

Almus yöresi doğal doğu kayını meşcerelerinin çap dağılımının Weibull dağılımı ile modellenmesi

Onur Alkan^{a,*} , Ramazan Özçelik^a , Şerife Kalkanlı Genç^b 

Özet: Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky), Türkiye’de alan bakımından yapraklı ağaç türleri içerisinde ikinci sırada, endüstriyel odun üretiminde ise %15’lik payı ile ilk sırada yer almaktadır. Bu çerçevede, Doğu Kayını ormanlarının bir taraftan korunması, diğer taraftan da sürdürülebilir yönetimi amacıyla, geleceğe dönük planlama ve stratejilerin oluşturulması için bu ormanların mevcut durumuna, büyüme ve gelişme özelliklerine ilişkin güvenilir ve nitelikli bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Büyüme ve hasılat modellerinin en önemli bileşenlerinden biri olan çap dağılım modelleridir. Bu modeller yardımıyla, meşcerelere uygulanacak farklı silvikültürel müdahaleler sonucunda ortaya çıkacak olası meşcere yapıları hakkında önemli bilgiler elde edilebilmektedir. Weibull dağılımı, diğer modellere göre daha esnek bir yapıya sahip olması ve kapalı formda eklemeli dağılım fonksiyonuna sahip olması nedeniyle pek çok araştırmacı tarafından çap dağılımlarının modellenmesi amacıyla yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Weibull dağılımı kullanılarak, Tokat-Almus yöresi doğal, aynı-yaşlı ve saf Doğu Kayını meşcereleri için çap dağılım modelleri geliştirilmiştir. Weibull dağılım fonksiyonunun parametrelerinin tahmini için kullanılan regresyon denkleminin katsayılarını tahmin etmek amacıyla, Görünürde Uyumsuz Regresyon Denklemi (SUR) ve Değiştirilmiş Kümülatif Dağılım Fonksiyon Regresyonu (MCDF) olmak üzere iki farklı yaklaşım ile parametre tahmin yöntemi, moment ve yüzdellik temelli parametre çözümleme yöntemleri ve hibrit yöntem olmak üzere dört farklı yöntem kullanılmıştır. Çalışma kapsamında MCDF yaklaşımı ile geliştirilen modellerin SUR yaklaşımına göre daha başarılı olduğu belirlenmiştir. Parametre tahmin yöntemleri itibarıyla SUR yaklaşımı ile geliştirilen modellerde moment temelli yöntemin, MCDF itibarıyla ise hibrit yöntemin en başarılı sonuçları verdiği belirlenmiştir. Tahmin başarısı bakımından en başarısız olan yöntem ise SUR yaklaşımı kapsamında geliştirilen parametre tahmin yöntemi olarak belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Çap dağılım modelleri, Weibull dağılımı, Doğu kayını

Modeling diameter distribution of natural oriental beech stands in the Almus region using the Weibull distribution

Abstract: Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) ranks second among hardwood tree species in terms of area in Türkiye and ranks first in industrial wood production with a rate of 15%. In this context, reliable and accurate information on the status, growth and development characteristics of these forests is needed to create future planning and strategies for both the protection and sustainable management of Oriental beech forests. The information to be obtained with the help of diameter distribution models, which is one of the most important components of growth and yield models, can reveal possible stand structures that will emerge because of different silvicultural interventions to be applied to the stands. The Weibull distribution is used extensively by many researchers for the modeling of diameter distributions because it has a more flexible structure than other models and has a cumulative distribution function in closed form. In this study, diameter distribution models were developed for natural, even-aged, and pure oriental beech stands in the Tokat-Almus region using the Weibull distribution. Two different approaches, namely the Seemingly Unrelated Regression (SUR) and Modified Cumulative Distribution Function Regression (MCDF) to estimate the coefficients of the regression equation used for the estimation of the parameters of the Weibull distribution function. Four different parameter estimation methods, namely parameter estimation method, moment- and percentile-based parameter recovery methods, and hybrid method were used. According to the results, it was determined that the models developed with the MCDF approach were more successful than the SUR approach. In terms of parameter estimation methods, it was determined that the moment-based method in the models developed with the SUR approach, and the hybrid method in terms of MCDF gave the most successful results. The poorest performer was the parameter estimation method developed within the SUR approach.

Keywords: Diameter distribution models, Weibull distribution, Oriental beech

1. Giriş

Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) ülkemizde alan bakımından yapraklı ağaç türleri içerisinde ikinci sırada yer alan önemli aslı ağaç türlerimizden biridir (OGM, 2020). Doğu Kayını, ülkemizde endüstriyel odun üretiminde

%15’lik payı ile yapraklı ağaç türleri içerisinde ilk sırada yer almaktadır (Konukçu, 2001; Kahyaoğlu, 2017). Doğu Kayını ormanları, ülkemiz için önemli bir ekonomik değer olmasının yanı sıra toprak ve su kaynaklarının korunması, iklim değişiminin olumsuz etkilerinin azaltılması ve buna adaptasyonun sağlanması ve biyolojik çeşitliliğin korunması

✉ ^a Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, 32260, Isparta

^b Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 32260, Isparta

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): onuralkan@isparta.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 15.09.2023, **Accepted** (Kabul tarihi): 15.10.2023



Citation (Atf): 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.

DOI: [10.18182/tjf.1344934](https://doi.org/10.18182/tjf.1344934)

gibi çevresel konularda da önemli bir role sahiptir. Bu çerçevede, Doğu Kayını ormanlarının bir taraftan korunması, diğer taraftan da sürdürülebilir yönetimi amacıyla, geleceğe dönük planlama ve stratejilerin oluşturulması için bu ormanların mevcut durumuna, büyüme ve gelişme özelliklerine ilişkin güvenilir ve nitelikli bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır.

Ülkemizde orman kaynaklarının planlanması çalışmaları, 2008 yılından itibaren ekosistem tabanlı fonksiyonel planlama ilkelerine uygun bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Ekosistem tabanlı fonksiyonel planların düzenlenebilmesi ve bu planlara bağlı olarak ormanların sürdürülebilir yönetimi ve orman ürünleri endüstrisinin geleceğe dönük projeksiyonların hazırlanmasında, ağaç türlerine ilişkin büyüme ve hasılat modellerine ihtiyaç duyulmaktadır (Huang vd., 2000; Klos vd., 2007). Büyüme ve hasılat modellerinin en önemli bileşenlerinden birisi de çap dağılım modelleridir. Çap dağılım modelleri ile ormanlardan elde edilebilecek ürün çeşitleri hakkında tahmin imkânı sağlanmaktadır. Orman yöneticilerinin, özellikle odun kökenli orman kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi amacıyla doğru kararlar alabilmesi için bu kaynağın hem hâlihazırda hem de gelecekteki durumu hakkında güvenilir bilgilere ihtiyacı vardır. Ülkemizde yürütülen orman amenajmanı çalışmalarında, meşcerelere ilişkin çap dağılımlarının ortaya konmasında çap dağılım modelleri kullanılmamakta, bunun yerine orman envanteri çalışmaları sırasında tüm alana belirli bir aralık-mesafe ile sistematik olarak dağıtılan örnek alanlardan verimli orman alanlarına düşenler, meşcere tipleri için gruplandırılmakta ve bunların ortalaması alınarak her bir meşcere tipi için birim alandaki ağaç sayısı, hacim ve artımın çap sınıflarına; kalite sınıflarına ve silvikültürel duruma göre dağılımları elde edilmektedir. Ancak, orman amenajmanı çalışmalarına esas olan çap sınıflarının genişlikleri oldukça büyük olduğu için bu veriler kullanılarak farklı yararlanma alternatifleri için detaylı bir analiz yapılması oldukça güçtür. Üstelik bu bilgiler, amenajman planının ya da envanter çalışmasının yürütüldüğü yıla ilişkin olup, bu bilgiler kullanılarak dış etkenlere açık bir sistem olan orman alanları ve özellikle meşcereler için belirli bir yörede, gelecek 5, 10 ya da 20 yıla ilişkin olarak yapılacak değerlendirmeler gerçekçi olmamaktadır.

Günümüzde, ağaç hacmi ve buna ilişkin orman ürünleri standartları, göğüs çapı ile yakından ilişkili olduğu için meşcere özelliklerinin, çap dağılımı modelleri yardımıyla iyi bir şekilde ortaya konabileceği ifade edilmiştir (Bailey ve Dell, 1973). Bankston vd. (2021) tarafından da ifade edildiği gibi, bir meşcerenin çap dağılımı hakkındaki bilgiler, bu meşcerenin ekolojik veya ekonomik değeri hakkında fikirler vermektedir. Çap dağılım modelleri yardımı ile her bir çap sınıftaki ağaç sayısı tahmin edildikten sonra, hacim denklemleri yardımı ile ilgili çap sınıfının ve meşcerelerin ağaç serveti tahmin edilebilmektedir. Çap sınıflarındaki ağaç sayısı ve bunlara ilişkin hacim bilgileri, özellikle amenajman planlarındaki odun üretimine ilişkin planlama alternatiflerinin oluşturulmasında ve orman ürünleri endüstrisinin geleceğe dönük projeksiyonlarının yapılmasında son derece önemlidir. Kısacası geliştirilen çap dağılım modelleri yardımı ile her bir çap basamağı için birim alandaki ağaç sayısı, göğüs yüzeyi, hacim ve biyokütle değerleri tahmin edilebilmektedir. Yine çap dağılım modelleri yardımı ile çap sınıfları için elde edilen bilgiler, ormanların farklı ekolojik fonksiyonları karşılama potansiyelleri hakkında da önemli bilgiler sunmaktadır. Çap

dağılım modellerinin en önemli avantajlarından birisi de çap sınıfı genişliklerinin, istenilen aralığın (1, 2 veya 4 cm vb.) esas alınarak oluşturulabilmesidir.

