

Ağlasun yöresi kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ağaçlandırmaları için bazı çap-boy modellerinin karşılaştırılması

Serdar Carus^{a,*}, Yılmaz Çatal^a

Özet: Bu çalışmada, Ağlasun yöresi yapay kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinden alınan 52 örnek alan verisi kullanılarak toplam 20 adet çap- boy (d-h) modeli test edilmiştir. Kızılçam meşceresi 600 ha büyüklüğünde ve 1975 yılında dikim yoluyla getirilmiştir. Örnek alan verileri iki gruba ayrılmış, birinci grup (%80) model geliştirmek ve ikinci grupta (%20) geliştirilen modellerin test edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Geliştirilen iki (n=7), üç (n=10) ya da dört parametrelili (n=3) çap boy modellerinin boy tahminlerindeki performansları, altı farklı ölçüt değerleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. En başarılı sonuçlar sırasıyla, Korf, Sibbesen ve Meyer tarafından geliştirilen modellerle elde edilmiştir. Bağımsız veri seti kullanılarak yapılan değerlendirmede de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Sonuç olarak, yöresel bazda kızılçam meşcerelerinde çap-boy ilişkilerini en iyi şekilde açıklayan yöresel çap- boy modelleri geliştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Kızılçam, Regresyon yöntemi, Ağaç boyunun tahmini

Comparison of some diameter-height models for brutian pine (*Pinus brutia* Ten.) afforestations in Ağlasun region

Abstract: In this study, diameter- height (d-h) models for afforestation Brutian pine (*Pinus brutia* Ten.) stands in Ağlasun region were developed using the breast height diameter and tree height. The brutian pine stand is about 600 ha and was planted in 1975. This study, a total of 20 models, the data used were obtained from 52 sample plots were tested. The available data for the species were split into two sets: the majority (%80) was used to estimate model parameters, and the remaining data (%20) were reserved to validate the models. The performance of the two (n=7), three (n=10) or four parameter models (n=3) was compared and evaluated with six model performance criteria. According to the model performance criteria, the best results were obtained with Korf, Sibbesen and Meyer models, respectively. The similar results were obtained using independent dataset. As a result, regional diameter- height models were created for Calabrian pine.

Keywords: Brutian pine, Regression method, Estimation of tree height

1. Giriş

Ormancılığın ana kapitali olan ağaç hacmi gerçeğe yakın olarak ağaç çapı ve boyunun bilinmesi ile elde edilmektedir (Kalıpsız, 1984). Fakat, boy ölçümü yapılmadığından dolayı uygulamada ağaç hacminin tahmininde daha duyarlı olan çift girişli ağaç hacim tabloları yerine tek girişli ağaç hacim tabloları kullanılmaktadır (Erkan vd., 2010). Ağaç çapı ağacın en kolay ölçülen parametresidir. Ağaç boyu, bonitet endeksi ve hacim belirlemede önemli parametredir (Husch, vd., 1972). Tek ağaç ve meşcerede artım ve büyümenin tahmininde gerekli olan önemli parametrelerden ağaç boyu; ölçümü zaman gerektirmesi, ölçüm hatası yapılabilmesi ve boy ölçer aletinin genellikle orman işletme şefliklerinde çoğunlukla bulunmamasından dolayı arazide boy ölçümü yaygın olarak yapılamamaktadır (Kalıpsız, 1984; Eler, 2003). Bu nedenle, ölçümü zor olan ağaç boyu ölçümü kolay olan göğüs çapı yardımı ile tahmin edilmektedir (Avery ve Burkhart, 1994).

Ülkemizde son yıllarda orman amenajman planlarının düzenlenmesinde kullanılan ekosistem tabanlı fonksiyonel planlama yaklaşımı için gerekli olan artım ve büyüme modellerinin en önemli unsurlarından birisi de çap-boy (d-h) modelleridir (Özçelik ve Çapar, 2014). Meşcerenin artım ve büyümesini belirlemede kullanılan bir çok simülasyon programında çap-boy denklemleri ile bir yöre veya meşcerede ağaçların ve meşcerenin belirli periyotlardaki hacmini belirlemede ağaç boyu tahmini yapılmaktadır (Saraçoğlu, 1988; Carus, 1998; Temesgen vd., 2007). Ülkemizde bu tür bilgiler, özellikle ağaç türü, yetişme ortamı ve meşcere sıklığı farklılıkları çok değiştiği için oldukça önemlidir.

Çap ile boy arasında her zaman pozitif yönde eğrisel bir ilişki vardır. Bu ilişkinin ortaya koyulmasında doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon modelleri kullanılmaktadır. Doğrusal modeller yüksek hassasiyette tahmin istenmeyen çalışmalarda kullanılmaktadır. Buna karşın, doğrusal modellere göre daha esnek olan ve verilere uygulama kolaylığı olan doğrusal olmayan modeller daha sık

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

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

✓ **Received** (Geliş tarihi): 02.02.2017, **Accepted** (Kabul tarihi): 13.06.2017



Citation (Atf): Carus, S., Çatal, Y., 2017. Ağlasun yöresi kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ağaçlandırmaları için bazı çap-boy modellerinin karşılaştırılması. Turkish Journal of Forestry, 18(2): 94-101.
DOI: [10.18182/tjf.289330](https://doi.org/10.18182/tjf.289330)

kullanılmaktadır (Larsen ve Hann, 1987; Wang ve Hann, 1988; Arabatzis ve Burkhart, 1992; Huang vd., 1992).

