

İstanbul-Sarıyer Yöresi sahil çamı ağaçlandırmaları için gövde çapı modelleri

Utkun Karakuyu^{a,*}, Ramazan Özçelik^b

Özet: 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. Çalışma kapsamında toplam 194 örnek ağaç üzerinde yapılan detaylı ölçümlerden yararlanılmıştır. Modellerin geliştirilmesi için en küçük kareler yöntemi kullanılmıştır. Gövde çapı modellerinin geliştirilmesi sırasında karşılaşılan otokorelasyon probleminin çözümü için ikinci derece otoregresif hata yapısı (CAR(2)) ve çoklu bağıntı probleminin varlığının araştırılması için koşul sayıları kullanılmıştır. Modellerin performansları çap, boy, ticari hacim ve toplam ağaç hacmi tahminleri açısından değerlendirilmiştir. Bu amaçla beş farklı ölçüt (R^2 , RMSE, AIC, BIC ve AAE) kullanılmıştır. Ölçüt değerleri incelendiğinde; çap tahminlerinde Kozak (2004), ağaç boyu, ticari ve toplam hacim tahminlerinde ise Fang vd. (2000) tarafından geliştirilen modelin daha başarılı olduğu görülmüştür. Ancak tahmin performansları açısından modeller arasında önemli farklılıkların olmadığı da söylenebilir. Bu nedenle, sahil çamı plantasyonlarında yapılacak gövde çapı ve hacim tahmini çalışmalarında hangi modelin tercih edileceğine uygulayıcının karar vermesi daha doğru olacaktır.

Anahtar kelimeler: Çap, Otokorelasyon, Gövde formu, Parçalı model, Hacim tahmini

Stem taper models for maritime pine plantations in Istanbul Sarıyer Region

Abstract: Maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) is one of the most important tree species in Turkey for establish industrial plantations. In this study, stem taper models were developed for maritime pine plantations in İstanbul-Sarıyer region. For this aim, two commonly used and well-known taper models belonging to different groups (segmented and variable-form) were evaluated. In this frame, totally 194 destructively sampled trees were used. The equations were fitted with ordinary nonlinear least squares method. We incorporated a second-order continuous-time autoregressive error structure (CAR(2)) to address of autocorrelation problem and used condition numbers to detect presence of multicollinearity. The predictive performance of the taper models was evaluated using five different evaluation criteria (R^2 , RMSE, AIC, BIC, and AAE). According to evaluation statistics, Fang et al. (2000) model provided better results than the Kozak (2004) model for height at a specific diameter, merchantable volume and total volume predictions except for diameter at a specific height. However, there are no significant differences among both models in terms of prediction performance of the models. Therefore, it will be more reasonable for the decision maker to decide which model will be preferred in maritime pine plantations.

Keywords: Diameter, Autocorrelation, Stem form, Segmented model, Volume estimation

1. Giriş

Orman kaynaklarının etkin bir şekilde planlanabilmesi, orman ekosisteminin en önemli öğelerinden birisi olan ağaç türlerine ilişkin büyüme ve hasılat modellerini gerekli kılmaktadır. 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 projeksiyonların yapımında (Fang vd., 2000), orman sağlığı ve verimliliğinin izlenmesinde (Castedo-Dorado vd., 2012), orman biyokütlesinin tahmini ve buna bağlı karbon birikiminin hesaplanmasında (Parresol, 2003; Eker vd., 2017; Eker ve Özçelik, 2017; Poudel vd., 2018) ve üretim planlamaları, uygun üretim sistemlerinin belirlenmesi ve uzun dönemli ekonomik analizlerin yapımında (Pancoast, 2018) karar vericiler için önemli bir parametredir.

Bugün ülkemizde tek ağaç ve meşcere hacim tahminleri için kullanılmakta olan yöresel ya da genel hacim tabloları; değişen ve çeşitlenen ticari standartları karşılamakta yetersiz kalmaktadır (Özçelik vd., 2018). 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 yarım asırdır yaygın olarak kullanılmakta olan gövde çapı modelleri, doğru ve farklı ticari standartları karşılamak konusunda kullanılan en yaygın yaklaşımlardan birisi olmuştur (Jiang vd., 2005; Shahzad vd., 2020). Kozak (2004) tarafından da ifade edildiği gibi, gövde çapı modelleri, 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.

✉ ^a Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta

^b Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Orman Fakültesi, Isparta

@ * **Corresponding author** (İletişim yazarı): karakuyuutkun@gmail.com

✓ **Received** (Geliş tarihi): 27.08.2020, **Accepted** (Kabul tarihi): 19.11.2020



Citation (Atf): Karakuyu, U., Özçelik, R., 2020. İstanbul-Sarıyer Yöresi sahil çamı ağaçlandırmaları için gövde çapı modelleri. Turkish Journal of Forestry, 21(4): 373-382. DOI: [10.18182/tjf.786210](https://doi.org/10.18182/tjf.786210)

Farklı araştırmacılar tarafından yapılan sınıflandırmalarda (Diéguez-Aranda vd., 2006; Sakıcı vd., 2008; Sharma ve Parton 2009; Li ve Weiskittel, 2010; Sakıcı ve Özdemir, 2018; Liu vd., 2020; Shahzad vd., 2019; 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 gruba ayrılmaktadır. Basit gövde çapı modellerinin, genel olarak gövdenin orta bölümü için gerçeğe yakın tahminler yapılmasına imkân verirken, gövdenin dip ve uç kısımları için hatalı sonuçlar verdiği ifade edilmektedir (Jiang vd., 2005; Crecente-Campo vd., 2009; Li ve Weiskittel, 2010; Rodríguez 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 tanımlamakta ve bu farklı bölümleri katılım noktaları ile birleştirmektedir. 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; Alkan vd., 2019). 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 modellerinin, gövde hacmi ya da ticari hacim tahminleri için modelin integrali alınarak doğrudan hacim denkleminde dönüştürülemedikleri için önemli bir dezavantaja sahip oldukları da ifade edilmektedir (Jiang vd., 2005; Özçelik ve Alkan, 2012; Özçelik ve Crecente-Campo, 2016; Shahzad vd., 2020).

