

**T.C.
ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSTANBUL-SARIYER YÖRESİ SAHİL ÇAMI
AĞAÇLANDIRMALARI İÇİN GÖVDE ÇAPI MODELLERİNİN
GELİŞTİRİLMESİ**

Utkun KARAKUYU

**Danışman
Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK**

ISPARTA - 2020



© 2020 [Utkun KARAKUYU]

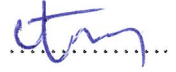
ETİK BEYANI

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak ve bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın hazırladığım bu tez çalışmada;

Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

01/01/2020

Utkun KARAKUYU



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
1.1. Sahil Çamı Hakkında Genel Bilgiler	5
1.2. Sahil Çamının Doğal Yayılış Alanları	7
1.3. Türkiye’de Sahil Çamı	9
1.4. Sahil Çamının Botanik Özellikleri	12
1.5. Sahil Çamının Ekolojik İstekleri.....	13
1.5.1. Sahil çamının iklim istekleri	13
1.5.2. Sahil çamının toprak istekleri	14
1.6. Sahil Çamının Silvikültürel Özellikleri.....	15
2. KAYNAK ÖZETLERİ	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM	26
3.1. Materyal	26
3.2. Yöntem.....	30
3.2.1. Gövde çapı modelleri	30
3.2.2. İstatistiksel analiz	32
3.2.3. Model performanslarının değerlendirmesinde kullanılan ölçütler.....	34
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	36
4.1. Otokorelasyon ve Çoklu Bağıntı Problemlerine İlişkin Bulgular	36
4.2. Geliştirilen Gövde Çapı Modellerine İlişkin Bulgular.....	37
4.2. Boy Tahminlerine İlişkin Bulgular	41
4.3. Ticari Hacim Tahminlerine İlişkin Bulgular	44
4.4. Toplam Hacim Tahminlerine İlişkin Bulgular	45
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	52
KAYNAKLAR	54
ÖZGEÇMİŞ	64

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İSTANBUL-SARIYER YÖRESİ SAHİL ÇAMI AĞAÇLANDIRMALARI İÇİN GÖVDE ÇAPI MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Utkun KARAKUYU

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

Sahil çamı (*Pinus pinaster* Ait.) ülkemizde endüstriyel plantasyon kurmak amacıyla kullanılan en önemli ağaç türlerinden biridir. Bu çalışmada, İstanbul-Sarıyer Yöresi sahil çamı plantasyonları için gövde çapı modelleri geliştirilmiştir. Bu amaçla, bazı parçalı ve değişken şekil gövde çapı modelleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında toplam 194 örnek ağaç üzerinde yapılan detaylı ölçümlerden yararlanılmıştır. Modellerin geliştirilmesi için en küçük kareler yöntemi kullanılmıştır. Gövde çapı modellerinin geliştirilemesi sırasında karşılaşılan otokorelasyon probleminin çözümü için ikinci derece otoregresif hata yapısı ve çoklu bağıntı probleminin varlığının araştırılması için durum sayıları kullanılmıştır. Modellerin performansları çap, boy, ticari hacim ve toplam ağaç hacmi tahminleri açısından değerlendirilmiştir. Bu amaçla beş farklı ölçüt değeri kullanılmıştır. Poudel ve Cao (2013) tarafından geliştirilen bir nispi sıralama sistemi kullanılarak yapılan değerlendirme sonucunda, en başarılı modelin Lee vd. (2003) tarafından geliştirilen değişken şekil gövde çapı model olduğu görülmüştür. Bu model yardımı ile İstanbul-Sarıyer Yöresi sahil çamı plantasyonlarında gerçeğe yakın çap ve hacim tahminleri yapılabileceği görülmüştür. Diğer yandan, model nisbi sıraları incelendiğinde, Lee vd. (2003) tarafından geliştirilen model ile Fang vd. (2000) tarafından geliştirilen modeller arasında büyük bir fark olmadığı da görülmüştür. Bu nedenle, daha hızlı hacim tahminine imkân sağlaması ve gövde çapı modelinin kolayca integrali alınarak toplam hacim ya da ticari hacim denklemine dönüştürülebiliyor olması nedeniyle Fang vd. (2000) tarafından geliştirilen model de bu amaçla kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Hacim, Otokorelasyon, Nisbi sıra, Gövde formu, Parçalı model

2020, 64 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DEVELOPMENT OF STEM TAPER MODEL FOR MARITIME PINE PLANTATIONS IN ISTANBUL SARIYER REGION

Utkun KARAKUYU

Isparta University of Applied Sciences
The Institute of Graduate Education
Department of Forest Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

Maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) is one of the most important tree species in Turkey for industrial plantations establishment. In this study, stem taper models were developed for maritime pine plantations in İstanbul-Sarıyer Region. For this aim, some taper models belonging to two different taper model groups (segmented and variable-form) were evaluated. In this frame, totally 194 destructively sampled trees were used. These equations were fitted with ordinary nonlinear least squares method. We incorporated a second-order continuous-time autoregressive error structure to model (CAR(L)) to address the autocorrelation problem and used condition numbers to detect the presence of multicollinearity. To evaluate the predictive ability of the taper models, they were evaluated in terms of the diameter at specified height, height at any given diameter, merchantable volume, and total stem volume estimations. For this aim, we used five different evaluation criteria. As a result of evaluations, the variable-form model of Lee et al. (2003) is the best model using the ranking system proposed by Poudel and Cao (2013). Accuracy and reliable tree diameter and volume estimations can be done using this taper model for maritime pine plantations in İstanbul-Sarıyer Region. On the other hand, according to model relative ranking, there is no big difference between Fang et al. (2000) and Lee et al. (2003) models in terms of predicting capacity of the models. Therefore, Fang et al. (2000)'s taper model can be used for estimating diameter and volume. This model has the additional advantage that it is compatible with both a total volume equation and a merchantable volume equation, which allows for rapid volume prediction.

Key Words: Volume, Autocorrelation, Relative rank, Stem form, Segmented model

2020, 64 pages

TEŞEKKÜR

Tezimin yürütülmesinde desteğini ve emeğini hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım sayın Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK'e çalışma süresince bana desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme özellikle kardeşim Mehmet KARAKUYU'ya sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Arazi çalışmalarında işlerimi kolaylaştırmasını sağlayan Sarıyer Orman İşletme Şefi Sayın Ergün TUNCER, Orman Muhafaza Memurları Sayın Metin Kapdan ve Sayın Hamdi ARSLANTÜRK'e şeflik pikap şoförü Sayın Yusuf ŞAHİN'e teşekkür ederim.

Tez çalışmasının yapıldığı arazideki Orman Üretim işlerinde çalışan kesim postalarındaki ismini sayamadığım kesim işçilerine teşekkür ederim.

Utkun KARAKUYU
ISPARTA, 2020

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. İstanbul Sarıyer bölgesi sahil çamı görseli	6
Şekil 1.2. Sahil çamının doğal yayılış alanları	8
Şekil 1.3. Türkiye'de sahil çamının dağılımını gösterir harita	10
Şekil 1.4. Çalışma alanının Google Earth görüntüsü	11
Şekil 3.1. 8 ve 151 nolu bölmelerin çalışma alanını gösterir meşcere haritasıdır.	27
Şekil 3.2. Gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin geliştirilmesi amacıyla yapılan örnek ağaç ölçümleri.....	28
Şekil 3.3. Sahil çamı için nisbi çap değerlerinin nisbi bot değerlerine dağılımı.....	29
Şekil 4.1. Çap tahmininde ortaya çıkan artıklar için, Lee vd. modelinin parametreleri arasında otokorelasyon olmadığı düşüncesiyle testi (ilk satır) ve birinci ve ikinci derece otoregresive hata yapısı ile testi (sırasıyla ikinci ve üçüncü satırlar).....	37
Şekil 4.2. Test edilen modellerin kullanılan ölçüt değerlerine göre radar grafikleri .	41
Şekil 4.3. Sahil çamı için çap tahminleri amacıyla test edilen modeller için ortaya çıkan artıkların nisbi boy sınıflarına dağılım grafiği.	41
Şekil 4.4. Test edilen modellerin kullanılan ölçüt değerlerine göre radar grafikleri .	42
Şekil 4.5. Sahil çamı için boy tahminleri için test edilen modellerde ortaya çıkan artıkların nisbi çap sınıflarına dağılım grafiği.	43
Şekil 4.6. Test edilen modellerin kullanılan ölçüt değerlerine göre radar grafikleri .	45
Şekil 4.7. Sahil çamı için ticari hacim tahminlerinde test edilen modeller için ortaya çıkan artıkların nisbi çap sınıflarına dağılım grafiği.	45
Şekil 4.8. Test edilen modellerin kullanılan ölçüt değerlerine göre radar grafikleri .	46
Şekil 4.9. Sahil çamı için toplam ağaç hacmi tahminlerinde test edilen modeller için ortaya çıkan artıkların nisbi çap sınıflarına dağılım grafiği.	47
Şekil 4.10. Farklı gövde çapı modelleri için elde edilen ağaç gövde profilleri	50
Şekil 4.11. Farklı yöntemlerle elde edilen hacim tahminlerinin karşılaştırılması.....	50

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Sahil çamının şehir bazındaki dağılımları.....	12
Çizelge 3.1. Sahil çamı için gövde çapı modelinin geliştirilmesi amacıyla ölçülen parametrelerine ilişkin nitelendirici istatistikler.....	29
Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan gövde çapı modelleri ve uyumlu hacim sistemleri	32
Çizelge 4.1 Test edilen modeller için parameter tahminleri ve standart hata değerleri ve Koşul sayıları (CN).....	38
Çizelge 4.2. Test edilen modellere ilişkin ölçüt değerleri.....	39
Çizelge 4.3. Modellere ilişkin nispi sıralama.....	40



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AIC	Akaike Bilgi Kriteri
BIC	Bayesian Bilgi Kriteri
D	Göğüs çapı
d	Gövde çapı
E	Ortalama hata
H	Ağaç boyu
h	Yükseklik
OMH	Ortalama mutlak hata
R^2	Belirtme katsayısı
RMSE	Hata kareler ortalamasının karekökü
vd.	Ve diğerleri
mm.	Milimetre
Ait.	Aiton
m.	Metre
cm.	Santimetre
subsp.	Subspecies
P.	Pinus
CN	Condition Number
OGM	Orman Genel Müdürlüğü

1. GİRİŞ

Ülkemizde 2008 yılından beri orman kaynaklarının planlanması amacıyla ekosistem tabanlı fonksiyonel planlama yaklaşımı temel alınmaktadır. Bu planlama yaklaşımı ile orman kaynaklarının etkin bir şekilde planlanabilmesi için, orman ekosisteminin en önemli öğelerinden birisi olan ağaç türlerine ilişkin büyüme ve hasılat modellerine ihtiyaç duyulmaktadır. Orman kaynaklarının planlanmasında ve bu kaynakların sürdürülebilir olarak yönetiminde kullanılan büyüme ve hasılat modellerine ilişkin en önemli altlıklardan birisi ağaç hacim tahminleridir. Ağaç hacim tahminleri, orman amenajmanı çalışmaları ve odun kaynağının planlanmasında (Diéguez-Aranda vd., 2006; de-Miguel vd., 2012), orman ürünleri endüstrisinin geleceğe dönük projeksiyonlarında (Fang vd., 2000), orman sağlığı ve verimliliğinin izlenmesinde (Casetedo-Dorado vd., 2012), orman biyokütlesinin tahmini ve buna bağlı karbon birikiminin hesaplanmasında (Parresol, 2003; Poudel vd., 2018) ve üretim planlamaları, uygun üretim sistemlerinin belirlenmesi ve uzun dönemli ekonomik analizlerin yapımında karar vericiler (Pancoast, 2008) için önemli bir parametredir.

Bugün ülkemizde tek ağaç ve meşcere hacim tahminleri için kullanılmakta olan yöresel ya da genel hacim tabloları; günümüzde değişen ve çeşitlenen ticari standartları karşılamakta yetersiz kalmaktadır. Özellikle ülkemiz ormancılığında yaygın olarak kullanılmaya başlanılan dikili satış yöntemi, tek ağaç ve meşcere hacminin daha doğru bir şekilde tahmin edilmesini gerekli kılmıştır. Bu nedenle, sürdürülebilir orman yönetimi ve farklı yararlanma alternatifleri için ağaç ve meşcere hacimlerinin tahmini için doğru ve çok yönlü hacim tahmin tekniklerinin kullanılması gerekmektedir. Son 50 yıldır yaygın olarak kullanılmakta olan gövde çapı modelleri, doğru ve farklı ticari standartları karşılamak konusunda kullanılan en yaygın yaklaşımlardan birisi olmuştur (Jiang vd., 2005). Gövde çapı modelleri, Kozak (2004) tarafından da ifade edildiği gibi, bir ağaç gövdesi üzerindeki farklı noktadaki çap değerlerinin tahmini, tüm ağaç hacminin tahmini, herhangi bir çap değerinin hangi yükseklikte olduğu ve gövde üzerinde seçilen herhangi iki nokta arasındaki ticari hacmin tahmini amacıyla kullanılmaktadır. Bu nedendir ki, gövde çapı modelleri son yıllarda çok popüler olmuştur (Klos vd., 2007; Li ve Weiskittle, 2010; Li vd., 2012; Liu vd., 2020).

Farklı araştırmacılar tarafından yapılan sınıflandırmalarda (Diéguez-Aranda vd., 2006; Sharma ve Parton 2009; Liu vd., 2020; Shahzad vd., 2020), gövde çapı modelleri (1) basit gövde çapı modelleri, (2) parçalı gövde çapı modelleri ve (3) değişken şekil gövde çapı modelleri olarak üç farklı grupta toplanmaktadır. Basit gövde çapı modellerinin, genel olarak gövdenin orta bölümü için gerçeğe yakın tahminler yapılmasına imkan verirken, gövdenin dip ve uç kısımları için hatalı sonuçlar verdiği ifade edilmektedir (Jiang vd., 2005; Crecente-Campo vd., 2009; Li ve Weiskittel 2010; Rodiriguez vd., 2015; Özçelik ve Crecente-Campo 2016). İlk kez Max ve Burkhardt (1976) tarafından tanıtılan parçalı gövde çapı modelleri ise gövdenin farklı bölümlerini farklı denklemlerle tanımlanmakta ve daha sonra bu farklı bölümler katılım noktaları ile birleştirilmektedir. Parçalı gövde çapı modellerinin en popüler olanları Max ve Burkhardt (1976), Parresol vd. (1987), Clark vd. (1991) ve Fang vd. (2000)'dir. Parçalı gövde çapı modellerinin diğer gövde çapı modellerine en önemli üstünlüğü, gövdenin herhangi iki noktası arasındaki hacim değerinin hesaplanabilmesi için modelin integralinin alınabiliyor olmasıdır (Rojo vd., 2005; Dieguez-Aranda vd., 2006; Özçelik ve Brooks 2012; Tang vd., 2016). Değişken şekil gövde çapı modelleri ise ilk defa Kozak (1988) tarafından tanıtılmıştır. Bu tip gövde çapı modelleri, ağaç gövdesinin dipten tepeye doğru nayloid, paraboloid ve koni gibi değişken şekillere sahip olduğunu kabul etmektedir. Diğer model formları ile karşılaştırıldığında, değişken şekil gövde çapı modellerinin, daha düşük ortalama hata ve daha yüksek doğruluk düzeyine sahip oldukları ifade edilmektedir (Bi 2000; Kozak 2004; Lee vd., 2003; Sharma ve Zhang 2004). Ancak bu tip gövde çapı modelleri, gövde hacmi ya da ticari hacim hesaplamaları için modelin integrali alınarak doğrudan hacim denklemine dönüştürülemedikleri için önemli bir dezavantaja sahiptirler (Jiang vd., 2005; Özçelik ve Crecente-Campo 2016; Shahzad vd., 2020).

Li vd. (2012) tarafından da belirtildiği gibi, gövde çapı modelleri tür temellidir ve çap tahminlerinde modellerin başarısı ağaç türüne ve yöreye göre değişkenlikler gösterebilmektedir. Bu nedenle, her tür ve bu türün farklı yetiştirme ortamları için ayrı model parametrelerinin tahmin edilmesinin zorunlu olduğu ifade edilmektedir (Sharma ve Zhang 2004; Liu vd., 2020). Bu nedenle, gövde çapı modelinin seçiminde ağaç türü ve yetiştirme ortamı özelliklerinin yanında aşağıdaki kriterlerin de dikkate alınması yararlı olacaktır:

Bunlar;

- Model, basit ve orman yöneticisinin ihtiyaç duyabileceği değişik nitelikteki orman ürünlerinin hacminin tahmin edilmesine imkân verebilecek nitelikte olmalıdır.
- Model katsayıları kolaylıkla tahmin edilebilmelidir.
- Model, uygulayıcılar tarafından kolaylıkla uygulanabilmelidir.
- Modelde kullanılacak bağımsız değişkenler kolaylıkla ölçülebilir olmalıdır.
- Tercih edilecek modelin, farklı türlerde ve geniş alanlarda test edilmiş olmasına dikkat edilmelidir.

Özellikle son yıllarda orman ürünleri endüstrisindeki gelişmelere bağlı olarak çeşitli nitelik ve standartlardaki orman ürünlerine olan talepte önemli oranda artışlar gözlenmektedir. Bununla birlikte, çevresel sorunların artmasına bağlı olarak ormanın üretim dışındaki fonksiyonlarına yönelik talepte de önemli artış ortaya çıkmıştır. Bu nedenle bir taraftan odun kökenli ürün taleplerinin karşılanması ve diğer taraftan da doğal orman alanları üzerindeki baskıların azaltılabilmesi amacıyla, endüstriyel plantasyonların önemi bir kat daha arttırmıştır. Birler vd. (1995) tarafından yapılan bir çalışmada, eğer gerekli tedbirler alınmaz ise, odun hammaddesi açığının giderek artacağı ve bu talebin karşılanması amacıyla sadece doğal ormanlardan yararlanılması durumunda, kaynağın 25 yıl gibi kısa bir sürede tükeneyeceği ifade edilmektedir. Carle vd. (2009) ise, günümüzde doğal ormanların mevcut endüstriyel odun ihtiyacının sadece %35'ini karşılayabildiği, bu oranın 2020 yılında %40'lar seviyesine çıkacağını ifade etmiştir. Bu nedenle, doğal ormanlar üzerindeki odun üretimi baskısının azaltılması ve endüstriyel odun ihtiyacının kesintisiz bir şekilde karşılanabilmesi amacıyla, yerli ve yabancı hızlı gelişen türler kullanılarak (Sahil çamı, okaliptüs ve douglas göknarı vb.) endüstriyel plantasyonların kurulmasının gerekli olduğu vurgulanmıştır. Ülkemizde, bu amaçla değişik yörelerde başta Kızılçam ve Okaliptüs olmak üzere hızlı gelişen ağaç türleri ile endüstriyel plantasyonlar kurulmuştur ve halen kurulmaktadır.

Bu bağlamda, endüstriyel odun ihtiyacını karşılamak amacıyla ağaçlandırma çalışmalarında kullanılabilecek önemli ağaç türlerinin başında sahil çamı (*Pinus pinaster* Ait.) gelmektedir. Amerika'da ve Meksika'da doğal olarak yayılış gösteren

bu tür, özellikle Yeni Zelanda, Şili, Güney Afrika ve Güney Batı Avrupa'da önemli plantasyon alanlarına sahiptir. Avrupa'da ise, özellikle İspanya'nın Bask Bölgesinde büyük sahil çamı plantasyon alanları bulunmaktadır. Yeni Zelanda ve Şili sahip oldukları yaklaşık 1.5 milyon ha plantasyon miktarları ile en yüksek sahil çamı alanlarına sahip ülkelerdir. Sahil çamı plantasyonlarının yaklaşık %90'ı güney yarımküre ülkelerinde bulunmaktadır. İspanya genelinde yaklaşık 300000 ha. ve Galiçya Bölgesinde ise 90000 ha. sahil çamı plantasyonunun bulunduğu ifade edilmektedir (Castedo-Dorada vd., 2007). Güner vd. (2019)'a göre, Türkiye'de yaklaşık 58 bin hektar sahil çamı ağaçlandırması bulunmaktadır. Bu alanların yaklaşık %83'ü Marmara Bölgesinde, %15'i Karadeniz Bölgesinde ve %2'lik kısmı da Ege ve Akdeniz Bölgelerinde bulunmaktadır. Sahil çamının kanaatkâr bir tür olması (fakir ve bozulmuş yetiştirme ortamlarına kolay uyum sağlaması) ve hızlı büyümesi nedeniyle özellikle Akdeniz Bölgesi ülkelerinde, endüstriyel plantasyon kurmak amacıyla yaygın olarak kullanıldığı gözlenmektedir. Tunçtaner (1998), özellikle Karadeniz ve Marmara Bölgelerinin bazı alanlarında plantasyon tesislerinde kullanılmaya en uygun türün sahil çamı olduğunu ifade etmektedirler. Ülkemizde, 1890'lı yıllarda Terkos gölü çevresindeki kumul hareketlerinin stabilizasyonunu durdurmak amacıyla sahil çamının kullanıldığı ifade edilmektedir (Güner vd., 2019). Ülkemizde, gerek endüstriyel odun ihtiyacını karşılamak gerekse toprak muhafaza çalışmaları amacıyla tesis edilen ağaç türlerinin büyüme ve hasılatına ilişkin olarak yapılan sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu kapsamda, Marmara ve Karadeniz Bölgelerindeki sahil çamı plantasyonlarının büyüme ve gelişme özellikleri ile ilgili olarak kimi çalışmalar yürütülmüştür (Birler ve Yüksel 1983; Özcan, 2003; Tecimen, 2005; Özdemir, 2005; Ercanlı vd., 2008; Balekoğlu, 2015)

Ülkemizde, sahil çamı ile ilgili olarak yukarıda belirtilen kimi çalışmalar bulunmasına karşın, Özellikle İstanbul-Sarıyer Yöresi sahil çamı ağaçlandırmaları için farklı ticari standartları karşılayacak, çok yönlü hacim denklemleri geliştirilmemiştir. Bu çalışma ile, ilgili yöre için güvenilir hacim tahminlerine yardımcı olmak amacıyla gövde çapı modelleri geliştirilecektir. Çalışma kapsamında iki farklı gövde çapı modeli grubuna (Parçalı ve değişken şekil) ait 4 farklı model test edilmiş ve İstanbul Sarıyer Yöresi sahil çamı plantasyonları için en uygun model formunun belirlenmesine çalışılmıştır.