Değişik ağaç türleri için yurt dışında değişik ağaç türü ve meşcere kuruluşları için çok sayıda d-h denklemi geliştirilmiş ve çalışmalar halen devam etmektedir (Wykoff vd., 1982; Larsen ve Hann, 1987; Wang ve Hann, 1988; Huang vd., 1992; Parresol, 1992; Colbert vd., 2002; Soares ve Tome, 2002; Castedo Dorado vd., 2006; Lootens vd., 2007). Ancak, ülkemizde sınırlı sayıda ağaç türü ve meşcere kuruluşları için d-h ilişkilerini ortaya koyan denklemler geliştirilmiştir (Sönmez, 2008; Mısır, 2010; Şenyurt, 2011; Çatal, 2012; Yıldızbakan vd., 2012; Diamantopoulou ve Özçelik, 2012; Ercanlı, vd., 2012; Aylak Özdemir, 2013; Özçelik ve Çapar, 2014).

Çap-boy modelinin tüm ağaç türleri için veya aynı ağaç türünde bile tüm yayılış alanında geçerliliği söz konusu değildir. Bu yüzden ağaç boyundaki varyasyonu açıklamak için, göğüs çapının yanında, ağaç boyunu önemli ölçüde etkileyen meşcere yaşı, bonitet endeksi gibi değişkenlerde kullanılarak genelleştirilmiş çap-boy modelleri geliştirilmektedir. Bu modellerde birden fazla meşcere değişkeni ölçülmesi gerektiğinden sadece çapa göre boyu tahmin eden yöresel çap-boy modellerinin geliştirilmesi önem kazanmaktadır (Kalıpsız, 1984; Knowe, 1994).

Kızılçam ülkemiz için ekonomik ve ekolojik açıdan en önemli ağaç türlerinin başında gelmektedir. Kızılçam ülkemizde 5.6 milyon hektar alan kaplamakta ve bu alan üzerindeki dikili ağaç serveti yaklaşık 270 milyon metreküptür (Anonim, 2015). Özellikle Akdeniz Bölgesinde oldukça geniş bir yayılış alanına sahiptir. Göller yöresinde, üzerinde yeterli sayı ve nitelikte ağaç bulunmayan alanlarda değişik dönemlerde kızılçam ağaç türü ile oldukça geniş sahalarda ağaçlandırma çalışmaları yapılmış ve halen devam etmektedir. Bu alanlarda yaygın olarak kullanılan kızılçam türü için ağaçlandırma sahalardaki hasılat özelliklerini tahmin edici az sayıda çalışma vardır (Usta, 1991). Keza, ağaçlandırma sahalarda toprak işleme, orijin, dikim sıklığı ve kültürel bakım çalışması tekniği ve sıklığından dolayı ağaçların doğal meşcerelerde yetişenlere göre hacim ve hacim elemanları bakımından oldukça farklı artım ve büyüme özellikleri göstermektedir. Ancak, doğru tanımlanan hasılat öğeleri ile türler için yapılacak hasılat çalışmaları ve simülasyon modelleri için bilimsel açıdan geçerli altlık oluşturabilmektedir.

Farklı ağaç türleri ve meşcere kuruluşları için de, ağaç türünün genetik özelliği, yetiştirme şekli ve yetişme ortamı verim gücü farklılaşması yüzünden d-h ilişkilerini tek bir model ile açıklamak yeterli olamamaktadır. Bu nedenle de her meşcere ve her ağaç türü için ayrı ayrı d-h modellerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

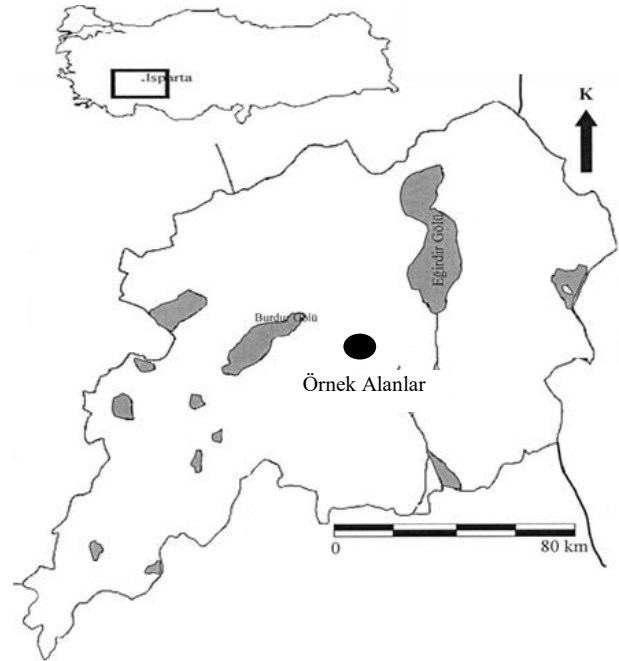
Ülkemizde 50 yıl önce dikim yoluyla ağaçlandırılmış, aynı yaşlı ve saf kızılçam meşcereleri için genelleştirilmiş çap-boy modellerinin oluşturulması gereklidir. Geliştirilecek d-h modelleri ile amaç; orman amenajman planlarının düzenlenmesinde veri sağlama, ağaçların çift girişli ağaç hacim tablolarının kullanılarak hacimlerin daha doğru hesaplanmasına yardımcı olmak, ormanlık alanlardaki kaçak kesilen ağaçların boyunun tahmini, uygun biyokütle denklemleri yardımı ile ağaç biyokütlesinin hesaplanması, dikili satış işlemlerinde ağaç hacim tahminlerinin hem kısa sürede hem de gerçeğe daha yakın yapılmasına yardımcı bilgi üretmektir (Özçelik ve Çapar, 2014).

