

Burdur-Pamucak yöresi doğal kızılçam meşcereleri için meşcere boy gelişiminin modellenmesi

Serdar Carus^{a,*}, Sahra Karakaş^b

Özet: Bu çalışmada, Burdur-Pamucak yöresinde yer alan doğal yoldan gelmiş kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinden alınan 74 örnek nokta verisi ile literatürde çok kullanılan toplam 20 adet meşcere boy gelişimi modelinin tahmin başarıları karşılaştırılmıştır. Araştırmada, örnek nokta verileri iki alt gruba ayrılmış olup, birinci grup (n=50 ve yaklaşık %70) model geliştirmek için, ikinci grup ise (n=24 ve yaklaşık %30) geliştirilen modellerin uygunluğu test edilmiştir. Meşcere boy gelişimi modelleri parametre sayısı bakımından iki (n=7), üç (n=10) ya da dört parametrelili (n=3) olmak üzere üç gruba ayrılmış ve tek ağaç boyu tahminlerindeki performansları, altı farklı istatistiksel ölçüt (Ortalama mutlak hata (2.04), Maksimum mutlak hata (8.81), Hata karelerinin ortalamasının karekökü (2.75), Belirtme katsayısı (0.706), Ortalama hata (-0.18) ve Akaike bilgi ölçütü (915.30)) kullanılarak karşılaştırılmıştır. Test edilen modeller içinde en başarılı sonuçlar sırasıyla, 3 Parametrelili Seber- Wild, 3 Parametrelili Seber- Wild ve 4 Parametrelili Zeide tarafından geliştirilen modeller ile elde edilmiştir. Bağımsız veri seti ile yapılan değerlendirmede de yakın sonuçlar bulunmuştur. Çalışmada geliştirilen ve başarılı bulunan modeller kullanılarak, Pamucak Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yer alan benzer özelliklere sahip doğal kızılçam meşcereleri için göğüs çapı yardımıyla tek ağaç boyunun güvenle tahmin edilmesi mümkündür.

Anahtar kelimeler: Kızılçam, Çap, Boy, Meşcere boy gelişimi

Modeling of stand height curves for natural brutian pine stands in Burdur-Pamucak region

Abstract: In this study, a total of 20 diameter-height (h-d) models were tested using 74 sample plot data taken from natural Brutian pine (*Pinus brutia* Ten.) stands in the Burdur-Pamucak region. The sample plot data was divided into two groups, the first group (n= 50 and nearly 70%) was used to develop models, and the second group (n=24 and nearly 30%) was used to test the developed models. The performances of the developed height-diameter models with two (n=7), three (n=10) or four parameters (n=3) in height estimation were compared using six different statistical criterion values (Mean Absolute Error (2.04), Maximum Absolute Error (8.81), RMSE (2.75), R² (0.706), Mean Error (-0.18) and AIC (915.30). The most successful results were obtained with the 3-parameter models developed by Seber-Wild, Seber-Wild and 4-parameter model, Zeide, respectively. Similar results were obtained in the evaluation using an independent data set. By using the best h-d equation developed in this study, it is possible to estimate single tree height with the help of diameter at breast height for Brutian pine stands with similar characteristics within the region of Pamucak Forest Directorate.

Keywords: *Pinus brutia*, Diameter, Height, Stand height development

1. Giriş

İnsanların bilinçsiz bir şekilde ormanlardan yararlanmaları sonucunda dünyamızdaki orman kaynaklarının azalması ve doğal dengenin bozulması sorunu ortaya çıkmıştır. Zamanla, ormanların daha düzenli bir işletmeye sokulması düşüncesi ortaya çıkmıştır (Kalıpsız, 1982). Son yıllarda orman amenajman planlarının düzenlenmesinde ekosistem tabanlı fonksiyonel planlama yaklaşımında farklı ağaç türü, yetişme ortamı ve meşcere sıklığı olan meşcereler için belirlenmelidir (Çepel, 1984; Özçelik ve Çapar, 2014). Örneğin, meşcere simülasyon programında çap-boy modelleri ile meşcerede ağaçların ve toplamı olarak da meşcerenin belirli zaman periyotlarındaki

hacmini belirlemede tek ağaç boyu tahmini edilmektedir (Carus, 1998). Artım ve büyümeyi gösteren bu altlıklar bazı çalışmalar sayesinde hazırlanmakta ve daha doğru hacim ve biyokütle tahminleri yapılabilmektedir. Ayrıca ormancılık uygulamalarında özellikle orman envanterinde her ağacın boyu da zaman alıcı olması, çok fazla emek sarfi ve ekonomik açıdan zahmetli olması nedeniyle ağaç boyunu tahmin etmek için boy gelişimi denklemleri geliştirilmesi gerekli ve önemli arz etmektedir (Kalıpsız, 1982).

Ülkemizde asli orman ağaçlarımız için ulusal anlamda çeşitli çap-boy modelleri geliştirilmiştir. Bu modeller genel anlamda söz konusu tür ile ilgili bilgiler vermektedir. Ancak, bu modelleri bölge veya yöre bazında incelediğimizde tahmin oranı azalmaktadır. Bu nedenle asli orman ağacı olarak

✉ ^a Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Doğu Yerleşkesi, 32260, Isparta, Türkiye

^b Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Doğu Yerleşkesi, 32260, Isparta, Türkiye

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): serdarcarus@isparta.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 17.04.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 11.06.2024



Citation (Atıf): Carus, S., Karakaş, S., 2024. Burdur-Pamucak yöresi doğal kızılçam meşcereleri için meşcere boy gelişiminin modellenmesi. Turkish Journal of Forestry, 25(3): 267-274.
DOI: [10.18182/tjf.1452128](https://doi.org/10.18182/tjf.1452128)

sayılan türlerimiz için yöresel çap-boy modelleri geliştirilmelidir (Carus, 1998).

