



**EFLANİ ORMAN İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ
KARAÇAM MEŞCERELERİ İÇİN KABUKLU VE
KABUKSUZ GÖVDE HACİM DENKLEMLERİNİN
GELİŞTİRİLMESİ**

**2025
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ**

Ebrar Nur ARSLAN

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Mehmet SEKİ**

**EFLANİ ORMAN İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ KARAÇAM MEŞCERELERİ
İÇİN KABUKLU VE KABUKSUZ GÖVDE HACİM DENKLEMLERİNİN
GELİŞTİRİLMESİ**

Ebrar Nur ARSLAN

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Mehmet SEKİ**

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

**KARABÜK
Nisan 2025**

Ebrar Nur ARSLAN tarafından hazırlanan “EFLANİ ORMAN İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ KARAÇAM MEŞCERELERİ İÇİN KABUKLU VE KABUKSUZ GÖVDE HACİM DENKLEMLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mehmet SEKİ

Tez Danışmanı, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Orman Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 08/04/2025

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Mehmet SEKİ (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Ahmet DUYAR (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Fadime SAĞLAM (KÜ)

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

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü



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

Ebrar Nur ARSLAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

EFLANİ ORMAN İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ KARAÇAM MEŞCERELERİ İÇİN KABUKLU VE KABUKSUZ GÖVDE HACİM DENKLEMLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Ebrar Nur ARSLAN

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Mehmet SEKİ

Nisan 2025, 32 sayfa

Bu çalışma kapsamında Eflani Orman İşletme Müdürlüğü içerisinde yayılış yapan karaçam meşcerelerinde kabuklu ve kabuksuz gövde hacim tahminleri için tek ve çift girişli gövde hacim denklemleri geliştirilmiştir. Bu amaçla, çalışma alanı içerisindeki Abakolu, Bedil, Eflani, İndere ve Ovaçalış Orman İşletme Şefliklerinden toplamda 181 adet örnek ağaç elde edilmiş ve bölümlene yöntemine göre hacimlendirilmiştir. Literatürde sıklıkla kullanılan ve başarılı sonuçlar elde edilen tek ve çift girişli denklem yapılarının tahmin başarıları istatistik ve grafik yöntemlerle karşılaştırılmıştır. En başarılı kabuklu gövde hacim tahminlerinin elde edildiği tek ve çift girişli denklemlere ilişkin belirtme katsayısı değerleri sırasıyla 0.934 ve 0.972, kabuksuz gövde hacim tahminlerinin elde edildiği tek ve çift girişli denklemlere ilişkin belirtme katsayısı değerleri ise sırasıyla 0.928 ve 0.956 olarak belirlenmiştir. Hacim tahminlerinde uygulamacıya kolaylık sağlaması açısından geliştirilen denklemler

kullanılarak tek ve çift girişli kabuklu ve kabuksuz gövde hacim tabloları düzenlenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Çift girişli, Kabuklu gövde, Kabuksuz gövde, Dikili servet, Tek girişli

Bilim Kodu : 120507



ABSTRACT

Master Thesis

DEVELOPING OVER- AND UNDER-BARK STEM VOLUME EQUATIONS FOR CRIMEAN PINE STANDS LOCATED IN EFLANI FOREST ENTERPRISE

Ebrar Nur ARSLAN

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

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Mehmet SEKİ

April 2025, 32 pages

In this study, single and double entry stem volume equations were developed for over and under bark stem volume estimations in black pine stands distributed within the Eflani Forest Enterprise. For this purpose, a total of 181 sample trees were obtained from Abakolu, Bedil, Eflani, İndere and Ovaçalış Forest Chiefdoms within the study area and were volumetricized according to the partitioning method. The estimation success of single and double entry equation structures, which are frequently used in the literature and have produced successful results, were compared with statistical and graphical methods. The coefficients of determination for the single and double entry equations from which the most successful over bark stem volume estimates were obtained were determined to be 0.934 and 0.972 respectively, and the coefficients of determination for the single and double entry equations from which the under bark stem volume estimates were obtained were determined to be 0.928 and 0.956

respectively. Single and double entry tables of over and under bark stem volumes have been produced using equations developed to assist the user in volume estimation.

Key Word : Double entry, Over bark stem, Under bark stem, Growing stock, Single entry

Science Code : 120507



TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Mehmet SEKİ'ye Őükranlarımı sunarım.

Çalışma konuyla ilgili bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan ve katkıda bulunan hocalarım Sayın Doç. Dr. Ahmet DUYAR ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Fadime SAĞLAM'a teşekkürü borç bilirim.

Tez alıőması sürecinde destekleri ile sürekli yanımda olan aileme teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, arazi çalışmaları sırasında her türlü desteği veren Eflani Orman İşletme Müdürlüğü teknik personeline teşekkür ederim.

Bu çalıőmanın ülkemiz ormancılığına ve diğer araőtırmacılara yararlı olmasını dilerim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR ÖZETİ.....	4
BÖLÜM 3	6
MATERYAL VE YÖNTEM	6
BÖLÜM 4	14
BULGULAR VE TARTIŞMA.....	14
BÖLÜM 5	26
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	26
KAYNAKLAR.....	28
ÖZGEÇMİŞ.....	32

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Çalışma alanı ve örneklenen meşcereler.....	7
Şekil 3.2. Örnek ağaçların yükselti basamaklarına, bakı gruplarına ve eğim gruplarına dağılımları	8
Şekil 3.3. Arazi çalışmaları.....	9
Şekil 3.4. Model ve kontrol veri grubundaki örnek ağaçların çap ve boy basamaklarına dağılımı.....	10
Şekil 4.1. Örnek ağaçların göğüs çapı ve hacim ilişkileri.	15
Şekil 4.2. Gerçek ve tahmin edilen gövde hacimlerine ilişkin 1:1 grafikleri. a: tek girişli kabuklu gövde hacim denklemi, b: çift girişli kabuklu gövde hacim denklemi, c: tek girişli kabuksuz gövde hacim denklemi ve d: çift girişli kabuksuz gövde hacim denklemi..	18
Şekil 4.3. Tahmin edilen gövde hacimleri ve hatalara ilişkin grafikler. a: tek girişli kabuklu gövde hacim denklemi, b: çift girişli kabuklu gövde hacim denklemi, c: tek girişli kabuksuz gövde hacim denklemi ve d: çift girişli kabuksuz gövde hacim denklemi.	19
Şekil 4.4. M2 ve literatürdeki bazı modellerin karşılaştırılması	21

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Model, Kontrol ve Tüm Veri Gruplarındaki Ağaçlara İlişkin Tanımlayıcı İstatistikler.....	11
Çizelge 3.2. Tek ve Çift Girişli Hacim Denklemleri.....	12
Çizelge 4.1. Kabuklu Gövde Hacim Denklemlerine İlişkin Uygunluk Ölçütleri ve Katsayı Tahminleri.....	16
Çizelge 4.2. Kabuksuz Gövde Hacim Denklemlerine İlişkin Uygunluk Ölçütleri ve Katsayı Tahminleri.....	16
Çizelge 4.3. Kabuklu Gövde Hacim Modellerine İlişkin Genel ve Nisbi Sıralama	17
Çizelge 4.4. Kabuksuz Gövde Hacim Modellerine İlişkin Genel ve Nisbi Sıralama.	17
Çizelge 4.5. Bu Çalışma Kapsamında Geliştirilen Tek Girişli M2 ve Çift Girişli M6 Modelleri ile Planlardaki Tek Girişli Kabuklu Gövde Hacim Tablolarının Karşılaştırması.....	20
Çizelge 4.6. Tek Girişli Kabuklu ve Kabuksuz Gövde Hacim Tablosu	23
Çizelge 4.7. Çift Girişli Kabuklu Gövde Hacim Tablosu.	24
Çizelge 4.8. Çift Girişli Kabuksuz Gövde Hacim Tablosu.....	25

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- d : Göğüs yüksekliği çapı
 h : Toplam ağaç boyu
 h : Gövde hacmi
 m^3 : Metre küp
 $R_{düz}^2$: Düzeltilmiş belirtme katsayısı
% : Yüzde

KISALTMALAR

- cm : Santimetre
ha : Hektar
m : Metre
OH : Ortalama Hata
OBM : Orman Bölge Müdürlüğü
OİM : Orman İşletme Müdürlüğü
OİŞ : Orman İşletme Şefliği
OMH : Ortalama Mutlak Hata

BÖLÜM 1

GİRİŞ

İnsanoğlu varoluşundan bu yana ormanlardan faydalanmaktadır. İlk başlarda sınırsız bir kaynak olarak görülen ormanların artan nüfusla birlikte tükenebilen ve yıpranabilen bir canlı ekosistem olduğu anlaşılmıştır. Bu farkındalıkla birlikte en önemli doğal kaynaklardan biri olan ormanların planlı bir şekilde işletilmesi ve faydalanmanın bilimsel altlıklara dayandırılması zorunlulukları gündeme gelmiştir (Eraslan ve Şad, 1993).

Ormanların planlanması ve planlı bir şekilde işletilebilmesi için en temel adım envanter çalışmalarıdır. Orman envanterinin asli amaçlarının başında ise ormanda dikili halde bulunan ağaçların hacim toplamları olarak ifade edilen orman servetinin tespitidir. Orman servetinin tayini ile birlikte ormanın ekonomik değeri ortaya konulabilmekte, canlı biyokütlesi ve karbon stoğu tahmin edilebilmekte, fonksiyon tayini yapılabilmekte, meşcerelere ilişkin artım ve büyüme dinamikleri belirlenebilmektedir (Vatandaşlar vd, 2023). Bununla birlikte, meşcere servetinin periyodik olarak takibi ile birlikte silvikültürel müdahalelerin ve değışen iklim koşullarının meşcere servetinin artım ve büyüme dinamiklerine etkisi de anlaşılabilir.

