

# Kastamonu ve Sinop Yöresi Sarıçam Meşcereleri İçin Ekorejyon Tabanlı Çap Artım Modeli

Fadime SAĞLAM<sup>1\*</sup>, Oytun Emre SAKICI<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup>Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, 37150, Kastamonu, Türkiye

## Article History

Received: 08.03.2022

Accepted: 28.03.2022

Published: 15.04.2022

## Research Article



**Öz** – Tek ağaç ve meşcere gelişimleri ekolojik faktörlere bağlı olarak değişim gösterebilmektedir. Bu çalışmada, Kastamonu ve Sinop yöresi saf ve doğal sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) meşcereleri için ekorejyon tabanlı tek ağaç çap artım modeli geliştirilmiştir. Bu amaçla, çeşitli ekolojik faktörlerin birlikte değerlendirilmesiyle oluşan ekolojik bölge sınıflaması modellerde altlık olarak kullanılmış ve tek ağaçlardaki çap artımlarının ekorejyonlar arasındaki farklılıkları araştırılmıştır. Çalışma alanının yer aldığı Karadeniz İklim Bölgesi 5 alt ekolojik bölgeyi (ekorejyon) barındırmakta olup, çalışma kapsamında sarıçam ağaç türünün yoğunluk gösterdiği Ekorejyon 1 Ekorejyon 2 ve Ekorejyon 3'te arazi çalışmaları sürdürülmüştür. Çalışma materyali olarak 292 örnek alandan elde edilen 2318 adet örnek ağaç verisi kullanılmıştır. Karışık etkili modelleme tekniği ile geliştirilen çap artım modeline ilişkin tahminlerin ekorejyonlar arasındaki farklılığı Doğrusal Olmayan Ekstra Kareler Toplamı yöntemi ile test edilmiştir. Tek ağaç çap artım modeli, ağaca ilişkin göğüs çapı yanında meşcere yaşı, bonitet endeksi, sıklık derecesi ve meşcere orta çapı gibi meşcere özellikleri ile yarışma endekslerine bağlı olarak son 5 yıllık çap artımlarını tahmin etmek üzere geliştirilmiş olup  $R^2$  değeri 0,691'dir. İstatistiksel ve grafiksel incelemeler sonucunda çap artımının ekorejyonlar arasındaki farklılıkları ortaya konulmuş olup Kastamonu ve Sinop yöresi doğal sarıçam meşcerelerinde ekorejyon tabanlı modellerin kullanılması uygun bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler** – Tek ağaç modeli, ekorejyon, karışık etkili modelleme, *Pinus sylvestris*

## Ecoregion-Based Diameter Increment Model for Scots Pine Stands in Kastamonu and Sinop Regions

<sup>1\*</sup>Kastamonu University, Faculty of Forestry, Department of Forest Engineering, 37150, Kastamonu, Turkey

## Makale Tarihiçesi

Gönderim: 08.03.2022


Kabul: 28.03.2022


Yayın: 15.04.2022

## Araştırma Makalesi

**Abstract** – Individual tree and stand development may vary depending on ecological factors. In this study, ecoregion-based individual tree diameter increment model were developed for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands of Kastamonu and Sinop regions. For this purpose, ecoregion classification, which is formed by evaluating various ecological factors, was used in the models and the differences between ecoregions were investigated. The Black Sea Climatic Region, where the study area is located, contains 5 sub-ecological regions (ecoregion), and area studies were carried out in Ecoregion 1, Ecoregion 2 and Ecoregion 3, where Scots pine are densely distributed. The data of 2318 sample trees obtained from 292 sample plots were used as study material. The estimations made with the mixed-effects modeling approach were compared using the non-linear sum of extra squares test. Individual tree models for each ecoregion have been developed to estimate the diameter increments of the last 5 years, and its  $R^2$  value is 0,691. As a result of statistical and graphical examinations, it was revealed that there were differences between ecoregions and found appropriate to use ecoregion-based models for Scots pine stands in Kastamonu and Sinop regions.

**Keywords** – Individual tree model, ecoregion, mixed effects modelling, *Pinus sylvestris*

<sup>1</sup>  fsaglam@kastamonu.edu.tr

<sup>2</sup>  oesakici@kastamonu.edu.tr

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

## 1. Giriş

Ormanlar, topluma çeşitli sosyal, kültürel ve ekonomik faydalar sağlayan doğal kaynakların en önemlilerinden birisidir. İnsanoğlunun var oluşuyla başlayan insan-orman ilişkisi ilk zamanlar ormanların barınma ve gıda kaynağı olarak kullanılması şeklinde kendini göstermiştir. Sonrasında ise, insanlığın gelişip insan nüfusunun artmaya başlamasıyla ormanlardan yararlanma çeşitlilik kazanmıştır. Nüfus artışı ve teknolojinin gelişimine bağlı olarak bir yandan ormanlardan sağlanan sosyal, kültürel ve ekonomik olarak çok amaçlı yararlanmanın sağlanması, diğer yandan da orman ekosistemlerinin sürekliliğinin garantiye alınması için bu yararlanmanın bir plan dahilinde yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır (Eraslan, 1982; Asan, 1999; Eler, 2001; Köse vd., 2001; Kapucu, 2004; Eler, 2013). Ormanların rasyonel bir şekilde planlanarak, etkin ve verimli bir şekilde işletilebilmesi için de ormanların artım ve büyüme potansiyellerinin doğru ve güvenilir bir biçimde tahmin edilmesi gerekmektedir (Akalp, 1978; Mısır, 2003; Mısır ve Yavuz, 2013).

Çeşitli ağaç türlerini içeren orman ekosistemleri; değişen iklim, toprak, bitki örtüsü vb. özelliklere sahip geniş bir coğrafi alanı kapsamaktadır. Çeşitli iklim ve yetişme ortamı koşullarında yer alan meşcerelerin artım ve büyümesinin tahmin edilmesi, ekolojik tabanlı planlama yaklaşımları ve stratejilerinin ortaya konulmasında kritik öneme sahiptir (Klos vd., 2007). Ekolojik faktörler meşcere artım ve büyümesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olmaktadır. Artım ile büyüme tahminlerinde ekolojik faktörleri dikkate alarak geliştirilen ekolojik tabanlı modellerin kullanılması daha başarılı ve güvenilir sonuçlar sunmaktadır (Huang, 1994; Xu, 2004; Klos vd., 2007; Seki ve Sakıcı, 2022). Ekolojik farklılıklar dikkate alınmadan çeşitli modellerin kullanılması, meşcere ve tek ağaçlara ilişkin tahminlerde yüksek hatalara sebep olabilmektedir (Huang vd., 2000). Bir meşcereye ilişkin artım ve büyüme ilişkileri büyük ölçüde çevre koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterdiğinden, iklim, topografya, toprak ve fizyografik özelliklerin etkileri de dikkate alınmalıdır (Özçelik vd., 2016).

Meşcere içerisinde yer alan ağaçların artım ve büyüme potansiyellerini etkileyen en temel faktörlerden birisi ağaçlar arasındaki rekabet düzeyidir (Curtis, 1970). Ağaçlar ışık, su, bitki besin elementleri ve mevcudiyetlerini sürdürdükleri alan da dâhil olmak üzere çeşitli kaynaklar için rekabet ederler (Ford ve Sorrensen, 1992). Ağaçlar büyüdükçe, çevrelerini ve ayrıca komşularının da büyüme yeteneklerini etkilerler. Dolayısıyla, bireyler arasındaki rekabet hem konumsal hem de zamansal olarak oldukça dinamik bir yapıya sahiptir (Weiskittel vd., 2011). Her ağacın komşularından ne kadar etkilendiğini ifade eden rekabetin sayısal değeri Yarışma Endeksi (Competition Index) olarak adlandırılmakta ve çeşitli matematiksel eşitlikler ile hesaplanmaktadır (Yavuz, 1997; Burkhardt ve Tomé, 2012). Yarışma endeksleri komşu ağaçların konu ağaca olan uzaklıklarını dikkate alıp almama durumuna göre iki gruba ayrılmaktadır. Komşu ağaçlara olan uzaklıkları dikkate alan yarışma endeksleri “uzaklığa bağlı (distance-dependent veya position-dependent)” ve bu uzaklıkları dikkate almayan yarışma endeksleri ise “uzaklıktan bağımsız (distance-independent veya position-independent)” yarışma endeksleri olarak adlandırılmaktadır (Vanclay, 1994; Gadow ve Hui, 1999; Pretzsch, 2009; Weiskittel vd., 2011; Burkhardt ve Tomé, 2012).

