

Antalya yöresi doğal sedir meşcereleri için çap dağılım modelinin Johnson's S_B Dağılımı ile geliştirilmesi

Burak Baş^a , Ramazan Özçelik^{b,*} 

Özet: Sedir (*Cedrus libani* A. Rich.) ekonomik ve ekolojik açıdan Türkiye'deki en önemli asli ağaç türlerinden birisidir. Doğal sedir ormanlarının bugün ve geleceğe dönük yönetim ve planlanması ile ilgili stratejilerinin geliştirilmesinde, bu ormanların büyüme ve hasılatına ilişkin bilgiler son derece önemlidir. Çap dağılımı modelleri, yatay meşcere yapısı hakkında ve birim alandaki hacim, göğüs yüzeyi ve ağaç sayısı gibi her çap sınıfı için bilgilerin elde edilmesine yardımcı olmaktadır. Bu bilgiler, meşcereden elde edilecek odun ürününün farklı endüstriyel alanlardaki kullanım yeri ve elde edilmesi muhtemel parasal hasılatın ortaya konmasında önemlidir. Bu çalışmada, Antalya Yöresi doğal sedir meşcerelerinin çap dağılımının ortaya konması amaçlanmıştır. Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, çap dağılımını tanımlamak için, Log-normal, exponential, gama, beta, Weibull ve Johnson's S_B gibi birçok farklı olasılık yoğunluk fonksiyonu kullanılmıştır. Johnson's S_B fonksiyonu, ormancılık araştırmalarında teorik dağılımlara benzedeki esnekliği nedeniyle en çok kullanılan dağılımlardan birisidir. Bu çalışmada, doğal sedir meşcerelerinin çap dağılımlarının modellenmesi amacıyla Johnson's S_B dağılım fonksiyonu kullanılmıştır. Bu amaçla, doğal sedir meşcerelerinden 109 adet örnek alan ölçülmüştür. Parametre tahmini için yüzdelik moment metodunu temel alan 3 parametrelili çözüm yöntemi kullanılmıştır. Yapılan çap tahminleri ile gözlemlenen çap tahminleri arasındaki fark, hata indeksi ve Kolmogorov-Smirnov testi ile değerlendirilmiştir. İlgili yörede, Johnson's S_B dağılımı ve parametre tahmini için yüzdelik moment metodunu esas alan 3 parametrelili çözüm yöntemi kullanılarak doğal sedir meşcerelerinin çap dağılımının gerçeğe yakın şekilde ortaya konabileceği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Sedir, Çap dağılımı, Hata indeksi, Meşcere yapısı

Development of diameter distribution model for natural cedar stands in Antalya region using Johnson's S_B Distribution

Abstract: Taurus cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) forests are economically and ecologically one of the most important forests in Turkey. In this context, knowing the state and limitations of growth and yield of Cedar forests is necessary and important for improving future management and planning strategies. Diameter distribution models are provide information for data about horizontal stand structure and each diameter class: number of trees, basal area, and volume per unit area. These predictions is used to predict volume yield and to forecast the range of products. In this study, diameter distribution models were developed for natural cedar stands in Antalya Region. Many different probability density functions such as log-normal, exponential, gamma, beta, Weibull, and Johnson's S_B have been used to describe diameter distributions. Johnson's S_B function are among the most commonly used in forest research because of their flexibility in mimicking the empirical distributions. In this study, Johnson's S_B distribution was used for modeling diameter distributions of natural cedar stands. For this aim, 109 sample plots measured from natural distribution areas of natural cedar stands. The obtained results from observed and predicted diameter distributions of sample plots were compared using Error index and Kolmogorov-Smirnov Test. The results show good performance of three-parameter recovery method. The major advantage of 3-parameter recovery method relies on the reduced level of input information required.

Keywords: Cedar, Diameter distribution, Error index, Stand structure

1. Giriş

Toros sediri (*Cedrus libani* A. Rich), ülkemiz için ekonomik ve ekolojik açıdan önemli ağaç türlerinden biridir. Tür, doğal yayılış gösterdiği Suriye ve Lübnan'da plansız üretim, aşırı otlama ve yangınlar gibi sebeplerle varlığı neredeyse tükenmiş, yayılış alanı ülkemiz ile sınırlı bir hal almıştır (Boydak, 2003; Boydak, 2007). Bu nedenle, doğal sedir ormanları ülkemiz için, korunması gereken en önemli kültürel miras ve doğal hazine niteliğindedir. Ekolojik açıdan ise; toprak ve su kaynaklarının korunması,

iklim değişiminin olumsuz etkisinin azaltılması ve buna adaptasyon sağlanması ve biyolojik çeşitliliğin korunması gibi önemli çevresel konularda anahtar bir role sahiptir (Fischer vd., 2008). Üstelik, değerli ve çok yönlü kullanıma sahip odunu nedeniyle de önemli bir ekonomik değere sahiptir ve piyasada yüksek miktarda talebe konu olmaktadır. Bu çerçevede, sedir ormanlarının bir taraftan korunması, diğer taraftan da sürdürülebilir yönetimi amacıyla, geleceğe dönük planlama ve stratejilerin oluşturulması için bu ormanların mevcut durumuna, büyüme

✉ ^a Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta

^b Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Isparta

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

✓ **Received** (Geliş tarihi): 05.01.2022, **Accepted** (Kabul tarihi): 07.02.2022



Citation (Atıf): Baş, B., Özçelik, R., 2022. Antalya yöresi doğal sedir meşcereleri için çap dağılım modelinin Johnson's S_B Dağılımı ile geliştirilmesi. Turkish Journal of Forestry, 23(1): 21-29.

DOI: 10.18182/tjf.105870

ve gelişme özelliklerine ilişkin güvenilir ve nitelikli bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır.

Büyüme ve hasılat modellerinin en önemli altlıklarından birisi de meşcerelere ilişkin çap dağılımlarıdır (Sakıcı ve Dal, 2021). Orman yöneticileri, ağaç çaplarının büyüklüğü ya da dağılımı yardımı ile ilgili meşcereden elde edilecek odun ürününün farklı endüstriyel alanlardaki kullanım yeri ve farklı ürünlerden elde edilmesi mutemel parasla hasılatın ortaya konabilmesi (Borders vd., 2008; Gorgoso vd., 2012) için bir meşceredeki farklı çap sınıflarındaki ağaçların sayısını tahmin etmek istemektedirler. Diğer yandan çap sınıfları meşcere yapısı, yaş dağılımı, meşcere kuruluşu gibi önemli silvikültürel müdahalelerin planlanması açısından da bilgiler elde edilmesine yardımcı olmaktadır. Ağaç çapının üretim çalışmalarında da önemli bir faktör olması; üretim çalışmalarında kullanılacak makine tipine ve üretilecek odunun nakliyesine karar verilirken de meşcerelere ilişkin çap dağılımının belirlenmesi gereklidir (Bailey ve Dell, 1973). Yine orman amenajmanı çalışmalarında kullanılmak üzere, biyokütle, karbon veya odundan elde edilebilecek enerjinin her çap sınıfı için tahmini gibi bilgilerin çap dağılımı modelleri yardımı ile kolaylıkla elde edilebileceği belirtilmektedir (Borders vd., 2008). Bankston vd. (2021), meşcerelerin çap dağılımları, bir taraftan farklı yaban hayatı özelliklerine hitap edebilecek meşcere yapıları hakkında bilgi elde edilmesine imkan sağlarken, diğer taraftan da odun üretim faaliyetleri için ilgili meşcereden gelecekte elde edilebilecek ürün miktarı ve bunun farklı ticari standartlara dağılımı (kâğıt üretimi, kereste vb.) hakkında bilgiler elde edilmesine, farklı yönetim ve planlama kararlarının oluşturulmasına da yardımcı olduğunu ifade etmiştir. Sonuç olarak meşcerede çap dağılımının gerçeğe yakın bilinmesi meşcerelere ilişkin büyüme ve hasılat tahminlerinin daha doğru yapılmasına ve dolayısı ile de amenajman planlarının daha tutarlı ve uygulanabilir olmasına yardımcı olacaktır. Ormanların yönetimi konusunda alınan kararlar, kaynakların şimdiki ve gelecekteki durumlarına bağlı olarak şekillenmektedir. Ağacın hacmi ve diğer özellikleri ağacın çapına bağlı olduğundan, çap dağılımı bir meşcerenin özelliklerini iyi bir şekilde karakterize edilmektedir. (Bailey ve Dell, 1973).