Orman servetinin, içerisinde bulunan ağaçların hacim toplamları olduğu düşünöldüğünde ağaç hacim tayininin önemi ortaya çıkmaktadır. Bir ağaç, gövde, kök, dallar ve yapraklardan oluşmaktadır. Ancak, ormancılık uygulamalarında ağaç hacmi denildiğinde genellikle gövde hacmi anlaşılmaktadır (Clutter vd, 1983). Bir ağacın hacim tayini için kullanılan yöntemler ilgili ağacın kesilmesi veya dikili halde bulunmasına bağlı olarak değışmektedir. Kesilen ağaçların hacimleri daha güvenilir bir şekilde tahmin edilmekte fakat bu ağaçların kesilmesi aşamasında ise iş gücü ve zaman bakımından külfet ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple, ormancılık uygulamalarında

genellikle dikili ağaçların hacimlerinin belirlenmesine yönelik yöntemlere yoğunlaşmaktadır.

Dikili halde bulunan ağaçların hacim tahminlerinde kullanılan ve pratik ormancılık uygulamalarında sıklıkla tercih edilen yöntem ağaç (gövde) hacim denklemleri veya bu denklemler yardımıyla düzenlenen ağaç (gövde) hacim tablolarıdır. Gövde hacim denklemleri içerisinde bulunan bağımsız (tahmin) değişken sayısına bağlı olarak üç gruba ayrılmaktadır; i) tek girişli (yalnızca göğüs çapını bağımsız değişken olarak içeren), ii) çift girişli (göğüs çapı ve ağaç boyunu bağımsız değişkenler olarak içeren) ve iii) çok girişli (göğüs çapı, ağaç boyu ve gövde şeklini ifade eden bir değişkeni bağımsız değişkenler olarak içeren) gövde hacim denklemleri (Kalıpsız, 1984). Bir ağaç gövdesinin ilgili ağacın çapı, boyu ve gövde şeklinin (çap düşüşü) bir fonksiyonu olduğu düşünüldüğünde en doğru hacim tahminleri çok girişli denklemler ile yapılmaktadır. Ancak, bir denklemin tahmin başarısının yanında kolay kullanılabilir olması da önem taşımaktadır. Çok girişli denklemlerin kullanılabilmesi için gerekli ve gövde formunu niteleyen değişkenin dikili ağaçlarda belirlenmesi oldukça zordur. Bu sebeple, çok girişli denklemler bazı bilimsel çalışmalar haricinde tercih edilmemektedir. Bununla birlikte, tek ve çift girişli gövde hacim denklemleri literatürde sıklıkla yer alan denklem yapılarıdır (Baytaş ve Seki, 2023).

Gövde hacim denklemleri geliştirildikleri ve geçerli oldukları çalışma alanının büyüklüğüne göre yöresel, bölgesel ve genel olmak üzere üçe ayrılmaktadır (Kalıpsız, 1984). Bir ağacın gövde hacminin yetiştirme ortamı koşullarından etkilendiği ve ülkemizin de yetiştirme ortamı koşulları bakımından heterojen bir yapıda olduğu düşünüldüğünde ülkemizde genellikle yöresel gövde hacim denklemleri yaygın olarak tercih edilmektedir. Ülkemizde, birçok ağaç türü için geliştirilmiş yöresel ve bölgesel gövde hacim denklemleri mevcuttur. Ancak, birçok asli ağaç türümüz ve birçok yörede hala güvenilir gövde hacim denklemlerine ihtiyaç söz konusudur (Bolat, 2024).

Bu çalışma kapsamında, Eflani Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde oldukça geniş bir yayılış alanına sahip ve ekonomik değeri yüksek olan karaçam (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) için tek ve çift girişli kabuklu ve kabuksuz gövde hacim denklemleri geliştirilmiştir. Bunun yanında, geliştirilen denklemler yardımıyla tek ve çift girişli gövde hacim tabloları da düzenlenmiştir.



BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÖZETİ

Orman envanterinin en temel amaçlarının başında orman servetinin belirlenmesi yer almaktadır. Bu sebeple, ağaç hacim tahminlerinde sıklıkla kullanılan gövde hacim denklemlerinin ve tablolarının geliştirildiği çalışmalar literatürde büyük önem görmektedir. Bu bölümde, ülkemizde gerçekleştirilen ve gövde hacim denklemlerinin geliştirildiği çalışmalar özetlenmeye çalışılmıştır.

Bucak yöresi (Özçelik, 2010), Antalya-Korkuteli yöresi (Carus ve Su, 2014), Antalya ve Mersin yöresi (Kahrıman vd, 2017), Kaş yöresi (Özçelik ve Kalkanlı, 2018), Eğirdir yöresi (Özçelik ve Altınkaya, 2019), Asarkaya yöresi (Şenyurt ve Ümit, 2019), Bergama yöresi (Seki, 2022) ve Antalya-Yeşilvadi yöresi (Bolat, 2024) kızılçam meşcereleri için gövde hacim denklemleri geliştirilmiştir.

Türkiye geneli (Gülen, 1959), Taşköprü yöresi (Yavuz, 1999), Şehit Ali İhsan Kalmaz Ormanı (Carus vd, 2016), Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü (Sakıcı vd, 2018), İç Anadolu ve Akdeniz Bölgelerindeki dört farklı yöre (Şahin ve Ercanlı, 2023) ve Karabük Orman İşletme Müdürlüğü (Karail, 2025) karaçam meşcereleri için gövde hacim denklemleri geliştirilmiştir.

Büyükdüz Araştırma Ormanı (Çalışkan ve Yeşil, 1996), Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü (Durkaya ve Durkaya, 2006), Bozalan ve Çubuk yöresi (Ölmez ve Şenyurt, 2022) ve Kastamonu yöresi (Zaifoğlu ve Sağlam, 2024) sarıçam meşcereleri için gövde hacim denklemleri geliştirilmiştir.

Toroslar Bölgesi (Bozkuş ve Carus, 1997), Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü (Durkaya ve Durkaya, 2006), Bucak yöresi (Özçelik, 2010), Artvin-Ardanuç Yöresi (Kahrıman vd, 2023) ve Safranbolu yöresi (Baytaş ve Seki, 2023) göknar meşcereleri için gövde hacim denklemleri geliştirilmiştir.

Toroslar Bölgesi (Bozkuş ve Carus, 1997), Bucak yöresi (Özçelik, 2010) ve Batı Akdeniz yöresi (Özçelik ve Çevlik, 2017) sedir meşcereleri için gövde hacim denklemleri geliştirilmiştir.

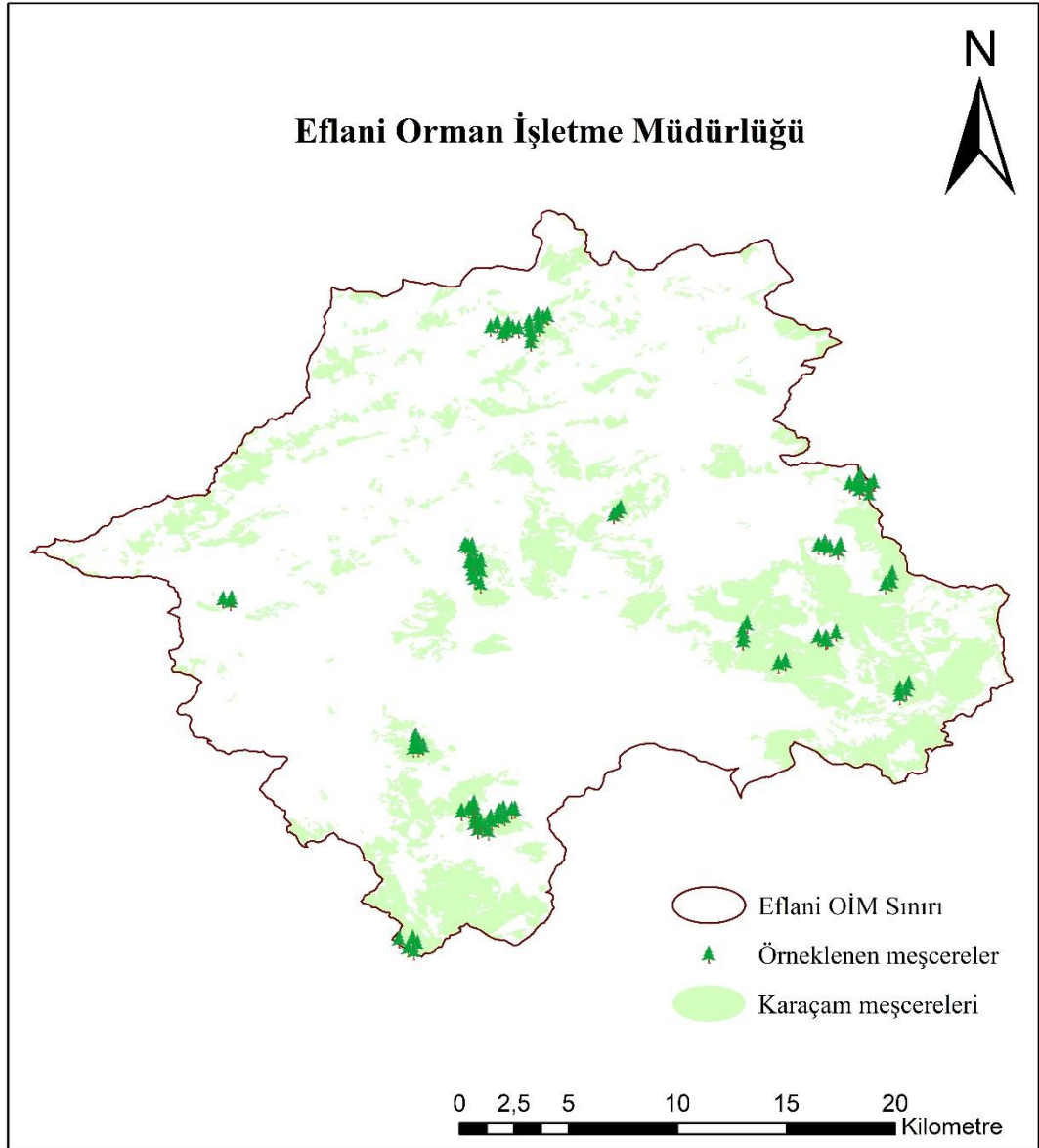
Yukarıda bahsedilen çalışmaların yanında, Amasya, Giresun, Trabzon ve Artvin Bölgeleri dışındaki (Mısır ve Mısır, 2004), Isparta-Gölcük yöresi Yalancı akasya (Çatal vd, 2005), Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü Doğu kayını (Durkaya ve Durkaya, 2006), Sinop yöresi Sahilçamı (Ercanlı vd, 2008), Kastamonu-Akçay yöresi Doğu çınarı (Durkaya vd, 2009), Antalya yöresi Titrek kavak (Çatal ve Güneş, 2018), İzmir Orman Bölge Müdürlüğü fıstıkçamı (Özçankaya vd, 2021), Bursa Orman Bölge Müdürlüğü meşe (Sönmez vd, 2023) ve Artvin-Ardanuç yöresi Doğu ladini (Kahrıman vd, 2023) meşcereleri için gövde hacim denklemlerinin geliştirildiği çalışmalar mevcuttur.

