

Farklı sıklık ölçütlerinin meşcere hacim tahmini üzerine etkisi

The effect of different stand density indexes on stand volume predictions

Ferhat BOLAT^{1*} 

¹Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Çankırı

Eser Bilgisi / Article Info

Araştırma makalesi / Research article
DOI:10.17474/artvinofd.1555065

Sorumlu yazar / Corresponding author
Ferhat BOLAT
e-mail: fbolat@karatekin.edu.tr

Geliş tarihi / Received
25.09.2024

Düzeltilme tarihi / Received in revised form
07.10.2024

Kabul tarihi / Accepted
07.10.2024

Elektronik erişim / Online available
15.10.2024

Anahtar Kelimeler:

Sıklığa bağlı hasılat tablosu
Silvikültürel uygulama
Karaçam

Keywords:

Variable-density yield table
Silvicultural treatment
Crimean pine

Özet

Meşcere sıklık ölçütü, tek ağaç ve meşcere büyüme simülasyonlarının oluşturulmasında en önemli yardımcı açıklayıcı değişkenlerden birisidir. Bu çalışmada, iki farklı meşcere sıklık ölçütü değerlendirilmeye alınmış ve bu ölçütlerin meşcere hacim tahminleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu ölçütlerden birisi—SD meşcere göğüs yüzeyinin meşcere orta çapına oranıyla ilgili iken diğeri—SDR belirli bir meşcere orta çapına karşılık gelen birim alandaki ağaç sayısının ilgili meşcerede bulunabilecek maksimum ağaç sayısına oranıyla bağlantılıdır. Çalışma kapsamındaki veriler, üç ayrı iklim rejimine sahip alandan rasgele örnekleme yöntemiyle seçilen toplam 108 örnek alandan elde edilmiştir. SD ve SDR'yi kullanarak yeni doğrusal olmayan meşcere hacim modelleri geliştirilmiş ve geliştirilen bu modellerin başarısı hata ölçütlerine bağlı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, geliştirilen modeller gözlemlenen meşcere hacmindeki varyansın yaklaşık %80'ni açıklamıştır. Ancak, açıklayıcı değişken olarak SD'yi içeren model genç (≈20-30 yıl) ve ileri yaş sınıflarında (≈60-80 yıl) %25 oranında daha fazla hatalı tahminler sunmuştur. Bununla birlikte, geliştirilen dinamik model büyüme kanuniyetleriyle uyumlu sonuçlar üretmiş, bonitet ve sıklık değiştikçe değişken oranlı büyümeyi başarılı bir şekilde tahmin etmiştir. Mevcut çalışmadan elde edilen bilgilere bağlı olarak, gerçekçi hacim tahminleri elde edebilmek için sıklık ölçütü olarak SDR'nin tercih edilmesi ve meşcerelerin dinamik yapısını temsil edebilen doğrusal olmayan modellerin kullanılması önerilmektedir.

Abstract

Stand density index is one of the most important explanatory variables in whole-stand and tree level models. In this study, two different stand density indexes were considered and evaluated their effects on stand volume predictions. One of these indexes—SD is related to the ratio of stand basal area to quadratic mean diameter, while the other—SDR is linked to the ratio of the number of trees per unit area corresponding to a certain stand median diameter to the maximum number of trees that can be present in the relevant stand. Data under the current study were collected from the randomly selected 108 temporary plots located in three separate climate regimes. The new nonlinear stand volume models were developed using SD and SDR and their success was evaluated based on the error metrics. According to the results, the developed models explained the approximately 80% of total variation in the actual stand volume. However, the model including SD as an explanatory variable resulted in 25% more error in the younger (≈20-30 years) and older age classes (≈60-80 years). However, the developed dynamic model produced results compatible with the growth laws and represented successfully the variable growth rate as site index and stand density changed. Based on the knowledge inferred from the current study, it is suggested to use SDR as a stand density index and to utilize nonlinear models that can represent the dynamic structure of stands in order to achieve the realistic volume predictions.

GİRİŞ

Yetiştirme ortamı koşullarının mümkün kıldığı ölçüde, maksimum hacim artımını sağlamak için ağaçlar arası rekabeti düzenleyerek optimal meşcere sıklık derecesinin belirlenmesi oldukça önemlidir (Ray ve ark. 2023). Bu bilginin eksikliğinde, işletme amaçlarına bağlı olarak aralama sıklığının ve şiddetinin planlanması mümkün değildir. Diğer taraftan, sıklık ölçütü tek ağaç ve meşcere gelişimlerinin gerçekçi bir şekilde tahmin edilmesinde

önemli açıklayıcı değişkenlerden birisidir. Bu bağlamda, silvikültürel uygulamalarla ilgili karar verme süreçlerinde ve çeşitli sıklık oranlarına göre meşcere gelişimlerinin analiz edilmesinde sıklık ölçütünün dikkate alınması son derece önemlidir (Yavuz ve ark. 2010).