Çap-boy modellerinin geliştirilmesinde; i) doğrusal modeller (yüksek doğruluk düzeyi istenmeyen az veri içeren çalışmalar), ii) doğrusal olmayan modeller (çok sayıda veriye dayanan esnek nitelikte) kullanılmaktadır (Arabatzis ve Burkhart, 1992; Huang vd., 1992; Diamantopoulou vd., 2023). Çap-boy modelleri ülkemiz ormancılığında, hasılat çalışmaları, büyüme tahminleri, simülasyon çalışmaları, bonitet endeks modelleri, biyokütle tahmini ve orman zararlılarının etkilerinin belirlenmesi gibi birçok alanda faydalı bir araç olarak kullanılmaktadır.

Çalışmamızda, çap-boy (h-d) modelleri konusunda yöresel ve bölgesel düzeyde meşcerelerin farklı yaşta, farklı verim gücünde (bonitet) ve farklı sıklıktaki meşcereler için basit ve genelleştirilmiş nitelikte h-d modelleri geliştirilmektedir. Ayrıca yurt dışında değişik ağaç türlerinde çok sayıda h-d denklemi geliştirilmiştir (Wykoff vd., 1982; Colbert vd., 2002; Castedo Dorado vd., 2006; Alkan ve Koparan, 2023). Ancak, ülkemizde oldukça sınırlı sayıda ağaç türü ve meşcere kuruluşları için h-d regresyon denklemleri oluşturulmuştur (Mısır, 2010; Çatal, 2012; Diamantopoulou ve Özçelik, 2012; Ercanlı vd., 2012; Özçelik ve Çapar, 2014; Göçer, 2016; Carus ve Akguş, 2018; Bolat vd., 2022; Koparan, 2023). Bu çalışmada yöresel ölçekte basit çap-boy modelleme konusuna değinilmiştir.

Kızılcım türünün araştırma konusu olarak seçilmesinde; türün ekonomik değerinin olması, verimli nitelikte geniş alanlar kaplaması ve yöresel olarak elde edilecek bilgilerin, yöredeki çeşitli araştırmacı ve uygulamacılar tarafından kullanılmasına potansiyeli vardır. Bu amaçla çalışmamızda, Burdur- Pamucak yöresinde doğal yoldan gelmiş aynı yaşlı kızılçam meşcereleri için meşcere boy eğrilerinin modellenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla literatürde sıklıkla kullanılan 20 adet h-d modeline ilişkin parametre değerleri tahmin edilmiştir. Daha sonra da altı farklı başarı ölçütü değerleri kullanılarak hangi modelin verilere daha uygun olduğu tespit edilmiştir.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

Çalışmamızın materyali, doğal yoldan gelmiş, orta veya normal kapalılığa yakın aynı yaşı kızılçam meşcerelerinin yer aldığı Isparta Orman Bölge Müdürlüğü, Bucak Orman İşletme Müdürlüğü, Pamucak Orman İşletme Şefliği sınırları dahilinde kalmaktadır. Çalışma alanımızın konumu haritada gösterilmiştir (Şekil 1).

2.2. Yöntem

2.2.1. Örnek noktalarda yapılan ölçüm ve tespitler

Arazi çalışması, 2023 yılı Haziran-Temmuz ayları içerisinde yapılmıştır. Aranılan meşcere özelliklerine sahip toplam 74 adet örnek nokta alınmıştır. Bu örnek noktalar daire, kare veya dikdörtgen şekline sahip olmayıp nokta örneklemesine aittir (Kalıpsız ve Eler, 1984). Yani örnek noktada durularak 20-30m sağ veya sol, aşağı veya yukarıdaki ağaçlardan olmak üzere toplam 30'a yakını rastgele ağaç seçilmiştir. Bu farklı yöntem, h-d modellerinde meşcere değişkenlerini (G, N, V, T) yer almadığından tercih edilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanının konumu

Örnek nokta seçiminde, orman amenajman planında farklı bölmelerin seçiminde gelişme çağı ve bonitet sınıflarını içerecek şekilde yani, farklı meşcere tipi, orta çap, yaş, eğim, baki, yükselti ve yamaç konumu (üst yamaç, orta yamaç, sırt veya taban) olan yerlerden alınmasına özen gösterilmiştir. Örnek noktalardan toplanan verilerin sağlıklı olması açısından buna uyulması planlanmıştır. Örnek noktalarda örnek ağaçlar seçiminde tepesi kırık, çatal, böcekli, gövdesi yaralı, gövde biçimi bozuk vb. kötü nitelikli bireyler alınmamıştır. Çalışmanın yapıldığı alanlarda örnek noktaların orta ve normal kapalılıkta olmasına özen gösterilmiştir. Çalışma alanımızdaki doğal kızılçam meşcerelerinden toplam 74 adet örnek nokta alınmıştır. Nokta sayısı için gelişim çağı (b, c, d ve e), bonitet sınıfları (I, II, III), kapalılık (2 ve 3) ve model test - model geliştirme verisi grubu (1 ve 2) dikkate alındığında örnek nokta sayısı yeterli görülmüştür. Örnek noktadaki her bir ağacın göğüs yüksekliği (1.30m) çapları çap ölçer ve ağaç boyları da Silva boy ölçer yardımı ile ölçülmüştür.

2.2.2. Verilerin değerlendirilmesi ve istatistik analizi

Örnek nokta verilerinin yaklaşık %70'i (50 örnek nokta) model geliştirmek için verilerin geri kalan yaklaşık %30'u da (24 örnek nokta) geliştirilen modellerin test edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Örnek noktalarda ölçülen değişkenlerin bazı istatistikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çalışma kapsamında test edilen 2, 3 ve 4 parametrelili modellerin denklem formları, yararlanılan kaynaklar ve model numaraları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çalışmamızda, geliştirilen h-d modellerinin verilere uygunluklarını (başarılarını) test etmek amacıyla, altı ölçüt kullanılmıştır. Bunlar sırası ile, Ortalama mutlak hata (OMH), Maksimum mutlak hata (MMH), Hata kareleri ortalamasının karekökü (RMSE), belirtme katsayısı (R^2), Ortalama hata (OH), Akaike bilgi ölçütü (AIC)'dür (Çizelge 3).