Kozak ve Smith (1993) iyi bir gövde çapı modelinin hem minimum varyans ile eğilimsiz çap tahminleri yapabilmesi hem de farklı ağaç türleri için kullanılabilir bir esnekliğe sahip olması ve gövde hacminin doğru tahminine imkân vermesi gerektiğini ifade etmiştir. Günümüze kadar farklı ağaç türleri için gövde çapı modelleri geliştirilmiş ve sınırlı sayıda ve farklı formdaki modellerin tahmin performansları karşılaştırılmıştır. Rojo vd. (2005) tarafından yapılan çalışmada, İspanya'daki sahil çamı için gövde çapı tahminleri amacıyla 31 farklı model karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, Kozak (2004) tarafından geliştirilen gövde çapı modeli ile en doğru çap tahminleri gerçekleştirilmiştir. Ancak Rojo vd. (2005) tarafından yapılan çalışmada, gövde çapı modellerinin hacim tahminlerindeki performansları karşılaştırılmamıştır. Diéguez-Aranda vd. (2006) tarafından yapılan çalışmada ise, karşılaştırılan farklı formdaki gövde çapı modelleri arasında hem çap hem de gövde hacmi tahminleri açısından en başarılı model formunun Fang vd. (2000) tarafından geliştirilen parçalı gövde çapı modeli olduğu ortaya konmuştur. Yine Shahzad vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada da gövde çapı ve hacim tahminleri açısından farklı formlarda sekiz gövde çapı modeli karşılaştırılmış ve en başarılı sonuçlar Fang vd. (2000) tarafından geliştirilen model ile elde edilmiştir. Diğer yandan Shahzad vd. (2020) tarafından Kuzeydoğu Çin'deki *Betula platyphylla* türü için yapılan çalışmada ise; iki parçalı gövde çapı modeli ile bir

adet değişken şekil gövde çapı modeli karşılaştırılmış ve Max ve Burkhardt (1976) tarafından geliştirilen gövde çapı modelinin en başarılı model olduğu görülmüştür. Liu vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada ise yine Kuzeydoğu Çin'deki *Larix gmelinii* türü için farklı formdaki gövde çapı modelleri karşılaştırılmış ve en başarılı sonuçlar Kozak (2004) gövde çapı modeli ile elde edilmiştir. Görüldüğü gibi, gövde çapı modelleri tür temellidir ve çap tahminlerinde modellerin başarısı ağaç türüne ve yöreye göre değişkenlikler gösterebilmektedir (Sharma ve Zhang, 2004; Li ve Weiskittel, 2010). 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).

Son yıllarda, orman ürünleri endüstrisindeki gelişmelere bağlı olarak çeşitli nitelik ve standartlardaki orman ürünlerine olan talepte önemli oranda artışlar gözlenmektedir. Buna karşın, 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, diğer taraftan da doğal orman alanları üzerindeki baskıların azaltılabilmesi amacıyla, endüstriyel plantasyonların önemi bir kat daha artmıştır. 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 tükeneceği ifade edilmektedir. Carle vd. (2009) ise, günümüzde doğal ormanların mevcut endüstriyel odun ihtiyacının sadece %35'ini karşılayabildiği, bu oranın 2020 yılında %40'lar seviyesinde olacağını 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 kurulmuş ve halen de kurulmaktadır.

Endüstriyel odun ihtiyacını karşılamak amacıyla ağaçlandırma çalışmalarında kullanılabilir önemli ağaç türlerinden birisi sahil çamı (*Pinus pinaster* Ait.)'dir. Amerika'da ve Meksika'da doğal olarak yayılış gösteren bu tür, özellikle Yeni Zelanda, Şili, Güney Afrika ve Güneybatı Avrupa'da önemli plantasyon alanlarına sahiptir. Avrupa'da ise, özellikle İspanya'nın Bask bölgesinde büyük sahil çamı plantasyonları bulunmaktadır. 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 Bölgelerindedir. Sahil çamının kanaatkâr bir tür olması 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 etmektedir.

Ülkemizde gerek endüstriyel odun ihtiyacını karşılamak gerekse toprak muhafaza çalışmaları amacıyla tesis edilen ağaç türlerinin büyüme ve hasılatına ilişkin olarak sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda, Marmara ve

Karadeniz Bölgelerindeki sahil çamı plantasyonlarının büyüme ve gelişme özellikleri araştırılmıştır (Birler ve Yüksel, 1983; Özcan, 2003; Tecimen, 2005; Özdemir, 2005; Ercanlı vd., 2008; Balekoğlu, 2015).

Sahil çamı ile ilgili olarak yukarıda belirtilen kimi çalışmalar bulunmasına karşın, özellikle İstanbul-Sarıyer yöresi sahil çamı ağaçlandırmaları için gerçeğe yakın hacim tahminleri yapılmasına imkân veren ve farklı ticari standartları karşılayacak denklem sistemleri geliştirilmemiştir. Bu çalışmayla, ilgili yöre için güvenilir hacim tahminlerine yardımcı olmak amacıyla gövde çapı modellerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında Fang vd. (2000) tarafından geliştirilen parçalı gövde çapı modeli ile Kozak (2004) tarafından geliştirilen değişken şekil gövde çapı modeli karşılaştırılmış ve İstanbul Sarıyer yöresi sahil çamı plantasyonları için en uygun model formunun belirlenmesine çalışılmıştır.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

Bu çalışma için gerekli örnek ağaç verileri, İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü, Bahçeköy Orman İşletme Müdürlüğü, Sarıyer Orman İşletme Şenliği'ndeki I. Bonitet için 3.00 x 3.00 m, II. Bonitet için ise 3.00 x 2.00 m aralık-mesafe ile dikilmiş sahil çamı plantasyonlarından sağlanmıştır. 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 bireylerin seçilmemesine azami özen gösterilmiştir. 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 yüksekliklerdeki (h) 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.

