

Dip çaptan göğüs çapının tahmini: Bilecik yöresi karışık meşe meşcereleri

Burak Koparan^{a,*}, Lütfi Ertaş^b, Onur Alkan^a, Ramazan Özçelik^a

Öz: Bu çalışmada Bilecik Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisindeki doğal saçlı meşe (*Quercus cerris*) ve sapsız meşe (*Quercus petraea*) karışık meşcerelerinde dip kütük çapı ($d_{0.30}$) ile göğüs çapı ($d_{1.30}$) arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Toplam 70 örnek alanda 2339 adet ağaçtan ölçülen veriler doğrultusunda dört farklı regresyon denklemi (lineer, kuadratik, logaritmik ve power) test edilmiştir. Modellerin performansları R^2 (Belirtme katsayısı), RMSE (Hata kareler ortalamasının karekökü), MAE (Ortalama mutlak hata) ve AIC (Akaike bilgi kriteri) ölçütleri ile değerlendirilmiş, en yüksek R^2 (%94.5) ve en düşük RMSE (1.998) MAE (1.451) ve AIC (4803) değerleri kuadratik denklem ile üretilmiştir. Linear model ise benzer düzeyde başarı sağlayarak uygulamada alternatif bir seçenek olarak değerlendirilmiştir. Farklı çalışmalarda yer alan en başarılı modeller ile yapılan karşılaştırmada ise Bilecik yöresi saçlı ve sapsız meşe karışık meşcereleri için yine bu çalışmada geliştirilen model en iyi sonuçları vermiştir. Sonuçlar, göğüs çapının doğrudan ölçülemediği durumlarda (usulsüz kesimler, yangın sonrası değerlendirme, devrrik ağaçlar, rüzgâr zararı vb.) dip çapına dayalı modellerin yüksek doğrulukla kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Bu doğrultuda geliştirilen model, bölgesel ormancılık uygulamalarında envanter doğruluğunu artırmakta, hacim kayıplarının hesaplanması gibi önemli süreçlerde, pratik ormancılık uygulamalarında, güvenilir ve istatistiksel olarak sağlam bir tahmin aracı sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Dip kütük çapı, Göğüs çapı, Karışık meşe meşcereleri, Orman envanteri

Estimation of diameter at breast height from stump diameter: Mixed oak stands in Bilecik region

Abstract: This study is relationship between stump diameter at 30 cm height $d_{0.30}$ and diameter at breast height $d_{1.30}$ was analyzed in mixed stands of Turkey oak (*Quercus cerris*) and sessile oak (*Quercus petraea*) located within the Bilecik Forest Enterprise Directorate. Four different regression equations (linear, quadratic, logarithmic, and power) were tested using data from 2339 trees in a total of 70 sample plots. Model performances were evaluated using R^2 , RMSE, MAE, and AIC. The quadratic equation produced the best R^2 (94.5%) and the lowest RMSE (1.998), MAE (1.451), and AIC (4803) values. The linear model, on the other hand, provided similar success and was considered an alternative option in practice. In a comparison with the best models in other studies, this study again yielded the best results for the mixed *Q. cerris* and *Q. petraea* in the Bilecik region. The results demonstrate that models based on basal diameter can be used with high accuracy in situations where the diameter at the base cannot be measured directly (such as during irregular felling, post-fire assessments, fallen trees, wind damage, etc.). The model developed for this purpose increases inventory accuracy in regional forestry applications and provides a practical, reliable, and statistically robust estimation tool for important processes such as calculating volume losses in regional forestry applications.

Keywords: Stump diameter, Diameter at breast height, Mixed oak stands, Forest inventory

1. Giriş

Günümüzde meşe ormanları, ülkemiz için ekolojik ve ekonomik önemi yüksek orman ekosistemleridir. Türkiye ormanlarında 18 tür ve 23 takson ile temsil edilen meşeler gerek geniş yayılışı gerekse kullanım alanlarıyla dikkat çekmektedir. Özellikle saçlı meşe (Türk meşesi) ülkemizde Karadeniz, Marmara ve Ege bölgelerinde; sapsız meşe ise Karadeniz ve Marmara'da geniş yayılış göstermektedir (OGM, 2022).

Meşe türlerinin boy ve çap artım ilişkilerinin anlaşılması, ormancılık planlama ve amenajman çalışmaları için kritik önemdedir (Eraslan, 1954). Bu bağlamda, meşelerin dip çapı ($d_{0.30}$) ile göğüs çapı ($d_{1.30}$) arasındaki ilişkinin incelenmesi hem bilimsel merak konusu hem de uygulamada birçok alanda ihtiyaç duyulan bir konudur (Kalıpsız, 1988; Kalıpsız,

1999; Carus ve Çatal, 2010; Durkaya ve Dağlı, 2021). Göğüs çapı ölçümü için dünyanın farklı ülkelerinde farklı yükseklikler kullanılabilmektedir. Buna örnek Japonya'da 1.25 m, ABD ve Kanada'da ise 1.37 m kullanılması dışında diğer ülkelerde toprak seviyesinden 1.30 m yukarısının ölçülmesi tercih edilmektedir (Özçelik, 2009). Göğüs yüksekliği çapı, ağaç hacmi başta olmak üzere ağacın yaşı, boyu ve diğer pek çok özelliği ile yakından ilişkili, ölçümü kolay-pratik ve doğru bir değişkendir (Demaerschalk ve Omule, 1982; Ercanlı vd., 2008; Ercanlı vd., 2012; Özçelik vd., 2012; Carus vd., 2016; Sağlam vd., 2018; Alkan vd., 2019; Diamantopoulou vd., 2023; Koparan vd., 2024; Nacakci ve Gülcü, 2025; Sağlam, 2025). Pratik ormancılık çalışmalarında göğüs çapı doğrudan ölçülemediği koşullarda (örneğin usulsüz kesimler, kaçak veya erken kesimler, yangın, fırtına, kar gibi doğal afetler sonucunda ağaçların

^a Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

^b Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta-Türkiye

* **Corresponding author** (İletişim yazarı): burakkoparan@isparta.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 15.10.2025, **Accepted** (Kabul tarihi): 20.11.2025



Citation (Atf): Koparan, B., Ertaş, L., Alkan, O., Özçelik, R., 2025. Dip çaptan göğüs çapının tahmini: Bilecik yöresi karışık meşe meşcereleri. Turkish Journal of Forestry, 26(4): 475-4858. DOI: [10.18182/tjf.1804356](https://doi.org/10.18182/tjf.1804356)

devrilmesi veya hasar görmesi durumlarında), geleneksel hacim denklemleri ve tabloları kullanılamamakta, envanter çalışmalarında belirsizlik oluşabilmektedir (Özçelik, 2009; Durkaya ve Durkaya, 2011; Şenyurt, 2012; Durkaya ve Dağlı 2021). Ormancılık uygulamalarında karşılaşılan usulsüz kesimler, yanlış ölçüm uygulamaları ve arazide oluşan çeşitli doğal olaylar (yangın, fırtına, kar vb.) nedeniyle göğüs çapı ($d_{1,30}$) ölçülemeyen ağaçlar için hacim ve diğer biyometrik özelliklerin doğru biçimde tahmin edilememesi önemli bir problem oluşturmaktadır. Bu nedenle, kütük üzerinde ölçülebilen dip çapına dayanarak geçmişte ağacın muhtemel göğüs çapını tahmin etmeye yönelik ampirik modeller geliştirilmiştir. Literatürde pek çok çalışma, gövdenin alt bölümündeki çap ile 1.30 m'deki göğüs çapı arasında yüksek düzeyde korelasyon bulunduğunu ve dip çapından göğüs çapı değerinin oldukça düşük hata paylarıyla öngörülebileceğini ortaya koymuştur (Özçelik vd., 2009; Şenyurt, 2012; Pond ve Froese, 2014; Durkaya ve Dağlı, 2021; Özkan vd., 2025).