Meşcerelere ilişkin çap dağılımlarının modellenmesi amacıyla uzun yıllardır Beta, Log-normal, Johnson's S_B ve Weibull dağılımları gibi çok sayıda ve farklı çap dağılımı modeli kullanılmıştır (Sakıcı ve Dal, 2021). Bu tür modeller çoğunlukla saf meşcerelerde, eşit yaşlı doğal ya da plantasyonlarda yoğun olarak kullanılmıştır. Weibull (Bailey ve Dell, 1973; Borders vd., 1987; Maltamo vd., 1995; Zhang vd., 2003; Palahi vd., 2006; Gorgoso vd., 2007; Palahi vd., 2007; Lei, 2008; Gorgoso vd., 2012; Diamantopoulou vd., 2015) ve Johnson's S_B fonksiyonu (Hafley ve Schreuder, 1977; Parresol, 2003; Scolforo vd., 2003; Fonseca, 2004; Furtado, 2006; Fonseca vd., 2009; Özçelik vd., 2016; Ogana, 2018), diğer modellere göre daha esnek yapıya sahip olmaları nedeniyle ormancılık çalışmalarında yoğun olarak kullanılmıştır.

S_B dağılımı, Johnson (1949) tarafından önerilmiş bir dağılım olup, sahip olduğu özellikleri nedeniyle biyolojik değişkenlerin temsil edilmesinde ya da açıklanmasında diğer modellere göre daha başarılı olmuştur (Parresol, 2003; Özçelik vd., 2016). Bu model, her iki ucuda sınırlandırılmış, diğer dağılımlara göre daha geniş bir dağılım şekli tahmin etmeye yarayacak esnekliğe sahip ve dağılımın şeklini kontrol etmeye izin veren iki adet parametreye sahip bir

modeldir. Yapılan pek çok çalışma, Johnson's S_B dağılımının çap dağılımlarının modellenmesinde diğer modellere göre daha başarılı olduğunu ortaya koymuştur (Von Gadow, 1983; Tham, 1988; Scolforo ve Thierschi, 1998; Kiviste vd., 2003; Parresol, 2003; Siipilehto ve Siitonen, 2004; Zhang vd., 2003; Fonseca, 2004; Lei, 2008; Fonseca vd., 2009; Mateus ve Tomé, 2011; Özçelik vd., 2016). Johnson's S_B dağılımının parametrelerinin tahmin edilmesi amacıyla farklı parametre tahmin yöntemleri ortaya konmuştur. Yüzdelerik metod, doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon modelleri, moment, şartlı maksimum olabilirlik ve Knoebel ve Burkhart metodları (Knoebel ve Burkhart, 1991) bunlar arasında sayılabilir.

Schreuder ve Hafley (1977), Johnson's S_B dağılımının Beta fonksiyonuna; Siipilehto (1999) ve Zhang vd. (2003) ise Weibull dağılımına göre çap dağılımının modellenmesinde daha başarılı olduğu ifade etmiştir. Gorgoso vd. (2012), kuzeybatı İspanyadaki sahil çamı, radiata çamı ve sarıçam meşcerelerinin çap dağılımının modellenmesi amacıyla Weibull, Johnson's S_B ve Beta fonksiyonlarını karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, sahil çamı ve radiata çamı için Beta ve Johnson's S_B dağılımlarının Weibull dağılımına göre, sarıçam için ise Weibull ve Johnson's S_B dağılımlarının Beta dağılımına göre daha başarılı olduğu ortaya konmuştur. Palahi vd. (2007) ise Kuzey-doğu İspanya'nın Katalunya Bölgesinde farklı orman ağacı türlerinden oluşan orman meşcerelerinin çap dağılımlarını modellemek amacıyla Beta, Johnson's S_B , Weibull ve değiştirilmiş Weibull dağılımlarını kullanmış ve elde edilen sonuçları karşılaştırmıştır. Çap dağılımı modelleri meşcere göğüs yüzeyi ve hektardaki ağaç sayısı kullanarak geliştirmiştir. Çalışma sonucunda, değiştirilmiş Weibull dağılımının meşcere göğüs yüzeyine bağlı olarak çap dağılımının ortaya konmasında diğer modellere göre nispeten daha başarılı olduğu belirlenmiştir. Ercanlı ve Yavuz (2010), doğu ladini-sarıçam karışık meşcerelerinin çap dağılımlarının modellenmesinde, 2 parametrelilik Gamma, 3 parametrelilik Gamma, Beta, Lognormal, Normal, 2 Parametrelilik Weibull, 3 Parametrelilik Weibull ve Johnson S_B fonksiyonları olmak üzere toplam 8 adet olasılık yoğunluk fonksiyonunu kullanmış ve hata indeksi değerlerine göre yapılan karşılaştırmada Doğu ladini için Johnson S_B ve Sarıçam için ise, 3 parametrelilik Weibull fonksiyonunun en başarılı fonksiyonlar olduğunu belirlemiştir. Kahrıman ve Yavuz (2011), sarıçam ile doğu kayını karışık meşcerelerinde çap dağılımının modellenmesi amacıyla; 2 parametrelilik Gamma, 3 Parametrelilik Gamma, Beta, Log-normal, Normal, 2 Parametrelilik Weibull, 3 Parametrelilik Weibull ve Johnson S_B fonksiyonları olmak üzere 8 farklı olasılık yoğunluk fonksiyonunu kullanmıştır. Olasılık yoğunluk fonksiyonlarının başarı durumları, Rennolds (1998) tarafından geliştirilen hata indeksi kullanılarak karşılaştırılmış ve her iki tür için de 4 parametrelilik Johnson S_B 'nin örnek alanlardaki çap dağılımlarının ortaya konulmasında en uygun fonksiyon olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışma ile Antalya Yöresi doğal sedir (*Cedrus libani* A. Rich.) meşcereleri için çap dağılım modelinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, biyolojik değişkenlerin temsil edilmesinde ya da açıklanmasında diğer modellere göre daha esnek bir yapıya sahip olması nedeniyle Johnson's S_B dağılımı kullanılmıştır. Model parametrelerinin tahmin edilmesinde amacıyla Fonseca vd. (2009) tarafından önerilen yüzdelerik moment metodunu

temel alan 3 parametrelili parametre çözüm (recovery) yaklaşımı kullanılmıştır.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

