



**TOSYA ORMAN İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ  
DEĞİŞİK YAŞLI GÖKNAR-SARIÇAM  
MEŞCERELERİ İÇİN ÇAP-BOY MODELLERİNİN  
GELİŞTİRİLMESİ**

**2023  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ**

**Cihan ŞEN**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet SEKİ**

**TOSYA ORMAN İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ DEĞİŞİK YAŞLI GÖKNAR-  
SARIÇAM MEŞCERELERİ İÇİN ÇAP-BOY MODELLERİNİN  
GELİŞTİRİLMESİ**

**Cihan ŞEN**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet SEKİ**

**T.C.  
Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Orman Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Haziran 2023**

Cihan ŞEN tarafından hazırlanan ‘‘TOSYA ORMAN İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ DEĞİŞİK YAŞLI GÖKNAR-SARIÇAM MEŞCERELERİ İÇİN ÇAP-BOY MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ’’ baŐlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet SEKİ

.....

Tez Danışmanı, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Orman Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 14/06/2023

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

BaŐkan : Doç. Dr. Oytun Emre SAKICI (KÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet SEKİ (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Ahmet DUYAR (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıŐtır.

Prof. Dr. Müslüm KUZU

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Cihan ŞEN

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **TOSYA ORMAN İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ DEĞİŞİK YAŞLI GÖKNAR-SARIÇAM MEŞCERELERİ İÇİN ÇAP-BOY MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

**Cihan ŞEN**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Orman Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Dr. Öğr. Üyesi Mehmet SEKİ**

**Haziran 2023, 33 sayfa**

Ormanın kapitalini oluşturan ağaç servetinin, yetiştirme ortamı verim gücünün, artım ve büyüme ilişkilerinin belirlenmesinde önemli role sahip ağaç boyu orman envanterinin temelini oluşturmaktadır. Göğüs çapına nazaran bir ağacın boyunun ölçülmesi zaman alıcı, maliyetli ve daha çok iş gücü isteyen bir işlemdir. Bu sebeple, çap-boy modellerinin ormancılık araştırmalarındaki rolü oldukça önemlidir. Bu çalışmada, Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Tosya Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde yayılış gösteren değişik yaşlı Gök nar-Sarıçam meşcereleri için çap-boy modelleri geliştirilmiştir. Bu amaçla, çalışma alanı içerisinde 100 adet örnek alan alınmıştır. Toplam verinin tesadüfi olarak ayrılmış %70'i model geliştirme ve %30'u ise geliştirilen modelin çalışma alanı için uygunluğunun denetlenmesinde kullanılmıştır. Literatürde sıklıkla kullanılan 12 adet çap-boy modeline ilişkin parametre tahminleri yapılmış ve istatistiksel ölçütlerle tahmin başarıları

karşılaştırılmıştır. Nisbi sıralama sonucunda en başarılı sonuçları veren modellere ilişkin  $R_{düz}^2$ ,  $OH$ ,  $OMH$ ,  $HKOK$  ve  $AIC$  değerleri Göknaar için sırasıyla 0,736; 0,0018; 2,7197; 3,3874 ve 1234,60 olarak ve Sarıçam için sırasıyla 0,738; -0,0016; 2,5989; 3,1744 ve 276,61 olarak hesaplanmıştır. Her iki tür için de başarılı bulunan modellerin çalışma alanı için uygunlukları denetlenmiş ve uygun oldukları sonucuna varılmıştır. Çalışma kapsamında geliştirilen modeller, orman envanter çalışmalarında boy ölçümü yapılamayan ağaçların boy tahminlerinde güvenilir bir şekilde kullanılabilir.

**Anahtar Sözcükler :** *Abies nordmanniana*, ağaç boyu, göğüs çapı, orman envanteri,  
*Pinus sylvestris*.

**Bilim Kodu** : 120507

## **ABSTRACT**

**Master Thesis**

### **DEVELOPING HEIGHT-DIAMETER MODELS FOR UNEVEN-AGED FIR- SCOTS PINE STANDS LOCATED IN TOSYA FOREST ENTERPRISE**

**Cihan ŞEN**

**Karabük University  
Institute of Graduate Programs  
Department of Forest Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Assist. Prof. Dr. Mehmet SEKİ**

**June 2023, 33 pages**

Tree height, which has an important role in determining growing stock, site index and growth and yield, is a basis of forest inventory. Measuring the height of a tree compared to the diameter at breast height is a time-consuming, costly and labor-intensive process. For this reason, the role of height-diameter models in forestry research has a great importance. In this study, height-diameter models were developed for uneven aged Fir-Scots pine stands, which are distributed within the borders of Tosya Forest Enterprise of Kastamonu Regional Directorate of Forestry. For this purpose, 100 sample plots were taken from the study area. Of the total data, randomly divided 70% was used for model development and 30% was used for controlling the suitability of the developed model for the study area. Parameters of 12 height-diameter models, which are frequently used in the literature, were estimated and their successes were compared using statistical criteria.  $R_{adj}^2$ , Bias, Absolute bias, RMSE and AIC values for the models that gave the most successful results as a result of the relative

ranking were calculated as 0,736; 0,0018; 2,7197; 3,3874 ve 1234,60 for Fir, and 0,738; -0,0016; 2,5989; 3,1744 ve 276,61 for Scots pine, respectively. The suitability of the models found to be successful for both species was checked for the study area and it was concluded that they were suitable. The models developed within the scope of the study can be used reliably in the height estimation of trees whose height can not be measured during forest inventory studies.

**Key Word** : *Abies nordmanniana*, diameter at breast height, forest inventory, tree height, *Pinus sylvestris*.

**Science Code** : 120507



## TEŞEKKÜR

Bu tez alıŐmasının planlanmasında, araŐtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen danıŐman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mehmet SEKİ'ye Őükranlarımı sunarım.

alıŐma konuyla ilgili bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan ve katkıda bulunan hocalarım Sayın Doç. Dr. Oytun Emre SAKICI ve Sayın Doç. Dr. Ahmet DUYAR'a teŐekkürü borç bilirim.

Tez alıŐması sürecinde destekleri ile sürekli yanımda olan aileme teŐekkürlerimi sunarım. Ayrıca, arazi çalıŐmaları sırasında her türlü desteği veren Tosya Orman İŞletme Müdürlüğü teknik personeline teşekkür ederim.

Bu çalıŐmanın ülkemiz ormancılığına ve diğer araŐtırmacılara yararlı olmasını dilerim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xii
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	4
LİTERATÜR ÖZETİ.....	4
BÖLÜM 3 .....	7
MATERYAL VE YÖNTEM.....	7
3.1. MATERYAL.....	7
3.2. YÖNTEM.....	12
BÖLÜM 4 .....	18
BULGULAR VE TARTIŞMA .....	18
BÖLÜM 5 .....	26
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	26
KAYNAKLAR .....	29
ÖZGEÇMİŞ .....	33

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 3.1. Çalışma alanı ve çalışmaya konu meşcereler.....	7
Şekil 3.2. Örnek alanların orman işletme şefliklerine dağılımları .....	8
Şekil 3.3. Örnek alanların bakı gruplarına dağılımları.....	9
Şekil 3.4. Örnek alanlarda $d_{1,30}$ (sol) ve $h$ (sağ) ölçümü. ....	10
Şekil 3.5. Gök nar için model geliştirme, kontrol ve tüm veri gruplarına ait çap-boy dağılımları.....	14
Şekil 3.6. Sarıçam için model geliştirme, kontrol ve tüm veri gruplarına ait çap-boy dağılımları.....	15
Şekil 4.1. Gök nar için geliştirilen d-h modellerinin hata grafikleri.....	23
Şekil 4.2. Sarıçam için geliştirilen d-h modellerinin hata grafikleri.....	24

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 3.1. Örnek ağaçlara ilişkin çeşitli istatistiksel bilgiler .....	11
Çizelge 3.2. Gökmar örnek ağaçlarına ilişkin çeşitli istatistiksel bilgiler.....	12
Çizelge 3.3. Sarıçam örnek ağaçlarına ilişkin çeşitli istatistiksel bilgiler.....	13
Çizelge 3.4. Çalışma kapsamında kullanılan d-h modelleri.....	16
Çizelge 4.1. Gökmar için d-h modellerine ilişkin parametre tahminleri ve hata istatistikleri.....	19
Çizelge 4.2. Sarıçam için d-h modellerine ilişkin parametre tahminleri ve hata istatistikleri.....	20
Çizelge 4.3. Gökmar için d-h modellerine ilişkin nisbi ve genel sıralama değerleri.....	21
Çizelge 4.4. Sarıçam için d-h modellerine ilişkin nisbi ve genel sıralama değerleri.....	22

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

- $d_{1,30}$  : Göğüs yüksekliği çapı  
 $h$  : Toplam ağaç boyu  
 $m^2$  : Metre kare  
 $R_{düz}^2$  : Düzeltilmiş belirtme katsayısı  
% : Yüzde

### KISALTMALAR

- AIC : Akaike Bilgi Kriteri  
cm : Santimetre  
ha : Hektar  
HKOK : Hata Kareler Ortalamasının Karekökü  
m : Metre  
OH : Ortalama Hata  
OBM : Orman Bölge Müdürlüğü  
OİM : Orman İşletme Müdürlüğü  
OİŞ : Orman İşletme Şefliği  
OMH : Ortalama Mutlak Hata

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Doğal kaynakların sürdürülebilir bir şekilde yönetilebilmesi bu kaynakların detaylı bir şekilde çözümlenmesi ile yakından ilişkilidir. Doğal kaynaklar arasında çok geniş alanlarda yayılış gösteren ormanlar insanoğluna ekonomik, ekolojik ve sosyal olarak birçok fayda sağlamaktadır (Çepel, 1984). Ormanlardan bilinçsizce ve kontrolsüzce faydalanmalar sonucunda dünyamızdaki orman kaynakları alansal olarak azalmış, kalite olarak da kötüleşmiştir. Orman kaynaklarındaki bu tahribat beraberinde doğal dengenin bozulması gibi birçok problem getirmiştir. İnsanoğlunun bu bilinçsiz faydalanma ve beraberinde getirdiği sorunları fark etmesi ile birlikte ormanlardan faydalanmanın sürdürülebilir ve planlı olması gerekliliği öne çıkmıştır. Diğer doğal kaynaklar ile kıyaslandığında ormanlar oldukça geniş alanlarda yayılış göstermekte ve uzun bir üretim sürecine sahiptirler. Bu sebeplerle, ormanların planlı olarak işletilmesi büyük önem taşımaktadır (Eraslan ve Şad, 1993). Ormanların aktüel kuruluşlarının ortaya konulması, planlanması ve uygun silvikültürel işlemlerin kararlaştırılmasında meşcerelere ilişkin dinamikleri, allometrik ilişkileri, artım ve büyüme potansiyellerini tahmin eden denklem sistemleri en önemli yardımcı araçlardandır (Mısır ve Yavuz, 2013; Seki ve Sakıcı, 2022a). Özellikle allometrik modeller (çap-boy, hacim modelleri vb.) orman envanterinde ölçümü zor olan değişkenlerin ölçümü nispeten daha kolay değişkenler kullanılarak tahmin edilebilmelerini mümkün kılmaktadır.

