

Mersin-Tarsus Yöresi Karaçam Ağaçlandırmaları İçin Gövde Profil Denklemlerinin Otoregresif Modelleme Tekniği İle Geliştirilmesi

*İlker ERCANLI¹, Azim Kutlay KURT², Ferhat BOLAT¹

¹ankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, ankırı

²ankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çankırı

*Sorumlu yazar: ilkerercanli@karatekin.edu.tr

Özet

Bu alışmada, Mersin-Tarsus yöresi Karaçam Ağaçlandırmaları için segmented polinomiyal gövde profili modelleri, Otoregresif modelleme tekniği ile geliştirilmiştir. Ağaçların gövde boyunca çap değişimini modellemek üzere Jiang ve ark. (2005) tarafından geliştirilen Segmented Polinomiyal denklemi kullanılmıştır. Denkleme ilişkin parametreler, Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi ile 1 (AR(1)) ve 2 (AR(2)) Gecikmeli Otoregresif Modelleme kullanılarak tahmin edilmiş ve model tahminlerine ilişkin başarı durumları karşılaştırılmıştır. En başarılı olarak belirlenen 2 Gecikmeli AR(2) modeli ile çaptaki değişimin % 97.99'u ($R^2=0.9799$) açıklanmıştır. Ayrıca doğrusal olmayan regresyon analizine ilişkin Durbin-Watson katsayısı 1.4817 olarak hesaplanmış iken, 1 ve 2 gecikmeli Otoregresif Modelleme ile 1.9892 ve 1.9604 olarak elde edilmiştir. Bu bakımdan, gövde profil denklemlerinin geliştirilmesinde Otoregresif modellemenin kullanımı ile seri korelasyon probleminin giderilmesinde ve model başarı ölçütlerinde belirli oranda iyileşmeler elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gövde profil denklemi, 1 (AR(1)) ve 2 (AR(2)) Gecikmeli Otoregresif Modelleme, Karaçam

Developing Stem Profile Equations by Using Autoregressive Modeling Technique for Crimean Pine Plantations in Mersin-Tarsus

Abstract

In this study, some stem profile models were developed by using Autoregressive modeling technique for Crimean pine plantations in Tarsus-Mersin. The segmented polynomial model proposed by Jiang et al. (2005) were used to model the taper along tree stem. The parameters of this model were predicted by using The Nonlinear Regression Analysis, AR(1) and AR (2) autoregressive modeling technique, and the success of these modeling technique were compared. The best predictive AR(2) autoregressive modeling has accounted for 97.99% of variability in tree taper. In addition, the coefficient of the Durbin-Watson for nonlinear regression analysis is 1.4817, 1.9812 for AR(1) and 1.9604 for AR(2). In this regard, the use of Autoregressive modeling technique has provided to reveal serial correlation problem and improve the criteria of success of models.

Keywords: Stem profile equation, AR(1) and AR(2) autoregressive modeling technique, Crimean pine

Giriş

Ormanlardan elde edilen servetin büyük bir kısmını, ağaç serveti oluşturmakta olup, bu bakımdan orman envanterinin en önemli konularından birisi de ağaçlara ilişkin hacmin hesaplanmasıdır. Ormancılıkta pek çok yöntem olmasına karşın, uygulamada pratik olmaları nedeniyle en çok ağaç hacim denklemlerinden ve bu denklemlerden üretilen ağaç hacim tablolarından yararlanılmaktadırlar (Loetsch ve ark., 1973; Avery ve Burkhart, 1983; Kalıpsız, 1984). Ağaç hacim denklemleri; ağaç çapına (Tek Girişli Ağaç Hacim Denklemleri), apı ve boyuna (ift Girişli Ağaç Hacim Denklemleri) ve çapa ve boya ek olarak diğer değişkenlere (ok Girişli Ağaç Hacim Denklemleri) göre tüm ağacın hacmini tahmin ederler (Yavuz, 1999). Bununla birlikte, ağaç hacim tabloları; dikili ağaçların çeşitli boyutlarının fonksiyonu olarak bir ağaca ilişkin toplam hacim değerlerini veren tablolar olup, ağaçlardan elde edilebilen tomruk, sanayii