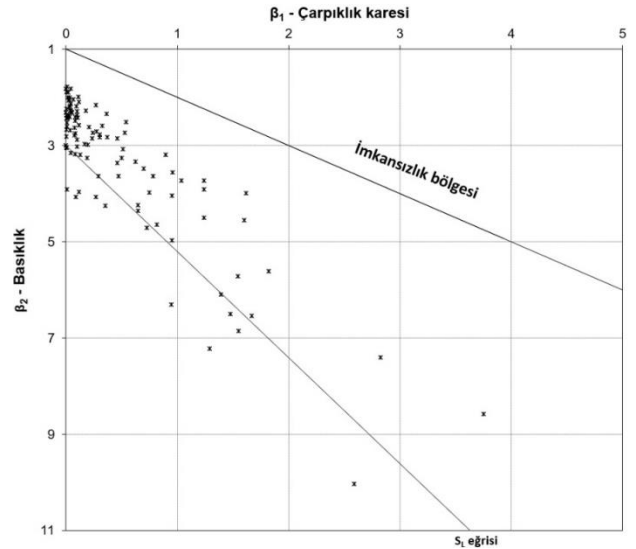
Örnek alan verileri Antalya Yöresi doğal sedir meşcerelerinden toplanmıştır. Bu amaçla, doğal sedir meşcerelerinin yayılış gösterdiği, Antalya Orman Bölge Müdürlüğü, Elmalı, Kaş, Akseki Orman İşletme Müdürlüğünden toplam 107 adet örnek alan ölçümü gerçekleştirilmiştir. Örnek alanların seçiminde, yetişme ortamı, meşcere yaşı ve meşcere sıklığı gibi var olan tüm değişkenliğin yansıtılabilmesine özen gösterilmiştir. Örnek alanların büyüklüğü, meşcere sıklığına bağlı olarak 200-3500 m² arasında değişmektedir. Çalışma kapsamında örnek alan içerisindeki tüm ağaçlar numaralandırılmış ve tüm ağaçların 1.30 m yüksekliğindeki çapları ölçülmüştür. Bazı ağaçlarda meşcere ortaya boyunu tahmin etmek amacıyla ağaç boyu Blume-Leiss kullanılarak 0.1 m hassasiyetle ölçülmüştür. Bununla birlikte her örnek alan için bazı meşcere ve dağılım değişkenlerinin ortalamaları hesaplanmıştır. Bunlar; ortalama göğüs çapı (\bar{d}), kareli ortalama göğüs çapı (d_g), hektardaki ağaç sayısı (N), hektardaki göğüs yüzeyi (G), minimum çap (d_{min}), maksimum çap (d_{mak}) ve medyan çap ($d_{0.50}$), vb.. Bütün bu değişkenlere ilişkin nitelendirici istatistikler Çizelge 1'de verilmiştir.

Tahmin edilen çarpıklık ($\sqrt{b_1}$) değerleri -1.13 ile 2.14 arasında değişirken, tahmin edilen basıklık değerleri ise 1.78 ile 12.83 arasında değişmektedir. Şekil 1'deki grafik iki referans çizgisi ile birlikte tahmin edilen değerleri (β_1, β_2) göstermektedir. β_1 ve β_2 'nin bazı kombinasyonları matematiksel olarak imkansızdır ve $\beta_1 - \beta_2 - 1 = 0$ çizgisinin yukarısındaki bölgede ortaya çıkar. Şekil 1'de 95 ampirik dağılım S_B bölgesinde (bunların bazıları S_L bölgesine oldukça yakındır) ve kalan 12 adedi ise S_U bölgesinde kalmaktadır. Şekil 1, çalışmada kullanılan örnek alanların yaklaşık %10'nuna ilişkin çap dağılımının Johnson's S_B dağılımı yerine başka bir dağılımla ile daha iyi temsil edilebileceğini göstermektedir.

Çizelge 1. Çap dağılımı modeli geliştirmek için kullanılan verilerin meşcere parametreleri ($n = 107$)

Değişken	Ortalama	Minimum	Maksimum	SD
\bar{d} (cm)	20.3	6.0	34.0	6.6
d_g (cm)	21.8	6.3	35.9	6.9
$d_{0.50}$ (cm)	20.3	5.0	35.0	7.1
d_{min} (cm)	6.1	3.0	14.0	2.4
d_{mak} (cm)	38.9	12.0	60.0	10.8
N (ağaç sayısı/örnek alan)	100.0	73.0	149.0	15.6
G (m ² ha ⁻¹)	29.9	6.2	65.6	10.6
N (ağaç sayısı/ha)	1062	263	5600	822
Size (m ²)	1361.2	200.0	3500.0	717.8

\bar{d} , ortalama çap; d_g , kareli ortalama çap; $d_{0.50}$, medyan çap; d_{min} , minimum çap; d_{mak} , maksimum çap; G , göğüs yüzeyi; N , hektardaki ağaç sayısı; SD, standard hata.



Şekil 1. 107 adet ölçülen değerlerin çarpıklık karesi ve basıklık alanındaki (β_1, β_2) dağılımı.

Her bir işaret, tahmini çarpıklık ve basıklık değerleriyle belirlenen bir konuma sahip tek bir dağılımı temsil etmektedir. Üst çizginin üzerindeki alan ($\beta_2 - \beta_1 - 1 = 0$) imkansızlık bölgesini tanımlamaktadır. Alt çizgi S_L dağılımına karşılık gelmekte olup S_B bölgesini (imkansızlık bölgesi ile S_L çizgisi arasındaki alan) S_U bölgesinden (S_L çizgisinin altındaki alan) ayırır.

2.2. Yöntem

Johnson's S_B olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF); Johnson (1949) tarafından geliştirilmiş dağılım sisteminin bir parçasıdır. Johnson tarafından geliştirilen dağılım ailesi S_U, S_L ve S_B sırasıyla, sınırsız değişkenler, bir ucu sınırlı değişkenler ve alt ve üst uçundan sınırlı değişkenler içindir. X değişkeni için PDF S_B olasılık yoğunluk fonksiyonuna uymaktadır ki aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$f(x) = \frac{\delta \lambda}{\sqrt{2\pi} (x - \xi)(\xi + \lambda - x)} \exp\left(-\frac{1}{2} \left[\gamma + \delta \ln\left(\frac{x - \xi}{\xi + \lambda - x}\right) \right]^2\right), x \in (\xi, \xi + \lambda) \quad (1)$$

Burada $\lambda, \delta > 0, -\infty < \xi < \infty, -\infty < \gamma < \infty$. λ parametresi aralığı, ξ parametresi yeri alt aralık olarak temsil etmektedir. δ ve γ parametreleri ise dağılımın biçimini kontrol eden parametrelerdir. $\gamma = 0$ simetriyi ifade etmektedir.

S_B dağılımının sahip olduğu iki özellik, bu dağılımı biyolojik değişkenlerin temsili açısından uygun yapmaktadır. Birincisi, alt sınırı ξ ve üst sınırı $\xi + \lambda$ nedeniyle, S_B olasılık yoğunluk fonksiyonu değişkenlerin kendi fiziksel ve doğal sınırları içerisinde tahmin yapabilmesini sağlamaktadır. İkincisi ise geniş bir dağılım yelpazesi içerisinde iki biçim parametresi ile dağılımın şekli açısından oldukça geniş bir esneklik sağlamaktadır (Fonseca vd., 2009). Johnson's S_B dağılımın parametreleri yüzdelik, maksimum olasılık, moment ve doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon metotları ile tahmin edilebilmektedir. Çoğu yaklaşım dağılım sınırlarından birinin önceden belirlenmesini gerektirir. Büyüme ve hasılat modellerinde çap dağılımı için Johnson's S_B dağılımının ve parametre tahmini için parametre tahmin veya parametre

iyileştirme metodlarının kullanımı sınırlı sayıda olsa da test edilmiştir. Ancak parametre tahminin yöntemi; tahmin edilen meşcere değeri ve dağılımdan elde edilen meşcere değeri arasında bir uyum sağlayamaması ve parametrelerdeki varyasyonun çok küçük bir kısmının meşcere değişkenleri ile açıklanabilmesi gibi bazı önemli dezavantajlara sahiptir. Örneğin, fonksiyonun biçim parametresi yaş ile çok zayıf ilişki göstermektedir. Parametre iyileştirme temelli yaklaşım ile daha başarılı sonuçların elde edildiği ifade edilmektedir (Scolforo vd., 2003).