Bir ağacın göğüs yüksekliği çapı ( $d_{1,30}$ ) ve boyu ( $h$ ) ormancılık sektöründeki en önemli değişkenlerdendir (Kalıpsız, 1984; Calama ve Montero, 2004). Ağaç hacminin belirlenmesinde, biyokütle ve karbon stok tahminlerinde, meşcerelerin yatay ve dikey dinamiklerinin ortaya konulmasında, yetiştirme ortamı verim gücünün belirlenmesinde, artım ve büyüme modellerinin geliştirilmesinde, orman yönetimi ile ilgili karar verme sürecinde vb. birçok aşamada bu iki değişken doğrudan veya dolaylı olarak kullanılmaktadır (Clutter vd., 1983; van Laar ve Akça, 2007; Seki, 2022). Özellikle,

ormancılığın ana kapitali olan ağaç hacminin gerçeğe yakın bir şekilde elde edilebilmesi konu ağacın  $d_{1,30}$  ve  $h$  değerlerinin bilinmesine bağlıdır (Kalıpsız, 1984; Parresol, 1992; Mısır, 2010; Çatal, 2012; Carus ve Çatal, 2017).  $d_{1,30}$  ve  $h$  ölçümleri orman envanterinin en temel bileşenleridir ancak  $h$  ölçümü  $d_{1,30}$  ölçümüne nazaran daha zor, zaman alıcı ve maliyetlidir (Çatal, 2012; Carus ve Akguş, 2018). Özellikle eğimli arazilerde ve ağaçlar arası mesafenin az olduğu sık meşcerelerde boy ölçümüne ilişkin yapılabilecek olası hatalar da söz konusudur. Bununla birlikte, boy ölçümü için gerekli olan ölçüm aletlerinin pahalı olması ve ormancılık teşkilatlarında yaygın olarak bulunmaması gibi dezavantajlar da mevcuttur (Seki ve Sakıcı, 2022b). Tüm bu sebeplerle, ormancılık uygulamalarında ve araştırmalarında  $h$  tahminlerinde kullanılan çap-boy modellerinin önemi büyüktür.

Çap-boy modelleri yapılarına göre *i*) bağımsız değişken olarak yalnızca  $d_{1,30}$ 'u içeren basit çap-boy modelleri ve *ii*)  $d_{1,30}$  ile birlikte bazı meşcere özelliklerini (üst boy, orta çap, göğüs yüzeyi vb.) de bağımsız değişkenler olarak içeren geliştirilmiş çap-boy modelleri olarak iki temel gruba ayrılmaktadırlar (Sönmez, 2009; Mısır, 2010; Stankova ve Diéguez-Aranda, 2013; Seki ve Sakıcı, 2022b). Basit çap-boy modellerinin kullanımında yalnızca boy tahmini yapılması istenen ağaca ilişkin  $d_{1,30}$  ölçümü gereklidir ve örnek alan olarak ek ölçümler yapılmasına gerek yoktur. Bu sebeple, uygulama kolaylığı, zaman ve maliyet açısından basit çap-boy modellerinin özellikle ormancılık uygulamalarında kullanımı öne çıkmaktadır.  $d_{1,30}$  ile  $h$  arasında kuvvetli bir ilişki olmasına karşın bu ilişki aynı zamanda ağaç türü ve meşcere özelliklerinden de etkilenmektedir (Bhandari vd, 2021). Örneğin, yetiştirme ortamı özelliklerine ilişkin varyansın yüksek olduğu bölgesel çalışmalarda çap-boy ilişkisinin tek bir eğri ile açıklanması oldukça güç olabilmektedir. Böyle durumlarda boy tahminindeki başarıyı arttırmak amacıyla meşcere özelliklerini de  $d_{1,30}$  ile birlikte bağımsız değişkenler olarak içeren geliştirilmiş çap-boy modelleri tercih edilebilmektedir.

Basit ve geliştirilmiş çap-boy modelleri ortalama hata bakımından başarılı  $h$  tahminleri sunmaktadırlar. Ancak, mutlak hata açısından incelendiğinde geliştirilmiş çap-boy modellerinin tahmin başarısı önemli ölçüde öne çıkmaktadır. Bir başka ifade ile, geliştirilmiş çap-boy modelleri ile yapılan  $h$  tahminleri münferit

olarak da başarı gösterirken, basit çap-boy modelleri ile yapılan  $h$  tahmin başarıları münferit olarak yüksek tahmin hatalarına sahip olabilmektedir. Özellikle, büyüme modellemesi yapılan ve her bir ağaç/meşcere için hassas  $h$  tahminlerine ihtiyaç duyulan bilimsel çalışmalarda genelleştirilmiş çap-boy modellerinin kullanımı uygun görülmektedir. Bunun yanında, çok sayıda ağaca ilişkin  $h$  tahmini yapılması ve toplumun ortalama tahmin hatası ile ilgilenildiği entansif ormancılık çalışmalarda basit çap-boy modellerinin kullanılması özellikle ekstra envanter maliyeti gerektirmemesi gerekçesiyle uygun olmaktadır.

Bu tez çalışmasında, Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı (OBM) Tosya Orman İşletme Müdürlüğü (OİM) sınırları içerisinde yayılış yapan değişik yaşlı Gök nar-Sarıçam meşcereleri için basit çap-boy modelleri geliştirilmiş ve uygunlukları denetlenmiştir.



## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ÖZETİ

Ormancılık araştırmalarında meşcere özelliklerinin hesaplanabilmesi doğrudan meşcere içerisindeki ağaçlara ilişkin yapılacak ölçümlere baēlıdır. Envanter çalışmalarında en çok ihtiyaç duyulan ağaç özellikleri ise  $d_{1,30}$  ve  $h$  olarak karşımıza çıkmaktadır.  $d_{1,30}$  ölçümüne kıyasla  $h$  ölçümünün zorluğu ve bu sebeple çap-boy modellerinin önemi bir önceki bölümde açıklanmıştır. Ulusal ve uluslararası literatürde birçok ağaç türü ve bölge için geliştirilmiş çap-boy modelleri mevcuttur. Bu sebeple, ulusal literatürde günümüze kadar yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmeye çalışılmıştır.

Sönmez (2009) tarafından Artvin Yöresinde yapılan çalışmada Doēu Ladini (*Picea orientalis* L.) meşcereleri için genelleştirilmiş çap-boy modelleri geliştirilmiştir. En iyi sonuçlar Amateis vd. (1995) tarafından geliştirilen ve baēımsız deēişkenler olarak  $d_{1,30}$ , meşcerenin dominant çapı, üst boyu, yaşı ve ağaç sayısını içeren çap-boy modeli ile elde edilmiştir.

Doēu Karadeniz Bölgesi'nde yayılış yapan Titrek Kavak (*Populus tremula* L.) meşcerelerinde Mısır (2010) tarafından yapılan çalışmada genelleştirilmiş çap-boy modelleri geliştirilmiştir. Çalışmada en iyi sonuçlar Schnute (1981) tarafından geliştirilen ve baēımsız deēişkenler olarak  $d_{1,30}$ , meşcerenin dominant çapı ve üst boyu içeren model ile elde edilmiştir.

Çatal (2012) tarafından gerçekleştirilen çalışmada Göller Yöresinde yer alan ve ağaçlandırma yolu ile yetiştirilmiş Yalancı Akasya (*Robinia pseudoacacia* L.), Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) ve Toros Sediri (*Cedrus libani* A.Rich.) meşcereleri için çap-boy ilişkileri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında her üç ağaç türüne ilişkin çap-boy ilişkisini açıklamada

Monserud (1975) tarafından geliştirilen basit çap-boy modeli kullanılmış ve başarılı bulunmuştur.

Batı Akdeniz Bölgesi'nde yayılış gösteren Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.), Karaçam (*Pinus nigra* Arnold) ve Toros Sediri (*Cedrus libani* A.Rich.) meşcereleri için ekorejyon tabanlı çap-boy modelleri geliştirilmiştir (Özçelik vd, 2014). Bu amaçla, her bir tür için 7 adet doğrusal olmayan çap-boy modelinin tahmin başarıları incelenmiştir. Çalışma sonucunda, Gompertz modelinin her ağaç türü ve ekorejyon için en başarılı sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Bunun yanında, ağaç türlerinin çap-boy gelişimlerinin ekolojik ve iklimik olarak farklı özelliklere sahip olan ekorejyonlara bağlı farklılık gösterdikleri de belirlenmiştir.

Özçelik ve Çapar (2014) tarafından gerçekleştirilen çalışmada Antalya Yöresi doğal Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinde genelleştirilmiş çap-boy modelleri geliştirilmiştir. Göğüs çapının yanında meşcere özelliklerini de bağımsız değişkenler olarak içeren modeller arasında en başarılı sonuçlar sırasıyla Pienaar (1991), Sloboda vd. (1993) ve Sharma ve Parton (2007) tarafından geliştirilen modeller ile elde edilmiştir.

Ağlasun Yöresinde yayılış gösteren yapay Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerine ilişkin çap-boy modellemesi Carus ve Çatal (2017) tarafından yapılmıştır. 20 farklı basit çap-boy modelinin geliştirildiği ve başarılarının karşılaştırıldığı çalışmada en başarılı sonuçlar sırasıyla Korf, Sibbesen ve Meyer modelleri ile elde edilmiştir.

Carus ve Akguş (2018) tarafından Tarsus Yöresi Fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.) ağaçlandırmaları için çap-boy modelleri geliştirilmiştir. Çalışmada 20 farklı çap-boy modeli istatistik ölçütlere göre karşılaştırılmış ve en başarılı sonuçlar sırasıyla Prodan, Sibbesen ve Ratkowsky tarafından geliştirilen modeller ile elde edilmiştir.

Batı Akdeniz Bölgesi Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ağaçlandırmaları için Çatal ve Carus (2018) tarafından çap-boy modellemesi yapılmıştır. Çalışma sonucunda çap-boy ilişkisini açıklamada en başarılı modeller sırasıyla Cox II<sub>a</sub>, Cox II<sub>b</sub> ve Sharma & Parton modelleri olmuştur.

Çanakkale Yöresinde yer alan Dumanlı Planlama Birimi sınırları içerisinde yayılış yapan Macar Meşesi (*Quercus frainetto* Ten.) meşcereleri için çap-boy modelleri Bolat vd. (2022) tarafından geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında en başarılı sonuçları veren doğrusal olmayan çap-boy modeli Macar Meşesi boyundaki varyansın yaklaşık %80'ini göğüs çapı ile açıklayabilmiştir.