Sıklık ölçütü olarak, ağaç sayısı, göğüs yüzeyi ve hacim değişkenleri çoğunlukla kullanılmaktadır. Ülkemizde gerçekleştirilen sıklıkla ilgili araştırmalarda, Curtis (1982) tarafından önerilen sıklık ölçütü yaygın bir şekilde

kullanılmaktadır—SD. Söz konusu yaklaşım silvikültürel uygulamalara rehberlik edebilecek çeşitlilikte bilgiler sunmamaktadır. Ancak, hasılat tablosu referans alınarak, aktüel meşcere göğüs yüzeyinin aynı bonitet ve yaştaki müdahale görmemiş ormanlardaki meşcere göğüs yüzeyiyle kıyaslanması ile bir değerlendirme ve karşılaştırma yapılabilmektedir. Diğer taraftan, söz konusu yaklaşım ile uygun bir değerlendirme yapabilmek için güvenilir normal hasılat tablolarına ihtiyaç duyulmaktadır. İklim koşullarının belirgin şekilde değiştiği göz önüne alındığında, kalibre edilemeyen bu yöntemin kullanışlılığı zayıftır (Yavuz ve ark. 2010, Kara ve ark. 2018).

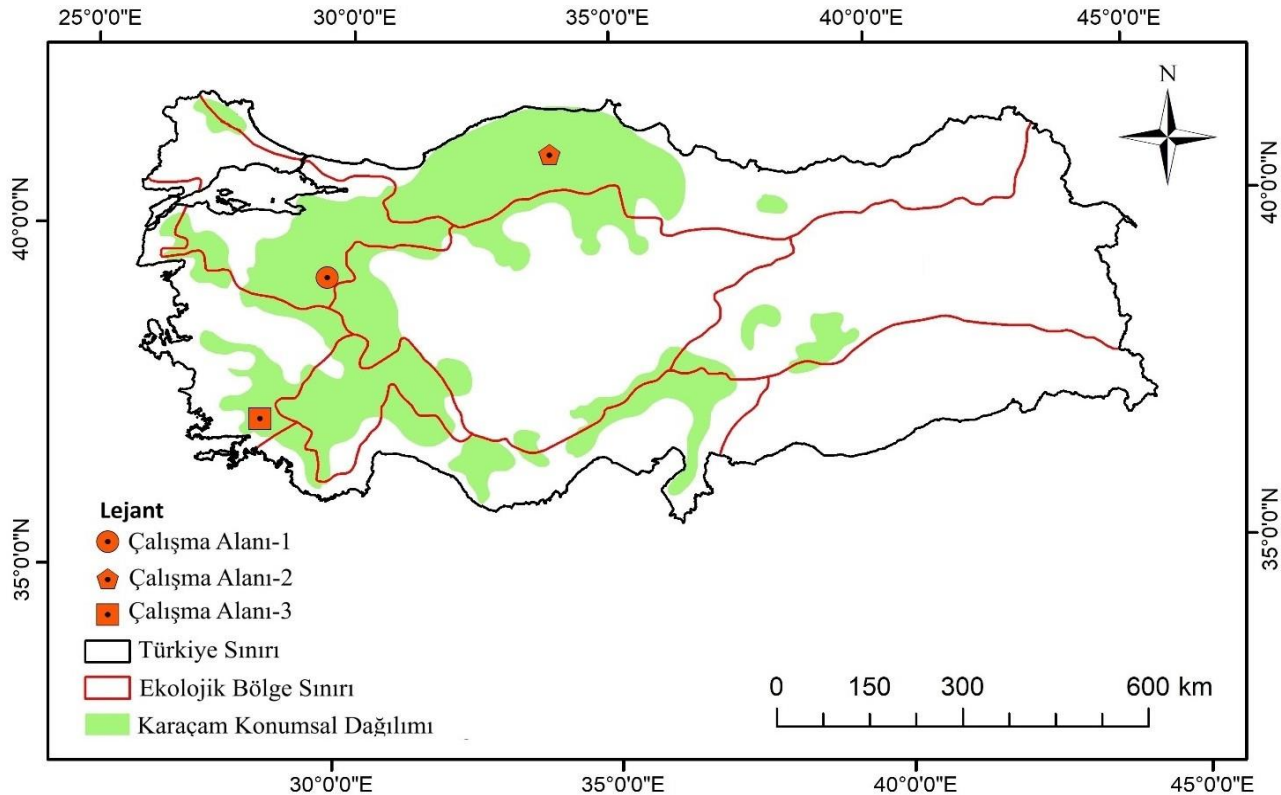
Bir diğer sıklık ölçütü olan—SDR, özellikle ormancılık açısından gelişmiş ülkelerde yaygın bir şekilde kullanılan ve belirli bir meşcere orta çapına karşılık gelen birim alandaki ağaç sayısının ilgili meşcerede bulunabilecek maksimum ağaç sayısına oranıyla ilgilidir (Drew ve Flewelling 1979, Reineke 1933). Bu yaklaşım ile belirli bir orta çapa karşılık gelen ağaç sayılarına ilişkin alt ve üst limitler belirlenmekte ve bu sayede meşcere sıklıkları optimal bir şekilde düzenlenebilmektedir (Kara ve ark. 2018). Bununla birlikte, söz konusu yöntem ile zamansal ve konumsal değişikliklere bağlı olarak $N_{mak} \sim D_q$ ilişkisi kalibre edilebilmekte ve güvenilirlik düzeyi yüksek bir şekilde meşcere sıklıkları belirlenebilmektedir (Salas-Eljatib ve Weiskittel 2018, Zhang ve ark. 2019).

