



Adana-Kozan yöresi Sedir meşcereleri için ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi

Serkan Boz ¹, Fadime Sağlam ^{1*}

¹Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Kastamonu, Türkiye

MAKALE KÜNYESİ

Geliş Tarihi: 24/03/2025

Kabul Tarihi: 08/05/2025

<https://doi.org/10.53516/ajfr.1664236>

*Corresponding author:

fsaglam@kastamonu.edu.tr

ÖZ

Giriş ve Hedefler Bu çalışma, Adana-Kozan yöresinde bulunan sedir meşcereleri için ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesini amaçlamaktadır.

Yöntem Çalışma kapsamında, 105 örnek ağaçtan elde edilen veriler kullanılarak 4 adet tek girişli ve 7 adet çift girişli olmak üzere toplam 11 adet ağaç hacim denklemi geliştirilmiştir. Modellerin başarıları; belirtme katsayısı (R^2), ortalama hata (OH), ortalama mutlak hata (OMH), hata kareler ortalamasının karekökü (HKOK), ortalama mutlak hata yüzdesi (OMHY) ve toplam hata yüzdesi

(THY) kullanılarak değerlendirilmiş ve en uygun modeller belirlenmiştir.

Bulgular Yapılan değerlendirmeler sonucunda, tek girişli denklemlerden Model 4'ün ($R^2=0,958$), çift girişli denklemlerden ise Model 6'nın ($R^2=0,989$) en başarılı tahminleri sunduğu ortaya konulmuştur. Geliştirilen denklemlerden çift girişli denklemlerin genel olarak daha yüksek R^2 değerine ve daha düşük hata istatistiklerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, geliştirilen çift girişli ağaç hacim denklemlerinden elde edilen tahminlerle literatürde yer alan mevcut çalışmalarla elde edilen tahminlerin karşılaştırılması sonucunda, Model 6'nın daha düşük tahmin hatalarına sahip olduğu görülmüştür. Elde edilen bulgular, çift girişli modellerin sedir ağaçlarının hacmini tahmin etmede daha güvenilir sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bununla birlikte, maliyet ve zaman açısından kısıtlamaların bulunduğu uygulamalarda tek girişli modellerin de tercih edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Sonuçlar Bu çalışma sonucunda elde edilen tek ve çift girişli denklemler, Adana-Kozan yöresi sedir meşcereleri için güvenilir gövde hacim tahminlerine olanak sağlayacak ve böylece ilgili yörede gerçekleştirilecek ormancılık faaliyetlerine olumlu katkılar sunacaktır.

Anahtar Kelimeler: Gövde hacmi, ağaç hacim tabloları, *Cedrus libani*, Doğu Akdeniz Bölgesi

Development of tree volume equations for Cedar stands in Adana-Kozan region

ABSTRACT

Background and Aims This study aims to develop tree volume equations for cedar stands in the Adana-Kozan region.

Methods In this context, a total of 11 different models, including single-entry and double-entry models, were developed using data obtained from 105 sample trees. The models were evaluated based on statistical criteria, including the coefficient of determination (R^2), mean error (ME), mean absolute error (MAE), root mean square error (RMSE), mean absolute percent error (MAPE), and total percent error (TPE) to determine the most suitable models.

Results As a result of these evaluations, Model 4 ($R^2=0.958$) was identified as the most successful among the single-entry models, while Model 6 ($R^2=0.989$) was determined to be the best-performing double-entry model. It was observed that double-entry models generally exhibited higher R^2 values and lower error statistics. Furthermore, a comparison of the developed double-entry models with previous studies revealed that Model 6 had lower prediction errors. The findings indicate that double-entry models provide more reliable estimates for predicting the volume of cedar trees. However, in practical applications where cost and time constraints are critical, single-entry models may also be preferred.

Conclusions This study provide accurate volume estimation equations for cedar stands in the Adana-Kozan region, contributing to regional forestry management.

Key Words: Stem volume, tree volume tables, *Cedrus libani*, Eastern Mediterranean region

Bu makaleye atıf:

Boz, S., Sağlam, F., 2025. Adana-Kozan yöresi Sedir meşcereleri için ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 11(1), 121-128.



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 International Licence.

1. Giriş

Orman işletmelerindeki işletme sermayesinin temel unsurlarından biri olan dikili ağaç serveti, meşcerede dikili halde bulunan ağaçların toplam hacimlerini ifade etmekte olup, meşcerelerin büyüme ve artım tahminleri ile biyokütle ve karbon birikim miktarlarının tahmininde, ormanların çeşitli fonksiyonlarının (ekonomik, ekolojik ve sosyal) kararlaştırılmasında, planlama faaliyetleri ile orman ürünleri üretim ve pazarlama faaliyetlerinin düzenlenmesinde faydalanan önemli bir meşcere özelliğidir (Yavuz, 1999; Kapucu, 2004; Dieguez-Aranda vd. 2006; Crecente-Campo vd., 2009; de-Miguel vd., 2012; Castedo-Dorado vd., 2012; Özçelik ve Çevlik, 2017, Sakıcı vd., 2018).

Ağaçların gövdeleri silindirik vb. geometrik şekillere tam olarak benzememektedir. Bu sebeple tek ağaçların hacimlerinin ve bu ağaçların hacimlerinin toplanmasıyla elde edilecek meşcere hacminin tahmininde bu geometrik şekillere ilişkin hacim formülleri kullanılamamaktadır. Ağaçlar kesilmeden hacimlerini hesaplamak amacıyla çeşitli yöntemler geliştirilmektedir. Dikili ağaçların gövde hacim tahminine olanak sağlayan bu yöntemler arasında en yaygın olanı ağaç hacim denklemleri ve tablolarıdır (Fırat, 1973; Kalıpsız 1984; Bozkuş ve Carus, 1997; Van Laar ve Akça, 1997; Yavuz ve Sakıcı, 2002; Özçelik, 2010).

