

Tarsus yöresi fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.) meşcereleri için çap-boy modellerinin geliştirilmesi

Serdar Carus^{a,*}, Yunuz Akguş^b

Özet: Bu çalışmada, Tarsus yöresi yapay fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.) meşcerelerinden alınan 259 örnek alan verisi (n=5885) kullanılarak toplam 20 adet çap- boy (d-h) modeli test edilmiştir. Fıstıkçamı meşceresi 932 ha büyüklüğünde ve 1980 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. Çalışmada, 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, Prodan, Sibbesen ve Ratkowsky tarafından geliştirilen modellerle elde edilmiştir. Bağımsız veri seti kullanılarak yapılan değerlendirmede de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Sonuç olarak, Fıstıkçamı meşceresi için yöresel çap- boy modelleri geliştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Fıstıkçamı, Regresyon analizi, Çap-boy modeli

Development of diameter- height models for stone pine (*Pinus pinea* L.) stands in Tarsus region

Abstract: In this study, diameter- height (d-h) models for afforestation stone pine (*Pinus pinea* L.) stands in Tarsus region were developed using the breast height diameter and tree height. The stone pine stand is about 932 ha and was planted in 1980. This study, a total of 20 models, the data used were obtained from 259 sample plots (n=5885) 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 Prodan, Sibbesen and Ratkowsky models, respectively. The similar results were obtained using independent dataset. As a result, regional diameter- height models were created for stone pine.

Keywords: Stone pine, Regression analysis, Diameter-height model

1. Giriş

Orman işletmesini planlamak ve yönetmek için ormanın üretim miktarının bilinmesi gerekmektedir (Kalıpsız, 1984). Ağaç çapı ağacın en kolay ölçülen parametresidir. Ağaç boyu, bonitet endeksi ve hacim belirlemede önemli parametredir. Tek ağaç ve meşcerede artım ve büyümenin tahmininde gerekli olan önemli parametrelerden ağaç boyu; ölçümü zaman gerektirmesi, ölçüm hatası yapılabilmesinden dolayı ölçümü zor olan ağaç boyu ölçümü kolay olan göğüs çapı yardımı ile tahmin edilmektedir.

Ülkemizde son yıllarda orman amenajman planlarının düzenlenmesinde ekosistem tabanlı fonksiyonel planlama yaklaşımı için elde hazır olması gereken unsurlarından birisi de çap-boy (d-h) modelleridir (Özçelik ve Çapar, 2014). Meşcerenin artım ve büyümesini belirlemede kullanılan simülasyon programlarında 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).

Çap ile boy arasındaki ilişkinin ortaya koyulmasında doğrusal ve doğrusal olmayan çok sayıda regresyon modeli kullanılmaktadır. Bundan dolayı da değişik ağaç türü ve meşcere kuruluşları için çok sayıda d-h denklemi geliştirilmiş ve çalışmalar halen devam etmektedir (Wykoff vd., 1982; Wang ve Hann, 1988; Huang vd., 1992; 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; Çatal, 2012; Diamantopoulou ve Özçelik, 2012; 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 türleri için yöresel olarak çap-boy ilişkisinin ortaya koyulması gerekmektedir. Çünkü çap ile boy ilişkisi ağaç türü, meşcere yaşı, bonitet, genetik özellikler ve silvikültürel işlemlere göre değişim göstermektedir. Bu nedenle de her meşcere ve her ağaç türü için ayrı ayrı d-h modellerinin geliştirilmesi gerekmektedir (Kalıpsız, 1984; Knowe, 1994).

Fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.) ülkemiz için ekonomik ve ekolojik açıdan önemli ağaç türlerinin başında gelmektedir.

✉ ^a Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi, Isparta

^b Orman Genel Müdürlüğü

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

✓ **Received** (Geliş tarihi): 15.09.2017, **Accepted** (Kabul tarihi): 14.03.2018



Citation (Atıf): Carus, S., Akguş, T., 2018. Tarsus yöresi fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.) meşcereleri için çap-boy modellerinin geliştirilmesi. Turkish Journal of Forestry, 19(1): 1-8.