2.2.1. Üç parametrelili çözüm (recovery) metodu

S_B PDF dağılımını çözmek için genel prosedür dört parametrelili dağılımı iki ya da üç parametrelili dağılıma dönüştürmektedir. Yer ve aralık parametrelerinden bir veya her ikisi örnek verideki ekstrem çap değerlerinin bir fonksiyonu olarak doğrudan tahmin edilebilmektedir. Dağılım modelinin kalan parametreleri ise persentil ya da moment metodu ile çözülebilmektedir. Scolforo vd. (2003), biçim parametrelerini çözmek için bir moment metodu tanımlamıştır. Parresol (2003), aralık ve biçim parametrelerinin eşzamanlı çözümünü için yüzdelik-moment metodu geliştirmiştir. Alternatif olarak, parametre çözüm (recovery) modelleri kullanarak, ortalama meşcere özellikleri doğrudan tahmin edilerek temel çap dağılımının tahmini için kullanılabilir. Parametre çözüm metodu; regresyondan tahmin edilen ve dağılım fonksiyonundan oluşturulan meşcere karakteristikleri arasında uyumu sağlamaktadır. Parametre çözüm (recovery) metodunun uygulanabilmesi için denklem sistemi belirli ağaç karakteristiklerini içermeli ve S_B parametreleri geliştirilmelidir.

Parresol (2003), üç parametrenin çözümünü için yeni bir tahmin yaklaşımı tanımlamıştır. Yöntemde genel olarak çap dağılımının medyan, birinci ve ikinci merkezi olmayan momentleri kullanılarak aralık ve biçim parametreleri için bir parametre çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda, yer parametresi ayrıca tahmin edilmektedir. Parresol (2003), yer parametresi “ ξ ” yi regresyon tekniği kullanarak alt sınır için tesadüfi değişken olarak göğüs çapını kullanarak bulmuştur. Tahmin edilen bu yer parametresi ve Johnson ve Kotz (1970)’de verilen transformasyon kullanılarak, iki biçim ve aralık parametreleri çözülmektedir. S_B olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF) için kapalı form ifadesi olmamasına rağmen şayet tesadüfi değişken $X \sim S_B(\delta, \lambda, \gamma, \delta)$ şeklinde ise, burada X göğüs çapı, sonra

$$z = \gamma + \delta \ln[(x - \xi)/(\xi + \lambda - x)] \sim N(0, 1) \quad (2)$$

yeni bir değişken verilsin,

$$y = (x - \xi)/\lambda \quad (3)$$

denklem 2 kullanılarak aşağıdaki denklem yazılabilir

$$z = \gamma + \delta \ln[y/(1 - y)] \sim N(0, 1) \quad (4)$$

Yeni tesadüfi değişken, Y, X gibi aynı biçim parametrelerine sahip bir dağılımı takip edecektir. Y tesadüfi

değişkeni kullanılarak Johnson S_B için olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$f(y) = \frac{\delta}{y(1-y)\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left[\gamma + \delta \ln\left(\frac{y}{1-y}\right)\right]^2\right), \quad 0 < y < 1 \quad (5)$$

Denklem 4’deki z ’nin düzenlenmesi ile denklem 0’a eşit olacaktır ve γ parametresi için yeniden düzenlendiğinde; biçim parametresi “ γ ” diğer üç parametrenin bir fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\gamma = \delta \ln\left(\frac{1}{y_{0.50}} - 1\right) \quad (6)$$

burada, $y_{0.50}$, Y ’nin medyanıdır ve $y_{0.50} = (d_{medyan} - \xi)$ olarak yazılabilmektedir. Y değişkeni bakımından X^p istatistiksel beklentisi yardımı ile

$$\bar{d} = \xi + \lambda \mu'_1(Y) \quad (7)$$

olarak yazılabilmektedir.

Bu denklem, $Y(\mu'_i, i = 1)$ ’nin ilk merkezi olmayan momentin bir fonksiyonu olarak ağaç çapını (\bar{d}) ifade etmektedir. Halbuki, denklem (5) Y ’nin ilk iki merkezi olmayan momentinin bir fonksiyonu olarak meşcere göğüs yüzeyini ifade etmektedir. N birim alandaki ağaç sayısını ifade etmekte ve k metrekaredeki göğüs yüzeyi için dönüşüm faktörünü ifade etmektedir ($k = \pi/40000$).

$$G = kN\left[\xi^2 + 2\xi\lambda\mu'_1(Y) + \lambda^2\mu'_2(Y)\right] \quad (8)$$

Denklem (6)’daki ilişki, denklem (9)’da yerine konularak, denklem(7) ve (8)’daki γ ’nin eliminasyonu yapılmıştır.

$$\mu'_r(Y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} [1 + e^{-(z-\gamma)/\delta}]^{-r} e^{-\frac{z^2}{2}} dz \quad (9)$$

İki denklemin çözüm sistemi ve iki bilinmeyen parametre doğrusal değildir ve sayısal yöntemle çözülmelidir. G, N ve \bar{d} , medyan çap ($d_{0.5}$) ve yer parametresinin verilen tahminleri ve Denklem 7 ve 8 δ ve λ için denklem sistemi iterasyon ile çözülmelidir. Parametre γ daha sonra Denklem (6)’dan bulunmuştur. Denklem (8) aşağıdaki gibi de yazılabilir.

$$dg^2 = \xi^2 + 2\xi\lambda\mu'_1(Y) + \lambda^2\mu'_2(Y) \quad (10)$$

Denklem (9), Y ’nin ilk iki merkezi olmayan momentinin bir fonksiyonu olarak kareli ortalama çapın (dg)² karesiyle ağaç çaplarının (\bar{d}_G) göğüs yüzeyi dağılımının ortalamasının ürünü olarak ifade edilebilir.

Sonuç olarak daha önce de açıklanmaya çalışıldığı gibi, ξ önceden belirlenmekte, λ ve δ denklem (7) ve (8) kullanılarak iterasyon ile çözülmekte ve daha sonra aralık parametresi γ denklem (6) yardımı ile çözülmektedir. Üç parametrelili çözüm yaklaşımına ilişkin daha fazla ayrıntı Parresol (2003) ve Fonseca vd. (2009)’da bulunabilir.

2.2.2. İstatistiksel değerlendirme

Meşcerelerinin çap dağılımının modellenmesi amacıyla geliştirilen modelinin uygunluğu Kolomogorov-Smirnov (K-S) testi ve Reynolds vd. (1988) tarafından geliştirilen hata indeksi (EI) değeri kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu amaçla Fonseca vd. (2009) ve Özçelik vd. (2016) tarafından önerildiği gibi 5 cm'lik çap sınıfları oluşturulmuştur. Qin vd. (2006), düşük hata indeksi değerinin her çap sınıfındaki göğüs yüzeyinin tahmin edilen ve ölçülen değerleri arasındaki farkın düşük olması anlamına geldiğini belirtmiştir. K-S istatistiği ise, deneysel dağılım ile teorik dağılım arasındaki uyumu ortaya koymak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Küçük K-S değeri, örnekten elde edilen dağılımın topluma uygunluğunun bir göstergesi olduğunu ifade etmektedir (Cao vd., 2010). K-S Testinde; her bir çap basamağı için elde edilen hektardaki birikimli aktüel ağaç sayısı ile Johnson S_B ile tahmin edilen birikimli ağaç sayısı örnek alanın hektardaki ağaç sayısına bölünerek mutlak değeri alınmış ve oransal birikimli frekanslar hesaplanmıştır. Tüm çap sınıfları için hesaplanan oransal birikimli frekanslar içerisinde en yüksek değere sahip olan (Max. Değer) çap sınıfının oransal frekans değeri K-S hesap değeri olarak alınmış ve %95 güven düzeyi için hesaplanan tablo değeri ile karşılaştırılmıştır. Hesap değerinin, tablo değerinden küçük olması durumunda; parametreleri tahmin edilen fonksiyonun, verinin alındığı örnek alanlara uygun olduğu kabul edilmiştir.