Ağaç hacim tablolarının düzenlenmesinde kullanılan ağaç hacim denklemleri, hesaplanması daha zor olan gövde hacmi ile nispeten kolay ölçülebilen göğüs çapı ve ağaç boyu gibi ağaç özellikleri arasındaki ilişkilere bağlı olarak geliştirilmektedirler. Kullanılan bağımsız değişken sayısına göre ağaç hacim denklemleri üç grupta incelenmektedir. Sadece göğüs çapına bağlı olarak geliştirilen denklemler tek girişli, göğüs çapı ile birlikte ağaç boyuna bağlı olarak geliştirilen denklemler çift girişli ve bu iki bağımsız değişkene ek olarak herhangi bir gövde çapı ya da şekil katsayısı gibi üçüncü ya da daha fazla sayıda değişkene bağlı olarak geliştirilen denklemler ise çok girişli ağaç hacim denklemleri olarak isimlendirilmektedir. Ağaç hacim denklemleri, geçerli oldukları alanın büyüklüğüne göre yapılan sınıflandırmaya göre ise yöresel, bölgesel ve genel ağaç hacim denklemleri olarak isimlendirilmektedir (Loetsch vd., 1973; Kalıpsız, 1984; Philip, 1994; Mısır ve Mısır, 2004; Köhl vd., 2006; Van Laar ve Akça, 2007).

Orman envanter çalışmaları, tek ağaç ve meşcere hacimlerinin belirlenmesindeki en önemli aşamayı oluşturmaktadır. Bu aşamada, tek ağaç hacimlerinin ya da meşcere ağaç servetinin belirlenmesinde genellikle ağaç hacim tabloları veya ağaç hacim denklemleri tercih edilmektedir. Ancak Türkiye gibi tür çeşitliliği ve yetişme ortamı koşullarına ilişkin farklılıkların oldukça fazla olduğu yerlerde, her ağaç türü ile bu türlerin farklı yetişme ortamları için uygun hacim denklemleri mevcut değildir. Bu sebeple, güvenilir ve doğru hacim tahminleri için her ağaç türü ve farklı yetişme ortamları için hacim denklemlerinin geliştirilmesi üzerine yapılacak çalışmalar önem arz etmektedir (Çevlik, 2017).

Toros sediri (*Cedrus libani* A. Rich.) hem ekolojik hem de ekonomik bakımdan Türkiye'deki en değerli ağaç türlerinden biridir. Bu tür, doğal olarak yayılış gösterdiği Suriye ve Lübnan'da kontrolsüz kesim, aşırı otlama ve yangın gibi etkenler nedeniyle neredeyse yok olma noktasına gelmiş ve yayılış alanı büyük ölçüde ülkemizle sınırlı kalmıştır (Boydak,

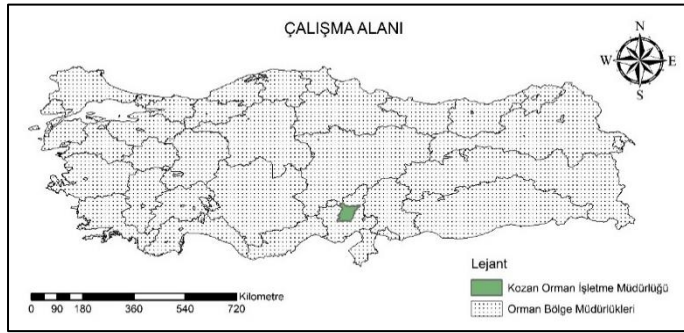
2003). Bu sebeple, ülkemiz açısından oldukça önemli doğal miras olan sedir ormanları ekolojik değerler ve tarihi öneme sahip alanlar arasında yer almaktadır. Sedir ormanları, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin hafifletilmesi, su ve toprak kaynaklarının korunması ve bu değişime uyum sağlanması ile biyolojik çeşitliliğin devamlılığı açısından kritik bir rol üstlenmektedir. Öte yandan, sedir ağacı yüksek kaliteli ve çok amaçlı kullanım imkânı sunan odunu nedeniyle ekonomik açıdan da büyük bir öneme sahiptir ve piyasada yoğun talep görmektedir. Bu doğrultuda, sedir ormanlarının hem korunması hem de sürdürülebilir bir şekilde işletilmesi için uzun vadeli planlamalar yapılması gerekmektedir. Bu süreçte, mevcut durumun belirlenmesi ve büyüme-gelişme özelliklerine dair güvenilir bilimsel verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Ağaç hacminin belirlenmesi de bir türün büyüme ve gelişimine dair en önemli göstergelerdendir. 2012 yılına ait orman envanter verilerine göre, sedir ağaç türü Türkiye'de yaklaşık 463.500 hektarlık bir alanda yayılış yapmakta olup, bu sahalardaki toplam dikili serveti yaklaşık 27 milyon m³ dolayındadır (Özçelik ve Çevlik, 2017). Bu orman alanlarının çoğunluğu Akdeniz Bölgesi içerisinde yer almaktadır. Adana il sınırları içerisinde bulunan Kozan yöresi de sedir meşcerelerinin yayılışı bakımından önemli bir yere sahiptir.

Türkiye'de çeşitli ağaç türleri için ağaç hacim denklemleri ve tabloları geliştirilmiştir (Eraslan, 1954; Gülen, 1959; Evcimen, 1963; Alemdağ, 1962; 1967; Akalp, 1978; Sun vd., 1978; Asan, 1984; Saraçoğlu, 1991; Çalışkan ve Yeşil, 1996; Bozkuş ve Carus, 1997; Özkurt, 2000; Sakıcı ve Yavuz, 2003; Mısır ve Mısır, 2004; Durkaya ve Durkaya, 2006; Ercanlı vd., 2008; Özçelik, 2010; Carus vd., 2016; Kahrman vd., 2017; Özçelik ve Çevlik, 2017; Çatal ve Güneş, 2018; Sakıcı vd., 2018; Şahin vd., 2018; Şenyurt ve Ümit, 2019; Özçankaya vd., 2021; Ölmez ve Şenyurt, 2022; Baytaş ve Seki, 2023; Sönmez vd., 2023; Şahin ve Ercanlı, 2023; Bolat, 2024; Zaifoğlu ve Sağlam, 2024). Bu çalışmalardan Evcimen (1963), Bozkuş ve Carus (1997), Özçelik (2010) ve Özçelik ve Çevlik (2017) tarafından yapılan çalışmalar sedir meşcereleri için gerçekleştirilmiştir.