Bir meşcerenin mevcut çap dağılımına ilişkin bilgiler, doğrudan envanter verileri yardımı ile elde edilebilirken, aynı meşcerenin gelecekteki çap dağılımına ilişkin bilgiler ancak tahmin yolu ile elde edilebilmektedir. Geleceğe ilişkin tahminlerde, genellikle çap dağılım modelleri kullanılmaktadır. Bu amaçla, Weibull dağılımı başta olmak üzere diğer olasılık yoğunluk fonksiyonları yardımı ile elde edilen çap dağılım modelleri, büyüme ve hasılat modellerinin ayrılmaz bir parçasıdır. Bu modeller yardımıyla orman yöneticileri, meşcerelerin gelecekteki hacim miktarlarını tahmin edebilmekte ve odun ürününün piyasa değeri hakkında finansal öngörüye sahip olabilmektedirler (Bankston vd., 2021). Öte yandan, ağaçların farklı çap sınıflarına dağılışı hakkındaki bilgiler, meşcere yapısı, yaş dağılımı ve meşcere kuruluşu gibi silvikültürel müdahalelerin planlanması açısından da önemli bilgiler sunmaktadır. Sonuç olarak, meşcerelere ilişkin çap dağılımının gerçeğe yakın bir şekilde tahmin edilmesi, meşcereye ilişkin büyüme ve hasılat tahminlerinin daha doğru yapılmasına ve dolayısı ile de geleceğe dönük planlama çalışmalarının daha tutarlı ve uygulanabilir olmasına yardımcı olacaktır (Bailey ve Dell, 1973).

Meşcere çap dağılımlarının modellenmesi ile ilgili çalışmalar yüz yılı aşkın bir süredir devam etmektedir. Ormancılıkta en çok tercih edilen olasılık yoğunluk fonksiyonları; Beta, Gamma, Johnson SB, Normal, Log-normal ve Weibull fonksiyonlarıdır (Bailey ve Dell, 1973; Maltamo, 1997; Liu vd., 2002). Bu fonksiyonlar yardımıyla, belirli bir çap basamağındaki ağaç sayısının toplam ağaç sayısına oranı tahmin edilebilmektedir (Bailey ve Dell, 1973). Çap dağılım modellerinin geliştirilmesine dikkat edilmesi gereken en önemli konulardan birisi, uygun dağılım fonksiyonuna karar verilmesidir. Kalıpsız (1998), ağaç türü, yetişme ortamı, bonitet sınıfı, meşcere yaşı ve sıklığı gibi faktörlerin, ağaçların çap basamaklarına dağılımı üzerinde etkisi olduğunu belirtmektedir. Öte yandan Liu vd. (2014), çap dağılımını modellemek için kullanılan tüm dağılım fonksiyonlarının güçlü ve zayıf yönlerinin bulunduğunu, meşcerenin yaşı, eşit yaşı ya da değişik yaşlı olması, tür kompozisyonu bakımından saf ya da karışık olması gibi meşcere özelliklerinin etkili olduğunu ifade etmektedir. Wang ve Rennolls (2005) ise, çap dağılımlarının modellenmesinde kullanılan fonksiyonların meşcere özelliklerine bağlı olarak kimi durumlarda oldukça başarılı sonuçlar verirken, kimi durumlarda ise başarısız olabileceğini ve bu nedenle de hiçbir dağılım fonksiyonunun her durumda en başarılı fonksiyon olarak nitelendirilemeyeceğini belirtmektedir. Hafley ve Schreuder (1977), dağılım fonksiyonlarının seçiminde, parametre tahmininin kolay yapılabilmesi, dağılım şeklinin başarılı bir şekilde ortaya konulabilmesi, farklı çap basamaklarındaki oranların tahmininde kullanılan çözümleme yöntemlerinin basit olması ve dağılımlara ilişkin tahmin başarılarının yüksek olması gibi kriterlerin dikkate alınması gerektiğini ifade etmektedir. Ulusal literatür incelendiğinde, çeşitli olasılık yoğunluk fonksiyonlarının farklı tür ve meşcerelerdeki çap dağılımını modellemek amacıyla başarılı bir şekilde kullanıldığı görülmektedir (Ercanlı ve Yavuz, 2010; Kahriman ve Yavuz, 2011; Ercanlı vd., 2013; Bolat ve Ercanlı, 2017; Ercanlı vd., 2018).

Çap dağılımlarının modellenmesi ile ilgili çalışmalarda, genellikle iki temel konu üzerinde durulmaktadır. Bunlardan ilki araştırma alanı için uygun dağılım fonksiyonunun belirlenmesi, diğeri ise karşılaştırılan dağılım fonksiyonunun parametrelerinin belirlenmesinde en uygun yöntemin seçilmesidir. Meşcerelerin çap dağılımlarının modellenmesi amacıyla uzun yıllardan beri Beta, Log-normal, Johnson's SB ve Weibull dağılımları gibi çok sayıda çap dağılım modelleri kullanılmaktadır. Ormancılıkta ilk defa Bailey ve Dell (1973) tarafından kullanılan Weibull dağılımı; değişik dağılım şekillerinin kolayca çözülebilmeye, diğere modellere göre daha esnek bir yapıya sahip olması ve kapalı formda eklemeli dağılım fonksiyonuna sahip olması nedeniyle pek çok araştırmacı tarafından, çap dağılımlarının modellenmesi amacıyla diğere olasılık yoğunluk fonksiyonlarına göre çok daha yoğun bir şekilde kullanılmıştır (Bailey ve Dell, 1973; Borders vd., 1987; Maltamo vd., 1995; Zhang vd., 2003; Cao, 2004; Newton vd., 2005; Palahi vd., 2006; Palahi vd., 2007; Gorgoso vd., 2007; Gorgoso vd., 2012; Lei, 2008; Jiang ve Brooks, 2009; Stankova ve Zlatanov, 2010; Poudel ve Cao, 2013; Liu vd., 2014; Diamantopoulou vd., 2015; Sun vd., 2019; Schmidt vd., 2020).

Geleneksel olarak Weibull dağılımının parametreleri, doğrudan regresyon tekniği kullanılarak meşcere özelliklerinin bir fonksiyonu olarak tahmin edilebilmektedir. Son yıllarda çap moment ve/veya çap yüzdelerinden Weibull dağılımının parametrelerinin çözümü için yöntemler geliştirilmiştir. Parametre tahmin yönteminde çap dağılımının tanımlanması için dağılım parametreleri; meşcere yaşı, meşcere üst boyu ve meşcere sıklığı gibi meşcere özelliklerinden regresyon denklemleri kullanılarak doğrudan tahmin edilebilmektedir. Bu yöntem ilk defa Clutter ve Bennett (1965) tarafından Beta dağılımının parametrelerinin tahmini amacıyla kullanılmıştır. Parametre çözümü yaklaşımında ise, dağılımın parametreleri meşcere düzeyindeki özellikler yardımıyla çap momentlerinden ya da özel yüzdelerden tahmin edilmektedir. Ortalama çap ve çap varyansı gibi çap sıklık dağılımı özellikleri, dağılım parametrelerinden daha doğru öngörülebildiğinden, parametre çözümü metodunun parametre tahmin metodundan daha üstün olduğu kabul edilmiştir (Parresol, 2003). Parametre çözümü metodu, dağılım parametrelerini; moment, yüzdeler ve hibrit (karma) temelli olarak tahmin edilebilmektedir. Moment temelli parametre çözümü yaklaşımı, Weibull dağılımının parametrelerini tahmin etmek için çap momentlerini kullanmaktadır. Parametre çözümü için orta çap, kuadratik ortalama çap, göğüs yüzeyi, hacim ve çap varyansı gibi değişkenler kullanılabilir. Yüzdeler temelli parametre çözümü yaklaşımı ise meşcere yaşı, bonitet endeksi ve meşcere sıklığı gibi meşcere özelliklerinin bir fonksiyonu olarak belirli yüzdeler tahmin etmek için regresyon tekniğini kullanmaktadır. Tahmin edilen yüzdeler, daha sonra dağılım parametrelerinin çözümü için kullanılmaktadır. Bu yaklaşımın temel avantajı, parametreleri çözmek için kullanılan minimum çap veya çap yüzdeleri gibi çap dağılımı özelliklerinin, parametrelerin kendisinden daha kesin olarak tahmin edilebilmesidir (Knowe vd., 2005). Moment temelli yaklaşımın aksine (doğrusal olmayan bir denklem sistemi içerisinde sayısal çözümü teknikleri kullanılarak çözülmektedir), yüzdeler temelli yaklaşım doğrusal bir denklem sistemine dönüştürülerek kolayca çözülebilmektedir. Hibrit (karma) metod ise, moment ve

yüzdeler metodlarının her ikisini de kullanarak dağılım parametrelerini çözümlenmektedir.