Hata indeksi (EI); her çap sınıfı için ve ağırlık fonksiyonu olarak göğüs yüzeyi kullanılarak hesaplanmıştır. Ağırlık fonksiyonu olarak göğüs yüzeyi kullanılmasının en önemli nedeni, göğüs yüzeyinin tam bir değer olarak hesaplanabiliyor olmasıdır. Hacim ya da biyokütle değerleri, kullanılan biyokütle ya da hacim fonksiyonuna bağlı olarak farklı değerler olarak elde edilebilmektedir. Üstelik, ağırlık faktörü olarak göğüs yüzeyinin kullanılması, ağaç boyutlarını temel alan ekonomik farklılıkları da dikkate alabilmek amacıyla, büyük ağaçlarla küçük ağaçlara aynı ağırlık değerinin verilmemesini de sağlamaktadır (Fonseca vd., 2009; Özçelik vd., 2016). Hata indeksi (EI)'ye ilişkin formül aşağıda verilmiştir. Burada, M çap sınıflarının sayısını göstermektedir.

$$EI = \sum_{j=1}^M |G_j - \hat{G}_j| = \sum_{j=1}^M \left| \int_{c_j} \frac{\pi x^2}{4} (\hat{f}(x) - f_{emp}(x)) dx \right| \quad (11)$$

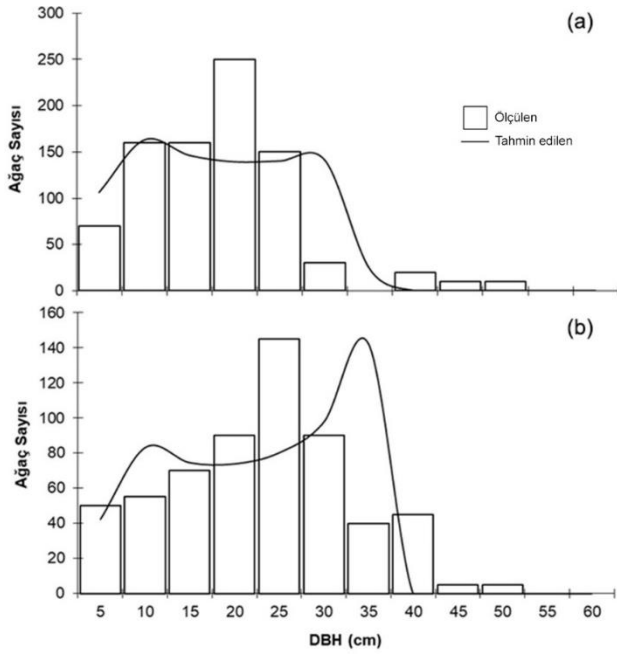
Burada, G_i j . çap sınıfı için gözlemlenen göğüs yüzeyini; \hat{G}_j j . çap sınıfı için tahmin edilen göğüs yüzeyini ifade etmektedir. \hat{f} Johnson S_B dağılımının yoğunluk fonksiyonu Johnson's S_B dağılımının parametre tahminleri, yüzdelik-moment metodunu temel alan parametre çözüm yöntemi ile SAS 9.1 versiyonunda geliştirilen bir program yardımı ile yapılmıştır. Bu program doğrusal olmayan Levenberg-Marquardt (NLPLM) yöntemi ile interaktif matris dili CAPABILITY alt sekmesi yardımı ile gerçekleştirilmiştir (SAS Institute, 2014). Bu programa ilişkin detaylar Parresol vd. (2010)'da bulunabilir.

3. Bulgular ve tartışma

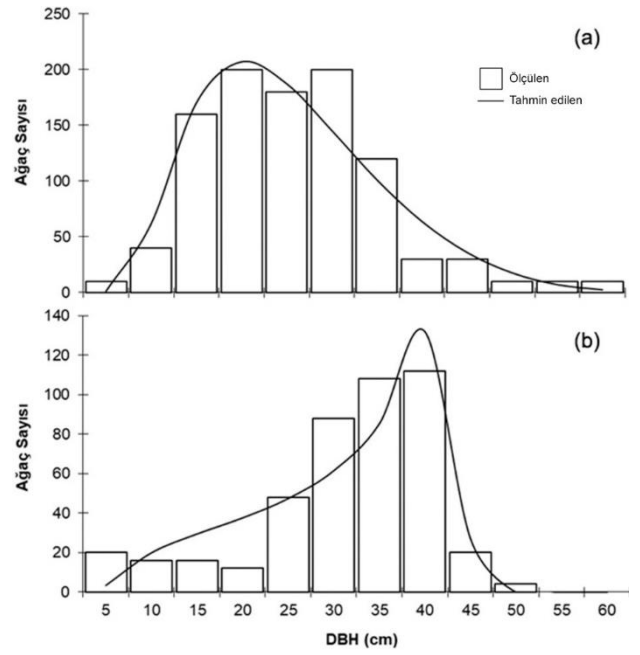
Yüzdelik-moment metodunu temel alan üç parametre çözüm yöntemi kullanılarak 107 örnek alana ilişkin olarak elde edilen parametre tahmin değerlerinin ilk 10 örnek alan için elde edilenleri Çizelge 2'de verilmiştir. Parresol (2003) tarafından geliştirilen üç parametrelili çözüm yöntemi uyarınca, tüm örnek alanlar için dört parametrelili Johnson's S_B dağılımının üç parametresi (aralık (lamda) ve biçim parametreleri (gama ve delta) tahmin edilmiştir. Çizelge 2'deki örneklerde olduğu gibi, hemen hemen tüm örnek alanlara ilişkin L1-norm değerleri oldukça küçüktür. Delta değerinin (δ) < 0.7'den küçük olması genellikle iki modlu dağılımı işaret etmektedir. 107 örnek alana ilişkin δ değerleri yarıya 0.7 değerinden küçüktür. Şekil 2'de 13 ve 14 nolu örnek alanlara ilişkin olarak Johnson's S_B dağılımı ile elde edilen deneysel dağılım ve gözlemlenen dağılımlar verilmiştir. Şekil 2'den de görüleceği gibi, her iki örnek alan içinde deneysel dağılım iki modludur ve bu iki örnek alan içinde δ değerleri 0.7'den daha küçüktür. Diğer yandan 14 nolu örnek alana ilişkin $\delta=0.6$ ve $\gamma=0.07$ 'dir. Bu durum hafifçe sağa çarpık iki modlu dağılıma örnektir. 27 nolu örnek alana ilişkin delta ve gama değerleri sırasıyla $\delta=0.58$ ve $\gamma=-0.62$ ve sola çarpık çift modlu bir dağılımı göstermektedir (Şekil 3). Sonuç olarak delta ve gama değerlerine göre dağılımın sola ya da sağa çarpıklığı konusunda yorumlar yapılabilmektedir. Diğer yandan 15 nolu örnek alandaki durum tipik bir sağa çarpık durumu ve 34 nolu örnek alandaki durum ise, sola çarpık bir dağılımı göstermektedir (Şekil 4).