Türkiye'de yayılış gösteren sedir ağaç türünün gelişimi topografik, iklimatik ve yetişme ortamı koşulları açısından farklılıklar göstermektedir. Pillsbury vd. (1995) ve Özçelik (2010), bir ağaç türüne ait ağaç hacim denkleminin aynı türün farklı yetişme ortamı koşullarındaki meşcerelerinde kullanılması ile hacim tahminlerinde önemli hatalara neden olabileceğini ifade etmektedir. Bu nedenle, imkanlar ölçüsünde farklı yetişme ortamı koşullarına sahip meşcereler için farklı ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi önerilmektedir (Brooks ve Wiant, 2008). Bu çalışmanın amacı, Kozan yöresi sedir meşcereleri için hacim tahminlerinde kullanılacak tek ve çift girişli hacim denklemlerinin geliştirilmesidir. Bu amaçla literatürde sıklıkla kullanılan ağaç hacim denklemleri seçilerek, model geliştirme veri grubu kullanılarak modeller geliştirilmiş ve modellerin ilgili yöre için geçerlilikleri ise kontrol amacıyla ayrılan veri grubu yardımıyla test edilmiştir. Bu amaçla yöre için en uygun ve en başarılı tahminleri veren denklemler belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun yanında, geliştirilen ağaç hacim denklemleri kullanılarak tahmin edilen gövde hacimleri ile literatürde yer alan hacim denklemlerinden tahmin edilen gövde hacimleri karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

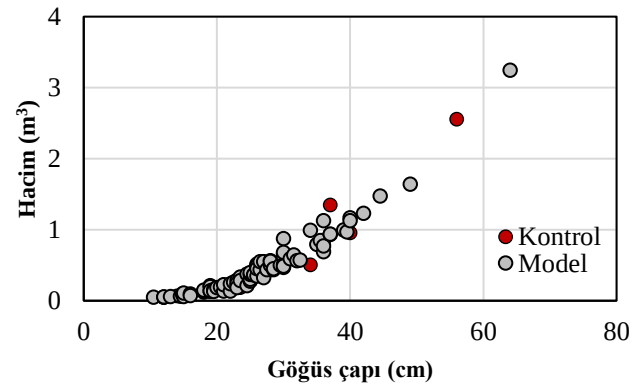
Çalışma kapsamında ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi için kullanılan veriler Kozan Orman İşletme Müdürlüğü'nden elde edilmiştir. Adana Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı olan Kozan Orman İşletme Müdürlüğü, 88.086 ha normal kapalı ve 21.660 ha boşluklu kapalı olmak üzere toplam 109.746 ha ormanlık alana sahiptir (Şekil 1). Yöresel ağaç hacim denklemlerinin oluşturulabilmesi için gerekli örnek ağaç sayısının 50 ile 100 arasında olması gerektiği çeşitli kaynaklarda belirtilmiştir (Kapucu vd., 2002). Bu doğrultuda, bu çalışmada 105 örnek ağaç üzerinde ölçümler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı

Kozan yöresi sedir meşcereleri için ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi amacıyla alınan örnek ağaçların olabildiğince farklı yetiştirme ortamı koşullarına dağıtımı sağlanmaya çalışılmış ve seçilen örnek ağaçlar kesilerek gerekli ölçümler yapılmıştır. Örnek ağaçların dip kütük (0,30 m) çapları ve göğüs yüksekliği çapları (D , cm) ölçülmüş ve ardından 1,30 m yüksekliğinden tepe ucuna kadar 1 m aralıklarla gövde çapları (D_i , cm) ölçülmüştür. Çap ölçümleri 0,1 cm duyarlılıkla ve

çapölçer ile gerçekleştirilmiştir. Örnek ağaçların boylarının (H , m) ölçümünde ise şeritmetre kullanılmış olup, boy ölçümleri 0,1 m hassasiyetle gerçekleştirilmiştir. Örnek ağaçlara ilişkin gövde hacimlerinin hesaplanmasında Bölümleme Yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde ağaçlar (i) dip kütük, (ii) dip kütük ile uç parça arasında kalan seksiyonlar ve (iii) uç parça olmak üzere üç bölüme ayrılarak tüm bölümler için hacimler ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Bu hesaplamalarda dip kütüğün silindirik, uç parçanın koni şeklinde olduğu varsayılmış, seksiyon hacimlerinin hesaplanmasında ise Smalian denkleminde faydalanılmıştır. Gövde bölümlerine ilişkin hacimlerin toplanması ile de toplam gövde hacimleri belirlenmiştir. Örnek ağaç verileri; (i) ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesinde kullanılan veriler (model veri seti; toplam verinin %80'i) ve (ii) geliştirilen denklemlerin geçerliliklerinin test edilmesinde kullanılan veriler (kontrol veri seti; toplam verinin %20'si) şeklinde iki gruba ayrılmıştır (Şekil 2, Çizelge 1).



Şekil 2. Örnek ağaçların model ve kontrol veri gruplarına dağılımları

Çizelge 1. Hacim denklemlerinin geliştirilmesi ve kontrolü için ayrılan veri setleri ile toplam veri setine ilişkin betimleyici istatistikler

Veri Seti	Değişken	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Model	Göğüs yüksekliği çapı (cm)	84	10,50	64,00	26,69	8,88
	Boy (m)		5,80	25,80	14,00	4,46
	Hacim (m³)		0,05	3,25	0,49	0,46
Kontrol	Göğüs yüksekliği çapı (cm)	21	12,00	56,00	26,69	10,23
	Boy (m)		6,50	25,00	13,13	5,06
	Hacim (m³)		0,04	2,56	0,50	0,57
Toplam	Göğüs yüksekliği çapı (cm)	105	10,50	64,00	26,69	9,11
	Boy (m)		5,80	25,80	13,83	4,57
	Hacim (m³)		0,04	3,25	0,49	0,48

Model verileri kullanılarak literatürde sıklıkla kullanılan ve başarılı tahminler sunan modeller için parametre tahminleri yapılmıştır. Ayrıca, çap ve boy gibi bağımsız değişkenlerden türetilen yeni değişkenler elde edilmiş ve Aşamalı Regresyon Analizi kullanılarak başarılı hacim tahminleri sağlayan modeller geliştirilmiştir. Parametre tahminleri yapılan 4 adet tek ve 7 adet çift girişli olmak üzere toplam 11 model aşağıda sunulmuştur (Çizelge 2).