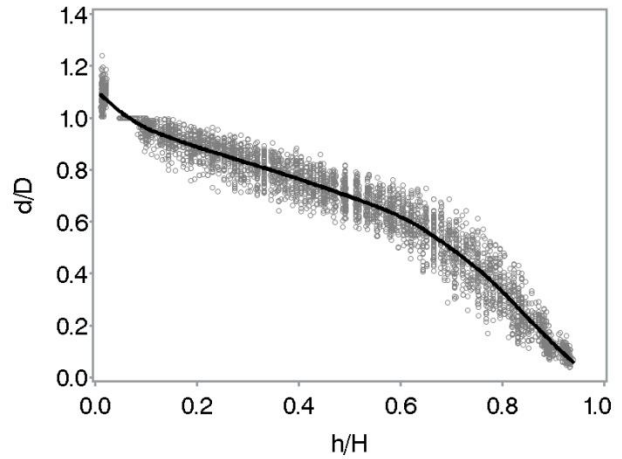
Elde edilen veriler, ölçüm yanlışlıkları veya ölçüm değerlerinin yanlış yazılması gibi nedenlerle ortaya çıkabilecek hataların belirlenmesi ve arazide örnek ağaçlar üzerinde var olan farklı dezenformasyonların neden olduğu kimi anormal verilerin ortaya çıkarılması amacıyla, nispi çap değerlerine karşılık gelen nispi boy değerleri grafik üzerinde görsel olarak değerlendirilirken, diğer yandan Bi (2000) tarafından önerilen "Sistemik Yaklaşım" kullanılarak veri yapısındaki anormal ya da aşırı değerler ortaya çıkarılmıştır. Bu yöntemlere ilişkin grafik Şekil 1'de ve çalışma kapsamında kullanılmasına karar verilen nihai verilere ilişkin nitelendirici istatistikler Çizelge 1'de verilmiştir.

2.2. Yöntem

2.2.1. Gövde çapı modelleri

Yüz yılı aşkın bir zamandır farklı formlarda gövde çapı modelleri geliştirilmiştir (Max ve Burkhardt, 1976; Cao vd., 1980; Clark vd., 1991; Bi, 2000; Fang vd., 2000; Kozak, 2004; Zakrzewski ve MacFarlane, 2006; Li vd., 2012). Bu çalışma kapsamında, Rojo vd. (2005), Diéguez-Aranda vd. (2006), Li ve Weiskittel (2010) ve Schröder vd. (2015) tarafından da önerilen Fang vd. (2000) ve Kozak (2004) tarafından geliştirilen gövde çapı modelleri kullanılmıştır.

Fang vd. (2000) tarafından geliştirilen parçalı gövde çapı modeli; ağaç gövdesinin değişken şekil faktörü ile üç parçaya sahip olduğunu kabul etmekte ve bir gövde çapı modeli, bir toplam ağaç hacim denklemi ve bir ticari hacim denkleminin oluşmaktadır. 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. Bu gövde çapı modellerine ilişkin denklemler Çizelge 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Sahil çamı için nispi çap değerlerinin nispi boy değerlerine dağılımı

Çizelge 1. Gövde çapı modellerinin geliştirilmesi amacıyla ölçülen değişkenlere ilişkin nitelendirici istatistikler.

Değişkenler	Ortalama	S.D.	Minimum	Maksimum
D (cm)	35.30	7.10	21.00	66.30
H (m)	21.40	3.20	14.00	28.00
d (cm)	24.00	10.90	2.00	70.40
h (m)	10.01	6.17	0.30	26.30
V (m ³)	1.09	0.56	0.28	3.66

D : kabuklu göğüs çapı; H : toplam ağaç boyu; d : h yüksekliğindeki kabuklu gövde çapı; V : kabuklu gövde hacmi.

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan gövde çapı modelleri ve uyumlu hacim sistemleri

Model	Denklem
Kozak (2004)	$d = b_1 D^{b_2} H^{b_3} x^{b_4} Z^4 + b_5 (1/e^{D/H}) + b_6 x^{0.1} + b_7 (1/D) + b_8 H^w + b_9 x$ <p>burada: $x = w / (1 - (1.3/H)^{1/3})$, $w = 1 - Z^{1/3}$, $Z = h/H$</p>
Fang vd. (2000)	$d = c_1 \sqrt{H^{(k-b_4)/b_4} (1-Z)^{(k-b)/b} \alpha_1^{I_1+I_2} \alpha_2^{I_2}}$ <p>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), $b = b_4^{1-(I_1+I_2)} b_5^{I_1} b_6^{I_2}$,</p> $\alpha_1 = (1-p_1)^{(b_5-b_4)k/b_4 b_5}$, $\alpha_2 = (1-p_2)^{(b_6-b_5)k/b_5 b_6}$, $r_0 = ((1-h_{st})/H)^{k/b_4}$, $r_1 = (1-p_1)^{k/b_4}$, $r_2 = (1-p_2)^{k/b_5}$, $c_1 = \sqrt{\frac{b_1 D^{b_2} H^{b_3-k/b_4}}{b_4(r_0-r_1) + b_5(r_1-\alpha_1 r_2) + b_6 \alpha_1 r_2}}$, Dip çaptan itibaren ticari (v) ve toplam (V) hacimler için uyumlu modeller: $v = c_1^2 H^{k/b_4} (b_4 r_0 + (I_1 + I_2)(b_5 - b_4) r_1 + I_2 (b_6 - b_5) \alpha_1 r_2 - \beta (1-Z)^{k/\beta} \alpha_1^{I_1+I_2} \alpha_2^{I_2})$ $V = b_1 D^{b_2} H^{b_3}$

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.

