



## Çap dağılımlarının yapay sinir ağı ile modellenmesinde farklı ağ yapılarının tahmin başarılarının karşılaştırılması: Bolu-Mengen Anadolu karaçamı meşcereleri örneği

Abdurrahman Şahin

Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, 08000, Artvin, Türkiye

### MAKALE KÜNYESİ

Geliş Tarihi: 29/10/2023

Kabul Tarihi: 23/11/2023

<https://doi.org/10.53516/ajfr.1382888>

\* Sorumlu yazar:

asahin@artvin.edu.tr

### ÖZ

### Araştırma Makalesi

Ormanlıkta çap dağılımları kullanılarak meşcerelerin ağaç sayısı, göğüs yüzeyi, hacmi, biyokütlesi ve karbon miktarı daha ayrıntılı şekilde tahmin edilebilmektedir. Bu çalışmada Mengen (Bolu) Orman İşletme Şefliğindeki karaçam meşcerelerinin çap dağılımları ilk önce 3 parametrelili Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu esas alınarak belirli yüzdeliklere dayanan eşitlikler vasıtasıyla modellenmiş, tahmin başarıları karşılaştırılmış ve daha sonra en başarılı olarak

belirlenen yüzdelik değerlerini giriş değişkeni kullanan Yapay Sinir Ağları kullanılarak da ağ eğitimleri gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada kullanılan 3 parametrelili Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu ile yapılan modellemede en başarılı bulunan %25-%50-%95'lik eşitliğin çap dağılımına ilişkin  $R^2_{\text{düz}}$  0,727, ortalama mutlak hata ve hata karelerinin ortalama karekökü değerleri ise sırasıyla 202,91 ve 102,95 olarak elde edilmiştir. Daha sonra aktivasyon fonksiyonu, ara katman sayısı ve nöron sayısı seçeneklerine dayanan çeşitli yapay sinir ağlarının (27 farklı modelin) çap dağılımlarını tahmin etmedeki başarı durumları karşılaştırılarak; hiperbolik tanjant (tanH) aktivasyon fonksiyonunu, 3 ara (gizli) katman ve 50 nöronu içeren Yapay Sinir Ağ yapısı ile ortalama hatası ve hata karelerinin ortalama karekökü değerleri sırasıyla 145,34 ve 78,1 ve  $R^2_{\text{düz}}$ 'si de 0,843 olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak, yapay sinir ağı modellemesiyle ortalama hatada %28,4'lük, hata karelerinin ortalama karekökünde de %24'lük bir azalma olurken,  $R^2_{\text{düz}}$ 'de ise %16'luk bir iyileşme olmuştur. Ayrıca, %25-%50-%95'lik yöntemin, Mengen karaçam meşcerelerindeki çap dağılımını modelleme başarısını Kolmogorov-Smirnov (K-S) testiyle denetlenmiş ve 108 örnek alanın 107'sinde çap dağılımı modellemesi istatistiksel olarak uygun bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Weibull dağılımı, parametre tahmini, yüzdelik dilime dayalı çap dağılımı tahmini, yapay sinir ağları, karaçam

## Modelling diameter distributions in Crimean pine stands in Mengen (Bolu) with Weibull Function and the effects of different Artificial Neural Networks models

### ABSTRACT

The use of diameter distributions in forestry allows for more detailed estimates of the number of trees, basal area, volume, biomass, and carbon amounts in stands. In this study, the diameter distributions of Crimean pine stands in Mengen (Bolu) Forest Management Directorate were first modeled using equations based on certain percentiles based on the 3-parameter Weibull probability density function, the prediction successes were compared and then network training was carried out using Artificial Neural Networks using the most successful percentile values as input variables. In the modeling with the 3-parameter Weibull probability density function used in the first stage, the  $R^2_{\text{adj}}$  the diameter distribution of the 25%-50%-95% equation, which was found to be the most successful, was 0.727, and the mean absolute error and root mean square error values were 202.91 and 102.95, respectively. Then, by comparing the success of various artificial neural networks (27 different models) based on activation function, number of intermediate layers, and number of neurons in predicting diameter distributions, the mean error and root mean square of error squares values of 145.34 and 78.1, respectively, and  $R^2_{\text{adj}}$  of 0.843 were obtained with the Artificial Neural Network structure including hyperbolic tangent (tanH) activation function, 3 hidden layers, and 50 neurons. As a result, the artificial neural network modeling resulted in a 28.4% reduction in the mean error a 24% reduction in the root mean square of the error squares, and a 16% improvement in the  $R^2_{\text{adj}}$ . In addition, the success of the 25%-50%-95% method in modeling the diameter distribution in Mengen Crimean pine stands was tested with Kolmogorov-Smirnov (K-S) test, and the diameter distribution modelling was found to be statistically appropriate in 107 of 108 sample plots.

**Key Words:** Weibull distribution, parameter estimation, percentile-based diameter distribution prediction, artificial neural networks, Crimean pine

*Bu makaleye atf:*

Şahin, A., 2023. Çap dağılımlarının yapay sinir ağları ile modellenmesinde farklı ağ yapılarının tahmin başarılarının karşılaştırılması: Bolu-Mengen Anadolu karaçamı meşcereleri örneği. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 9(2), 61-69.



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

## 1. Giriş

Ormanlık alanında kullanılan artım ve büyüme modelleri, çok çeşitli koşullarda gelişen meşcerelere ait artım ve büyüme miktarlarını tahmin ve tespit edebilen denklemler olup (Vanclay, 1994; Mısır, 2003; Bolat ve Ercanlı, 2017) orman yöneticilerinin etkili kararlar almalarında temel altlık olarak kullanılmaktadırlar (Cao, 2022). Artım ve büyüme modelleri, modelledikleri birimlere bağlı olarak tek ağaç, meşcere ve çap dağılım modelleri olarak üç gruba ayrılmaktadır. Tahmin düzeyi bakımından çap dağılım modelleri ise, meşcere modelleri ile tek ağaç modelleri arasında kalan bir modelleme yaklaşımıdır (Vanclay, 1994; Gadow ve Hui, 1999).

Ormanların meşcere yapıları hakkındaki ayrıntılı bilgi sahibi olabilmek için meşcerelerin aktüel ve gelecekteki yapılarını ortaya koymak gerekmektedir (Sönmez ve ark., 2010). Çap dağılım modelleri, olasılıklı yoğunluk fonksiyonları kullanılarak geliştirilmekte ve meşcere yapıları hakkında çok daha detaylı bilgi üretebilmektedirler (Zhang ve Lei, 2010; Diamantopoulou ve ark., 2015; Sakıcı ve Dal, 2021). Bu modeller, meşcerelerdeki ağaçların çap basamaklarına dağılımlarını belirleyip ilgili meşcerelerin boniteti, yaşı, sıklığı ve karışım oranı ile ilişkilerini ortaya koyabilme imkânı sağlamaktadırlar (Yavuz ve ark., 2002; Kahriman ve Yavuz, 2011). Ayrıca çap dağılımları, meşcere yapıları ve meşcerelerden elde edilebilecek odun ürünlerinin çeşitliliği (Waldy ve ark., 2022) ile orman meşcere dinamikleri, büyüme ve verim ile ilgili tahminler sağlamanın yanı sıra çeşitli silvikültür faaliyetlerinin (aralama-geçleştirme gibi) planlanmasına (Liu ve ark., 2014) ve meşcere tablolarının oluşturulmasına olanak sağlayabilmektedirler (Rennolls ve ark., 1985).