Çizelge 2. Hacim denklemleri

Model	Matematiksel Form	
Model 1	$V = a + b D$	(1)
Model 2	$V = a D^b$	(2)
Model 3	$V = e^{(a+b/D)}$	(3)
Model 4	$V = (a + b D)^2$	(4)
Model 5	$V = a + b D^2 + c H^2$	(5)
Model 6	$V = a + b D^2 + c H^2 + d D$	(6)
Model 7	$V = a + b D^2 H$	(7)
Model 8	$V = a + b D^2 H + c DH$	(8)
Model 9	$V = a (D^2 H)^b$	(9)
Model 10	$V = a + b D^2 + c D^2 H$	(10)
Model 11	$V = b D^2 H$	(11)

D : Göğüs çapı (cm), H : Ağaç boyu (m)

En başarılı modellerin seçiminde belirtme katsayısı (R^2), ortalama hata (OH), ortalama mutlak hata (OMH), hata kareler ortalamasının karekökü ($HKOK$), ortalama mutlak hata yüzdesi ($OMHY$) ve toplam hata yüzdesi (THY) ölçütleri kullanılmıştır. Ortalama hata, ortalama mutlak hata, hata kareler ortalamasının karekökü, ortalama mutlak hata yüzdesi ve toplam hata yüzdesi ölçütlerinde en düşük değere sahip olan modele 1 sıra numarası; belirtme katsayısı açısından ise en yüksek değere sahip modele 1 sıra numarası verilmiştir. Her bir değerlendirme ölçütü için hacim denklemlerine bahsedilen şekilde sıra numaraları verilmiş ve tüm kriterlerden elde edilen sıra numaralarının toplamı, her bir hacim denkleminin başarı düzeyini belirlemek amacıyla kullanılmıştır. İstatistiksel ölçütlerin yanında grafiksel değerlendirmeler ile modellerin tahmin ve hata dağılımları incelenmiştir. Ardından modellerin geçerlilikleri kontrol için ayrılan veri grubu kullanılarak Eşleştirilmiş örnekler için t -testi yardımıyla test edilmiştir. Bunun yanında, bu çalışma kapsamında Kozan yöresi sedir meşcereleri için geliştirilen modeller ile farklı yörelerde yayılış gösteren sedir meşcereleri için geliştirilmiş literatürdeki farklı denklemlerin gövde hacim tahminleri de karşılaştırılmıştır. İstatistiksel analizler için IBM SPSS Statistics (Versiyon 23.0) programı kullanılmıştır (IBM SPSS, 2015).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(V_i - \hat{V}_i)^2}{\sum(V_i - \bar{V})^2} \quad (12)$$

$$HKOK = \sqrt{\frac{\sum(V_i - \hat{V}_i)^2}{n-p}} \quad (13)$$

$$OH = \frac{\sum(\hat{V}_i - V_i)}{n} \quad (14)$$

$$OMH = \frac{\sum|\hat{V}_i - V_i|}{n} \quad (15)$$

$$OMHY(\%) = \frac{\sum|\hat{V}_i - V_i|}{\sum V_i} \times 100 \quad (16)$$

$$THY(\%) = \frac{\sum \hat{V}_i - \sum V_i}{\sum V_i} \times 100 \quad (17)$$

Burada V_i , $\hat{V}_i$, $\bar{V}$ sırasıyla gözlenen, tahmin edilen ve ortalama hacim değerlerini; p denklemlere ilişkin parametre sayılarını; n toplam gözlem sayısını ifade etmektedir.

3. Bulgular

Yapılan çalışma kapsamında Adana-Kozan yöresi sedir meşcereleri için ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi amaçlanmış ve bu kapsamda 11 adet modele ilişkin parametre tahminleri yapılmıştır (Çizelge 3). Çizelge 3 incelendiğinde özellikle çift girişli modellere ilişkin R^2 değerlerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Model 10 dışındaki diğer tek ve çift girişli modellerin tüm parametreleri istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0,05$).

Geliştirilen modeller arasından en başarılı olanların belirlenmesi amacıyla altı adet istatistiksel ölçüte bağlı olarak değerlendirme yapılmış ve modeller bu ölçütler bakımından sıralanmıştır (Çizelge 4, Çizelge 5). Bu ölçütlerin yer aldığı çizelgeler incelendiğinde tek girişli modellerden Model 4 ve çift girişli modellerden Model 6 öne çıkmıştır. Aynı zamanda belirtme katsayısı ve hata istatistikleri bakımından çift girişli modellerin hacim tahmininde daha başarılı oldukları anlaşılmaktadır.

Modellerin geçerlilikleri, kontrol için ayrılan veri grubu kullanılarak Eşleştirilmiş örnekler için t -testi yardımıyla test edilmiş ve test sonuçları Çizelge 6'da verilmiştir. Çizelge incelendiğinde Model 11 dışındaki tüm modeller için gerçek ve tahmin edilen hacim değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık gözlemlenmemiştir ($p > 0,05$).

En başarılı tek ve çift girişli hacim denklemlerine ait tahmin ve hata dağılımları Şekil 3 ve Şekil 4'te incelenmiştir. Şekiller incelendiğinde tahmin ve hata dağılımlarında herhangi bir trend gözlemlenmediği söylenebilmektedir. Aynı zamanda tek girişli hacim denklemlerine ait hata miktarlarının daha yüksek olduğu ve çift girişli hacim denklemlerinin ise daha güvenilir tahminler sunduğu söylenebilmektedir.