Çizelge 1. Çap-boy modellerini geliştirmek ve test etmek için kullanılmış örnek ağaçlara ilişkin bazı istatistikler

Değişkenler	Model geliştirme verileri (n=1862)			Model test verileri (n=898)				
	Ortalama	Min.	Maks.	Standart Sapma	Ortalama	Min.	Maks.	Standart Sapma
d (cm)	32.8	8.0	82.0	12.6	30.3	8.0	64.0	12.1
h (m)	16.0	7.0	25.0	4.2	15.0	8.0	24.0	4.3

Çizelge 2. Çap-boy modellerinin geliştirilmesi için kullanılan modeller

Model	2-parametreliler	Kaynaklar (Yıl)	Model no
Hyperbolic	$h = 1.30 + \frac{d^2}{(a + b * d)^2}$	Meyer (1940)	1
Hyperbolic	$h = 1.30 + \frac{a * d}{(1 + d)^b}$	Curtis (1967)	2
Exponential	$h = 1.30 + a * e^{(-b*d^{-1})}$	Ratkowsky (1990)	3
Exponential	$h = 1.30 + a * (1 - e^{(-b*d)})$	Ratkowsky (1990)	4
Power	$h = 1.30 + a * d^b$	Huang-Titus (1992)	5
Hyperbolic	$h = 1.30 + \frac{a * d}{(b + d)}$	Wykoff vd. (1982)	6
Exponential	$h = 1.30 + e^{(a-b*(d+1)^{-1})}$	Wykoff vd. (1982)	7
3- parametreliler			
Hyperbolic	$h = 1.30 + \frac{d^2}{a + b * d + c * d^2}$	Prodan (1968)	8
Logistic	$h = 1.30 + \frac{1}{1 + b * e^{(-c*d)}}$	Pearl-Reed (1920)	9
Chapman-Richards	$h = 1.30 + a * (1 - e^{(-b*d)})^c$	Richards (1959)	10
Weibull	$h = 1.30 + a * (1 - e^{(-b*d)^c})$	Yang vd. (1978)	11
Gompertz	$h = 1.30 + a * e^{(-b*e^{(-c*d)})}$	Winsor (1932)	12
Linear	$h = a + b * d + c * d^2$	Prodan (1968)	13
Power	$h = 1.30 + a * d^{b*d^{-c}}$	Sibbesen (1981)	14
Korf/Lundqvist	$h = 1.30 + a * e^{(-b/(d+c))}$	Seber- Wild (1989)	15
Exponential	$h = 1.30 + a * e^{(-b/(d+c))}$	Seber- Wild (1989)	16
Logistic	$h = 1.30 + \frac{1}{1 + b * d^c}$	Ratkowsky-Reedy (1986)	17
4- parametreliler			
Chapman-Richards	$h = 1.30 + a * (1 - b * e^{(-c*d_{1.30})})^d$	Richards (1959)	18
Exponential	$h = 1.30 + a * e^{(-b*e^{(-c*d_{1.30})})^d}$	Zeide (1993)	19
Weibull	$h = 1.30 + a * (1 - e^{(-b*(d_{1.30}-c)^d})}$	Seber-Wild (1989)	20

h=ağaç boyu (m), d ve d_{1.30}=göğüs çapı (cm), e=eular sabiti (≈ 2,718) ve a,b,c,d=model parametreleri.

Çizelge 3. Geliştirilen h-d modellerini test etmek için kullanılan ölçütler

Uygunluk testi modeli	Uygunluk testi adı
$OMH = \sum_{i=1}^n h_i - \hat{h}_i $	Ortalama mutlak hata
$MMH = \max(h_i - \hat{h}_i)$	Maksimum mutlak hata
$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \hat{h}_i)^2}{n - p}}$	Hata kareleri ortalamasının karekökü
$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \hat{h}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h}_i)^2}$	Belirtme katsayısı
$OH = \frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \hat{h}_i)}{n}$	Ortalama hata
$AIC = n * \ln(RMSE) + 2 * p$	Akaike bilgi ölçütü

Burada, h_i , \bar{h}_i , \hat{h}_i , ve $\bar{\hat{h}}_i$ sırasıyla ölçülen, ölçülen değerlerin ortalaması, tahmin değeri ve tahmin edilen değerlerin ortalamasını, n= gözlem sayısı, p= parametre sayısı ve ln= doğal logaritma.

Bu ölçütlerden R², tahmin edilen ve ölçülen değerler arasındaki açıklama düzeyini göstermektedir. Boy tahminlerinin doğruluğu RMSE (hata kareleri ortalamasının karekökü) kullanılarak belirlenecektir. Ortalama hata, tahmin tutarlılığını belirlemek için kullanılacak ve AIC, tüm modeller arasından en başarılı tahminleri yapan modeli seçmek için kullanılacaktır. Çalışmada OMH, RMSE, OH,