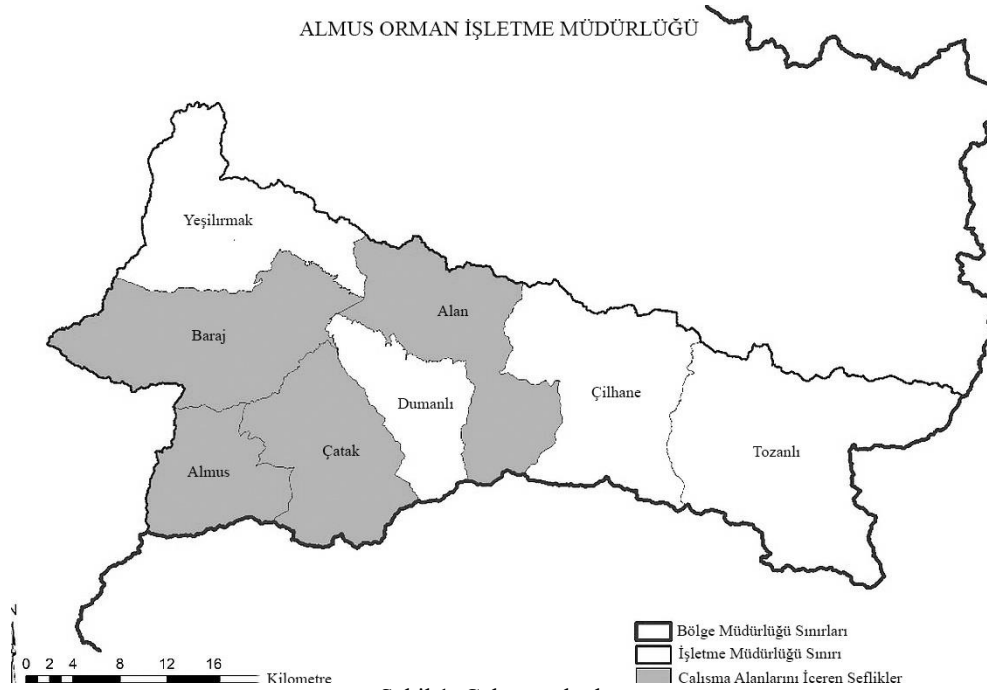
Weibull dağılımının parametre tahmini için sıklıkla en küçük kareler yöntemi (OLS) ve Görünürde Uyumsuz Regresyon Yöntemi (Seemingly Unrelated Regression, SUR) kullanılmaktadır. Cao (2004), gözlemlenen ve tahmin edilen eklemeli olasılıklar arasındaki kareli farkların toplamının minimizasyonu ile, parametre tahmin metodundaki regresyon katsayılarını elde etmiştir. Bu yeni metodu Kümülatif Dağılım Fonksiyon Regresyonu (CDFR) olarak isimlendirmiştir. Değiştirilmiş Kümülatif Dağılım Fonksiyon Regresyonu (MCDF), CDFR ile benzer bir yaklaşım olmakla birlikte, Kümülatif Dağılım Fonksiyonu (CDF)'nu hesaplamak için, CDFR yaklaşımındaki tek ağaçlar yerine çap sınıfı bilgilerini kullanmaktadır.

Bu çalışmada, Weibull dağılım fonksiyonunun parametrelerinin tahmini için kullanılan regresyon denkleminin katsayıları; Görünürde Uyumsuz Regresyon Denklemi (SUR), Değiştirilmiş Kümülatif Dağılım Fonksiyon Regresyonu (MCDF) olmak üzere iki farklı yaklaşım ile tahmin edilmiştir. Ayrıca her bir modelleme yaklaşımı kapsamında parametre tahmin, moment temelli parametre çözümü, yüzdeler temelli parametre çözümü ve hibrit yöntem olmak üzere 4 farklı yöntem test edilmiştir.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

Bu çalışma için gerekli olan örnek ağaç verileri 2002-2023 yılları arasında Amasya Orman Bölge Müdürlüğü, Almus Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde yer alan saf ve doğal Doğu Kayını meşcerelerinden elde edilmiştir (Şekil 1). Çalışma kapsamında toplamda 2014 adet örnek ağaç bilgisi içeren 70 adet örnek alan kullanılmıştır. Türün yetişme ortamı koşullarını temsil edebilmek amacıyla, örnek alanların farklı bonitet sınıflarına ve gelişme çağlarına dağıtılmasına özen gösterilmiştir. Örnek alan büyüklüğüne karar verilirken her örnek alan içerisinde en az 30 ağaç girecek şekilde bir alana sahip olması amaçlanmıştır. Her örnek alandaki tüm ağaçların göğüs çapları elektronik çap ölçer yardımıyla 0.01 m hassasiyetle birbirine dik iki ölçümün ortalaması alınarak ölçülmüştür. Bununla beraber örnek alan içerisinde yer alan tüm ağaçların boyu da lazer boy ölçer ile ölçülmüştür. Çalışma kapsamında elde edilen verilerin %75'i model geliştirme amacıyla kullanılırken, kalan kısım ise geliştirilen modellerin test edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Yine her örnek alan için hektardaki ağaç sayısı (N), hektardaki göğüs yüzeyi (G, m²ha⁻¹), üst boy (H₀), dominant çap (D₀), meşcere orta boyu (H_m) ve orta çap (D_m) ve meşcere yaşı (t) gibi temel değişkenler de belirlenmiştir. Üst boy hektarda en kalın çaplı 100 ağacın ortalama boyu; dominant çap ise hektardaki en kalın çaplı 100 ağacın ortalama çapı ilkesinin örnek alan büyüklüğüne oranlanarak hesaplanmasıyla elde edilmiştir. Her iki veri setine ait nitelendirici istatistikler Çizelge 1'de verilmiştir.



Çizelge 1. Model geliştirme ve test verilerinin meşcere ve tek ağaç düzeyindeki değişkenlerinin nitelendirici istatistikleri

Değişkenler ^{a/}	Model geliştirme				Model test			
	Ortalama	Min.	Maks.	S.D.	Ortalama	Min.	Maks.	S.D.
	53 örnek alanda 1502 ağaç				17 örnek alanda 512 ağaç			
<i>d</i> (cm)	28.9	3.4	75.0	11.1	29.0	4.6	61.9	10.2
<i>h</i> (m)	18.1	4.9	34.4	4.9	18.2	4.8	30.0	5.0
Alan (m ²)	433.6	79.0	1017.0	185.2	445.7	154.0	1134.0	235.9
<i>G</i> (m ² ha ⁻¹)	51.5	16.8	111.4	18.2	53.6	23.4	90.4	15.1
<i>N</i> (ağaç ha ⁻¹)	859.8	287.8	3797.5	591.2	838.5	370.4	2013.0	375.8
<i>H</i> ₀	22.7	11.3	31.6	4.2	23.1	10.8	27.1	4.0
<i>D</i> ₀	41.0	16.0	55.7	9.8	40.6	17.9	52.4	7.6
<i>Yaş</i>	91	30	152	25.8	94.3	22.0	144.0	28.5
<i>RS</i>	0.169	0.088	0.246	0.027	0.162	0.126	0.206	0.024

^{a/}*d*, göğüs çapı; *h*, toplam ağaç boyu; *N*, hektardaki ağaç sayısı; *G*, hektardaki göğüs yüzeyi; *H*₀, üst boy ve *D*₀, dominant çap; *RS*, Nispi sıklık; *S.D.*, Standart hata.

2.2 Yöntem

Çalışma kapsamında, meşcere çap dağılımlarını modellemek amacıyla Weibull Olasılık Yoğunluk Fonksiyonunun 3 parametrelili formu kullanılmıştır (Denklemler 1).

$$f(x) = \left(\frac{c}{b}\right) \left(\frac{x-a}{b}\right)^{c-1} \exp\left[-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right] \quad (1)$$

Burada *a*, *b* ve *c* sırasıyla Weibull dağılımının yer, ölçek ve şekil parametrelerini, *x* ise ağacın göğüs çapını (*d*) ifade etmektedir.

Weibull parametrelerini, çap momentlerini veya yüzdelikleri tahmin etmek için Cao (2004) tarafından önerilen regresyon denkleminin aşağıda verilen genel formu kullanılmıştır.

$$y = \exp[b_1 + b_2RS + b_3 \ln(N) + b_4 \ln(H) + b_5/A] + \varepsilon \quad (2)$$

Burada,

y: Weibull parametreleri, çap yüzdelikleri veya momentler (ortalama veya varyans)

$$RS = \frac{\sqrt{10000/N}}{H}; \text{ nispi sıklık (Cao, 2004)}$$

N: Hektardaki ağaç sayısı

H: Üst boy (hâkim ve müşterek hâkim ağaç), (m)

A: Meşcere yaşı (yıl)

ln(.): Doğal logaritma

*b*_{*i*}: Regresyon katsayıları

ε: Tesadüfi hatayı ifade etmektedir.

