



Antalya-Yeşilvadi yöresinde yayılış yapan kızılçam meşcereleri için yeni bir ağaç hacim modelinin geliştirilmesi

Ferhat Bolat ¹*

¹Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Uluyazı Kampüsü, Merkez, Çankırı, Türkiye

MAKALE KÜNYESİ

Geliş Tarihi: 13/10/2024
Kabul Tarihi: 24/11/2024
<https://doi.org/10.53516/ajfr.1566540>
*Sorumlu Yazar:
 fbolat@karatekin.edu.tr

ÖZ

Giriş ve Hedefler Ormanların planlanması aşamasında, ağaç serveti ve artımı önemli ölçütlerdendir. Bu çalışmada Antalya-Yeşilvadi yöresinde yayılış yapan saf Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcereleri için yeni bir ağaç hacim denkleminin geliştirilmesi amaçlanmıştır. *Yöntemler* Söz konusu amacı gerçekleştirmek için ilgili meşcerelerden farklı çap basamakları dikkate alınarak seçilen toplam altmış beş ağaçta ölçümler yapılmıştır. Ağaç hacim denklemini geliştirilmek için üssel model formu esas alınmıştır. Önerilen yeni model, hata ölçütleri dikkate

Araştırma Makalesi

alınarak literatürdeki alternatifleriyle kıyaslanmıştır. Ayrıca, yanlılık ve eğrisellik ölçütleri ile söz konusu modellerin tahmin davranışları açısından kararlı bir yapıda olup olmadıkları analiz edilmiştir.

Bulgular Alternatif model, hata ölçütleri bakımından küçük farklarla geliştirilen yeni modelden daha başarılı olsa da tahmin davranışı açısından belirsizlikler içermektedir. Geliştirilen yeni model, hata ölçütleri bakımından kabul edilebilir tahminler üretmiş ve kararlı bir tahmin davranışı sergilemiştir.

Sonuçlar Elde edilen sonuçlara bağlı olarak, gerçekçi ve güvenilir ağaç hacim tahminleri elde etmek için model davranış analizinin dikkate alınması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Allometrik ilişkiler, yanlılık analizi, parametre etkili eğrisellik, yeniden örnekleme

Developing a new tree volume equation for *Pinus brutia* distributed in the Yeşilvadi region of Antalya

ABSTRACT

Background and aims Growing stock and timber increment are crucial factors to consider during the planning stage of forest management. This study aimed to develop a new tree volume equation for Brutian pine (*Pinus brutia* Ten.) stands located in the Yeşilvadi region of Antalya.

Methods To achieve the mentioned goal, measurements were conducted on sixty-five trees selected from these stands, categorized into different diameter classes. The power-type equation was employed to develop the tree volume equation. The proposed new model was compared with its counterparts, considering error metrics. Additionally, the stability of these models in terms of estimation behavior was analysed using bias and curvature measures.

Results The alternative model resulted in significant uncertainty in tree volume predictions, although it outperformed the proposed model in terms of error metrics. The proposed model provided acceptable tree volume predictions and exhibited a stable estimation behavior.

Conclusions Based on the results, it is recommended to consider the model's estimation behavior to ensure realistic and reliable tree volume predictions.

Key Words: Allometric relationships, bias analysis, parametric nonlinearity, bootstrap

Bu makaleye atıf:

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.



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

1. Giriş

Ormanlar, karasal ekosistemlerin en önemli doğal kaynaklarından birisidir. Odun kökenli ürünler başta olmak üzere, erozyon önleme, su kalitesini iyileştirme, karbon depolama ve rekreasyon gibi önemli ihtiyaçların karşılanmasında ormanlar anahtar bir rol oynamaktadır. Kızılcām, ülkemiz ormanlık alanlarının önemli bir bölümünü (%23) oluşturmakla birlikte, en fazla verimli orman alanına sahip olan asli türümüzdür (OGM, 2023). Ağaç serveti bakımından önemli bir potansiyele sahip olan bu asli türümüzün etkili bir şekilde işletilebilmesi için servet ve artım gibi özelliklerinin güçlü analitik yöntemlerle belirlenmesi önem arz etmektedir.

