

**T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ISPARTA-EĞİRDİR YÖRESİ DOĞAL KIZILÇAM (*Pinus brutia* Ten.)  
MEŞCERELERİ İÇİN AĞAÇ HACİM DENKLEMLERİNİN  
GELİŞTİRİLMESİ**

**Hakkı ALTINKAYA**

**Danışman  
Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ISPARTA - 2018**



© 2018 [Hakkı ALTINKAYA]

## TEZ ONAYI

Hakkı ALTINKAYA tarafından hazırlanan "**Isparta-Eğirdir Yöresi Doğal Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Meşcereleri İçin Ağaç Hacim Denklemlerinin Geliştirilmesi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Orman Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

**Danışman**                      **Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK** .....

Süleyman Demirel Üniversitesi

**Jüri Üyesi**                      **Doç. Dr. Yılmaz ÇATAL** .....

Süleyman Demirel Üniversitesi

**Jüri Üyesi**                      **Dr. Öğr. Üyesi Özdemir ŞENTÜRK** .....

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi

**Enstitü Müdürü**              **Prof. Dr. Yasin TUNCER** .....

## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Hakkı ALTINKAYA**

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET .....	ii
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kızılçam ( <i>Pinus brutia</i> Ten.) Türüne Ait Genel Bilgiler .....	6
1.1.1. Botanik özellikleri ve doğal yayılışı.....	6
1.1.2. Ekolojik özellikleri .....	7
1.3. Silvikültür özellikleri.....	8
1.4. Odununun kullanım yeri.....	9
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	10
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	18
3.1. Materyal .....	18
3.2. Yöntem.....	21
3.2.1. Ağaç hacim fonksiyonları .....	21
3.2.3. İstatistiksel analiz.....	23
3.2.4. Model performanslarının değerlendirilmesi .....	24
3.2.4.1. Model nispi sıralama.....	25
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	27
4.1 Ağaç Hacim Denklemleri İçin Elde Edilen Sonuçlar .....	27
4.3. Test Edilen Modellerin Bağımsız Veri Seti İle Değerlendirilmesi .....	37
4.4. İki parametrelili modeller için tüm veri seti ile değerlendirilmesi.....	42
4.5. En başarılı regresyon modellerinin bazı hacim tahmin metotları ile karşılaştırılması. ....	44
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	45
KAYNAKLAR .....	48
ÖZGEÇMİŞ.....	55

## ÖZET

### Yüksek Lisans Tezi

## ISPARTA-EĞİRDİR YÖRESİ DOĞAL KIZILÇAM (*Pinus brutia* Ten.) MEŞCERELERİ İÇİN AĞAÇ HACİM DENKLEMLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Hakkı ALTINKAYA

Süleyman Demirel Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

Kızılçam (*Pinus brutian* Ten.) ekonomik ve ekolojik açıdan en önemli asli ağaç türlerimizden birisidir. Doğal kızılçam ormanlarının bugün ve geleceğe dönük yönetim ve planlanması ile ilgili stratejilerinin geliştirilmesinde, bu ormanlarının büyüme ve hasılatına ilişkin sağlıklı bilgilerin elde bulunması zorunludur. Ormanların büyüme ve hasılatına ilişkin tahminlerde kullanılan en önemli yapı taşlarından birisi, ağaç hacim tahminleridir. Hacim tahminleri, ağaç ve meşcerelere ilişkin hacmin ve bu hacim miktarının farklı ticari sınıflara dağılımının doğru hesaplanmasında, orman amenajman planlarının düzenlenmesinde, orman ürünleri sanayisinin geleceğine ilişkin projeksiyonların yapılmasında ve uygun biyokütle dönüşüm faktörleri yardımı ile biyokütle ve karbon birikim miktarının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Bu amaçla, bu çalışmada, Isparta-Eğirdir Yöresi doğal kızılçam meşcerelerinin hacim tahminleri için hacim denklemleri geliştirilmiştir. Bu amaçla 405 örnek ağaç ölçülmüş ve bu örnek ağaçlar tesadüfi olarak iki gruba ayrılmıştır. Gruplardan biri model geliştirmek, diğeri ise geliştirilen modelin test edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Çalışmada 30 farklı regresyon modeli test edilmiştir. En uygun hacim denkleminin seçimi için; model geliştirme ve test verileri için, altı farklı uygunluk ölçütü (uyum indeksi, ortalama hata, ortalama mutlak hata, maksimum mutlak hata, hata kareler ortalamasının karekökü ve Akaike bilgi kriteri) kullanılarak belirlenen model nisbi sıralamalarına göre gerçekleştirilmiştir. Model nisbi sıralamalarına göre, en başarılı hacim modelleri, Model 14, Model 6 ve Model 17 olarak bulunmuştur. Ancak, yörede doğal kızılçam meşcerelerinde yapılacak hacim tahminleri için, daha az parametrelili ve nispeten daha kolay bir model olması nedeniyle, Model 7 önerilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Boy, Göğüs çapı, Nisbi sıra, Hacim denklemi, Kızılçam.

2018, 55 sayfa

## ABSTRACT

M.Sc. Thesis

### DEVELOPMENT OF TREE VOLUME EQUATIONS FOR NATURAL BRUTIAN PINE (*Pinus brutian* Ten.) STANDS IN EĞİRDİR-İSPARTA REGION

Hakkı ALTINKAYA

Süleyman Demirel University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Forest Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

Brutian pine (*Pinus brutian* Ten.) forests are economically and ecologically one of the most important forests in Turkey. In this context, knowing the state and limitations of growth and yield of Brutian pine forests is necessary for improving future management and planning strategies of timber resources. The one of the essential building blocks in forest growth and yield prediction models is the equations for estimating individual tree volume. Individual tree volume estimations can be use to tree and stand volume estimations and to any merchantable limit of this volume, forest management plans arrangement, to projections of forest products industries, and to estimations of biomass and carbon budgets with suitable biomass conversion factors. In this study, tree volume equations were developed for brutian pine stands in Isprata-Eğirdir Region. For this aim, 405 sample trees destructively measured and then these trees rae randomly divided into two groups as development data and validation data. Thirty regression models tested in this study. The tested models were compared using six performance criteria (Fit index, average bias, average absolute residuals, absolute maximum bias, and Akaike Information criteria) for model development and validation dataset. Accordingly relative ranks of models, the best volume equations are Model 14, Model 6, and Model 17, respectively. However, we recommended Model 7, Because of well-known model, easy to applicate, and the model has only two parameter. As a result, tree volume can be estimated with high precision using Model 7 for natural brutian pine stands in region.

**Keywords:** Brutian pine, Volume equation, Diameter, Height, Relative rank.

**2018, 55 pages**

## TEŞEKKÜR

Isparta-Eğirdir Yöresi doğal kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcereleri için ağaç hacim denklemlerinin geliştirildiği bu alıőma, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

BAP-5053-YL1-17 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Bu araştırma için beni yönlendiren, arazi çalışmaları aőaması da dahil olmak üzere, karşılaőtıđım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aőmamda yardımcı olan, yol gösteren baőtta Danışman Hocam Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK olmak üzere yine pek çok aőamada bana katkı sağlayan Arő. Gör. Onur ALKAN'a teőekkürlerimi sunarım.

Tezimin her aőamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Hakkı ALTINKAYA  
ISPARTA, 2018

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 1.1. Kızılçam ın ( <i>Pinus brutia</i> Ten.) Türkiye 'deki doğal yayılış alanı...	7
Şekil 3.1. Çalışmanın gerçekleştirildiği alanlardan görüntüler.....	18
Şekil 3.2. Ölçümü yapılan örnek ağaçlara ilişkin çap-boy dağılım grafiği, a)model geliştirme verisi, b)model test verisi.....	19
Şekil 3.3. Ölçümü yapılan örnek ağaçlara ilişkin çap-hacim dağılımı ilişkisi...	20
Şekil 4.1. Model Geliştirme verileri için bazı modellerin radar grafiği .....	29
Şekil 4.2. Test edilen modeller için tahin edilen hacim değerlerine karşı hata değerlerinin dağılımı .....	31
Şekil 4.3. Model test verileri için bazı modellerin radar grafiği.....	39
Şekil 4.4. Model geliştirme verileri için en başarılı ve en başarısız modeller için ölçülen ve tahmin edilen değerler için 1:1 grafiği.....	40
Şekil 4.5. Model test verileri için en başarılı ve en başarısız modeller için ölçülen ve tahmin edilen değerler için 1:1 grafiği.....	40
Şekil 4.6. İki parametrelili modeller (Model 7) kullanılarak test verileri için 45° çizgisi.....	41
Şekil 4.7. İki parametrelili modeller (Model 10) kullanılarak test verileri için 45° çizgisi.....	42
Şekil 4.8. Farklı hacim denklemleri ile elde edilen sonuçlarının karşılaştırılması.....	43

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Model Geliştirmek amacıyla kullanılan verilerin çap ve boy basamaklarına dağılımı.....	20
Çizelge 3.2. Model Test Etmek amacıyla kullanılan verilerin çap ve boy basamaklarına dağılımı.....	21
Çizelge 3.3. Hacim Denklemleri geliştirmek ve test etmek amacıyla kullanılacak örnek ağaçlara ilişkin tanımlayıcı istatistikler .....	21
Çizelge 4.1. Ağaç hacim fonksiyonlarına ilişkin parametre tahminleri .....	28
Çizelge 4.2. Model geliştirme verileri için elde edilen ölçüt değerleri .....	29
Çizelge 4.3. Model Geliştirmeye verileri için nisbi sıralama sonuçları .....	30
Çizelge 4.4. Model Test verileri için elde edilen ölçüt değerleri.....	37
Çizelge 4.5. Test edilen modeller için bağımsız veri seti kullanılarak elde edilen nisbi sıralama sonuçları.....	38
Çizelge 4.6. Tüm veri seti için kullanılarak iki model için elde edilen parametre tahminleri.....	39
Çizelge 4.7. Ağaç gövde hacim tahminleri için hata ve tolerans aralıkları <sup>a</sup> .....	43

## 1. GİRİŞ

Kızılçam, 6 milyon hektara yaklaşan yayılışı ile, ülkemiz ormanlarında en geniş alanı kaplayan bir ağaç türümüzdür. Bu yayılış alanı içerisinde, 270 milyon m<sup>3</sup> ü aşan serveti, 5 milyon m<sup>3</sup> den fazla artımı ve 4 milyon m<sup>3</sup> e yaklaşan eta'sı ile, kızılçam meşcereleri ormancılığımızda ayrı bir yer ve öneme sahiptirler. Bu bakımdan kızılçam meşcerelerinde yapılacak her türlü ormancılık faaliyetinin, bilim ve tekniğin gereklerine göre yürütülmesi, bu önemli kaynağın devamlılığı yönünden özel bir önem kazanmaktadır. Bunun için ise,ormancılık eğitiminde kazanılan genel bilgiler yanında, ülkemiz ekolojik şartlarında gerçekleştirilmiş araştırma sonuçlarının bilinmesi ve uygulanması gerekmektedir.

Türkiye'de 2008 yılında yürürlüğe giren yeni amenajman yönetmeliği kapsamında, ormanlar ekosistem tabanlı fonksiyonel planlama yaklaşımı ile planlanmakta ve işletilmektedir. Bununla birlikte, ülkemiz ormancılığında ve ormanların planlanmasında odun üretimi faaliyetleri önemini halen korumaktadır. Bu nedenle de, ağaç hacmi ve ağaç gövdesinden elde edilen odun sınıflarına ilişkin hacim miktarlarının doğru bir şekilde hesaplanması orman idarecilerinin en önemli görevleri arasında yer almaktadır (Yavuz,1995).

Ekosistem tabanlı fonksiyonel planların düzenlenebilmesine bağlı olarak ormanların işletilmesi ve sürdürülebilir yönetimi için geleceğe dönük planlamanın yapılacağı alandaki, ağaç türlerine ilişkin büyüme ve hasılat modellerine gereksinim duyulur (Huang vd., 2000). Büyüme ve hasılat modellerinden en önemlilerinden birisi ağaç ve meşcere hacim tahminidir.

Gelişme ve hasılat modellerinin en önemli tabanlıklarınıdan birisi ağaç ve meşcere hacim tahminidir. Hacim tahminleri, ağaç ve meşcerelere ilişkin hacim ve bu hacim miktarlarının değişik ticari evrelere dağılımının doğru hesaplanmasında (Dieguez Aranda vd., 2006; Crecente-Compo vd. 2009), orman ürünleri pazarının ileriye yönelik iş düzümünün yapılmasında (Frang vd., 2000; Jjiang vd., 2005; de-Miguel vd., 2012), orman üretkenliğinin ve sağlık yapısının gözlemlenmesinde ve uygun biyokütle değişim fatörleri aracılığı ile biyokütle ve

karbon birikim miktarının hesaplanmasında (Castedo-Dorado vd., 2012; Gomez-Garcia vd., 2015) kullanılan değerli bir meşcere parametresidir. Bugün Türkiye’de ekosistem tabanlı planlama çatısı altında hazırlanan amenajman planlarındaki meşcerelere ilişkin biyokütle ve karbon birikim miktarları, tek ağaç ve buna bağlı olarak elde edilen meşcere hacimleri ile hesaplanır. Neyazıkkı, kullanılmaya devam edilen geleneksel hacim tahmin yöntemleri özellikle bu kapsamda geniş bir biçimde kullanılan tek girişli hacim tabloları hem çeşitlenen ve değişen pazar koşullarının istediği hacim tahminleri için hem de devam ettirilebilir orman yönetimi için orman idarecilerinin ve orman ürünleri sanayisinin ihtiyaç duyduğu geleceğe yönelik projeksiyonların oluşturulmasında zayıf kalmaktadır. Bu nedenle odun kaynaklarının rasyonel olarak idaresi farklı yararlanma şekilleri ve farklı yönetim uygulamaları için tek bir hacmi en doğru biçimde belirlenmesinde olanak veren gelişme ve hasılat modellerine entegre edilebilen esnek ve güvenilir hacim tahmin şekillerine ihtiyaç duyulmaktadır (de-Miguel vd., 2012).

Ağaç hacmini tahmin etmek amacıyla en geniş olarak kullanılan yöntemlerin 1. sırasında ağaç hacim tabloları yer almaktadır. Vanlaar ve Akça (1997)'ye göre 19. yüzyılın başlarından beri ağaç hacmi tahmini yapmak amacıyla geniş bir biçimde tüm dünyada kullanılmaktadır. Ağaç hacim tabloları tüm ağaç hacmini ticari ağaç hacmini ve kabuksuz ya da kabuklu ağaç hacmi tahmin etmek için kullanılmaktadır. Ağaç hacmi genel olarak; göğüs yüksekliği çapı ( $d$ ) ağaç boyu ( $h$ ) ve göğüs boyu şekil katsayısının [şekil faktörü veya gövde şekli ( $f$ )] bir fonksiyonu olarak tahmin edilmektedir. Bu yaklaşımın formülü  $v = f(d, h, f)$  biçiminde yazılır, fakat pek çok araştırmacı gövde hacmi ve ağırlık denklemlerinin iyileştirilmesinde aşağıda belirtilen nedenlerden dolayı gövde şekil katsayısını bir değişken olarak kullanmamayı tercih etmektedirler (Clutter vd., 1983; Husch vd.2003).

- Gövde şeklinin belirlenmesi için gerekli olan gövde üzerinde farklı kısımlardaki çap ölçümlerinin uzun zaman alması ve bir hayli masraflı olması,
- Ağaç formundaki değişimin ağaç boyu ve çapındaki değişime göre ağaç

ağırlığı ve hacmi üzerinde daha az etkisinin olması (Clutter vd., 1983). Husch vd.,(2003), Behre (1935) ve Smith vd. (1961)'e atfen hacim tahminlerinde; ağaç boyu ve göğüs çapına ilaveten gövde biçiminde kullanılmasıyla oluşacak kazancın pratik açıdan bir avantaj getirmeyeceğini belirtmektedir.

- Pek çok ağaç türünden ağaç boyu ve göğüs çapı değişikliklerinin ağaç hacmi ve ağırlığındaki farklılaşmanın büyük bir kısmını açıklamaya olanak sağlaması,
- Bazı ağaç türlerinin genel olarak gövde şeklinin ağaç boynundaki değişime koşut olarak sabit kalması.

Bu sebepten dolayı ağaç hacim tabloları düzenlenmesinde genel olarak tek girişli çift girişli ya da çok girişli ağaç hacim denklemleri kullanılmaktadır. Ağaç Hacim denklemleri sadece göğüs çapına göre düzenlendiklerinde "Tek Girişli Ağaç Hacim Denklemleri", göğüs çapı ve ağaç boyuna göre düzenlendiklerinde "Çift Girişli Ağaç Hacim Denklemleri", göğüs çapı ve ağaç boyuna ek olarak ağaç boyunun belirli bir oranına (Örneğin %30) karşılık gelen yükseklikteki gövde çapı gibi üç ya da daha fazla değişkene göre düzenlendiklerinden "Çok Girişli Ağaç Hacim" denklemleri olarak adlandırılır. Geçerli oldukları sahanın büyüklüğüne göre de "Yöresel (Lokal) Ağaç Hacim Denklemleri", " Bölgesel Ağaç Hacim Denklemleri" ve "Genel Ağaç Hacim Denklemleri" olarak üç grupta incelenir (Vanlaar ve Akça, 1997; Kapucu vd., 2002, Burkhart ve Tome, 2012).

Farklı ülkelerde değişik ağaç türleri için ağaç hacim denklemleri geliştirilmesine yönelik yapılan çalışmalarda çok fazla sayıda ve farklı model tipinin denendiği ve bu modellerin önemli bir kısmını da karışık yapıdaki modelleri oluşturduğu gözlemlenmektedir (Ritchie ve Hann, 1984; Burk vd.,1989 Yavuz, 1995; Ounekham 2009; Hjelm ve Johansson, 2012; Heidarsson, 2014; Rachid vd., 2014; Yavuz, 1995). Ağaç hacim tablolarının düzenlenmesinde veya hacim denklemlerinin geliştirilmesinde ve denenmek amacıyla seçiminde üç aşama olduğunu uygulamıştır.

Bunlar;

- Gerekli sayıda ve uygun ağaç seçimi,
- Hacim denklemlerinin düzenlenebilmesi için gerekli bağımlı (ağaç gövde hacmi) ve bağımsız (göğüs çapı ve ağaç boyu) değişkenlerin ölçümü,
- Uygun model formunun seçimi ve modelin bağımsız bir veri seti ile test edilmesidir.

Yukarıdaki bilgiler de belirtildiği gibi tek ağaç ve meşcere hacminin hesaplanması ormanda envanter çalışmalarının en değerli tarafını oluşturmaktadır. Meşcere içerisindeki tek ağaçların ya da meşcereler ağaç servetinin tahmin edilmesinde ağaç hacim tabloları ya da ağaç hacim denklemleri kullanılmaktadır. Fakat her ağaç türü ve bunların değişik yetiştirme ortamları için uygun hacim tablosu ya da uygun hacim denkleminin bulunması ülkemiz gibi tür çeşitliliğinin yetiştirme ve gelişme ortamı farklılıklarını yüksek olduğu yerlerde mümkün değildir. Bu konuda çalışma uygulamaların yapılması doğru ve güvenilir hacim tahminleri için gerekli ve zorunludur.

Batı Anadolu ve Akdeniz Bölgesi'nde geniş yayılışının dışında kızılçam Erbaa yakınlarındaki Kelkit Çayı ile Yeşilirmak'ın birleştiği yer Ayancık, Sinop, Boyabat, Amasya, Zonguldak gibi Akdeniz ikliminin bariz olarak görüldüğü mikroklima bölgelerinde küçük adacıklar halinde bulunur. Türkiye'de en büyük yayılışı ise Akdeniz kıyı kuşağı ile kıyıya yakın arka bölgeler ve Güneydoğu'dur. Ülkemizde 1500 metreye kadar yetişir ve en geniş yayılış gösteren çam türümüzdür. 25 m boy 60 cm kadar çap yapabilen herdem yeşil önemli bir orman ağacıdır. Önceleri piramit görünümlüyken yaşlandıkça geniş tepelidir. Kabuğu düzgün boz renkteyken Yaşlanınca esmer kırmızımsı renkte kalın kabuk durumunda görülür. Yeni sürgünler kızılımsı renkte olup kızılçam adını buradan almaktadır. Kolay işlenmesi nedeniyle yapı malzemesi mobilya ve ambalaj sanayi de kullanılır.