Çizelge 3. Tek ve çift girişli denklemler için R^2 değerleri ile denklem parametreleri

Modeller	R^2	p	a	b	c	d
Model 1	0,881	<0,001	-0,803687	0,048568		
Model 2	0,951	<0,001	0,000066	2,649266		
Model 3	0,901	<0,001	1,334370	-57,542266		
Model 4	0,958	<0,001	-0,181510	0,030932		
Model 5	0,978	<0,001	-0,174301	0,000647	0,000721	
Model 6	0,989	<0,001	0,158162	0,000934	0,001084	-0,023882
Model 7	0,978	<0,001	0,079804	0,000032		
Model 8	0,988	<0,001	-0,033123	0,000021	0,000624	
Model 9	0,987	<0,001	0,000088	0,913682		
Model 10	0,981	<0,001	0,008109 ^{ns}	0,000259	0,000021	
Model 11	0,982	<0,001		0,000034		

^{ns} $p > 0,05$

Çizelge 4. Tek ve çift girişli modellere ilişkin istatistiksel ölçütler

Modeller	R^2	HKOK	OH	OMH	THY	OMHY
Model 1	0,881	0,159	0,000	0,104	-0,004	21,128
Model 2	0,951	0,125	0,002	0,069	0,498	14,091
Model 3	0,901	0,225	-0,045	0,101	-9,157	20,526
Model 4	0,958	0,082	-0,003	0,057	-0,667	11,500
Model 5	0,978	0,068	0,000	0,049	-0,044	9,984
Model 6	0,989	0,048	0,000	0,031	-0,026	6,316
Model 7	0,978	0,069	0,006	0,051	1,241	10,314
Model 8	0,988	0,052	0,004	0,033	0,737	6,602
Model 9	0,987	0,060	0,001	0,035	0,122	7,191
Model 10	0,981	0,064	-0,005	0,044	-0,996	8,983
Model 11	0,982	0,091	-0,047	0,067	-9,638	13,676

R^2 : Belirtme katsayısı, HKOK: Hata kareler ortalamasının karekökü, OH: Ortalama hata, OMH: Ortalama mutlak hata, THY: Toplam hata yüzdesi, OMHY: Ortalama mutlak hata yüzdesi

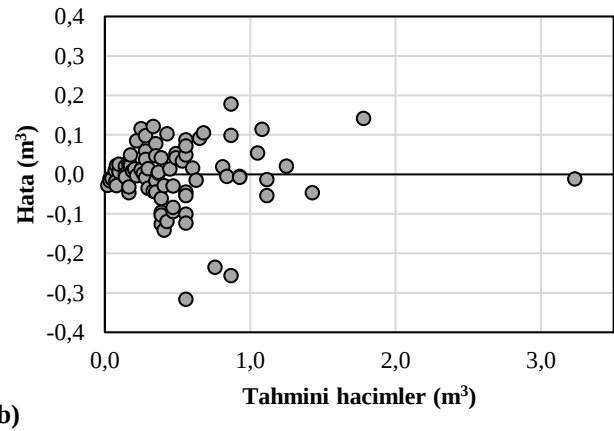
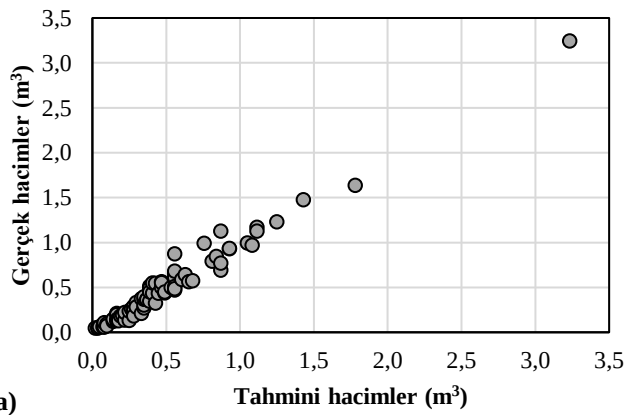
Çizelge 5. Tek ve çift girişli modellere ilişkin sıralama sonuçları

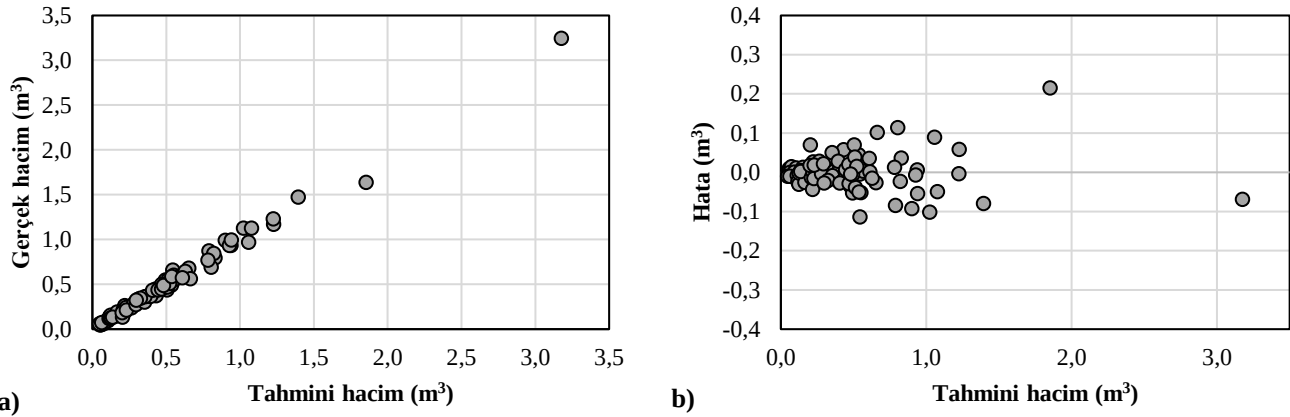
Modeller	R^2	HKOK	OH	OMH	THY	OMHY	Toplam
Model 1	4,0	3,0	1,0	4,0	1,0	4,0	17,0
Model 2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	12,0
Model 3	3,0	4,0	4,0	3,0	4,0	3,0	21,0
Model 4	1,0	1,0	3,0	1,0	3,0	1,0	10,0
Model 5	6,5	5,0	1,5	5,0	2,0	5,0	25,0
Model 6	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0	6,5
Model 7	6,5	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	36,5
Model 8	2,0	2,0	4,0	2,0	4,0	2,0	16,0
Model 9	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	18,0
Model 10	5,0	4,0	5,0	4,0	5,0	4,0	27,0
Model 11	4,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	39,0

