

Kastamonu ve Sinop bölgesi karaçam meşcereleri için çap dağılımlarının ekorejyon bazlı incelenmesi

Mehmet Seki^{a,*}, Oytun Emre Sakıcı^b

Öz: Bu çalışma kapsamında, Kastamonu ve Sinop Bölge Müdürlükleri sınırları içerisindeki üç farklı ekorejyonda yayılış yapan doğal ve saf Karaçam (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) meşcerelerine ilişkin çap dağılımları incelenmiş ve modellenmiştir. Çalışma materyali olarak 274 adet örnek alan verisinden faydalanılmış ve her bir örnek alanın çap dağılımlarının modellenmesi amacıyla beş farklı olasılık yoğunluk fonksiyonuna (Johnson SB, Gamma-2p, Gamma-3p, Weibull-2p ve Weibull-3p) ilişkin parametre tahminleri yapılmıştır. Olasılık yoğunluk fonksiyonlarının tahmin başarıları Hata İndeksi (e), Ki-kare (X^2), Anderson-Darling (AD) ve Kolmogorov-Smirnov (KS) yardımıyla belirlenmeye çalışılmış ve bu ölçütlerle göre örnek alanlara ilişkin rölatif başarı sıralamalarının ortalamaları üç farklı ekorejyon için ayrı ayrı incelenmiştir. Sonuç olarak, Johnson SB fonksiyonunun tüm ekorejyonlar için oldukça başarılı sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Çap sınıfı, Johnson SB, Olasılık yoğunluk fonksiyonu, *Pinus nigra*

Ecoregion based investigation of diameter distributions for Crimean pine stands in Kastamonu and Sinop regions

Abstract: In this study, diameter distributions of pure and natural Crimean Pine (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) stands distributed in three different ecoregions within Kastamonu and Sinop Regional Directorates were examined and modeled. Data from 274 sample plots were used as study material. Diameter distributions of Crimean pine stands were modeled and for this purpose, parameter estimates for five different probability density functions (Johnson SB, Gamma-2p, Gamma-3p, Weibull-2p and Weibull-3p) were made for each sample plot. The relative success rankings of the probability density functions for which parameter estimates were made for each sample area were averaged and examined separately for three different ecoregions. Among the probability density functions compared according to the error criteria KS , AD , X^2 and e , the Johnson SB function was found to be quite successful for all ecoregions.

Keywords: Diameter class, Johnson SB, Probability density function, *Pinus nigra*

1. Giriş

Çap sınıfı modelleri, modellenen ünite bakımından tek ağaç ve meşcere modelleri arasında yer almaktadırlar. Bu modellerle genellikle belirli çap kademeleri esas alınarak oluşturulan çap basamaklarındaki ağaç sayıları modellenmekte ve çap basamaklarındaki ağaç sayıları ile ilgili tahminler yapılmaktadır (Vanclay, 1994). Meşcerelere ilişkin ayrıntılı tahminlerin gerektiği durumlarda genel tahmin yeteneğine sahip meşcere modelleri yetersiz kalabilmektedir. Özellikle ormancılık yönetimi ve planlaması bağlamında çap sınıflarına düşen orman hasılatının (hacim ve göğüs yüzeyi gibi) ve dolaylı olarak meşcere içerisindeki ürün çeşitliliğinin bilinmesinin gerektiği durumlarda meşcere modelleri yetersiz kalabilmektedir (Burkhart ve Tomé, 2012).

Çap sınıfı modelleri, genel olarak meşceredeki ağaçların çap değerlerinin frekans dağılımını veren model yapılarıdır. Bu modeller ile çalışmanın amacına ve veri yapısına bağlı olarak genellikle 1, 2 veya 4 cm genişlikteki çap sınıfları içerisine düşen ağaç sayılarının meşceredeki toplam ağaç

sayısına oranı (frekans oranı) modellenmektedir (Vanclay, 1994; Gadow ve Hui, 1999). Söz konusu modeller yardımıyla meşcerede oluşan ağaçların çap basamaklarına dağılımları çeşitli dağılım fonksiyonları yardımıyla tahmin edilmekte ve böylece meşcere dinamiği hakkında daha ayrıntılı bilgiler elde edilebilmektedir (Loetsch vd., 1973; Gorgoso vd., 2007; Ercanlı vd., 2016; Sahin ve Ercanlı, 2023). Ayrıca, meşceredeki ağaçların hacim, göğüs yüzeyi, karbon stoğu, biyokütle vb. bakımından çap basamaklarına dağılımı hakkında da ayrıntılı bilgiler sağlanabilmektedir (Kangas ve Maltomo, 2000; Poudel ve Cao, 2013; Bolat ve Ercanlı, 2017; Seki, 2022).

Ormancılıkta çap dağılımlarının modellenmesinde olasılık yoğunluk fonksiyonlarından yararlanılmaktadır. Bu fonksiyonlar, herhangi bir çap değerine ilişkin birikimli frekans oranını veren istatistiksel fonksiyonlardır (Rennolls vd., 1985). Ormancılıkta çap dağılımını belirlemek amacıyla Beta, Lognormal, Johnson's SB ve Weibull dağılımları sıklıkla tercih edilmektedir (Carus ve Çatal, 2008).

Çap dağılım modelleri ile ilgili olarak gerçekleştirilen ulusal çalışmalar incelendiğinde; kızılçam (Carus ve Çatal,

* Karabük Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Karabük

^b Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Kastamonu

@ * **Corresponding author** (İletişim yazarı): mehmetseki@karabuk.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 27.09.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 10.10.2024



Citation (Atıf): Seki, M., Sakıcı, O.E., 2024. Kastamonu ve Sinop bölgesi karaçam meşcereleri için çap dağılımlarının ekorejyon bazlı incelenmesi. Turkish Journal of Forestry, 25(4): 408-422.
DOI: [10.18182/tjf.1556922](https://doi.org/10.18182/tjf.1556922)

2008; Doğdaş, 2014; Çatal ve Güneş, 2016; Özçelik vd., 2016; Seki, 2021), karaçam (Carus ve Çatal, 2011; Sakıcı vd., 2016; Şahin, 2023), sarıçam (Sakıcı ve Dal, 2021), Doğu kayını (Carus, 1996), Doğu ladini (Sönmez vd., 2010; Sönmez vd., 2015) ve dişbudak (Yavuz vd., 2002) türlerinin saf meşcereleri ile Doğu ladini-sarıçam (Ercanlı ve Yavuz, 2010; Ercanlı vd., 2013), sarıçam-Doğu kayını (Kahriman ve Yavuz, 2011) ve göknar-sarıçam karışık meşcereleri (Sakıcı ve Gülsunar, 2012) için çap dağılımları modellenmiştir.

Atalay (2014), ekolojik sınıflandırmalarla ormancılık faaliyetlerinin rasyonel ölçülerde planlanabileceğini ve bu sayede yönetim başarısının artırılabilceğini ifade etmiştir. Bununla birlikte, ekolojik sınıflandırmalar ile meydana getirilen ekorejyonlara ilişkin hasılat çalışmaları da büyük öneme sahiptir (Huang, 1999; Seki ve Sakıcı, 2022a). Herhangi bir ağaç türünün farklı ekolojik bölgelerdeki yayılışlarına ilişkin artım, büyüme ve meşcere dinamiklerine ilişkin tahminlerin bu farklılığı yansıtabilecek özellikte olması gerekmektedir (Özçelik vd., 2014; Seki ve Sakıcı, 2022b) ve ekolojik farklılıkları dikkate alan modeller daha başarılı tahmin yeteneklerine sahiptirler (Xu, 2004). Örneğin, *Lithocarpus densiflorus* için düzenlenen bir hacim tablosunun coğrafik sınırları dikkate almaksızın farklı bir bölgede kullanılması sonucunda %40'lara varan tahmin hatalarının ortaya çıkabileceği ifade edilmektedir (Pillsbury vd., 1995). Huang vd. (2000) ise çap-boy modellerinin geliştirildiği ekolojik bölge dışında farklı bölgelerde kullanılmasının %21'lere varan düşük tahmin (underestimation) ve %29'lara varan fazla tahminlere (overestimation) sebep olabileceğini belirtmiştir.

Karaçam yaklaşık 4.1 milyon ha yayılış alanı ile ülkemizin önemli asli orman ağacı türlerimizden birisi olmasının yanında Kastamonu ve Sinop Orman Bölge Müdürlükleri içerisinde de en geniş yayılış alanına sahip ağaç türüdür (OGM, 2022). Gerek ülkemiz genelinde ve gerekse Kastamonu ve Sinop yörelerinde oldukça geniş yayılışa sahip karaçam farklı ekolojik koşullar altında yetişmektedir. Bu sebeplerle, karaçam meşcerelerine ilişkin geliştirilecek olan çap dağılım modellerinin bu ekolojik farklılıkları yansıtabilecek özellikte olması büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, karaçam türünün Kastamonu ve Sinop Orman Bölge Müdürlükleri sınırları içerisinde yayılış yapan doğal, saf ve eşit yaşlı meşcerelerine ilişkin çap dağılımları farklı ekorejyonlar için ayrı ayrı incelenmiş ve modellenmiştir.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan veriler, Kastamonu ve Sinop Orman Bölge Müdürlükleri sınırları içerisindeki saf ve eşityaşlı karaçam (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) meşcerelerinden alınan örnek alanlardan elde edilmiştir. Çalışma kapsamında ekolojik farklılıkların ortaya konulabilmesi için ekorejyonlar dikkate alınmış ve karaçam meşcerelerinin çap dağılımları farklı ekorejyonlar için ayrı ayrı incelenmiştir. Bu amaçla, Atalay (2014) tarafından geliştirilen ekolojik sınıflandırma ve ekorejyonlar dikkate alınmıştır. Kastamonu ve Sinop Bölgeleri Atalay (2014)'e göre tümüyle "Karadeniz İklim Bölgesi" sınırları içerisindeki Karadeniz İklim Bölgesi beş farklı alt ekolojik bölüm (ekorejyon) içermektedir (Şekil 1):

- Nemli-Ilıman Geniş Yapraklı Orman Bölümü (Ekorejyon 1),
- Karadeniz Kıyı Dağları Nemli-Soğuk İğne Yapraklı Orman Bölümü (Ekorejyon 2),
- Karadeniz Ardı Plato ve Dağlar Soğuk Yarı nemli Orman Bölümü (Ekorejyon 3),
- Karadeniz Ardı Kurakçıl Orman-Çalı Bölümü (Ekorejyon 4),
- Karadeniz Dağ Çayırıları Bölümü (Ekorejyon 5).