2.2.1. Parametre eldesinde kullanılan yöntemler

Olasılık yoğunluk fonksiyonlarının parametrelerinin belirlenmesinde (i) Parametre Tahmin (PP) Yöntemi, (ii) Moment Temelli Parametre Çözümleme (MPR) Yöntemi, (iii) Yüzdelik Temelli Parametre Çözümleme (PPR) ve (iv) Karma (HYB) Yöntem olmak üzere dört farklı yöntem kullanılmaktadır (Hyink ve Moser, 1983; Gadov ve Hui, 1999; Siipilehto vd., 2007; Poudel ve Cao, 2013).

2.2.1.1. Parametre tahmin yöntemi (Yöntem 1)

Bu yöntemde Weibull dağılımının parametreleri (a , b ve c) SAS yazılımının PROC NLP prosedürü kullanılarak Maksimum olabilirlik fonksiyonu ile elde edilmiş ve Denklem (2) de bağımlı değişken olarak kullanılmıştır.

2.2.1.2 Moment temelli parametre çözümlene yöntemi (Yöntem 2)

Moment temelli parametre çözümlene metodunda, Weibull yer parametresi (a) meşceredeki tahmin edilen minimum çap değeri \hat{D}_0 yardımı ile Denklem (3) kullanılarak hesaplanmıştır. Meşcere minimum çap değeri ise Denklem (2) kullanılarak tahmin edilmiştir. Yer parametresinin hesaplanmasına ilişkin formül aşağıdaki gibidir.

$$a = 0.5\hat{D}_0 \quad (3)$$

Burada ($\hat{\quad}$) simgesi üstünde bulunduğu değişkenin tahmin edilen değerini ifade etmektedir.

Bu yöntemde Weibull şekil ve ölçek parametreleri (b ve c), tahmin edilen kuadratik ortalama çap (\hat{D}_q) ve çap varyansı (\hat{D}_{var}) değerlerinden, Denklem (4) ve (5) ile hesaplanmaktadır.

$$b = -a G_1/G_2 + [(a/G_2)^2(G_1^2 - G_2) + \hat{D}_q^2/G_2]^{0.5} \quad (4)$$

$$b^2(G_2 - G_1^2) - \hat{D}_{var} = 0 \quad (5)$$

Burada, $G_i = \Gamma(1 + i/c)$ ve $\Gamma(\cdot)$ tam gama fonksiyonunu ifade etmektedir.

2.2.1.3.Yüzdellik temelli parametre çözümlene yöntemi (Yöntem 3)

Weibull yer parametresi Denklem (6) ile hesaplanmıştır. Weibull şekil ve ölçek parametreleri, tahmin edilen üç yüzdellikten (D_{25} , D_{50} , D_{95}), Denklem 7 ve 8 yardımıyla elde edilmiştir.

$$a = \hat{D} - bG_1 \quad (6)$$

$$c = \frac{\ln\left(\frac{\ln(1-0.95)}{\ln(1-0.25)}\right)}{\ln(\hat{D}_{95}-a) - \ln(\hat{D}_{25}-a)} \quad (7)$$

$$b = \frac{\hat{D}_{50}-a}{[-\ln(1-0.50)]^{1/c}} \quad (8)$$

2.2.1.4 Karma (Hibrit) yöntem (Yöntem 4)

Bu yöntemde Weibull yer parametresi Denklem (3) yardımıyla, şekil ve ölçek parametreleri ise tahmin edilen ortalama çap (\hat{D}) ve 95'inci yüzdellik (\hat{D}_{95}) değerleri kullanılarak, Denklem (9) ve (10) yardımıyla çözümlenmiştir.

$$b = \frac{\hat{D}_{95}-a}{[-\ln(1-0.95)]^{1/c}} \quad (9)$$

$$a + b\Gamma(1 + 1/c) - \hat{D} = 0 \quad (10)$$

2.2.2 Regresyon denkleminin katsayılarının tahmininde kullanılan yaklaşımlar

Denklem (2), Weibull parametrelerinin (yer, şekil ve ölçek) yanı sıra çap moment ve yüzdelliklerini de tahmin etmek için kullanılan genel bir denklem sistemidir. Çalışma kapsamında Denklem (2)'deki regresyon katsayıları, Görünürde Uyumsuz Regresyon (SUR) ve Değiştirilmiş Kümülatif Dağılım Fonksiyon Regresyonu (MCDF) olmak üzere 2 farklı yaklaşım ile tahmin edilmiştir.

2.2.2.1 SUR yaklaşımı

Weibull parametrelerini, çap moment veya yüzdellikleri tahmin etmek için kullanılan denklemler ile hata terimleri arasında korelasyon olması regresyon analizinin temel varsayımlarından biri olan hata terimlerinin bağımsızlığı ilkesini ihlal etmektedir. Bu durum elimine edilmesi amacıyla, denklem sistemindeki regresyon katsayılarının (b_k) eşzamanlı tahminine olanak sağlayan SUR yaklaşımından faydalanılmıştır. Bu amaçla, SAS (SAS Institute, 2008) yazılımındaki Model prosedürü kullanılmıştır. Yöntem 1'de Weibull parametreleri doğrudan tahmin edilmiştir. Kalan diğer yöntemlerde ise çap momentleri ve/veya yüzdellikler denklem setini oluşturmaktadır. Weibull yer parametresi (a), Denklem (3) yardımıyla elde edilmiştir.

2.2.2.2 Değiştirilmiş CDFR yaklaşımı (MCDF)

Bu yaklaşım, Cao (2004) tarafından geliştirilen Kümülatif Dağılım Fonksiyon Regresyonuna benzer bir yapıda olup, Kümülatif Dağılım Fonksiyon Regresyonu yaklaşımında tek ağaç çap değerleri kullanılırken, Değiştirilmiş CDFR yaklaşımında çap sınıfları kullanılmaktadır. Poudel ve Cao (2013) tarafından yapılan çalışmada MCDFR yaklaşımının CDFR yaklaşımına göre daha başarılı sonuçlar vermesi, bu çalışmada da MCDFR yaklaşımının tercih edilmesinde etkili olmuştur. Bununla beraber, tek ağaç çap değerlerini temel alan CDFR yaklaşımından farklı olarak MCDFR yaklaşımının çap sınıflarını temel alması, model değerlendirme kriterlerinden biri olan Hata İndeksi (EI) değerinin hesaplanmasında da yine çap sınıflarının frekanslarından faydalanılması, EI ölçütünü MCDFR yaklaşımı için daha uygun bir değerlendirme ölçütü haline getirmektedir. Bu sebeple, çalışma kapsamında CDFR yaklaşımı yerine MCDFR yaklaşımı kullanılmıştır. Bu amaçla SAS (SAS Institute, 2008) yazılımındaki Model prosedürü kullanılmıştır. 5 cm'lik çap sınıfları kullanılarak, Denklem (11)'deki fonksiyon minimize edilerek b_k değerleri tahmin edilmiştir. Denklem (11)'de,

$$\text{minimize } \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{n_i} (F_{ij} - \hat{F}_{ij})^2 / n_i \quad (11)$$

$\hat{F}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^j n_{ik}}{n_i}$, i 'inci örnek alan-yaş kombinasyonundaki j 'inci çap sınıfına ait ölçülen kümülatif olasılığı;
 n_{ik} , i 'inci örnek alan-yaş kombinasyonundaki k çap sınıfına ait ağaç sayısını;
 n_i , i 'inci örnek alan-yaş kombinasyonundaki toplam ağaç sayısını;

$\hat{F}_{ij} = 1 - \exp\left\{-\left[\frac{x_{ij}+l-a}{b}\right]^c\right\}$, j 'inci çap sınıfının üst sınırında hesaplanan Weibull CDF değerini;

x_{ij} , i 'inci örnek alan-yaş kombinasyonundaki j 'inci çap sınıfının orta noktasını ifade etmektedir.

Çalışma kapsamında Almus Yöresi doğal, aynı-yaşlı ve saf Doğu Kayını meşcerelerinin çap dağılımının modellenmesi amacıyla test edilen yöntemler ve yaklaşımlar Çizelge 2'deki gibi özetlenmiştir.

2.2.3 İstatistiksel değerlendirme kriterleri

Çalışma kapsamında kullanılan yöntemlerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi amacıyla Anderson-Darling (AD), Kolmogorov-Smirnov (KS), Negatif logaritmik olabilirlik ($mlogL$) ve Hata indeksi (EI) olmak üzere dört farklı uyum istatistiği kullanılmıştır. Değerlendirme kriterleri bakımından en küçük değere sahip olan yöntem en başarılı olarak kabul edilmektedir. Söz konusu uyum istatistiklerine ait denklemler aşağıda verilmiştir.

$$AD_i = -n_i - \sum_{j=1}^{n_i} (2j - 1) [\ln(u_j) + \ln(1 - u_{n_i-j+1})] / n_i \quad (12)$$

$$KS_i = \max\{ \max_{1 \leq i \leq n_i} [(j/n_i) - u_j], \max_{1 \leq i \leq n_i} [u_j - (j - 1)/n_i] \} \quad (13)$$

$$mLogL = \sum_{j=1}^{n_i} \left[\ln(b) - \ln(c) + (1 - c) \ln\left(\frac{x_{ij}-a}{b}\right) + \left(\frac{x_{ij}-a}{b}\right)^c \right] \quad (14)$$

$$EI_j = \sum_{k=1}^{m_i} |n_{ik} - \hat{n}_{ik}| \quad (15)$$

Burada,

$$u_j = F(x_j) = 1 - \exp\left\{-\left[\frac{x_j-a}{b}\right]^c\right\};$$

n_i , i 'inci örnek alan-yaş kombinasyonundaki ağaç sayısını;

x_j , her bir örnek alan-yaş kombinasyonundaki çap göğüs çapı değerlerinin küçükten büyüğe sıralanmış halini ($x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_{n_i}$);

x_{ij} , i 'inci örnek alan-yaş kombinasyonundaki j 'inci ağacın göğüs çapını;

n_{ik} ve \hat{n}_{ik} , k çap sınıfında sırasıyla ölçülen ve tahmin edilen ağaç sayısını;

m_i , i 'inci örnek alan-yaş kombinasyonundaki çap sınıfı sayısını ifade etmektedir.