Çizelge 6. Tek ve çift girişli modellere ilişkin t-testi sonuçları

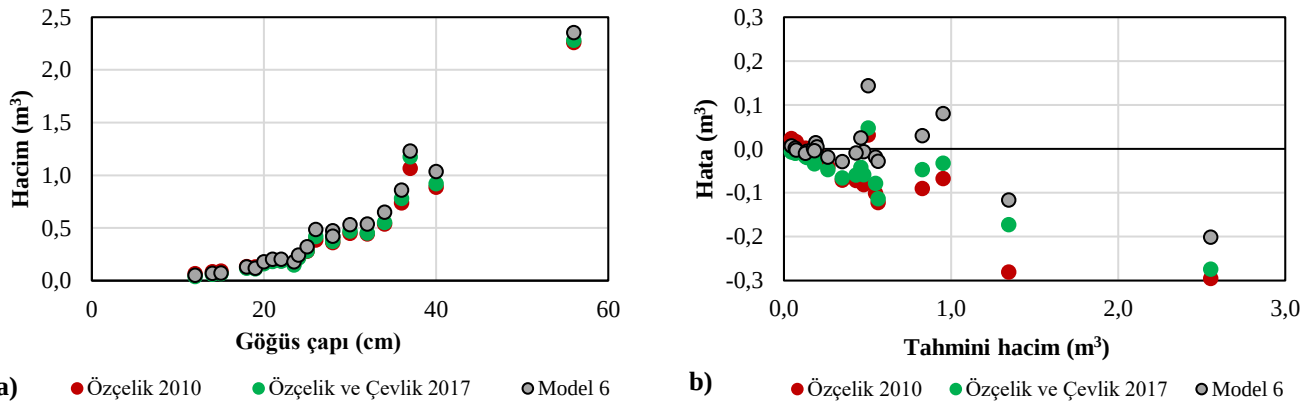
Modeller	Ortalama	Standart Sapma	t	p
Model 1	0,007	0,217	0,143	0,888
Model 2	-0,025	0,132	-0,860	0,400
Model 3	0,051	0,297	0,792	0,438
Model 4	-0,010	0,127	-0,390	0,700
Model 5	0,006	0,105	0,282	0,781
Model 6	0,007	0,065	0,487	0,631
Model 7	-0,008	0,063	-0,551	0,588
Model 8	0,006	0,060	0,488	0,631
Model 9	0,002	0,049	0,182	0,858
Model 10	0,001	0,084	0,035	0,972
Model 11	0,046	0,048	4,367	0,000*

* $p < 0,05$

**Şekil 3.** Tek girişli modele (Model 4) ilişkin a) tahmin ve b) hata grafikleri



Şekil 4. Çift girişli modele (Model 6) ilişkin a) tahmin ve b) hata grafikleri



Şekil 5. Çeşitli çift girişli modeller için a) tahmin ve b) hata grafikleri

Adana-Kozan yöresi sedir meşcereleri için bu çalışma kapsamında geliştirilen çift girişli ağaç hacim denklemi Burdur-Bucak yöresi (Özçelik, 2010) ile Batı Akdeniz yöresi sedir meşcereleri için (Özçelik ve Çevlik, 2017) için geliştirilen çift girişli ağaç hacim denklemleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 5). Denklemlerin karşılaştırılmasında kontrol veri setinden faydalanılmıştır.

4. Tartışma ve Sonuç

Yapılan çalışma kapsamında Adana-Kozan yöresi sedir meşcereleri için ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda sedir meşcerelerinden seçilen 105 örnek ağaçta ölçümler gerçekleştirilmiştir. 11 adet modele ilişkin parametre tahminleri yapılmış ve 6 adet istatistiksel ölçüte bağlı olarak modeller değerlendirilmiştir.

Değerlendirmeler neticesinde tek girişli ağaç hacim denklemlerine ilişkin hata istatistiklerinin daha yüksek olduğu ve belirtme katsayısı değerlerinin ise daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda ölçütler bakımından en başarılı tek girişli ağaç hacim denklemine (Model 4) ilişkin tahmin hataları da en başarılı çift girişli modele (Model 6) kıyasla daha yüksektir. Modellerle ilişkin hata dağılımları incelendiğinde hataların herhangi bir trend izlemediği görülmekte ve aynı zamanda gerçek hacim değerleri ile tahmini hacim değerlerinin de birbirlerine oldukça yakın değerler aldığı anlaşılmaktadır.

Hataların herhangi bir trende sahip olmaması da modellerin güvenilir tahminler sunması bakımından önemli olmaktadır.

Hacim denklemlerine ilişkin *THY* ve *OMHY* değerlerinin sırası ile -%1 ile +%1 arasında ve %10'dan düşük olması güvenilir tahminler ve model başarısı açısından önemlidir (Kalıpsız, 1999). Çizelge 4 incelendiğinde tek girişli modellere ait *OMHY* değerleri %10'un üzerinde kalmasına rağmen çift girişli modellerin genel olarak %10'un altında sonuçlar verdiği görülmektedir. Modellerle ilişkin *THY* değerleri incelendiğinde ise çoğunlukla bu değerlerin -%1 ile +%1 arasında olduğu anlaşılmaktadır.