Bu yöntem, özellikle kesilmiş bireylerden geriye kalan kütük ölçülerinden hareketle göğüs çapının ve dolayısıyla hacmin yeniden tahmin edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Böylece, bir alandaki gerçek çap dağılımının belirlenmesi, kaçak veya usulsüz kesimlerin neden olduğu hacim kaybının doğru biçimde hesaplanması gibi kritik bilgiler elde edilebilmektedir. Nitekim ormancılık literatüründe yaygın olarak benimsenmiş bu yaklaşım, önce kütük çapından göğüs çapının modellenmesi, ardından tahmin edilen göğüs çapı değerlerinin hacim denklemleri ve diğer biyometrik ölçütlerin hesaplanmasında girdi olarak kullanılmasına dayanmaktadır (Wharton, 1984; Kalıpsız, 1988; Kalıpsız, 1999; Kozak ve Omule, 1992; Özçelik, 2009; Carus ve Çatal, 2010; Özçelik vd., 2009; Westfall, 2010; Pond ve Froese, 2014; Sağlam vd., 2016; Durkaya ve Dağlı, 2021; Özçankaya ve Batur, 2022). Dolayısıyla, göğüs çapının doğrudan ölçümediği durumlarda, bu modeller sayesinde kesilmiş ağaçlara ait çap ve hacim değerleri güvenilir biçimde tahmin edilebilmekte; özellikle usulsüz kesimlerden kaynaklanan hacim kayıplarının belirlenmesi gibi uygulamalarda önemli bir belirsizlik giderilmektedir (Sakıcı ve Yavuz, 2016; Özçankaya ve Batur, 2022).

Mevcut literatürde farklı ağaç türleri ve bölgeler için dip çapı ile göğüs çapı ilişkisini inceleyen çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Özellikle yurt dışında 1960'lerden itibaren dip kütük çapı kullanılarak göğüs çapı ve hacim tahmini üzerine kapsamlı araştırmalar yapılmıştır (Myers, 1963; Hann, 1976; Kozak ve Omule, 1992; Corral-Rivas vd., 2007; Özçelik vd., 2009; Pond ve Froese, 2014). Türkiye'de de değişik bölgelerde bazı temel türler için benzer modeller geliştirilmiştir. Örneğin, Şenyurt (2012), Batı Karadeniz'de sarıçam meşcerelerinde dip kütük çapından göğüs çapını tahmin etmek için çeşitli regresyon denklemleri denemiş ve %96.7 açıklama oranına sahip kuadratik bir denklem elde etmiştir. Durkaya ve Durkaya (2011) Zonguldak-Ulus yöresinde göknar, kayın ve karaçam ağaç türleri için farklı kütük yüksekliklerinde çap ölçerek tek ve çoklu regresyon modelleri kurmuş; en uygun modellerle tek girişli ($d_{0,30}$) ve çift girişli ($d_{0,30}$ ve kütük boyu) göğüs çapı tahmin tabloları oluşturmuştur. Özçankaya ve Batur (2022), İzmir yöresi fıstıkçanı meşcerelerinde 266 örnek ağaç verisini kullanarak OLS (en küçük kareler), WLS (ağırlıklı en küçük kareler) ve çapraz doğrulama yöntemleriyle model geliştirmiş; AIC (Akaike bilgi kriteri), RMSE (hata kareler ortalamasının karekökü) vb. başarı ölçütlerini değerlendirdikten sonra $d_{1,30} = -2.2058 + 0.935139 \times d_{0,30}$ şeklindeki doğrusal modeli

en uygun denklem olarak belirlemiştir. Durkaya ve Dağlı (2021) ise Kastamonu-Göynük'te kayın (*Fagus orientalis*) ağaçlarıyla yaptığı çalışmada 0.10 m, 0.30 m ve 0.60 m'den ölçülen kütük çaplarını tek ve çift değişkenli regresyonlarda kullanmış; istatistiksel karşılaştırmalar sonucunda logaritmik formdaki denklemlerin her iki durumda da en iyi uyumu verdiğini tespit etmiş ve bu modellere göre göğüs çapı tahmin tabloları hazırlamıştır. Ayrıca, Carus ve Çatal (2010), Doğu kayını (*Fagus orientalis*) ağaçlarında çap, yaş ve boyun kabuk kalınlığına etkisini incelemiş; göğüs çapı ile kabuk kalınlığı arasında kuvvetli bir ilişki bulmuştur. Bu bulgu, ağaç çapı gibi temel bir ölçütün diğer ağaç özellikleriyle de yakından ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada, yukarıda anılan literatürdeki bilgi boşluğunu doldurmak üzere Bilecik yöresindeki saçlı meşe ve sapsız meşe karışık meşcerelerinde $d_{0,30}$ ile $d_{1,30}$ arasındaki ilişki kantitatif olarak ortaya konulmuştur. Benzer türler için sınırlı sayıda araştırma mevcut olup, özellikle geniş yapraklı meşelerde bu ilişkinin gücüne dair veriler kısıtlıdır. Çalışma sonucunda geliştirdiğimiz model ile hem bölgedeki meşe meşcerelerinin dip çaptan göğüs çapı tahmini ve göğüs çapı ile hesaplanabilen meşcere parametreleri anlaşılması hem de uygulamada kesilmiş ağaçların çap ve hacimlerinin hesaplanabilmesi hedeflenmektedir.

2. Materyal ve yöntem

Araştırma alanı olarak Bilecik Orman İşletme Müdürlüğü (Bursa Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı) sınırları içindeki saçlı meşe ve sapsız meşe meşcereleri seçilmiştir. Bilecik Orman İşletme Müdürlüğü yaklaşık 194314 ha toplam orman alanına sahip olup bunun 173781 ha'ı normal kapalı ormandır. Meşe, kayın, karaçam, sarıçam ve ardıç gibi türlerin yaygın olduğu bölgede, işletme sahasında saçlı meşe, sapsız meşe, Macar meşesi ve tüylü meşe doğal olarak yayılış göstermektedir. Çalışmamızda iki ağaç türünün dip çap ve göğüs çapı değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Bu nedenle saçlı ve sapsız meşe karışık meşcereleri için tek bir denklem ile göğüs çapı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Çalışma kapsamında bu alandaki farklı gelişim çağlarında bulunan doğal karışık meşe meşcereleri arasından 70 adet örnek alan alınmıştır. Alınan örnek alanlarda en az 30 adet ağaç bulunmasına ve mevcut meşcereleri temsil etmesine özen gösterilmiştir. Örnek alan büyüklükleri 400 m² ile 1200 m² arasında değişkenlik göstererek ortalama 840.30 m²'dir. Örnek alanlar içerisindeki örnek ağaçların ise dikili kuru, devrik, çatal gövde, azman gövde, ölü ve hastalıklı olmamasına özen gösterilmiştir. Daha sonra örnek alanlardaki ağaçların her birine numara verilerek ölçümleri gerçekleştirilmiştir ve arazi karnesine not edilmiştir. Dip çap ve göğüs çapını ölçmek için dijital milimetrik çap ölçer kullanılmıştır ve 0.1 cm hassasiyetle ölçülmüştür.

70 adet örnek alanda yer alan ağaçlara ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 1'de verilmiştir. Örnek alanları temsil eden görsel ise Şekil 1'de verilmiştir. Toplam 2339 ağaçtan elde edilen ölçümler derlenerek bir veri seti oluşturulmuştur. Örneklemde saçlı meşe ve sapsız meşe ağaçları birlikte bulunmakta olup tüm veriler birleşik olarak değerlendirilmiştir.

Örnek alanlarda yapılan ölçümler sonucunda dip çap ile göğüs yüksekliği çapı arasındaki ilişkiyi gösteren dağılım grafiği Şekil 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Örnek alanların tanımlayıcı istatistikleri

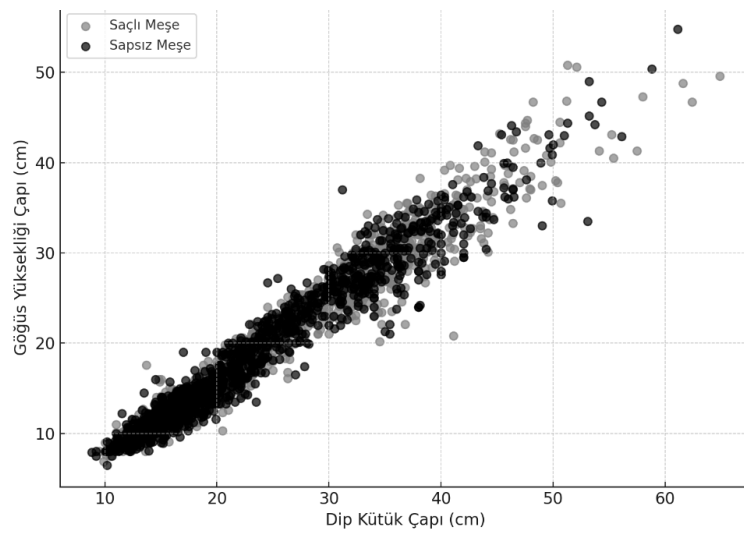
Table 1. Descriptive statistics of sample plots