Bu çalışmada, Ağlasun yöresi kızılçam ağaçlandırmaları için çap-boy modellerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla yurt içi ve yurt dışı bilimsel çalışmalarda yaygın olarak kullanılan 20 adet çap-boy modeli test edilmiş ve hangi modelin yapay kızılçam meşcereleri için daha uygun olduğu altı farklı ölçüt değerleri kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır.

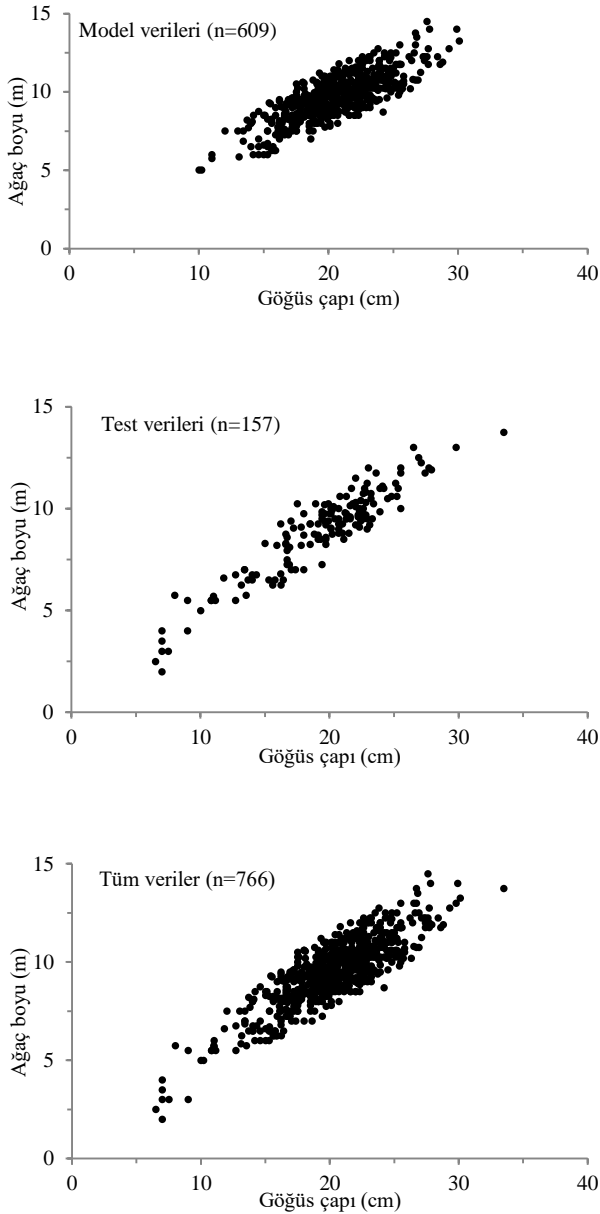
2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

Çalışmada, ağaçlandırma yolu ile yetiştirilmiş kızılçam meşcerelerinden alınan örnek alan verileri kullanılmıştır. Söz konusu, kızılçam meşcereleri Isparta Orman Bölge Müdürlüğü, Burdur Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı Ağlasun Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yer almaktadır. Örnek alanları ortalama 37°38'06'' kuzey enlemi ve 30°32'37'' doğu boylamında yer almakta olup, yine ortalama denizden yüksekliği 1150 m'dir. Çalışma alanı 1976 yılında 3.0x1.5m aralık mesafe ile ağaçlandırılmış olup, yaklaşık 600 ha büyüklüğündedir. Bu meşcerelerden örnek alan yöntemi ile kare ya da dikdörtgen biçiminde toplam 52 adet örnek alan bilinçli tesadüfi olarak alınmıştır. Bu örnek alan verilerinden 24'ü Demirkol (2011), Gülden (2013) ve Kaban (2014) yüksek lisans tez çalışmalarından, diğerleri de 2003 ve 2016 yılı yaz aylarında alınan örnek alan ölçümlerinden sağlanmıştır. Örnek alanların alındığı meşcerelerin konumu Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Örnek alanların konumu



Şekil 2. Çalışmada kullanılan gruplara ait çap-boy dağılımları, a) model verileri, b) test verileri c) tüm veriler

2.2. Yöntem

Çalışma kapsamında yapay kızılçam meşcerelerinin farklı gelişme çağıları ve kapalılık sınıflarını temsil edecek ve her örnek alan içerisine en az 30 adet ağaç girecek şekilde 400-1600 m² arasında değişen büyüklükte örnek alanlar alınmıştır. Örnek alanlarda tüm ağaçların göğüs çapı (cm), 10-20 adet ağacın boyu (m) ölçülmüştür. Toplamda 766 örnek ağaç seçilmiştir. Örnek ağaçlar seçilirken değişik çap değerlerini temsil etmesi istenmiş, çatal, tepesi kırık ve gövde formu bozuk olmamasına özen gösterilmiştir. Alan Usta (1991)'nin bonitet sınıflandırmasına göre III bonitet sınıfındadır. Tüm örnek alanlar 1994 ve 2006 yıllarında iki kez ılımlı müdahale görmüştür. Örnek ağaçlarda göğüs çapları 1 mm ve ağaç boyu da 0.1 m duyarlılıkta sırasıyla Haglöf çapölçer ve Silva boyölçer ile yapılmıştır. Örnek alan verilerinin yaklaşık %80'i (42 örnek alan) model geliştirmek için geri kalan yaklaşık %20'i de (10 örnek alan) geliştirilen modellerin test edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Örnek alanlarda ölçülen değişkenlerin bazı istatistikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çalışma kapsamında yapay kızılçam meşcerelerindeki d-h ilişkilerinin modellenmesi için kullanılan modeller Çizelge 2'de verilmiştir.