Andrews ve ark. (2018) ile Woodall ve Weiskittel (2021)'in çalışmalarında, mevcut meşcere dinamiklerinin anlaşılması ve çevresel koşulların meşcere yapıları üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi noktasında SDR ölçütü bir faktör olarak ifade edilmiştir. Mevcut çalışmada, (i) yeni dinamik meşcere modelinin geliştirilmesi ve (ii) geliştirilecek yeni model kullanılarak sıklık ölçütleri SD ve SDR'nin hacim tahminleri üzerindeki etkisinin araştırılması amaçlanmaktadır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma Alanı ve Veriler

Bu çalışmada kullanılan veriler, üç ayrı iklim bölgesinde bulunan saf ve doğal Karaçam (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) meşcerelerinden elde edilmiştir. Bunlar, Marmara Geçiş Bölgesi içerisinde yer alan Yarı Kurak Orman Bölümü (Çalışma alanı 1), Karadeniz İklim Bölgesi içerisinde yer alan Karadeniz Ardi Plato ve Dağlar Soğuk Yarınemli İğne Yapraklı Orman Bölümü (Çalışma alanı 2) ve Ege İklim Bölgesi içerisinde yer alan Ege Dağ Bölümü'dür (Çalışma alanı 3) (Atalay 2014). Karaçam meşcerelerinin ülkemiz içerisindeki konumsal dağılımı ve çalışma alanlarının konumları Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanlarının konumları ve Karaçamın ülkemizdeki dağılımı (Caudullo ve ark. 2017)

Veriler

Çalışma kapsamında kullanılan veri seti, saf ve doğal Karaçam meşcerelerinin özelliklerini içermektedir. Veriler, rasgele örnekleme yöntemiyle belirlenen 108 geçici nitelikteki örnek alandan elde edilmiştir. Her çalışma alanı içerisinde, örnek alanların bonitet, sıklık ve yaş özellikleri bakımından farklılık göstermesine özen gösterilmiştir. Meşcere kapalılığına bağlı olarak dairesel örnek alanların yarı çapları 11.28 m, 13.82 m ya da 15.96 m belirlenmiştir. Seyrek meşcerelerde örnek alan içerisine yaklaşık otuz ağaç girecek şekilde örnek alanın yarı çapı 19.54 m'ye kadar çıkartılmıştır. Çalışma alanı 1'den otuz beş, Çalışma alanı 2'den otuz yedi ve Çalışma alanı 3'ten otuz altı örnek alan belirlenmiştir. Örnek alanlarda, öncelikle göğüs çapı 4 cm'den büyük canlı her ağacın göğüs yüksekliği çapı ölçülmüştür. Daha sonra, çap kademeleri dikkate alınarak gövdesinde belirgin bir zarar bulunmayan altı ağaç belirlenmiş ve bu ağaçlarda boy, tepe başlangıç yüksekliği, tepe çapı (K-G-D-B), kabuk kalınlığı ve yaş ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaya konu meşcere özellikleri Çizelge 1'de sunulmuştur. Örnek alanların Bonitet Endeksi Kalıpsız (1963) tarafından geliştirilen Bonitet Endeks Tablosu yardımıyla belirlenmiştir. Meşcere hacimlerinin belirlenmesi amacıyla Gülen (1958) tarafından geliştirilen Ağaç Hacim Tablosundan yararlanılmıştır.

Çizelge 1. Örneklenen meşcerelere ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Değişkenler	Ortalama	Değişim aralığı
Yaş (yıl)	66	16 - 137
Bonitet endeksi (m)	21.4	10.1 – 32.5
Hacim (m ³ /ha)	288.0	54.4 – 685.1
Ağaç sayısı (ha)	1059	120 - 9300
Göğüs yüzeyi (m ² /ha)	35.2	8.5 – 64.3
Meşcere orta çapı (cm)	25.8	7.6 – 50.2

Modelleme

Bu çalışmada, meşcere hacimleri McDill ve Amateis (1992) tarafından geliştirilen doğrusal olmayan regresyon yöntemiyle modellenmiştir (Denklem 1). Çalışmanın amacına uygun olacak şekilde, değişken oranlı büyümenin elde edilmesi amacıyla meşcere hacmindeki değişimi kontrol eden parametre— a_2 , bonitet ve sıklığın fonksiyonu olarak tanımlanmıştır ($a_2 = a_{20} + a_{21}BE + a_{22}[SD \text{ ya da } SDR]$). Çalışma kapsamında elde edilen

veriler geçici nitelikteki örnek alanlardan toplandığı için, meşcerelerin zamansal olarak birbirinin devamı olduğu varsayılmış ve ölçüm yapılan andan önceki zaman dilimine ait T_0 değişkeni, bu çalışmada en küçük meşcere yaşı olarak belirlenmiştir ($T_0=16$). Ölçüm yapılan andan önceki zaman dilimine ait V_0 değişkeni ise en küçük meşcere yaşıyla ilişkili olacak şekilde regresyon parametresi olarak tahmin edilmiştir— a_3 (McDill ve Amateis 1992, Manning ve ark. 2016).

$$\ln(V) = \frac{a_1}{1 - \left(1 - \frac{a_1}{V_0}\right) \left(\frac{T_0}{T}\right)^{a_2}} \quad (1)$$