Veriler	Değişkenler	Dip çap (cm)	Göğüs çapı (cm)	dm (cm)	D ₀ (cm)	G (m ² /ha)	N (adet/ha)
Tüm veri	Ortalama	24.76	20.13	20.18	26.18	81.07	515
	SD	9.70	8.58	7.70	9.56	42.25	157
	Min	8.80	6.50	10.43	13.06	35.69	227
	Maks	64.90	54.80	37.40	48.18	212.85	925
Saçlı meşe	Ortalama	26.45	21.65	21.62	27.77	84.86	498
	SD	9.80	8.66	7.62	9.64	45.13	159
	Min	9.50	6.90	10.43	13.06	35.69	227
	Maks	64.90	50.80	37.40	48.18	212.85	925
Sapsız meşe	Ortalama	23.29	18.81	18.93	24.78	77.80	531
	SD	9.36	8.28	7.56	9.27	39.30	153
	Min	8.80	6.50	10.43	13.06	35.70	227
	Maks	61.10	54.80	37.40	48.18	212.80	925

dm, örnek alanlardaki ortalama çap; N, ağaç sayısı; SD, standart sapma; D₀ dominant çap; G, göğüs yüzeyi.



Şekil 1. Örnek alanlara ait temsili görseller
Figure 1. The sample images of sample plots

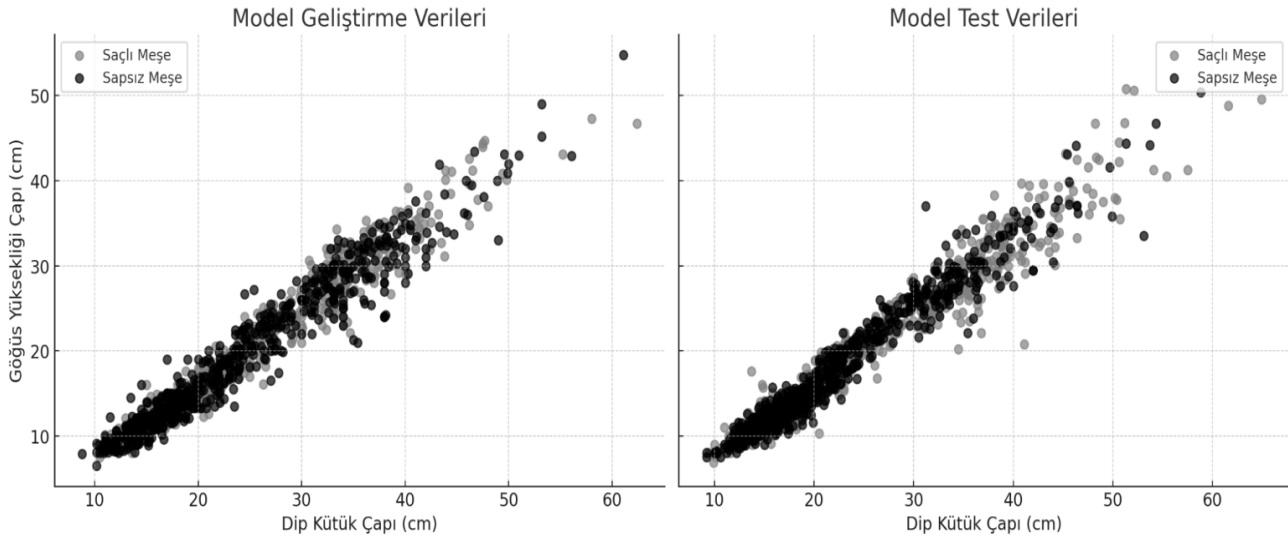


Şekil 2. Örnek alanlara ait dip çap-göğüs çapı ilişkisi
Figure 2. Stump diameter-diameter at breast height relationships of sample plots

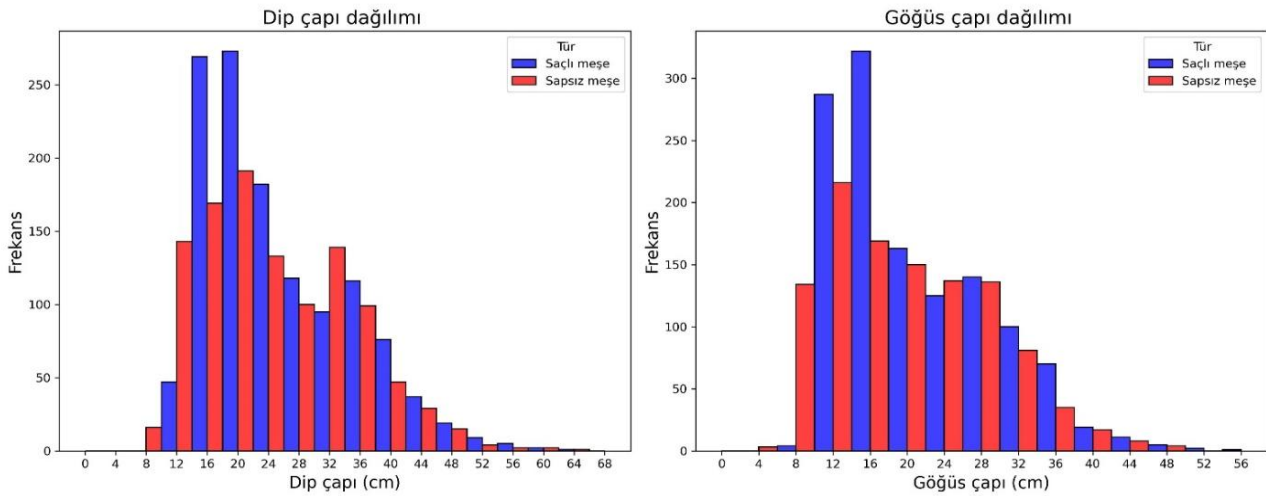
Şekilde, $d_{0.30}$ ile $d_{1.30}$ arasındaki pozitif doğrusal ilişki açıkça gözlemlenmektedir. Veriler, genel olarak doğrusal bir dağılım sergilemekte olup, dip çap arttıkça göğüs yüksekliği çapı da artmaktadır. Bu durum, söz konusu değişkenler arasında güçlü bir korelasyon olduğunu ve dip çapın göğüs yüksekliği çapının tahmininde önemli bir bağımsız değişken olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Özellikle küçük ve orta büyüklükteki ağaçlarda veri yoğunluğu belirgin olmakla birlikte, büyük çaplı ağaçlarda göğüs yüksekliği çapında daha fazla varyasyon gözlemlenmektedir. Bunun yanı sıra, bazı uç değerlerin varlığı, bireysel farklılıklar veya çevresel faktörlerden kaynaklanabilecek sapmalar olabileceğini düşündürmektedir. Şekil 3'te ise model geliştirmek %50 (1202) ve geliştirilen modeli test etmek %50 (1137) için rasgele biçimde ayrılarak ağaçların dağılım grafikleri verilmiştir. Böylece geliştirilen modelin bağımsız

veriyle değerlendirilmesi sağlanmıştır. Model geliştirme alt kümesi kullanılarak dört farklı fonksiyonel yapıda regresyon denklemi test edilmiştir.

Şekil 3'te, model geliştirme ve model test verilerinin dağılımları dip çapı ($d_{0.30}$) ile göğüs çapı ($d_{1.30}$) eksenlerinde tür bazında verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, her iki veri kümesinde de saçlı meşe ve sapsız meşe türlerine ait bireylerin geniş bir çap aralığında temsil edildiği görülmektedir. Saçlı meşe bireyleri genellikle daha düşük çap değerlerinde yoğunlaşırken, sapsız meşe bireyleri geniş bir çap dağılımı sergilemektedir (Şekil 4). Bu durum, modelin farklı çap sınıflarında türler arası varyasyonu temsil etme yeterliliğini artırmakta ve modelin genelleme kapasitesi açısından olumlu bir dağılım ortaya koymaktadır.



