



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÇATALCA BİNKILIÇ SAF KAYIN, KAYIN ve MEŞE KARIŞIK
MEŞCERELERİNDE BOY TAHMİN MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

Cerennur KARAKAYA

**DANIŞMAN
Doç. Dr. Emrah ÖZDEMİR**

**II. DANIŞMAN
Doç. Dr. Batin Latif AYLAK**

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Orman Mühendisliği, Tezli Yüksek Lisans Programı

Şubat, 2025

TEZ KABUL VE ONAYI

Cerennur KARAKAYA tarafından, **Doç. Dr. Emrah ÖZDEMİR** danışmanlığında hazırlanan " **ÇATALCA BİNKILIÇ SAF KAYIN, KAYIN ve MEŞE KARIŞIK MEŞCERELERİNDE BOY TAHMİN MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ** " başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **19/02/2025** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi		
	İmza	Sonuç
DANIŞMAN	Doç. Dr. Emrah ÖZDEMİR	
	İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa Üniversitesi Orman Hasılatı ve Biyometri Anabilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Ender MAKİNECİ	
	İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa Üniversitesi Toprak İlmi ve Ekoloji Anabilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Doç. Dr. Muammer ŞENYURT	
	Çankırı Karatekin Üniversitesi Oran Hasılatı ve Biyometri Anabilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret



Sevgili Aileme, Değerli Çalışma Arkadaşlarım ve Binkılıç Ormanlarına ithaf ediyorum...

BÜTÇE DESTEKLERİ

ÇATALCA BİNKILIÇ SAF KAYIN, KAYIN ve MEŞE KARIŞIK MEŞCERELERİNDE BOY TAHMİN MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.

TEŞEKKÜR

“Çatalca Binkılıç Saf Kayın, Kayın ve Meşe Karışık Meşcerelerinde Boy Tahmin Modellerinin Geliştirilmesi” başlıklı bu çalışma, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Mühendisliği, Tezli Yüksek Lisans Programında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek lisans tez konusunun belirlenmesinden çalışmalarının tamamlanmasına kadar danışmanlık görevini yerine getiren ve çalışmalarımızı yönlendiren, arazi çalışmalarında yardımını esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Emrah ÖZDEMİR’e şükranlarımı sunarım. Ayrıca bu tezin her aşamasında bana yardımcı olan çalışma arkadaşlarıma da teşekkür ederim.

Hayatta her anımda yanımda olan babam Murat KARAKAYA, annem Munise KARAKAYA, ağabeyim ve kardeşime son olarak da Binkılıç Orman İşletme Şefliği ekibime çok teşekkür ederim.

Şubat 2025

Cerennur KARAKAYA

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI.....	ii
BÜTÇE DESTEKLERİ	iv
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ.....	x
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	xiii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE	4
2.1. DOĞU KAYINI HAKKINDA GENEL BİLGİLER.....	4
2.1.1. Yetiştirme Ortamı Özellikleri	6
2.1.2. Türkiye’de Doğal Yayılım Alanı.....	6
2.2. SAPSIZ MEŞE HAKKINDA GENEL BİLGİLER.....	7
2.2.1. Yetiştirme Ortamı Özellikleri	9
2.2.2. Türkiye’de Doğal Yayılım Alanı.....	9
2.3. ÇAP-BOY MODELLERİ.....	10
3. MATERYAL VE YÖNTEM	15
3.1. ÇALIŞMA ALANI.....	16
3.2. ÖRNEK ALANLARIN SEÇİMİ.....	18
3.3. ÖRNEK ALANLARIN ÖLÇÜLMESİ	18
3.4. ÇAP-BOY MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ.....	19
3.4.1. Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi (DORA).....	20
3.4.2. Destek Vektör Makine Öğrenmesi (DVM).....	21
3.5. MODELLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ	21
4. BULGULAR	22
4.1. SAF KAYIN MEŞCERELERİNE İLİŞKİN ÇAP-BOY MODELLERİ	24

4.1.1. Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi (DORA).....	24
4.1.2. Destek Vektör Makine Öğrenmesi (DVM).....	28
4.2. KAYIN+MEŞE KARIŞIK MEŞCERELERİNE İLİŞKİN ÇAP-BOY MODELLERİ.....	31
4.2.1. Karışık Meşcere Genel Çap-Boy Modeli.....	31
4.2.2. Karışık Meşcerelerde Kayın Ağaç Türü İçin Çap-Boy Modelleri.....	39
4.2.3. Karışık Meşcerelerde Meşe Ağaç Türü İçin Çap-Boy Modelleri.....	46
5. TARTIŞMA.....	53
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	57
KAYNAKLAR.....	59
EKLER.....	67
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI	70
KURUM İZNİ YAZILARI.....	72

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Doğu kayınının doğal görünümü (OGM,2024).	5
Şekil 2.2: Doğu kayınının sürgünü (Yıldırım, 2018).	5
Şekil 2.3: Doğu kayınının Türkiye’deki doğal yayılış alanları (Davis 1982).	7
Şekil 2.4: Sapsız meşenin genel görünüşü (Yıldırım, 2018).	8
Şekil 2.5: Sapsız meşenin Yaprığı ve meyvesi (Yıldırım, 2018).	8
Şekil 2.6: Sapsız meşenin doğal yayılış alanları (Şahin, 2016).	9
Şekil 3.1: Çalışma alanına ait lokasyon haritası.	16
Şekil 3.2: Çalışma alanına ait arazi kullanım haritası (Garipağaoğlu ve Duman,2016).	17
Şekil 4.1: Gözlemlenen değerler ile modelden elde edilen değerlerin göğüs çapına göre gelişimi (DORA -Saf kayın).	26
Şekil 4.2: Hataların tahmin edilen değerlere göre dağılımı (DORA -Saf kayın).	27
Şekil 4.3: Gözlemlenen değerler ile tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması (DORA -Saf kayın).	27
Şekil 4.4: Gözlemlenen değerler ile modelden elde edilen değerlerin göğüs çapına göre gelişimi (Saf kayın- DVM).	29
Şekil 4.5: Hataların tahmin edilen değerlere göre dağılımı (Saf kayın- DVM).	30
Şekil 4.6: Gözlemlenen değerler ile tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması (Saf kayın- DVM).	30
Şekil 4.7: Gözlemlenen değerler ile modelden elde edilen değerlerin göğüs çapına göre gelişimi (DORA -Karışık meşcere-Genel).	34
Şekil 4.8: Hataların tahmin edilen değerlere göre dağılımı (DORA -Karışık meşcere-Genel).	34
Şekil 4.9: Gözlemlenen değerler ile tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması (DORA - Karışık meşcere-Genel).	35
Şekil 4.10: Gözlemlenen değerler ile modelden elde edilen değerlerin göğüs çapına göre gelişimi (Karışık Meşcere Genel- DVM).	37

Şekil 4.11: Hataların tahmin edilen değerlere göre dağılımı (Karışık Meşcere Genel- DVM).	38
Şekil 4.12: Gözlemlenen değerler ile tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması (Karışık Meşcere-Genel- DVM).	38
Şekil 4.13: Gözlemlenen değerler ile modelden elde edilen değerlerin göğüs çapına göre gelişimi (DORA -Karışık meşcere-Kayın).	41
Şekil 4.14: Hataların tahmin edilen değerlere göre dağılımı (DORA -Karışık Meşcere-Kayın).	42
Şekil 4.15: Gözlemlenen değerler ile tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması (DORA - Karışık meşcere-Kayın).	42
Şekil 4.16: Gözlemlenen değerler ile modelden elde edilen değerlerin göğüs çapına göre gelişimi (Karışık Meşcere Kayın- DVM).	44
Şekil 4.17: Hataların tahmin edilen değerlere göre dağılımı (Karışık Meşcere Kayın- DVM).	45
Şekil 4.18: Gözlemlenen değerler ile tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması (Karışık Meşcere Kayın- DVM).	45
Şekil 4.19: Gözlemlenen değerler ile modelden elde edilen değerlerin göğüs çapına göre gelişimi (DORA -Karışık meşcere-Meşe).	48
Şekil 4.20: Hataların tahmin edilen değerlere göre dağılımı (DORA -Karışık meşcere-Meşe).	49
Şekil 4.21: Gözlemlenen değerler ile tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması (DORA - Karışık meşcere-Meşe).	49
Şekil 4.22: Gözlemlenen değerler ile modelden elde edilen değerlerin göğüs çapına göre gelişimi (Karışık Meşcere Meşe- DVM).	51
Şekil 4.23: Hataların tahmin edilen değerlere göre dağılımı (Karışık Meşcere Meşe- DVM).	52
Şekil 4.24: Gözlemlenen değerler ile tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması (Karışık Meşcere Meşe- DVM).	52

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1: Aday çap-boy modelleri.....	19
Tablo 4.1: Saf Kayın Meşcereleri İçin Tanımlayıcı İstatistikler.	22
Tablo 4.2: Kayın+Meşe Karışık Meşcereleri İçin Tanımlayıcı İstatistikler.....	23
Tablo 4.3: Doğrusal olmayan regresyon analizi (DORA) ile tahmin edilen katsayılar ve uyum istatistikleri (Saf kayın-Model Veri Seti).	24
Tablo 4.4: Saf kayın meşcerelerinde model veri seti için çap-boy modeli seçiminde kullanılan rölatif sıralama değerleri.....	24
Tablo 4.5: Saf kayın meşcerelerine ilişkin çap-boy modellerinin test veri seti üzerindeki uyum istatistikleri	25
Tablo 4.6: Saf kayın meşcerelerinde test veri seti için çap-boy modeli seçiminde kullanılan rölatif sıralama değerleri.....	26
Tablo 4.7: DVM algoritmasında test verisi üzerinden farklı hiperparametre değerlerine göre uyum istatistikleri (Saf kayın)	28
Tablo 4.8: Destek vektör makine öğrenmesi algoritmasının uyum istatistikleri (Saf kayın) ..	29
Tablo 4.9: Doğrusal olmayan regresyon analizi (DORA) ile tahmin edilen katsayılar ve uyum istatistikleri (Karışık Meşcere Genel -Model Veri Seti).....	31
Tablo 4.10: Kayın +Meşe karışık meşcerelerinde genel bazda model veri seti için çap-boy modeli seçiminde kullanılan rölatif sıralama değerleri.	32
Tablo 4.11: Kayın +Meşe karışık meşcerelerinde genel bazda çap-boy modellerinin test veri seti üzerindeki uyum istatistikleri.....	32
Tablo 4.12: Kayın +Meşe karışık meşcerelerinde test veri seti için genel bazda çap-boy modeli seçiminde kullanılan rölatif sıralama değerleri.	33
Tablo 4.13. DVM algoritmasında test verisi üzerinden farklı hiperparametre değerlerine göre uyum istatistikleri (Karışık Meşcere-Genel)	36
Tablo 4.14: Destek vektör makine öğrenmesi algoritmasının uyum istatistikleri (Karışık Meşcere-Genel).	36

Tablo 4.15: Doğrusal olmayan regresyon analizi (DORA) ile tahmin edilen katsayılar ve uyum istatistikleri (Karışık meşcere Kayın -Model Veri Seti).....	39
Tablo 4.16: Kayın +Meşe karışık meşcerelerinde kayın ağaç türünde model veri seti için çap-boy modeli seçiminde kullanılan rölatif sıralama değerleri.	39
Tablo 4.17: Kayın +Meşe karışık meşcerelerinde kayın ağaç türü için çap-boy modellerinin test veri seti üzerindeki uyum istatistikleri.	40
Tablo 4.18: Kayın +Meşe karışık meşcerelerinde kayın ağaç türü için test verisi üzerinden çap-boy modeli seçiminde kullanılan rölatif sıralama değerleri.	40
Tablo 4.19: DVM algoritmasında test verisi üzerinden farklı hiperparametre değerlerine göre uyum istatistikleri (Karışık Meşcere-Kayın)	43
Tablo 4.20: Destek vektör makine öğrenmesi algoritmasının uyum istatistikleri (Karışık Meşcere-Kayın).	43
Tablo 4.21: Doğrusal olmayan regresyon analizi (DORA) ile tahmin edilen katsayılar ve uyum istatistikleri (Karışık meşcere Meşe -Model Veri Seti).....	46
Tablo 4.22: Kayın +Meşe karışık meşcerelerinde meşe ağaç türünde model veri seti için çap-boy modeli seçiminde kullanılan rölatif sıralama değerleri.	46
Tablo 4.23: Kayın +Meşe karışık meşcerelerinde meşe ağaç türü için çap-boy modellerinin test veri seti üzerindeki uyum istatistikleri.	47
Tablo 4.24: Kayın +Meşe karışık meşcerelerinde meşe ağaç türü için test verisi üzerinden çap-boy modeli seçiminde kullanılan rölatif sıralama değerleri.	47
Tablo 4.25: DVM algoritmasında test verisi üzerinden farklı hiperparametre değerlerine göre uyum istatistikleri (Karışık Meşcere-Meşe)	50
Tablo 4.26: Destek vektör makine öğrenmesi algoritmasının uyum istatistikleri (Karışık Meşcere-Meşe).	51

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
d	: Göğüs çapı
h	: Ağaç boyu
n	: Örnek alan ağaç sayısı
N	: Meşcere ağaç sayısı
G	: Meşcere göğüs yüzeyi
d_g	: Meşcere orta çapı
$h_{üst}$	: Meşcere üst boyu
h_{ort}	: Meşcere orta boyu
R^2	: Belirtme katsayısı
S_e	: Standart hata
$SD:$	: Meşcere sıklık derecesi
h_i	: Gözlemlenen boy değeri
$\hat{h}_i$	: Tahmin edilen boy değeri
$\bar{h}$	: Gözlemlenen boy değerlerinin ortalaması

Kısaltmalar	Açıklama
ÖAB	: Örnek alan büyüklüğü
HÇK	: Hektara çevirme katsayısı
OH	: Ortalama hata
OMH	: Ortalama mutlak hata
OMH	: Ortalama mutlak hata yüzdesi
DORA	: Doğrusal olmayan regresyon analizi
DVM	: Destek vektör makine öğrenmesi
Ort	: Ortalama
Std	: Standart sapma

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇATALCA BİNKILIÇ SAF KAYIN, KAYIN VE MEŞE KARIŞIK MEŞCERELERİNDE BOY TAHMİN MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Cerennur KARAKAYA

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Orman Mühendisliği, Tezli Yüksek Lisans Programı

Danışman : Doç. Dr. Emrah ÖZDEMİR

II. Danışman : Doç. Dr. Batin Latif AYLAK

Bu çalışmada Çatalca Binkılıç yöresi saf kayın, kayın+meşe karışık meşcerelerinde ise genel bazda, kayın ve meşe ağaç türleri için çap- boy modelleri geliştirilmiştir. Çap- boy modellerinin geliştirilmesinde kullanılan veriler değişik yetiştirme ortamı koşullarında yayılış gösteren farklı gelişim çağlarına ve kapalılık derecelerine sahip saf kayın ve kayın+meşe karışık meşcerelerinden alınan örnek alanlardan sağlanmıştır. Saf kayın meşcerelerinden 38 adet örnek alan alınmış ve toplam 1861 adet kayın ağacı örneklenmiştir. Kayın+meşe karışık meşcerelerden ise 62 adet örnek alan alınmış, 2441 kayın, 1515 meşe olmak üzere toplam 3956 adet ağaç örneklenmiştir. Sadece göğ.üs çapının açıklayıcı değişken olduğu çap-boy modelleri doğrusal olmayan regresyon analizi (DORA) ve destek vektör makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak oluşturulmuştur. Doğrusal olmayan regresyon analizi (DORA) ile değişik çalışmalarda başarılı ile kullanılmış 10 adet çap-boy modeli dengelenmiş ve bunların arasından uyum istatistikleri bakımından tahmin performansı yüksek olan model en iyi model olarak seçilmiştir. Saf kayın, karışık meşcerede genel, kayın ve meşe ağaç türlerinde seçilen çap-boy modelleri boydaki varyasyonu %69,7-%82,7 arasında açıklarken, %5 ile %9 arasında değişen hata oranlarında tahminde bulunmuşlardır. Destek vektör makine öğrenmesi ile elde edilen boy tahmin modelleri saf kayın meşcerelerinde %6 hata oranı ile tahminde bulunurken, karışık meşcerelerde genel bazda, kayın ve meşe ağaç türleri için sırasıyla %14, %12, %16 oranında hata oranları ile tahminde bulunmuşlardır. Saf kayın meşcereleri için her iki yöntemle geliştirilen çap-boy modelleri diğerlerine nazaran daha yüksek bir tahmin performansı sergilemişlerdir.

Şubat 2025 , [90] sayfa.

Anahtar kelimeler: | Göğüs Çapı, Çap-Boy Modeli, Makine Öğrenmesi, Kayın, Meşe |



ABSTRACT

M.Sc. THESIS

**DEVELOPMENT OF HEIGHT ESTIMATION MODELS FOR PURE BEECH,
BEECH AND OAK MIXED STANDS OF ÇATALCA BİNKİLİÇ**

Cerennur KARAKAYA

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Forest Engineering

Programme of Forest Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Emrah ÖZDEMİR

Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Batin Latif AYLAK

In this study, height-diameter models were developed separately for pure beech stand and beech oak tree species and on a general basis in mixed beech-oak stands in the Çatalca Binkılıç region. The data used for developing the height-diameter models were obtained from sample plots located in pure beech and mixed beech-oak stands, representing various developmental stages and canopy closure levels across different sites. A total of 38 sample plots were taken from pure beech stands, with 1861 beech trees sampled. Additionally, 62 sample plots were taken from mixed beech-oak stands, where a total of 3956 trees were sampled, including 2441 beech and 1515 oak trees. Height-diameter models, using DBH as the sole explanatory variable, were fitted through nonlinear regression analysis (ONLS) and support vector machine learning techniques. Ten height-diameter models, previously proven effective in various studies, were fitted using nonlinear regression analysis (ONLS). Among these, the model with the highest predictive performance based on goodness-of-fit statistics was selected as the best-performing model. The height-diameter models developed for pure beech stands, as well as for general, beech, and oak tree species in mixed stands, explained 69.7% to 82.7% of the variation in height, with prediction error rates ranging from 5% to 9%. The height estimation models developed using support vector machine learning achieved a prediction error rate of 6% in pure beech stands. In mixed stands, the models predicted with error rates of 14% on a general basis, 12% for beech, and 16% for oak tree species, respectively. For pure beech stands, the height-diameter models developed using both methods demonstrated superior prediction performance compared to the other models.

February 2025, [90] pages.

Keywords: [Diameter at Breast Height, Diameter-Height Model, Machine Learning, Fagus, Quercus]



1. GİRİŞ

Ormanlar kendine özgü bir ekosistem içerisinde varlığını sürdüren yenilenebilen doğal kaynaklardır. Bundan dolayı sosyal ve kültürel açıdan optimum olarak yarar sağlayabilecek şekilde planlı ve düzenli bir şekilde işletilmeleri gerekmektedir. Bu sebeple ormanların çok iyi tanınması, her türlü iç ve dış ilişkilerine ait özellik ve önlemlerin kavranması gerekmektedir (Saraçoğlu,1988). Sonuç olarak, ormanların tam kapasiteli bir şekilde işletilebilmesi, işletme faaliyetlerinin planlanması ve karar verme işlemlerinde, ağaç ve meşcerelerin artım ve büyüme potansiyellerinin doğru tahmini, ekonomik ve planlı bir şekilde ormancılık yapabilmenin önemli bir koşuludur (Fırat,1972; Akalp,1983; Kalıpsız,1999).

Artım ve büyüme ilişkilerinin bilinmesi, ekonomik bir birim olan orman işletmeleri için ekonomik başarının denetlenmesi ve bu ormanlardan optimum yararlanmanın düzenlenmesinde gereklidir. Bunların yanı sıra, silvikültürel müdahalelerin zaman ve derecesinin belirlenmesinde, ormanlardan beklenen fonksiyonların planlanmasında artım ve büyüme ilişkilerinin bilinmesine ihtiyaç duyulmaktadır (Günel,1981; Yavuz,1992).

Göğüs çapı (d) ve ağaç boyu (h), artım ve büyüme modelleri kapsamında kullanılan en önemli ağaç parametreleri olup, bu modellerin bir meşcere veya planlama ünitesinde kullanılabilmesi için gereklidirler. Çap ve boy değişkenleri meşcere yapılarının kavranmasında, meşcere parametrelerinin (meşcere orta boyu, meşcere üst boyu, meşcere orta çapı, meşcere göğüs yüzeyi, meşcere hacim ve hacim artımı vb.) hesaplanmasında kullanıldıkları için orman envanteri içerisinde yer alan en önemli değişkenlerdir.

Orman envanteri kapsamında tüm ağaçların göğüs çapları ölçülürken farklı çap kademelerini temsil eden belirli sayıda ağacın boyu ölçülür. Bunun nedeni göğüs çaplarının daha az maliyetle hızlı ve kolay bir şekilde belirlenebilmesi, ağaç boyunun ise ölçümünün daha zor karmaşık ve zaman alıcı olmasıdır. Bu nedenle boy ölçümü yapılamayan ağaçların boylarını tahmin etmek için göğüs çapı ile ağaç boyu arasındaki kuvvetli korelasyondan yararlanılarak çap-boy modelleri geliştirilmektedir. Çap-boy modelleri büyüme modellerinin en önemli bileşenlerinden birisi olmasından dolayı ormanların planlanmasında ve işletilmesinde

kullanılan en önemli unsurlardan birisi olarak kabul edilmektedir (Huang 1997; Schmidt ve diğ. 2010; Kalbi ve diğ., 2018).

Çap-boy modelleri temel olarak göğüs çapının fonksiyonu olarak doğrusal ya da doğrusal olmayan formada geliştirilebilir. Her bir ağaç türü için, çap-boy ilişkisi, meşcere sıklığı, yetiştirme ortamı verimliliği, topoğrafik özellikler (eğim, bakı ve yükseklik), rekabet, karışık meşcerelerde ağaç türü kompozisyonu ve yaş gibi birçok farklı faktör ve değişkenden etkilenmektedir. Bu nedenle daha kapsamlı ve doğru tahminler sağlamak amacıyla, her bir meşcerenin dinamiklerini yansıtan genelleştirilmiş çap-boy modelleri, göğüs çapına ek olarak yaş ve meşcere göğüs yüzeyi, meşcere orta çapı, meşcere üst boyu, bonitet endeksi, meşcere sıklığı gibi meşcere parametrelerinin açıklayıcı değişkenler olarak modele eklenmesiyle elde edilmektedir (Sharma, 2009; Özçelik ve diğ. 2013; Temesgen ve diğ. 2014; Long ve diğ. 2020).

Çap-boy modelleri, doğrusal olmayan regresyon analizi, karışık etkili modelleme yaklaşımı ve son zamanlarda başta yapay sinir ağları olmak üzere, destek vektör makine öğrenmesi, rasgele orman, karar ağaçları gibi yaklaşımlar kullanılarak farklı açıklayıcı değişken kombinasyonları denenerek geliştirilmektedir (Şahin ve diğ., 2023).

Sadece göğüs çapının fonksiyonu olarak oluşturulan modeller özellikle yöresel bazda kullanılabilen modellerdir. Genelleştirilmiş çap-boy modelleri ise ait olduğu ağaç türünün yayılış gösterdiği farklı yetiştirme ortamlarında ve meşcere yapılarında güvenle kullanılabilir. Ancak genelleştirilmiş çap-boy modellerinin kullanılabilmesi için modelin öngördüğü meşcere parametrelerinin de ölçülmesi ve hesaplanması gerekmektedir. Sadece göğüs çapına bağlı olan çap-boy modellerinin çok karmaşık işlemlere gerek kalmadan oluşturulabilmesi, basit ve sade olmasından dolayı kullanım kolaylığı sağlamasından dolayı ağaç türlerinin belirli yayılış alanlarında yöresel olarak geliştirilmesinin daha yararlı olacağı düşünülmektedir.

Bu nedenle çalışma kapsamında kayın ve meşe türlerinin hem saf hem de karışık olarak yayılış gösterdiği Çatalca Binkılıç yöresindeki saf kayın, kayın+meşe karışık meşcerelerinde ise genel bazda, kayın ve meşe ağaç türleri için doğrusal olmayan regresyon analizi (DORA) ve destek vektör makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak çap- boy modellerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Çalışma altı bölümden oluşmaktadır.

GİRİŞ bölümünde çalışmanın önemi ve amacı mevcut literatür bilgisi ile açıklanmış.

KAVRAMSAL ÇERÇEVE bölümünde kayın ve meşe ağaç türlerinin yetiştirme ortamı özellikleri ile yayılış alanları ve çap-boy modellerinin özellikleri ve yapısı ile ilgili bilgiler literatür ile ilişkilendirilerek sunulmuştur.

YÖNTEM bölümünde çalışma alanının tanıtımı yapılarak örnek alanların seçimi ve ölçümünde kullanılan yöntemler açıklanmıştır. Çap-boy modellerinin geliştirilmesinde ve modellerin değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler hakkında bilgiler verilmiştir.

BULGULAR bölümünde geliştirilen çap-boy modelleri ile ilgili sonuçlar tablo ve grafikler halinde verilmiştir.

TARTIŞMA bölümünde çalışmadan elde edilen bulgular literatür bilgisi ile karşılaştırılarak tartışılmış ve çalışmanın zayıf ve güçlü yanları da değerlendirilmiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER bölümünde çalışmadan elde edilen sonuçlar genel olarak verilmiş ve çeşitli önerilerek geliştirilmiştir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. DOĞU KAYINI HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Doğu kayını ülkemizin orman varlığı içerisinde dördüncü sırada yer alan bir türdür (Kandemir ve diğ., 2016). Ormanlarımızın gençlik ve sıklık çağı meşcerelerinde bu türün özellikle hacim ve hacim artımının orman hasılatı, orman amenajman, ormancılık işletme ekonomisi ve silvikültür çalışmaları açısından belirlenmesi gerekli olabilmektedir (Atıcı, 2006). Fagaceae familyasında 10 tür olmakla beraber Türkiye ikliminde yalnızca Doğu Kayını (*Fagus orientalis*) ve Avrupa kayını (*Fagus sylvatica*) bulunmaktadır (Denk, 1999; Anşin ve Özkan, 1997; Kandemir ve diğ., 2016). Doğu Kayını Şekil 2.3'te de görüldüğü gibi ülkemizdeki oldukça geniş yayılım alanına sahiptir. Buna ek olarak ağaç serveti yönünden, öncelikli asli tür konumunda olup bu araştırmadan elde edilen sonuçlar açısından önem arz etmektedir (Carus ve Çatal, 2010).