Ayrıca, geliştirilen d-h modellerinin geçerliliklerini değerlendirmek amacıyla, Ortalama mutlak hata (OMH), Maksimum mutlak hata (MMH), Hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE), korelasyon katsayısı (R), Ortalama hata (OH), Akaike bilgi ölçütü (AIC) kullanılmıştır (Çizelge 3). Bu ölçütler içinde RMSE yapılan tahminlerin doğruluğunu, R tahmin edilen değerle ölçülen değer arasındaki korelasyonu, Ortalama hata yapılan tahminlerdeki tutarlılığı, AIC ise farklı modeller arasında en başarılısının seçimi için kullanılmıştır. En iyi modelin belirlenmesinde en küçük OMH, MMH, RMSE, OH ve AIC değerlerine sahip olması yanında en yüksek R değerine sahip ölçütleri esas alınmıştır. Ayrıca, geliştirilen modellerin performansları grafiksel olarak ta değerlendirilmiştir. Bu amaçla iki farklı gösterim kullanılmıştır. Birincisinde; ortalama hata değerlerinin tahmin edilen boy değerlerine göre dağılımı, ikincisinde tahmin edilen boy değerleri ile ölçülen boy değerlerinin 1:1 dağılımı gösterilmiştir.

Verilerin denkleme uygunluğu ve regresyon katsayılarının belirlenmesinde IBM SPSS Statistics Version 22 istatistik paket programının non-linear (NLIN) özelliği kullanılmıştır.

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

Değişkenler	Model geliştirme verileri (n=609)				Model test verileri (n=157)			
	Ortalama	Minimum	Maksimum	Stand.Sap.	Ortalama	Minimum	Maksimum	Stand.Sap.
d (cm)	20.6	10.0	30.1	3.1	19.3	6.5	33.5	4.9
h (m)	9.7	5.0	14.5	1.4	8.9	2.0	13.8	2.1

h=ağaç boyu, d=göğüs çapı

Çizelge 2. Çap-boy (d-h) modellerinin geliştirilmesi için kullanılmış doğrusal olmayan regresyon modelleri

2- parametreliler	Araştırmacı	Model no
$h = 1.30 + \frac{d^2}{(a + b*d)^2}$	Näslund	1
$h = 1.30 + \frac{a*d}{(1+d)^b}$	Curtis	2
$h = 1.30 + a * e^{(-b*d^{-1})}$	Schumacher	3
$h = 1.30 + a * (1 - e^{(-b*d)})$	Meyer	4
$h = 1.30 + a * d^b$	Power	5
$h = 1.30 + \frac{a*d}{(b+d)}$	Michaelis-Menten	6
$h = 1.30 + e^{(a-b*(d+1)^{-1})}$	Wykoff	7
3- parametreliler	Araştırmacı	Model no
$h = 1.30 + \frac{d^2}{a + b*d + c*d^2}$	Prodan	8
$h = 1.30 + \frac{a}{1 + b * e^{(-c*d)}}$	Logistic	9
$h = 1.30 + a * (1 - e^{(-b*d)})^c$	Chapman-Richards	10
$h = 1.30 + a * (1 - e^{(-b*d)^c})$	Weibull	11
$h = 1.30 + a * e^{(-b*e^{(-c*d)})}$	Gompertz	12
$h = [1.30^b + (c^b - 1.30^b) * \frac{1 - e^{-a*(d-d_{\min})}}{1 - e^{-a*(d_{\max} - d_{\min})}}]^{\frac{1}{b}}$	Schnute	13
$h = 1.30 + a * d^{b*d^{-c}}$	Sibbesen	14
$h = 1.30 + a * e^{(-b*d^{-c})}$	Korf	15
$h = 1.30 + a * e^{(-b/(d+c))}$	Ratkowsky	16
$h = 1.30 + \frac{a}{1 + \frac{1}{b*d^c}}$	Hossfeld IV	17
4- parametreliler	Araştırmacı	Model no
$h = 1.30 + a * (1 - b * e^{(-c*d_{1.30})})^d$	Richards	18
$h = 1.30 + a * e^{(-b * e^{(-c*d_{1.30})})^d}$	Zeide	19
$h = 1.30 + a * (1 - e^{(-b*(d_{1.30}-c)^d})}$	Seber-Wild	20

h= ağaç boyu (m), d ve $d_{1.30}$ = göğüs çapı (cm), e=eular sabiti ($\cong 2,718$), $d_{\min}=0$, $d_{\max}=100$ ve a,b,c,d=model parametreleri.

3. Bulgular

Biyolojik sistemleri anlamada modelleme önemli bir araçtır. Modelleme bir sistemin değişimini denklemler ile tanımlama işlemidir. Bu yüzden modelleme sırasında sistemin bileşenlerini doğru olarak belirlemek ve bu sistemi tanımlayacak denklemleri doğru olarak seçmek önemlidir. Çalışmamızda Ağlasun yöresindeki kızılçam ağaçlandırmasında ağaç boyunun göğüs yüksekliği çapına göre değişiminin regresyon modelleri ile açıklanabilirliği ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Denklemlere ilişkin belirlenen parametrelerin değerleri Çizelge 4'te verilmiştir. Test edilen bütün modeller için model parametreleri 0.001 önem düzeyinde anlamlı bulunmuştur.