odunu ve maden direği gibi odun ürün çeşitlerine ilişkin ayrıntılı hacim tahminleri sunamamaktadırlar. Özellikle, günümüz ormancılık uygulamalarında dikili satış yöntemi ile üretimin önem kazanması ve ormancılık Pazar koşullarının değişimi ile birlikte, gövde hacmine ilişkin ayrıntılı hacim tahminlerine imkân sağlayabilecek yöntemlere olan ihtiyaç artmaktadır. Tek ağaçların toprak seviyesinden gövde üzerindeki herhangi bir yükseklik ya da çapa kadar olan kısmına veya gövde üzerinde belirlenen herhangi iki yükseklik ya da çap değerleri arasında kalan bölümüne ilişkin ayrıntılı hacim tahminleri, gövde çapı ve gövde hacim denklemleri (Stem taper and volume equations) ile elde edilebilmektedir (Yavuz, 1995; Yavuz ve Saraçoğlu, 1999; Özçelik ve Alkan, 2011). Kozak (2004) gövde çapı ve gövde hacim denklemleri ile elde edilebilecek tahminleri; (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 çeşitlerinin hacmi, (vi) gövde üzerinde herhangi iki yükseklik arasındaki gövde bölümünün hacmi, (vii) gövde üzerinde herhangi iki çap arasındaki gövde bölümünün hacmi olarak belirtmiştir (Özçelik ve Alkan, 2011; Özçelik ve ark., 2012).

Ormancılıkta ağaçların gövde şekli üzerine çalışmalara 100 yılı aşkın bir süredir devam etmekte olup (Höjer, 1903; Claughton-Wallin ve McVicker, 1920; Behre, 1923), özellikle gövdenin ticari (satılabilir) bölümlerine ilişkin hacim değerlerini veren hacim oran denklemleri ile istatistiksel anlamda ilk gövde profili modelleri 1960'lı yılların sonlarına doğru geliştirilmeye başlanmıştır (Honer, 1967; Burkhart, 1977; Caove ark., 1980; Clutter, 1980; Newnham, 1992). Gövde modellerinin tamamı yerine, şekil farklılıkları gösteren her bir bölüm için ayrı bir polinom oluşturarak, bu polinomları bir modelde birleştirip "Segmented Polinomiyal Gövde Profili Modeli" olarak isimlendirilen gövde çapı modeli ilk olarak Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilmiştir. İstatistiksel olarak oldukça başarılı bulunan bu model daha sonra pek çok araştırıcı tarafından da değişik ağaç türlerine ilişkin gövde çaplarının tahmine edilmesi amacıyla kullanılmıştır (Demaerschalk ve Kozak, 1977; Cao ve ark., 1980; Green ve Reed, 1985; Byrne ve Reed, 1986; Czaplewski ve McClure, 1988). Clark ve ark. (1991), Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen model yapısından farklı bir formda segmented polinomiyal gövde profili modeli üretmiştir. Jiang ve ark. (2005), Clark ve ark. (1991)'ın önerdiği segmented polinomiyal gövde profili modelinde çeşitli dönüşümler ile daha az parametreye sahip yeni bir model formu geliştirmiştir.

Ülkemizde farklı araştırıcılar tarafından çeşitli ağaç türleri için gövde profil denklemleri geliştirilmiştir; Yavuz (1995), Yavuz ve Saraçoğlu (1999), Sakıcı (2002), Meydan (2006), Brooks ve ark. (2008), Özçelik (2010), Özçelik ve Alkan (2011), Özçelik ve ark. (2011), Özçelik ve Brooks (2012), Özçelik ve ark. (2012), Şahin (2012), Özçelik ve Bal (2013).

Gövde çapı modellerinin geliştirilmesinde, veri kaynağı olarak; tek ağaçlar üzerinde gövde boyunca ölçülen çap değerleri kullanılmakta olup, bu bakımdan ağaçlar üzerinde ölçülen çap değerleri arasında seri-korelasyon problemi oluşmaktadır (Leites ve Robinson, 2004). Her bir ağaç üzerinde yapılan çap ölçümleri arasında oluşan seri-korelasyon probleminin temel nedeni; gövde üzerinde herhangi bir noktada