Çeşitli araştırmacılara göre, günümüzün modern orman planlama sistemlerinin bile çap dağılım modellerine dayandığı düşünülmekte olup çap dağılım modelleri, tamamlayıcı tahmin modelleri ile birleştirildiğinde orman yönetimi hedefleri için çap sınıfına göre biyokütle, karbon stoğu veya odun enerjisi hakkında veri elde etmek için basit bir yaklaşım sağlayabilmektedirler (Özçelik ve ark., 2016).

Çap dağılım modellemesi konusunda son yıllarda yapılan çalışmalarda genellikle; Johnson's SB (Johnson, 1949), Weibull (Weibull, 1951), Gamma (Nelson, 1964), Log-normal (Bliss ve Reineker, 1964) ve Beta (Clutter ve Bennet, 1965) gibi olasılık yoğunluk fonksiyonları kullanılmakta olup her bir fonksiyonunun kendine özgü avantaj ve dezavantajları vardır (Liu ve ark., 2014). Bailey ve Dell (1973) çalışmalarında; Weibull fonksiyonunun esnek bir yapıya sahip olduğunu ve sayısal entegrasyona ihtiyaç duymadan kolaylıkla olasılıklar üretebildiğini belirtmişlerdir. Siipilehto ve Mehtätalo (2013)'da Weibull fonksiyonunun basit, uyarlanabilir ve kullanışlı olduğunu, kullanılan parametre sayısında önemli bir esneklik sunduğunu ve böylece pratikte en sık uygulanan teorik dağılım haline geleceğini belirtmişlerdir. Ayrıca, son yapılan çalışmalarda da Weibull fonksiyonunun; konum, ölçek ve şekil parametrelerini içermesi sebebiyle meşcerelerdeki çap dağılımlarına ilişkin tahminlemede üstünlük sağladığı ortaya konulmuştur (Podlaski ve Zasada, 2008; Ercanlı ve Yavuz, 2010; Sakıcı ve Gülsunar, 2012; Sönmez ve ark. 2015).

Çap dağılımı modellemesi yapılırken, kullanılan olasılık yoğunluk fonksiyonlarına ait parametrelerinin tahmini

aşamasında da (i) parametre tahmini (maksimum olabilirlik), (ii) moment temeline dayanan parametre çözümlene, (iii) yüzdellik temeline dayanan parametre çözümlene ve (iv) karma (hibrid) olmak üzere dört farklı yöntem kullanılmaktadır (Hyink ve Moser, 1983; Gadow ve Hui, 1999; Siipilehto vd., 2007; Poudel ve Cao, 2013; Alkan ve ark., 2023). Ancak birçok araştırmada, parametre tahmini için yüzdellik temeline dayanan parametre çözümlene yönteminin biyolojik büyüme kanuniyetlerine göre daha başarılı sonuçlar verdiği belirtilmektedir (Borders ve ark., 1987; Knowe ve ark., 1997; Maltamo ve ark., 2000; Liu ve ark., 2004; Gorgoso-Varela, 2015).

Ülkemizde birçok alanda ve çeşitli ağaç türlerinde çap dağılımı modellemesi çalışmaları (Carus, 1996; Carus ve Çatal, 2008; Ercanlı, 2010; Ercanlı ve Yavuz, 2010; Sönmez ve ark., 2010; Kahriman ve Yavuz, 2011; Ercanlı ve ark., 2013; Sönmez ve ark., 2015; Çatal ve Güneş, 2016; Özdemir, 2016; Sakıcı ve Dal, 2021; Baş ve Özçelik, 2022; Seki, 2022; Alkan ve ark., 2023) yapılmış olup; Bolat, 2015; Ercanlı ve ark., 2016; Bolat ve Ercanlı, 2017; Ercanlı ve ark., 2018; Sivrikaya ve Karakaş, 2020 çalışmalarında yüzdellik temeline dayanan parametre çözümlene yöntemini kullanmışlardır.

Diğer taraftan günümüzde yapılan birçok araştırmada, insan beynini birebir taklit eden Yapay Sinir Ağları (YSA) modellerine başvurulmakta ve bu YSA modelleme yapısıyla yapılan çalışmalarda hata oranı çok daha azaltılabılırken bunun yanı sıra model tahmin başarıları kayda değer derecede artış gösterdiği gözlemlenmektedir. Dolayısıyla, tek ağaç ve meşcere modelleri oluşturulurken YSA modelleri, geleneksel istatistik metotların yerini almaya başlamıştır (Ercanlı ve Kaya, 2019). Bu yüzden, YSA modellemesi çoğu alanda olduğu gibi ormancılık araştırmalarında da yer bulmakta ve fayda sağlamaktadır.

Bu çalışmanın amacı Mengen Orman İşletme Şefliği (OİŞ)'nde saf ve doğal olarak gelişim göstermiş olan Anadolu karaçamı (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.)) meşcerelerinin çap dağılımlarını, YSA ile tahmin etmek, farklı aktivasyon fonksiyonu, ara katman sayısı ve nöron sayısı seçeneklerine dayanan ağ yapılarının başarı durumlarını karşılaştırarak en başarılı ağ yapısını belirlemek ve bu YSA ile yapılan tahmin başarılarını, ormancılıktaki klasik çap dağılım modellemesi olan 3 parametrelili Weibull (Weibull-3P) olasılık yoğunluk fonksiyonu ile karşılaştırmaktır.

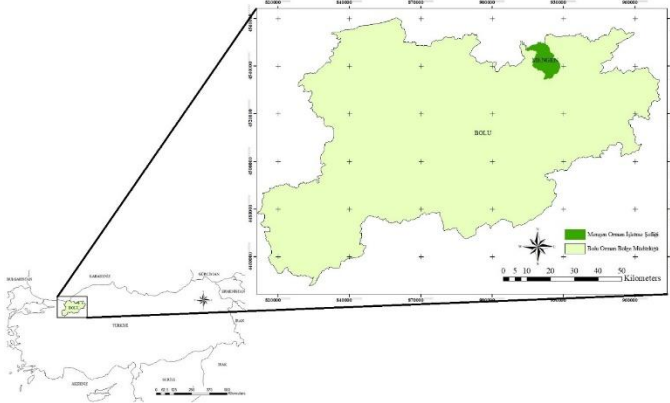
## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1 Materyal

Çalışma alanı, Bolu Orman Bölge Müdürlüğü Mengen Orman İşletme Müdürlüğü sınırlarında bulunan Mengen OİŞ'dir (Şekil 1). Mengen OİŞ'nin asli orman ağacı türleri karaçam, sarıçam, göknar, kayın, meşe ve gürgendir. Araştırmada veriler, Mengen OİŞ'deki saf karaçam meşcerelerinde ölçülmüş olan 108 adet örnek alana ait çap ölçüm değerlerini kapsamaktadır (OGM, 2010).

