

Bozalan ve ubuk Yöresi Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Ağaçları İçin Gövde Çapı Denklemlerinin Farklı Otoregresif Modelleme Yaklaşımları İle Geliştirilmesi

İlker ERCANLI^{1*}, Muammer ŐENYURT¹

¹Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, ÇANKIRI

*Sorumlu yazar: ilkerercanli@karatekin.edu.tr

Öz

Ağaçlardan elde edilebilecek odun çeşitlerine ilişkin ayrıntılı tahminler sunan gövde çapı denklemleri, ormancılık uygulamalarında için büyük bir önem arz etmektedir. Bu ayrıntılı tahminler, orman amenajman planları ve diğer birçok ormancılık uygulamasına çok önemli ve değerli bilgiler sağlamaktadır. Bu çalışmada, Ankara Orman Bölge Müdürlüğü, Kızılcahamam Orman İşletme Müdürlüğüne bağlı Bozalan Orman İşletme Şefliği ile Ankara Orman İşletme Müdürlüğüne bağlı Çubuk Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yer alan Sarıçam ağaçları için gövde çapı denklemlerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla farklı çap ve boylarda olmak üzere 117 ağaçta gövde boyunca çaplar ölçülmüştür. Ölçülen bu veriler kullanılarak, Doğrusal olmayan regresyon analizi ile Jiang et al. (2005)'in gövde çapı denklemi geliştirilmiştir. Geliştirilen bu denkleme ait Durbin-Watson katsayısı, 1.0938 olarak elde edilmiştir. Gövde çapı tahminlerinde belirgin olan Otokorelasyon problemini gidermek üzere; Jiang et al. (2005) denklemlerinin parametreleri ayrıca, AR(1), AR(2), AR(3), MA(1), MA(2) ve MA(3) gibi çeşitli otoregresif parametre tahmin yöntemleri ile de tahmin edilmiş ve başarı durumları karşılaştırılmıştır. Durbin-watson değeri ve testine göre yapılan karşılaştırmada; otokorelasyon probleminin olmadığına ilişkin Ho hipotezinin kabulünü sağlayan ve 2.0152'lik Durbin-Watson değeri ve 0.9751'lik belirtme katsayısına sahip MA(3) Otoregresif parametre tahmin yöntemi, en başarılı yöntem olarak belirlenmiştir. Ülkemizde Sarıçam'ın yayılış gösterdiği diğer alanlar için daha ayrıntılı ve doğru sonuçlar verebilecek gövde denklemlerinin geliştirilmesi, bu alanlardaki ormanların işletilmesine önemli katkılar sağlanabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Otokorelasyon, Gövde Çapı Denklemleri, Otoregresif Modelleme, Sarıçam

Developing Tree Taper Equations By Using Different Autoregressive Modeling Approaches For Scots Pine Stands (*Pinus sylvestris* L.) in Bozalan and Çubuk Forests

Abstract

Tree taper equations that can provide the predictions for the detailed volume predictions for timber assortments are important to forest activities. These detailed predictions ensure important and valuable information for forest management and other forest applications. In this study, it is aiming to develop tree taper equations for scots pine stands located in Bozalan Planning Unit, Kızılcahamam Forest Enterprise and Çubuk Planning Unit, Ankara Forest Enterprise in Ankara Forest District Directorate. For this purpose, tree stem diameter along trees were obtained from 117 sample trees sampled with various diameter and heights. Using these measurement data, tree taper equation of Jiang et. al. (2005) was developed by using Nonlinear Regression Analysis. The value of Durbin-Watson is 1.0938 for this developed tree taper equation. To solve Autocorrelation problem prevailing in this developed taper equation, the parameters of tree taper equation of Jiang et. al. (2005) were predicted by using some autoregressive fitting procedures such as AR(1), AR(2), AR(3), MA(1), MA(2) ve MA(3) and the prediction success of these procedures compared. Based on the comparison including Durbin-Watson value and test, MA(3) autoregressive fitting procedure which allows the acceptance of the Ho hypothesis that there is no autocorrelation problem with the Durbin-Watson value of 2.0152 produced the most satisfactory predictive results than other procedures. In Turkey, the development of the tree equations to obtain the detailed volume predictions for other scots pine's distribution areas will provide important contributions to develop comprehensive framework in forest management.

Keywords: DIS4ME, Desertification Indicators, Land Degradation, Natural Pine Forest

1. GİRİŐ

Ormanların planlamasında; planlamaya konu orman alanına ilişkin alansal veriler ile ağağ servetine ve odun dıŐı őrınlerine ilişkin sayısal veriler, en önemli temel altlıklardandır (Eraslan ve Kalıpsız, 1967). MeŐcere dinamiğinin bir bileŐeni olarak meŐcere hacmine ve meŐcereden elde edilebilecek odun çeşitlerine ilişkin miktarların bilinmesi, orman kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi a çısından büyük bir önem arz etmektedir. Őlkemiz ormancılık uygulamalarında ağağlara ilişkin hacim tahminleri; pratik bir yöntem olarak yaygın bir bi çimde kullanılan ve dikili ağağların çeşitli boyutlarının bir fonksiyonu olarak hacim değerlerini veren AĞağ Hacim Tabloları ile elde edilmektedir (Kalıpsız, 1984). AĞağ hacim denklemleri; tek ağağların toplam gövde hacimlerine ilişkin tahminler sunarken, ağağ gövdelerinden üretilebilecek tomruk, maden direği ve sanayi odunu gibi odun çeŐitlerinin miktarları konusunda ayrıntılı tahminler sunamamaktadırlar (Yavuz, 1995; Sakıcı, 2002; Özçelik ve ark., 2012). Bununla birlikte, ağağlardan elde edilebilecek odun çeşitlerine ilişkin ayrıntılı hacim tahminlerine imkân sağlayabilecek yöntemlere ihtiya ç bulunmaktadır (Yavuz ve Sarağoğlu, 1999; Yavuz ve Sakıcı, 2002).