Seki (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada Karabük-Cemaller Yöresinde yayılış gösteren Karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnold subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) – Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcereleri için çap-boy ilişkileri incelenmiştir. Çalışmada çap-boy ilişkisini açıklamada en iyi sonuçlar her iki tür için de Pearl ve Reed (1920) tarafından geliştirilen model ile elde edilmiştir.

Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde gerçekleştirilen çalışmada Seki ve Sakıcı (2022) tarafından Karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnold subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) meşcereleri için ekorejyon tabanlı çap-boy modelleri geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında literatürde yer alan 9 adet genelleştirilmiş çap-boy modelinin tahmin başarıları karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, Karaçam için çap-boy ilişkisini Richards (1959) tarafından geliştirilen ve Sharma ve Parton (2007) tarafından modifiye edilen çap-boy modeli açıklamıştır. En başarılı seçilen modelde bağımsız değişkenler olarak  $d_{1,30}$  ve meşcere özellikleri (üst boy, ağaç sayısı ve göğüs yüzeyi) yer almaktadır.

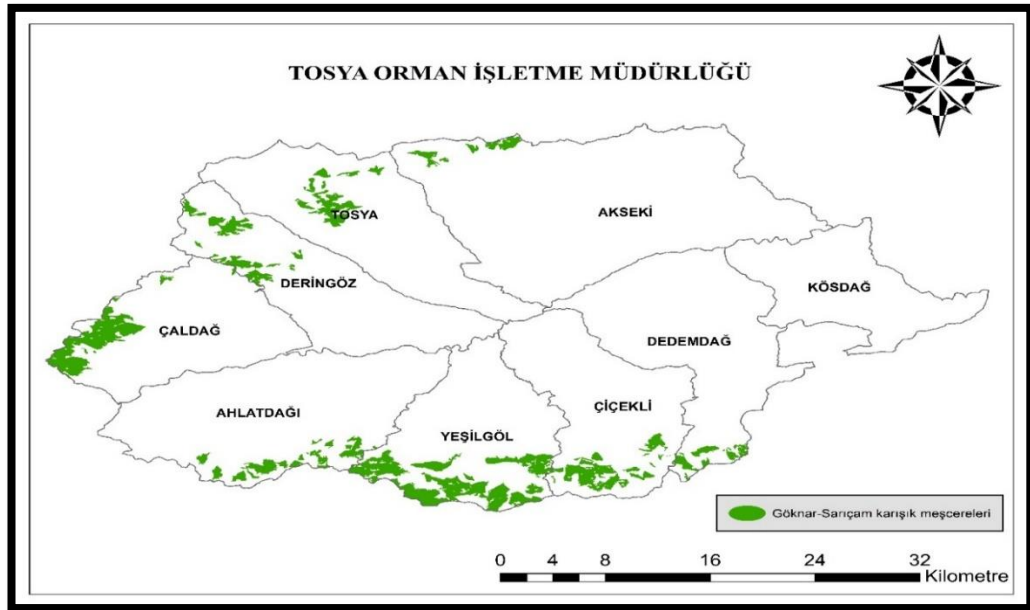
Kestel Yöresinde yayılış gösteren Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) (Ercanlı, 2015) ve Gökmar (Ercanlı ve Eyüboğlu, 2019) meşcereleri için de çap-boy genelleştirilmiş çap boy modellerinin geliştirildiği çalışmalar da literatürde mevcuttur. Ayrıca, Ercanlı (2020) tarafından yapılan çalışmada Konya Orman İşletme Müdürlüğü Karaçam meşcereleri için çap-boy ilişkileri yapay sinir ağı yöntemi ile araştırılmıştır.

## BÖLÜM 3

### MATERYAL VE YÖNTEM

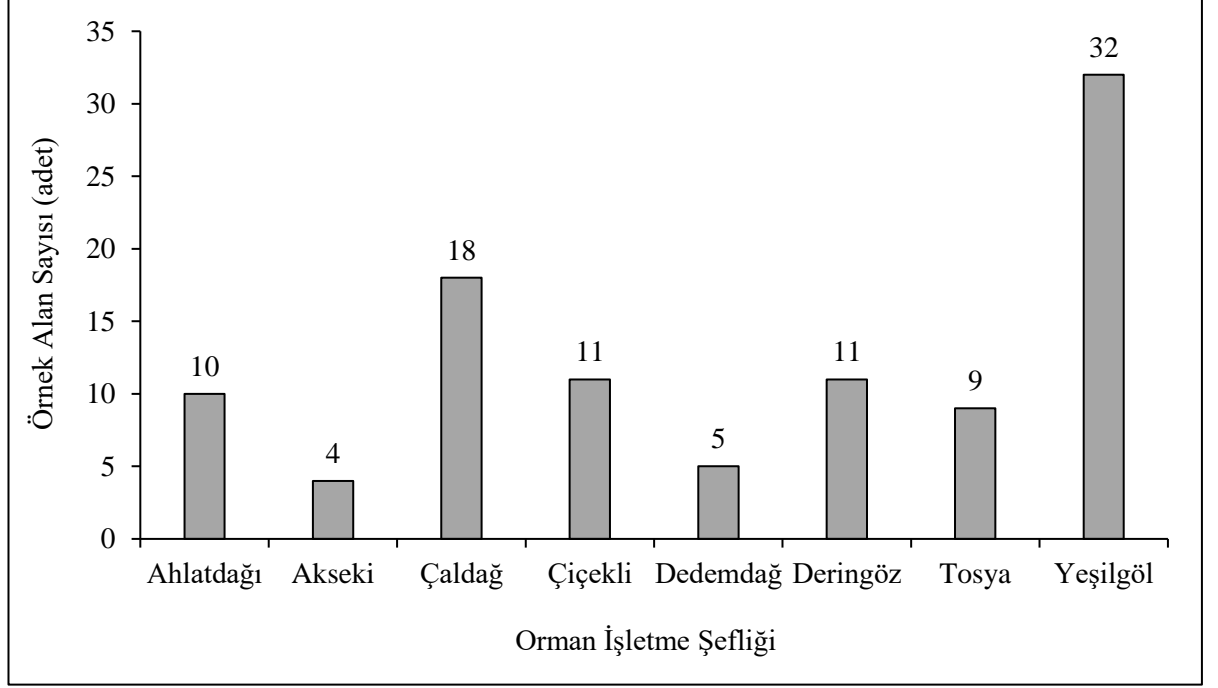
#### 3.1. MATERYAL

Bu tez çalışmasında kullanılan veriler; Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Tosya Orman İşletme Müdürlüğü (OİM) sınırları içerisinde yer alan 8 adet Orman İşletme Şefliği'nde (Akseki, Ahlatdağı, Çaldağ, Çiçekli, Dedemdağ, Deringöz, Tosya, Yeşilgöl Orman İşletme Şeflikleri) yayılış yapan değişik yaşlı Göknaar-Sarıçam meşcerelerinden elde edilmiştir. Tosya OİM ormanlarının toplam alanı 82 313 ha olup toplam alanın yaklaşık %67'sini kaplamaktadır. Çalışmaya konu Göknaar-Sarıçam meşcerelerinden toplam 100 adet örnek alan alınmıştır. Örnek alanların farklı işletme şefliklerinden ve farklı meşcere yapılarından alınmasına özen gösterilmiştir. Çalışmaya konu Tosya OİM'ne bağlı OİŞ'lerinin ve örneklenen meşcerelerin coğrafik konumları Şekil 3.1'de verilmiştir.



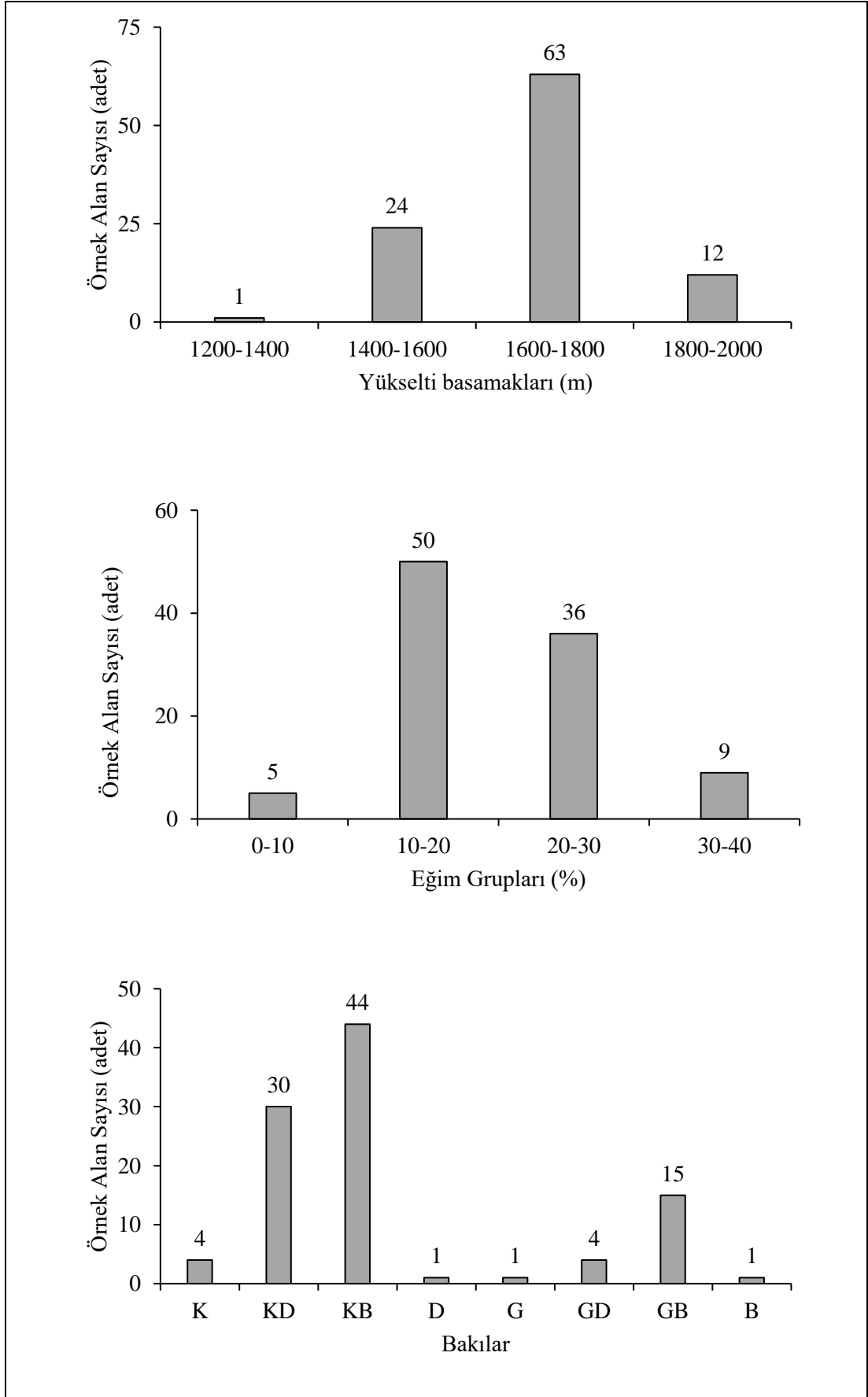
Şekil 3.1. Çalışma alanı ve çalışmaya konu meşcereler