Meşcere sıklık ölçüsü, iki farklı yaklaşımla hesaplanmıştır. Birinci yaklaşımda— SD , Curtis (1982) tarafından geliştirilen yöntem kullanılmıştır (Carus ve Çatal 2007, Kahrman ve Yavuz 2012, Seki ve Sakıcı 2022) (Denklem 2). Bu yaklaşımlardan ikincisi— SDR , Drew ve Flewelling (1979) tarafından önerilen $N_{Max} \sim D_q$ ilişkisine dayanmaktadır (Woodall ve Weiskittel 2021). Bu amaçla, Yavuz ve ark. (2010)'un çalışmasından elde edilen katsayılar kullanılmış ve her örnek alanın SDR değeri hesaplanmıştır (Denklem 3-4).

$$SD = \frac{G}{\sqrt{D_q}} \quad (2)$$

$$SDI = N \left(\frac{D_q}{25} \right)^{b_1} \quad (3)$$

$$SDR = \frac{SDI}{\exp(b_0 + b_1 * \ln(25))} \quad (4)$$

Model Değerlendirme

Denklem 1'de SD ve SDR kullanılarak meşcere hacimleri tahmin edilmiş ve bu ölçütlerin meşcere hacim tahminleri üzerine etkileri hata ölçütleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Modelleme sürecinde, hata dağılımında değişen varyans problemiyle karşılaşmamak ve aynı zamanda modelin çözümünü kolaylaştırmak amacıyla bağımlı değişkeninin logaritması alınmıştır. Model başarı ölçütlerinin hesaplanmasında tahmini değerlerinin anti logaritması alınmıştır. Bu dönüşümde ortaya çıkan hata miktarını düzeltmek için, Sprugel (1983) tarafından önerilen düzeltme yöntemi kullanılmıştır (Denklem 5-6). Denklem 1'in gözlemlenen meşcere hacimlerini ne ölçüde temsil ettiğini belirlemek için

Belirtme Katsayısı (R^2) kullanılırken (Denklem 8), söz konusu denklemin başarısını ölçmek amacıyla standart hata (SE_e , Denklem 7) ve ortalama mutlak hata (OMH, Denklem 8) değeri hesaplanmıştır. SD ve SDR'ye bağlı meşcere hacim tahminleri arasında istatistiksel olarak bir farklılık olup olmadığı Eşleştirilmiş Toplum Ortalaması Önemlilik Testi ile denetlenmiştir. Mevcut çalışmanın yürütülmesinde izlenen yol iş-akış diyagramı şeklinde Şekil 2'de verilmiştir.

$$SE_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log(V_{Gozlem}) - \log(V_{Tahmin}))^2}{n - p}} \quad (5)$$

$$DF = \exp(SE_e^2 / 2) \quad (6)$$

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_{Gozlem} - V_{Tahmin})^2}{n - p}} \quad (7)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (V_{Gozlem} - V_{Tahmin})^2}{\sum_{i=1}^n (V_{Gozlem} - V_{Ort})^2} \quad (8)$$

$$OMH = \frac{|V_{Gozlem} - V_{Tahmin}|}{n} \quad (9)$$

Bu eşitliklerde, V_{Gozlem} : Ölçülen hacmi, V_{Tahmin} : Tahmini hacmi ve V_{Ort} : Gözlemlenen ortalama hacmi göstermektedir. n veri sayısını ve p modeldeki parametre sayısını ifade etmektedir.