Ormancılıkta, tek ağağlara ilişkin ayrıntılı hacim tahminlerinin elde edilmesinde, gövde çapı denklemleri (Stem taper equations) kullanılmaktadır (Yavuz, 1995; Yavuz ve Sarağoğlu, 1999; Sakıcı, 2002). Ormancılıkta, gövde çapı denklemleri kullanımı ile bir ağağtan elde edilebilecek çeşitli őrınlerin (tomruk, maden direği, tel direği vb.) tahmini elde edilebilecek olup, bu bakımdan ormancılık planlaması için çok önemli ve değerli bilgiler sağlanmış olacaktır. Çünkü gövde çapı denklemleri ile; (i) herhangi bir yükseklikteki gövde çapı, (ii) herhangi bir gövde çapının hangi yükseklikte olduğu, (iii) ticari (satılabilir) gövde hacmi, (iv) toplam gövde hacmi, (v) bir gövdeden elde edilebilecek tüm odun çeŐitlerinin hacmi, (vi) gövde üzerinde herhangi iki yükseklik arasındaki gövde bölümünün hacmi, (vii) gövde üzerinde herhangi iki çap arasındaki gövde bölümüne ilişkin hacmi gibi ayrıntılı tahminler elde edilebilmektedir (Kozak, 2004; Özçelik ve Alkan, 2011; Özçelik ve ark., 2012).

Gövde çapı denklemleri geliŐtirilme sürecinde, farklı çap ve boylarda olmak üzere örneklenen tek

ağağların farklı gövde yüksekliklerindeki çaplar ölçülmekte, farklı gövde gelişimlerine sahip ağağlardan çoklu ölçümler ile elde edilen bu ölçümler, bir veri havuzunda bir araya getirilmektedir. Bu şekildeki veri yapıları, “hiyerarŐik iliŐkili verilerin” ve bu verilerde söz konusu olabilecek “otokorelasyon problemi” adı verilen, bir ağağtaki ölçümlerin birbiri ile iliŐkili olduğu (gövde üzerinde herhangi bir yükseklikte ölçülen çap değerinin, gövde üzerinde devam eden yüksekliklerdeki çap değeri üzerinde etkili olması) durumların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Regresyon analizinin temel varsayımlarından birisi olan otokorelasyon problemi, her bir ağağın gövdesi üzerinde herhangi bir noktada yapılan ölçümün, bir sonraki ölçüm noktasında elde edilecek çap değerine olan etkisinin ağağtan ağaca deĐiŐmesi ile belirginleŐmektedir. Gerçekte bu durum, ormancılıkta elde edilen verilerin yapısı bakımından olağan ve beklenen bir durum olmasına karşın; verilen modellenmesinde istatistik biliminin bir konusu olan regresyon analizinin kullanımı ile otokorelasyon problemi ortaya çıkmaktadır. Denklemlerin parametrelerinin tahmin edilmesi aŐamasında, otokorelasyon probleminin bir sonucu olarak; gövde çapı değerlerinde modellenemeyen bir deĐiŐkenliĐin meydana gelmesi ve gövde çapı denklemlerine ilişkin parametrelerin güven aralıklarının sistematik bir hata ile tahmin edilmesi gibi model sonuçlarının güvenilirliğine ilişkin olumsuzlar meydana gelebilmektedir (Gregoire et. al., 1995; Searle ve ark., 1992; İyit ve ark., 2006; DoĐanay, 2007). Bu bakımdan, verilerin bağımsızlığı varsayımının sağlanamadığı ve veriler arasında otokorelasyon probleminin olduğu hiyerarŐik veri yapılarında; varyans-kovaryans matris yapısını esas alarak verilerin birbiri ile iliŐkili olmasının tahminlere etkisinin en aza indirecek şekilde parametre tahminler sunan “Otoregresif Parametre Tahmin Yaklaşımlarının kullanımı öne çıkmaktadır (Diéquez-Aranda et. al., 2005; Diéquez-Aranda et. al., 2006; Nord-Larsen, 2006; Adame et. al., 2006; Bravo-Oviedo et. al., 2007; Cieszewski et. al., 2007; Cieszewski and Strub, 2008).

Bu çalışmada, Bozalan ve Çubuk yöresi Sarıçam ağağlarında gövde çapı denklemlerinin geliŐtirilmesinde söz konusu olabilecek otokorelasyon probleminin giderilmesinde farklı AR(1), AR(2), AR(3), MA(1), MA(2), MA(3) gibi çeşitli otoregresif parametre tahmin teknikleri ile Gövde çapı denkleminin geliştirilmesi ve bu çeşitli

otoregresif modelleme yaklaşımlarının tahmin başarılılıklarının karşılaştırılması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