Ülkemizde, Mısır (2003) tarafından karaçam ağaçlandırmaları için tek ağaca ilişkin çap, göğüs yüzeyi ve hacim artım modelleri, yapay sahilçamı meşcereleri (Özdemir, 2005), doğal ve yapay kızılçam ve karaçam meşcereleri (Carus, 2005), dişbudak ağaçlandırmaları (Carus ve Çiçek, 2007), doğal kızılçam meşcereleri (Çatal, 2009) ve yapay kızılçam meşcereleri (Carus ve Gülden, 2014; Çatal vd., 2014) için tek ağaç çap artım modelleri, Doğu ladini-sarıçam karışık meşcereleri için uzaklığa bağlı ve uzaklıktan bağımsız tek ağaç artım modelleri (Ercanlı, 2010), karışık sarıçam meşcereleri için uzaklığa bağlı ve uzaklıktan bağımsız tek ağaç çap artım modelleri (Yavuz vd., 2010), sarıçam, göknar ve kayın karışık meşcereleri için uzaklığa bağlı tek ağaç çap artım modeli (Özdemir, 2011), Doğu Karadeniz göknarı-doğu ladini karışık meşcereleri için tek ağaç çap artımı modelleri (Kahrıman ve Yavuz, 2012), karaçam meşcereleri için tek ağaç çap artım

modelleri (Seki, 2020; Bolat, 2021) ve meşe için uzaklığa bağlı tek ağaç göğüs yüzeyi artım modeli (Özdemir, 2021) geliştirilmiştir.

Sarıçam, ülkemizde yayılış yaptığı alanlarda iklim, topoğrafya, toprak ve ana materyale bağlı olarak bonitet, kapalılık, floristik bileşim ve coğrafi varyasyon bakımından farklı özellikler göstermektedir (Atalay, 2012). Bu çalışmada, Kastamonu ve Sinop Orman Bölge Müdürlüklerinde (OBM) yayılış gösteren sarıçam ağaç türü için tek ağaç özellikleri, meşcere yaşı, bonitet ve meşcere sıklığı gibi meşcere özellikleri ve uzaklıktan bağımsız yarışma endekslerinin yanında çeşitli ekolojik faktörlerin bütünleşmesiyle oluşan ekorejyonların da modellemeye dahil edilerek tek ağaç çap artım modelinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

## 2. Material and Method

### 2.1. Çalışma Alanı

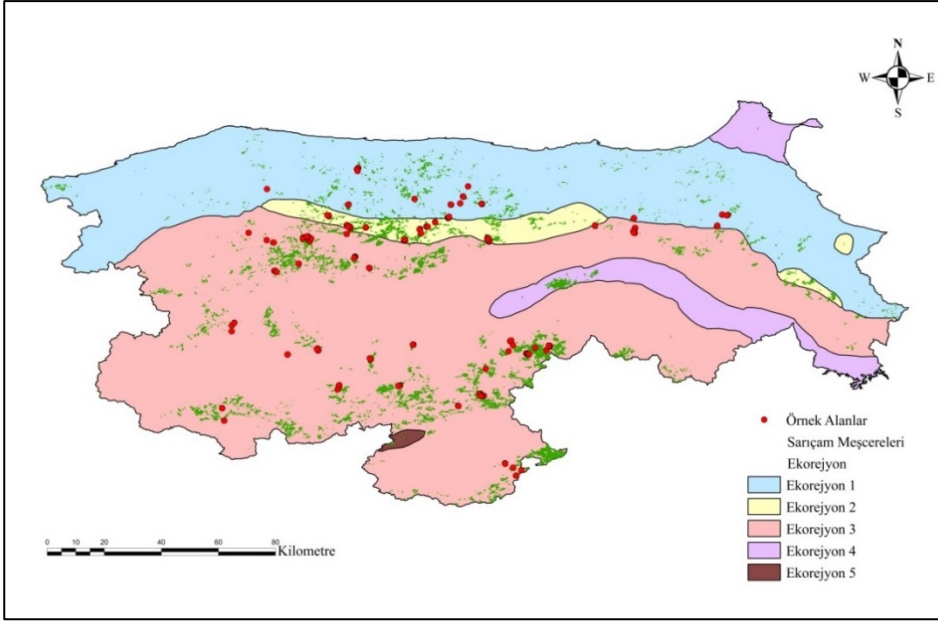
Çalışma alanı olarak belirlenen Kastamonu ve Sinop OBM'leri sarıçam meşcerelerinin önemli yayılış alanlarından. Toplam 1,91 milyon hektar yüzölçümüne sahip olan Kastamonu ve Sinop OBM'lerinin yaklaşık olarak %65'i (1,24 milyon hektar) ormanlık alanlardan oluşmaktadır (OGM, 2021). Çalışma alanı içerisinde yaklaşık 51 bin ha saf ve verimli sarıçam meşceresi bulunmaktadır. Çalışma alanında, yeryüzü şekli, yetiştirme ortamı, yükselti, bakı ve çeşitli ekolojik faktörler bakımından farklı özelliklerde sarıçam meşcereleri bulunmaktadır. Bu amaçla, yapılan çalışmada Atalay (2014) tarafından geliştirilen ekolojik sınıflandırma sonucunda oluşturulan alt ekolojik bölgeler (ekorejyonlar) dikkate alınmıştır. Atalay (2014), iklim, toprak, ana materyal, topoğrafya ve biyotik faktörleri dikkate alarak Türkiye'yi ekolojik bölgelere ayırmıştır. Bu sınıflandırmaya göre, çalışma alanı olan Kastamonu ve Sinop yöresi "Karadeniz İklim Bölgesi" içerisinde bulunmakta ve bu iklim bölgesi de beş ekorejyona ayrılmaktadır (Şekil 1). Çalışma alanında yer alan ekorejyonlar aşağıda verilmiştir:

- Ekorejyon 1. Nemli-Ilıman Geniş Yapraklı Orman Bölümü,
- Ekorejyon 2. Karadeniz Kıyı Dağları Nemli-Soğuk İğne Yapraklı Orman Bölümü,
- Ekorejyon 3. Karadeniz Ardı Plato ve Dağlar Soğuk Yarınemli Orman Bölümü,
- Ekorejyon 4. Karadeniz Ardı Kurakçıl Orman-Çalı Bölümü,
- Ekorejyon 5. Karadeniz Dağ Çayırları Bölümü

Ekorejyonlarda verimli sarıçam meşcerelerinin alansal dağılımları sırasıyla Ekorejyon 3 (%71,5), Ekorejyon 1 (%13,1) ve Ekorejyon 2 (%12,5) şeklindedir. Ekorejyon 4 (%2,7) ile Ekorejyon 5'te (%0,2) yayılış gösteren saf ve verimli sarıçam meşcerelerinin alansal büyüklükleri ise oldukça azdır. Bu sebeple, modellerin geliştirilmesinde kullanılacak veriler ilk üç ekorejyonda yayılış gösteren sarıçam meşcerelerinden elde edilmiştir.

### 2.2. Materyal

Çalışma alanı içerisinde yayılış gösteren saf sarıçam meşcereleri amenajman planları ve plan verilerine ilişkin sayısal altlıklar yardımıyla tespit edilmiştir. Sarıçam meşcerelerinden farklı meşcere yaşı, sıklık ve bonitet sınıfları ile ekorejyonlara (Ekorejyon 1, Ekorejyon 2 ve Ekorejyon 3 olmak üzere 3 ekorejyon) dağıtımını sağlanmaya çalışılarak alınan toplam 292 adet örnek alandan ve 2318 adet örnek ağaç verisi bu çalışmanın materyalini oluşturmuştur. Örnek alanlardan 68'i Ekorejyon 1, 73'ü Ekorejyon 2 ve 151'i Ekorejyon 3'ten alınmıştır. Örnek alanların çalışma alanına ve ekorejyonlara dağılımları Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Örnek alanların çalışma alanına ve ekorejyonlara dağılımları