Gövde kabukları açık gri, ince ve düz olan doğu kayınları 40 m'ye kadar boylanabilen bir orman ağacıdır. Sürgünle açılı yapan tomurcukları çok sayıda pulla örtülü iğ biçiminde ve sivri uçludur. 6,5-15,5 cm boyunda olan yaprakları 3,5-8 cm eninde olup geniş eliptik, ters yumurta, nadiren de yumurta biçiminde olmakta, tam kenarlı veya hafif dalgali, üst yüzü çıplak, alt yüzü ise damarlar boyunca beyaz ipeksi tüylüdür. Yapragının en geniş kısmı ortanın üst kısmında yer almakta olup damar sayısı 8-13 çifttir. Yaprakları sonbaharda sarı-kahverengi renk almaktadır. Yaprak sapları bulunmaktadır ve 0,6-1,2 cm arasında değişmektedir (Şekil 2.1) (Şekil 2.2).

Yaklaşık olarak 3,5 cm boyunda olan kulakçıklar erken dökülmektedir (Yaltırık, 1982c). Birçoğu bir arada olan erkek çiçekler, uzun bir sap ucunda toplanarak aşağı doğru sarkan küre şeklinde başçık olarak kurul oluşturmaktadır ve erkek çiçek örtüsünün en fazla 1/3 kadarı bölünmüştür (Tutin ve diğ., 1993). Meyve örtüsü diğer adı ile "kupula" dört brahtecikten oluşmaktadır ve dört parçalıdır. Üzeri ise iki değişik tipte pul ile örtülmüştür. Dip kısımlarda damarlı, yeşil renkli ve dar uzun yapraksı pullar, uç kısımlara doğru ise ipliksi olarak pullar bulunmaktadır. Meyve örtüsünün içinde üç köşeli, sert kabuklu, kırmızımtırak kahverengi ve yağlı iki adet tohum bulunmaktadır (Ulus ve Akkemik, 2018).



Şekil 2.1: Doğu kayınının doğal görünümü (OGM,2024).



Şekil 2.2: Doğu kayınının sürgünü (Yıldırım, 2018).

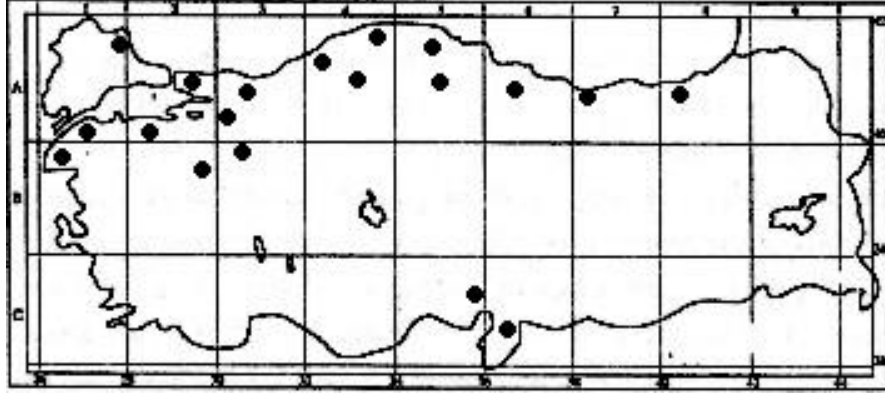
2.1.1. Yetişme Ortamı Özellikleri

Genel olarak deniz iklimine ihtiyaç duyan doğu kayını, sıcaklığın 22°C'nin üstüne çıkmadığı soğukların ise ekstrem olmadığı ılıman iklimleri sevmektedir. Gölgeye dayanıklı bir tür olması sebebiyle kuzey ve kuzey batı bakılarını daha çok tercih etmektedir. Yüksek eğimli yerlerde toprağı seven doğu kayınları drenajlı ve havalanabilen topraklara ihtiyaç duymakta ve edafik etmenlere karşı da duyarlı bir tür olarak bilinmektedir (Saatçioğlu,1976).

2.1.2. Türkiye'de Doğal Yayılış Alanı

Türkiye'de Doğu Kayını ve Avrupa Kayını olarak 2 türle temsil edilen kayın, esas yayılışını Doğu kayını olarak yapmaktadır (Atalay,1992). Asli ağaç türlerimiz arasında önemini korumakta olan Doğu kayını ölkemizde yayılış gösterdiği alan açısından yapraklı türler içerisinde ikinci sırada yer almaktadır. Endüstriyel odun üretiminde ise %15'lik payı ile yapraklı türler arasında ilk sırada yer almaktadır (Konukçu,2001).

Doğu kayını ölkemizde, Trakya'da Istranca Dağı, Tekirdağ ve Belgrad Ormanı, Ege ve Marmara havzasında, Kuzey Anadolu'da oldukça büyük bir yayılış göstermektedir. Ek olarak güney kısımda Adana'nın Pos Ormanlarında, Amanos Dağları'nın kuzeyinde, Maraş-Andırın kesiminde de yerel olarak yayılış göstermektedir (Atalay,1992; Yaltırık ve Efe,2000). Genel olarak en uygun yetişme ortamı en az 700 m en çok ise 1200 m arasında olmasına karşın Doğu Karadeniz Bölgesinde 1800-1900 m yükseltilere kadar yayılabilmektedirler (Anşın,1983; Atalay,1992; Genç,2004). Türkiye'deki yayılış alanları ayrıntılı olarak şekil 2.3'de gösterilmiştir (Davis,1982).



Şekil 2.3: Doğu kayınının Türkiye’deki doğal yayılış alanları (Davis 1982).

2.2. SAPSIZ MEŞE HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Kışın yaprağını döken ve 30 m’ye kadar boylanabilen sapsız meşeler dar tepeli ağaçlardır (Şekil 2.5). Gövde kabukları dar ve düzenli aralıklarla boyuna, derin çatlaklı ve açık kahverengi-gridir. Genellikle kırmızımtırak kahverenginde olan sürgünler, çıplak ve lentiseller belirgindir. 7 mm boyunda olan tomurcuklar sarımtırak kahverenginde, çıplak ve pullarının kenarları kirpiklidir. Genellikle dokulu olan kulakçıklar bazen terminal tomurcukların yanında dökülmeden kalmaktadır. 6-17 cm boyunda olan yapraklar, 3-9 cm eninde, eliptik, ters yumurtamsı ya da uzun dikdörtgenimsi şekildedir, dibe doğru kama gibi daralmış veya çarpık yuvarlakça şekildedir. 5-9 adet düzenli sıg ya da derin loplu olan aya kenarında 5-11 çift damar birbirine biraz da olsa paralel uzanmaktadır. İnterkalar damar bulunmamakta veya yaprağın dip kısmına yakın olan bölgede 1-2 adet bulunabilmektedir. Üst yüzü parlak ve çıplak olan yaprağın alt yüzü ise soluk yeşil, çıplak veya basılmış yıldız tüylüdür. Fakat damarlar üzerinde uzun basit tüyler bulunmaktadır. 1-3,5 cm uzunluğunda yaprak sapı bulunmaktadır. 1 yılda olgunlaşan meyveleri vardır. Kadeh yarıküre veya armut şeklinde olup 10-20 mm çapında olmaktadır. Birbiri üzerine sıkıca kapanmış olan kadeh pullarının dipleri belirgin bir şekilde yumru gibi çıkıntılı veya düz, basık ya da gevşektir ve de uçları kahverengi ve tüylüdür. Ayrıca kadeh, palamutun 1/2 veya 2/3 kadarlık kısmını içerisine almıştır (Hedge ve Yaltirik,1982). Kadeh sapsız veya kısa bazen ise yaprak sapı uzunluğuna kadar erişebilen bir sap ucunda yer almaktadır (Menitsky,2005).

Türkiye’de Ak Meşeler, Kırmızı Meşeler ve Herdem Yeşil Meşeler olarak 3 türü bulunan meşelerden araştırmamızın konusu olan sapsız meşeler Ak Meşeler grubunda yer almaktadır. Bu grup meşe türlerinde Şekil 2.4’de de görüldüğü gibi genellikle yaprak loplari veya dişlerin

ucunda kılçıksı-dikensi bir çıkıntı bulunmamaktadır. Odunlarında bulunan geniş traheler, yıllık halkanın ilkbahar odununda 1-2 sıra halinde ve yan yana gelerek çevrel diziliş göstermektedir. İlkbahar odunu trahelerinden yaz odunu trahelerine geçiş birden olmaktadır ve yaz odunu trahelerinin lümenleri çok daralmaktadır. “Alevdili” veya “Yelpaze” şeklindeki yaz odunu traheleri bir alan üzerinde çok sayıda ve sık bir biçimde yer almaktadır. Olgunlaşması 1 yılda tamamlanan meyvelerin genellikle iç yüzü çıplak ve tohumlar tanen miktarı açısından daha az olduğundan tatlıdır (Şekil 2.5).



Şekil 2.4: Sapsız meşenin genel görünüşü (Yıldırım, 2018).



Şekil 2.5: Sapsız meşenin Yaprağı ve meyvesi (Yıldırım, 2018).

2.2.1. Yetiştirme Ortamı Özellikleri

Bir ışık ağacı olarak biline sapsız meşeler genellikle devamlı su baskınlarına maruz kalmayan ve hafif bünyeli, derin, bitki besin elementleri açısından da zengin olan, ılımlı kuru taşlı, balçık topraklarda, havalanması iyi olan ve drenajlı topraklarda ve alçak alanlardan orta yükseltilerdeki dağlık alanlara kadar yayılış göstererek iyi bir yetiştirme göstermektedir. Hem kurak hem de nemli ortamlarda yetiştirebilmekte olan sapsız meşeler, fakir ve kurak topraklarda da saplı meşeye nazaran daha dayanıklı bir yapıya sahiptir. Işık ağacıdır ancak gençlik/kültür çağlarında makul seviyelerde yan etkilere karşı tahammül edebilmektedir (Genç,2012) (Yaltırık,1984).

2.2.2. Türkiye’de Doğal Yayılış Alanı

Sapsız Meşe’nin genel coğrafi yayılışını Yaltırık ve Efe (1994) Trakya, Marmara Bölgesi, İç Anadolu ve Güney Anadolu olarak ifade etmişlerdir. Ülkemizde Şekil 2.6’da görüldüğü gibi özellikle Marmara Bölgesi’nin kuzeyi ve Trakya’da ileri yaşlarda saf meşcereleri bulunan sapsız meşe (*Quercus patraea* (Matt) Liebl) düzgün gövde yapısı oluşturan ve de orman endüstrisinde geniş pazarı bulunan meşe türlerinin başında gelmektedir. Toplam boyuna oranla dalsız gövde boyu oldukça uzun olan sapsız meşeler tepe taç boyu kısa ve dar olan bir türdür. Orman ürünleri sanayisinin ise en fazla tercih ettiği yapraklı türlerden birisi olmaktadır (Şahin,2016).



Şekil 2.6: Sapsız meşenin doğal yayılış alanları (Şahin, 2016).

2.3. ÇAP-BOY MODELLERİ

Ağaç boyu ölçümünün zor, zaman alıcı ve maliyetli olmasından dolayı orman envanterinde tüm ağaçların boyları ölçülememekte sadece belirli çap kademlerini temsil eden ağaçların boylarının ölçülmesiyle yetinilmektedir. Ağaçların göğüs çapları ve boyları arasında var olan alometrik ilişkiden yararlanılarak ölçümü zor olan ağaç boyu kolay ölçülebilen göğüs çapı ile istatistik ilişkiye getirilerek çap-boy modelleri elde edilmektedir. Çap- boy ilişkisi aynı yaşlı meşcerelerde parabol kolu formunda iken değişik yaşlı meşcerelerde ise “S” eğirişi formunda olmaktadır (Kalıpsız, 1999).

Çap-boy modellerinin geliştirilmesinde en önemli ve ilk aşama çap ile boy arasındaki ilişkiyi ortaya koyabilen model seçimidir. Model seçiminde sadece verilere olan uygulugu değil aynı zamanda biyolojik ilişkileri de açıklayabilme yeteneğinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Ağaç boyunun göğüs çapına bağlı olarak gelişimi erken yaşlarda hızlı ileri yaşlarda ise yavaş bir şekilde artar ve böylece sigmoidal bir form sergiler (Lei ve Parresol, 2001; Sharma ve diğ., 2019). Bu nedenle, önceki çalışmalarda denenmiş olan üst asimptotlar ve değişim oranları gibi biyolojik olarak yorumlanabilen aday çap-boy modellerinin seçilmesi büyük önem taşımaktadır.

Ağaçların boylarını belirli bir güven düzeyinde tahmin eden çap-boy modelleri sadece göğüs çapına göre oluşturulabildiği gibi göğüs çapının yanı sıra meşcere değişkenleri de açıklayıcı değişken olarak eklenerek çap-boy modellerinin daha geniş alanlarda kullanılabilme yeteneği artırılmaktadır. Çap- boy modelleri doğrusal ya da doğrusal olmayan basit yada çoklu regresyon analizi, karışık etkili modelleme ve makine öğrenmesi gibi yaklaşımlar kullanılarak belirli bir ağaç türü için geliştirilebilir. Literatürde farklı ağaç türleri için farklı teknikler ile geliştirilen çap-boy modelleri aşağıda sunulmuştur.

Çap boy modellerini geliştirmek amacıyla da değişik formlarda birçok model kullanılmıştır. Arabatzis ve Burkhart (1992) ve Huang ve diğ.(1992), çap- boy eğrileri için “S” ya da “Konkav” şeklindeki eğrilerini kullanırken, Huang ve diğ.(1999), Sharma ve Patron (2007), Saunders ve Wagner (2008), Colbert ve diğ. (1992), Mehtatalo (2004) ve Lynch ve diğ (2005) ise Korf modeli gibi sigmoid tipi fonksiyonlar kullanmışlardır.

Fang ve Bailey (1998), Güney Çin’de Hainan adasında yer alan tropikal ormanlar üzerinde çalışmıştır. Sonucunda 33 farklı çap-boy modelinin başarı durumunu “S” ve “Konkav” eğrilerini kullanarak araştırmıştır.

Çap boy ilişkilerinin modellenmesinde Bertalanffy-Richards ve Schnute modellerinin kullanılmasını tavsiye eden Lei ve Parresol (2001), Bertalanffy-Richards modelinin Schnute modeline göre daha avantajlı olduğunu belirtmiştir. Nedeninin ise Schnute modelinin tüm ağaç türlerinde denklem katsayılarının daha kolay bulunması olarak belirtmiştir (Bredenkamp ve Gregoire, 1988; Lei ve Parresol, 2001).

Ontario’da yer alan boreal ormanları için 6 doğrusal olmayan büyüme fonksiyonu kullanılarak çap-boy modelleri geliştiren Peng ve diğ. (2001), Chapman-Richards, Weibull ve Schnute modellerinin en iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir.

İspanya’nın Kuzeybatısında yer alan Pinus radiata türü için bir çap-boy modeli geliştiren Lopéz-Sanchez (2003), meşceler arasındaki ilişkilerin özelliklerini belirleyebilmek amacıyla doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon prosedürlerini kullanarak 9686 adet ağaç ile toplam olarak 26 model geliştirmiştir. Çapraz doğrulama yöntemini ile modellerin tutarlılık test edilmiştir. Çalışmanın sonucunda elde edilen verilere göre boy örnekleme için en iyi sonuçları veren modelin Tomé modeli olduğu sonucuna varılmıştır.

British Columbia’nın iç kesimlerinde yer alan karışık meşcerelerde çap-boy modelleri konusunda uygulamalar gerçekleştiren Temesgen ve Von Gadow (2004) ise, çalışmada kullandığı verileri sabit örnek alan yöntemi ile elde etmiştir. Çalışmada 2 ayrı model grubu değerlendirilmiştir. Bireysel olarak ağaçların boyunu tahmin eden 5 ayrı modelin bulunduğu model ilk model grubunu oluşturmaktadır. İkinci grupta ise ilk model grubuna ek olarak diğer meşcere özelliklerini tahmin eden modeller de yer almaktadır. Çalışmanın sonucunda söz konusu modellerin karışık meşcerelerde bulunan hakim ağaç türlerinin boylarının tahmin edilmesinde kullanılmasının uygun olabileceği sonucuna varılmıştır.

Sharma ve Zhang (2004), Kanada’da bir çalışma gerçekleştirmiş ve çalışmalarında meşcere özelliklerini kullanarak çap-boy modelleri geliştirmiştir. Ölçümler sonucunda elde edilen verileri yarı yarıya kullanmışlar ve yarısı ile modelleme yapılırken diğer yarısı ile kurulan modelin değerlendirilmesi sağlanmıştır. Boy değişkeninin tahmin edilmesinde çoklu Chapman-

Richards fonksiyonları ile elde edilen modelin en başarılı bir şekilde sonuçlar verdiğini ifade etmektedirler.

Chapman-Richards modelini kullanarak Appalachian yapraklı ağaç türleri için ekolojik bazı çap boy modelleri geliştiren Brooks ve Wiant (2007), ekolojik bölgeler arasında çap-boy modelleri açısından önemli farklılıkların bulunduğunu sonucuna ulaşmışlardır.

Uygun matematiksel özellikleri, parametrelerin biyolojik olarak açıklanabiliyor olması ve literatürdeki çalışmalarda tatmin edici sonuçları nedeniyle birçok bilim insanı tarafından ağaç çap-boy ilişkilerinin modellenmesinde doğrusal olmayan Chapman-Richard büyüme fonksiyonu tercih edilmiştir (Pienaar ve Turnbull, 1973; Pienaar ve Shiver, 1984; Huang ve diğ. 1992).

Genel olarak çap-boy verilerinde hiyerarşik yapının aynı örnekleme birimindeki yüksek korelasyonun olduğu durumlarda, ölçümler arasındaki bağımsızlık olduğu görülmektedir (West ve diğ., 1984; Gregoire, 1987). Bu sorunların ortadan kaldırılmasında başarılı bir şekilde kullanılan karışık modelleme teknikleri bulunmaktadır (Lappi, 1997; Calama ve Montero, 2004; Castedo Dorado ve diğ. 2006). Söz konusu bu modeller, sabit ve rastgele parametreleri eş zamanlı olarak aynı model içerisinde kullanabilmekte ve ortak bir sabit fonksiyonel yapı belirlendikten sonra modellenecek olan farklı alanlar ile belirlenen olaylar hakkındaki değişkenliğin belirlenmesine imkân verebilmektedir (Lindstrom ve Bates, 1990). Karışık modeller bu özellikleri sayesinde, önemli bilgilerin var olduğu durumlarda ve yeni bir birey hakkında tahmin söz konusu olduğu zamanlarda daha etkili bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır (Trincado ve diğ, 2007).

Ormancılık çalışmalarında, hakim boy (Lappi ve Bailey, 1988), tek ağaç hacmi (Lappi, 1991; Eerikäinen, 2001), ve konik özelliklerinin (Lappi, 1986; Gregorie ve Schabenberger, 1996), modellenmesinde önemli ölçüde kullanılmakta olan rastgele parametrelili modeller, aynı zamanda ve değişik örnek alanlardaki eş zamanlı çapraz ölçümlerde ve sabit örnek alanlardaki tekrarlı ölçümlerde de (Lappi, 1997) başarılı olarak kullanılmıştır.

Mixed-effects models olarak bilinen karışık etkili modeller ormancılıkta, gövde formlarının çeşitliliği (Lappi, 1986), üst boy (Lappi ve Bailey, 1988; Fang ve Bailey, 2001), hacim (Lappi, 1991; Eerikäinen, 2001), hacim-oran denklemleri ile elde edilen kümülatif gövde hacmi (Gregorie ve Schabenberger, 1996), gövde profillerinde inceleme etkileri (Tasissa ve Burkhardt,

1998) ve odun hasılatının (Hall ve Clutter, 2004), öngörülmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda karışık modeller çap boy ilişkilerinin modellenmesinde de kullanılmaktadır.

Hâkim olduğu meşcerelerde sığla türünü araştıran ve çap boy ilişkilerini inceleyen Lhotka (2012), sığla türünün hakim olduğu 5 tür üzerine Güney Carolina'da modeller geliştirmiştir. Her ayrı tür için karışık etkili regresyon modelleri tercih edilerek Chapman-Richards fonksiyonları kullanılmış, her ayrı tür için iki farklı denklem geliştirilmiştir. Bunlardan biri, çap değerinin belirleyici olduğu model olmuş diğeri de temel model ile karşılaştırılan meşcere göğüs yüzeyini ve ağaç göğüs yüzeyini tahmin eden marjinal modeldir. Bu çalışmanın sonucunda ise, daha başarılı sonuçlar verdiğiinden dolayı ağaç boyunun belirleyici olduğu model tercih edilmiştir.

Çapar (2013), Antalya yöresinde yer alan kızılçam meşcereleri için bir araştırma yapmıştır. Bunun için doğrusal olmayan karışık etkili modelleme tekniğini kullanarak çeşitli çap boy denklemleri geliştirmiştir. Bunun için 59 adet örnek alan belirlemiş ve toplam 2087 adet ağaç üzerinde çalışarak çap boy ölçümü gerçekleştirmiştir. Çalışmada geleneksel doğrusal olmayan çap-boy modelleri, genelleştirilmiş çap-boy modelleri ve karışık etkili doğrusal olmayan çap-boy modeli olmak üzere 3 farklı model kullanmıştır. Yapılan çalışmaların sonucunda, en başarılı olarak karışık etkili doğrusal olmayan çap-boy modellerinin olduğu kanaatine varılmıştır.

Özçelik ve diğ. (2013) ise ardış ağaçları için çap-boy ilişkilerini ortaya koymak amacıyla geleneksel doğrusal olmayan modelleri ve genelleştirilmiş büyüme modellerini içeren bir çalışma yapmıştır. Ayrıca bu çalışmalara ek olarak da modellerin geliştirilmesinde doğrusal olmayan karışık etkili modelleme tekniği ve yapay sinir ağı yöntemlerini karşılaştırmıştır. Yaptığı çalışmalar sonucunda hem doğrusal olmayan karışık etkili modelleme tekniği hem de yapay sinir ağı modelleri kullanılarak oldukça iyi ve başarılı sonuçlar elde edilebileceğini ortaya koymuş ve yapılabileceğini göstermiştir (Göçer,2016).

Lappi (1997) ve Mehtatalo (2004), karışık etkili modelleme yaklaşımı kapsamında kalibrasyon işlemini kullanmış ve karışık etkili modellerin çap-boy ilişkilerini açıklamada daha avantajlı olduğu sonucuna varmıştır.

Ontario’da yer alan doğal akçağaç meşcerelerinde çap-boy ilişkilerinin belirlenmesi ile ilgili çalışmalar yürüten Jayaraman ve Lappi (2001) ise, karışık etkili modelleme tekniği kapsamında rastgele ve sabit parametreler yaklaşımlarını karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda ise iki metodun da etkili sonuçlar verdiği kanaatine varmıştır. Fakat rastgele parametreler modelini daha avantajlı bulmuştur. Sebebini de hata fonksiyonlarının sapmalarının tahmin edilebilirliği olarak sunmuştur.

Missouri bölgesinde yer alan 12 yüksek kesim türü için çap boy denklemi geliştiren Lootens ve diğ. (2007), toplam ağaç boyunu tahmin eden bir modeli kalibre etmiştir. Yaklaşık olarak gözlemlenebilen 10.000 ağaç ile model katsayıları belirlenmiştir. Yüksek kesimlerde yayılış gösteren türler için, kalibre edilen bu model, toplam ağaç boyunun tahmininde başarılı sonuçlar vermiştir.

Kanada bölgelerinde yetişen türler için çalışma yapan Sharma ve Parton (2007), karışık etkili modelleme yaklaşımı ile çeşitli meşcere parametrelerini kullanarak ağaç boyunu tahmin etmek için Chapman-Richards modelin esas almıştır.

Türkiye’nin Akdeniz bölgesinde çalışmalar yapan Diamantopoulou ve diğ. (2012), toplam olarak ağaç boyunu hesaplayabilen modeller çeşitlendirip değerlendirmiştir. Batı Akdeniz Ormanlarında yer alan hakim ağaç türleri için 6 adet doğrusal olmayan model geliştirilmiş ve çap boy ilişkileri ortaya koyulmuştur. Ağaç boyunun kestirimi için genel regresyon sını ağı tekniği kullanılmış, modellerin performansları incelenerek karşılaştırılmış ve çalışmanın sonucunda genel regresyon sinir ağı tekniğinin diğer altı doğrusal olmayan modellere göre daha başarılı sonuçlar verdiği sonucuna varılmıştır.

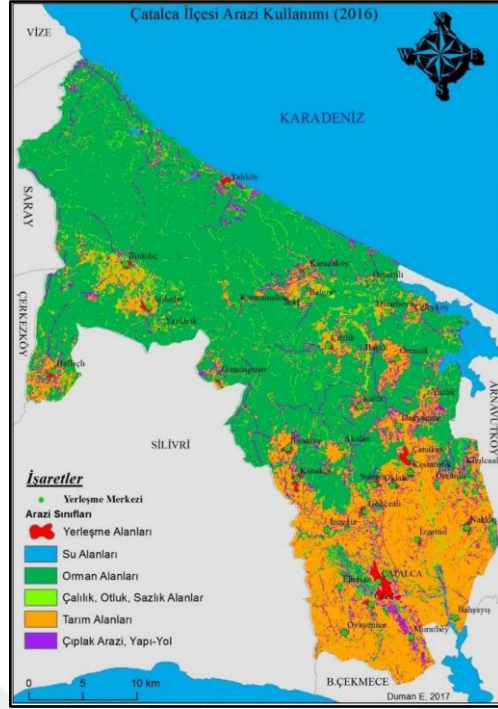
3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. ÇALIŞMA ALANI

Çalışmanın yürütüldüğü İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Çatalca Orman İşletme Müdürlüğü, 14.02.1947 yılında kurulmuş ve başlangıçtan itibaren merkezi Çatalca olan bir işletmedir. Şekil 3.1.' de de görüldüğü gibi araştırma sahası olan Çatalca İlçesi'nin sınırları $41^{\circ}5'55''$ ve $41^{\circ}35'2''$ kuzey enlemleri ile $28^{\circ}4'10''$ ve $28^{\circ}34'50''$ doğu boylamları arasında bulunmakta olan coğrafi konum itibarıyla ülkemizin kuzeybatısında bulunan Trakya Bölümü'nde, Marmara Denizi'nin kuzeyinde Karadeniz'in ise güneybatısında yer alan Çatalca İlçesi İstanbul ili sınırları dâhilinde olup ilçe sınırlarının kuzeyinde Karadeniz, batısında Tekirdağ iline bağlı olan Saray ve Çerkezköy ilçeleri, güney ve güneybatısında İstanbul iline bağlı Büyükçekmece ve Silivri ilçeleri, doğusunda ise Arnavutköy ilçesi yer almaktadır (Şahin, 2015). İşletmenin kuzeyinde Istranca dağlarının Kayın-Meşe karışık ormanları ile kaplı olan kısmı yer almaktadır. Güney kısma inildikçe ise arazi dalgalanmakta ve yayvan tepeli bir şekil almaktadır, araya da geniş tabanlı vadiler girmektedir (OGM,2024).