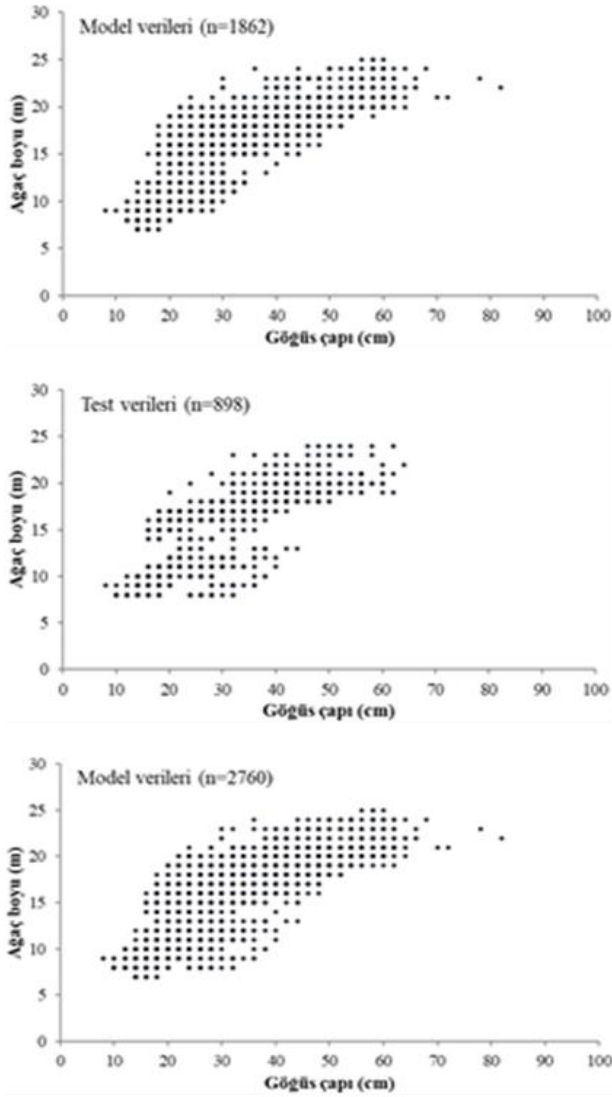
MMH ve AIC kriterlerinde en düşük değere sahip model en başarılı model olarak seçilirken, R² kriterinde en katsayıya sahip model tercih edilecektir.

Elde edilen sıralamaların toplamı küçük ise model başarılı kabul edilmiştir. Ayrıca, geliştirilen modellerin performansı, tahmin edilen boy değerleri ile ölçülen boy değerlerinin 1:1 dağılım grafiği ile değerlendirilmiştir. Verilerin modele uyumunu ve regresyon katsayılarını belirlemek için IBM SPSS Statistics Version 22 istatistik paket programında Doğrusal olmayan regresyon analizi "non-linear (NLIN)" fonksiyonu kullanılmıştır.

3. Bulgular ve tartışma

Burdur-Pamucak yöresinde doğal, aynı yaşlı ve orta veya normal kapalılığa yakın kızılçam meşcerelerinde göğüs çapından yararlanılarak tek ağaçta boy tahmini için modeller geliştirilmiştir. Bu amaçla, meşcerelerden toplanan çap-boy değerleri regresyon analizleri ve çap-boy modellenmesine ait istatistiksel analizler aşağıda sırasıyla verilmiştir.

Tek ağaçta boyun tahmini için, model verileri, test verileri ve tüm veriler (model verileri) grafikleri Şekil 2' de gösterilmiştir.



Şekil 2. Örnek ağaçların çap ve boy ölçümleri ile model (a), test (b) ve tüm veri (c) grubu için oluşturulan çap-boy dağılımları

3.1. Çap- boy modelleri

Bu alt bölümde, ilk önce modelleri topluca ve daha sonra da modellerin parametre sayısına göre başarıları incelenmiştir. IBM SPSS Statistics Version 22 programında model grubu, test grubu ve tüm veri grubu şeklinde veriler dosyalar halinde ayrılmışlardır. 20 adet model için ayrı ayrı doğrusal olmayan regresyon analizi yöntemi kullanılarak regresyon katsayıları elde edilmiştir (Çizelge 4). Bazı modellerin parametreleri önemsiz, modellerin çoğunluğunda ise model parametreleri 0.001 önem düzeyinde anlamlı bulunmuştur.

Başarı ölçüt değerleri de Çizelge 4'te verilmiştir. Modellerin belirtme katsayıları en azından $R^2 > 0.591499$ (m12 nolu model) olduğu ve h-d arasında oldukça yüksek bir belirtme katsayısını göstermektedir.

Çizelge 5' ten en başarılı modelin 3 Parametrelî Korf/Lundgvist (m15) modeli olduğu, bu modeli sırasıyla 3 Parametrelî Exponential (m16), 4 Parametrelî Exponential (m19), 4 Parametrelî Weibull (m20) ve 3 Parametrelî Hyperbolic (m8) modelinin izlediği görülmüştür. En başarısız sonuçların ise en başarısızdan başlayarak 4 Parametrelî Chapman-Richards (m18), 3 Parametrelî Gompertz (m12) ve 2 Parametrelî Power (m5) modellerinin verdiği tespit edilmiştir.

Modele ait OH değerleri çok küçük bir değer olarak bulunmuştur. OH değerlerinin küçük çıkması toplam ortalama boy hatasının küçük çıkacağını göstermiştir. Yine standart sapmayı belirten düşük RMSE değerleri de varyansın da fazla olmadığını göstermiştir. Çalışmada modele ilişkin istatistikler ve katsayılar daha önce söz konusu çap- boy ilişkisi için kullanılan model sonuçlarına yakın bulunmuştur (Larsen ve Hann, 1987; Colbert vd., 2002).

Doğal kızılcım meşcereleri için geliştirilmiş h-d modellerinin tahmin değerleri bağımsız veri seti kullanılarak test edilmiş ve sonuçlar Çizelge 6'da verilmiştir. Elde edilen bulgular model geliştirme sonuçlarına benzerlik göstermektedir.

3.1.1. İki parametrelî çap- boy modelleri

2 Parametrelî 7 adet model (m1-m7) kendi içerisinde başarı ölçüt değerlendirmesi de yapılmıştır. Başarılı bulunan m1 modeline Meyer (1940; Hyperbolic model) ait regresyon katsayıları kullanılarak yapılan boy tahmin değerleri ile ölçüm sonucu elde edilen gerçek değerler alındığı çapa karşılık olarak bir grafik üzerinde noktalanmıştır (Şekil 3). Tahmin edilen boy değerleri ile ölçülen boy değerlerinin örtüşme oranı boy değeri büyüdükçe bir miktar artmaktadır. Hata miktarının da azaldığı görülmektedir.