DOI: [10.18182/tjf.3338311](https://doi.org/10.18182/tjf.3338311)

Anadolu'da Bergama-Kozak, Aydın-Koçarlı, Yatağan-Katranlı yöresinde oldukça geniş bir yayılış alanına sahip olup saf ve karışık halde 33 742 ha doğal ve 59 150 ha da yapay yoldan getirilmiş meşcereleri bulunmaktadır (Anonim, 2015).

Bu alanlarda yaygın olarak kullanılan Fıstıkçamı türü için ağaçlandırma sahalarındaki hasılat özelliklerini tahmin edici az sayıda çalışma vardır (Fırat, 1943; Güneş, 2001; Güler, 2010; Batur ve Kiracıoğlu, 2015). Ancak, doğru tanımlanan hasılat ögeleri ile yapılacak hasılat çalışmaları ve simülasyon modelleri için bilimsel açıdan geçerli altlık oluşturabilmektedir.

Ülkemizde uzun yıllardır dikim yoluyla ağaçlandırılmış, aynı yaşlı ve saf Fıstıkçamı meşcereleri için yöresel 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 ve meşcere 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, Tarsus yöresi Fıstıkçamı ağaçlandırmaları için çap(d)-boy(h) modellerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla yurt içi ve yurt dışı bilimsel çalışmalarda yaygın olarak kullanılan 20 adet d-h modeli test edilmiş ve hangi modelin yapay Fıstıkçamı meşcereleri için daha uygun olduğu altı farklı ölçüt değerleri kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. Çünkü, Fıstıkçamı ağaçlandırmalarının yayılış gösterdiği bu yörede bir çap-boy modelinin elde hazır bulunması örnekleme hatasını azaltacaktır.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

Çalışmada, ağaçlandırma yolu ile yetiştirilmiş Fıstıkçamı meşcerelerinden alınan örnek alan verileri kullanılmıştır. Söz konusu Fıstıkçamı meşcereleri Mersin Orman Bölge Müdürlüğü, Tarsus Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı Karabucak Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yer almaktadır. Örnek alanlar 36°44'56"-36°55'96" kuzey enlemleri ve 34°42'12"-34°55'20" doğu boylamları arasında yer almakta olup, ortalama denizden yüksekliği 10 m'dir. Çalışma alanı 1980 yılında 5 m x 5 m aralık mesafe ile ağaçlandırılmış olup, yaklaşık 932 ha büyüklüğündedir. Bu meşcerelerden kare ya da dikdörtgen biçiminde toplam 259 adet örnek alan alınmıştır.