Ormanlar, Mengen'in arazi yapısının önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Mengen Havzası bölgesel olarak, Karadeniz ikliminin denizden uzak etkisiyle iç bölgelerin karasal iklimi arasında kalan bir geçiş özelliğine sahip olup kışı sert ve yazın Karadeniz kıyılarına göre daha az sıcak ve daha az nemlidir.

Alanın yıllık ortalama sıcaklığı 10,7 °C ve ortalama yıllık yağışı ise 652,4 mm dolayındadır (Doğan, 2011).



Şekil 1. Çalışma alanı (Bolu/Mengen OİŞ) haritası

## 2.2. Yöntem

Çalışma kapsamında kullanılan 108 adet örnek alandaki karaçamların çap basamaklarındaki miktarlarının dağılımı

Çizelge 1. Çap dağılımlarına ilişkin parametre tahmini yapılırken kullanılan çeşitli yüzdeler ve bunların eşitlikleri

Yöntem	Farklı yüzdeler		Eşitlikler	
I	%31-%63	$\alpha=0,5*d_{min}$	$\beta=\frac{d_{%63}-\alpha}{(-\ln(1-0,63))^{\frac{1}{\gamma}}}$	$\gamma=\frac{\ln\left(\frac{\ln(1-0,63)}{\ln(1-0,31)}\right)}{\ln(d_{%63}-\alpha)-\ln(d_{%31}-\alpha)}$
II	%31-%50-%63	$\alpha=0,5*d_{min}$	$\beta=\frac{d_{%50}-\alpha}{(-\ln(1-0,50))^{\frac{1}{\gamma}}}$	$\gamma=\frac{\ln\left(\frac{\ln(1-0,63)}{\ln(1-0,31)}\right)}{\ln(d_{%63}-\alpha)-\ln(d_{%31}-\alpha)}$
III	%50-%95	$\alpha=0,5*d_{min}$	$\beta=\frac{d_{%50}-\alpha}{(-\ln(1-0,50))^{\frac{1}{\gamma}}}$	$\gamma=\frac{\ln\left(\frac{\ln(1-0,95)}{\ln(1-0,50)}\right)}{\ln(d_{%95}-\alpha)-\ln(d_{%50}-\alpha)}$
IV	%25-%50-%95	$\alpha=0,5*d_{min}$	$\beta=\frac{d_{%50}-\alpha}{(-\ln(1-0,50))^{\frac{1}{\gamma}}}$	$\gamma=\frac{\ln\left(\frac{\ln(1-0,95)}{\ln(1-0,25)}\right)}{\ln(d_{%95}-\alpha)-\ln(d_{%25}-\alpha)}$
V	$d_{min}, d_g$ %25-%50-%95	$\alpha=\frac{n^{0,3333} * d_{min} - d_{%50}}{n^{0,3333} - 1}$	$\beta=\frac{\alpha * \Gamma_1}{\Gamma_2} + \sqrt{\left(\frac{\alpha}{\Gamma_2}\right) * (\Gamma_1^2 - \Gamma_1) + \left(\frac{d_g^2}{\Gamma_2}\right)}$	$\gamma=\frac{2,343088}{\ln(d_{%95}-\alpha)-\ln(d_{%25}-\alpha)}$

## 2.3. Yüzdeler esas alan yöntem

Yüzdeler esas alan yöntemler ile  $\beta$  ve  $\gamma$  parametrelerini tahmin etmek için çap dağılımının belirli yüzdelerine karşılık gelen çap değerlerini esas alan eşitliklere dayanmaktadır. Bu çalışmada, yüzdeler esas alan yöntemler olarak; I. yöntemde %31-%63, II. yöntemde %31-%50-%63, III. yöntemde %50-%95; IV. yöntemde %25-%50-%95 ve V. yöntemde ise minimum çap ( $d_{min}$ ) ile göğüs yüzeyi orta ağacının çapının ( $d_g$ ) yanı sıra %25-%50-%95'lik değerlerine karşılık gelen çap değerleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan 5 farklı yüzdeler yöntemine ilişkin eşitlikler Çizelge 1'de verilmiştir.

tahmin edilirken, olasılık yoğunluk fonksiyonlarından kullanımı en yaygın olanların arasında bulunan ve esnekliğiyle ön plana çıkmış olan 3 parametrelili Weibull-3P fonksiyonu kullanılmıştır. Bu fonksiyonun matematiksel olarak gösterimi Formül 1'de verilmiştir.

$$f(x, \alpha, \beta, \gamma) = \frac{\gamma}{\beta} * \left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^{\gamma-1} * \exp\left(-\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^{\gamma}\right) \quad (1)$$

Bu denklemde;  $x$ : çap değerini,  $\alpha$ : konum parametresini (dağılım başlangıç noktasını),  $\beta$ : ölçek parametresini (dağılım basıklığını) ve  $\gamma$ : şekil parametresini (dağılım çarpıklığını) temsil etmektedir.

Bu aşamada, Weibull-3P fonksiyonuna ilişkin  $\beta$  ve  $\gamma$  parametreleri tahmin edilirken çap dağılımında farklı yüzdeleri kullanan eşitlikleri esas alan beş farklı yöntem kullanılmıştır (Çizelge 1). Bu yöntemlerde  $\alpha$  parametresi, örnek alanlardaki minimum çapın yarısı olarak hesaplanmıştır (Frazier, 1981).

## 2.4. Farklı Yapay Sinir Ağı model yapılarıyla modelleme

YSA modelleri, giriş katmanı (input layer), gizli katman (hidden layer) ve çıktı katmanı (output layer) olmak üzere üç katmandan oluşan bir yapı içermektedir. Ayrıca oluşturulan bu YSA modellerinde farklı transfer fonksiyonları, farklı sayıda ara katman ve farklı sayıda nöron kullanılabilir. Ayrıca oluşturulan bu YSA modellerinde farklı transfer fonksiyonları, farklı sayıda ara katman ve farklı sayıda nöron kullanılabilir.

Yapılan bu çalışmanın YSA modellemesi aşamasında, farklı aktivasyon fonksiyonları (hyperbolic tanjant (tanH), Rectifier ve Maxout), farklı ara katman sayıları (1, 2 ve 3) ve farklı nöron sayıları (10, 50 ve 100) denenmiş ve bu modellemenin yapılması için de R dilinde kodlanmış olan H<sub>2</sub>O paketi kullanılmıştır (H<sub>2</sub>O.ai Team, 2018).

Bu aşamada en başarılı olarak bulunan IV. yöntemle elde edilen çap dağılımlarının tahmin değerleri, bağımlı değişken olarak alınıp %25-%50-%95 yüzdeler değerleriyle hesaplanan parametreler ise Weibull-3P dağılımının katsayıları olarak

alınmış ve farklı YSA modelleri ile yeniden tekrar çap dağılımı modellenmesi yapılmıştır.