Örnek alanların 10'u (% 10) Ahlatdağı, 4'ü (% 4) Akseki, 18'i (% 18) Çaldağ, 11'i (% 11) Çiçekli, 5'i (% 5) Dedemdağ, 11'i (% 11) Deringöz, 9'u (% 9) Tosya ve 32'si Yeşilgöl Orman İşletme Şefliklerinden alınmıştır (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. Örnek alanların orman işletme şefliklerine dağılımları

Şekil 3.3'te görüldüğü üzere, örnek alanların 1'i (% 1) 1 200-1 400 m, 24'ü (% 24) 1400-1600 m, 63'ü 1600-1800 m ve 12'si (% 12) 1800-2000 m yükseklikten alınmıştır ( $\bar{X} = 1698 m$ ). Örnek alanların eğim gruplarına dağılımları incelendiğinde 5'i (% 5) % 0-10, 50'si (% 50) % 10-20, 36'sı (% 36) % 20-30 ve 9'u (% 9) % 30-40 eğim grubunda yer almaktadır. Örnek alanların 4'ü (% 4) Kuzey, 30'u (% 30) Kuzeydoğu, 44'ü (% 44) Kuzeybatı ve 1'i (% 1) de Doğu bakı olmak üzere 79'unun (% 79) gölgeli bakılarda yer aldığı görülmektedir. Bunun yanında, 1 (% 1) örnek alan Güney, 4 (% 4) örnek alan Güneydoğu, 15 (% 15) örnek alan Güneybatı ve 1 (% 1) örnek alan da Batı bakı olmak üzere 21 (% 21) örnek alan güneşli bakılardan alınmıştır.



Şekil 3.3. Örnek alanların yükselti, eğim ve bakı gruplarına dağılımları

Çalışma kapsamında alınan örnek alanların şekilleri dairesel ve büyüklükleri de 400 m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Örnek alan içerisine düşen ve 7,9 cm'den kalın göğüs çapına sahip tüm ağaçlar numaralandırılmıştır. Numaralandırılan tüm bireylerin göğüs çapları ( $d_{1,30}$ ) ve türleri envanter karnesine not edilmiştir. Her bir ağaç türü (Gökmar ve Sarıçam) için farklı çap ve boy basamaklarından örnek ağaçlar belirlenmiş ve bu ağaçlarda toplam ağaç boyu ( $h$ ) değerleri ölçülmüştür (Şekil 3.4.). Çap-boy ölçümü için seçilen örnek ağaçların düzgün gövdeli, tepesi sağlam ve sağlıklı bireyler olmasına özen gösterilmiştir. Örnek ağaçların çapları 0,1 cm hassasiyetle çap ölçer kullanılarak ve boyları ise *Haglöf EC II D-R Elektronik Boy Ölçer* kullanılarak 0,1 m hassasiyetle ölçülmüştür.



Şekil 3.4. Örnek alanlarda  $d_{1,30}$  (sol) ve  $h$  (sağ) ölçümü

100 adet örnek alan içerisinde 1470 adet Gökmar ve 336 adet Sarıçam olmak üzere toplamda 1806 ağaçta çap-boy ölçümü yapılmıştır. Örnek ağaçlara ilişkin istatistiksel bilgiler Çizelge 3.1'de özetlenmiştir. Tabloda görüldüğü üzere Gökmar bireylerinin  $d_{1,30}$  değerleri 8,1 ve 65,2 cm arasında,  $h$  değerleri ise 3,1 ve 37,0 m arasında değişmektedir. Bununla birlikte, Sarıçam bireylerinin  $d_{1,30}$  değerleri 11,2 ve 66,5 cm arasında,  $h$  değerleri ise 4,8 ve 38,3 m arasında değişmektedir.

Çizelge 3.1. Örnek ağaçlara ilişkin çeşitli istatistiksel bilgiler

Tür	Değişken	n	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Göknar	Göğüs çapı (cm)	1470	8,1	65,2	29,1	10,7
	Ağaç boyu (m)		3,1	37,0	17,2	6,5
Sarıçam	Göğüs çapı (cm)	336	11,2	66,5	33,2	13,0
	Ağaç boyu (m)		4,8	38,3	19,3	6,3



### 3.2. YÖNTEM

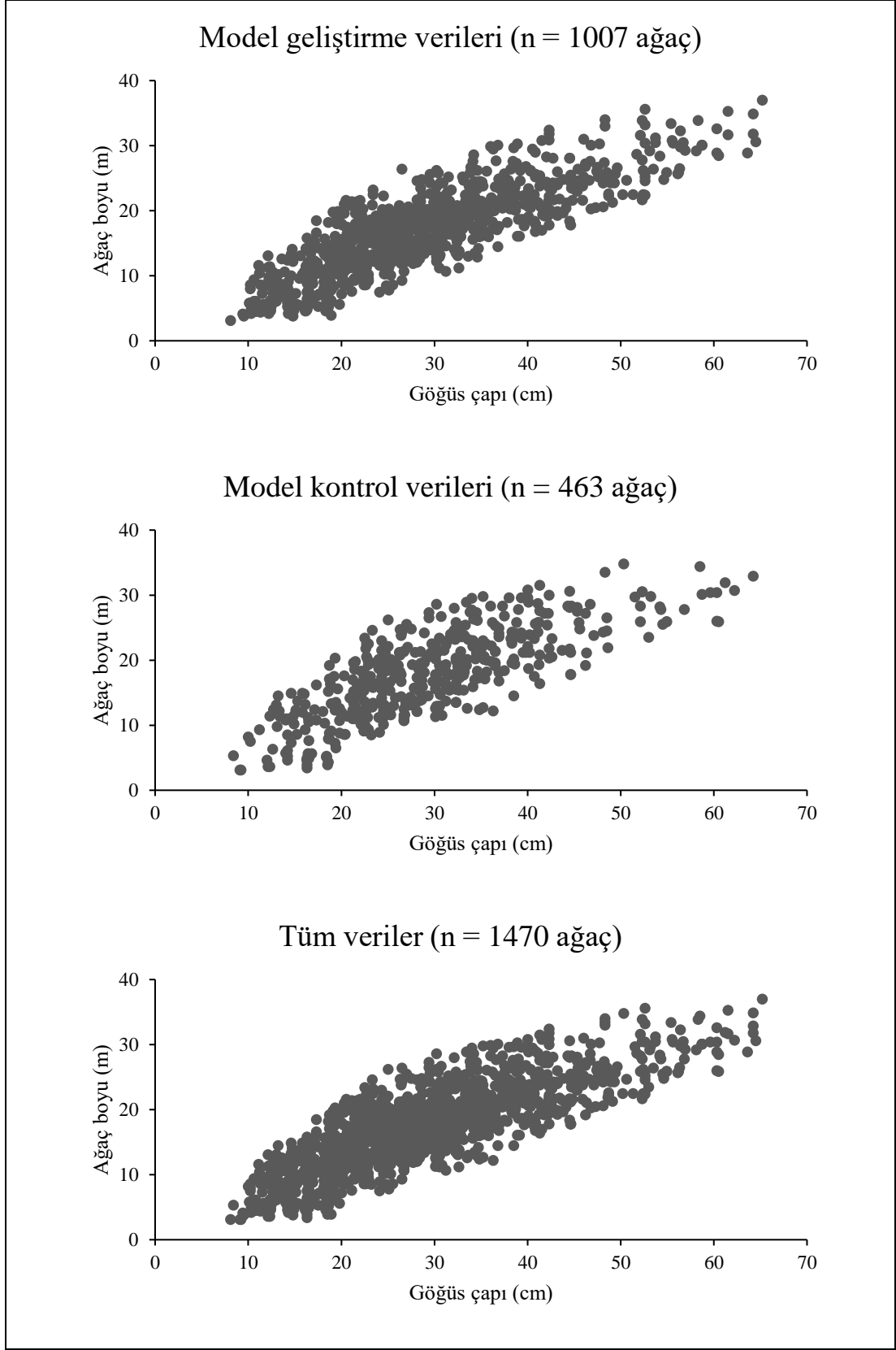
Bu çalışma kapsamında geliştirilen çap-boy modellerinin çalışma alanı için uygunluğunun kontrol edilebilmesi için bağımsız bir veri grubu ile test edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, arazi aşamasında elde edilen 100 adet örnek alan verisi tesadüfi olarak *i*) model geliştirme (%70 = 70 örnek alan) ve *ii*) model kontrol (%30 = 30 örnek alan) olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Model geliştirme için ayrılan veri seti ile çap-boy modellerine ilişkin katsayılar tahmin edilmiştir. Geliştirilen modellerin uygunlukları ise model kontrol veri setinde yer alan ağaçların ölçülen boy değerleri kullanılarak “Student’in Eşleştirilmiş t-testi” yardımıyla denetlenmiştir. Model kontrol veri seti içerisinde yer alan ağaçlara ilişkin regresyon modelleri ile yapılan boy tahminleri ile gerçek boy değerlerinin karşılaştırılmasında 0,05 önem düzeyinde anlamlı bir farklılık bulunmaması durumunda söz konusu modellerin çalışma alanı için uygun olduğu sonucu çıkmaktadır. Model geliştirme ve model kontrol gruplarında yer alan ağaçların her iki tür için istatistiksel özet bilgileri Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3’te, çap-boy dağılımları ise Şekil 3.5 ve Şekil 3.6 da verilmiştir.