Çalışmada ekolojik farklılıkların temel göstergesi olarak ekorejyonlar dikkate alındığından çap dağılım modelleri de ekorejyonlar ölçeğinde geliştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında hangi ekorejyonların çalışmaya dâhil edileceğinin belirlenebilmesi amacıyla her iki bölge müdürlüğü içerisinde yayılış yapan saf ve eşityaşlı karaçam meşcerelerinin ekorejyonlar içerisindeki dağılımları ayrıntılı olarak incelenmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1 incelendiğinde, çalışma alanı içerisindeki karaçam meşcerelerinin alsal olarak sırasıyla Ekorejyon 3 (%88.0), Ekorejyon 1 (%5.3) ve Ekorejyon 4'te (%5.0) önemli oranda yayılış yaptığı görülmektedir. Ekorejyon 2 (%1.4) ve Ekorejyon 5'te (%0.3) yayılış gösteren karaçam meşcereleri ise oldukça azdır. Bu nedenle, çalışmanın Ekorejyon 1, Ekorejyon 3 ve Ekorejyon 4 içerisinde yer alan karaçam meşcereleri kapsamında yürütülmesine ve Ekorejyon 2 ve Ekorejyon 5'in ise çalışmaya dâhil edilmemesine karar verilmiştir.

Çalışma verilerinin elde edilebilmesi amacıyla, Kastamonu ve Sinop Orman Bölge Müdürlükleri'nde yayılış gösteren saf ve eşityaşlı karaçam meşcerelerinden 274 adet örnek alan alınmıştır. Örnek alanların farklı verim gücü, yaş ve sıklıktaki meşcerelere dağılımının sağlanmasına çalışılmış ve aynı zamanda, örnek alanlar çalışmaya konu ekorejyonlara (Ekorejyon 1, 3 ve 4) ve Orman İşletme Müdürlüklerine (OİM) ağırlıklı olarak dağıtılmasına özen gösterilmiştir. Arazi çalışmaları kapsamında alınan 274 örnek alanın 63'ü Ekorejyon 1'de, 151'i Ekorejyon 3'te ve 60'ı Ekorejyon 4'te yer almaktadır. Kastamonu ve Sinop Orman Bölge Müdürlüklerine bağlı Araç OİM'den 26, Azdavay OİM'den 4, Boyabat OİM'den 20, Daday OİM'den 7, Gerze OİM'den 11, Hanönü OİM'den 16, İhsangazi OİM'den 18, İnebolu OİM'den 13, Karadere OİM'den 33, Kastamonu OİM'den 16, Küre OİM'den 12, Pınarbaşı OİM'den 15, Samatlar OİM'den 4, Sinop OİM'den 8, Taşköprü OİM'den 52 ve Tosya OİM'den 19 adet olmak üzere 274 örnek alanın OİM'lere dağılımı sağlanmıştır (Şekil 2).

Çizelge 1. Saf ve eşityaşlı karaçam meşcerelerinin ekorejyonlara dağılımı

Table 1. Distribution of pure and even-aged Crimean pine stands in ecoregions

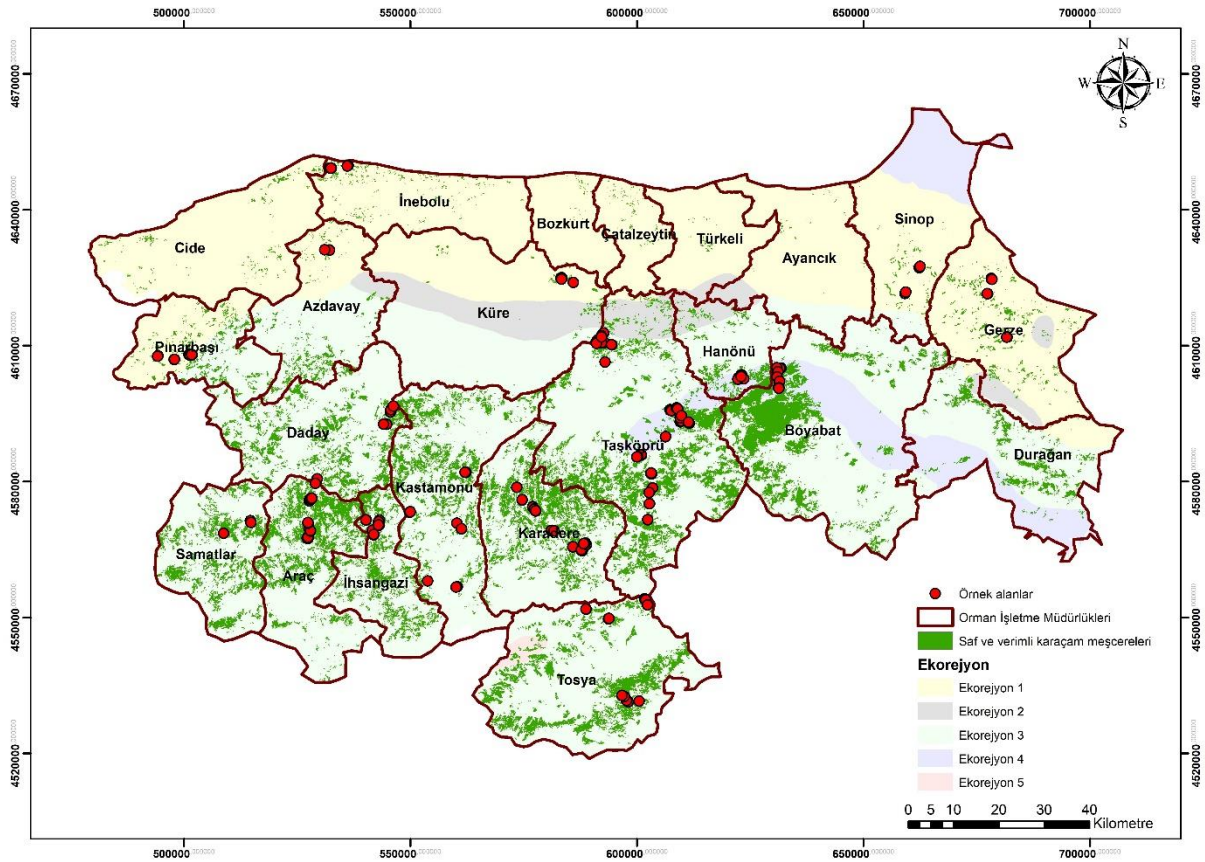
Ekorejyon	Alan (ha)	Oran (%)
Ekorejyon 1	12179	5.3
Ekorejyon 2	3190	1.4
Ekorejyon 3	200620	88.0
Ekorejyon 4	11297	5.0
Ekorejyon 5	675	0.3
Toplam	227961	100



I. Karadeniz İklim Bölgesi/Black Sea Climatic Region

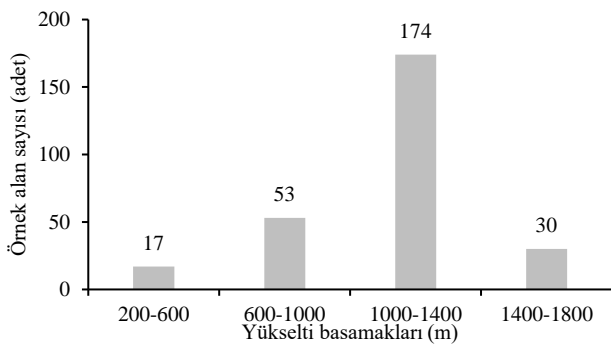
- Nemli-Ilıman Geniş Yapraklı Orman Bölümü
Humid-Mild Broad-Leaved Forest Subregion
- Karadeniz Kıyı Dağları Nemli Soğuk İğne Yapraklı Orman Bölümü
Black Sea Coastal Mountains Humid Cold Coniferous Forest Subregion
- Karadeniz Ardi Plato Ve Dağlar Soğuk Yarınemli İğne Yapraklı Orman Bölümü
Subhumid-Cold Coniferous-Forest Subregion of Backward Black Sea Plateau And Mountains
- Karadeniz Ardi Kurakçıl Orman-Çalı Bölümü
Dry Forest-Shrub Subregion Of Backward Black Sea Region
- Dağ Çayırı Bölümü
Mountain Grass Subregion

Şekil 1. Karadeniz İklim Bölgesi (Atalay, 2014)
Figure 1. Black Sea Climate Region