Şekil 3. Model geliştirme ve test verilerinin dağılımları
Figure 3. The distributions of model development and test data



Şekil 4. Saçlı ve sapsız meşe türlerinde çap basamaklarına göre frekans dağılımları
Figure 4. Frequency distributions of diameter classes in Turkey oak and sessile oak species

2.1. Yöntem

Dip çap ile göğüs çapı arasındaki ilişkiyi modellemek için 4 farklı regresyon denklemi (Lineer, Kuadratik, Logaritmik ve Power) test edilmiştir. Modeller aşağıdaki Çizelge 2'deki gibi yazılabilmektedir.

Yukarıda modellerde a , b ve c parametreleri temsil etmektedir. Her denklem için, en küçük kareler yöntemi ile regresyon katsayıları tahmin edilmiştir. Çalışma kapsamında test edilen 4 denklemin, göğüs çapı tahminlerindeki tahmin performanslarını değerlendirmek ve modeller arasında bir karşılaştırma yapabilmek için dört farklı ölçüt değeri kullanılmıştır. Bu ölçütler ağaçların gerçek çap değerleri ile modeller yardımı ile tahmin edilen çaplar arasındaki farkları temel alan yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bu kriterler sırasıyla, ortalama mutlak hata (MAE), hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE), R^2 (Belirtme katsayısı) ve Akaike Bilgi Kriteri (AIC)'dir. Bu ölçütlere ilişkin denklemler aşağıda sırayla verilmiştir.

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|}{n} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-p}} \quad (2)$$

$$AIC = n \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{n} \right] + 2p \quad (3)$$

$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \right] \quad (4)$$

Burada y_i : ölçülen değer, $\hat{y}_i$: tahmin edilen değer, $\bar{y}$: ölçülen değerlerin aritmetik ortalaması, n : toplam gözlem sayısı, p : parametre sayısını ifade etmektedir. Bu çalışmada modellerin performanslarının daha gerçekçi ve karşılaştırılabilir bir şekilde değerlendirilmesi amacıyla, Poudel ve Cao (2013) tarafından önerilen nispi sıralama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, karşılaştırılan modellerin birbirlerine olan nispi yakınlıkları hakkında bilgi sağlayarak klasik sıralama yaklaşımlarına göre daha ayrıntılı bir değerlendirme imkânı sunmaktadır.

Çizelge 2. Modeller ve denklemlerinin gösterimi

Modeller	Regresyon denklemleri
Lineer	$d_{1.30} = a + b * d_{0.30}$
Kuadratik	$d_{1.30} = a + b * d_{0.30} + c * d_{0.30}^2$
Logaritmik	$d_{1.30} = a + b * \ln(d_{0.30})$
Power	$d_{1.30} = a * d_{0.30}^b$

Çizelge 3. Modellerin parametre değerleri

Table 3. Parameter values of the models

Modeller	a	b	c
Lineer	-1.599 (0.1135)	0.879 (0.00427)	
Kuadratik	-2.521 (0.2781)	0.955 (0.02112)	-0.0013 (0.000365)
Logaritmik	-46.708 (0.4275)	21.328 (0.13535)	
Power	0.606 (0.01309)	1.089 (0.00549)	

Çizelge 4. Modellerin başarı ölçüt değerleri

Table 4. Criteria values of models

Model	R^2	RMSE	MAE	AIC
Lineer	0.944	2.015	1.454	4807
Kuadratik	0.945	1.998	1.451	4803
Logaritmik	0.914	2.503	1.848	5369
Power	0.942	2.047	1.471	4819

$$R_i = 1 + \frac{(m-1)(S_i - S_{min})}{S_{max} - S_{min}} \quad (5)$$

Bu formülde değişkenler şu şekilde tanımlanmaktadır;

R_i : i yönteminin nispi sırasını ($i = 1, 2, \dots, m$),
 S_i : i yöntemi ile elde edilen uyum istatistiğini,
 S_{max} : uyum istatistiğinin en yüksek değerini,
 S_{min} : uyum istatistiğinin en düşük değerini ifade etmektedir.

Bu sıralama sisteminde en iyi yöntem 1 değerini alırken, en kötü yöntem m değeriyle ifade edilmektedir. Diğer yöntemlerin nispi sıraları ise 1 ile m arasında değişen gerçek sayılar olarak hesaplanmakta ve yöntemler arasındaki farkların büyüklüğü de dikkate alınmaktadır. Böylece, yalnızca sıralamayı değil, sıralama değerlerinin birbirine olan uzaklıklarını da içeren daha zengin bir değerlendirme yapılabilmektedir. Örneğin; nispi sıraları 1, 1.3, 3.7, 3.9 ve 4 olan dört yöntem, bu yöntem sayesinde iki belirgin gruba ayrılabilir: {1, 1.3} ve {3.7, 3.9, 4}. Bu durum, modellerin performans farklarını daha net ortaya koymaktadır (Poudel ve Cao, 2013). Bu çalışmada da açıklanan yöntem kullanılarak dört farklı ölçüt değerinden yararlanılmış ve tüm modellerin nispi sıraları belirlenmiştir. Belirtme katsayısı en yüksek değer, kalan tüm ölçütlerde ise en düşük değere sahip model en iyi model olarak kabul edilmiş ve sıralamalar buna göre yapılmıştır.

3. Bulgular ve tartışma

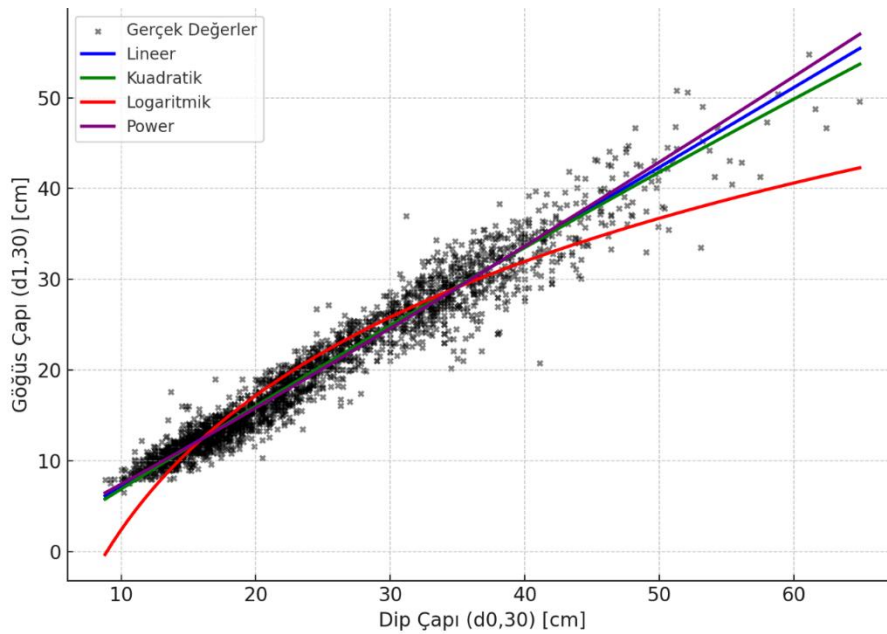
Elde edilen regresyon denklemlerinin parametreleri aşağıdaki Çizelge 3'te verilmiştir. Burada elde edilen tüm parametreler $p < 0.001$ düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Her sütunda model parametre değerleri ve parantez içinde standart hata değerleri yer almaktadır.

Yukarıda verilen katsayılar kullanılarak her bir model, veri setindeki ağaçlar için tahmini göğüs çapı değerleri üretmiştir. Bu tahminler, gerçek gözlem değerleriyle karşılaştırılarak model performansları değerlendirilmiştir. Aşağıdaki çizelgede dört modelin performansları istatistiki ölçütler ile özetlenmiştir. R^2 değeri modelin açıklama performansını (1'e ne kadar yakınsa o kadar iyi), RMSE ve MAE ise tahmin hatalarının büyüklüğünü gösterir (daha düşük değerler daha iyi uyumu ifade eder). AIC değeri de daha küçük olduğunda modelin daha iyi olduğuna işaret eder (modelin hem hata hem parametre sayısını göz önüne almaktadır). Çizelge 4'te başarı ölçütlerinin değerleri verilmiştir.