Çizelge 2. Weibull parametrelerini tahmin etmek amacıyla kullanılan yöntemler

Yöntemler	SUR	MCDF
Yöntem 1: Weibull parametreleri	PP(SUR)	PP(MCDF)
Yöntem 2: D_q ve D_{var}	MPR(SUR)	MPR(MCDF)
Yöntem 3: D_{25} , D_{50} ve D_{95}	PPR(SUR)	PPR(MCDF)
Yöntem 4: \bar{D} ve D_{95}	HYB(SUR)	HYB(MCDF)

2.2.3.1 Yöntemlerin nispi sıralaması

Çalışmada test edilen yaklaşım-yöntem kombinasyonlarının başarı sıralaması için Poudel ve Cao (2013) tarafından önerilen nispi sıralama yöntemi kullanılmıştır. Bu sayede karşılaştırılan yöntemler hem başarı sıralarına göre sıralanmış hem de bu yöntemlerin birbirlerine olan başarı farklarının nispi yakınlıkları hakkında da bilgi edinilmiştir. i yönteminin nispi sıralaması Denklem (16) ile bulunabilmektedir.

$$R_i = 1 + \frac{(m-1)(S_i - S_{min})}{S_{max} - S_{min}} \quad (16)$$

Burada,

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

3. Bulgular ve tartışma

Çalışma kapsamında Weibull dağılımı için parametre tahmini (PP), moment temelli parametre çözümlenme (MPR), yüzdellik temelli parametre çözümlenme (PPR) ile hibrit (HYB) yöntem olmak üzere dört farklı yöntem kullanılarak Weibull dağılımının parametreleri tahmin edilmiştir. Her bir yöntem ise SUR ve MCDF olmak üzere iki farklı yaklaşımla toplamda 8 farklı alternatif test edilmiştir. Weibull parametrelerini, çap momentlerini veya yüzdelliklerini tahmin etmek amacıyla Denklem (2) bütün terimleriyle kullanılmıştır. İstatistiksel olarak anlamsız değişkenler ($p < 0.05$) teker teker denklemden çıkarılarak nihai model formu elde edilmiştir.

3.1. SUR Yaklaşımı

Weibull dağılımına ait parametrelere, çap momentlerine ve yüzdelliklerine ilişkin tahminler Çizelge 3'te, tahminlere ilişkin başarı performansları da Çizelge 4'te verilmiştir. Çizelge 4'te yer alan dört farklı değerlendirme kriterine ait ortalama değerler kullanılarak her bir yonteme ait nispi sıralama değerleri elde edilmiştir (Çizelge 5).

Çizelge 3. Görünürde İlişkisiz Regresyon (SUR) yaklaşımı ile Weibull parametrelerini, çap momentlerini ve çap yüzdelliklerini tahmin etmek için elde edilen regresyon denklemlerinin katsayıları.

Bağımlı değişken	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5
a	5.7768	-4.1798	-0.3743		0.2280
b	2.7357	0.0599	-0.0926		-19.1341
c	0.0518				8.1584
D_0	6.9573	-4.9462	-0.5599	0.0426	9.3431
D_{var}	2.7505		-0.4040	1.3595	9.3431
D_{25}	7.7201	-5.1595	-0.5678		2.0026
D_{50}	7.4494	-4.1181	-0.5176		
D_{95}	7.9511	-4.1778	-0.5317		
\bar{D}	7.6252	-4.4730	-0.5344		0.1852
D_q	7.4374	-4.2599	-0.5202	0.0329	-0.2476

Çizelge 4. Görünürde İlişkisiz Regresyon (SUR) yaklaşımına dayalı farklı yöntemlerle elde edilen uyum istatistiklerinin ortalamaları ve standart sapmaları

Yöntem	AD		KS		mLogL		EI	
	Ort.	S.D	Ort.	S.D	Ort.	S.D	Ort.	S.D
PP	29.5900	25.7159	7.9903	1.8059	127.8730	43.6991	1564.7800	649.5241
MPR	3.2729	3.7141	6.2459	2.6938	106.6574	24.4673	1167.2000	603.7183
PPR	3.4016	4.0102	6.4211	2.7458	106.5845	24.7611	1170.8900	602.1702
HYB	3.2661	3.8153	6.2774	2.6312	106.4981	24.8222	1162.8100	578.2281

AD = Anderson-Darling istatistiği, KS = Kolmogorov-Smirnov istatistiği, mLogL = Negatif Log-Likelihood istatistiği, EI = Hata indeksi, S.D.= Standart hata, PP= Parametre Tahmin Yöntemi, MPR = Moment Temelli Parametre Çözümleme Yöntemi, PPR = Yüzdellik Temelli Parametre Çözümleme Yöntemi, HYB = Hibrit Yöntem

Çizelge 5. Görünürde İlişkisiz Regresyon (SUR) yaklaşımına dayanan dört yöntemin nispi sıralaması

Yöntem	Nisbi Sıralama				Sıralar toplamı	Genel sıralama
	AD	KS	mLogL	EI		
PP	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000	16.0000	4.0000
MPR	1.0008	1.0000	1.0224	1.0328	4.0559	1.0004
PPR	1.0154	1.3012	1.0121	1.0603	4.3891	1.0841
HYB	1.0000	1.0542	1.0000	1.0000	4.0542	1.0000

AD = Anderson-Darling istatistiği, KS = Kolmogorov-Smirnov istatistiği, mLogL = Negatif Log-Likelihood istatistiği, EI = Hata indeksi, PP= Parametre Tahmin Yöntemi, MPR = Moment Temelli Parametre Çözümleme Yöntemi, PPR = Yüzdellik Temelli Parametre Çözümleme Yöntemi, HYB = Hibrit Yöntem

SUR yaklaşımı ile test edilen yöntemlerin nispi sıralama değerleri incelendiğinde, en başarılı tahminlerin hibrit bir yöntem olan HYB(SUR) (\bar{D} ve D_{95}) ile elde edildiği, en başarısız tahminlerin ise parametre tahmin yöntemi olan PP(SUR) ile elde edildiği görülmektedir. Arada kalan modellerin nispi sıralamaları incelendiğinde ise moment temelli bir parametre çözümleme yöntemi olan MPR(SUR) (D_q ve D_{var}) ve yüzdellik temelli bir parametre çözümleme yöntemi olan PPR(SUR) (D_{25} , D_{50} ve D_{95}) yöntemlerinin de oldukça başarılı tahminler yaptığı anlaşılmaktadır. Yöntemlerin nispi sıralama değerleri kullanılarak elde edilen radar grafikleri ise Şekil 2'de gösterilmiştir.

Şekil 1'de de görüleceği üzere PP(SUR) yöntemi ile diğer yöntemler arasında olan başarı farklı her bir yöntemin grafik üzerinde sahip olduğu alanının büyüklüğü itibariyle açıkça görülmektedir. Temsil ettikleri alan bakımından daha küçük dörtgene sahip olan yöntemler daha başarılı olarak kabul edilmektedir.

3.2. Değiştirilmiş CDFR yaklaşımı

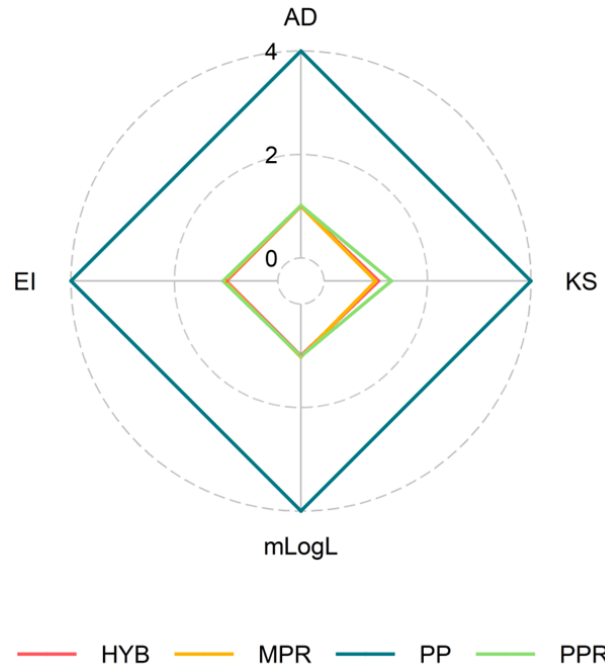
Çalışma kapsamında Değiştirilmiş CDFR (MCDF) yaklaşımını kullanarak test edilen dört yönteme ait parametre tahminleri Çizelge 6'da verilmiştir. Yöntemlerin başarı performanslarını değerlendirmek amacıyla kullanılan dört farklı uyum istatistiğine ait ortalama ve standart hata değerleri ise Çizelge 7'de görülmektedir.

