

Batı Akdeniz Yöresi doğal sedir meşcereleri için hacim denklemleri

Ramazan Özçelik^{a,*}, Meryem Çevlik^b

Özet: Toros sediri (*Cedrus libani* A. Rich.) ülkemizin ekolojik ve ekonomik açıdan en önemli ağaç türlerinden birisidir. Bu nedenle, sedir ormanlarının bugün ve geleceğe dönük yönetim ve planlama stratejilerinin geliştirilmesinde, türün büyüme ve hasılatına ilişkin bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Ormanların büyüme ve hasılatına ilişkin tahminlerde kullanılan en önemli yapı taşlarından birisi, ağaç hacim tahminleridir. Bu amaçla, çalışmada Batı Akdeniz Yöresi doğal Toros sediri meşcerelerinin hacim tahminleri için hacim denklemleri geliştirilmiştir. En uygun hacim denkleminin seçimi; model geliştirme ve test verileri için, altı farklı uygunluk ölçütü (uyum indeksi, ortalama hata, ortalama mutlak hata, maksimum mutlak hata, hata kareler ortalamasının karekökü ve Akaike bilgi kriteri) kullanılarak belirlenen model nisbi sıralamalarına göre gerçekleştirilmiştir. Model nisbi sıralarına göre, en başarılı hacim modelleri, Takata (1958) ve Schumacher ve Hall (1933)'dir. Ancak, yörede doğal sedir meşcerelerinde yapılacak ağaç hacim tahminleri için, yaygın olarak kullanılan ve nispeten daha kolay bir model olması nedeniyle, Schumacher-Hall (1933) hacim denklemi önerilmiştir.

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

Volume equations for natural Taurus cedar stands in West Mediterranean Region

Abstract: Taurus cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) is one of the most important tree species in Turkey. Therefore, the information is necessary about growth and yield of the species for developing future management and planning strategies. The one of the essential building blocks in forest growth and yield prediction models is the equations for estimating individual tree volume. In this study, tree volume equations were developed for Taurus cedar stands in West Mediterranean Region. The tested models were compared using six performance criteria (Fit index, average bias, average absolute residuals, absolute maximum bias, and Akaike Information criteria) for model development and validation dataset. According to relative ranks of models, the best volume equations are Takata (1958) and Schumacher-Hall (1933) for Taurus cedar. As a result, tree volume can be estimated with high precision using Schumacher-Hall (1933)'s equation for natural cedar stands in this region.

Keywords: Taurus cedar, Volume equation, Diameter, Height, Relative rank

1. Giriş

Ülkemizde orman kaynaklarının planlanması çalışmaları, 2008 yılında yürürlüğe giren yeni amenajman yönetmeliğine göre, ekosistem tabanlı fonksiyonel planlama ilkelerine uygun bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Ekosistem tabanlı fonksiyonel planların düzenlenebilmesi, bu planlara bağlı olarak ormanların işletilmesi ve ormanların sürdürülebilir yönetimi için ağaç türlerine ilişkin dinamik büyüme ve hasılat modellerine ihtiyaç duyulmaktadır. Büyüme ve hasılat modellerinin en önemli altlıklarından birisi ağaç ve meşcere hacim tahminleridir.

Hacim tahminleri, ağaç ve meşcerelere ilişkin hacmin ve bu hacim miktarının farklı ticari sınıflara dağılımının doğru hesaplanmasında (Dieguez-Aranda vd. 2006; Crecente-Campo vd., 2009), orman amenajman planlarının düzenlenmesinde (de-Miguel vd., 2012; Rodríguez vd. 2014), orman ürünleri sanayisinin geleceğine ilişkin projeksiyonların yapılmasında (Fang vd., 2000; Jiang vd., 2005; de-Miguel vd., 2012) ve uygun biyokütle dönüşüm faktörleri yardımı ile biyokütle ve karbon birikim miktarının hesaplanmasında (Castedo-Dorado vd., 2012; Gomez-

Garcia vd., 2015) kullanılan önemli bir meşcere parametresidir. Bu nedenle; ülkemizde, tek ağaç 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).

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 hacmi; göğüs yüksekliği çapı (d), ağaç boyu (h) ve göğüs boyu şekil katsayısının (şekil faktörü) (f) bir fonksiyonu olarak tahmin edilmektedir. Ancak, pek çok araştırmacı gövde hacmi ve ağırlık denklemlerinin geliştirilmesinde şekil katsayısını bir değişken olarak kullanmamayı tercih etmektedirler (Clutter vd., 1983; Husch vd., 2003).

Ağaç hacim tablolarının düzenlenmesinde, genel olarak tek girişli, çift girişli ya da çok girişli ağaç hacim denklemleri kullanılmaktadır. Ağaç hacim denklemlerinde bir, iki veya ikiden fazla bağımsız değişken kullanmasına bağlı olarak sırasıyla, tek girişli, çift girişli ve çok girişli ağaç hacim denklemi isimlerini almaktadır. Geçerli

✉ ^a Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi, Isparta.

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

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): ramazanozcelik@sdu.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 01.12.2016, **Accepted** (Kabul tarihi): 14.02.2017



oldukları alanın büyüklüğüne göre de “Yöresel (Lokal) Ağaç Hacim Denklemleri”, “Bölgesel Ağaç Hacim Denklemleri” ve “Genel Ağaç Hacim Denklemleri” olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır (Burkhardt ve Tome, 2012).

Ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi amacıyla yapılan çalışmalarda, oldukça fazla sayıda ve farklı tipte modelin kullanıldığı görülmektedir (Ritchie ve Hann, 1984; Burk vd., 1989; 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, 2002; Mısır ve Mısır, 2004; Sakıcı ve Yavuz, 2005; Özçelik, 2010)

Ülkemizde, 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 (Özçelik, 2010; Brooks vd., 2008; Özçelik ve Alkan, 2016). Pillsbury vd. (1995); aynı hacim tablosunun farklı yetiştirme ortamı özelliklerine sahip yörelerde kullanılması ile ortaya çıkacak hacim hatasının %40'a kadar yükselbileceğini belirtmiştir. Bu nedenle; eldeki olanaklar izin verdiği müddetçe farklı yetiştirme ortamı özelliklere sahip alanlar için farklı hacim tablolarının düzenlenmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Brooks ve Wiant, 2008). Özellikle, ülkemiz gibi tür çeşitliliğinin ve yetiştirme ortamı farklılıklarının yüksek olduğu yerlerde, her yöre ve tür için ayrı yöresel hacim denklemlerinin geliştirilmesi, doğru ve güvenilir hacim tahminleri için gerekli ve zorunludur.