Çizelge 4. Çap- boy modeline ait regresyon katsayıları

Model no	Katsayılar			
	a	b	c	d
m1	2.446935	0.180027	-	-
m2	2.011033	0.420934 ^{ns}	-	-
m3	25.660524	17.007583	-	-
m4	23.969870	0.030071	-	-
m5	1.795670	0.602023 ^{ns}	-	-
m6	35.985589	46.201383	-	-
m7	3.268735	18.401692	-	-
m8	15.948166	0.203503	0.042508	-
m9	19.691382	5.981916	0.097718	-
m10	20.741809	0.060216	1.840651	-
m11	20.497261	0.012906	1.353802	-
m12	0.000204	-10.655016 ^{ns}	-0.001413 ^{ns}	-
m13	1.029542	0.659114	-0.005399	-
m14	0.002642	5.366422	0.220032	-
m15	25.062095	28.893979	1.182244	-
m16	26.252925	15.770034	-2.111057	-
m17	22.531324	0.003278	1.881295	-
m18	0.0000009397	0.296932	-0.000793 ^{ns}	-45.512047 ^{ns}
m19	23.816033	9989.305533	6.350940	0.132615
m20	21.928143	0.06737	6.951959	0.893845

Tüm parametreler $p < 0.001$ ve ns=önemsiz olarak işaretlenmiştir.

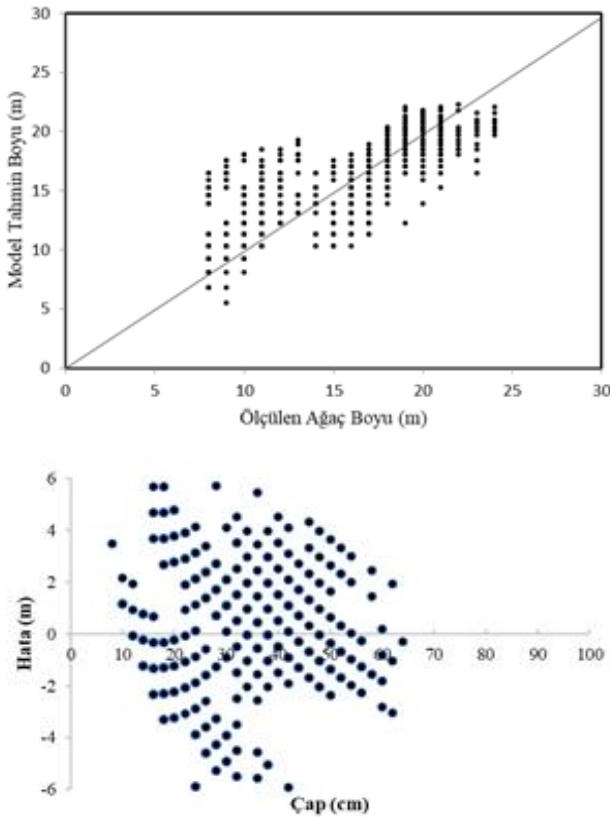
Çizelge 5. Geliştirilen h-d modellerine ilişkin ölçüt değerleri ve başarı sıralaması

Model no	Ölçütler						
	OMH	MMH	RMSE	R ²	OH	AIC	Toplam
1	1.84555 (11)	7.12363 (9)	2.32075 (10)	0,699749 (10)	-0.01489(11)	1571.60 (11)	62
2	1.97848 (17)	7.48406 (16)	2.41694 (17)	0,674337 (17)	-0.02254(13)	1647.22 (17)	97
3	1.85077 (12)	7.14354 (11)	2.34038 (14)	0,694639 (14)	0.27128 (20)	1587.29(14)	85
4	1.88952 (15)	7.45482 (15)	2.36192 (15)	0,68900 (15)	0.27012 (19)	1604.34(15)	82
5	1.99654 (18)	7.78486 (18)	2.43793 (18)	0,66865 (18)	0.26005 (16)	1663.32(18)	106
6	1.91060 (16)	7.53270 (17)	2.37503 (16)	0,685534 (16)	0.26372 (17)	1614.65(16)	98
7	1.85246 (13)	7.18573 (13)	2.34014 (13)	0,694706 (13)	0.27009 (18)	1587.10(13)	83
8	1.79222 (5)	6.99470 (5)	2.30041 (3)	0,705146 (4)	-0.00292(8)	1557.21 (3)	28(5)
9	1.82736 (10)	7.18337 (12)	2.33116 (11)	0,697091 (11)	-0.00801(10)	1582.26 (10)	64
10	1.80114 (8)	7.05341 (7)	2.30753 (8)	0,703300 (7)	-0.00249(6)	1562.96(7)	43
11	1.81119(9)	7.10211 (8)	2.31231 (9)	0,702076 (9)	-0.00602 (9)	1566.81(9)	53
12	2.25887 (20)	11.32562 (19)	2.70764 (19)	0,591499 (20)	0.02054 (12)	1860.70(19)	109
13	1.85411 (14)	7.26155 (14)	2.33437 (12)	0,696374 (12)	-0.00061 (2)	1584.49(12)	66
14	1.797442 (7)	7.12974 (10)	2.30792 (7)	0,703216 (8)	0.12768 (15)	1562.38(8)	55
15	1.78742 (1)	6.98722 (3)	2.29814 (1)	0,705718 (1)	0.00101 (3)	1555.37(1)	10(1)
16	1.78851 (3)	6.96953 (1)	2.29818 (2)	0,705718 (2)	0.00138 (5)	1555.40(2)	15(2)
17	1.79099(4)	7.01721 (6)	2.30128 (4)	0,704911 (5)	-0.00250(7)	1557.91(4)	30
18	2.25483 (19)	11.48819 (20)	2.70826 (20)	0,591546 (19)	-0.03517(14)	1863.12(20)	112
19	1.78846 (2)	6.99090 (4)	2.29993 (5)	0,705583 (3)	-0.00136(4)	1558.32(5)	23(3)
20	1.79752(6)	6.98449(2)	2.30365 (6)	0,704475 (6)	-0.00036(1)	1561.83 (6)	24(4)