Kızılçam ülkemizde orman ürünleri sanayiinde oldukça fazla kullanım alanına sahip olması sebebiyle önemli bir ekonomik değere sahiptir ve piyasada yüksek miktarda talebe konu olmaktadır. Bu çerçevede kızılçam ormanlarının bir taraftan korunması diğer taraftan da sürdürülebilir işletmesi amacıyla, geleceğe

dönük planlama ve stratejileri oluşturulması için bu ormanların mevcut durumuna büyüme ve gelişme özelliklerine ilişkin güvenilir ve nitelikli bilgiye ihtiyaç bulunmaktadır. Ağaç hacim tahminleri ağaç türlerine ilişkin büyüme modellerinin geliştirilmesi ve ormanların planlaması için en önemli yapı taşlarından biridir.

Ülkemizde kızılçam hem ekolojik hem de ekonomik açıdan en önemli asli ağaç türlerimizin başında gelmektedir. Ülkemizde son yapılan envanter çalışmaları sonucunda kızılçam 5.9 milyon hektar alanda yayılış gösterdiği ve bu alanlar üzerinde dikili ağaç serveti miktarının da yaklaşık olarak 270 milyon metreküp civarında olduğu tahmin edilmektedir (Anonim 2015).

Kızılçam odunu önemli endüstriyel özellikleri nedeniyle orman ürünleri endüstrisinde oldukça yüksek bir kullanım alanı bulunmaktadır. Bu nedenle ülkemizin değişik yörelerinde ki orman ürünleri endüstrisinin yüksek miktarda talebine maruz kalmaktadır. Bu nedenle kızılçamda tek ağaç ve meşcere hacminin gerçeğe yakın bir biçimde tahmin edilmesi hem üretici konumundaki Orman Genel Müdürlüğü hem de alıcı pozisyonundaki orman ürünleri endüstrisi için büyük bir önem arz etmektedir.

Hacim tahminleri diğer taraftan daha önce de bahsedildiği gibi kızılçam ormanlarının sürdürülebilirlik yöntemini ve orman ürünleri sanayinin geleceğe yönelik projeksiyonlarının doğru yapabilmesi ve hammadde sıkıntısı yaşamaması için son derece önemli ve gereklidir. Bu nedenle doğal kızılçam ormanlarının optimal ve geniş alanlarda yayılış gösterdiği alanlardan birisi olan Eğirdir Aşağıgökdere yöresinde bu çalışmanın yürütülecek olması hem türün ekolojik ve ekonomik geleceğini hemde bu yörede varolan orman ürünleri sanayinin geleceğe dönük stratejileri açısından büyük bir önem arz etmektedir. Diğer taraftan geliştirilecek olan ağaç hacim denklemleri ile ağaç hacim tahminleri gerçeğe daha yakın bir şekilde gerçekleştirilebilecektir.

Bu çalışmada kızılçam ağaç türünün en fazla yayılış gösterdiği alanlardan biri olan Eğirdir Aşağıgökdere bölgesi için ağaç hacim denklemleri geliştirilmiştir.

Bu amaçla farklı formlarda ağaç hacim denklemleri test edilmiş ve bağımsız veri seti kullanılarak yöre içi en uygun ağaç hacim denkleminin belirlenmesine çalışılmıştır. Ayrıca çalışmada Eğirdir Aşağıgökdere yöresi doğal kızılçam meşcereleri için farklı denklem formları kullanılarak ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi daha sonra da yöre için en uygun ağaç hacim denkleminin ortaya konması amaçlanmaktadır.

## **1.1. Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Türüne Ait Genel Bilgiler**

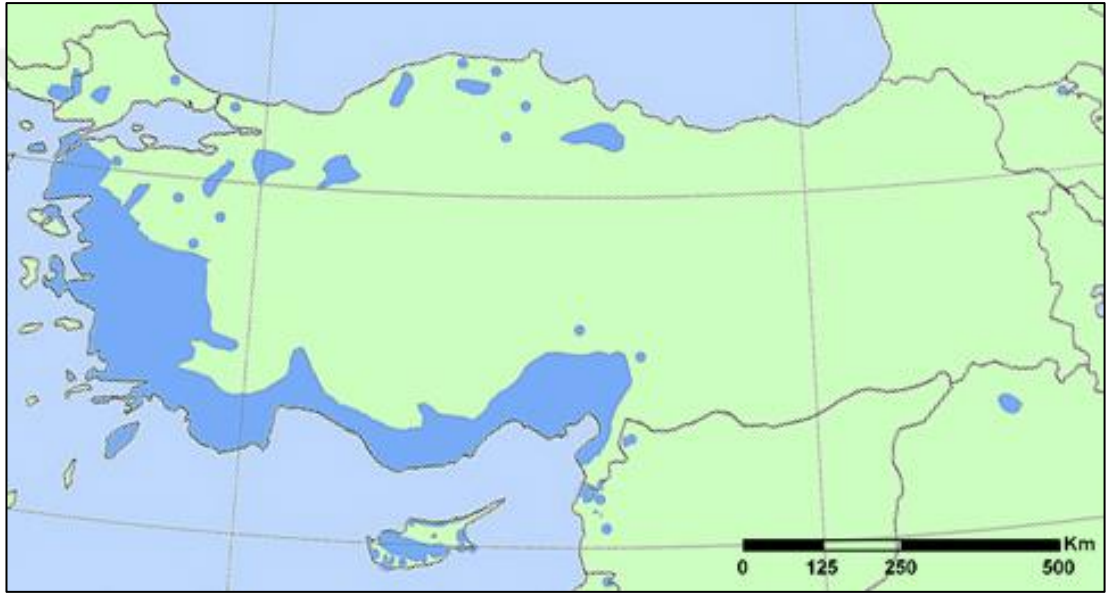
### **1.1.1. Botanik özellikleri ve doğal yayılışı**

Pinaceae familyasının dahil olan Kızılçam (*Pinus brutia* Ten. Syn: *P. pityusa* Stev.) 20-25 m boy ve 60 cm'ye kadar çap yapabilen, genel görünümü ile Halep çamına benzeyen, kalın dallı ve genellikle düzgün olmayan gövdeye sahip önemli bir orman ağacımızdır. Diğer taraftan, boylu ve düzgün gövdeli ağaçlardan oluşan, kızılçam meşcereleri de mevcuttur. Bu çam türünde genç sürgünler tüysüz, çoğunlukla önceleri kırmızımsı, daha sonraları ise, yeşilimsi-kahverengi nadiren de kurşuni-boz renklidir. Tomurcuklar, genel olarak yumurta biçiminde ve 15-20 mm uzunlukta olup tomurcuk pulları aşağıya doğru bakar ve kenarları kirpiklidir.

İğne yapraklar, 10-18 cm ve daha yukarı boyutlarda olup yumuşak yapıda ve açık yeşil renkte, kenarları ince dişlidir. Çok kısa saplı kozalaklar, ince uzunca biçimli ve kahverengidedir. Çoğunlukla, iki veya daha fazla sayıdaki kozalaklar, bir arada dik durumlu veya yatık halde bulunurlar ve hiçbir zaman sürgün üzerinde eğik olarak durmazlar. Toprak istekleri çok az olan bu sahil ağacımız, kışları ılıman, yazları sıcak ve kurak olan yerlerde, toprak bakımından kayalık, kireçli veya kumlu alanlarda yetişebildiği gibi, elverişli yetiştirme yeri koşullarında çok daha iyi bir gelişme gösterir. Kızılçam asli ağaç türlerimizdendir.

Kızılçam kuzey yarıkürenin kabaca 15-45 doğu boylamları ile 32-45 kuzey enlem dereceleri arasında kalan bir bölgesinde doğal olarak yayılmış

bulunmaktadır. Bu sınırlar içinde en batı ucu Kalabriya Yarımadası, en doğu noktası ise Irak'ın kuzeyindeki Zavita-Atrush Bölgesi oluşturmaktadır. Kuzey Kırım'a kadar çıkabilen bu ağaç türü güneyde Lübnan ve Filistin'e kadar inebilmektedir. En geniş yayılışını Akdeniz çukurunun doğusunda ve özellikle de Anadolu'da gerçekleştirdiğinden Doğu Akdeniz'in bir türü olarak kabul edilmektedir. Ülkemizin Akdeniz, Ege ve Marmara Bölgelerinin özellikle kıyıya bakan yamaçlarında geniş ve saf ormanlar kurmuştur. Batı Karadeniz Bölgesinin Akdeniz iklimi özellikleri gösteren bazı mikroklima bölgelerinde küçük meşcereler biçiminde doğal olarak bulunmaktadır.



Şekil 1.1. Kızılcāmın Türkiye 'deki doğal yayılış alanı

### 1.1.2.Ekolojik özellikleri

Kızılcām yayılış alanlarında çok çeşitli toprak tipleri (kırmızı Akdeniz toprakları-terra roza, kırmızı kahverengi topraklar, kestane rengi topraklar, kalkersiz orman toprağı, rendzina toprakları, regosol toprakları, alüviyal topraklar, koluviyal topraklar) bulunmaktadır (Özdemir, 1977; Neyişci, 1987). Kızılcām asıl Akdeniz ikliminin tipik bir ağacıdır. Işık ve sıcaklık istekleri yüksektir (Saatçioğlu ve Pamay, 1962; Atalay, 1998; Neyişci, 1987; Boydak, 1996; Boydak vd.; Ark. 2006). Emberger klimogramına göre Kızılcām'ın doğal yayılış alanları ile Akdeniz Bölgesi'nde yükseltiye göre vejetasyon basamakları

içinde Kızılçam'ın bulunuş basamakları kaynaklarda yer almaktadır (Boydak vd.; Ark. 2006, Boydak ve Çalikođlu, 2008). Pinus brutia genelde termo-mediterran, mezo-mediterran, supra-mediterran kuşaklarında yer almaktadır (Mayer ve Aksoy, 1986; Quézel, 2000; Boydak vd.; Ark. 2006). Bu bilgiler ana hatları ile aşağıda belirtilmiştir. Kızılçamın Ege ve Akdeniz kıyılarındaki termo-mediterran ve mezo- mediterran kuşaklarda, Quercetea ilicis'e dahil olan oldukça geniş meşcereleri mevcuttur. Klimaks olan ve de marn ve marnlı kalker üzerinde yer alan bu meşcereler, Antalya'nın doğusunda büyük ölçüde Gonocytiso- Pinion'a katılmaktadır. Antalya'nın doğusunda, termo- mediterran kuşakta, özellikle kalker anakaya üzerindeki kıyı alanlarda klimaks olarak Ceratonia rhamnion, mezo- mediterran kuşakta da çoğunlukla paraklimaks olarak Quercion calliprini içinde yer almaktadır. İskenderun Körfezi çevresinde yaygın olarak yer alan serpantin ana kaya üzerinde, Ptosimoppapo- Quercion alyansına dahil klimaks karakterdeki oldukça kaliteli meşcereleri dikkati çekmektedir. Güney- batı Anadolu'da aynı ana kaya üzerinde yetişmiş olan klimaks meşcereleri ise, Quercion calliprini ye dahildirler. Bu meşcerelerin bazıları orman, çoğunluğu da Cisto- Micromerietea'nın floristik açıdan yoğun ve zengin maki türlerini temsil eden, dikkat çekici çok sayıdaki toplumlarını kapsamaktadır. Kızılçam'ın özellikle Anadolu'nun güneyinde çok iyi geliştiğini ve genel olarak bu bölgedeki tüm ortamlarda üstünlük gösterdiğini belirtmek gerekir.

### **1.3. Silvikültür özellikleri**

Kızılçam tipik bir ışık ağacıdır (Pamay, 1966; Saatçioğlu, 1976; Özdemir, 1977; Atay, 1987; Boydak, 1993; Odabaşı ve vd., 2004; Boydak ve vd.. 2006). Doğrudan güneş radyasyonu alan alanlarda yetişmekte olup, sıcaklık isteği de fazladır. Kızılçam gençliğinin ışık isteği birinci yıldan itibaren yüksek düzeydedir. %70 ve daha yüksek ışık entansitesinde en iyi gelişmeyi yapmakta olup, ışık entansitesinin %65-70'in altına düşmesi halinde gençlik dejenere olmakta ve yaşayamamaktadır (Pamay, 1966; Saatçioğlu, 1976; Özdemir, 1977). Kızılçam gençlikte oldukça dar ve sivri tepeler geliştirir. İleri yaşlarda kalıtım ve çevre etkilerine bağlı olarak kalın dallı ve yayvan bir tepe görünümü oluşturma

eğilimi taşıyabildiği gibi, (Ürgenç, 1967; 1982, Saatçioğlu, 1976; Işık, 1998; Işık ve Işık, 1999; Yaltırık ve Boydak, 1989) hemen her yükselti kuşağında düzgün dolgun gövdeli, sivri tepeli, orta yaşlı ve yaşlı popülasyonlarına yaygın olarak rastlamak mümkündür (Boydak ve vd. 2006). Türkiye'deki en güzel kızılçam meşcerelerinin orta ve üst kuşağa denk gelen supra-mediteran katta yer aldığı ifade edilmekle birlikte (Nahal 1962, Saatçioğlu 1976) alçak kuşaktada, geçmişin yoğun tahribatına karşın, çok kaliteli Kızılçam ormanları bulunmaktadır (Ürgenç, 1967; Boydak, 2004; 2005, Boydak ve vd., 2006). Kızılçam hızlı gelişen bir türdür, iyi bonitetlerde 30-40 m boy, 40-50 cm göğüs çapına ulaşan kaliteli ormanları bulunmaktadır. Fethiye-Üzümlü'de 133 cm göğüs çapı 45 m boya ulaşan bireylerle 250-300 yaşlarında anıt nitelikli Kızılçam ormanı bulunmaktadır (Boydak, 1988).

#### **1.4. Odununun kullanım yeri**

Kızılçam odunu, inşaat malzemesi, ambalaj sandığı, tarım aletleri, ağaç teldireği, maden direği, çit kazığı, deniz taşıtlarının yapımında kullanılır. Ayrıca kağıt sanayinde sülfat metodu ile değerlendirme imkanı vardır. Kızılçam kabukları ise tanen üretiminde kullanılır. Ağacın 0.30 metresindeki kabukta %18.13, 1.30 metresinde %13.45 ve 6.0 metresinde ise %12.6 oranında tanen vardır.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Graves (1978), 6 adet ağırlıklı, 4 adet ağırlıksız regresyon denklemi kullanılarak ağaç hacim denklemleri geliştirmiştir. Bununla birlikte ağırlıklı regresyon denklemleri kullanılarak, model geliştirme sırasında ortaya çıkan hata dağılımının daha homojen bir yapı göstermesi sağlanmış ve çalışmada da Avusturalya hacim denklemi olarak bilinen denklem kullanılarak ağaç hacim tablosu yapılmıştır.

Lohley (1985), ABD'nin batı körfez bölgesindeki *Pinus elliottii* meşcereleri için hacim, hacim oranı ve gövde çapı modelleri geliştirmiştir. 467 örnek ağaç verinden yararlanmıştır. Hacim denklemlerinin geliştirilmesiyle Schumacher-Hall (1933) tarafından önerilen hacim fonksiyonu kullanılmıştır. Bundan dolayı model öncelikle doğrusal forma çevrilmiş daha sonra regresyon katsayıları tahmin edilmiştir.

Kelly ve Beltz (1987), orman envanteri çalışmalarında kullanmak üzere 4 farklı tür için, 8 farklı doğrusal regresyon modelini test etmişlerdir. Ve ağırlıklı en küçük kareler yöntemini kullanmışlardır. Bu çalışma sonucunda da Spurr' un kombine edilmiş modelinin en başarılı olduğu belirlenmiştir.

Burk vd. (1989), daha önce düzenlenmiş olan 16 ağaç türü için çift-girişli hacim denklemleriyle, yeni elde edilen verilere göre Girard Şekil Sınıfı değişkeninin eklenmesiyle oluşan çok-girişli hacim denklemleri arasında karşılaştırma yapmışlardır.

Pillsbury vd. (1995), tarafından *Lithocarpus densiflorus* için Schumacher-Hall hacim fonksiyonu kullanılarak ağaç hacim denklemleri geliştirmiştir. Bundan dolayı regresyon denklemi ilk olarak doğrusal hale getirilmiş ve sonra da regresyon katsayıları tahmin edilmiştir.

Bozkuş ve Carus (1997), Akdeniz Bölgesinde yayılış gösteren Toros göknarı ve sedir meşcereleri için çift girişli ağaç hacim tablosu düzenlemiş olup, bu

tablolardan elde edilen hacim tahminlerine göre kullanılmakta olan diğer mevcut tablolarla karşılaştırmıştır. Bundan dolayı sedirde 23 ve Toros göknarında 53 örnek veri kullanılıp çift girişli ağaç hacim tabloları geliştirilmiştir. Bu nedenle de farklı regresyon modelleri test edilmiş oldu.

Yavuz (1995 ve 1998), Taşköprü Orman İşletmesi' ndeki Sarıçam ve Karaçam meşcereleri için hacim fonksiyonları ve denklemleri geliştirmiştir. Bu nedenle 28 farklı hacim fonksiyonu kullanarak en başarılı olan hacim fonksiyonunun belirlenmesini esas alarak 6 farklı ölçüt değeri kullanılmıştır. Tek, çift ve çok girişli fonksiyonları ayrı ayrı değerlendirerek en başarılı olanları çalışmada hacim tablosu yapımı için önermiştir.

Fowler (1997), Michigan' daki red pine türü için doğrusal olmayan ve çoklu doğrudal modeller kullanarak ağaç hacim denklemleri geliştirmiştir. 27 farklı meşcereden örnek ağaçlar alarak elde ettiği sonuçları model geliştirmek amacıyla bağımsız veri seti kullanarak test etmiştir.

Tasissa vd. (1997), Pinus taeda' nın aralama yapılmış ve yapılmamış meşcereleri için hacim ve gövde çapı modelleri geliştirmiştir. Bundan dolayı 767 ağaç üstünde ayrıntılı ölçümler yapılmıştır. Spurr (1952) tarafından da önerilen model kullanılarak ağaç hacmi tahmin denklemi geliştirilmiştir.

Saraçoğlu (1998), Doğu Karadeniz Bölgesi Kızılağaç meşcereleri için gövde hacim tablosu düzenlemiş olup bu nedenle 55 örnek alanda 510 örnek ağaç ölçümü yapılmıştır. Bu örnek ağaç verileri materyal olarak kullanılmış ve bu çalışmada 6 farklı doğrusal olmayan regresyon modeli test edilmiştir. Ve bu 3 farklı ölçüt değerine göre en başarılı model Schumacher-Hall modeli olmuştur.

Yavuz ve Saraçoğlu (1999), *Alnus glutinosa* için uyumlu ve uyumsuz gövde çapı modelleri geliştirmişlerdir. Ama gövde hacminin tahmin edilmesinde Kozak (1988) tarafından önerilen modelin, gövde çapı, ağaç hacmi, hacim oranlarının beraber tahmin edilmesiyle Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen denklemin en iyi sonuç çıkarttığını ortaya koymuşlardır.

Özkurt (2000), Tarsus Yöresi Okalıptüs grandis ağaçlandırmalarına tek ve çift girişli ağaç hacim tabloları geliştirmiştir. Ve 171 örnek ağaç veri seti kullanmıştır. Çift girişli ve tek girişli ağaç hacim tablolarının yapımında seçilen regresyon denklemleri doğrusal hale getirilerek regresyon katsayıları bulunmuştur.