yapılan ölçümün, bir sonraki ölçüm noktasında elde edilecek çap değerini etkilemesidir. Örneğin; bir ağaç üzerinde 1.30 metre yüksekliğindeki çapı 30 cm, diğer bir ağaç üzerinde ise 25 cm ölçüldüğü ve bu iki ağacın 2 metrelik bölümündeki çap düşüşünün 2 cm olduğu varsayılırsa; 1.30 metredeki çapı 30 cm olan ağacın 3.30 metredeki çapı 28 cm ve çapı 28 cm olan ağacın da 3.30 metredeki çapı 23 cm olarak elde edilir. Bu örnekte görüldüğü üzere; iki ağacın çap düşüşü aynı olmasında karşın, özellikle bir önceki ölçüm yüksekliğindeki değerin etkisiyle; 3.30 metredeki çap değerleri farklılaşmış olup, bir verinin bir sonraki veriye bu şekilde etkilemesi; regresyon analizde "seri korelasyon (serial correlation)" problemi olarak adlandırılır. Gövde çapı ve gövde hacim denklemlerine ilişkin parametre tahminlerinde güven aralıklarının sistematik bir hata ile tahmin edilmesine ve böylece model sonuçlarının güvenilirliğinin olumsuz yönde etkilemesine ve hatalı tahminlerin elde edilmesinde neden olan seri korelasyon problemine bir çözüm olarak ise; zaman seri analizlerinin bir uygulaması olan Otoregresif modelleme "Autoregressive modeling" önerilmektedir (Gregoire ve ark., 1995).

Bu çalışmada, Mersin-Tarsus yöresi Karaçam Ağaçlandırmaları için Jiang ve ark. (2005) tarafından önerilen segmented polinomiyal gövde profili modelinin, Otoregresif modelleme tekniği ile geliştirilmesi ve Otoregresif modelleme ile seri korelasyon probleminin giderilmesi amaçlanmıştır.

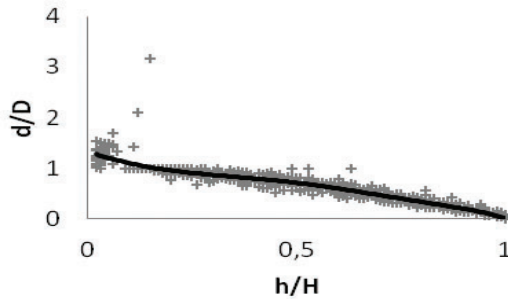
Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, Mersin Orman Bölge Müdürlüğü, Tarsus Orman İşletme Müdürlüğü, Çamlıyayla ve Buladan Şefliklerindeki Karaçam Ağaçlandırmalarından elde edilen 113 adet ağaca ilişkin veriler kullanılmıştır. Bölgedeki çalışmaya konu Karaçam ağaçlandırmalara, 1960'lı yıllarda tesis edilmiştir. Çamlıyayla ve Buladan Şefliklerindeki çeşitli silvikültürel bakım çalışmalarında kesilen ağaçlardan, farklı çapalarda ve boylarda olmak üzere örnek ağaçlar belirlenmiştir. Özellikle, örnek ağaçların; bozuk tepeli, kusurlu (tepe kırıklığı, çatallılık, kurumuş) olmamasına, böcek tahribatına uğramamış, mantar zararı ve özellikle çeşitli nedenlerle yaralanıp dip çürüklüğüne sahip olmayan ağaçlar olmasına özen gösterilmiştir. Örnek ağaçlara ilişkin çeşitli istatistiki bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Örnek ağaçlara ilişkin istatistik bilgileri

	Ağaç çapı ($d_{1,30}$) cm	Ağaç boyu (m)
Ortalama	17.13	9.54
Standart Sapma	6.37	2.52
Minimum	1.2	2.05
Maksimum	36.60	15.95

Çalışma kapsamında, özellikle farklı çaplarda ve boylarda seçilen örnek ağaçlar, dip kütük yüksekliğinden (0.3 m) kestirilerek, mümkün olduğunca düzenli bir şekilde (0.3 m, 1.3 m, 2.3 m gibi, 1'er metre ara ile) gövde çapları ölçülmüştür. Gövde şekli olarak daireden farklı bozuk gövde şekillerine sahip ağaçlarda birbirine dik iki eksenle çap ölçülerek ortalaması alınmıştır. Örnek Ağaçların gövdesi boyunca çaplarının ölçümü, çap ölçer yardımıyla milimetre hassasiyetinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca örnek ağaçlarda, ağaçların boyları da santimetre hassasiyetinde şerit metre ile ölçülmüştür. Ölçülen çap ve boy değerlerine bağlı olarak oransal kabuklu çap ile boy değerleri dağılımı, Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Oransal kabuklu çap-boy değerleri dağılımı