Ağlasun yöresi yapay kızılçam meşcereleri için model geliştirme verileri kullanılarak 20 farklı d-h modeli için elde edilen ölçüt değerleri Çizelge 5'te verilmiştir. Test edilen modeller için elde edilen ölçüt değerleri incelendiğinde korelasyon katsayılarını yüksek olduğu ($R>0.76$) dolayısı ile tüm modellerde d-h ilişkilerinin ve bu ilişkinin meşcere özellikleri ile de yüksek bir korelasyon göstermektedir.

Çalışmamızda kullanılan model sayısı fazla olduğundan hangi modelin d-h ilişkilerini açıklamada daha başarılı olduğunu ortaya koyabilmek için belirtilen ölçütlere göre tüm modeller için bir sıralama yapılmış ve sonuçları aşağıda verilmiştir. Bu sıralama yönteminde en küçük OMH, MMH, RMSE, OH, AIC değerlerine ve R değeri için ise en büyük olana birden başlayarak sayısal değerler verilmiştir. Her bir model için elde edilen sıralama değerleri toplandığında en küçük değere sahip olan model en iyi model olarak belirlenmiştir (Çizelge 5). Çizelge incelendiği zaman 20 adet d-h modelinde en başarılı modelin Hossfeld IV (m15), modeli olduğu, bu modeli sırasıyla Korf (m14) ve Meyer (m4) modelinin izlediği görülmüştür. En başarısız sonuçların ise en başarısızdan başlayarak Schumacher (m3), Logistic (m9) ve Weibull (m11), ve modellerinin olduğu görülmüştür.

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

Uygunluk testi modeli	Uygunluk testi adı
$OMH = \frac{\sum_{i=1}^n h_i - \hat{h}_i }{n}$	Ortalama mutlak hata
$MMH = \text{Max}(h_i - \hat{h}_i)$	Maksimum mutlak hata
$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \hat{h}_i)^2}{n-p}}$	Hata kareler ortalamasının karekökü
$R = \frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h}_i) * (\hat{h}_i - \bar{\hat{h}}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h}_i)^2 * \sum_{i=1}^n (\hat{h}_i - \bar{\hat{h}}_i)^2}}$	Korelasyon 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 , \hat{h}_i , \bar{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.

Çizelge 4. Geliştirilen d-h modellerine ilişkin parametre tahminleri

Model no	Katsayılar			
	a	b	c	d
m1	3.005736	0.197461	-	-
m2	0.649523	0.150141	-	-
m3	19.496497	17.059651	-	-
m4	32.274781	0.014732	-	-
m5	0.630695	0.857201	-	-
m6	58.483665	122.031258	-	-
m7	3.015450	18.884246	-	-
m8	3.494250	1.740820	0.025462	-
m9	0.001545	-0.999670	-0.000007	-
m10	23.877521	0.024220	1.110856	-
m11	-1622.342694	-0.001404	0.178456	-
m12	0.023059	-5.110899	-0.006893	-
m13	0.023839	0.857594	23.190704	-
m14	0.153670	1.891530	0.117687	-
m15	131.868937	7.024853	0.310437	-
m16	29.633369	37.760282	9.533773	-
m17	33.951585	0.010553	1.139712	-
m18	0.000757	0.507608	-0.002892	-12.027950
m19	0.004344	-6.766845	-0.027932	0.192722
m20	-8.249753	-0.234898	6.464441	0.415356

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

Model no	Ölçütler						
	OMH	MMH	RMSE	R	OH	AIC	Sıra
1	0.711028 (5)	2.545743(18)	0.865540(5)	0.788684(11)	0.000572(8)	-83.9406(3)	8
2	0.711769(12)	2.373364(6)	0.865631(8)	0.788634(12)	0.006136(17)	-83.8766(4)	12
3	0.713566 (15)	2.692052(20)	0.869398(15)	0.786540(15)	0.001352(15)	-81.2321(14)	18
4	0.711409(10)	2.417272(8)	0.865144(1)	0.788903(8)	-0.00079(12)	-84.2198(1)	3
5	0.711936 (13)	2.361527(5)	0.865658(9)	0.788619(13)	-0.000599(9)	-83.8576(5)	10
6	0.711429(11)	2.412487(7)	0.865148(2)	0.788901(9)	-0.000621(11)	-84.2165(2)	5
7	0.712460(14)	2.660167(19)	0.868181(14)	0.787218(14)	0.001095(13)	-82.0852(6)	14
8	0.710821(4)	2.461429(14)	0.865575(7)	0.789059(4)	-0.000012(2)	-81.9160(9)	4
9	0.732563(20)	2.271717(2)	0.901894(20)	0.768297(20)	-0.012650(18)	-56.8843(20)	19
10	0.711125(8)	2.450635(10)	0.865754(11)	0.788961(6)	-0.000290(6)	-81.7901(11)	9
11	0.726626(19)	2.466736(16)	0.885132(18)	0.778055(18)	0.027042(19)	-68.3093(16)	20
12	0.721136(16)	2.185171(1)	0.886612(19)	0.777205(19)	0.065663(20)	-67.2918(17)	17
13	0.711217(9)	2.442738(9)	0.865799(12)	0.788936(7)	-0.00033(7)	-81.7584(12)	11
14	0.710743(3)	2.458440(13)	0.865495(4)	0.789103(3)	-0.00018(5)	-81.9723(8)	2
15	0.710711(2)	2.461678(15)	0.865464(3)	0.789120(2)	-0.000077(3)	-81.9941(7)	1
16	0.711084(7)	2.480869(17)	0.865879(13)	0.788891(10)	-0.000084(4)	-81.7022(13)	13
17	0.711035(6)	2.454964(12)	0.865698(10)	0.788991(5)	-0.000009(1)	-81.8295(10)	6
18	0.722393(18)	2.276236(4)	0.884198(17)	0.779006(17)	-0.002210(16)	-66.9522(19)	16
19	0.722066(17)	2.273655(3)	0.883799(16)	0.779234(16)	0.001308(14)	-67.2271(18)	15
20	0.709928(1)	2.452215(11)	0.865551(6)	0.789467(1)	0.000599(10)	-79.9329(15)	7