Sakıcı ve Yavuz (2003), Kastamonu Yöresi Gökmar meşcereleri için 6 farklı uygunluk ölçütü kullanılmış olup bununla birlikte 26 ayrı ağaç hacim fonksiyonu da test edilmiştir. Bu ölçüt değerlerine bağlı olarak tek, çift ve çok girişli olarak en başarılı ağaç hacim fonksiyonları bulunmuştur.

Mısır ve Mısır (2004), Amasya, Giresun, Trabzon ve Artvin Yörelerinde yayılış gösteren diğbudak meşcereleri için çift girişli ağaç hacim tabloları düzenlenmiştir. Bununla ilgili yörelerde, 391 adet örnek ağacın üzerinde hacim denklemlerini geliştirmek için gerekli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların da 303 adedi model geliştirmek için geri kalan 88 adedi de geliştirilen modellerin test edilmesi için kullanılmıştır. Model geliştirmek için farklı formlarda 26 model denenmiş olup 6 farklı ölçüt değeri kullanılarak test edilmiş ve en uygun model 19 nolu model olmuştur.

Teshome (2005), Etiyopya' nın Munessa ormanlarındaki servi ağaçları için ağaç hacim denklemleri geliştirmiştir. Ve Munessa ormanlarındaki 49 plantasyondan da 260 servi ağacını örnek alarak 3 farklı denklem test edilmiştir. Toplamda 260 örnek ağaç verisi rasgele olarak iki gruba ayrılmış olup ilk grup model geliştirmek diğeri de geliştirilen modellerin test edilmesi için kullanılmıştır. Bununla birlikte, ağırlıklı regresyon yöntemi de ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi için kullanılmıştır.

Atıcı (2006), sıklık ve gençlik çağındaki Doğu kayını meşcereleri için 13 farklı ağaç hacim fonksiyonu kullanarak en uygun modelin seçilmesine çalışmıştır. Bu sebeple 2453 adet örnek ağaç derisi baz alınmıştır. Yine aynı çalışmada kabuklu-kabuksuz göğüs çapı kabuksuz-kabuklu gövde hacmi ilişkisi de ortaya konmuştur.

Akindele ve Lemay (2006) Nijerya'nın tropikal Yağmur ormanlarındaki ticari ağaç türleri için ağaç hacim denklemleri geliştirmiştir. Bu amaçla 77 ticari araç türünde boy ve çap ölçümleri yapmıştır. Çalışmalar Schumacher-Hall (1933) modeli kullanmıştır. Model geliştirmek sebebiyle ağırlıklı doğrusal olmayan regresyon yöntemi kullanılmıştır.

Barrio-Anta vd., (2007), Kuzeybatı İspanya'da saplı meşe türü için tavsiye Tassia vd., (1977), Kozak vd (2004) ve Frank vd (2000) tarafından geliştirilen hacim ve gövde çapı modelleri kullanılarak ticari hacim denklemleri geliştirmiştir. Yapılan istatistiksel karşılaştırmalarda gövde çapı modelini ticari hacim ticari boy ve toplam hacim tahminleri için Frank (2000) tarafından geliştirilen parçalı daha iyi sağlıklı olduğu belirtilmiştir.

Sakıcı (2008), Kastamonu yöresi Uludağ göknarı mescereleleri için gövde profili Hacim ve hacim oran denklem sistemleri geliştirmiştir. Çalışmanın sonucunda ise en iyi sonuçların Kozak (1988) tarafından geliştirilen değişken şekil çap modeliyle elde edildiğini söylemiştir. fakat kontrol grubu verileri ile yapılan değerlendirmede ise en iyi sonuçları Allen (1993) tarafından geliştirilen model ile elde edildiği saptanmıştır

Ounekham (2009), Laos'taki *Styrax tonkinenses* meşcereleri için hacim ve gövde çapı modelleri geliştirmiştir. Bu amaçla Schumacher ve Hall (1933) tarafından geliştirilmiş model tercih edilmiş ve bu modelleri logaritmik transformasyon yapılmış hali kullanılmıştır. Yine aynı çalışmada ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi amacıyla fazla sayıda doğrusal olmayan regresyon modeli de denenmiştir.

Özçelik (2010), üç farklı ağaç türü için en uygun hacim denkleminin seçimi amacıyla 11 farklı doğrusal olmayan regresyon denklemi seçmiş ve 4 farklı uygunluk ölçütü kullanarak en uygun modeli saptamaya çalışmıştır. Çalışma bitiminde kızılçam için Romancier (1961); sedir için Spurr (1952) ve göknar için Honer (1965) modellerinin çalışma alanı için en başarılı olduğunu ortaya koymuştur. Yazar ağaç gövde hacimlerinin tahmini yapılırken yöresel ağaç

hacim denklemlerinin geliştirilmesinin daha doğru bir yaklaşım olacağını da belirtmiştir.

Diamontopoulou ve Milios (2010), ağaçlandırma alanlarındaki baskın pozisyondaki çam ağaçlarının Hacim tahminleri için regresyon analizi ve yapay sinir ağları karşılaştırılmıştır. Bu amaçla doğrusal olmayan ve doğrusal regresyon modelleri kullanılmıştır. Çalışma bitiminde yapay sinir ağı modellerinin ağaç hacim tahminlerinde diğer modellere göre daha başarılı ve uygulanabilir olduğu ortaya konmuştur.

Özçelik ve Brooks (2012), Isparta Orman Bölge Müdürlüğü kızılçam, Toros sediri ve Karaçam türleri için Erzurum Orman Bölge Müdürlüğü'nde 95 Sarıçam ağaç türü için uyumlu gövde çapı ve gövde hacim modelleri geliştirmiştir. Geliştirilen bu modeller Schumacher-Hal hacim fonksiyonu kullanılarak elde edilen hacim değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Hjeim ve Johansson (2012), İsveç'teki Kavak plantasyonları için Hacim denklemleri geliştirmiştir. Bu amaçla değişik araştırmacılar tarafından geliştirilmiş 9 farklı regresyon modeli denenmiş ve Kavak plantasyonları için en uygun olanı dört farklı ölçüt değerine göre ortaya konmuştur.

Casnati vd., (2014), okaliptüs Grandis için Hacim ve gövde çapı tahmin modelleri geliştirmiştir. Ağaç Hacim tahminleri için beş farklı model formu test edilmiştir, 3 farklı ölçü değerine göre en başarılı model seçilmiştir.

Baynazoğlu (2014), tek girişle ağaç Hacim denklemleri geliştirmek için 6, çift girişli ağaç Hacim denklemleri geliştirmek için 27, farklı ağaç hacim fonksiyonu, 6 farklı başarı ölçütü kullanarak denemiştir. En başarılı tek girişli ağaç hacim denklemini %86.06 çift girişli ağaç hacim denkleminin ise %97.45'lik bir açıklama oranına sahip olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak geliştirilen çift girişli Ağaç hacim denklemini çalışma alanı için Gülen (1959) tarafından geliştirilen çift girişli ağaç hacim denklemine oranla daha iyi sonuçlar verdiğini kanıtlamıştır.

Heidarsson (2014), İzlanda' daki *Picea sitchhensis*, *Picea abies* ve *Picea glauca* meşcereleri için Hacim ve gövde çapı modelleri geliştirmiştir. Çalışmada ağaç Hacim denklemlerinin geliştirilmesi amacıyla toplam ağaç boyunu ve ağaç göğüs çapına kullanan logaritmik formdaki denklemler seçilmiştir.

Stolarikova vd., (2014), Çek Cumhuriyeti doğal ağaç türlerinden biri olan küçük yapraklı Ihlamur için ağaç hacim denklemleri geliştirmiştir. Bu amaçla sekiz farklı ağaç hacim denklemi belirlenmiş ve denenmiştir. Yapılan istatistiksel çalışmalar sonucunda Borset'in denklemi en kullanılabilir denklem olarak bulunmuştur. Geliştirilen hacim tabloları kayın Hacim tabloları ile de birebir karşılaştırılmış ve iyi yönde farklılıklar gözlemlenmiştir.

Mate vd., (2015), Mozambik'deki değerli ağaç türleri için tür bazlı gövde hacmi modelleri geliştirmiştir. Ağaçları gerçek hacimlerinin tahmi edilmesi amacıyla Smalian formülünden yararlanılmıştır. Bu amaçla iki farklı model test edilmiştir. Çalışmada örnek ağaç sayısı yetersiz olduğu için, en başarılı modelin seçiminde, "leave-one-out cross validation" yöntemi kullanılmıştır. Modellerin karşılaştırılmasında yedi farklı ölçüt değeri kullanılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda denklem 2 daha başarılı bulunmuştur.

Kitikidou vd., (2017), Yunanistanın kuzey-doğu bölgesindeki kızılçam ağaçlandırmaları için tek girişli ağaç-hacim denklemi geliştirmiştir. Bu amaçla, 10 farklı tek girişli regresyon modeli test edilmiştir. Yapılan çalışmanın sonuçları Özçelik vd. (2010), tarafından Bucak Yöresinde doğal kızılçam meşcereleri için yapılan çalışmanın sonuçları ile de karşılaştırılmıştır. Xanthi ormanlarındaki tek ağaç hacimlerinin Bucak Yöresine göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Özçelik ve Çevlik (2017), tarafından Kaş Yöresi Sedir meşcereleri için ağaç hacim denklemleri geliştirilmiştir. Bu amaçla farklı denklem formları test edilmiş ve en başarılı model formları olarak Takata (1958) ve Schumacher ve Hall (1933) modelleri bulunmuştur. Ancak daha yaygın olarak kullanılan bir

denklem olması ve uygulama kolaylığı nedeniyle, Kaş Yöresi sedir meşcereleri için, Schumacher ve Hall (1933), modeli önerilmiştir.

Lee vd., (2017), Güney Kore'deki Kuzey Gyeongsang Eyaletindeki Pinus koraiensis ve Larix kaempferi için göğüs çapı ve ağaç boyunu değişken olarak kullanan ağaç hacim denklemleri geliştirmiştir. Bu amaçla ağaç boyu ve göğüs çapını değişken olarak kullanan sekiz farklı model test edilmiştir. En başarılı model formu olarak Spurr (1958) tarafından geliştirilen model olduğu görülmüştür. Bu modelin yöre için geliştirilen modellerden daha yüksek doğruluğa sahip olduğu görülmüştür.

Malata vd., (2017), Malawi'de Pinus patula ve pinus oocarpa plantasyonları için odun kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için yetiştirme ortamı temelli ağaç hacim denklemleri geliştirmiştir. Bu amaçla iki türden toplam 80 adet ağaç örneği kullanılmıştır. Bu amaçla üç farklı doğrusal olmayan regresyon denklemi test edilmiştir. Modellerin geliştirilmesinde karışık etkili modelleme tekniği kullanılmıştır. Geliştirilen yeni modellerin daha önce geliştirilmiş modellere göre ağaç hacim tahminlerinde daha başarılı olduğu görülmüştür.

Magalhaes (2017), tarafından Mozambik'teki Lebombo-ironwood için yetiştirme ortamı temelli çap-boy ve ağaç hacim denklemleri geliştirilmiştir. Ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesinde karışık etkili modelleme tekniği kullanılmıştır. Ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi amacıyla Schumacher-Hall (1933) modelinin de aralarında bulunduğu üç farklı model formu test edilmiştir.

Özcelik ve Kalkanlı (2018) tarafından gerçekleştirilen araştırmada Kaş Yöresi kızılçam meşcereleri için hacim denklemleri geliştirilmiştir. Bu amaçla 19 farklı doğrusal olmayan regresyon modeli test edilmiştir. Test edilen modeller altı farklı ölçüt değeri kullanılarak karşılaştırılmış ve modellerin nisbi sıralarına göre en başarılı model olarak, Spurr (1952) tarafından geliştirilen model ortaya konmuştur.

Sakıcı vd., (2018), tarafından yapılan çalışma ile, Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü karaçam meşcerelerinin kabuklu ve kabuksuz ağaç hacim tahminleri

için tek ve çift girişli ağaç hacim denklemleri geliştirilmiştir. Bu amaçla, 19 farklı tek ve çift girişli hacim fonksiyonu test edilmiştir. Modellerin başarı sıraları dört farklı ölçüt değerine göre ortaya konmuştur. Çalışma sonucunda, tek ve çift girişli 4 ve 8 nolu modellerin sırasıyla kabuklu ve kabuksuz ağaç hacim tahminlerinde diğer modellere göre daha başarılı olduğu ortaya konmuştur. Bu denklemler yöre için geliştirilen diğer hacim fonksiyonları ile de karşılaştırılmıştır.

Çatal ve Güneş (2018) ise, Antalya Yöresi ormanları için titretilmiş kavak ağaç hacim tablolarını düzenlemiştir. Bu amaçla 11 adet tek girişli 13 adet çift girişli ağaç hacim fonksiyonu test edilmiştir. Altı farklı ölçüt değeri kullanılarak yapılan nisbi sıralama sonuçlarına göre, yöredeki titretilmiş kavak ağaçları için en başarılı modellerin 1 (tek girişli) ve 13 (çift girişli) nolu modeller olduğu ortaya konmuştur. Çalışma sonucunda ilgili modeller kullanılarak tek ve çift girişli hacim tabloları da düzenlenmiştir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

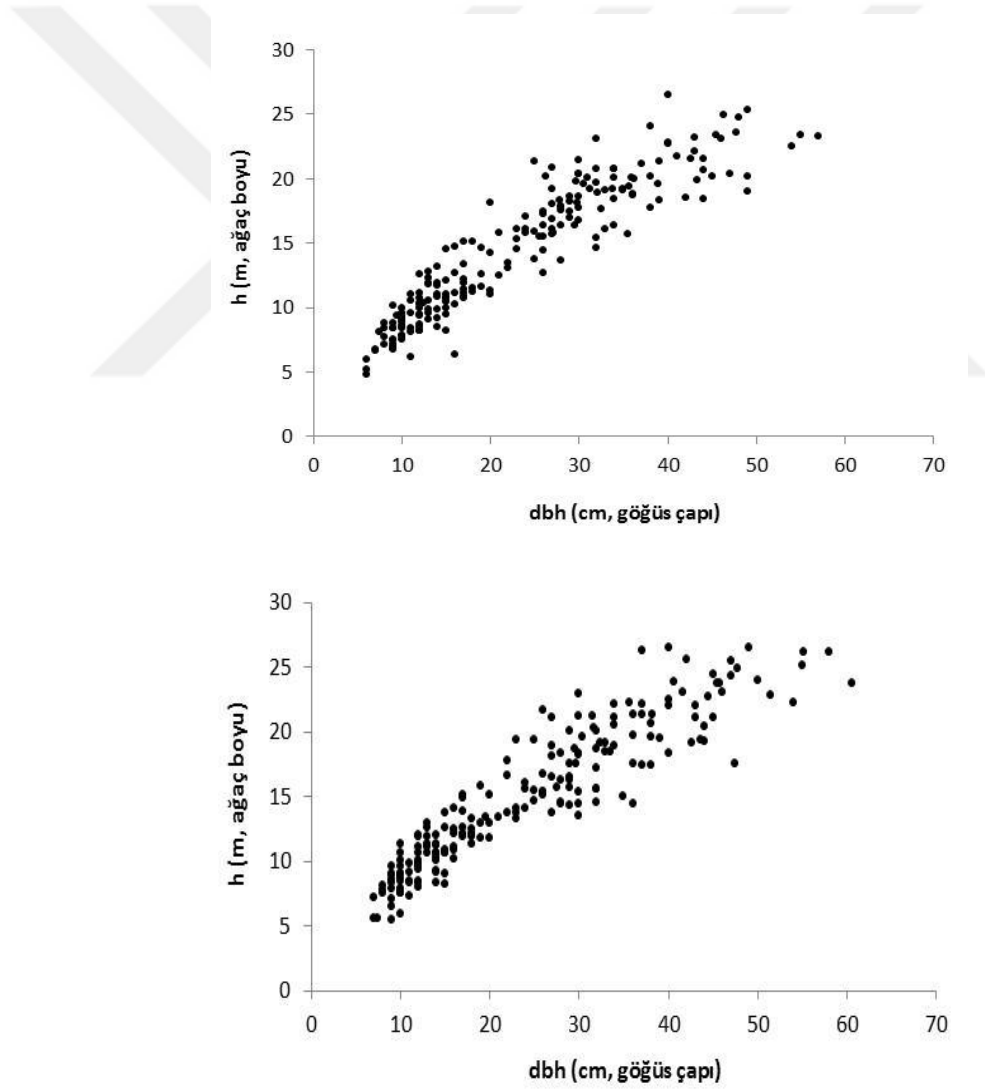
Bu çalışma için gerekli örnek ağaç verileri, 2017-2018 yılları arasında Isparta Orman Bölge Müdürlüğü Eğirdir Orman İşletme Müdürlüğü, Aşağı Gökdere İşletme Şefliklerindeki doğal kızılçam meşcerelerinden toplanmıştır (Şekil 3.1).



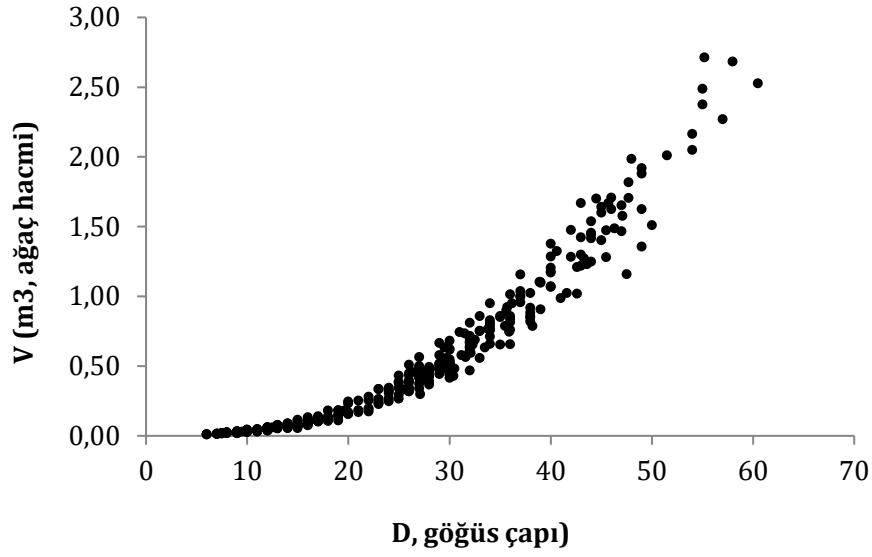
Şekil 3.1. Çalışmanın gerçekleştirildiği alanlardan görüntüler

Bu amaçla toplam 405 adet örnek ağaç ölçülmüş, bu veriler tesadüfi olarak iki gruba ayrılmış birinci grup (203 örnek ağaç) model geliştirmek amacıyla; geri kalan 202 ağaç (ikinci grup) ise geliştirilen modellerin test edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Örnek ağaçların seçiminde, ağaçların meşcere kuruluşlarını ve dolayısıyla çap ve boy sınıflarını en iyi şekilde temsil etmesini sağlamak amacıyla, tüm çap ve boy sınıflarına mümkün olduğu kadar eşit dağılımının sağlanmasına çalışılmıştır. Bu durum geliştirme verileri için Çizelge 3.1'de, test verileri için ise Çizelge 3.2'de verilmiştir. Örnek ağaçlar hem galip hem de müşterek galip ağaçlar arasından seçilmiştir. Örnek ağaçların seçiminde gövdelerin çatallı ve eğri, tepelerin kırık olmamasına ve ağaçların yetiştirme ortamı koşullarını en iyi biçimde yansıtmasına dikkat edilmiştir. Örnek

ağaçların çapı elektronik çap ölçer yardımı ile 0,1 cm hassasiyetle, ağaçların boyu ise laser boy ölçer yardımı ile 0,05 m hassasiyetle ölçülmüştür. Örnek ağaç hacimlerinin belirlenmesi amacıyla Smalin formülü kullanılmıştır. Bu yöntemin uygulanışına ilişkin şematik gösterim Şekil 3.3'de verilmiştir. Üç parça hacminin bulunmasında ise koni hacmi esas alınmıştır. Seksiyon hacimlerinin toplamı ve koni hacminin toplanması ile elde edilen örnek ağaç hacimleri gerçek hacim değerleri olarak kabul edilmiştir. Şekil 3.2'de model geliştirmek ve geliştirilen modelin test edilmesi amacıyla ölçülen tüm örnek ağaç verilerine ilişkin çap-boy ilişkileri grafik olarak verilmiştir. Model geliştirmek ve geliştirilen modelin testi için ölçümü yapılan örnek ağaçların çap ve boy değerlerine ilişkin nitelendirici istatistikî bilgiler ise Çizelge 3.3.'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Ölçümü yapılan örnek ağaçlara ilişkin çap-boy dağılım grafiği, a)model geliştirme verisi, b)model test verisi



Şekil 3.3. Ölçümü yapılan örnek ağaçlara ilişkin çap-hacim dağılımı ilişkisi.