## 2.5. Test edilen parametre tahmin yöntemlerinin karşılaştırılması

Parametre tahmin yöntemlerinden çalışmaya konu meşcerelerin çap dağılımların modellemeye en başarılı olanını belirlemek için Çizelge 2’de belirtilen sekiz farklı başarı ölçütü dikkate alınmış ve hesaplanan bu değerler için, Poudel ve Cao (2013) tarafından geliştirilen göreceli (rölatif) sıralama puanları kullanılmıştır. Bahsedilen bu sıralama aşağıda belirtilen Formül 2’ye göre yapılmıştır:

$$R_i = 1 + \frac{(k-1) \cdot (S_i - S_{min})}{S_{maks.} - S_{min.}} \quad (2)$$

Burada,  $R_i$ : i. denklemin rölatif sıralama değeri, ( $i= 1, 2, 3, \dots k$ ),  $k$ : sıralama için kullanılan denklem sayısı,  $S_i$ : i. denkleme üretilen uyum istatistiği,  $S_{min.}$ :  $S_i$ 'nin minimum değeri,  $S_{maks.}$ :  $S_i$ 'nin maksimum değerini ifade etmektedir.

Bu sıralama (puanlama) yapılırken, en başarılı olan ve en başarısız olan denklemler sırasıyla 1’den  $k$ ’ya kadar puanlanmaktadır (Alkan ve Özçelik, 2020; Ercanlı, 2020a, b). Bu sıralama sonucunda, toplamda en düşük sıralama puanına sahip olan yüzdelik yöntem, Mengen OİŞ’deki karaçam meşcerelerinin çap dağılımlarını en başarılı olarak tahmin eden denklem olarak belirlenmiştir.

## Çizelge 2. Weibull-3P dağılımında kullanılan yüzdeliklerin karşılaştırılmaları için kullanılan başarı ölçütleri

OMH (ortalama mutlak hata)	$OMH = \frac{\sum_{i=1}^n  N_i - \hat{N}_i }{n}$
HKOK (hata kareler ortalamasının karekökü)	$HKOK = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (N_i - \hat{N}_i)^2}{n - p}}$
HKOK%	$HKOK\% = \left( \left[ \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (N_i - \hat{N}_i)^2}{(n - p)}} \right] / \bar{N}_i \right) \cdot 100$
Bias (yanlılık)	$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{N}_i - N_i)}{n}$
Bias%	$Bias\% = \left( \left( \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{N}_i - N_i)}{n} \right) / \bar{N}_i \right) \cdot 100$
$R^2_{düz.}$ (düzeltilmiş belirtme katsayısı)	$R^2_{düz.} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (N_i - \hat{N}_i)^2 (n - 1)}{\sum_{i=1}^n (N_i - \bar{N}_i)^2 (n - p)}$
AIC (Akaike bilgi ölçütü)	$AIC = -2 \log(L) + 2p$
BIC (Bayesian bilgi ölçütü)	$BIC = -2 \log(L) + p \cdot \log(n)$

Bu denklemlerde  $\bar{N}_i$ : ölçülen ağaç sayısını,  $N_i$ : tahmin edilen ağaç sayısını, ifade etmektedir.

## 3. Bulgular

Çalışma alanında alınan saf karaçam meşcerelerinin oluşturduğu örnek alanlardaki özet bilgilerin meşcerelere göre dağılışı Çizelge 3’te verilmiştir. Ayrıca, Weibull-3P olasılık yoğunluk fonksiyonu ile beş farklı yüzdelik yöntem kullanılarak yapılan analizler sonrasında, her bir yöntemin başarılı sonuç verdiği örnek alan sayıları ve başarı ölçütlerine ilişkin elde edilen bulgular Çizelge 4’te verilmiştir.

Bu aşamada en başarılı olarak belirlenen IV. yöntemle elde edilen çap dağılımlarının tahmin değerleri, bağımlı değişken olarak; %25-%50-%95 yüzdelik değerlerine göre hesaplanan

parametreler ise Weibull-3P dağılımının katsayıları olarak alınmış ve farklı aktivasyon fonksiyonları, ara katman sayıları ve nöron sayılarına dayanan çeşitli YSA modelleri kullanılarak tekrar çap dağılımı modellenmesi yapılmıştır.

Burada amaç; YSA’nın başarılı olan bir çap dağılımı modelindeki hata oranlarının azalıp azalmadığı test edilmiş; hem de farklı aktivasyon fonksiyonlarının, katman sayılarının ve nöron sayılarının, modelin hata değerleri ve başarısı üzerindeki etkisi ortaya konulmaya çalışılmıştır.

**Çizelge 3.** Meşcere tiplerinin göğüs çaplarına ( $d_{1,30}$ ) ait tanımlayıcı istatistiksel bilgiler

Meşcere tipi	N (adet)	Minimum (cm)	Maksimum (cm)	$\bar{d}$ (cm)	S (cm)	Varyans (cm)	Çarpıklık (ÇK)	Basıklık (BK)	%Cv
Çkab3	5	8,0	17,0	11,2	2,7	7,2	0,4	-1,1	24,0
Çkb3	5	8,0	30,0	14,3	4,4	19,1	0,8	0,5	30,4
Çkbc3	11	8,0	34,0	16,7	5,6	31,7	0,6	-0,1	33,7
Çkc2	4	8,0	42,0	23,1	8,0	64,5	-0,2	-0,9	34,8
Çkc3	25	8,0	51,0	22,2	7,9	62,2	0,1	-0,4	35,5
Çkcd1	4	8,0	45,0	22,2	11,9	142,3	0,4	-1,2	53,7
Çkcd2	9	8,0	112,0	24,9	13,9	194,4	1,8	8,2	56,1
Çkcd3	32	8,0	80,0	26,2	11,9	142,0	0,4	-0,1	45,6
Çkd2	6	8,0	64,0	35,9	13,0	169,3	-0,3	-0,4	36,3
Çkd3	7	8,0	70,0	40,9	14,4	207,1	-0,6	0,0	35,2

N: Her bir meşcere tipinin toplam örnek alan sayısı,  $\bar{d}$ : Meşcere tipi düzeyinde aritmetik ortalama göğüs çapı ( $d_{1,3}$ ) değeri, S: Standart sapma, %Cv= Varyasyon/değişim katsayısı. ÇK<0 (sola çarpık dağılım), ÇK>0 (sağa çarpık dağılım), ÇK=0 normal dağılım. BK<3 (yayvan tepeli dağılım), BK>3 (sivri tepeli dağılım), BK=0 (normal tepeli dağılım)

**Çizelge 4.** Parametrelerin tahminlerinde kullanılan yöntemlerin başarı ölçütleri ve genel sıralamaları

Yöntem	ÖA sayısı	OMH	HKOK	HKOK%	Bias	Bias%	R <sup>2</sup> <sub>düz.</sub>	AIC	BIC	Genel Sıra
I	85	205,78	142,74	180,68	27,31	34,58	0,476	526,91	636,26	3,1
II	107	213,20	107,64	136,25	31,33	39,66	0,702	497,27	606,62	2,4
III	107	218,80	112,97	143,00	10,95	13,86	0,672	502,35	611,70	1,9
<b>IV</b>	<b>107</b>	<b>202,91</b>	<b>102,95</b>	<b>130,32</b>	<b>20,74</b>	<b>26,26</b>	<b>0,727</b>	<b>492,60</b>	<b>601,95</b>	<b>1,7</b>
V	104	228,41	120,73	152,82	12,59	15,93	0,629	504,53	612,79	2,2

Not: En başarılı olan parametre tahmin yöntemi, tabloda **koyu** olarak belirtilmiştir.