1.1. Sahil amı Hakkında Genel Bilgiler

Sahilçamı; Scott (1962)'a göre İngilizce'de "maritime pine" ya da "cluster pine", Fransızca'da "pin maritime", Portekizce'de "pinheiro bravo", İspanyolca'da "pino maritima" veya "Rodena", İtalyanca'da "pino maritima" ve Almanca'da "strandkiefer" olarak bilinmektedir (Balekoğlu, 2015). Türkçeye bu dillerdeki genel karşılığı olan "Sahil amı" olarak geçmiştir. Genel yayılışı sahil kısmında, denize yakın bölgelerde olduğundan bu adı aldığı düşünülmektedir (Kurtça, 2018). Kalaycıoğlu'na göre ise sahil çamı, ülkemiz için egzotik bir türdür ve genellikle orijin tohumlarının getirildiğı ülkelerdeki isimleriyle adlandırılmaktadır (Kalaycıoğlu, 1991).

Scott (1962) ve Mirov (1967)'ye göre yaygın olarak kullanılan ismi "*Pinus pinaster* Aiton" olmasının yanı sıra, yine bu türe ait değışik botanik isimlerinde sinonimleri olduğı belirtilmiştir: *Pinus pinaster* Soland , *Pinus maritima* Miller , *Pinus maritima* Lam , *Pinus maritima* Poiret , *Pinus mesogeensis* (Balekoğlu, 2015).

Sahil amı (*Pinus pinaster*), amgiller (Pinaceae) familyasından Fransa ve Atlantik kıyılarından Yunanistan'ın Ege kıyılarına kadar olan sahillerde görülen am türü olarak bilinir. Sahil çamları, yeryüzünün farklı bölgelerinde farklı morfolojik özellikleri de beraberinde getirebilmektedir. Genelde 30 m boy, 2 m çap yapabilir. Gençken piramit formlu, yaşlı iken dağınik talıdır. Dallar bol, yana ve aşağı yönelmiştir. İğne yaprakları ikili, parlak yeşil 10–20 cm uzunlukta sert, batıcı ve sürgün uçlarında sık demetler halindedir.

Kozalakları; kısa saplı, geniş yumurta biçiminde ucu sivri 10–20 cm uzunlukta, 5–8 cm genişlikte, ince kırmızı, daha sonra yeşil, olgun halde açık kahverengidir. Genellikle 2-6 tanesi bir arada olup uçları aşağı meyillidir. Odunu bol ve reçineli bir am türüdür. Toprak yönünden tok gözlü bir bitki olup kumullarda da yetişebilir. Gençken hızlı büyür ve yüksek nisbi neme ihtiyaç duymaz. Ancak soğuk ve sert karasal iklimi olan yerlerde yetiştirilemez. Çok kötü şartlarda alımsı gelişme gösterir (Vikipedi, 2020)

Ayrıca Scott (1962), sahil çamının; Atlantik, Kserofit ve Dağ tipi olmak üzere üç farklı tipi olduğunu da belirtmiştir (Sever, 2007). Aşağıda sahil çamına ait iki görsel verilmiştir.

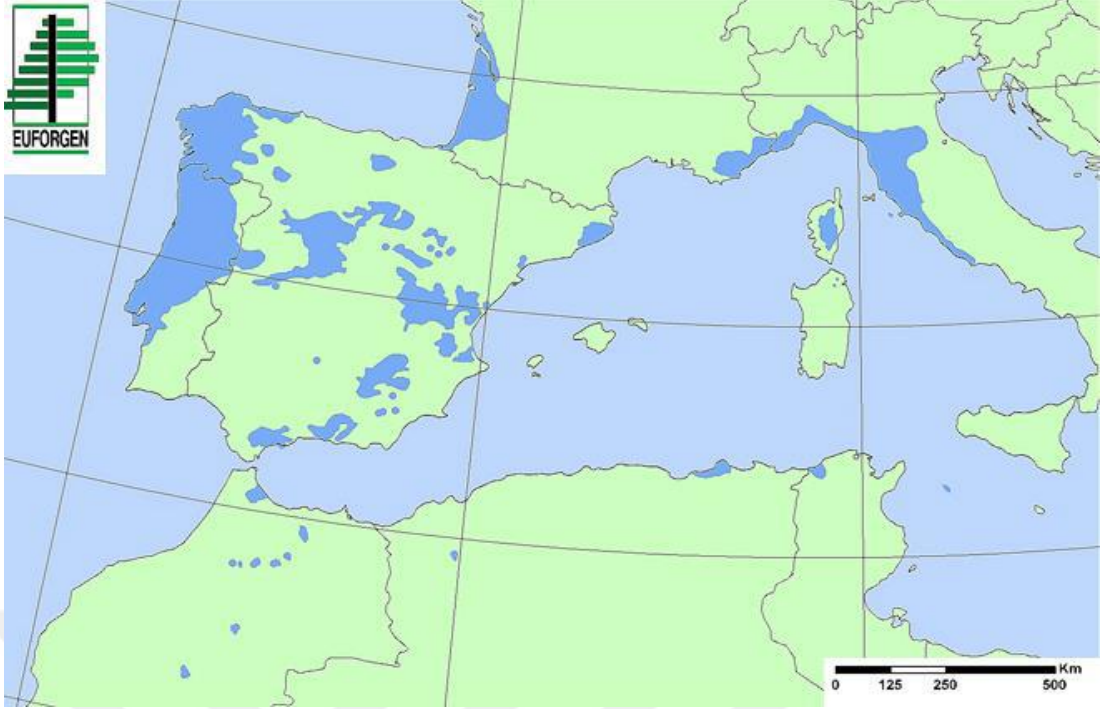


Şekil 1.1. İstanbul Sarıyer bölgesi sahil çamı görseli

1.2. Sahil amının Doğal Yayılış Alanları

Anonim (1982), şimşek vd. (1985), Scott (1962) ve Farjon (1984)'a göre sahil çamı dünyada matematiksel konum olarak çok da geniş olmayan bir yayılım alanı göstermektedir. Genel olarak sahil çamının grldği matematiksel konum, 31-46 derece kuzey enlemleri ile 9 derece Batı ile 13 derece Doğu boylamları arasındır. Söz konusu matematiksel konumlar, ağırlıklı olarak Akdeniz ikliminin grldği yerlere denk gelmektedir. Daha detaylı ifade edilecek olursa, sahil amı Fas'ın güneybatısından Fransa'nın Gironde bölgesine, Portekiz ve İtalya'nın batı sahillerine doğru uzanan doğal bir yayılış alanı göstermektedir. Yukarda bahsi geçen ülkelere ek olarak Cezayir'de de sahil kesimlerinde yoğun bir şekilde yaşam alanı bulmaktadır. Bu durumla aynı doğrultuda olarak Fas, İspanya, Portekiz, Korsika'da sahil kısmına yakın i bölgelerde ve yüksek dağlık alanlarda da yayılım göstermektedir. Özellikle Korsika'da sahilden uzak ve rakımı 1000-1600 metre gibi yüksek olan dağlık bölgelerde de görülebilmektedir. Bu bölgeler çoğunlukla maki vejetasyonunun üzerinde bölgeler olmasıyla dikkat çekici bir konumdadır. Bu bölgede doğal yayılış alanı bulan Karaçam (*Pinus nigra*) ile birlikte az da olsa görülmektedir. Bununla birlikte yine benzer bir duruma da İspanya'da 1200 metre rakımda rastlanmaktadır. Aynı şekilde Fas'ta da Atlas Dağlarının dikey yayılımı neticesinde, dağ sırasının uç kısımlarına doğru 2000 metre rakımlarda da grldği bilinmektedir (Balekoğlu, 2015).

Sahil amının yukarıda belirtilen olağan dışı rakımlarda yayılım alanı göstermesi kanaatimizce, denizden yükselen ılık ve nemli havayı, başka bir deyişle yetişmesi için gerekli iklim özelliklerini engelleyici bir durumun söz konusu olmamasıdır.



Şekil 1.2. Sahil çamının doğal yayılış alanları (Euforgen, 2019)

Yukarıdaki harita, sahil çamının dünya üzerindeki yayılım alanını göstermektedir. Yoğun olarak deniz kenarlarında bulunmakla birlikte, deniz havasının rahat bir şekilde ulaşabildiği iç ve yüksek kesimlerde de yayılım gösterebildiğini açıkça görmekteyiz.

Sahil çamı en iyi gelişimini ise, Fransa'nın güney Atlantik, Portekiz'in kuzey Atlantik ve İspanya'nın kuzey sahillerinde, kısmen ılıman ve nispeten rutubetli bölgelerinde yapmaktadır (Anşin, 2001). Pinto vd. (2004)'e göre Sahilçamının doğal ormanları Portekiz, İspanya'nın kuzeybatı sahili ve Fransa'nın Landes (karasal iklim) bölgesinde *P. pinaster* subsp. *atlantica* türüyle; İspanya ve İtalya (Sardinya ve Sicilya adaları dahil)'nın Akdeniz iklimi etkisi altında kalmış bölgelerinde *P. pinaster* subsp. *pinaster* türüyle yayılış göstermektedir. Ayrıca toplam arazisinin %30'unu oluşturmasıyla sahilçamı Portekiz ormanlarının en önemli türüdür (Balekoğlu, 2015).

Sahil çamı, doğal yayılış alanlarının yanı sıra endüstriyel katkısı sebebiyle insanlar tarafından da dikimine oldukça önem verilen bir tür olmuştur. Dünya nüfusunun son yıllarda oldukça hızlı artışı göstermesi odun hammaddesi ihtiyacında da önemli bir gereksinim ortaya koymuştur. Çok hızlı gelişim göstermesi bakımında kavak, okaliptüs, kızılçam gibi türlerle birlikte insanlar tarafından yapay olarak yayılım alanlarının genişletilmesi de söz konusu olmuştur.

Sanayide ön planda olan gelişmiş ülkeler tarafından sahil çamı için endüstriyel ağaçlandırmalar bizzat yapılmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen veriler sayesinde üretim kapasitesi arttırılmıştır. Özellikle Güney Amerika’da Brezilya, Avrupa’da o zamanki adı ile Yugoslavya, İspanya, Fransa ve Portekiz; Avustralya kıtasında Avustralya ve Yeni Zelanda’nın bu konuda çok ileri bir durumda oldukları bilinmektedir. Bu konudaki en önemli örneklerden biri olan Fransa, ülkedeki doğal yayılım alanı 2000 hektar olan sahil çamını, yapılan dikim çalışmalarıyla bir milyon hektara kadar çıkarabilmiştir. Bu çalışmanın meyvesini alan Fransa, dört milyon metreküp odun hammaddesi üretimi gerçekleştirmektedir. Fransa’nın gerçekleştirdiği girişime paralel olarak Portekiz 900 bin hektar, İspanya ise 950 bin hektarlık üretim ortaya koymuşlardır (Öztürk, 1998).

Öztürk (1998), ortaya koyduğu bu araştırma sahil çamının endüstriyel getirisinin ne derecede önemli olduğunun açık bir göstergesidir. Ülkeler için maddi getirisinin yüksek olması yetiştiriciliğinin de yayılmasını desteklemektedir. Doğal yayılış alanlarına ek olarak yapay yayılış alanlarının da insan eliyle gerçekleştirilmesi, sahil çamının dünya genelinde ciddi bir yüz ölçümü olduğunu düşündürmektedir.

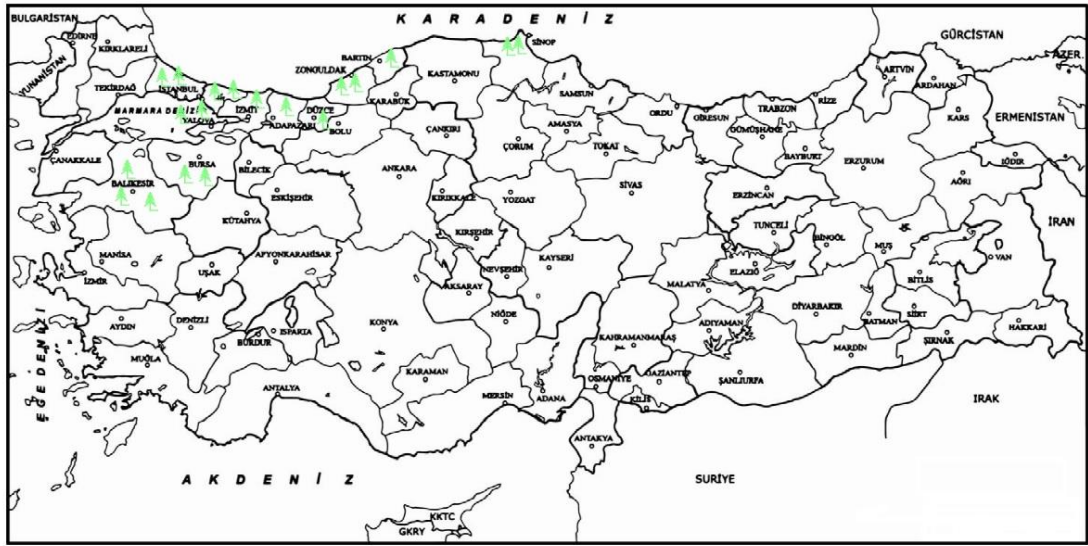
1.3. Türkiye’de Sahil Çamı

Sahil çamı (*Pinus pinaster* Ait.) Türkiye’ye ilk ithal edilen türlerden biridir (Gönteke, 2006). Akalp (1982) ve Anonim (1982)’a göre ise, ülkemizde ilk defa 1888 yılında İstanbul Terkos’ta kumul sahaların yok olmasını önlemek ve hareketlerini durdurmak amacıyla Fransız ormancıları tarafından “land orijinli” sahil çamı ile küçük orman parçacıkları kurulmuştur. Bu orman parçacıkları üzerine yapılan deneyler, sahil çamının yurdumuz için önemli bir tür olabileceğini kanıtlamıştır. Daha sonra 1953 yılında Mart, Nisan aylarında Marmara bölgesinde İstanbul Belgrad Ormanları-Burunsuz, Çanakkale-Kalabaklı mevkiilerinde ilerleyen yıllarda İstanbul Taşdelen-Alemdağ mevki ve Büyükkada yanık sahasında 2m x 2m dikim aralık tekniği kullanılarak Gironde, Tovan ve İspanya orijinli sahil çamı fidanlar dikilmiştir. 1954 yılında da yine Belgrad Ormanları-Burunsuz mevkiine yine aynı dikim tekniği uygulanarak Korsika orijinli fidanlar dikilmiştir. Korsika orijinli sahil çamlarının ülkemize daha iyi bir uyum gösterdiği Anonim tarafından belirtilmiştir (Anonim, 1982).

Tunçtaner'e göre hızlı gelişen ibreli türlerin ülkemizde denenmesi konulu organizeli çalışmaları, Kavak ve Hızlı Gelişen Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü tarafından 1968 yılında başlanmıştır.

Taşdemir (1996)'in ifadesine göre, T. C. Orman Bakanlığı ile Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Teşkilatı (FAO) işbirliği ile ülkemizde 1972-1977 yılları arasında yürütülmüş olan FAO:DP/TUR/71/521 No.lu "Endüstriyel Ormancılık Ağaçlandırmaları" projesi çalışmaları içerisinde, ülkemizde kapsamlı bir ağaç ıslahı programı uygulanmıştır. Bu proje kapsamında, İzmit Kavak ve Hızlı Gelişen Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü tarafından Karadeniz, Marmara, Ege ve Akdeniz Bölgelerinde çok sayıda tür ve orijin denemeleri kurulmuştur (Balekoğlu, 2015).

Tunçtaner (1998)'e göre, TUR/71/521 FAO projede belirtilen sahil çamı orijin denemelerinin bu konuda gerekli istişareler yapılarak bu türün ülkemizin Karadeniz ve Marmara bölgelerinin tamamıyla birlikte Ege bölgesinin bazı lokal kesimlerinde endüstriyel plantasyonlar şeklinde kurulabilecek en uygun yabancı tür olduğu tespit edilmiştir (Balekoğlu, 2015).



▲ Sahil Çamının Yayılış Alanları

Şekil 1.3. Ülkemizde sahil çamının yayılış haritası (Anonim, 2006)



Şekil 1.4. Çalışma alanının Google Earth görüntüsü

1981 yılında Anonim tarafından İzmit Kandıra’da gerçekleştirilen “Ülkemizde Hızlı Gelişen Türler ile Endüstriyel Ağaçlandırmalar Sempozyumu”nda bir bildiri sunulmuştur. Bu bildiri, sahil çamının “Korsika ve Land” orijinleri ile endüstriyel ağaçlandırma sahaları yapılmasına olanak sağlamıştır. Ancak 1977-1982 seneleri arasında Land orijinli dikimi yapılan sahil çamı ağaçlandırmalarında olağanüstü (Kar devriği, gövde ve dallarda kırılmalar) gözlemlenmiştir (Anonim, 1982; Toplu ve Bozkuş, 1988). *Pinus pinaster* ağaçlandırmalarında yapılan değerlendirmede gerekli incelemeler sonucunda (Anonim, 1982), kar afetine karşı uygun orijinlerin belirlenmesi açısından morfogenetik araştırmalar (Tunçtaner vd., 1988) ve Korsika

orijinli sahil çamının kar afetlerine (devrilme, kırılmalar) karşı daha kuvvetli ve dirençli olduğu yapılan tespitler neticesinde belirlenmiştir. Nitekim bundan sonra yapılacak olan sahil çamı ağaçlandırmalarında Korsika orijinli türlerin dikilmesi uygun görülmüştür.

OGM (Orman Genel Müdürlüğü)'nin 2006 yılı istatistiki bilgilere göre sahil çamının normal orman alanı 70743 hektar, bozuk orman alanı ise 6348.7 hektar olmak üzere toplamda 77091.7 hektarlık bir sahaya sahip olduğu bildirilmektedir. Bu sahaların şehirler bazındaki dağılımı ise Çizelge 1.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1. Türkiyede Sahil çamının il bazındaki dağılımları (Anonim, 2006)

ŞEHİR	HEKTAR	ŞEHİR	HEKTAR
İstanbul	33631.1	Düzce	3390.5
Kocaeli	6843.7	Zonguldak	3139.3
Yalova	6462	Sakarya	2590.2
Balıkesir	6402	Bartın	2084.5
Bursa	5793.5	Ordu	1505
Sinop	4814.4	Samsun	435.5

Sahil çamı (*Pinus pinaster*) ülkemizde 77 bin hektar alan kaplamakta olup, 2037 hektarının reçine üretimine uygun olduğu da ifade edilmiştir. (Aydın, 2017).

1.4. Sahil Çamının Botanik Özellikleri

Anşin ve Özcan'ın tanımıyla, “Coniferae” sınıfının “Pinoideae” takımının “Pinaceae” familyası “Pinus” cinsine dâhil olan sahil çamı, 20-25 metre boylarında, genç yaşlarda piramidal, ileriki yaşlarda dağınık tepe şekline sahip bir çam türüdür (Kurtça, 2018). İki iğne yapraklı çamlardandır. Kabuk ileri yaşlarda kalın, derin çatlaklı ve kırmızı kahverengi, tomurcuklar büyük, reçinesiz ve iğ biçimindedir. Genç sürgünler tüysüz ve soluk kahverengidir (Anşin, 1994). As (1992)'da Anşin (1994) ile benzer betimlerini ortaya koymuştur. Genç sürgünleri tüysüz, soluk kahverenginde, tomurcuk büyük, reçinesiz, iğ biçiminde olduğunu belirterek Anşin ile benzer ifadeler kullanmıştır. As, Anşin'e oranla daha detaylı bilgileri de sunmuştur. Tomurcuk pullarının uçları geriye doğru kıvrılmıştır. İğne yapraklar kalın, parlak yeşil, uçları

sivri, batıcı, kenarları ince dişlidir. Yaprak kını uzun, koyu renklidir. Yaprak boyları 10-20 cm arasında değişir. Yapraklar sürgünün uçlarında adeta püskül gibi toplanmışlardır. Kozalakları sivri, koni biçiminde, parlak açık kahverenginde ve kısa saplıdır (Aydın, 2017)

Sahil çamı, 36 m ye kadar boy ve 90-120 cm ye kadar çap yapmaktadır. Odunu kaba tekstürlüdür. Fazla miktarda reçine içerir. Uygun koşullar altında hızlı büyüme gösterir ve bu durumda daha kaba, budaklı ve diri odun oranı yüksek bir odun yapısına sahip olur (Aydın, 2017). Aydın'ın sahil çamının boyu üzerine görüşüne ek olarak istisnai durumlarda 40 metreye ulaşabildiğini ise Eckenvalder (2009)'den öğrenmekteyiz (Altıntaş, 2017).

Altıntaş'ın tez çalışmasında Moreira (2012) ve Viñas (2016)'e atfen sahil çamının botanik özellikleri ile ilgili olarak ortaya konulan görüşlere de yer verilmiştir. Açık kahverengi koniler, çoğunlukla süs eşyaları olarak toplanır; kalıcıdır ve kümelenmeler halinde gruplandırılır. Bunlar hafifçe asimetriktir, ovoid-koni şeklindedir ve yaklaşık 15 cm uzunluğundadır (8-22 cm aralığında). Olgunlaşmaları tozlaşma tarihinden iki yıl sonra gerçekleşir ve aynı yaz ya da 10 yıla kadar açılır. Yüksek yoğunluk ve yangın sıklığı olan yerlerde genellikle serotinöz koniler bulunur. Tohumlar yukarıda siyah-kahverengi renkte, parlaktır ve aşağıda mat gri renktedir, kolayca çıkarılabilirler. Kök sistemi, iyi geliştirilmiş ikincil kökleri olan derin bir kazık kök içerir (Altıntaş, 2017).

1.5. Sahil Çamının Ekolojik İstekleri

Çalışmamızda sahil çamının ekolojik isteklerini “iklim ve toprak istekleri” olmak üzere iki başlık altında değerlendirilmiştir.

1.5.1. Sahil çamının iklim istekleri

Sahil çamının yayılış gösterdiği alanlardaki iklim tipi Akdeniz iklimi olup, kışları yağışlı ve ılıman, yazları sıcak ve kuraktır. Yıllık ortalama sıcaklık 16 °C, en düşük sıcaklık -10°C, en yüksek sıcaklık ise +35 °C'tır. Yıllık ortalama yağış 750-1250 mm olup genellikle kışın yağmur biçiminde düşer. Vegetasyon ayları içerisinde mutlak bir yaz kuraklığı söz konusudur (Aydın, 2017). Dünya genelindeki iklim durumuna

bakıldığında ise Şimşek vd., (1985)'ne göre Fransa, İspanya ve Portekiz'de yıllık yağış ortalamalarının 700 mm ile 1200 mm arasında değiştiği görülmektedir. Ayrıca Avrupa'nın dışında sahil çamı ile yapılan ağaçlandırma sahalarındaki iklim verileri ve bu değerler Afrika'nın güneyi ve Avusturalya kıtasında bulunan Yeni Zelanda'da benzerlikler göstermektedir. Ancak Güney Afrika'da sahil çamı yalnız kış yağışlarının olduğu veya dengeli yağışların (sene içerisinde kusursuz dağılım göstermiş) olduğu yerlerde iyi gelişmektedir (Güvendi, 2005).