BÖLÜM 3

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Eflani Orman İşletme Müdürlüğü'nde (OİM) gerçekleştirilmiştir. Eflani OİM toplam alanının (58,918 ha) yaklaşık %57'si (33,662 ha) ormanlarla kaplıdır ve bölgedeki önemli müdürlüklerden biridir. Eflani OİM toplam alanının yaklaşık %21'inde (12,120 ha) yayılış gösteren karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnold) bölgenin en önemli asli ağaç türlerinden biridir. Karaçam ile birlikte bölgede yayılış yapan diğer asli ağaç türleri sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), kızılçam (*Pinus brutia* Ten.), göknar (*Abies nordmanniana* subsp. *Equitrojani*) ve meşedir (*Quercus* sp.).

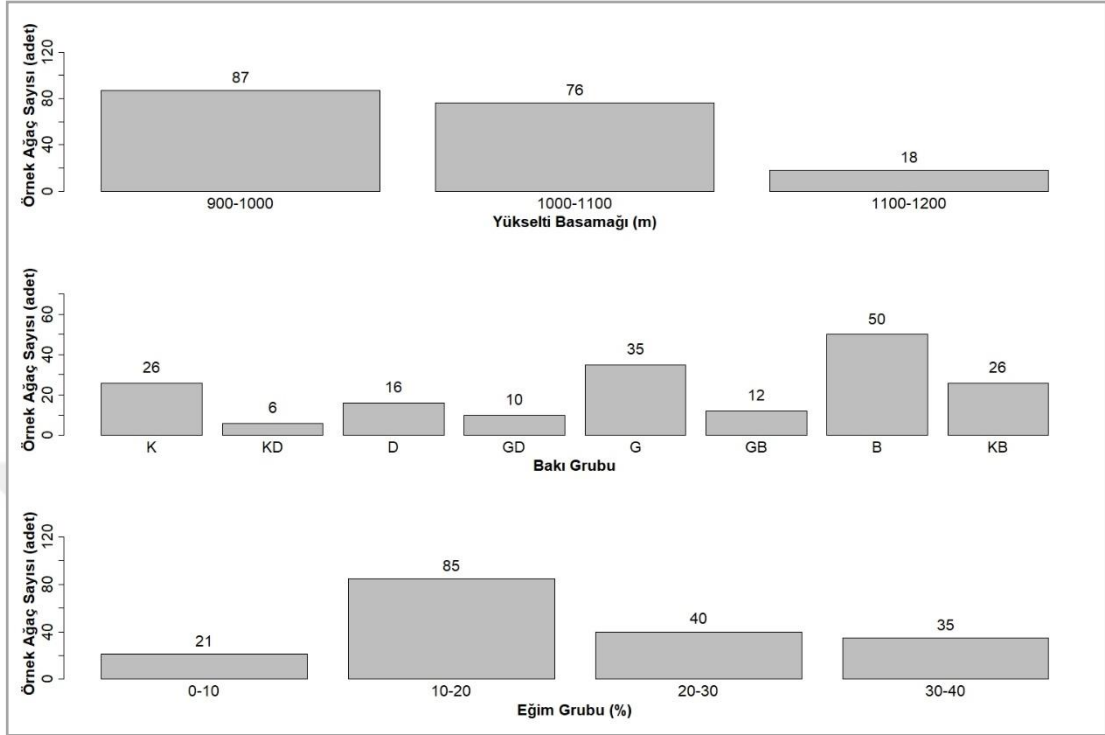
Çalışma materyali olarak kullanılan veriler Eflani OİM bünyesindeki Abakolu OİŞ, Bedil OİŞ, Eflani Orman İşletme Şefliği (OİŞ), İndere OİŞ ve Ovaçalış OİŞ içerisinde yayılış gösteren Karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnold) meşcerelerinden elde edilmiştir. Çalışmaya konu ve üretim çalışmaları devam eden Karaçam meşcerelerinden toplam 181 adet örnek ağaç seçilmiştir. Örnek ağaçların alınacağı meşcerelerin mümkün olduğunca farklı gelişim çağlarından, bonitetlerden ve kapalılıklardan seçilmesine özen gösterilmiştir. Aynı zamanda, meşcerelerin çalışma alanı içerisinde farklı lokasyonları temsil etmesine dikkat edilmiştir. Çalışma kapsamındaki örnek ağaçların 44'ü Abakolu OİŞ'den, 38'i Bedil OİŞ'den, 22'si Eflani OİŞ'den, 48'i İndere OİŞ'den ve 29'u Ovaçalış OİŞ'den alınmıştır. Örnek ağaçların çalışma alanı içerisindeki dağılımı Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışma alanı ve örneklenen meşcereler

Örnek ağaçların alındıkları meşcerelerin topografik özelliklerine ilişkin özet grafikler Şekil 3.2’de verilmiştir. Örnek ağaçların 87 tanesi (% 48.0) 900-1000 m yükselti basamağından, 76 tanesi (% 42.0) 1000-1100 m yükselti basamağından ve 18 tanesi (% 10.0) 1100-1200 m yükselti basamağından alınmıştır. Örnek ağaçların K, KD, D, GD, G, GB, B ve KB bakı gruplarına dağılımları sırasıyla 26 (% 14.4), 6 (% 3.3), 16 (% 8.9), 10 (% 5.5), 35 (% 19.3), 12 (% 6.6), 50 (% 27.6) ve 26 (% 14.4) olmuştur. Örnek ağaçların 21 tanesi (% 11.6) % 0-10 eğim grubundan, 85 tanesi (% 47.0) % 10-

20 eğim grubundan, 40 tanesi (% 22.1) % 20-30 eğim grubundan ve 35 tanesi (% 19.3) % 30-40 eğim grubundan alınmıştır.



Şekil 3.2. Örnek ağaçların yükselti basamaklarına, bakı gruplarına ve eğim gruplarına dağılımları

Belirlenen meşcerelerden örnek ağaçların seçimi sırasında, konu ağacın meşcereyi temsil eden çap (d) ve boy (h) değerlerine sahip, düzgün gövdeli, tepe yapısı sağlam, herhangi bir gövde kusuru bulunmayan sağlıklı bireylerden olmasına özen gösterilmiştir. Belirlenen örnek ağaçlar toprak seviyesine en yakın noktadan kestirilmiştir. Kesilen ağaçlar üzerinde 0.3 m, 1.3 m, 3.3 m ve tepeye kadar her 2 m’de çap ve çift kabuk kalınlıkları 0.1 cm hassasiyetle ölçülmüştür. Ardından, çelik şeritmetre yardımıyla toplam ağaç boyu 0.1 m hassasiyetle ölçülmüştür. Çap ölçümü yapılan her noktada kabuklu çap değerinden çift kabuk kalınlığı değerleri çıkarılarak kabuksuz çaplar da hesaplanmıştır. Arazi çalışmalarına ilişkin fotoğraflar Şekil 3.3’te verilmiştir.

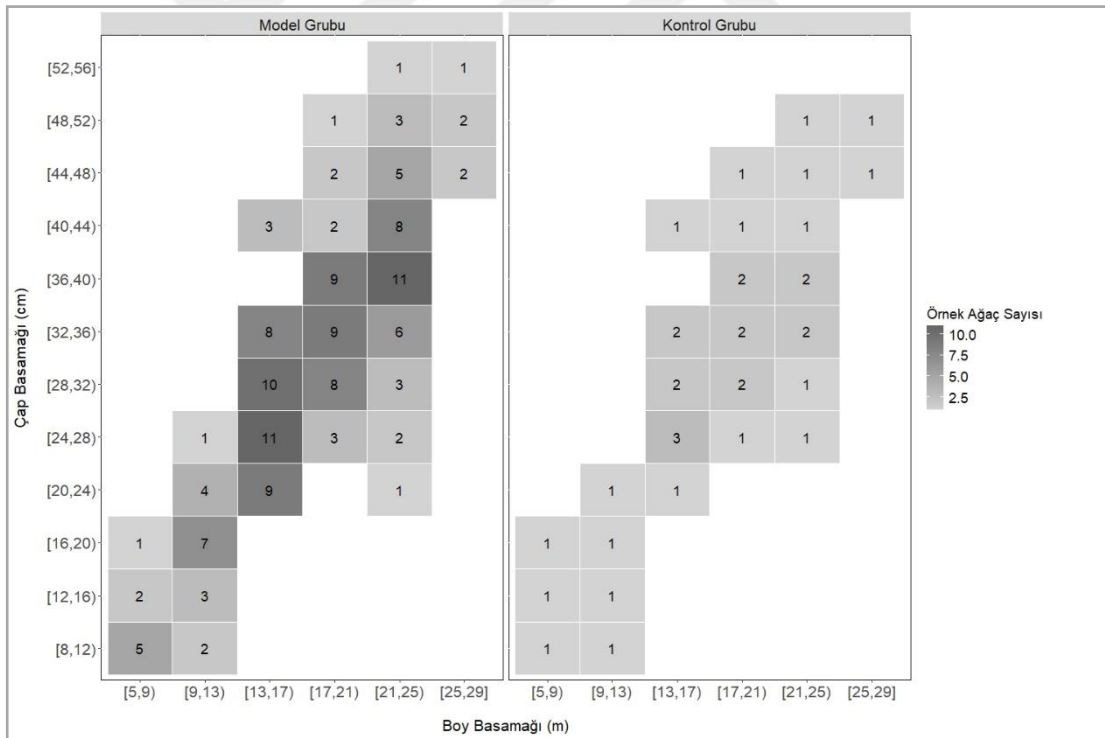


Şekil 3.3. Arazi çalışmaları

Örnek ağaçların kabuklu ve kabuksuz gövde hacimlerinin hesaplanmasında sırasıyla kabuklu ve kabuksuz çap değerlerinden faydalanılmıştır. Gövdelerin hacimlendirilmesinde bölümlene yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle göre ağaç gövdeleri i) dip kütük, ii) seksiyonlar ve iii) uç parça olmak üzere 3 bölüm halinde düşünülmüştür. Dip kütük ve uç parçaların hacimlerinin hesaplanmasında sırasıyla silindir ve koninin hacim formüllerinden faydalanılmıştır. Dip kütük ile uç parça arasında kalan 2m'lik seksiyonların hacimlendirilmelerinde ise Orta Yüzey (Huber)

formülü kullanılmıştır. Kabuklu ve kabuksuz çap değerleri kullanılarak hesaplanan dip kütük, seksiyonlar ve uç parça hacimlerinin toplanması ile de sırasıyla toplam kabuklu ve kabuksuz gövde hacimleri bulunmuştur.