OMH = Ortalama Mutlak Hata, MMH= Maksimum Mutlak Hata, RMSE= Hata kareleri ortalamasının karekökü, R²= Belirtme Katsayısı, OH= Ortalama Hata, AIC= Akaike Bilgi Kriteri

Çizelge 6. Test veri seti ile başarılı modellerin başarı ölçüt değerleri

Model no	Ölçütler						
	OMH	MMH	RMSE	R ²	OH	AIC	Toplam
m15	2.03907 (3)	8.80610 (3)	2.75270 (4)	0.594 (4)	-0.17792 (2)	915.30 (2)	18(2)
m16	2.04347 (4)	8.78941 (1)	2.75422 (5)	0.593 (5)	-0.17394 (1)	915.79 (3)	19(3.5)
m19	2.03657 (2)	8.81855 (4)	2.75199 (3)	0.595(3)	-0.18398(3)	917.07 (5)	20(5)
m20	2.04507 (5)	8.80089 (2)	2.75048 (2)	0.596 (2)	-0.18402 (4)	916.58 (4)	19(3.5)
m8	2.02761 (1)	8.83807 (5)	2.74138 (1)	0.598 (1)	-0.19791 (5)	911.60 (1)	14(1)



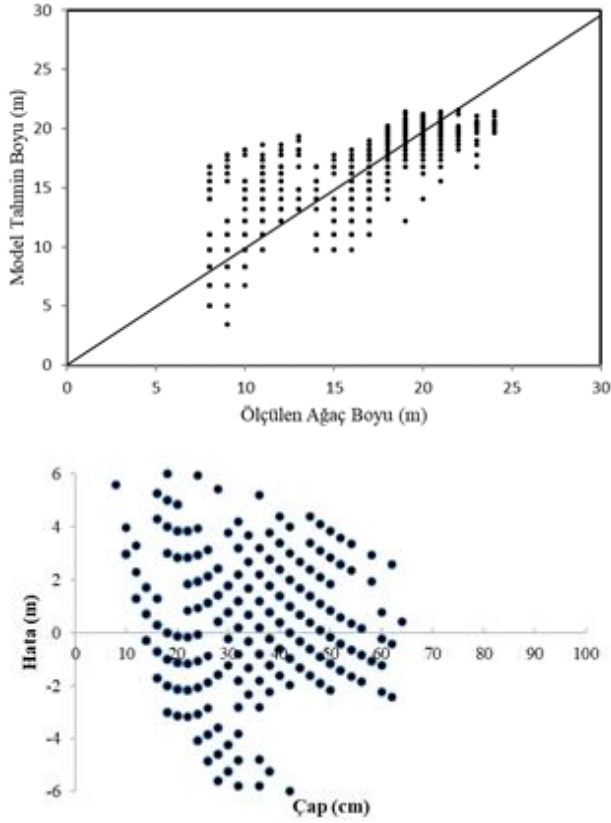
Şekil 3. Tahmin edilen boy (m1 nolu model) ile test grubu ölçülen boy değerleri arasındaki ilişki ve hata miktarları

3.1.2. Üç parametrelili çap-boy modelleri

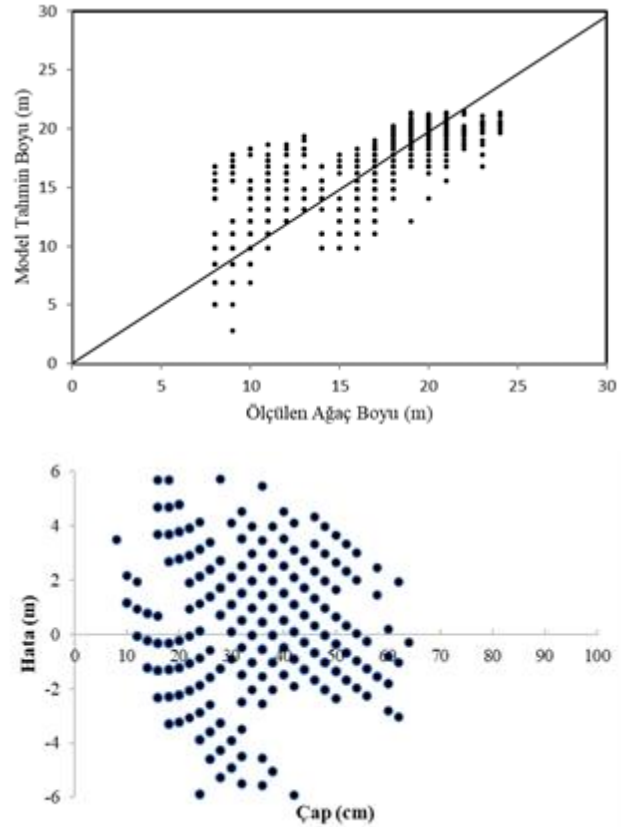
Çalışmamızda, m15 nolu modele (3 Parametrelili Seber-Wild (1989; Korf/Lundgvist model)), ait regresyon katsayıları kullanılarak test materyali üzerinde yapılan tahmin değerleri ile ölçülen gerçek boy değerleri bir dik koordinat sistemi üzerine noktalanmıştır (Şekil 4). Tahmin edilen boy değerleri ile ölçülen boy değerlerinin örtüşme oranı boy değeri büyüdükçe artmaktadır. Hatalar m1 nolu modele göre daha küçüktür.

3.1.3. Dört parametrelili çap-boy modelleri

Alınan test materyali üzerinde m19 nolu modele (4 Parametrelili Zeide (1993; Exponential model)) ait regresyon katsayıları kullanılarak yapılan tahmin değerleri ile ölçülen gerçek değerler alındığı çapa karşılık olarak bir grafik üzerinde noktalanmıştır (Şekil 5). Tahmin edilen boy değerleri ile ölçülen boy değerlerinin örtüşme oranı boy değeri büyüdükçe bir miktar artmaktadır. Hatalar m1 nolu modelden daha az olmakla beraber m15'ten bir miktar daha fazladır. OH değerleri m1, m15 ve m19 için sırasıyla -0.01489, +0.00101 ve -0.00136 olarak bulunmuştur (Çizelge 5).