Kuraklığın tersine, sahil çamlarının aşırı soğuklarda nasıl tepkiler verdiği üzerine araştırma ortaya koyan Anonim (1982) ise Fransa'nın Nancy şehrindeki deneme çalışmalarına odaklanmıştır. Bu deneme alanlarında farklı türlerdeki sahil çamlarının soğuğa karşı farklı tepkiler verdiği gözlemlenmiştir. Cezayir orijinli sahil çamlarının çetin kış soğuklarında yetişemediği, düşük rakımlarda yetişen Akdeniz orijinlerinin %20-28 oranda, Portekiz orijinlerinin %60 oranda, İspanya ve Fas orijinlerinin ise %75-85 oranda, Land orijinlerinin ise %80 üzerinde yaşamlarını sürdürdüğü gözlemlenmiştir (Anonim, 1982). Ülkemizde ise Toplu ve Bozkuş'un araştırmaları neticesinde Fransa/Korsika ve Fas orijinli sahil çamlarının yoğun kar yağışlarından etkilenmedikleri ortaya konmuştur (Toplu ve Bozkuş, 1988).

1.5.2. Sahil çamının toprak istekleri

Scott (1962), Anonim (1982) ve Şimşek vd. (1985)'e göre sahil çamının en belirgin özelliği, çok az orman ağacının yetişebileceği verimi oldukça düşük, fakir topraklarda özellikle de kumlu topraklarda yetismeye uygun oluşudur. Ayrıca Günay vd. (1982) ifadesine göre Ağır killi topraklara ve ıslak şartlara karşı da hassastır (Balekoğlu, 2015).

Sahil çamları asidik topraklarda iyi bir gelişim göstermektedir. Derinlere kadar inebilen kazık kök sistemi oluşturabilmektedir (Tunçtaner vd., 1988). Ayrıca yukarıda iklim özelliklerinde belirtildiği üzere yaz kuraklıklarına ve toprağın kuru olduğu durumlara oldukça dayanıklıdır. Bu duruma dayanarak toprak içindeki kireçli oluşumdan kaçınmaktadır. Ancak toprak içinde az oranlarda kireç bulunabilen durumlarda da yaşamını devam ettirme eğilimine sahiptir (Şimşek vd., 1985).

1.6. Sahil amının Silvikültürel zellikleri

Bilindiği üzere silvikültür, yeni ormanların planlı olarak kurulması ve bunların mevcut olanlarla birlikte yetiştirilmesi (bakımı), gençleştirilmesi ve varlıklarının en iyi bir şekilde devam ettirilmesiyle uğraşan bir bilim dalıdır. Yukarıda bahsedildiği üzere sahil çamının endüstriyel getirisinin yüksek olması bu tür üzerine silvikültürel çalışmaların yoğun olmasını sağlamıştır. Bu amaçla dünyanın farklı yerlerinde insan eli ile yapay yaşam alanları oluşturulmuştur. Bu çalışmalardan kuşkusuz ülkemiz de nasibini almıştır.

Sahil amının silvikültürel durumunun belirlenmesinde, öncelikle türün ne amaçla yetiştirilmeye çalışıldığı büyük önem arz etmektedir. zcan'ın doktora tezinde belirttiği üzere; amaç, kalın çaplı ve kaliteli odun üretimi ise, aralama ve budama zamanlarının iyi belirlenmesi gerekir. İşletme amacı kitle üretimine yönelik ise; yangına, kar kırması ve rzgr devriğine karşı gerekli önlemleri almak koşulu ile aralama ve budamadan vazgeçilebilir (zcan, 2003).

Anonim (1982)'a göre yeni kurulan meşcere alanlarında sahil çamları elle veya makineler aracılığıyla bakımları yapılmalıdır. Söz konusu bakımlardan en önemlisinin ise dal budaması olduğu ifade eden Anonim, hkim boy 5-6 metreye ulaştığında ağaçların yerden 2-2.5 metreye kadar budanması gerektiğini de vurgulanmaktadır (Anonim, 1982).

Sahil amı meşcere alanlarında bir müddet sonra sıklık meydana gelmektedir. Bu sreler de genellikle sahil çamlarının 7-8 yaş aralığında kendisini göstermektedir. Bu sıklıkları engellemek adına gerekli "aralama" alışmaları gerçekleştirilmelidir.

Sahil amı meşcereleri, kar kırması ve rzgr devriğinden çok etkilenmektedir. Geniş aralık-mesafeli dikimlerde, fertler rzgra daha dirençli olmasına ve daha büyük boyutlara erişmesine karşın, birim alandan alınan verim düşük olmaktadır (Anonim, 1982). zcan ise; sığ, kaba tekstürlü; dolayısıyla su tutma kapasitesi düşük topraklarda rzgr devriği ve kırılma tehlikesi fazla olduğunu belirtir (zcan, 2003).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Max ve Burkhart (1976)' göre ağaç gövdeleri türlü biçimde geometrik şekillerden oluşmaktadır. Gövdenin, aşağıdan yukarıya doğru “nayloit, parabolit ve koni” üç bölümden oluştuğu görüşünden yola çıkarak söz konusu her bölüm için, farklı bir “polinomiyal regresyon denklemi” ortaya koymuşlardır. Oluşturulan denklemleri katılma noktaları ile birleştirmişler ve bu biçimde oluşan gövde çapı modellerini “parçalı gövde çapı modeli” olarak tanımlamışlardır.

Cao vd. (1980) ortaya koydukları bilimsel çalışmalarla farklı tarzda “regresyon modeli” belirlemişlerdir. Bu modeller içinde en mükemmel sonuca götürecek denklem belirlenerek doğal ve plantasyon “Pinus taeda” meşcerelerinin ticari hacmi ve gövde çaplarının en doğru tahminlerine ulaşmayı hedeflemişlerdir.

Biginig (1984), Chapman-Richards fonkiyonunu gövde çaplarını belirlemek üzere altı farklı ağaç türünde uygulamıştır. Ana çıkış noktası olarak belirlenen fonksiyonda; ağaç boyu (H), göğüs çapı (D), oransal boy ise (h) ile sembolleştirilmiştir. Biginig, yapılan uygulamalar sonucunda ortaya çıkan sonuçları yukarıda bahsi geçen Max ve Burkhart'ın ortaya koyduğu model ile kıyaslamıştır. Ancak Biginig; Max ve Burkhart'tan farklı olarak gövde çapı fonksiyonunun integralini de almıştır ve bütün gövde hacmini de hesaplamıştır. Ulaştığı sayısal verileri ise Schumacher-Hall denklemi olarak adlandırılan hacim denkleminin sonuçları ile karşılaştırmıştır.

Gövde çaplarının belirlenmesinde farklı ve yeni bir yaklaşım da Kozak (1988) tarafından geliştirilmiştir. Bu yeni yöntem “üssel fonksiyon” adını veren Kozak gövdede var olan şekil değişim noktalarına odaklanmışlar ve olumlu sonuçlar elde etmişlerdir. Ortaya koydukları bu yöntem, her gövde türü için bir değişim noktası ihtiva etmektedir.

Bir yeni denklem de Newberry vd. (1989) tarafından ortaya atılmıştır. Bu yeni denklem anlayışı, odak noktasına yalnız bir ağacın hacim oranını koyarak işe koyulmaktadır. İşe koyulurken de daha önceden geçerliliği ispatlanmış geometrik şekillerin hacim denklemlerini kullanmayı amaçlamıştır. Newberry ve arkadaşları parametresiz olmak üzere iki denklem geliştirmişlerdir. Bu denklemleri de hacim

denklemleri olan, koni ve parabolid denklemlerine göğüs çaplarını da dâhil ederek geliştirmişlerdir. Söz konusu denklemlerin; verilerin oldukça sınırlı olduğu hallerde, parametrelili denklemlerin sonuçlarına yaklaşık değerler sunduğu gözlemlenmiştir.

Solomon vd. (1989) gövde çapı ve toplam gövde hacimlerini hesaplamak için kendilerine Ladin ve Gökmar ağaçlarını örneklem olarak almışlardır. Hesaplama sırasında sağlıklı sonuçlar alabileceklerini düşündükleri gövde analiz verilerinin yanı sıra Max ve Burkhardt'ın ortaya koyduğu çap denklemini kullanmışlardır. Gerçek hacim ve çap değerleri ile yapılan kıyaslamada, aradaki farkların göz ardı edilebilir olduğu belirlenmiştir. Toplam gövde hacim denklemine alternatif olarak gövde çapı denkleminin güvenli bir biçimde işlerliği belirlenmiştir.

Perez vd. (1990) ise “*Pinus oocarpa*” türü için gövde çapı belirlemede “Değişken Şekil Çap Fonksiyonu” kullanmanın daha doğru sonuçlar vereceğini düşünmektedirler. Bu fonksiyon, ağaç boyunun $\frac{1}{4}$ oranına uygulandığında, gövde biçiminin “naylonid”den “paraboloid”e evrildiği noktanın belirlenmesinde daha doğru sonuçlar verdiği Perez vd. (1990) tarafından gözlemlenmiştir.

Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğüne bağlı Taşköprü Orman İşletmesinde Yavuz (1995) tarafından bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada gövde çapı, hacmi ve hacim oranına odaklanılarak özgün tarzda denklem sistemleri ortaya konmuştur. Bu denklemler işletme bölgesinde yaygın olarak bulunan Sarıçam ve Karaçam türleri için belirlenmiştir. Bu denklemlerden hareketle de farklı oluşumlardaki gövde çapı modelleri, hacim oran denklemleri denenmiştir.

Muhairve (1999), kendinden önce Kozak, Max ve Burkhardt, Gordon tarafından sunulan gövde çapı modelleri ile iki farklı okaliptüs türü için geliştirmiş olduğu gövde çapı modellerini karşılaştırmıştır. Söz konusu iki denklemde de Muhairve iki farklı değişkeni merkeze koymuştur. İlk denklemde merkezde yer alan değişkenler: göğüs çapı, ağaç boyu ve ağacın farklı yerlerinden alınan boy değerleri. İkinci denklemde merkezde yer alan değişkenler ise ilkinden farklı olarak sadece ağaç boyunun önemli bir değişken olarak görülmemesi ve bu denklemden çıkarılmasıdır. Muhairve, her iki denklemde alınan sayısal verileri karşılaştırdığında değişkenlerin daha çok ve detaylı olduğu birinci modelin daha başarılı olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Pinus taeda türünün gövde çapının belirlenmesi için beşinci derece bir polinomiyal model ile birlikte Clark vd. (1991), Max ve Burkhart (1976), Kozak vd. (2004), Parresol vd. (2003), farklı modeller ortaya koymuşlardır. Daha önce yapılan çalışmaları detaylıca inceleyen Figueiredo ve Filho vd. (1996), bu modeller içerisinde en dikkate değer ve doğru sonuçları veren modelin Clark vd. tarafından geliştirildiği konusunda hem fikir olmuşlardır.

Kozak'ın 1997 ve 1998 yıllarında kendi çalışmaları üzerine bir incelemesi bulunmaktadır. Öncelikle gövde çapı denkleminde değişkenler arasında bulunan “Çoklu Bağlantı” ve “Otokorelasyon”un yine kendisinin geliştirmiş olduğu “Değişken Exponent Gövde Çapı Modeli”nden yararlanarak ortaya konmuş olan iki model üzerindeki etkisini araştırmıştır. Bu araştırmayı yaparken de “Monte Carlo Simülasyon Tekniği”ni kullanmıştır. Sonuçta tahminlerin hatasız olduğunu gözlemlemiştir. Bu durumun “Çoklu Bağlantı” ve “Otokorelasyon” arasında yüksek derecede bir uyumsuzluk olduğu durumlarda dahi geçerli olduğunu gözlemledi.

Figueiredo-Filho ve Schaaf (1999) yukarıda bahsi geçen farklı gövde çapı fonksiyonlarını kullanarak ulaştıkları gövde hacim değerleri ile suda hacim ölçme tekniği olarak bilinen “Ksilometre Tekniği”nden elde edilen hacim değerlerini birbirleri ile karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırma sonucunda söz konusu modellerden en başarılı olanlarının Max ve Burkhart ve Clark vd. tarafından ortaya konan modeller olduğu ifade etmişlerdir.

“Değişken Exponent Gövde Çapı Eşitlikleri”ni kullanan bir diğer araştırmacılar da Huang vd. (1999) olmuştur. Bu modeli “*Picea glauca*” türü için kullanmışlardır. Elde edilen verileri gövde analiz verileri üzerinde çözümlemeye çalışmışlardır. Gövde çapı ve gövde hacmi tahminlerindeki toplam varyasyonun %99'unun ortaya konan gövde çapı fonksiyonları ile ifade edildiği sonucuna ulaşmışlardır.

Uyumlu ve uyumsuz gövde çapı modeli geliştiren diğer bilim adamları ise Yavuz ve Saraçoğlu (1999)'dur. Bu modeli “*Alnus glutinosa*” türü için geliştirmişlerdir. Yavuz ve Saraçoğlu yukarıda bahsi geçen modelleri değerlendirmişler ve modelleri en iyi sonuçları verme durumuna göre tespit etmişler. Buna göre gövde çapı, ağaç hacmi ve hacim oranlarının bir arada belirlenmesi gerektiği durumlarda en iyi modelin Max ve

Burkhart tarafından geliştirilen model olduğunu vurgularken, sadece gövde hacminin tahmin edilmesi gereken durumlarda Kozak'ın modelinin en işlevli olduğu görüşünde bulunmuşlardır.

Bi (2000) “Trigonometrik Değişken Şekil Gövde Çapı Eşitliklerini” geliştirirken “Trigonometrik Hacim Eşitliği”nden oldukça yararlanmıştır. Ürettiği bu modeli 25 farklı ağaç tür üzerinde uygulayarak Kozak'ın modeli ile karşılaştırmıştır.

Coble ve Wiant (2000) basit ve karmaşık gövde çapı fonksiyonlarını karşılaştırmak üzere “Pinus taeda ve P. Ponderosa” türlerinden çeşitli veriler elde etmişlerdir. Bu örneklerden elde edilen veriler doğrultusunda karmaşık fonksiyonların daha uygun olduğu görüşünde birleşmişlerdir.

Fang vd. (2000) diferansiyel denklemleri gövde çapı ve ticari hacim belirlemede kullanmışlardır. Söz konusu kullanım ise “Pinus taeda ve P. Elliottii” türleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Buradan hareketle de gövde çapı, hacmi ve ticari değerleri ortaya koyan bir “parçalı gövde çapı modeli” geliştirmişlerdir. Bu modele ulaşma aşamasında “Tam Bilgi Maksimum Olabilirlik Yöntemi” olarak bilinen FIML yöntemini kullanmışlardır. FIML yöntemi ile gövde çapı ve gövde hacim tahminlerindeki olası hataları en aza indirgeyerek eş zamanlı çözüm ortaya koymuşlardır.

Bir denklem modeli de Sakıcı (2002) tarafından ortaya atılmıştır. Modelini geliştirirken gövde profili, hacim ve hacim oranları üzerine çalışmalarını yapmıştır. Bu denklem modelini, Uludağ göknarı meşcereleri için gerçekleştirmiştir. Sakıcı da yukarıda belirtilen pek çok bilim insanı gibi en iyi sonuçların Kozak'ın değişken şekil çap modelinin ortaya koyduğu sonucuna ulaşmıştır. Çalışmalar esnasında elde edilen kontrol grubu verileri üzerinde ise, en doğru sonuçların Allen'in modeli olduğu konusunda görüşünü belirtmiştir.

Gövde çapı modeli üzerine bir farklı çalışma da Sharma ve Burkhart (2003) tarafından gerçekleştirilmiştir. Yukarıdaki çalışma amaçlarından farklı olarak “parçalı gövde çapı modeli” için “Gövde çapı tahminlerinde kullanılan kriterleri nasıl azaltabiliriz?” gibi bir bakış açısı ile araştırmalar gerçekleştirmişlerdir. Araştırmaları esnasında Max ve Burkhart'ın “parçalı gövde çapı modeli”ni kullanmışlardır. Katılma noktalarının ağaç

boyunun %11-75 arasında olması şartıyla, dört parametrelili modelin, çap tahminlerini doğru bir şekilde ortaya koymada altı ve sekiz parametrelili modellere göre çok daha iyi sonuçlar ortaya koyduğunu gözlemlemişlerdir.

Lee vd. (2003) de bir gövde çapı modeli geliştirmişlerdir. Kendilerine rneklem olarak belirledikleri ağaç türü ise Korede bulunan “Pinus densiflora”dır. Bu model ağaç gövdesinde meydana gelen değişiklikleri başarılı bir biçimde modellemiştir. Bu modellemede ortaya çıkan verileri Lee vd., Max ve Burkhart ile Kozak’ın ortaya koymuş oldukları modeller ile karşılaştırmışlardır.

Dünyanın bir başka bölgesinde İşpanya’nın kuzeyinde de gövde çapı modeli geliştirilmiştir. Rojo vd. (2005) geliştirdiği bu model “Pinus pinaster” meşcereleri içindir. Bu gövde çapı modeli ile farklı oluşumlardaki 31 ağaç incelenerek test edilmiştir. Rojo vd. de bu incelemeler sonucunda en doğru sonuçları veren modelin Kozak’a ait olan model olduğu görüşünde birleşmişlerdir.

Artvin’de bulunan Doğu Ladini meşcereleri için Meydan ve Aktürk (2006), trigonometrik gövde profili modeli geliştirmişlerdir. Modellerini belirleme esnasında ise Bi (2000)’nin okalıptsler için kullanmış olduğu trigonometrik gövde profili modelini kullanmışlardır.

Yukarıda belirtilen İşpanya’nın kuzeyindeki bir çalışmaya ek olarak yine bu bölgede bir model geliştirme çalışması daha gerçekleştirilmiştir. İşpanya’nın kuzeybatısında gerçekleştirilen bu model Dieguez-Aranda vd. (2006) tarafından ortaya konmuştur. Modellerini oluştururken sarıamları ele alan bilim adamları; bu tür için toplam hacim, ticari hacim ve herhangi bir noktadaki çap tahminleri için en başarılı gövde çapı modelinin Fang vd.’nin ortaya koymuş oldukları model olduğu konusunda görüşlerini bildirmişlerdir.

Farklı bir gövde çapı modeli de Amerika kıtasında Kanada’da gerçekleştirilmiştir. Kanada’nın Manitoba Bölgesindeki 5 ticari ağaç için ortaya konan bu gövde çapı modeli Klos vd. (2007) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu modelde de Kozak’ın geliştirmiş olduğu model kullanılmıştır. Araştırmalardan elde edilen verilerden yola çıkarak ortaya konan modelin çok başarılı olduğu belirtilmiştir. Ayrıca her tür için, çap

tahminlerinde hataların ortaya çıkmaması adına farklı model parametrelerinin tahmin edilmesi gerektiği görüşü ortaya atılmıştır.

Kızılçam, sedir ve göknar için geliştirilen model için Max ve Burkhart'ın parçalı gövde çapı ve gövde hacim modelini kullanarak Brooks vd. (2008) çap ve hacim modeli geliştirmişlerdir. Söz konusu model Türkiye'de ilk kez gövde çapı ve gövde hacim tahmini için ortak model parametreleri tahmin edilmiştir. Çalışmadan elde edilen hacim tahmini sonuçları ilgili ağaç türleri için geliştirilen ağaç hacim denklemleri ile karşılaştırılmıştır. Buradan hareketle Mersin Mut ve Antalya Elmalı bölgelerinde yaygın olarak bulunan kızılçam, Toros sediri ve Toros göknarı için toplam 359 ağaç kullanılmıştır.

Farklı bir karşılaştırma da Berhe ve Arnoldson (2009) tarafından yapılmıştır. Etiyopya'da bulunan "Cupressus lusitanica" ağaçlandırmaları için yedi farklı gövde çapı modelini karşılaştırmışlardır. Karşılaştırmalardan elde edilen verilerden yola çıkarak onlar da en başarılı modelin Kozak tarafından geliştirilen gövde çapı modeli olduğu konusunda hemfikir olmuşlardır. Behre ve Arnoldson'un ortaya koydukları bu model daha sonra Lee ve Kozak'ın geliştirdiği modeller takip etmiştir.

Corral-Rivas vd. (2007) asli ağaç türleri için ticari hacim denklemleri geliştirmişlerdir. Geliştirme esnasında kullanılan gövde çapı modelleri ise Fang, Bi ve Kozak'a ait olan modellerdir. Söz konusu denklem Meksika'da bulunan Durango Bölgesinde ortaya konmuştur. Denklemden elde edilen verilere bakıldığında ise en başarılı olan modelin Fang vd. ait olduğu görülmüştür.

Barrio-Anta vd. (2007) de ticari hacim denklemi geliştirmişlerdir. İspanya'nın kuzeybatısındaki saplı meşe için geliştirilen bu denklemde daha önce Tasissa vd., Kozak ve Fang vd.'nin denklemleri kullanılmıştır. Geliştirilen denklemden elde edilen veriler gereğince, parçalı gövde çapı modelinin ticari boy, hacim ve toplam hacim tahminlerinde Fang vd. ortaya koymuş olduğu modelin daha doğru ve başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Meksika'da geliştirilen bir başka denklem de Pompa-Garcia vd. (2009) tarafından ortaya atılmıştır. Meksika'nın Chihuahua eyaletinde ortaya konan bu denklem için

Kozak, Bi ve Fang vd. (2000)'nin modelleri kullanılmıştır. Pompa-Garcia tarafından uygulanan denklemden elde edilen verilere göre tıpkı Corral-Rivas vd. ve Barrio-Anta vd.'de olduğu gibi Fang vd.'nin parçalı gövde çapı modelinin daha başarılı sonuçlar verdiğine ulaşılmıştır.

İspanya'da sarıçam türü için bir çalışma da Crecente-Campo vd. (2009) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada yukarıdaki örneklerde de belirtildiği üzere Fang vd. ve Kozak'ın gövde çapı modelleri kullanılmıştır. Crecente-Campo vd. amacı ticari hacim denklemi geliştirmektir. Ortaya koydukları denklemin verilerine baktıklarında ise Fang vd. tarafından geliştirilen parçalı gövde çapı modelinin herhangi bir boydaki çap ve çap değerinin, hangi boy, ticari hacim ve toplam hacim tahminleri için daha doğru sonuçlar verdiğini görmüşlerdir.