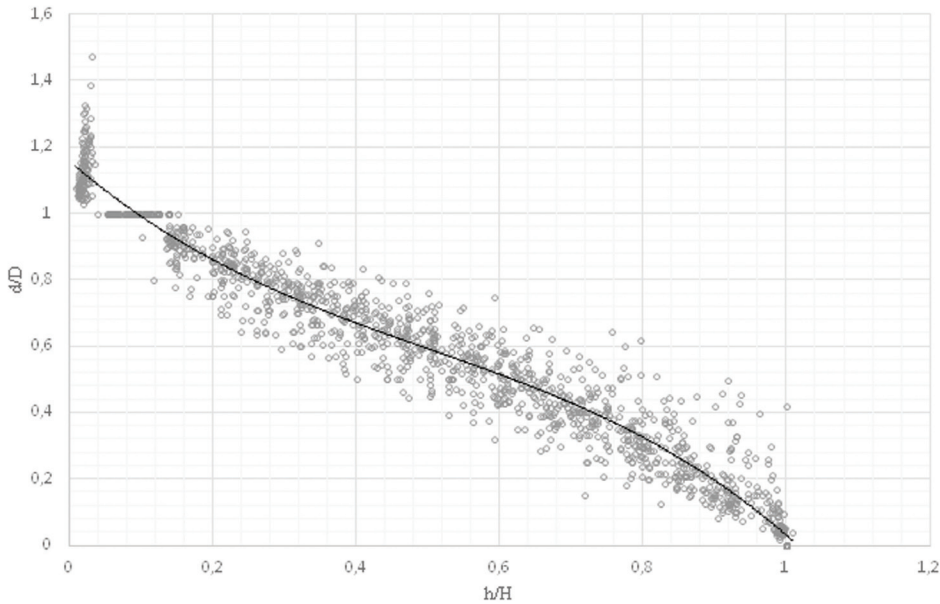
Bu alışmada, Ankara Orman Bölge Müdürlüğü, Kızılahamam Orman İşletme Müdürlüğüne bağlı Bozalan Orman İşletme Şefliği ile Ankara Orman İşletme Müdürlüğüne bağlı ubuk Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yer alan Sarıçam meşcerelerinden kesilen 117 adet örnek ağatan elde edilen veriler kullanılmıştır. Çalışma alanından elde edilen örnek ağaçlar, çalışma alanında gözlemlenen hacim gelişimindeki değişkenliği en iyi temsil edecek Şekilde farklı çap ve boylarda olmasına dikkat edilerek seçilmiştir. Özellikle, alınan örnek ağaların; bozuk tepeli, kusurlu (tepe kırıklığı, atalılık, kurumuş) olmamasına, böcek tahribatına uğramamış, mantar zararı ve özellikle çeşitli nedenlerle yaralanıp dip rrlğ olmayan bir

Özellik taşımına zen gösterilmiştir.

Çalışma kapsamındaki örnek ağaçlar, dip kütük yüksekliğinden (0.3 m) kestirilerek, ilk olarak kesilen kısım olan 0.3 metrede çap ölçülmüş sonra, Őerit metre 1 metre çekilerek 1.3 metrede çap ölçülüp, daha sonra Őerit metre 2 metre çekilip 3.3 metrede çap ölçülerek ve bu noktadan itibaren 5.3, 7.3, 9.3 metrelerde 2'Őer metre ara ile mümkün olduğunca düzenli bir Şekilde lmler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca ağaların toplam boy değerleri de elik Őerit metre ile llmştir. Çalışmada kullanılan bu 117 adet örnek ağaçta, toplam 1571 adet çap ölçümü yapılmıştır. Bu lmler yapılırken, eğer ağaç gövdesi daire biçimli olmayıp bozuk Őekilli ise; gövde kesitine dik iki yönde çap ölçümü alınıp, iki ölçümün ortalaması alınmıştır. Tablo 1'de, örnek ağalara ilişkin bazı istatistik değerler verilmiştir. Şekil 1'te, farklı gövde yüksekliklerinde ölçülen çap değerlerinin göğüs çapına oranı Őeklinde hesaplanan oransal çapların, ölçüm yüksekliğinin ağaların boyuna oranı Őeklinde hesaplanan oransal boy değerlerine dağılımı verilmiştir.

Tablo 1. rnek ağalara ilişkin istatistiksel bilgiler

	Göğüs apı (cm)	Boy (m)
Minimum	11,50	8,60
Maksimum	45,60	32,40
Ortalama	26,23	16,02
Standart Sapma	6,75	4,30



Şekil 1. Modellerin oluşturulmasında kullanılan verilerin oransal çap değerlerinin oransal boy değerlerine dağılımı

2.2. Yöntem

Gövdenin en dip kısmından uça doğru devamlı azalan bir gelişim gösteren ve çap düşüşü (Stem taper) olarak da adlandırılan ağaç çapındaki değişimin modellenmesinde, gövde çapı denklemleri kullanılmaktadır. İlk yıllarda geliştirilen basit gövde çapı denklemleri, gövde boyunca çap değişimini tek bir denklem ile temsil etmeye çalışırken; günümüzde kullanılan denklemler, gövde boyunca şekil farklılıkları gösteren her bir bölüm için ayrı bir polinom oluşturarak çap değişimini modellemeye çalışmaktadır. Ormancılık literatüründe, bu polinomları bir modelde birleştiren ve "Segmented Polinomiyal Gövde Çap Denklemi" olarak

isimlendirilen gövde çapı modeli ilk olarak Max and Burkhart (1976) tarafından geliştirilmiştir. Clark et. al. (1991), Max and Burkhart (1976) tarafından geliştirilen model yapısını daha da ileri götürerek, farklı bir formda segmented polinomiyal gövde çapı denklemi geliştirmiştir. Gövde çapı denklemlerinde geline son aşamada ise; Jiang et. al. (2005), Clark et. al. (1991)'in önerdiği segmented polinomiyal gövde çapı denklemini esas alarak, çeşitli dönüşümler ile daha az parametreye sahip yeni bir denklem formu geliştirmiştir. Bu çalışmada, oldukça kompleks yapısı ile gövde boyunca çap değişimini oldukça başarılı olarak modelleyen Jiang et. al. (2005)'in gövde çapı denklemi kullanılmıştır. Jiang et. al. (2005)'in denklem yapısı aşağıda verilmiştir.

$$d = \left\{ \begin{array}{l} I_S \left[D^2 \left(1 + \frac{(1-h/H)^{b_1} - (1-1.30/H)^{b_1}}{1 - (1-1.30/H)^{b_1}} \right) \right] \\ + I_B \left[D^2 - \frac{(D^2 - F^2)((1-1.30/H)^{b_2} - (1-h/H)^{b_2})}{(1-1.30/H)^{b_2} - (1-5.30/H)^{b_2}} \right] + \\ + I_T \left[F^2 \left(b_4 \left(\frac{h-5.30}{H-5.30} - 1 \right)^2 + I_M \left(\frac{1-b_4}{b_3^2} \right) \left(b_3 - \frac{h-5.30}{H-5.30} \right)^2 \right) \right] \end{array} \right\}^{0.5} \quad (1)$$