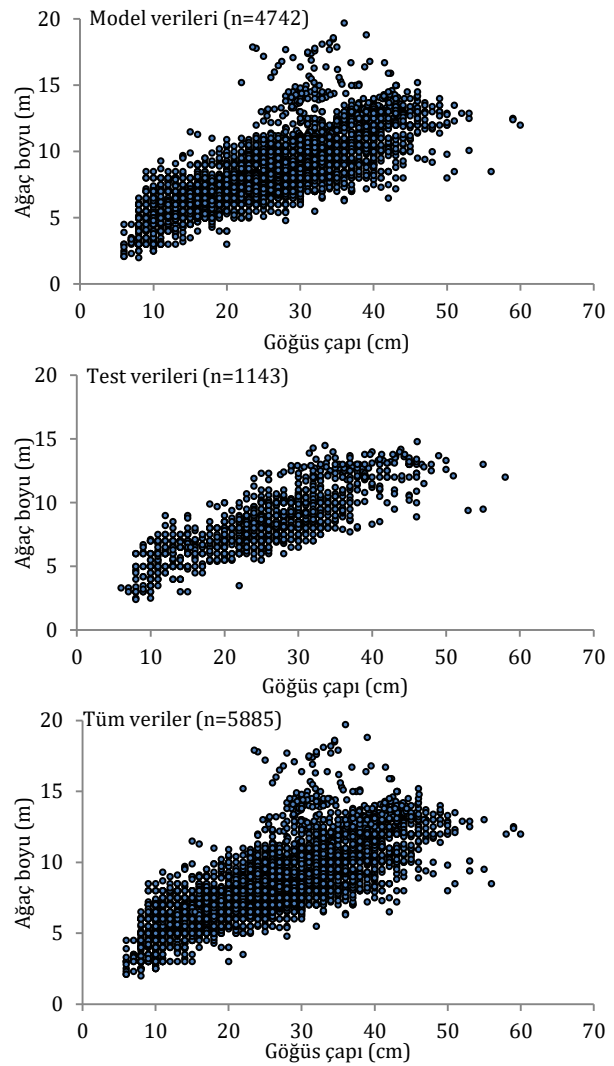
2.2. Yöntem

Çalışma kapsamında yapay Fıstıkçamı meşcerelerinin farklı gelişme çağları ve kapalılık sınıflarını temsil edecek ve her örnek alan içerisine en az 30 adet ağaç girecek şekilde 600-1600 m² arasında değişen büyüklükte örnek

alanlar alınmıştır. Örnek alanlarda tüm ağaçların göğüs çapı (cm) ve boyu (m) ölçülmüştür. Örnek ağaçlar seçilirken çatal, tepesi kırık ve gövde formu bozuk olmamasına özen gösterilmiştir.

Tüm örnek alanlar her beş yılda bir kez ılımlı müdahale görmüştür. Örnek ağaçlarda göğüs çapları 1 mm ve ağaç boyu da 0.1 m duyarlılıkta sırasıyla Haglöf çapölçer ve Silva boy ölçer ile ölçülmüştür. Örnek alanların yaklaşık %80'i (208 örnek alan) model geliştirmek için geri kalan yaklaşık %20'i de (51 örnek alan) geliştirilen modellerin test edilmesi amacıyla kullanılmıştır (Şekil 1). Örnek alanlarda ölçülen değişkenlerin bazı istatistikleri Çizelge 1' de verilmiştir.

Çalışma kapsamındaki Fıstıkçamı meşcerelerindeki d-h ilişkilerinin modellenmesi için kullanılan modeller Çizelge 2' de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan gruplara ait çap-boy dağılımları, a) model verileri, b) test verileri c) tüm veriler

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

Değişkenler	Model geliştirme verileri (n=4742)				Model test verileri (n=1143)			
	Ortalama	Min.	Maks.	St.Sp.	Ortalama	Min.	Maks.	St.Sp.
d (cm)	25,7	6,0	60,0	9,2	25,8	6,0	58,0	9,1
h (m)	8,4	2,0	19,7	2,4	8,4	2,4	14,8	2,4

Çizelge 2. d-h modellerinin geliştirilmesi için kullanılmış doğrusal olmayan regresyon modelleri

2- parametreliler	Araştırmacı	Model no
$h = 1.30 + \frac{d^2}{(a + b * d)^2}$	Meyer, 1940	1
$h = 1.30 + \frac{a * d}{(1 + d)^b}$	Curtis, 1967	2
$h = 1.30 + a * e^{(-b * d^{-1})}$	Loetsch vd., 1973	3
$h = 1.30 + a * (1 - e^{(-b * d)})$	Meyer, 1940	4
$h = 1.30 + a * d^b$	Stage, 1975	5
$h = 1.30 + \frac{a * d}{(b + d)}$	Ratkowsky, 1990	6
$h = 1.30 + e^{(a - b * (d + 1)^{-1})}$	Wykoff vd., 1982	7
3- parametreliler		
$h = 1.30 + \frac{d^2}{a + b * d + c * d^2}$	Prodan, 1968	8
$h = 1.30 + \frac{a}{1 + b * e^{(-c * d)}}$	Pearl ve Reed, 1920	9
$h = 1.30 + a * (1 - e^{(-b * d)})^c$	Richards, 1959	10
$h = 1.30 + a * (1 - e^{(-b * d)^c})$	Bailey, 1980	11
$h = 1.30 + a * e^{(-b * e^{(-c * d)})}$	Winsor, 1932	12
$h = a + b * d + c * d^2$	Prodan, 1965	13
$h = 1.30 + a * d^{b * d^{-c}}$	Sibbesen, 1981	14
$h = 1.30 + a * e^{(-b * d^{-c})}$	Winsor, 1932	15
$h = 1.30 + a * e^{(-b / (d + c))}$	Ratkowsky, 1990	16
$h = 1.30 + \frac{a}{1 + \frac{1}{b * d^c}}$	Ratkowsky ve Reedy, 1986	17
4- parametreliler		
$h = 1.30 + a * (1 - b * e^{(-c * d_{1.30})})^d$	Richards, 1959	18
$h = 1.30 + a * e^{(-b * e^{(-c * d_{1.30})})^d}$	Seber ve Wild, 1989	19
$h = 1.30 + a * (1 - e^{(-b * (d_{1.30} - c)^d)})$	Seber ve Wild, 1989	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