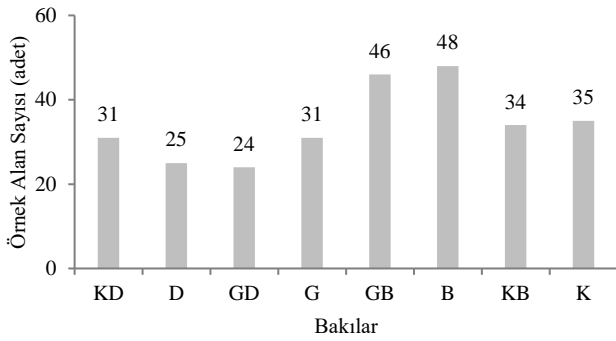


Şekil 2. Örnek alanların çalışma alanına dağılımı
Figure 2. Distribution of sample plots in the study area

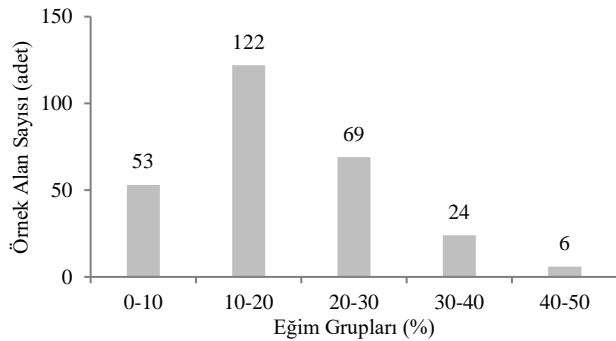
Örnek alanların denizden yükseklikleri incelendiğinde (Şekil 3); 274 örnek alandan 17'si (%6.2) 200-600 m, 53'ü (%19.3) 600-1000 m, 174'ü (%63.5) 1000-1400 m ve 30'u (%11.0) 1400-1800 m yükseklik sınıfında yer almaktadır. Bakı gruplarına göre örnek alanların dağılımları incelendiğinde (Şekil 4); 35'i (%12.8) Kuzey, 31'i (%11.3) Kuzeydoğu, 34'ü (%12.4) Kuzeybatı ve 25'i (%9.1) Doğu olmak üzere 125'i (%45.6) gölgeli bakılardan ve 31'i (%11.3) Güney, 24'ü (%8.8) Güneydoğu, 46'sı (%16.8) Güneybatı ve 48'i (%17.5) Batı olmak üzere 149'u da (%54.4) güneşli bakılardan alınmıştır. Örnek alan eğimleri incelendiğinde (Şekil 5) ise; 53 örnek alan (%19.3) %0-10 eğim grubunda, 122 örnek alan (%44.5) %10-20 eğim grubunda, 69 örnek alan (%25.2) %20-30 eğim grubunda, 24 örnek alan (%8.8) %30-40 eğim grubunda ve 6 örnek alan da (%2.2) %40-50 eğim grubunda yer almıştır.



Şekil 3. Örnek alanların yükselti basamaklarına dağılımı
Figure 3. Distribution of sample plots in altitude classes



Şekil 4. Örnek alanların bakı gruplarına dağılımı
Figure 4. Distribution of sample plots in aspect groups



Şekil 5. Örnek alanların eğim gruplarına dağılımı
Figure 5. Distribution of sample plots in slope groups

Dairesel olarak alınan örnek alanların büyüklükleri meşcere kapalılığına bağlı olarak 400 (3 kapalı meşcereler için), 600 (2 kapalı meşcereler için) ve 800 m² (1 kapalı meşcereler için) olarak belirlenmiştir. Ancak, sıklığı oldukça yüksek genç meşcerelerde örnek alan büyüklükleri 200 m² ve içerisine düşen ağaç sayısının yetersiz olduğu sıklığı oldukça düşük meşcerelerde örnek alan büyüklükleri 1000-1200 m² olarak değiştirilmiştir. Örnek alan büyüklükleri belirlenirken içerilerinde en az 30 ağaç bulunmasına dikkat edilmiştir. Örnek alanlarda çap dağılımlarının belirlenebilmesi amacıyla her bir örnek alanda göğüs çapları ($d_{1.30}$) 8 cm ve daha büyük olan ağaçlar numaralandırılarak bu ağaçların göğüs çapları çap ölçer yardımıyla 0,1 cm hassasiyetle ölçülmüştür.

2.2. Yöntem

Olasılık yoğunluk fonksiyonlarına ilişkin parametre tahminleri "Parametre Tahmin (Parameter Prediction)" ve "Parametre Çözümleme (Parameter Recovery)" olmak üzere iki farklı yöntemle yapılabilmektedir. (Gadow ve Hui, 1999) Olasılık yoğunluk fonksiyonlarını esas alan bir çap dağılım modelinin başarısı da modele ilişkin parametrelerin doğru bir şekilde belirlenmesine bağlıdır (Poudel ve Cao, 2013). Parametre tahmin yöntemleri; i) Maksimum olabilirlik yöntemi, ii) Doğrusal regresyon yöntemi ve iii) Doğrusal olmayan regresyon yöntemi olmak üzere üç grupta, parametre çözümleme yöntemleri ise i) Momentler yöntemi ve ii) Yüzdeler yöntemi olmak üzere iki grupta toplanmaktadır (Burkhardt ve Tomé, 2012; Poudel ve Cao, 2013).

Bu çalışmada, Kastamonu ve Sinop Orman Bölge Müdürlükleri saf karaçam meşcereleri için çap dağılımlarının modellenmesinde kullanılabilecek en uygun dağılım fonksiyonunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, ormancılık literatüründe sıklıkla tercih edilen Johnson SB, Weibull ve Gamma dağılımlarına ilişkin olasılık yoğunluk fonksiyonlarından yararlanılmış olup, Weibull ve Gamma dağılımlarının parametre sayılarına bağlı olarak ikişer farklı formu ile alınarak iki ve üç parametrelilik Gamma (Gamma-2p ve Gamma-3p), iki ve üç parametrelilik Weibull (Weibull-2p ve Weibull-3p) ve Johnson SB olmak üzere 5 farklı olasılık yoğunluk fonksiyonuna ilişkin parametre tahminleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 2). Modellerle ilişkin parametre tahminleri için Easyfit 5.5 Professional yazılımı kullanılmıştır (Mathwave, 2015). Bu yazılım, parametre tahminlerinde "Maksimum Olabilirlik Yöntemi"nden yararlanmaktadır.

Her bir örnek alan için ayrı ayrı parametre tahminleri yapılan olasılık yoğunluk fonksiyonlarının ilgili örnek alan için uygunluk ve başarılarının belirlenmesinde Hata İndeksi (e), Ki-kare (X^2), Anderson-Darling (AD) ve Kolmogorov-Smirnov (KS) olmak üzere dört farklı istatistik ölçütten faydalanılmıştır. Söz konusu ölçütlerden KS , AD ve X^2 istatistikleri parametre tahminleri için kullanılan Easyfit 5.5 Professional yazılımında doğrudan hesaplanırken, e ölçütü Eşitlik 1 (Reynolds vd., 1988) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$e = \sum_{j=1}^k |n_t - n| \quad (1)$$

Bu eşitlikte;
k: İlgili örnek alandaki çap basamağı sayısını,
n: İlgili örnek alanda *j*'inci çap basamağında ölçülen ağaç sayısını (adet),
n_t: İlgili örnek alanda *j*'inci çap basamağı için ilgili olasılık yoğunluk fonksiyonu ile tahmin edilen ağaç sayısını (adet) ifade etmektedir.

Olasılık yoğunluk fonksiyonlarının parametre tahminleri her bir örnek alan için yapılmış ve ardından istatistiksel ölçütlerle Poudel ve Cao (2013) tarafından önerilen rölatif sıralama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde göre olasılık yoğunluk fonksiyonları her bir istatistiksel ölçüte göre en başarılı modelin rölatif sırası 1 ve en başarısız modelin rölatif sırası *m* olacak şekilde en başarılıdan en başarısız doğru 1 ile *m* (fonksiyon sayısı) arasında sıralanmakta ve diğer modeller de 1 ile *m* arasında değişen rölatif değerler olarak sıralamaya dâhil olmaktadır. Rölatif sıralamaya ilişkin eşitlik aşağıda verilmiştir:

$$R_i = 1 + \frac{(m-1)(e_i - e_{min})}{(e_{maks} - e_{min})} \quad (2)$$

Bu eşitlikte;
R_i: *i*. fonksiyona ilişkin rölatif sıra,
e_i: *i*. fonksiyona ilişkin hata indeks değeri,
e_{min}: fonksiyonlar arasındaki en düşük *e_i* değeri,
e_{maks}: fonksiyonlar arasındaki en yüksek *e_i* değeri,
m: karşılaştırılan model sayısını ifade etmektedir.

3. Bulgular ve tartışma

Bu çalışma kapsamında üç farklı ekorejyondaki (Ekorejyon 1, 3 ve 4) farklı verim gücü sıklık ve yaşlardaki karaçam meşcerelerinden alınan 274 adet örnek alana ilişkin çap dağılımları Johnson SB, Gamma-2p, Weibull-2p, Gamma-3p ve Weibull-3p olasılık yoğunluk fonksiyonları kullanılarak modellenmiştir. Geliştirilen modellerin Hata indeksi (*e*), Ki-kare (X^2), Anderson-Darling (AS) ve Kolmogorov-Smirnov (KS) istatistiklerine ilişkin rölatif başarı sıralamaları ayrı ayrı her bir örnek alan için hesaplanmıştır. Her örnek alana ilişkin olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rölatif başarı sıralamaları üç ekorejyon için sırasıyla Çizelge 3, Çizelge 4-5'te verilmiştir. Çizelgelerde, parametreleri tahmin edilemeyen (çözümlemeyen) olasılık yoğunluk fonksiyonları için "ns", parametreleri tahmin edilmiş ama test istatistiği hesaplanamamış fonksiyonlar için "---" ifadeleri kullanılmıştır.