Toros sediri, ülkemiz için ekolojik ve ekonomik açıdan en önemli ağaç türlerinden biridir. Türün, doğal yayılış gösterdiği Suriye ve Lübnan'da plansız üretim, aşırı otlama ve yangınlar gibi sebeplerle varlığı neredeyse tükenmiş, yayılış alanı ülkemiz ile sınırlı bir hal almıştır (Boydak, 2003). Bu nedenle, doğal sedir ormanları ülkemiz için, korunması gereken en önemli kültürel miras, doğal hazine ve anıtlar niteliğindedir. Sedir ormanları; 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.

Diğer yandan, sedir değerli ve çok yönlü kullanıma sahip odunu nedeniyle de halen önemli bir ekonomik değere sahiptir ve piyasada yüksek miktarda talebe konu olmaktadır. Bu çerçevede, sedir ormanlarının bir taraftan korunması, diğer taraftan da sürdürülebilir işletilmesi amacıyla, geleceğe dönük planlama ve stratejilerin oluşturulması için bu ormanların mevcut durumuna, büyüme ve gelişme özelliklerine ilişkin güvenilir ve nitelikli bilgilere ihtiyaç bulunmaktadır. Ağaç hacim tahminleri de; bir türün en önemli büyüme ve gelişme parametrelerinden biridir. 2012 yılı orman envanteri sonuçlarına göre, sedir, yaklaşık 463.500 ha alanda yayılış göstermekte ve bu alanlar üzerindeki dikili ağaç serveti de, yaklaşık olarak 27 milyon m³ civarındadır. Bu orman alanlarının çok büyük bir kısmı Akdeniz Bölgesinde, özellikle Antalya ve Mersin Orman

Bölge Müdürlükleri (%65) içerisinde yer almaktadır. Antalya Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Orman İşletme Şefliklerinin amenajman planları incelendiğinde; toplamsedir alanlarının yaklaşık %28'inin Antalya Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde kaldığı ve Batı Akdeniz Bölgesi (Elmalı, Kaş ve Kumluca Orman İşletme Müdürlükleri) içerisinde yer alan doğal sedir meşcerelerinin ise bu alanların yaklaşık %50'sini oluşturduğu görülmüştür.

Bu çalışmada, Batı Akdeniz Bölgesi doğal sedir meşcereleri için ağaç hacim denklemleri geliştirilmiştir. Bu amaçla değişik formlarda 30 adet ağaç hacim denklemi seçilmiş, model geliştirme ve bağımsız veri setleri kullanılarak 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 Elmalı, Kaş ve Kumluca Orman İşletme Müdürlüklerinin sırasıyla; Çıglıkara, Sütleğen, Gömbe ve Yukaralakır Orman İşletme Şefliklerindeki doğal sedir meşcerelerinden toplanmıştır. Bu amaçla toplam 427 adet örnek ağaç ölçülmüş, bu verilerin rasgele yontemle, yaklaşık %75'i (329 ağaç) model geliştirmek, geri kalan yaklaşık %25'lük (98) kısmı ise geliştirilen modellerin test edilmesi amacıyla 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 eşit dağılımın sağlanmasına dikkat edilmiştir. Örnek ağaçlar hem galip hem de müşterek galip ağaçlar arasından seçilmiştir. Örnek ağaçların seçiminde gövdelerin çatalı ve eğri, tepelerin kırık olmamasına ve yetiştirme ortamı koşullarını en iyi biçimde yansıtmasına dikkat edilmiştir. Örnek ağaçların çapı (*d*), elektronik çap ölçer yardımı ile 0.1 cm, boyu (*h*) ise laser boy ölçer 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 tüm ağaçların çap-boy dağılım grafiği 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 verilmiştir. Çizelge 3'te ise ölçümü yapılan örnek ağaçların çap, boy ve hacim değerlerine ilişkin nitelendirici istatistikler bulunmaktadır.

2.2 Yöntem

Ormancılık çalışmalarında; 50 yılı aşkın zamandır pek çok ağaç hacim denklemi geliştirilmiştir (Scott, 1981; Clutter vd., 1983; Kelly ve Beltz, 1987; Saraçoğlu, 1988; van Laar ve Akça, 1997; Fowler, 1997; Yavuz, 1999; Teshome 2005; Akindele ve LeMay, 2006; Perez, 2008). Çalışmada çeşitli kaynaklardan temin edilen farklı formlardaki hacim fonksiyonları kullanılmıştır (Yavuz, 1999; Bi ve Hamilton, 1998; Mısır ve Mısır, 2004; Alegria ve Tome, 2011; Hjelm ve Johansson, 2012). Bu fonksiyonlara ilişkin detaylı açıklamalar aşağıda verilmiştir:

- $v = \beta_0 + \beta_1 d$ (Pehlivan, 2004) (1)
- $v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 h$ (Multiple Linear) (2)
- $v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2$ (Hohenadl-Krenn, 1899) (3)
- $v = \beta_0 d^2 h$ (Spurr, 1982) (4)
- $v = \beta_0 + \beta_1 d^2 h$ (Spurr, 1952) (5)
- $v = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \beta_2 h + \beta_3 d^2 h$ (Graves, 1978) (6)
- $v = \beta_0 d^{\beta_1} h^{\beta_2}$ (Schumacher-Hall, 1933) (7)
- $v = \beta_0 + \beta_1 d^{\beta_2} h^{\beta_3}$ (Schumacher-Hall, 1933) (8)
- $v = \frac{d^2}{\beta_0 + \beta_1 h^{-1}}$ (Honer, 1967) (9)
- $v = \beta_0 + \beta_1 d^{\beta_2} + \beta_3 (d^{\beta_4}) h^{-1}$ (Scott, 1979) (10)
- $v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + (\beta_3 + \beta_4 d + \beta_5 d^2) h$ (Spurr, 1952) (11)
- $v = \beta_0 + \beta_1 d^2 + (\beta_2 h + \beta_3 d \cdot h + \beta_4 d^2 h) h$ (Naslund, 1947) (12)
- $v = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h}{d}\right)^{\beta_2} (d^2 h)$ (Teshome, 2005) (13)
- $v = \beta_0 + \beta_1 d^2 h + \beta_2 h$ (Casnati, 2014) (14)
- $v = \frac{d^2 h}{\beta_0 + \beta_1 d}$ (Takata, 1958) (15)
- $v = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \beta_2 d^2 h^2$ (Alegria ve Tome, 2011) (16)
- $v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \beta_3 d^2 h^2$ (Alegria ve Tome, 2011) (17)
- $v = d^2 (\beta_0 + \beta_1 h)$ (Ogaya, 1968) (18)
- $v = \beta_0 + \beta_1 d^2$ (Kopezky, 1899) (19)
- $v = \beta_0 d^2 + \beta_1 d^2 h - \beta_2 d^2 h^2 - \beta_3 dh + \beta_4 dh^2$ (Eriksson, 1973) (20)
- $v = \beta_0 + \beta_1 d - \beta_2 d^2 + \beta_3 d^2 h$ (Opdahl, 1992) (21)
- $v = \beta_0 + \beta_1 d^2 h + \beta_2 d^3 h + \beta_3 d^2 h^2 + \beta_4 d$ (Bi ve Hamilton, 1998) (22)
- $v = \beta_0 + \beta_1 d^2 h + \beta_2 d^3 h + \beta_3 d^2 h^2 + \beta_4 d + \beta_5 h$ (Bi ve Hamilton, 1998) (23)
- $v = \beta_0 + \beta_1 dh + \beta_2 dh^2 + \beta_3 d^2 h^2$ (Alegria ve Tome, 2011) (24)
- $v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 dh^2 + \beta_3 d^2 h^2$ (Alegria ve Tome, 2011) (25)
- $\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 \ln h$ (26)
- $\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 (\ln d)^2 + \beta_3 \ln h + \beta_4 \ln h^2$ (27)
- $\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 \ln h + \beta_3 d^2$ (28)
- $\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 \ln h + \beta_3 d^2 h$ (29)
- $\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 \ln h + \beta_3 dh^2$ (30)

Çizelge 1. Model geliştirme verilerinin çap ve boy basamaklarına dağılımı

Çaplar (cm)	Boylar (m)											Σ	
	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27		29
10	1												1
14		10	6										16
18	1	5	17	12	2								37
22		1	11	11	8	6	1						38
26			5	15	12	11	3	2					48
30				4	10	13	15	10	1				53
34					3	17	6	11	8	2	1		48
38					2	5	8	11	8	4	3	1	42
42						3	5	7	7	5	1		28
46						1	3		5	3	1		13
50							1		2		1		4
54											1		1
Σ	2	16	39	42	37	56	42	41	31	14	8		1329

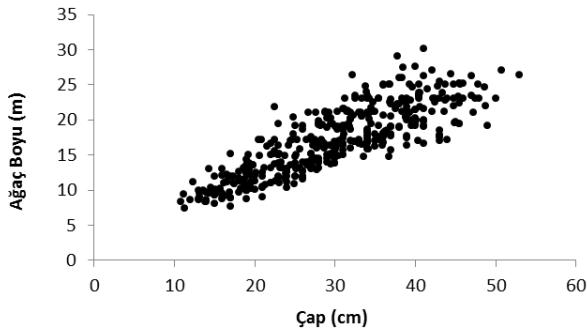
Çizelge 2. Model test verilerinin çap ve boy basamaklarına dağılımı

Çaplar (cm)	Boylar (m)											Σ	
	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29		
10	2												2
14	5	2	1										8
18	4	2	5	1									12
22		1	2	1				1					5
26			1	8	1	2		1					13
30					7	4	3						14
34					2	1	4	2					9
38					2	3	1	2	2				10
42					3	3	2	5			3		16
46						1	1	3	3	1			9
Σ	11	6	16	10	13	11	10	12	5	4			98

Çizelge 3. Çalışmada kullanılan örnek ağaçlara ilişkin nitelendirici istatistikler

Değişkenler	Model geliştirme verileri (n = 329)				Model test verileri (n = 98)			
	Ortalama	Min.	Max.	S.D.	Ortalama	Min.	Max.	S.D.
DBH (cm)	29.82	11.30	53.00	8.92	30.30	10.80	47.80	10.16
TH (m)	17.05	7.40	30.20	4.72	16.92	8.10	27.60	5.23
V (m ³)	0.6356	0.0358	2.2904	0.47	0.6686	0.0360	1.8367	0.5068

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



Şekil 1. Ölçümü yapılan örnek ağaçlara ilişkin çap-boy dağılım grafiği

Çalışmada, 1 ve 19 nolu (tek girişli ağaç hacim denklemi) ağaç hacim denklemleri dışındaki denklemler, çift girişli ağaç hacim denklemdir.

Yukarıda verilen doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon denklemlerinin çözümü için doğrusal ve doğrusal olmayan en küçük kareler yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada bazı logaritmik denklemler de test edilmiştir. Ancak 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). Hacim değerleri, model katsayılarının logaritmaları alınarak belirlendiği için sistematik bir hata ortaya çıkmaktadır. Bu sistematik hatanın giderilmesi için gerekli düzeltme faktörünün hesaplanması için farklı yöntemler uygulanmıştır (Burkhardt ve Tome, 2012). Bu çalışmada, düzeltme faktörü hesabı için Baskerville (1972) tarafından önerilen düzeltme faktörü $\left(\frac{se^2}{2}\right)$ modele

eklenmiştir. Örneğin Schumacher–Hall (1933) hacim fonksiyonu için bu düzeltme aşağıdaki şekilde yapılmıştır.

$$Y = e^{\left(0.00006 + 1.77342 * \log d + 1.10086 * \log h + \frac{se^2}{2}\right)} \quad (31)$$

Bu formülde; Y , ilgili ağacın düzeltilmiş hacim değerini; d , ağacın göğüs çapını; h , ağacın toplam boyunu, se , ilgili modelin standart hatasını ve e (2.718282) doğal logaritma tabanını ifade etmektedir.