Çizelge 3.2. Gökmar örnek ağaçlarına ilişkin çeşitli istatistiksel bilgiler

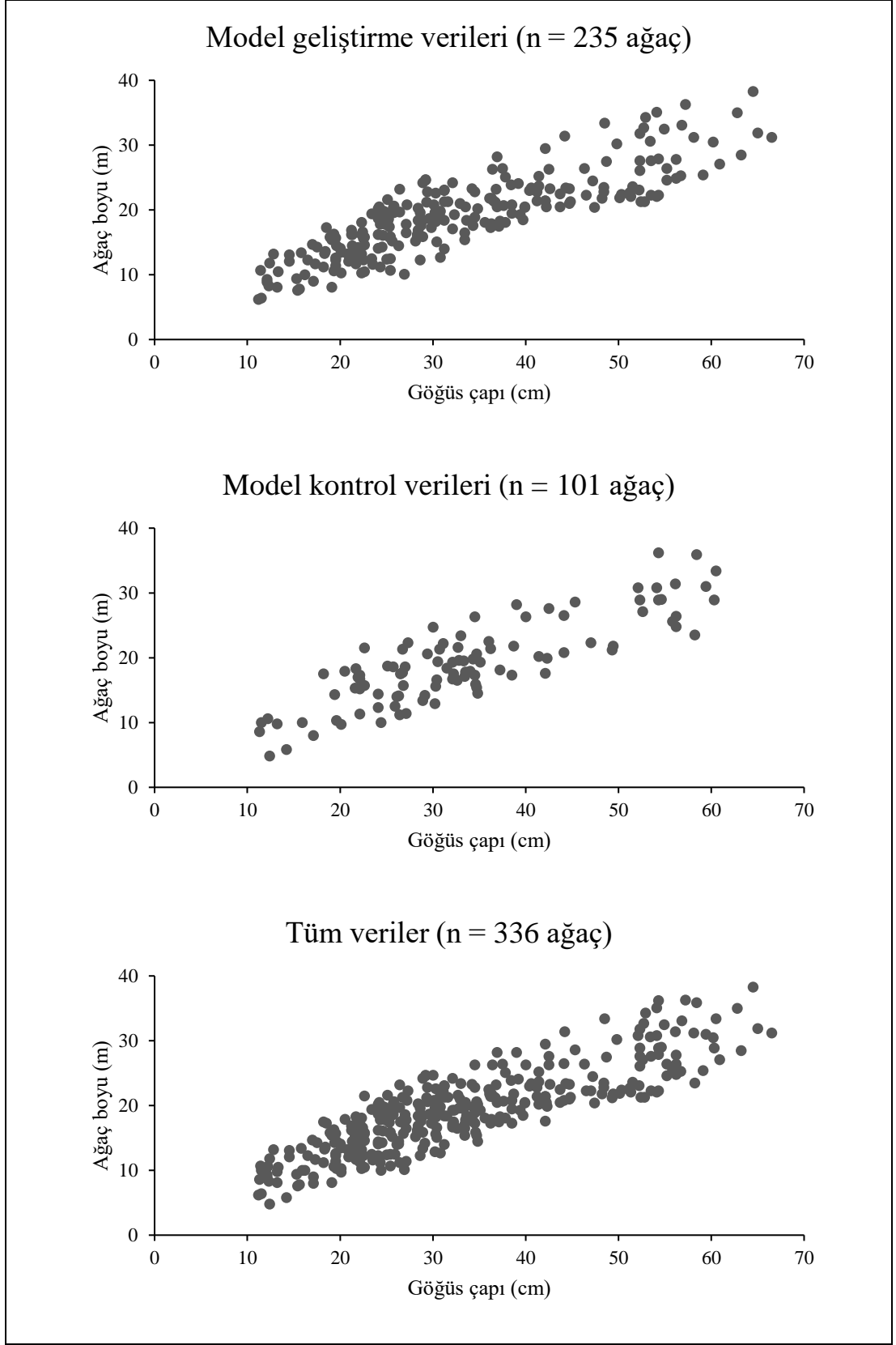
Grup	Değişken	n	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Model geliştirme	Göğüs çapı (cm)	1007	8,1	65,2	28,8	10,7
	Ağaç boyu (m)		3,1	37,0	16,9	6,3
Model kontrol	Göğüs çapı (cm)	463	8,4	64,2	29,6	10,5
	Ağaç boyu (m)		3,1	34,8	18,0	6,7

Çizelge 3.3. Sarıçam örnek ağaçlarına ilişkin çeşitli istatistiksel bilgiler

Grup	Değişken	n	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Model geliştirme	Göğüs çapı (cm)	235	11,2	65,5	33,0	13,2
	Ağaç boyu (m)		6,2	38,3	19,3	6,2
Model kontrol	Göğüs çapı (cm)	101	11,3	60,5	33,7	12,7
	Ağaç boyu (m)		4,8	36,2	19,3	6,6



Şekil 3.5. Göknar için model geliştirme, kontrol ve tüm veri gruplarına ait çap-boy dağılımları



Şekil 3.6. Sarıçam için model geliştirme, kontrol ve tüm veri gruplarına ait çap-boy dağılımları

Bu tez çalışması kapsamında, Tosya OİM değişik yaşlı göknar – sarıçam meşcereleri için d-h ilişkilerinin modellenmesi için göğüs çapını bağımsız değişken olarak içeren 12 farklı d-h modeli kullanılmıştır (Çizelge 3.4). Ormancılık literatüründe sıklıkla tercih edilen ve başarılı bulunan bu modellere ilişkin parametre tahminleri SAS istatistik paket programındaki *PROC MODEL* prosedürü kullanılarak yapılmıştır (SAS Institute Inc., 2004).

Çizelge 3.4. Çalışma kapsamında kullanılan d-h modelleri

Model	Matematiksel formu	Kaynak
M1	$h = 1,3 + b_1 \exp(-b_2 \exp(-b_3 d_{1,30}))$	Gompertz (1825)
M2	$h = 1,3 + b_1 / (1 + b_2 \exp(-b_3 d_{1,30}))$	Pearl ve Reed (1920)
M3	$h = 1,3 + b_1 [1 - \exp(-b_2 d_{1,30})]$	Meyer (1940)
M4	$h = 1,3 + b_1 (1 + 1/d_{1,30})^{b_2}$	Curtis (1967)
M5	$h = 1,3 + d_{1,30}^2 / (b_1 + b_2 d_{1,30})^2$	Loetsch vd. (1973)
M6	$h = 1,3 + b_1 \exp(b_2 / d_{1,30})$	Burkhart ve Strub (1974)
M7	$h = b_1 d_{1,30}^{b_2}$	Stage (1975)
M8	$h = 1,3 + b_1 d_{1,30}^{b_2}$	Schreuder vd. (1979)
M9	$h = 1,3 + b_1 d_{1,30} / (b_2 + d_{1,30})$	Bates ve Watts (1980)
M10	$h = 1,3 + \exp[b_1 + b_2 / (d_{1,30} + 1)]$	Wykoff vd. (1982)
M11	$h = (d / (b_1 + b_2 d_{1,30}))^2$	Clutter vd. (1983)
M12	$h = 1,3 + b_1 \exp(-b_2 / (d_{1,30} + b_3))$	Ratkowsky (1990)

$h$  toplam ağaç boyunu,  $d_{1,30}$  göğüs çapını (cm),  $b_1$ ,  $b_2$  ve  $b_3$  model parametrelerini ifade etmektedir.

Geliştirilen modellere ilişkin tahmin başarılarının değerlendirilmesinde ilk aşamada düzeltilmiş belirtme katsayısı ve hata istatistikleri hesaplanmıştır. Model değerlendirmesinde kullanılan istatistiksel ölçütler aşağıda verilmiştir.

$$\text{Düzeltilmiş Belirtme Katsayısı } (R_{düz}^2) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \hat{h}_i)^2 (n-1)}{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h}_i)^2 (n-p)}$$

$$\text{Ortalama Hata (OH)} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{h}_i - h_i)}{n}$$

$$\text{Ortalama Mutlak Hata (OMH)} = \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{h}_i - h_i|}{n}$$

$$\text{Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (HKOK)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \hat{h}_i)^2}{n}}$$

$$\text{Akaike Bilgi Kriteri (AIC)} = n \cdot \ln(\text{HKOK}) + 2p$$

Burada;  $h_i$ ,  $\hat{h}_i$ ,  $\bar{h}_i$  sırasıyla ölçülen, tahmin edilen ve ortalama boy değerlerini,  $n$  veri sayısını ve  $p$  ilgili modele ilişkin parametre sayısını ifade etmektedir.

Tüm parametreleri anlamlı bulunan ( $p < 0,05$ ) modellerle boy tahminleri yapılmış ve tahmin-hata grafikleri çizilmiştir. Hata grafiklerinde 45 derecelik açıdan sapmalar ve olası sistematik hatalar incelenmiştir. Tüm parametreleri anlamlı bulunan modeller arasından istatistiksel olarak en başarılı modelin seçiminde Poudel ve Cao (2013) tarafından önerilen rölatif sıralama sistemi kullanılmıştır. Her bir istatistik ölçüt için ayrı ayrı hesaplanan rölatif sıralama değerleri toplanarak da modellere ilişkin nihai sıralama değerleri belirlenmiştir.

Son olarak, en başarılı d-h modelinin Tosya OİM içerisinde yayılış yapan göknar-sarıçam meşcereleri için uygunluğu kontrol veri grubu (30 adet örnek alan) kullanılarak denetlenmiştir. Kontrol veri grubunda yer alan ağaçlara ilişkin tahmin edilen boy değerleri ile ölçülen boy değerlerine ilişkin karşılaştırma Eşleştirilmiş t Testi yardımıyla yapılmıştır.

## BÖLÜM 4

### BULGULAR VE TARTIŞMA

Ormancılık araştırmalarında sıklıkla kullanılan ve tatmin edici sonuçlar elde edilen 12 adet basit çap-boy modeline ilişkin parametre tahminleri yapılmıştır. Göknaş için geliştirilen modellere ilişkin parametre tahminleri ve başarı ölçütleri izelge 4.1’de verilmiştir. Tablo incelendiğin tüm modellerin tüm parametreleri 0,01 önem düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Bununla birlikte, parametre tahmini yapılan tüm modellerinin Göknaş için çap-boy ilişkisini %70,7 (M2, M6, M8) ve %73,6 (M12) aralığında açıkladığı görölmektedir. Hata istatistikleri incelendiğinde, OH, OMH, HKOK ve AIC değerlerinin sırasıyla 0,0018-0,0525 m, 2,7161-2,7713 m, 3,3866-3,4313 m ve 1232,37-1247,28 aralığında değiştiği görölmektedir. Burada bahsedilen OH değerlerine ilişkin aralıklar mutlak değer olarak ifade edilmektedir.

Sarıçam için geliştirilen modellere ilişkin parametre tahminleri ve başarı ölçütleri ise izelge 4.2’de verilmiştir. Tablodan göröldüğü üzere, M12 modelinin  $b_3$  parametresi 0,05 önem düzeyinde ve diğer modellerin tüm parametreleri 0,01 önem düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Bununla birlikte, parametre tahmini yapılan tüm modellerinin Sarıçam için çap-boy ilişkisini %72,1 (M6) ve %73,8 (M7, M8, M9) aralığında açıkladığı görölmektedir. Hata istatistikleri incelendiğinde, OH, OMH, HKOK ve AIC değerlerinin sırasıyla 0,0016-0,0485 m, 2,5951-2,6664 m, 3,1733-3,2780 m ve 276,53-284,18 aralığında değiştiği görölmektedir. Burada bahsedilen OH değerlerine ilişkin aralıklar mutlak değer olarak ifade edilmektedir.