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan olasılık yoğunluk fonksiyonları

Table 2. Probability density functions used in the study

Dağılım	Olasılık yoğunluk fonksiyonu	Açıklama
Gamma-2p (Nelson, 1964)	$f(x) = \frac{x^{\alpha-1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} e^{-\frac{x}{\beta}}$	<i>a, β</i> : Parametreler <i>Γ(a)</i> : Gamma fonksiyonu <i>a</i> > 0, <i>β</i> > 0
Gamma-3p (Lawless, 1982)	$f(x) = \frac{(x - \gamma)^{\alpha-1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} e^{-\frac{(x-\gamma)}{\beta}}$	<i>a, β, γ</i> : Parametreler <i>Γ(a)</i> : Gamma fonksiyonu <i>a</i> > 0, <i>β</i> > 0, <i>γ</i> ≤ <i>x</i> ≤ +∞
Johnson SB (Johnson, 1949)	$f(x) = \frac{\delta}{\lambda \sqrt{2\pi} z(1-z)} e^{\left(-\frac{1}{2}(\gamma + \delta \ln(\frac{z}{1-z}))^2\right)}$	<i>δ, λ, γ, ζ</i> : Parametreler $z = \frac{x - \xi}{\lambda}$ <i>ξ</i> ≤ <i>x</i> ≤ <i>ξ</i> + <i>λ</i> , <i>δ</i> > 0, <i>γ</i> > 0
Weibull-2p (Schreuder ve Swank, 1974)	$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha}$	<i>a, β</i> : Parametreler <i>a</i> > 0, <i>β</i> > 0
Weibull-3p (Bailey ve Dell, 1973)	$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x - \gamma}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^\alpha}$	<i>a, β, γ</i> : Parametreler <i>a</i> > 0, <i>β</i> > 0, <i>γ</i> ≤ <i>x</i> ≤ +∞

göre 42 defa ve AD istatistiğine göre 85 defa ilk sırada yer almıştır. Ayrıca, Johnson SB fonksiyonu e istatistiğine göre 73 defa, X^2 istatistiğine göre 50 defa, KS istatistiğine göre 116 defa ve AD istatistiğine göre 114 defa ilk sırada yer almıştır.

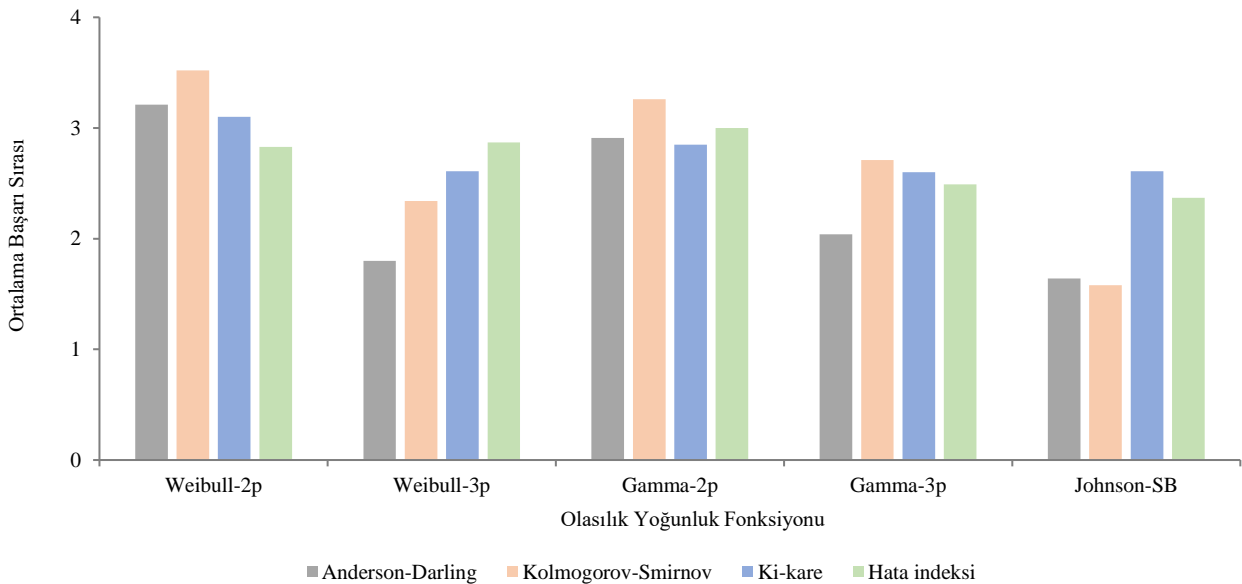
Her bir örnek alan için istatistiksel ölçütler göz önünde bulundurularak ayrı ayrı incelenen olasılık yoğunluk fonksiyonlarına ilişkin rölatif başarı sıralamalarının ortalamaları (\bar{R}_i) alınarak genel durum ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu sonuçlar incelendiğinde; olasılık yoğunluk fonksiyonları en başarılıdan başarısız doğru AD istatistiğine göre Johnson SB ($\bar{R}_i=1.64$), Weibull-3p ($\bar{R}_i=1.80$), Gamma-3p ($\bar{R}_i=2.04$), Gamma-2p ($\bar{R}_i=2.91$) ve Weibull-2p ($\bar{R}_i=3.21$) şeklinde, KS istatistiğine göre Johnson SB ($\bar{R}_i=1.58$), Weibull-3p ($\bar{R}_i=2.34$), Gamma-3p ($\bar{R}_i=2.71$), Gamma-2p ($\bar{R}_i=3.26$) ve Weibull-2p ($\bar{R}_i=3.52$) şeklinde, X^2 istatistiğine göre Gamma-3p ($\bar{R}_i=2.60$), Johnson SB ($\bar{R}_i=2.61$), Weibull-3p ($\bar{R}_i=2.61$), Gamma-2p ($\bar{R}_i=2.85$) ve Weibull-2p ($\bar{R}_i=3.10$) şeklinde ve e istatistiğine göre de Johnson SB ($\bar{R}_i=2.37$), Gamma-3p ($\bar{R}_i=2.49$), Weibull-2p ($\bar{R}_i=2.83$), Weibull-3p ($\bar{R}_i=2.87$) ve Gamma-2p ($\bar{R}_i=3.00$) şeklinde sıralanmaktadır (Şekil 6). Bu sıralamalarda, parametre tahminleri yapılamayan (çözümlemeyen) fonksiyonlara herhangi bir sıralama değeri verilmemiş ve bu fonksiyonlar sıralamaya dâhil edilmemiştir. Ayrıca, bazı örnek alanlar için hesaplanamamış olan X^2 istatistikleri sıralamaya dâhil edilememiş ve ortalama hesabına girmemiştir.

Çalışma kapsamında incelenen 274 örnek alan için en iyi sonuçların elde edildiği olasılık yoğunluk fonksiyonları; AD 'ye göre Johnson SB, KS 'ye göre Johnson SB, X^2 'ye göre Gamma-3p ve e 'ye göre Johnson SB olarak bulunmuştur. Ancak, 31 örnek alanda Johnson SB fonksiyonu için X^2 istatistiğinin hesaplanamamış olması da göz önünde bulundurulması gereken bir husustur. X^2 hariç diğer tüm istatistiksel ölçütlerde en başarılı fonksiyon olarak Johnson SB bulunmuş olup, bu fonksiyon Kastamonu ve Sinop

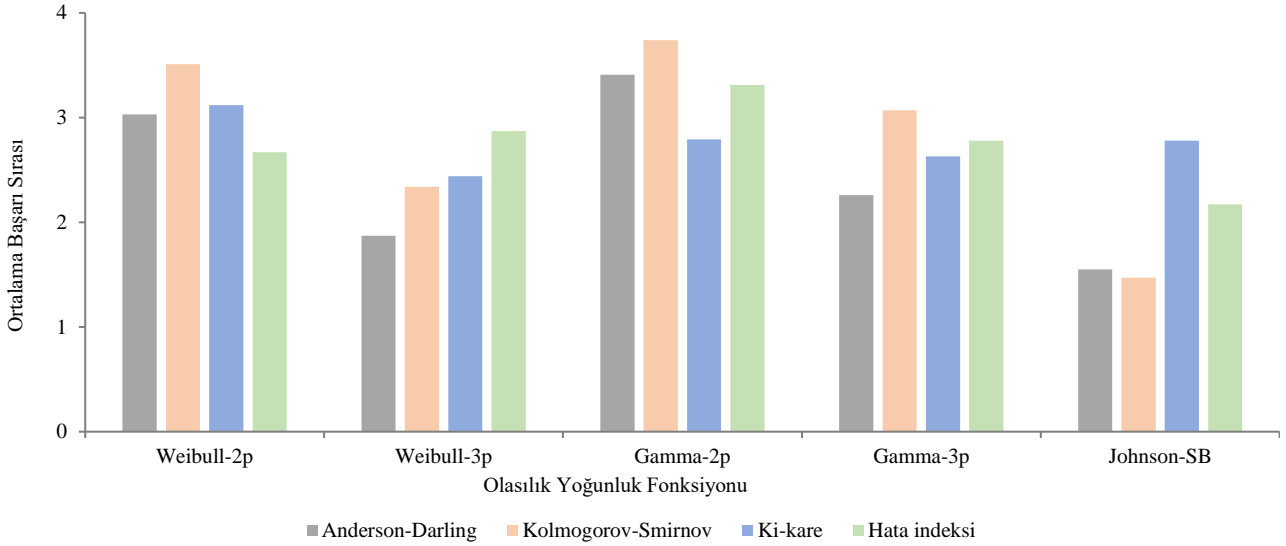
Bölgelerinde yayılış yapan Karaçam meşcereleri için en uygun fonksiyon olarak görülmektedir.