Bu denklemde;

d= Gövde boyunca herhangi bir yükseklikte ölçülen çap değeri (cm),

D = Kabuklu göğüs çapı (cm),

h = Ölçüm noktasının yerden olan yüksekliği (m),

H = Toplam ağaç boyu (m),

F= 5.30 metre yüksekliğindeki gövde çapını (cm) göstermektedir.

$$I_S = \begin{cases} 1 & h < 1.30 \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases}$$

$$I_B = \begin{cases} 1 & 1.30 \leq h < 5.30 \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases}$$

$$I_T = \begin{cases} 1 & h > 5.30 \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases}$$

$$I_M = \begin{cases} 1 & h < (5.30 + b_3(H - 5.30)) \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases}$$

Yukarıda denklem yapısı verilmiş gövde çapı denkleminin parametrelerinin çeşitli istatistikî değerlerinin tahmin edilmesinde, "Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi" kullanılmıştır. Bu analize ilişkin sonuçların elde edilmesinde, SAS İstatistik Paket Programındaki PROC MODEL prosedürü kullanılmıştır (SAS Institute Inc., 2013).

Gövde boyunca çapı modellemede kullanılan Jiang et. al. (2005)'in denkleminin parametreleri, standart bir yöntem olan Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi ile birlikte çeşitli otoregresif parametre tahmin yöntemleri kullanılarak da tahmin edilmiştir. Ayrıca, otoregresif parametre tahmin yöntemleri olarak AR(1), AR(2), AR(3), MA(1), MA(2) ve MA(3) gibi çeşitli yöntemlerin gövde çapı tahminlerdeki otokorelasyon

probleminin giderilmesindeki başarı durumları da karşılaştırılmıştır. Otoresif modelleme ile otokorelasyon problemini gidermedeki başarı durumlarını belirlemek üzere, "Durbin-Watson" istatistiği ve testi kullanılmıştır. Durbin-Watson istatistiğine ilişkin eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$d = \frac{\sum_{i=2}^n (e_i - e_{i-1})^2}{\sum_{i=2}^n e_i^2} \quad (2)$$

Bu eşitlikte, e_i ; i . veriye ilişkin hata değerini, n ; veri sayısını ifade etmekte olup, Durbin-Watson katsayısı ise, 0 ile 4 arasında değer almaktadır. Özellikle 2'ye yakın Durbin-Watson katsayısı, otokorelasyon sorunun olmadığını göstermektedir (Fox, 1997). Durbin Watson testi, ilgili Durbin-Watson değerinin hesaplanması yanında, H_0 ($\rho=0$, Otokorelasyon yoktur) ve H_A ($\rho \neq 0$, Otokorelasyon vardır) hipotezlerini de sınamaktadır. Bu test ile pozitif ($Pr < DW$) veya negatif ($Pr > DW$) otokorelasyonun varlığı, hesaplanan olasılık değeri ($P > 0.05$ ise; otokorelasyon yoktur, $P < 0.05$ ise; otokorelasyon vardır) ile test edilir. Durbin-watson değeri 2'ye yakın ve test değerine göre elde edilen olasılık değeri ve H_0 hipotezi kabul edilen ($P > 0.05$) otoregresif parametre tahmin yöntemi, otokorelasyon problemini çözmede başarılı bir yöntemi olarak belirlenmiştir. Otoregresif parametre tahmin yöntemlerinin uygulanmasında ve Durbin-Watson katsayısının hesaplanmasında; SAS yazılımının PROC MODEL prosedürü ile birlikte

$$\text{Hata Kareler Ortalaması (HKO)} = \sum_{i=1}^n \frac{(d_i - \hat{d}_i)^2}{n} \quad (3)$$

$$\text{Hata kareler Ortalamasının Karekökü (HKOK)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(d_i - \hat{d}_i)^2}{n-p}} \quad (4)$$

$$\text{Hata Kareler Toplamı (HKT)} = \sum_{i=1}^n (d_i - \hat{d}_i)^2 \quad (5)$$

$$\text{Düzeltilmiş Belirtme Katsayısı (R}_{\text{düz.}}^2) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \hat{d}_i)^2 (n-1)}{\sum_{i=1}^n (d_i - \hat{d}_i)^2 (n-p)} \quad (6)$$

Yukarıdaki formüllerdeki, d_i ; belirli bir h yüksekliğinde ölçülen çap değeri, \hat{d}_i ; geliştirilen gövde çapı modeli ile tahmin edilen çap değerini, n : veri sayısını ve p : modeldeki parametre sayısını ifade etmektedir.

3. SONUÇLAR

Tablo 2'de, çeşitli parametre tahmin yöntemlerine ilişkin Durbin-Watson değeri ve pozitif ve negatif otokorelasyon için test sonuçları ile çeşitli istatistik ölçüt değerleri verilmiştir. Tahmin yöntemlerine ilişkin Durbin-Watson katsayısı; 1.0938 ile 2.2081, HKT; 2806.3 ile 4217.8, HKO; 1.9191 ile 2.9068, HKOK; 1.3850 ile 1.7049 ve R^2 ; 0.9653 ile 0.9771 arasında değişmektedir. Farklı parametre tahmin yöntemlerine ilişkin Durbin-Watson değerleri ve test sonuçları değerlendirildiğinde; Doğrusal regresyon analiz ile elde edilen tahmin sonuçlarında, otokorelasyon problemi belirgin olduğu görülmektedir ($dw=1.0938$). Otoregresif parametre tahmin yöntemlerinin kullanımı ile özellikle Durbin-Watson değerlerinin 2'ye