Çizelge 4.1. Göknar için d-h modellerine ilişkin parametre tahminleri ve hata istatistikleri

Model	$R_{düz}^2$	OH	OMH	HKOK	AIC	Parametreler	Tahmin
M1	0,711	0,0091	2,7375	3,4038	1239,47	$b_1$	32,6141*
						$b_2$	2,9055*
						$b_3$	0,0490*
M2	0,707	0,0209	2,7621	3,4303	1247,28	$b_1$	29,3988*
						$b_2$	8,2609*
						$b_3$	0,0793*
M3	0,710	0,0525	2,7554	3,4112	1239,65	$b_1$	84,5865*
						$b_2$	0,0072*
M4	0,708	-0,0405	2,7348	3,4253	1243,81	$b_1$	42,8013*
						$b_2$	-27,8668*
M5	0,714	-0,0020	2,7175	3,3866	1232,37	$b_1$	3,3893*
						$b_2$	0,1311*
M6	0,707	-0,0491	2,7395	3,4313	1245,57	$b_1$	42,0901*
						$b_2$	-26,8610*
M7	0,709	0,0278	2,7587	3,4149	1240,75	$b_1$	1,0374*
						$b_2$	0,8337*
M8	0,707	0,0374	2,7713	3,4272	1244,37	$b_1$	0,7718*
						$b_2$	0,8971*
M9	0,710	0,0524	2,7563	3,4120	1239,89	$b_1$	157,2507*
						$b_2$	257,0272*
M10	0,709	-0,0400	2,7308	3,4197	1242,16	$b_1$	3,7736*
						$b_2$	-28,9056*
M11	0,714	-0,0149	2,7161	3,3900	1233,38	$b_1$	3,0043*
						$b_2$	0,1344*
M12	0,736	0,0018	2,7197	3,3874	1234,60	$b_1$	56,6765*
						$b_2$	47,7745*
						$b_3$	9,2372*

\*p<0,01; \*\*p<0,05



Çizelge 4.2. Sarıçam için d-h modellerine ilişkin parametre tahminleri ve hata istatistikleri

Model	$R_{düz}^2$	OH	OMH	HKOK	AIC	Parametreler	Tahmin
M1	0,733	0,0069	2,6228	3,1983	280,38	$b_1$	35,9718*
						$b_2$	2,1485*
						$b_3$	0,0354*
M2	0,729	0,0143	2,6410	3,2219	282,11	$b_1$	32,4091*
						$b_2$	4,8761*
						$b_3$	0,0561*
M3	0,737	-0,0102	2,6037	3,1783	276,90	$b_1$	44,3518*
						$b_2$	0,0165*
M4	0,722	-0,0452	2,6607	3,2693	283,56	$b_1$	39,3820*
						$b_2$	-23,9695*
M5	0,733	-0,0274	2,6205	3,2019	278,64	$b_1$	2,8099*
						$b_2$	0,1448*
M6	0,721	-0,0485	2,6664	3,2780	284,18	$b_1$	38,8818*
						$b_2$	-23,1414*
M7	0,738	0,0075	2,5951	3,1733	276,53	$b_1$	1,7874*
						$b_2$	0,6855*
M8	0,738	0,0111	2,5977	3,1771	276,81	$b_1$	1,4041*
						$b_2$	0,7342*
M9	0,738	-0,0016	2,5989	3,1744	276,61	$b_1$	72,6729*
						$b_2$	96,3355*
M10	0,724	-0,0419	2,6557	3,2610	282,96	$b_1$	3,6863*
						$b_2$	-24,8225*
M11	0,731	-0,0310	2,6283	3,2138	279,52	$b_1$	2,5117*
						$b_2$	0,1459*
M12	0,736	0,0042	2,6055	3,1800	279,02	$b_1$	60,9458*
						$b_2$	61,9313*
						$b_3$	19,0466**

\*p<0,01; \*\*p<0,05

Parametre tahmini yapılan modeller arasında en başarılı olanların belirlenebilmeleri için Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'te verilen başarı istatistiklerine Poudel ve Cao (2013) tarafından önerilen nisbi sıralama uygulanmıştır. Bu yöntemle göre, öncelikle her bir başarı istatistiği kendi içerisinde sıralamaya tabi tutulmuş ve ardından hesaplanan nisbi sıralama değerleri toplanarak her bir model için genel sıralama değerleri elde edilmiştir.

Gökmar için geliştirilen modellerin genel sıralama değerleri incelendiğinde en başarılı modelin M12, en başarısız modelin ise M8 olduğu görülmektedir (Çizelge 4.3.). M12 için  $R_{düz}^2$ , OH, OMH, HKOK ve AIC değerleri sırasıyla 0,736; 0,0018; 2,7197; 3,3874 ve 1234,60 olarak hesaplanmıştır. Sarıçam için geliştirilen çap-boy modelleri arasında ise M9 en başarılı M6 ise en başarısız model olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.4.). M9 için  $R_{düz}^2$ , OH, OMH, HKOK ve AIC değerleri sırasıyla 0,738; -0,0016; 2,5989; 3,1744 ve 276,61 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3. Gökmar için d-h modellerine ilişkin nisbi ve genel sıralama değerleri

Model	$R_{düz}^2$	OH	OMH	HKOK	AIC	Genel Sıralama
M1	10,48	2,58	5,26	5,23	6,24	6,32
M2	12,00	5,14	10,17	11,75	12,00	11,40
M3	10,86	12,00	8,83	7,05	6,37	9,98
M4	11,62	9,40	4,73	10,52	9,44	10,12
M5	9,35	1,04	1,28	1,00	1,00	2,46
M6	12,00	11,26	5,66	12,00	10,74	11,55
M7	11,24	6,64	9,49	7,96	7,18	9,36
M8	12,00	8,72	12,00	10,99	9,85	12,00
M9	10,86	11,98	9,01	7,25	6,55	10,11
M10	11,24	9,29	3,93	9,15	8,22	9,19
M11	9,35	3,84	1,00	1,84	1,75	3,44
<b>M12</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,72</b>	<b>1,20</b>	<b>2,65</b>	<b>1,00</b>

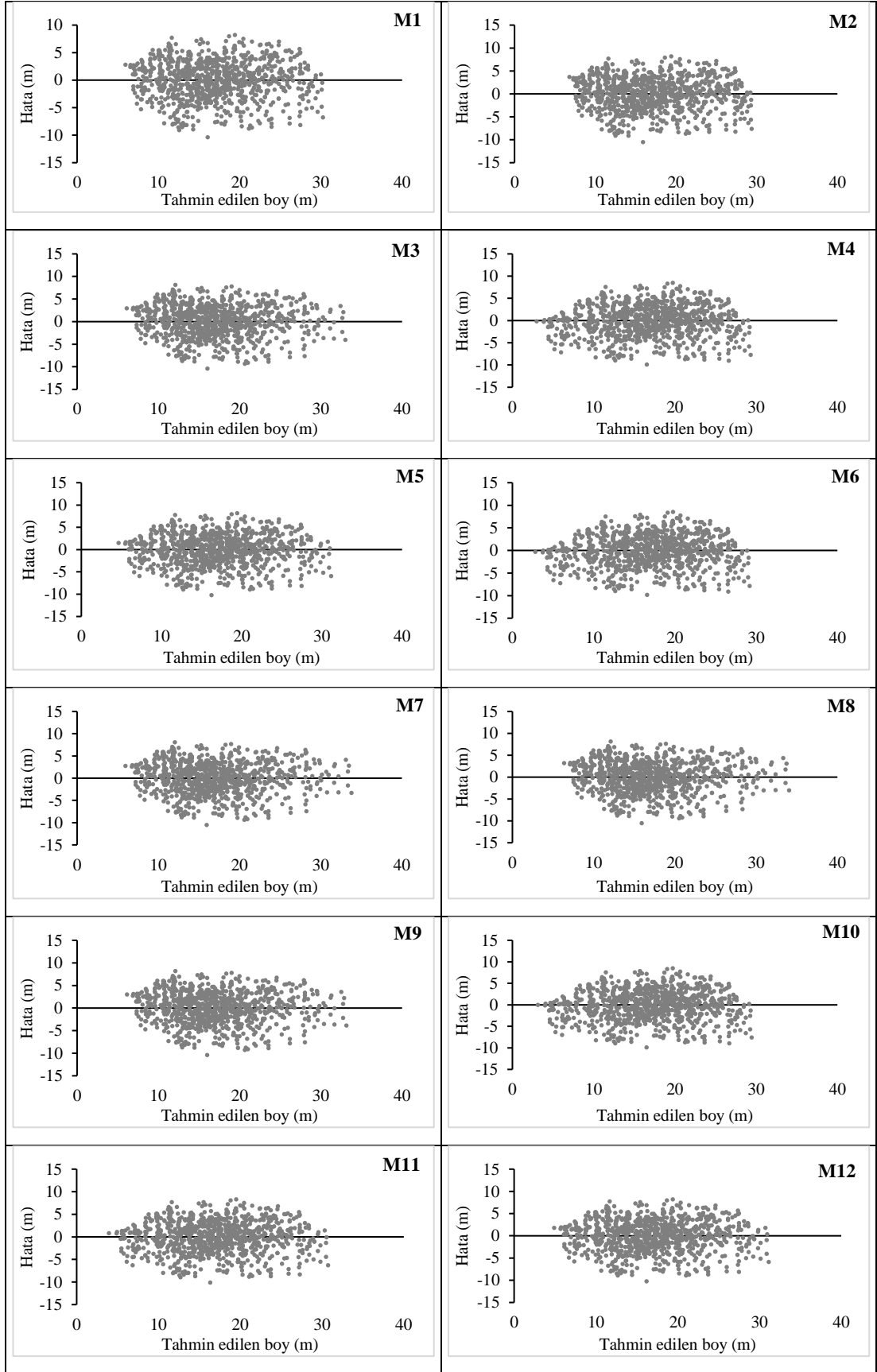
Kalın yazı stili en başarılı modeli ifade etmektedir.