Çizelge 4 incelendiğinde kuadratik modelin en yüksek belirtme katsayısı değerine ($R^2 = \%94.5$) ve en düşük hata ölçütlerine (RMSE = 1.998, MAE = 1.451) sahip olduğu görülmektedir. Lineer modelin performansı da kuadratik modele çok yakındır ($R^2 = \%94.4$, RMSE = 2.015 cm). Power modelinin başarısı lineer modele yakın olmakla birlikte biraz daha düşüktür ($R^2 = \%94.2$, RMSE = 2.047 cm). Logaritmik model ise diğerlerine kıyasla belirgin biçimde daha zayıf bir uyum göstermiştir ($R^2 = \%91.4$) ve hata değerleri en yüksektir. AIC kriterine göre de en düşük değeri kuadratik model elde etmiştir (4803), onu yakından lineer model izlemektedir (4807). Logaritmik modelin AIC değeri çok yüksektir (5369), Power modelin AIC değeri ise lineer ve kuadratik modelden biraz daha yüksektir (4819). Bu sonuçlar genel olarak kuadratik modelin veriye en iyi uyumu sağladığını, logaritmik modelin ise ilişkiyi açıklamada diğer modeller kadar başarılı olmadığını göstermektedir. Aşağıda Şekil 5'te tüm modeller ve gerçek değerlerin dağılımı verilmiştir.

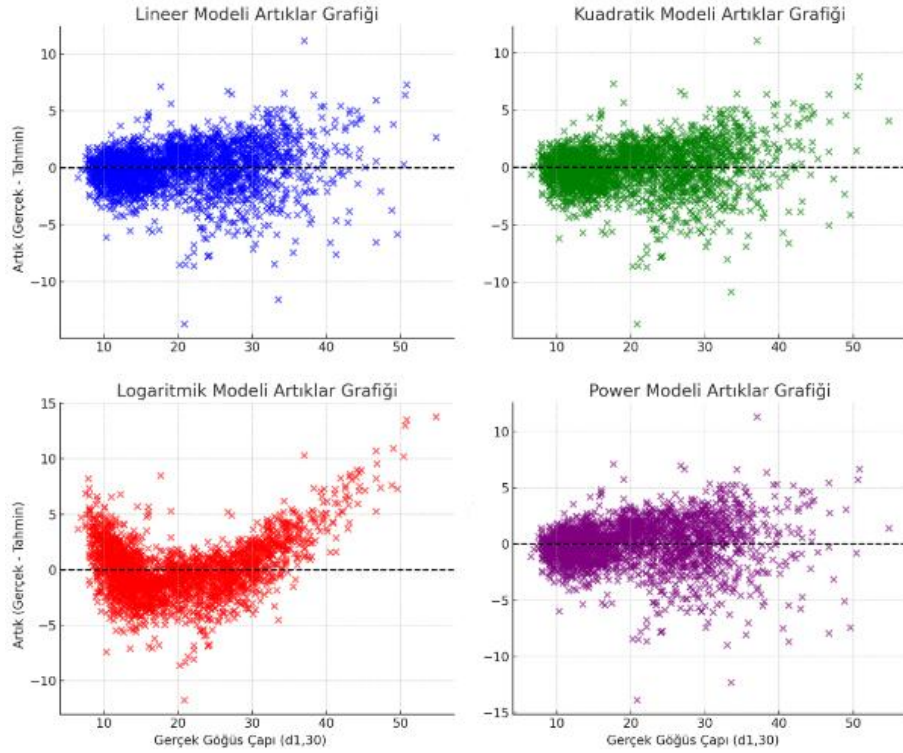
Şekil 5, dip çap ile göğüs çapı arasındaki ilişkinin gerçek değerler ve farklı regresyon modelleri üzerinden karşılaştırmasını göstermektedir. Lineer, kuadratik ve power modelleri, özellikle orta çap aralığında gözlemlerin genel eğilimini başarılı biçimde izlemekte olup benzer bir tahmin davranışı sergilemektedir. Kuadratik model, eğri formunun esnekliği sayesinde düşük ve yüksek çap sınıflarındaki değişimi diğer modellere göre daha iyi temsil etmektedir. Buna karşın logaritmik model, özellikle küçük ve büyük çaplarda sistematik sapmalar göstererek veriyi daha zayıf açıklamaktadır. Genel olarak, modellerin performans karşılaştırmasında kuadratik denklem en yüksek uyumu sağlamıştır.

Şekil 6'da ise modellere ilişkin tahminlerin hata dağılımları verilmiştir. Yatay eksen tahmin değerini, dikey eksen ise artık miktarını göstermektedir. Artıkların kırmızı çizgiyle gösterilen 0 eksenini etrafında rastgele dağılması, modelin sistematik bir hata göstermediği anlamına gelir. 4 farklı regresyon denklemi ile elde edilen tahmin değerlerinin gerçek değerlere göre hata dağılımlarında en iyi sonuçları kuadratik denklem sergilemiştir.



Şekil 5. Dip çap ve göğüs çapı ilişkilerine ilişkin regresyon eğrileri

Figure 5. Relationships between stump diameter and diameter at breast height of regression equations



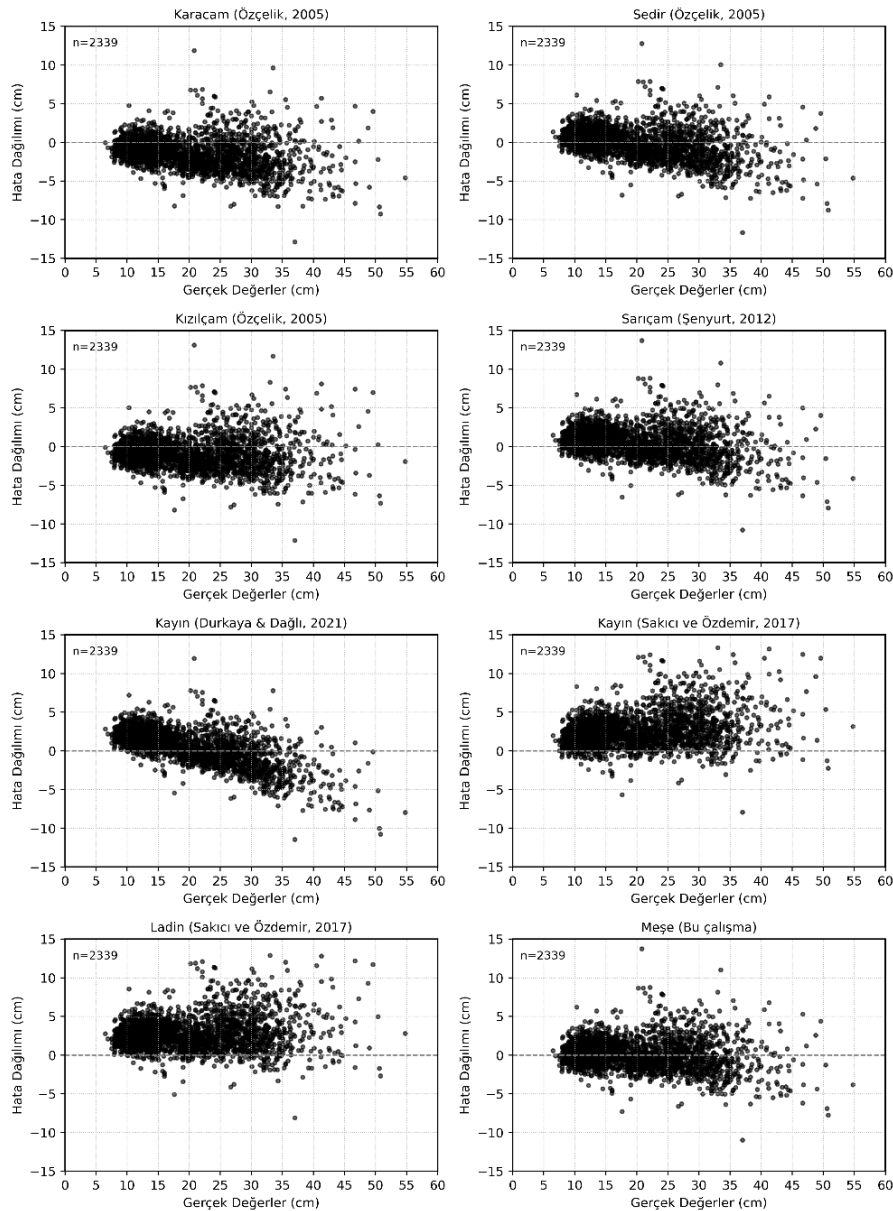
Şekil 6. Modellerin hata dağılım grafikleri
Figure 6. Residuals graphs of models