Geliştirilen d-h modellerini test etmek 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 çap değerlerine göre tahmin edilen boy değerlerinin 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 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
$MMH = \max(h_i - \hat{h}_i)$	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 logaritmayı temsil etmektedir.

3. Bulgular ve tartışma

Çalışmamızda Tarsus yöresindeki Fıstıkçami ağaçlandırmalarında ağaç boyunun göğüs yüksekliği çapına göre değişiminin regresyon modelleri ile açıklanabilirliği ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Modellere ilişkin belirlenen parametrelerin değerleri Çizelge 4'te verilmiştir. Test edilen modellerden m9 hariç diğer modellerin parametreleri 0.01 önem düzeyinde anlamlı bulunmuştur. M9 nolu model değerlendirme dışı bırakılmıştır.

Tarsus yöresi yapay Fıstıkçami 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 modeli içinde en başarılı modelin Prodan (m13), modeli olduğu, bu modeli sırasıyla Sibbesen (m14) ve Ratkowsky (m16) modelinin izlediği görülmüştür. En başarısız sonuçların ise en başarısızdan başlayarak Richards (m18), Bailey (m11) ve Seber ve Wild (m19) modellerinin olduğu görülmüştür.

Çizelge 4. Geliştirilen d-h modellerine ilişkin parametre tahminleri

Model no	Katsayılar			
	a	b	c	d
m1	3.129059	0.244529	-	-
m2	0.794428	0.314708	-	-
m3	13.604262	15.074302	-	-
m4	15.561279	0.024854	-	-
m5	0.752157	0.698191	-	-
m6	24.696838	60.813955	-	-
m7	2.648212	16.756056	-	-
m8	-8.922602	3.254666	0.025050	-
m10	232.913469	0.000276	0.700595	-
m11	-2403.119476	-0.004713	0.023750	-
m12	0.00008	-10.716131	-0.002251	-
m13	2.827273	0.242166	-0.000803	-
m14	1.096613	0.470390	-0.064743	-
m15	10802.932880	9.933889	0.094818	-
m16	34.894586	88.185200	30.237876	-
m17	463.680006	0.001591	0.709106	-
m18	0.0000002	0.502812	-0.000897	-26.967996
m19	0.0000006	-15.554981	-0.012917	0.122700
m20	-0.142637	-2.300420	0.917360	0.167906