İlk aşamada Mengen OİŞ'deki saf karaçam meşcerelerini modelleme başarısı en yüksek olarak tespit edilen %25-%50-%95'lik yüzdeler yönteminin, üç farklı aktivasyon fonksiyonu, üç farklı ara katman ve üç farklı nöron sayısı test edilerek yapılan 27 farklı YSA analizinde elde edilen bulgular aşağıdaki gibidir (Çizelge 5).

Çalışma kapsamında uygulanan yüzdeler yöntemlerinin başarıları, Kolmogorov-Smirnow (K-S) testi ile analiz edilmiştir. Buna göre; saf karaçam meşcerelerinden alınmış olan 108 adet örnek alanın I. yöntem 85'inde (%78,7'sinde); II., III. ve IV. yöntemler 107 tanesinde (%99,1'inde) ve V. yöntem ise 104 tanesinde (%96,3'ünde) başarılı olmuşlardır.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Günümüz araştırmalarında olduğu gibi ormancılık alanında da birçok konuda YSA tekniklerinin yaygın olarak kullanılmaya başlandığı bilinmektedir. Buradan hareketle, çalışma kapsamında farklı model yapılarına sahip olan YSA tekniklerinin, saf karaçam meşcerelerini modelleme başarıları da kıyaslanabilmektedir.

Yapılan bu çalışmada da hem YSA'nın başarılı olan bir çap dağılımı modelindeki hata oranlarını azaltıp azaltmadığı test edilmiş hem de farklı aktivasyon fonksiyonlarının, katman sayılarının ve nöron sayılarının model hata değerleri ve başarısı üzerindeki etkisi ortaya konulmaya çalışılmıştır. YSA

analizlerinde nöron sayısı sabit (100 nöron) tutulmak şartıyla üç farklı aktivasyon fonksiyonu (tanH, Rectifier, Maxout) ve üç farklı ara katman test edilmiştir.

Buna göre Çizelge 5 detaylı incelendiğinde en belirgin başarı artışının, ara katman sayısının artırılmasıyla gerçekleştiği görülebilmektedir (1 katmana sahip YSA modellerinin karaçam meşcerelerindeki çap dağılımı değişkenliğini açıklama oranı en yüksek %74,6 iken, 2 katmanda en yüksek %83,2 ve 3 katmanda ise %84,3-84,5'lere kadar artmıştır).

Yine her bir aktivasyon fonksiyonunda ara katman sayısı arttıkça hata oranlarında azalma ve buna bağlı olarak başarı oranında bir artış görülmektedir. Aktivasyon fonksiyonları arasında ise yine farklı YSA modellerinin, karaçam çap dağılımını açıklamadaki başarıları arasında TanH ve Rectifier aktivasyon fonksiyonlarının kullanıldığı YSA modellerinin birbirlerine yakın başarılar gösterdiği ve bu fonksiyonların Maxout aktivasyon fonksiyondan yaklaşık %4-5 oranında daha fazla başarı gösterdiği görülmektedir (Çizelge 5).

Diğer taraftan, TanH ve Rectifier aktivasyon fonksiyonlarında benzer şekilde olmak üzere 10 nöron sayısının kullanıldığı YSA modelinden, 100 nöron sayısının kullanıldığı YSA modeline gittikçe modellerin başarılarının genellikle arttığı görülebilmektedir; ancak bu başarı artışı Maxout aktivasyon fonksiyonunda aynı şekilde gözlemlenmemektedir. Bu durumun her aktivasyon fonksiyonunun model yapısının farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

**Çizelge 5.** Farklı yapay sinir ağı modellerinin %25-%50-%95 değerlerle karaçam çap dağılımlarını modellemedeki başarı ölçütleri

Aktivasyon fonksiyonu	Ara katman sayısı	Nöron sayısı	OMH	HKOK	HKOK%	Bias	Bias%	R <sup>2</sup> <sub>düz.</sub>	AIC	BIC	Genel sıra
Hyperbolic tanjant (TanH)	1	10	224,28	116,44	147,76	21,11	26,79	0,651	505,52	614,87	16,5
		50	221,30	115,75	146,52	20,64	26,20	0,656	504,90	614,26	16,3
		100	232,32	119,07	150,72	11,25	14,27	0,636	507,87	617,22	16,2
	2	10	185,60	95,53	120,92	20,38	25,86	0,765	484,74	594,09	11,5
		50	160,59	83,66	105,90	6,10	7,74	0,820	470,81	580,16	6,7
		100	155,69	80,75	102,22	4,99	6,33	0,832	467,09	576,45	5,8
	3	10	176,99	89,90	113,80	4,66	5,92	0,792	478,37	587,72	8,5
		<b>50</b>	<b>145,34</b>	<b>78,10</b>	<b>98,86</b>	<b>0,12</b>	<b>0,15</b>	<b>0,843</b>	<b>463,59</b>	<b>572,95</b>	<b>4,4</b>
		100	145,86	79,84	101,06	20,54	26,07	0,836	465,90	575,25	6,9
Rectifier	1	10	249,42	130,57	165,28	21,78	27,63	0,562	517,55	626,90	19,5
		50	215,70	112,38	142,25	9,09	11,54	0,675	501,80	611,15	14,3
		100	201,74	104,96	132,87	6,85	8,70	0,717	494,63	603,98	12,4
	2	10	187,41	96,84	122,59	21,78	27,63	0,759	486,17	595,53	12,0
		50	180,73	91,93	116,37	12,39	15,72	0,783	480,71	590,07	9,8
		100	163,84	84,06	106,40	18,71	23,74	0,818	471,30	580,66	8,3
	3	10	184,26	91,96	116,41	4,76	6,04	0,783	480,74	590,10	9,1
		50	163,78	81,89	103,66	1,31	1,66	0,828	468,56	577,92	5,9
		100	151,92	77,59	98,22	0,64	0,81	0,845	462,90	572,26	4,5
Maxout	1	10	237,63	122,04	154,48	13,50	17,13	0,617	510,46	619,81	17,0
		50	196,22	102,80	130,13	32,75	41,56	0,728	492,45	601,80	14,5
		100	189,02	99,45	125,88	49,73	63,11	0,746	488,96	598,31	15,4
	2	10	187,77	96,70	122,40	24,54	31,14	0,760	486,02	595,37	12,2
		50	162,31	84,98	107,57	29,50	37,44	0,814	472,45	581,80	9,5
		100	177,59	90,87	115,03	59,37	75,34	0,788	479,49	588,85	14,4
	3	10	189,17	96,82	122,56	7,62	9,67	0,759	486,15	595,50	10,5
		50	161,73	83,88	106,18	20,00	25,38	0,819	471,08	580,44	8,3
		100	167,95	86,50	109,49	62,41	79,20	0,808	474,31	583,67	13,5

Not: En başarılı olan yapay sinir ağı modeli, tabloda **koyu** olarak belirtilmiştir.