Modele ait OH değerleri çok küçük olarak bulunmuştur. OH değerlerinde küçük çıkması toplam ortalama boy hatasının küçük çıkacağını göstermiştir. Yine varyansı gösteren RMSE değerleri de varyansın fazla olmadığını göstermiştir. Çalışmada modele ilişkin istatistikler ve katsayılar daha önce söz konusu çap-boy ilişkisi için kullanılan model sonuçlarına benzer bulunmuştur (Larsen ve Hann, 1987; Colbert vd., 2002).

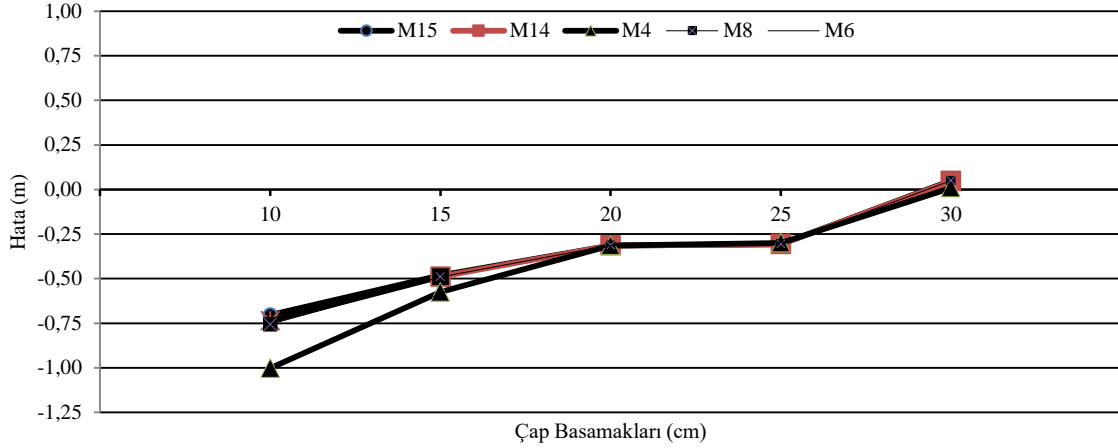
Ayrıca, regresyon denklemi ile elde edilen tahmini boy değerleri ile ölçüm ile elde edilen gerçek değerlerle olan farklar 5 cm'lik çap basamakları için ikili koordinat sistemine işaretlenerek Şekil 3'te verilmiştir.

Burada sadece en iyi beş model için hataların tahmin edilen boy basamak değerlerine göre dağılımı verilmiştir. Şekil 3'ten de izleneceği üzere en başarılı modeller için elde edilen hata dağılımları grupların kendi içerisinde benzer dağılım göstermektedir.

Genel olarak hata miktarlarının başarılı modellerde, boy değerlerinin artmasına bağlı olarak bir artış gösterdiği belirlense de (Ahmadi vd., 2013; Özçelik ve Çapar, 2014) çalışmamızda hata miktarının artmadığı, aksine azaldığı görülmüştür. Genelleştirilmiş d-h modelleri ile elde edilen hata dağılımlarına ilişkin varyasyonun nispeten sabit olduğu söylenebilir. Genel olarak bir modelin başarılı olup olmadığına karar verilirken hata miktarının küçük olması yanı sıra elde edilen hatalarında belirli ve sabit bir varyansa sahip olması şartı da aranmaktadır. Bu bakımdan Korf (m15) ve Sibbesen (m14) modeli de başarılı sayılabilir.

Yapay kızılçam meşcereleri için geliştirilmiş d-h modellerinin tahmin değerleri bağımsız veri seti kullanılarak da test edilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 6'da verilmiştir. Çizelge 6'dan izleneceği üzere test edilen d-h modelleri model geliştirme verilerinden çok farklı değildir.