Yöntemlerin her biri için hesaplanan dört uyum istatistiğine ait ortalama değerleri kullanılarak, bu grupta yer alan dört yöntemin yine kendi içerisinde nispi sıralama değerleri hesaplanmıştır. Yöntemlere ait nispi sıralama değerleri Çizelge 8'de; bu değerlerden elde edilerek oluşturulan radar grafiği ise Şekil 2'de gösterilmiştir.

MCDF kapsamında test edilen yöntemlerin nispi sıralama değerleri incelendiğinde en başarılı tahminlerin moment temelli parametre çözümleme yöntemi olan MPR (D_q ve D_{var}) ile elde edildiği görülmektedir. Bu grupta yer alan modeller arasında en başarısız tahminler ise yüzdellik temelli parametre çözümleme yöntemi olan PPR (D_{25} , D_{50} ve D_{95}) ile elde edilmiştir. Hibrit bir yöntem olan HYB (\bar{D} ve D_{95}) ise nispi sıralaması 1.67 ile en başarılı ikinci model olarak belirlenmiştir. Bununla beraber parametre tahmin yöntemi olan PP (Weibull parametreleri) yöntemi 3.73 değerindeki

nispi sırası ile en başarısız ikinci model olarak ortaya konmuştur.

MCDF yaklaşımı ile geliştirilen dört farklı yöntemle ait uyum istatistikleri kullanılarak elde edilen nispi sıralama değerleri ile oluşturulan radar grafiği (Şekil 3), her bir yöntemin başarı durumunu oluşturdukları dörtgenlerin alanları ile temsil etmektedir. Şekil 2 incelendiğinde, en başarılı yöntem olan MPR'nin en küçük alana sahip dörtgen ile temsil edildiği görülmektedir. Görsel olarak yapılan bir inceleme ile en başarılı iki model ile en başarısız iki modelin tahmin başarılarının birbirlerine yakın olduğu söylenebilir. Bir başka deyişle MPR ile HYB'nin; PP ile PPR'nin birbirine yakın tahmin performansları gösterdiği söylenebilir.



Şekil 2. SUR yaklaşımına dayanan dört yöntemin nispi sıralaması (PP= Parametre Tahmin Yöntemi, MPR = Moment Temelli Parametre Çözümleme Yöntemi, PPR = Yüzdellik Temelli Parametre Çözümleme Yöntemi, HYB = Hibrit Yöntem)

Çizelge 6. Değiştirilmiş Kümülatif Dağılım Fonksiyon Regresyonu (MCDF) yaklaşımı ile Weibull parametrelerini, çap momentlerini ve çap yüzdelerini tahmin etmek için elde edilen regresyon denklemlerinin katsayıları

Yöntem	Bağımlı değişken	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5
PP	b	8.9437	-6.0422	-0.6959	-0.0586	-7.2873
	c	1.3396	-5.0889		0.1154	
MPR	D_q	8.1790	-4.6741	-0.6367	0.0680	8.1790
	D_{var}	11.3901		-1.1038	0.0772	11.3901
PPR	D_{25}	-4.1892		2.0031	-0.9173	-127.4290
	D_{50}	4.9580	-2.1247	-0.4624	0.5823	
	D_{95}	-0.2442		2.0347	-1.8867	-150.1050
HYB	\bar{D}	7.4414	-4.1653	-0.5995	0.1888	
	D_{95}	4.6396		-0.3976	0.5750	

PP= Parametre Tahmin Yöntemi, MPR = Moment Temelli Parametre Çözümleme Yöntemi, PPR = Yüzdellik Temelli Parametre Çözümleme Yöntemi, HYB = Hibrit Yöntem

Çizelge 7. Değiştirilmiş Kümülatif Dağılım Fonksiyon Regresyonu (MCDF) yaklaşımına dayalı farklı yöntemlerle elde edilen uyum istatistiklerinin ortalamaları ve standart sapmaları

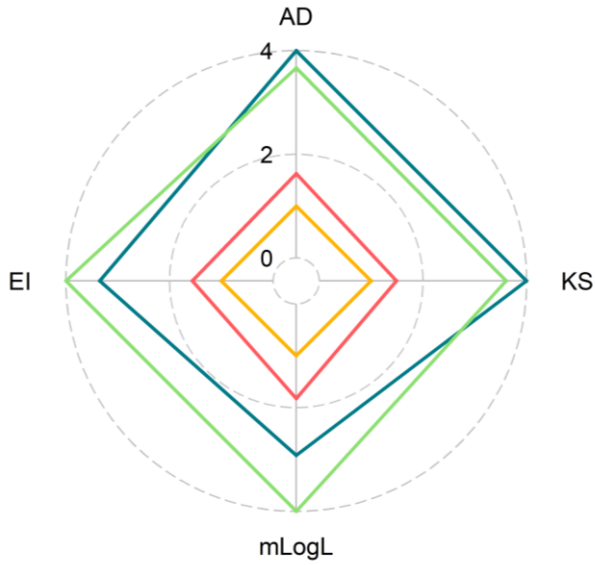
Yöntem	AD		KS		mLogL		EI	
	Ort.	S.D	Ort.	S.D	Ort.	S.D	Ort.	S.D
PP	3.7857	6.5709	0.2234	0.0807	107.2847	27.5353	1136.4200	485.5033
MPR	3.4972	5.9269	0.2107	0.0857	106.9426	27.0619	1108.2100	422.5350
PPR	3.7537	5.5024	0.2217	0.0889	107.4773	27.9738	1144.2700	490.9906
HYB	3.5575	5.9047	0.2127	0.0871	107.0898	27.1943	1114.9600	431.8553

AD = Anderson-Darling istatistiği, KS = Kolmogorov-Smirnov istatistiği, mLogL = Negatif Log-Likelihood istatistiği, EI = Hata indeksi, S.D.= Standart hata, PP= Parametre Tahmin Yöntemi, MPR = Moment Temelli Parametre Çözümleme Yöntemi, PPR = Yüzdellik Temelli Parametre Çözümleme Yöntemi, HYB = Hibrit Yöntem

Çizelge 8. Değiştirilmiş Kümülatif Dağılım Fonksiyon Regresyonu (MCDF) yaklaşımına dayanan dört yöntemin nispi sıralaması

Yöntem	Nisbi sıralama				Sıralar toplamı	Genel sıralama
	AD	KS	mLogL	EI		
PP	4.0000	4.0000	2.9198	3.3469	14.2667	3.7324
MPR	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	4.0000	1.0000
PPR	3.6673	3.6046	4.0000	4.0000	15.2720	4.0000
HYB	1.6272	1.4894	1.8261	1.5616	6.5042	1.6665

AD = Anderson-Darling istatistiği, KS = Kolmogorov-Smirnov istatistiği, mLogL = Negatif Log-Likelihood istatistiği, EI = Hata indeksi, PP= Parametre Tahmin Yöntemi, MPR = Moment Temelli Parametre Çözümleme Yöntemi, PPR = Yüzdellik Temelli Parametre Çözümleme Yöntemi, HYB = Hibrit Yöntem



— HYB — MPR — PP — PPR

Şekil 3. MCDF yaklaşımına dayanan dört yöntemin nispi sıralaması (PP= Parametre Tahmin Yöntemi, MPR = Moment Temelli Parametre Çözümleme Yöntemi, PPR = Yüzdellik Temelli Parametre Çözümleme Yöntemi, HYB = Hibrit Yöntem)

3.3. SUR ve MCDF yaklaşımlarının karşılaştırılması

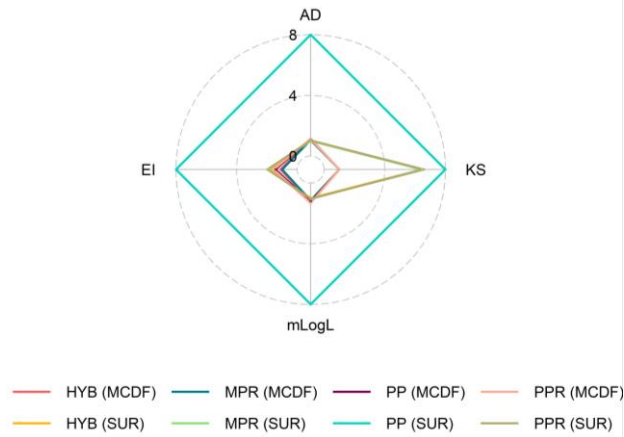
Çalışma kapsamında test edilen modellerin her iki modelleme yaklaşımı itibariyle birlikte değerlendirilmesi ile toplamda sekiz modelin tahmin başarısı belirlenmiştir. Bu amaçla her bir yöntem için hesaplanan dört farklı uyum istatistiği kullanılarak genel bir nispi sıralama uygulanmıştır (Çizelge 9).