Örnek alanlar daire biçiminde alınmış olup büyüklükleri meşcere kapalılığı ve içerisine düşen örnek ağaç sayısı dikkate alınarak 200 m<sup>2</sup> ile 1200 m<sup>2</sup> (200, 400, 600, 800, 1000 veya 1200 m<sup>2</sup> olarak) arasında değişmiştir. Örnek alan içerisinde göğüs çapı 8 cm ve daha büyük olan tüm ağaçların göğüs yüksekliğindeki çapları ( $d_{1,30}$ ) 0,1 cm hassasiyetinde ve çift kabuk kalınlıkları (ÇKK) 1 mm hassasiyetinde ölçülmüştür. Örnek alanlarda her bir çap basamağından seçilen 2-3 ağaçta (örnek alan içerisinde 8-12 ağaç) artım burgusu yardımıyla göğüs yüksekliklerinden artım kalemleri alınmıştır. Artım kalemleri üzerindeki yıllık halkalar sayılmış ve ardından son 5 yıllık halka kalınlıkları 0,5 mm hassasiyetinde ölçülmüştür. Meşcere sıklığının hesaplanmasında kullanılmak üzere, her bir örnek alana ilişkin göğüs yüzeyi orta çapı ( $d_q$ ) ve meşcere göğüs yüzeyi ( $G$ ) hesaplanmıştır. Meşcere yaşının belirlenmesi amacıyla her bir örnek alanda meşcere orta çapına yakın 4-5 ağaçtan artım kalemi alınmıştır. Bonitet endekslerinin belirlenmesinde kullanılmak üzere de örnek alanlarda hektarda 100 ağaç hesabına göre (örnek alan büyüklüğüne bağlı olarak 400 m<sup>2</sup> için 4 ağaç, 600 m<sup>2</sup> için 6 ağaç vb. gibi) örnek alan içerisine düşen en uzun boylu ağaçların boyları 0,1 m hassasiyetinde ölçülmüştür.

### 2.3. Yöntem

Tek ağaçlara ilişkin çap artım tahminlerine olanak sağlayan tek ağaç çap artım modellerinde bağımlı değişken olarak çap artımı ya da göğüs yüzeyi artımı kullanılabilir (Burkhart ve Tomé, 2012). Ancak, yapılan çalışmalarda çoğunlukla çap artımı tercih edilmektedir (Huang ve Titus, 1995). Bu çalışma kapsamında tek ağaç boyutları (göğüs çapı ve boy gibi), meşcere özellikleri (yaş, sıklık, bonitet endeksi gibi) ve ağaçlara ilişkin rekabet durumları (yarışma endeksleri) gibi değişkenlerin bir fonksiyonu olarak yıllık ortalama çap artımını tahmin eden tek ağaç çap artım modeli geliştirilmesi amaçlanmış olup modelleme çalışması için izlenen yöntem aşağıda açıklanmıştır.

Çap artım modellerinin geliştirilmesinde örnek ağaçlara ilişkin son 5 yıllık çap artımlarına ve 5 yıl önceki çap değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Söz konusu artım değerlerinin hesaplanmasında örnek ağaçlara ilişkin kabuklu ve kabuksuz göğüs çapları, kabuk kalınlığı, kabuk faktörü ve artım kalemlerinden elde edilen son 5 yıla ait kabuksuz çap artım değerlerinden yararlanılmaktadır. Kabuksuz göğüs çapı; kabuklu göğüs çapı (cm) değerinden kabuk kalınlığının (cm) çıkarılması ile elde edilmektedir. Kabuk faktörü; kabuklu göğüs çapı değerinin kabuksuz göğüs çapı değerine oranlanması ile hesaplanmaktadır. Elde edilen bu veriler yardımıyla örnek ağaca ilişkin 5 yıl önceki kabuklu çap değerleri; kabuksuz göğüs çapı değerinden son 5 yıllık artım değerlerinin çıkartılması ve bu değer kabuk faktörü ile çarpılması sonucunda

hesaplanmaktadır. Kabuklu ve kabuksuz göğüs çapları arasındaki ilişkileri ortaya koymada kullanılan kabuk faktörünün konu ağaca ilişkin dönem sonu ve dönem başı kabuklu göğüs çapı değerlerinin hesaplanmasında değişmediği kabul edilmiştir.

Çap artım modellerine ilişkin uzaklıktan bağımsız yarışma endeksleri ülkemizde çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalardan sağlanmıştır (Yavuz, 1997; Mısır, 2003; Ercanlı, 2010; Kahriman, 2011; Özdemir, 2011; Seki, 2020). Çalışma kapsamında tercih edilen beş adet uzaklıktan bağımsız yarışma endeksine ilişkin denklem yapıları aşağıda verilmiştir:

- Konu ağaç göğüs çapının meşcerenin göğüs yüzeyi orta ağacının çapına oranlandığı yaklaşım:

$$YE_1 = \frac{d_i}{d_q} \quad (2.1)$$

- Konu ağaç göğüs çapının meşcerenin en kalın çaplı ağacının göğüs çapına oranlandığı yaklaşım:

$$YE_2 = \frac{d_i}{d_{max}} \quad (2.2)$$

- Konu ağaca ilişkin göğüs yüzeyi değerinin meşcerenin ortalama göğüs yüzeyine oranlandığı yaklaşım:

$$YE_3 = \frac{g_i}{\bar{g}} \quad (2.3)$$

- Konu ağaca ilişkin göğüs yüzeyi değerinin meşcerenin en kalın çaplı ağacının göğüs yüzeyine oranlandığı yaklaşım:

$$YE_4 = \frac{g_i}{g_{max}} \quad (2.4)$$

- Konu ağaçtan daha kalın çaplı ağaçların göğüs yüzeyleri toplamını yarışma endeksi olarak kabul eden yaklaşım:

$$YE_5 = BAL_i = \sum_1^n g_j g_j > g_i \quad (2.5)$$

Bu eşitliklerde;  $YE$ : yarışma endeksini,  $d_i$ : konu ağacın göğüs çapını,  $d_q$ : meşcereye ilişkin göğüs yüzeyi orta ağacının çapını,  $d_{max}$ : meşceredeki en kalın çaplı ağacın göğüs çapını,  $g_i$ : konu ağacın göğüs yüzeyini,  $\bar{g}$ : meşcerenin ortalama göğüs yüzeyini,  $g_{max}$ : meşceredeki en kalın çaplı ağacın göğüs yüzeyini ve  $g_j$ : konu ağaçtan daha kalın çaplı ağaçların göğüs yüzeylerini ifade etmektedir.

Rekabetin ortaya konulması amacıyla yukarıda açıklanan yarışma endeksleri incelendiğinde,  $YE_1$ - $YE_4$  nolu yarışma endekslerine ilişkin değer artması durumunda ilgili ağacın meşcere içerisinde komşu ağaçlardan gördüğü baskının azaldığı yani rekabet konusunda baskın duruma geçtiği anlaşılmaktadır.  $YE_5$  nolu yarışma endeksine ( $BAL$ ) ilişkin sayısal değer artması durumunda ise konu ağacın meşcerede gördüğü baskının arttığı anlaşılmaktadır.

Meşcere yaşının belirlenmesi amacıyla alınan artım kalemlerindeki yıllık halkalar sayılarak örnek ağaçların göğüs yüksekliği yaşları belirlenmiş ve ilgili örnek alan için ağaçların 1,30 m yüksekliğe ulaşma süreleri (meşcerede bulunan 1,30 m boyundaki fidanların sürgün sayısı yardımıyla; genel olarak I. Bonitet için 6 yıl, II. Bonitet için 8 yıl, III. Bonitet için 10 yıl) göğüs yüksekliği yaşına eklenerek ağaçların yaşları hesaplanmıştır. Ağaçlara ilişkin yaşların aritmetik ortalaması alınarak da örnek alanlara ilişkin meşcere yaşları belirlenmiştir.

Meşcere sıklığının hesaplanmasında Curtis vd. (1981) tarafından geliştirilen sıklık ölçütünden yararlanılmıştır. Bu yöntem kullanılarak meşcere sıklık derecesi ( $SD$ ) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır:

$$SD = \frac{G}{\sqrt{d_q}} \quad (2.6)$$

Bu eşitlikte;  $SD$  sıklık derecesini,  $G$  hektardaki göğüs yüzeyini ( $m^2/ha$ ) ve  $d_q$  ise göğüs yüzeyi orta ağacının çapını (cm) ifade etmektedir.

Artım üzerinde önemli bir etkiye sahip olan yetiştirme ortamı özellikleri, ilgili muhitin iklim, toprak, topografya ve mevki gibi faktörlerin etkisiyle oluşur (Eler ve Carus, 2006). Belli bir yaşta bir meşcerenin yapacağı üretim miktarını tahmin etmek, orman işletmelerini teknik ve ekonomik olarak planlayabilmenin önemli bir aşamasıdır (Günel, 1981). Belli bir standart yaşta meşcerenin alacağı üst boy değeri olarak isimlendirilen “bonitet endeksi” meşcere verimliliğinin ortaya konulmasında önemli olmaktadır (Kalıpsız, 1998; Cieszewski ve Strub, 2008). Çalışma kapsamında bonitet endekslerinin ( $BE$ ) hesaplanmasında Sağlam (2021) tarafından geliştirilen dinamik bonitet endeks modelleri kullanılmıştır.