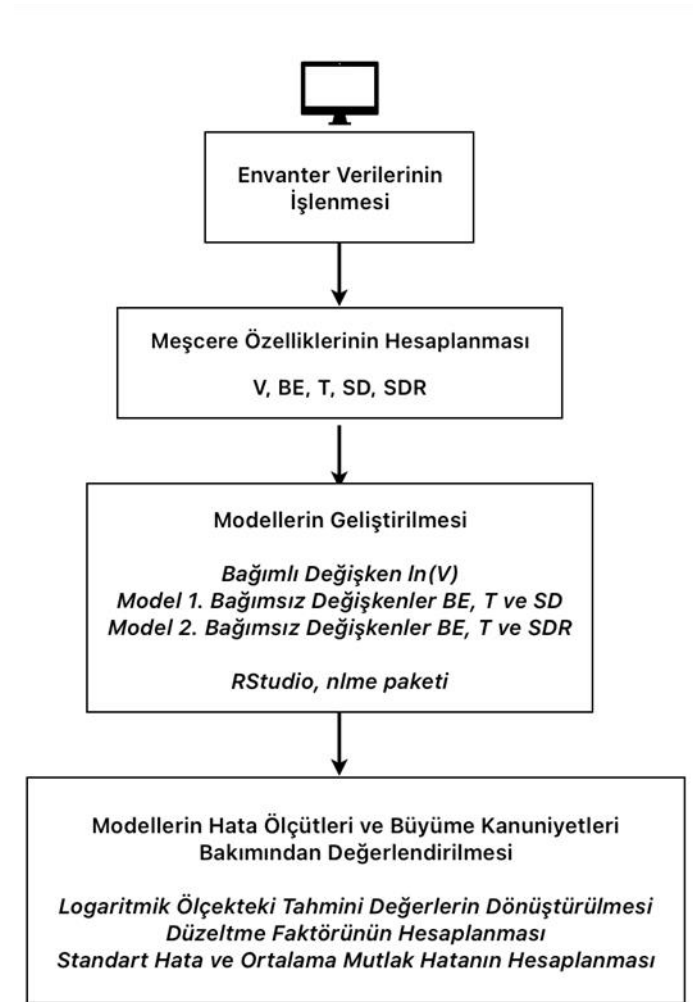
BULGULAR

Denklem 1'nin farklı sıklık ölçülerine göre parametre tahminleri, bunlara karşılık gelen standart hata değerleri ve model değerlendirme ölçütlerine ilişkin bilgiler Çizelge 2'de sunulmuştur. İlgili çizelgeden görüleceği üzere, tüm parametreler %5 önem düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Geliştirilen model, gözlemlenen hacimdeki varyansın büyük bir oranını açıklayabilmiştir ($R^2 > \%70$). Model değerlendirme ölçütleri hesaplanırken logaritmik ölçekteki tahminler orijinal ölçeğe getirilmiştir. SD ve SDR'yi içeren modeller için düzeltme katsayıları sırasıyla 1.022 ve 1.017 olarak hesaplanmıştır.

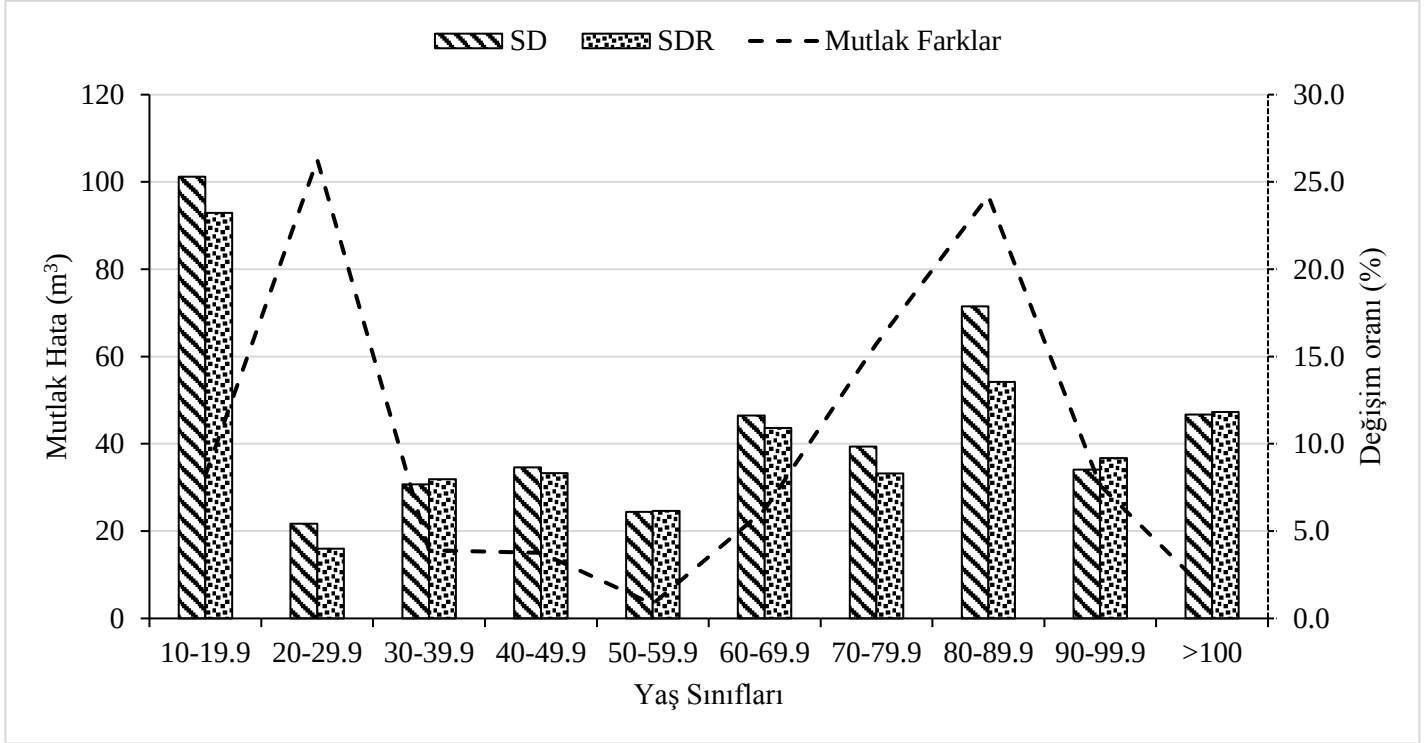
Açıklayıcı değişken olarak SDR yerine SD'nin kullanılması durumunda yüzde cinsinden mutlak hata değerindeki

değişimi değerlendirmek amacıyla Şekil 3 oluşturulmuştur. İlgili şekilde görüldüğü üzere, neredeyse tüm yaş sınıflarında SDR'yi içeren model daha küçük hata değerleri üretmiştir. Açıklayıcı değişken olarak SD'nin kullanılması, mutlak hata değerinde en az %1.3'lük ve en fazla %26.3'lük bir hata artışına sebep olmuştur. Bu artış, yirmili ve seksenli yaşlarda maksimum düzeye ulaşmıştır. Eşleştirilmiş Toplum Ortalaması Önemlilik Testine göre SD ve SDR'yi içeren model tahminleri arasında %5 önem düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmuştur ($p=0.002$).