Trakya kesiminde yer alan Çatalca ilçesi yaklaşık olarak 160 m ortalama rakıma sahiptir. Karadeniz'e paralel uzanan ve en önemli yükseltisi olan Istranca Dağları'nın yer aldığı Trakya, 1031 m yüksekliğe sahip en yüksek noktaya sahip Mahya Tepesi'ne sahiptir. Güney kısımda Marmara Denizi kıyısında bulunan ve oldukça dar ve yükseltisi fazla olmayan Işık ve Koru dağı yükselimleri Trakya içerisinde bulunan diğer yükselimlerdir. Ova ve plato düzlükleri de bölgede büyük ölçüde yer kaplamaktadır. Ergene Havzası Trakya kesiminin büyük bir kısmını kaplayan, yükseltisi 200 m'yi geçmeyen jeomorfolojik bir unsur olarak görülmektedir. Çevre kısımdan orta bölümlere doğru alt tersiyer'den üst tersiyer'e değişen bir jeolojik yapıda olan Ergene Havzası, hem jeomorfolojik hem de jeolojik bir havza özelliği göstermektedir. Fazla derine aşındırma yapmamış ve de kolları kısa olan Ergene Çayı'nın su toplama havzası olan bu havza jeomorfolojik açıdan önemli bir yapıdır (Atalay ve Mortan, 2011).

Çatalca Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı olan ve Şekil 3.1'de de yer alan Binkılıç Orman İşletme Şefliği de $41^{\circ}28'56.0316''$ Kuzey enlemleri ve $28^{\circ}13'1.0380''$ Doğu boylamları arasında yer almaktadır. Çatalca merkezine 43 km mesafe uzaklıkta olan Şeflik merkezinin



Şekil 3.2: Çalışma alanına ait arazi kullanım haritası (Garipağaoğlu ve Duman,2018).

3.2. ÖRNEK ALANLARIN SEÇİMİ

Binkılıç Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yayılış gösteren saf kayın ve kayın hakimiyetindeki kayın+meşe karışık meşcereleri araştırma materyalini oluşturmaktadır. Örnek alanlar değişik yetiştirme ortamı koşullarında yayılış gösteren farklı gelişim çağlarına ve kapalılık derecelerine sahip saf kayın ve kayın hakimiyetindeki kayın+meşe karışık meşcerelerden seçilmiştir. Saf kayın meşcerelerinden 38 adet örnek alan alınmış ve toplam 1861 adet kayın ağacı örneklenmiştir. Kayın+meşe karışık meşcerelerden ise 62 adet örnek alan alınmış, 2441 kayın, 1515 meşe olmak üzere toplam 3956 adet ağaç örneklenmiştir.

3.3. ÖRNEK ALANLARIN ÖLÇÜLMESİ

Örnek alanlar, meşcere kapalılıklarına ve meşcere boy eğrisi oluşturulabilecek yeterli sayıda ağaç kapsayacak şekilde 400-600-800-1000 m² büyüklüğünde daire şeklinde alınmıştır. Örnek alanlar içerisinde ağaçların türleri belirlenerek göğüs çapları birbirine dik olacak şekilde iki yönden 1 mm duyarlılığında metal çap ölçer ile ölçülmüştür. Daha sonra iki yönden ölçülen göğüs çaplarının ortalaması alınarak tek çap ölçüsü olarak cm olarak kaydedilmiştir. Örnek alan içerisine giren tüm ağaçların boyları 0,1 m duyarlılıkta Haglof Vertex Elektronik boy ölçer ile ölçülmüş ölçülmüş ve “metre” olarak kaydedilmiştir. Örnek alanda ölçülen göğüs çapı ve boy

değişkenleri yardımıyla çeşitli meşcere parametreleri hesaplanmıştır. Meşcere ağaç sayısı, örnek alanda tespit edilen ağaç sayısı hektara çevirme katsayısı ($HÇK=10000/\text{Örnek alan Büyüklüğü}$) ile çarpılarak elde edilmiştir (Formül 3.1)

$$N = n * \frac{10000}{\text{ÖAB}} \quad (3.1)$$

Formülde N: meşcere ağaç sayısını (Adet/ha), n: örnek alan ağaç sayısını, ÖAB: örnek alan büyüklüğünü (m^2) göstermektedir. Meşcere göğüs yüzeyi örnek alandaki ağaçların göğüs yüzeylerinin toplamının hektara çevirme katsayısı ile çarpımı sonucunda bulunmuştur (Formül 3.2).

$$G = \left(\sum_{i=1}^n \frac{\pi}{4} * d_i^2 \right) * \frac{10000}{\text{ÖAB}} \quad (3.2)$$

Formülde G: meşcere göğüs yüzeyini sayısını (m^2/ha), n: örnek alan ağaç sayısını, d_i : örnek alandaki ağaçların göğüs çaplarını göstermektedir. Meşcere orta çapı (d_g), meşcere göğüs yüzeyi orta ağacı çapı olarak meşcere göğüs yüzeyi ve meşcere ağaç sayısı yardımıyla hesaplanmıştır (Formül 3.3).

$$d_g = \sqrt{\frac{4*G}{\pi*N}} \quad (3.3)$$

Meşcere sıklık derecesi (SD) meşcere göğüs yüzeyi ve meşcere orta çapı yardımıyla hesaplanan ve Curtis ve diğ. (1981) tarafından önerilen oransal meşcere sıklığı olarak hesaplanmıştır (Formül 4.4).

$$SD = \frac{G}{\sqrt{d_g}} \quad (3.4)$$

Meşcere üst boyu ($h_{üst}$) örnek alanda en uzun boylu beş ağacın boylarının ortalaması olarak belirlenmiştir. Meşcere orta boyu (h_{ort}) ise örnek alan için oluşturulan meşcere boy eğrisinden meşcere göğüs yüzeyi orta ağacının çapına denk gelen boy olarak hesaplanmıştır.

3.4. ÇAP-BOY MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Ağaç boyunu tahmin etmek için sadece göğüs çapının fonksiyonu olarak çap-boy modelleri doğrusal olmayan regresyon analizi (DORA) ve destek vektör makine öğrenmesi (DVM)

teknikleri kullanılarak saf kayın, kayın+meşe karışık meşcerelerde genel bazda, kayın ve meşe ağaç türleri için ayrı ayrı geliştirilmiştir.

3.4.1. Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi (DORA)

Ağaçların göğüs çapı ile göğüs çapı arasındaki ilişki doğrusal olmayıp, zamanla birlikte değişmektedir. Ağaç boyunun göğüs çapına bağlı olarak gelişimi erken yaşlarda hızlı ileri yaşlarda ise yavaş bir şekilde artar ve böylece sigmoidal bir form sergiler (Lei ve Parresol, 2001; Sharma ve diğ., 2019). Bu nedenle, çap-boy ilişkisini modellemek için fonksiyonel bir formun seçimi, verilere uyum kolaylığı ile sınırlandırılmamalı, aynı zamanda seçilen fonksiyonun özellikleri yani bir dönüm noktasına, monoton artışa ve asimptota sahip sigmoidal desen de dikkate alınmalıdır (Lei ve Parresol 2001; Castedo-Dorado ve diğ., 2005; Sharma ve diğ., 2019).

Bu nedenle, önceki çalışmalarda denenmiş olan üst asimptotlar ve değişim oranları gibi biyolojik olarak yorumlanabilen 10 doğrusal olmayan büyüme fonksiyonu, sigmoid şekli ve esneklik gibi olumlu özellikleri nedeniyle aday çap-boy modelleri olarak seçilmiştir (Tablo 3.1). Seçilen modelleri dengelemek ve parametrelerini tahmin etmek için R yazılımının 4.4.2. sürümündeki “*nls*” fonksiyonu kullanılmıştır (R Core Team, 2024).

Tablo 3.1: Aday çap-boy modelleri.

Model	Model Formu	Kaynak
Prodan	$H = \frac{d^2}{\beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 * d^2} + 1.3$	Prodan (1968)
Näslund	$H = \frac{d^2}{(\beta_0 + \beta_1 d)^2} + 1.3$	Ng'andwe ve diğ. (2019)
Chapman-Richards	$H = \beta_0 (1 - \exp(-\beta_1 d))^{\beta_2} + 1.3$	Richards (1959)
Weibull	$H = \beta_0 (1 - \exp(-\beta_1 d^{\beta_2})) + 1.3$	Yang ve diğ. (1978);
Power	$H = \beta_0 d^{\beta_1} + 1.3$	Ng'andwe ve diğ. (2019)
Gompertz	$H = \beta_0 \exp(-\beta_1 \exp(-\beta_2 d)) + 1.3$	Huang ve diğ. (1992)
Korf-Lundqvist	$H = \beta_0 \exp(-\beta_1 d^{-\beta_2}) + 1.3$	Özçelik ve diğ. (2013)
Lojistik	$H = \frac{\beta_0}{1 + \beta_1 \exp(-\beta_2 d)} + 1.3$	Huang ve diğ. (1992)
Exponential	$H = \beta_0 \exp\left(\frac{\beta_1}{d + \beta_2}\right) + 1.3$	Özçelik ve diğ. (2013)
Mitscherlich	$H = \beta_0 (1 - \exp(-\beta_1 D)) + 1.3$	Levin and Nitsan (1964)

3.4.2. Destek Vektör Makine Öğrenmesi (DVM)

Destek vektör makine öğrenmesi istatistiksel öğrenme teorisi temel alınarak geliştirilen denetimli bir makine öğrenmesi algoritmasıdır (Akpınar, 2014; Ciran ve Özbay, 2022). Bu teknik, sınıflandırma ve regresyon problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılan, güçlü bir makine öğrenmesi algoritmasıdır. Regresyon problemlerinin çözümünde bu algoritmanın hedeflediği temel amaç hedef değişkeni mümkün olduğunca iyi tahmin eden bir model oluşturmaktır. Özellikle doğrusal olmayan ilişkileri tanımlamada DVM'nin doğrusal bir hiper düzlem oluşturabilmesi amacıyla çekirdek fonksiyonları kullanılır. Çekirdek fonksiyonları, düşük boyutlu veriyi yüksek boyutlu bir uzaya dönüştürür. Radyal temel fonksiyonu (Radial Basis Function-RBF) doğrusal ilişkileri yakalama en güçlü çekirdek fonksiyonlarından birisidir. Bu çalışmada, çap-boy modellerinin geliştirilmesinde RBF çekirdeğine sahip DVM algoritması kullanılarak optimum cost (C) ve gama (γ) hiperparametrelerinin seçimi ele alınmıştır. Optimum parametre kombinasyonu, modelin genelleştirme kapasitesini artırırken aşırı öğrenmeyi (overfitting) önlemeyi hedefler. Cost (C) ve gama (γ) hiper parametrelerinin optimizasyonu için bu hiperparametrelerin farklı kombinasyonları “Grid Search” yöntemi ile denenmiştir. Kombinasyonlar aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

$$Cost (C) \in \{0,1, 1, 10, 100\} \quad (3.5)$$

$$Gamma (\gamma) \in \{0,01, 0,1, 1, 10\} \quad (3.6)$$

Yukarıda verilen parametre değerleri “Grid Search” yöntemi ile kombine edilerek eğitim (model) veri seti üzerinden 5 katmanlı çapraz doğrulama tekniği ile hiperparametre optimizasyonu yapılmıştır. Boy tahmininde en düşük ortalama mutlak hata değerini veren parametre kombinasyonu optimum parametreler olarak kabul edilmiş, bu parametreler yardımıyla DVM çap boy modeli eğitim veri seti üzerinden oluşturulmuştur.

3.5. MODELLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Saf Kayın ve Kayın+Meşe karışık meşcereleri için çap-boy ilişkilerinin modellenmesinde kullanılan veri seti örnek alan bazında model (eğitim) ve test veri setine ayrılmıştır. Saf meşcerelerden toplam 38 adet örnek alan alınmış, bu alanların %80'i (30 örnek alan) model veri seti, kalan %20'lik (8 örnek alan) kısmı ise test verisi olarak ayrılmıştır. Kayın+Meşe karışık meşcerelerinden ise toplam 62 adet örnek alan alınmış, bu alanların %80'i (50 örnek alan) model veri seti, kalan %20'lik (12 örnek alan) kısmı ise test verisi olarak ayrılmıştır.

Modellerin değerlendirilmesinde ve tahmin performanslarının ortaya konmasında, belirtme katsayısı (R^2), standart hata (S_e), ortalama hata (OH), ortalama mutlak hata (OMH) ve ortalama mutlak hata yüzdesinden (OMHY) oluşan uyum istatistikleri hesaplanmıştır.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \hat{h}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2} \quad (3.7)$$

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \hat{h}_i)^2}{n}} \quad (3.8)$$

$$OH = \frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \hat{h}_i)}{n} \quad (3.9)$$

$$OMH = \frac{\sum_{i=1}^n |h_i - \hat{h}_i|}{n} \quad (3.10)$$

$$OMHY = \frac{\sum_{i=1}^n |h_i - \hat{h}_i|/n}{\bar{h}} 100 \quad (3.11)$$

Formüllerde $\hat{h}_i$: Tahmin edilen boy değerini, h_i : Gözlemlenen boy değerini, $\bar{h}$: Gözlemlenen boy değerlerinin ortalamasını, n: Veri sayısını temsil etmektedir. Uyum istatistikleri eğitim (model) veri seti ve test veri seti için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Tahmin yönünden en başarılı modelin seçiminde uyum istatistiklerinin Poudel and Cao (2013) tarafından önerilen rölatif sıralama yöntemi kullanılmıştır.

$$R_i = 1 + \frac{(m-1)(S_i - S_{min})}{S_{max} - S_{min}} \quad (3.8)$$

Formülde; R_i : i. modelin rölatif sıralamasını, S_i : i. modelin uyum istatistiğini, S_{max} : modeller arasındaki en büyük S_i değerini, S_{min} : modeller arasındaki en küçük S_i değerini göstermektedir. Bu yöntemde her bir uyum istatistiğine ilişkin rölatif sıralama değerleri hesaplandıktan sonra toplanmakta ve toplam rölatif sıralama değerleri belirlenmektedir. En düşük toplam rölatif sıralama değerine sahip model en iyi model olarak seçilmektedir.

Modellerin geçerliliğinin ortaya konmasında test verisi üzerinden modelden sağlanan tahmin değerleri ile gözlemlenen değerler eşleştirilmiş t- testi ile karşılaştırılmaktadır. Eğer t- testinin sonucunda tahmin değerleri ile gözlemlenen değerler arasında anlamlı bir fark olmaması durumunda modelin geçerli olduğu sonucuna varılmaktadır.

4. BULGULAR

Saf kayın meşcerelerinde örnek alanlarda yapılan ölçümler neticesinde hesaplanan tanımlayıcı istatistikler Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1: Saf Kayın Meşcereleri İçin Tanımlayıcı İstatistikler.

Değişken	Modelleme (Eğitim) Veri Seti Örnek alan Sayısı= 30 Ağaç Sayısı=1474				Test Veri Seti Örnek alan Sayısı= 8 Ağaç Sayısı=387			
	Ort.	Std.	Min.	Mak.	Ort.	Std.	Min.	Mak.
d	27,96	8,62	6,80	65,45	26,87	9,59	5,95	56,15
h	23,25	3,24	9,40	32,50	22,53	4,17	8,50	30,20
G	63,90	23,83	19,62	115,6	59,79	20,5	21,95	89,66
N	1082	426	375	1825	1111	377	550	1550
dg	28,43	6,92	13,60	44,07	27,35	8,12	13,43	40,37
SD	11,94	3,95	4,70	19,04	11,30	3,12	5,99	15,28
h _{üst}	26,07	2,04	19,85	30,85	25,25	1,93	21,20	26,90
h _{ort}	22,86	2,41	14,50	26,80	21,24	3,34	15,20	24,60

Saf meşçereye ilişkin tanımlayıcı istatistikler incelendiğinde örnek alanlara ait meşcere parametrelerinin ve örnek alanlardaki tek ağaçlara ait çap ve boy değerlerinin modelleme ve test veri setinde birbirine yakın değerler aldığı görülmektedir. Kayın+Meşe karışık meşcerelerde örnek alanlarda yapılan ölçümler neticesinde hesaplanan tanımlayıcı istatistikler Tablo 4.2’de verilmiştir. Saf kayın meşcerelerine benzer bir şekilde meşçereye ilişkin tanımlayıcı istatistikler incelendiğinde örnek alanlara ait meşcere parametrelerinin ve örnek alanlardaki tek ağaçlara ait çap ve boy değerlerinin modelleme ve test veri setinde birbirine yakın değerler aldığı görülmektedir. Saf kayın meşcerelerinden farklı olarak karışık meşcerelerde karışıma giren türlerin göğüs yüzeylerine göre hesaplanan karışım oranları verilmiştir. Örneklenen karışık meşcerelerin ortalama değerler olarak kayın karışım oranı 0,62 iken meşe karışım oranının ise 0,38 olduğu ve çalışmanın amacına ve hedefine bağlı olarak genel olarak kayın ağırlıklı karışık meşcerelerin örneklendiği görülmektedir.

Tablo 4.2: Kayın+Meşe Karışık Meşcereleri İçin Tanımlayıcı İstatistikler.

Değişken	Modelleme (Eğitim) Veri Seti Örnek alan Sayısı= 50 Ağaç Sayısı=3164				Test Veri Seti Örnek alan Sayısı= 12 Ağaç Sayısı=792			
	Ort.	Std.	Min.	Mak.	Ort.	Std.	Min.	Mak.
d	23,19	7,94	4,75	57,05	22.65	7.07	5.55	46.45
h	21,12	3,95	6,80	31,40	20.84	3.92	9.50	30.60
G	41,35	23,20	7,39	112,29	38.40	28.31	7.69	127.68
N	920	331	550	1775	871	402	570	1900
dg	23,61	6,59	10,07	37,19	23.02	5.75	11.82	33.48
SD	8,21	3,76	2,22	18,41	7.67	4.70	2.24	22.07
h _{üst}	25,52	3,82	15,92	41,6	24.76	2.95	18.21	28.71
h _{ort}	21,58	3,45	12,90	30,10	21.14	2.87	14.80	24.00
KoKn	0,616	0,18	0,109	0,857	0.653	0.13	0.354	0.891
KoM	0,384	0,18	0,143	0,891	0.347	0.13	0.109	0.646

Ağaçların göğüs çaplarına bağlı olarak, tam boylarının tahmin edilmesinde çalışma kapsamında doğrusal olmayan regresyon analizi (DORA) ve destek vektör makine öğrenmesi (DVM) yöntemleri kullanılarak çap-boy modelleri geliştirilmiştir. Aşağıdaki bölümlerde saf kayın ve kayın+meşe karışık meşcereler için iki yöntem ile elde edilen çap-boy modellerine ilişkin bulgulara yer verilmiştir.

4.1. SAF KAYIN MEŞCERELERİNE İLİŞKİN ÇAP-BOY MODELLERİ

Bu kısımda saf kayın karışık meşcerelerine ilişkin kullanılan çap-boy modelleri incelenecektir.

4.1.1. Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi (DORA)

Saf kayın meşcereleri için çap-boy modellerin geliştirilmesinde öncelikle farklı çalışmalarda başarı ile kullanılmış 10 adet aday çap-boy modeli seçilmiş ve bu modellerin katsayıları model veri seti esas alınarak doğrusal olmayan regresyon analizi (DORA) yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 4.3’de modelleme verisi kullanılarak seçilen 10 adet modelin doğrusal olmayan regresyon analizi (DORA) ile tahmin edilen katsayıları ve modellere ilişkin uyum istatistikleri sunulmuştur. Model veri seti için hesaplanan uyum istatistikleri incelendiğinde modellerin boy değişkenindeki varyasyonu yaklaşık %72 oranında açıkladığı ve %5’lik bir mutlak hata yüzdesi ile tahminde bulundukları görülmektedir (Tablo 4.3).

Tablo 4.3: Doğrusal olmayan regresyon analizi (DORA) ile tahmin edilen katsayılar ve uyum istatistikleri (Saf kayın-Model Veri Seti).

Model	Katsayılar			R^2	S_e	OH	OMHY	AIC
	β_0	β_1	β_2					
Model1	1,9695	0,2994	0,0311	0,722	1,709	0,0001	5,29	5770
Model2	1,0707	0,1724	-	0,721	1,711	-0,0020	5,27	5772
Model3	27,5112	0,0611	0,9810	0,719	1,716	-0,0008	5,31	5782
Model4	27,6703	0,0659	0,9750	0,720	1,715	-0,0015	5,31	5782
Model5	6,2099	0,3825	-	0,688	1,809	-0,0069	5,53	5936
Model6	26,6968	1,6504	0,0826	0,717	1,725	-0,0011	5,36	5797
Model7	33,4152	7,9363	0,9023	0,722	1,709	0,0002	5,29	5770
Model8	26,2690	2,7102	0,1018	0,713	1,736	-0,0026	5,40	5817
Model9	32,6282	-10,7058	1,0595	0,722	1,709	0,0001	5,29	5770
Model10	27,4310	0,0622	-	0,719	1,716	-0,0003	5,32	5780

Çalışma kapsamında belirlenen aday çap-boy modelleri arasından uyum istatistikleri bakımından en iyi performans gösteren modeli seçmek için kullanılan rölatif sıralama yöntemine göre model veri seti için Prodan (1968) tarafından önerilen Model1, en iyi performansı göstermiştir (Tablo 4.4).

Tablo 4.4: Saf kayın meşcerelerinde model veri seti için çap-boy modeli seçiminde kullanılan rölatif sıralama değerleri

MODEL	Rölatif Sıralama Değerleri						Genel Sıralama
	R^2	S_e	OH	OMHY	AIC	Toplam	
Model1	1,00	1,00	1,00	1,69	1,00	5,69	1,00
Model2	1,26	1,18	3,51	1,00	1,11	8,07	1,48
Model3	1,79	1,63	1,93	2,38	1,65	9,39	1,75
Model4	1,53	1,54	2,85	2,38	1,65	9,96	1,87
Model5	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	50,00	10,00
Model6	2,32	2,44	2,32	4,12	2,46	13,67	2,62
Model7	1,00	1,00	1,13	1,69	1,00	5,82	1,03
Model8	3,38	3,43	4,31	5,50	3,55	20,17	3,94
Model9	1,00	1,00	1,00	1,69	1,00	5,69	1,00
Model10	1,79	1,63	1,26	2,73	1,54	8,96	1,66

Modelleme aşamasında kullanılmayan ve bağımsız bir veri seti özelliğindeki test verisi için hesaplanan uyum istatistikleri incelendiğinde modellerin boy değişkenindeki varyasyonu yaklaşık %78,6 ile %82,6 arasında değişen oranlarda açıkladığı ve yaklaşık %5'lik bir mutlak hata yüzdesi ile tahminde bulundukları görülmektedir (Tablo 4.5).

Tablo 4.5: Saf kayın meşcerelerine ilişkin çap-boy modellerinin test veri seti üzerindeki uyum istatistikleri

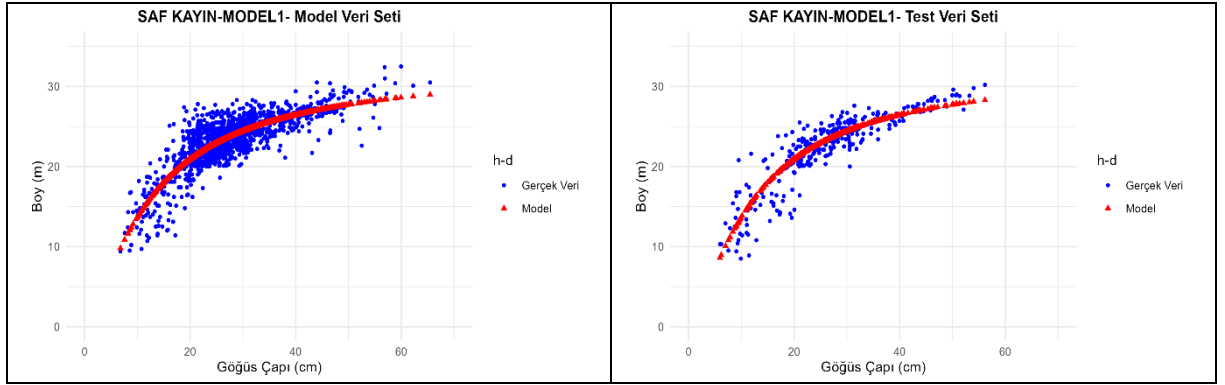
Model	R ²	S _e	OH	OMHY
Model1	0,824	1,748	-0,0839	5,08
Model2	0,825	1,742	-0,1157	5,04
Model3	0,826	1,739	-0,1128	5,07
Model4	0,826	1,739	-0,1179	5,07
Model5	0,786	1,927	-0,2816	5,54
Model6	0,825	1,743	-0,1299	5,13
Model7	0,823	1,754	-0,0797	5,09
Model8	0,822	1,759	-0,1524	5,21
Model9	0,823	1,751	-0,0828	5,09
Model10	0,826	1,739	-0,1085	5,08

Rölatif sıralama yöntemine göre test veri seti için model veri setinde olduğu gibi Prodan (1968) tarafından önerilen Model1 boy tahmininde en iyi performansı sergilemiştir (Tablo 4.6). Model verisinde hesaplanan uyum istatistikleri ile test verisinde hesaplanan uyum istatistikleri karşılaştırıldığında, modellerin test verisinde yaklaşık %4 daha fazla boydaki varyasyonu açıkladıkları ve benzer hata değerleri ($S_e=1,7$ m; OMHY=%5) ile tahminde bulundukları belirlenmiştir.