Olasılık yoğunluk fonksiyonlarının başarı sıralamaları Ekorejyon 1 özelinde incelendiğinde; Johnson SB fonksiyonu 63 örnek alanın 7'sinde çözümlenememiştir. Ayrıca, 6 örnek alanda Johnson SB, 1 örnek alanda Gamma-3p ve 1 örnek alanda Weibull-2p fonksiyonları için X^2 istatistikleri hesaplanamamıştır. Ekorejyon 1'den alınan 63 örnek alan içerisinde Weibull-2p fonksiyonu e istatistiğine göre 18 defa, X^2 istatistiğine göre 11 defa, KS istatistiğine göre 3 defa ve AD istatistiğine göre 2 defa ilk sırada yer almıştır. Weibull-3p fonksiyonu e istatistiğine göre 13 defa, X^2 istatistiğine göre 18 defa, KS istatistiğine göre 15 defa ve AD istatistiğine göre 13 defa ilk sırada yer almıştır. Bunun yanında, Gamma-2p fonksiyonu e istatistiğine göre 9 defa, X^2 istatistiğine göre 10 defa ve KS istatistiğine göre 4 defa ilk sırada yer almıştır. Gamma-3p fonksiyonu ise e istatistiğine göre 8 defa, X^2 istatistiğine göre 12 defa, KS istatistiğine göre 8 defa ve AD istatistiğine göre 16 defa ilk sırada yer almıştır. Son olarak, Johnson SB fonksiyonu da e istatistiğine göre 15 defa, X^2 istatistiğine göre 12 defa, KS istatistiğine göre 33 defa ve AD istatistiğine göre 32 defa ilk sırada yer almıştır.

Olasılık yoğunluk fonksiyonları, Ekorejyon 1 içerisindeki örnek alanlar için başarılıdan başarısız doğru AD istatistiğine Johnson SB ($\bar{R}_i=1.55$), Weibull-3p ($\bar{R}_i=1.87$), Gamma-3p ($\bar{R}_i=2.26$), Weibull-2p ($\bar{R}_i=3.03$) ve Gamma-2p ($\bar{R}_i=3.41$) şeklinde, KS istatistiğine göre Johnson SB ($\bar{R}_i=1.47$), Weibull-3p ($\bar{R}_i=2.34$), Gamma-3p ($\bar{R}_i=3.07$), Weibull-2p ($\bar{R}_i=3.51$) ve Gamma-2p ($\bar{R}_i=3.74$) şeklinde, X^2 istatistiğine göre Weibull-3p ($\bar{R}_i=2.44$), Gamma-3p ($\bar{R}_i=2.63$), Johnson SB ($\bar{R}_i=2.78$), Gamma-2p ($\bar{R}_i=2.79$) ve Weibull-2p ($\bar{R}_i=3.12$) şeklinde ve e istatistiğine göre de Johnson SB ($\bar{R}_i=2.17$), Weibull-2p ($\bar{R}_i=2.67$), Gamma-3p ($\bar{R}_i=2.78$), Weibull-3p ($\bar{R}_i=2.87$) ve Gamma-2p ($\bar{R}_i=3.31$) şeklinde sıralanmaktadır (Şekil 7).



Şekil 6. Olasılık yoğunluk fonksiyonlarına ilişkin genel ortalama başarı puanları
Figure 6. Overall average success scores for probability density functions

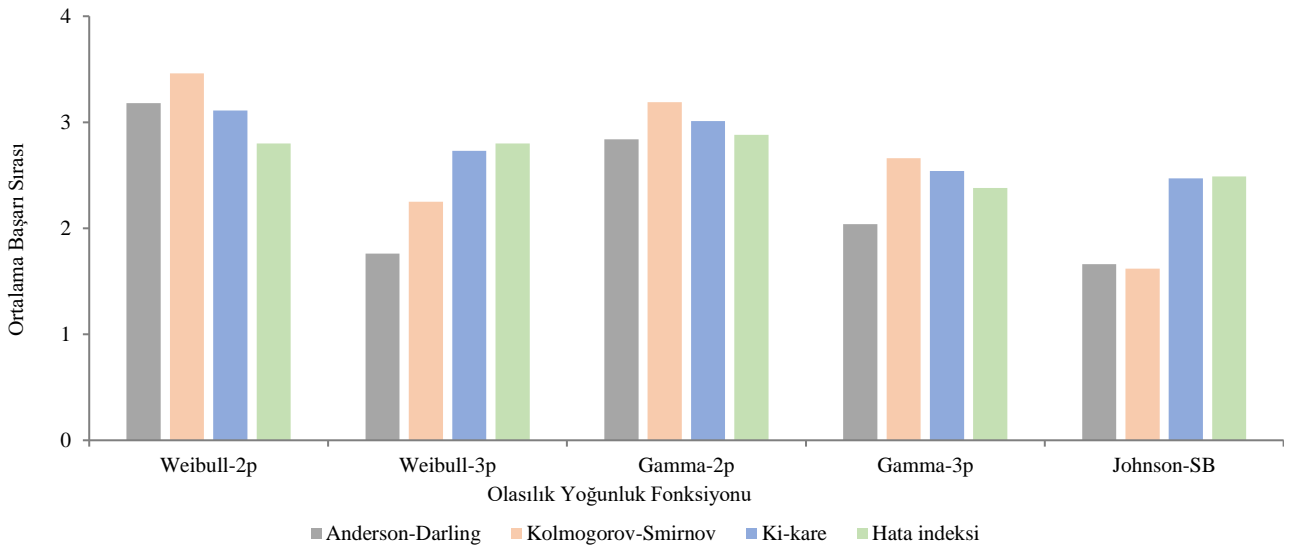


Şekil 7. Olasılık yoğunluk fonksiyonlarının genel ortalama başarı puanları (Ekorejyon 1)
Figure 7. Overall average success scores of probability density functions (Ecoregion 1)

Parametre tahmini yapılan fonksiyonlarının başarı sıralamaları Ekorejyon 3 için incelendiğinde, 151 örnek alanın 17'sinde Johnson SB fonksiyonunun çözümlenemediği görülmektedir. Bununla birlikte, 18 örnek alanda Johnson SB, 6 örnek alanda Gamma-3p ve 3 örnek alanda Weibull-3p fonksiyonları için X^2 istatistikleri hesaplanamamıştır. Ekorejyon 3'ten alınan 151 örnek alan içerisinde Weibull-2p fonksiyonu e istatistiğine göre 39 defa, X^2 istatistiğine göre 32 defa, KS istatistiğine göre 19 defa ve AD istatistiğine göre 16 defa ilk sırada yer almıştır. Weibull-3p fonksiyonu e istatistiğine göre 20 defa, X^2 istatistiğine göre 32 defa, KS istatistiğine göre 28 defa ve AD istatistiğine göre 23 defa ilk sırada yer almıştır. Bunun yanında, Gamma-2p fonksiyonu e istatistiğine göre 26 defa, X^2 istatistiğine göre 23 defa, KS istatistiğine göre 24 defa ve AD istatistiğine göre 10 defa ilk sırada yer almıştır. Gamma-3p fonksiyonu ise e istatistiğine göre 28 defa, X^2 istatistiğine göre 32 defa, KS istatistiğine göre 24 defa ve AD istatistiğine göre 43 defa ilk sırada yer

almıştır. Bunun yanında, Johnson SB fonksiyonu e istatistiğine göre 38 defa, X^2 istatistiğine göre 32 defa, KS istatistiğine göre 56 defa ve AD istatistiğine göre 59 defa ilk sırada yer almıştır.

Olasılık yoğunluk fonksiyonları, Ekorejyon 3 içerisindeki örnek alanlar için başarılıdan başarısız doğru AD istatistiğine göre Johnson SB ($\bar{R}_i=1.66$), Weibull-3p ($\bar{R}_i=1.76$), Gamma-3p ($\bar{R}_i=2.04$), Gamma-2p ($\bar{R}_i=2.84$) ve Weibull-2p ($\bar{R}_i=3.18$) şeklinde, KS istatistiğine göre Johnson SB ($\bar{R}_i=1.62$), Weibull-3p ($\bar{R}_i=2.25$), Gamma-3p ($\bar{R}_i=2.66$), Gamma-2p ($\bar{R}_i=3.19$) ve Weibull-2p ($\bar{R}_i=3.46$) şeklinde, X^2 istatistiğine göre Johnson SB ($\bar{R}_i=2.47$), Gamma-3p ($\bar{R}_i=2.54$), Weibull-3p ($\bar{R}_i=2.73$), Gamma-2p ($\bar{R}_i=3.01$) ve Weibull-2p ($\bar{R}_i=3.11$) şeklinde ve e istatistiğine göre de Gamma-3p ($\bar{R}_i=2.38$), Johnson SB ($\bar{R}_i=2.49$), Weibull-3p ($\bar{R}_i=2.80$), Weibull-2p ($\bar{R}_i=2.80$) ve Gamma-2p ($\bar{R}_i=2.88$) şeklinde sıralanmaktadır (Şekil 8).