En uygun hacim fonksiyonunun belirlenmesinde ise; uyum indeksi (FI), ortalama hata (E), ortalama mutlak hata (AAE) ve maksimum mutlak hata (MAE), hata kareler ortalamasının karekökü ($RMSE$) ve Akaike bilgi kriteri (AIC) gibi altı farklı uygunluk ölçütü kullanılmıştır.

$$AAE = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} |y_i - \hat{y}_i|}{n} \quad (32)$$

$$MAE = \max(|y_i - \hat{y}_i|) \quad (33)$$

$$FI = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (34)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p}} \quad (35)$$

$$E = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (y_i - \hat{y}_i)}{n} \quad (36)$$

$$AIC = n \ln(RMSE) + 2p \quad (37)$$

Burada sırası ile y_i , \hat{y}_i ve \bar{y} ölçülen, tahmin edilen ve ölçülen değerlerin aritmetik ortalamasını ifade etmektedir. \bar{y}_{est} tahmin edilen değerlerin ortalamasını, n model geliştirmek için kullanılan toplam gözlem sayısını, p geliştirilen modellerdeki parametre sayısını ve ln ise doğal logaritmayı ifade etmektedir.

M tane yöntemin sıralanması geleneksel olarak 1, 2, ..., m şeklinde gösterilmektedir. Bu geleneksel 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 metodların birbirine olan nispi yakınlıkları hakkında bilgi edinilebilmektedir. Bir i modelinin nispi sıralaması aşağıdaki formülasyon yarımı ile bulunabilmektedir.

$$R_i = 1 + \frac{(m-1)(S_i - S_{\min})}{S_{\max} - S_{\min}} \quad (38)$$

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 sıralama sisteminde, en iyi ve en kötü yöntemler sırasıyla 1 ve m nispi değerini almaktadır. Kalan yöntemlerin nispi sıralama değerleri ise 1 ile m arasında değişen gerçek sayılar olarak ifade edilmektedir. S_i 'nin sıralama değerinin yanı sıra, bu değer rakamsal büyüklüğü de göz önünde bulundurulduğundan, bu yeni sıralama sistemi, geleneksel sıralama sistemlerine göre daha fazla bilgi sunmaktadır. Örneğin, nispi sıralaması 1, 1.2, 4.7, 4.9 ve 5 olan beş yöntem, söz konusu nispi sıralama sistemiyle, sıralama değerleri arasındaki büyük fark sayesinde iki ayrı gruba ($\{1, 1.2\}$ ve $\{4.7, 4.9, 5\}$) ayrılabilir (Poudel ve Cao, 2013).

Çalışmada, yukarıda açıklanan altı ölçüt değeri kullanılarak modellerin nisbi sıraları belirlenmiştir. Uyum indeksi dışındaki bütün ölçütler için, en küçük değere sahip olan model en iyi olarak nitelendirilmiştir.

3. Bulgular

Doğal sedir meşcerelerinden alınan örnek ağaçlar kullanılarak, 30 farklı ağaç hacim denklemi için yapılan parametre tahminleri, logaritmik denklemler için düzeltme faktörleri (D.F) ve parametrelerin önem düzeyleri Çizelge 4'te verilmiştir.

Model geliştirme verileri kullanılarak, test edilen modellerin ölçüt değerleri Çizelge 5'te verilmiştir. Çok fazla modelin test edilmiş olması nedeniyle ölçüt değerlerine bağlı olarak doğrudan bir modelin diğer modellere göre daha başarılı olduğunu söylemek neredeyse imkânsızdır. Bu nedenle model geliştirme verileri için modellerin nisbi

sıraları hesaplanmış ve buna ilişkin sonuçlar Çizelge 6'da verilmiştir. Çizelge 6'da ve Şekil 2'de ortaya çıkan durum değerlendirildiğinde, modelleri nisbi sıra değerlerine bağlı olarak 5 gruba ayırmak mümkündür. Birinci ve en başarılı tahminlerin yapıldığı grup 7 ve 15 nolu modellerden oluşmaktadır. 25 ve 27 nolu modeller ikinci grupta; 4, 9 ve 18 nolu modeller dördüncü grupta ve, 1, 2, 3 ve 19 nolu modeller ise beşinci ve en kötü model grubunda yer almaktadır. Diğer modeller ise üçüncü gruba oluşturmaktadır. Radar grafiğinde en içteki kutuda yer alan model ya da modeller en başarılı gruba en dışta yer alan modeller ise en başarısız gruba oluşturmaktadır. Şekil 3'te ise en başarılı (7 ve 15 nolu modeller) ve en başarısız (1 ve 2 nolu modeller) olan modellere ilişkin tahmin edilen hacim değerlerinin ölçülen hacim değerlerine göre dağılımları 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 modellerin hata dağılımı, büyük hacim değerleri için daha yüksek bir varyans değeri göstermektedir.

Çizelge 7'de ise model test verileri kullanılarak denenen modellerin ölçüt değerlerine ilişkin sonuçlar verilmiştir. Çizelge 8'de ise her bir ölçüt değerine ve bu ölçütlerin geneline göre elde edilen nisbi sıralar verilmiştir.

Şekil 4'te de altı ölçüt değerine göre test edilen modellerin radar grafiği sonuçları verilmiştir. Çizelge 8 ve Şekil 4 incelendiğinde, model test verileri için en başarılı modellerin sırasıyla 7, 15 ve 13 nolu modeller olduğu ve birinci grupta yer aldığı görülmektedir. Model 20, 21, 25, 5, 11, 17, 24 ise üçüncü grupta yer almaktadır. Model 1, 2, 3 ve 19 ise en başarısız modeller olarak dördüncü gruba oluşturmıştır. Diğer modeller ise ikinci grupta yer almaktadır. Bu sonuçlardan da görüleceği gibi, model geliştirme ve model test verileri için yapılan tüm değerlendirmelerde 7 ve 15 nolu modellerin diğer modellere göre daha başarılı modeller olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak; model 7 (Schumacher-Hall, 1933) gerek çok bilinen ve yaygın olarak kullanılan bir model olması, gerekse model 15'e göre daha kolay kullanılacak bir model olması nedeniyle Batı Akdeniz Yöresi doğal sedir meşcerelerinde tek ağaç ve buna bağlı olarak meşcere hacimlerinin tahmin edilmesi gerektiğinde kullanılacak bir modeldir.