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

Model no	Ölçütler						
	OMH	MMH	RMSE	R	OH	AIC	Toplam
1	1.16860 (14)	9.58950(3)	1.56500(13)	0.75720(13)	0.02480(14)	2127.87(13)	70
2	1.13098(9)	9.77754(7)	1.53211(8)	0.76885(9)	0.00316(7)	2027.15(5)	45
3	1.20788 (17)	9.45001(1)	1.60352(16)	0.74305(16)	0.02575(15)	2243.18(16)	81
4	1.14629(12)	9.71608(4)	1.54343(12)	0.76490(12)	0.02298(12)	2062.06(12)	64
5	1.13048 (7)	9.78328(9)	1.53180(5)	0.76896(5)	0.00251(6)	2026.20(4)	36
6	1.14304(11)	9.71649(5)	1.54070(11)	0.76585(11)	0.01659(11)	2053.67(11)	60
7	1.19721(16)	9.47014(2)	1.59261(15)	0.74713(15)	0.02309(13)	2210.80(15)	76
8	1.13043(6)	9.81526(11)	1.53207(7)	0.76892(7)	0.00247(5)	2029.03(8)	44
10	1.13015(5)	9.78775(10)	1.53202(6)	0.76894(6)	0.00832(10)	2028.88(7)	44
11	1.24898(18)	10.27040(17)	1.67683(18)	0.71438(18)	0.23063(17)	2457.16(18)	106
12	1.15245(13)	10.14560(16)	1.59045(14)	0.74799(14)	0.11541(16)	2206.37(14)	87
13	1.12849(4)	9.82528(14)	1.53071(1)	0.76939(1)	0.00034(2)	2024.82(1)	23
14	1.12815(2)	9.81969(13)	1.53107(3)	0.76927(3)	0.00008(1)	2025.93(3)	25
15	1.13369(10)	9.75505(6)	1.53397(10)	0.76826(10)	0.00745(9)	2034.91(10)	55
16	1.12841(3)	9.83807(15)	1.53072(2)	0.76939(2)	-0.00040(3)	2024.85(2)	27
17	1.13066(8)	9.78153(8)	1.53212(9)	0.76890(9)	0.00414(8)	2029.19(9)	51
18	1.48439(19)	11.10020(19)	1.99098(19)	0.55662(19)	1.15604(19)	3273.47(19)	114
19	1.18792(15)	10.43480(18)	1.64867(17)	0.72578(17)	0.43190(18)	2378.85(17)	102
20	1.12808(1)	9.81810(12)	1.53124(4)	0.76926(4)	0.00041(4)	2028.46(6)	31

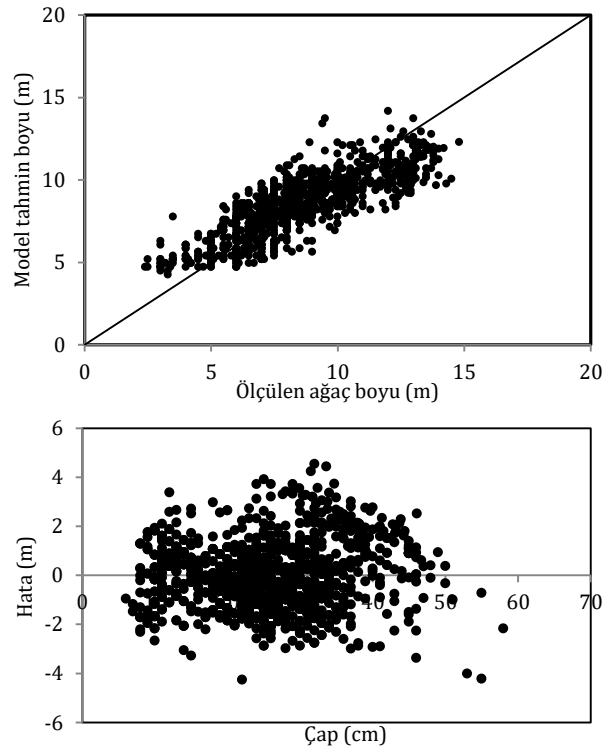
Modele ait OH değerleri çok küçük olarak bulunmuştur. OH değerlerinde küçük çıkması toplam ortalama boy hatasının küçük çıkacağını göstermiştir. Yine varyansı gösteren HKKO değerleri de varyansın fazla olmadığını göstermiştir. Çalışmada modele ilişkin istatistikler ve katsayılar daha önce söz konusu 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 ve tahmindeki farklar çaplara göre ikili koordinat sistemine işaretlenerek Şekil 2'de verilmiştir.

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 görülmüştür. 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 model 13 oldukça başarılı sayılabilir.