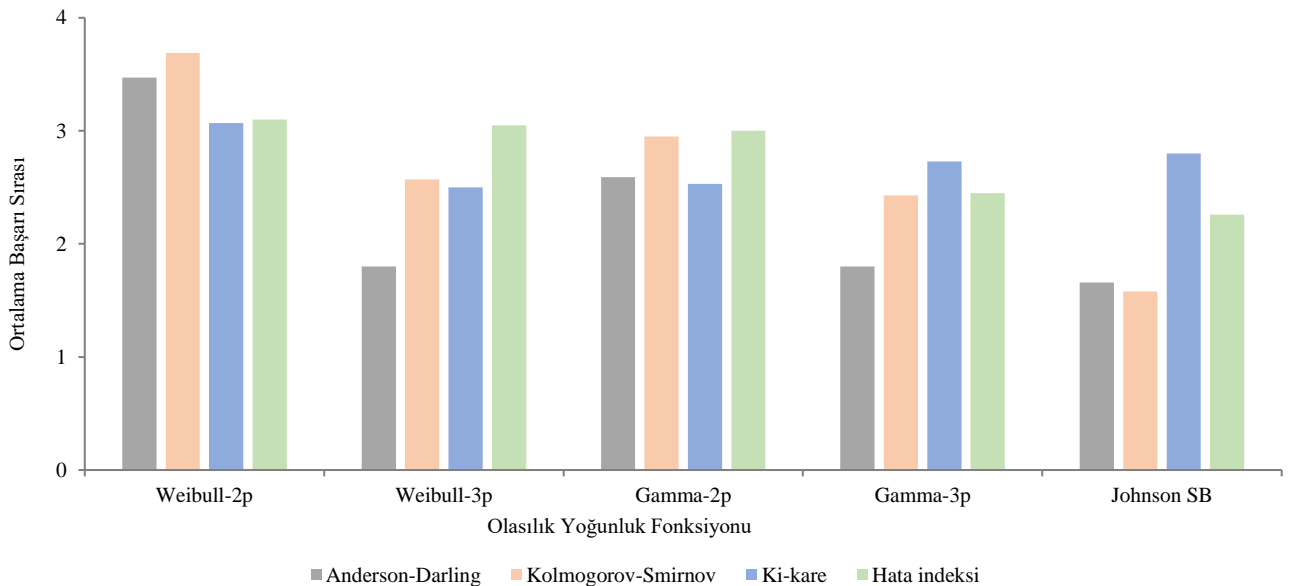
Şekil 8. Olasılık yoğunluk fonksiyonlarının genel ortalama başarı puanları (Ekorejyon 3)
Figure 8. Overall average success scores of probability density functions (Ecoregion 3)

Ekorejyon 4 için parametre tahmini yapılan Olasılık yoğunluk fonksiyonları için başarı sıralamaları incelendiğinde, 60 örnek alanın 10'unda Johnson SB fonksiyonu çözümlenememiştir. Ayrıca, 7 örnek alanda Johnson SB fonksiyonu için X^2 istatistikleri hesaplanamamıştır. Ekorejyon 4'ten alınan 60 örnek alan içerisinde Weibull-2p fonksiyonu e istatistiğine göre 16 defa, X^2 istatistiğine göre 19 defa, KS istatistiğine göre 6 defa ve AD istatistiğine göre 4 defa ilk sırada yer almıştır. Weibull-3p fonksiyonu e istatistiğine göre 5 defa, X^2 istatistiğine göre 13 defa, KS istatistiğine göre 5 defa ve AD istatistiğine göre 5 defa ilk sırada yer almıştır. Bununla birlikte, Gamma-2p fonksiyonu e istatistiğine göre 8 defa, X^2 istatistiğine göre 8 defa, KS istatistiğine göre 12 defa ve AD istatistiğine göre 2 defa ilk sırada yer almıştır. Gamma-3p fonksiyonu ise e istatistiğine göre 11 defa, X^2 istatistiğine göre 14 defa, KS istatistiğine göre 10 defa ve AD istatistiğine göre 26 defa ilk sırada yer almıştır. Son olarak, Johnson SB fonksiyonu e istatistiğine göre 20 defa, X^2 istatistiğine göre 6 defa, KS istatistiğine göre 27 defa ve AD istatistiğine göre 23 defa ilk sırada yer almıştır.

Olasılık yoğunluk fonksiyonları, Ekorejyon 4 içerisindeki örnek alanlar için başarılıdan başarısız doğru AD istatistiğine göre Johnson SB ($\bar{R}_i=1.66$), Gamma-3p ($\bar{R}_i=1.80$), Weibull-3p ($\bar{R}_i=1.80$), Gamma-2p ($\bar{R}_i=2.59$) ve Weibull-2p ($\bar{R}_i=3.47$) şeklinde, KS istatistiğine göre Johnson SB ($\bar{R}_i=1.58$), Gamma-3p ($\bar{R}_i=2.43$), Weibull-3p ($\bar{R}_i=2.57$), Gamma-2p ($\bar{R}_i=2.95$) ve Weibull-2p ($\bar{R}_i=3.69$) şeklinde, X^2 istatistiğine göre Weibull-3p ($\bar{R}_i=2.50$), Gamma-2p ($\bar{R}_i=2.53$), Gamma-3p ($\bar{R}_i=2.73$), Johnson SB ($\bar{R}_i=2.80$) ve Weibull-2p ($\bar{R}_i=3.07$) şeklinde ve e istatistiğine göre de Johnson SB ($\bar{R}_i=2.26$), Gamma-3p ($\bar{R}_i=2.45$), Gamma-2p ($\bar{R}_i=3.00$), Weibull-3p ($\bar{R}_i=3.05$) ve Weibull-2p ($\bar{R}_i=3.10$) şeklinde sıralanmaktadır (Şekil 9).

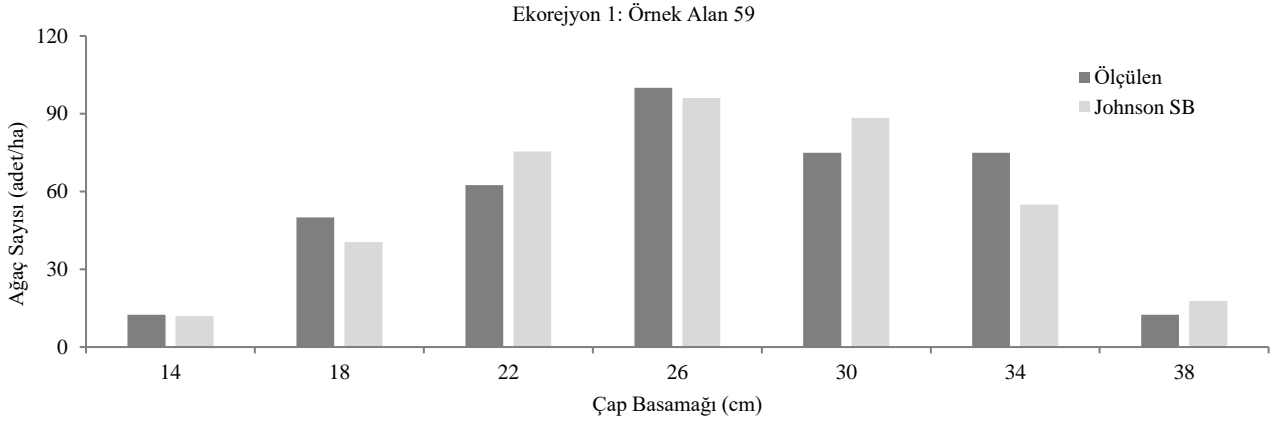
Çalışma kapsamında örnek alanlar için parametre tahminleri yapılan olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rölatif başarı sıralamalarının ekorejyonlara göre ortalamaları alınarak söz konusu başarı sıralamaları üç farklı ekorejyon için ayrı ayrı incelenmiştir. Sonuçlara göre, üç farklı ölçüte (e , KS ve AD) göre Johnson SB fonksiyonu ve X^2 istatistik ölçütüne göre de Weibull-3p fonksiyonu Ekorejyon 1 için en başarılı model olarak öne çıkmaktadır. Yine üç farklı ölçüte (X^2 , KS ve AD) göre Johnson SB fonksiyonu ve e ölçütüne göre de Gamma-3p fonksiyonu Ekorejyon 3 için en başarılı sıralama değerlerine sahip olmuştur. Ancak, e istatistik ölçütüne göre Gamma-3p fonksiyonunun ortalama başarı sırası ($\bar{R}_i=2.38$) ile Johnson SB fonksiyonunun ortalama başarı sırası ($\bar{R}_i=2.49$) birbirine oldukça yakın bulunmuştur. Ayrıca, üç farklı ölçüte göre (e , KS ve AD) Johnson SB fonksiyonu ve X^2 ölçütüne göre ise Weibull-3p fonksiyonu Ekorejyon 4 için en başarılı sonuçları vermiştir. Sonuç olarak, ortalama rölatif başarı sıralaması dikkate alındığında tüm ekorejyonlar için en başarılı olasılık yoğunluk fonksiyonunun Johnson SB fonksiyonu olduğu belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında, ekorejyonların her üçü için de en başarılı olasılık yoğunluk fonksiyonu olarak belirlenen Johnson SB fonksiyonuna ilişkin tahmin başarılarının görsel olarak ortaya konulabilmesi amacıyla örnek alanlardaki çap basamaklarına ilişkin ölçülen (gerçek) ve Johnson SB olasılık yoğunluk fonksiyonu ile tahmin edilen ağaç sayıları grafik eksenlere taşınmıştır. Bu amaçla, en başarılı fonksiyonun Johnson SB olarak belirlendiği örnek alanlar arasında ekorejyonları temsil edecek örnek alanlar belirlenmiş ve bu örnek alanlara ilişkin dağılım grafikler çizilmiştir (Şekil 10, 11 ve 12).

