim tahminlerinde kullanılabilmesi için, ağaç boyunun ve göğüs yüksekliği çapının ölçülmesi yeterli olacaktır. Bu değerler, ilgili ağaç hacim denkleminde yerine konularak ağaç gövde hacmi m^3 olarak hesaplanabilir.

Çizelge 9. Model test verileri için farklı hacim denklemleri ile elde edilen sonuçların ortalama hata (E) ve RMSE değerleri bakımından karşılaştırılması

Hacim Denklemi	Ortalama Hata (m^3)	RMSE (m^3)
Model 4	-0.0166	0.2074
OGM (2015)	0.5188	7.5672
Alemdağ (1962)	0.0399	0.6242
Çatal (2009)	0.2385	3.4897
Şahin vd. (2017)	0.0863	1.2864
Carus ve Su (2014)	0.1859	2.7310

Çizelge 10. Kaş yöresi kızılçam meşcereleri için çift girişli hacim tablosu

Çaplar (cm)	Ağaç Boyu (m)										
	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
20	0.1320	0.1584	0.1848	0.2112							
22	0.1597	0.1917	0.2236	0.2556							
24	0.1901	0.2281	0.2661	0.3041							
26	0.2231	0.2677	0.3123	0.3569							
28	0.2587	0.3105	0.3622	0.4140							
30	0.2970	0.3564	0.4158	0.4752							
32			0.4731	0.5407	0.6083	0.6758					
34			0.5341	0.6104	0.6867	0.7630					
36			0.5988	0.6843	0.7698	0.8554					
38			0.6671	0.7624	0.8577	0.9530	1.0483				
40			0.7392	0.8448	0.9504	1.0560	1.1616				
42			0.8150	0.9314	1.0478	1.1642	1.2807				
44			0.8944	1.0222	1.1500	1.2778	1.4055				
46			0.9776	1.1172	1.2569	1.3966	1.5362				
48			1.0644	1.2165	1.3686	1.5206	1.6727				
50			1.1550	1.3200	1.4850	1.6500	1.8150	1.9800	2.1450		
52			1.2492	1.4277	1.6062	1.7846	1.9631	2.1416	2.3200		
54			1.3472	1.5396	1.7321	1.9246	2.1170	2.3095	2.5019		
56				1.6558	1.8628	2.2202	2.2767	2.4837	2.6907		
58				1.7762	1.9982	2.3760	2.4423	2.6643	2.8863		
60				1.9008	2.1384	2.5370	2.6136	2.8512	3.0888		
62					2.2833	2.7034	2.7907	3.0444	3.2982		
64						2.8750	2.9737	3.2440	3.5144		
66						3.0518	3.1625	3.4500	3.7374	4.0249	4.3124
68						3.2340	3.3570	3.6622	3.9674	4.2726	4.5778
70						3.4214	3.5574	3.8808	4.2042	4.5276	4.8510
72							3.7636	4.1057	4.4479	4.7900	5.1322
74							3.9756	4.3370	4.6984	5.0598	5.4212
76							4.1934	4.5746	4.9558	5.3370	5.7182
78							4.4170	4.8185	5.2201	5.6216	6.0232
80							4.6464	5.0688	5.4912	5.9136	6.3360

Çalışmada, kızılçam ağaç hacim tahminleri için önerilen 4 nolu hacim denklemi; ilgili ağaç türü için Alemdağ (1962), Çatal (2009) ve Kahrıman vd. (2017) tarafından geliştirilen çift girişli hacim denklemleri ile Yöresel Tek Girişli Hacim Tablosu (OGM, 2015)'den elde edilen hacim tahminleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, bu modellerin daha yüksek hacim hatası verdiğini göstermiştir. Özellikle hata miktarı kalın çap sınıflarında daha da yüksektir. Bu durum ağaç hacim denklemleri geliştirilirken yöresel şartların dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak; Model 4 (Spurr, 1952) modeli kullanılarak, Kaş yöresi doğal kızılçam meşcereleri için ağaç hacim değerleri gerçeğe yakın bir şekilde tahmin edilebilir. Ancak genel bir kural olarak, imkânlar el verdiği ölçüde ve yeterli miktarda örnek ağaç ölçümü yapılabildiği sürece her yöre ve ağaç türü için ayrı hacim fonksiyonlarının geliştirilmesi ağaç formundaki değişkenliğin ortaya konması ve gerçeğe daha yakın hacim tahminleri yapılabilmesi için daha yararlı olacaktır.