Literatürde farklı ağaç türleri ve modelleme yaklaşımlarıyla yapılan çalışmalar, bulgularımızı destekler niteliktedir. Geniş yapraklı türler için pek çok araştırma, göğüs çapı tahmininde benzer yüksek açıklama oranları bildirmiştir. Örneğin, kayın (*Fagus orientalis*) meşcerelerinde kütük çapından göğüs çapını tahmin etmek amacıyla Durkaya ve Dağlı (2021), çeşitli regresyon denklemlerini test etmiş ve logaritmik modelin en iyi sonuç verdiğini bildirmişlerdir. Söz konusu çalışmada tek değişkenli logaritmik modelle $R^2=0.89.8$ açıklama oranı elde edilirken, kütük yüksekliğinin de dahil edildiği çift değişkenli modelde açıklama oranı $\%96.7$ 'ye yükselmiştir. Benzer şekilde, kayın ormanlarında yapılan bir diğer araştırmada Ercanlı vd. (2015), üssel fonksiyonu kullanarak $R^2_{adj} = 0.990$ ve $RMSE = 1.25$ cm ile son derece yüksek bir doğruluk elde etmiş; modeli karışık etkili model formuna dönüştürerek $R^2_{adj} = 0.993$ ve $RMSE = 1.04$ cm seviyesine kadar iyileştirmişlerdir (Ercanlı vd., 2015). Bu değerler, bizim çalışmamızdaki kuadratik modelin $R^2 = 0.945$ 'lik başarısıyla karşılaştırıldığında geniş yapraklı ağaçlarda da benzer veya daha yüksek uyum sağlanabildiğini göstermektedir. Nitekim Anadolu kestanesi (*Castanea sativa*) üzerinde gerçekleştirilen bir çalışmada da kütük çapı ile göğüs çapı arasındaki ilişkiyi ortaya koyan modelin belirleme katsayısının $\%90$ 'ın üzerinde olduğu bildirilmişlerdir (Sağlam vd., 2016). Yavuz (2000), dişbudak (*Fraxinus excelsior*) ağaçlarındaki çapdan göğüs çapını tahmin etmek için en basit şekliyle doğrusal modelin dahi oldukça yüksek bir korelasyon sağladığını ifade etmiştir (Ercanlı vd., 2015). Bu durum, bazı geniş yapraklı türlerde gövde formunun basit lineer ilişkilerle başarılı şekilde temsil edilebildiğine işaret etmektedir. Örneğin, Kuzey Marmara bölgesi saf *Quercus petraea* meşcerelerinde, 0.30 m yükseklikten ölçülen dip çapı

ile göğüs çapı arasındaki ilişkiyi inceleyen bir çalışmada ise doğrusal modelin yeterli hassasiyeti sağladığı ve modele bağlı olarak değişmekle birlikte R^2 değerinin $\%89.8-96.7$ aralığında değiştiği rapor edilmiştir (Özdemir vd., 2020). Bu çalışmada en basit modelin bile üst düzey bir açıklama oranı sunması, meşe gibi bazı türlerde karmaşık modellere gerek kalmadan yüksek doğruluk elde edilebileceğini göstermektedir. İğne yapraklı türler için yapılan çalışmalar da bulgularımızla uyumlu sonuçlar ortaya koymakta, ancak en uygun model formu tür bazında farklılık gösterebilmektedir. Özçelik (2005), Mut Orman İşletmesi'nde karaçam (*Pinus nigra*), sedir (*Cedrus libani*) ve kızılçam (*Pinus brutia*) türlerini kapsayan bir çalışmada dört farklı regresyon denkleminin (doğrusal, parabolik/kuadratik, logaritmik ve üssel) karşılaştırmıştır. Sonuçlar, karaçam için en iyi modelin parabolik (ikinci dereceden polinom) formül olduğunu, sedir ve kızılçam için ise üssel (çarpım formunda güç fonksiyonu) denklemin en başarılı sonucu verdiğini göstermiştir. Karaçamda seçilen kuadratik model, ilgili çalışmada $R^2 = 0.977$ ve $S_{yx} = 2.44$ cm hata ile en yüksek uyumu sağlamıştır. Sedir ağacında ise üssel modelle $R^2 = 0.981$ gibi çok yüksek bir belirleme katsayısı elde edilmiş, tahminin standart hatası 2.03 cm'ye kadar düşürülmüştür. Kızılçamda, görece daha düşük olsa da halen yüksek sayılabilecek bir uyum söz konusu olup en iyi üssel model ile $R^2 = 0.907$ ve $S_{yx} = 2.90$ cm değerleri elde edilmiştir. Bu sonuçlar iğne ve geniş yapraklı türlerin her birinde farklı model yapılarına ihtiyaç duyulabildiğini göstermektedir. Özçelik (2009), ayrıca pratik uygulamalar açısından basit doğrusal modelin de güvenle kullanılabileceğini vurgulamıştır; nitekim aynı çalışmada tüm türlerde doğrusal modeller de $\%90$ 'ı aşan R^2 değerlerine ulaşmıştır. Diğer bir araştırma, Doğu kayını (*Fagus orientalis*) ile Kazdağı göknarı (*Abies nordmanniana* subsp.

bornmülleriana) karışık meşcerelerinde dip çap-göğüs çapı ilişkisini incelemiştir. Sakıcı ve Özdemir (2017), farklı yüksekliklerdeki dip çaplarını kullanarak denedikleri regresyon denklemleri arasından üssel denklemin her iki tür için de en iyi sonucu verdiğini saptamışlardır (Sakıcı ve Özdemir, 2017). Özellikle 0.30 m yüksekliğinde ölçülen çapla tahmin yapıldığında, Doğu kayınında $R^2 = 0.989$, RMSE = 2.01 cm, MAE = 1.36 cm; göknarda ise $R^2 = 0.988$, RMSE = 1.96 cm, MAE = 1.28 cm olarak hesaplanmıştır. 0.10 m gibi daha alçak yüksekliğinde bile her iki tür için R^2 'nin %95+ düzeyinde olması (örn. göknarda $R^2 = 0.955$) bu modellerin yüksek tahmin kabiliyetini ortaya koymaktadır. Aşağıdaki Şekil 7'de literatürde yer alan

Özçelik (2005), çalışmasındaki sedir, kızılçam ve karaçam ağaç türleri için, Şenyurt (2012), için sarıçam, Durkaya ve Dağlı (2021), için kayın ve Sakıcı ve Özdemir (2017), için kayın ve ladin türleri için oluşturulmuş gerçek değerler ile tahmin değerlerinin hata dağılım grafiği verilmiştir (Şekil 7). Ayrıca, çalışma kapsamında yapılan istatistiksel değerlendirmeler neticesinde en başarılı model olan kuadratik modelin sonuçlarının hata dağılım grafikleri çizilmiştir. Literatürde yer alan 7 model ve bu çalışmada elde edilen en iyi sonuçları veren kuadratik modelin hata dağılım grafikleri ise Şekil 7'de verilmiştir. 7 modelin katsayıları ve bu modelin kuadratik modelin katsayıları ile elde edilen tahmini göğüs çapı değerleri ile ölçümü yapılan değerlerin hata dağılım grafikleri verilmiştir.



Şekil 7. Farklı çalışmaların hata dağılım grafikleri
Figure 7. Different studies of residuals graphs

Genel olarak, elde edilen bulgular literatürdeki çalışmalarla tutarlılık içindedir. Birçok çalışmada farklı model formları denenmesine rağmen, R^2 değerleri çoğunlukla %90'ın üzerinde rapor edilmiş; en düşük hata istatistikleri de genellikle en iyi uyumu veren modellerde elde edilmiştir. Bizim araştırmamızda da benzer şekilde, kuadratik model en yüksek açıklama gücünü sağlarken RMSE, MAE ve AIC kriterleri bakımından en iyi performansı sunmuştur. Bununla birlikte literatürdeki karşılaştırmalar, en uygun model formunun türe ve verinin yapısına bağlı olarak değişebileceğini göstermektedir. Örneğin, nispeten düz gövde formuna sahip meşe ve dişbudak gibi türlerde basit doğrusal modeller bile yüksek başarı verirken, kayın, göknar veya sedir gibi türlerde ikinci dereceden polinomlar veya üssel modeller hata oranlarını azaltmada daha etkili olabilmektedir. Diğer çalışmalardan elde edilen katsayılar ile üretilen tahminler ile karşılaştırma Şekil 7'de verilmiştir. Grafiğe bakılınca en yakın tahminler Özçelik (2005)'dan alınan *C. libani* ve Şenyurt (2012) tarafından verilen *P. sylvestris* türü için katsayılarından elde edilmiştir. Aynı şekilde hata dağılım grafiklerine bakılınca bu çalışma 0'a en yakın dağılımı gösterirken diğer çalışmaların katsayıları ile elde edilen tahminler daha geniş varyasyon göstermektedir (Şekil 7). Tüm modellerin sıralandığı MAE, R^2 ve RMSE değerlerine göre nisbi sıralamaları ise Çizelge 5'te verilmiştir. Burada literatürdeki diğer denklemlerin tahminleri ve bu çalışmaya ilişkin tahminler karşılaştırılmıştır.