2.2.2. İstatistiksel analiz

En küçük kareler yöntemi (*OLS*) 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, *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 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 karekökü olarak ifade edilmektedir. Belsey (1991)'e göre 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 probleminin varlığını göstermektedir.

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 kaldırmak için otoregresif hata yapısı (CAR(x)) kullanılmıştır. Bu amaçla, otoregresif hata yapısının farklı dizinleri kullanılmış ve her ağaç için gözlemlerin artıklarına karşılık gelen temsili örneklerin artıkları görsel olarak araştırılmıştır. Bu amaçla SAS istatistiksel analiz

programındaki MODEL prosedürü kullanılmıştır (SAS Institute, 2008).

2.2.3. Model performanslarının değerlendirilmesinde kullanılan ölçütler

Geliştirilen gövde çapı modellerin tahmin performansları; 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 kullanılarak karşılaştırılmıştır. Bu ölçüt değerleri içerisinde, *RMSE* hem ortalama hata ve hem de hata dağılımın varyansını içermesi nedeniyle önemli bir ölçüt değeridir. Bu değerlerin elde edilmesi için aşağıdaki formüller kullanılmıştır.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-p}} \quad (4)$$

$$AIC = n \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{n} \right] + 2p \quad (5)$$

$$BIC = n \log \left(\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 / n \right) + p \log n \quad (6)$$

$$OMH = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|}{n} \quad (7)$$

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); gövde çapı modellerinin bağımsız bir veri seti ile geçerliliğinin testinin önemli olduğunu belirtmektedir. 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 kullanılacak 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, ticari hacim ve toplam hacim tahminleri bakımından test edilen modellerin karşılaştırılması amacıyla bağımsız bir veri grubu kullanılmamıştır.

Çalışmada en başarılı modelin seçimi amacıyla Poudel ve Cao (2013) tarafından önerilen nisbi sıralama sistemi kullanılmıştır. Bu yeni sistem, geleneksel sıralama yöntemlerinden farklıdır. Geleneksel sıralama yöntemlerinde modeller 1'den N 'e kadar sıralanmakta ve modellerin birbiri ile durumları ve pozisyonları tam olarak ortaya konamamaktadır. 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 nispi sırası aşağıdaki formül yardımı bulunabilmektedir:

$$R_i = 1 + \frac{(m-1)(S_i - S_{min})}{S_{max} - S_{min}} \quad (8)$$

Burada R_i i . metodun nisbi sırasını, S_i i . metod 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 bilgiler Poudel ve Cao (2013)'ten elde edilebilir.

3. Bulgular

3.1. Otokorelasyon ve Çoklu-Bağıntı problemlerine ilişkin bulgular

Gövde çapı modellerinin geliştirilmesi ve analiz edilmesinde en çok karşılaşılan problemler, çoklu-bağıntı ve otokorelasyon problemleridir. Bu nedenle, gövde çapı modellerinin geliştirilmesinde otokorelasyon probleminden kaçınabilmek ve çoklu-bağıntı problemini azaltabilmek için uygun istatistiksel yaklaşımların seçilmesi gerektiği belirtilmektedir (LeMay vd., 1993; Kozak, 1997). Çoklu-bağıntı probleminin ortaya çıkarılmasında Koşul Sayısı (Condition Number-CN); otokorelasyon probleminin ortadan kaldırılması için ise farklı otoregresif hata yapıları ($CAR(x)$) kullanılmıştır.

Gövde çapı modelleri geliştirmek amacıyla otokorelasyonun varlığı dikkate alınmaksızın modeller test edildiğinde her iki modelin artıkları benzer bir eğilim göstermiş ve ortaya çıkan hata değerleri ile eklemeli hataların (Lag hata) doğrusal bir korelasyon gösterdiği görülmüştür. Modele I. derece otoregresif hata yapısı eklendiğinde ($CAR(1)$), otokorelasyon probleminin kısmen ortadan kalktığı; II. derece otoregresif hata yapısı

eklendiğinde ($CAR(2)$) ise, otokorelasyon probleminin neredeyse ortadan kalktığı görülmektedir (Şekil 2).

Sahil çamı için test edilen modellerin her ikisinin de orta derecede çoklu-bağıntı problemine sahip olduğu görülmektedir (Çizelge 3). Sahil çamı ağaçları için Kozak (2004) ve Fang vd. (2000) modelleri için koşul sayıları sırasıyla 99 ve 66 olarak bulunmuştur. Crecente-Campo vd. (2009) tarafından da belirtildiği gibi, bu durum modellerin pratik olarak kullanılmasında bir sorun ortaya çıkarmamaktadır.

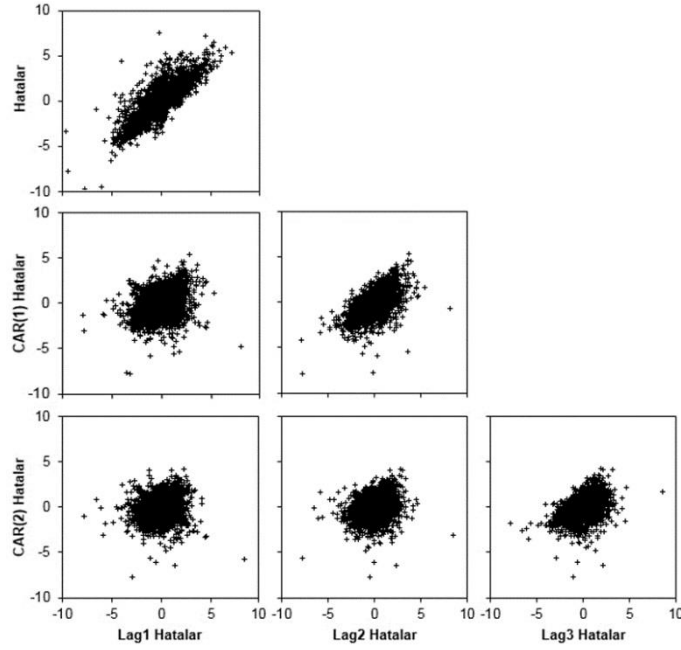
3.2. Geliştirilen gövde çapı modellerine ilişkin bulgular