Türkiye'de Erzincan yöresinde örneklem olarak alınan 100 sarıçam verileri kullanılarak bir çalışma da Özçelik (2010) tarafından gerçekleştirilmiştir. Özçelik bu çalışmasında Jiang (2004)'ın gövde çapı ve hacim denklemi ile uyumluluk gösteren gövde çapı ve hacim modeli ortaya koymuştur.

Li ve Weiskittel (2010) Amerika'nın kuzeyinde Acadian Bölgesinde gövde çapı ve hacim tahminlerinde kullanmak için çam türü üzerinde çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmalar sonucunda ortaya kendi geliştirdikleri gövde çapı ve gövde hacim modelleri çıkmıştır. Bu modeli geliştirirken oldukça farklı denklemleri kullanmışlardır. Geniş çaplı kullanılan bu denklemler içinde iki farklı sonuç elde etmişlerdir. İlk olarak gövde çapı tahminlerinde Kozak ve Bi'nin modellerinin başarılı sonuçlar verdiğini görmüşlerdir. İkinci olarak ise Clark (1991) tarafından geliştirilen modelin hacim tahminlerinde çok daha başarılı sonuçlar ortaya koyduğunu belirlemişlerdir.

Yukarıda verilen çalışmalardan farklı olarak Gomat vd. (2011) çevresel etmenlerin ve orijinin okaliptüs ağaçlarının gövde çapı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Farklı yerlerden alınan 15 orijin aracılığıyla ağaçlar üzerinde ölçümler yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan model ise Saint-Andre vd. (2002) tarafından belirlenen gövde çapı modelidir. Detaylı bir araştırma sonrası çevresel etmenlerin ve orijin farklılığının gövde çapı üzerinde çok ciddi bir biçimde etkisi olduğu gözlemlenmiştir.

İngiltere'nin kuzeyi ve İskoçya'dan “*Picea sitchensis* Carr ve *Pinus sylvestris*” türlerinden ağaçlandırmada kullanılmak üzere örneklemeler belirlenmiştir. Bu örnekler üzerinden Fonweban vd. (2011) ağaçlandırma için gövde çapı modelleri geliştirmişlerdir. Diğer çalışmalardan farklı olarak tek bir modele odaklanılmamış üç farklı değişken şekil gövde çapı modeli kullanmışlardır. Böylece ortaya “karışık etkili modelleme tekniği” çıkmıştır.

İzlanda'da yayılım gösteren *Pinus contorta* ve *Larix siberia* için Heidarson ve Pukkala (2011) birlikte gövde çapı modeli belirlemişlerdir. Bu modelde Bigin ile Kozak'ın geliştirmiş oldukları modeller denenmiştir. Denemeler sonucunda ise Kozak'ın değişken şekil gövde çapı modeli daha başarılı bulunmuştur.

Türkiye'nin güneyinde bulunan Tarsus-Karabucak bölgesindeki okaliptüs türleri için Özçelik ve Alkan (2012) 79 ağaç üzerinden yaptıkları çalışmalar sonucunda uyumlu gövde çapı ve gövde hacim modeli ortaya koymuşlardır. Okaliptüs ile kalmayıp Kızılçam, Toros sediri ve Gökmar üzerine de çalışmalar yapan ikili bu ağaç türleri için de gövde çapı ve gövde hacim modeli belirlemişlerdir.

Yine Kozak'ın geliştirdiği modelin kullanıldığı bir başka çalışma da Amerika'nın kuzeyindeki Acadian bölgesinde 11 çam türü üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma sonucunda elde edilen denklemin ortaya koyduğu hacim tahmin sonuçları Westfall ve Scott (2010) gövde çapı denklemi ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmadan çıkan sonuç ise Kozak'ın modelinin daha başarılı olduğudur.

Türkiye'de yapılan bir başka çalışma ise Isparta ve Erzurum'da Özçelik ve Brooks (2012) tarafından gerçekleştirilmiştir. Isparta'da Kızılçam, Toros sediri ve Karaçam; Erzurum'da ise 95 adet Sarıçam için uyumlu gövde çapı modeli geliştirilmiştir.

Türkiye'de yapılan birçok çalışmaya rağmen gövde çapı modelleri aracılığıyla ticari hacim denklemleri ile ilgili bir çalışma henüz gerçekleştirilmemiştir.

Uyumlu gövde çapı ve ticari hacim sistemi geliştirme adına Quinonoz-Barraza vd. (2014) çalışmalarda bulunmuşlardır. Bu çalışma Meksika Durango'daki asli çam türleri üzerine gerçekleştirilmiştir. Ortaya konan çalışmada Max-Burkhart, Calrk vd.,

Fang vd.'nin parçalı gövde çapı modelleri kullanılmıştır. Bu modeller arasında hem ticari hacim tahmini hem de gövde çapı tahmininde en başarılı sonuçların Fang vd. tarafından ortaya konulan model olduğu gözlemlenmiştir.

Farklı bir gövde çapı modeli geliştirme durumu da Brezilya Güney Parana'da Schröder vd. (2014) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma için örneklem olarak "Pinus elliottii" türü kullanılmıştır. Söz konusu tür için farklı oluşumlardaki 6 gövde çapı modeli denenmiştir. Denenen 6 model içindeki en başarılı modelin Kozak'ın modeli olduğu dikkati çekmiştir. Kozak'ın modelinin söz konusu tür için en başarılı çap ve hacim tahminlerini verdiği gözlemlenmiştir.

Kozak, Tasissa vd., Fang vd.'nin modellerinin kullanıldığı bir başka çalışma da Barrio vd. (2007) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma İspanya'nın kuzeyinde yayılım alanı gösteren saplı meşe türünün gövde çapı ve ticari hacim denklemlerini belirleyebilme adına yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda Fang vd.'nin ortaya koyduğu modelin daha doğru ve başarılı sonuçlar verdiği kaydedilmiştir.

Yukarıda belirtilen birçok çalışmanın yanı sıra dünyada ve ülkemizde çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmalar gövde çapı modelleri kullanılarak ağaçlardan elde edilen odun çeşitleri ve onların ticari hacim miktarlarını belirlemeler üzerine yoğunlaşmıştır (Fang ve Bailey 1999, Jordan vd. 2005, Jiang vd. 2005, Zakrzewski ve Macfarlane 2006, Dieguez-Aranda vd. 2006, Barrio vd. 2007, Corral-Rivas vd. 2007, Brooks vd. 2008, Crecente-Campo vd. 2009, Özçelik ve Brooks 2012).

Rodriguez vd. (2015) İspanya platolarındaki sekiz önemli ağaç türü için gövde çapı modeli geliştirmiştir. Bu amaçla Stud (1999) ve Fang vd. (2000) modelleri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, Stud (1999) modelinin çalışmada kullanılan 8 türden 6'sında daha başarılı olduğu görülmüştür. Türler arasında Stud (1999) modelinin parametreleri açısından farklılıkların olup olmadığını ortaya koymak amacıyla doğrusal olmayan ekstra kareler yöntemi kullanılmış ve 5 iğne yapraklı ağaç türü ile 3 yapraklı ağaç türü arasında önemli farklılıkların olduğu görülmüştür.

Arias-Rodil vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada, gövde çapı ve toplam ağaç boyu ölçümlerinde yapılan hataların gövde çapı modelleri yardımı ile hacim tahminlerine

olan etkileri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda özellikle ağaç boyu ölçümleri sırasında ortaya çıkması muhtemel hataların azaltılması için daha fazla efor sarf edilmesi gerektiği ifade edilmiştir. Çap ölçümlerinin nispeten daha kolay ve doğru ölçüldüğü de belirtilmiştir.

Tang vd. (2016) ise, Cunninghamia lanceolata plantasyonları için uyumlu gövde çapı modelleri ve meşcere düzeyinde ticari hacim modelleri geliştirmiştir. Bu amaçla çalışmada Fang vd. (2000) tarafından geliştirilen uyumlu gövde çapı modeli kullanılmıştır. Gövde çapı modellerinin geliştirilmesinde en çok karşılaşılan problemlerden olan otokorelasyon probleminin çözümü için modele 2. derece otoregresif hata yapısı eklenmiştir. Otokorelasyon probleminin elimine edilmesinden sonra gövde çapı modeli ve hacim modeli eş zamanlı çözülmüştür.

López-Sánchez vd. (2016) çalışmalarında Pseudotsuga menziesii ağaçlandırmaları için gövde çapı modeli geliştirmiştir. Bu amaçla üç gruba ait 5 farklı gövde çapı modeli test edilmiştir. Çalışmada model geliştirme sırasında karşılaşılan otokorelasyon probleminin çözümü için 3. Derece otoregresif hata yapısı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, Fang vd. (2000) tarafından geliştirilen model seçilmiştir.

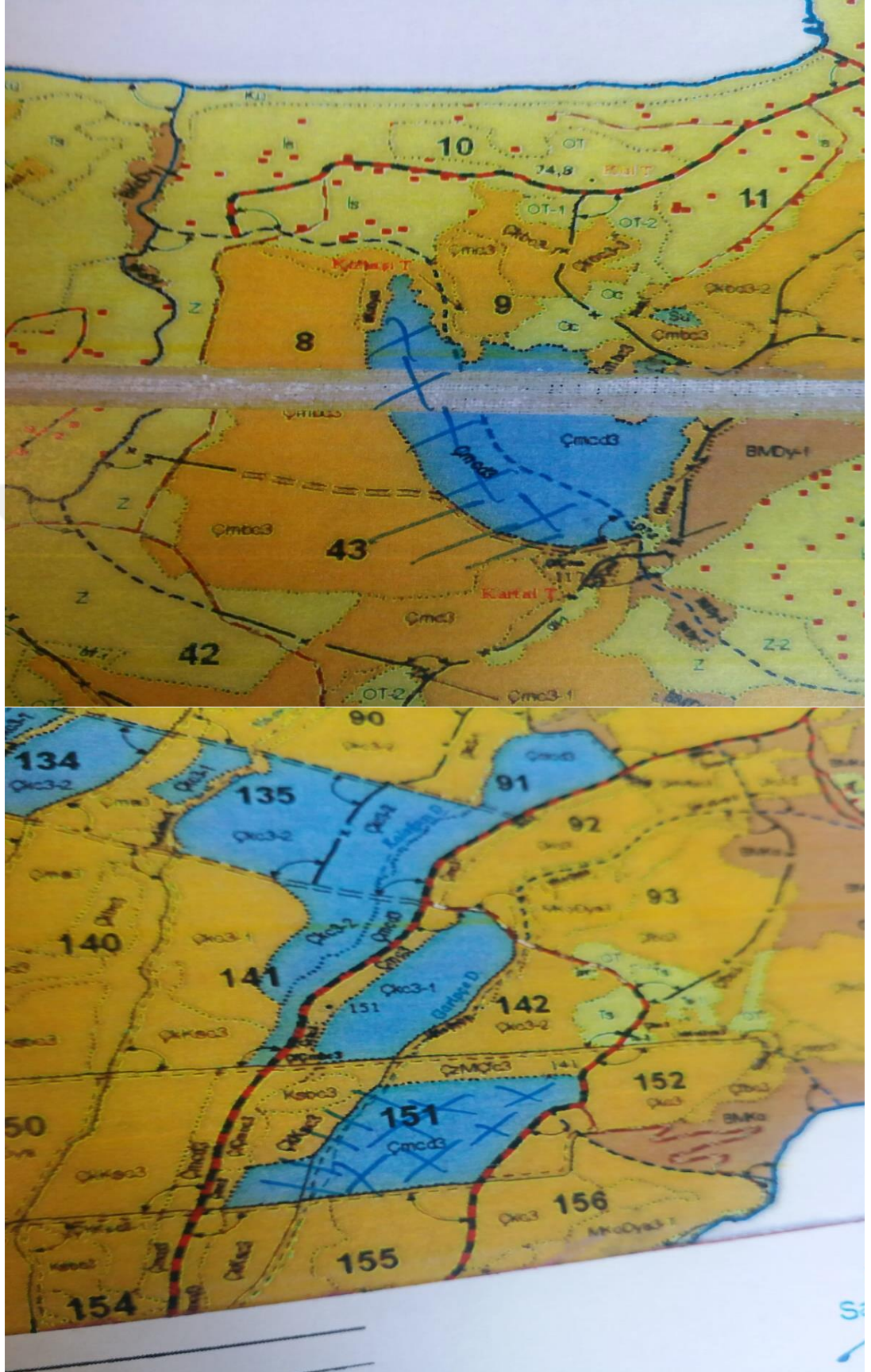
Shahzad vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada, Kuzeydoğu Çin'in önemli ağaç türlerinden birisi olan Betula platyphylla için farklı formdaki gövde çapı modelleri çap ve hacim tahminleri amacıyla karşılaştırılmıştır. Bu amaçla yaygın olarak olarak kullanılan 8 farklı model kullanılmıştır. Modellerdeki otokorelasyon problemi için modellere 1. Derece otoregresif hata yapısı eklenmiştir. Çalışma sonucunda, Kozak (2004), Fang vd. (2000) ve Bi (2000) tarafından geliştirilen modellerin daha başarılı olduğu görülmüştür.

Liu vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, Kuzaydoğu Çin'deki Larix gmelinii türü için geliştirilen gövde çapı modellerinin tahmin performansı üzerine iklimin etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, Kozak (2004) tarafından geliştirilen gövde çapı modeli kullanılmıştır. Modelin geliştirilmesi amacıyla karışık etkili modelleme tekniğinden yararlanılmış ve bazı iklim elemanları model performansının iyileştirilmesi amacıyla modele eklenmiştir. Çalışma sonucunda, iklim değişkenlerinin gövde çapı modeline eklenmesi ile modelin tahmin performansının önemli ölçüde arttığı ortaya konmuştur.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışma için gerekli örnek ağaç verileri, İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Bahçeköy Orman İşletme Müdürlüğü, Sarıyer Orman İşletme Şefliği sahil çamı 1. Bonitet için 3,00 x 3,00 2. Bonitet için ise 3,00 x 2,00 dikim aralıkları ile dikilmiş plantasyonlardan sağlanmıştır. (298 Sayılı Tebliğ, 2014) Örnek ağaçlar, ilgili yöredeki plantasyonların tüm çap ve boy sınıflarını ve yetiştirme ortamı şartlarını temsil edecek şekilde galip ya da müşterek galip ağaçlar arasından seçilmiştir. Örnek ağaçlar seçilirken, çatal gövdelerin, tepesi kırık ağaçların, azman yapmış bireylerin ve gövde formu bozuk bireyler seçilmemesine azami özen gösterilmiştir (Şekil 1.1). Çalışma kapsamında, 194 örnek ağaç üzerinde detaylı ölçümler yapılmıştır. Ölçümler sırasında, ağaçlar kesilmeden önce göğüs çapları (D) ölçülmüş ve kesildikten sonra, bütün ağaçların şerit metre yardımı ile toplam ağaç boyu (H) ve dijital çap ölçer yardımı ile ağaç gövdesi üzerinde dipten en uç noktaya kadar yaklaşık birer metre ara ile değişik yükseklik (h) noktalarındaki gövde çapı (d) değerleri ölçülmüştür. Ağaçların seksiyon ve toplam hacim tahminleri için Smalian formülü kullanılmıştır. Coble ve Hilpp (2006), Smalian formülünün kısa seksiyon hacimlerinin hesaplanması için oldukça uygun bir yöntem olduğunu ifade etmiştir. Ağaçların uç kısım hacimlerinin belirlenmesinde ise, koni hacim formülü kullanılmıştır. Smalian formül yardımı ile elde edilen seksiyon hacimleri ve koni hacim formülü ile hesaplanan uç parça hacmi toplanarak her ağaç için toplam gövde hacmi tahmin edilmiştir. İstanbul-Sarıyer Yöresi sahil çamı plantasyonları için gövde çapı modellerinin geliştirilmesi amacıyla ölçüm yapılan bölmelere ve bu bölmelerdeki meşcere tipleri Şekil 3.1’de verilmiştir. Ölçümü yapılan örnek ağaçlara ve yapılan ölçüme ilişkin görseller ise Şekil 3.2’de verilmiştir.



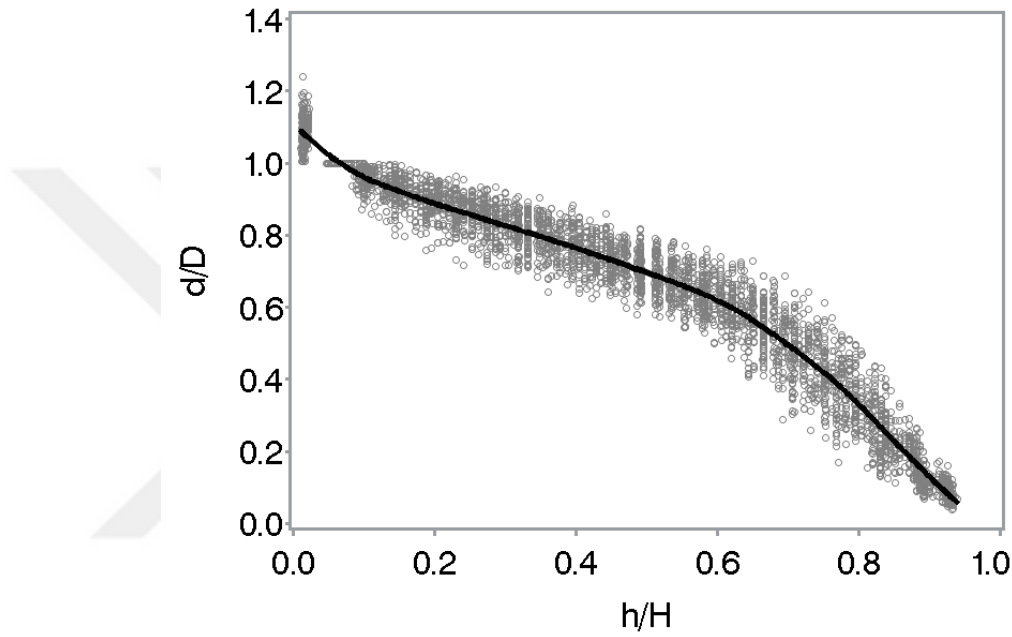
Şekil 3.1. 8 ve 151 nolu bölmelerin çalışma alanını gösteren meşcere haritası



Şekil 3.2. Gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin geliştirilmesi amacıyla yapılan örnek ağaç ölçümleri

Elde edilen veriler, ölçüm yanlışlıkları veya ölçüm değerlerinin yanlış yazılması gibi nedenlerle ortaya çıkabilecek hataların belirlenmesi ve arazide örnek ağaçlar üzerinde var olan farklı dezenformasyonların neden olduğu kimi anormal verilerin ortaya

çıkarılması amacıyla, nisbi çap değerlerine karşılık gelen nisbi boy değerleri grafik üzerinde görsel olarak değerlendirilmiştir. Bu amaçla model performansını arttırmak ve veri yapısındaki anormal verileri ortaya çıkarmak amacıyla, Bi (2000) tarafından önerilen “Sistemik Yaklaşım” kullanılmıştır. Bu yöntem yardımı ile verilerde bulunan anormal ya da ekstrem değerler ortaya çıkarılmıştır. Bu yöntemle ilişkin grafik Şekil 3.3’de ve çalışma kapsamında kullanılmasına karar verilen nihai verilere ilişkin nitelendirici istatistikler ise Çizelge 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.3. Sahil çamı için nisbi çap değerlerinin nisbi boy değerlerine dağılımı

Çizelge 3.1. Sahil çamı için gövde çapı modelinin geliştirilmesi amacıyla ölçülen parametrelerine ilişkin nitelendirici istatistikler.

Tür	Ortalama	S.D.	Minimum	Maksimum
Sahil çamı (n=194)				
<i>Değişkenler</i>				
<i>D</i> (cm)	35.30	7.10	21.00	66.30
<i>H</i> (m)	21.40	3.20	14.00	28.00
<i>d</i> (cm)	24.00	10.90	2.00	70.40
<i>h</i> (m)	10.01	6.17	0.30	26.30
<i>v</i> (m ³)	0.77	0.04	0.53	3.66
<i>V</i> (m ³)	1.09	0.56	0.28	3.66

D: kabuklu Göğüs çapı (cm, 1.3 m’deki); *H*: toplam ağaç boyu (m); *d*: *h* (m) yüksekliğindeki kabuklu gövde çapı; *v*: kabuklu ticari hacim (m³); *V*: kabuklu gövde hacmi (m³).

3.2. Yöntem

3.2.1. Gövde çapı modelleri

Yüz yılı aşkın bir zamandır pek çok formda gövde çapı modeli geliştirilmiştir (Max ve Burkhart, 1976; Cao vd., 1980; Clark vd., 1991; Fang vd., 2000; Kozak, 2004; Zakrzewski ve MacFarlane, 2006). Daha önceki bölümlerde de ifade edildiği gibi, gövde çapı modelleri üç temel grupta toplanabilmektedir. Bunlardan ilki, basit olarak nitelendirebileceğimiz gövde çapı modelleridir (Kozak vd., 1969; Cervera, 1973; Ormerod, 1973; Biging, 1984), ancak bu modeller tüm gövde profilini tanımlamakta başarısız olmuşlardır (Demaerschalk ve Kozak, 1977; Kozak, 1988; Newnham, 1992). Parçalı gövde çapı modelleri (Segmented Polynomial Taper Equations) ise ağaç gövdesini farklı parçalara ayırarak ve her parçayı ayrı ayrı tanımlaması nedeniyle, tüm gövde profilini gerçeğe en yakın şekilde tahmin edebilmektedir (Dieguez-Aranda vd., 2006; Barrio-Anta vd., 2007; Corral-Rivas vd., 2007; Castedo-Dorado vd., 2007; Crecente-Campo vd., 2009; Sevillano-Marco vd., 2009; Pompa-Garcia vd., 2009; Li ve Weiskittel, 2010; Menendez-Miguel vd., 2014). Üçüncü grup gövde çapı modelleri ise, değişken şekil gövde çapı modelleridir. Rojo vd. (2005), Yang vd. (2009) ve Li ve Weiskittel (2010) tarafından yapılan çalışmalarda, değişken şekil form gövde çapı modellerinin gövde çapı ve ağaç hacim tahminlerinde diğer gövde çapı modellerine göre daha başarılı olduğu belirtilmiştir. Bu tip gövde çapı modellerinin en yaygın kullanılan şekli Kozak tarafından 1988 ve 2004 yıllarında geliştirilmiş olanlardır.