%AR ve %MA makroları ve DWPROB prosedürleri kullanılmıştır. Bu prosedürler ile ilgili açıklamalar, ilgili yazılımın internet sayfasından elde edilebilir (URL: http://support.sas.com/documentation/cdl/en/etsug/63939/HTML/default/viewer.htm#etsug_model_sect055.htm)

Bu çalışmada, otoregresif parametre tahmin yöntemlerinin otokorelasyon problemini gidermedeki başarıları yanında, ayrıca gövde çaplarını tahmin başarıları da karşılaştırılmıştır. Tahmin başarısını karşılaştırmada; Hata kareler toplamı (HKT), Hata Kareler Ortalaması (HKO), Hata Karaler Ortalamasının karekökü (HKOK) ve Düzeltilmiş Belirtme Katsayısı (R^2) değerleri gibi çeşitli istatistiksel başarı ölçütleri kullanılmıştır. Bu ölçüt değerlerinden, HKT, HKO ve HKOK değerlerinin küçük, Belirtme Katsayısı değerlerinin ise olabildiğince 1'e yakın olması istenilmektedir. Bu istatistiki değerlere ilişkin formüller aşağıda verilmiştir;

yaklaşması, otokorelasyon probleminin önemli oranda giderildiği göstermektedir. Ancak, AR(1), AR (2) ve AR(3) otoregresif parametre tahmin yöntemleri kullanımı ile Durbin-Watson katsayısındaki önemli gelişmeler elde edilmesine karşın, pozitif veya negatif otokorelasyon varlığının gösteren ($p < 0.05$) test sonuçlarına göre söz konusu bu tekniklerin kullanımına karşın otokorelasyon probleminin giderilemediği anlaşılmaktadır. Çünkü AR(1-3) otoregresif parametre tahmin yöntemlerine ilişkin tahmin sonuçlarında negatif otokorelasyon ($p < 0.05$) bulunmaktadır (Tablo 2). MA(1) otoregresif parametre tahmin yöntemi kullanımı ile de otokorelasyon problemi giderilememiştir. Tablo 2 incelendiğinde, kullanılan otoregresif parametre tahmin yöntemlerinden 2. ve 3. düzeyde MA yöntemleri kullanımı ile otokorelasyon probleminin giderildiği ($p > 0.05$) görülmektedir. Bu bakımdan MA(2) ve MA(3) otoregresif parametre tahmin yöntemlerini esas alan modelleme yaklaşımlarının, tahminlerdeki otokorelasyon probleme bir çözüm sağladığı anlaşılmaktadır.

Tablo 2. Parametre tahmin yöntemlerine göre Durbin-Watson testine ilişkin sonuçlar ile çeşitli istatistik ölçüt değerleri

Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi	Pr<DW*	Pr>DW*	Durbin-Watson Katsayısı	HKT	HKO	HKOK	R ²
AR(1)	<0,0001	0,999	1,0938	4217,8	2,9068	1,7049	0,9653
AR(2)	0,999	<0,0001	2,2081	2806,3	1,9354	1,3912	0,9770
AR(3)	0,999	0,0003	2,1821	2777,5	1,9182	1,3850	0,9771
MA(1)	<0,0001	0,9999	1,7892	3262,7	2,2502	1,5001	0,9732
MA(2)	0,2202	0,7798	1,9581	3064,8	2,1151	1,4543	0,9748
MA(3)	0,6254	0,3746	2,0152	3024,2	2,085	1,4452	0,9751

MA(2) ve MA(3) otoregresif parametre tahmin yöntemlerinin otokorelasyon problemi gidermedeki başarıları yanında, özellikle MA(3) otoregresif parametre tahmin yöntemi (R²=0.9751, HKT= 3024.2, HKO= 2.0885, HKOK= 1.4452) ile Doğrusal olmayan regresyon analizine (R²=0.9653, HKT= 4217.8, HKO= 2.9068, HKOK= 1.7049) göre gövde çapı tahminlerine ilişkin çeşitli istatistik ölçütlerinde iyileşmeler sağlanmışır. Tablo 2'deki Durbin-Watson testi sonuçları ile birlikte başarı ölçütleri değerlendirildiğinde; gövde çapının tahmin edilmesinde en başarılı yöntem; belirlenen MA(3) otoregresif parametre tahmin yöntemi

olduğu görülmektedir. MA(3) otoregresif parametre tahmin yöntemi ile elde edilen belirtme katsayısı değeri (R²); 0.9751, Hata kareler ortalaması (HKT); 3024.2, Hata kareler ortalaması (HKO); 2.0885, Hata Kareler Ortalamasının Karekökü değeri (HKOK); 1.4452, ve durbin-watson test istatistiği değeri ise; 2.0152'dir.

Bu çalışmada en başarılı olarak belirlenen MA(3) otoregresif parametre tahmin yöntemine dayanan Jiang et al. (2005)' in gövde çapı modelinde parametre tahminleri Tablo 3'de verilmiştir. Bu parametre değerleri yerine konularsa, aşağıda gibi bir gövde çapı denklemi elde edilmiş olur;

$$d = \left\{ \begin{array}{l} I_S \left[D^2 \left(1 + \frac{(1-h/H)^{92.22977} - (1-1.30/H)^{92.22977}}{1 - (1-1.30/H)^{92.22977}} \right) \right] \\ + I_B \left[D^2 - \frac{(D^2 - F^2)((1-1.30/H)^{3.528096} - (1-h/H)^{3.528096})}{(1-1.30/H)^{3.528096} - (1-5.30/H)^{3.528096}} \right] + \\ + I_T \left[F^2 \left(2.374381 \cdot \left(\frac{h-5.30}{H-5.30} - 1 \right)^2 + I_M \left(\frac{1-b_4}{0.823012^2} \right) \left(0.823012 - \frac{h-5.30}{H-5.30} \right)^2 \right) \right] \end{array} \right\}^{0.5} \quad (7)$$