Tablo 4.6: Saf kayın meşcerelerinde test veri seti için çap-boy modeli seçiminde kullanılan rölatif sıralama değerleri

MODEL	Rölatif Sıralama Değerleri					Genel Sıralama
	R ²	S _e	OH	OMHY	Toplam	
Model1	1,45	1,43	1,19	1,72	5,79	1,00
Model2	1,23	1,14	2,60	1,00	5,97	1,05
Model3	1,00	1,00	2,48	1,54	6,02	1,06
Model4	1,00	1,00	2,70	1,54	6,24	1,12
Model5	10,00	10,00	10,00	10,00	40,00	10,00
Model6	1,23	1,19	3,24	2,62	8,27	1,65
Model7	1,68	1,72	1,00	1,90	6,29	1,13
Model8	1,90	1,96	4,24	4,06	12,16	2,68
Model9	1,68	1,57	1,14	1,90	6,29	1,13
Model10	1,00	1,00	2,28	1,72	6,00	1,06

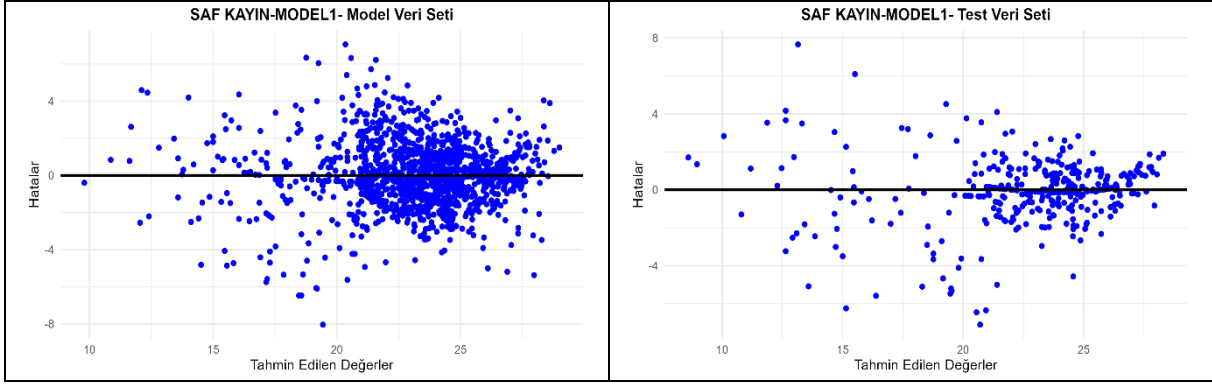
Test verisi üzerinden gerçek değerler ile Model1’den tahmin edilen değerler eşleştirilmiş t-testi ile karşılaştırılmıştır. Test sonucunda, $t=-0,944$ ve bu t istatistiğine ilişkin önem düzeyi $p>0,05$ olarak elde edilmiştir. Bu sonuca göre gerçek veriler ile tahmin edilen veriler arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır. Böylece saf kayın meşcerelerinde boy tahmininde kullanılmak üzere katsayıları hesaplanan Model1’in geçerliliği test edilmiş olmaktadır. Gözlemlenen değerler ile modelden elde edilen değerlerin çapa göre gelişimleri model ve test verisi için Şekil 4.1’de ayrı ayrı verilmiştir. Her iki veri seti için de modelin verilere uyum sağladığı görülmektedir.



Şekil 4.1: Gözlemlenen değerler ile modelden elde edilen değerlerin göğüs çapına göre gelişimi (DORA-Saf kayın).

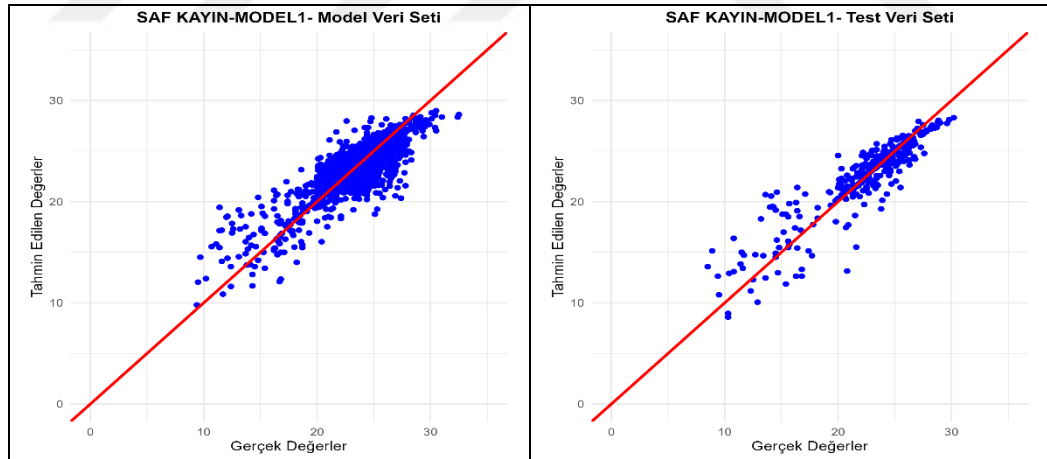
Model1’in tahmin hatalarının tahmin edilen değerlere göre değişimi model ve test verisi için Şekil 4.2’de ayrı ayrı verilmiştir. Her iki veri seti için de hatalar arasında herhangi bir korelasyonun olmadığı ve rasgele dağıldığı görülmektedir. modelin verilere uyum sağladığı

görülmektedir. Hataların büyük bir çoğunluğunun $-4m$ ile $+4m$ arasında değiştiği görülmektedir.



Şekil 4.2: Hataların tahmin edilen değerlere göre dağılımı (DORA -Saf kayın).

Gözlemlenen değerler ile modelden elde edilen değerlerin karşılaştırmalı grafikleri model ve test verisi için Şekil 4.3’de ayrı ayrı verilmiştir. Her iki veri seti için 20 m boy değerine kadar gözlem ve tahmin edilen değerlerin birbirinden uzak olduğu ancak 20 m boy değerinden sonra birbirlerine yaklaştığı görülmektedir.



Şekil 4.3: Gözlemlenen değerler ile tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması (DORA -Saf kayın).

4.1.2. Destek Vektör Makine Öğrenmesi (DVM)

Ağaç boylarını göğüs çapına göre tahmin etmek için kullanılan yöntemlerden birisi de destek vektör makine öğrenmesi (DVM) algoritmasıdır. Bu makine öğrenmesi tekniğinde doğrusal olmayan problemlerde güçlü performans gösterdiği belirtilen Gauss Radyal Taban Fonksiyonu (Gaussian Radial Basis Function-RBF) kernel çekirdek fonksiyonu kullanılmıştır. Bu kernel fonksiyonu kapsamında kullanılan önemli hiperparametreler, düzenleme parametresi (cost) ve

gama (γ) parametresidir. Çalışma kapsamında “cost” ve “gama” parametrelerin farklı kombinasyonları kullanılarak eğitim (model) veri seti üzerinden 5 katmanlı çapraz doğrulama tekniği ile hiperparametre optimizasyonu yapılmıştır. Boy tahmininde en düşük ortalama mutlak hata değerini veren parametre kombinasyonu optimum parametreler olarak kabul edilmiştir. Saf kayın meşcerelerinde boy tahmini yapmak için DVM kapsamında farklı hiperparametre değerlerine göre elde edilen uyum istatistikleri Tablo 4.7’de verilmiştir. En düşük ortalama mutlak hata yüzdesi değeri üreten hiperparametre kombinasyonunun cost=100 ve gamma=0,1 değerleri olduğu görülmüştür (Tablo 4.7).

Tablo 4.7: DVM algoritmasında test verisi üzerinden farklı hiperparametre değerlerine göre uyum istatistikleri (Saf kayın)

gamma	cost	R ²	S _e	OH	OMH
0,01	0,1	0,586	2,081	0,2580	1,460
0,01	1	0,671	1,849	-0,0133	1,311
0,01	10	0,697	1,774	-0,0319	1,265
0,01	100	0,711	1,733	-0,0318	1,235
0,10	0,1	0,671	1,853	0,0035	1,308
0,10	1	0,711	1,731	-0,0181	1,237
0,10	10	0,719	1,715	-0,0307	1,234
0,10	100	0,718	1,709	-0,0369	1,227
1	0,1	0,698	1,777	-0,0094	1,262
1	1	0,717	1,717	-0,0313	1,237
1	10	0,718	1,718	-0,0348	1,241
1	100	0,713	1,723	-0,0304	1,246
10	0,1	0,654	1,903	-0,0228	1,333
10	1	0,707	1,748	-0,0428	1,263
10	10	0,710	1,742	-0,0441	1,263
10	100	0,700	1,760	-0,0529	1,275

Bu hiperparametre değerleri kullanılarak DVM modeli eğitim veri seti üzerinden tekrar eğitilmiş ve uyum istatistikleri hesaplanmıştır. Eğitilen model test veri setine uygulanmış

ve tahmin değerleri üretilerek uyum istatistikleri hesaplanmıştır. Eğitim (model) ve test veri setine göre hesaplanan uyum istatistikleri Tablo 4.8’de sunulmuştur.

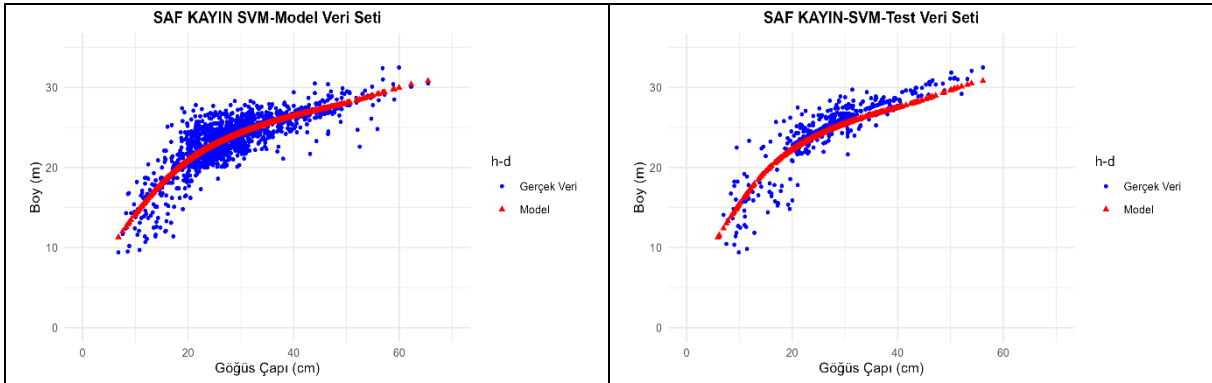
Tablo 4.8: Destek vektör makine öğrenmesi algoritmasının uyum istatistikleri (Saf kayın).

Veri	R^2	S_e	OH	OMHY
Eğitim	0,723	1,706	-0,0234	5,25
Test	0,802	1,974	-0,4789	6,03

Saf kayın meşcerelerinde göğüs çapına göre ağaç boyunu tahmin etmek için eğitilen DVM modelinin test veri setinde boydaki varyasyonu eğitim veri setine kıyasla %8 oranında daha fazla açıkladığı ancak test veri setinde daha yüksek hata değerleri ($S_e=+0,3$ m; $OMHY=+ \%0,8$) ile tahminde bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır (Tablo 4.8).

Test verisi üzerinden gerçek değerler ile DVM modelinden tahmin edilen değerler eşleştirilmiş t-testi ile karşılaştırılmıştır. Test sonucunda, $t=4,914$ ve bu t istatistiğine ilişkin önem düzeyi $p<0,001$ olarak elde edilmiştir. Bu sonuca göre gerçek veriler ile tahmin edilen veriler arasında anlamlı bir fark bulunmaktadır. Böylece saf kayın meşcerelerinde boy tahmininde kullanılmak üzere DVM yöntemi ile elde edilen modelin boy tahmininde zayıf kaldığı sonucuna ulaşılmaktadır.

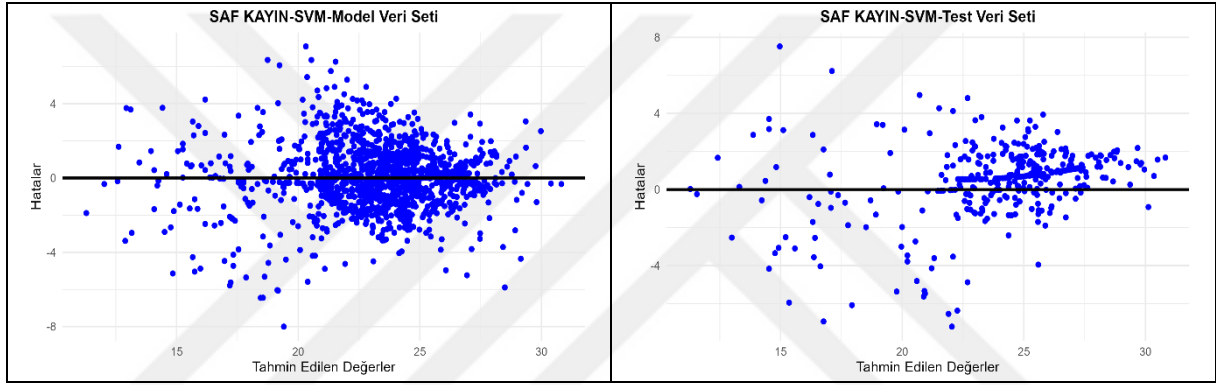
Gözlemlenen değerler ile modelden elde edilen değerlerin çapa göre gelişimleri model ve test verisi için Şekil 4.4’de ayrı ayrı verilmiştir. Eğitim (Model) veri setinde DVM modelinin verilere uyum sağladığı ancak test verisinde modelin 30 cm göğüs çapı değerinden sonra gözlemlenen değerlerden daha düşük tahminler verdiği görülmektedir.



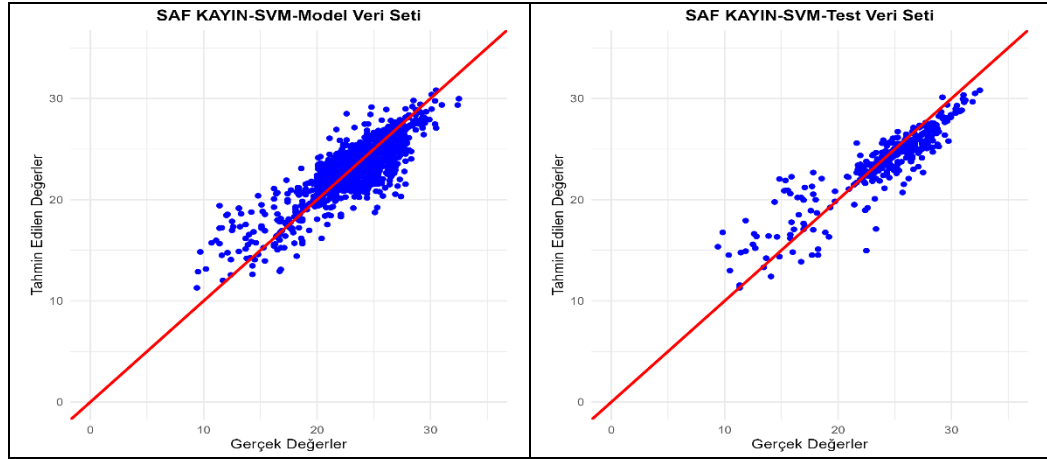
Şekil 4.4: Gözlemlenen değerler ile modelden elde edilen değerlerin göğüs çapına göre gelişimi (Saf kayın- DVM).

DVM modelinin tahmin hatalarının, tahmin edilen değerlere göre değişimi eğitim (model) ve test verisi için Şekil 4.5’de ayrı ayrı verilmiştir. Her iki veri seti için de hatalar arasında herhangi bir korelasyonun olmadığı ve rasgele dağıldığı görülmektedir. Modelin verilere uyum sağladığı görülmektedir. Hataların büyük bir çoğunluğunun -4m ile +4m arasında değiştiği görülmektedir.

Gözlemlenen değerler ile modelden elde edilen değerlerin karşılaştırmalı grafikleri model ve test verisi için Şekil 4.6’da ayrı ayrı verilmiştir. Her iki veri seti için 20 m boy değerine kadar gözlem ve tahmin edilen değerlerin birbirinden uzak olduğu ancak 20 m boy değerinden sonra birbirlerine yaklaştığı görülmektedir.



Şekil 4.5: Hataların tahmin edilen değerlere göre dağılımı (Saf kayın- DVM).



Şekil 4.6: Gözlemlenen değerler ile tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması (Saf kayın- DVM).

4.2. KAYIN+MEŞE KARIŞIK MEŞCERELERİNE İLİŞKİN ÇAP-BOY MODELLERİ

Bu kısımda kayın-meşe karışık meşcerelerine ilişkin kullanılan çap-boy modelleri incelenecektir.

4.2.1. Karışık Meşcere Genel Çap-Boy Modeli

Kayın+Meşe karışık meşcerelerde ağaç türü ayrımı yapmadan genel bazda çap-boy modelleri saf kayın meşcerelerinde olduğu gibi doğrusal olmayan regresyon analizi (DORA) ve destek vektör makine öğrenmesi (DVM) teknikleri kullanılarak geliştirilmiştir.

4.2.1.1. Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi (DORA)

Karışık meşcereler için genel bazda çap-boy modellerinin geliştirilmesinde öncelikle farklı çalışmalarda başarı ile kullanılmış 10 adet aday çap-boy modeli seçilmiş ve bu modellerin katsayıları model veri seti esas alınarak doğrusal olmayan regresyon analizi (DORA) yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 4.9’de modelleme verisi kullanılarak seçilen 10 adet modelin doğrusal olmayan regresyon analizi (DORA) ile tahmin edilen katsayıları ve modellere ilişkin uyum istatistikleri sunulmuştur.

Tablo 4.9: Doğrusal olmayan regresyon analizi (DORA) ile tahmin edilen katsayılar ve uyum istatistikleri (Karışık Meşcere Genel -Model Veri Seti).

Model	Katsayılar			R^2	S_e	OH	OMHY	AIC
	β_0	β_1	β_2					
Model1	1,3557	0,3781	0,0298	0,728	2,061	0,0002	7,05	13564
Model2	1,1255	0,1720	-	0,728	2,061	-0,0002	7,04	13562
Model3	27,3259	0,0597	0,9837	0,727	2,066	-0,0010	7,07	13580
Model4	27,5136	0,0634	0,9791	0,727	2,066	-0,0017	7,07	13579
Model5	4,6413	0,4668	-	0,709	2,133	-0,0100	7,40	13779
Model6	25,9997	1,7551	0,0874	0,724	2,075	-0,0015	7,14	13606
Model7	36,9633	6,0919	0,7442	0,728	2,061	0,0003	7,04	13564
Model8	25,3457	3,1018	0,1128	0,721	2,087	-0,0036	7,21	13641
Model9	33,5002	-12,5616	2,5611	0,728	2,061	0,0001	7,05	13564
Model10	27,2119	0,0609	-	0,727	2,066	-0,0003	7,08	13578

Model veri seti için hesaplanan uyum istatistikleri incelendiğinde saf kayın meşcerelerine benzer bir şekilde modellerin boy değişkenindeki varyasyonu yaklaşık %72 oranında açıkladığı ortaya çıkmıştır. Modellerin boy tahminlerini yaklaşık %7’lik bir ortalama mutlak hata yüzdesi ve 2 m’lik standart hata ile gerçekleştirmiştir (Tablo 4.9).

Tablo 4.10: Kayın +Meşe karışık meşcerelerinde genel bazda model veri seti için çap-boy modeli seçiminde kullanılan rölatif sıralama değerleri.

MODEL	Rölatif Sıralama Değerleri						Genel Sıralama
	R ²	S _e	OH	OMHY	AIC	Toplam	
Model1	1,00	1,00	9,91	1,25	1,08	14,25	1,22
Model2	1,00	1,00	9,56	1,00	1,00	13,56	1,00
Model3	1,47	1,62	8,86	1,75	1,75	15,46	1,62
Model4	1,47	1,62	8,25	1,75	1,71	14,81	1,41
Model5	10,00	10,00	1,00	10,00	10,00	41,00	10,00
Model6	2,89	2,75	8,43	3,50	2,82	20,40	3,24
Model7	1,00	1,00	10,00	1,00	1,08	14,08	1,17
Model8	4,32	4,25	6,59	5,25	4,28	24,68	4,65
Model9	1,00	1,00	9,83	1,25	1,08	14,16	1,20
Model10	1,47	1,62	9,48	2,00	1,66	16,24	1,88

Model veri seti için, aday çap-boy modelleri arasından uyum istatistikleri bakımından en iyi performans gösteren Näslund modeli (Model2) en iyi performans göstermiştir (Tablo 4.10).

Modelleme aşamasında kullanılmayan ve bağımsız bir veri seti özelliğindeki test verisi için hesaplanan uyum istatistikleri incelendiğinde modellerin boy değişkenindeki varyasyonu yaklaşık %70 oranında açıkladıkları ve yaklaşık %8’lik bir ortalama mutlak hata yüzdesi ve 2m standart hata ile tahminde bulundukları görülmektedir (Tablo 4.11).

Tablo 4.11: Kayın +Meşe karışık meşcerelerinde genel bazda çap-boy modellerinin test veri seti üzerindeki uyum istatistikleri.

Model	R ²	S _e	OH	OMHY
Model1	0,704	2,130	-0,1476	7,88
Model2	0,705	2,128	-0,1472	7,87
Model3	0,707	2,119	-0,1631	7,85
Model4	0,708	2,118	-0,1622	7,84
Model5	0,702	2,137	-0,1082	7,88
Model6	0,708	2,115	-0,1862	7,85
Model7	0,704	2,132	-0,1418	7,88
Model8	0,709	2,112	-0,2058	7,87
Model9	0,704	2,130	-0,1482	7,88
Model10	0,707	2,121	-0,1637	7,85

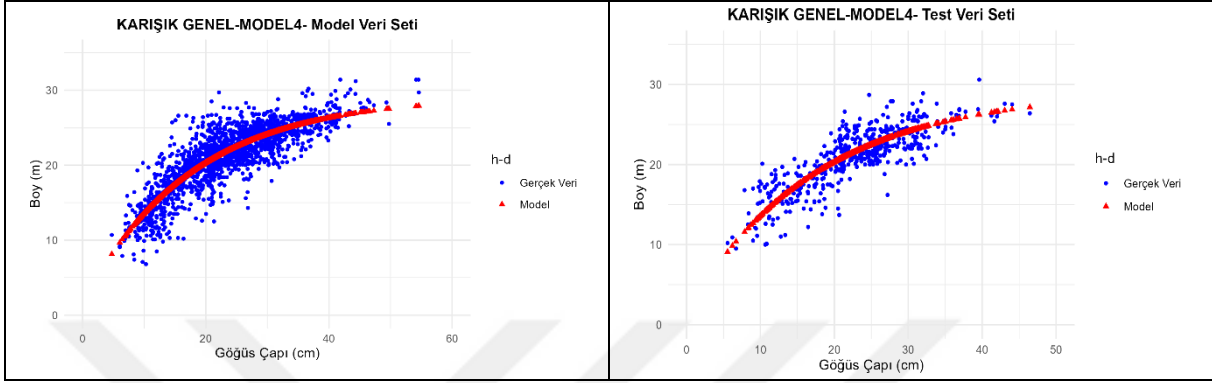
Rölatif sıralama yöntemine göre test veri seti için model veri setinden farklı olarak Weibull modeli (Model4) boy tahmininde en iyi performansı sergilemiştir (Tablo 4.12). Model verisinde hesaplanan uyum istatistikleri ile test verisinde hesaplanan uyum istatistikleri karşılaştırıldığında, modellerin model verisinde yaklaşık %2 daha fazla boydaki varyasyonu açıkladıkları ve benzer hata değerleri ($S_e=2$ m; OMHY=%7-8) ile tahminde bulunduğu belirlenmiştir.

Çap-boy modellerinin uyum istatistiklerine göre model veri setinde Model2, test veri setinde ise Model4 en iyi performans sergilemiştir. Test verisi üzerinden gerçek değerler ile Model4'den tahmin edilen değerler eşleştirilmiş t-testi ile karşılaştırılmıştır. Test sonucunda, $t=-2,160$ ve bu t istatistiğine ilişkin önem düzeyi $p<0,05$ olarak elde edilmiştir. Bu sonuca göre gerçek veriler ile tahmin edilen veriler arasında anlamlı bir fark bulunmaktadır. Kayın+Meşe karışık meşcereleri için genel bazda geliştirilen Model4'ün boy tahmininde zayıf kaldığı görülmektedir. Diğer taraftan boy tahmininde model verisine göre Model2 en iyi performansı göstermiştir. Test verisi üzerinden gerçek değerler ile Model2'den tahmin edilen değerler eşleştirilmiş t-testi ile karşılaştırılmıştır. Test sonucunda, $t=-1,949$ ve bu t istatistiğine ilişkin önem düzeyi $p>0,05$ olarak elde edilmiştir. Bu sonuca göre gerçek veriler ile tahmin edilen veriler arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır. Bu nedenle, kayın+meşe karışık meşcerelerinde genel bazda çap-boy modeli olarak Model2'in kullanılması daha uygun olacaktır.

Tablo 4.12: Kayın +Meşe karışık meşcerelerinde test veri seti için genel bazda çap-boy modeli seçiminde kullanılan rölatif sıralama değerleri.

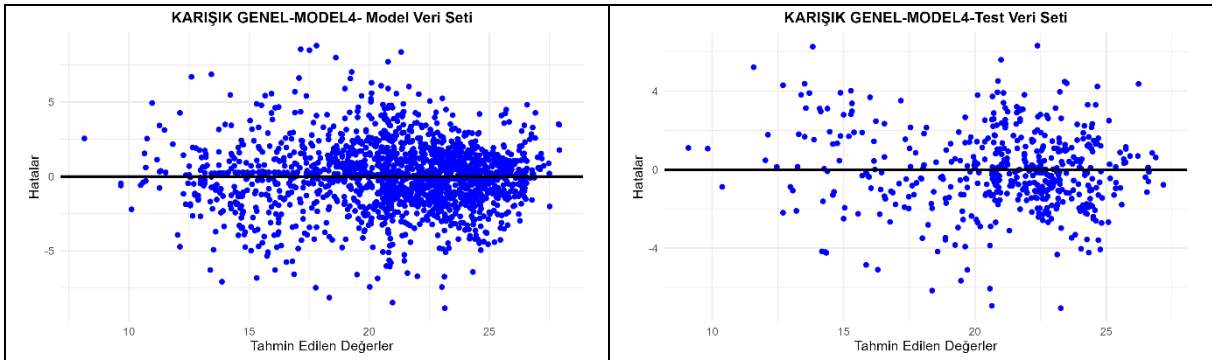
MODEL	Rölatif Sıralama Değerleri					Genel
	R^2	S_e	OH	OMHY	Toplam	Sıralama
Model1	7,43	7,48	4,63	10,00	29,54	9,29
Model2	6,14	6,76	4,60	7,75	25,25	7,21
Model3	3,57	3,52	6,06	3,25	16,40	2,93
Model4	2,29	3,16	5,98	1,00	12,43	1,00
Model5	10,00	10,00	1,00	10,00	31,00	10,00
Model6	2,29	2,08	8,19	3,25	15,81	2,64
Model7	7,43	8,20	4,10	10,00	29,73	9,38
Model8	1,00	1,00	10,00	7,75	19,75	4,55
Model9	7,43	7,48	4,69	10,00	29,60	9,32
Model10	3,57	4,24	6,12	3,25	17,18	3,30

Gözlemlenen değerler ile modelden elde edilen değerlerin çapa göre gelişimleri model ve test verisi için Şekil 4.7’de ayrı ayrı verilmiştir. Her iki veri seti için de modelin verilere genel olarak uyum sağladığı ancak model veri setinde 40 cm göğüs çapından sonra Model4’ün daha düşük tahminler verdiği görülmektedir.