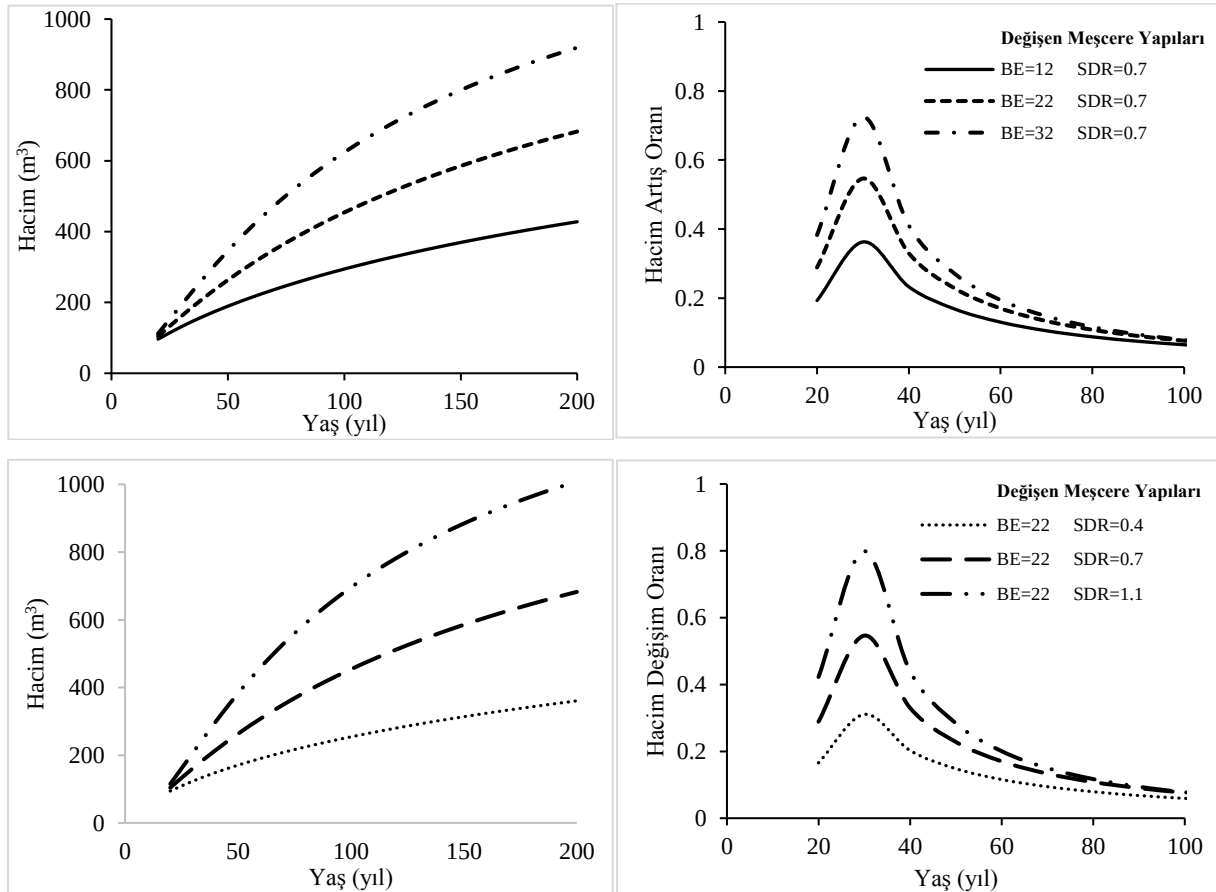
Denklem 1'in bonitet ve sıklık değiştikçe değişken oranlı büyümeyi temsil edip edemediğini değerlendirmek amacıyla Şekil 4 hazırlanmıştır. Geliştirilen denklem, meşcere büyüme kanuniyetleriyle uyumlu sonuçlar üretmiş (sol yukarı ve aşağı) ve değişken oranlı büyümeyi (sağ yukarı ve aşağı) temsil edebilmiştir.



Şekil 2. Mevcut araştırmanın yürütülmesine ilişkin iş-akış diyagramı



Şekil 3. Sıklık ölçütleri SD ve SDR'nin meşcere hacim tahminlerine etkisi



Şekil 4. Meşcere hacim modelinin çeşitli meşcere yapılarına göre davranışı (sol üstteki ve alttaki grafikler sırasıyla farklı meşcere bonitet endeksinin ve meşcere sıklığının etkisi altında zamana bağlı olarak meşcere hacim gelişimini göstermekte, sağ üstteki ve alttaki grafikler ise benzer şekilde zamana bağlı olarak hacim artış oranını ifade etmekte)

Çizelge 2. Farklı sıklık ölçülerine göre model parametre tahminlerine ve başarısına ilişkin bilgiler