Fang vd. (2000) ve Kozak (2004) modelleri için elde edilen parametre tahminleri ve bunlara ilişkin standart hata değerleri Çizelge 3'de verilmiştir. Test edilen tüm modeller için parametre tahminleri $p < 0.0001$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Gövde çapı modellerinin çap tahminlerindeki başarısına ilişkin ölçüt değerleri Çizelge 4'de verilmiştir. Çizelge 4'ün incelenmesinde de görüleceği gibi Fang vd. (2000) ve Kozak (2004) tarafından geliştirilen modeller, gövde çapı tahminlerindeki varyansın %98'den daha fazlasını açıklamaktadır. Çizelge 4'deki sonuçlar incelendiğinde çap tahminleri için tüm ölçüt değerleri açısından Kozak (2004) tarafından geliştirilen modelin daha başarılı olduğu görülmektedir.

Şekil 3'te ise çalışmada kullanılan modellere ilişkin hataların nispi çap ve boy sınıfları itibarıyla dağılımı ve değişimi gösterilmiştir. Şekil 3'ün ilk satırından da görüleceği gibi, Kozak (2004) modeline ilişkin hataların genel olarak her nispi boy sınıfı için homojen olduğu, sadece ağaç boyunun ilk %10'luk ve %70-90'lık kısmında nispeten daha yüksek varyasyona sahip olduğu söylenebilir. Çalışma kapsamında değerlendirilen her iki model de %0-10 ve %65-85 arasındaki nispi boylar için daha yüksek standart hata ortaya çıkarmıştır.

Çizelge 3. Test edilen modeller için parametre tahminleri, standart hata değerleri ve koşul sayıları (CN)

Model parametreleri	Kozak (2004)	Fang vd. (2000)
b_1	1.0331 (0.0385)	0.000048 (24×10^{-7})
b_2	0.9697 (0.0106)	1.8106 (0.0191)
b_3	0.0233 (0.0151)	1.1295 (0.0253)
b_4	0.7236 (0.0190)	0.000021 (37×10^{-8})
b_5	-0.8426 (0.0701)	0.000038 (25×10^{-8})
b_6	0.3756 (0.0146)	0.000024 (23×10^{-8})
b_7	3.0264 (0.6561)	
b_8	0.0011 (0.0045)	
b_9	0.0246 (0.0371)	
p_1		0.1125 (0.0033)
p_2		0.6509 (0.0030)
CN	99	66



Şekil 2. Çap tahmininde ortaya çıkan artıklar için, Kozak vd. (2004) modelinin parametreleri arasında otokorelasyon olmadığı düşüncesiyle testi (ilk satır) ve birinci ve ikinci derece otoregresif hata yapısı ile testi (sırasıyla ikinci ve üçüncü satırlar)

Çizelge 4. Test edilen modellere ilişkin ölçüt değerleri

Değişkenler	Ölçütler	Kozak (2004)	Fang vd. (2000)
Çap	R^2	0.9887	0.9877
	RMSE	1.1625	1.2117
	AIC	1173	1491
	BIC	1239	1551
	OMH	0.8906	0.9286
Boy*	R^2	0.9541	0.9563
	RMSE	1.2672	1.2351
	AIC	1743	1555
	BIC	1797	1602
	OMH	0.9134	0.9249
Ticari hacim**	R^2	0.9842	0.9849
	RMSE	0.0684	0.0667
	AIC	-20651	-20842
	BIC	-20597	-20782
	OMH	0.0439	0.0431
Toplam hacim	R^2	0.9715	0.9728
	RMSE	0.0941	0.0921
	AIC	-906	-914
	BIC	-879	-883
	OMH	0.0968	0.0666

R^2 , Belirtme katsayısı; RMSE, Hata kareler ortalamasının karekökü; AIC, Akaike bilgi kriteri; BIC, Bayesian bilgi kriteri; OMH, Ortalama mutlak hatayı ifade etmektedir.

*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.

3.3. Boy tahminlerine ilişkin bulgular

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 her iki gövde çapı modelinin boy tahminlerindeki başarısına ilişkin ölçüt değerleri Çizelge 4’de verilmiştir. Çizelge 4’ün incelenmesinden de