Bu denklemde, d; ağacın gövdesi boyunca herhangi bir yükseklikteki gövde çapını (cm), D: ağacın göğüs çapını (cm), h: ölçüm yüksekliğini (m), H: ağaç toplam boyunu (m), F: 5.30 metre

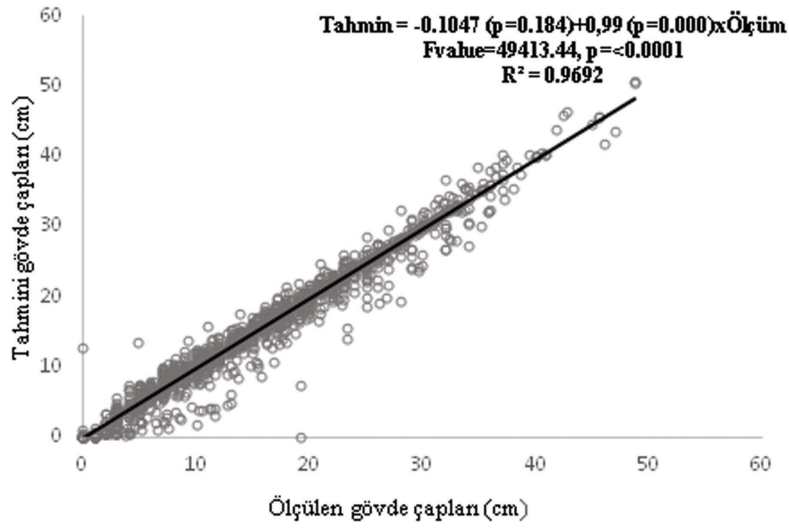
yüksekliğinde ölçülen çapını (cm) ve IS, IB, IT ile IM değişkenleri ise; tahmin edilecek çapın gövde üzerindeki yerine bağlı olarak kodlanan kukla değişkeni ifade etmektedir.

Tablo 3 MA(3) otoregresif parametre tahmin yöntemine dayanan Jiang et al. (2005)' in gövde çapı denkleminin parametre değerleri

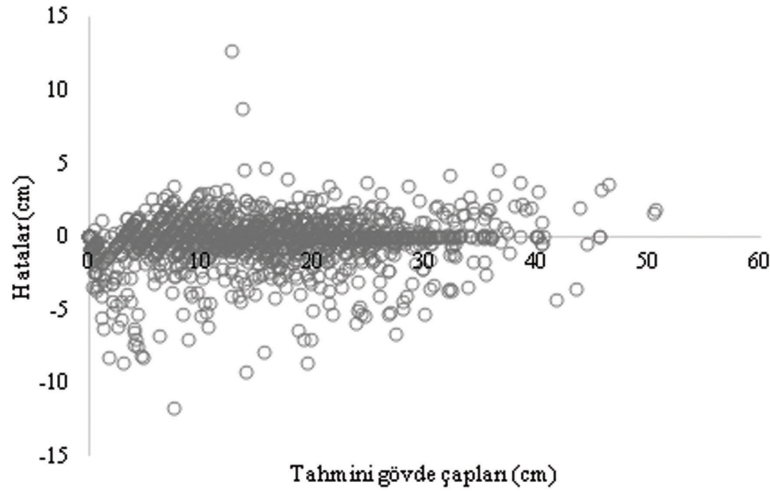
Parametre	Tahmin	Standart Hata	t-Değeri	P>t
b ₁	92,22977	3,1636	29,15	<0,0001
b ₂	3,528096	0,3705	9,52	<0,0001
b ₃	0,823012	0,0124	66,48	<0,0001
b ₄	2,374381	0,0985	24,10	<0,0001

MA(3) otoregresif parametre tahmin yöntemine dayalı olarak Jiang et al. (2005) denklemi ile elde edilen tahmin değerleri ile arazide llen çap değerleri arasındaki iliŐki, Şekil 2’de verilmiştir. Şekil 3’de ise, modele ilişkin hataların tahmin değerlerine göre deęiŐimleri verilmiştir. Şekil 2’de gösterilen tahmin değerleri ile ölüm değerleri arasındaki doğrusal iliŐkiyi gösteren denklemde, sabit katsayı %95 güvenle anlamsız olarak ($p=0.184$) elde edilirken, denklemin eğimini temsil eden b1 katsayısı ise anlamlı olarak hesaplanmıŐtır. Tahmin ve gözlem değerleri arasında sabit katsayısının 0’a

eŐit olduğu bir doğrusal iliŐkinin elde edilmesi, regresyon denklemlerinin başarı durumlarının değerlendirilmesinde istenilen bir durumdur. Böylece, bu sonuç; geliştirilen denklemlerle elde edilen tahminlerin başarılı ve tutarlı olduğunu göstermektedir. Bu bakımdan, Şekil 2 ve 3’deki sonuçlar değerlendirildiğinde; Jiang et al. (2005)’in gövde çapı denklemi ile elde edilen tahminlere ilişkin hata değerlerinin belirli bir trend göstermeyen, artı ve eksi yöndeki dağılımlarının dengeli ve rasgele bir biçimde olduğu görülmektedir.



Şekil 2. Tahmin-gözlem değerleri iliŐkisi



Şekil 3. Hata-tahmin değerleri iliŐkisi

4. TARTIŐMA

Bu alışmada Ankara Orman Bölge Müdürlüğü, Kızılcahamam Orman İŞletme Müdürlüğüne bağlı Bozalan Orman İŞletme Şefliği ile Ankara Orman İŞletme Müdürlüğüne bağlı ubuk Orman İŞletme Şefliği sınırları içerisinde yer alan Sarıçam meŐcerelerinden alınan 117 adet ağaca ilişkin veriler kullanılarak otoregresif parametre tahmin yöntemlerine dayanan gövde çapı denklemi geliştirilmiştir. Ağaların gövde boyunca çap değişimini modellemek üzere Jiang et. al. (2005)'in gövde çapı denklemi kullanılmıştır. Jiang et al. (2005)'nin gövde çapı denklemi ile gövde çapındaki değişimin %96.54' açıklanmıŐtır. Ayrıca denkleme ilişkin bütün parametreler, istatistiki olarak $p < 0.001$ önem düzeyi ile anlamlı bulunmuŐtur.