Çalışma kapsamında ayrıca, %25-%50-%95 yöntemiyle ve hem de TanH fonksiyonu, 3 ara katman ve 50 nöronun kullanıldığı YSA yöntemiyle modellenmiş olan karaçam alanlarından farklı kapalılıklara (1, 2 ve 3) sahip olan bazı örnek alanlardaki tahmin edilen ağaç sayılarının çap sınıflarına göre dağılımı da kıyaslanmıştır (Şekil 2). İlgili şekil incelendiğinde de YSA yöntemiyle yapılan modelleme sonrasında, örnek alanlardaki çap sınıflarında tahmin edilen ağaç sayılarının daha yakın oranda tahmin edilebildiği görülmekte ve bu sonuç daha önce başarı ölçütleriyle hesaplanarak elde edilmiş olan sonucu da (Çizelge 5) desteklemektedir.

Çalışma kapsamında yapılan YSA analizleri sonucunda elde edilen değerlerinin, yine Poudel ve Cao (2013)'e göre kıyaslaması yapıldığında; hata oranının en düşük ve açıklama oranının en yüksek olduğu YSA modelinin, TanH Aktivasyon fonksiyonuyla, 3 ara katmanın ve 50 nöronun kullanıldığı YSA modeli olduğu görülmektedir.

Ayrıca Çizelge 4 ve 5 detaylı incelendiğinde YSA modellerinin kullanılmasyla birlikte model hatalarının daha azaltıldığı (ortalama mutlak hatanın 202,91'den 145,34'e (-

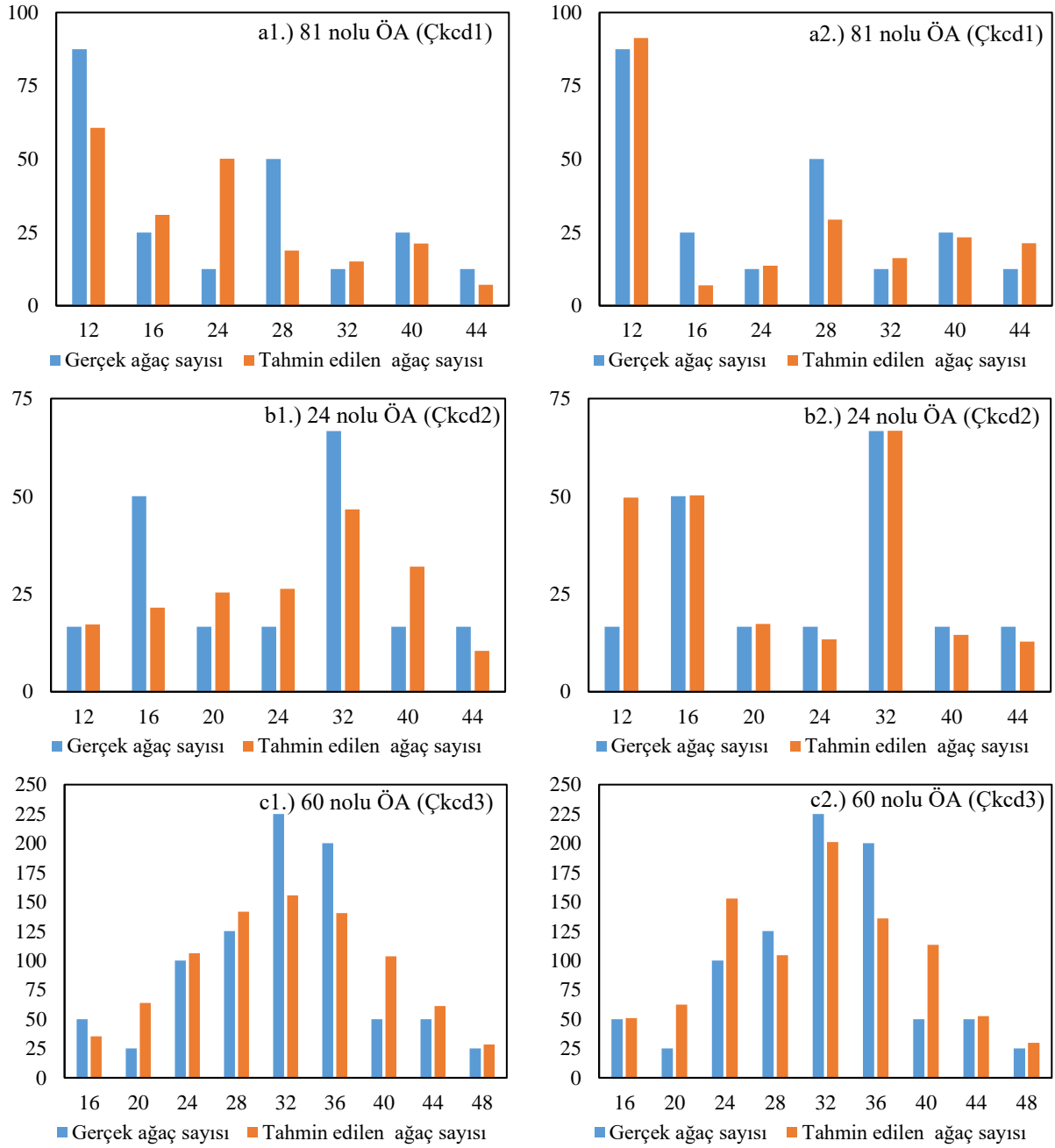
%28,4), hkok'nin 102,95'ten 78,1'e (-%24,), biasın 20,74'den 0,12'ye (-%99,4), AIC'nin 492,6'dan 463,59'a (-%0,06) ve BIC'nin 601,95'ten 572,95'e (-%0,05)) ve R<sup>2</sup><sub>düz.</sub>'in de 0,727'den 0,843'e (+%16) yükseldiği görülmektedir.

Yine Ercanlı ve ark. (2018), Doğu Ladini-Sarıçam Karışık meşcerelerindeki çap dağılımı modellemesi araştırmalarında Weibull-3P dağılımına göre yapay zekâ uygulaması olan derin öğrenme algoritmaları ile hata kareler toplamında (HKT) %79,01 azalma, HKOK'de %54,15 azalma, AIC'de %18,49 azalma ve Schwarz'ın Bayesian Bilgi Ölçütü (SBC) değerinde %18,37 azalma ve R<sup>2</sup><sub>düz.</sub>'de %30,63 artıma elde etmişlerdir.