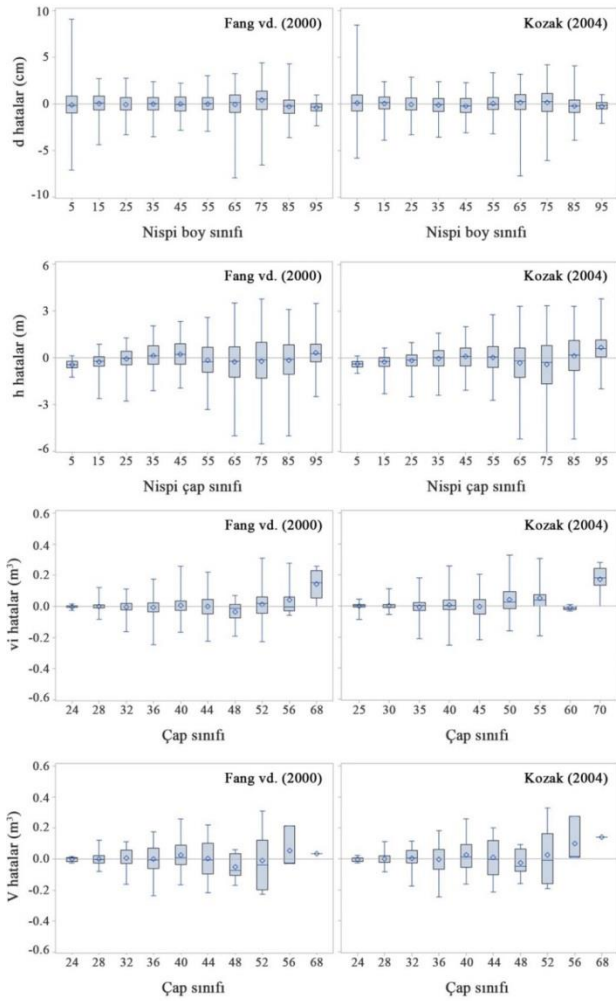
görülebileceği gibi Fang vd. (2000) ve Kozak (2004) tarafından geliştirilen modeller boy tahminlerindeki varyasyonun %95’inden fazlasını açıklayabilmektedir. Çizelge 4’teki sonuçlar incelendiğinde; boy tahminleri için tüm ölçüt değerleri açısından en başarılı modelin Fang vd. (2000) tarafından geliştirilen model olduğu görülmektedir.

Şekil 3’ün ikinci satırında çalışmada kullanılan modellere ilişkin hataların nispi çap sınıfları itibariyle dağılımı ve değişimi gösterilmiştir. Şekil 3’ün ilgili kısmından da görüleceği gibi, tüm modeller özellikle ağaç gövdesinin %65-95 arasındaki nispi 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 nispi çap sınıfları için farklılık göstermekle birlikte çoğunlukla boy tahminlerinde gerçek değerden daha yüksek sonuçlar üretmiştir.

3.4. Ticari hacim tahminlerine ilişkin bulgular

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

Çalışmada kullanılan iki gövde çapı modelinin ticari hacim tahminlerindeki başarısına ilişkin ölçüt değerleri Çizelge 4’te verilmiştir. Çizelge 4’ün 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’teki sonuçlar incelendiğinde, ticari hacim tahminleri için tüm ölçüt değerleri açısından Fang vd. (2000) tarafından geliştirilen modelin Kozak (2004)’e göre daha başarılı olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Sahil çamı için çap, boy, ticari ve toplam hacim tahminleri amacıyla test edilen modeller için ortaya çıkan artıkların nispi boy (yüzde), nispi çap (yüzde) ve çap sınıflarına (cm) dağılımı. Kare işareti, çap sınıfına ilişkin tahmin hatalarının ortalamasını; kutular hataların yayılma alanını; yukarı ve aşağı uzanan dikey çizgiler ise, maksimum ve minimum çap tahmin hatalarını temsil etmektedir.

Şekil 3'ün üçüncü satırında ise modellere ilişkin hacim tahmin hatalarının çap sınıfları itibariyle dağılımı gösterilmiştir. Şekil 3'ten de görüleceği gibi, her iki model de özellikle büyük çap sınıfları için daha yüksek hata ve varyasyon değerleri üretmiştir. Her iki model de 50 cm'den daha büyük çap değerleri için gerçek ticari hacim değerlerinden daha küçük hacim değerleri ortaya çıkarmıştır.

3.5. Toplam hacim tahminlerine ilişkin bulgular

Gövde çapı modellerinin toplam hacim tahminlerindeki başarısına ilişkin ölçüt değerleri Çizelge 4'de verilmiştir. Çizelge 4'ün incelenmesinde de görüleceği gibi, toplam hacim tahminlerindeki varyasyon incelendiğinde, her iki model de toplam hacim tahminlerindeki varyasyonun %97'den daha fazlasını açıklayabilmektedir. Toplam hacim tahminleri bakımından da Fang vd. (2000) tarafından geliştirilen model ile elde edilen sonuçların Kozak (2004)

tarafından geliştirilen model ile elde edilenlerden daha başarılı olduğu görülmektedir.

Şekil 3'ün son satırında ise çalışmada kullanılan modellere ilişkin hataların çap sınıfları itibariyle dağılımı gösterilmiştir. Şekil 3'ten de görüleceği gibi, her iki model de özellikle büyük çap sınıfları için daha yüksek hata ve varyasyon değerleri üretmiştir.

Elde edilen bu sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, en başarılı sonuçların, çap tahminleri için Kozak (2004), boy, ticari ve toplam hacim tahminleri için ise Fang vd. (2000) tarafından geliştirilen model ile elde edildiği 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. Çap tahminlerinde Kozak (2004) tarafından geliştirilen model en başarılı model olmasına rağmen, boy, ticari hacim ve toplam hacim tahminlerinde Fang vd. (2000) modeline göre daha başarısız olmuştur. Benzer sonuçlar Li ve Weiskittel (2010) ve Schröder vd. (2015) 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. (2015) 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 değerlendirilmesinin mutlaka hem çap hem de hacim tahminleri için yapılmasını zorunlu kılmaktadır (Li ve Weiskittel, 2010; Fortin vd., 2013; Schröder vd., 2015).

3.6. Karşılaştırılan modeller için genel değerlendirme

Çalışma kapsamında Fang vd. (2000) ve Kozak (2004) tarafından geliştirilen gövde çapı modelleri İstanbul-Sarıyer yöresi sahil çamı plantasyonları için çap, boy, ticari hacim ve toplam hacim tahminleri açısından karşılaştırılmış ve her bir değişken için elde edilen ölçüt değerleri Çizelge 4'de verilmiştir. Değişkenler (çap, boy, ticari hacim ve toplam hacim) için Çizelge 4'de verilen ölçüt değerleri ve Poudel ve Cao (2013) tarafından geliştirilen nisbi sıralama sistemi kullanılarak genel bir değerlendirme yapılmıştır. Bu değerlendirme sonucunda; Çizelge 5'de modellerin genel sıralama değerleri görülmektedir. Genel sıralama değerlerine göre, Fang vd. (2000) tarafından geliştirilen modelin, Kozak (2004) tarafından geliştirilen gövde çapı modeline göre nispeten daha başarılı olduğu görülmektedir.