C. libani (Özçelik, 2005) ve *P. sylvestris* (Şenyurt, 2012), türleri için elde edilen tahminler bu çalışmanın sonuçları ile yakın tahminler üretmiştir. Bu tür farklılıklar, ağaç türlerinin gövde formu ve koniklik özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak, Bilecik yöresindeki karışık meşe meşcerelerinde elde ettiğimiz yüksek R^2 (0.945) ve düşük hata değerleri, literatürde bildirilen değerlerle aynı düzeyde bulunmuştur. Bu da kullanılan kuadratik modelin genel geçerliliği yüksek, güvenilir bir tahmin aracı olduğunu teyit etmektedir. Çalışmamızın bulguları, farklı tür grupları için optimum model seçiminin önemini vurgulamakta ve gelecekteki araştırmalarda türe özgü model geliştirme gerekliliğine işaret etmektedir. Böylece, orman biyometrisi tahminleri yapılarak ormancılık uygulamalarında karar destek sistemleri güçlendirilebilir.

4. Sonuç ve öneriler

Yapılan bu çalışmada, Bilecik Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisindeki saçlı ve sapsız meşe meşcerelerinde dip çap-göğüs çapı ilişkisini modellemek amacıyla dört temel regresyon denklemini değerlendirilmiştir. Bulgular, tüm modeller arasında kuadratik modelin en yüksek uyumu sağladığını göstermiştir. Bu model, hem en yüksek R^2 değerine hem de en düşük RMSE, MAE ve AIC değerlerine sahip olup, artıkların rastgele dağılması sayesinde sistematik

bir hataya yol açmadığını ortaya koymuştur. Kuadratik modelin başarısı, çap ilişkisindeki hafif eğriliği doğru yakalamasından kaynaklanmaktadır. Genel olarak, en uygun model kuadratik model olarak belirlenmiştir. Çalışmamızda bulunan R^2 %94-95 aralığı, benzer şekilde Şenyurt (2012) tarafından sarıçam için rapor edilen %96'yla uyumludur veya Kastamonu yöresi kayın meşcerelerinde logaritmik modelin başarılı olduğu görülürken (Durkaya ve Dağlı, 2021), bizim verimizde logaritmik model en zayıf uyumu vermiştir; bu da farklı türlerin gövde formlarındaki farka işaret edebilmektedir. Kuadratik model, çok az da olsa lineer modelden daha iyi uyum sağladığı ve büyük/küçük çaplarda tutarlı sonuçlar verdiği için tercih edilmektedir. Lineer model de basitliği ve neredeyse eşdeğer performansı ile dikkate değer bir alternatiftir. Logaritmik ve power modelleri ise bu veri için beklenen faydayı sağlamamıştır. Ülkemizde uzun yıllardır dip çap ile göğüs çapı arasındaki ilişki incelenmektedir (Özer, 1981; Giray, 1982; Kalıpsız, 1988; Carus, 1996; Yavuz, 1996; Özçelik, 2005; Şenyurt, 2012; Ercanlı vd., 2015; Sağlam vd., 2016; Sakıcı ve Özdemir, 2017; Şenyurt vd., 2020; Durkaya ve Dağlı, 2021). Son yıllarda Ercanlı vd. (2015), sadece temel modeller ile değil karışık etkili modeller ile de dip çaptan göğüs çapını tahmin etmeye çalışmaktadır. Bu çalışma ile ise sonuç olarak, kuadratik model diğer temel modellere göre daha pratik ve doğruluk düzeyi yüksek bir biçimde tahmin edebildiği görülmüştür. Hem istatistiksel başarı ölçütleri (en yüksek R^2 , en düşük RMSE, MAE, AIC) bu modelde en iyidir, hem de artık analizinde görüldüğü üzere model hatalarını rastgele dağılarak önemli bir sistematik hata içermemektedir.

Bununla birlikte, lineer modelin performansı kuadratik modele oldukça yakındır. Verideki ilişkinin büyük ölçüde doğrusal karakterde olması, lineer modeli pratik uygulamalar için önemli bir alternatif hâline getirmektedir. Ancak büyük çaplı bireylerde gözlenen hafif sistematik hatalar, kuadratik modelin bu çalışmada daha dengeli bir çözüm sunduğunu göstermektedir. Logaritmik ve power modelleri ise meşe türlerinin gövde formuna çok uygun bir uyum sergilememiştir. Öneriler kapsamında ise, farklı meşe türleri ve yetiştirme ortamlarında benzer çalışmaların yürütülerek türe ve bölgeye özgü modellerin geliştirilmesi, gövde formundaki değişimi daha iyi temsil edebilmek için gövde yüksekliğinin farklı seviyelerinden (0.10–0.60 m) modele etkisinin incelenmesi, daha geniş veri setleri kullanılarak karışık etkili modeller, makine öğrenmesi algoritmaları ve esnek regresyon yaklaşımlarının test edilmesi önerilmektedir. Bu tür modeller, özellikle envanter çalışmalarında göğüs çapı ölçülemeyen meşe kütükleri için pratik ve güvenilir tahminler sunabilir. Genel olarak, kuadratik modelin dip çapından göğüs çapını yüksek doğrulukla tahmin edebilmesi, çalışmanın amacına uygun, güçlü ve güvenilir bir çözüm ortaya koyduğunu göstermektedir.

Çizelge 5. Literatürdeki farklı çalışmalar ile karşılaştırma

Table 5. Comparison with different studies in the literature

Çalışmalar	MAE	RMSE	R^2	MAE	RMSE	R^2	Toplam	Genel
Bu çalışma (Kuadratik)	1.451	1.998	0.945	1.000	1.000	1.000	3.000	1.000
<i>C. libani</i> (Özçelik, 2009)	1.504	2.025	0.944	1.264	1.126	1.063	3.453	1.151
<i>P. sylvestris</i> (Şenyurt, 2012)	1.527	2.052	0.943	1.379	1.252	1.126	3.757	1.252
<i>P. brutia</i> (Özçelik, 2009)	1.749	2.245	0.932	2.487	2.153	1.820	6.459	2.153
<i>F. orientalis</i> (Durkaya ve Dağlı, 2021)	1.840	2.315	0.927	2.939	2.480	2.135	7.555	2.518
<i>P. nigra</i> (Özçelik, 2009)	1.942	2.460	0.918	3.448	3.157	2.703	9.308	3.103
<i>F. orientalis</i> (Sakıcı ve Özdemir, 2017)	2.752	3.490	0.834	7.486	7.967	8.000	23.454	7.818
<i>A. nordmanniana</i> (Sakıcı ve Özdemir, 2017)	2.855	3.497	0.834	8.000	8.000	8.000	24.000	8.000

Açıklama

Bu çalışma, Türkiye Bilim ve Teknolojik Araştırma Konseyi (TÜBİTAK) tarafından 2209-A Üniversite Öğrenci Araştırma Projeleri Destek Programı kapsamında, 1919B012334142 numaralı proje ile desteklenmiştir. Yazarlar, mali desteği için TÜBİTAK'a teşekkür eder.