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan veriler, SDÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmekte olan BAP-4749-YL1-16 no'lu "Kaş Yöresi Doğal Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Meşcereleri İçin Ağaç Hacim Denklemlerinin Geliştirilmesi" isimli proje çalışmasında elde edilmiştir.

Kaynaklar

- Akindele, S.O., LeMay, V.M., 2006. Development of tree volume equations for common timber species in tropical rain forest area of Nigeria. *Forest Ecology and Management*, 226: 41-48.
- Alegria, C., Tome, M., 2011. A set of models of individual tree merchantable volume prediction for *Pinus pinaster* Aiton in central inland of Portugal. *European Journal of Forest Research*, 130: 871-879.
- Alemdağ, Ş., 1962. Türkiye'deki Kızılçam Ormanlarının Gelişimi, Hasılatı ve Amenajman Esasları. Ormanlık Araştırma Enstitüsü Teknik Bülten No:11, 160s., Ankara.
- Bailey, R.L., 1995. Upper stem volumes from stem analysis data: an overlapping bolts method. *Can J. For. Res.*, 26(1): 170-173
- Bi, H., Hamilton, F., 1998. Stem volume equations for native tree species in southern New South Wales and Victoria. *Australian Forestry*, 61(4): 275-286.
- Børset, O., 1954. Volume computation of standing aspen. *Commun Norweigan For Assoc*, 43: 397-447.
- 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., Jiang, L., Özçelik, 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.