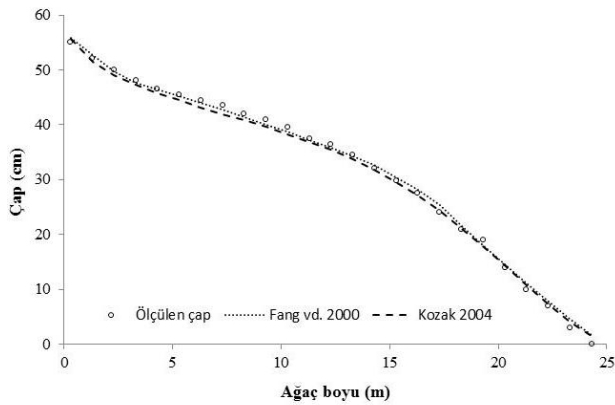
Çizelge 5. Fang vd. (2000) ve Kozak (2004) modelleri için nispi sıra değerleri

Modeller	Değişkenler					
	Çap (d)	Boy (h)	Ticari hacim (vi)	Toplam hacim (V)	Toplam	Genel toplam
Kozak (2004)	1.00	2.00	2.00	2.00	7.00	2.00
Fang vd. (2000)	2.00	1.00	1.00	1.00	5.00	1.00

Elde edilen sayısal ve grafiksel sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, test edilen modeller arasında önemli farklılıkların olmadığı görülmektedir. Her iki modelin de sahil çamı plantasyonlarında çap ve hacim tahminleri için kullanılabilmesi ifade edilebilir. Modellerin özellikle çap tahminlerinde nispi 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 problemidir. 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 gövde çapı modellerinin 25 metre boyunda ve 52 cm göğüs çapına sahip bir ağacın farklı yüksekliklerdeki çap değerlerinin tahminine ilişkin grafiksel değerlendirme ise Şekil 4'te verilmiştir. Şeklin incelenmesinden de görüleceği gibi, ölçülen değerlere en yakın tahminler çap tahminlerinde en başarılı olarak ortaya çıkan Kozak (2004) ile elde edilmiştir. Ancak iki model arasında çap tahmini açısından önemli bir fark görülmemektedir.



Şekil 4. Gövde çapı modelleri için elde edilen ağaç gövde profilleri

4. Sonuç ve öneriler

Çalışma kapsamında, Sarıyer yöresi sahil çamı plantasyonları 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) ve Kozak (2004) tarafından geliştirilen gövde çapı modelleri seçilmiştir. Bu modellerden ilki parçalı gövde çapı modeli, diğeri ise değişken şekil gövde çapı modelidir.

Modellerin geliştirilmesi sırasında ortaya çıkan otokorelasyon probleminin üstesinden gelinebilmesi ve çoklu-bağıntı sorununun varlığını araştırmak üzere uygun model yapıları seçilmiştir. Otokorelasyon sorununun ortadan kaldırılması için modele ikinci derece otoregresif hata yapısı (CAR(2)) eklenmiş, 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 kullanılmıştır. Ölçüt değerleri incelendiğinde; çap tahminlerinde Kozak (2004), ağaç boyu, ticari ve toplam hacim tahminlerinde ise Fang vd. (2000) tarafından geliştirilen modelin daha başarılı olduğu görülmüştür. Ancak ölçüt değerleri açısından modeller arasında çap, boy, ticari hacim ve toplam hacim tahminleri açısından önemli farklılıkların olmadığı da söylenebilir. Dolayısı ile sahil çamı plantasyonlarında yapılacak çalışmalarda hangi modelin tercih edileceğine uygulayıcının karar vermesi daha doğru olacaktır.

Daha önceki bölümlerde de belirtildiği gibi herhangi bir yörede 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 Fang vd. (2000)'dir.