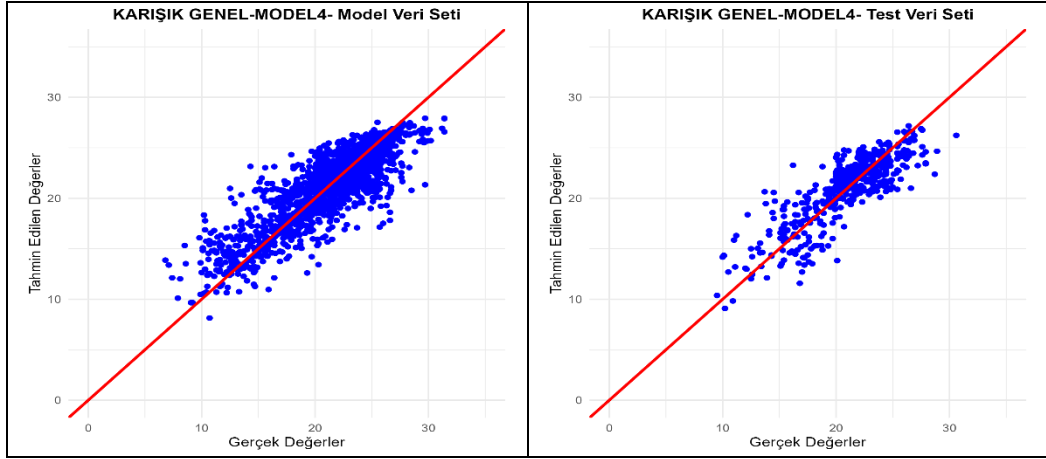
Şekil 4.7: Gözlemlenen değerler ile modelden elde edilen değerlerin göğüs çapına göre gelişimi (DORA -Karışık meşcere-Genel).

Model4’ün tahmin hatalarının tahmin edilen değerlere göre değişimi model ve test verisi için Şekil 4.8’de ayrı ayrı verilmiştir. Her iki veri seti için de hatalar arasında herhangi bir korelasyonun olmadığı ve rasgele dağıldığı görülmektedir. Modelin verilere genel olarak uyum sağladığı görülmektedir. Hataların büyük bir çoğunluğu model veri setinde -5m ile +5m, test veri setinde ise -4m ile +4m arasında değiştiği görülmektedir.



Şekil 4.8: Hataların tahmin edilen değerlere göre dağılımı (DORA -Karışık meşcere-Genel).

Gözlemlenen değerler ile modelden elde edilen değerlerin karşılaştırmalı grafikleri model ve test verisi için Şekil 4.9’da ayrı ayrı verilmiştir. Her iki veri seti için de gözlem ve tahmin edilen değerler benzer bir trend izlemiştir.



Şekil 4.9: Gözlemlenen değerler ile tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması (DORA -Karışık meşcere-Genel).

4.2.1.2. Destek Vektör Makine Öğrenmesi (DVM)

Karışık meşcerelerde genel bazda boy tahmin modeli geliştirmek için destek vektör makine öğrenmesi (DVM) algoritması kullanılmıştır. Bu model kapsamında saf kayın meşcerelerinde olduğu gibi Gauss Radyal Taban Fonksiyonu (Gaussian Radial Basis Function-RBF) kernel çekirdek fonksiyonu kullanılmış olup, düzenleme parametresi (cost) ve gama (γ) hiperparametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır. Boy tahmininde en düşük ortalama mutlak hata değerini veren parametre kombinasyonu optimum parametreler olarak kabul edilmiştir. Karışık meşcerelerde genel bazda boy tahmini yapmak için DVM kapsamında farklı hiperparametre kombinasyonlarına göre elde edilen uyum istatistikleri Tablo 4.13’de verilmiştir.

Tablo 4.13. DVM algoritmasında test verisi üzerinden farklı hiperparametre değerlerine göre uyum istatistikleri (Karışık Meşcere-Genel)

gamma	cost	R ²	S _e	OH	OMH
0,01	0,1	0,666	2,283	0,1222	1,674
0,01	1,0	0,710	2,126	-0,0083	1,550
0,01	10,0	0,719	2,095	-0,0051	1,521
0,01	100,0	0,724	2,068	0,0126	1,497
0,10	0,1	0,712	2,116	0,0039	1,544
0,10	1,0	0,728	2,058	0,0144	1,494
0,10	10,0	0,730	2,053	0,0108	1,486
0,10	100,0	0,723	2,057	0,0144	1,487
1,00	0,1	0,726	2,067	0,0073	1,493
1,00	1,0	0,729	2,054	0,0062	1,482
1,00	10,0	0,729	2,052	0,0016	1,482
1,00	100,0	0,730	2,053	0,0040	1,480
10,00	0,1	0,714	2,109	0,0097	1,520
10,00	1,0	0,727	2,059	0,0015	1,493
10,00	10,0	0,729	2,056	-0,0095	1,488
10,00	100,0	0,726	2,064	-0,0145	1,496

En düşük ortalama mutlak hata yüzdesi değeri üreten hiperparametre kombinasyonunun cost=100 ve gamma=1,0 değerleri olduğu görülmüştür (Tablo 4.13). Bu hiperparametre değerleri kullanılarak DVM modeli eğitim veri seti üzerinden tekrar eğitilmiş ve uyum istatistikleri hesaplanmıştır. Eğitilen model test veri setine uygulanmış ve tahmin değerleri üretilerek uyum istatistikleri hesaplanmıştır. Eğitim (model) ve test veri setine göre hesaplanan uyum istatistikleri Tablo 4.14’de sunulmuştur.

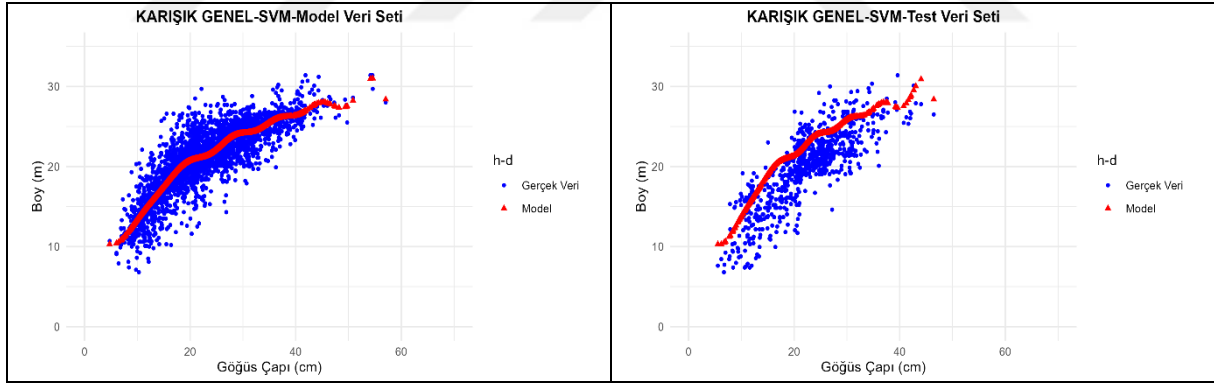
Tablo 4.14: Destek vektör makine öğrenmesi algoritmasının uyum istatistikleri (Karışık Meşcere-Genel).

Veri	R ²	S _e	OH	OMHY
Eğitim	0,732	2,047	0,0027	6,97
Test	0,452	3,379	2,248	13,95

Kayın+Meşe karışık meşcerelerde genel bazda göğüs çapına göre ağaç boyunu tahmin etmek için eğitilen DVM modeli, test veri setinde boydaki varyasyonu eğitim veri setine kıyasla %28 oranında daha düşük açıklamış ve yaklaşık %7 daha fazla ortalama mutlak hata yüzdesi ile tahminde bulunmuştur. (Tablo 4.8). Bu sonuç, eğitilen modelin bağımsız bir veri üzerinde test edildiğinde daha düşük bir performans sergilediğini göstermektedir.

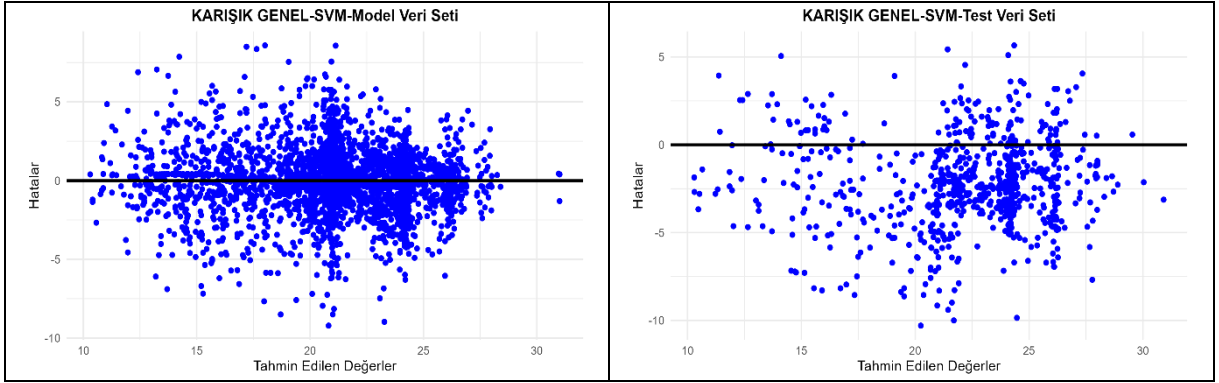
Test verisi üzerinden gerçek değerler ile DVM modelinden tahmin edilen değerler eşleştirilmiş t-testi ile karşılaştırılmıştır. Test sonucunda, $t=-25,063$ ve bu t istatistiğine ilişkin önem düzeyi $p<0,001$ olarak elde edilmiştir. Bu sonuca göre gerçek veriler ile tahmin edilen veriler arasında anlamlı bir fark bulunmaktadır. Böylece kayın+meşe karışık meşcerelerinde genel bazda boy tahmininde kullanılmak üzere DVM yöntemi ile elde edilen modelin boy tahmininde zayıf kaldığı sonucuna ulaşılmaktadır.

Gözlemlenen değerler ile modelden elde edilen değerlerin çapa göre gelişimleri eğitim(model) ve test verisi için Şekil 4.10'da ayrı ayrı verilmiştir. Eğitim (Model) veri setinde DVM modelinin verilere uyum sağladığı ancak test verisinde modelin genel olarak gözlemlenen değerlerden daha büyük tahminler verdiği görülmektedir.



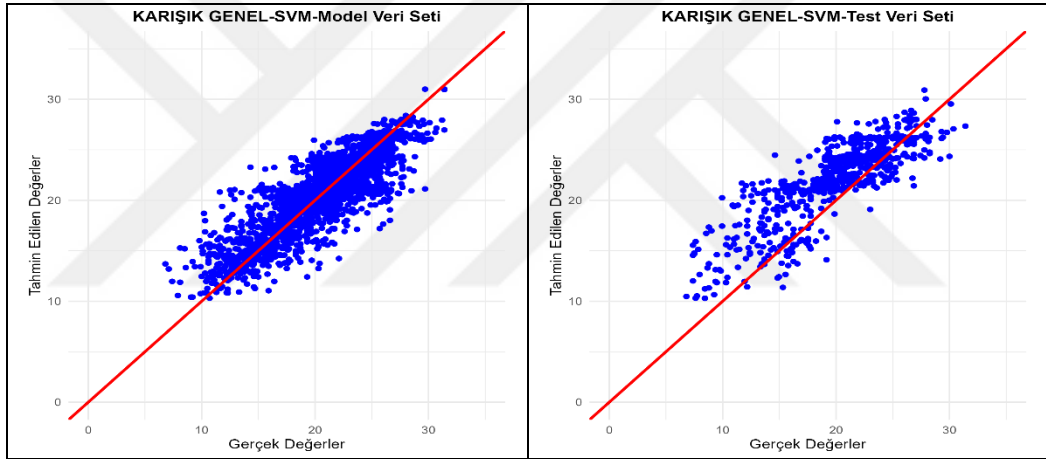
Şekil 4.10: Gözlemlenen değerler ile modelden elde edilen değerlerin göğüs çapına göre gelişimi (Karışık Meşcere Genel- DVM).

DVM modelinin tahmin hatalarının, tahmin edilen değerlere göre değişimi eğitim (model) ve test verisi için Şekil 4.11'de ayrı ayrı verilmiştir. Her iki veri seti için de hatalar arasında herhangi bir korelasyonun olmadığı ve rasgele dağıldığı görülmektedir. Hataların büyük bir çoğunluğunun -5m ile +5m arasında değiştiği görülmektedir.



Şekil 4.11:Hataların tahmin edilen değerlere göre dağılımı (Karışık Meşcere Genel-SV DVM).

Gözlemlenen değerler ile modelden elde edilen değerlerin karşılaştırmalı grafikleri eğitim (model) ve test verisi için Şekil 4.12’de ayrı ayrı verilmiştir. Test veri seti için gözlem ve tahmin edilen değerlerin birbirinden uzak olduğu görülmektedir.



Şekil 4.12: Gözlemlenen değerler ile tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması (Karışık Meşcere-Genel-DVM).

4.2.2. Karışık Meşcerelerde Kayın Ağaç Türü İçin Çap-Boy Modelleri

Bu kısımda ise karışık meşcerelerde bulunan kayın ağaç türü için kullanılan çap-boy modelleri incelenecektir.

4.2.2.1. Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi (DORA)

Diğer meşcere yapılarında olduğu gibi kayın+meşe karışık meşcereleri içerisinde yer alan kayın ağaç türü için çap-boy modellerinin geliştirilmesinde öncelikle farklı çalışmalarda başarı ile kullanılmış 10 adet aday çap-boy modeli seçilmiş ve bu modellerin katsayıları model veri seti esas alınarak doğrusal olmayan regresyon analizi (DORA) yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 4.15’de modelleme verisi kullanılarak seçilen 10 adet modelin doğrusal

olmayan regresyon analizi (DORA) ile tahmin edilen katsayıları ve modellere ilişkin uyum istatistikleri sunulmuştur.

Tablo 4.15: Doğrusal olmayan regresyon analizi (DORA) ile tahmin edilen katsayılar ve uyum istatistikleri (Karışık meşcere Kayın -Model Veri Seti).

Model	Katsayılar			R ²	S _e	OH	OMHY	AIC
	β_0	β_1	β_2					
Model1	1,2090	0,4098	0,0289	0,740	2,096	0,0006	7,11	8345
Model2	1,1585	0,1710	-	0,740	2,096	0,0013	7,11	8344
Model3	27,7658	0,0568	0,9753	0,739	2,099	-0,0008	7,14	8353
Model4	27,9544	0,0614	0,9757	0,739	2,099	-0,0015	7,14	8352
Model5	4,4612	0,4778	-	0,722	2,169	-0,0114	7,49	8476
Model6	26,2771	1,7762	0,0852	0,737	2,108	-0,0015	7,21	8367
Model7	39,1507	5,7712	0,6951	0,740	2,096	0,0006	7,10	8346
Model8	25,5524	3,2075	0,1114	0,734	2,120	-0,0038	7,28	8390
Model9	34,3713	-13,6670	3,2004	0,740	2,095	0,0002	7,11	8345
Model10	27,5780	0,0587	-	0,739	2,099	0,0004	7,15	8351

Model veri seti için hesaplanan uyum istatistikleri incelendiğinde modellerin boy değişkenindeki varyasyonu yaklaşık %74 oranında açıkladığı ve yaklaşık %7'lik ortalama mutlak hata yüzdesi ve 2 m'lik standart hata ile tahminde bulundukları sonucuna ulaşılmıştır (Tablo 4.15).

Tablo 4.16: Kayın +Meşe karışık meşcerelerinde kayın ağaç türünde model veri seti için çap-boy modeli seçiminde kullanılan rölatif sıralama değerleri.

MODEL	Rölatif Sıralama Değerleri						Genel Sıralama
	R ²	S _e	OH	OMHY	AIC	Toplam	
Model1	1,00	1,04	1,32	1,23	1,07	5,66	1,07
Model2	1,05	1,05	1,88	1,23	1,00	6,21	1,18
Model3	1,49	1,53	1,48	1,92	1,61	8,03	1,55
Model4	1,49	1,50	2,04	1,92	1,55	8,50	1,64
Model5	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	50,00	10,00
Model6	2,46	2,51	2,04	3,54	2,57	13,12	2,57
Model7	1,05	1,09	1,32	1,00	1,14	5,59	1,06
Model8	3,97	3,99	3,89	5,15	4,14	21,14	4,19
Model9	1,00	1,00	1,00	1,23	1,07	5,30	1,00
Model10	1,54	1,54	1,16	2,15	1,48	7,87	1,52

Model veri seti için, aday çap-boy modelleri arasından uyum istatistikleri bakımından Exponential-Üstel model (Model9) en iyi performansı sergilemiştir. (Tablo 4.16).

Tablo 4.17: Kayın +Meşe karışık meşcerelerinde kayın ağaç türü için çap-boy modellerinin test veri seti üzerindeki uyum istatistikleri.

Model	R ²	S _e	OH	OMHY
Model1	0,704	1,997	-0,0502	7,29
Model2	0,703	1,999	-0,0522	7,30
Model3	0,706	1,989	-0,0587	7,26
Model4	0,706	1,988	-0,0574	7,25
Model5	0,704	1,997	0,0263	7,30
Model6	0,707	1,987	-0,0773	7,26
Model7	0,704	1,998	-0,0450	7,29
Model8	0,708	1,984	-0,0919	7,27
Model9	0,704	1,996	-0,0509	7,28
Model10	0,705	1,992	-0,0606	7,27

Modelleme aşamasında kullanılmayan ve bağımsız bir veri seti özelliğindeki test verisi için hesaplanan uyum istatistikleri incelendiğinde modellerin boy değişkenindeki varyasyonu yaklaşık %70 oranında açıkladıkları ve yaklaşık %7'lik bir ortalama mutlak hata yüzdesi ve 2m standart hata ile tahminde bulundukları görülmektedir (Tablo 4.17).

Tablo 4.18: Kayın +Meşe karışık meşcerelerinde kayın ağaç türü için test verisi üzerinden çap-boy modeli seçiminde kullanılan rölatif sıralama değerleri.

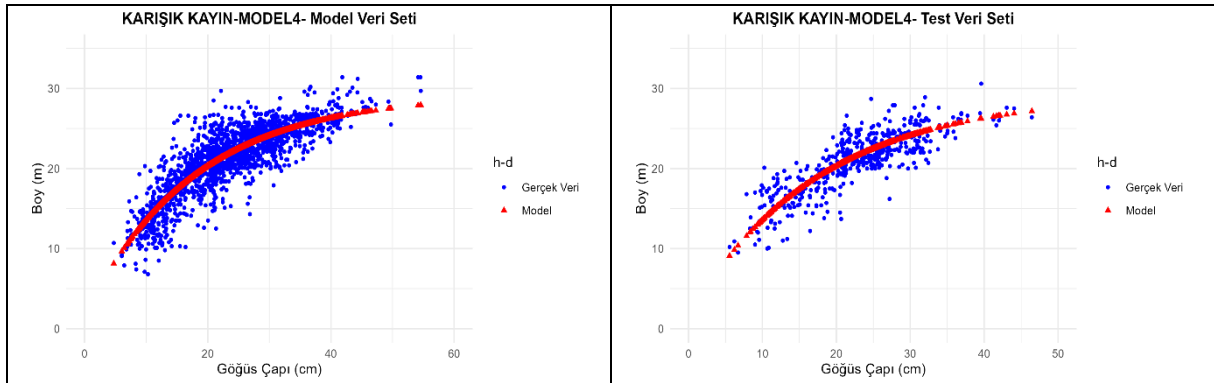
MODEL	Rölatif Sıralama Değerleri					Genel Sıralama
	R ²	S _e	OH	OMHY	Toplam	
Model1	8,43	8,48	4,28	8,20	29,39	7,86
Model2	10,00	10,00	4,55	10,00	34,55	10,00
Model3	3,93	3,98	5,45	2,80	16,16	2,36
Model4	3,35	3,28	5,27	1,00	12,89	1,00
Model5	8,63	8,66	1,00	10,00	28,29	7,40
Model6	2,57	2,46	8,00	2,80	15,82	2,22
Model7	9,02	9,12	3,57	8,20	29,91	8,07
Model8	1,00	1,00	10,00	4,60	16,60	2,54
Model9	7,65	7,72	4,38	6,40	26,15	6,51
Model10	5,30	5,38	5,71	4,60	20,99	4,37

Rölatif sıralama yöntemine göre test veri seti için model veri setinden farklı olarak Weibull modeli (Model4) boy tahmininde en iyi performansı sergilemiştir (Tablo 4.18). Model verisinde

hesaplanan uyum istatistikleri ile test verisinde hesaplanan uyum istatistikleri karşılaştırıldığında, modellerin model verisinde yaklaşık %4 daha fazla boydaki varyasyonu açıkladıkları ve benzer hata değerleri ($S_e=2$ m; $OMHY=0\%$) ile tahminde bulunduğu belirlenmiştir. Çap-boy modellerinin uyum istatistiklerine göre model veri setinde Model9, test veri setinde ise Model4 en iyi performans sergilemiştir. Bu nedenle test verisi üzerinden hesaplanan uyum istatistiklerine göre seçilen Model4, kayın+meşe karışık meşcerelerinde kayın ağaç türü için çap-boy modeli olarak kabul edilmiştir.

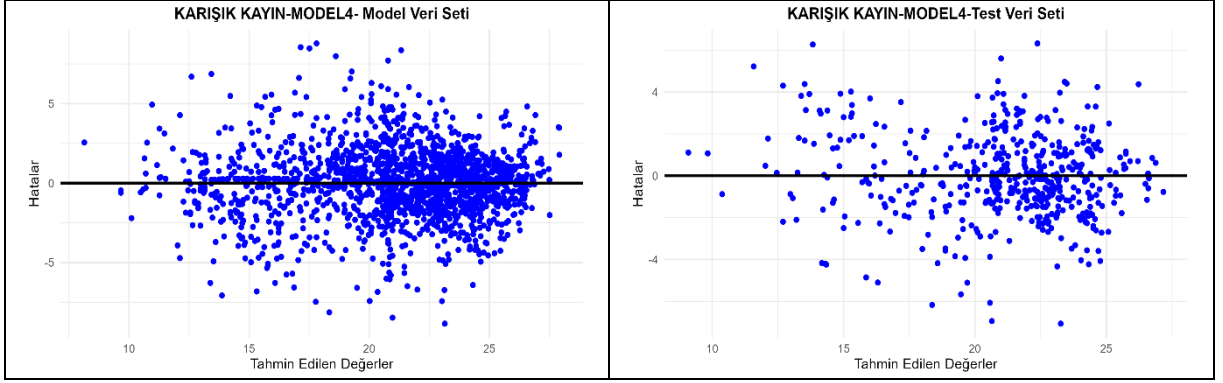
Test verisi üzerinden gerçek değerler ile Model4'den tahmin edilen değerler eşleştirilmiş t-testi ile karşılaştırılmıştır. Test sonucunda, $t=-0,651$ ve bu t istatistiğine ilişkin önem düzeyi $p>0,05$ olarak elde edilmiştir. Bu sonuca göre gerçek veriler ile tahmin edilen veriler arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır. Böylece kayın+meşe karışık meşcerelerinde kayın ağaç türü için boy tahmininde kullanılmak üzere katsayıları hesaplanan Model4'ün geçerliliği test edilmiş olmaktadır.

Gözlemlenen değerler ile modelden elde edilen değerlerin çapa göre gelişimleri model ve test verisi için Şekil 4.13'de ayrı ayrı verilmiştir. Her iki veri seti için de modelin verilere genel olarak uyum sağladığı ancak model veri setinde 40 cm göğüs çapından sonra Model4'ün daha düşük tahminler verdiği görülmektedir.



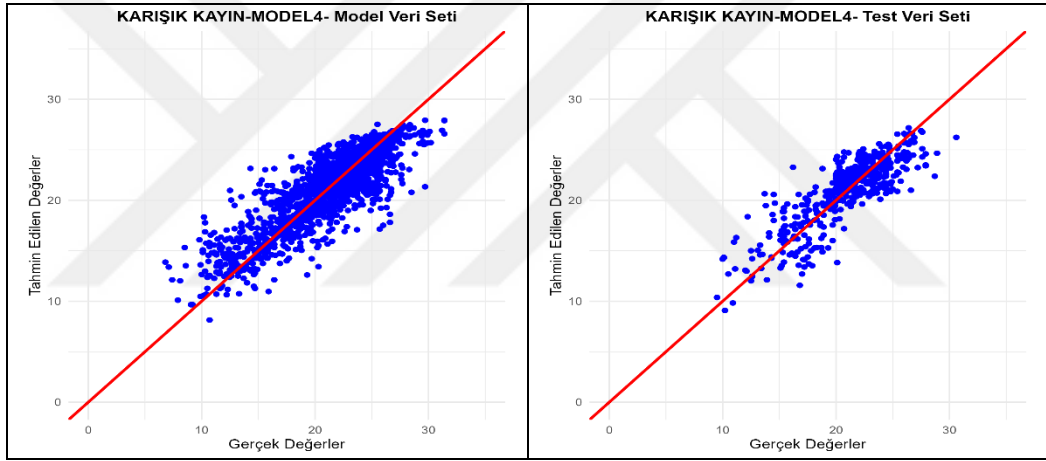
Şekil 4.13: Gözlemlenen değerler ile modelden elde edilen değerlerin göğüs çapına göre gelişimi (DORA -Karışık meşcere-Kayın).