Çizelge 3.1. Model Geliştirmek amacıyla kullanılan verilerin çap ve boy basamaklarına dağılımı

Çaplar (cm)	Boylar (m)												$\Sigma$	
	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27		
8	3	9	7	1										20
12		4	21	10	3									38
16		1	6	15	5	3								30
20				5	2	4		1						12
24					3	5	3		1					12
28					2	4	12	7	2					27
32						2	4	7	5	1				19
36						1	1	6	6					14
40							1	2	3	2	1	1		10
44								3	4	3				10
48								1	2	2	3			8
52														0
56										3				3
$\Sigma$	3	14	34	31	15	19	21	27	23	11	4	1		203

Çizelge 3.2 Model Test Etmek amacıyla kullanılan verilerin çap ve boy basamaklarına dağılımı

Çaplar (cm)	Boylar (m)												Σ	
	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27		
8	3	6	6											15
12		6	18	12	3									39
16			5	13	8	3								29
20				4	7	2								13
24					3	5	3	2						13
28					1	8	7	5	3					24
32					1	5	1	7	4	1				19
36						2	2	2	4	3			1	14
40							1	3	2	4			1	11
44								3	3	4	2			12
48							1			1	3	1		6
52										1	1			2
56										1	1	1		3
60										1		1		2
Σ	3	12	29	29	23	25	15	22	16	16	7	5		202

Çizelge 3.3 Hacim Denklemleri geliştirmek ve test etmek amacıyla kullanılacak örnek ağaçlara ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Değişkenler	Model geliştirme verileri (n = 203)				Model test verileri (n = 202)			
	Ortalama	Min.	Max.	S.D.	Ortalama	Min.	Max.	S.D.
D (cm)	23.61	6.00	57.00	12.27	24.54	7.00	60.50	12.88
H (m)	14.59	4.82	26.50	5.19	15.02	5.50	26.50	5.42
V (m <sup>3</sup> )	0.4441	0.0083	2.4880	0.51	0.4926	0.0128	2.7128	0.5755

D: göğüs çapı; H: Toplam ağaç boyu; V: hacim.

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. Ağaç hacim fonksiyonları

Ağaç hacmi tahmin denklemlerinin geliştirilmesi için pek çok hacim fonksiyonu test edilmiştir. Çalışmada çeşitli kaynaklardan temin edilen ve ağaç hacim tahminleri için kullanılan tek girişli ve çift girişli fonksiyonlar kullanılmıştır (Yavuz, 1995; Ounekham, 2009; Hjelm ve Johansson, 2012). Bu fonksiyonlara ilişkin detaylı açıklamalar aşağıda verilmiştir.

$$v = \beta_0 + (\beta_1 D^2 H) \quad (\text{Borset, 1954}) \quad (3.1)$$

$$v = \beta_0 + \beta_1 D^{\beta_2} H^{\beta_3} \quad (\text{Fowler ve Hussain, 1987}) \quad (3.2)$$

$$v = (\beta_0 + \beta_1 D)^2 \quad (\text{Perez ve Kanninen (2003)}) \quad (3.3)$$

$$v = \beta_0 D^2 H \quad (\text{Spurr, 1982}) \quad (3.4)$$

$$v = \beta_0 D^{\beta_1} H^{\beta_2} \quad (\text{Schumacher-Hall, 1973}) \quad (3.5)$$

$$v = \beta_0 + \beta_1 D^{\beta_2} + \beta_3 D^{\beta_4} H^{\beta_5} \quad (\text{Scott, 1981}) \quad (3.6)$$

$$v = \frac{D^2}{\beta_0 + \beta_1 H^{-1}} \quad (\text{Honer, 1967}) \quad (3.7)$$

$$v = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{H}{D}\right)^{\beta_2} (D^2 H) \quad (\text{Newnham, 1967}) \quad (3.8)$$

$$v = \beta_0 + \beta_1 D^2 H + \beta_2 H \quad (\text{Casnati, 2014}) \quad (3.9)$$

$$v = \frac{D^2 H}{\beta_0 + \beta_1 D} \quad (\text{Takata, 1958}) \quad (3.10)$$

$$v = \beta_0 + \beta_1 D^2 + \beta_2 D^2 H^2 \quad (\text{Alegria ve Tome, 2011}) \quad (3.11)$$

$$v = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2 + \beta_3 D^2 H^2 \quad (\text{Alegria ve Tome, 2011}) \quad (3.12)$$

$$v = \beta_0 \left(2 + \frac{D}{H}\right) + \beta_1 H^2 + \beta_2 D H^2 \quad (\text{Hjelm ve Johansson, 2012}) \quad (3.13)$$

$$v = \beta_0 + \beta_1 D^2 H + \beta_2 D^3 H + \beta_3 D^2 H^2 + \beta_4 D \quad (\text{Bi ve Hamilton, 1998}) \quad (3.14)$$

$$v = D^2 (\beta_0 + \beta_1 H) \quad (\text{Ogaya, 1968}) \quad (3.15)$$

$$v = \beta_0 D^2 + \beta_1 D^2 H - \beta_2 D^2 H^2 - \beta_3 D H + \beta_4 D H^2 \quad (\text{Eriksson, 1973}) \quad (3.16)$$

$$v = \beta_0 + \beta_1 D^2 H + \beta_2 D^3 H + \beta_3 D^2 H^2 + \beta_4 H \quad (\text{Bi ve Hamilton, 1998}) \quad (3.17)$$

$$v = \beta_0 + \beta_1 D H + \beta_2 D H + \beta_3 D^2 H^2 \quad (\text{Alegria ve Tome, 2011}) \quad (3.18)$$

$$v = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D H^2 + \beta_3 D^2 H^2 \quad (\text{Alegria ve Tome, 2011}) \quad (3.19)$$

$$v = \beta_0 (D^2 H)^{\beta_1} \quad (\text{Malata vd., 2017}) \quad (3.20)$$

$$v = \beta_0 (D^2)^{\beta_1} H^{\beta_2} \quad (\text{Malata vd., 2017}) \quad (3.21)$$

$$v = \beta_0 + \beta_1 (H/D)^{\beta_2} D^2 H \quad (\text{Teshome, 2005}) \quad (3.22)$$

$$\ln v = \beta_0 + \beta_1 (\ln D)^2 \quad (3.23)$$

$$\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln D + \beta_2 D^{-1} \quad (3.24)$$

$$\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln D + \beta_2 (\ln D)^4 \quad (3.25)$$

$$\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln D + \beta_2 (\ln D)^2 + \beta_3 \ln H + \beta_4 (\ln H)^2 \quad (3.26)$$

$$\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln D + \beta_2 D^2 + \beta_3 \ln H \quad (3.27)$$

$$\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln D + \beta_2 H + \beta_3 D^2 \quad (3.28)$$

$$\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln D + \beta_2 H + \beta_3 DH^2 \quad (3.29)$$

$$\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln(D^2 H) \quad (3.30)$$

Burada;

$V$  : gövde hacmini ( $m^3$ ),

$D$  : göğüs çapını (cm),

$H$  : ağaç boyunu (m),

$\beta_i$  : denklem katsayılarını,

### 3.2.3. İstatistiksel analiz

Yukarıda verilen doğrusal olmayan regresyon denklemlerinin çözümü için doğrusal ve doğrusal olmayan en küçük kareler yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada ayrıca bazı logaritmik denklemlerde test edilmiştir. Ancak bu modeller ağaç gövde hacminin logaritmasını göğüs çapına göre vermektedir. Gerçek gövde hacim değerlerinin hesaplanabilmesi için elde edilen logaritmik değerlerin antilogaritmalarının alınması gerekmektedir. Hacim değerleri, model katsayılarının logaritmaları alınarak belirlendiği için sistematik bir hata ortaya çıkmaktadır. Bu sistematik hatanın giderilmesi için gerekli düzeltme faktörünün hesaplanması için farklı yöntemler uygulanmıştır. Bu çalışmada ise düzeltme faktörü hesabı için Baskerville (1972), ile Yandle ve Wiant (1981), tarafından önerilen düzeltme faktörü modele eklenmiştir. Benzer bir uygulama Kizha ve Han (2016), tarafından da uygulanmıştır. Bu amaçla kullanılan en genel formülasyon aşağıda verilmiştir. Burada da görüldüğü gibi üs alma işleminden

önce regresyon işleminde elde edilen tahmin edilen varyansın yarısı regresyon modeli ile tahmin edilen değere eklenmektedir.

$$\hat{y}_i = \exp(\hat{\mu}_i + \hat{\sigma}^2/2) \quad (3.31)$$

Burada;  $\hat{y}_i$  bağımlı değişkenin düzeltilmiş değerini,  $\hat{\mu}_i$  regresyon denkleminde elde edilen düzeltilmemiş değeri ifade etmektedir.

Örneğin Schumacher–Hall hacim fonksiyonu için bu düzetme aşağıdaki şekilde yapılabilmektedir.

$$Y = e^{\left(0.00006 + 1.773424 \cdot \log d + 1.10086 \cdot \log h + \frac{se^2}{2}\right)} \quad (3.32)$$

Bu formülde Y ilgili ağacın gerçek hacim değerini d ile ağaçların göğüs çapı, h ise ağaçların toplam boyu, se ile ilgili modelin standart hatası ve e (2.718282) ile doğal logaritma tabanı ifade edilmiştir.

### 3.2.4. Model performanslarının değerlendirilmesi

Geliştirilen modellerin tahmin performanslarını değerlendirmek ve modeller arasında bir karşılaştırma yapabilmek için, her bir modelin tahmin hatalarını temel alan altı istatistiksel kriter kullanılmıştır. Bu kriterler sırasıyla, ortalama mutlak hata (AAE); maksimum mutlak hata (MAE), hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE), uyum indeksi (FI), ortalama hata (E) ve Akaike'nin Bilgi Kriteri (AIC)'dir. Bu ölçütlere ilişkin gösterimler aşağıda verilmiştir.

$$AAE = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} |y_i - \hat{y}_i|}{n} \quad (3.33)$$

$$MAE = \max(|y_i - \hat{y}_i|) \quad (3.34)$$

$$FI = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \right] \quad (3.35)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p}} \quad (3.36)$$

$$E = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (y_i - \hat{y}_i)}{n} \quad (3.37)$$

$$AIC = n \ln(RMSE) + 2p \quad (3.38)$$

### 3.2.4.1. Model nispi sıralama

$M$  tane yöntemin sıralanması geleneksel olarak 1, 2, ...,  $m$  şeklinde gösterilmektedir. Bu geleneksel sıralama biçimi, yöntemlerin sıralamasını göstermekle birlikte, yöntemler ile elde edilen sonuçların bir birine ne kadar yakın olduğu hakkında bilgi vermemektedir (Poudel ve Cao, 2013; Özçelik ve Crecente-Campo, 2016). Bu çalışmada, modellerin başarı sıralarının daha gerçekçi bir şekilde ortaya konabilmesi için Poudel ve Cao (2013), tarafından geliştirilen nispi sıralama yöntemi kullanılmıştır. Nispi sıralama yöntemiyle, karşılaştırılan metotların birbirine olan nispi yakınlıkları hakkında bilgi edinilmektedir. Bir  $i$  modelinin nispi sıralaması aşağıdaki formülasyon yarımı ile bulunabilmektedir.

$$R_i = 1 + \frac{(m-1)(S_i - S_{\min})}{S_{\max} - S_{\min}} \quad (3.39)$$

Burada,

$R_i$  :  $i$  yönteminin nispi sırasını ( $i=1, 2, \dots, m$ ),

$S_i$  :  $i$  yöntemi ile elde edilen uyum istatistiğini,

$S_{\min}$  : uyum istatistiğinin minimum değerini,

$S_{\max}$  : uyum istatistiğinin maksimum değerini ifade etmektedir.

Bu sıralama sisteminde, en iyi ve en kötü yöntemler sırasıyla 1 ve  $m$  nispi değerini almaktadır. Kalan yöntemlerin nispi sıralama değerleri ise 1 ile  $m$  arasında değişen gerçek sayılar olarak ifade edilmektedir.  $S_j$ 'nin sıralama değerinin yanı sıra, bu değer rakamsal büyüklüğü de göz önünde bulundurulduğundan, bu yeni sıralama sistemi, geleneksel sıralama sistemlerine göre daha fazla bilgi sunmaktadır. Örneğin, nispi sıralaması 1, 1.2, 4.7, 4.9 ve 5 olan beş yöntem, söz konusu nispi sıralama sistemiyle, sıralama değerleri arasındaki büyük fark sayesinde iki ayrı gruba ( {1, 1.2} ve {4.7, 4.9, 5} ) ayrılabilir (Poudel ve Cao, 2013).

Bu çalışmada yukarıda açıklanan altı ölçüt değeri kullanılarak modellerin nisbi sıraları belirlenmiştir. Uyum indeksi dışındaki bütün ölçütler için, en küçük değere sahip olan model en iyi olarak nitelendirilmiş ve buna göre modellerin nisbi sıraları ortaya konmuştur.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Ağaç Hacim Denklemleri İçin Elde Edilen Sonuçlar

Bu çalışmada test edilen modellere ilişkin olarak parametre tahminleri ve logaritmik denklemler için kullanılan düzeltme faktörleri izelge 4.1'de; test edilen bu modellere ilişkin olarak elde edilen ölçüt değerleri ise, izelge 4.2 de verilmiştir. Model geliştirme verileri ve 30 model için elde edilen ölçüt değerleri yardımı ile her bir model için hesaplanan nisbi hata değerleri ve nisbi sıralama değerleri de izelge 4.3'de verilmiştir. Çizelge 4.3'n incelenmesinden de görüleceği gibi, nisbi sıralama değerleri bakımında en başarılı model 1.0 nisbi sıra değeri ile 14 nolu model olurken, en başarısız model ise 30 nisbi sıra değeri ile 23 nolu model olmuştur. Ancak izelge 4.3'den de görüleceği gibi; 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 17, 21 ve 22 nolu modellerin nisbi sıra değerleri arasında büyük farklılıklar bulunmaması nedeniyle bu modeller arasında önemli derecede tahmin farklılıklarının bulunduğunu söylemek doğru olmayacaktır.

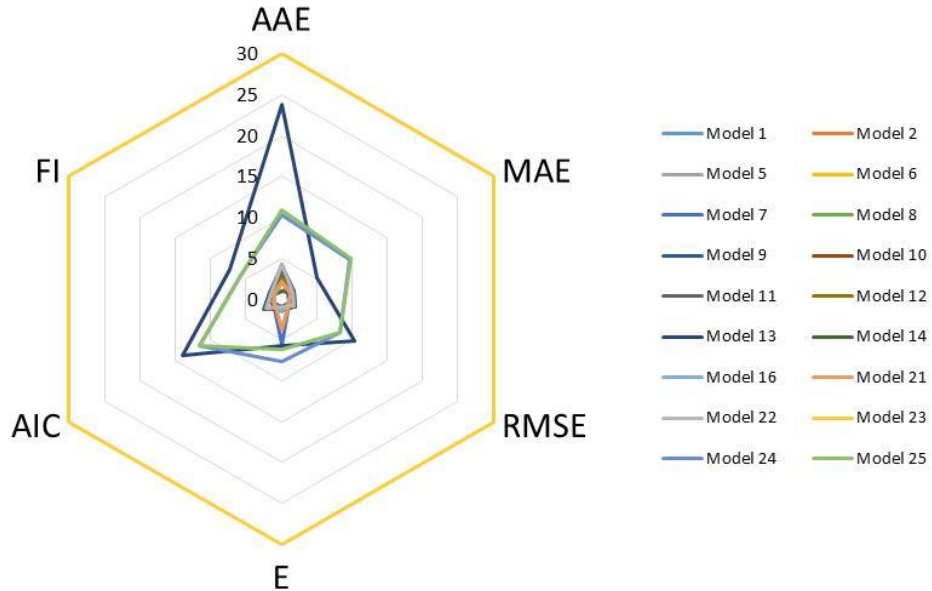
Çizelge 4.1. Ağaç hacim fonksiyonlarına ilişkin parametre tahminleri

Model No	Katsayılar						D.F	
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$		$\beta_6$
1	0.008099 ****	0.000033 ****						
2	-0.01314 NS	0.000084 ****	2.06270 ****	0.62110 ****				
3	-0.17567 ****	0.030688 ****						
4	0.000033 ****							
5	0.000067 ****	2.096669 ****	0.648228 ****					
6	0.142438 NS	-0.05338 NS	0.51706 NS	0.0000281 ****	1.883811 ****	0.498627 *		
7	365.092 ****	22488.01 ****						
8	0.014952 *	0.00003 ****	-0.11308 *					
9	0.015773 NS	0.000033 ****	-0.00071 ****					
10	28361.35 ****	45.15592 *						
11	-0.03366 ***	0.000478 ****	5.312x10 <sup>-7</sup> ****					
12	0.000084 NS	-0.00352 *	0.000569 ****	4.751x10 <sup>-7</sup> ****				
13	0.514919 ****	-0.00181 ****	0.000104 ****					
14	0.028219 NS	0.000055 ****	-2.49x10 <sup>-8</sup> NS	-7.71x10 <sup>-7</sup> ***	-0.00404 NS			
15	0.055172 NS	0.000054 ****	-8.79x10 <sup>-8</sup> NS	-6.14x10 <sup>-7</sup> **	-0.00176 NS	-0.00561 NS		
16	0.014951 *	0.00003 ****	-0.11306 **					
17	0.000147 NS	0.000026 ****						
18	0.044713 NS	0.00005 ****	-7.34x10 <sup>-8</sup> NS	-5.21x10 <sup>-7</sup> ****	-0.00633 *			
19	-0.09765 ****	0.00186 ****	-0.00008 ****	1.522x10 <sup>-6</sup> ****				
20	-0.17857 ****	0.019908 ****	-0.00033 ****	1.349x10 <sup>-6</sup> ****				
21	0.000046 ****	0.968198 ****						
22	0.000067 ****	1.048318 ****	0.648261 ****					
23	-5.64996 ****	0.427042 ****						0.1744
24	-10.3428 ****	2.802375 ****	4.495231 ****					0.1456
25	-8.92477 ****	2.363266 ****	0.001646 ****					0.1486
26	-8.22473 ****	1.267074 ****	0.130213 ****	0.379966 ****	0.79367 ****			0.1076
27	-9.57077 ****	1.943936 ****	0.000098 ****	0.767735 ****				0.1134
28	-9.57077 ****	1.943936 ****	0.767735 ****	0.000098 ****				0.1134
29	-9.555226 ****	2.018077 ****	0.681727 ****	7.405x10 <sup>-6</sup> ****				0.1142
30	-9.93578 ****	0.960535 ****						0,1271

D.F: Düzeltme Faktörü; NS= $p>0.05$ ; \*= $p<0.05$ ; \*\*= $p<0.01$ ; \*\*\*= $p<0.001$ ; \*\*\*\*= $p<0.0001$