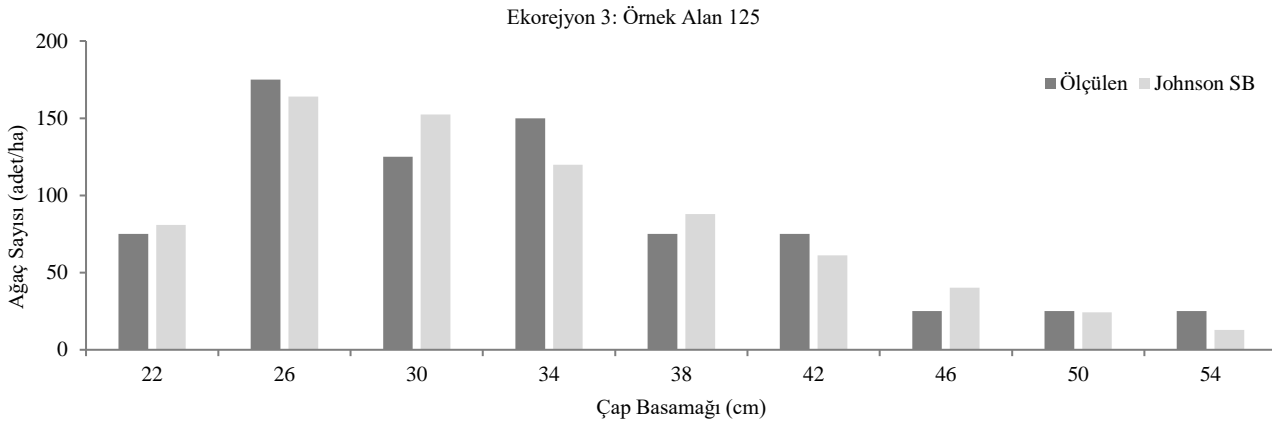


Şekil 9. Olasılık yoğunluk fonksiyonlarının genel ortalama başarı puanları (Ekorejyon 4)

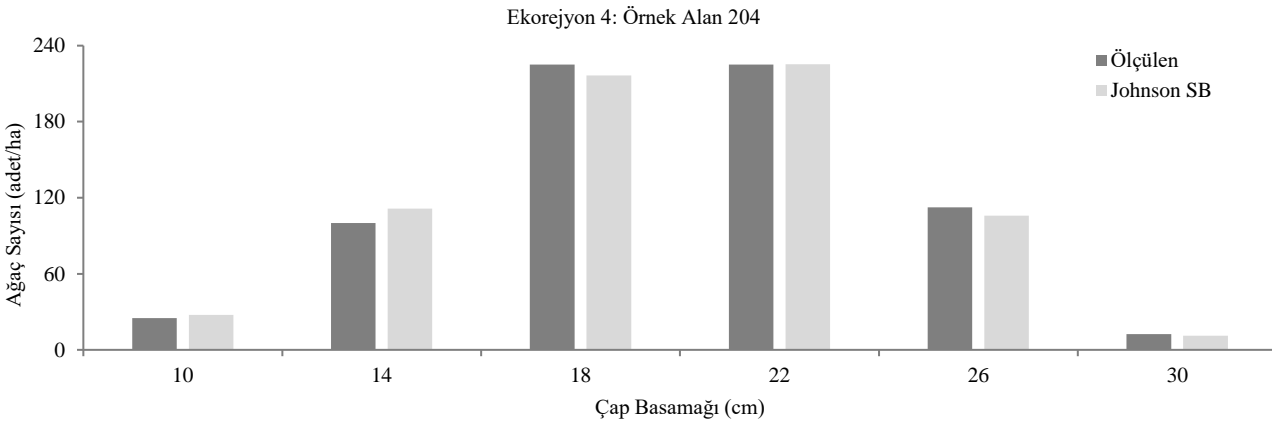
Figure 9. Overall average success scores of probability density functions (Ecoregion 4)



Şekil 10. 59 nolu örnek alana (Ekorejyon 1) ilişkin Johnson SB dağılımı
Figure 10. Johnson SB distribution for sample plot 59 (Ecoregion 1)



Şekil 11. 125 nolu örnek alana (Ekorejyon 3) ilişkin Johnson SB dağılımı
Figure 11. Johnson SB distribution for sample plot 125 (Ecoregion 3)



Şekil 12. 204 nolu örnek alana (Ekorejyon 4) ilişkin Johnson SB dağılımı
Figure 12. Johnson SB distribution for sample plot 204 (Ecoregion 4)

Kastamonu ve Sinop Orman Bölge Müdürlükleri sınırları içerisindeki saf karaçam meşcerelerine için çap dağılımlarının modellendiği bu çalışmada, istatistiksel ve grafik yöntemlere göre Johnson SB olasılık yoğunluk fonksiyonu çalışma alanı içerisindeki tüm ekorejyonlar için başarılı bulunmuştur. Şekil 10, 11 ve 12 incelendiğinde; tüm ekorejyonlar için Johnson SB olasılık yoğunluk fonksiyonu ile tahmin edilen çap basamaklarındaki ağaç sayıları ile

gerçek değerler arasında oldukça benzerlik görüldüğü ve modele ilişkin tahmin başarısının tatmin edici düzeyde olduğu anlaşılmaktadır.

Johnson (1949) tarafından geliştirilen ve yapısı gereği biyolojik değişkenlerin açıklanmasında veya temsil edilmesinde diğer modellere kıyasla daha başarılı sonuçlar veren SB dağılımı aynı zamanda diğer dağılımlara kıyasla daha geniş dağılım şekillerini açıklayabilen esnek bir yapıya

sahiptir. Ülkemizde yayılış gösteren çeşitli ağaç türlerine ilişkin çap dağılımlarının modellenmesi amacıyla olasılık yoğunluk fonksiyonlarının dikkate alındığı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda; Doğu kayını (Carus, 1996) ve karaçam (Sakıcı vd., 2016) meşcereleri için Gamma olasılık yoğunluk fonksiyonu ile başarılı tahminler elde edilmiştir. Sarıçam (Ercanlı ve Yavuz, 2010) ve Dişbudak (Yavuz vd., 2002) türlerine ilişkin çap dağılımlarının incelendiği çalışmalarda en başarılı olasılık yoğunluk fonksiyonu Weibull, karaçam (Carus ve Çatal, 2011) ve kızılçam (Carus ve Çatal, 2008) meşcereleri için ise Log-normal dağılımı ile başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bununla birlikte, Doğu Ladini (Sönmez vd., 2015) için yapılan çalışmada Weibull, Johnson SB ve Beta dağılımları, Doğu Karadeniz göknarı (Sakıcı ve Gülsunar, 2012) için yapılan çalışmada ise Üstel ve Weibull dağılımları başarıları ile öne çıkmıştır. Kastamonu ve Sinop yöresi karaçam meşcereleri için gerçekleştirilen bu çalışmada elde edilen sonuçlara benzer şekilde, Doğu kayını ve sarıçam (Kahriman ve Yavuz, 2011), kızılçam (Doğdaş, 2014; Özçelik vd., 2016), Doğu ladini (Ercanlı ve Yavuz, 2010; Sönmez vd., 2010) ve sarıçam (Sakıcı ve Dal, 2021) meşcerelerine ilişkin çap dağılımlarının modellendiği çalışmalarda Johnson SB olasılık yoğunluk fonksiyonu ile başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Ülkemizde farklı ağaç türlerine ve meşcere kuruluşlarına ilişkin çap dağılımlarının modellenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda çeşitli olasılık yoğunluk fonksiyonlarına ilişkin başarılı sonuçların elde edildiği görülmekle birlikte, çalışmaların birçoğunda Johnson SB fonksiyonunun başarılı göze çarpmaktadır. Bununla birlikte, uluslararası literatürde de Von Gadow (1983), Kudus vd. (1999), Zhang vd. (2003), Siipilehto ve Siitonen (2004), Fonseca vd. (2009), Mateus ve Tomé (2011), Gorgoso-Varela ve Rojo-Alboreca (2014), Ogana vd. (2017) ve Pogoda vd. (2020) tarafından yapılan çalışmalarda da Johnson SB fonksiyonunun çap dağılımına ilişkin tahminlerdeki başarısı ortaya konulmuştur. Bu çalışma kapsamında da gerek uluslararası ve gerekse ulusal literatürde tahmin başarısı açısından öne çıkan Johnson SB fonksiyonu başarılı bulunmuştur.

4. Sonuçlar

Çalışma kapsamında, karaçam meşcerelerine ilişkin çap dağılımları beş farklı olasılık yoğunluk fonksiyonu (Johnson SB, Weibull-2p, Gamma-2p, Weibull-3p ve Gamma-3p) ile modellenmiş ve parametre tahminleri yapılmıştır. e , KS , X^2 ve AD hata ölçütlerine göre karşılaştırılan olasılık yoğunluk fonksiyonlarından Johnson SB fonksiyonu gerek tüm çalışma alanı için ve gerekse çalışma kapsamında dikkate alınan tüm ekoreyonlar için oldukça başarılı bulunmuştur.

Ülkemiz topografik özelliklerinden dolayı farklı iklim rejimlerine ve çeşitli ekolojik bölgelere sahiptir. Buna ek olarak, aynı ağaç türü çok farklı ekolojik özelliklere sahip bölgelerde yayılış gösterebilmektedir. Ağaçların ve meşcerelerin gelişimleri üzerinde önemli etkileri bulunan ekolojik faktörlerin planlama aşamasında göz önünde bulundurulması oldukça önemlidir. Bu bağlamda, planlama için en önemli altlıklardan olan büyüme modelleri de söz konusu ekolojik farklılıklara bağlı olarak esnek tahminler yapabilme özelliğine sahip olmalıdır. Bu amaçlarla, ülkemizde önemli yayılış alanlarına sahip diğer aslı ağaç türleri için de ekoreyon tabanlı çap dağılım modelleri geliştirilmeli ve yapılacak olan planlama faaliyetlerinde bu modellerden yararlanılmalıdır.