Kaynaklar

- Alkan, O., Özçelik, R., Alkan, H., 2019. Türkiye'nin bazı önemli ağaç türleri için yöresel gövde çapı modellerinin geliştirilmesi: Bucak örneği. *Turkish Journal of Forestry*, 20(4): 333-340.
- Carus, S., Catal, Y., 2010. Growth response of Lebanon cedar (*Cedrus libani*) plantations to thinning intensity in Western Turkey. *Journal of Environmental Biology*, 31(5): 609-614.
- Carus, S., 1996. Aynı yaşlı Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) meşcerelerinde çap dağılımının bonitet ve yaşa göre değişimi. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 46(2): 171-181.
- Carus, S., Memiş, İ., Kündü, K., Alem, Ö., 2016. Şehit Ali İhsan Kalmaz Ormanı karaçam (*Pinus nigra* Arnold) ağaçlandırması için tek ve çift girişli ağaç hacim tablolarının düzenlenmesi. *Turkish Journal of Forestry*, 17(1): 37-42.
- Corral-Rivas, J.J., Barrio-Anta, M., AgirreCalderón, A.A., Diéguez-Aranda, U., 2007. Use of stump diameter to estimate diameter at breast height and tree volume for major pine species in El Salto Durango (Mexico). *Forestry*, 80(1): 29-40.
- Demaerschalk, J.P., Omule, S.A.Y., 1982. Estimating breast height diameter from stump measurements in British Columbia. *The Forestry Chronicle*, 58 (3): 143-145.
- 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(2): 228-241.
- Durkaya, B., Dağlı, C., 2021. Kütük çapı ve kütük yüksekliği ile göğüs çapı ilişkisi: Kastamonu-Göynük örneği. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 23(3): 1004-1012.
- Durkaya, B., Durkaya, A., 2011. Zonguldak-Ulus Orman İşletme Müdürlüğü göknar, kayın ve karaçam ağaç türleri için kütük çapı ve boyu ile göğüs çapı ilişkisi. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 11(1): 9-17.
- Eraslan, H., 1954. Orman biyometrisi ve tatbikatı. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- Ercanlı, İ., Günlü, A., Başkent, E.Z., 2015. Mixed effect models for predicting breast height diameter from stump diameter of Oriental beech in Göladağ. *Scientia Agricola*, 72(3): 245-251.
- 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. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 13(2): 75-84.
- Ercanlı, İ., Güvendü, E., Güney, D., Günlü, A., Altun, L., 2008. Sinop yöresi Sahilçamı (*Pinus pinaster* Ait.) ağaçlandırmalarına ilişkin tek ve çift girişli ağaç hacim tablolarının düzenlenmesi. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 8(1): 14-25.
- Giray, N., 1982. Ağaçlarda kütük çapı, orta çap, göğüs çapı ilişkileri. *Ormancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 28(56):69-79.
- Hann, D.W., 1976. Estimating diameter at breast height and basal area from stump dimensions. *USDA Forest Service Research Note*, RM-316. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station.
- Kalıpsız, A., 1999. Dendrometri. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayını, No:3194/354, İstanbul.
- Kalıpsız, A., 1988. Orman Hasılat Bilgisi. İÜ. Yayın No: 3516, Orman Fakültesi Yayın No: 397, İstanbul.
- Koparan, B., Alkan, O., Carus, S., Çatal, Y., Özçelik, R., 2024. Tek ağaçta göğüs çap artımının periyot süresi, yaş sınıfı ve sosyal sınıfına göre değişimi: Sarıkamış yöresi sarıçam meşcereleri örneği. *Turkish Journal of Forestry*, 25(4), 437-446.
- Kozak, A., Omule, A. Y., 1992. Estimating stump volume, stump inside bark diameter and diameter at breast height from stump measurements. *The Forestry Chronicle*, 68(2): 240-247. <https://doi.org/10.5558/tfc68240-2>.
- Nacakci, F. M., Gülcü, S., 2025. Comparison of scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) origins in terms of photosynthetic gas exchange and chemical properties. *BioResources*, 20(2): 4681-4700.
- Myers, C. A., 1963. Estimating DBH from stump diameter for ponderosa pine. *USDA Forest Service Research Note*, RM-1.
- OGM, 2022. [https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane/resmi-istatistikler/Ormancılık İstatistikleri/Ormancılık İstatistikleri 2022.zip](https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane/resmi-istatistikler/Ormancılık%20Istatistikleri/Ormancılık%20Istatistikleri%202022.zip), Erişim: 18.04.2025.
- Özçankaya, N., Batur, M., 2022. İzmir Orman Bölge Müdürlüğü fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.) meşcerelerinde kütük çapı-göğüs çapı ilişkisinin modellenmesi. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 9(1): 44-60.
- Özçelik, R., Yavuz, H., Karatepe, Y., Gürlevik, N., Kırış, R., 2012. Burdur Yöresi kızılçam meşcereleri için uyumlu gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin geliştirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 13: 85-91.
- Özçelik, R., 2005. Mut Orman İşletmesinde karaçam, sedir ve kızılçam ağaç türleri için dip çap-göğüs çapı ilişkileri. *SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(3): 83-91.
- Özçelik, R., 2009. Ulusal orman envanteri kavramı ve İsveç örneği. *Turkish Journal of Forestry*, 4(2): 69-82.
- Özçelik, R., Brooks, J.R., Diamantopoulou, M.J., Wiant, H.V., 2009. Estimating breast height diameter and volume from stump diameter for three economically important species in Turkey. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 25(1): 32-45. <https://doi.org/10.1080/02827580903280053>.
- Özdemir, E., Şahin, A., Özdemir, G.A., 2020. Kuzey Marmara Yöresi sapsız meşe (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl) meşcereleri için kütük çapı-göğüs çapı ilişkisinin belirlenmesi. *Turkish Journal of Forestry*, 21(1): 25-34.
- Özer, E., 1981. Sarıçamlarda kütük çapından yararlanarak göğüs çapının bulunması. *Ormancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 27(53): 20-23.
- Özkan, U., Koparan, B., Genç, Ş. K., Şahin, C. K., 2025. Wood color variation in anatomical sections of *Cedrus libani* from two mediterranean regions. *BioResources*, 20(3): 7278-7292.
- Pond, A.E., Froese, R.E., 2014. Estimating diameter at breast height from stump measurements in the Lake States. *Northern Journal of Applied Forestry*, 31(3): 97-102. <https://doi.org/10.5849/njaf.13-001>.
- Poudel, K.P., Cao, Q.V., 2013. Evaluation of methods to predict Weibull parameters for characterizing diameter distributions. *Forest Science*, 59(2): 243-252.
- Sağlam, F., 2025. Kastamonu yöresinde yayılış gösteren değişik yaşlı kayın meşcereleri için çap dağılımlarının modellenmesi. *Turkish Journal of Forestry*, 26(3): 269-276.
- Sağlam, F., Sakici, O.E., Seki, M., 2016. Stump diameter and diameter at breast height relationship for Chestnut (*Castanea sativa* Mill.) stands in Kastamonu coastal region. *International Forestry Symposium (IFS 2016)*, 7-10 December, Kastamonu, Turkey, pp. 514-520.
- Sakici, O.E., Özdemir, G., 2017. Stump diameter and diameter at breast height relationships for oriental beech and Kazdağı fir at mixed stands in Karabük. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 17(2): 298-306.
- Sakici, O.E., Yavuz, H., 2016. The relationship between diameter at stump height and diameter at breast height in red pine-black pine mixed stands. *Scientific Research Symposium in Turkish Word*, 21-31 May, Celalabat, Kirgizistan, pp. 679-686.

- Şenyurt M., Ercanlı, I., Günlü, A., Bolat, F., Bulut, S., 2020. Artificial neural network models for predicting relationships between diameter at breast height and stump diameter: Crimean pine stands at ÇAKÜ Forest. *Bosque*, 41(1): 25-34.
- Şenyurt, M., 2012. Batı Karadeniz yöresi sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) meşcerelerinde kütük çapı-göğüs çapı ilişkileri. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 13(1): 79-87.
- Westfall, J.A., 2010. New models for predicting diameter at breast height from stump dimensions. *Northern Journal of Applied Forestry*, 27(1): 21-27.
- Wharton, E.H., 1984. A regression model for estimating tree DBH from stump diameter for fourteen northeastern tree species. *USDA Forest Service Research Note*, NE-314.
- Yavuz, H., 1996. Taşköprü Orman İşletmesinde sarıçam ve karaçam ağaç türlerimize ilişkin dip çap-göğüs çapı-orta çap ilişkileri ile kabuk hacminin hesaplanması. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi*, (2): 67-75.
- Yavuz, H., 2000. Dişbudak ağaç türü için dip kütük çapı ile göğüs çapı arasındaki ilişkinin belirlenmesi. *K.T.Ü. Orman Fakültesi Güz Yarı Yılı Seminerleri*, 7: 10-18.