Her iki veri seti içinde yapılan değerlendirmeler ışığında, en başarılı modellerin 7 ve 15 nolu modeller olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar ışığında, tüm veri seti için 7 ve 15 nolu modeller yeniden çözülmüş ve sırasıyla aşağıdaki katsayılar elde edilmiştir. 7 nolu model için katsayılar, $\beta_0=0.000063$, $\beta_1=1.752831$ ve $\beta_2=1.088602$; 15 nolu model için ise, $\beta_0=23540.17$, $\beta_1=157.9884$ 'dir. 7 nolu model için tüm veri seti kullanılarak elde edilen katsayılar kullanılarak Batı Akdeniz Yöresi doğal sedir meşcereleri için çift girişli ağaç hacim tablosu düzenlenmiş ve Çizelge 9'da verilmiştir. Bu çizelge kullanılarak, göğüs çapı 8-60 cm ve ağaç boyu 8-30 m arasında değişen ağaçların dikili gövde hacim değerleri m^3 olarak bulunabilmektedir.

Çizelge 4. Ağaç hacim fonksiyonlarına ilişkin parametre tahminleri

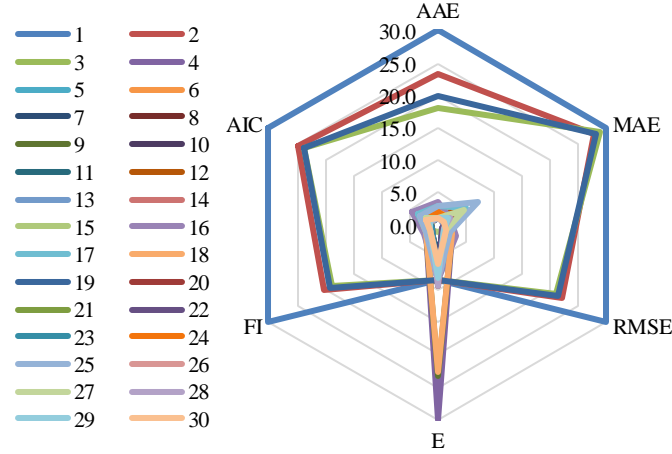
Model No	Katsayılar					D.F
	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	
1	-0.8255 ****	0.048992 ****				
2	-0.9549 ****	0.03424 ****	0.03340 ****			
3	0.02542 NS	-0.01274 *	0.001022 ****			
4	0.000034 ****					
5	0.02354 ***	0.000033 ****				
6	-0.07801 **	1.63×10^{-6} NS	0.008744 ****	0.00003 ****		
7	0.00006 ****	1.773424 ****	1.100861 ****			
8	-0.0219 NS	0.00008 ****	1.722543 ****	1.066532 ****		
9	71.66391 NS	28065.27 ****				
10	-0.02724 NS	0.00032 **	2.421576 ****	-0.00026 NS	3.118315 ****	
11	0.22993 NS	-0.01384 NS	0.000136 NS	-0.02498 **	0.00173 **	9.30×10^{-6} NS
12	-0.0371 NS	0.000345 ****	-0.00026 NS	0.000033 *	1.92×10^{-7} *	
13	0.01845 **	0.00004 ****	0.159969 ****			
14	-0.0772 ****	0.00003 ****	0.008709 ****			
15	24190.31 ****	136.8592 ****				
16	0.009035 NS	0.00034 ****	8.05×10^{-7} ****			
17	-0.19473 ****	0.015114 ****	0.00006 NS	8.60×10^{-7} ****		
18	0.00003 ****	0.000032 ****				
19	-0.15584 ****	0.00082 ****				
20	-0.00008 NS	0.000041 ****	5.27×10^{-7} **	0.000083 NS	0.000018 NS	
21	-0.1429 ****	0.013586 ****	0.000328 ****	0.00004 ****		
22	0.060823 NS	0.000052 ****	-2.8×10^{-7} ****	-9.8×10^{-8} *	-0.0055 NS	
23	-0.00096 NS	0.000042 ****	-2.5×10^{-7} **	1.29×10^{-7} NS	-0.00121 NS	
24	-0.12352 ****	0.001464 ****	-0.00004 ****	9.78×10^{-7} ****		
25	-0.23839 ****	0.017774 ****	5.11×10^{-6} NS	7.75×10^{-7} ****		
26	-9.98869 ****	1,86939 ****	1,056201 ****			0.0044
27	-9.96731 ****	2.75324 ****	-0.13174 *	-0.0186 NS	0.191708 **	0.0043
28	-10.132 ****	1.92447 ****	1.053016 ****	-0.00003 NS		0.0044
29	-10.0519 ****	1.88481 ****	1.064076 ****	-5.62E-7 NS		0.0044
30	-9.97642 ****	1.868231 ****	1.052429 ****	2.03E-7 NS		0.0044

D.F: Düzeltme Faktörü; NS= $p > 0.05$; *= $p < 0.05$; **= $p < 0.01$; ***= $p < 0.001$; ****= $p < 0.0001$