Çizelge 4.2 Model geliştirme verileri için elde edilen ölçüt değerleri

Model No	AAE	MAE	RMSE	HATA	R <sup>2</sup>	AIC
1	0.04097	0.31489	0.07287	0.00000	0.98003	-1059.32930
2	0.03853	0.29885	0.06907	0.00001	0.98224	-1077.11853
3	0.04758	0.40754	0.07878	0.00204	0.97665	-1027.66251
4	0.04031	0.31929	0.07295	0.00466	0.97988	-1060.88413
5	0.03844	0.29743	0.06920	-0.00323	0.98208	-1078.32165
6	0.03705	0.30709	0.06885	-0.00005	0.98252	-1074.35990
7	0.03952	0.28208	0.06963	-0.00539	0.98177	-1077.82486
8	0.04132	0.30756	0.07224	0.00000	0.98047	-1060.88914
9	0.04119	0.31573	0.07303	0.00000	0.98004	-1056.45902
10	0.04057	0.31359	0.07260	0.00058	0.98018	-1060.85863
11	0.04135	0.28821	0.06950	0.00000	0.98193	-1076.59708
12	0.03907	0.30310	0.06918	0.00000	0.98218	-1076.43105
13	0.06817	0.46136	0.11060	0.00556	0.95422	-887.95850
14	0.03696	0.30401	0.06921	0.00000	0.98225	-1074.24517
15	0.04117	0.28656	0.07011	-0.00659	0.98151	-1075.04474
16	0.03821	0.30402	0.06891	0.00073	0.98241	-1076.03091
17	0.03790	0.29718	0.06886	0.00000	0.98243	-1076.32209
18	0.04793	0.29227	0.07397	0.00000	0.97963	-1049.25917
19	0.05160	0.30742	0.07661	0.00000	0.97815	-1035.04823
20	0.04067	0.30684	0.07217	-0.00187	0.98041	-1063.28135
21	0.03844	0.29734	0.06920	-0.00320	0.98208	-1078.32160
22	0.04132	0.30756	0.07224	0.00000	0.98047	-1060.88914
23	0.07668	1.57160	0.19837	-0.03390	0.85200	-652.75645
24	0.04980	0.66577	0.10147	-0.00777	0.96146	-922.90732
25	0.05045	0.67797	0.10144	-0.00608	0.96149	-923.04489
26	0.04021	0.49103	0.08259	-0.00465	0.97473	-1002.49847
27	0.04078	0.53623	0.08220	-0.00163	0.97484	-1006.42358
28	0.04078	0.53623	0.08220	-0.00163	0.97484	-1006.42358
29	0.04054	0.41090	0.07853	-0.00048	0.97703	-1024.95551
30	0.04133	0.32849	0.07418	0.00771	0.97930	-1052.11399



Şekil 4.1. Model Geliştirme verileri için bazı modellerin radar grafiği

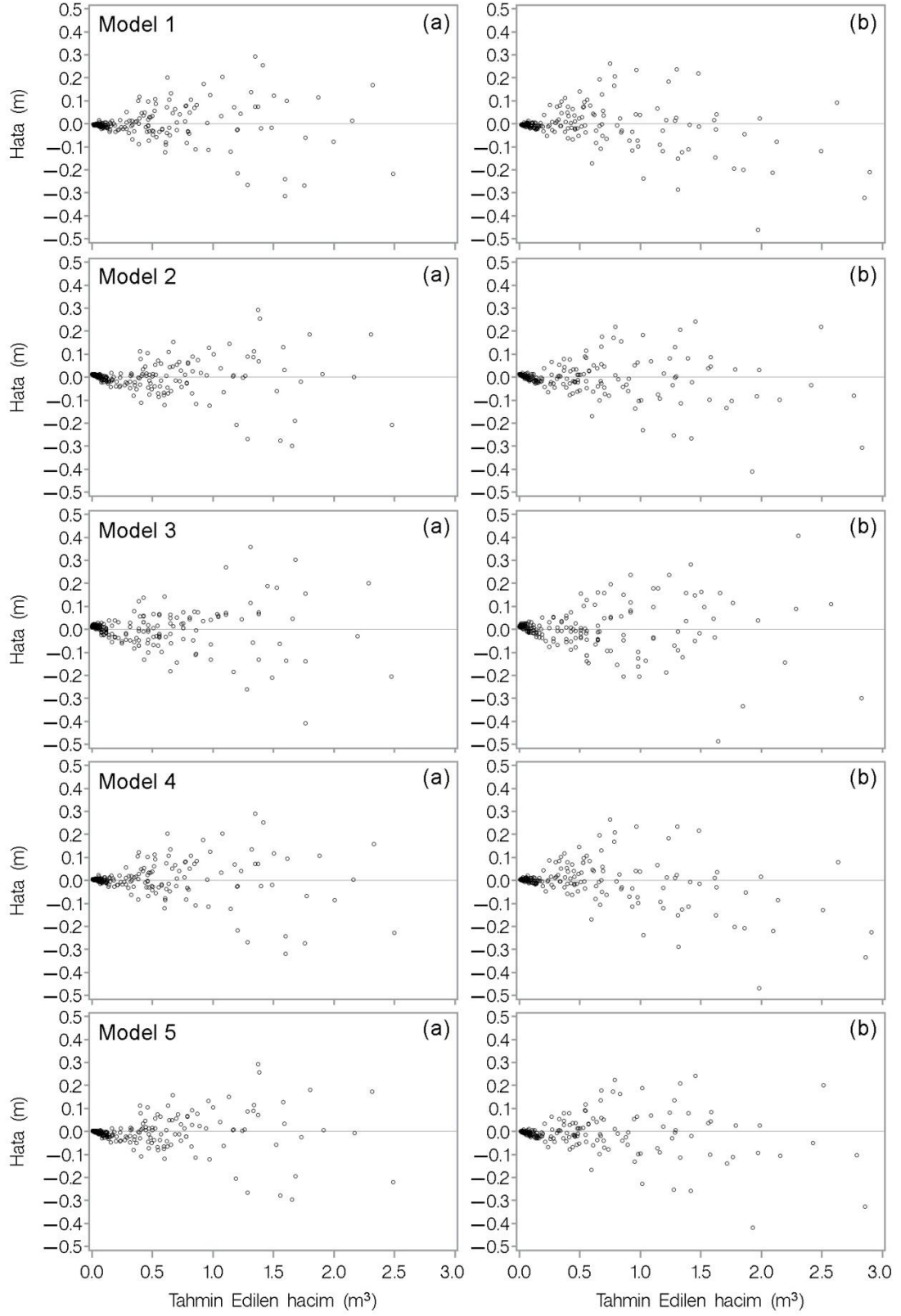
Çizelge 4.3. Model Geliştirme verileri için nisbi sıralama sonuçları

Model No	Nispi Sıralama*						Sıralamalar Toplamı	Genel Sıralama
	AAE	MAE	RMSE	HATA	R <sup>2</sup>	AIC		
1	3.93132	1.73790	1.89984	1.00000	2.29423	1.55479	12.41808	<b><u>1.92251</u></b>
2	2.14448	1.37721	1.04721	1.00815	1.08199	1.06348	7.72252	<b><u>1.13579</u></b>
3	8.75416	3.82157	3.22348	2.74169	4.45215	2.30396	25.29700	4.08030
4	3.44557	1.83681	1.91774	4.98839	2.18827	1.58666	15.96344	2.51651
5	2.08183	1.34536	1.07759	3.75940	1.00000	1.09891	10.36309	<b><u>1.57820</u></b>
6	1.06568	1.56264	1.00000	1.04016	1.26997	1.00000	6.93845	<b><u>1.00442</u></b>
7	2.87253	1.00000	1.17318	5.60881	1.03385	1.16834	12.85671	<b><u>1.99600</u></b>
8	4.18444	1.57303	1.75739	1.00001	2.18793	1.45596	12.15876	<b><u>1.87906</u></b>
9	4.09050	1.75681	1.93485	1.00000	2.48982	1.55168	12.82366	<b><u>1.99046</u></b>
10	3.63317	1.70872	1.83849	1.49589	2.19001	1.52148	12.38777	<b><u>1.91743</u></b>
11	4.20355	1.13793	1.14355	1.00000	1.11752	1.13288	9.73543	<b><u>1.47304</u></b>
12	2.54128	1.47286	1.07342	1.00000	1.12883	1.07687	8.29326	<b><u>1.23141</u></b>
13	23.78664	5.03187	10.34659	5.75185	13.97223	7.28752	66.17670	10.92949
14	1.00000	1.49317	1.08051	1.00000	1.27779	1.06058	6.91205	<b><u>1.00000</u></b>
15	4.07540	1.10075	1.28030	6.63837	1.22330	1.22421	15.54233	2.44596
16	1.91687	1.49359	1.01250	1.62245	1.15610	1.02604	8.22755	<b><u>1.22040</u></b>
17	1.68462	1.33967	1.00144	1.00000	1.13626	1.02044	7.18242	<b><u>1.04530</u></b>
18	9.01416	1.22924	2.14563	1.00000	2.98045	1.64399	18.01348	2.85999
19	11.69167	1.56997	2.73564	1.00000	3.94885	1.97225	22.91839	3.68178
20	3.70808	1.55688	1.74178	2.60181	2.02492	1.46923	13.10271	2.03721
21	2.08302	1.34325	1.07760	3.74097	1.00000	1.09891	10.34375	<b><u>1.57496</u></b>
22	4.18444	1.57303	1.75739	1.00001	2.18793	1.45596	12.15876	<b><u>1.87906</u></b>
23	30.00000	30.00000	30.00000	30.00000	30.00000	30.00000	180.00000	30.00000
24	10.37383	9.62887	8.30406	7.64679	11.59066	5.67900	53.22320	8.75920
25	10.84759	9.90316	8.29637	6.19888	11.58128	5.67320	52.50048	8.63811
26	3.37507	5.69910	4.07613	4.97573	6.16695	2.73239	27.02536	4.36988
27	3.78652	6.71575	3.98865	2.39215	5.89947	2.70749	25.49001	4.11264
28	3.78652	6.71575	3.98865	2.39215	5.89947	2.70749	25.49001	4.11264
29	3.61790	3.89712	3.16739	1.40702	4.63662	2.21974	18.94579	3.01619
30	4.18911	2.04374	2.19242	7.59257	2.78591	1.71536	20.51911	3.27979

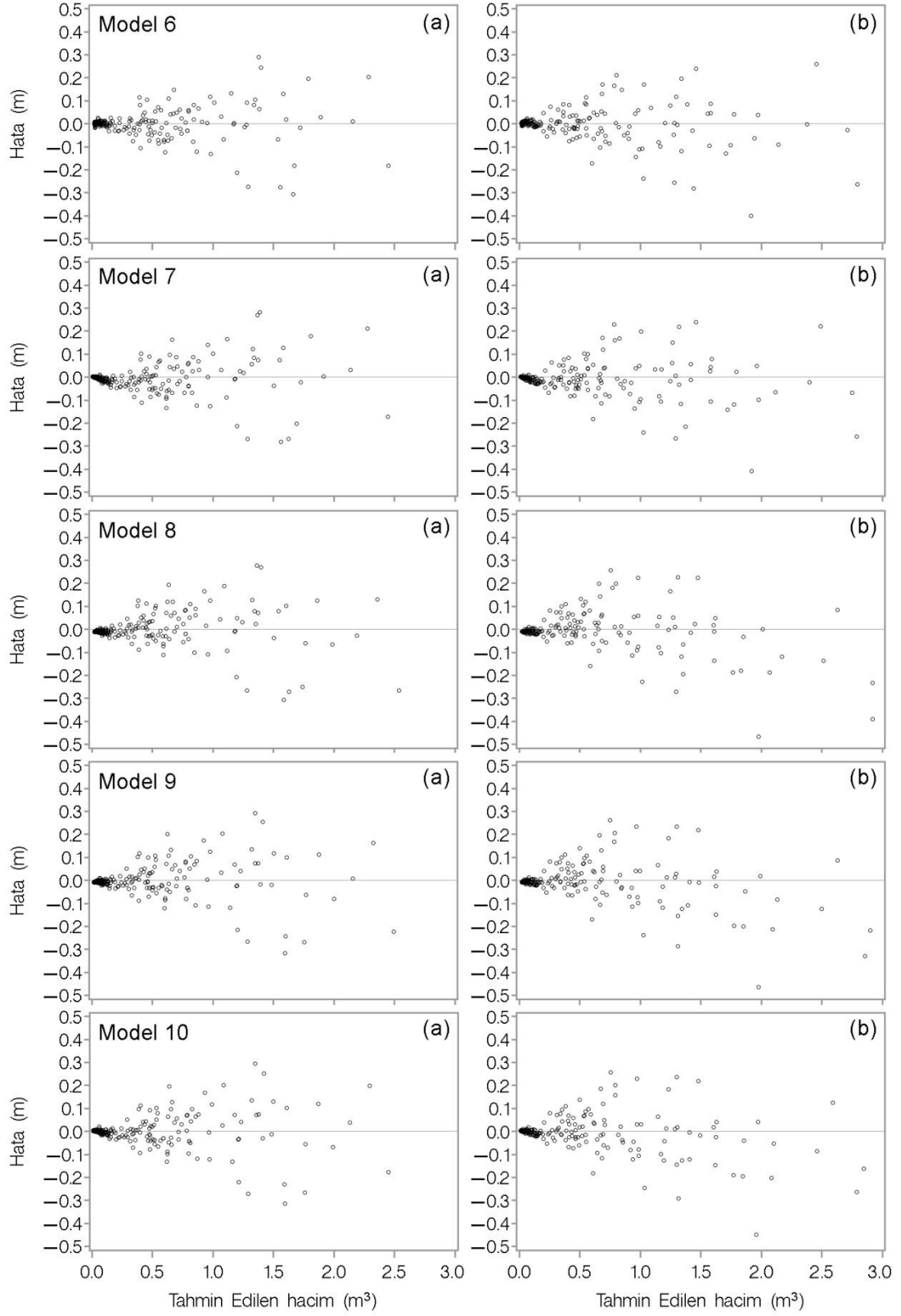
\*Tabloda kalın olarak yazılan değerler modeller arasında belirtilen ölçütlere göre en başarılı olanı göstermektedir.

Çizelge 4.3'den de görüleceği gibi, bazı doğrusal olmayan modellerle birlikte logaritmik modellerinde diğer modellere göre daha başarısız oldukları görülmektedir. Çizelge 4.3 incelendiğinde, nisbi sıralama değerlerine göre en başarısız modellerin ise sırasıyla 23, 13 ve 24 nolu modeller olduğu anlaşılmaktadır.

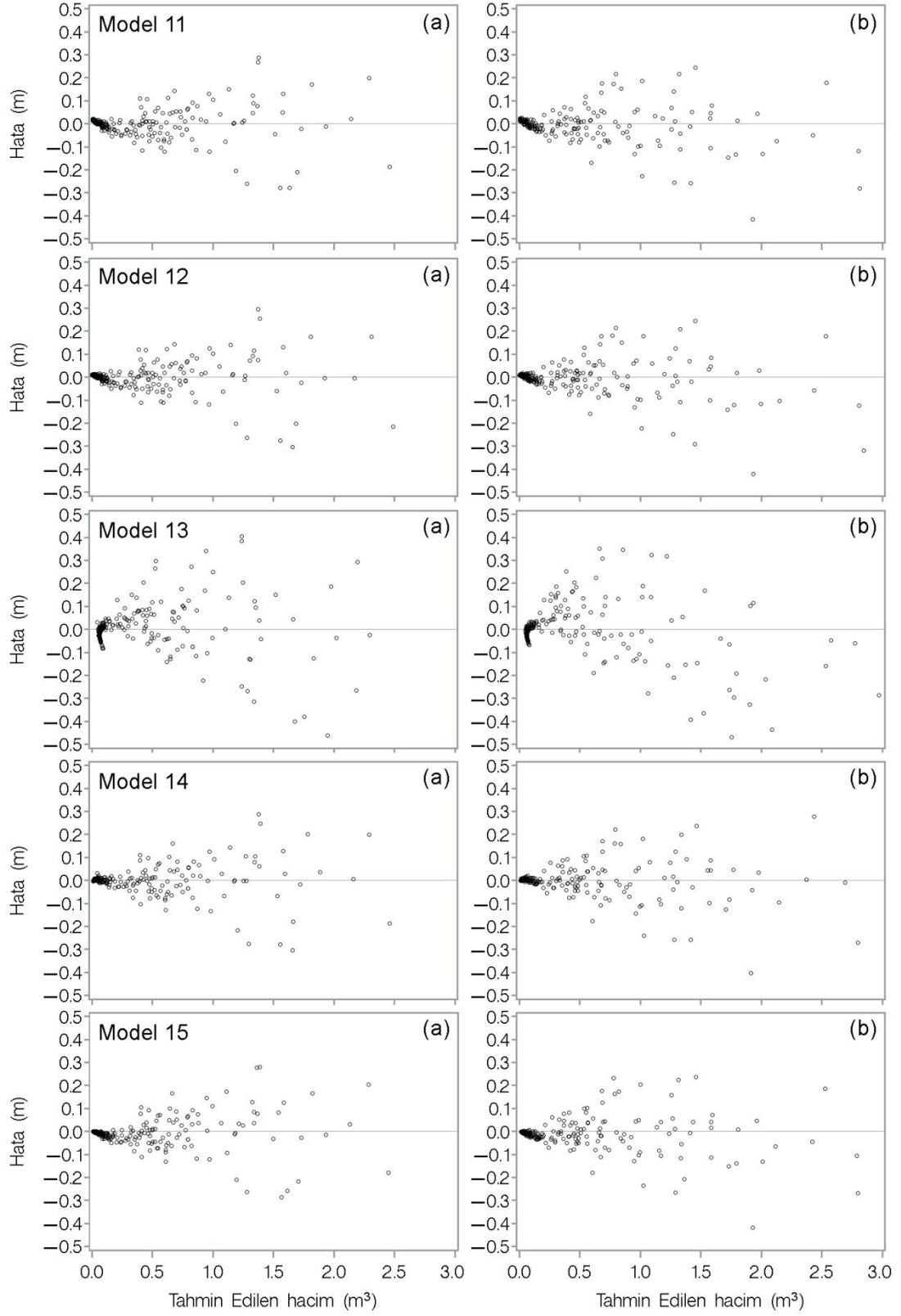
Model geliştirme verileri için elde edilen sonuçlara göre, modellerin tahmin edilen hacim değerlerine karşılık hata dağılımı Şekil 4.2 de verilmiştir. Genel olarak tüm modeller küçük hacim değerleri için az hata, nispeten büyük hacim değerleri için daha yüksek hata değerleri üretmiştir. Bu durum, modellere ilişkin hata dağılımının homojen bir varyansa sahip olmadığı sonucunu ortaya koymaktadır. Şekil 4.2'de logaritmik denklemler için verilen hata dağılımı grafikleri, modeller düzeltme faktörü ile çarpıldıktan sonra elde edilen değerlere göre düzenlenmiştir.