Tek ağaç modellerinin geliştirilmesi ve geliştirilen modellerin uygunluğunun test edilmesi amacıyla tüm veriler (2318 adet) rastgele bir şekilde model geliştirme (%75  $\cong$  1736 adet) ve kontrol (%25  $\cong$  582 adet) verileri olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Tek ağaç çap artım modellerinin geliştirilmesinde, 5 yıllık ortalama çap artımları bağımlı değişken ve tek ağaç özellikleri, meşcere özellikleri (meşcere yaşı, bonitet endeksi, sıklık derecesi, orta çap) ve yarışma endeksleri (5 farklı ölçüte bağlı olarak hesaplanan uzaklıktan bağımsız yarışma endeksleri) ile bu değişkenlerin çeşitli kombinasyonları da bağımsız değişken olarak kullanılmıştır. İlgili modellerin geliştirilmesinde ilk olarak IBM SPSS 20 (2011) paket programı yardımıyla Aşamalı Regresyon yöntemi kullanılmıştır. Analiz sonucu başarılı bulunan tek ağaç modeline Karışık Etkili Regresyon Analizi uygulanmıştır. Tek ağaç gelişimleri yukarıda bahsedilen bağımsız değişkenler yanında çeşitli ekolojik faktörlere göre de değişim göstermektedir. Söz konusu değişimlerin incelenmesi amacıyla tek ağaç modelleri ekolojik tabanlı modeller şeklinde geliştirilmeli ve ekolojik farklılıklar incelenmelidir. Bu sebeple, modellerin geliştirilmesinde ekorejyonlar arasında çap artım ilişkileri bakımından anlamlı farklılıkların olup olmadığı incelendiğinden ekorejyonlar rastgele etki (subject) olarak değerlendirilmiştir. Karışık etkili tek ağaç modellerinin geliştirilmesinde R programındaki “nlme” paketi kullanılmıştır (R Core Team, 2021). Modellerin değerlendirilmesinde Akaike Bilgi Kriteri ( $AIC$ ) ve Bayesian Bilgi Kriteri ( $BIC$ ) dikkate alınmıştır. Model geliştirme grubuna ait veriler kullanılarak geliştirilen tek ağaç modeli ile kontrol veri grubu için yapılan tahmini ve aynı zamanda ölçülen yıllık ortalama çap artım değerleri “Student’in Eşleştirilmiş  $t$ -testi” kullanılarak karşılaştırılmıştır. Ölçülen ve tahmin edilen çap artım değerleri arasında %5 önem düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmaması durumunda modelin çalışma alanı için uygun olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

#### 2.4. Ekolojik Tabanlı Tek Ağaç Çap Artım Modeli ve Ekorejyon Farklılıklarının Test Edilmesi

Artım modellerinin tahmin başarıları ekolojik farklılıkların dikkate alınmasıyla artmaktadır. Bu sebeple ekolojik tabanlı modellerin geliştirilmesi amaçlanmış olup, bu modellerin sunduğu tahminler bakımından ekorejyonlar arasında farklılık olup olmadığının belirlenmesinde “Doğrusal Olmayan Ekstra Kareler Toplamı Testi”, diğer adıyla F-testi kullanılmıştır (Eşitlik 2.7). Bu testin uygulanması aşamasında “tam (full)” ve “indirgenmiş (reduced)” model yapılarına ihtiyaç vardır. Farklılıkları araştırılan tüm ekorejyonlar için aynı parametre değerlerini kullanan model yapısı “indirgenmiş model”, her bir ekorejyon için farklı parametre değerlerini kullanan model yapısı da “tam model” olarak isimlendirilmektedir (Pillsbury vd., 1995). Tam model yapıları genellikle kukla değişkenler (dummy variables) kullanılarak ortaya konulmaktadır. Fakat bu çalışmada farklı bir yol izlenmiş olup tam model yapılarının ortaya konulmasında

karışık etkili modelleme yaklaşımı kullanılmıştır. Söz konusu yaklaşım literatürde oldukça yer bulan, modellemeye konu topluma ve bireye özgü parametre tahminleri sunan ve ormancılıkta elde edilen verilerin yapısı gereği ihtiva ettiği otokorelasyon problemine çözüm sunan bir teknik olması sebebiyle öne çıkmaktadır (Calama ve Montero, 2004; Ercanlı vd., 2012; Ercanlı, 2015). Ekolojik farklılıkların ortaya konulabilmesi amacıyla karışık etkili modelleme yaklaşımında ekorejyonlar modellere “subject” olarak tanıtılmıştır. Modellere ilişkin en başarılı tesadüfi etkiye sahip parametreler “random.effects” fonksiyonu yardımıyla 3 farklı ekorejyon için tahmin edilerek ekorejyonlar arasındaki farklılıkların test edilmesi amacıyla kullanılacak tam model yapısı elde edilmiştir (Pinheiro ve Bates, 2000; Mehtatalo, 2013). Modellerde sabit etkili parametreler 3 bölge için de aynı değerleri almaktadır. Artım modellerine ilişkin tahminlerin ekorejyonlar arasındaki farklılıklarının test edilmesinde kullanılan doğrusal olmayan ekstra kareler toplamına ilişkin test istatistiği aşağıdaki gibidir (Pillsbury vd., 1995; Neter vd., 1996):

$$F = \frac{(HKT_i - HKT_T)/(DF_i - DF_T)}{(HKT_T/DF_T)} \quad (2.7)$$

Bu eşilikte  $HKT_i$  ve  $HKT_T$  sırasıyla indirgenmiş ve tam çap artım modeline ilişkin hata kareler toplamını,  $DF_i$  ve  $DF_T$  ise sırasıyla indirgenmiş ve tam çap artım modeline ilişkin serbestlik derecelerini ifade etmektedir.

Ekolojik farklılıkları ortaya koymada F değerinin yorumlanabilmesi için F-dağılımı temel alınmış ve ekorejyonlara özgü tahminler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunması durumunda ( $p<0,05$ ) indirgenmiş modeller yerine her bir ekorejyon için farklı parametre değerlerine sahip olan tam model yapılarının kullanılması gerektiği anlaşılmaktadır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Tek ağaç çap artım modelinin geliştirilebilmesi amacıyla sarıçam meşcerelerinden alınan örnek alanlarda seçilen ağaçlara ilişkin ( $n=2318$ ) çeşitli tek ağaç özellikleri ile örnek alanlar ( $n=292$ ) için hesaplanan meşcere özellikleri ve yarışma endekslerine ilişkin bazı istatistikler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1

Tek ağaçlara ilişkin tanımlayıcı istatistikler

	Değişken	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Tek ağaç özellikleri	$Id_5$ (mm)	2,0	30,0	8,5	4,0
	$d_{1,30}$ (cm)	8,0	80,5	28,2	11,2
	$d_{5klu}$ (cm)	4,8	79,4	26,0	11,5
Meşcere özellikleri	$d_q$ (cm)	9,2	48,9	25,8	9,4
	$G$ (m <sup>2</sup> /ha)	11,6	109,5	39,3	15,3
	$T$ (yıl)	19	149	68	29
	$SD$	2,5	19,6	8,0	3,1
	$BE$ (m)	12,3	38,2	24,6	4,9
	Yarışma endeksleri	$YE_1$	0,5	2,1	1,1
$YE_2$		0,3	1,0	0,7	0,1
$YE_3$		0,2	4,2	1,2	0,5
$YE_4$		0,1	1,0	0,6	0,2
$YE_5$ (BAL)		0,0	87,9	19,2	13,9

Tek ağaç çap artım modelinin geliştirilmesinde, 5 yıllık ortalama çap artım değerleri bağımlı değişken olarak modellerde yer almış ve tek ağaç özellikleri, meşcere özellikleri ve yarışma endeksleri bağımsız değişken olarak Aşamalı Regresyon Analizi’ne tabi tutulmuştur. Tüm parametreleri istatistiksel olarak anlamlı ( $p<0,05$ ) ve en yüksek belirtme katsayısı ile en düşük hata değerine sahip olan model en başarılı model olarak seçilmiştir. Seçilen en başarılı uzaklıktan bağımsız çap artım modeli Eşitlik 3.1’de verilmiştir:

$$Id_5 = a + b \ln T + \frac{c}{SD} d \ln d_q + \frac{e}{BE} + f \ln d_{1,30} + g BAL + h YE_1 \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte;

$Id_5$ : örnek ağaca ilişkin son 5 yıllık ortalama çap artımını (mm)

$d_{1,30}$ : örnek ağaca ilişkin göğüs çapı (cm)

$d_q$ : örnek ağacın ait olduğu meşcerenin göğüs yüzeyi orta ağacının çapını (cm)

$T$ : örnek ağacın ait olduğu meşcerenin yaşını (yıl)

$SD$ : örnek ağacın ait olduğu meşcerenin sıklık derecesini

$BE$ : örnek ağacın ait olduğu meşcerenin bonitet endeksini (m)

$BAL$ : örnek ağaca ilişkin 5. yaklaşıma göre hesaplanan yarışma endeksini

$YE_1$ : örnek ağaca ilişkin 1. yaklaşıma göre hesaplanan yarışma endeksini

a, b, c, d, e, f, g ve h: model parametrelerini ifade etmektedir.