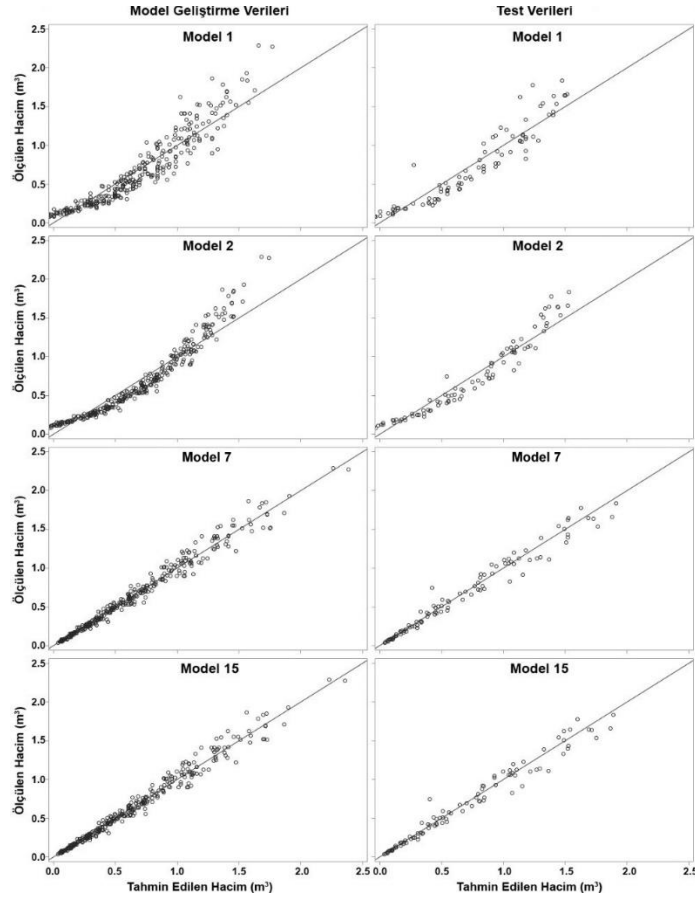
Diğer taraftan, ilgi model ile elde edilen sonuçlar, Evcimen (1963) tarafından geliştirilen çift girişli ağaç hacim denklemi sonuçları ile bağımsız veri seti kullanılarak karşılaştırılmıştır. Şekil 5'ten de görüleceği gibi her iki model de, özellikle 10-20 cm arasındaki göğüs çapı değerleri için oldukça yakın sonuçlar üretmiştir. Ancak, özellikle 30 cm ve daha yukarı göğüs çapı değerleri için Evcimen (1963) tarafından geliştirilen modelin daha yüksek

hacim hatası değerleri ürettiği ve buna bağlı olarak da daha yüksek hata varyansına sahip oldukları söylenebilir.

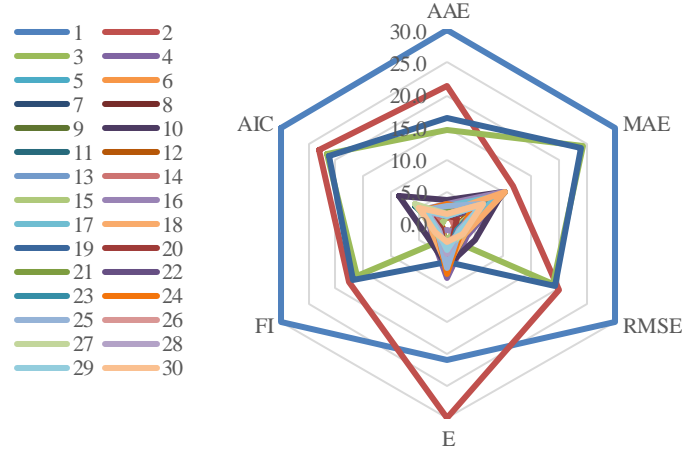
Sedir ağaç türü için elde edilen en başarılı model olan Schumacher-Hall (1933) modelinin, bölgesel olarak kullanılabilirliğinin denetimi için, kontrol verileri kullanılarak yapılan "Eşlendirilmiş t-testi" sonuçlarına göre de, geliştirilen hacim denkleminin $p > 0.05$ önem düzeyinde güvenle kullanılacağı sonucuna varılmıştır.



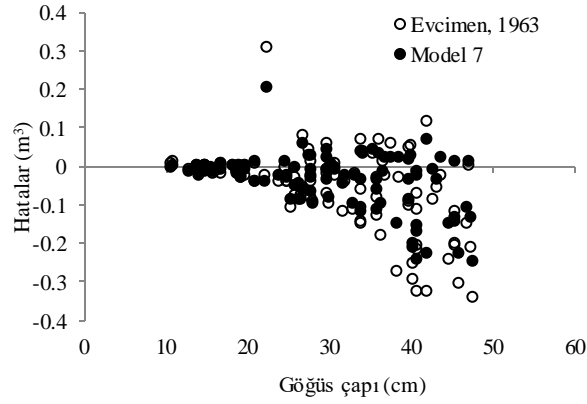
Şekil 2. Model geliştirme verileri için modellerin altı ölçüte göre rölatif sıralarının radar grafiği



Şekil 3. En başarılı (7 ve 15) ve en başarısız (1 ve 2) modeller için ölçülen hacim değerlerine karşı tahmin edilen hacimlerin dağılımı



Şekil 4. Model test verileri için modellerin altı ölçüte göre rölatif sıralarının radar grafiği



Şekil 5. İki farklı hacim denklemi ile elde edilen sonuçlarının karşılaştırılması

Çizelge 5. Model geliştirme verileri için elde edilen ölçüt değerleri

Model No	AAE	MAE	RMSE	E	FI	AIC
1	0.1263	0.6320	0.1628	0.0000	0.8784	-596.9211
2	0.1079	0.6077	0.1376	0.0000	0.9133	-650.4371
3	0.0922	0.6180	0.1339	0.0000	0.9179	-659.5014
4	0.0473	0.2813	0.0719	0.0085	0.9762	-869.2036
5	0.0473	0.2936	0.0706	0.0000	0.9771	-873.2452
6	0.0453	0.2941	0.0679	0.0000	0.9789	-882.1123
7	0.0444	0.2857	0.0672	-0.0017	0.9793	-887.5259
8	0.0445	0.2891	0.0671	0.0000	0.9795	-886.3461
9	0.0468	0.2925	0.0717	0.0058	0.9764	-868.1636
10	0.0471	0.2938	0.0691	0.0000	0.9783	-874.6333
11	0.0440	0.2868	0.0668	0.0000	0.9798	-883.6097
12	0.0458	0.3185	0.0688	0.0000	0.9785	-876.1430
13	0.0450	0.2724	0.0682	0.0000	0.9787	-882.7907
14	0.0453	0.2938	0.0678	0.0000	0.9789	-884.6163
15	0.0454	0.3024	0.0676	-0.0030	0.9790	-887.5914
16	0.0511	0.2890	0.0745	0.0000	0.9746	-853.6080
17	0.0497	0.3248	0.0716	0.0000	0.9766	-864.9145
18	0.0468	0.2900	0.0718	0.0056	0.9764	-867.9302
19	0.0976	0.6108	0.1350	0.0000	0.9163	-658.7347
20	0.0442	0.2967	0.0670	0.0003	0.9796	-884.4938
21	0.0453	0.2825	0.0678	0.0000	0.9790	-882.9303
22	0.0441	0.2886	0.0668	0.0000	0.9797	-885.7789
23	0.0444	0.2850	0.0670	0.0000	0.9796	-884.5543
24	0.0472	0.2840	0.0691	0.0000	0.9782	-876.6544
25	0.0492	0.3515	0.0713	0.0000	0.9768	-865.9703
26	0.0446	0.2746	0.0683	-0.0009	0.9787	-882.5021
27	0.0442	0.3177	0.0685	-0.0008	0.9787	-877.5027
28	0.0443	0.2868	0.0673	0.0003	0.9793	-885.2888
29	0.0443	0.2842	0.0676	-0.0002	0.9791	-883.5452
30	0.0447	0.2740	0.0685	-0.0010	0.9786	-879.2667