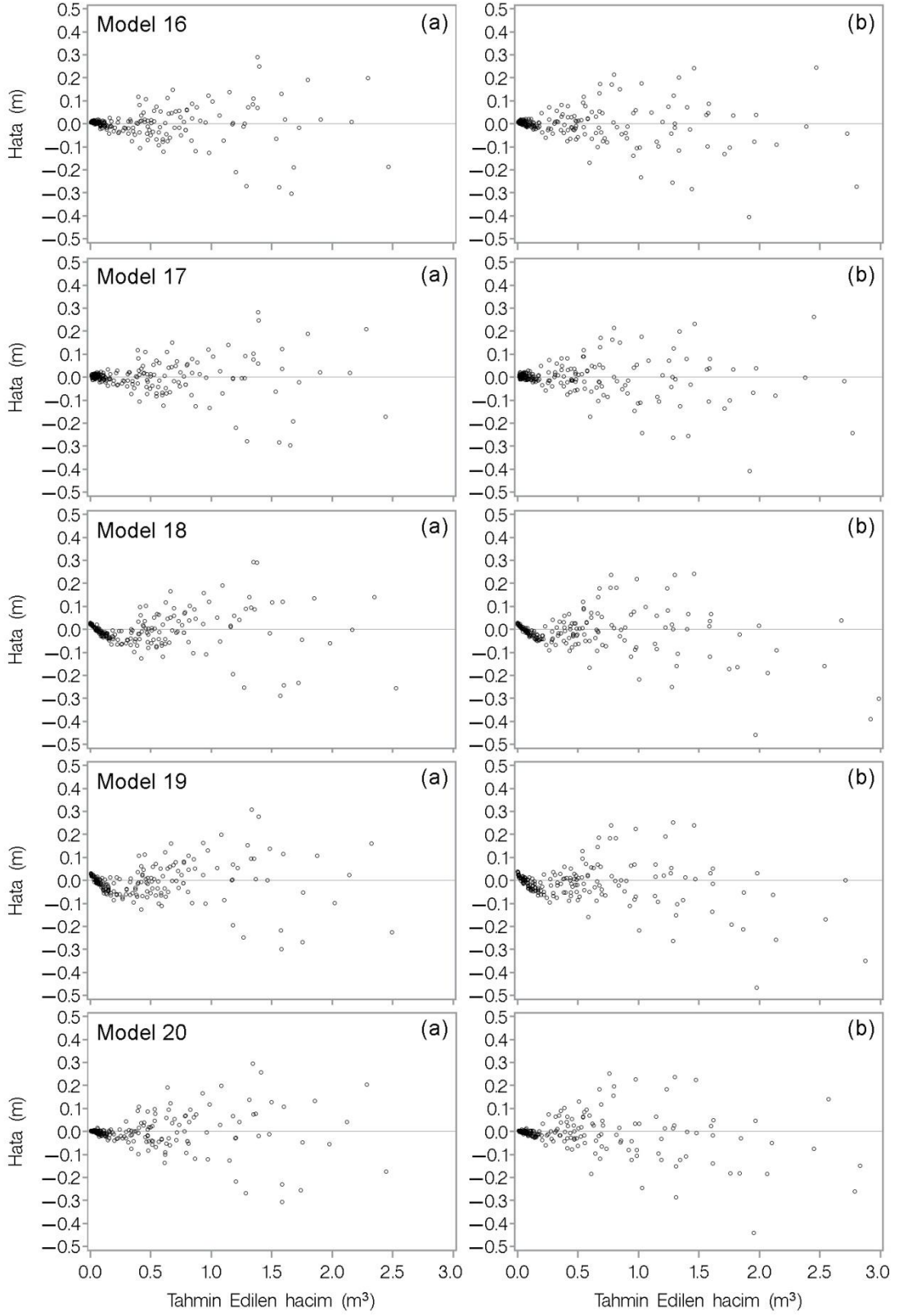
Şekil 4.2. Test edilen modeller için tahin edilen hacim değerlerine karşı hata değerlerinin dağılımı



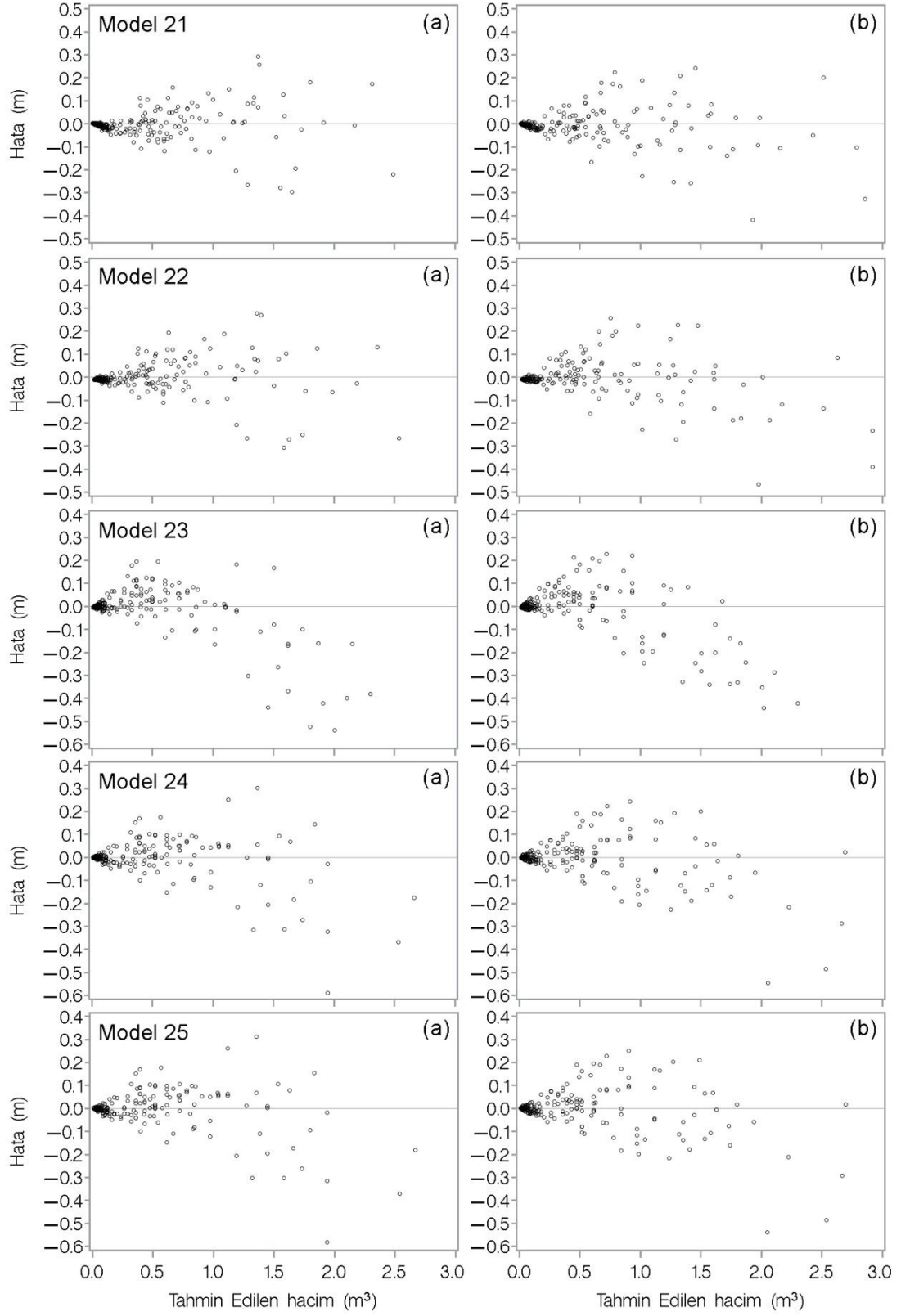
Şekil 4.2. Test edilen modeller için tahin edilen hacim değerlerine karşı hata değerlerinin dağılımı (Devamı)



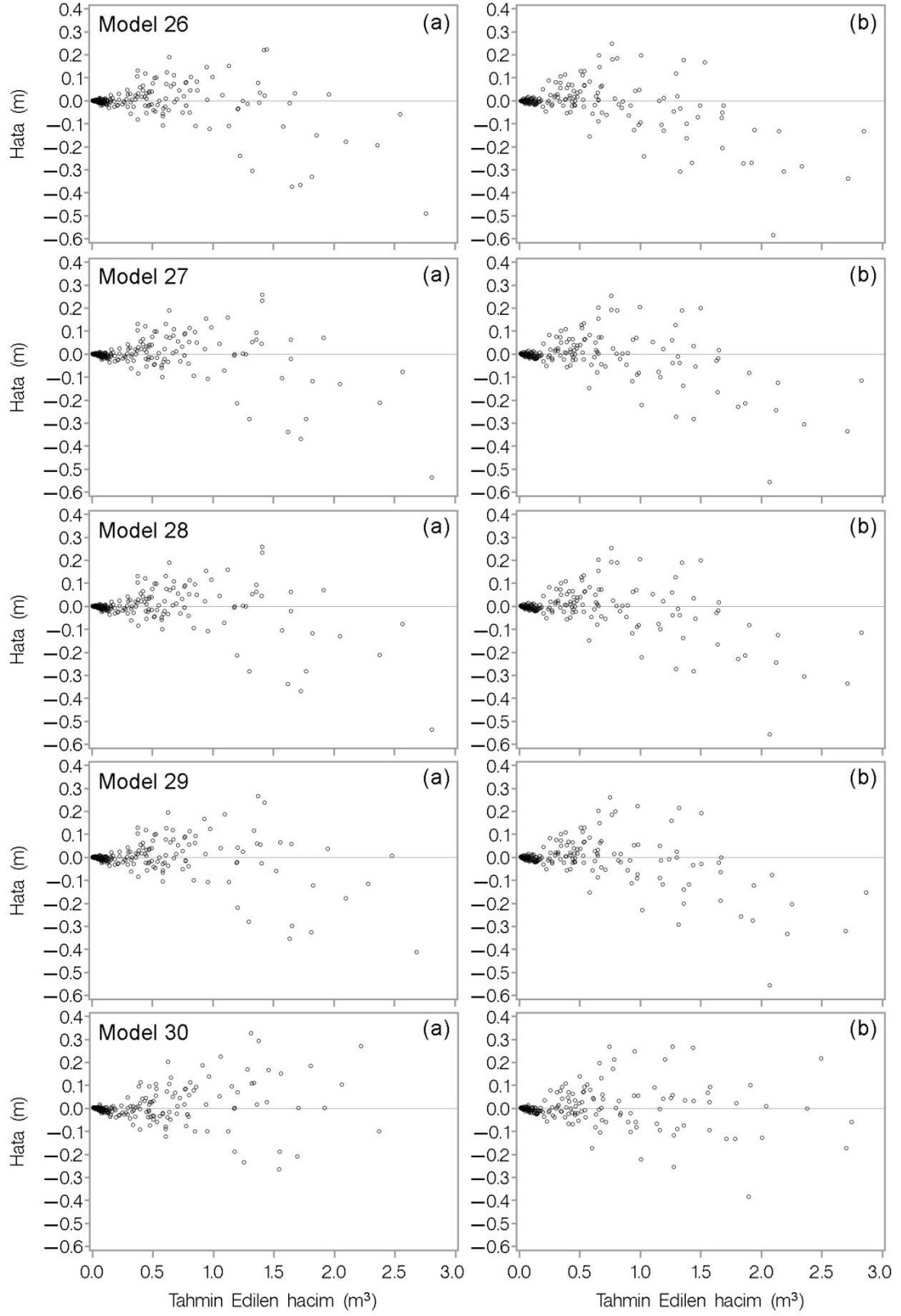
Şekil 4.2. Test edilen modeller için tahin edilen hacim değerlerine karşı hata değerlerinin dağılımı (Devamı)



Şekil 4.2. Test edilen modeller için tahin edilen hacim değerlerine karşı hata değerlerinin dağılımı (Devamı)



Şekil 4.2. Test edilen modeller için tahin edilen hacim değerlerine karşı hata değerlerinin dağılımı (Devamı)



Şekil 4.2. Test edilen modeller için tahin edilen hacim değerlerine karşı hata değerlerinin dağılımı (Devamı)

### 4.3. Test Edilen Modellerin Bağımsız Veri Seti İle Değerlendirilmesi

En başarılı model ya da modellere karar verebilmek için, elde edilen sonuçların bağımsız bir veri seti yardımı ile test edilmesi önerilmektedir (Kozak ve Kozak, 2003). Bu nedenle, modeller, bağımsız bir veri seti yardımıyla da değerlendirilmiş ve elde edilen ölçüt değerleri Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Model Test verileri için elde edilen ölçüt değerleri

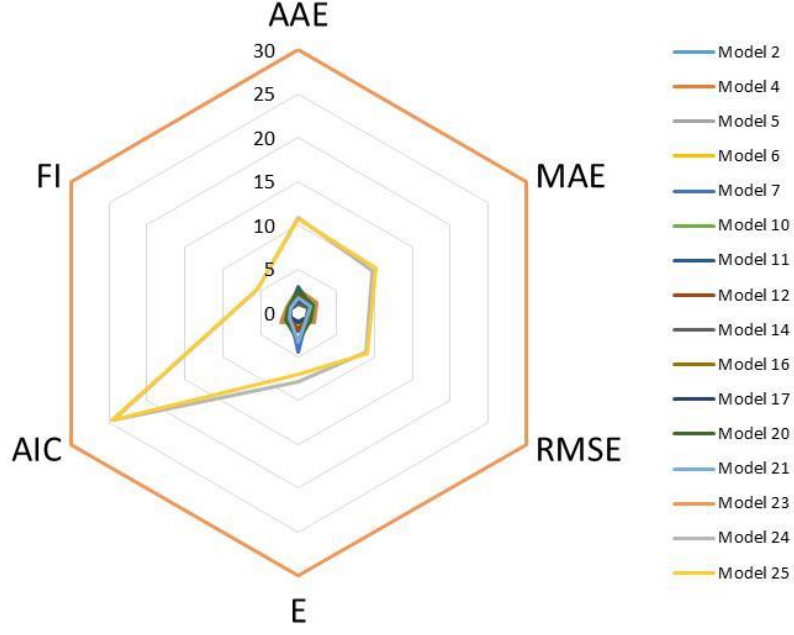
Model No	AAE	MAE	RMSE	HATA	R <sup>2</sup>	AIC
1	0.04600	0.46175	0.08361	-0.00717	0.97899	-998.54353
2	0.04320	0.41189	0.07625	-0.00361	0.98271	-1031.78781
3	0.05499	0.48598	0.09188	0.00376	0.97463	-960.45043
4	0.04559	0.46913	0.08470	-0.00294	0.97834	-995.34133
5	0.04312	0.41845	0.07684	-0.00708	0.98235	-1030.67163
6	0.04296	0.40942	0.07541	-0.00894	0.98291	-1040.24672
7	0.04638	0.46628	0.08425	-0.00681	0.97878	-993.49217
8	0.04632	0.46451	0.08416	-0.00721	0.97883	-993.93146
9	0.04484	0.44899	0.08140	-0.00606	0.98009	-1009.37098
10	0.04541	0.41663	0.07633	-0.00549	0.98258	-1033.36968
11	0.04400	0.42015	0.07728	-0.00502	0.98223	-1026.35992
12	0.08073	0.51597	0.13082	-0.00800	0.94884	-815.72379
13	0.04128	0.40200	0.07624	-0.00167	0.98280	-1029.84156
14	0.04440	0.41917	0.07637	-0.01124	0.98248	-1035.16570
15	0.04281	0.40514	0.07590	-0.00260	0.98295	-1031.66005
16	0.04235	0.40713	0.07546	-0.00221	0.98315	-1034.01825
17	0.05117	0.45862	0.08500	-0.00798	0.97851	-987.92454
18	0.05351	0.46612	0.08753	-0.01034	0.97721	-976.04780
19	0.04451	0.44040	0.08005	-0.00803	0.98075	-1016.15382
20	0.04312	0.41835	0.07683	-0.00706	0.98235	-1030.71282
21	0.04638	0.46628	0.08425	-0.00681	0.97878	-993.49217
22	0.04600	0.46175	0.08361	-0.00717	0.97899	-998.54353
23	0.10330	2.19906	0.26579	0.05454	0.78774	-531.31650
24	0.06086	0.92615	0.12497	0.01355	0.95331	-834.19149
25	0.06079	0.95756	0.12594	0.01190	0.95259	-831.07992
26	0.05341	0.69238	0.11189	0.01615	0.96295	-874.87012
27	0.05208	0.79664	0.11183	0.01218	0.96280	-877.06548
28	0.05208	0.79664	0.11183	0.01218	0.96280	-877.06548
29	0.05200	0.60096	0.10699	0.01288	0.96595	-894.93419
30	0.04293	0.38480	0.07682	0.00326	0.98227	-1032.79762

Test edilen modeller için elde edilen ölçüt değerleri kullanılarak modellerin nisbi sıraları belirlenmiş ve aşağıda Çizelge 4.5'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde test edilen modellerin bağımsız veri seti içinde benzer sonuçlar ortaya koyduğu görülmektedir. Bağımsız veri seti için en başarılı ilk üç model sırasıyla 14, 6 ve 16 nolu modeller olurken, en başarısız sonuçlar ise sırasıyla 23, 24 ve 25 nolu modeller ile elde edilmiştir. Burada da nisbi sıra değerleri bakımından bir değerlendirme yapıldığında 2, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 14, 16, 17, 20 ve 21 nolu modeller arasında hacim tahmin performansları arasında

büyük farklılıkların olmadığı söylenebilir. Bu durum modellere ilişkin olarak çizilen radar grafiğinde de açık bir şekilde görülmektedir. Bu nedenle çalışmada hem model geliştirme hem de model test verileri için en başarılı modeller olan 2, 5, 7, 10, 11, 12, 14, 16, 17 ve 21 nolu modellerin Eğirdir Yöresi kıvılcım meşcerelerinin hacim tahminleri amacıyla kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4.5. Test edilen modeller için bağımsız veri seti kullanılarak elde edilen nisbi sıralama sonuçları

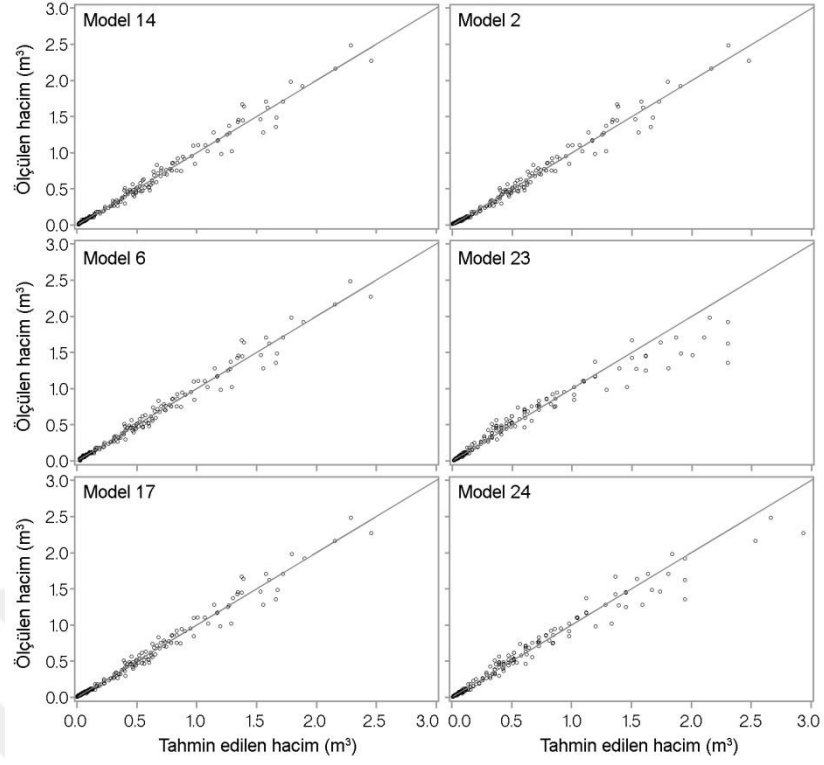
Model No	Nispi Sıralama*						Sıralamalar Toplamı	Genel Sıralama
	AAE	MAE	RMSE	HATA	R <sup>2</sup>	AIC		
1	2.97488	2.23000	1.96361	2.48169	2.15956	1.50158	13.31132	2.13529
2	1.78819	1.43289	1.08987	1.51988	1.08663	1.05015	7.96762	<b>1.24201</b>
3	6.49561	2.61718	3.03017	2.11491	3.44735	2.08296	19.78819	3.21801
4	2.72998	2.34796	2.07002	1.01994	2.25679	1.56501	11.98970	<b>1.91436</b>
5	1.75187	1.53783	1.15922	3.33202	1.14448	1.09010	10.01553	<b>1.58435</b>
6	1.05096	1.27394	1.01168	1.21459	1.05248	1.00000	6.60365	<b>1.01400</b>
7	1.95982	1.39341	1.09240	4.41617	1.01724	1.06432	10.94337	<b>1.73945</b>
8	3.13867	2.30240	1.95536	2.38423	2.18557	1.48973	13.45596	2.15947
9	3.09419	2.27398	2.00273	2.49223	2.24526	1.51440	13.62279	2.18736
10	2.61987	2.02594	1.77000	2.02609	1.91324	1.40148	11.75663	<b>1.87540</b>
11	2.92488	1.50868	1.14027	2.03033	1.11878	1.08093	9.80388	<b>1.54897</b>
12	2.09237	1.56501	1.17853	1.90268	1.20705	1.09288	9.03853	<b>1.42103</b>
13	16.95731	3.09664	8.30575	1.20154	8.58878	5.68665	43.83666	7.23810
14	1.00000	1.27490	1.08579	1.00000	1.11750	1.04173	6.51992	<b>1.00000</b>
15	2.65725	1.54932	1.20051	5.36321	1.16389	1.11674	13.05092	2.09176
16	1.62924	1.32500	1.03773	1.05566	1.05179	1.01877	7.11820	<b>1.10001</b>
17	1.45380	1.35691	1.00000	1.14563	1.00000	1.00083	6.95716	<b>1.07309</b>
18	5.71439	2.17991	2.11940	2.70002	2.42767	1.56781	16.70919	2.70330
19	7.07317	2.29982	2.50254	3.33523	2.89716	1.77246	19.88038	3.23342
20	2.56962	1.88864	1.63339	3.22003	1.73692	1.33186	12.38045	<b>1.97968</b>
21	1.75129	1.53623	1.15861	3.31968	1.14365	1.08981	9.99927	<b>1.58163</b>
22	3.13867	2.30240	1.95536	2.38423	2.18557	1.48973	13.45596	2.15947
23	30.00000	30.00000	30.00000	30.00000	30.00000	30.00000	180.00000	30.00000
24	10.82514	9.65319	8.95139	7.86893	24.48429	5.39303	67.17597	11.13964
25	10.79626	10.15528	9.09581	6.97856	24.54095	5.50074	67.06760	11.12152
26	7.46024	5.91647	6.99577	9.26912	23.74348	3.96024	57.34533	9.49629
27	6.86018	7.58307	6.98769	7.12534	23.70350	3.98284	56.24262	9.31195
28	6.86018	7.58307	6.98769	7.12534	23.70350	3.98284	56.24262	9.31195
29	6.82116	4.45519	6.26448	7.50404	23.37809	3.51478	51.93774	8.59232
30	2.72409	1.00000	1.75397	2.31055	20.86744	1.08903	29.74509	4.88246