En başarılı tek ağaç çap artım modeli seçildikten sonra ekolojik farklılıkları ortaya koyabilmek ve ekorejyonlara ilişkin parametre tahminlerini yapmak üzere en başarılı olarak seçilen modele karışık etkili modelleme yaklaşımı uygulanmıştır. Bu bağlamda a, b, c, d, e, f, g ve h parametrelerine ilişkin bütün kombinasyonlar denenmiş ve çözüme ulaşan ve tüm parametreleri anlamlı olan kombinasyonlar rölatif sıralamaya tabi tutulmuştur. En başarılı tesadüfi etkili parametre (TEP) kombinasyonları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2 incelendiğinde en başarılı tesadüfi etkili parametre seçeneğinin “c” parametresi olduğu görülmektedir. Karışık etkili model yapıları Eşitlik 3.2’de ve parametre tahminleri ile başarı ölçütleri Tablo 3’te verilmiştir.

$$Id_{5c} = a + b \ln T + \frac{c + u_1}{SD} d \ln d_q + \frac{e}{BE} + f \ln d_{1,30} + g BAL + h YE_1 \quad (3.2)$$

Bu eşitlikte  $u_1$ : tesadüfi parametre olup diğer değişkenler yukarıda açıklanmıştır.

Çalışma alanında yayılış gösteren sarıçam için tek ağaç çap artımları bakımından ekorejyonlar arasında anlamlı farklılıkların olup olmadığı araştırılmıştır. Bu amaçla modellere ilişkin en başarılı tesadüfi etkiye sahip “c” parametresi “random.effects” fonksiyonu yardımıyla 3 farklı ekorejyon için tahmin edilerek ekorejyonlar arası farklılıkların test edilmesi amacıyla kullanılacak tam model yapısı elde edilmiştir. Diğer parametreler 3 ekorejyon için de aynı değerleri almaktadır. Tek ağaç modeline ilişkin her bir ekorejyona özgü parametre tahminleri Tablo 4’te verilmiştir.



Tablo 2  
Tek ağaç çap artım modeline ilişkin TEP kombinasyonları

TEP	AIC	BIC	Rölatif Sıralama		Toplam	Genel Sıralama
			AIC	BIC		
a	4563,73	4618,32	7,15	2,34	9,49	4,75
b	4564,13	4618,72	8,12	2,55	10,67	5,34
c	4561,18	4615,77	1,00	1,00	2,00	1,00
d	4563,55	4618,55	6,72	2,46	9,18	4,59
e	4564,18	4618,77	8,23	2,57	10,81	5,40
f	4563,56	4618,15	6,75	2,25	9,00	4,50
g	4565,33	4619,92	11,02	3,18	14,20	7,10
h	4562,72	4617,31	4,72	1,81	6,53	3,26
a, b	4564,40	4629,92	8,78	8,43	17,22	8,61
a, d	4564,17	4629,68	8,21	8,31	16,51	8,26
a, e	4567,66	4633,17	16,65	10,14	26,79	13,39
a, f	4561,78	4627,30	2,46	7,05	9,51	4,76
b, e	4568,12	4633,64	17,76	10,39	28,15	14,08
b, f	4562,22	4627,73	3,50	7,28	10,78	5,39
c, h	4565,18	4630,69	10,66	8,84	19,50	9,75
d, e	4567,95	4633,47	17,35	10,30	27,65	13,83
e, g	4562,90	4628,41	5,16	7,64	12,80	6,40
f, g	4561,31	4626,82	1,31	6,81	8,12	4,06
f, h	4563,41	4628,92	6,39	7,91	14,30	7,15
a, b, h	4568,36	4650,25	18,34	19,12	37,46	18,73
a, d, e	4570,14	4652,03	22,64	20,05	42,69	21,34
a, d, h	4568,19	4650,08	17,93	19,03	36,95	18,48
a, e, f	4567,77	4649,66	16,92	18,81	35,72	17,86
b, c, g	4565,95	4647,84	12,51	17,85	30,35	15,18
b, d, f	4567,73	4649,62	16,81	18,78	35,59	17,79
b, g, h	4567,23	4649,12	15,60	18,52	34,13	17,06
c, d, g	4565,87	4647,76	12,31	17,81	30,12	15,06
e, f, g	4567,21	4649,10	15,55	18,51	34,06	17,03
f, g, h	4563,39	4645,28	6,35	16,51	22,85	11,43
b, c, d, g	4573,51	4677,23	30,76	33,30	64,06	32,03
b, c, e, g	4573,94	4677,67	31,82	33,52	65,34	32,67
b, e, g, h	4574,85	4678,57	34,00	34,00	68,00	34,00
c, d, e, g	4573,83	4677,55	31,53	33,46	65,00	32,50
e, f, g, h	4570,51	4674,24	23,54	31,72	55,26	27,63

Tablo 3  
Karışık etkili tek ağaç modeline ilişkin parametre değerleri ve başarı ölçütleri

Parametre	Tahmin	$R^2$	AIC	BIC
a	-17,2568	0,691	4561,180	4615,773
b	-1,0634			
c	1,4993			
d	18,4162			
e	-14,1553			
f	-16,1266			
g	-0,0094			
h	16,3934			
$\sigma_{u_1}^2$	0,4904			
$\sigma^2$	0,8937			

Tablo 4  
Ekorejyonlara ilişkin tek ağaç model parametreleri

Parametre	Tahmin	Ekorejyon 1	Ekorejyon 2	Ekorejyon 3
a	-17,2568	-17,2568	-17,2568	-17,2568
b	-1,0634	-1,0634	-1,0634	-1,0634
c	1,4993	1,8973	0,8936	1,7071
d	18,4162	18,4162	18,4162	18,4162
e	-14,1553	-14,1553	-14,1553	-14,1553
f	-16,1266	-16,1266	-16,1266	-16,1266
g	-0,0094	-0,0094	-0,0094	-0,0094
h	16,3934	16,3934	16,3934	16,3934

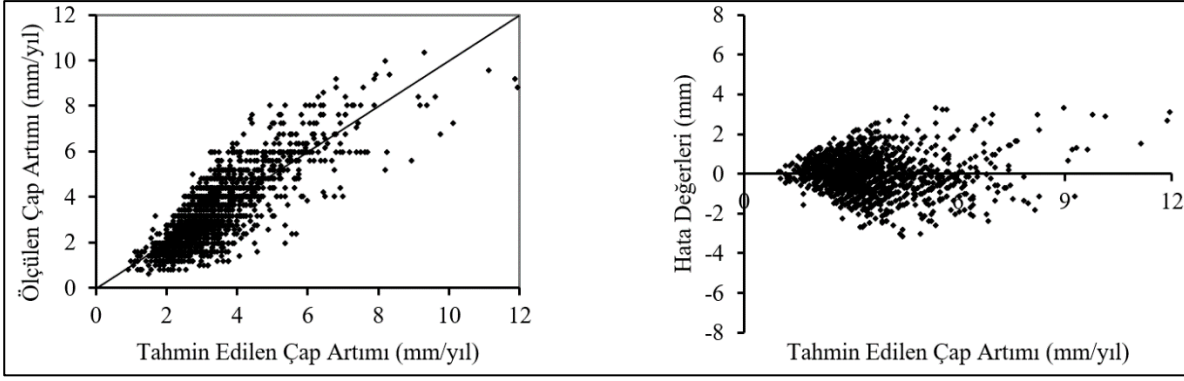
Karışık etkili tek ağaç çap artım modeli geliştirilip üç ekorejyona ait “c” parametreleri tahmin edildikten sonra, ekorejyon farklılıklarının test edilmesi amacıyla hesaplanan F değerleri Tablo 5’te verilmiştir. Çap artım modellerine ilişkin F-istatistikleri incelendiğinde ise tüm ekorejyonlar arasında anlamlı farklılığın olduğu ( $p < 0,001$ ) belirlenmiştir. Bu nedenle her bir ekorejyon için farklı parametre tahmini sunan ekorejyon tabanlı ve karışık etkili modellerin kullanılması uygun olacaktır.