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(2): 716-723.
- Alkan, O., Özçelik, R., Alkan, H., 2019. Türkiye'nin bazı önemli ağaç türleri için yöresel gövde çapı modellerinin geliştirilmesi: Bucak örneği. Türkiye Ormanlık Dergisi, 20(4): 333-340.
- Balekoğlu, S., 2015. İstanbul bölgesindeki sahilçamı (*Pinus Pinaster* Aiton) plantasyonlarının silvikültürel yönden incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Belsey, D.A., 1991. Conditioning Diagnostics, Collinearity and Weak Data in Regression. John Wiley and Sons, New York.
- Bi, H., 2000. Trigonometric variable-from taper equations for australian eucalyptus. Forest Science, 46(3): 397-407.
- Birler, A.S., Koçar, 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, Kocaeli.
- Birler, A.S., Yüksel, Y., 1983. Sahil çamı ağaçlandırma meşcerelerinde hasılat araştırması. Kavak ve Hızlı Gelişen Yabancı Tür Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü Yıllık Bülteni, 19: 295-348.
- 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. Food and Agriculture Organization of the United Nations, UK.
- 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.
- 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.
- Crecente-Campo, F., Alboreca, A.R., Dieguez – Aranda, U., 2009. A merchantable volume system for *Pinus sylvestris* L. in the major mountain ranges of Spain. Annals of Forest Science, 66(8): 808.
- De-Miguel, S., Mehtatalo, L., Shater, Z., Kraid, B., Pukkala, T., 2012. Evaluating marginal and conditional predictions of taper models in the absence of calibration data. Canadian Journal of Forest Research, 42(7): 1383-1394.
- Dieguez- Aranda, U., Castedo- Dorado, F., Alvarez-Gonzalez, J.G., Rojo, A., 2006. Compatible taper function for Scots pine plantations in northwestern Spain. Canadian Journal of Forest Research, 36(5): 1190-1205.
- Eker M., Özçelik R., 2017. Estimating recoverable fuel wood biomass from small diameter trees in brutian pine (*Pinus brutia* Ten.) stands. Fresenius Environmental Bulletin, 26(12A): 8286-8297.
- Eker, M., Poudel, K. P., Özçelik, R., 2017. Aboveground biomass equations for small trees of brutian pine in Turkey to facilitate harvesting and management. Forests, 8(12): 477.
- Ercanlı, İ., Güvendi, 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.
- Fang, Z., Borders, B.E., Bailey, R.L., 2000. Compatible volume taper models for loblolly and slash pine based on system with segmented-stem form factors. Forest Science, 46(1): 1-12.
- Fortin, M., Schneider, R., Saucier, J.P., 2013. Volume and error variance estimation using integrated stem taper models. Forest Science, 59(3): 345-358.
- Güner, Ş.T., Cezmi, Ö., Türkkân, M., Akgül, S., 2019. Türkiye'deki sahilçamı ağaçlandırmalarında ağaç bileşenlerine ait karbon yoğunluklarının değişimi. Ormanlık Araştırma Dergisi, 6(2): 167-176.
- 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.
- Kozak, A., 1988. A variable-exponent taper equation. Canadian Journal of Forest Research, 18(11): 1363-1368.
- Kozak, A., 2004. My last words on taper equations. Forestry Chronicle, 80(4): 507-515.
- Kozak, A., Kozak, R.A., 2003. Does cross validation provide additional information in the evaluation of regression models? Canadian Journal of Forest Research, 33(6): 976-987.
- 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., Smith, J.G.H., 1993. Standards for evaluating taper estimating systems. Forest Chronicle, 69(4): 438-444.
- 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, pp. 34-53.
- Li, R., Weiskittel, A., Dick, A.R., Kershaw, 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.
- Li, R., Weiskittel, A.R., 2010. 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.
- 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.
- Özcan, B.G., 2003. Sahilçamı (*Pinus pinaster* Ait.) ağaçlandırmalarında artım ve büyüme. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özçelik, R., Alkan, H., 2012. Okalıptüs ağaçlandırmaları için uyumlu gövde çapı ve gövde hacim modellerinin geliştirilmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi, 15: 247-254.
- 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): 78-91.
- Özçelik, R., Alkan, H., Alkan, O., 2018. Dikili ağaçların hacim tahmini için bazı metotların karşılaştırılması. Türkiye Ormanlık Dergisi, 19(4): 380-385.
- Özdemir, E., 2005. Tek ağaçta artım ve büyümenin simülasyonu (sahilçamı örneği). Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Pancoast, A., 2018. Evaluation of taper and volume estimation techniques for ponderosa pine in eastern Oregon and eastern Washington. MSc Dissertation, Oregon State University, Graduate School, Oregon, USA.
- Parresol, B.R., 2003. Recovering Parameters of Johnson's SB Distribution. US Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station, Asheville, NC.

- 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.
- Poudel, K.P., Cao, Q.V., 2013. Evaluation of methods to predict Weibull parameters for characterizing diameter distributions. *Forest Science*, 59(2): 243-252.
- Rodríguez, F., Lizarralde, I., Bravo, F., 2015. Comparison of stem taper equations for eight major tree species in the Spanish Plateau. *Forest Systems*, 24(3): e034.
- Rojó, A., Perales, X., Sánchez-Rodríguez, F., Álvarez-González, J.G., 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.
- Sakıcı, O.E., Mısır, N., Yavuz, H., Mısır, M., 2008. Stem taper functions for *Abies nordmanniana* subsp. *bornmulleriana* in Turkey. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 23(6): 522-533.
- Sakıcı, O.E., Özdemir, G., 2018. Stem taper estimations with artificial neural networks for mixed Oriental beech and Kazdağı fir stands in Karabük region, Turkey. *Cerne*, 24: 439-451.
- SAS Institute Inc., 2008. SAS/STAT[®] 9.2 user's guide. SAS Institute Inc., Cary, N.C.
- Schwarz, G., 1978. Estimating the dimension of a model. *The Annals of Statistics*, 6(2): 461-464.
- Schröder, T., Costa, E.A., Valério, A.F., Dos Santos Lisboa, G., 2015. Taper equations for *Pinus elliottii* Engelm. in southern Parana, Brazil. *Forest Science*, 61(2): 311-319.
- Shahzad, M.K., Hussain, A., Jiang, L., 2019. 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.
- Shahzad, M.K., Hussain, A., Burkhart, H.E., Li, F., Jiang, L., 2020. Stem taper functions for *Betula platyphylla* in the Daxing'an Mountains. *Journal of Forestry Research*, doi.org/10.1007/s11676-020-01152-4.
- Sharma, M., Parton, J., 2009. Modeling stand density effects on taper for Jack pine black spruce plantations using dimensional analysis. *Forest Science*, 55(3): 268-282.
- Sharma, M., Zhang, S.Y., 2004. Variable-exponent taper equations for Jack pine, black pine and balsam fir in eastern Canada. *Forest Ecology and Management*, 198(1-3): 39-53.
- 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.
- Tecimen, H.B., 2005. Dikimle yetiştirilmiş sahilçamı (*Pinus pinaster* Aiton) ormanında ayıklama işlemlerinin meşceredeki azot dolaşımına ve ağaçların gelişimine etkileri. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tunçtaner, K., 1998. Yabancı tür ithal çalışmaları ve endüstriyel plantasyonlar için tür seçimi. Hızlı gelişen türlerle yapılan ağaçlandırma çalışmalarının değerlendirilmesi ve yapılacak çalışmalar, 8-9 Aralık, Ankara.
- 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.