Açıklama

Bu çalışma Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı altında Mehmet SEKİ tarafından Oytun Emre SAKICI danışmanlığında hazırlanmış olan doktora tezinden üretilmiştir. Ayrıca, bu çalışma Kastamonu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'nin KÜ-BAP03/2017-38 nolu BAP Projesi kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Atalay, İ., 2014. Türkiye'nin Ekolojik Bölgeleri. Genişletilmiş 2. Baskı, Meta Basım Matbaacılık, İzmir.
- Bailey, R.L., Dell, T.R., 1973. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. *Forest Science*, 19(2): 97-104.
- Bolat, F., Ercanlı, İ., 2017. Modeling diameter distributions by using Weibull function in forests located Kestel-Bursa. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 17(1): 107-115.
- Burkhardt, H.E., Tomé, M., 2012. *Modeling Forest Trees and Stands*. Springer, Dordrecht.
- 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., Çatal, Y., 2008. Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinde 7-ağaç örnek nokta yöntemiyle meşcere ağaç sayısının çap basamaklarına dağılımının belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 9(2): 158-169.
- Carus, S., Çatal, Y., 2011. The alteration of diameter distribution by site quality and age in even aged Crimean pine (*Pinus nigra* Arnold) stands in southern Turkey. 4th International Conference on Mediterranean Pines, 6-10 June, Avignon, France, pp. 101-101.
- 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.
- Doğdaş, İ., 2014. Burdur-Ağlasun yöresi kızılçam ormanlarında meşcere ağaç sayısı, hacim ve hacim artımının çap basamaklarına dağılımının modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Ercanlı, İ., Yavuz, H., 2010. Doğu ladini (*Picea orientalis* (L.) Link)-Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) karışık meşcerelerinde çap dağılımlarının olasılık yoğunluk fonksiyonları ile belirlenmesi. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 10(1): 68-83.
- Ercanlı, İ., Bolat, F., Kahriman, 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, Artvin, Turkey, pp. 119-126.
- Ercanlı, İ., Bolat, F., Kahriman, A., 2016. Vezirköprü-Sarıçiçek Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yer alan meşcerelerin çap dağılımlarının 3 parametrelili Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu ile modellenmesi. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 2(1-2): 13-24.
- Fonseca, T.F., Marques, C.P., Parresol, B.R., 2009. Describing Maritime pine diameter distributions with Johnson's S_B distribution using a new all-parameter recovery approach. *Forest Science*, 55(4): 367-373.
- Gadow, K.V., Hui, G., 1999. *Modeling Forest Development*. Springer, Dordrecht.
- Gorgoso, J.J., Álvarez González, J.G., Rojo, A., Grandas-Arias, J.A., 2007. Modelling diameter distributions of *Betula alba* L. stands in northwest Spain with the two-parameter Weibull function. *Forest Systems*, 16(2): 113-123.
- Gorgoso-Varela J.J., Rojo-Alboreca, A., 2014. A comparison of estimation methods for fitting Weibull and Johnson's S_B functions to pedunculate oak (*Quercus robur*) and birch (*Betula pubescens*) stands in northwest Spain. *Forest Systems*, 23(3): 500-505.

- Huang, S., 1999. Ecoregion-based individual tree height-diameter models for lodgepole pine in Alberta. *Western Journal of Applied Forestry*, 14(4): 186-193.
- Huang, S., Price, D., Titus, S.J., 2000. Development of ecoregion-based height-diameter models for white spruce in boreal forests. *Forest Ecology and Management*, 129(1-3): 125-141.
- Johnson, N.L., 1949. System of frequency curves generated by methods of translation. *Biometrika*, 36(1-2): 149-176.
- Kahriman, 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.
- Kangas, A., Maltamo, M., 2000. Calibrating predicted diameter distribution with additional information. *Forest Science*, 46(3): 390-396.
- Kudus, K.A., Ahmad, M.I., Lapongan, J., 1999. Nonlinear regression approach to estimating Johnson S_B parameters for diameter data. *Canadian Journal of Forest Research*, 29(3): 310-314.
- Lawless, J.F., 1982. *Statistical Models and Methods for Lifetime Data*. A John Wiley & Sons, New Jersey.
- Loetsch, F., Zöhrer, F., Haller, K.E., 1973. *Forest Inventory*. BLV Verlagsgesellschaft, München.
- Mateus, A., Tomé, M., 2011. Modelling the diameter distribution of *eucalyptus* plantations with Johnson's S_B probability density function: parameters recovery from a compatible system of equations to predict stand variables. *Annals of Forest Science*, 68: 325-335.
- Mathwave, 2015. *EasyFit 5.5 Professional edition*. www.mathwave.com.
- Nelson, T. C., 1964. Diameter distribution and growth of loblolly pine. *Forest Science*, 10(1): 105-114.
- Ogana, F.N., Itam, E.S., Osho, J. S.A., 2017. Modeling diameter distributions of *Gmelina arborea* plantation in Omo Forest Reserve, Nigeria with Johnson's S_B . *Journal of Sustainable Forestry*, 36(2): 121-133.
- OGM, 2022. *Ormançılık İstatistikleri*. Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Özçelik, R., Yavuz, H., Karatepe, Y., Gürlevik, N., Kırış, R., 2014. Development of ecoregion-based height-diameter models for 3 economically important tree species of southern Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38: 399-412.
- Özçelik, R., Fidalgo Fonseca, T.J., Parresol, B.R., Eler, Ü., 2016. Modeling the diameter distributions of Brutian pine stands using Johnson's S_B distribution. *Forest Science*, 62(6): 587-593.
- Pillsbury, N.H., McDonald, P.M., Simon, V., 1995. Reliability of tanoak volume equations when applied to different areas. *Western Journal of Applied Forestry*, 10(2): 72-78.
- Pogoda, P., Ochał, W., Orzeł, S., 2020. Performance of Kernel estimator and Johnson S_B function for modeling diameter distribution of black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) stands. *Forests*, 11(6): 634.
- 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*, 58(1): 57-66.
- Reynolds, M.R., Burk, T.E., Huang, W.C., 1988. Goodness-of-fit tests and model selection procedures for diameter distribution models. *Forest Science*, 34(2): 373-399.
- Sahin, A., Ercanlı, I., 2023. An evaluation of various probability density functions for predicting diameter distributions in pure and mixed-species stands in Türkiye. *Forest systems*, 32(3): 2.
- Sakıcı, O.E., Dal, E., 2021. Kastamonu yöresi sarıçam meşcereleri için çap dağılımlarının modellenmesi ve çeşitli meşcere özellikleri ile ilişkilerinin belirlenmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 23(3): 1026-1041.
- Sakıcı, O.E., Gülsunar, M., 2012. Diameter distribution of Bornmullerian fir in mixed stands. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Özel Sayı: 263-270.
- Sakıcı, O.E., Seki, M., Sağlam, F., Akyıldız, M.H., 2016. Modeling diameter distributions of black pine stands in Taşköprü region. *International Forestry Symposium*, 7-10 December, Kastamonu, Turkey, pp. 521-535.
- Schreuder, H.T., Swank, W.T., 1974. Coniferous stands characterized with the Weibull distribution. *Canadian Journal of Forest Research*, 4(4): 518-523.
- Seki, M., 2021. Diameter distribution of Calabrian pine stands in Madra, Western Turkey. *International Congress on Environment, Disaster and Forest*, 20-21 October, Adana, Turkey, pp. 76.
- 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.
- Seki, M., Sakıcı, O.E., 2022a. Ecoregional variation of Crimean pine (*Pinus nigra* subspecies *pallasiana* [Lamb.] Holmboe) stand growth. *Forest Science*, 68(5-6): 452-463.
- Seki, M., Sakıcı, O.E., 2022b. Ecoregion-based height-diameter models for Crimean pine. *Journal of Forest Research*, 27(1): 36-44.
- Siipilehto, J., Siitonen, J., 2004. Degree of previous cutting in explaining the differences in diameter distributions between mature managed and natural Norway spruce forests. *Silva Fennica*, 38(4): 425-435.
- Sönmez, T., Günlü, A., Karahalil, U., Ercanlı, İ., Şahin, A., 2010. Saf Doğu ladini meşcerelerinde çap dağılımının modellenmesi. III. Ulusal Karadeniz Ormançılık Kongresi, 20-22 Mayıs, Artvin, s. 388-398.
- Sönmez, T., Karahalil, U., Günlü, A., Şahin, A., 2015. Aynı yaşlı ve saf Doğu ladini (*Picea orientalis* (L.) Link.) meşcerelerinde çap dağılımının bonitet ve yaş sınıfları için değerlendirilmesi. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 15(1): 26-36.
- 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.
- Vancly, J.K., 1994. *Modeling Forest Growth and Yield. Applications to Mixed Tropical Forests*. CAB International, Wallingford.
- Von Gadow, K., 1983. Fitting distributions in *Pinus patula* stands. *South African Forestry Journal*, 126(1): 20-29.
- Xu, W., 2004. Developing ecoregion-based height-diameter models and reference-age invariant polymorphic height and site index curves for black spruce and jack pine in manitoba. Master of Science Thesis, Department of Botany (University of Manitoba), Winnipeg, Manitoba.
- Yavuz, H., Gül, A.U., Mısır, N., Özçelik, R., Sakıcı, O.E., 2002. Meşcerelerde çap dağılımının düzenlenmesi ve bu dağılımlara ilişkin parametreler ile çeşitli meşcere öğeleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi. *Orman Amenajmanında Kavramsal Açılımlar ve Yeni Hedefler Sempozyumu*, 18-19 Nisan, İstanbul, s. 203-212.
- Zhang, L., Packard, K.C., Liu, C., 2003. A comparison of estimation methods for fitting Weibull and Johnson's S_B distributions to mixed spruce-fir stands in northeastern north America. *Canadian Journal of Forest Research*, 33(7): 1340-1347.