Tablo 5  
Tek ağaç modeli için F-testi sonuçları

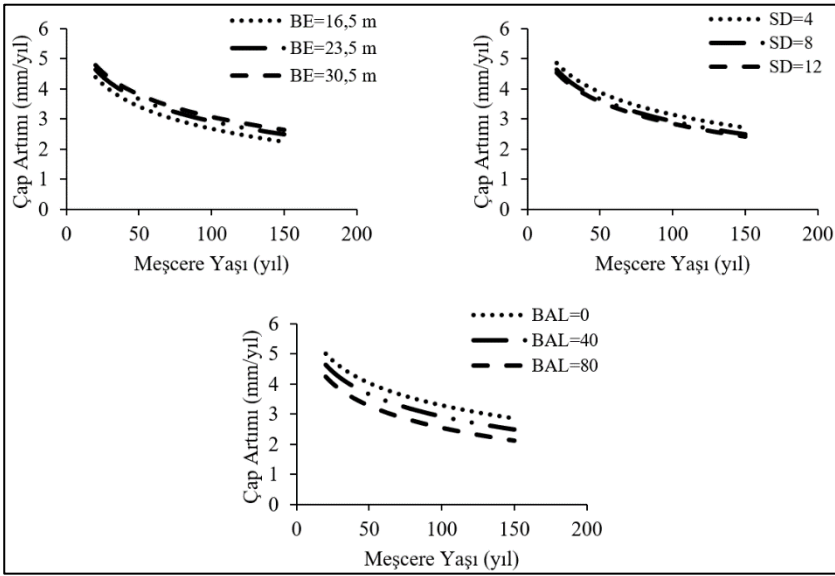
Model	Ekorejyonlar	İndirgenmiş Model		Tam Model		n	F değeri	p
		HKT	DF	HKT	DF			
Id <sub>5c</sub>	1-2-3	1450	1728	1385	1726	1736	40,971	<0,001
	1-2	634	817	621	816	825	16,324	<0,001
	1-3	1129	1317	1081	1316	1325	58,883	<0,001
	2-3	1138	1314	1067	1313	1322	86,957	<0,001

Geliştirilen karışık etkili tek ağaç modeline ilişkin tahmin ve hata değerleri Şekil 2’de incelenmiştir. Tahmin edilen değerler ve ölçülen değerler ile tahmin grafikleri oluşturulurken, tahmin edilen çap artımına ilişkin değerler ve hata değerleri ile de hata grafikleri çizilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde, ekolojik tabanlı ve karışık etkili modeller ile yapılan tahminlere ilişkin hata değerlerinin herhangi bir trende sahip olmadığı anlaşılmaktadır. Yine tahmin grafikleri bakımından da oldukça başarılı sonuçların elde edildiği görülmektedir. Birlikte bu modeller ile yapılan tahminlerin ölçülen değerler ile yakın değerler aldığı görülmektedir.

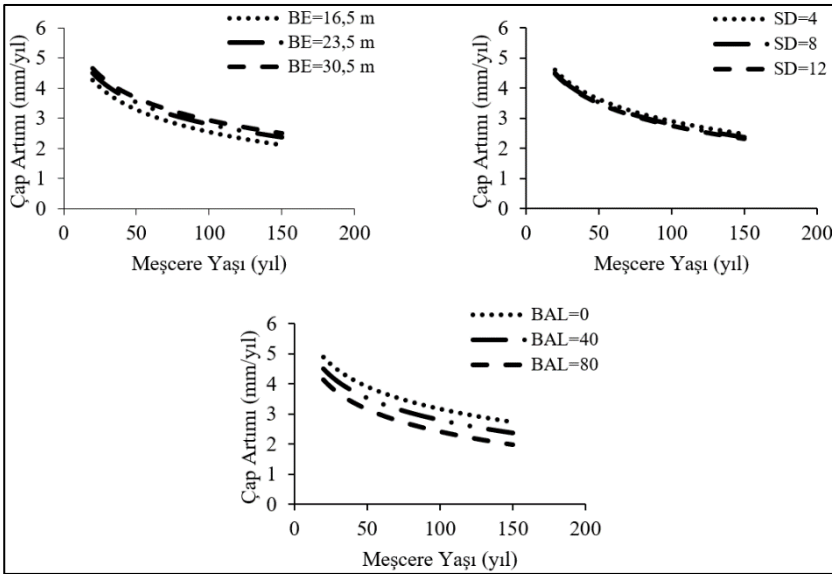
Tek ağaç çap artımlarının meşcere yaşı, bonitet endeksi, sıklık derecesi ve yarışma endeksine (BAL) göre değişim grafikleri Şekil 3, 4 ve 5’te verilmiştir. Grafikler incelendiğinde çap artımının yaşa bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Benzer değişim sıklık derecesinin artışıyla da gözlenmekte olup sık meşcerelerde çap artımının az olduğu ve seyrek meşcerelerde ise çap artımının daha fazla olduğu görülmektedir. Bu değişim Ekorejyon 1 (Şekil 3) ve Ekorejyon 3’te (Şekil 5) belirgin olarak gözlenmekte iken Ekorejyon 2’de (Şekil 4) sıklık derecelerine göre çap artımlarının değişimi daha az belirgindir. Çap artımları yetişme ortamı verim gücünün artmasıyla birlikte artış göstermektedir. Yüksek bonitetlerde çap artımı fazla iken düşük bonitetlerde artım miktarı az olmaktadır. Her 3 ekorejyonda da aynı değişim ve eğilim gözlenmektedir. BAL’a göre çap artım değişimleri incelendiğinde, tüm ekorejyonlar için benzer olarak yarışma endeksinin artmasıyla çap artımlarının azaldığı, yarışma endeksinin azalmasıyla ise çap artım değerlerinin daha fazla olduğu gözlenmektedir. Grafiklerin ortaya koyduğu sonuçlar sıklık derecesinin katsayısı olan “c” parametresinin en başarılı tesadüfi etkili parametre olması ile paralellik göstermektedir. Çap artımlarının sıklık derecesine bağlı olarak değişimleri ekorejyonlar arasında daha belirgin farklılıklar göstermekte iken, bonitet endeksi ve yarışma endeksine bağlı olarak çap artımlarındaki farklılıklar daha az belirgindir.



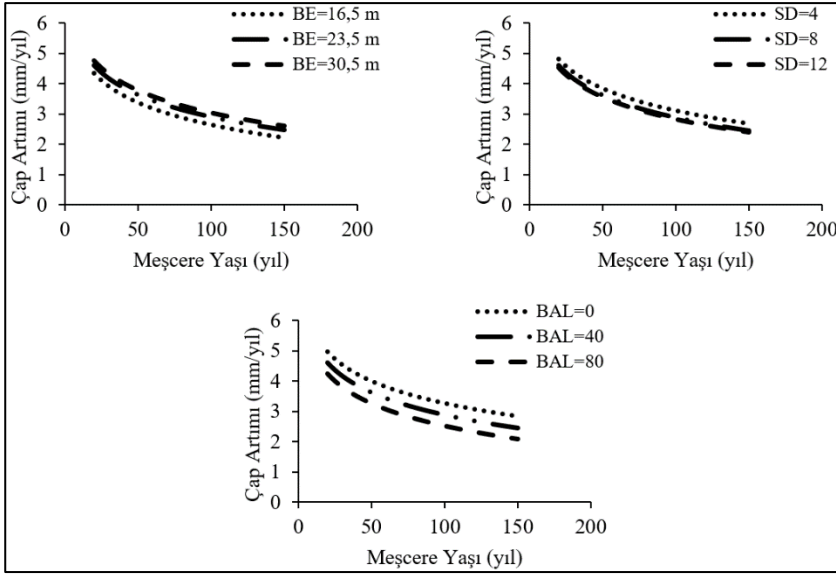
Şekil 2. Tek ağaç modeline ilişkin tahmin ve hata grafikleri



Şekil 3. Tek ağaçlarda çap artımının BE, SD ve BAL'a göre değişimi (Ekorejyon 1)



Şekil 4. Tek ağaçlarda çap artımının BE, SD ve BAL'a göre değişimi (Ekorejyon 2)