Çizelge 2. Bazı örnek alanlar için Johnson's S_B dağılımı için parametre tahminleri

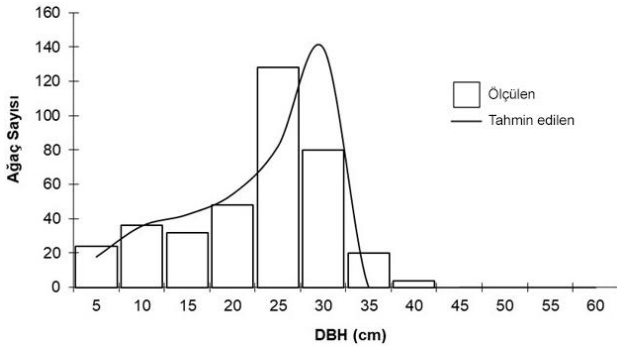
Örnek alan no	XI	Lamda (λ)	Gama (γ)	Delta (δ)	L1_Norm	Çözüm	RC
1	4	37.11119	0.263417	0.950228	5.98164E-07	EVET	3
2	4	13.37115	-0.04661	0.495119	1.37226E-06	EVET	3
3	4	29.53557	0.062547	0.600986	2.91155E-09	EVET	3
4	4	14.79445	0.562007	0.835851	7.81131E-08	EVET	3
5	4	20.36896	0.553039	1.26917	2.67045E-09	EVET	3
6	4	90.24	4.615921	1.218914	0.147894978	EVET	3
7	4	19.99523	0.25551	0.412998	1.88827E-11	EVET	3
8	2	23.32519	0.681581	1.048495	1.23774E-09	EVET	3
9	4	38.3172	1.220806	0.916333	3.31486E-11	EVET	3
10	7	31.46498	0.066653	0.715275	7.65562E-07	EVET	3



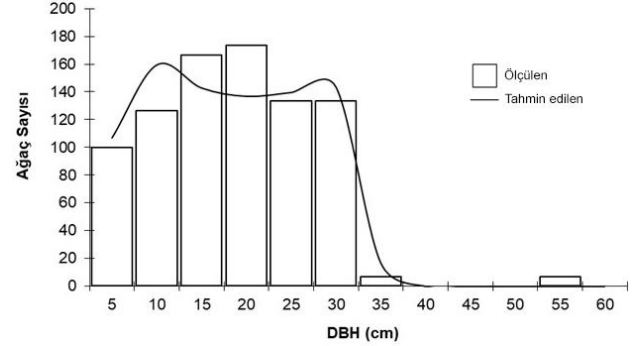
Şekil 2. 13 (a) ve 14 (b) nolu örnek alan ilişkin gözlemlenen ve tahmin edilen çap dağılımlarının karşılaştırılması



Şekil 4. 15 (a) ve 34 (b) nolu örnek alanlara ilişkin sırasıyla sağa ve sola çarpık tek modlu dağılımlara ilişkin örnekler



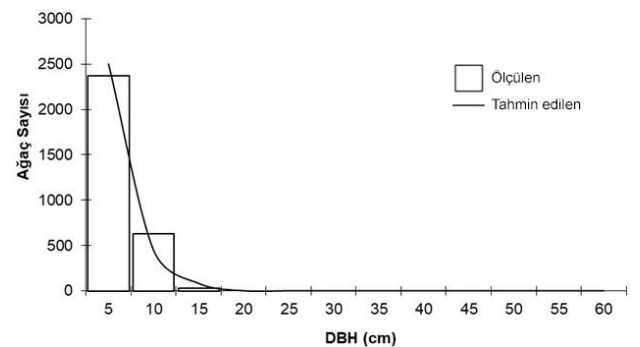
Şekil 3. 27 nolu örnek alana ilişkin deneysel dağılım çift modlu sola çarpık bir dağılım örneği



Şekil 5. 3 nolu örnek alanlara ilişkin tahmin edilen ve gözlemlenen çap dağılımları arasındaki ilişkiler

Şekil 5'te ise diğer bir çift tepeli dağılıma örnek verilmiştir. Burada örnek alan 3'e ilişkin dağılımın şekli görülmektedir. Johnson's S_B dağılımı yardımıyla elde edilen tahmini dağılımda tepe değerleri 10 cm ve 30 cm'de iken gözlemlenen dağılımda tepe değerleri 15 cm ve 20 cm'dir. Gözlemlenen dağılım ile tahmin edilen dağılım arasında kısmen farklılıklar olsa da Johnson's S_B dağılımı ile başarılı bir çap dağılımının ortaya konduğu görülmektedir. Parresol vd. (2010) tarafından da ifade edildiği gibi bu tip dağılımların Weibull ve Log-normal gibi dağılım fonksiyonları ile ortaya konması mümkün olamamaktadır.

Şekil 6'da ise örnek alan 23'e ilişkin olarak gözlemlenen çap dağılımı ile tahmin edilen çap dağılımı arasında oldukça iyi bir eşleşme görülmektedir. Ters J şeklindeki bu dağılım tipi genel olarak değişik yaşlı meşcerelere özgü bir durumdur.



Şekil 6. 23 nolu örnek alana ilişkin olarak tahmin edilen ve gözlemlenen çap dağılımları arasındaki ilişki

Şekil 7'de ise gözlemlenen ile tahmin edilen dağılımlar arasında oldukça yüksek bir başarımın olduğu görülmektedir. Bu dağılımda tek modlu ve uniform bir dağılım şekli görülmektedir.

Bununla birlikte Johnson's S_B dağılımı ile bazı örnek alanlar için başarısız tahminler yapıldığı da görülebilmektedir. Örnek alan 14 için Johnson's S_B dağılımı ile elde edilen tahmini dağılım ile gözlemlenen dağılım arasında farklılıklar gözlemlenmiştir. Örnek alanlara ilişkin olarak elde edilen EI değerleri incelendiğinde bu örnek alanlara ilişkin EI değerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 8).

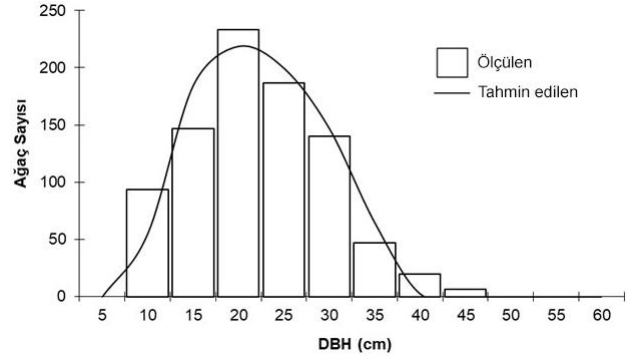
Çizelge 3'te 3 parametrelî çözüm metodu ve Johnson's S_B dağılımı ile bazı örnek alanlara ilişkin olarak elde edilen hata indeksi (EI) değerleri verilmiştir. 107 örnek alana ilişkin EI değerleri 1.53-25.82 arasında değişmekte olup, en yüksek hata indeksi değeri 25.82, en küçük hata indeksi değeri 1.53 ve ortalama hata indeksi değeri 11.10 ve medyan değeri 11.19 olarak elde edilmiştir. Diğer yandan Kolomogorov-Smirnov testi (K-S) ile gerçekleştirilen istatistiksel uygunluk analizi sonucunda, Johnson's S_B dağılımı kullanılarak elde edilen dağılımın, verilerin alındığı örnek alanlara uygun olduğu görülmüştür.

Şekil 9'un incelenmesinden de görüleceği gibi, örnek alanlara ilişkin hata dağılımı değerleri çoğunlukla 5-15 arasında değişmekte olup, bu sonuçlar ve grafiksel olarak da tahmin edilen ve gözlemlenen çap dağılımları arasındaki ilişkiler incelendiğinde Johnson's S_B dağılımı ile doğal sedir meşcereleri için oldukça başarılı çap dağılımı tahminleri yapılabildiğini göstermektedir.

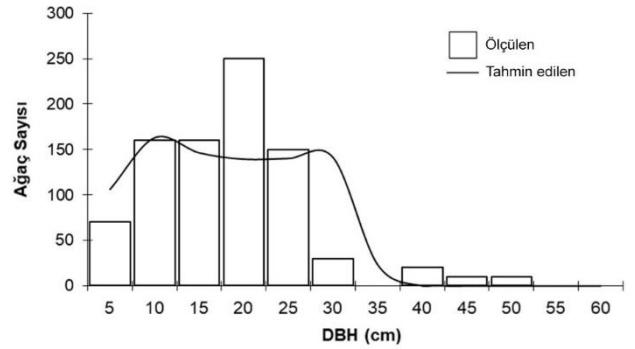
Şekil 10'da ise Johnson's S_B dağılımı kullanılarak doğal sedir meşcereleri için elde edilen hata indeksi değerlerinin sıklık dağılımı verilmiştir. Genel olarak örnek alanların önemli bir kısmının EI değerlerinin 10'dan küçük (51 örnek alan) ve en fazla elde edilen EI değerlerinin 6 ve 8 olduğu görülmektedir.