Bu nedenle bu çalışmada; sırasıyla Fang vd. (2000) tarafından önerilen parçalı gövde çapı modeli ile, Lee vd. (2003), Sharma ve Zhang (2004) ve Kozak (2004) tarafından önerilen değişken şekil gövde çapı modelleri kullanılarak sahil çamı plantasyonları için gövde çapı modelleri geliştirilmiştir. Yukarıda da belirtildiği gibi, bu modeller pek çok çalışmada diğer gövde çapı modellerine göre daha başarılı sonuçlar üretmiştir (Rojo vd., 2005; Berhe ve Arnoldsson, 2008; Li ve Weiskittel, 2010; Heidarsson ve Pukkala, 2011; Li vd., 2012; Schröder vd., 2014; Shahzad vd., 2020).

Fang vd. (2000) tarafından geliştirilen parçalı gövde çapı modeli; ağaç gövdesinin değişken şekil faktörü ile üç parçaya sahip olduğunu kabul etmektedir. Fang vd. (2000)

tarafından geliştirilen denklem sistemi bir gövde çapı modeli, bir toplam ağaç hacim denklemi ve bir ticari hacim denkleminde oluşmaktadır.

Lee vd. (2003) tarafından ise, gövde formunun tahmin edilmesi amacıyla değişken üssel gövde çapı modeli geliştirilmiştir. Bu model gövde formunda dipten tepeye doğru meydana gelen değişimi, farklı indislerle tanımlamaya çalışmıştır. Geliştirilen bu yeni model, gövde çapı tahminlerindeki başarı bakımından, Max ve Burkhardt (1976) tarafından geliştirilen parçalı gövde çapı ve Kozak (1988) tarafından geliştirilen değişken üssel gövde çapı modeli ile karşılaştırılmıştır. Yapılan istatistiksel ve grafiksel değerlendirmeler, geliştirilen modelin Max ve Burkhardt (1976) tarafından geliştirilen modelden daha başarılı olduğu ve en az Kozak (1988) tarafından geliştirilen model kadar da başarılı olduğunu göstermiştir.

Sharma ve Zhang (2004) ise Sharma ve Oderwald (2001) tarafından geliştirilmiş olan boyutsal uyumlu gövde çapı modelini temel alarak değişken şekil gövde çapı modeli geliştirmiştir. Yapılan istatistiksel değerlendirmeler, gövde çapı tahminlerinde Sharma ve Zhang (2004) tarafından geliştirilen modelin, Max ve Burkhardt (1976), Kozak (1988) ve Zakrzewski (1999) tarafından geliştirilen farklı formlardaki gövde çapı modellerine göre daha başarılı olduğunu ortaya koymuştur.

Kozak (2004) ise, bir ağaç gövdesi boyunca tutarlı gövde çapı, ticari boy ve ticari hacim tahminleri için en iyi çözümü sunan bir değişken üssel gövde çapı modeli önermiştir. Bu model formu Kozak (1988) tarafından geliştirilen diğer bir değişken üssel gövde çapı modelinde ortaya çıkan çoklu bağıntı problemini azaltmak amacıyla kısmi değişiklikler yapılarak elde edilmiştir. Çalışmada kullanılacak dört farklı gövde çapı modeline ilişkin denklemler Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan gövde çapı modelleri ve uyumlu hacim sistemleri

Model	Denklem
Kozak (2004)	$d = b_1 D^{b_2} H^{b_3} x^{b_4 Z^4 + b_5 (1/e^{D/H}) + b_6 x^{0.1} + b_7 (1/D) + b_8 H^w + b_9 x}$ (3.1) burada: $x = w / (1 - (1.3/H)^{1/3})$, $w = 1 - Z^{1/3}$, $Z = h/H$
Sharma and Zhang (2004)	$d = D \left(b_1 \left(\frac{H-h}{H-1.3} \right) \left(\frac{h}{1.3} \right)^{2-(b_2+b_3Z+b_4Z^2)} \right)^{0.5}$ (3.2) burada: $Z = \frac{h}{H}$
Lee et al. (2003)	$d = b_1 D^{b_2} (1-Z)^{b_3 Z^2 + b_4 Z + b_5}$ (3.3) burada: $Z = \frac{h}{H}$
Fang et al. (2000)	$d = c_1 \sqrt{H^{(k-b_4)/b_4} (1-Z)^{(k-b)/b} \alpha_1^{I_1+I_2} \alpha_2^{I_2}}$ burada: $k = \pi/40,000$, $Z = h/H$, $\begin{cases} I_1 = 1 \text{ if } p_1 \leq Z \leq p_2; 0 \text{ aksitakdirde} \\ I_2 = 1 \text{ if } p_2 < Z \leq 1; 0 \text{ aksitakdirde} \end{cases}$, $p_1 = h_1/H$ ve $p_2 = h_2/H$ (h_1 ve h_2 iki katılım noktasının var olduğu kabul edilen yerden yükseklikler), $b = b_4^{1-(I_1+I_2)} b_5^{I_1} b_6^{I_2}$, $\alpha_1 = (1-p_1)^{(b_5-b_4)k/b_4 b_5}$, $\alpha_2 = (1-p_2)^{(b_6-b_5)k/b_5 b_6}$, $r_0 = ((1-h_{st})/H)^{k/b_4}$, $r_1 = (1-p_1)^{k/b_4}$, $r_2 = (1-p_2)^{k/b_5}$, $c_1 = \sqrt{\frac{b_1 D^{b_2} H^{b_3-k/b_4}}{b_4(r_0-r_1) + b_5(r_1-\alpha_1 r_2) + b_6 \alpha_1 r_2}}$, Dip çaptan itibaren ticari (v) ve toplam (V) hacimler için uyumlu modeller: $v = c_1^2 H^{k/b_4} (b_4 r_0 + (I_1 + I_2)(b_5 - b_4) r_1 + I_2(b_6 - b_5) \alpha_1 r_2 - \beta(1-Z)^{k/\beta} \alpha_1^{I_1})$ $V = b_1 D^{b_2} H^{b_3}$ (3.4)

D , Göğüs çapı (cm); H , toplam ağaç boyu (m); d , h (m) yüksekliğindeki kabuklu göğüs çapı (cm); b_i ve p_i tahmin edilen parametreler.

3.2.2. İstatistiksel analiz

En küçük kareler yöntemi kullanılarak gövde çapı modellerinin geliştirilmesinde bazı temel problemler bulunmaktadır ve bunlar arasında en yaygın olanları ve en çok karşılaşılanları çoklu-bağıntı ve otokorelasyon problemleridir (Kozak, 1997). Bu

problemler, en küçük kareler (OLS) yaklaşımının temel varsayımı olan hataların bağımsız olma kuralını bozmaktadır. Yine bu problemler, model katsayılarının standart hatalarını ciddi şekilde etkileyebilmektedir. Bu yüzden, gövde çapı modellerinin geliştirilmesinde otokorelasyon probleminden kaçınabilmek ve çoklu bağıntı problemini azaltabilmek için uygun istatistiksel yaklaşımların seçilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Kozak, 1997).

Çoklu-bağıntı çoklu doğrusal veya doğrusal olmayan regresyon analizlerinde bağımsız değişkenler arasındaki güçlü bir ilişkinin varlığını göstermektedir. Model yapısındaki değişkenler arasındaki çoklu-bağıntı probleminin varlığını değerlendirmek için Koşul Sayısı (Condition Number-CN) kullanılmıştır. Koşul sayısı korelasyon matrisinin en küçük ve en büyük özdeğerinin oranının kare kökü olarak ifade edilmektedir. Belsey (1991)'e göre şayet Koşul Sayısı 5-10 arasında ise çoklu-bağıntı problem değildir, şayet 30-100 arasında ise çoklu-bağıntı ile ilgili bir problem olabilir, ama 1000-3000 arasında ise şiddetli çoklu bağıntı problemi olabileceği ifade edilmektedir. Myers (1990); koşul sayısının 32'den daha büyük olması durumunda çoklu-bağıntı ile ilgili bir problemin varlığına işaret olacağını ifade etmektedir. Xu (2009), çoklu-bağıntı probleminin geliştirilen modelin parametre sayısı ile yakından ilgili olduğunu ve modeldeki parametre sayısının artması ile çoklu-bağıntı problemin ortaya çıkma ihtimalinin artacağını ifade etmiştir. Genel olarak gövde çapı modellerinin geliştirilmesinde kullanılan veriler, her ağaç üzerinde çok sayıda benzer ölçümler içermesi nedeniyle, bu ölçümler arasında korelasyonun ortaya çıkma ihtimalini arttırmakta ve bu durum hata terimlerinin bağımsız olma varsayımına ters düşmektedir. Bu çalışmada otokorelasyon problemini ortadan kaldırabilmek için ikinci derece otoregresive hata yapısı (CAR(x)) kullanılmıştır. Otokorelasyonun varlığını test etmek için otoregresif hata yapısının farklı dizinleri kullanılmış ve her ağaç için gözlemlerin artıklarına karşılık gelen temsili örneklerin artıları görsel olarak araştırılmıştır. Bu amaçla SAS istatistiksel analiz programındaki MODEL Yöntemi kullanılmıştır (SAS Institute, 2013).

3.2.3. Model performanslarının değerlendirmesinde kullanılan ölçütler

Geliştirilen gövde çapı modellerin tahmin performansının testi için ortalama hata (E), Belirtme katsayısı (R^2), hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE), Akaike Bilgi Kriteri (AIC-Akaike, 1974), Bayesian Bilgi Kriteri (BIC-Schwarz, 1978) ve ortalama mutlak hata (OMH) gibi 5 farklı ölçüt değerleri kullanılmıştır. Bu ölçüt değerleri içerisinde, RMSE hem ortalama hata hem de hata dağılımının varyansını içermesi nedeniyle önemli bir ölçüt değeridir. Bu değerlerin elde edilmesi için aşağıdaki formüller kullanılmıştır.

$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \right] \quad (3.5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p}} \quad (3.6)$$

$$AIC = n \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{n} \right] + 2p \quad (3.7)$$

$$BIC = n \log \left(\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 / n \right) + p \log n \quad (3.8)$$

$$OMH = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|}{n} \quad (3.9)$$

Burada; y_i ölçülen değerleri, $\hat{y}_i$ model ile tahmin edilen değerleri, $\bar{y}$ ölçülen değerlerin ortalamasını, n model geliştirmek için kullanılan toplam gözlem sayısını ve p ise tahmin edilen parametre sayısını göstermektedir.

Kozak ve Kozak (2003) tarafından yapılan bir çalışmada; geliştirilen modellerin bağımsız bir veri seti ile geçerliliğinin testinin önemli olduğu belirtilmektedir. Ancak, bağımsız veri seti tanımı ile model geliştirmek amacıyla verilerin toplandığı alandan diğer bir veri grubu kastedilmemiş, başka alanlardan toplanan veriler kullanılarak yapılacak değerlendirmeler ifade edilmiştir. Geliştirilen modellerin geçerliliğinin ortaya konması için kullanılabilecek diğer alternatifler olarak da çapraz doğrulama

(Cross-validation) ya da çift çapraz doğrulama (double cross-validation) yöntemleri önerilmektedir. Ancak, Kozak ve Kozak (2003) hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın, bağımsız bir veri seti ile elde edilecek sonuçların modelin geçerliliği hakkında model geliştirme testlerine ilaveten çok az miktarda ekstra bilgi verebileceğini belirtilmektedir. Bu nedenle bu çalışmada, gövde çapı, boy, toplam hacim ve ticari hacim denklemlerinin geliştirilmesine ilişkin olarak modelin ayrı bir veri grubu kullanılarak testi yapılmamıştır. Ancak bu çalışmada kullanılan modellerin toplam ağaç hacmi tahminlerindeki başarısı, Özcan (2003) ve Ercanlı vd. (2008) tarafından geliştirilen hacim denklemlerinin sonuçları ile karşılaştırılacaktır.

Çalışmada en başarılı modelin seçimi amacıyla Poudel ve Cao (2013) tarafından önerilen rak sistemi kullanılmıştır. Bu yeni sistem, geleneksel sıralama yöntemlerinden farklıdır. Geleneksel sıralama yöntemlerinde modeller 1’den N’e kadar sıralanmakta ve modellerin biribiri ile durumlarını ve pozisyonlarını tam olarak oraya koyamamaktadır. Bu nedenle Poudel ve Cao (2013) tarafından, karşılaştırılan modellerin birbirine göre durumlarını tam olarak ortaya koyabilen yeni bir sıralama yöntemi geliştirilmiştir. Bu yeni sistemde i . modelin nisbi sırası aşağıdaki formül yardımı ile ortaya konabilmektedir:

$$R_i = 1 + \frac{(m - 1)(S_i - S_{min})}{S_{max} - S_{min}} \quad (3.10)$$

burada R_i i . metodun nisbi sırasını, S_i i . metot tarafından üretilen uyum istatistiklerinin başarısını, S_{min} S_i ’nin minimum değerini ve S_{max} S_i ’nin maksimum değerini ifade etmektedir. Bu yöntem hakkındaki detaylı bilgileri, Poudel ve Cao (2013)’den elde edilebilir.

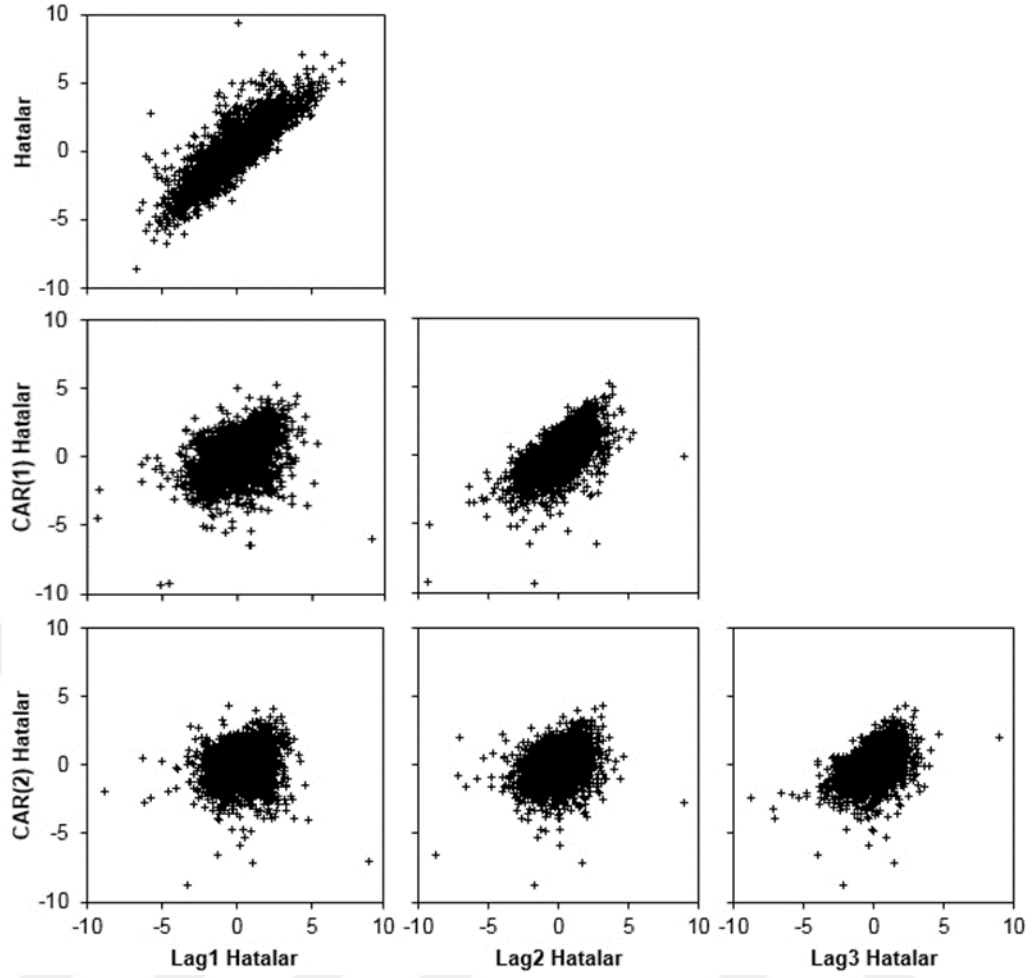
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Otokorelasyon ve Çoklu-Bağıntı Problemlerine İlişkin Bulgular

Yukarıdaki bölümlerde belirtildiği gibi; gövde çapı modellerinin geliştirilmesi ve analiz edilmesinde en çok karşılaşılan problemler, çoklu-bağıntı ve otokorelasyon problemleridir. Bu problemler sıradan en küçük kareler (OLS) yaklaşımının temel varsayımı olan hataların bağımsızlığı kuralını bozmakta ve model katsayılarının standart hatalarını ciddi şekilde arttırabilmektedir. Bu yüzden gövde çapı modellerinin geliştirilmesinde otokorelasyon probleminden kaçınabilmek ve çoklu-bağıntı problemini azaltabilmek için uygun istatistiksel yaklaşımların seçilmesi gerektiği belirtilmektedir (LeMay vd., 1993; Kozak, 1997). Modeldeki değişkenler arasındaki çoklu-bağıntı probleminin ortaya çıkarılmasında Koşul Sayısı (Condition Number-CN) kullanılmıştır. Otokorelasyon probleminin ortadan kaldırılması için ise farklı otoregresive hata yapıları (CAR(x)) kullanılmıştır.

Gövde çapı modelleri geliştirmek amacıyla otokorelasyonun varlığı dikkate alınmaksızın modeller test edildiğinde bütün modellerin artıkları benzer bir eğilim göstermiştir. Şekil 4.1'in ilk satır ilk sütunu incelendiğinde ortaya çıkan hata değerleri ile eklemeli hataların (Lag hata) doğrusal bir korelasyon gösterdiği görülmektedir. Modele 1. derece otoregresif hata yapısı eklendiğinde CAR(1), Şekil 4.1'in ikinci satırı incelendiğinde, otokorelasyon probleminin kısmen ortadan kalktığı görülmektedir. Ancak modele 2.derece otoregresif hata yapısı eklendiğinde, otokorelasyon probleminin hehem hemen ortadan kalktığı görülmektedir (Şekil 4.1).

Sahil çamı için test edilen modellerden Sharma ve Zhang (2004) modeli hariç, diğer üç modelde de orta derecede çoklu bağıntı problemi olduğu görülmüştür (Çizelge 4.1). Sahil çamı ağaçları için Kozak (2004), Lee vd. (2003), Fang vd. (2000) ve Sharma ve Zhang (2004) modelleri için koşul sayıları sırasıyla 99, 65, 50 ve 14 olarak bulunmuştur. Crecente-Campo vd. (2009) tarafından da belirtildiği gibi, bu durum en azından modellerin pratik olarak kullanılmasında bir sorun ortaya çıkarmamaktadır.



Şekil 4.1. Çap tahmininde ortaya çıkan artıklar için, Lee vd. (2003) modelinin parametreleri arasında otokorelasyon olmadığı düşüncesiyle testi (ilk satır) ve birinci ve ikinci derece otoregresive hata yapısı ile testi (sırasıyla ikinci ve üçüncü satırlar)

4.2. Geliştirilen Gövde Çapı Modellerine İlişkin Bulgular

Yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucunda; sahil çamı ağaç türü için Fang vd. (2000), Lee vd. (2003), Kozak (2004) ve Sharma ve Zhang (2004) tarafından geliştirilen modeller kullanılarak gerçekleştirilen kabuklu gövde çapı tahminleri için elde edilen parametre tahminleri ve standart hataları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Test edilen tüm modeller için parametre tahminleri $p < 0.0001$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.1. Test edilen modeller için parameter tahminleri ve standart hata değerleri ve koşul sayıları (CN)

Modeller	Model parametreleri										CN	
	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7	b_8	b_9	p_1		p_2
Kozak (2004)	1.0331 (0.0385)	0.9697 (0.0106)	0.0233 (0.0151)	0.7236 (0.0190)	-0.8426 (0.0701)	0.3756 (0.0146)	3.0264 (0.6561)	0.0011 (0.0045)	0.0246 (0.0371)			99
Sharma ve Zhang (2004)	0.9434 (0.0055)	2.1073 (0.0035)	-0.7777 (0.0323)	1.2067 (0.0391)								14
Lee vd. (2003)	1.4436 (0.0369)	0.9263 (0.0070)	2.7829 (0.0780)	-3.2130 (0.0948)	1.5631 (0.0296)							50
Fang vd. (2000)	0.000048 (24x10 ⁻⁷)	1.8106 (0.0191)	1.1295 (0.0253)	0.000021 (37x10 ⁻⁸)	0.000038 (25x10 ⁻⁸)	0.000024 (23x10 ⁻⁸)				0.1125 (0.0033)	0.6509 (0.0030)	66

Çalışmada kullanılan 4 farklı gövde çapı modelinin çap tahminlerindeki başarısına ilişkin ölçüt değerleri Çizelge 4.2’de ve elde edilen ölçüt değerleri kullanılarak hesaplanan nisbi sıra değerleri ise, Çizelge 4.3’de verilmiştir. Çizelge 4.2’nin incelenmesinde de görüleceği gibi Fang vd. (2000), Lee vd. (2003), Kozak (2004) ve Sharma ve Zhang (2004) tarafından geliştirilen modeller gövde çapı tahminlerindeki varyansın sahil çamı için %98’den daha fazlasını açıklamaktadır. Çizelge 4.3’deki sonuçlar incelendiğinde çap tahminleri için tüm ölçüt değerleri açısından en başarılı modelin Kozak (2004) tarafından geliştirilen model olduğu, en başarısız modelin de Sharma ve Zhang (2004) tarafından geliştirilen model olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.2. Test edilen modellere ilişkin ölçüt değerleri

Değişkenler	Ölçütler	Kozak (2004)	Sharma ve Zhang (2004)	Lee vd. (2003)	Fang vd. (2000)
Çap	R^2	0.9887	0.9851	0.9881	0.9877
	$RMSE$	1.1625	1.3327	1.1943	1.2117
	AIC	1173	2220	1377	1491
	BIC	1239	2255	1419	1551
	OMH	0.8906	1.0443	0.9136	0.9286
Boy	R^2	0.9541	0.9439	0.9552	0.9563
	$RMSE$	1.2672	1.3990	1.2551	1.2351
	AIC	1743	2464	1644	1555
	BIC	1797	2499	1686	1602
	OMH	0.9134	1.1060	0.9299	0.9249
Ticari Hacim	R^2	0.9842	0.9844	0.9854	0.9849
	$RMSE$	0.0684	0.0678	0.0657	0.0667
	AIC	-20651	-20724	-20956	-20842
	BIC	-20597	-20685	-20914	-20782
	OMH	0.0439	0.0445	0.0421	0.0431
Toplam Hacim	R^2	0.9715	0.9685	0.9727	0.9728
	$RMSE$	0.0941	0.0981	0.0917	0.0921
	AIC	-906	-893	-918	-914
	BIC	-879	-875	-897	-883
	OMH	0.0968	0.0719	0.0666	0.0666