Şekil 5. Tek ağaçlarda çap artımının *BE*, *SD* ve *BAL*'a göre değişimi (Ekorejyon 3)

Grafiksel incelemeler sonucunda model tahminleri ile modelde yer alan bağımsız değişkenler arasındaki ilişkilerde biyolojik kanuniyetler bakımından uyumlu sonuçlar mevcuttur. Bu ilişkilerin düzeyi ekorejyonlar arasında farklılık gösterebilmektedir. Bonitet endeksi ve yarışma endeksine göre ekorejyonlar arasındaki çap artımının değişimi (grafiklerdeki eğrilerin trendi) nispeten daha az olmakla birlikte sıklık derecelerine göre bu değişimin daha fazla olduğu görülmektedir. Şöyle ki, yukarıda da bahsedildiği üzere Ekorejyon 1 ve Ekorejyon 3'e ilişkin sıklık derecelerinin çap artımını etkileme oranı birbirine yakın ve aynı trendi gösteriyor iken Ekorejyon 2'de sıklık derecelerinin çap artımını daha az etkilediği görülmektedir. Ekorejyonların iklim, topografya ve çeşitli ekolojik faktörler bakımından farklı yapıdaki meşçereler ihtiva etmesi, bu meşçerelerde yer alan ağaçların ortamı kullanma derecelerinin farklılık göstermesi ve bunun sonucunda meşçerelerdeki ağaçların çap artımlarının farklılık göstermesine neden olabilmektedir. Atalay (2014) tarafından da ifade edildiği üzere Ekorejyon 1'de yükseklik 0 ile 1000 m arasında değişmekte ve vejetasyon süresi daha uzun sürmekte iken (200 gün), diğer ekorejyonlarda yükseklik 1000 m üzerinde olmakta ve vejetasyon süresi de 120 günün altına düşmektedir. Fizyografik, edafik ve iklimik özelliklerdeki bu farklılıklar ekorejyonlar arasında çap artımları bakımından farklılıkların oluşmasına sebep olmaktadır. Söz konusu farklılıklar ölçülemeyen ve modellere dahil edilemeyen çeşitli değişkenlerin etkisi altında da gerçekleşebilmektedir.

Grafiksel ve istatistiksel değerlendirmeler sonucunda ekolojik farklılıkları modele dahil eden karışık etkili tek ağaç modelinin başarılı olduğu ortaya konulmuştur. Başarılı tahminler sunan modele ilişkin model kontrolünü sağlamak üzere bağımsız veri grubunda çap artım tahminleri yapılmıştır. Modele ilişkin tahmin değerleri ile arazide ölçülen çap artım değerleri arasında anlamlı farklılık olup olmadığı Student'in Eşleştirilmiş t-testi kullanılarak test edilmiş ve farksız oldukları sonucu elde edilmiştir ( $p>0,05$ ). Değerlendirmeler sonucunda başarılı bulunan ekolojik tabanlı ve karışık etkili tek ağaç modeline ilişkin model yapıları Ekorejyon 1, 2 ve 3 için sırasıyla Eşitlik 3.3, Eşitlik 3.4 ve Eşitlik 3.5'te verilmiştir.

Ekorejyon 1 için:

$$Id_{5c} = -17,2568 - 1,0634 \ln T + \frac{1,897309}{SD} + 18,4162 \ln d_q + \frac{-14,1553}{BE} - 16,1266 \ln d_{1,30} - 0,0094 BAL + 16,3934 YE_1 \quad (3.3)$$

Ekorejyon 2 için;

$$Id_5c = -17,2568 - 1,0634 \ln T + \frac{0,8936}{SD} + 18,4162 \ln d_q + \frac{-14,1553}{BE} - 16,1266 \ln d_{1,30} - 0,0094 BAL + 16,3934 YE_1 \quad (3.4)$$

Ekorejyon 3 için;

$$Id_5c = -17,2568 - 1,0634 \ln T + \frac{1,7071}{SD} + 18,4162 \ln d_q + \frac{-14,1553}{BE} - 16,1266 \ln d_{1,30} - 0,0094 BAL + 16,3934 YE_1 \quad (3.5)$$

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Çalışma kapsamında 292 örnek alandan alınan 2318 örnek ağaç verisine dayanarak uzaklıktan bağımsız tek ağaç modeli geliştirilmiştir. Daha anlamlı sonuçlar vermesinden dolayı 5 yıllık ortalama çap artım değerleri bağımlı değişken olarak ve örnek ağaca ilişkin göğüs çapı, meşcerenin göğüs yüzeyi orta ağacının çapı, meşcere yaşı, sıklık derecesi, bonitet endeksi, *BAL* ve *YE<sub>1</sub>* yarışma endeksleri bağımsız değişkenler olarak modelde yer almışlardır. Modele ilişkin başarı ölçütleri  $R^2=0,629$  ve  $AIC=-140,015$  şeklindedir. Ekolojik farklılıkları ortaya koyabilmek ve ekorejyonlara ilişkin parametre tahminlerini yapmak üzere tek ağaç çap artım modeline karışık etkili modelleme yaklaşımı uygulanmıştır. En başarılı tesadüfi etkiye sahip “c” parametresi ( $AIC=4561,18$  ve  $BIC=4615,77$ ) 3 farklı ekorejyon için tahmin edilmiş ve her üç ekorejyon için farklı parametre değerlerine sahip modeller ve indirgenmiş modellere F-testi uygulanmıştır. F-istatistiklerine göre tüm ekorejyonlar arasında anlamlı farklılığın olduğu ( $p<0,001$ ) ve her bir ekorejyon için farklı parametre tahmini sunan ekorejyon tabanlı ve karışık etkili modellerin kullanılmasının uygun olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca geliştirilen karışık etkili ve ekolojik tabanlı modele ilişkin  $R^2$  değeri 0,691’e yükselmiştir. Ekolojik tabanlı ve karışık etkili modeller ile yapılan tahminlere ilişkin hata değerlerinin herhangi bir trende sahip olmadığı görülmüştür. Yine tahmin grafikleri bakımından da oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Modele ilişkin tahmin değerleri ile arazide ölçülen çap artım değerleri arasında anlamlı farklılık olup olmadığı test edilmiş ve sonuç olarak farksız ( $p>0,05$ ) oldukları görülmüştür.

Çalışma sonucunda elde edilen büyüme modelleri özellikle yaşlı meşcerelerde daha dikkatli kullanılmalıdır. Çünkü çalışma kapsamında incelenen meşcerelerin yaş dağılımları dikkate alındığında hata miktarı yaşlı ve çok genç meşcerelerde yüksek olmaktadır. Modellerin tahmin yeteneği örnek alanların alındığı meşcere yaşı aralığında (20-150) daha güvenilirdir.

#### Bilgilendirme

Bu çalışma; Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Fadime SAĞLAM tarafından Doç. Dr. Oytun Emre SAKICI danışmanlığında hazırlanmış olan doktora tezinden üretilmiştir.

#### Teşekkür

Bu çalışma, Kastamonu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü’nün KÜ-BAP01/2019-41 Nolu projesi kapsamında desteklenmiştir.

#### Kaynaklar

- Akalp, T. (1978). *Türkiye’deki Doğu Ladini (Picea orientalis Lk. Carr) Ormanlarında Hasılat Araştırmaları*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.
- Asan, Ü. (1999). *Ormancılık Bilgisi*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.
- Atalay, İ. (2012). *Sarıçam (Pinus sylvestris L. var. sylvestris) Ormanlarının Ekolojisi ve Tohum Nakli*