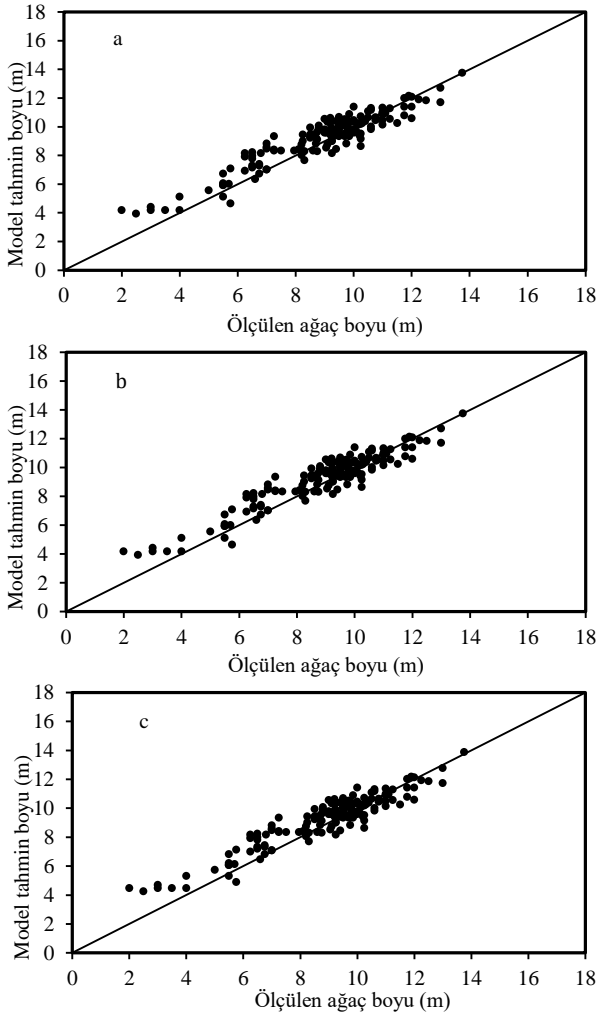
Test edilen modeller için, bağımsız veri seti kullanılarak elde edilen sonuçlar Şekil 4'de verilmiştir. Bu grafiklerde sırasıyla en başarılı modeller olan Korf, Sibbesen ve Meyer modeller için ölçülen ağaç boyuna karşılık modelden tahmin edilen ağaç boyunun örtüşme durumları verilmiştir. Üç model içinde nispeten benzer sonuçlar elde edilmiştir. Burada da Şekil 3'tekine benzer bir durum söz konusudur. Tahmin edilen boy değerleri ile ölçülen boy değerlerinin örtüşme oranı boy değeri büyüdükçe artmaktadır.



Şekil 3. Başarılı bulunan beş çap-boy modeline ait ortalama hata değerlerinin çap basamaklarına dağılımı (5 cm)

Çizelge 6. Bağımsız veri seti ile başarılı bulunan modellerin ölçüt değerleri ve başarı sıralaması

Model no	Ölçütler						Sıra
	OMH	MMH	RMSE	R	OH	AIC	
m15	0.664905(1)	2.170342(1)	0.831383(1)	0.921722(1)	-0.32069(1)	-22.9924(1)	1
m14	0.666035(2)	2.194676(2)	0.832719(2)	0.921460(2)	-0.32175(2)	-22.7403(2)	2
m4	0.681607 (4)	2.462439(4)	0.850735(4)	0.917314(4)	-0.34507(4)	-21.3798(4)	3
m8	0.671013(3)	2.300667(3)	0.839701(3)	0.920080(3)	-0.32914(3)	-21.4294(3)	4
m6	0.682455(5)	2.472763(5)	0.851732(5)	0.841093(5)	-0.34619(5)	-21.1959(5)	5



Şekil 4. Ölçülen ağaç boylarına karşılık başarılı bulunan Korf (a), Sibbesen (b) ve Meyer (c) çap-boy modelleri ile tahmin edilen boy değerleri arasındaki ilişki

Son olarak en başarılı ve önerilen d-h modelleri tüm örnek alan verileri birlikte kullanılarak katsayıları ve istatistikleri bulunmuş ve Çizelge 7'de verilmiştir. Bu parametreler kullanılarak, Ağlasun yöresi yapay kızılçam meşcereleri güvenilir boy tahminleri yapılabilir.

5. Sonuç ve öneriler

Biyolojik olayların belirli bir zaman diliminde büyüme özelliklerinin sayısallaştırılmasında alometrik denklemler kullanılmaktadır. Bu denklemler ile biyolojik varlıklar olan ağaçların belirli bir dönemde büyüme ve gelişme özellikleri tanımlanabilmektedir. Ormancılıkta da ağaç boyu ölçmek zor bir işlemdir. Tüm ağaçların boyları ölçülse bile bunların doğruluğu bazı uygulama hatalarından dolayı tartışma yaratmaktadır. Bu çalışmada, Ağlasun-Burdur yöresinde ağaçlandırma yolu ile getirilmiş olan kızılçam ağaç türüne ait çap-boy modeli için iki parametrelilik (7 adet), üç parametrelilik (10 adet) ve dört parametrelilik (3 adet) olmak üzere 20 adet literatürde yer alan d-h modeli denenmiştir. Bu amaçla 52 adet örnek alan alınmış ve 766 ağaç üzerinde çap ve boy ölçümleri yapılmıştır. Altı farklı ölçüt değeri kullanılarak yapılan karşılaştırmalarda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. Çalışmada modele ilişkin istatistikler ve katsayılar daha önce söz konusu çap- boy ilişkisi için kullanılan model sonuçlarına benzer bulunmuştur Test edilen d-h modelleri arasında en başarılı Korf (m15), Sibbesen (m14) ve Meyer (m4) modelleri olmuştur.

Çizelge 7. Tüm veri seti kullanılarak d-h modellerine ilişkin olarak elde edilen regresyon katsayısı ve istatistikleri

Model no	Parametreler			
	a	b	c	d
m15	138.740695	8.694332	0.575276	-
m14	0.023750	3.350055	0.180436	-
m4	44.396465	0.010150	-	-
m8	10.424952	1.148444	0.038367	-
m6	83.630383	185.084299	-	-

Modellere ilişkin hata dağılımı grafikleri incelendiğinde hata dağılımının küçük çap değerleri için nispeten heterojen olduğu ve bu dağılımın ileride homojenleştiği söylenebilir.