Yapay Fıstıkçamı meşcereleri için geliştirilmiş d-h modellerinin tahmin değerleri bağımsız veri seti kullanılarak da test edilmiş ve elde edilen sonuçlar 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 3'te verilmiştir. Bu grafiklerde sırasıyla en başarılı modeller olan sırasıyla 2, 3 ve 4 parametrelili modeller m5, m13 ve m20 için ölçülen ağaç boyuna karşılık modelden tahmin edilen ağaç boyunun örtüşme durumları verilmiştir. Üç model içinde nispeten benzer sonuçlar elde edilmiştir. Burada da Şekil 2'dekine benzer bir durum söz konusudur. Tahmin edilen boy değerleri ile ölçülen boy değerlerinin örtüşme oranı boy değeri büyüdükçe bir miktar azalmaktadır. Carus ve Çatal (2017), Ağlasun yöresi yapay kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinde geliştirdikleri

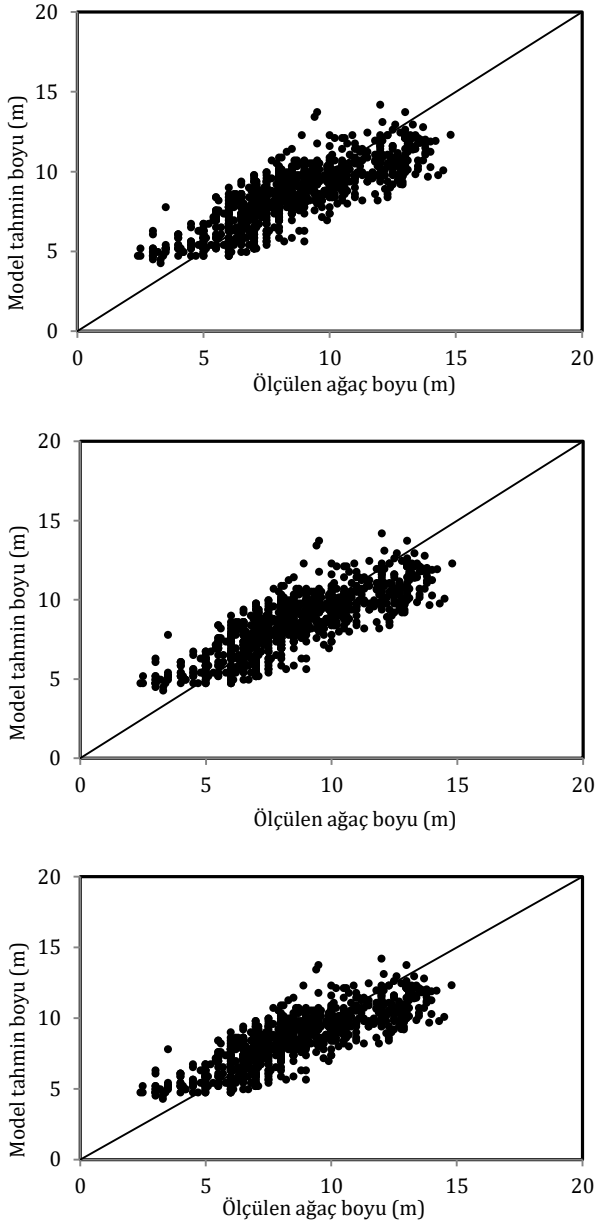
aynı tip çap- boy modelleri arasında 3 parametrelili olan m14 nolu model yine en başarılı bulunmuştur. Mısır (2010), Titrek kavak (*Populus tremula* L.) doğal meşcerelerinde çap- boy modellerinin test edilmesinde 3 parametrelili olan m16 nolu modelini yine en başarılı bulunmuştur.



Şekil 2. Başarılı bulunan m13 nolu d-h modeli ile tahmin edilen boy değerleri ile test değerleri arasındaki ilişki

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

Model no	Ölçütler						
	OMH	MMH	RMSE	R	OH	AIC	Toplam
m13	1.097068(4)	4.545687(3)	1.363555(2)	0.816040(2)	-0.022220(1)	360.4389(2)	14
m14	1.096992(2)	4.563553(4)	1.364743(3)	0.815684(3)	-0.022810(5)	361.4343(4)	21
m16	1.096236 (1)	4.539342(1)	1.362759(1)	0.816279(1)	-0.022307(2)	359.7714(1)	7
m20	1.097051(3)	4.566203(5)	1.365514(3)	0.815632(4)	-0.022536(4)	364.0798(5)	24
m5	1.101448(5)	4.543500(2)	1.366422(5)	0.814998(5)	-0.021354(3)	360.8396(3)	23