Model4'ün tahmin hatalarının tahmin edilen değerlere göre değişimi model ve test verisi için Şekil 4.14'de ayrı ayrı verilmiştir. Her iki veri seti için de hatalar arasında herhangi bir korelasyonun olmadığı ve rasgele dağıldığı görülmektedir. Modelin verilere genel olarak uyum sağladığı görülmektedir. Hataların büyük bir çoğunluğu model veri setinde -5m ile +5m, test veri setinde ise -4m ile +4m arasında değiştiği görülmektedir.



Şekil 4.14: Hataların tahmin edilen değerlere göre dağılımı (DORA -Karışık Meşcere-Kayın).

Gözlemlenen değerler ile modelden elde edilen değerlerin karşılaştırmalı grafikleri model ve test verisi için Şekil 4.15’de ayrı ayrı verilmiştir. Her iki veri seti için de gözlem ve tahmin edilen değerler benzer bir trend izlemiştir.



Şekil 4.15: Gözlemlenen değerler ile tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması (DORA -Karışık meşcere-Kayın).

4.2.2.2. Destek Vektör Makine Öğrenmesi (DVM)

Karışık meşcerelerde kayın ağaç türü için boy tahmin modeli geliştirmek için destek vektör makine öğrenmesi (DVM) algoritması kullanılmıştır. Bu model kapsamında diğer meşcere yapılarında olduğu gibi Gauss Radyal Taban Fonksiyonu (Gaussian Radial Basis Function-RBF) kernel çekirdek fonksiyonu kullanılmış olup, düzenleme parametresi (cost) ve gama (γ) hiperparametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır. Boy tahmininde en düşük ortalama mutlak hata değerini veren parametre kombinasyonu optimum parametreler olarak kabul edilmiştir. Karışık meşcerelerde kayın ağaç türünde boy tahmini yapmak için DVM kapsamında farklı hiperparametre kombinasyonlarına göre elde edilen uyum istatistikleri Tablo 4.19’da verilmiştir.

En düşük ortalama mutlak hata yüzdesi değeri üreten hiperparametre kombinasyonunun $\text{cost}=10$ ve $\text{gamma}=1$ değerleri olduğu görülmüştür (Tablo 4.19).

Tablo 4.19: DVM algoritmasında test verisi üzerinden farklı hiperparametre değerlerine göre uyum istatistikleri (Karışık Meşcere-Kayın)

gamma	cost	R²	S_e	OH	OMH
0,01	0,1	0,655	2,411	0,2039	1,765
0,01	1,0	0,718	2,181	0,0452	1,597
0,01	10,0	0,729	2,132	0,0042	1,557
0,01	100,0	0,738	2,102	-0,0077	1,525
0,10	0,1	0,719	2,174	0,0263	1,593
0,10	1,0	0,739	2,093	0,0409	1,523
0,10	10,0	0,742	2,088	0,0483	1,516
0,10	100,0	0,741	2,089	0,0556	1,514
1,00	0,1	0,735	2,114	0,0344	1,535
1,00	1,0	0,740	2,094	0,0256	1,514
1,00	10,0	0,741	2,088	0,0339	1,512
1,00	100,0	0,739	2,091	0,0274	1,515
10,00	0,1	0,718	2,179	0,0518	1,572
10,00	1,0	0,737	2,108	0,0343	1,532
10,00	10,0	0,735	2,104	0,0284	1,529
10,00	100,0	0,737	2,101	0,0117	1,532

Bu hiperparametre değerleri kullanılarak DVM modeli eğitim veri seti üzerinden tekrar eğitilmiş ve uyum istatistikleri hesaplanmıştır. Eğitilen model test veri setine uygulanmış ve tahmin değerleri üretilerek uyum istatistikleri hesaplanmıştır. Eğitim (model) ve test veri setine göre hesaplanan uyum istatistikleri Tablo 4.20’de sunulmuştur.

Tablo 4.20: Destek vektör makine öğrenmesi algoritmasının uyum istatistikleri (Karışık Meşcere-Kayın).

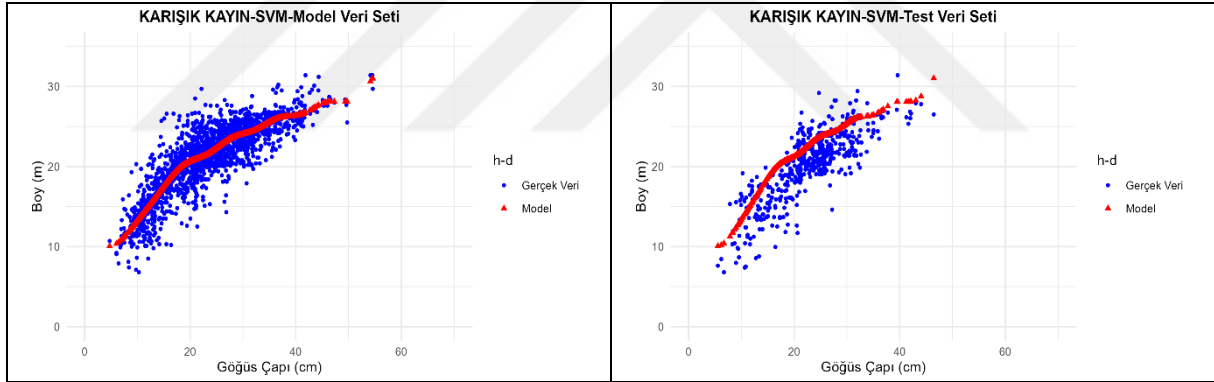
Veri	R²	S_e	OH	OMHY
Eğitim	0,743	2,082	0,035	7,05
Test	0,503	3,016	1,8662	12,12

Kayın+Meşe karışık meşcerelerde kayın ağaç türü için göğüs çapına göre ağaç boyunu tahmin etmek için eğitilen DVM modeli, test veri setinde boydaki varyasyonu eğitim veri setine

kıyasla %24 oranında daha düşük açıklamış ve yaklaşık %5 daha fazla ortalama mutlak hata yüzdesi ile tahminde bulunmuştur. (Tablo 4.20). Bu sonuç, eğitilen modelin bağımsız bir veri üzerinde test edildiğinde daha düşük bir performans sergilediğini göstermektedir.

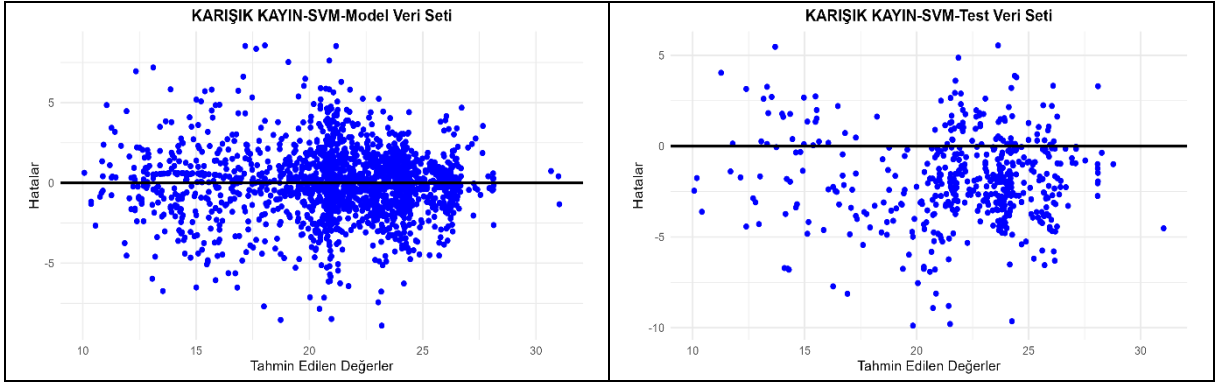
Test verisi üzerinden gerçek değerler ile DVM modelinden tahmin edilen değerler eşleştirilmiş t-testi ile karşılaştırılmıştır. Test sonucunda, $t=-17,771$ ve bu t istatistiğine ilişkin önem düzeyi $p<0,001$ olarak elde edilmiştir. Bu sonuca göre gerçek veriler ile tahmin edilen veriler arasında anlamlı bir fark bulunmaktadır. Böylece kayın+meşe karışık meşcerelerinde kayın ağaç türü için boy tahmininde kullanılmak üzere DVM yöntemi ile elde edilen modelin boy tahmininde zayıf kaldığı sonucuna ulaşılmaktadır.

Gözlemlenen değerler ile modelden elde edilen değerlerin çapa göre gelişimleri eğitim(model) ve test verisi için Şekil 4.16’da ayrı ayrı verilmiştir. Eğitim (Model) veri setinde DVM modelinin verilere uyum sağladığı ancak test verisinde modelin genel olarak gözlemlenen değerlerden daha büyük tahminler verdiği görülmektedir.



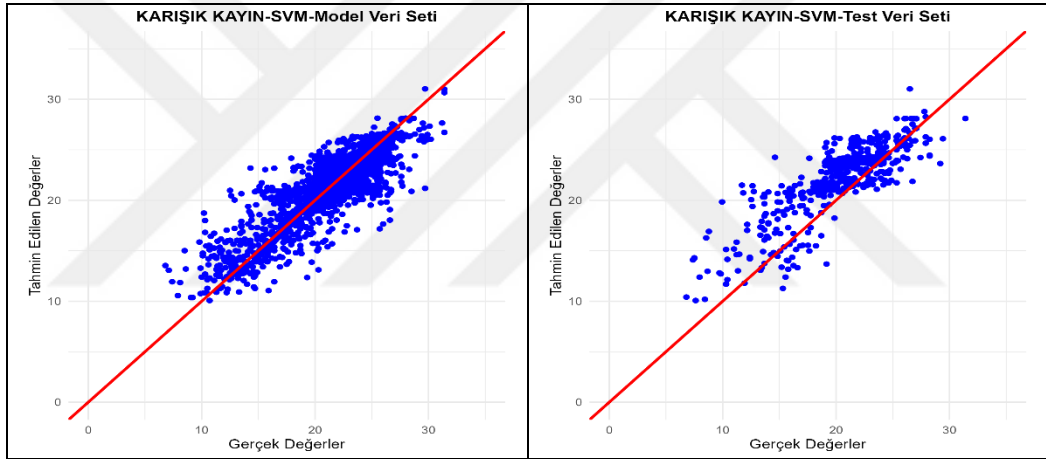
Şekil 4.16: Gözlemlenen değerler ile modelden elde edilen değerlerin göğüs çapına göre gelişimi (Karışık Meşcere Kayın- DVM).

DVM modelinin tahmin hatalarının, tahmin edilen değerlere göre değişimi eğitim (model) ve test verisi için Şekil 4.17’de ayrı ayrı verilmiştir. Her iki veri seti için de hatalar arasında herhangi bir korelasyonun olmadığı ve rasgele dağıldığı görülmektedir. Hataların büyük bir çoğunluğunun -5m ile +5m arasında değiştiği görülmektedir.



Şekil 4.17:Hataların tahmin edilen değerlere göre dağılımı (Karışık Meşcere Kayın- DVM).

Gözlemlenen değerler ile modelden elde edilen değerlerin karşılaştırmalı grafikleri eğitim (model) ve test verisi için Şekil 4.18’de ayrı ayrı verilmiştir. Test veri seti için gözlem ve tahmin edilen değerlerin birbirinden uzak olduğu görülmektedir.



Şekil 4.18: Gözlemlenen değerler ile tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması (Karışık Meşcere Kayın- DVM).

4.2.3. Karışık Meşcerelerde Meşe Ağaç Türü İçin Çap-Boy Modelleri

Bu kısımda ise karışık meşcerelerde bulunan meşe ağaç türü için kullanılan çap-boy modelleri incelenecektir.

4.2.3.1. Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi (DORA)

Diğer meşcere yapılarında olduğu gibi kayın+meşe karışık meşcereleri içerisinde yer alan meşe ağaç türü için çap-boy modellerinin geliştirilmesinde öncelikle farklı çalışmalarda başarı ile kullanılmış 10 adet aday çap-boy modeli seçilmiş ve bu modellerin katsayıları model veri seti esas alınarak doğrusal olmayan regresyon analizi (DORA) yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 4.21’de modelleme verisi kullanılarak seçilen 10 adet modelin doğrusal

olmayan regresyon analizi (DORA) ile tahmin edilen katsayıları ve modellere ilişkin uyum istatistikleri sunulmuştur.

Tablo 4.21: Doğrusal olmayan regresyon analizi (DORA) ile tahmin edilen katsayılar ve uyum istatistikleri (Karışık meşcere Meşe -Model Veri Seti).

Model	Katsayılar			R ²	S _e	OH	OMHY	AIC
	β_0	β_1	β_2					
Model1	1,6056	0,3295	0,0312	0,705	1,997	-0,0003	6,96	5213
Model2	1,0801	0,1735	-	0,705	1,998	-0,0016	6,96	5211
Model3	26,6478	0,0649	1,0081	0,704	2,002	-0,0010	6,99	5219
Model4	26,7982	0,0653	0,9922	0,704	2,002	-0,0016	6,99	5219
Model5	4,8904	0,4523	-	0,685	2,065	-0,0079	7,21	5293
Model6	25,5809	1,7299	0,0911	0,701	2,010	-0,0011	7,04	5228
Model7	34,0056	6,8620	0,8343	0,705	1,996	-0,0001	6,96	5212
Model8	25,0154	2,9702	0,1155	0,699	2,019	-0,0026	7,09	5239
Model9	32,2016	-10,9373	1,5037	0,705	1,997	0,0000	6,96	5212
Model10	26,6970	0,0643	-	0,704	2,002	-0,0012	6,99	5217

Model veri seti için hesaplanan uyum istatistikleri incelendiğinde modellerin boy değişkenindeki varyasyonu yaklaşık %70 oranında açıkladığı ve yaklaşık %7'lik ortalama mutlak hata yüzdesi ve 2 m'lik standart hata ile tahminde bulundukları sonucuna ulaşılmıştır (Tablo 4.21).

Tablo 4.22: Kayın +Meşe karışık meşcerelerinde meşe ağaç türünde model veri seti için çap-boy modeli seçiminde kullanılan rölatif sıralama değerleri.

MODEL	Rölatif Sıralama Değerleri						Genel Sıralama
	R ²	S _e	OH	OMHY	AIC	Toplam	
Model1	1,04	1,07	1,34	1,00	1,22	5,67	1,10
Model2	1,13	1,16	2,82	1,00	1,00	7,11	1,39
Model3	1,75	1,77	2,14	2,08	1,88	9,61	1,89
Model4	1,75	1,77	2,82	2,08	1,88	10,30	2,03
Model5	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	50,00	10,00
Model6	2,68	2,73	2,25	3,88	2,87	14,41	2,85
Model7	1,00	1,00	1,11	1,00	1,11	5,22	1,01
Model8	3,91	3,95	3,96	5,68	4,07	21,57	4,29
Model9	1,04	1,04	1,00	1,00	1,11	5,19	1,00
Model10	1,75	1,77	2,37	2,08	1,66	9,62	1,89

Model veri seti için, aday çap-boy modelleri arasından uyum istatistikleri bakımından Exponential-Üstel model (Model9) en iyi performansı sergilemiştir (Tablo 4.22). Modelleme aşamasında kullanılmayan ve bağımsız bir veri seti özelliğindeki test verisi için hesaplanan uyum istatistikleri incelendiğinde modellerin boy değişkenindeki varyasyonu yaklaşık %70 oranında açıkladıkları ve yaklaşık %9'lık bir ortalama mutlak hata yüzdesi ve 2,4m standart hata ile tahminde bulundukları görülmektedir (Tablo 4.23).

Tablo 4.23: Kayın +Meşe karışık meşcerelerinde meşe ağaç türü için çap-boy modellerinin test veri seti üzerindeki uyum istatistikleri.

Model	R ²	S _e	OH	OMHY
Model1	0,697	2,374	-0,2814	9,06
Model2	0,699	2,367	-0,2877	9,03
Model3	0,699	2,363	-0,3101	9,04
Model4	0,700	2,362	-0,3110	9,03
Model5	0,691	2,397	-0,3161	9,05
Model6	0,701	2,360	-0,3379	9,06
Model7	0,696	2,377	-0,2737	9,07
Model8	0,701	2,359	-0,3642	9,08
Model9	0,697	2,376	-0,2781	9,07
Model10	0,700	2,362	-0,3105	9,04

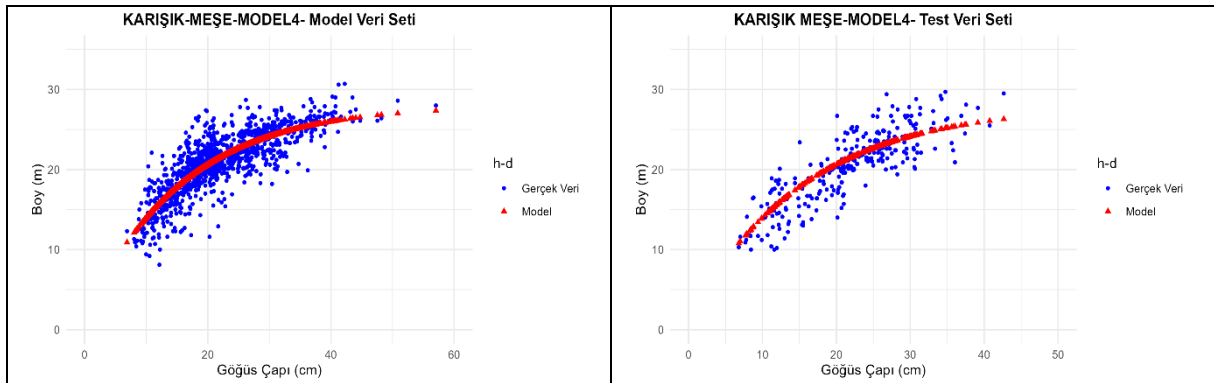
Rölatif sıralama yöntemine göre test veri seti için model veri setinden farklı olarak Weibull modeli (Model4) boy tahmininde en iyi performansı sergilemiştir (Tablo 4.24).

Tablo 4.24: Kayın +Meşe karışık meşcerelerinde meşe ağaç türü için test verisi üzerinden çap-boy modeli seçiminde kullanılan rölatif sıralama değerleri.

MODEL	Rölatif Sıralama Değerleri					Genel Sıralama
	R ²	S _e	OH	OMHY	Toplam	
Model1	4,49	4,52	1,77	6,40	17,18	4,54
Model2	2,93	2,89	2,39	1,00	9,21	1,11
Model3	1,83	1,78	4,62	2,80	11,03	1,89
Model4	1,64	1,61	4,71	1,00	8,97	1,00
Model5	10,00	10,00	5,22	4,60	29,82	10,00
Model6	1,09	1,09	7,38	6,40	15,97	4,02
Model7	5,13	5,18	1,00	8,20	19,51	5,55
Model8	1,00	1,00	10,00	10,00	22,00	6,63
Model9	4,95	4,99	1,44	8,20	19,58	5,58
Model10	1,73	1,71	4,66	2,80	10,90	1,84

Model verisinde hesaplanan uyum istatistikleri ile test verisinde hesaplanan uyum istatistikleri karşılaştırıldığında, modellerin benzer oranlarda (%70) boydaki varyasyonu açıkladıkları fakat modellerin test verisi üzerinde daha fazla ortalama mutlak hata ve standart hata ($S_e=2.4$ m; OMHY=%9) ile tahminde bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çap-boy modellerinin uyum istatistiklerine göre model veri setinde Model9, test veri setinde ise Model4 en iyi performans sergilemiştir. Test verisi üzerinden gerçek değerler ile Model4’den tahmin edilen değerler eşleştirilmiş t-testi ile karşılaştırılmıştır. Test sonucunda, $t=-2,227$ ve bu t istatistiğine ilişkin önem düzeyi $p<0,05$ olarak elde edilmiştir. Bu sonuca göre gerçek veriler ile tahmin edilen veriler arasında anlamlı bir fark bulunmaktadır. Kayın+Meşe karışık meşcerelerinde meşe ağaç türü için geliştirilen Model4’ün boy tahmininde zayıf kaldığı görülmektedir. Diğer taraftan boy tahmininde model verisine göre Model9 en iyi performansı göstermiştir. Test verisi üzerinden gerçek değerler ile Model9’dan tahmin edilen değerler eşleştirilmiş t-testi ile karşılaştırılmıştır. Test sonucunda, $t=-1,975$ ve bu t istatistiğine ilişkin önem düzeyi $p>0,05$ olarak elde edilmiştir. Bu sonuca göre gerçek veriler ile tahmin edilen veriler arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır. Bu nedenle, kayın+meşe karışık meşcerelerinde meşe ağaç türü için çap-boy modeli olarak Model9’un kullanılması daha uygun olacaktır.

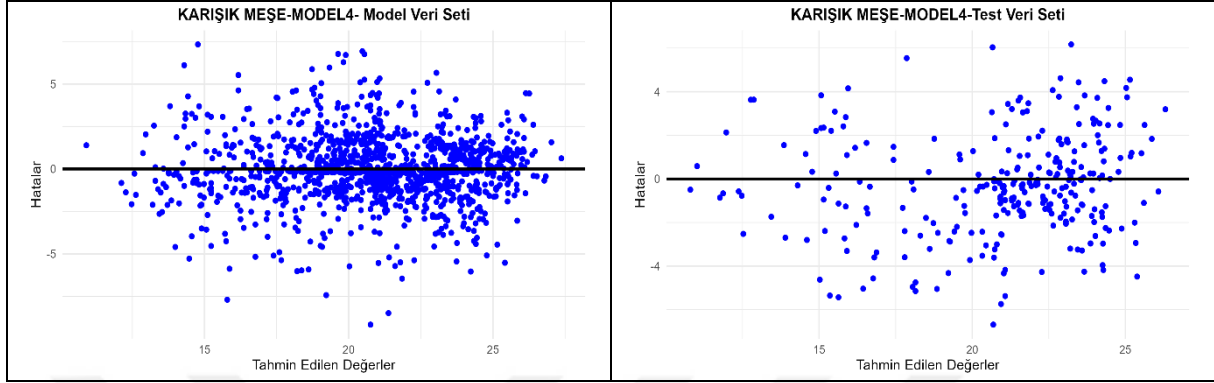
Gözlemlenen değerler ile modelden elde edilen değerlerin çapa göre gelişimleri model ve test verisi için Şekil 4.19’da ayrı ayrı verilmiştir. Her iki veri seti için de modelin verilere genel olarak uyum sağladığı ancak model veri setinde 40 cm göğüs çapından sonra Model4’ün daha düşük tahminler verdiği görülmektedir.



Şekil 4.19:Gözlemlenen değerler ile modelden elde edilen değerlerin göğüs çapına göre gelişimi (DORA -Karışık meşcere-Meşe).

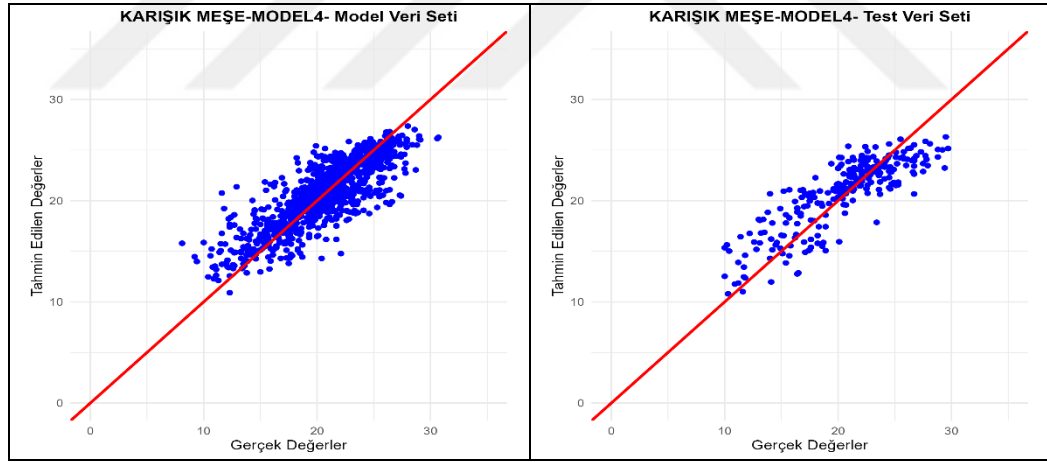
Model4’ün tahmin hatalarının tahmin edilen değerlere göre değişimi model ve test verisi için Şekil 4.20’de ayrı ayrı verilmiştir. Her iki veri seti için de hatalar arasında herhangi bir

korelasyonun olmadığı ve rasgele dağıldığı görülmektedir. Modelin verilere genel olarak uyum sağladığı görülmektedir. Hataların büyük bir çoğunluğu model veri setinde -5m ile +5m, test veri setinde ise -4m ile +4m arasında değiştiği görülmektedir.



Şekil 4.20: Hataların tahmin edilen değerlere göre dağılımı (DORA -Karışık meşcere-Meşe).

Gözlemlenen değerler ile modelden elde edilen değerlerin karşılaştırmalı grafikleri model ve test verisi için Şekil 4.21’de ayrı ayrı verilmiştir. Her iki veri seti için de gözlem ve tahmin edilen değerler benzer bir trend izlemiştir.



Şekil 4.21: Gözlemlenen değerler ile tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması (DORA -Karışık meşcere-Meşe).

4.2.3.2. Destek Vektör Makine Öğrenmesi (DVM)

Karışık meşcerelerde meşe ağaç türü için boy tahmin modeli geliştirmek için destek vektör makine öğrenmesi (DVM) algoritması kullanılmıştır. Bu model kapsamında diğer meşcere yapılarında olduğu gibi Gauss Radyal Taban Fonksiyonu (Gaussian Radial Basis Function-RBF) kernel çekirdek fonksiyonu kullanılmış olup, düzenleme parametresi (cost) ve gama (γ) hiperparametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır. Boy tahmininde en düşük ortalama mutlak hata değerini veren parametre kombinasyonu optimum parametreler olarak kabul

edilmiştir. Karışık meşcerelerde meşe ağaç türünde boy tahmini yapmak için DVM kapsamında farklı hiperparametre kombinasyonlarına göre elde edilen uyum istatistikleri Tablo 4.25’de verilmiştir.