Ormanların sahip olduğu ağaç serveti miktarı ağaç hacim denklemleri yardımıyla hesaplanmaktadır. Ağaç hacimlerinin tahmin edilmesi amacıyla ülkemizde genellikle doğrusal (Baytaş ve Seki, 2023; Kahriman et al., 2023) ya da üssel yapıdaki (Kahriman ve ark., 2017) denklemler kullanılmaktadır. Ancak, doğrusal modeller allometrik ilişkilerin açıklanmasında negatif tahminler verebilmektedir (Vatandaşlar et al., 2024). Üssel modeller çap-hacim ve çap-biyokütle arasındaki allometrik ilişkilerin modellenmesinde büyüme kanuniyetleri açısından gerçekçi tahminler üretebilmektedir. Bununla birlikte günümüzde yüksek bir öncelik kazanan orman ekosistemlerinde ağaç bitkisel kütlesi tarafından depolanan karbon miktarı genellikle bitkisel kütle dönüştürme ve genişletme katsayıları üzerinden hesaplanmaktadır (Tolunay, 2011). Söz konusu katsayıların üretilmesinde ağaç hacimlerinden faydalanılmaktadır. Bu bakımdan, olası tüm çap sınıflarına ait karbon hesaplamalarının tutarlı tahmin edilebilmesi için de doğrusal olmayan model yapılarının kullanılması önem arz etmektedir.

Doğrusal olmayan modeller tek ağaç ve meşcere özelliklerinin modellenmesinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Alkan and Özçelik, 2020; Bolat et al., 2022; Seki and Sakıcı, 2022a, Bolat et al., 2023; Bulut et al., 2024). Paine et al. (2012) ve Archontoulis and Miguez (2015) örnek uygulamalarla, doğrusal olmayan modellerin artım ve büyüme konusundaki kabiliyetlerini göstermişlerdir. Bununla birlikte, geliştirilen doğrusal olmayan modelin kararlı yapıda olup olmadığının bilinmesi oldukça önemlidir. Bunun için de hata kaynaklarının belirlenmesi gerekmektedir. Model tahminlerindeki kararsızlığın başlıca sebepleri; (i) yanlış model seçimi ya da modelin uygun olmayan şekilde düzenlenmesi, (ii) ölçüm hataları, (iii) hata terimlerindeki değişen varyans ve (iv) model parametre tahminindeki hata ve yanlışlıktır. Model sonuçlarını etkileyen söz konusu faktörlerden ilk üçü ulusal ve uluslararası literatürde yeterince araştırılmıştır. Ancak model davranış analizine yönelik az sayıda çalışma olmakla birlikte ülkemiz modelleme süreçlerinde henüz bu konuda bir çalışma bulunmamaktadır (McRoberts and Westfall, 2014). Model parametrelerinin dağılımsal özelliklerinin incelenmesi model değerlendirme süreçlerine önemli katkılar sağlamaktadır. Bunun için yeniden örneklem yöntemi oldukça uygun bir seçenektir (Ratkowsky, 1986; Fischer and Schönfelder, 2017; Bolat, 2023). Yeniden örneklem veri setine bağılı olarak model parametre davranışı ya da güven aralıkları değerlendirilerek modelin ne kadar kararlı olduğu belirlenebilmektedir (Hall et al., 2020). Mevcut çalışmada, model davranışıyla ilgili analizler

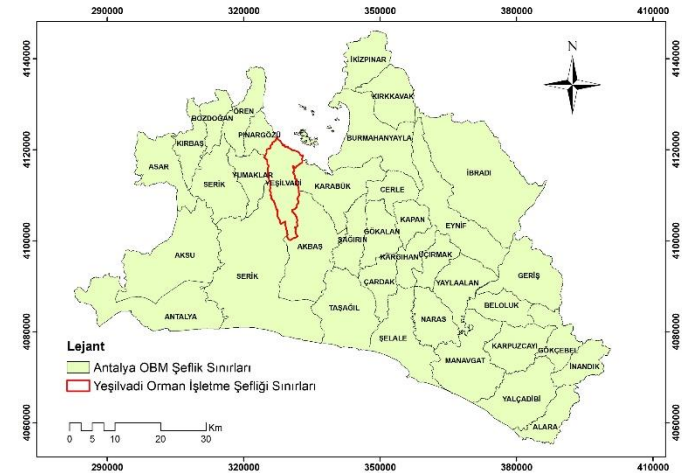
değerlendirmeye alınarak, ülkemiz modelleme çalışmalarındaki bilgi birikimine katkı sağlanması amaçlanmıştır. Bu amaçla,