Gövde çapı ve gövde hacmi denklemleri

Çalışma alanında kesilen ağaçlarda, gövde boyunca ölçülen çaplar ile ağaçların dipten uça doğru çap düşüşü elde edilmiştir. Özellikle, çap düşüşünü gövde boyunca tek bir denklem ile modellenmesi, gövde boyunca gözlemlenen gövde şekil farklılıklarının temsil edilememesine neden olabilmektedir. Bu bakımdan, Max ve Burkhart (1976) denklem yapısı içinde üç farklı modeli içeren segmented polinomial gövde profili modelini geliştirmiştir. Clark ve ark. (1991), ağaçların gövde gelişimini temel bölümlere ayıran farklı bir segmented polinomial gövde profili modeli yapısı önermiş, Jiang ve ark. (2005) ise; Clark ve ark. (1991) denklemini daha az parametrelilik olarak düzenlemiştir (Özçelik ve Brooks, 2012). Bu çalışmada, ağaçların gövde boyunca çap düşüşünü modellemek ve gövde profil denklemini geliştirmek

üzere, Jiang ve ark. (2005) tarafından düzenlenen model kullanılmıştır. Jiang ve ark. (2005)'in denklem yapısı aşağıda verilmiştir.

$$d = \left\{ \begin{array}{l} I_s \left[D^2 \left(1 + \frac{(1-h/H)^{b_1} - (1-1.37/H)^{b_1}}{1 - (1-1.37/H)^{b_1}} \right) \right] \\ + I_B \left[D^2 - \frac{(D^2 - F^2)((1-1.37/H)^{b_2} - (1-h/H)^{b_2})}{(1-1.37/H)^{b_2} - (1-5.27/H)^{b_2}} \right] + \\ + I_T \left[F^2 \left(b_4 \left(\frac{h-5.27}{H-5.27} - 1 \right)^2 + I_M \left(\frac{1-b_4}{b_3^2} \right) \left(b_3 - \frac{h-5.27}{H-5.27} \right)^2 \right) \right] \end{array} \right\}^{0.5}$$

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.

$$I_s = \begin{cases} 1 & h < 1.37 \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases} \quad I_B = \begin{cases} 1 & 1.37 \leq h < 5.27 \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases}$$

$$I_T = \begin{cases} 1 & h > 5.27 \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases}$$

$$I_M = \begin{cases} 1 & h < (5.27 + b_3(H - 5.27)) \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases}$$

Jiang ve ark. (2005) denkleminde bağımsız değişken olan 5.30 metre yüksekliğindeki çap değerinin, özellikle arazide dikili haldeki ağaçlar için ölçümünün zor olması nedeniyle; ağacın 5.30 metre yüksekliğindeki çap değerini, göğüs çapına ($d_{1,30}$) ve ağaç boyuna bağlı olarak tahmin eden aşağıdaki denklem, Clark ve ark. (1991) tarafından önerilmiştir.

$$d_{5.30} = d_{1.30} \left(b_1 + \left(b_2 \left(\frac{5.27}{H} \right)^2 \right) \right)$$

Otoregresif modelleme

Bu çalışmada kullanılan Jiang ve ark. (2005) denkleminin ilişkin parametreleri; özellikle veriler arasındaki mevcut seri-korelasyonu (otokorelasyon) gidermek üzere, otoregresif modelleme ile de tahmin edilmiştir. Zaman serisi analizinin temel bir bileşeni olan Otoregresif modelleme yapısı;

$$d_{ij} = f(d_j, h_i, h_j, \beta) + e_{ij}$$

$$e_{ij} = \rho \cdot e_{i-1,j} + \gamma \cdot e_{i,j-1} + \varepsilon_{ij}$$

biçiminde olup, d_{ij} ; d_j ile tahmin edilen çap değerini, h_i ; i. yükseklik değeri, h_j ; j. yükseklik değerini, d_j ; j. yükseklikteki çap değerini, e_{ij} ; hata terimlerini, ρ ; d_j ile tahmin edilen d_{i-1} 'e ilişkin hatalar arasındaki otokorelasyon değerini, γ ; d_{j-1} ile tahmin edilen d_i 'e

ilişkin hatalar arasındaki otokorelasyon değerini ifade etmektedir.