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

Model No	Nispi Sıralama						Sıra Toplamları	Genel Sıralama
	AAE	MAE	RMSE	E	FI	AIC		
1	30.000	30.000	30.000	8.590	30.000	30.000	158.590	30.000
2	23.498	28.036	22.406	8.590	20.009	24.661	127.199	23.899
3	17.986	28.866	21.283	8.590	18.687	23.756	119.168	22.338
4	2.164	1.713	2.555	30.000	2.024	2.835	41.290	7.204
5	2.136	2.709	2.162	8.590	1.759	2.431	19.788	3.025
6	1.443	2.751	1.348	8.590	1.232	1.547	16.911	2.466
7	1.136	2.071	1.138	4.421	1.128	1.007	10.900	1.298
8	1.175	2.347	1.088	8.589	1.080	1.124	15.404	2.173
9	1.977	2.619	2.492	23.177	1.964	2.938	35.168	6.014
10	2.080	2.726	1.691	8.590	1.416	2.293	18.795	2.832
11	1.000	2.157	1.010	8.590	1.000	1.397	15.154	2.125
12	1.620	4.716	1.596	8.590	1.360	2.142	20.025	3.071
13	1.353	1.000	1.431	8.590	1.299	1.479	15.152	2.124
14	1.436	2.725	1.317	8.590	1.233	1.297	16.597	2.405
15	1.473	3.419	1.257	1.000	1.215	1.000	9.364	1.000
16	3.477	2.335	3.330	8.590	2.474	4.391	24.596	3.960
17	2.989	5.220	2.443	8.590	1.892	3.262	24.397	3.921
18	1.990	2.421	2.508	22.716	1.973	2.962	34.570	5.898
19	19.872	28.283	21.622	8.590	19.156	23.833	121.356	22.764
20	1.059	2.960	1.079	9.335	1.057	1.309	16.799	2.444
21	1.437	1.815	1.298	8.590	1.203	1.465	15.808	2.252
22	1.019	2.305	1.000	8.590	1.012	1.181	15.106	2.116
23	1.115	2.013	1.075	8.590	1.055	1.303	15.151	2.124
24	2.130	1.937	1.690	8.590	1.434	2.091	17.872	2.653
25	2.827	7.380	2.374	8.590	1.850	3.157	26.178	4.267
26	1.198	1.173	1.449	6.378	1.310	1.508	13.014	1.709
27	1.073	4.648	1.511	6.559	1.310	2.007	17.107	2.504
28	1.081	2.161	1.152	9.237	1.118	1.230	15.979	2.285
29	1.098	1.948	1.260	8.038	1.181	1.404	14.927	2.081
30	1.224	1.123	1.526	6.054	1.337	1.831	13.094	1.724

Çizelge 7. Model test verileri için elde edilen ölçüt değerleri

Model No	AAE	MAE	RMSE	E	FI	AIC
1	0.1410	0.5413	0.1755	0.0097	0.8814	-166.5545
2	0.1166	0.3900	0.1458	0.0208	0.9189	-182.6854
3	0.0968	0.4924	0.1418	-0.0136	0.9233	-185.4353
4	0.0618	0.3762	0.0961	-0.0060	0.9641	-227.5723
5	0.0625	0.3616	0.0935	-0.0133	0.9663	-228.2873
6	0.0608	0.3008	0.0899	-0.0086	0.9695	-228.1154
7	0.0599	0.3257	0.0901	-0.0113	0.9690	-229.8723
8	0.0596	0.3260	0.0901	-0.0087	0.9693	-227.8288
9	0.0613	0.3761	0.0953	-0.0081	0.9650	-226.3509
10	0.0667	0.3742	0.1003	-0.0085	0.9624	-215.3460
11	0.0592	0.3548	0.0922	-0.0099	0.9686	-221.6141
12	0.0585	0.3349	0.0888	-0.0092	0.9705	-227.2401
13	0.0625	0.3300	0.0924	-0.0113	0.9674	-227.3998
14	0.0609	0.3008	0.0894	-0.0087	0.9695	-230.5994
15	0.0589	0.3439	0.0893	-0.0130	0.9693	-232.7282
16	0.0648	0.3759	0.0954	-0.0152	0.9653	-224.2461
17	0.0635	0.3663	0.0932	-0.0102	0.9672	-224.5578
18	0.0611	0.3766	0.0952	-0.0084	0.9650	-226.4316
19	0.1029	0.4908	0.1431	-0.0091	0.9211	-186.5129
20	0.0589	0.3077	0.0897	-0.0083	0.9700	-226.2829
21	0.0617	0.3414	0.0923	-0.0089	0.9679	-225.5269
22	0.0591	0.3316	0.0911	-0.0098	0.9690	-224.7447
23	0.0589	0.3449	0.0911	-0.0096	0.9690	-224.7711
24	0.0644	0.3281	0.0925	-0.0069	0.9677	-225.3159
25	0.0641	0.3460	0.0924	-0.0079	0.9678	-225.4116
26	0.0603	0.3456	0.0937	-0.0128	0.9666	-226.0818
27	0.0604	0.3438	0.0944	-0.0124	0.9667	-221.2721
28	0.0592	0.3450	0.0914	-0.0105	0.9685	-226.4223
29	0.0595	0.3444	0.0923	-0.0114	0.9678	-225.4684
30	0.0605	0.3459	0.0945	-0.0131	0.9663	-223.2121

4. Sonuçlar ve öneriler

Bu çalışmada; Batı Akdeniz yöresi doğal sedir meşcereleri için hacim denklemleri geliştirilmiştir. Bu amaçla seçilen farklı formlardaki 30 adet hacim denklemi, altı farklı ölçüt değeri kullanılarak test edilmiştir. Yörede 429 örnek ağaç ölçülmüş, bu ağaçların tesadüfi olarak yaklaşık %75'i (329 ağaç) model geliştirmek ve geri kalan yaklaşık %25'lik kısım (98 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 7 (Schumacher-Hall, 1933) ve 15 (Takata, 1958) nolu modeller ile elde edilmiştir. Benzer sonuçlar tüm veri setini için yapılan değerlendirmelerde de ortaya çıkmıştır.