Çizelge 3 Örnek alanlara ilişkin K-S Testi ve Hata İndeksi değerleri

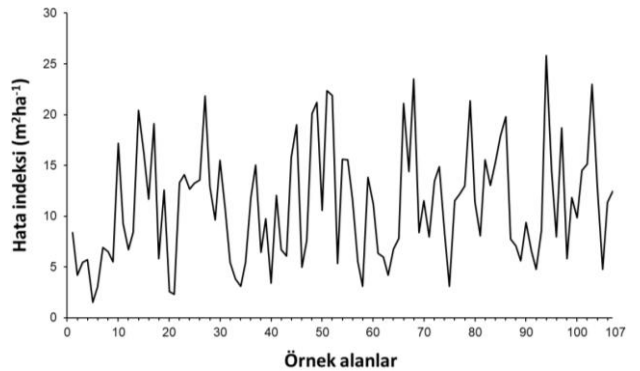
Örnek alan no	K-S Max	Önem düzeyi	Hata indeksi
1	0.065	NS	8.38
2	0.051	NS	4.19
3	0.047	NS	5.45
4	0.050	NS	5.74
5	0.030	NS	1.53
6	0.056	NS	3.07
7	0.041	NS	6.94
8	0.093	NS	6.49
9	0.045	NS	5.49
10	0.060	NS	17.17



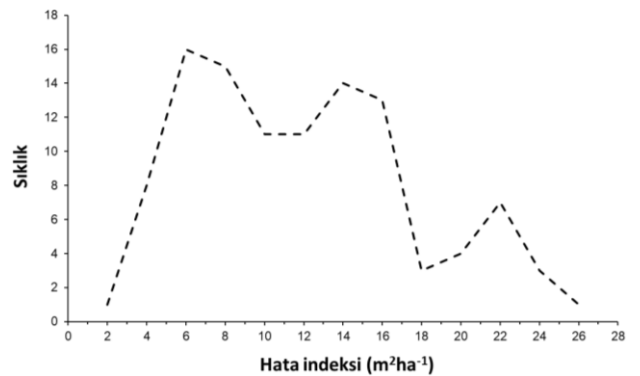
Şekil 7. 61 nolu örnek alanlara ilişkin olarak tahmin edilen ve gözlemlenen ve uyumlu bir uniform bir dağılım



Şekil 8. 14 nolu örnek alana ilişkin olarak tahmin edilen ve gözlemlenen çap dağılımları



Şekil 9. Örnek alanlara ilişkin hata indeksi değerlerinin dağılımı



Şekil 10. Örnek alanlara ilişkin hata indeksi değerlerinin sıklık dağılımı

4. Sonuç ve öneriler

Ormanların büyüme ve hasılatına ilişkin tahminlerde kullanılan en önemli yapı taşlarından birisi, çap dağılım modelleridir. Ağaç sayılarının çap basamaklarına dağılımı, amenajman planlarının düzenlenmesine temel olan büyüme ve hasılat modelleri, orman ürünleri endüstrisinin geleceğe dönük projeksiyonlarının yapılması, biyokütle ve karbon birikim miktarının hesaplanması için kullanılan önemli bir meşcere parametresidir. Bu nedenle, her ağaç türü ve bu türün yayılış gösterdiği farklı yetişme ortamı koşulları için meşcerelerin çap dağılım modellerinin geliştirilmesi bilimsel ve uygulamalı ormancılık çalışmaları için gereklidir.

Bu çalışmada; Antalya Yöresi doğal sedir meşcereleri için çap dağılım modeli geliştirilmiştir. Bu amaçla Johnson's S_B dağılımı ve parametre tahmini amacıyla da yüzdelik (Percentile)-moment metodunu temel alan 3 parametrelili çözüm (Recovery) yöntemi kullanılmıştır. Fonseca vd. (2009) ve Özçelik vd. (2016) tarafından da belirtildiği gibi, bu dağılım sahip olduğu iki biçim parametresi nedeniyle çok farklı dağılım şekillerinin modellenmesine imkan vermesi ve biyolojik değişkenlerin daha iyi temsil edilmesine imkan sağlaması nedeniyle tercih edilmiştir.

Doğal sedir meşcerelerinin çap dağılımının modellenmesi amacıyla Elmalı, Kaş, Akseki ve Finike Orman İşletmelerinden örnek alanlar alınmıştır. Çalışma kapsamında Johnson's S_B dağılımı yardımı ile ortaya konan tahmini çap dağılımı değerleri ile ölçülen çap dağılımı değerleri Kolmogorov-Smirnov Testi (K-S) ve Hata indeksi değerleri yardımı ile karşılaştırılmıştır. Bu amaçla 5 cm genişlikte çap sınıfları oluşturulmuştur. Hata indeksi değerleri hesaplanırken tam bir değer olarak hesaplanabilmesi ve ağaçlar arasındaki boyutsal farklılıkları dikkate alması nedeniyle göğüs yüzeyi ağırlık fonksiyonu olarak kullanılmıştır (Fonseca vd., 2009; Özçelik vd., 2016).

Yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucunda Johnson's S_B dağılımı yardımı ile Antalya Yöresi doğal sedir meşcerelerinin çap dağılımının oldukça başarılı bir şekilde ortaya konabildiği görülmüştür. Yapılan değerlendirmeler sonucunda bazı meşcerelerin çap dağılımının iki modlu, bazılarının tek modlu ve bazılarında sağa ya da sola çarpık dağılım durumları ortaya çıkmıştır. Ancak, Johnson's S_B dağılımı sahip olduğu özellikleri nedeniyle tüm bu dağılımların tanımlanmasında oldukça başarılı olmuştur.

Johnson's S_B dağılımının parametre çözüm yaklaşımı ile parametrelerinin tahmin edilmesinin sağladığı en önemli avantajı, büyüme ve hasılat modellerinde geleceğe ilişkin çap dağılımlarının tahmin edilmesine imkan vermesidir. Halbuki maksimum olabilirlik metodu doğrudan bu amaçla kullanılamamaktadır.

Sonuç olarak, Antalya Yöresi doğal sedir ormanları uzun yıllar yaşanan tahribatlar nedeniyle oldukça farklı meşcere yapılarına sahiptir. Bu durum, Sedir ormanlarının sürdürülebilir yönetimi için büyüme ve hasılat modellerinin en önemlilerinden biri olan ve meşcere yapılarının ortaya konmasında kullanılan çap dağılım modellerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bolat (2014) tarafından belirtildiği gibi, ülkemiz ormanları, çok farklı ağaç türleri ve yetişme ortamı koşulları ile birlikte oldukça farklı meşcere yapılarına ve çap dağılım dinamiklerine sahip olup, özellikle ülkemiz ormanlarını oluşturan ağaç türlerimiz ve meşcere

kuruluşları için başarılı ve etkin çap dağılım modellerinin geliştirilmesi için çap dağılımlarını en iyi temsil eden parametre tahmin yöntemlerinin belirlenmesi büyük bir önem arz etmektedir. Farklı meşcere yapılarından oluşan ormanlarımızın çap dağılımlarının modellenmesinde, en önemli eksiklik olarak, farklı yetişme ortamlarında gelişim gösteren çeşitli ağaç türlerinin oluşturduğu meşcere yapıları için, çap dağılımlarını en iyi temsil eden parametre tahmin yöntemleri belirlenmemesi gerekmektedir.