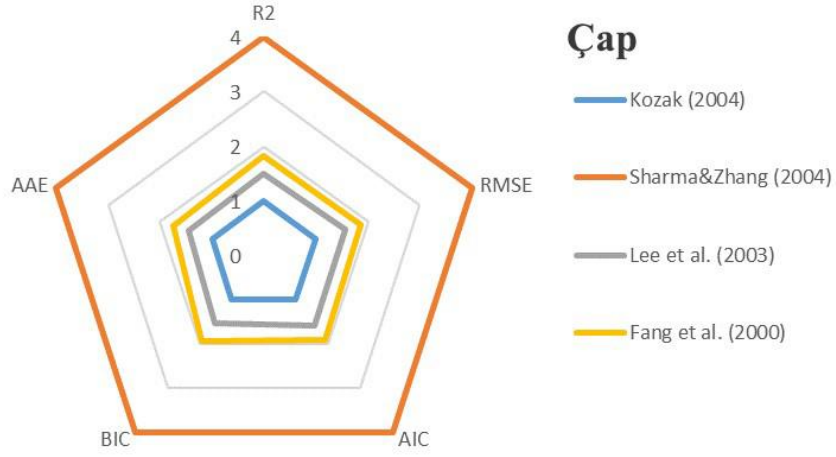
*Herhangi bir çap (d) değeri için boyun (h) tahminin matematiksel çözümü için bisection metodu kullanılmıştır. Sayısal çözüm bisection metodundaki iterasyonlar ile elde edilmiştir. ** Ticari hacimler, gövde çapı modelinin farklı boy değerleri için sayısal integrali alınarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.2’de ise test edilen dört model için ölçüt değerleri kullanılarak çap tahminleri için elde edilen radar grafiği görülmektedir. Radar grafiğinin incelenmesinden de görüleceği gibi en başarılı model olarak karşımıza çıkan Kozak (2004) modeli en içte ve en başarısız olan Sharma ve Zhang (2004) modeli en dışta olacak şekilde bir sıralama ortaya çıkmaktadır. Şekil 4.3’de ise çalışmada kullanılan modellere ilişkin

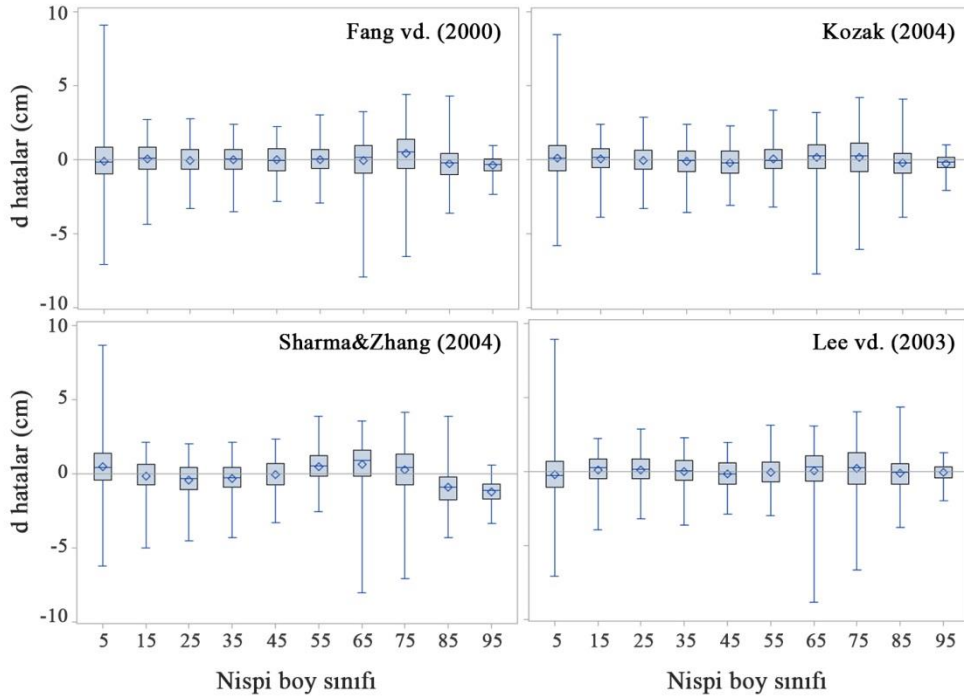
hataları nisbi boy sınıfları itibariyle dağılımı ve değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.3'den de görüleceği gibi, Kozak (2004) modeline ilişkin hataların genel olarak her nisbi boy sınıfı için stabil olduğu sadece ağaç boyunun ilk %10'luk ve %70-90'luk kısmında nispeten daha yüksek varyasyona sahip olduğu söylenebilir. Gövdenin yere yakın kısımlarında Lee vd. (2003) modeli dışındaki modellerin gerçek çap değerlerine göre daha yüksek tahmin edildiği, diğer üç modelde ise bunun aksi bir durumun ortaya çıktığı görülmektedir. Çalışma kapsamında değerlendirilen tüm modeller %0-10 ve %65-85 arasındaki nisbi boylar için daha yüksek standart hata ortaya çıkarmıştır.

Çizelge 4.3. Modellere ilişkin nispi sıralama

Değişkenler	Ölçütler	Kozak (2004)	Sharma ve Zhang (2004)	Lee vd. (2003)	Fang vd. (2000)
Çap	R^2	1.00	4.00	1.50	1.83
	RMSE	1.00	4.00	1.56	1.87
	AIC	1.00	4.00	1.58	1.91
	BIC	1.00	4.00	1.53	1.92
	OMH	1.00	4.00	1.45	1.74
	Genel	1.00	4.00	1.53	1.85
Boy	R^2	1.53	4.00	1.27	1.00
	RMSE	1.59	4.00	1.37	1.00
	AIC	1.62	4.00	1.29	1.00
	BIC	1.65	4.00	1.28	1.00
	OMH	1.00	4.00	1.26	1.18
	Genel	1.45	4.00	1.26	1.00
Ticari Hacim	R^2	4.00	3.50	1.00	2.25
	RMSE	4.00	3.33	1.00	2.11
	AIC	4.00	3.28	1.00	2.12
	BIC	4.00	3.17	1.00	2.25
	OMH	3.25	4.00	1.00	2.25
	Genel	4.00	3.59	1.00	2.26
Toplam Hacim	R^2	1.91	4.00	1.07	1.00
	RMSE	2.13	4.00	1.00	1.19
	AIC	2.44	4.00	1.00	1.48
	BIC	3.45	4.00	1.00	2.91
	OMH	4.00	1.53	1.00	1.00
	Genel	3.13	4.00	1.00	1.60
Genel Nispi Sıralama		2.33	4.00	1.00	1.54



Şekil 4.2. Test edilen modellerin kullanılan ölçüt değerlerine göre radar grafikleri

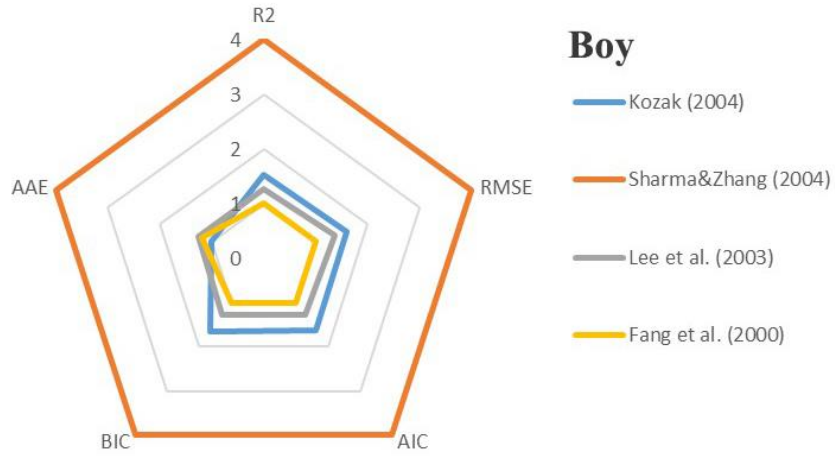


Şekil 4.3. Sahil çamı için çap tahminleri amacıyla test edilen modeller için ortaya çıkan artıkların nispi boy sınıflarına dağılım grafiği. Kare işareti, çap sınıfına ilişkin tahmin hatalarının ortalamasını temsil etmektedir. Kutular hataların yayılma alanını temsil etmektedir. Yukarı ve aşağı uzanan dikey çizgiler ise, maksimum ve minimum çap tahmin hatalarını temsil etmektedir.

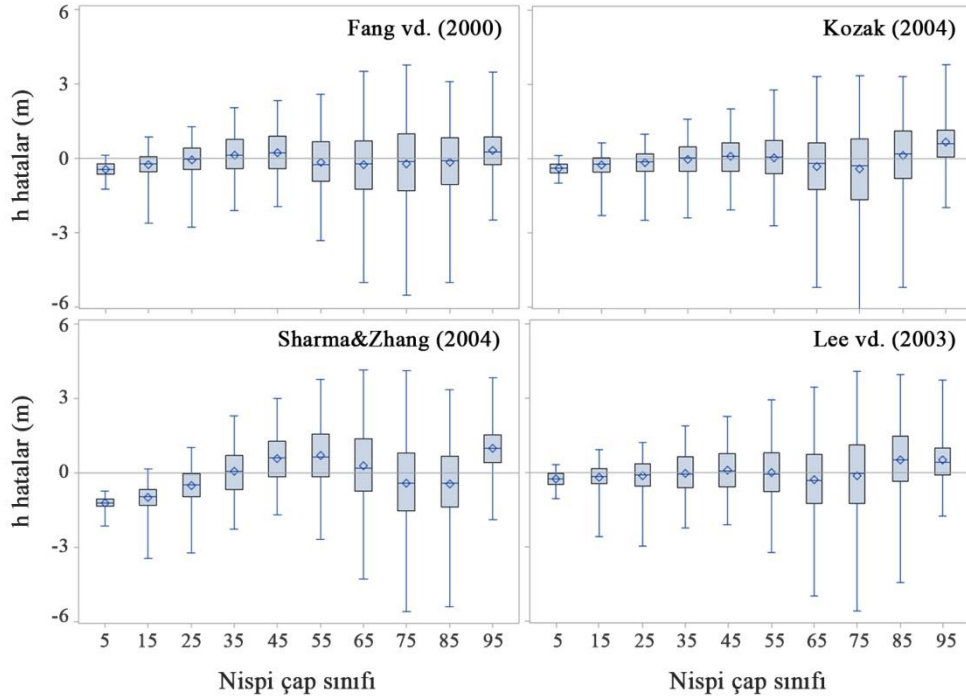
4.2. Boy Tahminlerine İlişkin Bulgular

Yöntem bölümünde açıklanmaya çalışıldığı gibi; test edilen modeller için herhangi bir ticari çap değerinin bulunduğu boyun tahmini de yapılmıştır. Bu amaçla, boy tahmini için matematiksel çözümün elde edilmesinde, sayısal çözüm yineleme yöntemi (iterative method) kullanılmıştır. Bu amaçla “bisection” yöntemi kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan 4 farklı gövde çapı modelinin boy tahminlerindeki başarısına ilişkin ölçüt değerleri Çizelge 4.2’de ve elde edilen ölçüt değerleri kullanılarak hesaplanan nisbi sıra değerleri ise, Çizelge 4.3’de verilmiştir. Çizelge 4.2’nin incelenmesinden de görüleceği gibi Fang vd. (2000), Lee vd. (2003) ve Kozak (2004) tarafından geliştirilen modeller boy tahminlerindeki varyasyonun %95’inden fazlasını açıklayabiliyorken, Sharma ve Zhang (2004) tarafından geliştirilen model varyansın %94’ünden daha fazlasını açıklamaktadır. Çizelge 4.3’deki sonuçlar incelendiğinde boy tahminleri için tüm ölçüt değerleri açısından en başarılı modelin Fang vd. (2000) tarafından geliştirilen model olduğu, en başarısız modelin ise Sharma ve Zhang (2004) tarafından geliştirilen model olduğu görülmektedir.



Şekil 4.4. Test edilen modellerin kullanılan ölçüt değerlerine göre radar grafikleri



Şekil 4.5. Sahil çamı için boy tahminleri için test edilen modellerde ortaya çıkan artıkların nisbi çap sınıflarına dağılım grafiği. Kare işareti, çap sınıfına ilişkin tahmin hatalarının ortalamasını temsil etmektedir. Kutular hataların yayılma alanını temsil etmektedir. Yukarı ve aşağı uzanan dikey çizgiler ise, maksimum ve minimum boy tahmin hatalarını temsil etmektedir.

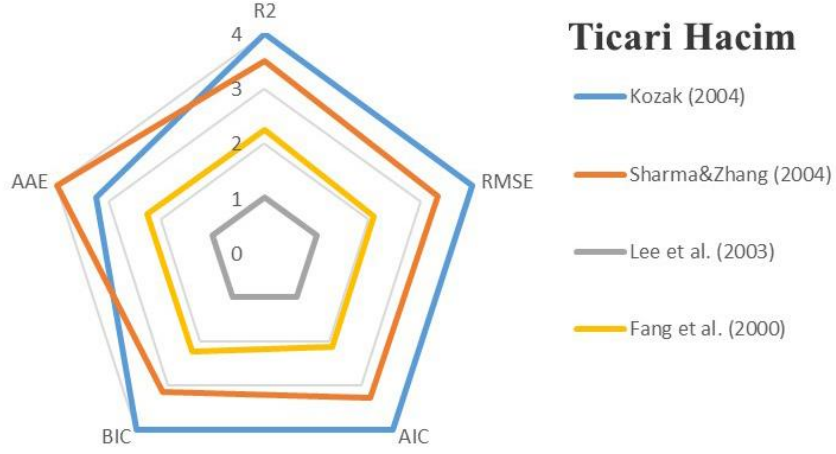
Şekil 4.4’de ise test edilen dört model için ölçüt değerleri kullanılarak boy tahminleri için elde edilen radar grafiği görülmektedir. Radar grafiğinin incelenmesinden de görüleceği gibi en başarılı model olarak karşımıza çıkan Fang vd. (2000) modeli en içte ve en başarısız olan Sharma ve Zhang (2004) modeli en dışta olacak şekilde bir sıralama ortaya çıkmaktadır. Şekil 4.5’de ise çalışmada kullanılan modellere ilişkin hataların nisbi çap sınıfları itibariyle dağılımı ve değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.5’den de görüleceği gibi, tüm modeller özellikle ağaç gövdesinin dibe yakın kısımlarında yani %65-95 arasındaki nisbi çap sınıfları için daha yüksek standart hata ve varyasyon değerleri üretmiştir. Bununla birlikte en başarılı model olan Fang vd. (2000) modeline ilişkin hataların diğer modellere daha düşük varyasyon ürettiği görülmüştür. Yine aynı model farklı nisbi çap sınıfları için farklılık göstermekle birlikte çoğunlukla boy tahminlerinde gerçek değerden daha yüksek sonuçlar üretmiştir.

4.3. Ticari Hacim Tahminlerine İlişkin Bulgular

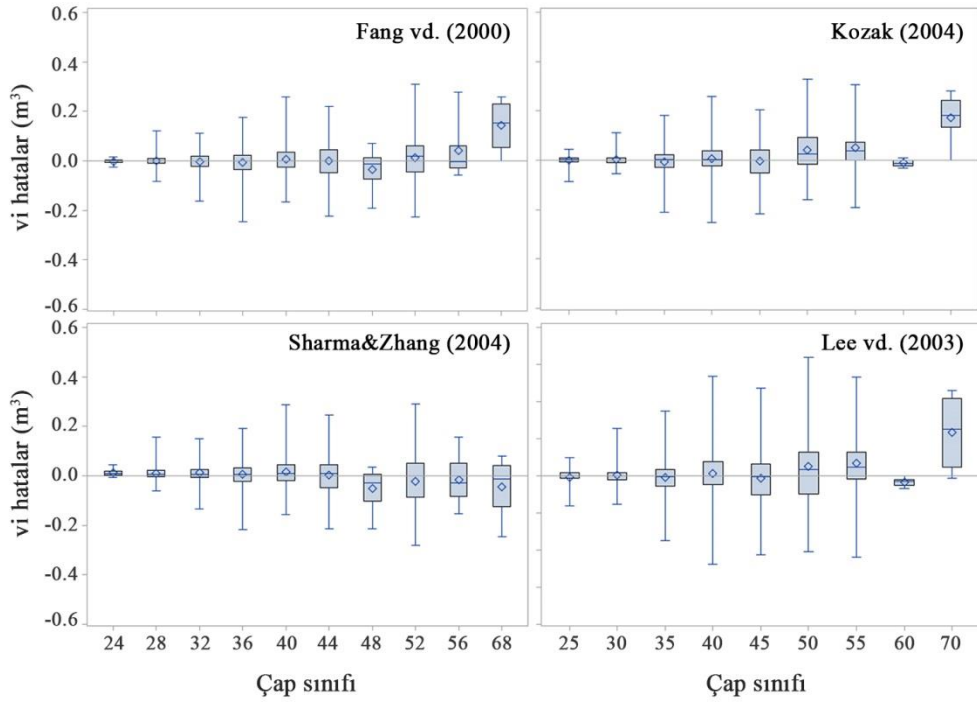
Ticari gövde hacimlerinin tahmininde ise, SAS programındaki QUAD alt sekmesi kullanılmıştır. Bu yöntem özellikle uyumlu olmayan gövde çapı modellerinde (Kozak, 2004; Lee vd., 2003; Sharma ve Zhang, 2004) gövde çapı modelinin hacim modeline dönüştürülmesi amacıyla kullanılmaktadır.

Çalışmada kullanılan 4 farklı gövde çapı modelinin ticari hacim tahminlerindeki başarısına ilişkin ölçüt değerleri Çizelge 4.2’de ve elde edilen ölçüt değerleri kullanılarak hesaplanan nisbi sıra değerleri ise, Çizelge 4.3’de verilmiştir. Çizelge 4.2’nin incelenmesinden de görüleceği gibi, test edilen gövde çapı modelleri ticari hacim tahminlerindeki varyansın %98’den fazlasını açıklayabilmektedir. Modellere ilişkin RMSE değerleri ise birbirine oldukça yakındır. Çizelge 4.3’deki sonuçlar incelendiğinde, ticari hacim tahminleri için tüm ölçüt değerleri açısından en başarılı modelin Lee vd. (2003) tarafından geliştirilen model olduğu, en başarısız modelin ise Kozak (2004) tarafından geliştirilen model olduğu görülmektedir. Bu modeli ise Sharma ve Zhang (2004) tarafından geliştirilen model izlemektedir.

Şekil 4.6’da ise test edilen dört modele ilişkin ölçüt değerleri kullanılarak ticari hacim tahminleri için elde edilen radar grafiği görülmektedir. Radar grafiğinin incelenmesinden de görüleceği gibi en başarılı model olarak karşımıza çıkan Lee vd. (2003) modeli en içte ve en başarısız olan Kozak (2004) ve Sharma ve Zhang (2004) modelleri en dışta olacak şekilde bir sıralama ortaya çıkmaktadır. Şekil 4.7’de ise çalışmada kullanılan modellere ilişkin hataların çap sınıfları itibariyle dağılımı ve değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.7’den de görüleceği gibi, tüm modeller özellikle büyük çap sınıfları için daha yüksek hata ve varyasyon değerleri üretmiştir. Bununla birlikte, en başarılı model olan Lee vd. (2003) modeline ilişkin hataların diğer modellere daha düşük varyasyon ürettiği görülmüştür. Sharma ve Zhang (2004) dışındaki tüm modeller 50 cm’den daha büyük çap değerleri için gerçek ticari hacim değerlerinden daha küçük hacim değerleri ortaya çıkarmıştır.



Şekil 4.6. Test edilen modellerin kullanılan ölçüt değerlerine göre radar grafikleri



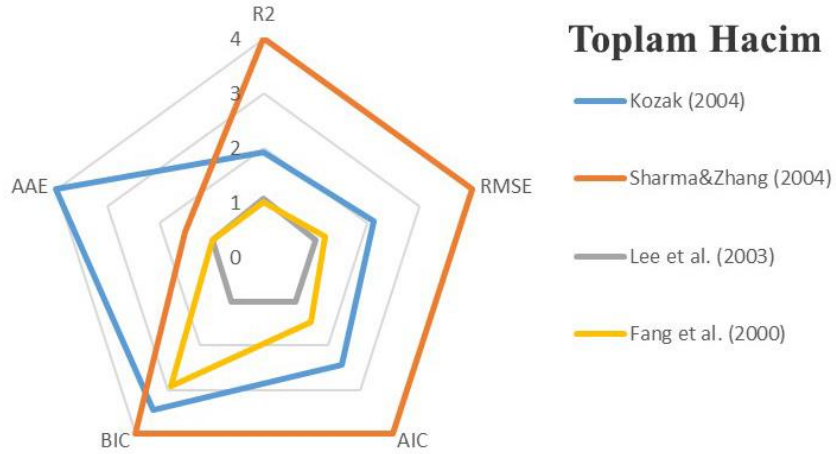
Şekil 4.7. Sahil çamı için ticari hacim tahminlerinde test edilen modeller için ortaya çıkan artıkların nisbi çap sınıflarına dağılım grafiği. Kare işareti, çap sınıfına ilişkin tahmin hatalarının ortalamasını temsil etmektedir. Kutular hataların yayılma alanını temsil etmektedir. Yukarı ve aşağı uzanan dikey çizgiler ise, maksimum ve minimum ticari hacim tahmin hatalarını temsil etmektedir.