Parametre	Denklem 1—SD		Denklem 1—SDR	
	Tahmin	Std. Hata	Tahmin	Std. Hata
a_1	7.3136	0.1534	7.3924	0.1090
a_{20}	-0.3115	0.0214	-0.3163	0.0153
a_{21}	0.0220	0.0015	0.0189	0.0009
a_{22}	0.0664	0.0049	0.7486	0.0368
a_3	4.2817	0.0413	4.3893	0.0259
R^2	0.798		0.821	
S_e	52.083		48.968	
OMH	38.80		36.80	

TARTIŞMA

Bu çalışmada, SD ve SDR sıklık ölçülerinin meşcere tahminleri üzerindeki etkisi açıkça gösterilmiştir. Ülkemizde sıklık ölçütü olarak genellikle SD kullanılmaktadır. Ancak, bazı durumlarda bu yaklaşım farklı meşcere yapılarını kıyaslamakta yeterince temsil edici olamamaktadır (Yavuz ve ark. 2010). Açıklayıcı değişken olarak SDR kullanıldığında daha doğru tahminler elde edilebilmektedir. Yetiştirme ortamı verimliliği, habitat tipi ve iklim gibi birçok faktör meşcere sıklığını etkilemektedir (Andrews ve ark. 2018, Zhang ve ark. 2019). Bu açıdan bakıldığında, kalibre edilebilen SDR yaklaşımı öne çıkmaktadır (Yavuz ve ark. 2010).

Örneğin, SDR ölçütünün iklim faktörleri dikkate alınarak tahmin edilmesi durumunda çeşitli iklim senaryoları altında meşcerelerin sahip olacağı servet üzerinde bir değerlendirme yapılabilmektedir (Salas-Eljatib ve Weiskittel 2018, Woodall ve Weiskittel 2021). Bununla birlikte, SDR ölçütü planlamacı ve uygulamacılar için önemli eşik değerler sunmaktadır. Drew ve Flewelling (1979), SDR yaklaşımının optimum ağaç hacim servetine ulaşabilmek amacıyla yapılacak silvikültürel uygulamalara rehberlik edebileceğini belirtmişlerdir. $N-D_q$ ilişkisine bağlı olarak meşcerelerin sahip olabileceği en az ve en fazla sıklık düzeyi belirlenebilmekte ve böylece meşcere bakım müdahaleleri planlanabilmektedir. Belirli N_{mak} ve D_q değerine sahip meşcerenin bakım müdahalesi sonucunda sıklığının $0,3 \leq SDR < 0,6$ aralığında tutulması meşcere gelişimi açısından ideal sıklığın korunduğu anlamına gelmektedir (Woodall ve Weiskittel 2021).

Ülkemizde, meşcere hacmi modellenirken veri niteliğinden kaynaklı olarak genellikle doğrusal yapıdaki denklemler kullanılmaktadır. Ölçüm yapılan zamandan önceki yıllara ait veriler olmadığından dinamik modeller kullanılmamaktadır. Ancak, doğrusal yapıdaki modeller büyüme kanuniyetlerini sağlayabilecek bir yapıya sahip değildir ve meşcere özellikleri değişse dahi büyümenin aynı sabit bir oranla gerçekleştiğini varsayar (Paine ve ark. 2012). Halbuki, bonitet ve sıklık değiştiğinde büyüme oranının değişmesi beklenmektedir. Bu

amaçla, Yavuz ve ark. (2010)'un çalışmasında Clutter ve ark. (1983) tarafından geliştirilen denklemden faydalanılmıştır. Söz konusu çalışmada, çap-çap artımı ilişkisinden yararlanarak geçici nitelikteki verilere zamansal bir boyut kazandırılmış ve Cebirsel Fark Yaklaşımına Dayalı olarak dinamik meşcere modelleri geliştirilmiştir (Prada ve ark. 2019). Bu çalışmadan sonraki, ilk deneme Bolat ve ark. (2023) tarafından gerçekleştirilmiştir. Ancak, Bolat ve ark. (2023)'ün çalışmasında verilere zamansal bir düzenleme yapılmadan doğrusal olmayan modelin artış oranıyla ilişkili parametresi bonitet ve sıklığın fonksiyonu olarak tanımlanmış ve böylece dinamik bir model geliştirilmiştir. Aynı mantık çerçevesinde, mevcut çalışmada McDill ve Amateis (1992) tarafından geliştirilen dinamik model yeniden düzenlenmiş ve büyüme kanuniyetleriyle uyumlu sonuçlar elde edilmiştir (Manning ve ark. 2016).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Mevcut çalışmada, uygun sıklık ölçütünün önemine vurgu yapılmaktadır. Bununla birlikte, gerçekçi meşcere hacim tahminleri için doğrusal olmayan dinamik modellerin gerekliliğine dikkat çekilmektedir. Geliştirilen dinamik model, büyüme kanuniyetlerine uygun davranışlar göstermiş ve gözlemlenen meşcere hacmindeki varyansın büyük bir kısmını açıklamıştır (>70%). Uygun olmayan sıklık ölçütünün kullanımı, dikkate değer hata artışlarına sebep olabilmektedir (>10%). $N_{mak} \sim D_q$ ilişkisine dayalı yöntem uygun sıklık ölçütü olarak belirlenmiştir. Benzer konuda yapılacak çalışmalarda, söz konusu ilişkinin belirlenmesinde iklim ve ekolojik bölge gibi faktörlerin dikkate alınması önerilmektedir. Ayrıca, sıklığa bağlı hasılat tabloları düzenlenirken doğrusal olmayan dinamik meşcere modellerinin geliştirilmesi tavsiye edilmektedir.