Bu çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar da benzerlik göstermekte olup YSA modellemesi ile model hatalarının azaltılıp tahmin başarısının artırıldığı gerçeğini desteklemektedir. Buradan hareketle, önem arz eden araştırmalarda YSA modellemesinin tercih edilmesi ve bu uygulamada da farklı transfer fonksiyonları, farklı ara katmanlar ve farklı nöron sayılarıyla çeşitli model yapılarının denenmesi önerilmektedir. Bu sayede daha etkili modelleme çalışmaları yapılabilecektir. Bu ve önceki çalışmalarda elde edilen başarı

düzei göz önüne alındığında YSA modellemesinin yapılacak olan diğer tek ağaç ve meşcere modellemesiyle ilgili olan diğer

artım ve büyüme modellemesi çalışmalarında da tercih edilmesi düşünülmelidir.



Şekil 2. a1., b1., c1. %25-%50-%95 yöntemiyle; a2., b2., c2. YSA yöntemiyle modellenen bazı örnek alanların çap sınıflarındaki ağaç sayıları

Farklı yörede, farklı müdahalelere maruz kalmış olan veya farklı türlerin oluşturduğu meşcerelerde çap dağılımları değişiklik gösterebileceğinden dolayı, bu çalışma kapsamında en başarılı olarak belirlenen %25-%50-%95'lik yöntemin, farklı çalışmalarda test edilerek kullanılması önerilmektedir. Ayrıca bu çalışmada farklı YSA modellerinin kıyaslanması sonucunda; ara katman ve nöron sayısı arttıkça model hatalarının azalış gösterebildiği ve modellerin güvenilirliğinin artabildiği tespit edilmiştir. Bu sonuca göre, yapay zekâ uygulamalarından olan YSA modellerinin geleneksel istatistik modellerine bir alternatif

olarak kullanılabilceği ve yapılacak araştırmaların taşıdığı önem de dikkate alınarak, YSA modellerinin farklı aktivasyon fonksiyonları, farklı ara katmanlar ve çeşitli nöron sayıları deneyerek kullanılmasının fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

### Teşekkür

Bu çalışma verilerinin elde edilmesi için gerekli yardım ve desteği sağlayan, Orman Genel Müdürlüğü ve Bolu Orman Bölge Müdürlüğü personellerine teşekkürlerimi sunarım.

## Kaynaklar

- Alkan, O., Özçelik, R., 2020. Stem taper equations for diameter and volume predictions of *Abies cilicica* Carr. in the Taurus Mountains, Turkey. *Journal of Mountain Science*, 17(12), 3054–3069.
- Alkan, O., Özçelik, R., Kalkanlı Genç, Ş., 2023. Almus yöresi doğal doğu kayını meşcerelerinin çap dağılımının Weibull dağılımı ile modellenmesi. *Turkish Journal of Forestry*, 24(3), 197-207.
- Bailey RL, Dell TR, 1973. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. *Forest Science*, 19(2), 97-104.
- Baş, B., Özçelik, R., 2022. Antalya yöresi doğal sedir meşcereleri için çap dağılım modelinin Johnson's SB Dağılımı ile geliştirilmesi. *Turkish Journal of Forestry*, 23(1), 21-29.
- Bliss C.I., Reinker K.A., 1964. A lognormal approach to diameter distributions in even-aged stands. *Forest Science*, 10(3), 350-360.
- Bolat F., 2015. Bursa-Kestel Orman İşletme Şefliği içerisindeki meşcereler için çap dağılım modellerinin geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, ÇKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 77 s. Çankırı.
- Borders B.E., Souter R.A., Bailey R.L., Ware K.D. 1987. Percentile based distributions characterize forest tables. *Forest Science*, 33(2), 570-576.
- Bolat F, Ercanlı İ, 2017. Modeling diameter distribution by using Weibull function in forests located Kestel-Bursa. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 17(1), 107-115.
- Cao, Q.V., 2004. Predicting parameters of a Weibull function for modeling diameter distribution. *Forest Science*, 50(5), 682-685.
- Cao Q.V., 2022. Predicting future diameter distributions given current stand attributes. *Canadian Journal of Forest Research*, 52(4), 561-567.
- Carus, S., 1996. Variation of diameter distribution of even-aged Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky.) stands by site and age. *İstanbul University Journal of Forest Faculty A*, 46(2), 171-182.
- Carus, S., Çatal, Y., 2008. Kızılcım (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinde 7-ağaç örnek nokta yöntemiyle meşcere ağaç sayısının çap basamaklarına dağılımının belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi*, A (2), 158-169.
- Çatal, Y., Güneş, S., 2016. Isparta Yöresi kızılçam meşcerelerinde çap dağılımının örnek alan ağaç sayısına göre modellenmesi. *Turkish Journal of Forestry*, 17(2), 166-173.
- Clutter J.L., Bennet F.A. 1965. Diameter distributions in old-field slash pine plantation. Georgia Forest Research Council, Report No: 13, 9p. USA.
- Diamantopoulou MJ, Özçelik R, Crecente-Campo F, Eler Ü, 2015. Estimation of Weibull function parameters for modelling tree diameter distribution using least squares and artificial neural networks methods. *Biosyst Eng* 133, 33-45.
- Doğan, M., 2011. Mengen ve çevresinin ekoturizm potansiyelinin değerlendirilmesi. *Coğrafya Dergisi*, 1(22), 14-26.
- Ercanlı, İ., 2010. Trabzon ve Giresun orman bölge müdürlükleri sınırları içerisinde yer alan Doğu Ladini (*Picea orientalis* (L.) Link)-Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Karışık meşcerelerine ilişkin büyüme modelleri, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Ercanlı İ, Yavuz H, 2010. The probability density functions to diameter distributions for Oriental Spruce and Scots Pine mixed stands. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 10(1), 68-83.
- Ercanlı İ., Bolat F., Kahrıman A. 2013. Comparing parameter recovery methods for diameter distribution models of Oriental spruce (*Picea orientalis* (L.) Link.) and Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) mixed stands located Trabzon and Giresun Forest Regional Directorate. *International Caucasian Forestry Symposium (24-26 October 2013)*, Artvin, Turkey, p.119-126.
- Ercanlı İ, Bolat F, Kahrıman A, 2016. Modelling stand diameter distribution by using 3-Parameters Weibull probability density function Sarıççek-Vezirköprü Forest Enterprise. *Anatolian Journal of Forest Research*, 2(1-2), 13-24.
- Ercanlı, İ., Bolat, F., Yavuz, H., 2018. Ormanların Çap Dağılımlarının Modellenmesinde Derin Öğrenme Algoritmalarının Kullanımı: Trabzon ve Giresun Ormanları Doğu Ladini-Sarıçam Karışık Meşcereleri Örneği, *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, Cilt 4, Sayı 2, 122-132.
- Ercanlı, İ., Kaya, O., 2019. Yapay Sınır Ağ Modelleri ile Ağaçların Hacim Tahminlerinde Transfer Fonksiyonunun ve Nöron Sayısının Etkisi: Başçatak (Akdağmadeni) Yöresi Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Örneği. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 5(1), 28-37.
- Ercanlı, İ., 2020a. Innovative deep learning artificial intelligence applications for predicting relationships between individual tree height and diameter at breast height. *Forest Ecosystems*, 7, 12.
- Ercanlı, İ., 2020b. Artificial intelligence with deep learning algorithms to model relationships between total tree height and diameter at breast height. *Forest Systems*, 29 (2), e013.
- Frazier J.R. 1981. Compatible whole-stand and diameter distribution models for Loblolly pine plantations. PhD thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, 125 p., Blacksburg.
- Gadow K von, Hui G, 1999. Modelling forest development (Vol. 57). Springer Science & Business Media, The Netherlands, 213 pp.
- Gorgoso-Varela J.J., 2015. Comparison of estimation methods for fitting Weibull distribution to the natural stand of Oluwa forest reserve, Onda State, Nigeria. *Journal of Research in Forestry, Wildlife and Environment*, 7(2), 81-90.
- Hyink, D.M., Moser, J.W., 1983. A generalized framework for projecting forest yield and stand structure using diameter distributions. *Forest Science*, 29(1), 85-95.
- H2O.ai (2018). H2O R Package Documentation. <https://docs.h2o.ai/>. (Erişim 18.10.23).
- Johnson N.L. 1949. System of frequency curves generated by methods of translation. *Biometrika*, 36(1/2), 149-176.
- Kahrıman A, Yavuz H, 2011. Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.)-Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) Karışık Meşcerelerinde Çap Dağılımlarının Olasılık Yoğunluk Fonksiyonları ile Belirlenmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 12(2), 109-125.