- Açısından Bölgelere Ayrılması*. İzmir: Meta Basım Matbaacılık.
- Atalay, İ. (2014). *Türkiye'nin Ekolojik Bölgeleri*. Genişletilmiş 2. Baskı, İzmir: Meta Basım Matbaacılık.
- Bolat, F. (2021). Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Anadolu Karaçamı Meşcerelerinde Artım ve Büyümenin Yapay Sınır Ağları İle Modellenmesi. Doktora Tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Burkhardt, H. E., & Tomé, M. (2012). *Modeling Forest Trees and Stands*. Dordrecht: Springer.
- Calama, R., & Montero, G. (2004). Interregional nonlinear height diameter model with random coefficients for stone pine in Spain. *Canadian Journal of Forest Research*, 34(1), 150-163.
- Carus, S. (2005). A diameter increment model for Crimean pine (*Pinus nigra* Arnold) and Calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) stands in Isparta region, Turkey. *Journal of Environmental Biology*, 26(3), 467.
- Carus, S., & Çiçek, E. (2007). Adapazarı-Süleymaniye dişbudak plantasyonlarında (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) tek ağaçlar için bir çap artım modeli. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 8(1), 34-48.
- Carus, S., & Gülden, Y. (2014). Ağlasun yöresi kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ağaçlandırmalarında tek ağaçlarda çap artımının modellenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 15, 102-107.
- Cieszewski, C. J., & Strub, M. (2008). Generalized algebraic difference approach derivation of dynamic site equations with polymorphism and variable asymptotes from exponential and logarithmic functions. *Forest Science*, 54, 303-315.
- Curtis, R.O. (1970). Stand density measures: An interpretation. *Forest Science*, 16(4), 403-414.
- Curtis, R. O., Clendenan, G., & DeMars, D. J. (1981). A new stand simulator for coast douglas-fir: DFSIM users guide. Portland: USDA Forest Service General Technical Report, PNW-128.
- Çatal, Y. (2009). Batı Akdeniz Bölgesi Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Meşcerelerinde Artım ve Büyüme. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta.
- Çatal, Y., Carus, S., Özçelik, R., & Alkan, O. (2014). Tek ağaçta çap artımı üzerinde artımın ölçüldüğü periyot süresi ve meşcere sıklığının etkisinin incelenmesi (Ağlasun kızılçam ağaçlandırmaları örneği). II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, 170-178, Isparta.
- Eler, Ü. (2001). *Orman Amenajmanı*. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Yayın No:17.
- Eler, Ü. (2013). *Dendrometri*. (Gözden Geçirilmiş, İkinci Baskı). Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Yayın No: 30.
- Eler, Ü., & Carus, S. (2006). *Orman Hasılat Bilgisi*. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Yayın No:66.
- Eraslan, İ. (1982). *Orman Amenajmanı*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, Yayın No:318.
- Ercanlı, İ. (2010). Trabzon ve Giresun Orman Bölge Müdürlükleri Sınırları İçerisinde Yer Alan Doğu Ladini (*Picea orientalis* (L.) Link)-Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Karışık Meşcerelerine İlişkin Büyüme Modelleri. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ercanlı, İ., Kahrıman, A., & Yavuz, H. (2012). Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü doğu ladini-sarıçam karışık meşcereleri için karışık etkili doğrusal olmayan regresyon denklemleri ile Doğu ladini çap-boy modellerinin geliştirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 13, 75-84.
- Ercanlı, İ. (2015). Nonlinear mixed effect models for predicting relationships between total height and diameter of oriental beech trees in Kestel, Turkey. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 21(1),185-202.
- Ford, E.D., & Sorrensen, K.A. (1992). *Theory and Models of Inter-Plant Competition as a Spatial Process*. Pages 363-407 in D. DeAngelis and L. Gross, editors. Individual based models and approaches in ecology. New York, USA: Chapman and Hall.
- Gadow, K. V., & Hui, G. (1999). *Modeling Forest Development*. Dordrecht: Springer.
- Günel, A. (1981). *Orman Hasılat Bilgisi Ders Notları*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi (Basılmamıştır).

- Huang, S. (1994). Ecologically based individual tree volume estimation for major alberta tree species. Edmonton, AB: AB Sustainable Resource Development Public Lands and Forests Division.
- Huang, S., Price, D., & Titus, S. J. (2000). Development of ecoregion-based height diameter models for white spruce in boreal forests. *Forest Ecology and Management*, 129(1-3), 125-141.
- Huang, S., & Titus, S. J. (1995). An individual tree diameter increment model for White spruce in Alberta. *Canadian Journal of Forest Research*, 25(9), 1455-1465.
- IBM SPSS 20, (2011). IBM SPSS Statistics for Windows, version 20.0. IBM Corporation.
- Kahrıman, A. (2011). Karadeniz Bölgesi Sınırları İçerisinde Yer Alan Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) - Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) Karışık Meşcerelerine İlişkin Büyüme Modellerinin Geliştirilmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kahrıman, A., & Yavuz, H. (2012). Doğu Karadeniz Göknarı-Doğu Ladini karışık meşcerelerinde çeşitli yarışma endekslerinin tek ağaçların çap artımındaki etkilerinin incelenmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 13(2), 235-249.
- Kalıpsız, A. (1998). *Orman Hasılat Bilgisi*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.
- Kapucu, F. (2004). *Orman Amenajmanı*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.
- 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.
- Köse, S., Yavuz, H., Mısıır, M., & Mısıır, N. (2001). KTÜ Orman Fakültesi Araştırma Ormanı ladin meşcerelerinin hasılat esasları sonuç raporu. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi, Araştırma Fon Başkanlığı.
- Mehtätalo, L. (2013). *Forest Biometrics with Examples in R*. University of Eastern Finland School of Computing.
- Mısıır, N. (2003). Karaçam Ağaçlandırmalarına İlişkin Büyüme Modelleri. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon.
- Mısıır, N., & Yavuz, H. (2013). Ülkemizdeki hasılat tablolarının bilimsel ve uygulama açısından irdelenmesi. Ormancılıkta Sektörel Planlamanın 50. Yılı Uluslararası Sempozyumu, 637-645, Antalya.
- Neter, J., Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., & Wasserman, W. (1996). *Applied Linear Statistical Models*. Chicago: Irwin.
- OGM (2021). *Türkiye Orman Varlığı, 2020*. Ankara: Orman Genel Müdürlüğü Yayınları.
- Özçelik, R., Karatepe, Y., Gürlevik, N., Cañellas, I., & Crecente-Campo, F. (2016). Development of ecoregion-based merchantable volume systems for *Pinus brutia* Ten. and *Pinus nigra* Arnold. in southern Turkey. *Journal of Forestry Research*, 27(1), 101-117.
- Özdemir, E. (2005). Tek Ağaçta Artım ve Büyümenin Simulasyonu (Sahilçamı Örneği). Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özdemir, E. (2011). Karışık Meşcerelerde Artım ve Büyümenin Simülasyonu (Büyükdüz Örneği). Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özdemir, E. (2021). Individual tree basal area increment model for sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) in coppice originated stands. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193, 357.
- Pillsbury, N. H., McDonald, P. M., & Simon, V. (1995). Reliability of tanoak volume equations when applied to different areas. *Western Journal of Applied Forestry*, 10(2), 72-78.
- Pinheiro, J. C., & Bates, D. M. (2000). *Mixed-Effects Models in S and S-Plus*. New York: Springer Verlag.
- Pretzsch, H. (2009). *Forest Dynamics, Growth, and Yield*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- R Core Team, (2021). R version 4.0.5 (2021-03-31). The R Foundation for Statistical Computing Platform.
- Sağlam, F. (2021). Kastamonu ve Sinop Yöresi Doğal Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Meşcereleri için Ekolojik Tabanlı Büyüme Modelleri. Doktora Tezi, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Seki, M. (2020). Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü Karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnold) Meşcerelerine İlişkin Ekolojik Tabanlı Büyüme Modelleri. Doktora Tezi, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri

Enstitüsü.

- Seki, M., & Sakıcı, O.E. (2022). Ecoregion-based height-diameter models for Crimean pine. *Journal of Forest Research*, 27(1), 36-44.
- Vanclay, J. K. (1994). *Modeling Forest Growth and Yield*. Applications to mixed tropical forests. Wallingford: CAB International.
- Weiskittel, A. R., Hann, D. W., Kershaw Jr, J. A., & Vanclay, J. K. (2011). *Forest Growth and Yield Modeling*. Chichester: Wiley-Blackwell.
- Xu, W. (2004). Developing Ecoregion-Based Height-Diameter Models and ReferenceAge Invariant Polymorphic Height and Site Index Curves for Black Spruce and Jack Pine in Manitoba. Master of Science Thesis, University of Manitoba.
- Yavuz, H. (1997). Yarışma endeksleri ve büyüme modellerinde kullanılması. Karadeniz Teknik Üniversitesi Bahar Yarıyılı Seminerleri, 47-54, Trabzon.
- Yavuz, H., Mısır, N., Tüfekçioğlu, A., Mısır, M., Altun, L., Ercanlı, İ., Sakıcı, O.E., Kahrıman, A., Karahalil, U., Yılmaz, M., Sarıyıldız, T., Küçük, M., Bayburtlu, Ş., Bilgili, F., Meydan, G., Kara, Ö., & Bolat, İ. (2010). Karadeniz bölgesi saf ve karışık sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) meşcereleri için mekanistik büyüme modellerinin geliştirilmesi, biyokütle ve karbon depolama miktarlarının belirlenmesi. Ankara: TÜBİTAK Araştırma Projesi, Proje No: 106O274.