Çizelge 9'un incelenmesiyle toplamda sekiz model arasında en başarılı tahminleri veren modelin MCDF yaklaşımı kullanılarak geliştirilen moment temelli parametre çözümleme yöntemi olan MPR (MCDF)'nin olduğu anlaşılmaktadır. Bu kapsamda değerlendirilen modeller arasında en başarısız tahminlerde bulunan modelin ise SUR yaklaşımı kullanılarak geliştirilen parametre tahmin yöntemi olan PP (SUR) olduğu görülmektedir. Çizelge 9'da yer alan nispi sıralama değerleri kullanılarak oluşturulan ve her bir modelin uyum ölçütleri itibariyle nispi sıralamasını dörtgenler şeklinde temsil eden radar grafiği ise Şekil 4'te verilmiştir.

Çizelge 9. SUR ve MCDF yaklaşımına dayanan toplamda sekiz yöntemin nispi sıralaması

Yöntem	Nisbi sıralama				Sıralar toplamı	Genel sıralama
	AD	KS	mLogL	EI		
PP (SUR)	8.0000	8.0000	8.0000	8.0000	32.0000	8.0000
MPR (SUR)	1.0018	6.4305	1.0522	1.9044	10.3889	2.5570
PPR (SUR)	1.0360	6.5881	1.0283	1.9610	10.6134	2.6135
HYB (SUR)	1.0000	6.4588	1.0000	1.8371	10.2959	2.5336
PP (MCDF)	1.1382	1.0114	1.2576	1.4325	4.8397	1.1594
MPR (MCDF)	1.0615	1.0000	1.1456	1.0000	4.2070	1.0000
PPR (MCDF)	1.1297	1.0099	1.3207	1.5529	5.0131	1.2030
HYB (MCDF)	1.0775	1.0019	1.1938	1.1035	4.3766	1.0427

AD = Anderson-Darling istatistiği, KS = Kolmogorov-Smirnov istatistiği, mLogL = Negatif Log-Likelihood istatistiği, EI = Hata indeksi



Şekil 4. Tüm modellerin birlikte değerlendirildiği nispi sıralama (PP= Parametre Tahmin Yöntemi, MPR = Moment Temelli Parametre Çözümleme Yöntemi, PPR = Yüzdellik Temelli Parametre Çözümleme Yöntemi, HYB = Hibrit Yöntem)

Tüm modellerin birlikte değerlendirildiği durumda sekiz model arasından en başarısız tahminlerde bulunan model olan PP(SUR) ile diğer modeller arasında önemli ölçüde nispi bir başarı farkı olduğu görülmektedir. Bu durum PP(SUR)'un Şekil 5'te görece çok daha büyük bir alana sahip dörtgen ile temsil edilmesinden anlaşılabilir. Kalan diğer modeller ise farklı tahmin başarısına sahip olmakla birlikte görece birbirine daha yakın nispi sıralara sahiptir. Ayrıca SUR yaklaşımı ile geliştirilen modellerin MCDF yaklaşımı ile geliştirilen modellere göre KS uyum istatistiğinin daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bu durum SUR yaklaşımında, MCDF yaklaşımından farklı olarak çap sınıfları yerine tek ağaç çaplarını temel almasından kaynaklanabilir. Zira, KS istatistiği AD istatistiğine göre uçlara daha az ağırlık vermektedir (Cirillo ve Hüsler, 2009).

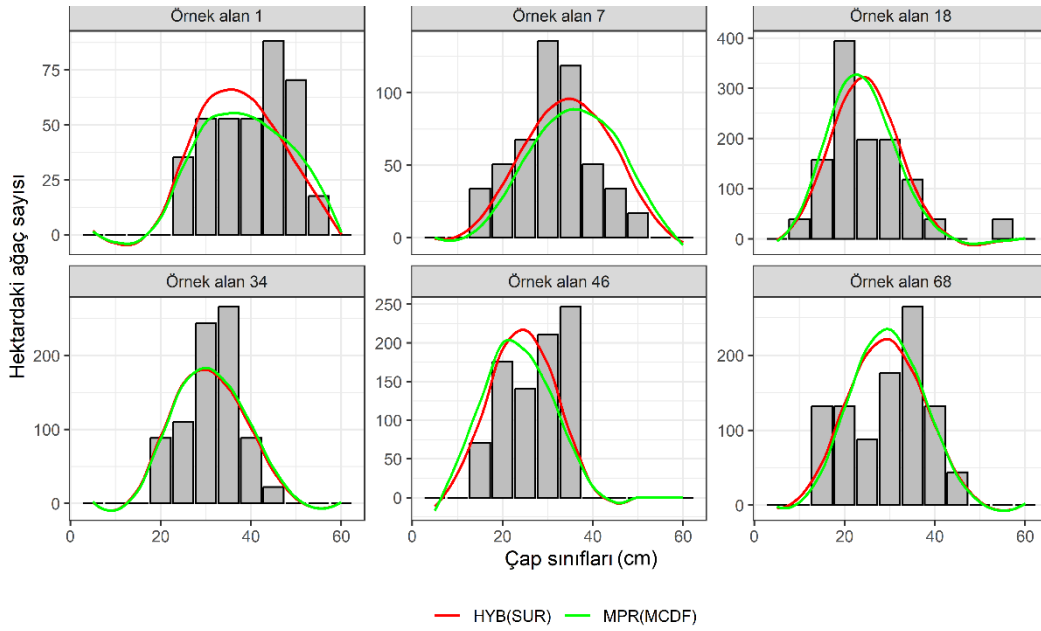
Her iki modelleme yaklaşımı ile geliştirilen tüm modeller arasında en başarısız olan model haricinde kalan modellerin, tahmin başarılarının modelleme yaklaşımı itibarıyla ayrıldığı görülmektedir. Bu kapsamda en başarılı 4 model MCDF yaklaşımı ile geliştirilen modeller olurken, SUR yaklaşımı ile geliştirilen modellerin de PP(SUR) hariç, birbirlerine benzer tahmin başarıları gösterdikleri anlaşılmaktadır. Modelleme yaklaşımları itibarıyla yapılacak olan bir değerlendirme sonucunda MCDF yaklaşımının SUR yaklaşımına göre daha başarılı modeller geliştirilmesine imkân verdiği söylenebilir. Poudel ve Cao (2013) tarafından yapılan çalışmada SUR, CDRF ve MCDF yaklaşımları kapsamında parametre tahmin, moment ve yüzdellik temelli parametre çözümleme ve hibrit yöntemlerin değerlendirildiği çalışmada, SUR yaklaşımı ile

geliştirilen modellerin CDFR ve MCDF yaklaşımı ile geliştirilen modellere göre daha başarısız sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar da Poudel ve Cao (2013) tarafından belirtilen sonuçlar ile benzerlik göstermektedir. Ayrıca Cao (2004) tarafından yapılan çalışmada da yine SUR yaklaşımının CDFR yaklaşımına göre daha başarısız sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Benzer şekilde Sa vd. (2023) Weibull dağılımı parametrelerinin tahmininde kümülatif dağılım fonksiyonunun daha başarılı olduğunu belirtmiştir. Özçelik vd. (2022) CDF yaklaşımı ile geliştirilen hibrit yöntemin en başarılı sonuçları verdiğini belirtmiştir. Benzer şekilde bu çalışmada da en başarılı sonuçlar, hibrit yöntemlerin MCDF yaklaşımı ile kullanılmasıyla elde edilmiştir.

Çalışma kapsamında geliştirilen modellerden SUR yaklaşımı kapsamında en başarılı sonuçları veren HYB(SUR) ile MCDF yaklaşımı kapsamında en başarılı sonuçları veren MPR(MCDF) modellerinin tahmin başarıları, model test verilerinden seçilen 6 adet örnek alan üzerinde karşılaştırılmıştır (Şekil 5).

Model test verilerinden seçilen bazı örnek alanlar üzerinde her iki modelleme yaklaşımlarının en başarılı olan iki modelin, çap dağılımının karakterize edilmesinde benzer sonuçlar verdiği görülmektedir. Özellikle Örnek alan 34 için MPR(MCDF) ve HYB(SUR) modellerinin tahmin başarılarının birbirine çok yakın olduğu anlaşılmaktadır.

Parametre tahmin yöntemleri itibarıyla bir karşılaştırma yapıldığında moment temelli parametre çözümleme yönteminin hem SUR hem de MCDF yaklaşımları kapsamında en iyi yöntem olduğu söylenebilir. Her ne kadar MCDF yaklaşımı kapsamında en başarılı tahminlerde bulunan model hibrit bir yöntem olan HYB(MCDF) olsa da, bu model ile moment temelli parametre çözümleme yöntemi olan MPR(MCDF)'nin nispi sıralama değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Bu sebeple, Moment temelli parametre çözümleme yöntemlerinin diğer yöntemlere göre daha başarılı sonuçlar verdiğini söylenebilir. Benzer sonuçlar Sun vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada da belirtilmiş olup, moment temelli yöntemin hibrit yöntemlere göre daha başarılı olduğu bildirilmiştir.