- Knowe S.A., Ahrens G.R., DeBell, D.S., 1997. Comparison of diameter-distribution prediction, stand-table projection and individual-tree growth modeling approaches for young red alder plantations. *Forest Ecology and Management*, 98, 49-60.
- Liu C., Zhang S.Y., Lei Y., Newton P.F., Zhang L. 2004. Evaluation of tree methods for predicting diameter distributions of black spruce (*Picea mariana*) plantations in central Canada. *Canadian Journal of Forest Research*, 34(12), 2424-2432.
- Liu A, Li F, Zhang L, Jin X, 2014. Modeling diameter distributions of mixed species forest stands. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 29(7), 653-663.
- Maltamo M., Kangas A., Uuttera J., Torniainen T., Saramäki J., 2000. Comparison of percentile based prediction methods and Weibull distribution in describing diameter distribution of heterogenous Scots pine stands. *Forest Ecology and Management* 133, 263–274.
- Mısır N., 2003. Karaçam ağaçlarına ilişkin büyüme modelleri. Doktora tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 209s. Trabzon.
- Nelson T.C., 1964. Diameter distribution and growth of Loblolly pine. *Forest Science*, 10(1), 105-114.
- OGM 2010. Orman envanter verileri.
- Özçelik R, Fonseca T.F., Parresol, B.R., Eler, Ü., 2016. Modeling the diameter distributions of Brutian pine stands Using Johnson's  $S_B$  distribution. *Forest Sci* 62(6), 587-593.
- Özdemir, G.A., 2016. Modeling the diameter distribution of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) stands. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 66(2), 548-558.
- Podlaski, R., Zasada, M., 2008. Comparison of selected statistical distributions for modelling the diameter distributions in near-natural *Abies-Fagus* forests in the Swietokrzyski National Park (Poland). *European Journal of Forest Research*, 127(6), 455–463.
- Poudel, K.P., Cao, Q.V., 2013. Evaluation of methods to predict Weibull parameters for characterizing diameter distributions. *Forest Science*, 59(2), 243-252.
- Rennolls, K., Geary, D.N., Rollinson, T.J.D., 1985. Characterizing diameter distributions by the use of the Weibull distribution. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 58(1), 57-66.
- Sakıcı, O.E., 2021. A comparison of diameter models for uneven-aged Kazdağı fir stands in Kastamonu region of Turkey. *Globcer'21*, Online conference, June 2-5. pp. 578-590.
- Sakıcı, O.E., Gülsunar, M., 2012. Diameter distribution of Bornmullerian fir in mixed stands. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, Special issue, 263-270.
- Sakıcı, O.E., Dal, E., 2021. Modelling diameter distributions and determination of their relationships with some stands characteristics for Scots Pine Stands in Kastamonu Region. *Journal of Bartın Faculty of Forestry*, 23(3), 1026-1041.
- Seki, M., 2022. Determination of relationships between stand variables and parameters of Weibull function for *Fagus orientalis* Lipsky Stands. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 22(1), 68-77.
- Siipilehto, J., Sarkkola, S., Mehtätalo, L., 2007. Comparing regression estimation techniques when predicting diameter distribution of Scots pine on drained peatlands. *Silva Fennica*, 41(2), 333-349.
- Siipilehto, J., Mehtätalo, L., 2013. Parameter recovery vs. parameter prediction for the Weibull distribution validated for Scots pine stands in Finland. *Silva Fennica*, 47(4), 1-22.
- Sivrikaya, F., Karakaş, R., 2020. Modeling diameter distributions in Önsen natural Stone pine (*Pinus pinea* L.) stands. *Turkish Journal of Forestry*, 21(4), 364-372.
- Sönmez, T., Günlü, A., Karahalil, U., Ercanlı, İ., Şahin, A., 2010. Diameter distribution modelling for pure Oriental spruce. III National Black Sea Forestry Congress, Artvin (Türkiye), May 20-22, pp. 388-398.
- Sönmez, T., Karahalil, U., Günlü, A., Şahin, A., 2015. Evaluation of diameter distribution of even-aged and pure Oriental spruce (*Picea orientalis* (L.) Link.) stands by site index and age classes. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 15(1), 26-36.
- Vanclay, J.K., 1994. Modelling forest growth and yield: Applications to mixed tropical forests. *Cab International*, Wallingford, UK, 312 p. Denmark.
- Waldy, J., Kershaw, J.A., Weiskittel, A., Ducey, M.J., 2022. Diameter distribution model development of tropical hybrid Eucalyptus clonal plantations in Sumatera, Indonesia: A comparison of estimation methods. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 52(1), 1-14.
- Weibull, W., 1951. A statistical distribution function of wide applicability. *Journal of Applied Mechanics*, (18), 293–297.
- Yavuz, H., Gül, A.U., Mısır, N., Özçelik, R., Sakıcı, O.E., 2002. Meşcerelerde çap dağılımlarının düzenlenmesi ve bu dağılımlara ilişkin parametreler ile çeşitli meşcere öğeleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi. *Orman Amenajman'ında Yeni Kavramsal Açılımlar ve Yeni Hedefler Sempozyumu*, İstanbul, pp. 203-212.
- Zhang, X., Lei, Y., 2010. A linkage among whole-stand model, individual-tree model and diameter-distribution model. *Journal of Forest Science*, 56(12), 600-608.