Şekil 4. Başarılı bulunan m15 nolu h-d modelinin test materyali ile yapılan tahmini boy ile gerçek boy ölçüm değerleri arasındaki ilişki ve hata miktarları



Şekil 5. Başarılı bulunan m19 nolu h-d modeli ile tahmin edilen boy değerleri ile test değerleri arasındaki ilişki ve hata miktarları

4 parametre grubunda en başarılı olduğu tespit edilen m19 nolu (Zeide, 1993; Exponential model) çap- boy model için boy tahminindeki hataların tahmin edilen çap basamak orta değerlerine göre dağılımı verilmiştir. Şekil 5' ten izleneceği üzere parametre gruplarında (2 parametrelili, 3 parametrelili ve 4 parametrelili) en başarılı modeller için elde edilen hata dağılımları da oldukça benzer dağılım göstermektedir.

Genel olarak hata miktarlarının başarılı olduğu tespit edilen modellerde, ölçülen boy değerlerinin artmasına bağlı olarak bir artış gösterdiği bazı çalışmalarda ortaya konulmuştur (Ahmadi vd., 2013; Özçelik ve Çapar, 2014). Fakat bu çalışmada çap artmasına bağlı olarak boyda hata miktarının azaldığı görülmüştür. Hata dağılımlarına ilişkin varyasyonun sabit olduğu da gözlenmiştir. Genel olarak bir modelin başarılı olup olmadığına karar verilirken hata miktarının küçük olmasının yanı sıra elde edilen hataların da belirli ve sabit bir varyansa sahip olması şartı da aranmaktadır. Bu bakımdan m15, m16, m19, m20 ve m8 başarılı sayılabilir.

Sonuç olarak, üç farklı parametre sayısına sahip olan tüm modeller (2 parametrelili, 3 parametrelili ve 4 parametrelili modeller) için de nispeten benzer sonuçlar elde edilmiştir. Tahmin edilen boy değerleri ile ölçülen boy değerlerinin örtüşme oranı boy değeri büyüdükçe bir miktar artmaktadır.

Modellerin parametre sayısına göre test edilen çap-boy modellerinin aritmetik ortalama başarı değerlendirilmesi yapıldığında sırasıyla 2 parametrelili, 3 parametrelili ve 4 parametrelili olanların sırasıyla 87.6, 47.3 ve 53 toplam sırasına sahip olduğu belirlenmiştir (Çizelge 5). Buradan da genel olarak 3 parametrelili modellerin çap- boy arasındaki ilişkiyi açıklamada diğer gruplara göre başarılı bulunmuştur. Söz konusu grubun tüm modeller içerisinde en iyi olarak belirlenen beş modelden ikisine (m15 ve m16) sahip olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda değişik ormancılık bilim dallarında da çeşitli amaçlar için kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

En başarılı h-d modelleri tüm örnek nokta verileriyle modellerin regresyon katsayıları hesaplanarak Çizelge 7'de verilmiştir. Bu parametreler ile Pamucak-Burdur yöresi orta veya normale yakın kapalı, doğal yoldan gelmiş, saf ve aynı yaşlı kızılçam meşcerelerinde göğüs çapı girilerek modelden tek ağaç boyu tahmin edilebilir.

Çizelge 7. Başarılı modellerin tüm veriler ile tahmin edilen parametre değerleri

Model no	Parametreler			
	a	b	c	d
m15	28.980833	14.156454	0.892280	-
m16	27.877547	20.242614	1.544578	-
m19	27.266331	63452.049537	8.630854	-0.085323
m20	22.853227	0.055970	4.960831	0.902761
m8	10.424120	0.565282	0.037670	-

4. Sonuç ve öneriler

Bu çalışmada, Burdur Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı Pamucak Orman İşletme Şefliği içerisinde doğal yoldan gelmiş, saf ve aynı yaşlı kızılçam meşcerelerinde, göğüs çapından yararlanılarak tek ağaç boyunun tahmin edilmesinde kullanılan literatürdeki önemli modeller test edilmiştir. Bu amaçla istatistiksel analiz yöntemlerinden regresyon analizi ile tek ağaç boy tahminleri ve tahminlerinin değişiminin grafiksel incelenmesi yapılmıştır.

Modellerin hata dağılım grafikleri, hata dağılımının küçük çap değerleri için oldukça heterojen olduğunu ancak artan çap değerleri için homojen olduğunu ortaya koymaktadır.

En başarılı h-d modelleri sırasıyla m15, m16 ve m19 olmuştur. Modellerin parametre sayısına göre değerlendirilmesi sonucunda, genel olarak 3 parametrelili modellerin çap-boy ilişkisini açıklamada yeterli olduğu ve en iyi performansa sahip olan beş modelden üçünün (m15, m16 ve m8) bu kategoriye girdiği ve çeşitli ormancılık bilim dallarında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Yöredeki örnek noktalardan elde edilen verilerle tek ağaç boyunun yaklaşık %70'i (m15 için hesaplanan $R^2=0.7056$) sadece göğüs çapı değişkeni tarafından açıklanmaktadır. Geriye kalan %30'luk açıklanamayan kısım ise modelde yer almayan önemli ve kontrol edilemeyen rastgele değişkenlerden kaynaklanmaktadır.

Çalışma sonuçları ışığında, araştırmacı ve uygulamacılara şu önerilerde bulunulabilir:

Pamucak Orman İşletme Şefliği sınırları içinde bulunan doğal kızılçam meşcerelerinde çeşitli yaş, bonitet sınıfı ve orta ve normal kapalılıkta için tek ağaç boyunun tahmin edilebilir. Bu modeller, orman amenajmanı planı ve silvikültürel amaçlı uygulamalarda çeşitli amaçlar için güvenle kullanılabilir.