TEŞEKKÜR

Mevcut çalışmanın finansal desteğini sağlayan Çankırı Karatekin Üniversitesi Proje Yönetim Birimi'ne teşekkür ederim (Proje No: OF240223B01). Bununla birlikte, arazi çalışmalarına önemli katkılar sağlayan Orman Genel Müdürlüğü Teknik Personellerine, Dr. Semih EDİŞ'e ve çalışma haritasının hazırlanmasında katkı sağlayan Dr. Sinan BULUT'a teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Andrews C, Weiskittel A, D'Amato AW, Simons-Legaard E (2018) Variation in the maximum stand density index and its linkage to climate in mixed species forests of the North American Acadian Region. *Forest Ecology and Management*, 417: 90-102.
- Atalay İ (2014) Türkiye'nin Ekolojik Bölgeleri (Ecoregions of Turkey). Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri, Ankara.

- Bolat F, Ercanlı İ, Günlü A (2023) Yield of forests in Ankara Regional Directory of Forestry in Turkey: Comparison of regression and artificial neural network models based on statistical and biological behaviors. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 16(1): 30-37.
- Carus S, Çatal Y (2007) Isparta Yöresi Anadolu karaçamı (*Pinus nigra* Arnold subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) meşcerelerinde büyüme özellikleri. Süleyman Demirel University Faculty of Arts and Science Journal of Science, 2(1): 1-10.
- Caudullo G, Welk E, San-Miguel-Ayán J (2017) Chorological maps for the main European woody species. Data in Brief, 12: 662-666.
- Clutter JL, Fortson JC, Pienaar LV, Brister GH, Bailey RL (1983) Timber management: A quantitative approach. John Wiley & Sons, Inc., USA.
- Curtis RO (1982) A simple index of stand density for Douglas fir. *Forest Science*, 28(1):92-94.
- Drew TJ, Flewelling JW (1979) Stand density management: an alternative approach and its application to Douglas-fir plantations. *Forest Science*, 25(3): 518-532.
- Gülen İ (1958) Karaçam (*P. nigra* Arnold) hacim tablosu. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 9(1): 92-112.
- Kahriman A, Yavuz H (2012) The construction of variable density yield table for scots pine and oriental beech mixed stands in black sea region. Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 12(1): 36-54.
- Kalıpsız A (1963) Türkiye’de Karaçam meşcerelerinin tabii bünyesi ve verim kudreti üzerine araştırmalar. Tarım Bakanlığı/Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, Cilt 8, 138 s., İstanbul, Türkiye.
- Kara F, Loewenstein EF, Lhotka JM, Kush JS (2018) A Gingrich-style stocking chart for Longleaf pine (*Pinus palustris* Mill.) forests. *Forest Science*, 64(3): 307-315.
- Manning PJ, McDill ME, Gilabert H (2016) An alternative model for describing even-aged stand-level sawtimber growth in Pennsylvania. *Forest Science*, 62(6): 663-670.
- McDill ME, Amateis RL (1992) Measuring forest site quality using the parameters of a dimensionally compatible height growth function. *Forest Science*, 38(2): 409-429.
- Paine CT, Marthews TR, Vogt DR, Purves D, Rees M, Hector A, Turnbull LA (2012) How to fit nonlinear plant growth models and calculate growth rates: an update for ecologists. *Methods in Ecology and Evolution*, 3(2): 245-256.
- Prada M, González-García M, Majada J, Martínez-Alonso C (2019) Development of a dynamic growth model for sweet chestnut coppice: a case study in Northwest Spain. *Ecological Modelling*, 409: 108761.
- Reineke LH (1933) Perfecting a stand-density index for even-aged forest. *Journal of Agricultural Research*, 46(7): 627-638.
- Salas-Eljatib C, Weiskittel AR (2018) Evaluation of modeling strategies for assessing self-thinning behavior and carrying capacity. *Ecology and Evolution*, 8(22): 10768-10779.
- Seki M, Sakici OE (2022) Ecoregional variation of Crimean pine (*Pinus nigra* subspecies *pallasiana* [Lamb.] Holmboe) stand growth. *Forest Science*, 68(5-6): 452-463.
- Sprugel DG (1983) Correcting for bias in log-transformed allometric equations. *Ecology*, 64(1): 209-210.
- Woodall CW, Weiskittel AR (2021) Relative density of United States forests has shifted to higher levels over last two decades with important implications for future dynamics. *Scientific Reports*, 11(1): 18848.
- Yavuz H, Mısır N, Mısır M, Tüfekçioğlu A, Karahalil U, Küçük M (2010) Karadeniz Bölgesi saf ve karışık sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) meşcereleri için mekanistik büyüme modellerinin geliştirilmesi, biyokütle ve karbon depolama miktarlarının belirlenmesi. TÜBİTAK 1001-Araştırma Projesi, No: 106O274, 318 s.
- Zhang X, Cao QV, Lu L, Wang H, Duan A, Zhang J (2019) Use of modified Reineke’s stand density index in predicting growth and survival of Chinese fir plantations. *Forest Science*, 65(6): 776-783.