- (1) Ağaç hacim tahminleri için üssel yapıda olan yeni bir model geliştirilecek,
- (2) Geliştirilen yeni model, literatürdeki alternatifleriyle hata ölçütleri bakımından karşılaştırılacak,
- (3) Her iki modelin tahmin davranışları analiz edilecektir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1 Çalışma alanı

Bu çalışmada kullanılan veriler, 2023 yılı yaz aylarında Serik Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağılı Yeşilvadi Orman İşletme Şefliği'nden elde edilmiştir (Şekil 1). Şeflik alanında saf Kızılcām meşcereleri ile Kızılcām'ın, Sedir, Karaçam ve Servi ile oluşturduğu karışık meşcereler de bulunmaktadır. İlgili şeflikte yaklaşık 3600 hektar verimli ormanlık alan bulunmakla birlikte, bu alanın 2497 hektarı (\cong %70) saf Kızılcām meşcerelerinden oluşmakta iken geri kalan 1103 hektar alanda karışık meşcereler yer almaktadır. Yeşilvadi Orman İşletme Şefliği'nin denizden ortalama yüksekliği 100-2004 m arasında değişmektedir. Şeflik sınırları içerisindeki yıllık ortalama hava sıcaklığı 20,3°C iken, yıllık toplam yağış ortalaması 1060 mm'dir.



Şekil 1. Çalışma alanının konumu (OBM: Orman Bölge Müdürlüğü)

2.2 Veriler

Çalışma kapsamında kullanılan veriler, farklı çap kademelerinden rasgele seçilen 65 ağaçtan elde edilmiştir. Veriler, düzgün gövdeli, gövdesinde belirgin bir zarar bulunmayan (kovuk gibi) ve iyi bir tepe çatısına sahip sağlıklı ağaçlardan toplanmıştır. Ağaç hacimlerinin hesaplanabilmesi amacıyla, kesilen ağaçlarda öncelikle 0,30 metredeki dip kütük çapı, daha sonra 1,3 metredeki çap ve bunu takiben her iki metre arayla gövde boyunca diğerk yüksekliklerdeki çaplar kumpas yardımıyla 0,1 cm hassasiyetle ölçülmüştür. Bu şekilde, farklı yüksekliklerden toplam 693 adet çap değeri not edilmiştir. Çap ölçümü tamamlandıktan sonra, çelik şerit metre yardımıyla her bir ağacın toplam boyu 0,1m hassasiyetle ölçülmüştür.

Büro aşamasında, öncelikle her bir ağacın dip kütük (Denklem 1) ve uç parça hacimleri (Denklem 2) hesaplanmıştır.

Daha sonra, uçlardaki yüzeyler ortalaması formülü (Smalian formülü) kullanılarak ağaçların gövde hacimleri hesaplanmıştır (Denklem 3). Elde edilen veriler daha sonra model (n=50 ağaç) ve test (n=15 ağaç) verisi şeklinde iki bölüme ayrılmıştır. Bu verilere ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 1’de verilmiştir.

$$\pi/4 \times (d_{0,3(m)})^2 \times 0,3 \tag{1}$$

$$\pi/4 \times 1/3 \times (d_{up(m)})^2 * l \tag{2}$$

$$\pi/4 \times \left(\frac{d_{0(m)}^2 + d_{n(m)}^2}{2} \right) \times l \tag{3}$$

Bu eşitliklerde, *l* seksiyon/uç parça uzunluğunu ifade etmektedir. *d*₀ ve *d*_n herhangi bir yükseklikteki gövde seksiyonunun uç çaplarını göstermektedir. “*up*” uç parça anlamına gelmektedir.

Çizelge 1. Ağaç hacimlerine ilişkin açıklayıcı özet bilgiler

Değişken	Model verisi (n=50 ağaç)			Test verisi (n=15 ağaç)		
	Ortalama	Değişim Aralığı	Standart Sapma	Ortalama	Değişim Aralığı	Standart Sapma
Çap (cm)	32,56	9 - 74	13,86	30,80	20-44	8,10
Boy (m)	17,93	8 - 28,9	4,86	16,50	11-22,2	4,04
Hacim (m³)	0,974	0,032 - 4,845	0,99	0,87	0,230-1,885	0,56