Çalışmada elde edilen 181 adet ağaç verisi model geliştirmede ve geliştirilen modelin kontrolünde kullanmak üzere rastgele iki veri grubuna bölünmüştür. Toplam verinin yaklaşık %80'ini oluşturan 145 ağaç verisi i) model geliştirme ve kalan %20'sini oluşturan 36 ağaç verisi ii) model kontrol veri setlerini oluşturmuştur. Model geliştirme ve model kontrol veri setlerinin ayrılmasında her iki gruptaki ağaçların da her çap ve boy basamağını temsil etmesine dikkat edilmiştir. Örnek ağaçların model ve kontrol veri grupları içerisinde çap ve boy basamaklarına dağılımları Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Bunun yanında, örnek ağaçların d ve h değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler Çizelge 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.4. Model ve kontrol veri grubundaki örnek ağaçların çap ve boy basamaklarına dağılımı

Çizelge 3.1. Model, kontrol ve tüm veri gruplarındaki ağaçlara ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Model Veri Grubu (n = 145 adet)				
Değişken	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
d (cm)	8.5	52.7	31.2	10.2
h (m)	5.7	26.1	17.4	4.9
Kontrol Veri Grubu (n = 36 adet)				
Değişken	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
d (cm)	10.1	50.0	30.8	10.4
h (m)	7.6	26.0	17.3	5.2
Tüm Veri Grubu (n = 181 adet)				
Değişken	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
d (cm)	8.5	52.7	31.1	10.2
h (m)	5.7	26.1	17.4	5.0

Bir ağacın hacmi çap, boy ve gövde formunun fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır ve aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir (Husch vd, 2003).

$$V = f(d, h, F) \quad (1)$$

Burada; V gövde hacmini, d göğüs çapını, h ağaç boyunu ve F gövde formunu tanımlayan ölçüyü ifade etmektedir. Gövde hacmini tahmin etmek için yalnızca d bağımsız değişkenini içeren denklemler tek girişli gövde hacim denklemleri, d ve h bağımsız değişkenlerini içeren denklemler çift girişli gövde hacim denklemleri, d ve h ile birlikte F bağımsız değişkenini de içeren denklemler çok girişli gövde hacim denklemleri olarak tanımlanmaktadır. Yöresel olarak geliştirilen gövde hacim denklemlerinin birçoğu tek girişli yapıda iken, bölgesel ve genel olarak düzenlenen denklemler tek ve çift girişli yapıda olabilmektedir. Bununla birlikte, gövde formunu ifade eden değişkenin ölçümü kolay olmadığı için çok girişli gövde hacim denklemleri genelde tercih edilmemektedir (Akindele ve LeMay, 2006).

Ormancılık araştırmalarında sıklıkla kullanılan gövde hacim denklemlerinden başarılı sonuçlar elde edilen 3 adet tek ve 5 adet çift girişli olmak üzere toplam 8 adet denklem seçilmiştir (Çizelge 3.2). Çizelgede verilen regresyon denklemlerinin katsayı tahminleri için en küçük kareler yöntemi kullanılmıştır. Çizelgedeki logaritmik formdaki denklemler ile elde edilen tahminlerin aritmetik forma dönüştürülmeleri

sırasında karşılaşılan sistematik hatanın giderilmesi için düzeltme faktöründen (df) faydalanılmıştır (Baskerville, 1972; Sprugel, 1983).

$$df = e^{(SE^2/2)} \quad (2)$$

Burada; df : düzeltme faktörünü, e : doğal logaritma tabanını (2.7183) ve SE : tahminin standart hatasını ifade etmektedir.

Çizelge 3.2. Tek ve çift girişli hacim denklemleri

Model No	Tek girişli ağaç hacim denklemleri	
M1	$v = \beta_1 d^{\beta_2}$	(3)
M2	$v = (\beta_1 + \beta_2 d)^2$	(4)
M3	$\log v = \beta_0 + \beta_1 \log d$	(5)
Çift girişli ağaç hacim denklemleri		
M4	$v = \beta_1 d^2 h$	(6)
M5	$v = \beta_0 + \beta_1 d^2 h$	(7)
M6	$v = \beta_1 d^{\beta_2} h^{\beta_3}$	(8)
M7	$v = d^2(\beta_0 + \beta_1 h)$	(9)
M8	$\log v = \beta_0 + \beta_1 \log d + \beta_2 \log h$	(10)

Yukarıdaki eşitliklerde; d göğüs çapını (cm); h ağaç boyunu (m); v gövde hacmini (m^3); $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ ve β_3 ise denklem katsayılarını ifade etmektedir.

Katsayı tahmini yapılan Çizelge 3.2'deki regresyon denklemlerinin tahmin başarılarının belirlenmesi için aşağıda verilen 3 farklı istatistiksel ölçütten yararlanılmıştır.

$$\text{Düzeltilmiş Belirtme Katsayısı: } R_{düz}^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \hat{v}_i)^2 (n-1)}{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v}_i)^2 (n-p)} \quad (11)$$

$$\text{Ortalama Hata: } OH = \frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \hat{v}_i)}{n} \quad (12)$$

$$\text{Ortalama Mutlak Hata: } OMH = \frac{\sum_{i=1}^n |v_i - \hat{v}_i|}{n} \quad (13)$$

Yukarıdaki eşitliklerde; $v_i, \hat{v}_i, \bar{v}_i$ sırasıyla gözlenen, tahmin edilen ve ortalama hacim değerlerini, n model geliştirmek için kullanılan veri sayısını ve p denklemin parametre sayısını ifade etmektedir.

Başarılı gövde hacim denklemlerinin yüksek $R_{düz}^2$ ve düşük hata (OH, OMH) değerlerine sahip olması beklenmektedir. Ancak, bir istatistiksel ölçütte en başarılı sonuçların elde edildiği denklem diğer ölçütlerde de aynı başarı sırasına sahip olmayabilir. Bu sebeple, geliştirilen denklemlerin tahmin başarılarının karşılaştırılmasında Paudel ve Cao (2013) tarafından önerilen nisbi sıralama tekniği kullanılmıştır. Bu yöntemle göre, bir denklemin tahmin başarısının belirlenmesinde tüm istatistik ölçütler dikkate alınarak genel bir başarı sırası belirlenmektedir. Aşağıda verilen eşitlik kullanılarak öncelikle tüm istatistiksel ölçütler için her bir modele ait başarı sıralaması hesaplanmış, ardından tüm ölçütlere ilişkin başarı sıralamaları dikkate alınarak genel başarı sırası hesaplanmıştır. Nisbi sıralama yöntemi, bütün katsayıları 0.05 önem düzeyinde anlamlı bulunan tek girişli ve çift girişli gövde hacim denklemlerinin kendi içlerinde karşılaştırılmalarında kullanılmıştır.

$$R_i = 1 + \frac{(m-1)(e_i - e_{min})}{(e_{maks} - e_{min})} \quad (14)$$

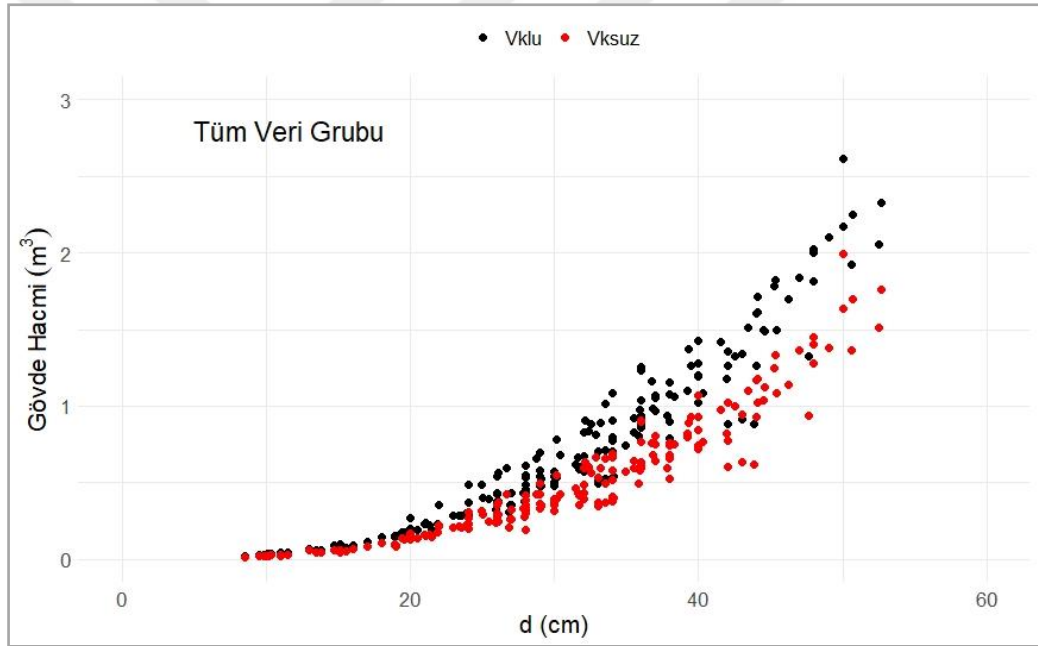
Burada; R_i : i . denkleme ilişkin nisbi sıralamayı, e_i : i . denkleme ilişkin uygunluk ölçütünü, e_{min} : en düşük e_i değerini, e_{maks} : en yüksek e_i değeri, m : karşılaştırılan denklem sayısını ifade etmektedir.