4.4. Toplam Hacim Tahminlerine İlişkin Bulgular

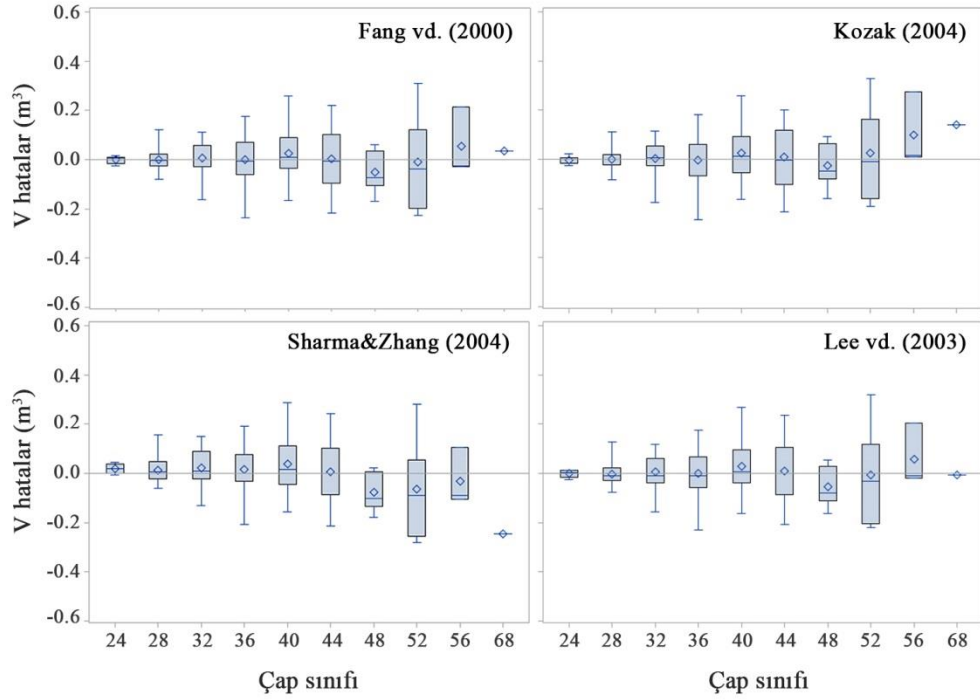
Çalışmada kullanılan 4 farklı gövde çapı modelinin toplam hacim tahminlerindeki başarısına ilişkin ölçüt değerleri Çizelge 4.2’de ve elde edilen ölçüt değerleri kullanılarak hesaplanan nisbi sıra değerleri ise, Çizelge 4.3’de verilmiştir. Çizelge 4.2’nin incelenmesinde de görüleceği gibi, toplam hacim tahminlerindeki varyasyon

incelendiğinde, Sharma ve Zhang (2004) tarafından geliştirilen model toplam varyasyonun %96'sını açıklayabiliyorken, diğer modeller %97'den fazlasını açıklamaktadır. Çizelge 4.3'deki sonuçlar incelendiğinde, toplam hacim tahminleri için tüm ölçüt değerleri açısından en başarılı modelin Lee vd. (2003) tarafından geliştirilen model olduğu, en başarısız modelin ise Sharma ve Zhang (2004) tarafından geliştirilen model olduğu görülmektedir. Bu modeli ise Kozak (2004) tarafından geliştirilen model izlemektedir.

Şekil 4.8'de ise test edilen dört model için ölçüt değerleri kullanılarak toplam hacim tahminleri için elde edilen radar grafiği görülmektedir. Radar grafiğinin incelenmesinden de görüleceği gibi en başarılı model olarak karşımıza çıkan Lee vd. (2003) modeli en içte ve en başarısız olan Sharma ve Zhang (2004) modeli en dışta olacak şekilde bir sıralama ortaya çıkmaktadır. Şekil 4.9'da ise çalışmada kullanılan modellere ilişkin hataların çap sınıfları itibariyle dağılımı ve değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.9'dan da görüleceği gibi, tüm modeller özellikle büyük çap sınıfları için daha yüksek hata ve varyasyon değerleri üretmiştir. Bununla birlikte, en başarılı model olan Lee vd. (2003) modeline ilişkin hataların diğer modellere daha düşük varyasyon ürettiği görülmüştür.



Şekil 4.8. Test edilen modellerin kullanılan ölçüt değerlerine göre radar grafikleri



Şekil 4.9. Sahil çamı için toplam ağaç hacmi tahminlerinde test edilen modeller için ortaya çıkan artıkların nisbi çap sınıflarına dağılım grafiği. Kare işareti, çap sınıfına ilişkin tahmin hatalarının ortalamasını temsil etmektedir. Kutular hataların yayılma alanını temsil etmektedir. Yukarı ve aşağı uzanan dikey çizgiler ise, maksimum ve minimum toplam hacim tahmin hatalarını temsil etmektedir.

Elde edilen bu sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, en başarılı sonuçların, çap tahminleri için Kozak (2004), boy tahminleri için Fang vd. (2000), ticari ve toplam hacim tahminleri için ise Lee vd. (2003) tarafından geliştirilen modeller ile elde edildiği görülmektedir. Çap ve boy tahminlerinde en başarılı ikinci model incelendiğinde ise Lee vd. (2003) tarafından geliştirilen modelin yer aldığı görülmektedir. Bu sonuç literatür ile de uyum göstermektedir. Rojo vd (2005) tarafından İspanya’da yapılan çalışmada *Pinus pinaster* için 31 farklı gövde çapı modeli test edilmiş ve en başarılı sonuçların Kozak (2004) tarafından geliştirilen model ile elde edildiği ifade edilmiştir. Yine Li ve Weiskittel (2010) tarafından yapılan Kuzey Amerika’nın Acadian Bölgesindeki çam türleri için yapılan çalışmada da benzer sonuçlara ulaşılmıştır.

Ancak, sahil çamı için test edilen dört model, ticari hacim ve toplam hacim tahminlerinde ise başarı durumları açısından farklılıklar göstermiştir (Çizelge 4.2). Çap tahminlerinde Kozak (2004) tarafından geliştirilen model en başarılı model olarak yer almasına rağmen, ticari hacim tahminlerinde en başarısız model olarak yer almıştır.

Toplam hacim tahminleri incelendiğinde ise en başarısız modelin Sharma ve Zhang (2004) olduğu görülmektedir. Benzer sonuçlar Li ve Weiskittel (2010) ve Schröder vd. (2014) tarafından yapılan çalışmalarda da ortaya çıkmıştır. Li ve Weiskittel (2010) tarafından yapılan çalışmada Kozak (2004) modeli çap tahminleri için en başarılı model olarak karşımıza çıkmasına karşın, hacim tahminlerinde en başarılı modeller olarak karşımıza Clark vd. (1991) ve Fang vd. (2000) gövde çapı modelleri çıkmıştır. Schröder vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada ise, Kozak (1988 ve 2004) modelleri kabuklu ve kabuksuz çap tahminleri için en başarılı modeller olurken, hacim tahminlerinde en başarılı model olarak karşımıza Max ve Burkhart (1976) çıkmıştır. Fortin vd. (2013) bu ilginç durumun gövde üzerindeki herhangi bir noktadaki göğüs yüzeyi için gerekli olan çap değerinin gövde boyunca tahmin edilen çap değerlerinden dönüştürme suretiyle elde edilmesinden kaynaklanabileceğini belirtmiştir. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar, bir gövde çapı modelinin diğerine tercih edilirken mutlaka değerlendirmenin hem çap hem de hacim tahminleri için yapılmasını zorunlu kılmaktadır (Li ve Weiskittel, 2010; Fortin vd., 2013; Schröder vd., 2014)

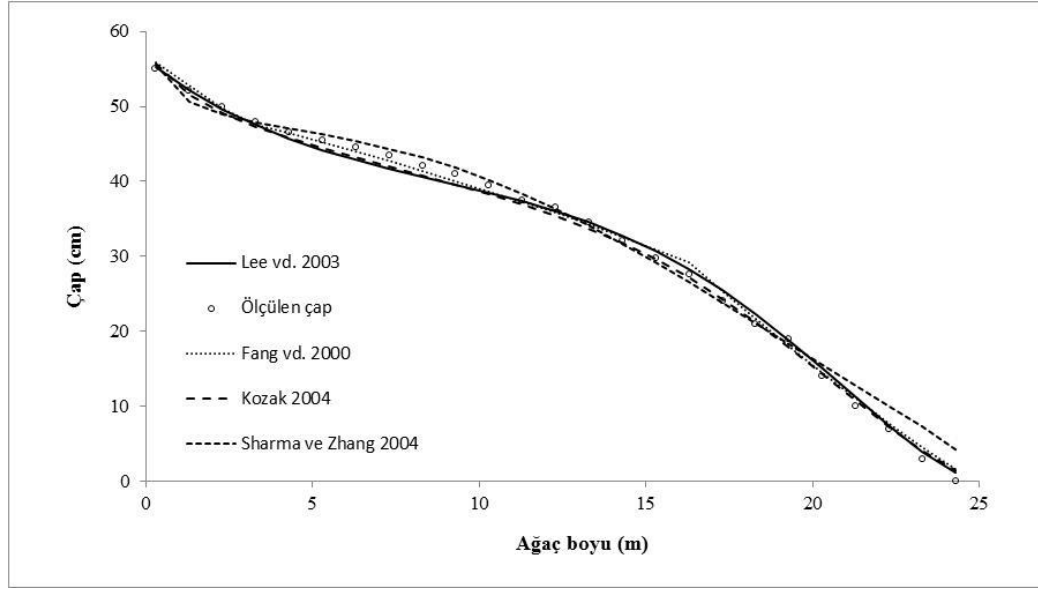
Bu amaçla, sahil çamı ağaç türü için geliştirilen gövde çapı modellerinin etkinliği daha yakından test edilmiştir. Bu amaçla; çap, boy, ticari hacim ve toplam hacim tahminlerine ilişkin R^2 , RMSE, AIC, BIC ve OMH değerleri kullanılarak modellere ait nispi sıralama değerleri elde edilmiştir (Çizelge 4.3). Yukarıda da ifade edildiği gibi, nispi sıralama değerleri incelendiğinde, çap tahminlerinde Kozak (2004), boy tahminlerinde Fang vd. (2000), ticari ve toplam hacim tahminlerinde ise Lee vd. (2003) tarafından geliştirilen modeller en başarılı modeller olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.3. incelendiğinde, modellerin çap, boy ticari hacim ve toplam hacim tahminlerindeki başarı sıralarının tamamı birlikte değerlendirilerek genel bir başarı sıralaması oluşturulduğu görülmektedir. Buna göre, bu çalışma kapsamında Sarıyer yöresi sahil çamı meşcereleri için test modellerden, Lee vd. (2003) tarafından geliştirilen model en başarılı; Sharma ve Zhang tarafından geliştirilen model ise en başarısız modeller olarak belirlenmiştir. Fang vd. (2000) tarafından geliştirilen model en başarılı ikinci model olurken, üçüncü sırada ise Kozak (2004) tarafından geliştirilen model yer almaktadır.

Elde edilen sayısal ve grafiksel sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, test edilen modeller arasında önemli farklılıkların olmadığı görülmektedir. Sharma ve Zhang (2004) modeli dışarıda tutulursa diğer üç modelinde Sahil çamı platasyonlarında çap ve hacim tahminleri için kullanılabileceği ifade edilebilir. Modellerin özellikle çap tahminlerinde nisbi boyun %65-85'lik kısımlarında yüksek standart hata ürettiği görülmektedir. Hacim tahminlerinde ise özellikle 50 cm'den daha yüksek çap değerleri için modeller ile elde edilen sonuçların hata miktarının arttığı gözlenmektedir.

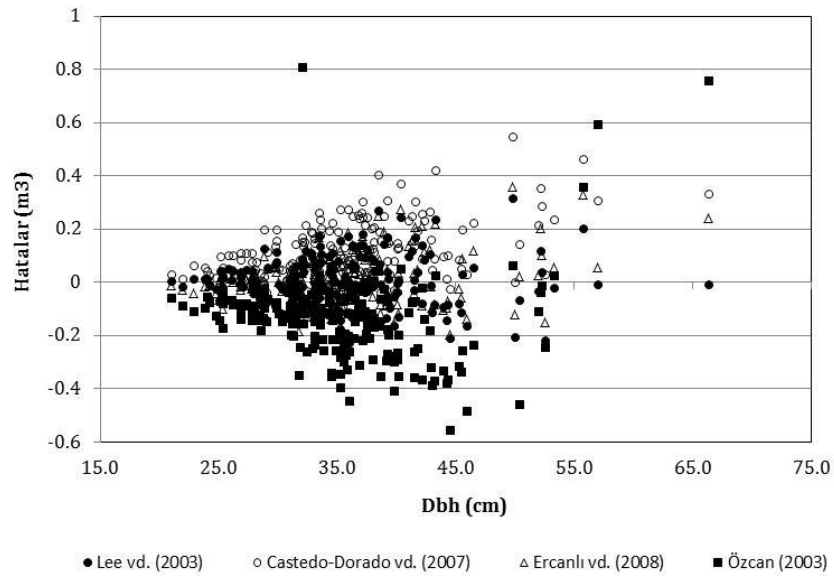
Yukarıdaki bölümlerde belirtildiği gibi; gövde çapı modellerinin geliştirilmesi ve analiz edilmesinde en çok karşılaşılan problemlerden birisi, çoklu bağıntı problemleridir. Bu yüzden gövde çapı modellerinin geliştirilmesinde, otokorelasyon probleminin üstesinden gelebilecek ve çoklu bağıntı problemini azaltabilecek uygun istatistiksel yaklaşımların seçilmesi gerektiği belirtilmektedir (LeMay vd., 1993; Kozak, 1997). Otokorelasyon probleminin ortadan kaldırılması için modele otoregresif hata yapısı eklenmiş ve çoklu-bağıntı probleminin var olup olmadığı ise durum sayıları (CN) kullanılarak modellerin geliştirilmesine çalışılmıştır.

Çalışma kapsamında değerlendirilen 4 farklı gövde çapı modelinin 25 metre boyunda ve 52 cm göğüs çapına sahip bir ağacın farklı yüksekliklerdeki çap dağarlerinin tahminine ilişkin grafiksel değerlendirme ise Şekil 4.10'da verilmiştir. Şeklin incelenmesinden de görüleceği gibi, ölçülen değerlere en yakın tahminler çap tahminlerinde en başarılı olarak ortaya çıkan Kozak (2004) ile elde edilmiştir. Sharma ve Zhang (2004) modeli özellikle gövdenin üst bölümünde diğer modellere göre daha başarısız sonuçlar üretmiştir. Diğer üç model arasında çap tahminleri açısından büyük farklılıklar bulunmamaktadır.



Şekil 4.10. Farklı gövde çapı modelleri için elde edilen ağaç gövde profilleri

Diğer taraftan çalışma kapsamına ait model nisbi sıralamasına göre en başarılı model olarak kabul edilen Lee vd. (2003) gövde çapı modeli ile elde edilen hacim değerleri, Castedo-Dorado vd. (2007), Ercanlı vd. (2008) ve Özcan (2003) tarafından geliştirilen hacim denklemleri ile elde edilen hacim değerleri ile de karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, grafik olarak Şekil 4.11’de verilmiştir. Şekil 4.11’in incelenmesinden de görüleceği gibi tüm hacim tahmin modelleri göğüs çapının kalınlaşmasına bağlı olarak daha yüksek hacim tahminleri üretmiştir.



Şekil 4.11. Farklı yöntemlerle elde edilen hacim tahminlerinin karşılaştırılması

Ancak Lee vd. (2003) tarafından geliştirilen gövde çapı modeli yardımı ile elde edilen hacim tahminlerinin diğer araştırmacılar tarafından geliştirilen modellere göre daha başarılı olduğu söylenebilir. Bu değerlendirme sonucunda, İstanbul-Sarıyer Yöresi sahil çamı plantasyonları için; Özcan (2003) tarafından geliştirilen modelin genel olarak daha yüksek hacim değerleri, Castedo-Dorado vd. (2008) tarafından geliştirilen modelin ise genel olarak daha düşük hacim değerleri ürettiği gözlenmiştir. Diğer modellerin daha başarısız olmasının temel nedeni bu modellerin farklı yöreler için geliştirilmiş olmasından kaynaklanabilir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, Sarıyer Yöresi sahil çamı meşcereleri için gövde çapı modelleri geliştirilmiştir. Bu amaçla değişik ülkelerde, farklı araştırmacılar tarafından ve farklı ağaç türleri için yapılan çalışmaların sonuçları da dikkate alınarak; Fang vd. (2000), Lee vd. (2003), Kozak (2004) ve Sharma ve Zhang (2004) tarafından geliştirilen gövde çapı modelleri seçilmiştir. Bu modellerden ilki parçalı gövde çapı modelleri grubuna diğer üçü ise değişken şekil gövde çapı modelleri grubuna aittir.

Çalışmada modellerin geliştirilmesi sırasında ortaya çıkan otokorelasyon probleminin üstesinden gelinebilmesi ve çoklu bağıntı sorunun varlığını araştırmak üzere uygun model yapıları seçilmiştir. Otokorelasyon sorunun ortadan kaldırılması için modele ikinci derece otoregresif hata yapısı (CAR(2)) eklenmiştir. Modellere ilişkin çoklu bağıntı probleminin varlığını araştırmak amacıyla da Koşul sayıları (CN) kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında değerlendirilen modeller, çap, boy, ticari hacim ve toplam hacim tahminlerindeki başarı durumları açısından değerlendirilmiştir. Bu amaçla 5 farklı ölçüt değeri kullanılarak modellerin nisbi sıraları belirlenmiştir. Model nisbi sıraları incelendiğinde; çap tahminlerinde Kozak (2004), boy tahminlerinde Fang vd. (2000), ticari ve toplam hacim tahminlerinde ise Lee vd. (2003) tarafından geliştirilen modellerin daha başarılı olduğu görülmüştür. Ancak Poudel ve Cao (2013) tarafından ortaya konan kriterlere göre bir değerlendirme yapıldığında; Lee vd. (2003) ve Fang vd. (2000) tarafından geliştirilen modeller arasında çap, boy, ticari hacim ve toplam hacim tahminleri açısından önemli farklılıkların olmadığı da söylenebilir. Dolayısı ile sahil çamı plantasyonlarından yapılacak bu amaçlı çalışmalarda hangi modelin tercih edileceğine uygulayıcının karar vermesi daha doğru olacaktır. Yine de modeldeki parametresinin daha az olması nedeniyle Lee vd. (2003) tarafından geliştirilen model tercih edilebilir.

Daha önceki bölümlerde de belirtildiği gibi herhangi bir yöre de yapılacak çalışmalarda hangi gövde çapı modelinin kullanılması gerektiğine karar verirken sadece modelin çap tahminlerindeki başarısı değil aynı zamanda modelin hacim tahminlerindeki başarı durumları da dikkate alınmalıdır. Çünkü gövde çapı

modellerinin geliştirilmesinde en önemli amaçlardan birisi dikili ağaçların hacim tahminleridir. Bu çalışmada da görüldüğü gibi, çap tahminlerinde en başarılı model Kozak (2004) tarafından geliştirilen model olmasına karşın ticari hacim ve toplam hacim tahminlerinde en başarılı model Lee vd. (2003)'tür.

Özellikle son yıllarda ülkemizde odun üretimi çalışmalarında dikili satış yöntemi tercih edilmektedir. Bu nedenle, ağaç hacminin ve özellikle gövde hacminin doğru tahmin edilmesi oldukça önemli ve gereklidir. Bu durum hem orman işletmeleri hem de bu ürünü alacak tüketiciler açısından son derece dikkate alınan bir konudur. Sonuç olarak gövde hacmi tahminlerinde gövde çapı modellerinin kullanılması daha doğru ve güvenilir hacim tahminleri yapılmasına imkân sağlayacaktır.



KAYNAKLAR

- Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE transactions on automatic control*, 19(6), 716-723.
- Akalp, T. (1982). *Orman hasılatı ve biyometri kürsüsünce hızlı gelişen türler üzerine yürütülmüş araştırmalar*. Türkiye’de Hızlı Gelişen Türlerle Endüstriyel Ağaçlandırmalar Sempozyumu. 21-27 Eylül, Ankara, 231-237.
- Altıntaş, K. (2017). *Türkiye’de Kızılçam (Pinus Brutia Ten.) ve Sahil Çamı (Pinus Pinaster Ait.)’ndan Asit Pasta Yöntemiyle Reçine Üretiminin Ağaçtaki Reçine Miktarı Üzerine Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Anonim (1982). Marmara, Batı ve Orta Karadeniz Bölgesi Sahilçamı Ağaçlandırma Alanlarında Yapılan İnceleme ve Değerlendirmeler Raporu. Kavak ve Hızlı Gelişen Tür Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, 35., İzmit.
- Anonim (2006). *Orman Varlığımız*, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, Orman Genel Müdürlüğü Basımevi.
- Anonim (2020). https://tr.wikipedia.org/wiki/Sahil_çamı/ (Son Erişim Tarihi: 09 Mayıs 2020)
- Anşin, R. (1994). *Tohumlu Btkiler Gymnospermae (Açık Tohumlular)*. Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi.
- Anşin, R. (2001). *Tohumlu Bitkiler I. Cilt Gymnospermae (Açık Tohumlular)*. Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi.
- Anta, M. B., Diéguez-Aranda, U., Castedo-Dorado, F., González, J. G. Á., & Von Gadow, K. (2007). Merchantable volume system for pedunculate oak in northwestern Spain. *Annals of Forest Science*, 64(5), 511-520.
- Arias-Rodil, M., Diéguez-Aranda, U., Rodríguez Puerta, F., López-Sánchez, C. A., Canga Libano, E., Cámara Obregón, A., & Castedo-Dorado, F. (2015). Modelling and localizing a stem taper function for *Pinus radiata* in Spain. *Canadian Journal of Forest Research*, 45(6), 647-658.
- As, N. (1992). *Pinus pinaster Ait. Değişik Irklarının Fiziksel, Mekanik ve Teknolojik Özellikleri Üzerine Etkisi*. (Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Aydın, İ. (2017). *Türkiye’de Kızılçam (Pinus Brutia Ten.) ve Sahil Çamı (Pinus Pinaster Ait.)’ndan Asit Pasta Ve Oyma Delik Yöntemleriyle Reçine Üretimi ve Terebentin Analizi*. (Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

- Balekoğlu, S. (2015). *İstanbul Bölgesi'ndeki Sahilçamı (Pinus Pinaster Aiton) Plantasyonlarının Silvikültürel Yönden İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Belsey, D. A. (1991). *Conditioning Diagnostics, Collinearity and Weak Data in Regression*. John Wiley and Sons, Inc., Wiley Press.
- Berhe, L., & Arnoldsson, G. (2008). Tree taper models for Cupressus lusitanica plantations in Ethiopia. *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, 70(3), 193-203.
- Berhe, L., & Arnoldsson, G. (2008). Tree taper models for Cupressus lusitanica plantations in Ethiopia. *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, 70(3), 193-203.
- Bi, H. (2000). Trigonometric variable-form taper equations for Australian eucalypts. *Forest Science*, 46(3), 397-409.
- Biging, G. S. (1984). Taper equations for second-growth mixed conifers of Northern California. *Forest Science*, 30(4), 1103-1117.
- Birler, A. S., & Yüksel, Y. (1983). Sahil Çamı Ağaçlandırma Meşçerelerinde Hasılat Araştırması. *Kavak ve Hızlı Gelişen Yabancı Tür Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü Yıllık Bülteni*, 19, 295-348.
- Birler, A. S., Koçer, S., Avcıoğlu, E., Diner, A., Gürses, M. K., & Gülbaba, A. G. (1995). Okalıptüs ağaçlandırmalarında hacim ve kuru madde hasılatı. *Kavak ve Hızlı Gelişen Yabancı Tür Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten*, 1, 171.
- 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(1-2), 147-151.
- Cao, Q. V., Burkhart, H. E., & Max, T. A. (1980). Evaluation of two methods for cubic-volume prediction of loblolly pine to any merchantable limit. *Forest Science*, 26(1), 71-80.
- Carle, J. B., Ball, J. B., & Del Lungo, A. (2009). The global thematic study of planted forests. *Planted forests—uses, impacts and sustainability*. FAO, CABI Head Office, Wallingford, UK, 33-46.
- Castedo-Dorado, F., Diéguez-Aranda, U., & Álvarez-González, J. G. (2007). A growth model for Pinus radiata D. Don stands in north-western Spain. *Annals of Forest Science*, 64(4), 453-465.
- Castedo-Dorado, F., Gómez-García, E., Diéguez-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(6), 735-746.