En düşük ortalama mutlak hata yüzdesi değeri üreten hiperparametre kombinasyonunun kayın ağaç türünde olduğu gibi $cost=10$ ve $gamma=1$ değerleri olduğu görülmüştür (Tablo 4.25). Bu hiperparametre değerleri kullanılarak DVM modeli eğitim veri seti üzerinden tekrar eğitilmiş ve uyum istatistikleri hesaplanmıştır. Eğitilen model test veri setine uygulanmış ve tahmin değerleri üretilerek uyum istatistikleri hesaplanmıştır. Eğitim (model) ve test veri setine göre hesaplanan uyum istatistikleri Tablo 4.26’da sunulmuştur.

Tablo 4.25: DVM algoritmasında test verisi üzerinden farklı hiperparametre değerlerine göre uyum istatistikleri (Karışık Meşcere-Meşe)

gamma	cost	R²	S_e	OH	OMH
0,01	0,1	0,599	2,325	0,1754	1,722
0,01	1,0	0,675	2,091	0,0200	1,523
0,01	10,0	0,692	2,038	-0,0440	1,483
0,01	100,0	0,696	2,018	-0,0244	1,467
0,10	0,1	0,672	2,103	0,0259	1,538
0,10	1,0	0,697	2,013	-0,0225	1,468
0,10	10,0	0,704	1,999	-0,0402	1,453
0,10	100,0	0,704	1,995	-0,0325	1,445
1,00	0,1	0,696	2,025	-0,0373	1,467
1,00	1,0	0,703	2,001	-0,0523	1,441
1,00	10,0	0,705	1,988	-0,0534	1,437
1,00	100,0	0,702	1,992	-0,0541	1,438
10,00	0,1	0,679	2,082	-0,0444	1,515
10,00	1,0	0,699	2,015	-0,0611	1,459
0,01	0,1	0,599	2,325	0,1754	1,722
0,01	1,0	0,675	2,091	0,0200	1,523

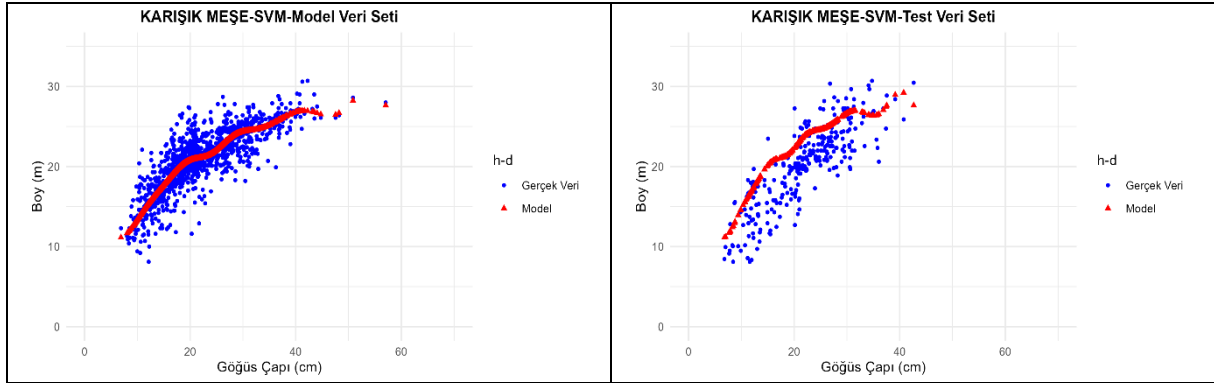
Kayın+Meşe karışık meşcerelerde meşe ağaç türü için göğüs çapına göre ağaç boyunu tahmin etmek için eğitilen DVM modeli, test veri setinde boydaki varyasyonu eğitim veri setine kıyasla %29 oranında daha düşük açıklamış ve yaklaşık %9 daha fazla ortalama mutlak hata yüzdesi ile tahminde bulunmuştur. (Tablo 4.26). Bu sonuç, eğitilen modelin bağımsız bir veri üzerinde test edildiğinde daha düşük bir performans sergilediğini göstermektedir.

Tablo 4.26: Destek vektör makine öğrenmesi algoritmasının uyum istatistikleri (Karışık Meşcere-Meşe).

Veri	R ²	S _e	OH	OMHY
Eğitim	0.710	1.981	-0.0520	6.80
Test	0.416	3.781	2.5600	15.6

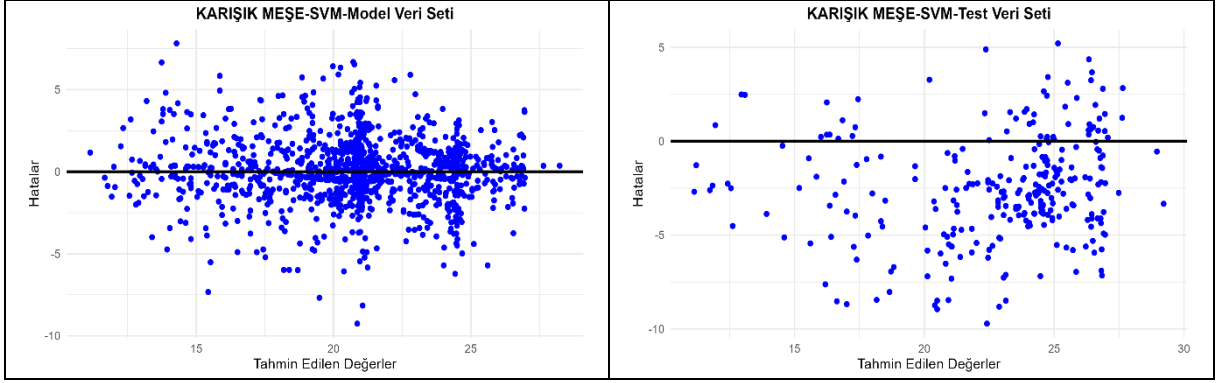
Test verisi üzerinden gerçek değerler ile DVM modelinden tahmin edilen değerler eşleştirilmiş t-testi ile karşılaştırılmıştır. Test sonucunda, $t=-15,425$ ve bu t istatistiğine ilişkin önem düzeyi $p<0,001$ olarak elde edilmiştir. Bu sonuca göre gerçek veriler ile tahmin edilen veriler arasında anlamlı bir fark bulunmaktadır. Böylece kayın+meşe karışık meşcerelerinde meşe ağaç türü için boy tahmininde kullanılmak üzere DVM yöntemi ile elde edilen modelin boy tahmininde zayıf kaldığı sonucuna ulaşılmaktadır.

Gözlemlenen değerler ile modelden elde edilen değerlerin çapa göre gelişimleri eğitim(model) ve test verisi için Şekil 4.16’da ayrı ayrı verilmiştir. Eğitim (Model) veri setinde DVM modelinin verilere uyum sağladığı ancak test verisinde modelin genel olarak gözlemlenen değerlerden daha büyük tahminler verdiği görülmektedir.



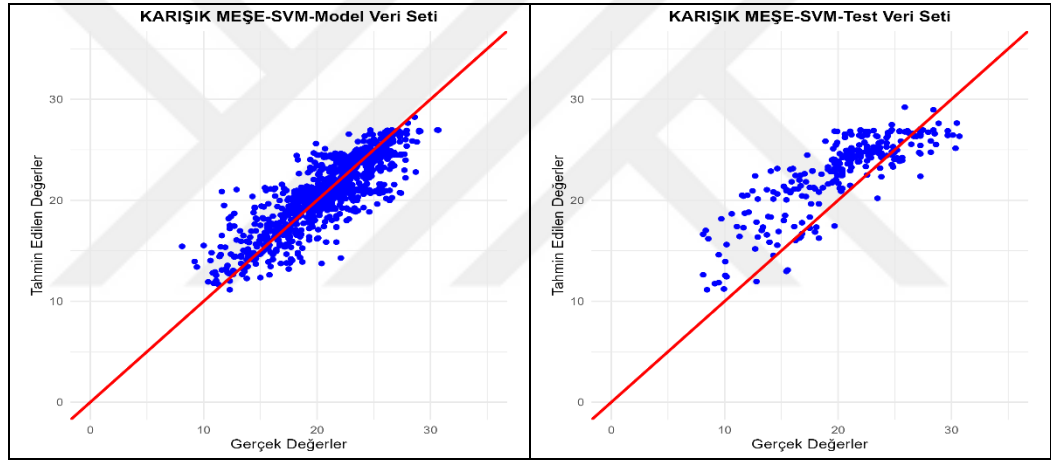
Şekil 4.22: Gözlemlenen değerler ile modelden elde edilen değerlerin göğüs çapına göre gelişimi (Karışık Meşcere Meşe- DVM).

DVM modelinin tahmin hatalarının, tahmin edilen değerlere göre değişimi eğitim (model) ve test verisi için Şekil 4.23’de ayrı ayrı verilmiştir. Her iki veri seti için de hatalar arasında herhangi bir korelasyonun olmadığı ve rasgele dağıldığı görülmektedir. Hataların büyük bir çoğunluğunun eğitim (model) veri setinde -5m ile +5m arasında değişmekte iken test verisinde ise daha büyük bir hata dağılımı içerisinde tahminde bulunulmuştur.



Şekil 4.23: Hataların tahmin edilen değerlere göre dağılımı (Karışık Meşcere Meşe- DVM).

Gözlemlenen değerler ile modelden elde edilen değerlerin karşılaştırmalı grafikleri eğitim (model) ve test verisi için Şekil 4.23’de ayrı ayrı verilmiştir. Şekil 4.23’de ise test veri seti için gözlem ve tahmin edilen değerlerin birbirinden uzak olduğu görülmektedir.



Şekil 4.24: Gözlemlenen değerler ile tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması (Karışık Meşcere Meşe- DVM).

5. TARTIŞMA

Ormancılık faaliyetlerinin planlanması kapsamında gerçekleştirilen orman envanterinde ölçülen önemli ağaç değişkenleri toplam ağaç boyu ve göğüs çapıdır. (Long ve diğ. 2020). Toplam ağaç boyu ölçümü, göğüs çapı ölçümüne göre daha zor, maliyetli ve zaman alıcıdır. Ağaç boyu ile göğüs çapı arasındaki güçlü ilişki nedeniyle, göğüs çapını açıklayıcı değişken olarak kullanan çap-boy modelleri geliştirilerek ağaç boyu tahmin edilebilmektedir. (Shen ve diğ., 2020). Orman ekosistemlerinin gelişimini etkileyen çeşitli ilişkileri anlamak ve orman kaynaklarının çok amaçlı sürdürülebilir yönetiminde artım ve büyümeyi değerlendirmek için doğru ve güvenilir çap- boy modellerine ihtiyaç duyulmaktadır (Özçelik ve diğ., 2013; Bayat ve diğ., 2020). Bu nedenle çalışma kapsamında Çatalca Orman İşletme Müdürlüğü Binkılıç Orman İşletme Şefliği sınırları içinde yer alan saf kayın, kayın ve meşe karışık meşcerelerinde ağaç boyunu göğüs çapının bir fonksiyonu olarak tahmin etmek için doğrusal olmayan regresyon analizi ve destek vektör makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak çap-boy modelleri geliştirilmiştir. Çap-boy modelleri saf kayın, kayın ve meşe karışık meşcerelerinde genel bazda, kayın ve meşe ağaç türleri için ayrı geliştirilmiştir.

Saf kayın meşcereleri için doğrusal olmayan regresyon analizi geliştirilen modeller arasından Model1 (Prodan) $R^2=0,824$, $S_e=1,748$ m ve OMHY=%5,08 uyum istatistikleri ile birlikte en iyi tahmin performansını sergilemiştir. Kayın+meşe karışık meşcerelerde tür ayrımı yapmadan genel bazda DORA tekniği ile geliştirilen çap-boy modelleri arasından uyum istatistiklerine göre Model4 (Weibull) en iyi performansı göstermesine karşın gerçek değerler ile modelin verdiği tahmin değerleri arasında anlamlı bir fark çıkmasından dolayı model veri setinde ön plana çıkan Model2 (Naslund) $R^2=0,705$, $S_e=2,128$ m ve OMHY=%7,87 değerleri ile en iyi model olarak seçilmiştir. Model4 (Weibull), $R^2=0,706$, $S_e=1,988$ m ve OMHY=%7,25 uyum istatistikleri ile en iyi tahmin performansı gösterdiğinden dolayı karışık meşcerelerde yer alan kayın ağaç türünde boy tahmini için en uygun model olarak seçilmiştir. Karışık meşcerelerde genel bazda geliştirilen çap-boy modellerinde olduğu gibi meşe ağaç türü için geliştirilen çap-boy modelleri arasından uyum istatistiklerine göre Model4 (Weibull) en iyi performansı göstermesine karşın gerçek değerler ile modelin verdiği tahmin değerleri arasında anlamlı bir fark çıkmasından dolayı, model veri setinde ön plana çıkan Model9 (Üstel),

$R^2=0,697$, $S_e=2,376$ m ve $OMHY=\%9,07$ değerleri ile meşe ağaç türü için en iyi model olarak seçilmiştir. Saf kayın ve karışık meşceredeki kayın ağaç türüne ait çap-boy modellerinin ağaç boyundaki varyasyonu yüksek oranda açıklaması ve düşük hata oranları ile tahmininde bulunması bu modelleri diğer modellerden ayırmaktadır. Örneklenen alanların saf kayın ve kayının hâkim olduğu kayın+meşe karışık meşcerelerin içerisinde olmasının ve bu alanların kayın ekosistemi içerisinde yer almasının bu sonuç üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir.

Saf veya karışık meşcerelerde yayılış gösteren kayın ağaç türü için çeşitli modelleme teknikleri kullanılarak çeşitli boy tahmin modelleri geliştirilmiştir. Kalbi ve diğ. (2018) İran'daki Hyrcanian Ormanı'nda yer alan kayın ağaç türü için geliştirdiği toplam 18 adet çap-boy modeli denemiş bu modeller arasından Chapman-Richards modelinin, $R^2=0,81$, $RMSE=3,7$ m, $RMSE (\%) =\%12,9$ uyum istatistikleri ile diğer modellerden daha iyi tahmin yeteneğine sahip olduğunu ortaya koymuşlardır. Sharma ve diğ.(2019) Orta Avrupa'da yayılış gösteren karışık meşcerelerde batı kayını için geliştirilen çap-boy modelinin belirtme katsayısının $R^2=0,79$ olduğu modele meşcere parametrelerinin eklenmesiyle birlikte bu değer $R^2=0,88$ çıktığını ifade etmektedirler. Castaño-Santamaría ve diğ. (2013) İspanya'nın kuzeybatısında yayılış gösteren değişik yaşlı kayın meşcereleri için çalışmamızda da kullandığımız aday modeller içerisinde yer alan, Chapman-Richards, Weibull, Exponential (Üstel), Gompertz ve Korf-Lundgvist modellerini DORA yöntemi ile dengelemişler ve bu modellerin, ağaç boyundaki varyasyonu $\%61$ oranında açıkladığını, $S_e=3,8$ m hata ile tahminde bulunduğunu belirtmişlerdir. Ercanlı (2015), Bursa-Kestel'de yayılış gösteren kayın meşcereleri için doğrusal olmayan karışık etkili modelleme tekniğini kullanarak boy tahmin modelleri geliştirmiştir. Boy tahmin modellerinde göğüs çapının yanı sıra açıklayıcı değişken olarak çeşitli meşcere değişkenlerini kullanmıştır. Geliştirdiği modeller ağaç boyunu, 1,79 m ile 2.04 m arasında değişen standart hata değerleri ile tahmin ederken, boydaki varyasyonu $\%82-86$ arasında değişen oranlarda açıklamıştır. Görüldüğü üzere kayın ağaç türünde ağaç boyunu farklı bağımsız değişken kombinasyonları esas alınarak değişik modelleme teknikleri ile geliştirilen modellerin uyum istatistikleri, çalışmamızda kayın ağaç türü için göğüs çapının fonksiyonu olarak geliştirilen boy tahmin modellerinin uyum istatistikleri ile benzerlik göstermektedir.

Saf veya karışık meşcerelerde yayılış gösteren meşe ağaç türü için çeşitli modelleme teknikleri kullanılarak çeşitli boy tahmin modelleri geliştirilmiştir. Şahin ve diğ. (2023), Marmara Bölgesinde yayılış gösteren saf sapsız meşe meşcereleri için DORA yöntemi ile

geliştirdikleri çap-boy modelleri içerisinde, Lojistik modelin tahmin performansı bakımından ön plana çıktığını ve bu modelin ağaç boyunu $R^2= 0,687$, $S_e= 2,63$ m ve $OMHY=\%12,4$ değerleri ile tahmin ettiğini belirtmektedirler. Diamantopoulou ve diğ. (2023) Bilecik yöresinde yayılış gösteren sapsız meşe, Macar meşesi ve saçlı meşe türlerinde oluşan karışık meşe meşcereleri için farklı modelleme teknikleri ile geliştirdikleri boy tahmin modellerinin standart hatalarının 1,83 m ile 2.10 m arasında değiştiğini ifade etmektedirler. Adame ve diğ. (2008) Pirene meşesinde (*Quercus pyrenaica* Willd.) çap-boy ilişkisini modellemek için 11 adet aday çap-boy modeli seçerek bu modelleri DORA yöntemi ile dengelemişlerdir. Çap-boy modellerinin belirtme katsayısı değerlerinin 0,473 ile 0,538 arasında değiştiğini ve modellerin yaklaşık 1,3 m standart hata ile tahminde bulunduğunu ortaya koymuşlardır. Sonuç olarak; çalışmamızda meşe ağaç türünde geliştirilen çap-boy modellerinin uyum istatistiklerinin diğer çalışmalarda elde edilen sonuçlara benzerlik gösterdiği söylenebilir.

Çalışmamızda göğüs çapına göre ağaç boyunu tahmin etmek için kullandığımız yöntemlerden birisi de destek vektör makine öğrenmesi (DVM) tekniğidir. Saf kayın meşcereleri için geliştirilen DVM modeli ağaç boylarını DORA yöntemine yakın bir şekilde $R^2=0,802$, $S_e=1,974$ m ve $OMHY=\%6,03$ değerleri ile tahmin etmiştir. Ancak karışık meşcereler için genel bazda, kayın ve meşe ağaç türleri için geliştirilen DVM modellerinin performansları DORA yönteminin gerisinde kalmıştır. Karışık meşcereler için eğitilen DVM modelleri, genel bazda $R^2=0,452$, $S_e=3,379$ m, $OMHY=\%13,95$, kayın ağaç türü için $R^2=0,503$, $S_e=3,3016$ m, $OMHY=\%12,12$, meşe ağaç türü için $R^2=0,416$, $S_e=3,781$ m, $OMHY=\%15,6$ uyum istatistikleri ile tahminde bulunmuşlardır.

Göğüs çapına bağlı olarak ağaç boyunu doğrudan tahmin eden DVM modellerine ilişkin çalışmalar sınırlı sayıdadır. Ağaç boyunu tahmin etmek için gerçekleştirilen çalışmaların çoğu geleneksel olarak doğrusal olmayan regresyon veya yapay sinir ağları gibi DVM dışındaki makine öğrenme teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Monnet ve diğ. (2011), havadan lazer tarama verilerini kullanarak üst boy, göğüs yüzeyi, meşcere orta çapı ve meşcere sıklığını tahmin etmek için DVM ile geleneksel çok değişkenli regresyon modelini karşılaştırmışlar ve DVM modellerinin çok değişkenli regresyon modellerine benzer doğruluk sağladığını ifade etmişlerdir. Çalışmamızda elde edilen bulgulara paralel olarak, Şahin ve diğ. (2023), Marmara Bölgesinde yayılış gösteren saf sapsız meşe meşcereleri için DVM yöntemi ile geliştirdikleri çap-boy modelinin boy tahmininde uyum istatistikleri birlikte değerlendirildiğinde, DORA yöntemine kıyasla daha düşük bir performans gösterdiğini ifade etmektedirler. Bu çalışmadaki

bulguların aksine Diamantopoulou ve diğ. (2023) Bilecik yöresinde yayılış gösteren sapsız meşe, Macar meşesi ve saçlı meşe türlerinde oluşan karışık meşe meşcereleri için farklı modelleme teknikleri ile geliştirdikleri boy tahmin modelleri arasında en iyi tahmin performansını DVM modelinin gösterdiğini belirtmektedirler.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ormancılıkta boy tahmini için geliştirilen modeller farklı ağaç ve meşcere değişkenlerine göre farklı modelleme teknikleri kullanılarak geliştirilebilmektedir. Boy tahmin modellerinde kullanılan temel değişkenlerden birisi de göğüs çapıdır. Sadece göğüs çapının fonksiyonu olarak oluşturulan modeller özellikle yöresel bazda kullanılabilen modellerdir. Eğer belirli bir ağaç türü için boy tahmininin geçerlilik alanının genişletilmesi amaçlanıyor ise, bu durumda modele göğüs çapının yanı sıra meşcere üst boyu, meşcere orta boyu, meşcere yaşı, meşcere göğüs yüzeyi, meşcere orta çapı gibi meşcere değişkenleri açıklayıcı değişken olarak model sokulmakta ve genelleştirilmiş çap-boy modelleri elde edilmektedir. Böylece genelleştirilmiş çap-boy modelleri ait olduğu ağaç türünün yayılış gösterdiği farklı yetiştirme ortamlarında ve meşcere yapılarında güvenle kullanılabilir. Ancak genelleştirilmiş çap-boy modellerinin kullanılabilmesi için modelin öngördüğü meşcere parametrelerinin de ölçülmesi ve hesaplanması gerekmektedir. Bu nedenle çalışma kapsamında Çatalca-Binkılıç yöresinde yayılış gösteren saf kayın, kayın ve meşe karışık meşcereleri için ağaç boyu tahmininde kullanılmak üzere sadece göğüs çapının fonksiyonu olarak yöresel bazda çap-boy modelleri doğrusal olmayan regresyon analizi (DORA) ve destek vektör makine öğrenmesi (DVM) teknikleri kullanılarak geliştirilmiştir.

Saf kayın ve karışık meşceredeki ağaç türü için DORA hem de DVM yöntemi ile göğüs çapına göre ağaç boyunu tahmin eden modeller oldukça başarılı olmuşlardır. Karışık meşcere için genel bazda ve meşe ağaç türü için geliştirilen modeller kayın çap-boy modelleri ile karşılaştırıldığında daha düşük bir tahmin performansı göstermişlerdir. Özellikle kayın çap-boy modelleri daha önceki çalışmalarda göğüs çapının yanı sıra değişik meşcere değişkenlerini de açıklayıcı değişken olarak farklı modelleme teknikleri ile geliştirilen modellere yakın bir tahmin performansı sergilemişlerdir. Karışık meşcerelerde genel bazda ve meşe ağaç türü için destek vektör makine öğrenmesi ile geliştirilen çap-boy modellerinin tahmin performansı doğrusal olmayan regresyon analizi (DORA) ile geliştirilen çap-boy modellerinin gerisinde kalmıştır.

Çap-boy modellerinin başarısını etkileyen en önemli unsurlardan birisi de bu modellerin elde edilmesinde kullanılan modelleme teknikleridir. Örneğin; Karışık etkili modeller, rastgele etkiler aracılığıyla her bir grup (ör. ağaç türü, alan, birey) için farklı parametrelerin varlığını

hesaba katar. Böylece, bireyler veya gruplar arasındaki farklılıkların modele entegre edilmesi ve varyasyonu modellemeleri bu modelleme tekniğinin daha güvenilir sonuçlar vermesini sağlamaktadır. Ağaç boyunun ölçümü göğüs çapına nazaran daha fazla zaman alıcı ve maliyetlidir. Bu nedenle orman envanteri sırasında örnek birimindeki tüm ağaçların göğüs çapları ölçülmesine karşın ancak belli çap kademelerinde ve sosyal sınıflarda yer alan ağaçların boyları ölçülebilmektedir. Bu nedenle orman envanterinde kullanılmak üzere özellikle yerel, sade ve basit (sadece çapa) bağlı çap-boy modellerinin DORA, karışık etkili modelleme gibi değişik regresyon analizi teknikleri ve yapay sinir ağları, derin öğrenme, rasgele orman, gibi modern makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak ülkemizin farklı yörelerinde yayılış gösteren ağaç türleri için geliştirilmesi önem arz etmektedir.



KAYNAKLAR

Adame, P., del Río, M., Canellas, I. 2008, A mixed nonlinear height–diameter model for pyrenean oak (*Quercus pyrenaica* Willd.). *Forest ecology and management*, 256(1-2), 88-98.

Akalp, T., 1983, Değişik yaşlı meşcerelerde artım ve büyümenin simülasyonu, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları*, Yayın no: 3051-327, İstanbul.

Akkemik, Ü. (Ed). 2018. Türkiye'nin Doğal-Egzotik Ağaç ve Çalıları. Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara. 684 s.

Akpınar, H. 2014. Data: *Veri Madenciliği Veri Analizi*, 1. baskı. Papatya Yayıncılık Eğitim, İstanbul.

Anşin R 1983 Türkiye'nin Flora Bölgeleri ve Bu Bölgelerde Yayılan Asal Vejetasyon Tipleri, *Karadeniz Üniversitesi Dergisi*, 6(2), 318-339.

Anşin, R., Özkan, Z., 1997, Tohumlu bitkiler, Odunsu Taksonlar, *KTÜ Orman Fakültesi*, Yayın no: 19, Trabzon.

Arabatzis A., Burkhardt H., 1992, An evaluation of sampling methods and model forms for estimating height-diameter relationship in loblolly pine plantations, *Forest Science*, 38, 192-198.

Atalay İ. 1992, Kayın (*Fagus orientalis* Lipsky.) Ormanlarının Ekolojisi ve Tohum Transferi Yönünden Bölgelere Ayrılması, *Orman Bakanlığı Orman Ağaçları ve Tohumları İslah Araştırma Müdürlüğü* Yayın No:5, Ankara.

Atalay, İ., 2011, Türkiye İklim Atlası, *İstanbul: İnkılap Yayınları*.

Atalay, İ. & Mortan, K., 2011, Türkiye Bölgesel Coğrafyası, *İstanbul: İnkılap Yayınevi*.

Atıcı, E. (2006). DOĞU KAYINI (*Fagus orientalis* Lipsky.) İNCE ÇAPLI GÖVDE HACİM TABLOSU. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 56(1), 89-108.

Bayat, M., Bettinger, P., Heidari, S., Khalyani, A. H., Jourgholami, M., & Hamidi, S. K. 2020. Estimation of tree heights in an uneven-aged, mixed forest in Northern Iran using artificial intelligence and empirical models. *Forests*, 11(3), 324. <https://doi.org/10.3390/f11030324>.