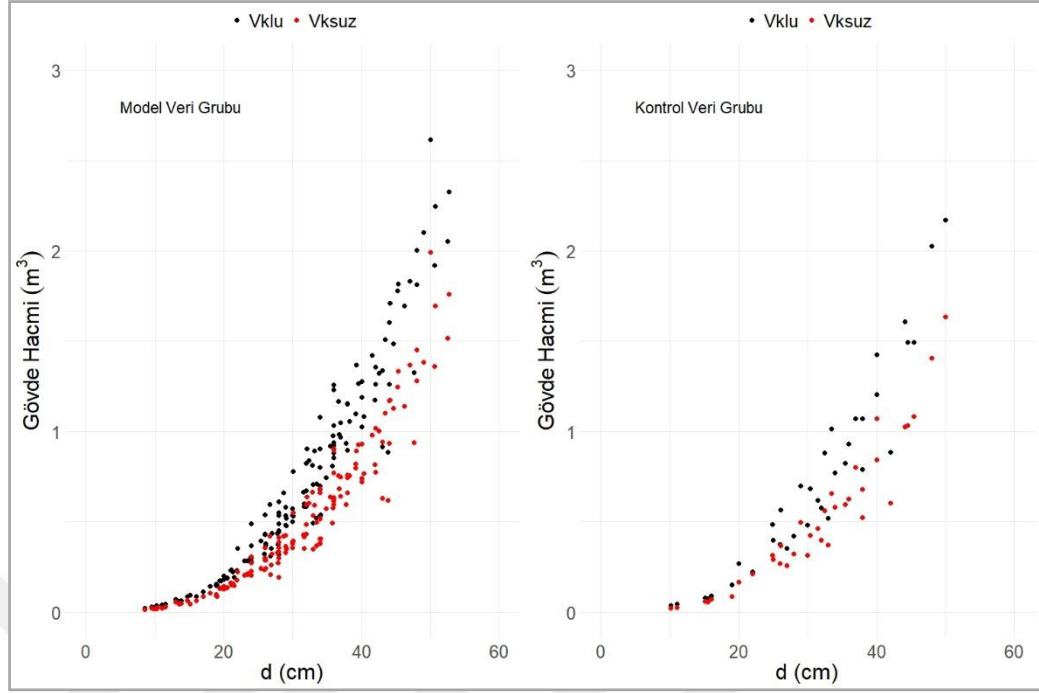
İstatistiksel başarı ölçütleri ve nisbi sıralama kullanılarak belirlenen en başarılı denklemlerin tahmin hatalarının dağılımları da ayrıca incelenmiştir. En başarılı bulunan regresyon denklemlerinin çalışma alanı için uygunlukları bağımsız kontrol veri grubu kullanılarak test edilmiştir. Bu amaçla, önce kontrol veri grubundaki ağaçlara ilişkin en başarılı denklemlerle kabuklu ve kabuksuz gövde hacimleri tahmin edilmiştir. Ardından, tahmin edilen hacim değerleri ile ölçülen gerçek hacim değerleri Eşleştirilmiş t Test kullanılarak karşılaştırılmıştır. Gövde hacim denklemlerinin çalışma alanı içerisindeki karaçamlarda güvenilir hacim tahminlerinde kullanılabileceği sonucuna ulaşabilmek için tahmin edilen ve ölçülen gövde hacim değerlerinin 0.05 önem düzeyinde birbirlerinden farksız çıkmaları beklenmektedir.

BÖLÜM 4

BULGULAR VE TARTIŞMA

Örnek ağaçlar için hesaplanan kabuklu ve kabuksuz gövde hacim değerlerinin göğüs çapına bağlı olarak dağılımını gösteren grafikler tüm veri, model ve kontrol veri setleri için Şekil 4.1’de verilmiştir.





Şekil 4.1. Örnek ağaçların göğüs çapı ve hacim ilişkileri

Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de sırasıyla kabuklu ve kabuksuz gövde hacim denklemlerine ilişkin katsayı tahminleri ve istatistiksel uygunluk ölçütleri verilmiştir. Kabuklu gövde hacim denklemlerine ilişkin sonuçlar incelendiğinde (Çizelge 4.1), tek ve çift girişli bütün regresyon denklemlerinin katsayıları 0.05 önem düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Tek girişli denklemlerin $R_{düz}^2$ değerleri 0.933 ile 0.935 arasında, OH değerleri -0.0057 ile 0.0041 arasında ve OMH değerleri 0.0914 ile 0.0931 arasında değişmektedir. Çift girişli denklemlerin $R_{düz}^2$ değerleri 0.971 ile 0.972 arasında, OH değerleri -0.0132 ile -0.0007 arasında ve OMH değerleri 0.0511 ile 0.0574 arasında değişmektedir.

Kabuksuz gövde hacim denklemlerine ilişkin sonuçlar incelendiğinde (Çizelge 4.2), tek girişli bütün regresyon denklemlerinin katsayıları 0.05 önem düzeyinde anlamlı bulunurken, çift girişli M5 ve M7 modellerinin β_0 katsayıları 0.05 önem düzeyinde anlamsız bulunmuştur. Tek girişli denklemlerin $R_{düz}^2$ değerleri 0.927 ile 0.928 arasında, OH değerleri -0.0054 ile -0.0027 arasında ve OMH değerleri 0.0604 ile 0.0683 arasında değişmektedir. Çift girişli denklemlerin $R_{düz}^2$ değerleri 0.954 ile 0.956 arasında, OH değerleri -0.0056 ile 0.0076 arasında ve OMH değerleri 0.0490 ile 0.0520 arasında değişmektedir.

Çizelge 4.1. Kabuklu gövde hacim denklemlerine ilişkin uygunluk ölçütleri ve katsayı tahminleri

Model	R _{düz} ²	OH	OMH	Katsayı Tahminleri			
				β_0	β_1	β_2	β_3
Tek Girişli Denklemler							
M1	0.935	0.0041	0.0931		0.000123*	2.485362*	
M2	0.934	-0.0019	0.0922		-0.22999*	0.033019*	
M3	0.933	-0.0057	0.0914	-4.09583*	2.600044*		
Tek Girişli Denklemler							
M4	0.971	-0.0132	0.0574		0.000035*		
M5	0.972	-0.0069	0.0545	0.027544**	0.000034*		
M6	0.972	-0.0007	0.0527		0.000056*	1.946454*	0.91348*
M7	0.972	-0.0086	0.0541	0.000083**	0.000031*		
M8	0.972	-0.0045	0.0511	-4.23437*	1.888912*	0.967811*	
* $p < 0.01$; ** $p < 0.05$, ^{ns} $p > 0.05$					$df_{M3} = 1.0104$	$df_{M8} = 1.0043$	

Çizelge 4.2. Kabuksuz gövde hacim denklemlerine ilişkin uygunluk ölçütleri ve katsayı tahminleri

Model	R _{düz} ²	OH	OMH	Katsayı Tahminleri			
				β_0	β_1	β_2	β_3
Tek Girişli Denklemler							
M1	0.927	-0.0038	0.0682		0.00006*	2.583678*	
M2	0.928	-0.0027	0.0604		-0.22824*	0.028679*	
M3	0.928	-0.0054	0.0683	-4.29128*	2.626976*		
Çift Girişli Denklemler							
M4	0.955	-0.0023	0.0519		0.000025*		
M5	0.954	0.0076	0.0520	0.009845 ^{ns}	0.000025*		
M6	0.956	0.0009	0.0504		0.00003*	2.120903*	0.795241*
M7	0.955	-0.0055	0.0490	0.000056 ^{ns}	0.000022*		
M8	0.955	-0.0056	0.0490	-4.40233*	2.056977*	0.775737*	
* $p < 0.01$; ** $p < 0.05$, ^{ns} $p > 0.05$					$df_{M3} = 1.0058$	$df_{M8} = 1.0036$	

Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'te sırasıyla kabuklu ve kabuksuz gövde hacim denklemlerine ilişkin uygunluk ölçütlerine göre nisbi sıralamalar ve nisbi sıralamalar dikkate alınarak elde edilen genel sıralama puanları verilmiştir. Hem kabuklu hem de kabuksuz gövde hacim tahminleri için tek girişli M2 ve çift girişli M6 modelleri en başarılı denklemler olarak bulunmuştur.

İstatistiksel ölçütler kullanılarak hesaplanan genel sıralamaya göre en başarılı olarak belirlenen kabuklu ve kabuksuz tek ve çift girişli denklemlere ilişkin Gerçek hacim-tahmin edilen hacim grafikleri Şekil 4.2’de, tahmin edilen hacim-hata grafikleri ise Şekil 4.3’te verilmiştir.

Bunun yanında, geliştirilen kabuklu gövde hacim denklemlerine ve kabuksuz gövde hacim denklemlerine ilişkin tahmin ve hata dağılımları sırasıyla Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’te verilmiştir. Grafiklerden görüldüğü üzere başarılı bulunan modeller ile elde edilen hacim tahminlerindeki hata dağılımlarında belirgin bir yanlılık görünmemektedir ve hataların rasgele bir dağılım gösterdiği söylenebilir.