2.3 Modelleme

Bu çalışmada, ağaç hacimleri çap ve boyun fonksiyonu olarak tahmin edilmiştir. Bu amaçla, genç ağaçlar için negatif tahminler verebilen doğrusal modeller yerine, üssel formdaki allometrik denklemler dikkate alınmıştır (Denklem 4-5). Söz konusu denklemler, devam eden sayfalarda sırasıyla Model 1 (M1) ve Model 2 (M2) olarak ifade edilecektir. M1 mevcut çalışma kapsamında geliştirilen yeni bir model olup, M2 ağaçların hacim ve biyokütle değerlerinin tahmin edilmesinde sıklıkla kullanılan bir modeldir. Söz konusu modeller sigmoid bir yapı göstermeyip ağaçların boyutlarındaki artışa bağlı olarak hacim artışının sabit bir oranla devam ettiğini varsaymaktadır (Paine et al., 2012).

$$V = D^{\beta_{11}} \exp(\beta_{12} + \beta_{13}H) \tag{4}$$

$$V = \beta_{21} D^{\beta_{22}} H^{\beta_{23}} \tag{5}$$

Bu eşitliklerde, V: ağaç hacmini, D: göğüs yüksekliği çapını ve H: ağaç boyunu temsil etmektedir. β_{11-23} model parametrelerini ifade etmektedir.

2.4 Model değerlendirme

Geliştirilen model öncelikle ortalama hata— \bar{e} , ortalama mutlak hata— $|\bar{e}|_{\%}$ ve toplam hata yüzdesi— $\sum e_{\%}$ kriterleri kullanılarak değerlendirilmiş ve söz konusu ölçütler ile alternatifleriyle kıyaslanmıştır (Sırasıyla, denklem 6, 7 ve 8). Bununla birlikte, geliştirilen modellerin davranışı ileri istatistikî yaklaşımlar ile detaylıca araştırılmıştır. Hata ölçütlerinin geçerli olabilmesi için, model davranışının yansız olması gerekmektedir. Aksi takdirde, modelin güvenilirliği şüpheli duruma düşmektedir (Ratkowsky, 1986). Bu amaçla, Bates ve Watts (1980) tarafından geliştirilen parametre etkili eğrisellik değeri—PE ile Box (1971) tarafından geliştirilen model yanlılık

değeri— $\varepsilon_{\%}$ dikkate alınmıştır. PE değerinin 1,0’dan ve $\varepsilon_{\%}$ değerinin %1’den küçük olması beklenmektedir. Söz konusu ölçütlerin elde edilmesinde, SAS® programı kullanılmıştır. Bununla birlikte, 10.000 adet yeniden örneklem verisi üretilmiş ve model parametrelerinin dağılımsal özellikleri ve çarpıklık değerleri incelenmiştir (Diel et al., 2019). Bu analiz bir bakıma modelin içsel karakteristiğinin analizi anlamına gelmektedir. Yeniden örneklem verilerinin üretilmesinde R yazılımının “nlstools” paketinden yararlanılmıştır.

$$\bar{e} = \frac{1}{n} \sum \frac{V_G - V_T}{V_G} \tag{6}$$

$$|\bar{e}|_{\%} = 100 \frac{1}{n} \sum \left| \frac{V_G - V_T}{V_G} \right| \tag{7}$$

$$\sum e_{\%} = 100 \sum \frac{(V_G - V_T)}{V_G} \tag{8}$$

Bu eşitliklerde, n: veri sayısını, V_G: gözlemlenen (ölçülen) ağaç hacimlerini ve V_T: tahmin edilen ağaç hacimlerini ifade etmektedir.