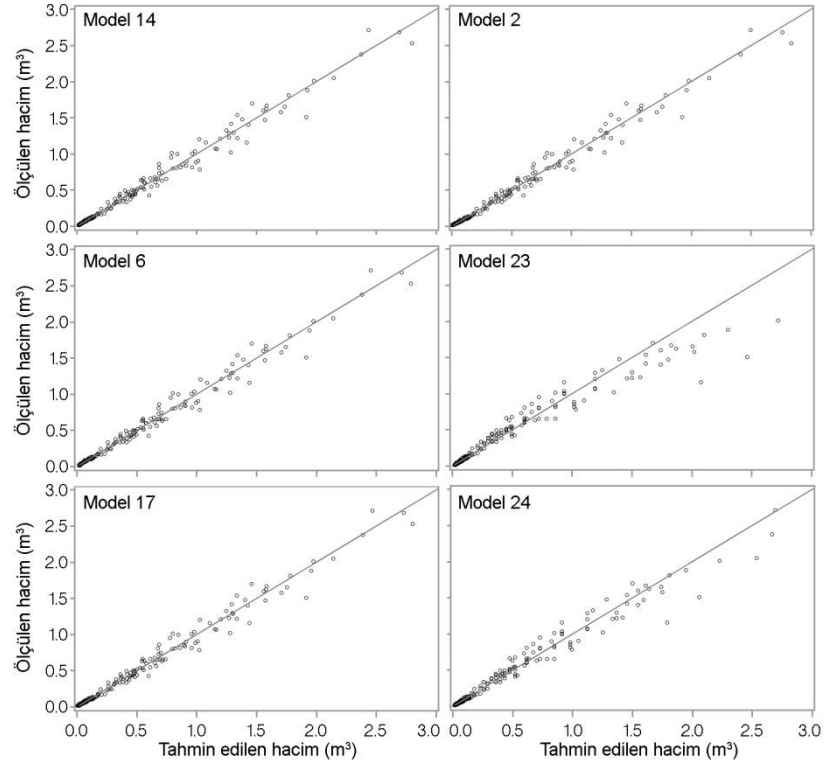
Şekil 4.3. Model test verileri için bazı modellerin radar grafiği

Diğer yandan başarılı olduğu kabul edilen modeller 2 ile 5 arasında değişen parametre sayılarına sahiptir. Modellerin pratik ormancılık çalışmalarında kullanılabilir olma durumlarında dikate alındığında 2 ya da üç parametrelili modellerin tercih edilmesi daha doğru olacaktır. Bu bağlamda iki parametrelili modeller olan 7 ve 10 nolu modeller diğer modellere tercih edilebilir. Model nisbi sırası dikate alındığında en başarılı model olan 14 nolu modelin 5 parametreye sahip olması nedeniyle pratik ormancılık çalışmalarında kullanılmaya çok da elverişli olmadığı söylenebilir.

Çalışma kapsamında en başarılı model olarak karşımıza çıkan dört model (14, 6, 17 ve 2 nolu modeller) ile en başarısız 2 (23 ve 24 nolu modeller) modelin tahmin hatalarına ilişkin 1:1 grafikleri aşağıda Şekil 4.4. ve 4.5’de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde ilk dört sırada yer alan başarılı modellerin model geliştirme ve model test verileri için ölçülen ve tahmin edilen hacim değerlerinin 1:1 grafiği ile hemen hemen örtüştüğü, ancak son iki sırada yer alan en başarısız modellerin ise ölçülen ve tahmin edilen hacim değerlerinin 1:1 çizgisinden önemli ölçüde sapma gösterdiği görülmektedir. 1:1 çizgisinden sapma miktarı, büyük hacim değerlerinde daha yüksek olarak karşımıza çıkmaktadır.

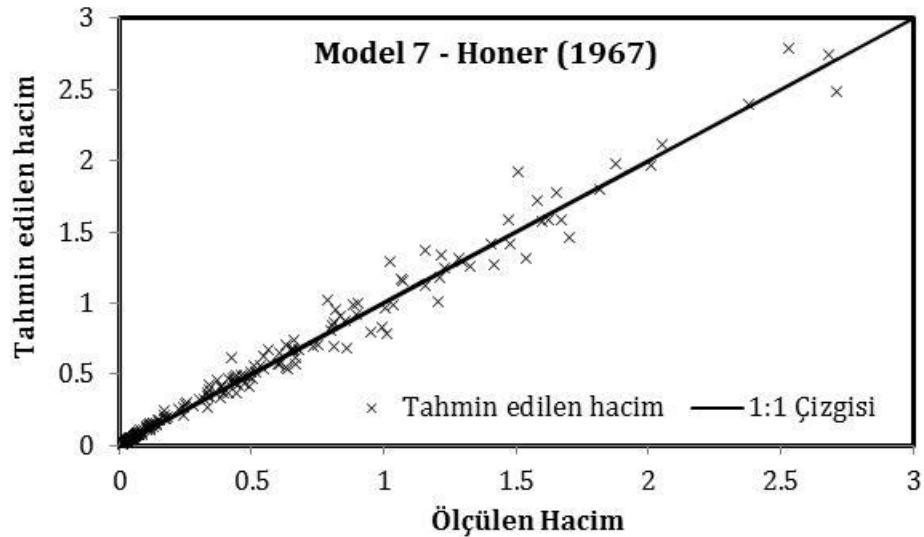


Şekil 4.4. Model geliştirme verileri için en başarılı ve en başarısız modeller için ölçülen ve tahmin edilen değerler için 1:1 grafiği

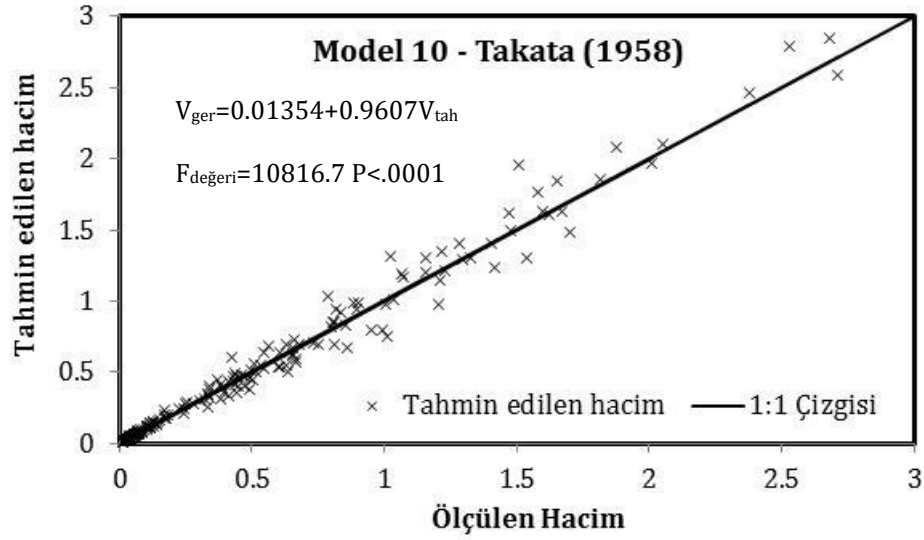


Şekil 4.5. Model test verileri için en başarılı ve en başarısız modeller için ölçülen ve tahmin edilen değerler için 1:1 grafiği

Çalışmanın önceki bölümünde bahsedildiği gibi, daha az parametreye sahip olmaları model nisbi sıraları itibariyle birbirinden önemli fark göstermemeleri sebebiyle 7 ve 10 nolu modellerin Eğirdir Yöresi kızılçam ağaç hacim tahminleri için diğer modellere tercih edilmesinin uygun olacağı belirtilmiştir. Bu dört model arasında ise hangisinin diğerlerine tercih edilebileceğine karar vermek amacıyla gerçek hacim değerleri ile tahmin edilen hacim değerleri arasındaki basit doğrusal ilişkiler araştırılmıştır. Şayet model önemli tahmin hataları içeriyorsa, doğrusal modelin kesme terimi ve eğimi 0'a eşit olmayacaktır. Bu amaçla çalışmada, modelin muhtemel hatalarını ortaya koymak için tahmin edilen değerler ile ölçülen değerler ilişkiye getirilmiştir. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda her iki model ilişkin 1:1 grafiği aşağıda verilmiştir. Her iki model içinde kesme terimi ve eğim katsayıları için güven aralıkları tahmin edilmiştir. Model 7'nin kesme terimi için güven aralığı -0.01245 ile 0.01301 arasında değişmekte bu nedenle kesme terimi 0'dan önemli bir fark göstermemektedir. Ancak eğim için güven aralığı değeri 0.96562 ile 1.00012 arasında değiştiği için 0'dan önemli fark göstermektedir. Benzer sonuçlar Model 10 içinde bulunmuştur. Sonuç olarak her iki model de, küçük ve büyük hacimli ağaçlar için nisbeten hatalı sonuçlar üretmiştir.



Şekil 4.6. İki parametrelili modeller (Model 7) kullanılarak test verileri için 45° çizgisi



Şekil 4.7. İki parametreliler (Model 10) kullanılarak test verileri için 45° çizgisi

#### 4.4. İki parametreliler için tüm veri seti ile değerlendirilmesi

Çalışmada model geliştirme verileri ve model test verileri için altı farklı ölçüt değeri kullanılarak yapılan değerlendirme sonuçlarına göre hem parametre sayısının azlığı hemde nisbi sıralamaları itibariyle en başarılı grup içerisinde yer alan Model 7 (Honer, 1967) ve Model 10 (Takata, 1958), modelleri için tüm veri seti kullanılarak elde edilen parametre tahminleri aşağıda Çizelge 4.6'da verilmiştir. Çünkü Kozak ve Kozak (2003), model geliştirmek veya geliştirilen bir modelin herhangi bir yöreye uygunluğunun test edilmesinde veri setinin iki gruba ayrılarak işlem yapılmasının sonuçların güvenilirliğine önemli bir katkısının olmadığı vurgulamıştır. Kaldı ki, bu şekilde bir işlemin ancak veri setlerinden birinin tamamen bağımsız olması durumunda bir anlam taşıyacağı ifade edilmiştir.

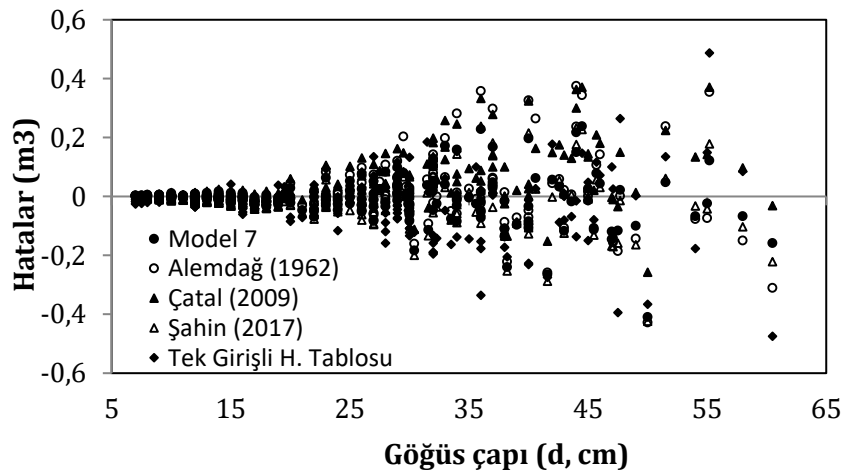
Bu modellere ilişkin parametre tahminleri kullanılarak Isparta-Eğirdir Yöresi doğal kızılçam meşcereleri için hacim tahminleri gerçeğe yakın bir şekilde yapılabilir. Bu iki modelin önerilmesinin en önemli nedeni pratik ormancılık çalışmalarında diğer model formlarına göre daha kolay ve zaman kaybettirmeden kullanılacak niteliklerde olmalarıdır. Ek-1'de Isparta-

Eğirdir Yöresi doğal kızılçam meşcereleri için Model 7 (Honer, 1967) parametre tahmin değerleri kullanılarak düzenlenmiş çift girişli hacim tablosu verilmiştir. Hacim tablosu tüm veri seti değerleri kullanılarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.6. Tüm veri seti için kullanılarak iki model için elde edilen parametre tahminleri

Model No	Katsayılar						
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$\beta_6$
7	421.40 ****	21550.34 ****					
10	26836.09 ****	90.7186 ****					

Diğer yandan bağımsız veri seti için en başarılı sonuçları üreten modellerden biri olan ve diğer başarılı modellere göre uygulanması daha kolay olan Model 7 (Honer, 1967) modeli ile Alemdağ (1962), Çatal (2009), Şahin (2017) ve Yöresel tek girişli hacim tablosu verileri, hacim tahminlerindeki hata dağılımı bakımından karşılaştırılmış ve Şekil 4.5'deki durum ortaya çıkmıştır. Şekil 4.5'den de görüleceği gibi, model test verileri için Model 7 (Honer, 1967) tarafından geliştirilen modelin diğer çalışmalar ile geliştirilen modellere göre daha başarılı tahmin sonuçları ortaya koymuştur. Hata dağılımının homojenliği açısından değerlendirme yapıldığında ise, Model 7 ile yapılan tahminlerin daha homojen bir hata yapısına sahip olduğu görülmektedir. Diğer hacim tahmin metodları ile yapılan tahminlerde hata dağılımının göğüs çapının artmasına bağlı olarak daha heterojen bir yapı aldığı görülmektedir.



Şekil 4.5. Farklı hacim denklemleri ile elde edilen sonuçlarının karşılaştırılması

#### 4.5. En başarılı regresyon modellerinin bazı hacim tahmin metotları ile karşılaştırılması.

Model geliştirme verileri kullanılarak değerlendirilen 30 adet regresyon modelinden ölçüt değerlerine göre yapılan nisbi sıralama sonuçlarına göre en başarılı grupta kalan ve iki parametreleri olması nedeniyle pratik ormancılık çalışmalarında kullanım kolay kullanım olanağı nedeniyle en başarılı model olarak kabul edilen Model 7 ile doğal kızılçam meşcereleri için geliştirilmiş bazı farklı hacim tahmin metotlarının karşılaştırılması da yapılmıştır. Bu amaçla ve Wiant (1993) tarafından geliştirilmiş DOSATEST isimli bir programdan yararlanılmıştır. Bu program yardımı ile test verisini oluşturan her bir ağaç için elde edilen gerçek hacim değerleri ile 5 adet metot kullanılarak her bir ağaç için elde edilen hacim değerleri karşılaştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.7. Ağaç gövde hacim tahminleri için hata ve tolerans aralıkları<sup>a</sup>

Türler	Metot	Ortalama Hacim (m <sup>3</sup> )	Hata (%)	Tolerans Aralığı (%)	HKO <sup>b</sup>
Kızılçam	Gerçek	0.4926			
	Model 7	0.4992	2.11	16.494	178.74
	Alemdağ (1962)	0.5015	-0.28	17.571	184.35
	Çatal (2009)	0.4477	-9.53*	13.895	204.22
	Şahin (2017)	0.5110	14.57*	21.944	495.09
	Hacim Tablosu	0.5168	12.97*	41.394	1174.73

<sup>a</sup>Gerçek hacim değerleri 1 m. lik seksiyon hacimlerinin toplamından elde edilmiştir.

<sup>b</sup>HKO= bias<sup>2</sup>+varyans

\*sıfırdan önemli (P<0.05) fark göstermektedir.

Bu sonuçlara göre, Model test verileri kullanılarak geliştirilen Model 7 (Honer, 1967), regresyon modeli ile Alemdağ (1962), tarafından düzenlenen ağaç hacim denkleminin üç ölçüt değerine (Hata yüzdesi, Tolerans aralığı ve Hata kareler ortalaması), göre de Çatal (2009), Şahin (2017), ve İlgili Yörede ağaç hacim tahminleri için kullanılan tek girişli ağaç hacim tablosuna göre daha başarılı sonuçlar üretmiş ve yüzde hata değerleri sıfırdan farksız bulunmuştur.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Pek çok araştırma çalışmasında da belirtildiği gibi, ormanların büyüme ve hasılatına ilişkin tahminlerde kullanılan en önemli yapı taşlarından birisi, ağaç hacim tahminleridir. Ağaç hacim tahminleri, amenajman planlarının düzenlenmesi, orman ürünleri endüstrisinin geleceğe dönük projeksiyonlarının yapılması, biyokütle ve karbon birikim miktarının hesaplanması için kullanılan önemli bir meşcere parametresidir. Bu nedenle, her ağaç türü ve türün yayılış gösterdiği farklı yetiştirme ortamı koşulları için ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi bilimsel ve uygulamalı ormancılık çalışmaları için gereklidir.

Bu çalışmada; Isparta-Eğirdir Yöresi doğal kızılçam meşcereleri için ağaç hacim denklemleri geliştirilmiştir. Bu amaçla farklı formlardaki 30 adet hacim denklemi altı farklı ölçüt değeri kullanılarak test edilmiştir. Bu amaçla, yörede, 405 adet örnek ağaç ölçülmüş, bu ağaçların yaklaşık %50'i (203 ağaç) model geliştirmek için ve geri kalan yaklaşık %50'lik kısım (202 ağaç) ise geliştirilen modellerin test edilmesi amacıyla kullanılmıştır.