Şekil 5. SUR ve MCDF yaklaşımları kapsamında en başarılı tahminler yapan iki yöntemin karşılaştırılması

4. Sonuç ve öneriler

Bu çalışmada Almus yöresi doğal Doğu Kayını meşcerelerinin çap dağılımını modellemek amacıyla ormancılık çalışmalarında sıklıkla tercih edilen ve başarılı sonuçlar veren bir olasılık yoğunluk fonksiyonu olan Weibull dağılımı kullanılmıştır. Weibull dağılımının parametre tahmini için çeşitli parametre tahmin yöntemleri test edilmiştir. Bununla birlikte, parametre tahmini için SUR ve MCDF modelleme yaklaşımlarından faydalanılmıştır. Toplamda iki farklı modelleme yaklaşımı ile dört farklı parametre tahmin yöntemi test edilmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen bulgular, MCDF yaklaşımı ile geliştirilen parametre tahmin yöntemlerinin tümünün, SUR yaklaşımı ile geliştirilen yöntemlerden daha başarılı olduğunu göstermektedir. SUR yaklaşımı kullanılarak geliştirilen modeller arasında en başarılı sonuçlar ise hibrit ve moment temelli parametre çözümleme yöntemleri ile elde edilmiştir. MCDF yaklaşımında ise yine benzer olarak en başarılı sonuçlar yine moment temelli parametre çözümleme yöntemi ile elde edilmiştir. SUR yaklaşımı kapsamında test edilen parametre tahmin yöntemi olan PP(SUR) ise tahmin başarısı bakımından diğer yöntemlerden oldukça geri kalmaktadır.

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlara göre Almus yöresi Doğu Kayını meşcerelerinin çap dağılımının modellenmesi amacıyla MCDF yaklaşımının SUR yaklaşımına göre daha başarılı olduğu sonucuna varılabilir. MCDF yaklaşımı ile moment temelli parametre çözümleme yöntemi veya hibrit yöntemin kullanılmasının, ilgili yöre için Weibull dağılımının parametre tahmininde başarılı sonuçlar vereceği düşünülmektedir. SUR yaklaşımı kapsamında ise yine moment temelli parametre çözümleme yönteminin ilgili yöre için Doğu kayını meşcerelerinin çap dağılımının modellenmesinde güvenle kullanılabilmesi söylenebilir.

Bir meşceredeki ağaçların çap sınıflarına dağılımı, yetiştirme ortamı, bonitet, bakı, yöre ve ağaç türü gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar Tokat-Almus yöresi saf ve doğal Doğu

Kayını meşcereleri için geçerli olup, farklı yöre ve ağaç türlerinin çap dağılımının modellenmesinde ilgili yörede yersel ölçümler yapılarak model geliştirme süreci yeniden yapılmalıdır.

Açıklama

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından desteklenen 122R010 numaralı projedeki verilerin bir kısmı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

- Bailey, R.L., Dell, T.R., 1973. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. *Forest Science*, 19(2): 97-104.
- Bankston, J.B., Sabatia, C.O., Poudel, K.P., 2021. Effects of sample plot size and prediction models on diameter distribution recovery. *Forest Science*, 67(3): 245-255.
- 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.
- 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.
- Cao, Q.V., 2004. Predicting parameters of a Weibull function for modeling diameter distribution. *Forest Science*, 50(5): 682-685.
- Cirillo, P., Hüsler, J., 2009. On the upper tail of Italian firms' size distribution. *Physica A: Statistical Mechanics and its applications*, 388(8): 1546-1554.
- Clutter, J.L., Bennet, F.A., 1965. Diameter distributions in old-field slash pine plantation. Georgia Forest Research Council, Report No: 13, USA.
- Diamantopoulou, M.J., 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. *Biosystems Engineering*, 133: 33-45.
- 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, Artvin, pp. 119-126.

- 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*, 4(2): 122-132.
- 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 University Journal of Forestry Faculty*, 10(1): 68-83.
- Gadow, K.V. Hui, G., 1999. *Modeling Forest Development*. Springer, Dordrecht, Netherlands.
- Gorgoso, J., González, J.Á., Rojo, A., Grandas-Arias, J., 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, J.J., Rojo, A., Obregón, A.C., Aranda, U.D., 2012. A comparison of estimation methods for fitting Weibull, Johnson's S and beta functions to *Pinus pinaster*, *Pinus radiata* and *Pinus sylvestris* stands in northwest Spain. *Forest systems*, 21(3): 446-459.
- Hafley, W.L., Schreuder, H.T., 1977. Statistical distributions for fitting diameter and height data in even-aged stands. *Canadian Journal of Forest Research*, 7(3): 481-487.
- Huang, S., Price, D., Morgan, D., Peck, K., 2000. Kozak's variable-exponent taper equation regionalized for white spruce in Alberta. *Western Journal of Applied Forest*, 15: 75-85.
- 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.
- Jiang, L., Brooks, J.R., 2009. Predicting diameter distributions for young longleaf pine plantations in Southwest Georgia. *Southern Journal of Applied Forestry*, 33(1): 25-28.
- 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.
- Kahyaoglu, N., 2017. Sinop yöresi Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) ormanlarının toprak üstü biyokütle ve karbon depolama miktarlarının belirlenmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Kalıpsız, A., 1998. *Orman Hasılat Bilgisi*. İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Klos, R.J., Wang, G.G., Dang, Q.L., East, E.W., 2007. Taper equations for five major commercial tree species in Manitoba, Canada. *Western Journal of Applied Forestry*, 22(3): 163-170.
- Knowe, S.A., Radosevich, S.R., Shula, R. G., 2005. Basal area and diameter distribution prediction equations for young Douglas-Fir plantations with hardwood competition: Coast ranges. *Western Journal of Applied Forestry*, 20(2): 77-93.
- Konukçu, M., 2001. *Ormanlar ve Ormancılığımız* (Genişletilmiş 2. Baskı). Devlet Planlama Teşkilatı Yayın ve Temsil Dairesi Başkanlığı Yayınları, Ankara.
- Lei, Y., 2008. Evaluation of three methods for estimating the Weibull distribution parameters of Chinese pine (*Pinus tabulaeformis*). *Journal of Forest Science*, 54(12): 566-571.
- Liu, C., Zhang, L., Davis, C.J., Solomon, D.S., Gove, J.H., 2002. A finite mixture model for characterizing the diameter distributions of mixed-species forest stands. *Forest Science*, 48(4): 653-661.
- Liu, F., 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., Puumalainen, J., Päivinen, R., 1995. Comparison of beta and Weibull functions for modelling basal area diameter distribution in stands of *Pinus sylvestris* and *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 10(1-4): 284-295.
- Maltamo, M., 1997. Comparing basal area diameter distributions estimated by tree species and for the entire growing stocks in mixed stand. *Silva Fennica*, 31(1): 53-65.
- Newton, P.F., Lei, Y., Zhang, S.Y., 2005. Stand-level diameter distribution yield model for black spruce plantations. *Forest Ecology and Management*, 209(3): 181-192.
- OGM, 2020. *Orman Varlığımız*. Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Özçelik, R., Cao, Q.V., Kurnaz, E., Koparan, B., 2022. Modeling Diameter Distributions of Mixed-Oak Stands In Northwestern Turkey. *CERNE*, 28(1): e-102991.
- Palahí, M., Pukkala, T., Trasobares, A., 2006. Modelling the diameter distribution of *Pinus sylvestris*, *Pinus nigra* and *Pinus halepensis* forest stands in Catalonia using the truncated Weibull function. *Forestry*, 79(5): 553-562.
- Palahí, M., Pukkala, T., Blasco, E., Trasobares, A., 2007. Comparison of beta, Johnson's SB, Weibull and truncated Weibull functions for modeling the diameter distribution of forest stands in Catalonia (north-east of Spain). *European Journal of Forest Research*, 126(4): 563-571.
- Parresol, B.R., 2003. *Recovering parameters of Johnson's SB distribution*. USA: USDA Forest Service Research Papers.
- Poudel, K.P., Cao, Q.V., 2013. Evaluation of methods to predict Weibull parameters for characterizing diameter distributions. *Forest Science*, 59(2): 243-252.
- Sa, Q., Jin, X., Pukkala, T., Li, F., 2023. Developing Weibull-based diameter distributions for the major coniferous species in Heilongjiang Province, China. *Journal of Forestry Research*, 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-023-01610-9>
- SAS Institute. 2008. *SAS/IML User's Guide*. New York: Sas Institute. Inc., USA.
- Schmidt, L.N., Sanquetta, M.N.I., McTague, J.P., da Silva, G.F., Fraga Filho, C.V., Sanquetta, C.R., Soares Scolforo, J.R., 2020. On the use of the Weibull distribution in modeling and describing diameter distributions of clonal eucalypt stands. *Canadian Journal of Forest Research*, 50(10): 1050-1063.
- 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.
- Stankova, T.V., Zlatanov, T.M., 2010. Modeling diameter distribution of Austrian black pine (*Pinus nigra* Arn.) plantations: A comparison of the Weibull frequency distribution function and percentile-based projection methods. *European Journal of Forest Research*, 129(6): 1169-1179.
- Sun, S., Cao, Q.V., Cao, T., 2019. Characterizing diameter distributions for uneven-aged pine-oak mixed forests in the Qinling Mountains of China. *Forests*, 10(7): 596.
- Wang, M., Rennolls, K., 2005. Tree diameter distribution modelling: Introducing the logit logistic distribution. *Canadian Journal of Forest Research*, 35(6): 1305-1313.
- 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.