3. Bulgular

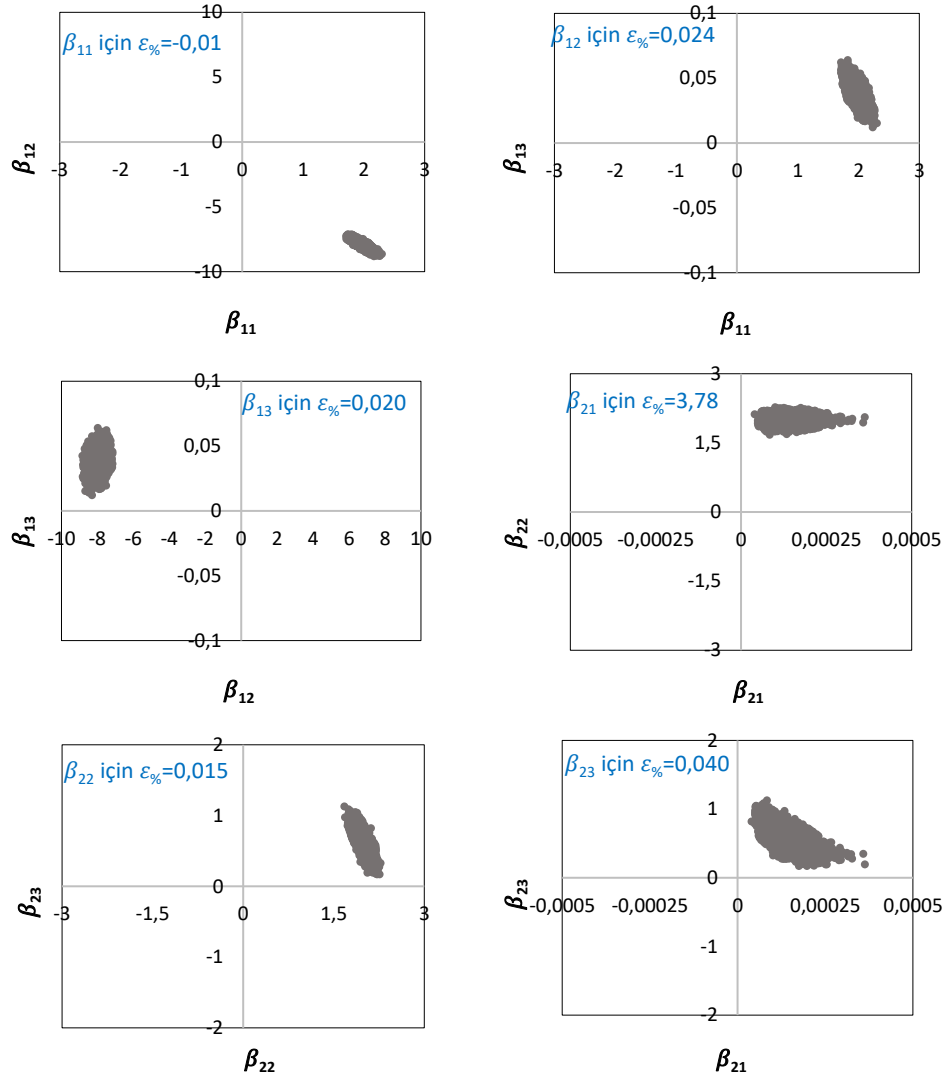
Modellere ait parametre tahminleri Çizelge 2’de verilmiştir. Söz konusu çizelgeden görüleceği üzere tüm parametreler istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Model parametrelerinin güven aralığı sıfır değerini içermemektedir ($\alpha=0,05$). Bununla beraber, M1 dikkate alınan $\sum e_{\%}$ ve $|\bar{e}|_{\%}$ değerleri bakımından beklenen eşik değerlerden ($|\bar{e}|_{\%} < 10$ ve $\sum e_{\%} < 1$) hafif sapma göstermiştir. M2 ise $|\bar{e}|_{\%}$ değeri bakımından beklenen eşik değerden az miktarda sapma gösterirken, $\sum e_{\%}$ değeri bakımından beklenen eşik değerinin altında sonuçlar üretmiştir. Yine de bu sonuçlara göre, çalışma alanındaki Kızılcım meşcereleri için her iki modelin uygun olduğu söylenilebilmektedir. Başka bir açıdan değerlendirildiğinde, PE değeri M2’nin yanlı tahmin davranışına sahip olduğunu ve bu yüzden söz konusu modele ait sonuçların dikkatle değerlendirilmesi gerektiğini işaret etmektedir (PE>1,0)

Çizelge 2. Parametre tahmin değerleri ve bu tahminlerin yanlılık ölçütlerine ilişkin sonuçlar ile model başarı ölçütleri