- Brooks, J.R., Wiant, H.V., 2008. Ecoregion Based Local Volume Equations for Appalachian Hardwoods. *Northern Journal of Applied Forestry*, 25(2): 87-92.
- Burkhart, H.E., Tome, M., 2012. *Modeling Forest Trees and Stands*. Springer, Dordrecht, 457p.
- Carus, S., Su, Y., 2014. Antalya-Korkuteli Yöresi Kızılcım Ağaçlandırmaları İçin Tek ve Çift Girişli Ağaç Hacim Tablosunun Düzenlenmesi ve Mevcut Tablolar ile Kıyaslanması. II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, pp.22-24.
- 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., Bailey, R.L., 1983. *Timber Management: A Quantitative Approach*. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, 33s.
- Çatal, Y., 2009. Batı Akdeniz Bölgesi kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinde artım ve büyüme. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, 301s. Isparta.
- de-Miguel, S., Mehtatalo, L., Shater, Z., Kraid, B., Pukkala, T., 2012. Evaluating marginal and conditional predictions of taper models in the absence of calibration data. *Can. J. For. Res.*, 42: 1383-1394.
- Dieguez-Aranda, U., Castedo-Dorado, F., Alvarez-Gonzalez, J.G., Rojo, A., 2006. Compatible taper function for scots pine plantations in Northwestern Spain. *Canadian Journal of Forest*, 36(5): 1190-1205.
- Eriksson, H., 1973. Volymfunktioner för stående träd av ask, asp, klibbal och contorta-tall. [Tree volume functions for ash, aspen, alder and lodgepole pine in Sweden. (*Fraxinus excelsior* L., *Populus tremula* L., *Alnus glutinosa* (L.) Gartn., *Pinus contorta* Dougl. var. *latifolia* Engelm.)]. Skogshögskolan, Institutionen för skogsproduktion, Stockholm. Rapport och Uppsatser nr. 26-1973, 26p.
- Fowler, G.W., Hussain, N.G., 1987. Volume-basal area ratio equations for red pine in Michigan. *Michigan DNR*, 2(7).
- Fowler, G.W., 1997. Individual tree volume equations for red pine in Michigan. *Northern Journal of Applied Forestry*, 14: 53-58.
- Hjelm, B., Johansson, T., 2012. Volume equations for poplars growing on farmland in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 27: 561-566.
- Honer, T., 1967. Standard volume tables and merchantable conversion factors for the commercial tree species of central and eastern Canada. *For Manage Res and Serv Inst, Inf Rep FMR-X-5*, Ottawa
- Kahriman, A., Sönmez, T., Şahin, A., 2017. Antalya ve Mersin Yöresi Kızılcım meşcereleri için ağaç hacim tabloları. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 17(1): 9-22.
- Kelly, T.F., Beltz, R.C., 1987. *A Comparison of Tree Volume Estimation Models for Forest Inventory*. USDA Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Research Paper SO-233.
- Lee, D., Seo, Y., Choi, J., 2017. Estimation and validation of stem volume equations for *Pinus densiflora*, *Pinus koraiensis*, and *Larix kaempferi* in South Korea. *Forest Science and Technology*, 13: 77-82.
- Mısır, N., Mısır, M., 2004. Developing double-entry tree volume table for Ash in Turkey. *Kafkas Üniversitesi, Artvin Orman Fakültesi Dergisi*, 3(4): 135-144.
- Newnham, R.M., 1967. A modification to the combined-variable formula for computing tree volume. *Journal of forestry*, 65(10): 719-720.
- Ogaya, N., 1968. *Kubierungsformeln und Bestandesmassenformeln*. Inaugural (Doctoral dissertation, Dissertation-. Univ., Nat.-Math. Fak, Freiburg).
- OGM, 2015. Türkiye Orman Varlığı. Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Özçelik, R., Çevlik, M., 2017. Batı Akdeniz Yöresi doğal sedir meşcereleri için hacim denklemleri. *Turkish Journal of Forestry*, 18: 68-86.
- Özkurt, A., 2000. Okalipütüs (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden) için hacim tablosu. *Doğu Akdeniz Ormançılık Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 6: 87-105.
- Perez, D., Kanninen, M., 2003. Provisional equations for estimating total and merchantable volume of *Tectona grandis* trees in Costa Rica. *Forests, Trees and Livelihoods*, 13(4): 345-359.
- Perez, D., 2008. Growth and volume equations developed from stem analysis for *Tectora grandis* in Costa Rica. *Journal of Tropical Forest Science*, 20: 66-75.
- 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. *For. Sci.*, 59(2): 243-252.
- Rachid Casnati, C., Mason, E.G., Woollons, R., Resquin, F., 2014. Volume and taper equations for *P. teada* (L.) and *E. grandis* (Hill ex. Maiden). *Agrociencia Uruguay*, 18(2): 47-60.
- Ritchie, M.W., Hann, D.W., 1984. Nonlinear equations for predicting diameter and squared diameter inside bark at breast height for Douglas-fir. Oregon State University, Forest Research Lab., Research Paper 47, 17p.
- Rodriguez, 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.
- Sakıcı, O.E., Yavuz, H., 2003. Ilgaz Dağı Gökmar meşcereleri için hacim fonksiyonları. *Gazi Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 3(2): 155-168.
- Saraçoğlu, N., 1988. Kızılağaç (*Alnus glutinosa* Gaertn subsp. *Barbata* (C.A. Mey.) Yalt.) gövde hacim ve biyokütle tablolarının düzenlenmesi. Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 95s (Yayınlanmamıştır).
- Schumacher, F.X., Hall, F.D.S., 1933. Logarithmic expression of timber-tree volume. *J. Agric. Res.*, 47: 719-734.
- Spurr, S.H., 1952. *Forest Inventory*. Ronald Press, New York, pp.476.
- Stolarikova, R., Salek, L., Zehradnik, D., Dragoun, L., Jerabkova, L., Marusak, R., Merganic, J., 2014. Comparison of tree volume equations for small-leaved lime (*Tilia cordata* Mill.) in the Czech Republic. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 29: 757-763.

- Şahin, A., Sönmez, T., Kahriman, A., 2017. Single Entry Raw Wood Products Table construction for Calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) in Mersin region. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 17(1): 23-35.
- Takata, K., 1958. Construction of universal diameter-height-curves. *Journal of Japanese Forest Society*, 40:1.
- Teshome, T., 2005. Analysis of individual tree volume equations for *Cupressus Lusitanica* in Munessa Forest, Ethiopia. *Southern African Forestry Journal*, 203: 27-32.
- Yavuz, H., 1999. Taşköprü Yöresinde Karaçam için hacim fonksiyonları ve hacim tabloları. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23: 1181-1188.