Kızılçam için denenen modeller göğüs çapına göre ağaç boyunu yüksek doğruluk düzeyinde açıklayabilmektedir. Böylece Ağlasun yöresinde ağaçlandırma yolu ile oluşturulan meşcerelerde göğüs çapı ölçülerek ağaç boyu yeterli doğruluk düzeyinde tahmin edilebilmektedir. Elde edilen denklem ile yöresel ve yapay olarak elde edilen meşcerelerde oluşturulacak artım ve büyüme modelleri ile yapılacak çeşitli simülasyon modellerinde göğüs yüksekliği çapına göre ağaç boyunun tahmininde güvenle kullanılabilir.

Sonuç olarak, Ağlasun yöresi yapay kızılçam meşcereleri için en uygun d-h modelleri belirlenmiştir. Bu modeller, meşcere kuruluşu, artım ve büyüme özelliklerini daha iyi yansıttıkları için geleneksel d-h modellerine tercih edilmelidir. Ancak, d-h ilişkilerinin belirlenmesinde ağaç türü, yetiştirme şekli ve yetiştirme ortamı farklılıkları da dikkate alınarak ayrı d-h modelleri geliştirilmelidir.

Kaynaklar

Ahmadi, K., Alavi, S.J., Kouchaksaraei, 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.

Anonim, 2015. Türkiye Orman Varlığı. Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, 33 s., Ankara.

Arabatzi, 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.

Avery, T.E., Burkhart, H.E., 1994. *Forest Measurement*. McGraw-Hill, Inc. Press, 408 p., New York-US.

Aylak Özdemir, G., 2013. Trakya meşe ormanlarında artım ve büyüme ilişkileri. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Carus, S., 1998. Aynı yaşlı doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) ormanlarında artım ve büyüme. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 359, İstanbul.

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.

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.

Demirkol, M., 2011. Burdur yöresindeki Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ve Toros sediri (*Cedrus libani* A.Rich.) ağaçlandırmalarında değişik aralama şiddetlerinin çap, boy ve hacim artımına etkisinin modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 87, Isparta.

Diamantopoulou, M.J., Özçelik, R., 2012. Evaluation of different modelling approaches for total tree-height estimation in mediterranean region of Turkey. *Forest Systems*, 21: 383-397.

Eler, Ü., 2013. *Dendrometri*. Süleyman Demirel Üniversitesi Yayın No 30, 275 s., Isparta.

Ercanlı, İ., Kahrıman, 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. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 13(2): 75-84.

Erkan, N., Aydın, A.C., Birkan, M.B., 2010. Dikili satış uygulamalarında hacim belirlenmesinde çift girişli hacim tablosunun kullanımı. *Orman Mühendisliği Dergisi*, 47: 22-25.

Gülden, Y., 2013. Ağlasun yöresindeki Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ağaçlandırmalarında sıklık-hacim artımı ilişkisinin modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s.58, 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.

Husch, B., Miller, A.I., Beer, T.W., 1972. *Forest Measurement*. The Ronald Press Company, 410 p., New York-US.

Kaban, G., 2014. Ağlasun yöresindeki Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ağaçlandırmalarında göğüs yüzeyi artımının modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s.69, Isparta.

Kalipsiz, A., 1984. *Dendrometri*. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, 407s, İstanbul.

Knowe, S.A., 1994. Effect of competition control treatments on height-age and height-diameter relationships in young Douglas-fir plantations. *Forest Ecology and Management*, 67: 101-111.

Larsen, D.R., Hann, D.W., 1987. Height-diameter equations for seventeen tree species in Southwest Oregon. *Oregon State University Papers*, 16p., Corvallis.

Lootens, J.R., Larsen, D.R., Shifley, S.R., 2007. Height-diameter equations for 12 upland species in the Missouri Ozark Highlands. *Northern Journal of Applied Forestry*, 24(2): 149-152.

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 genelleştirilmiş çap- boy modellerinin geliştirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 15(1):44-52.

Parresol, B.R., 1992. Baldcypress height-diameter equations and their prediction confidence interval. *Canadian Journal of Forest Research*, 22: 1429-1434.

Saraçoğlu, Ö., 1988. Karadeniz Yöresi Göknaar Meşcerelerinde Artım ve Büyüme. Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, 312 s, İstanbul.

Soares, P., Tome, M., 2002. Height-diameter model equation for first rotation eucalypt plantations in Portugal. *Forest Ecology and Management*, 166: 99-109.

- Sönmez, T., 2008. Generalized height-diameter models for *Picea orientalis* L. Journal of Environmental Biology, 30: 767-772.
- Şenyurt, M., 2011. Batı Karadeniz yöresi sarıçam meşcerelerinde artım ve büyüme. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s.210, İstanbul.
- Temesgen,H., Hann,D.W., Monleon, V.J., 2007. Regional height-diameter equations for major tree species of Southwest Oregon. Western Journal of Applied Forestry, 22(3): 213-219.
- Usta, H.Z., 1991. Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Ağaçlandırmalarında Hasılat Araştırmaları. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, 138 s, Ankara.
- Wang, C.H., Hann, D.W., 1988. Height-diameter equations for sixteen tree species in the central western Willamette valley of Oregon. Oregon State University, Research Paper No:51,14p., Corvallis.
- Wykoff, W.R., Crookston, CL., Stage, A.R., 1982. User's guide to the Stand Prognosis Model. USDA Forest Service. General Technical Report. INT-133, 122p., Utah.
- Yıldızbakan, A., Saraçoğlu, Ö., Akgün, C., Aydın, A.C., 2012. Sedir (*Cedrus libani* A.Rich.) Meşcerelerinin Hacim Artımını Maksimize Eden Optimum Kuruluşlar. Doğu Akdeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Teknik Bülten No: 43, ISBN: 978-605-4610-35-8, Tarsus.