Ancak 7 nolu model; yaygın olarak kullanılması, çok bilinen bir model olması, bu model yardımı ile ağaç hacim tahminlerinin daha kolay yapılabilir olması ve diğer çalışmalarında elde edilen sonuçlarla karşılaştırma yapılabilme imkânı sağlaması nedeniyle 15 nolu modele tercih edilmiştir. 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 kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Sedir 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. Örneğin 47 cm göğüs çapına ve 19 m boya sahip bir sedir ağacının gövde hacmini bulmak istendiğinde, en uygun model olan 7 nolu modelin tüm veri seti için elde edilen katsayıları, ilgili ağacın göğüs çapı ve boy değerleri ilgili denkleminde yerine konularak gövde hacmi m^3 olarak tahmin edilmelidir. Bu amaçla aşağıdaki işlemin yapılması yeterlidir. Bu işlem ile gövde hacmi $V = 0.00006 * 47^{1.752831} * 19^{1.088602} = 1.3253 m^3$ olarak bulunur.

Çalışmada geliştirilen ve sedir ağaç hacim tahminleri için önerilen 7 nolu hacim denklemi ile ilgili ağaç türü için Evcimen (1963) tarafından geliştirilen çift girişli hacim denklemi karşılaştırılmış ve Evcimen (1963) denkleminin daha yüksek hacim hatası verdiği görülmüştür. Özellikle hata miktarı kalın çap sınıflarında daha da yüksektir.

Sonuç olarak; Schumacher-Hall (1933) modeli ve elde edilen katsayılar kullanılarak, Batı Akdeniz Yöresi doğal sedir 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 gerçeğe daha yakın hacim tahminleri yapılabilmesi için daha yararlı olacaktır.

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan veriler, SDÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen olan BAP-4672-YL1-16 no'lu "Batı Akdeniz Yöresi Doğal Sedir (*Cedrus libani* A. Rich) 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.
- Bailey, R.L., 1995. Upper stem volumes from stem analysis data: an overlapping bolts method. *Can. J. For. Res.*, 26(1): 170-173.
- Baskerville, G.L., 1972. Use of logarithmic regression in the estimation of plan biomass. *Canadian Journal of Forest Research*, 2:49-53.
- 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.
- Boydak, M., 2003. Regeneration of Lebanon cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) on karstic lands in Turkey. *Forest Ecology and Management*, 178: 231-243.
- 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.
- Burk, T. E., 1989. Individual Tree volume equations for The Northeastern United States: Evaluation and new form quotient board foot equations. *Northern Journal of Applied Forestry*, 6(1):27-31.
- Burkhart, H.E., Tome, M., 2012. *Modeling forest trees and stands*. Springer, Dordrecht.
- 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.
- 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*, 66-808.
- de-Miguel, S., L. Mehtatalo, Z. Shater, B. Kraid, T. Pukkala., 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.

- Evcimen, B.S., 1963. Türkiye Sedir ormanlarının ekonomik önemi, hasılat ve amenajman esasları. Orman Genel Müdürlüğü Yayını, İstanbul.
- Fang, Z., Borders, B.E., Bailey, R.L., 2000. Compatible volume taper models for loblolly and slash pine based on system with segmented-stem form factors. *Forest Science*, 46: 1-12.
- Fowler, G.W., 1997. Individual tree volume equations for Red Pine in Michigan. *Northern Journal of Applied Forestry*, 14:53-58.
- Gomez-Garcia, E., Crecente-Campo, F., Barrio-Anta, M., Dieguez-Aranda, U., 2015. A disaggregated dynamic model for predicting volume, biomass and carbon stocks in even-aged pedunculate oak stands in Galicia (NW Spain). *European Journal of Forest research*, 134: 569-583.
- 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.
- Husch, B., Beers, T.W., Kershaw, T.A., 2003. *Forest mensuration*, Wiley 4, New York.
- Jiang, L., Brooks, J.R., Wang, J., 2005. Compatible taper and volume equations for yellow-poplar in West Virginia. *Forest Ecology and Management*, 213: 399-409.
- 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.
- 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.
- Özçelik, R., 2008. Comparison of formulae for estimating tree bole volumes of *Pinus sylvestris*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 23: 412-418.
- Özkurt, A., 2000. Okaliptüs (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden) için hacim tablosu. *Doğu Akdeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 6: 87-105.
- 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 taperequations for *P. taeda* (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.*, 47: 1-17.
- 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., 2005. Kastamonu-Bostan yöresi Uludağ Göknarı meşcerelerinde gövde profili denklemleriyle biyokütle miktarının belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Kastamonu Orman Fakültesi Dergisi*, 5(1): 7-22.
- Saraçoğlu, N., 1988. Kızılağaç (*Alnus glutinosa* Gaertn subsp. Barbata (C.A. Mey.) Yalt.) gövde hacim ve biyokütle tablolarının düzenlenmesi. *Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon*.
- Schumacher, F.X., Hall, F.D.S., 1933. Logarithmic expression of timber-tree volume. *J. Agric. Res.*, 47: 719-734.
- Scott, C.T., 1981. Northeastern forest survey revised cubic-foot volume equations. *USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Research Note NE-304*.
- 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.
- Van Larr, A., Akça, A., 1997. *Forest mensuration*. Cuvillier Verlag, Göttingen.
- Yavuz, H., 1999. Taşköprü yöresinde Karaçam için hacim fonksiyonları ve hacim tabloları. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23: 1181-1188.