Çizelge 4.4. Sarıçam için d-h modellerine ilişkin nisbi ve genel sıralama değerleri

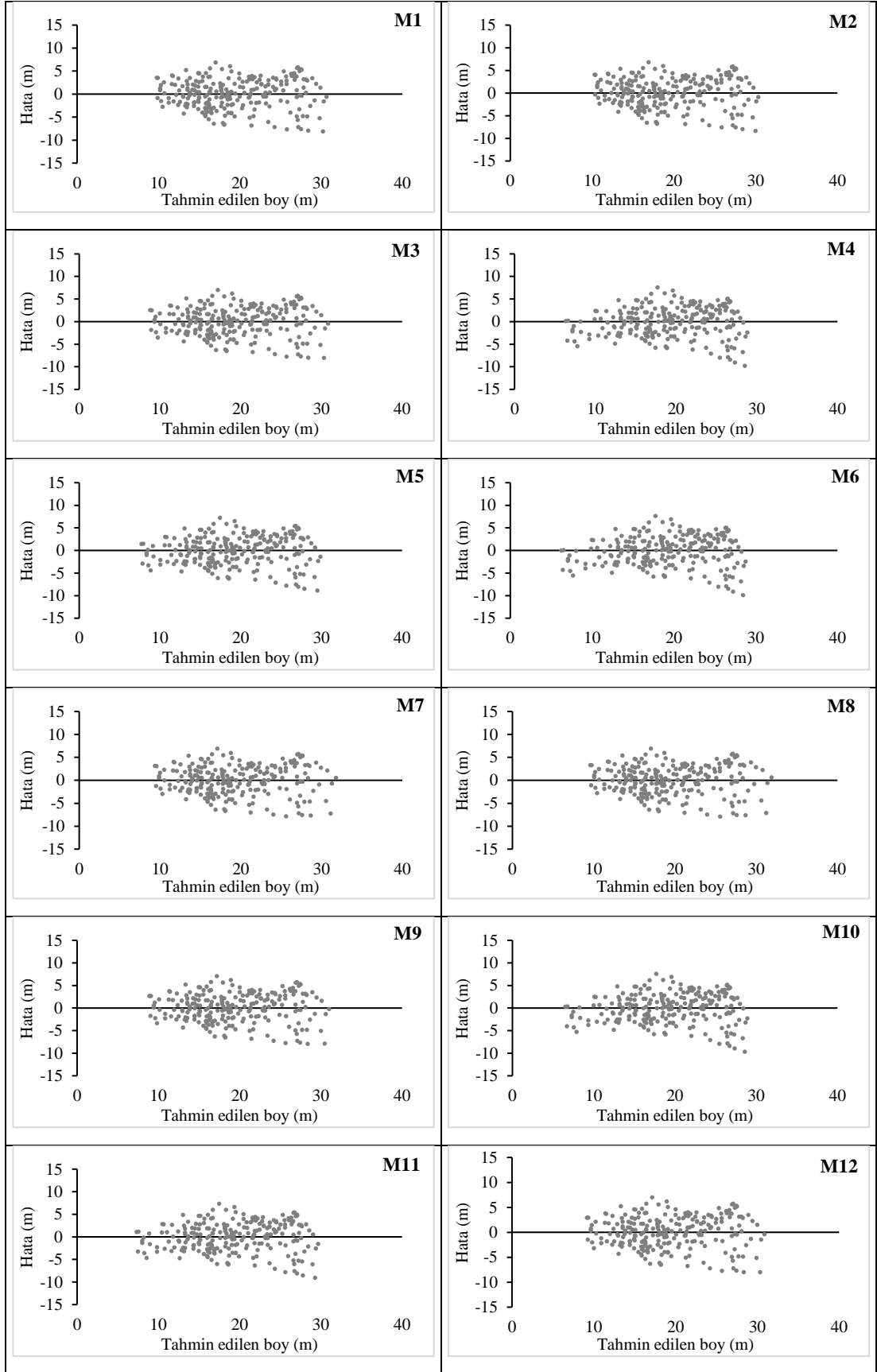
Model	$R_{düz}^2$	OH	OMH	HKOK	AIC	Genel Sıralama
M1	4,24	2,24	5,27	3,63	6,54	4,27
M2	6,82	3,98	8,08	6,11	9,02	6,72
M3	1,65	3,02	2,33	1,53	1,53	1,86
M4	11,35	11,23	11,12	11,09	11,11	11,17
M5	4,24	7,05	4,92	4,01	4,03	4,74
M6	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
M7	1,00	2,38	1,00	1,00	1,00	1,11
M8	1,00	3,23	1,40	1,40	1,40	1,53
<b>M9</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,59</b>	<b>1,12</b>	<b>1,12</b>	<b>1,00</b>
M10	10,06	10,45	10,35	10,21	10,25	10,24
M11	5,53	7,90	6,12	5,26	5,30	6,13
M12	2,29	1,61	2,60	1,70	4,58	2,41

Kalın yazı stili en başarılı modeli ifade etmektedir.

Göknar için geliştirilen tüm modellere ilişkin tahmin ve hata değerleri grafik eksene taşınmıştır (Şekil 4.1.). Başarı istatistiklerine göre en başarılı model olarak belirlenen M12 ile yapılan tahminlere ilişkin hata değerlerinin rastgele bir dağılım gösterdiği ve herhangi bir eğilime sahip olmadığı görülmektedir. Bunun yanında, Sarıçam için geliştirilen tüm modellere ilişkin tahmin ve hata değerleri ise Şekil 4.2' te verilmiştir. Başarı istatistiklerine göre Sarıçam için en başarılı sonuçları veren M9 ile yapılan tahminlerde görülmektedir ki hata değerleri rastgele bir dağılım göstermektedir ve herhangi bir trende sahip değildir.



Şekil 4.1. Göknar için geliştirilen d-h modellerinin hata grafikleri



Şekil 4.2. Sarıçam için geliştirilen d-h modellerinin hata grafikleri

Çalışma kapsamında geliştirilen modellerin çalışma alanı için uygunlukları 30 adet bağımsız örnek alan verisi kullanılarak test edilmiştir. Eşleştirilmiş t-testi sonucunda söz konu meşcerelerde yer alan ağaçların ölçülen ve tahmin edilen boy değerleri 0,05 önem düzeyinde farksız bulunmuştur. Sonuç olarak da bu çalışmada geliştirilen modellerin Tosya Orman İşletme Müdürlüğü içerisinde yer alan değişik yaşlı Gök nar-Sarıçam meşcerelerinde boy tahmini için uygun oldukları belirlenmiştir.

Gök nar için en başarılı olarak belirlenen çap-boy modeli (Ratkowsky, 1990), tahmin edilen parametreleri ile birlikte aşağıda verilmiştir.

$$h = 1,3 + 56,6765 \exp\left(-47,7745/(d_{1,30} + 9,2372)\right)$$

Sarıçam için en başarılı olarak belirlenen çap-boy modeli (Bates ve Watts, 1980), tahmin edilen parametreleri ile birlikte aşağıda verilmiştir.

$$h = 1,3 + 72,6729 d_{1,30}/(96,3355 + d_{1,30})$$

## BÖLÜM 5

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında, Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Tosya Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde yayılış yapan değişik yaşlı Göknar-Sarıçam karışık meşcereleri için çap-boy modelleri geliştirilmiştir. Literatürde sıklıkla kullanılan 12 adet çap-boy modeline ilişkin parametre tahminleri yapılmış ve 5 farklı istatistik ölçütle başarıları karşılaştırılmıştır. Gerçekleştirilen nisbi sıralama sonucunda Göknar için Ratkowsky (1990) tarafından önerilen 3 parametrelili çap-boy modeli (M12), Sarıçam için ise Bates ve Watts (1980) tarafından önerilen 2 parametrelili çap-boy modeli (M9) en başarılı modeller olarak belirlenmiştir.

Göknar için belirlenen en başarılı çap-boy modeline ilişkin  $R_{düz}^2$ ,  $OH$ ,  $OMH$ ,  $HKOK$  ve  $AIC$  değerleri sırasıyla 0,736; 0,0018; 2,7197; 3,3874 ve 1234,60 olarak, Sarıçam için belirlenen en başarılı çap-boy modeline ilişkin  $R_{düz}^2$ ,  $OH$ ,  $OMH$ ,  $HKOK$  ve  $AIC$  değerleri ise sırasıyla 0,738; -0,0016; 2,5989; 3,1744 ve 276,61 olarak hesaplanmıştır. Geliştirilen çap-boy modellerine ilişkin tahmin ve hata değerleri grafik ekseninde incelendiğinde ise her iki tür için de hataların rastgele bir dağılım gösterdiği ve herhangi bir yanlı tahmin olmadığı görülmüştür. Başarılı bulunan modellerin çalışma alanı için uygunlukları tesadüfi olarak ayrılan 30 adet örnek alan verisi ile denetlenmiştir. Bağımsız veri setinde yer alan ağaçların ölçülen boy değerleri ile başarılı modeller ile elde edilen tahmini boy değerleri 0,05 önem düzeyinde farksız çıkmışlardır ve geliştirilen modellerin çalışma alanı için uygun oldukları sonucuna varılmıştır. İstatistiksel başarı ölçütlerinde görüldüğü üzere geliştirilen çap-boy modelleri ile h tahminlerinde OH değerleri oldukça düşük hesaplanmıştır. Bir diğer ifade ile birçok ağaçta yapılacak olan boy tahminleri sonucunda toplam ortalama boy hatası oldukça düşük olacaktır. Ancak, OMH değerlerinin kısmen daha yüksek olduğu göz önünde bulundurulmalı ve özellikle münferit hataların daha yüksek olabileceği bilinmelidir.

Çalışma kapsamında geliştirilen çap-boy modelleri Tosya Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde yayılış yapan değişik yaşlı Göknar-Sarıçam meşcerelerinde boy tahmini için güvenilir bir şekilde kullanılabilir. Bu modeller ile uygulamacılar için envanter aşamasında ekstra boy ölçümleri gerekmeyecek ve gerek iş gücü gerekse maddi anlamda kazanç sağlanabilecektir. Bu modeller yardımıyla çift girişli ağaç hacim denklemlerinin/tablolara kullanımı için gerekli olan boy değerleri kolaylıkla tahmin edilebilir ve gerçeğe yakın hacim değerleri elde edilebilir. Bununla birlikte, boy tahminleri yapılarak dikey ekseninde bilgi sahibi olunarak meşcere dinamikleri daha kolay çözümlenebilecektir. Bu çalışmada geliştirilen modeller yalnızca çalışma alanı olan Tosya Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisindeki değişik yaşlı Göknar-Sarıçam ormanlarında kullanılmak için uygundur. Farklı yörelerde veya meşcere yapılarında kullanılması yüksek tahmin hatalarına yol açabilecektir.

Orman envanterinin en önemli bileşenlerinden olan  $d_{1,30}$  ve  $h$  ölçümleri oldukça önemlidir. Özellikle  $h$  ölçümü  $d_{1,30}$  ölçümüne nazaran daha zaman alıcı ve iş gücü gerektiren bir faaliyettir. Bunun yanında,  $h$  ölçümü sırasında yapılabilecek ölçüm hataları da  $d_{1,30}$ 'a kıyasla daha yüksektir. Ülkemiz gibi oldukça zorlu topoğrafyalarda yer alan ormanlık alanlarda  $h$  ölçümü sırasında oluşabilecek ölçüm hatalarının riski de artmaktadır. Ayrıca, sık meşcerelerde boyu ölçülmek istenen ağacın tepesini net bir şekilde görebilmek de zorlaşmaktadır ve bu durum beraberinde ekstra zorluklar getirmektedir. Tüm bu zorluklara çözüm olarak ve envanter maliyetlerinin azaltılmasını sağlayacak en önemli unsur ise uygun çap-boy modelleri ile ağaç boylarının tahmin edilmesi olacaktır.