Çizelge 4.3. Kabuklu gövde hacim modellerine ilişkin genel ve nisbi sıralama

Model	$R_{düz}^2$	OH	OMH	Toplam Sıralama Puanı	Genel Sıralama
Tek Girişli Denklemler					
M1	1.00	2.16	3.00	6.16	2.18
M2*	2.00	1.00	1.94	4.94	1.00
M3	3.00	3.00	1.00	7.00	3.00
Çift Girişli Denklemler					
M4	5.00	5.00	5.00	15.00	5.00
M5	1.00	2.98	3.16	7.14	2.14
M6*	1.00	1.00	2.02	4.02	1.00
M7	1.00	3.53	2.91	7.44	2.25
M8	1.00	2.22	1.00	4.22	1.07

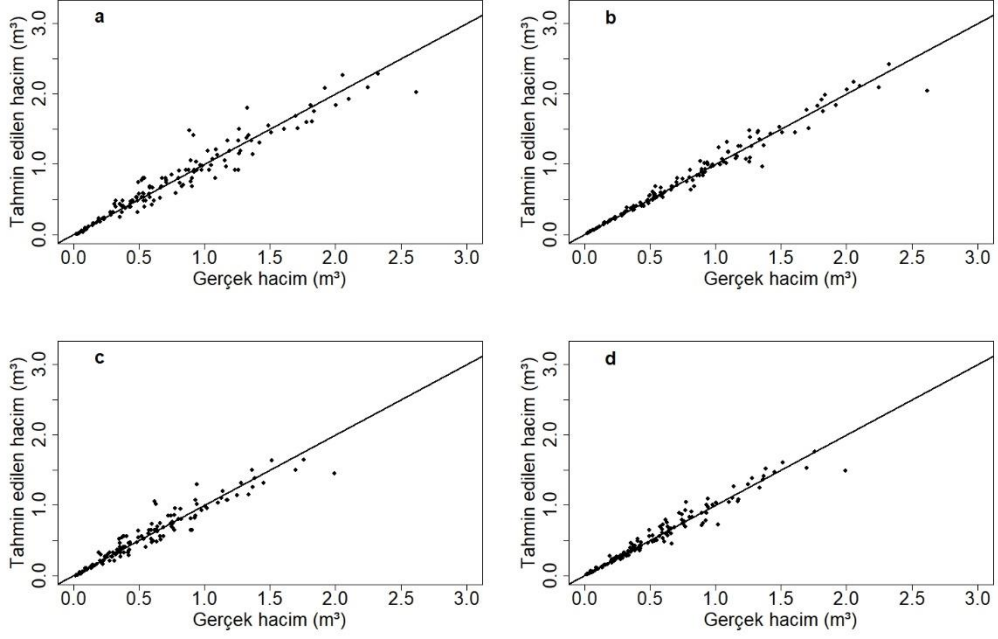
*Genel sıralamaya göre en başarılı regresyon denklemini ifade etmektedir.

Çizelge 4.4. Kabuksuz gövde hacim modellerine ilişkin genel ve nisbi sıralama

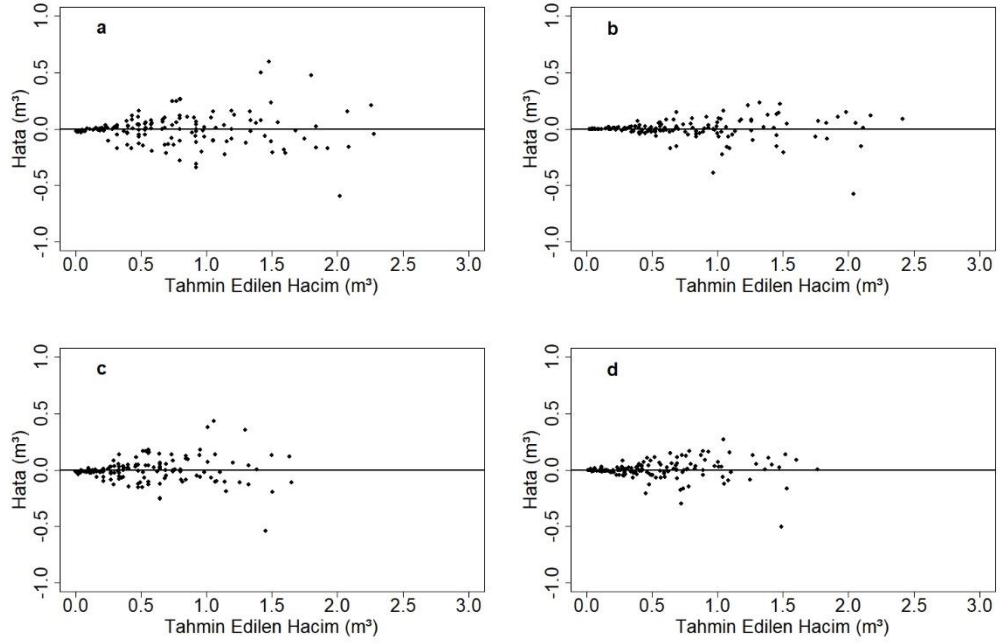
Model	$R_{düz}^2$	OH	OMH	Toplam Sıralama Puanı	Genel Sıralama
Tek Girişli Denklemler					
M1	3.00	1.82	2.98	7.80	3.00
M2*	1.00	1.00	1.00	3.00	1.00
M3	1.00	3.00	3.00	7.00	2.67
Çift Girişli Denklemler					

M4	3.00	1.85	3.00	7.85	3.00
M6*	1.00	1.00	1.97	3.97	1.00
M8	3.00	3.00	1.00	7.00	2.56

*Genel sıralamaya göre en başarılı regresyon denklemini ifade etmektedir.



Şekil 4.2. Gerçek ve tahmin edilen gövde hacimlerine ilişkin 1:1 grafikleri. a: tek girişli kabuklu gövde hacim denklemi, b: çift girişli kabuklu gövde hacim denklemi, c: tek girişli kabuksuz gövde hacim denklemi ve d: çift girişli kabuksuz gövde hacim denklemi.



Şekil 4.3. Tahmin edilen gövde hacimleri ve hatalara ilişkin grafikler. a: tek girişli kabuklu gövde hacim denklemi, b: çift girişli kabuklu gövde hacim denklemi, c: tek girişli kabuksuz gövde hacim denklemi ve d: çift girişli kabuksuz gövde hacim denklemi.

Hem kabuklu hem de kabuksuz gövde hacim tahminleri için tek girişli M2 ve çift girişli M6 modellerinin uygunlukları bağımsız olarak ayrılan kontrol veri grubundaki 36 adet ağaç kullanılarak test edilmiştir. Bu amaçla öncelikle, kontrol veri grubundaki ağaçların hacimleri geliştirilen denklemler ile tahmin edilmiştir. Ardından, tahmin edilen gövde hacim değerleri ile ölçülen gövde hacim değerleri Eşleştirilmiş t Test kullanılarak test edilmiştir. Test sonucunda tek girişli kabuklu gövde hacim ($p = 0.664$), çift girişli kabuklu gövde hacim ($p = 0.424$), tek girişli kabuksuz gövde hacim ($p = 0.813$) ve çift girişli kabuksuz gövde hacim ($p = 0.977$) tahminleri ile gerçek hacim değerleri 0.05 önem düzeyinde farksız bulunmuştur. Hem istatistiksel hem de grafiksel değerlendirmelerle başarılı bulunan ve uygunlukları denetlenen tek girişli ve çift girişli kabuklu ve kabuksuz gövde hacim denklemlerinin tahmin edilen parametreleri ile birlikte son matematiksel formları aşağıda verilmiştir.

Tek girişli kabuklu gövde hacim denklemi

$$v_{klu} = (-0.22999 + 0.033019 d)^2 \quad (15)$$

Çift girişli kabuklu gövde hacim denklemi

$$v_{klu} = 0.000056 d^{1.946454} h^{0.91348} \quad (16)$$

Tek girişli kabuksuz gövde hacim denklemi

$$v_{ksuz} = (-0.22824 + 0.028679 d)^2 \quad (17)$$

Çift girişli kabuksuz gövde hacim denklemi

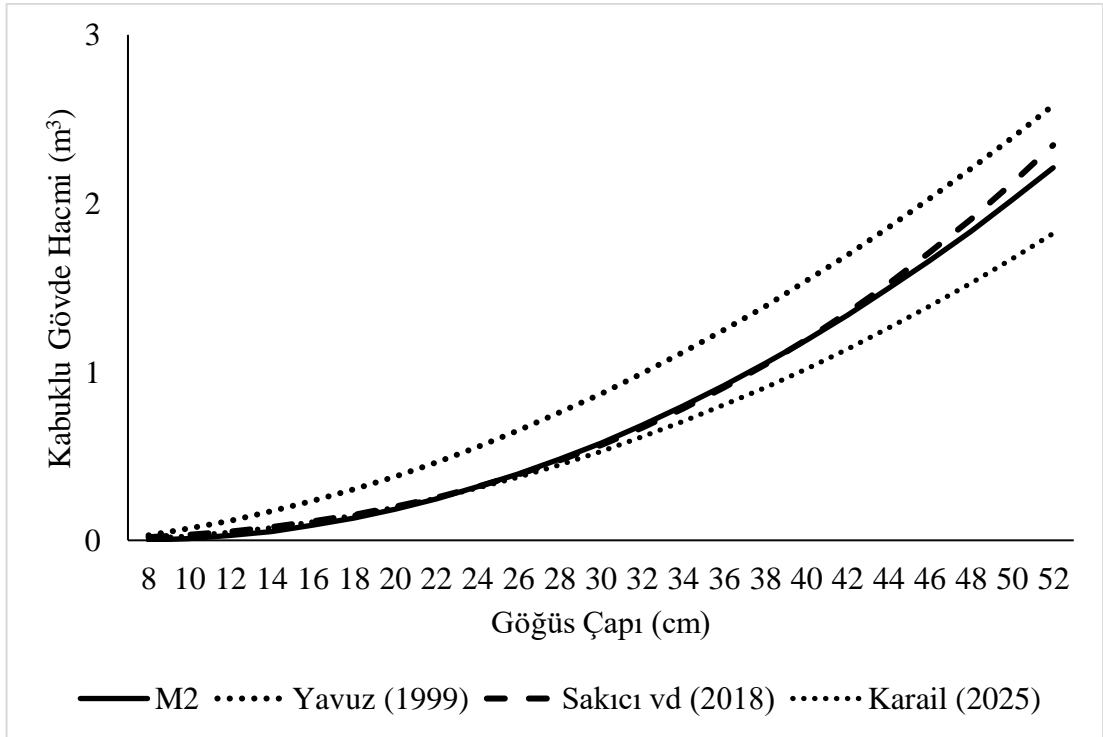
$$v_{ksuz} = 0.00003d^{2.120903} h^{0.795241} \quad (18)$$

Bu çalışmada Eflani Orman İşletme Müdürlüğü bünyesindeki Abakolu OİŞ, Bedil OİŞ, Eflani OİŞ, İndere OİŞ ve Ovaçalış OİŞ içerisinde karaçam meşcerelerinde kabuklu ve kabuksuz gövde hacim tahminlerinde kullanılmak üzere için tek ve çift girişli gövde hacim denklemleri geliştirilmiştir. İşletme Şefliklerinin amenajman planlarında hali hazırda kullanılmakta olan tek girişli kabuklu gövde hacim tabloları ile bu çalışmada geliştirilen tek ve çift girişli kabuklu gövde hacim denklemlerinin tahmin başarıları test veri seti kullanılarak karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.5). Çizelgede görüldüğü üzere M2 ve M6 modelleri ile elde edilen tahmin değerleri gerçek hacimlerle istatistiksel olarak farksız ($p > 0.05$), planlardaki hacim tabloları ile elde edilen hacim değerleri ise gerçek hacimlerle istatistiksel olarak farklı çıkmıştır ($p < 0.05$). Bununla birlikte, çift girişli M6 modeli kullanılarak yapılan gövde hacim tahminlerine ilişkin hem ortalama hem de ortalama mutlak hatalar daha düşük hesaplanmıştır. Çift girişli gövde hacim denklemlerinin tek girişli denklemlere kıyasla h değişkenini de tahmin değişkeni olarak içerdiği düşünüldüğünde bu beklenen bir durumdur.