Tek girişli ve çift girişli modeller başarı bakımından değerlendirildiğinde; çift girişli ağaç hacim denklemlerinin tek girişli modellere göre daha yüksek belirtme katsayısına ve daha düşük hata istatistiklerine sahip olması aynı zamanda hata dağılımlarının daha düşük aralıklarda seyretmesi çift girişli modellerin tercih edilmesi gerektiğini işaret etmektedir. Çift girişli modellerin tahmin başarısının daha yüksek olduğu literatürde yer alan çalışmalarla da tutarlılık göstermektedir (Sakıcı vd., 2018; Şahin ve Ercanlı, 2023). Bu sebeple sedir ağaç türü için yapılacak gövde hacim tahminlerinde çift girişli modellerin kullanılması daha güvenilir olacaktır. Daha hassas hacim tahminleri gerektiren bilimsel çalışmalarda çift girişli ağaç hacim denklemlerinin kullanılması önerilirken, zaman ve maliyetin büyük önem taşıdığı pratik uygulamalarda tek girişli ağaç hacim denklemlerinin tercih edilebileceği görülmüştür.

Geliştirilen çift girişli model, mevcut ağaç hacim denklemleriyle karşılaştırılmış ve Model 6'nın daha düşük tahmin hatalarına sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Çalışma alanı olan Adana-Kozan yöresi sedir meşcereleri için geliştirilen çift girişli ağaç hacim denklemi Özçelik (2010) ile Özçelik ve Çevlik (2017) tarafından geliştirilen çift girişli ağaç hacim denklemleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 5). Şekiller incelendiğinde Model 6'ya ilişkin tahmin hatalarının Özçelik (2010) ile Özçelik ve Çevlik (2017) tarafından geliştirilen çift girişli ağaç hacim denklemlerine ilişkin hatalardan daha düşük değerler aldığı görülmektedir. Model 6 ile yapılan tahminlerde pozitif yönlü hatalar gözlemlenirken Özçelik (2010) ile Özçelik ve Çevlik (2017) tarafından geliştirilen denklemlere ilişkin hataların negatif yönde ve daha yüksek düzeyde olduğu görülmektedir. Bu hataların yüksek düzeyde gerçekleşmesinde özellikle çalışmaların farklı yörelerde gerçekleştirilmiş olmasının etkisinin yüksek olduğu düşünülmektedir.

Sonuç olarak istatistiksel ve grafiksel değerlendirmeler neticesinde çift girişli modellerin hacim tahmininde kullanılması daha güvenilir sonuçlar elde edilmesi açısından daha uygundur. Bunun yanında, gerek ekonomik gerekse ekolojik amaçlar doğrultusunda oldukça önemli modellerden olan ağaç hacim denklemlerinin her yöre ve her tür için geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmanın sonuçları, Adana-Kozan yöresindeki sedir ağaçlarının gövde hacimlerinin güvenilir bir şekilde tahmin edilmesine katkı sağlayacaktır. Türkiye'de yayılış gösteren asli ağaç türleri için farklı ekolojik koşullara duyarlı ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi ve bu denklemlerin karşılaştırılması üzerine yapılacak çalışmalar, Türkiye ormancılığına önemli katkılar sunacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından "2209-A Lisans Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı" kapsamında, 1919B012338177 başvuru numarası ile Serkan Boz'un proje yürütücülüğünde ve Fadime Sağlam'ın danışmanlığında gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

- Akalp, T., 1978. Türkiye'deki Doğu ladini (*Picea orientalis* Lk. Carr.) ormanlarında hasılat araştırmaları. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alemdağ, Ş., 1962. Türkiye'deki Kızılçam Ormanlarının Gelişimi, Hasılat ve Amenajman Esasları. Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten No: 11, Ankara.
- Alemdağ, Ş., 1967. Türkiye'deki Sarıçam Ormanlarının Kuruluşu, Verim Gücü ve Bu Ormanların İşletilmesinde Takip Edilecek Esaslar, Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten No: 20, Ankara.
- Asan, Ü., 1984. Kazdağı Gökknarı (*Abies equi-trojani* Aschers, et Sinten.) Ormanlarının Hasılat ve Amenajman Esasları Üzerine Araştırmalar. İ.Ü. Orman Fakültesi, İ.Ü Yayın No: 3205, O.F. Yayın No: 365, Taş Matbaası, İstanbul.
- Baytaş, S., Seki, M., 2023. Safranbolu yöresi Kazdağı göknarı (*Abies nordmanniana* subsp. *equi-trojani*) meşcereleri için ağaç hacim tabloları. Turkish Journal of Forestry, 24(2), 61-68.

- Bolat, F., 2024. Antalya-Yeşilvadi yöresinde yayılış yapan kızılçam meşcereleri için yeni bir ağaç hacim modelinin geliştirilmesi. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 10(2), 108-113.
- 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, 47(1), 51-70.
- Brooks, J.R., Wiant, H.V., 2008. Ecoregion based local volume equations for appalachian hardwoods. Northern Journal of Applied Forestry, 25(2), 87-92.
- Carus, S., Memiş, İ., Kündü, K., Alem, Ö., 2016. Şehit Ali İhsan Kalmaz Ormanı karaçam (*Pinus nigra* Arnold) ağaçlandırması için tek ve çift girişli ağaç hacim tablolarının düzenlenmesi. Turkish Journal of Forestry, 17(1), 37-42.
- 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.
- 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.
- Çalışkan, A., Yeşil, A., 1996. Büyükdüz Araştırma Ormanı sarıçam-gökknar-kayın karışık meşcerelerinde bulunan sarıçam için tek ve çift girişli hacim tablosu. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 46(1), 39-50.
- Çatal, Y., Güneş, A. 2018. Antalya yöresi ormanları için titrek kavak ağaç hacim tablolarının düzenlenmesi. Turkish Journal of Forestry, 19(1), 30-39.
- Çevlik, M., 2017. Batı Akdeniz Yöresi Doğal Sedir (*Cedrus libani* A. Rich.) Meşcereleri İçin Ağaç Hacim Denklemlerinin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, 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. Canadian Journal of Forest Research, 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.
- Durkaya, B., Durkaya, A., 2006. Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü Uludağ göknarı (*Abies bornmülleriana* Matff.), sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) karışık meşcereleri için hacim tabloları. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 8(10), 10-19.
- Eraslan, Ü., 1954. Trakya ve Bilhassa Demirköy Mintıkası Meşe Ormanlarının Amenajman Esasları Hakkında Araştırmalar. OGM Yayını, Ankara.
- Ercanlı, İ., Güvendi, E., Güney, D., Günlü, A., Altun, L., 2008. Sinop yöresi Sahilçamı (*Pinus pinaster* Ait.) ağaçlandırmalarına ilişkin tek ve çift girişli ağaç hacim tablolarının düzenlenmesi. Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 8(1), 14-25.