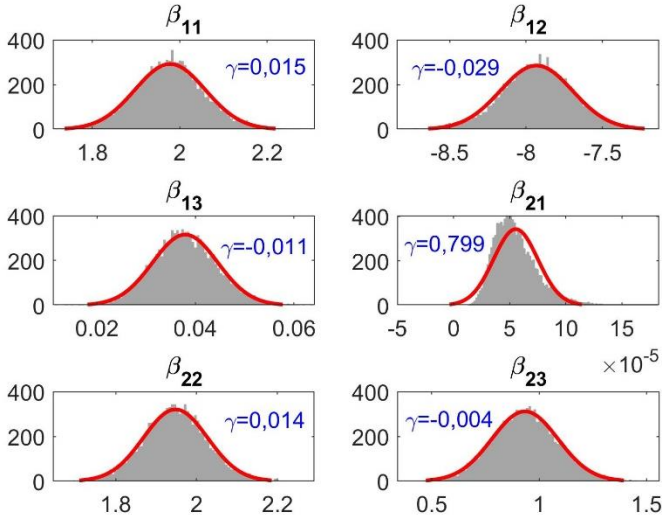
Model	Parametre	Tahmin	Alt Sınır	Üst Sınır	e	$ \bar{e} _{\%}$	$\sum e_{\%}$	PE
M1	β_{11}	2,01009	1,84778	2,17407				
	β_{12}	-7,41143	-8,20926	-7,28240	-0,01	11,00	-1,07	0,05
	β_{13}	0,02602	0,01369	0,03826				
M2	β_{21}	0,00012	0,00005	0,00019				
	β_{22}	1,98600	1,82263	2,15036	-0,01	10,62	-0,92	7,19
	β_{23}	0,62280	0,34712	0,89855				

On bin yeniden örneklem verisine göre model parametreleri arasındaki ilişkilerin araştırılması amacıyla Şekil 2 oluşturulurken, parametre dağılımlarının analiz edilmesi amacıyla Şekil 3 oluşturulmuştur. M1'in tüm parametreleri oldukça kararlı ve simetrik bir dağılım göstermiştir ($\gamma \leq |0,5|$). M2'nin β_{11} parametresi kararsız ve asimetrik bir tahmin davranışı göstermiştir. Bu grafikler, M1'in hata istatistiklerindeki başarısının geçerli olduğunu ve ağaç hacim tahminlerinde güvenle kullanılabileceğini göstermiştir. Söz konusu grafikler, M2'ye ihtiyatla yaklaşılması gerektiğini işaret etmiştir. Test veri setinde yapılan değerlendirme, M2'nin zayıf

yönünü bir anlamda açığa çıkarmıştır. M1 ve M2 için $|\bar{e}|_{\%}$ değerleri sırasıyla 15,66 ve 19,56 olarak hesaplanmıştır. Model verisine göre küçük farklarla başarılı olan M1 modeli, test veri setinde daha başarısız bulunmuş ve $|\bar{e}|_{\%}$ değerinde yaklaşık %24 artışa sebep olmuştur. Bununla beraber, bazı parametreler arasında güçlü doğrusal ilişkiler gözlemlenmiş olmakla birlikte (Şekil 2), M1'in parametre güven aralıkları daha dar bulunmuş ve tahmin davranışı açısından daha güvenilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 2. Yeniden örneklem yöntemine göre parametreler arası ilişkiler ve parametrelerin varyasyonu



Şekil 3. Yeniden örnekleme yöntemine göre parametrelerin dağılımsal özellikleri (γ : Çarpıklık)

4. Tartışma

Doğrusal olmayan model yapıları artım ve büyüme ilişkilerinin açıklanmasında (Seki and Sakıcı, 2022b; Bolat et al., 2023), meşcere boylanma eğrilerinin geliştirilmesinde (Bolat et al., 2022; Sağlam and Sakıcı, 2024), bonitet endeks tablolarının oluşturulmasında (Seki and Sakıcı, 2017; Ercanlı et al., 2023) ve gövde hacminin ve herhangi bir yükseklikteki gövde çapının tahmin edilmesinde (Alkan ve Özçelik, 2021; Sahin, 2024) yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Mevcut çalışmada çap ve hacim arasındaki allometrik ilişkilerin karakteristikleriyle uyumlu sonuçlar üretebilen Üssel model yapısı kullanılmıştır (Kahrıman et al., 2017). Çünkü, sigmoid modellerin aksine üssel modeller çap ve boy gibi değişken değerlerindeki artışa bağlı olarak hacim ve biyokütledeki artışın artan bir oranı takip ettiğini varsaymaktadır (Paine et al., 2012). Hacim tahminleri yanında, söz konusu model yapısı ağaçların bitkisel biyokütle ve karbon miktarlarının tahmin edilmesi amacıyla da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Tolunay, 2012; Vatandaşlar et al., 2024).