Çizelge 4.5. Bu çalışma kapsamında geliştirilen tek girişli M2 ve çift girişli M6 modelleri ile planlardaki tek girişli kabuklu gövde hacim tablolarının karşılaştırması

Tahmin yöntemi	OH (m ³)	OMH (m ³)	Eşleştirilmiş t-testi sonucu
Amenajman planlarındaki tablolar	-0.1223	0.1449	<0.05
M2	-0.0103	0.1003	0.664
M6	-0.0072	0.0415	0.424

Bir ağacın gövde hacmi çapının, boyunun ve gövde formunun bir fonksiyonu olmakla birlikte yetiştirme ortamı koşullarından oldukça etkilenmektedir. Şekil 4.4'te Eflani OİM (M2), Taşköprü yöresi (Yavuz, 1999), Kastamonu bölgesi (Sakıcı vd, 2018) ve Karabük OİM (Karail, 2025) sınırları içerisinde yayılış yapan karaçam meşcereleri için geliştirilmiş tek girişli kabuklu gövde hacim denklemleri grafik düzlemde karşılaştırılmıştır. Görüldüğü üzere, aynı ağaç türünün göğüs çapına bağlı hacim gelişimleri her bölge için farklılık göstermektedir. Kastamonu bölgesi karaçamları ile bu tezin çalışma alanı olan Eflani OİM sınırlarındaki karaçamların tüm çap kademelerindeki hacim değerleri birbirlerine oldukça yakın değerlerine sahiptir. Bununla birlikte, Karabük OİM ve Eflani OİM karaçamlarının göğüs çapına bağlı hacim değerleri belirli bir çap basamağına kadar benzerken, ileriki çap basamaklarında Karabük OİM içerisindeki karaçamlar daha düşük hacim değerlerine sahip görünmektedir. Ayrıca, Taşköprü yöresinde yetişen karaçamların göğüs çapına bağlı gövde hacim eğrisi diğer tüm eğrilerden oldukça farklı yapıdadır. Bu farklılaşmaların temel sebepleri, çalışmaların gerçekleştirildikleri yetiştirme ortamı koşulları, çalışmalarda kullanılan model yapıları, model geliştirmede kullanılan örnek ağaçların sayısı ve dağılımı vb. olarak açıklanabilir.



Şekil 4.4. M2 ve literatürdeki bazı modellerin karşılaştırılması

Çalışma kapsamında geliştirilen tek ve çift girişli gövde hacim denklemleri oldukça basit matematiksel formlardır. Ancak, kullanıcıya kolaylık sağlaması açısından bu denklemler kullanılarak gövde hacim tabloları düzenlenmiştir. Tek girişli kabuklu ve kabuksuz gövde hacim tablosu Çizelge 4.6’da, çift girişli kabuklu gövde hacim tablosu Çizelge 4.7’de ve çift girişli kabuksuz gövde hacim tablosu Çizelge 4.8’de verilmiştir.



Çizelge 4.6. Tek girişli kabuklu ve kabuksuz gövde hacim tablosu

Gögüs Çapı (cm)	Kabuklu Gövde Hacmi (m ³)	Gögüs Çapı (cm)	Kabuksuz Gövde Hacmi (m ³)
10	0.010040	10	0.003428
12	0.027635	12	0.013435
14	0.053952	14	0.030021
16	0.088991	16	0.053187
18	0.132752	18	0.082934
20	0.185236	20	0.119260
22	0.246441	22	0.162166
24	0.316368	24	0.211652
26	0.395017	26	0.267717
28	0.482389	28	0.330363
30	0.578482	30	0.399588
32	0.683297	32	0.475394
34	0.796835	34	0.557779
36	0.919094	36	0.646744
38	1.050076	38	0.742289
40	1.189779	40	0.844414
42	1.338205	42	0.953119
44	1.495352	44	1.068403
46	1.661222	46	1.190268
48	1.835814	48	1.318712
50	2.019127	50	1.453737
52	2.211163	52	1.595341

Çizelge 4.7. Çift girişli kabuklu gövde hacim tablosu

Göğüs çapı (cm)	Ağaç Boyu (m)											
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	
Kabuklu Gövde Hacmi (m ³)												
12	0.0363	0.0472	0.0578	0.0683	0.0787	0.0889						
16	0.0635	0.0826	0.1013	0.1196	0.1377	0.1556	0.1732					
20	0.0980	0.1275	0.1563	0.1847	0.2126	0.2402	0.2675	0.2945				
24	0.1398	0.1818	0.2229	0.2633	0.3032	0.3425	0.3814	0.4199	0.4581			
28	0.1887	0.2455	0.3010	0.3555	0.4092	0.4623	0.5149	0.5669	0.6184	0.6696		
32	0.2447	0.3183	0.3903	0.4610	0.5307	0.5996	0.6677	0.7351	0.8020	0.8683	0.9342	
36	0.3078	0.4003	0.4908	0.5798	0.6675	0.7540	0.8397	0.9245	1.0086	1.0921	1.1749	
40	0.3779	0.4914	0.6026	0.7118	0.8194	0.9257	1.0308	1.1350	1.2382	1.3407	1.4424	
44	0.4549	0.5916	0.7254	0.8568	0.9864	1.1144	1.2410	1.3663	1.4906	1.6139	1.7364	
48	0.5389	0.7008	0.8593	1.0150	1.1685	1.3200	1.4700	1.6185	1.7657	1.9118	2.0568	
52	0.6297	0.8190	1.0041	1.1861	1.3654	1.5426	1.7178	1.8914	2.0634	2.2341	2.4036	

Çizelge 4.8. Çift girişli kabuksuz gövde hacim tablosu

Göğüs çapı (cm)	Ağaç Boyu (m)											
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	
Kabuksuz Gövde Hacmi (m ³)												
12	0.0243	0.0305	0.0364	0.0421	0.0476	0.0529						
16	0.0446	0.0561	0.0670	0.0775	0.0876	0.0974	0.1070					
20	0.0717	0.0901	0.1076	0.1244	0.1406	0.1563	0.1717	0.1867				
24	0.1055	0.1326	0.1584	0.1831	0.2069	0.2301	0.2527	0.2748	0.2965			
28	0.1463	0.1839	0.2196	0.2539	0.2870	0.3191	0.3505	0.3811	0.4111	0.4406		
32	0.1942	0.2441	0.2915	0.3370	0.3809	0.4236	0.4652	0.5059	0.5457	0.5848	0.6232	
36	0.2493	0.3134	0.3742	0.4326	0.4890	0.5438	0.5972	0.6494	0.7005	0.7507	0.8001	
40	0.3117	0.3918	0.4679	0.5409	0.6115	0.6800	0.7468	0.8120	0.8760	0.9387	1.0004	
44	0.3815	0.4796	0.5728	0.6621	0.7485	0.8323	0.9140	0.9939	1.0722	1.1490	1.2245	
48	0.4589	0.5768	0.6888	0.7963	0.9002	1.0010	1.0993	1.1954	1.2895	1.3819	1.4727	
52	0.5438	0.6836	0.8163	0.9436	1.0667	1.1862	1.3027	1.4165	1.5281	1.6376	1.7452	

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında Eflani OİM sınırları içerisinde yayılış yapan karaçam meşcerelerinde kabuklu ve kabuksuz gövde hacim tahminleri için kullanılmak üzere tek ve çift girişli gövde hacim denklemleri geliştirilmiştir. Aynı zamanda, bu denklemler kullanılarak gövde hacim tabloları düzenlenmiştir. Göğüs çapı ile birlikte ağaç boyunu bağımsız değişkenler olarak içeren çift girişli denklemler yalnızca göğüs çapını bağımsız değişken olarak içeren tek girişli gövde hacim denklemlerine kıyasla daha başarılı tahmin yeteneğine sahiptir. Ağaç boyunun da göğüs çapı ile birlikte açıklayıcı değişken olarak denkleme dâhil edilmesi ile tahmin başarısının artacağı beklenen bir durumdur.

Bu çalışmada geliştirilen hem tek girişli hem de çift girişli kabuklu ve kabuksuz gövde hacim denklemleri Eflani OİM karaçam meşcerelerinde kullanılmak üzere tavsiye edilmektedir. Tek girişli veya çift girişli denklemlerden hangisinin kullanılacağı uygulamacının çalışma amacına, beklenen tahmin hassasiyetine, zaman ve iş gücüne bağlıdır. Daha hassas tahminler gerektiren bilimsel çalışmalar için çift girişli gövde hacim denklemlerinin kullanımı tavsiye edilmekteyken, ortalama hatanın daha önemli ölçüt olarak kabul edildiği entansif ormancılık uygulamalarında tek girişli gövde hacim denklemlerinin de kullanımı uygun görülmektedir.