Altı farklı ölçüt değerine (AAE, MAE, FI, RMSE, E ve AIC) göre yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucunda, gerek model geliştirme verisi, gerekse de model test verileri için en başarılı sonuçlar sırasıyla, Model 14 ve Model 6 ve Model 17 ile elde edilmiştir. En başarısız sonuçlar ise, Model 23, Model 24 ve Model 25 ile elde edilmiştir.

Ancak modellerin nisbi sıraları incelendiğinde pek çok modelin nisbi sıra itibariyle en başarılı modeller olan Model 14 ve Model 6'dan nisbi sıraları itibariyle büyük farklılıklar göstermediği görülmüştür. Bu modeller içerisinde bulunan Model 7 ve Model 10'un gerek parametre sayısının diğer başarılı modellerden daha az olması, gerekse yaygın olarak kullanılan ve çok bilinen modeller olması, bu modeller yardımı ile ağaç hacim tahminlerinin daha kolay yapılabilmesi ve diğer çalışmalarda elde edilen sonuçlarla karşılaştırma yapılabilme imkanı sağlaması nedeniyle Model 14'e tercih edilmişlerdir. Geliştirilen ve yörede kullanılması önerilen ağaç hacim denkleminin yöresel

olarak kullanılabilirliğinin denetimi için kontrol verileri ile gerçekleştirilen denetimler sonucunda bu modelin ilgili ağaç türü için gövde hacim tahminlerinde güvenle kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

Kızılçam ağaç türü için geliştirilen ve önerilen ağaç hacim denkleminin ilgili yörede ağaç hacim tahminlerinde kullanılabilmesi için, ağaç boyunun ve göğüs yüksekliği çapının ölçülmesi yeterli olmaktadır. Bu değerler ilgili ağaç hacim denkleminde yerine konularak ağaç gövde hacmi  $m^3$  olarak hesaplanabilir. Örneğin 45 cm göğüs çapına ve 18 m boya sahip bir kızılçam ağacının gövde hacmini bulmak istendiğinde, en uygun model olan Model 7'nin katsayıları Çizelge 4.6'dan alınmalı ve göğüs çapı ve boy değerleri ilgili denklemde yerine konarak gövde hacmi  $m^3$  olarak tahmin edilmelidir. Bu amaçla aşağıdaki işlemin yapılması yeterlidir.

Çalışmada geliştirilen ve kızılçam ağaç hacim tahminleri için önerilen Model 7 ile ilgili ağaç türü için Alemdağ (1962), Çatal (2009) ve Şahin (2017) tarafından geliştirilen çift girişli hacim denklemleri ile, yöresel olarak düzenlenen tek girişli ağaç hacim tablosu ile model test verileri için elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış, önerilen Model 7 dışındaki modellerin özellikle kalın çap değerleri için daha yüksek hacim hatası verdiği ve Model 7'e göre daha yüksek hata varyansı değerlerine sahip oldukları görülmüştür. Model 7 genel olarak tüm çap değerleri için oldukça homojen bir hata dağılımı göstermiştir. Benzer sonuçlar Accuracy test sonuçlarında da ortaya konmuştur.

Daha önceki çalışmalarda da ifade edildiği gibi, ağaçların büyüme ve gövde formu üzerinde; meşcere sıklığı, gençleştirme metodu, toprak tipi ve jeo-klimatik faktörler gibi bazı meşcere karakteristiklerinin önemli etkilere sahip olduğunu göstermiştir. Diğer yandan aynı hacme, ancak farklı gövde formuna sahip iki ağaçtan farklı ticari niteliklerde ürünler elde edilmesi ve bunun sonucunda da farklı ekonomik değerlerin ortaya çıkması da muhtemeldir. Bu nedenle; imkânlar el verdiği ölçüde ve yeterli miktarda örnek ağaç ölçümü yapılabildiği sürece her yöre ve ağaç türü için ayrı hacim fonksiyonlarının

geliştirilmesi gerçeğe daha yakın hacim tahminleri yapılabilmesi için daha yararlı olacaktır.



## KAYNAKLAR

- Akindele, S.O., LeMay, V.M., 2006. Development of tree volume equations for common timber species in tropical rain forest area of Nigeria. *Forest Ecology and Management*, 226, 41-48.
- Alegria, C., Tome, M., 2011. A set of models of individual tree merchantable volume prediction for *Pinus pinaster* Aiton in central inland of Portugal. *European Journal of Forest Research*, 130, 871-879.
- Atalay, İ., 1987. Sedir (*Cedrus libani* A. Rich.) Ormanlarının Yayılış Gösterdiği Alanlar ve Yakın Çevresinin Genel Ekolojik Özellikleri ile Tohum Transfer Rejyonlaması. Tarım Orman Köyişleri Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü Yayını, No:663, 167s., Ankara.
- Atıcı, E., 2006. Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) ince çaplı gövde hacim tablosu. *İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi*, 56, 89-108.
- Barrio, M., Diéguez-Aranda, U., Castedo-Dorado, F., Álvarez, J.G., Gadow, K.V., 2007. Merchantable volume system for pedunculate oak in northwestern Spain. *Annals of Forest Science*, 64, 511-520.
- Baskerville, G.L., 1972. Use of logarithmic regression in the estimation of plan biomass. *Canadian Journal of Forest Research*, 2, 49-53.
- Baynazoğlu, F., 2014. Mudurnu-Sırçalı Orman İşletme Şefliğinde Yayılış Gösteren Anadolu Karaçamı [*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe] Meşcereleri İçin Tek ve Çift Girişli Ağaç Hacim Denklemlerinin Geliştirilmesi. Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 46s, Çankırı.
- Bi, H., Hamilton, F., 1998. Stem volume equations for native tree species in southern New South Wales and Victoria. *Australian Forestry*, 61, 4, 275-286.
- Boydak, M., 2007. Reforestation of Lebanon cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) in bare karstic lands by broadcast seeding in Turkey. IN: Leone, V., Lovreglio, R. (eds.) *Proceeding of the international workshop MEDPINE 3: conservation, regeneration, and restoration of Mediterranean pines and their ecosystems*. Bari, ITALY.
- Bozkuş, H.F., Carus, S., 1997. Toros göknarı (*Abies cilicica* Carr.) sedir (*Cedrus libani* Link.)'in çift girişli gövde hacmi tabloları ve mevcut tablolarla karşılaştırılması. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 47, 1, 51-70.
- Brooks, J.R., Jiang, L., Özçelik, R., 2008. Compatible Stem Volume and Taper Equations for Brutian Pine, Cedar of Lebanon, and Cilicica Fir in Turkey. *Forest Ecology and Management*, 256, 147-151.

- Brooks, J.R., Wiandt, H.V., 2008. Ecoregion Based Local Volume Equations for Appalachian Hardwoods. *Northern Journal of Applied Forestry*, 25, 2, 87-92.
- Burk, T. E., 1989. Individual Tree Volume Equations for The Northeastern United States: Evaluation and New Form Quotient Board Foot Equations. *Northern Journal of Applied Forestry*, 6, 1, 27-31.
- Burkhart, H.E., Tome, M., 2012. *Modeling Forest Trees and Stands*. Springer, Dordrecht, 457p, Holland.
- Castedo-Dorado, F., Gomez-Garcia, E., Dieguez-Aranda, U., Barrio-Anta, M., Crecente-Campo, F., 2012. Aboveground stand-level biomass estimation: a comparison of two methods for major forest species in northwest Spain. *Annals of Forest Science*, 69, 735-746.
- Clutter, J.L., Fortson, J.C., Pienaar, L.V., Bailey, R.L., 1983. *Timber Management: A Quantitative Approach*. Krieger Publishing Company, Malabar, 33p, Florida.
- Crecente-Campo, F., Alboreca, A.R., Dieguez – Aranda, U., 2009. A Merchantable volume system for *Pinus sylvestris* L. in the major mountain ranges of Spain. *Annals of Forest Science*, 66, 808.
- Cunia, T., 1964. Weighted least squares method and construction of volume tables. *Forest Science*, 10, 180-191.
- Çatal, Y., Güneş, A., 2018. Antalya yöresi ormanalrı için titrete kavak ağaç hacim tablolarının düzenlenmesi. *Turkish Journal of Forestry*, 19(1), 30-39.
- Çatal, Y., 2009. Batı Akdeniz Bölgesi Kızılçam (*Pinus Brutia* Ten.) meşcerelerinde artım ve büyüme. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 301s, Isparta.
- De-Miguel, S., Mehtatalo, L., Shater, Z., Kraid, B., Pukkala, T., 2012. Evaluating marginal and conditional predictions of taper models in the absence of calibration data. *Canadian Journal of Forest Research*, 42, 1383-1394.
- Diamantopoulou, M.J., Milios, E., 2010. Modelling total volume of dominant pine trees in reforestations via multivariate analysis and artificial neural network models. *Biosystems Engineering*, 105, 306-315.
- Dieguez-Aranda, U., Castedo-Dorado, F., Alvarez-Gonzalez, J.G., Rojo, A., 2006. Compatible Taper Function for Scots Pine Plantations in Northwestern Spain. *Canadian Journal of Forest*, 36, 5, 1190-1205.
- Ducey, M.J., Williams, M.S., 2011. Comparison of Hossfeld's method and two modern methods for volume estimation of standing trees. *Western Journal of Applied Forestry*, 26, 19-23.

- Evcimen, B.S., 1963. Türkiye Sedir Ormanlarının Ekonomik Önemi, Hasılat ve Amenajman Esasları. Orman Genel Müdürlüğü Yayını, 199s, İstanbul.
- Fang, Z., Borders, B.E., Bailey, R.L., 2000. Compatible volume taper models for loblolly and slash pine based on system with segmented-stem form factors. *Forest Science*, 46, 1-12.
- Fischer, R., Lorenz, M., Köhl, M., Becher, G., Granke, O., Christou, A., 2008. The conditions of Forests in Europe: 2008 executive report. United Nations Economic Commission for Europe, Convention on Long-range Trans boundary Air Pollution, International Co-operative Programme on Assessment And Monitoring of Air Pollution Effects on Forests, 23p, Hamburg.
- Fowler, G.W., 1997. Individual Tree Volume Equations for Red Pine in Michigan. *Northern Journal of Applied Forestry*, 14, 53-58.
- Furnival, G.M., 1961. An index for comparing equations used in constructing volume tables. *Forest Science*, 7, 337-341.
- Gomez-Garcia, E., Crecente-Campo, F., Barrio-Anta, M., Dieguez-Aranda, U., 2015. A disaggregated dynamic model for predicting volume, biomass and carbon stocks in even-aged pedunculate oak stands in Galicia (North West Spain). *European Journal of Forest research*, 134, 569-583.
- Graves, A., 1978. A regional volume table for *Gmelina arborea*. Occasional Papers No:3, Commonwealth Forestry Institute Oxford University 9p, Great Britain.
- Heidarsson, L., 2014. Volume and taper equations for Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.), Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and White spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss) in Iceland. Master Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Resource Management, 43p, Sweden.
- Hjelm, B., Johansson, T., 2012. Volume equations for poplars growing on farmland in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 27, 561-566.
- Honer, T. 1967. Standard volume tables and merchantable conversion factors for the commercial tree species of central and eastern Canada. Forest Management of Resources and Services Institute, 152p, Ottawa.
- Husch, B., Beers, T.W., Kershaw, T.A., 2003. *Forest Mensuration*, Wiley, 4<sup>th</sup> Edition, 456p, New York.

- Jiang, L., Brooks, J.R., Wang, J., 2005. Compatible taper and volume equations for yellow-poplar in West Virginia. *Forest Ecology and Management*, 213, 399-409.
- Kelly, T.F., Beltz, R.C., 1987. A Comparison of Tree Volume Estimation Models for Forest Inventory, United States Department of Agriculture and Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Research Paper, 233p., New Orleans.
- Kitikidou, K., Milios, E., Radoglou, K., 2017. Single-entry volume table for pinus brutia in a planted peri-urban forest. *Annals of Silvicultural Research*, 41, 74-79.
- Kizha, A.R., Han, H.S., 2016. Predicting Aboveground Biomass in Second Growth Coast Redwood: Comparing Localized with Generic Allometric Models. *Forests*, 7, 1-13.
- Kozak, A., Kozak, R.A., 2003. Does cross validation provide additional information in the evaluation of regression models? *Canadian Journal of Forest Research*, 33, 976–987.
- Lee, D., Seo, Y., Choi, J., 2017. Estimation and validation of stem volume equations for pinus densiflora, pinus koraiensis, and Larix kaempferi in South Korea. *Forest Science and Technology*, 13, 77-82.
- Lohrey, R.E., 1985. Stem volume, volume ratio and taper equations for slash pine in West Gulf. General Technical Report, 54. New Orleans, LA. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, 451-459.
- Magalhaes, T.M., 2017. Site-specific height-diameter and stem volume equations for Lebombo-ironwood. *Annals of Forest Research*, 60, 1-16.
- Malata, H., Ngulube, E.S., Missanjo, E. 2017. Site specific stem volume models for pinus patula and pinus oocarpa. *International journal of Forestry Research*, 3981647, 6p.
- Mate, R., Johansson, T., Siteo, A., 2015. Stem volume equations for valuable timber species in Mozambique. *Journal of Sustainable Forestry*, 34, 787-806.
- Mısır, N., Mısır, M., 2004. Developing double-entry tree volume table for Ash in Turkey. *Kafkas Üniversitesi, Artvin Orman Fakültesi Dergisi*, 3,4, 135-144.
- Ounekham, K., 2009. Developing volume and taper equations for Styrax tonkinenses in Laos. Master Thesis, University of Canterbury, 83 p, New Zealand.

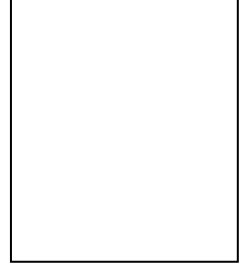
- Özçelik, R., 2008. Comparison of Formulae for Estimating Tree Bole Volumes of *Pinus sylvestris*. Scandinavian Journal of Forest Research, 23, 412-418.
- Özçelik, R., 2010. Bucak yöresi kızılçam, sedir ve Toros göknarı türleri için hacim denklemleri. Turkish Journal of Forestry, 2, 1-15.
- Özçelik, R., Crecente-Campo, F., 2016. Stem taper equations for estimating merchantable volume of Lebanon cedar trees in the Taurus Mountains, Southern Turkey. Forest Science, 62, 78-91.
- Özçelik, R., Çevlik, M., 2017. Batı Akdeniz yöresi doğal sedir meşcereleri için hacim denklemleri. Turkish Journal of Forestry, 18, 37-48.
- Özçelik, R., Kalkanlı, Ş., 2018. Kaş yöresi doğal kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcereleri için ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi. Turkish Journal of Forestry, 19, 9-19.
- Özkurt, A., 2000. Okaliptüs (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden) İçin Hacim Tablosu. Doğu Akdeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi, 6, 87-105.
- Perez, D., 2008. Growth and Volume Equations Developed From Stem Analysis For *Tectora grandis* in Costa Rica. Journal of Tropical Forest Science, 20, 66-75.
- Pillsbury, N.H., McDonald, P.M., Simon, V., 1995. Reliability of Tanoak volume equations when applied to different areas. Western Journal of Applied Forestry, 10, 2, 72-78.
- Poudel, K.P., Cao, Q.V., 2013. Evaluation of methods to predict Weibull parameters for characterizing diameter distributions. Forest Science, 59, 2, 243-252.
- Rachid Casnati, C., Mason, E.G., Woollons, R., Resquin, F., 2014. Volume and taper equations for *P. teada* (L.) and *E. grandis* (Hill ex. Maiden). Agrociencia Uruguay, 18(2), 47-60.
- Ritchie, M.W., Hann, D.W., 1984. Nonlinear equations for predicting diameter and squared diameter inside bark at breast height for Douglas-fir. Oregon State University, Forest Research Lab., Research Paper 47, 17p., Oregon.
- Rodriguez, F., Lizarralde, I., Fernandez-Landa, A., Condes, S., 2014. Non-destructive measurement techniques for taper equation development: a study case in the Spanish Northern Iberian Range. European Journal of Forest Research, 133, 213-223.

- Romancier, R.M., 1961. Weight and Volume of Plantation-grown Loblolly Pine, United States Department of Agriculture and Forest Service Research Note, 161.
- Sakıcı, O.E., Mısır, N., Yavuz, H., Mısır, M., 2008. Stem taper functions for *Abies nordmanniana* subsp. *bornmulleriana* in Turkey. Scandinavian Journal of Forest Research, 23, 522-533.
- Sakıcı, O.E., Yavuz, H., 2003. Ilgaz Dağı göknar meşcereleri için hacim fonksiyonları, Gazi Üniversitesi, Kastamonu Orman Fakültesi Dergisi, 3, 219-232.
- Sakıcı, O.E., Yavuz, H., 2005. Kastamonu-Bostan Yöresi Uludağ Göknarı Meşcerelerinde Gövde Profili Denklemleriyle Biyokütle Miktarının Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi Kastamonu Orman Fakültesi Dergisi, 5(1), 7-22.
- Sakıcı, O.E., Sağlam, F., Seki, M., 2018. Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü karaçam meşcereleri için tek ve çift girişli ağaç hacim denklemleri. Turkish Journal of Forestry, 19, 20-29.
- Saraçoğlu, N., 1988. Kızılağaç (*Alnus glutinosa* Gaertn subsp. *Barbata* (C.A. Mey.) Yalt.) Gövde Hacim ve Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 95s., Trabzon.
- Saraçoğlu, N., 1998. Kızılağaç (*Alnus glutinosa* Gaertn subsp. *Barbata* (C.A. Mey.) Yalt.) Gövde hacim tablosu. Turkish journal of Agriculture and Forestry, 22, 215-225.
- Schumacher, F.X., Hall, F.D.S., 1933. Logarithmic expression of timber-tree volume. Journal of Agricultural Research, 47, 719-734.
- Scott, C.T., 1981. Northeastern Forest Survey Revised Cubic-Foot Volume Equations. United States Department of Agriculture and Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Research Note, 304p., North Eastern States.
- Stolarikova, R., Salek, L., Zehradnik, D., Dragoun, L., Jerabkova, L., Marusak, R., Merganic, J., 2014. Comparison of tree volume equations for small-leaved lime (*Tilia cordata* Mill.) in the Czech Republic. Scandinavian Journal of Forest Research, 29, 757-763.
- Takata, K., 1958. Construction of universal diameter-height-curves. Journal of Japanese Forest Society, 40, 1.
- Tasissa, G., Burkhart, H.E., Ralph, L., 1997. Volume and taper equations for thinned and unthinned Loblolly pine trees in cutover, site-prepared plantations. Southern Journal of Applied Forestry, 21, 146-152.

- Teshome, T., 2005. Analysis of Individual Tree Volume Equations for *Cupressus Lusitanica* in Munessa Forest, Ethiopia. Southern African Forestry Journal, 203, 27-32.
- Van Larr, A., Akça, A., 1997. Forest Mensuration. Cuvillier Verlag, 417p, Göttingen.
- Wright, H.L., 1964. An investigation into the weighting of volume table equations. Department of Forestry, University of Oxford. 26p, Great Britain.
- Yandle, D.O., Wiant, H.V., 1981. Estimation of biomass based on the equation. Canadian Journal of Forest Research, 11, 833-834.
- Yavuz, H., Saraçoğlu, N., 1999. Kızılağaç için Uyumlu ve Uyumsuz Gövde Çapı Modelleri, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 23 (5), 1275-1282.
- Yavuz, H., 1999. Taşköprü yöresinde karaçam için hacim fonksiyonları ve hacim tabloları. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 23, 1181-1188.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hakkı ALTINKAYA  
Doğum Yeri ve Yılı : Isparta, 1988  
Medeni Hali : Evli  
Yabancı Dili : İngilizce  
E-posta : hakkialtinkaya000@gmail.com



## Eğitim Durumu

Lise : Isparta Anadolu Teknik Lisesi, 2008  
Lisans : SDÜ, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği, 2014