- Cervera, J. M. (1973). El área basimétrica reducida, el volumen reducido y el perfil. *Montes*, 174, 415-418.
- Clark, III A., Souter, R. A., & Schlaegel, B. E. (1991). Stem Profile Equations for Southern Tree Species. *United States Department Of Agriculture Forest Service Research Paper, SE*, 282.
- Coble, D. W., & Hilpp, K. (2006). Compatible cubic-foot stem volume and upper-stem diameter equations for semi-intensive plantation grown loblolly pine trees in East Texas. *Southern Journal of Applied Forestry*, 30(3), 132-141.
- Coble, D. W., & Wiant Jr, H. V. (2000). Centroid method: comparison of simple and complex proxy tree taper functions. *Forest science*, 46(4), 473-477.
- Corral-Rivas, J. J., Barrio-Anta, M., Aguirre-Calderón, O. A., & Dieguez-Aranda, U. (2007). Use of stump diameter to estimate diameter at breast height and tree volume for major pine species in El Salto, Durango (Mexico). *Forestry*, 80(1), 29-40.
- Crecente-Campo, F., Alboreca, A. R., & Diéguez-Aranda, U. (2009). A merchantable volume system for *Pinus sylvestris* L. in the major mountain ranges of Spain. *Annals of forest science*, 66(8), 808.
- Demaerschalk, J. P., & Kozak, A. (1977). The whole-bole system: a conditioned dual-equation system for precise prediction of tree profiles. *Canadian Journal of Forest Research*, 7(3), 488-497.
- de-Miguel, S., Mehtätalo, 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(7), 1383-1394.
- Diéguez-Aranda, U., Castedo-Dorado, F., Álvarez-González, J. G., & Rojo, A. (2006). Compatible taper function for Scots pine plantations in northwestern Spain. *Canadian Journal of Forest Research*, 36(5), 1190-1205.
- Ercanlı, İ., Güvendil, E., Güney, D., Günlü, A., & Altun, L. (2008). Single and double entry tree volume tables for *Pinus pinaster* Ait. plantations Sinop Forest District. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 8(1), 14-25.
- EUFORGEN, (2019). Distribution map of Maritime Pine (*Pinus pinaster*) www.euforgen.org (Som Erişim Tarihi: 12.05.2019)
- Fang, Z., & Bailey, R. L. (1999). Compatible volume and taper models with coefficients for tropical species on Hainan Island in Southern China. *Forest Science*, 45(1), 85-100.
- Fang, Z., Borders, B. E., & Bailey, R. L. (2000). Compatible volume-taper models for loblolly and slash pine based on a system with segmented-stem form factors. *Forest Science*, 46(1), 1-12.

- Farjon, A. (1984). *Pines: drawings and descriptions of the genus Pinus*. EJ Brill. Leiden Press.
- Figueiredo-Filho, A., Borders, B. E., & Hitch, K. L. (1996). Taper equations for *Pinus taeda* plantations in Southern Brazil. *Forest Ecology and Management*, 83(1-2), 39-46.
- Filho, A. F., & Schaaf, L. B. (1999). Comparison between predicted volumes estimated by taper equations and true volumes obtained by the water displacement technique (xylometer). *Canadian Journal of Forest Research*, 29(4), 451-461.
- Fonweban, J., Gardiner, B., Macdonald, E., & Auty, D. (2011). Taper functions for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) in northern Britain. *Forestry*, 84(1), 49-60.
- Fortin, M., Schneider, R., & Saucier, J. P. (2013). Volume and error variance estimation using integrated stem taper models. *Forest Science*, 59(3), 345-358.
- Gomat, H. Y., Deleporte, P., Moukini, R., Mialounguila, G., Ognouabi, N., Saya, A. R., ... & Saint-Andre, L. (2011). What factors influence the stem taper of Eucalyptus: growth, environmental conditions, or genetics?. *Annals of forest science*, 68(1), 109-120.
- Gönteke, E. (2006). *Sahil Çamı (Pinus Pinaster Ait.) Yongalarından Kraft Kâğıt Hamuru Üretimi Üzerine Nabh4'ün Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Günay, T., Tacenur, A. İ., & Özkahraman, İ. (1982). *Ezine Fidanlığında Sahilçamı (Pinus pinaster Ait.) Fidan Üretim Çalışmalarında Karşılaşılan Başarısızlığın Nedenleri ve Çözüm Yolları*, Türkiye'de Hızlı Gelişen Türlerle Endüstriyel Ağaçlandırmalar Sempozyumu. 21-26 Eylül, İzmit, 299-310.
- Güner, Ş.T., Cezmi, Ö., Türkkan, M., & Akgül, S. (2019). Türkiye'deki sahilçamı ağaçlandırmalarında ağaç bileşenlerine ait karbon yoğunluklarının değişimi. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 6(2), 167-176.
- Güvendi, E. (2005). *Sinop Merkez Yöresi Sahil Çamı (Pinus pinaster Ait.) Ağaçlandırma Alanlarındaki Meşçerelerin Gelişimi İle Bazı Ekolojik Etmenler Arasındaki İlişkiler*. (Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Heidarsson, L., & Pukkala, T. (2011). Taper Functions For Lodgepole Pine (*Pinus contorta*) and Siberian Larch (*Larix sibirica*) in Iceland. *Icelandic Agricultural Sciences*, 24, 3-11.
- Huang, S., Price, D., Morgan, D., & Titus, S. (1999). Validation of ecoregion-based taper equations for white spruce in Alberta. *The Forestry Chronicle*, 75(2), 281-292.

- Jiang, L. (2004). *Compatible Taper and Volume Equations for Yellow-Poplar in West Virginia*. (M.Sc Thesis, West Virginia University Graduate Admissions)
- Jiang, L., Brooks, J. R., & Wang, J. (2005). Compatible taper and volume equations for yellow-poplar in West Virginia. *Forest ecology and management*, 213(1-3), 399-409.
- Jordan, L., Berenhaut, K., Souter, R., & Daniels, R. F. (2005). Parsimonious and completely compatible taper, total, and merchantable volume models. *Forest science*, 51(6), 578-584.
- Kalaycıoğlu, H. (1991). *Sahil Çamı (Pinus pinaster Ait) Odunlarının Yonga Levha Üretiminde Kullanılması İmkânları*. (Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Klos, R. J., Wang, G. G., Dang, Q. L., & East, E. W. (2007). Taper equations for five major commercial tree species in Manitoba, Canada. *Western Journal of Applied Forestry*, 22(3), 163-170.
- Kozak, A., Munro, D.O., & Smith, J.H.G. (1969). Taper Functions and Their Application in Forest Inventory. *Forestry Chronicle*, 45, 278-283.
- Kozak, A. (1988). A variable-exponent taper equation. *Canadian Journal of Forest Research*, 18(11), 1363-1368.
- Kozak, A. (1997). Effects of multicollinearity and autocorrelation on the variable-exponent taper functions. *Canadian Journal of Forest Research*, 27(5), 619-629.
- Kozak, A., & Kozak, R. (2003). Does cross validation provide additional information in the evaluation of regression models?. *Canadian Journal of Forest Research*, 33(6), 976-987.
- Kozak, A. (2004). My last words on taper equations. *The Forestry Chronicle*, 80(4), 507-515.
- Kurtça, M. (2018). *Bartın Bölgesinde Yetişen Sahil Çamının (Pinus Pinaster Ait.) Ontogenetik Değişimlerinin Kimyasal Bileşimleri ile Antikolinesteraz ve Antioksidan Aktiviteleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi*. (Doktora Tezi, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Lee, W. K., Seo, J. H., Son, Y. M., Lee, K. H., & Von Gadow, K. (2003). Modeling stem profiles for *Pinus densiflora* in Korea. *Forest Ecology and Management*, 172(1), 69-77.
- LeMay, V. M., Kozak, A., Muhairwe, C. K., & Kozak, R. A. (1993). *Factors Effecting The Performance Of Kozak's (1988) Variable-Exponent Taper Function*. IUFRO Conference (S 4.02, Forest Resources Inventory) and Society of American Foresters on Modern Methods of Estimating Tree and Log Volume. 14-16 June, Morgantown, 34-53.

- Li, R., & Weiskittel, A. R. (2011). Estimating and predicting bark thickness for seven conifer species in the Acadian Region of North America using a mixed-effects modeling approach: comparison of model forms and subsampling strategies. *European Journal of Forest Research*, 130(2), 219-233.
- Li, R., Weiskittel, A., Dick, A. R., Kershaw Jr, J. A., & Seymour, R. S. (2012). Regional stem taper equations for eleven conifer species in the Acadian region of North America: development and assessment. *Northern Journal of Applied Forestry*, 29(1), 5-14.
- Liu, Y., Trancoso, R., Ma, Q., Yue, C., Wei, X., & Blanco, J. A. (2020). Incorporating climate effects in *Larix gmelinii* improves stem taper models in the Greater Khingan Mountains of Inner Mongolia, northeast China. *Forest Ecology and Management*, 464, 118065.
- Max, T. A., & Burkhart, H. E. (1976). Segmented polynomial regression applied to taper equations. *Forest Science*, 22(3), 283-289.
- Menéndez-Miguélez, M., Canga, E., Álvarez-Álvarez, P., & Majada, J. (2014). Stem taper function for sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) coppice stands in northwest Spain. *Annals of Forest Science*, 71(7), 761-770.
- Meydan-Aktürk, G. (2006). *Doğu Ladini (Picea orientalis (L.) Link) için Trigonometrik Gövde Çapı Denkleminin Oluşturulması*. (Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Mirov, N. T. (1967). *The Genus Pinus*. The Ronald Press Company.
- Moreira, F., Arianoutsou, M., Corona, P., & De las Heras, J. (2012). Post-fire management and restoration of southern European forests, managing forest ecosystems. *International Forestry Review*, 14(1), 120-127.
- Muhairwe, C. K. (1999). Taper equations for *Eucalyptus pilularis* and *Eucalyptus grandis* for the north coast in New South Wales, Australia. *Forest Ecology and Management*, 113(2-3), 251-269.
- Myers, R. H. (1990). *Classical And Modern Regression With Applications*. 2nd edition. Duxbury Press, Belmont.
- Newberry, J. D., Burkhart, H. E., & Amateis, R. L. (1989). Individual tree merchantable volume to total volume ratios based on geometric solids. *Canadian Journal of Forest Research*, 19(5), 679-683.
- Newnham, R. M. (1992). Variable-form taper functions for four Alberta tree species. *Canadian Journal of Forest Research*, 22(2), 210-223.
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı (2014). Orman Genel Müdürlüğü, Silvikültür Dairesi Başkanlığı, Silvikültürel Uygulamaların Teknik Esasları, Tebliğ No: 298

- Ormerod, D. W. (1973). A simple bole model. *The Forestry Chronicle*, 49(3), 136-138.
- Özcan, B. G. (2003). *Sahilçamı (Pinus pinaster Ait.) Ağaçlandırmalarında Artım ve Büyüme*. (Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Özçelik, R. (2010). Bucak Yöresi Kızılçam Sedir ve Toros Göknarı Türleri İçin Hacim Denklemleri. *Turkish Journal of Forestry*, 2, 1-15.
- Özçelik, R., & Brooks, J. R. (2012). Compatible volume and taper models for economically important tree species of Turkey. *Annals of Forest Science*, 69(1), 105-118.
- 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(1).
- Özçelik, R., Alkan, H. (2012). Okaliptüs Ağaçlandırmaları İçin Uyumlu Gövde Çapı ve Gövde Hacim Modellerinin Geliştirilmesi. *Kahramanmaraş Sütçüimam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi*, 15, 247-254.
- Özdemir, E. (2005). *Tek Ağaçta Artım ve Büyümenin Simulasyonu (Sahilçamı Örneği)*. (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Öztürk, O. N. (1998). Ülkemizde Hızlı Gelişen Türlerle Yapılan Çalışmaların Değerlendirilmesi, Hızlı Gelişen Türlerle Yapılan Ağaçlandırma Çalışmalarının Değerlendirilmesi ve Yapılacak Çalışmalar (Workshop). *Orman Bakanlığı, Yayın Dairesi Başkanlığı Yayın*, (083), 91-101.
- Pancoast, A. (2018). *Evaluation of Taper and Volume Estimation Techniques For Ponderosa Pine in Eastern Oregon and Eastern Washington*. (M.Sc Thesis, Oregon State University Graduate Admissions)
- Parresol, B. R., Hotvedt, J. E., & Cao, Q. V. (1987). A volume and taper prediction system for bald cypress. *Canadian Journal of Forest Research*, 17(3), 250-259.
- Parresol, B. R. (2003). Recovering Parameters of Johnson's SB Distribution. *US Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station*, 2, 9-31.
- Perez, D. N., Burkhart, H. E., & Stiff, C. T. (1990). A variable-form taper function for *Pinus oocarpa* Schiede in Central Honduras. *Forest Science*, 36(1), 186-191.
- Pinto, I., Pereira, H., & Usenius, A. (2004). Heartwood and sapwood development within maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) stems. *Trees*, 18(3), 284-294.

- Pompa García, M., Corral Rivas, J. J., Díaz Vásquez, M. A., & Martínez Salvador, M. (2009). Función de ahusamiento y volumen compatible para *Pinus arizonica* Engelm. En el suroeste de Chihuahua. *Ciencia forestal en México*, 34(105), 117-134.
- Poudel, K. P., & Cao, Q. V. (2013). Evaluation of methods to predict Weibull parameters for characterizing diameter distributions. *Forest Science*, 59(2), 243-252.
- Poudel, K. P., Temesgen, H., & Gray, A. N. (2018). Estimating upper stem diameters and volume of Douglas-fir and Western hemlock trees in the Pacific northwest. *Forest Ecosystems*, 5(1), 16.
- Quinonez-Barraza, G., De los Santos-Posadas, H. M., Alvarez-Gonzalez, J. G., & Velazquez-Martinez, A. (2014). Compatible taper and merchantable volume system for major pine species in Durango, Mexico. *Agrociencia (Montecillo)*, 48(5), 553-567.
- Rodríguez, F., & Torre, I. L. (2015). Comparison of stem taper equations for eight major tree species in the Spanish Plateau. *Forest systems*, 24(3), 2.
- Rojo, A., Perales, X., Sánchez-Rodríguez, F., Álvarez-González, J. G., & Von Gadow, K. (2005). Stem taper functions for maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) in Galicia (Northwestern Spain). *European Journal of Forest Research*, 124(3), 177-186.
- Saint-André, L., Laclau, J. P., Bouillet, J. P., Deleporte, P., Miabala, A., Ognouabi, N., & Moukini, R. (2002, September). Integrative modelling approach to assess the sustainability of the eucalyptus plantations in Congo. In *Fourth workshop, IUFRO Working Party S* (Vol. 5, pp. 8-15).
- Sakıcı, O. (2002). *Kastamonu Yöresi Uludağ Göknarı Meşcerelerinde Gövde Profili, Hacim, Hacim Oran Sistemlerinin Geliştirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Sánchez, C. A. L., Varela, J. G., Dorado, F. C., Alboreca, A. R., Soalleiro, R. R., González, J. G. Á., & Rodríguez, F. S. (2003). A height-diameter model for *Pinus radiata* D. Don in Galicia (Northwest Spain). *Annals of forest science*, 60(3), 237-245.
- Schroeder, T., Moisen, G., & Schleeweis, K. (2014). Testing alternative response designs for training forest disturbance and attribution models. *The International Forestry Review*, 16(5), 424.
- Schwarz, G. (1978). Estimating the dimension of a model. *The annals of statistics*, 6(2), 461-464.
- Scott, C. W. (1962). A summary of information on *Pinus pinaster*. In *Forestry Abstracts*, 23, 1-2.

- Sever, H. (2007). *Ağaçlı-İstanbul Maden Sahalarında Sahil Çamı (Pinus Pinaster Aiton.) Ağaçlandırmalarında Bazı Ölü Örtü ve Toprak Özellikleri*. (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Sevillano-Marco, E., Fernández-Manso, A., & Castedo-Dorado, F. (2009). Development and applications of a growth model for *Pinus radiata* D. Don plantations in El Bierzo (Spain). *Forest Systems*, 18(1), 64-80.
- Shahzad, M. K., Hussain, A., & Jiang, L. (2020). A model form for stem taper and volume estimates of Asian white birch (*Betula platyphylla*): a major commercial tree species of Northeast China. *Canadian Journal of Forest Research*, 50(3), 274-286.
- Sharma, M., & Oderwald, R. G. (2001). Dimensionally compatible volume and taper equations. *Canadian Journal of Forest Research*, 31(5), 797-803.
- Sharma, M., & Burkhart, H. E. (2003). Selecting a level of conditioning for the segmented polynomial taper equation. *Forest science*, 49(2), 324-330.
- Sharma, M., & Zhang, S. Y. (2004). Variable-exponent taper equations for jack pine, black spruce, and balsam fir in eastern Canada. *Forest ecology and management*, 198(1-3), 39-53.
- Sharma, M., & Parton, J. (2009). Modeling stand density effects on taper for jack pine and black spruce plantations using dimensional analysis. *Forest science*, 55(3), 268-282.
- Solomon, D. S., Droessler, T. D., & Lemin, R. C. (1989). Segmented quadratic taper equations for spruce and fir in the Northeast. *Northern Journal of Applied Forestry*, 6(3), 123-126.
- Şimşek, Y., Tulukçu, M., Toplu, F., Akkan, A. & Avcioğlu, E., (1985). *Türkiye’de ithal edilen hızlı büyüyen yabancı türlerin büyümeleri üzerine araştırmalar*. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Basımevi.
- Tang, X., Pérez-Cruzado, C., Fehrmann, L., Álvarez-González, J. G., Lu, Y., & Kleinn, C. (2016). Development of a compatible taper function and stand-level merchantable volume model for Chinese fir plantations. *PloS one*, 11(1), e0147610.
- Tasissa, G., & Burkhart, H. E. (1998). An application of mixed effects analysis to modeling thinning effects on stem profile of loblolly pine. *Forest ecology and management*, 103(1), 87-101.
- Taşdemir, C. (1996). *Türkiye’de Hızlı Gelişen Yabancı Tür Ağaçlandırmalarının Adaptasyon ve Gelişme Yönünden İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

- Tecimen, H. B. (2005). *Dikimle Yetiştirilmiş Sahilçamı (Pinus pinaster Aiton) Ormanında Ayıklama İşlemlerinin Meşceredeki Azot Dolaşımına ve Ağaçların Gelişimine Etkileri*. (Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Toplu, F. & Bozkuş, S. (1988). Marmara ve Batı Karadeniz Bölgelerinde Hızlı Gelişen Türlerle Tesis Edilen Deneme ve Ağaçlandırmalarda Kar Zararları. *Kavak ve Hızlı Gelişen Yabancı Tür Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 1, 15-29.
- Tunçtaner, K. (2007). Orman Genetiği ve Ağaç Islahı. *Türkiye Ormancılar Derneği Eğitim Dizisi*, 4, 364.
- Tunçtaner, K., Tulukçu, M. & Toplu, F. (1988). Sahilçamı (*Pinus pinaster* Aiton.) Orijinlerinin MorfoGenetik Özellikleri ve Büyüme Performansları Üzerine Araştırmalar, Kavak ve Hızlı Gelişen Yabancı Tür Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten No: 144, İzmit.
- Viñas, R. A., Caudullo, G., Oliveira, S., & de Rigo, D. (2016). *Pinus pinaster* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. *European Atlas of Forest Tree Species; Publications Office of the European Union: Luxembourg*.
- Westfall, J. A., & Scott, C. T. (2010). Taper models for commercial tree species in the Northeastern United States. *Forest Science*, 56(6), 515-528.
- Xu, W. (2012). Modelling Jack Pine (*Pinus banksiana* Lamb) and Black Spruce [*Picea mariana* (Mill.) BSP] growth and yield in Manitoba.
- Yang, Y., Huang, S., Trincado, G., & Meng, S. X. (2009). Nonlinear mixed-effects modeling of variable-exponent taper equations for lodgepole pine in Alberta, Canada. *European Journal of Forest Research*, 128(4), 415-429.
- Yavuz, H. (1995). *Taşköprü Orman İşletmesinde Sarıçam ve Karaçam İçin Uyumlu Gövde Çapı, Gövde Hacmi ve Hacim Oran Denklem Sistemlerinin Geliştirilmesi*. (Basılmamış Doçentlik Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Mühendisliği Bölümü Orman Amenajmanı Anabilim Dalı)
- Yavuz, H., & Saraçoğlu, N. (1999). Compatible and Noncompatible Stem Taper Equations for Alder. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23(EK5), 1275-1282.
- Zakrzewski, W. T., & MacFarlane, D. W. (2006). Regional stem profile model for cross-border comparisons of harvested red pine (*Pinus resinosa* Ait.) in Ontario and Michigan. *Forest Science*, 52(4), 468-475.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Utkun KARAKUYU
Doğum Yeri ve Yılı : Mersin, 1983
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : karakuyuutkun@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Tarsus Endüstri Meslek Lisesi, 2000
Ön Lisans: : SDÜ, Atabey Meslek Yüksek Okulu, 2005
Lisans : Anadolu Üniversitesi, İşletme Fakültesi, 2010
Lisans : İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, 2017

Mesleki Deneyim

Orman Genel Müdürlüğü 2006 - ... (halen)