Denklemlerin geliştirilmesinde kullanılan örnek ağaçların çap aralığının 8.5-52.7 cm ve boy aralığının ise 5.7-26.1 m olduğu düşünüldüğünde geliştirilen denklemlerin de bu boyutlara sahip ağaçlarda sağlıklı hacim tahminlerinde kullanılabileceği sonucu çıkmaktadır. Bununla birlikte, çalışmada kullanılan verilerin ince çap basamaklarını temsiliyeti diğer çap basamaklarına göre daha düşüktür ve ince çaplı bireylerde yapılacak olan hacim tahminlerinde temkinli olunması önerilmektedir. Çalışma alanı içerisinde bu boyutlar dışındaki ağaçlarda gövde hacim tahminleri yaparken temkinli

olmak gerekmektedir. Bununla birlikte, geliştirilen denklemler Eflani OİM sınırları içerisindeki karaçamlar için geliştirilmiş ve uygunluk denetimi yapılmıştır. Bu sebeple, çalışma alanı dışındaki karaçalarda gövde hacim tahminlerinde kullanılmaları gerekiyorsa uygunluk denetiminin yapılması gerekmektedir.



KAYNAKLAR

1. Akindele, S. O., ve LeMay, V. M., “Development of tree volume equations for common timber species in the tropical rain forest area of Nigeria”, *Forest Ecology and Management*, 226(1-3): 41-48 (2006).
2. Baskerville, G. L., “Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass”, *Canadian Journal of Forest Research*, 2: 49-53 (1972).
3. Baytaş, S., ve Seki, M., “Safranbolu Yöresi Kazdağı Göknarı (*Abies nordmanniana* subsp. *equi-trojani*) meşcereleri için ağaç hacim tabloları”, *Turkish Journal of Forestry*, 24(2): 61-68 (2023).
4. Bolat, F., “Antalya-Yeşilvadi yöresinde yayılış yapan kızılçam meşcereleri için yeni bir ağaç hacim modelinin geliştirilmesi”, *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 10(2): 108-113 (2024).
5. Bozkuş, H.F., ve Carus, S., “Toros göknarı (*Abies clicica* carr.) ve sedir (*Cedrus libani* link.)’in çift girişli gövde hacim tabloları ve mevcut tablolarla karşılaştırılması”, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, A(47): 51-70 (1997).
6. Carus, S., ve Su, Y., “Antalya–Korkuteli yöresi kızılçam ağaçlandırmaları için tek ve çift girişli ağaç hacim tablosunun düzenlenmesi ve mevcut tablolar ile kıyaslanması”, *II. Ulusal Akdeniz Orman Ve Çevre Sempozyumu*, Isparta, 574-584 (2014).
7. Carus, S., Memiş, İ., Kündü, K., ve Alem, Ö., “Şehit Ali İhsan Kalmaz Ormanı Karaçam (*Pinus nigra* Arnold) ağaçlandırması için tek ve çift girişli ağaç hacim tablolarının düzenlenmesi”, *Turkish Journal of Forestry*, 17(1): 37-42 (2016).
8. Clutter, J. L., Fortson, J. C., Pienaar, L. V., Brister, G. H., and Bailey, R. L., “Timber management: a quantitative approach”, *John Wiley*, New York, 333 (1983).
9. Çalışkan, A., ve Yeşil, A., “Büyükdüz Araştırma Ormanı sarıçam-göknar-kayın karışık meşcerelerinde bulunan sarıçam için tek ve çift girişli hacim tablosu”, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, A(46): 39-50 (1996).
10. Çatal, Y., Gürlevik, N., Karatepe, Y., ve Carus, S., “Isparta–Gölcük yöresi yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.) meşcereleri için tek ve çift girişli ağaç hacim tablosu”, *Turkish Journal of Forestry*, 6(2): 78-90 (2005).
11. Çatal, Y., ve Güneş, A., “Antalya yöresi ormanları için titrek kavak ağaç hacim tablolarının düzenlenmesi”, *Turkish Journal of Forestry*, 19(1): 30-39 (2018)

12. Durkaya, B., ve Durkaya, A., “Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü Uludağ göknarı (*Abies bornmülleriana* Matff.), sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) karışık meşcereleri için hacim tabloları”, ***Bartın Orman Fakültesi Dergisi***, 8(10): 10-19 (2006).
13. Durkaya, A., Durkaya, B., ve Uludağ, M., “Volume functions for oriental plane (*Platanus orientalis* L.) stands in Kastamonu-Akçay region”, ***Kastamonu University Journal of Forestry Faculty***, 9(1): 19-24 (2009).
14. Eraslan, İ., ve Şad, H. C., “Orman amenajmanı”, ***İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Basımevi***, İstanbul (1993).
15. Ercanlı, İ., Güvendi, E., Güney, D., Günlü, A., ve Altun, L., “Sinop yöresi Sahilçamı (*Pinus pinaster* Ait.) ağaçlandırmalarına ilişkin tek ve çift girişli ağaç hacim tablolarının düzenlenmesi”, ***Kastamonu University Journal of Forestry Faculty***, 8(1): 14-25 (2008).
16. Gülen, İ., “Karaçam (*P. nigra*, Arnold) hacim tablosu”, ***Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University***, Seri A, No 1: 97-112 (1959).
17. Husch, B., Beers, T., ve Kershaw Jr, J., “Forest Mensuration”, ***John Willey & Sons, Inc.***: Hoboken, NJ, USA, 443 (2003).
18. Kahriman, A., Sönmez, T., ve Şahin, A., “Tree volume tables for Calabrian pine in Antalya and Mersin region”, ***Kastamonu University Journal of Forestry Faculty***, 17(1): 9-22 (2017).
19. Kahriman, A., Çakır, C. Y., ve Şahin, A., “Artvin Ardanuç yöresi Doğu Karadeniz göknarı-Doğu ladini karışık meşcereleri için hacim denklemleri”, ***Turkish Journal of Forestry***, 24(1): 1-10 (2023).
20. Kalıpsız, A., “Dendrometri”, ***İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları***, No:3793/426, İstanbul, 407 (1984).
21. Karail, H., “Karabük Orman İşletme Müdürlüğü karaçam meşcereleri için gövde hacim denklemlerinin geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, ***Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü***, Karabük, (2025).
22. Mısır, N., ve Mısır, M., “Developing double-entry tree volume table for Ash in Turkey”, ***Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi***, 5(2): 135-144 (2004).
23. Ölmez, K., ve Şenyurt, M., “Sarıçam ağaçları (*Pinus sylvestris* L.) için tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi (Bozalan ve Çubuk yöresi örneği)”, ***Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi***, 8(1): 73-82 (2022).

24. Özçankaya, N., Batur, M., ve Kiracıoğlu, Ö., “İzmir Orman Bölge Müdürlüğü fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.) meşcereleri için gövde hacim tablolarının düzenlenmesi”, *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 8(2): 125-145 (2021).
25. Özçelik, R., “Bucak yöresi kızılçam, sedir ve Toros göknarı türleri için hacim denklemleri”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, A(2): 1-15 (2010).
26. Özçelik, R., ve Altınkaya, H., “Comparison of tree volume equations for brutian pine stands in Eğirdir district”, *Turkish Journal of Forestry*, 20(3): 149-156 (2019).
27. Özçelik, R., ve Çevlik, M., “Batı Akdeniz Yöresi doğal sedir meşcereleri için hacim denklemleri”, *Turkish Journal of Forestry*, 18(1): 37-48 (2017).
28. Özçelik, R., ve Kalkanlı, Ş., “Kaş yöresi doğal kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcereleri için ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi”, *Turkish Journal of Forestry*, 19(1): 9-19 (2018).
29. Poudel, K. P., ve Cao, Q. V., “Evaluation of methods to predict Weibull parameters for characterizing diameter distributions”, *Forest Science*, 59(2): 243-252 (2013).
30. Sakıcı, O. E., Sağlam, F., ve Seki, M., “Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü karaçam meşcereleri için tek ve çift girişli ağaç hacim denklemleri”, *Turkish Journal of Forestry*, 19(1): 20-29 (2018).
31. Seki, M., “Developing single and double entry tree volume equations for calabrian pine trees in Bergama Forest Enterprise”, *2. International Congress On Environment, Disaster And Forest*, Adana, 105 (2022).
32. Sönmez, T., Gencal, B., ve Çankaya, E.Ç., “Single- and double-entry volume equations for Turkey oak (*Quercus cerris* L.) stands in Bursa Regional Directorate of Forestry”, *Forestist*, 73(1): 51-62 (2023).
33. Sprugel, D. G., “Correcting for bias in log-transformed allometric equations”, *Ecology*, 64: 209-210 (1983).
34. Şahin, A., ve Ercanlı, İ., “Karışık etkili modelleme yaklaşımıyla karaçam hacim denklemlerinin geliştirilmesi”, *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 10(1): 32-44 (2023).
35. Şenyurt, M., ve Ümit, M., “Asarkaya kızılçam meşcereleri için tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi”, *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 5(2): 108-116 (2019).
36. Vatandaşlar, C., Seki, M., ve Zeybek, M., “Assessing the potential of mobile laser scanning for stand-level forest inventories in near-natural forests”, *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 96(4): 448-464 (2023).

37. Yavuz, H., “Taşköprü yöresinde karaçam için hacim fonksiyonları ve hacim tabloları”, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23: 1181-1188 (1999).
38. Zaifoğlu, D.N, ve Sağlam, F., “Volume equations for Scots pine trees in Kastamonu region”, *Turkish Journal of Forestry*, 25(4): 430-436.



ÖZGEÇMİŞ

Ebrar Nur ARSLAN, ilköğretimini Karabük Fazlı Yeşil Yurt İlkokulunda, ortaöğretimini Karabük Ertuğrul Gazi Ortaokulunda tamamlamış ve liseyi Karabük Anadolu İmam Hatip Lisesinden mezun olarak bitirmiştir. Lisans eğitimini 2022 yılında Karabük Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümünden mezun olarak tamamlayan Arslan aynı yıl Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğüne bağlı Eskipazar Orman İşletme Müdürlüğünde danışman mühendis olarak işe başlamıştır. 2023 yılında Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğüne bağlı Eflani Orman İşletme Müdürlüğünde yangın amiri olarak çalışan Arslan 2024 yılında Eflani Orman İşletme Müdürlüğünde danışman mühendis olarak çalışmıştır.