Max and Burkhart (1976) tarafından ormancılık literatürüne kazandırılan ve gövde Őeklini üç temel bölüme ayıran segmented polinomial denklemine göre, gövde Őeklini dört farklı bölüme ayırarak gövde çapını modelleyen Jiang et al. (2005)'in denklemi ile birçok çalışmada da oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. zelik ve Bal (2013), Őahin (2012), Atalay (2014), Kurt (2014) ve KumaŐ ve Kahrıman (2016); Jiang et. Al. (2005)'in dört parçalı bu segmented polinomial denklem yapısı ile sırasıyla gövde çapının modellenmesinde %98.59'luk, %98.28'lik, % 94.44'lk, %98.43'lk, %97.7'lik bir açıklayıcılık elde etmiŐtir. Jiang et al. (2005)'in denkleminin bu baŐarısı; denklemin sahip olduğu karmaŐık ve farklı gövde Őekillerine göre düzenlenebilen yapısı ile gövde geliŐimindeki farklı formdaki deęiŐkenlięi başarılı bir Şekilde yansıtabilmesi ile açıklanabilir.

Bu alışma kapsamında, Jiang et. al. (2005) denkleminin parametre tahminleri; doğrusal olmayan regresyon analizi ile birlikte Otoresif parametre tahmin yöntemleri kullanılarak elde edilmiştir. Doğrusal olmayan regresyon analizi ile elde edilen gövde çapı denklemi için Durbin-Watson katsayısının 1.0938 olarak hesaplanmıŐ olup (Tablo 2); ayrıca yapılan test sonucu da negatif otokorelasyon ($p < 0.05$) belirlenmiştir. Bu sonuçlar; Doğrusal olmayan regresyon analizi ile elde edilen tahminlerde, otokorelasyon sorunun varlığını göstermektedir. Otokorelasyon problemini gidermek üzere kullanılan AR(1), AR(2) ve AR(3) yöntemleri ile Durbin-Watson katsayısında önemli oranda iyileŐmeler sağlanmasına karşın,

otokorelasyon probleminin tespiti ilişkin test hipotezlerinden H_0 hipotezi ($\rho=0$, Otokorelasyon yoktur) kabul edilememiŐ (Tablo 2) ve böylece söz konusu bu teknikler ile tam olarak otokorelasyon sorunu giderilememiştir. Bununla birlikte, özellikle MA(2) ve MA(3) yöntemlerini esas alan Otoresif parametre tahmin yöntemlerinin kullanımı ile modellere ilişkin Durbin-Watson katsayıları; 1.9581 ile 2.0152 olarak hesaplanmıŐtır. Bu değerlerin otokorelasyon sorunun olmadığı gösteren 2.0 ideal değerine oldukça yakın olarak elde edilmiş olması ve bu değerlere ilişkin H_0 hipotezlerinin ($\rho=0$, Otokorelasyon yoktur) de kabul edilmesi; kullanılan MA(2) ve MA(3) otoregresif parametre tahmin yöntemleri ile otokorelasyon sorunu giderildiğini sonucuna varılmıŐtır. Ayrıca, otoregresif modelleme ile denkleme ilişkin istatistiksel başarı ltlerinde belirli bir oranda bir iyileŐme saęlanmıŐtır. Bu durum, otokorelasyon kaynaklı gövde çapı deęiŐiminde açıklanamayan varyansın, otoregesif parametre tahmin yönteminin kullanımı ile en aza indirilmesi ile olabildiği değerlendirilebilir.

Ağaların gövde çaplarının gövde boyunca değişimini, gövde Őeklindeki farklılıklarını esas alarak modelleyen ve oldukça karmaŐık bir denklem yapısına sahip olan gövde çapı denklemleri, gövde hacimlerini ayrıntılı olarak tahmin etmede de kullanılmaktadır. BaŐta orman amenajman planları olmak üzere birçok ormancılık uygulamasında, pratik olmaları nedeniyle çok tercih edilen tek giriŐli ağaç denklemlerine göre özellikle ayrıntılı gövde hacim tahminlerine imkan sağlayan gövde çapı denklemleri, ormancılığımız için daha doğru ve tutarlı hacim tahminlerinin elde edilmesine imkan sağlayabilecektir. Ülkemizde asli ağaç türlerimizin yayılış gösterdiği meŐcerelerin hacimlerinin belirlenmesinde otoregresif parametre tahmin yöntemlerine dayanan gövde çapı denklemlerinin geliŐtirilmesine önemli oranda bir ihtiyaç ve gereklilik vardır. BaŐta asli ağaç türlerimiz olmak üzere farklı ağaç türlerimizin deęiŐik yetiŐme ortamları ve meŐcere kuruluŐları için gövde çapı denklemlerinin geliŐtirmesi gerekmektedir. Ayrıca, Dünya'da gövde çapı denklemlerinin geliŐtirilmesinde ne çıkan ve birçok uygulamasının olan Otoresif parametre tahmin yöntemlerinin kullanımı da sağlanmalıdır.