Bu çalışmanın verileri geçici örnek noktalardan elde edilmiştir. Farklı yaş, yetiştirme ortamı ve sıklıktaki meşcerelerde kurulacak sabit deneme alanları ve periyodik ölçümlerle tek ağaç boyu daha doğru bir şekilde belirlenebilir.

Kaynaklar

- Alkan, O., Koparan, B., 2023. Sustainable forestry: a comprehensive review of Türkiye's national forest inventory and monitoring strategies (Ed., Bozdoğan, N.Y., Bozdoğan A.M), Platanus Publishing, Ankara, pp. 273-284.
- Ahmadi, K., Alavi, S.J., Kouchaksarai, M.T., Aestern, W., 2013. Non-linear height-diameter model for Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) in the Hyrcanian Forests, Iran. Biotechnology Agronomy Society and Environment. 17(3): 431-440.
- Arabatzis, A.A., Burkhart, H.E., 1992. An evaluation of sampling methods and model forms estimating height-diameter relationships in Loblolly pine plantations. Forest Science, 38: 192-198.
- Bolat, F., Ülker, 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(3): 199-220.
- Carus, S., 1998. Aynı yaşlı doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) ormanlarında artım ve büyüme. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Carus, S., Akguş, Y., 2018. Tarsus yöresi fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.) meşcereleri için çap-boy modellerinin geliştirilmesi. Türkiye Ormancılık Dergisi, 19(1): 1-8.

- Castedo Dorado, F., Dieguez-Aranda, U., Barrio Anta, M., Sanchez Rodriguez, M., Gadow, K., 2006. A generalized height-diameter model including random components for radiata pine plantations in northwestern Spain. Forest Ecology and Management, 229: 202-213.
- Colbert, K.C., Larsen, D.R., Lootens, J.R., 2002. Height-diameter equations for thirteen midwestern bottomland hardwood species. Northern Journal of Applied Forestry, 19(4): 171-176.
- Curtis, R.O., 1967. Height-diameter and height-diameter age equations for second growth Douglas-fir. Forest Science, 13: 365-375.
- Çatal, Y., 2012. Göller yöresinde yalancı akasya, Anadolu karaçamı ve Toros sediri ağaç türleri için çap-boy modeli. Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi, 13(2): 92-96.
- Çepel, N., 1984. Ekosistem kavramı ve ekosistem amenajmanı. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 34(2): 23-32.
- Diamantopoulou, M.J., Özçelik, R., 2012. Evaluation of different modeling approaches for total tree-height estimation in mediterranean region of Turkey. Forest Systems, 21(3): 383-397.
- Diamantopoulou M.J., Özçelik R., Koparan B., Alkan O., 2023. Artificial intelligence as an alternative modelling strategy for reliable height-diameter predictions of mixed-oaks species. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 47: 228-241. <https://doi.org/10.55730/1300-011X.3081>
- Ercanlı, İ., Kahriman, A., Yavuz, H., 2012. Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü doğu ladini-sarıçam karışık meşcereleri için karışık etkili doğrusal olmayan regresyon denklemleri ile doğu ladini çap-boy modellerinin geliştirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 13: 75-84.
- Göçer, N., 2016. Batı Akdeniz yöresi doğal Toros sediri meşcereleri için karışık etkili çap-boy modellerinin geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Huang, S., Titus, S.J., Wiens, D.P., 1992. Comparison of nonlinear height-diameter functions for major Alberta tree species. Canadian Journal of Forest Research, 22: 1297-1304.
- Kalipsız, A., 1982. Orman Hasılat Bilgisi. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları, Gençlik Basımevi, İstanbul.
- Kalipsız, A., Eler, Ü., 1984. Lübnan sediri (*Cedrus libani* A. Rich.) ağaçlarının gelişmesi üzerine örnekler. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 34(2): 1-17.
- Koparan, B., 2023. Ecosystem dynamics and resource assessment: the role of aboveground biomass estimation in forests (Ed., Bozdoğan, N.Y., Bozdoğan A.M.), Platanus Publishing, Ankara, pp. 257-272.
- Larsen, D.R., Hann, D.W., 1987. Height-diameter equations for seventeen tree species in southwest Oregon. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis, Technical Report, USA.
- Meyer, H.A., 1940. A mathematical expression for height curves. Journal of Forestry, 38: 415-420.
- Mısır, N., 2010. Generalized height-diameter models for *Populus tremula* L. stands. African Journal of Biotechnology, 92(8): 4348-4355.
- Özçelik, R., Çapar, C., 2014. Antalya yöresi doğal kızılçam meşcereleri için geliştirilmiş çap-boy modellerinin geliştirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi, 15(1): 44-52.
- Pearl, R., Reed, L.J., 1920. On the rate growth of the population of United States since 1790 and its mathematical representation. Proc. National Academic Science USA, 6: 275-288.
- Prodan, M., 1968. Forest Biometrics, English ed. Pregamon Press, Oxford.
- Ratkowsky, D. A., 1990. Handbook of Nonlinear Regression. Marcel Dekker, Inc, New York.
- Ratkowsky, D. A., Reedy, T.J., 1986. Choosing near-linear parameters in the four-parameter logistic model for radioligand and related assays. Biometrics, 42: 575-582.

- Richards, E.J., 1959. A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Biology*, 10: 290- 300.
- Seber, G.A.E., Wild, C.J., 1989. *Nonlinear Regression*. John Wiley, New York.
- Sibbsen, E., 1981. Some new equations to describe phosphate sorption by soils. *Journal of Soil Science*, 32: 62-74.
- Winsor, C.P., 1932. The gomperts curve as a growth curve. *Proc. National Academic Science USA*, 18:1-7
- Wykoff, W., 1982. User's guide to the stand prognosis model (Vol. 133). US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. Yang, R.C., Kozak, A., Smith, J.H.G., 1978, The potential of weibull-type functions as a flexible growth curve. *Canadian Journal of Forest Research*, 8:424-431
- Zeide, B., 1993. Analysis of growth equations. *Forest Science*, 39: 594-616.