- Evcimen, B.S., 1963. Türkiye Sedir Ormanlarının Ekonomik Önemi, Hasılat ve Amenajman Esasları. OGM Yayını, Ankara.
- Fırat, F., 1973. Dendrometri. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, Yayın No: 1800/193, Kurtuluş Matbaası, 359 s.
- Gülen, İ., 1959. Karaçam (*Pinus nigra* Arnold) hacim tablosu. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri A, 9(1), 97-112.
- IBM Corp. Released 2015. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 23.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- Kahriman, A., Sönmez, T., Şahin, A., 2017. Antalya ve Mersin Yöresi kızılçam meşcereleri için ağaç hacim tabloları. Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 17(1), 9-22.
- Kalıpsız, A., 1984. Dendrometri. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayın No: 354, 407 s, İstanbul.
- Kalıpsız, A., 1999. Dendrometri. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayın No, 3194/354, İstanbul.
- Kapucu, F., Yavuz, H., Gül, A.U., Mısır, N., 2002. Kestane meşcerelerinin hasılatı ve amenajman esasları. TÜBİTAK TOGTAG-TARP 2229 nolu Proje, Sonuç Raporu.
- Kapucu, F., 2004. Orman amenajmanı. Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Trabzon.
- Köhl, M., Magnussen, S., Marchetti, M., 2006. Sampling Methods, Remote Sensing and GIS Multiresource Forest Inventory, Springer, Berlin.
- Loetsch, F., Zöhrer, F., Haller, K.E. 1973. Forest Inventory, Volume 2. BLV Verlagsgesellschaft mbH, München.
- Mısır, N., Mısır, M., 2004. Developing double-entry tree volume table for ash in Turkey. Artvin Orman Fakültesi Dergisi, 3(4), 135-144.
- Ölmez, K., Şenyurt, M., 2022. Sarıçam ağaçları (*Pinus sylvestris* L.) için tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi (Bozalan ve Çubuk yöresi örneği). Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 8(1), 73-82.
- Özçankaya, N., Batur, M., Kiracioğlu, Ö., 2021. İzmir Orman Bölge Müdürlüğü fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.) meşcereleri için gövde hacim tablolarının düzenlenmesi. Ormancılık Araştırma Dergisi, 8(2), 125-145.
- Özçelik, R., 2010. Bucak yöresi kızılçam, sedir ve Toros göknarı türleri için hacim denklemleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri A, 2, 1-15.
- Özçelik, R., Çevlik, M. 2017. Batı Akdeniz yöresi doğal sedir meşcereleri için hacim denklemleri. Turkish Journal of Forestry, 18(1), 37-48.
- Özkurt, A., 2000. Okaliptüs (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden) için hacim tablosu. Doğu Akdeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi, 6, 87-105.
- Philip, M.S., 1994. Measuring Trees and Forests. CAB International, Wallingford.
- Pillsbury, N.H., McDonald, P.M., Simon, V., 1995. Reliability of Tanoak volume equations when applied to different areas. Western Journal of Applied Forestry, 10(2), 72-78.
- Sakıcı, O.E., Yavuz, H., 2003. Ilgaz Dağı göknar meşcereleri için hacim fonksiyonları. Gazi Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 3(2), 155-168.
- Sakıcı, O.E., Sağlam, F., Seki, M. 2018. Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü karaçam meşcereleri için tek ve çift girişli ağaç hacim denklemleri. Turkish Journal of Forestry, 19(1), 20-29.
- Saraçoğlu, N., 1991. Kızılağaç (*Alnus glutinosa* Gaertn. subsp. *barbata* (C.A. Mey) Yalt.) gövde hacim ve biyokütle tablolarının düzenlenmesi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri A, 41(1), 117-139.
- Sönmez, T., Gencal, B., Çankaya, E.Ç., 2023. Single- and double-entry volume equations for Turkey oak (*Quercus cerris* L.) stands in Bursa Regional Directorate of Forestry. Forestist, 73(1), 51-62.
- Sun, O., Eren, M.E., Orpak, M., 1978. Temel ağaç türlerimizde tek ağaç ve birim alandaki odun çeşidi oranlarının saptanması. TÜBİTAK Tarım ve Ormancılık Araştırma Grubu Proje No:288, Ankara.
- Şahin, A., Kahriman, A., Yüksel, Y.B., 2018. Artvin yöresindeki Doğu Karadeniz göknarlarının ağaç hacmini tahmin etmek için mevcut denklemlerin karşılaştırılması. Uluslararası Artvin Sempozyumu (IAS: International Artvin Symposium), Bildiriler Kitabı, 18-20 Ekim 2018, Artvin, s. 671-684.
- Şahin, A., Ercanlı, İ. 2023. Karışık etkili modelleme yaklaşımıyla karaçam hacim denklemlerinin geliştirilmesi. Ormancılık Araştırma Dergisi, 10 (1), 32-44.
- Şenyurt, M., Ümit, M., 2019 Asarkaya Kızılçam meşcereleri için tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi 5(2), 108-116.
- Van Laar, 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(5), 1181-1188.
- Yavuz, H., Sakıcı, O.E., 2002. Gövde profili modellerinin bilimsel ve pratik açıdan irdelenmesi. Orman Amenajmanı'nda Kavramsal Açılımlar ve Yeni Hedefler Sempozyumu, 18-19 Nisan 2002, İstanbul, s.233-241.
- Zaifoğlu, D.N., Sağlam, F., 2024. Volume equations for Scots pine trees in Kastamonu region. Turkish Journal of Forestry, 25(4), 430-436.