Brooks JR, Wiant HV 2007. Evaluating ecoregion-based height diameter relationship of five economically important Appalachian hardwood species in West Virginia. In: McRoberts, RE, Reams GA, Van Deusen PC, McWilliams WH, editors. *Proceedings of the Seventh Annual Forest Inventory and Analysis Symposium*. 3–6 October 2007; Portland, OR, USA.

Bredenkamp BV, Gregoire TG., 1988, A forestry application of Schnute's generalized growth function, *For, Sci*, 34: 790-797.

Calama, R., Montero, G., 2004, Interregional nonlinear height-diameter model with random coefficients for stone pine in Spain, *Canadian Journal of Forest Research*, 34, 150-163.

Carus, S., & Çatal, Y. (2010). Doğu kayını'nın kabuk kalınlığında ağaç yaşı, göğüs çapı ve ağaç boyunun etkisi.

Castaño-Santamaría, J., Crecente-Campo, F., Fernández-Martínez, J. L., Barrio-Anta, M., & Obeso, J. R. 2013. Tree height prediction approaches for uneven-aged beech forests in northwestern Spain. *Forest Ecology and Management*, 307, 63-73.

Castedo-Dorado F, Anta MB, Parresol BR, Gonzalez JGA 2005 A stochastic height-diameter model for maritime pine ecoregions in Galicia (northwestern Spain). *Ann For Sci* 62:455-465.

Castedo- Dorado, F., Diguez-Aranda, U., Barrio Anta, M., Snchez Rodrguez, M, and Gadow, K,V, 2006, A generalized heightdiameter model including random components for Radiata pine plantations in northwestern Spain, *Forest Ecology and Management*, 229, 202-213.

Ciran, A., Özbay, E. 2022. Optimum Parametreler Kullanılarak Gelişmiş Performansa Sahip SVMs Algoritması Tabanlı Eritematöz-Skuamöz Hastalıklarının Tahmini, *1st International Conference on Innovative Academic Studies*, September 10 - 13, 2022, Konya, Turkey.

Colbert, K.C., Larsen, D.R, Lootens, J.R., 1992. Height-diameter equations for thirteen midwestern bottomland hardwood species. *Northern Journal of Applied Forestry*, 19,4,171-176.

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.

Çapar, C., 2013. Antalya Yöresi Kızılcım Meşcereleri İçin Doğrusal Olmayan Karışık Etkili Modeller Yardımı İle Çap-Boy Denklemlerinin Geliştirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 68s, Isparta.

Darkot, B. & Tuncel, M. 1981. Marmara Bölgesi Coğrafyası. *İstanbul: Edebiyat Fakültesi Matbaası*.

Davis PH 1982 Flora of Turkey and the East Aegean Islands, *Edinburgh at the University Press*, Vol 7.

Denk, T, H., 1999, The taxonomy of Fagus in Eurasia, 2: *Fagus sylvatica subsp, sylvatica, Feddes Repertorium* 11(5-6):381- 412.

Diamantopoulou, M,J., Özçelik, R., 2012, Evaluation of different modeling approaches for total tree-height estimation in Mediterranean Region of Turkey, *Forest Systems*, 21, 383-397.

Diamantopoulou, M. J., Özçelik, R., Koparan, B., & Alkan, O. 2023. Artificial intelligence as an alternative modelling strategy for reliable height-diameter predictions of mixed-oaks species. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 47(2), 228-241.

Dönmez, Y. 1979. Kocaeli yarımadasının bitki coğrafyası (Vol. 112). *İstanbul Üniversitesi, Companyğrafya Enstitüsü*.

Dönmez, Y. 1984. Umumî Klimatoloji ve İklim Çalışmaları. *İstanbul: Güryay Matbaacılık*.

Ercanlı, I. 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(2), 185-202.

Eerikäinen, K, 2001, Stem volume models with random coefficients for Pinus kesiya in Tanzania, Zambia, and Zimbabwe, *Canadian Journal of Forest Research*, 31,5, 879-888.

Fang, Z., Bailey, R,L,, 1998, Heightdiameter models for tropical forest on Hainan Island in southern China, *Forest Ecology and Management*, 110, 315-327.

Fang, Z, ve Bailey, R,L,, 2001, Nonlinear mixed effects molling for slash pine dominant height growt following intensive silvicultural treadments, *Forest Science*, 47, 287-300.

Fırat, F.,1972, Orman Hasılat Bilgisi, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları*, Yayın no: 1642-166, İstanbul.

Garipağaoğlu, N., & Duman, E, 2018, ÇATALCA İLÇESİ'NİN ARAZİ KULLANIMINDA MEYDANA GELEN DEĞİŞİMLER (1987-2016), *Marmara Coğrafya Dergisi*, (37), 219-232.

Genç M. 2004, Silvikültürün Temel Esasları, *Süleyman Demirel Üniversitesi Yayın No: 44*, Isparta.

Genç, M, 2012, Silvikültürün Temel Esasları, *S. Demirel Üniversitesi Yayın No:44*, Isparta.

Göçer, N, 2016, Batı Akdeniz yöresi doğal Toros sediri meşcereleri için karışık etkili çap-boy modellerinin geliştirilmesi (*Master's thesis, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*).

Günel, A., 1981, Orman Hasılat Bilgisi Ders Notları, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi*, İstanbul.

Gregoire, T,G,, 1987, Generalized error structure for forestry yield models, *Forest Science*, 33,423-444.

Gregoire, T. G., & Schabenberger, O. (1996). A non-linear mixed-effects model to predict cumulative bole volume of standing trees. *Journal of Applied Statistics*, 23(2-3), 257-272.

Hall, D.B., Clutter, M., 2004, Multivariate multilevel nonlinear mixed effects models for timber yield predictions, *Biometrics*, 60,16-24.

HaritaTr, 2024. <https://www.haritatr.com/binkilic-haritasi-e824> [Ziyaret tarihi: 5 Ekim 2024].

Hedge & Yaltirik 1982: *Quercus L.*- Pp. 659-683 in: P.H. Davis (ed), *Flora of Turkey and the East Aegean Islands* 7. – Edinburgh.

Huang S., Titus S.J, & Wiens D.P. 1992, Comparison of nonlinear height-diameter functions for major Alberta tree species. *Canadian Journal of Forest Research*, 22 (9), 1297–1304. <https://doi.org/10.1139/x92-172>.

Huang S. 1997, Development of compatible height and site index models for young and mature stands within an ecosystem-based management framework. In: Amaro A, Tome' M (eds) *Empirical and process-based models for forest tree and stand growth simulation. Edic, o~es Salamandra, Lisbon*, ss 61–98.

Huang, S., Titus, S., Price, D., Morgan, D., 1999. Validation of Eco region-Based Taper Equations for White Spruce in Alberta, *The Forestry Chronicle*, 75,2, 281-292

Jayaraman, K., Lappi, J., 2001. Estimation of height-diameter curves through multi-level models with special reference to even-aged teak stands. *Forest Ecology and Management*, 142,155-162

Kalbi, S., Fallah, A., Bettinger, P., Shataee, S., & Yousefpour, R. 2018, Mixed-effects modeling for tree height prediction models of Oriental beech in the Hyrcanian forests. *Journal of Forestry Research*, 29, 1195-1204.

Kalıpsız, A., 1999, *Dendrometri, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları*, Yayın no: 3194-354, İstanbul.

Kandemir, G.E., Tayanç, Y., Çengel, B., Velioğlu, E., 2016, Türkiye’de yayılış gösteren kayın (*Fagus*) popülasyonlarının moleküler filogenisi, *Ormancılık Araştırma Dergisi*, A, 1(4): 69-79.

Konukçu, M. (2001). *Ormanlar ve ormancılığımız: "faydaları, istatistiki gerçekler anayasa, kalkınma planları, hükümet programları ve yıllık programlar'da ormancılık"*. DPT.

Lappi, J., 1986, Mixed linear models for analyzing and predicting stem form variation of Scots pine, *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae*, 134,1-69.

Lappi, J., 1991, Calibration of height and volume equations with random parameters, *Forest Science*, 37,781-801,

Lappi, J., 1997, A longitudinal analysis of height-diameter curves, *Forensic Science*, 43, 555-570.

Lappi, J., Bailey, R.L., 1988, A Height prediction model with random stand and tree parameters: an alternative to traditional site index methods, *Forest Science*, 34,907-927.

Lei, Y., Parresol, B.R., 2001. Remarks on height-diameter modeling (Research Note SRS-10), United States Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station, Asheville, North Carolina.

Levin, I., & Nitsan, J. 1964. Use of the Mitscherlich equation in designing factorial fertilizer field experiments to reduce the number of treatments. *Plant and Soil*, 21(2), 249–252. <http://www.jstor.org/stable/42932072>

Lindstrom, M.J., Bates, D.M., 1990, Nonlinear mixed effects for repeated measures data, *Biometrics*, 46,673-687,

Long, S., Zeng, S., Liu, F., & Wang, G. 2020. Influence of slope, aspect and competition index on the height-diameter relationship of *Cyclobalanopsis glauca* trees for improving prediction of height in mixed forests. *Silva Fennica*, 54(1), 10242. <https://doi.org/10.14214/sf.10242>

Lootens, J.R., Larsen, D.R., Shifley, S.R., 2007. Height-Diameter Equations for 12 Upland Species in The Missouri Ozark Highlands. *Northern Journal of Applied Forestry*, 24,2,149-152.

López Sánchez, C.A., Gorgoso Varela, J., Castedo Dorado, F., Rojo Alboreca, A., Rodríguez Soalleiro, R., Alvarez González, J.G., Sánchez Rodríguez, F., 2003. A height-diameter model for *Pinus radiata* D. Don in Galicia (Northwest Spain). *Annals of Forest Science*, 60, 237–245.

Lhotka, J.M., 2012. Height-Diameter Relationships in Sweetgum (*Liquidambar styraciflua*)-Dominated Stands. *Southern Journal of Applied Forestry*, 36,2,98-106.

Lynch, T.B., Holley, A.G. Stevenson, D.J., 2005. A random-parameter height-diameter model for cherrybark oak. *Southern Journal of Applied Forestry*, 29,1, 22-26.

Mehtatalo, L., 2004 A longitudinal height-diameter model for Norway spruce in Finland. *Canadian Journal of Forest Research*, 34, 131-140.

Menitsky, Y.L, 2005, Oaks of Asia, *Science Pub*, Inc.

Monnet, J. M., Chanussot, J., & Berger, F. 2011. Support vector regression for the estimation of forest stand parameters using airborne laser scanning. *IEEE Geoscience and remote sensing letters*, 8(3), 580-584.

Ng'andwe, P., Chungu, D., Yambayamba, A. M., & Chilambwe, A. 2019. Modeling the height-diameter relationship of planted *Pinus kesiya* in Zambia. *Forest Ecology and Management*, 447, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.051>

OGM, 2024, <https://www.ogm.gov.tr/istanbulobm/kurulusumuz/catalca-orman-isletme-mudurlugu>, [Ziyaret tarihi: 17 Eylül 2024].

Özçelik, R., Diamantopoulou, M. J., Crecente-Campo, F., & Eler, U. 2013. Estimating Crimean juniper tree height using nonlinear regression and artificial neural network models. *Forest Ecology and Management*, 306, 52-60. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.06.009>

Peng, C., Zhang, L., Huang, S., Zhou, X., Parton, J., Woods, M., 2001, Developing ecoregion-based height–diameter models for jack pine and black spruce in Ontario, Forest Research Report 159, Ministry of Natural Resources, *Ontario Forest Research Institute*, 10s, Ontario, Canada,

Pienaar, L.V., Turnbull, K.L., 1973, The Chapman–Richards generalization of von Bertalanffy’s growth model for basal area growth and yield in even-aged stands, *Forest Science*, 19, 2-22,

Pienaar, L.V., Shiver, B.D., 1984, An Analysis and Models of Basal Area Growth in 45-Year-Old Unthinned and Thinned Slash Pine Plantation Plots, *Forest Science*, 30, 933-942.

Poudel, K. P., & Cao, Q. V. 2013. Evaluation of methods to predict Weibull parameters for characterizing diameter distributions. *Forest Science*, 59(2), 243-252. <https://doi.org/10.5849/forsci.12-001>.

Prodan, M., 1968. Growth Functions, in: *Forest Biometrics*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-012441-4.50027-4>.

Richards, F.J. 1959. A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Botany*, 10(2), 290-301. <https://doi.org/10.1093/jxb/10.2.290>

R Core Team 2024. *_R: A Language and Environment for Statistical Computing_*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.

Saatçioğlu, F., (1976), Fidanlık Tekniği, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları*, Üniversite Yayın No: 2188, Fakülte Yayın No: 223, İstanbul.

Saraçoğlu, N. 1988. Kızılağaç (*Alnus glutinosa* Gaertn. subsp. *barbata* (CA Mey) Yalt.) gövde hacim ve biyokütle tablolarının düzenlenmesi. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 41 (1).

Saunders, M.R., Wagner, R.G., 2008. Long-term spatial and structural dynamics in Acadian mixed-wood stands managed under various silvicultural systems. *Canadian Journal of Forest Research*, 38, 498-517.

Schmidt M, Hanewinkel M, Kañdler G, Kublin E, Kohnle U, 2010, An inventory-based approach for modeling single tree storm damage—experiences with the winter storm of 1999 in south-western Germany. *Canadian Journal of Forest Research* 40:1636–1652.

Sharma, M., Zhang, S.Y., 2004. Height-diameter models using stand characteristics for *Pinus banksiana* and *Picea mariana*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19, 442-451.

Sharma, M., Parton, J., 2007, Height-diameter equations for boreal tree species in ontario using a mixed-effects modeling approach, *Forest Ecology and Management*, 249,187-198.

Sharma, R. P. 2009. Modelling height-diameter relationship for Chir pine trees. *Banko Janakari*, 19(2), 3-9. <https://doi.org/10.3126/banko.v19i2.2978>

Sharma, R.P., Vacek, Z., Vacek, S. Kučera,M. 2019. Modelling individual tree height–diameter relationships for multi-layered and multi-species forests in central Europe. *Trees* 33, 103–119 <https://doi.org/10.1007/s00468-018-1762-4>

Shen, J., Hu, Z., Sharma, R.P., Wang, G., Meng, X., Wang, M., Wang, Q., & Fu, L. 2020. Modeling height–diameter relationship for poplar plantations using combined-optimization multiple hidden layer back propagation neural network. *Forests*, 11(4), 442. <https://doi.org/10.3390/f11040442>

Şahin, A., 2016, Marmara Bölgesindeki meşe ormanlarının yayılışı, işletme amaçları ve planlanması, *Orman Genel Müdürlüğü Marmara Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Uluslararası Katılımlı Meşe Çalıştayı Bildiriler Kitabı*, 18-20 Ekim, İğneada – Kırklareli, s, 27-51.

Şahin, A., Aylak Ozdemir, G., Oral, O., Aylak, B. L., Ince, M., & Ozdemir, E. 2023. Estimation of tree height with machine learning techniques in coppice-originated pure sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) stands. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 38(1-2), 87-96.

Tasissa, G,G., Burkhart, H,E,, 1998, An application of mixed effects analysis to modeling thinning effects on stem profile of loblolly pine, *Forest Ecology and Management*, 103, 87-101.

Temesgen, H., VonGadow, K., 2004. Generalized height-diameter models-an applications for majör tree species in Complex stands of Interior British Columbia. *European Journal of Forest Reserach*, 13, 45-51.

Temesgen H., Zhang C.H., Zhao X.H. 2014. Modelling tree height-diameter relationships in multi-species and multi-layered forests: A large observational study from Northeast China. *Forest Ecology and Management* 316, 78–89. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.07.035>

Tutin TG, Burges NA, Chater AO, Edmondson JR, Heywood VH, Moore DM,Valentine DH, Walters SM, Webb DA, 1993, *Flora Europaea*, Vol, 1 (Ed, 2,),Cambridge University Press, Cambridge

Trincado, G., Vanderschaaf, C,L, Burkhart, H,E,, 2007, Regional mixed-effects height-diameter models for loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantations, *European Journal of Forest Research*, 126,253-262,

Yaltırık, F, 1982c, *Fagus L*, In: Davis PH (ed,) *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*, Vol, 7, pp, 657-658, *Edinburgh; Edinburgh University Press*,

Yaltırık,F.,1984, Türkiye Meşeleri Teşhis Kılavuzu, *Orman Genel Müdürlüğü Yayını, Yenilik Basımevi*, İstanbul

Yaltırık, F., & Efe, A. 1994. Dendrology. *University of Istanbul, Faculty of Forestry, Issue*, (431), 975404363-9.

Yaltırık F, Efe A, 2000, Dendroloji, *İstanbul Üniversitesi Yayın No:4265, Fakülte Yayın*

Yang, R. C., Kozak, A., & Smith, J. H. G. 1978. The potential of Weibull-type functions as flexible growth curves. *Canadian Journal of Forest Research*, 8(4), 424-431. <https://doi.org/10.1139/x78-062>

Yavuz, H.,1992, Değişik yaşlı meşcerelerde büyümenin markov zincirleri yöntemi ile analiz edilmesi, *Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

West, P,W,, Ratkowsky, D,A,, Davis, A,W,, 1984, Problems of hypothesis testing of regressions with multiple measurements from individual sampling units, *Forest Ecology and Management*, 7,207-224.

EKLER

EK 1. Saf kayın meşcerelerinden alınan örnek alanların tanımlayıcı istatistikleri

Örnek Alan No	N (Adet/ha)	d _g (cm)	G (m ² /ha)	SD	h _{ort} (m)	h _{üst} (m)
7	1625	23,55	70,8	14,59	24,8	29,73
11	650	37,59	72,15	11,77	21,6	25,18
12	833	28,81	54,33	10,12	20,2	23,12
13	883	40,81	115,6	18,09	20,7	23,2
15	1550	13,43	21,95	5,99	15,2	21,2
18	388	28,78	25,22	4,7	23,7	26,43
19	633	37,67	70,6	11,5	25,3	27,33
22	1350	23,4	58,1	12,01	24	27,1
28	783	31,17	59,79	10,71	25,4	27,05
36	1525	25,33	76,88	15,28	23,7	26,9
47	1250	22,16	48,23	10,25	20,4	26,48
48	567	30,74	42,08	7,59	25	26,57
49	683	30,4	49,63	9	24,5	27,08
54	633	32,64	53,01	9,28	24,6	26,57
58	1150	29,89	80,73	14,72	23,6	26,4
62	1250	21,95	47,3	10,1	22,1	25,53
64	717	29,69	49,65	9,11	24,7	26,72
66	625	34,74	59,28	10,06	22,5	26,03
67	550	37,47	60,67	9,91	20,3	25
68	700	40,37	89,66	14,11	20,9	25,02
70	375	35,09	36,27	6,12	25,4	26,58
71	400	34,63	37,68	6,4	24,8	26,63
73	733	30,25	52,73	9,59	24,5	28,1
75	1700	27,29	99,49	19,04	23	25,9
76	867	25,89	45,64	8,97	23,6	26,97
80	833	30,38	60,44	10,96	24,4	26,6
82	683	35,05	65,95	11,14	22,1	26,77
83	583	44,07	89	13,41	26,8	30,85
85	800	39,26	96,89	15,46	21,7	24,58
91	1275	27,28	74,58	14,28	23,7	26,59
93	1425	26,27	77,29	15,08	23,3	26,23
94	1350	28,92	88,71	16,5	24,2	26,73
95	1650	27,83	100,39	19,03	23,1	26,55
96	1350	13,6	19,62	5,32	14,5	19,85

Örnek Alan No	N (Adet/ha)	d _g (cm)	G (m ² /ha)	SD	h _{ort} (m)	h _{üst} (m)
97	1525	15,34	28,19	7,2	18,6	23,03
98	1825	22,32	71,45	15,12	22,4	24,95
100	1250	22,47	49,6	10,46	18,4	24,88
102	1133	23,76	50,27	10,31	24,5	27,42

EK 2. Kayın ve meşe karışık meşcerelerinden alınan örnek alanların tanımlayıcı istatistikleri

Örnek Alan No	N (Adet/ha)	d _g (cm)	G (m ² /ha)	SD	h _{ort} (m)	h _{üst} (m)	KoKn	KoM
1	650	18,32	17,14	4,01	19,7	23,51	0,794	0,206
2	690	24,07	31,4	6,4	21,2	26,02	0,54	0,46
3	650	14,42	10,62	2,8	16,5	22,94	0,646	0,354
4	690	17,37	16,35	3,92	18,8	23,6	0,693	0,307
5	700	11,82	7,69	2,24	14,8	18,21	0,675	0,325
6	1250	10,07	9,96	3,14	13,2	16,38	0,695	0,305
8	1350	17,01	30,68	7,44	18,5	21,65	0,821	0,179
9	1033	30,76	76,81	13,85	24,5	26,5	0,647	0,353
10	1033	37,19	112,29	18,41	25,7	27,63	0,543	0,457
14	1675	21,13	58,78	12,79	19,7	24,8	0,727	0,273
16	700	18	17,81	4,2	20,6	23,5	0,141	0,859
17	790	25,07	39	7,79	22,3	29,94	0,486	0,514
20	1325	15,02	23,47	6,06	18,9	24,03	0,114	0,886
21	1250	32,54	103,99	18,23	30,1	41,6	0,716	0,284
23	770	26,92	43,83	8,45	23,2	27,89	0,58	0,42
24	580	25,43	29,46	5,84	22	26,67	0,354	0,646
25	700	28,74	45,42	8,47	24	28,71	0,501	0,499
26	570	34,14	52,2	8,93	25,8	29,97	0,822	0,178
27	690	35,09	66,75	11,27	24,8	29,96	0,792	0,208
29	700	18,85	19,54	4,5	19	23,75	0,349	0,651
30	710	24,01	32,16	6,56	22	25,26	0,596	0,404
31	700	27,3	40,98	7,84	22,6	25,97	0,439	0,561
32	780	27,88	47,64	9,02	22,3	26,33	0,659	0,341
33	680	28,2	42,49	8	23,6	26,73	0,668	0,332
34	670	27,66	40,27	7,66	23,4	26	0,547	0,453
35	670	23,98	30,28	6,18	21,3	25,7	0,544	0,456
37	950	19,89	29,52	6,62	24,8	28,52	0,704	0,296
38	650	25,78	33,94	6,68	24,2	26	0,8	0,2
39	580	18,03	14,82	3,49	20,4	22,96	0,553	0,447
40	570	25,63	29,42	5,81	23,2	25,67	0,857	0,143

Örnek Alan No	N (Adet/ha)	d _g (cm)	G (m ² /ha)	SD	h _{ort} (m)	h _{üst} (m)	KoKn	KoM
41	550	19,95	17,2	3,85	21,2	24,77	0,746	0,254
42	670	23,18	28,28	5,87	23,4	26,72	0,553	0,447
43	660	24,36	30,78	6,24	22,5	25,15	0,658	0,342
44	790	19,84	24,43	5,48	19,6	23,87	0,685	0,315
45	770	11,05	7,39	2,22	13,4	15,92	0,66	0,34
46	560	29,79	39,05	7,15	29,3	36,59	0,775	0,225
50	570	23,6	24,93	5,13	23,9	27,53	0,58	0,42
51	630	24,72	30,26	6,09	22,8	26,4	0,581	0,419
52	740	17,17	17,15	4,14	18,4	21,88	0,1749	0,8251
53	730	17,81	18,19	4,31	18,4	23,11	0,481	0,519
55	967	32,48	80,14	14,06	24,3	26,72	0,721	0,279
56	883	30,64	65,15	11,77	23,9	26,48	0,657	0,343
57	1017	29,26	68,38	12,64	24,1	26,5	0,668	0,332
59	730	24,77	35,19	7,07	22,1	25,55	0,891	0,109
60	1775	15,4	33,06	8,43	19,2	23,15	0,578	0,422
61	1250	14	19,26	5,15	12,9	18,68	0,704	0,296
63	1900	15,43	35,53	9,05	17,2	20,35	0,647	0,353
69	1250	15,46	23,47	5,97	18,8	22,43	0,109	0,891
72	620	22,92	25,6	5,35	20,6	24,3	0,637	0,363
74	670	26,86	37,98	7,33	24,5	26,61	0,78	0,22
77	1200	22,61	48,21	10,14	22,5	27,5	0,802	0,198
78	900	33,12	77,55	13,48	24,9	26,83	0,677	0,323
79	933	32,92	79,49	13,85	24,5	26,68	0,617	0,383
81	1450	33,48	127,68	22,07	23,9	27,05	0,85	0,15
84	1250	21,08	43,66	9,51	20,8	24,05	0,69	0,31
86	1725	20,64	57,74	12,71	18,8	24,85	0,704	0,296
87	1375	20,54	45,59	10,06	18,7	24,03	0,521	0,479
88	720	33,03	61,71	10,74	24,3	26,82	0,807	0,193
89	1550	22,56	61,97	13,05	21,7	25,13	0,609	0,391
90	1033	27,7	62,28	11,83	23,6	26,4	0,715	0,285
92	1400	15,06	24,94	6,43	16,4	21,4	0,727	0,273
101	967	28,24	60,58	11,4	24,3	26,43	0,712	0,288

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI


Sayfa 2 of 92 - Bütünlük Genel Bakış
Gönderi Kimliği trn:oid::1:3138571285

17% Genel Benzerlik

Her veri tabanı için çıkarılan kaynaklar da dâhil tüm eşleşmelerin kombine toplamı.

Rapordan Filtrelenen

- Bibliyografya
- Alıntılanan Metin

Ön Sıradaki Kaynaklar

- 16%  İnternet kaynakları
- 6%  Yayınlar
- 3%  Gönderilen çalışmalar (Öğrenci Makaleleri)

Bütünlük Bayrakları

İnceleme için 0 Bütünlük Bayrağı

Herhangi bir şüpheli metin manipülasyonu belirlenmedi.

Sistemimizin algoritmaları bir belgede, onu normal bir gönderiden ayırmak için her türlü tutarsızlığı derinlemesine inceler. Tuhaf bir şey fark edersek incelemeniz için bayrak ekleriz.

Bir Bayrak mutlaka bir sorun olduğunu göstermez. Ancak daha fazla inceleme için dikkatinizi vermenizi öneririz.


Sayfa 2 of 92 - Bütünlük Genel Bakış
Gönderi Kimliği trn:oid::1:3138571285

KURUM İZİNİ YAZILARI

Uyarı: Canlı ve cansız deneklerle yapılan tüm çalışmalar için kurum izin belgelerinin eklenmesi zorunludur. Gizlilik ve mahremiyet içeren durumlarda kurum adı kapatılmalıdır.

- ☐ Kurum izni gerekmektedir.
- ☒ Kurum izni gerekmemektedir.

Cerennur KARAKAYA