Mevcut çalışma ile tahmin davranış analizinin doğru model seçimine katkısı açıkça gösterilmiştir. PE ve $\varepsilon\%$ değerleri bakımından kararsız yapıda olduğuna karara verilen modelin sonuçlarına mesafeli yaklaşılması gerekmektedir. Örneğin, M2'ye dayalı olarak ekorejyonlar arası ağaç hacim tahminlerinin kıyaslanması yanlı çıkarımların yapılmasına sebep olabilme potansiyeli taşımaktadır. Başka bir açıdan değerlendirildiğinde, farklı veri büyüklüklerinin ağaç hacim tahminlerine etkisi değerlendirilmek istendiğinde M2 yanlı değerlendirmelere yol açabilmektedir (Ratkowsky, 1986). Bu yaklaşım ayrıca literatürdeki mevcut bir modelin çalışmanın amacına yönelik kararlı bir yapıda yeniden tasarlanabilmesine yardımcı olabilmektedir (Fernandes et al., 2015; Fischer and Schönfelder, 2017; Bolat, 2023). Çalışma kapsamında Üssel model ağaç hacim tahminlerine uygun olacak şekilde yeniden düzenlenmiştir. Yeniden örnekleme veri setine bağlı olarak yapılan incelemede modelin uygun bir şekilde tasarlandığı ve güvenilir sonuçlar üretebildiği anlaşılmıştır (Hall et al., 2020).

5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, parametre tahmin davranışıyla ilişkili analizin, model sonuçlarındaki yanlı davranışın belirlenmesindeki katkısına dikkat çekilmektedir. Yeniden örnekleme yöntemine bağlı olarak iki farklı üssel model yapısının ağaç hacim tahminlerindeki güvenilirlikleri açık bir şekilde ortaya konulmuştur. Söz konusu istatistiksel analiz sayesinde, hata ölçütleri bakımından küçük farklarla elverişli konumda bulunan modelin, aslında kararsız bir tahmine ve yanlı çıkarımlara sebep olabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu bakımdan, doğrusal olmayan model yapıları ile yapılacak modelleme çalışmalarında (hacim, biyokütle, karbon, artım ve büyüme gibi) veriye uygun model yapısının belirlenmesinde hata ölçütleri ile birlikte model davranışının analizinin yapılması önerilmektedir.

Kaynaklar

- Alkan, O., Özçelik, R., 2020. Stem taper equations for diameter and volume predictions of *Abies cilicica* Carr. in the Taurus Mountains, Turkey. *J. Mt. Sci.*, 17, 3054–3069.
- Alkan, O., Özçelik, R., 2021. Toros göknarı için uyumlu hacim ve gövde çapı modelleri. *Turkish Journal of Forestry*, 22, 408–416.
- Archontoulis, S.V., Miguez, F.E., 2015. Nonlinear regression models and applications in agricultural research. *Agronomy Journal*, 107, 786–798.
- Bates, D.M., Watts, D.G., 1980. Relative curvature measures of nonlinearity. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)* 42, 1–16.
- Baytaş, S., Seki, M., 2023. Safranbolu Yöresi Kazdağı Göknarı (*Abies nordmanniana* subsp. *equi-trojani*) meşcereleri için ağaç hacim tabloları. *Turkish Journal of Forestry*, 24, 61–68.
- Bolat, F., Ürker, O., Günlü, A., 2022. Nonlinear height-diameter models for Hungarian oak (*Quercus frainetto* Ten.) in Dumanlı Forest Planning Unit, Çanakkale/Turkey. *Austrian Journal of Forest Science*, 139, 199–220.
- Bolat, F., 2023. Gompertz büyüme modelinden türetilen farklı model formlarının bazı eğrisellik ve yanlılık ölçütleri ile değerlendirilmesi. *International Applied Statistics Congress*, September 26-29, Sarajevo / Bosnia and Herzegovina, pp. 393-397.
- Bolat, F., Ercanlı, İ., Günlü, A., 2023. Yield of forests in Ankara Regional Directory of Forestry in Turkey: comparison of regression and artificial neural network models based on statistical and biological behaviors. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 16, 30–37.
- Box, M.J., 1971. Bias in nonlinear estimation. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)* 33, 171–190.
- Bulut, S., Günlü, A., Aksoy, H., Bolat, F., Sönmez, M.Y., 2024. Integration of field measurements with unmanned aerial vehicle to predict forest inventory metrics at tree and stand scales in natural pure Crimean pine forests. *International Journal of Remote Sensing*, 45, 3846–3870.
- Diel, M.I., Sari, B.G., Kryszun, D.K., Olivoto, T., Pinheiro, M.V.M., Meira, D., Schmidt, D., Lúcio, A.D., 2019. Nonlinear regression for description of strawberry (*Fragaria*