Şekil 3. Ölçülen ağaç boylarına karşılık en başarılı bulunan sırasıyla 2, 3 ve 4 parametrelili olan d-h modelleri ile tahmin edilen boy değerleri arasındaki ilişki (m5, m13 ve m20)

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

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

Model no	Parametreler			
	a	b	c	d
m13	0.699684	-0.106629	0.011472	-
m14	0.657194	0.005731	-1.163657	-
m16	50002.556459	1674.287283	172.051006	-
m20	-0.000050	-1.664203	-91.896865	0.418635
m5	0.453081	0.968070	-	-

4. Sonuç ve öneriler

Bu çalışmada, Karabucak-Tarsus yöresinde ağaçlandırma yolu ile getirilmiş olan Fıstıkçamı ağaç türüne ait çap-boy modeli geliştirilmesi için çoğunlukla kullanılan iki parametrelili (7 adet), üç parametrelili (10 adet) ve dört parametrelili (3 adet) olmak üzere toplam 20 adet d-h modeli test edilmiştir.

Bu amaçla 259 adet örnek alan alınmış ve 5885 adet 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 sırasıyla 2, 3 ve 4 parametrelili gruplardan en başarılı m5, m13 ve m14 modelleri olmuştur.

Modellerin parametre sayısına göre değerlendirilmesi yapıldığında sırasıyla 2 parametrelili, 3 parametrelili ve dört parametrelili olanların sırasıyla ortalama olarak 61.7, 51.3 ve 82.3 toplam sıra numarasına sahip olduğu belirlenmiştir (Çizelge 5). Buradan da genel olarak 3 parametrelili modellerin çap- boy arasındaki ilişkiyi açıklamada yeterli olduğu ve test edilen modellerden en iyi olarak belirlenen beş modelden üçüne (m13, m14 ve m16) sahip olduğu ve değişik ormancılık bilim dallarında da çeşitli amaçlar için kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu sonuçlar literatür bilgileri ile uyumlu olmakla birlikte, bu çalışmada başarısız olan bazı modeller diğer çalışmalarda başarılı modeller arasında yer almıştır. Bu da ağaç türünün biyolojisi ve yöresel koşulların farklılığından kaynaklanabilmektedir.

Karabucak Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yer alan saf ve dikim yoluyla getirilmiş Fıstıkçamı meşcerelerinin çeşitli yaş, bonitet endeksi ve sıklık dereceleri için tek ağaç boyunun tahmin edilmesi mümkündür. Denklem verdiği sonuçlar orman amenajmanı ve silvikültür amaçlı uygulamalarda ve çeşitli amaçları gerçekleştirmek için kullanılabilir. Fıstıkçamının yayılış gösterdiği diğer alanlardan elde edilecek veriler ile ülke geneli için geçerli bir çap- boy ilişkisi denklemleri geliştirilebilir. Bu çalışmada kullanılan veriler geçici nitelikteki örnek alanlardan elde edilmiştir. Bunun yanında farklı yaş, yetiştirme ortamı ve sıklık derecelerindeki meşcerelerde tesis edilecek devamlı deneme alanlarının

oluşturulması ve periyodik olarak ölçülmesi ile tek ağaç boyunun gerçeğe daha yakın tahmin edilebilir. Bu bilgiler ışığında, meşcerelerin bugünkü ve gelecekteki tek ağaç boyu dikkate alarak, tutarlı ve rasyonel bir şekilde planlaması ve organize edilmesi mümkün olacaktır.