Teşekkür: Çalışmanın yürütülmesinde gerekli olan verilerin sağlanmasındaki yardım ve katkıları için Orman Müh. Ayşe GEZER ve Orman Müh. Hakan KARLI'ya teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Adame, P., Cañellas, I., Roig, S., del Rio, M., 2006. Modeling dominant height growth and site index curves for Rebollo oak (*Quercus pyrenaica* Willd.). Ann For Sci 63: 929–940.
- Atalay, F. 2014. Mudurnu-Sırçalı Orman İşletme Őefliđinde yayılış gösteren Anadolu Karaçamı [*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe] meşcereleri için gövde profil denklem sistemlerinin geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çankırı
- Azim, K. K., 2014. Tarsus Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde yayılış gösteren Anadolu Karaçamı [*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe] meşcereleri için uyumlu gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin karışık etkili modelleme yaklaşımları ile geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çankırı
- Bravo-Oviedo, A., del Río, M., Montero, G., 2007. Geographic variation and parameter assessment in generalized algebraic difference site index modeling. Forest Ecology and Management 247 (1-3), 107-119.
- Cieszewski, C. J., Strub, M. ve Zasada, M. J., 2007. New Dynamic Site Equation That Fits Best The Schwappach For Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) in Central Europe, Forest Ecology and Management, 23, 83-93.
- Cieszewski, C.J., Strub, M., 2008. Generalized algebraic difference approach derivation of dynamic site equations with polymorphism and variable asymptotes from exponential and logarithmic functions. Forest Science 54, 303-315.
- Clark, A., Souther, R. A., Schlaegel, B. E., 1991. Stem profile equations for southern tree species. USDA For. Serv. Res. Pap. SE-282.
- Diéguez-Aranda U., Burkhart H.E., Rodriguez-Soalleiro, R., 2005. Modeling dominant height growth of radiata pine (*Pinus radiata* D. Don) plantations in north-western Spain. Forest Ecology and Management, 215: 271–284.
- Diéguez-Aranda, U., Grandas-Arias, J.A., Álvarez-González, J.G. ve Gadow, K.V., 2006. Site Quality Curves For Birch Stands i North-Western Spain, Silva Fennica, 40, 4, 631-644.
- Doğanay, B., 2007. Uzunlamasına çalışmaların analizinde karma etki modelleri, Ankara Üniversitesi, Sağlık bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 94 s.
- Eraslan, İ. ve Kalıpsız, A., 1967. Belgrad Ormanlarının amenajmanında uygulanan envanter metotları, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 1259, O.F. Yayın No:112.104 s.
- Gregoire, T. G., Schabenberger, O., Barrett, J. P., 1995. Linear modeling of irregularly spaced, unbalanced, longitudinal data from permanent plot measurement, Canadian Journal of Forest Research, 25, 137-156.
- İyit, N., Genç, A., Arslan, F., 2006. Analysis of repeated measures for continuous response data using General Linear Model and Mixed Models, Proceedings of the international conference on modeling and simulation, Konya, TURKEY, 937-942.
- Jiang, L., Brooks, J. R., Wang, J., 2005. Compatible taper and volume equations for yellow-poplar in West Virginia, Forest Ecology and Management, 213, 399-409.
- Kalıpsız, A., 1984. Dendrometri, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No: 3194, O.F. Yayın No: 354, İstanbul, 407 s.
- Kozak, A., 2004. My Last Words on Taper Equations. Forest Chronicle, 80, 507-515.
- Kumaş, G., Kahriman, A., 2016. Antalya Orman Bölge Müdürlüğü'nde yayılış gösteren kızılçam meşcereleri için uyumlu gövde profili denklem sistemlerinin geliştirilmesi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi, 17, 1, 21-31.
- Max, T. A., Burkhart, H. E., 1976. Segmented polynomial regression applied to taper equations, Forest Science, 22, 3, 283-289.
- Nord-Larsen, T., 2006. Developing dynamic site index curves for European beech (*Fagus sylvatica* L.) in Denmark. Forest Science. 52, 173-181.
- Özçelik, R., Alkan, H., 2011. Okaliptüs ağaçlandırmaları için uyumlu gövde çapı ve gövde hacim modellerinin geliştirilmesi. I. Ulusal Akdeniz Orman ve evre Sempozyumu Kahramanmaraş, Bildiriler Kitabı, 720-730.
- Özçelik, R., Yavuz, H., Karatepe, Y., Gürlevik, N., Kırış, R., 2012. Burdur yöresi kızılçam meşcereleri için gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin geliştirilmesi, SDÜ Orman Fakültesi Dergisi, 85-91.
- Özçelik, R., Bal, C. 2013. "Effects of adding crown variables in stem taper and volume predictions for black pine", Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 37, 231-242.
- Sakıcı, O., 2002. Kastamonu Yöresi Uludağ Göknarı meşcerelerinde gövde profili, hacim, hacim oran sistemlerinin geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- SAS Institute Inc., 2013. SAS/STAT 9.3 User's Guide: statistics, Version 9.3, SAS Institute Inc., Cary, NC., 666 s.

Őahin, D., 2012. Karaçam meŐcereleri için uyumlu gövde çapı ve gövde hacmi denklem sistemlerinin geliştirilmesi. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek lisans tezi, 64s.

Searle, S. R., Casella, G., Mc Culloch, C. E., 1992. Variance components, John Wiley and Sons Inc., USA.

Yavuz, H., 1995. Uyumlu ve uyumsuz gövde çapı modelleri, KTÜ Orman Fakóltesi Bahar yarıyılı seminerleri, Fakólte Yayın No:49, 101-106.

Yavuz, H. ve Saraoğlu, N., 1999. Kızılağaç için uyumlu ve uyumsuz gövde çapı modelleri, turkish journal of agriculture and forestry, 23, Ek Sayı 5, 1275-1282.

Yavuz, H. ve Sakıcı, O. E. 2002, Gövde profili modellerinin bilimsel ve pratik açıdan irdelenmesi, orman amenajmanı'nda kavramsal açılımlar ve yeni hedefler sempozyomu, Bildiriler Kitabı, İstanbul, 233-241.