Bu çalışma ile Antalya Yöresi doğal sedir meşcerelerinin çok değişkenlik gösteren meşcere yapılarının yüzdelik moment yaklaşımını temel alan parametre çözüm yöntemi ve Johnson's S_B dağılım fonksiyonu yardımı ile başarılı bir şekilde ortaya konabileceği ve bu meşcere yapılarını temel alan planlama ve yönetim alternatiflerinin oluşturulabileceği görülmüştür.

Açıklama

Bu çalışmada kullanılan veriler, SDÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmekte olan BAP-4753-YL1-16 no'lu "Antalya Yöresi Doğal Sedir (*Cedrus libani* A. Rich.) Meşcerelerinin Çap Dağılımının Johnson's S_B Dağılımı Kullanılarak Modellenmesi" isimli proje çalışmasında elde edilmiştir

Kaynaklar

- Bailey, R.L., Dell, T., 1973. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. *Forest Sciences*, 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, I., 2014. The effect of thinning on microbial biomass C, N and basal respiration in black pine forest soils in Mudurnu, Turkey. *European Journal of Forest Research*, 133(1): 131-139.
- Borders, B.E., Souter, R., Bailey, R., Ware, K., 1987. Percentile-based distributions characterize forest stand tables. *Forest Sciences*, 33(2): 570-576.
- Borders, B.E., Wang, M., Zhao, D., 2008. Problems of scaling plantation plot diameter distributions to stand level. *Forest Sciences*, 54(3): 349-355.
- Boydak, M., 2003. Regeneration of Lebanon cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) on karstic lands in Turkey. *Forest ecology and Management*, 178(3): 231-243.
- Boydak, M., 20014. Toros sedirinin ekolojisi, doğal gençleştirilmesi ve bu türle karstik alan ağaçlandırmaları. II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, 22-24 Ekim, Isparta, s. 1-25.
- Cao, Q.V., Yao, F., Qinglin, W., 2010. Effectd of sample size on characterization of wood-particle length distribution. *Wood and Fiber Science*, 42(1): 46-50.
- 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., Yavuz, H., 2010. The probability density functions to diameter distributions for oriental spruce and Scots pine mixed stands. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 10(1): 68-83.
- Fischer, R., Lorenz, M., Köhl, M., Becher, G., Granke, O., Christou, A., 2008. The conditions of Forests in Europe: 2008 executive report. United Nations Economic Commission for Europe, Convention on Long-range Trans boundary Air Pollution, International Co-operative Programme on Assessment And Monitoring of Air Pollution Effects on Forests (ICP Forests), 23 p.

- Fonseca, T.F., 2004. Modelação do crescimento, mortalidade e distribuição, do pinhal bravo no Vale do Tamega. Ph.D. dissertation, Univ. of Trás-os-Montese e Alto Douro, Vila Real, Portugal.
- 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 Sciences*, 55(4): 367-373.
- Furtado, A.X., 2006. Modelação da estrutura dinâmica de povoamentos de *Eucalyptus globulus* em primeira rotação. Tese de Doutoramento, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisbon.
- 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., Rojo, A., Cámara-Obregón., A., Diéguez-Aranda., U., 2012. A comparison of estimation methods for fitting Weibull, Johnson's SB and beta functions to *Pinus pinaster*, *Pinus radiata* and *Pinus sylvestris* stands in northwest Spain. *Forest Systems*, 21(3): 446-459.
- Hafley, W., Schreuder., H., 1977. Statistical distributions for fitting diameter and height data in even-aged stands. *Canadian Journal of Forest Research*, 7(3): 481-487.
- Johnson, N.L., 1949. Systems of frequency curves generated by methods of translation. *Biometrika*, 36(1-2): 149-176.
- Johnson, N.L., Kotz., S., 1970. *Continuous Univariate Distributions*. Vol. 1. John Wiley & Sons, New York, NY.
- Kahriman, A., Yavuz, H. 2011. Sariçam (*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.
- Kiviste, A., Nilson, A., Hordo., M., Merenäkk., M., 2003. Diameter distribution models and height-diameter equations for Estonian forests. In: *Modelling Forest Systems* (Ed: Amaro, A., Reed, D., Soares, P.), CABI Publishing, Portugal, pp. 169-179.
- Knoebel, B.R., Burkhart, H.E., 1991. A bivariate distribution approach to modeling forest diameter distributions at two points in time. *Biometrics*, 47: 241-253.
- 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.
- 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.
- 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(2):325-335.
- Ogana, F.N., 2018. Evaluation of four methods of fitting Johnson's S_{BB} for height and volume predictions. *Journal of Forest Science*, 64(4): 187-197.
- Özçelik, R., Fidalgo Fonseca, T. J., Parresol, B.R., Eler, Ü., 2016. Modeling the Diameter Distributions of Brutian Pine Stands Using Johnson's SB Distribution. *Forest Science*, 62(6): 587-593.
- 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.
- 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.
- Parresol, B.R., 2003. Recovering parameters of Johnson's S_B distribution. *US For. Serv. Res. Paper SRS-31*, 9 .
- Parresol, B.R., Fonseca., T.F., Marques., C.P., 2010. Numerical details and SAS programs for parameter recovery of the S_B distribution. *US For. Serv. Gen. Tech. Rep. SRS-122*. USDA, USA.
- Qin, J., Cao, Q.V., Blouin, D.C., 2006. Projection of a diameter distribution through time. *Canadian Journal of Forest Research*, 37(1): 188-194.
- Reynolds, M.R., Burk, T.E., Huang., W.C., 1988. Goodness-of-fit tests and model selection procedures for diameter distribution models. *Forest Sciences*, 34(2): 373-399.
- 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. DOI: 10.24011/barofd.1015603
- SAS Institute Inc., 2014. *SAS/OR(R) 9.2 User's Guide: Mathematical Programming*. <<http://support.sas.com/documentation/cdl/en/ormpug/59679/H/TML/default/viewer.htm#optmodel.htm>, Accessed: May 2014.
- Schreuder, H.T., Hafley., W.L., 1977. A useful bivariate distribution for describing stand structure of tree heights and diameters. *Biometrics*, 33: 471-478.
- Scolforo, J.R.S., Tabai, F.C.V., de Macedo, R.L.S.G., Acerbi., F.W., de Assis., A.L., 2003. S B distribution's accuracy to represent the diameter distribution of *Pinus taeda*, through five fitting methods. *Forest Ecology and Management*, 175(1): 489-496.
- Scolforo, J.R.S., Thierschi., A., 1998. Estimativas e testes da distribuição de frequência diamétrica para *Eucalyptus camaldulensis*, através da distribuição S_B De Johnson, por diferentes métodos de ajuste. *Scientia Forestalis*, 54(1): 93-106.
- Siipilehto, J., 1999. Improving the accuracy of predicted basal-area diameter distribution in advanced stands by determining stem number. *Silva Fennica*, 33(4): 281-301.
- 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.
- Tham, A., 1988. Estimate and test frequency distributions with the Johnson S_B Function from stand parameters in young mixed stands after different thinning treatments. P.255-262 in *Forest growth modeling and prediction: Proc. IUFRO Conference*. US For. Serv. Gen. Tech. Rep. NC-120. North Central Forest Experiment Station, Minneapolis, MN.
- Von Gadow, K., 1983. The Development of Diameter Distributions in Unthinned Stands of *Pinus radiata*. *South African Forestry Journal*, 124(1): 63-67.
- Zhang, L., Packard., K.C., Liu., C., 2003. A comparison of estimation methods for fitting Weibull and Johnson's SB distributions to mixed spruce fir stands in northeastern North America. *Canadian Journal of Forest Research*, 33(7): 1340-1347.