Karabucak Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yer alan saf ve dikim yoluyla getirilmiş Fıstıkçamı meşcerelerinin çeşitli yaş, bonitet endeksi ve sıklık dereceleri için tek ağaç boyunun tahmin edilmesi mümkündür. Denklem verdiği sonuçlar orman amenajmanı ve silvikültür amaçlı uygulamalarda ve çeşitli amaçları gerçekleştirmek için kullanılabilir. Fıstıkçamının yayılış gösterdiği diğer alanlardan elde edilecek veriler ile ülke geneli için geçerli bir çap- boy ilişkisi denklemleri geliştirilebilir. Bu çalışmada kullanılan veriler geçici nitelikteki örnek alanlardan elde edilmiştir. Bunun yanında farklı yaş, yetiştirme ortamı ve sıklık derecelerindeki meşcerelerde tesis edilecek devamlı deneme alanlarının oluşturulması ve periyodik olarak ölçülmesi ile tek ağaç boyunun gerçeğe daha yakın tahmin edilebilir. Bu bilgiler ışığında, meşcerelerin bugünkü ve gelecekteki tek ağaç boyu dikkate alarak, tutarlı ve rasyonel bir şekilde planlaması ve organize edilmesi mümkün olacaktır.

Teşekkür

Karabucak Orman İşletme Şefliği tüm personeline arazi çalışmalarında sağladıkları katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

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.
- Bailey, R.L., 1980. The potential of Weibull type functions as flexible growth curves: Discussion. *Canadian Journal of Forest Research*, 10:117-118.
- Batur, M., Kiracioğlu, Ö., 2014. Fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.). Editörler: M. Kılıcı, A. Giyasettin ve M. Sayman. Fıstık Çamı (*Pinus pinea* L.)'nda Hasılat ve Planlama. Ege Ormanlık Araştırma Enstitüsü Yayınları, 229s., İzmir.
- Carus, S., 1998. Aynı yaşlı Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) ormanlarında artım ve büyüme. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 359 s., İstanbul.
- Carus, S., Çatal, Y., 2017. Ağlasun yöresi kızılçam (*Pinus pinea* Ten.) ağaçlandırmaları için bazı çap- boy modellerinin karşılaştırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 18(2): 94-101.
- 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.
- 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.
- Fırat, F., 1943. Fıstıkçamı Ormanlarımızda Meyve Ve Odun Verimi Bakımından Araştırmalar ve Bu Ormanların Amenajman Esasları. Yüksek Ziraat Enstitüsü Yayınları, 102 s., Ankara.
- Güler, S., 2010. Fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.)'nın genel özellikleri ve Antalya yöresi Fıstıkçamı ağaçlandırma alanları için gövde hacim tablosu. *Batı Akdeniz Ormanlık Araştırma Müdürlüğü Dergisi*, 10(2): 73-96.
- Güneş, F., 2001. İstanbul yöresi Fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.) ormanlarında meyve ve odun verimi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 73s., İstanbul.
- 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., 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.
- Loetsch, F., Zöhrer, F., Haller, K.E., 1973. Forest inventory. Vol.2 BLV Verlagsgesellschaft mbH, 469p, München, Germany.
- 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.
- 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*, 9(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.
- 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., 1965. *Holzmesslehre*. J.D. Sauerlander's Verlag. Frankfurt AM Main, 644p, Germany.

- Prodan, M., 1968. Forest Biometrics, English ed. Pergamon Press, 444p, Oxford
- Ratkowsky, D.A., 1990. Handbook of nonlinear regression. Marcel Dekker, Inc, 241p, 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.
- Saraçoğlu, Ö., 1988. Karadeniz Yöresi Gökmar Meşcerelerinde Artım ve Büyüme. Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, 312 s, İstanbul.
- Seber, G.A.E., Wild, C.J., 1989. Nonlinear regression. John Wiley, 768p, New York.
- Sibbsen, E., 1981. Some new equations to describe phosphate sorption by soils. Journal of Soil Science, 32: 62-74.
- Stage, A.R., 1975. Prediction of height increment for models of forest growth. USDA Forest Service Research Papers INT-164, 20p, Ogden.
- Sönmez, T., 2008. Generalized height-diameter models for *Picea orientalis* L. Journal of Environmental Biology, 30: 767-772.
- 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.
- 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 Papers, 14p., Corvallis.
- Winsor, C.P., 1932. The Gompertz curve as a growth curve. Proc. National Academic Science USA, 18:1-7.
- Wykoff, W.R., Crookston, C.L., Stage, A.R., 1982. User's guide to the stand prognosis model. USDA Forest Service. General Technical Report. INT-133, 122p., Utah.