- x ananassa*) production. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 94, 259–273.
- Ercanlı, İ., Bolat, F., Yavuz, H., 2023. A comparison of artificial neural networks and regression modeling techniques for predicting dominant heights of Oriental spruce in a mixed stand. Forest Systems, 32, e004.
- Fernandes, T.J., Muniz, J.A., Pereira, A.A., Muniz, F.R., Muianga, C.A., 2015. Parameterization effects in nonlinear models to describe growth curves. Acta Scientiarum. Technology, 37, 397–402.
- Fischer, C., Schönfelder, E., 2017. A modified growth function with interpretable parameters applied to the age–height relationship of individual trees. Canadian Journal of Forest Research, 47, 166–173.
- OGM, 2023. Türkiye ormancılık istatistikleri. Orman Genel Müdürlüğü. <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane/resmi-istatistikler>.
- Hall, K.B., Stape, J., Bullock, B.P., Frederick, D., Wright, J., Scolforo, H.F., Cook, R., 2020. A Growth and Yield Model for *Eucalyptus benthamii* in the Southeastern United States. Forest Science, 66, 25–37.
- Kahrıman, A., Sönmez, T., Şahin, A., 2017. Antalya ve Mersin Yöresi kızılçam meşcereleri için ağaç hacim tabloları. Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 17, 9–22.
- Kahrıman, A., Şahin, A., Sönmez, T., Yavuz, M., 2023. Growth models for natural stands of Calabrian pine in the central Mediterranean region of Türkiye. Şumarski list, 147(3-4), 107-119.
- McRoberts, R.E., Westfall, J.A., 2014. Effects of uncertainty in model predictions of individual tree volume on large area volume estimates. Forest Science, 60, 34–42.
- Paine, C.T., Marthews, T.R., Vogt, D.R., Purves, D., Rees, M., Hector, A., Turnbull, L.A., 2012. How to fit nonlinear plant growth models and calculate growth rates: an update for ecologists. Methods in Ecology and Evolution, 3, 245–256.
- Ratkowsky, D.A., 1986. Statistical properties of alternative parameterizations of the von Bertalanffy growth curve. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 43, 742–747.
- Sağlam, F., Sakıcı, O.E., 2024. Ecoregional height–diameter models for Scots pine in Türkiye. J. For. Res., 35, 103.
- Sahin, A., 2024. Analyzing regression models and multi-layer artificial neural network models for estimating taper and tree volume in Crimean pine forests. iForest - Biogeosciences and Forestry, 17, 36-44.
- Seki, M., Sakıcı, O.E., 2017. Dominant height growth and dynamic site index models for Crimean pine in the Kastamonu–Taşköprü region of Turkey. Can. J. For. Res., 47, 1441–1449.
- Seki, M., Sakıcı, O.E., 2022a. Ecoregional variation of Crimean pine (*Pinus nigra* subspecies *pallasiana* [Lamb.] Holmboe) stand growth. Forest Science, 68, 452–463.
- Seki, M., Sakıcı, O.E., 2022b. Ecoregion-based height-diameter models for Crimean pine. Journal of Forest Research, 27, 36–44.
- Tolunay, D., 2011. Total carbon stocks and carbon accumulation in living tree biomass in forest ecosystems of Turkey. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 35, 265–279.
- Tolunay, D., 2012. Bolu-Aladağ’daki genç sarıçam meşcereleri için oluşturulan bitkisel kütle denklemleri ve katsayıları. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 62, 97–111.
- Vatandaşlar, C., Bolat, F., Abdikan, S., Pamukcu-Albers, P., Satiral, C., 2024. Modeling aboveground carbon in flooded forests using synthetic aperture radar data: a case study from a natural reserve in Turkish Thrace. iForest - Biogeosciences and Forestry, 17, 277-285.