Çap-boy modellerinin tahmin başarılarını etkileyen faktörler modelleme yaklaşımı, tercih edilen model yapıları, model geliştirmek için kullanılan veri sayısı ve kalitesi, çalışmaya konu meşcerelerin yetişme ortamı faktörleri bakımından homojen veya heterojen olma durumları vb. sıralanabilir. Ağaçlarda çap-boy ilişkilerini modellemek için literatürde birçok model mevcuttur. Burada önemli olan unsur veri yapımıza en uygun olan modelleri seçerek başarılarını denetlemek olacaktır. Bununla birlikte, modellemede kullanılan çap-boy verisinin çalışma alanı içerisindeki yetişme ortamı çeşitliliğini yansıtacak meşcerelerden ve yeter miktarda alınmış olması önem taşımaktadır. Aynı zamanda, örnek olarak seçilen ağaçların çalışma alanı içerisinde



yer alan farklı çap ve boy basamaklarını da temsil etmesi tahmin başarısını arttıracak bir diğer unsurdur. Çalışma alanı yetişme ortamı koşulları ve meşcere özellikleri bakımından homojen özelliklere sahipse çap-boy ilişkisini tek bir eğri ile temsil eden basit çap-boy modellerini tercih etmek yeterli olabilecektir. Böylece, boy tahmini için uygulamacıların yalnızca çap ölçümü yapmaları zaman ve maliyet açısından faydalarına olacaktır. Ancak, özellikle çalışma alanındaki konu meşcerelerin yetişme ortamı verim gücü bakımından heterojen bir yapı göstermeleri veya hassas boy tahminlerine ihtiyaç duyulan bilimsel çalışmalarda boy tahmininde tatmin edici sonuçlar elde edilebilmesi için çap ile birlikte bazı meşcere özelliklerinin de modele tahmin değişkeni olarak dâhil olması (genelleştirilmiş çap-boy modelleri) zorunluluğu oluşmaktadır.

## KAYNAKLAR

Amateis, R. L., Burkhart, H. E. and Zhang, S., “TRULOB: Tree Register Updating for Loblolly Pine (an individual tree growth and yield model for managed loblolly pine plantations)”, *Coop. Rep. 83, Blacksburg*, VA: Virginia Polytechnic Institute and State University, Department of Forestry, Loblolly Pine Growth and Yield Cooperative (1995).

Bates, D. M., and Watts, D. G., “Relative curvature measures of nonlinearity”, *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 42 (1): 1-25 (1980).

Bhandari, S. K., Veneklaas, E. J., McCaw, L., Mazanec, R., Whitford, K., and Renton, M., “Effect of thinning and fertilizer on growth and allometry of *Eucalyptus marginata*”, *Forest Ecology and Management*, 479: 118594 (2021).

Bolat, F., Ülker, O., and Günlü, A., “Nonlinear height-diameter models for Hungarian oak (*Quercus frainetto* Ten.) in Dumanlı Forest Planning Unit, Çanakkale/Turkey”, *Austrian Journal of Forest Science*, 139(3): 199–220 (2022).

Burkhart, H. E., and Strub, M. R., “A model for simulation of planted loblolly pine stands”, *Growth models for tree and stand simulation*, Royal College of Forestry, Stockholm, Sweden. 128–135 (1974).

Calama, R., and Montero, G., “Interregional nonlinear height diameter model with random coefficients for stone pine in Spain”, *Canadian Journal of Forest Research*, 34(1): 150–163 (2004).

Carus, S., ve Akguş, Y., “Tarsus yöresi fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.) meşcereleri için çap-boy modellerinin geliştirilmesi”, *Türkiye Ormanlık Dergisi*, 19(1): 1–8 (2018).

Carus, S., ve Çatal, Y., “Ağlasun yöresi kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ağaçlandırmaları için bazı çap-boy modellerinin karşılaştırılması”, *Türkiye Ormanlık Dergisi*, 18(2): 94–101 (2017).

Clutter, J. L., Fortson, J. C., Pienaar, L. V., Brister, G. H., and Bailey, R. L., “Timber management: a quantitative approach”, *John Wiley*, New York, 333 (1983).

Curtis, R. O., “Height-diameter and height-diameter-age equations for second-growth Douglas-fir”, *Forest Science*, 13(4): 365–375 (1967).

Çatal, Y., “Göller Yöresinde yalancı akasya, Anadolu karaçamı ve Toros sediri ağaç türleri için çap-boy modeli”, *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 13: 92–96 (2012).

Çatal, Y., and Carus, S., “A height-diameter model for brutian pine (*Pinus brutia* Ten.) plantations in southwestern Turkey”, *Applied Ecology and Environmental Research*, 16(2): 1445–1459 (2018).

Çepel, N., “Ekosistem kavramı ve ekosistem amenajmanı”, *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, 34 (2): 23-32 (1984).

Eraslan, İ., ve Şad, H. C., “Orman amenajmanı”, *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Basımevi*, İstanbul (1993).

Ercanlı, İ., “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(2): 185-202 (2015).

Ercanlı, İ., “Artificial intelligence with deep learning algorithms to model relationships between total tree height and diameter at breast height”, *Forest Systems*, 29 (2): e013 (2020).

Ercanlı, İ., ve Eyüboğlu, D., “Ağaçların çap-boy modellenmesine ilişkin otokorelasyon probleminin giderilmesinde karışık etkili doğrusal olmayan regresyon modelleri ile otoregresif regresyon modellerinin etkinliğinin karşılaştırılması”, *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 5 (1): 17-27 (2019).

Gompertz, B., “On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies”, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 115: 513–585 (1825).

Kalıpsız, A., “Dendrometri”, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları*, No:3793/426, İstanbul, 407 (1984).

Loetsch, F., Haller, K. E., and Zöhrer, F., “Forest Inventory”, Vol II., *BLV Verlagsgesellschaft*, 469 (1973).

Meyer, H. A., “A mathematical expression for height curves”, *Journal of Forestry*, 38 (5): 415–420 (1940).

Mısıır, N., “Generalized height-diameter models for *Populus tremula* L. stands”, *African Journal of Biotechnology*, 9(28): 4348–4355 (2010).

Mısıır, N., ve Yavuz, H., “Ülkemizdeki hasılat tablolarının bilimsel ve uygulama açısından irdelenmesi”, *Ormancılıkta Sektörel Planlamanın 50. Yılı Uluslararası Sempozyumu*, Antalya, 637-645 (2013).

Monsured, R., “Methodology for simulating Wisconsin northern hardwood stand dynamics”, Ph.D. Dissertation, *University of Wisconsin*, Madison, 156 (1975).

Özçelik, R., ve Çapar, C., “Antalya yöresi doğal kızılçam meşcereleri için genelleştirilmiş çap-boy modellerinin geliştirilmesi”, *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 15: 44–52 (2014).

Özçelik, R., Yavuz, H., Karatepe, Y., Gürlevik, N., and Kiriş, R., “Development of ecoregion-based height-diameter models for 3 economically important tree species of southern Turkey”, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38(3): 399–412 (2014).

- Parresol, B. R., “Baldcypress height-diameter equations and their prediction confidence interval”, *Canadian Journal of Forest Research*, 22: 1429-1434 (1992).
- Pearl, R., and Reed, L. J., “On the rate of growth of the population of the United States since 1790 and its mathematical representation”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 6 (6): 275–288 (1920).
- Pienaar, L. V., “PMRC yield prediction system for slash pine plantations in the Atlantic Coast Flatwoods”, *PRMC Technical Report, Athens*, (1991).
- Poudel, K. P., and Cao, Q. V., “Evaluation of methods to predict Weibull parameters for characterizing diameter distributions”, *Forest Science*, 59 (2): 243–252 (2013).
- Ratkowsky, D. A., “Handbook of Nonlinear Regression”, *Marcel Dekker, Inc.*, New York, (1990).
- Richards, F. J., “A flexible growth function for empirical use”, *Journal of Experimental Botany*, 10 (2): 290–301 (1959).
- Schnute, J., “A versatile growth model with statistically stable parameters”, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38: 1128-1140 (1981).
- Schreuder, H. T., Hafley, W. L., and Bennett, F. A., “Yield prediction for unthinned natural slash pine stands”, *Forest Science*, 25 (1): 25–30 (1979).
- Seki, M., “Height–diameter allometry of two commercial pine species located in low productive forest stands of northwestern Türkiye”, *Austrian Journal of Forest Science*, 139 (4): 265-288 (2022).
- Seki, M., and Sakici, O. E., “Ecoregional variation of Crimean pine (*Pinus nigra* subspecies *pallasiana* [Lamb.] Holmboe) stand growth”, *Forest Science*, 68 (5-6): 452-463 (2022a).
- Seki, M., and Sakici, O. E., “Ecoregion-based height-diameter models for Crimean pine”, *Journal of Forest Research*, 27 (1): 36-44 (2022b).
- Sharma, M., and Parton, J., “Height-diameter equations for boreal tree species in Ontario using a mixed-effects modeling approach”, *Forest Ecology and Management*, 249: 187-198 (2007).
- Sloboda, V. B., Gaffrey, D., and Matsumura, N., “Regionale und locale systeme von Höhenkurven für gleichaltrige Waldbestände”, *Allgemeine Forst-und Jagdzeitung*, 164: 225-228 (1993).
- Sönmez, T., “Generalized height-diameter models for *Picea orientalis* L.”, *Journal of Environmental Biology*, 30 (5): 767–772 (2009).
- Stage, A. R., “Prediction of height increment for models of forest growth”, *USDA For. Serv. Res. Pap. INT-164*, (1975).

Stankova, T. V., Diéguez-Aranda, U., “Height-diameter relationships for Scots pine plantations in Bulgaria: optimal combination of model type and application”, *Annals of Forest Science*, 56 (1): 149–163 (2013).

van Laar, A., and Akça, A., “Forest Mensuration”, Springer, Goettingen, Germany, (2007).

Wykoff, W. R., Crookston, N. L., and Stage, A. R., “User’s guide to the stand prognosis model”, *US Forest Service General Technical Report INT 133. US Department of Agriculture, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, UT. USA.* (1982).

## ÖZGEÇMİŞ

Cihan ŞEN; İlk ve orta öğrenimini Kastamonu'da Bozkurt İlköğretim okulunda tamamlayarak, liseyi Kastamonu Anadolu Teknik lisesi 'nden mezun olarak bitirdi. Lisans eğitimini Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Mühendisliği alanında tamamladı ve 2017 yılında mezun oldu. 2020 yılında Orman Genel Müdürlüğü, Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü, Tosya Orman İşletme Müdürlüğünde mühendis (işletme şefi) olarak göreve başladı ve 2020 yılından beri görevine devam etmektedir.