Otoregresif modelleme ile zaman serisi niteliğindeki veriler arasındaki seri-korelasyonun (otokorelasyon) giderilip giderilmediğini belirlemek üzere, “Durbin-Watson” test istatistiği kullanılmıştır. Durbin-Watson test istatistiğine ilişkin eşitlik aşağıda verilmiştir.

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

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, seri-korelasyon (otokorelasyon) sorunun olmadığını göstermektedir (Fox, 1997).

Jiang ve ark. (2005)’in gövde çapı denkleminin parametreleri, Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi ile 1 ve 2 Gecikmeli Otoregresif Modelleme kullanılarak tahmin edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan 3 farklı tahmin yönteminden en başarılı olanı belirlemek üzere de; Hata Kareler Toplamı (HKT), Hata Kareler Ortalaması (HKO), Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (HKOK) ve Düzeltilmiş Belirtme Katsayısı (R^2) değerleri kullanılmıştır. Bu istatistikî değerler formüller aşağıda verilmiştir.

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

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

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

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

Bulgular

Bu çalışmada kullanılan Jiang ve ark. (2005)’in gövde profil denkleminin; Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi ve 1 (AR(1)) ve 2 (AR(2)) gecikmeli Otoregresif modelleme ile elde edilen parametre tahminleri ve çeşitli model karşılaştırma ölçütlerine ilişkin çeşitli değerler Tablo 2’de verilmiştir. Test edilen farklı tahmin yöntemlerine göre elde edilmiş gövde çapı modellerinin parametreleri, %95 güven düzeyi ile anlamlı bulunmuştur. Elde edilen gövde çapı denklemlerine ilişkin belirtme katsayı değerleri, 0.9784 ile 0.9799 arasında, Hata kareler ortalamaları (HKO); 1,1155 cm ile 1.0398 cm, Hata Kareler Ortalamasının Karekökü değerleri (HKOK); 1.0562 cm ile 1.0197 cm ve Hata kareler Toplamı değerleri; 1179.1 cm² ile 1096.9 cm², Durbin-Watson katsayı değerleri ise; 1.4817 ile 1.9892 arasında değişmektedir.

Modellere ilişkin başarı ölçütleri değerlendirildiğinde; Jiang ve ark. (2005)’in gövde çapı denkleminin 2 (AR(2)) gecikmeli Otoregresif modelleme yaklaşımın, Doğrusal olmayan regresyon analizi ile 1 (AR(1)) gecikmeli Otoregresif modelleme göre daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. AR(2) tahmin yöntemini esas alan regresyon analizi ile elde edilen belirtme katsayısı değeri, 0.9799 iken, Hata Kareler Ortalaması (HKO); 1.0398 cm, Hata Kareler Ortalamasının Karekökü değeri (HKOK); 1.0197 cm, Hata kareler Toplamı (HKT); 1096.9 cm²’dir. Ayrıca seri-korelasyon problemine ilişkin gösterge değeri olan Durbin-Watson test istatistiği değeri ise; 1,9604 hesaplanmıştır.

Bu çalışmada en başarılı olarak belirlenen 2 (AR(2)) gecikmeli Otoregresif modelleme yaklaşımı elde edilmiş parametre tahminleri, Jiang ve ark. (2005)’in gövde çapı modelin yerine konularsa, aşağıda gibi bir gövde çapı denklemi elde edilmiş olur;

$$d = \left\{ \begin{aligned} & I_S \left[D^2 \left(1 + \frac{(1 - h/H)^{21.51193} - (1 - 1.37/H)^{21.51193}}{1 - (1 - 1.37/H)^{21.51193}} \right) \right] \\ & + I_B \left[D^2 - \frac{(D^2 - F^2) \left((1 - 1.37/H)^{1.432389} - (1 - h/H)^{1.432389} \right)}{(1 - 1.37/H)^{1.432389} - (1 - 5.27/H)^{1.432389}} \right] + \\ & + I_T \left[F^2 \left(1.503234 \left(\frac{h - 5.27}{H - 5.27} - 1 \right)^2 + I_M \left(\frac{1 - 1.503234}{0.700656^2} \right) \left(0.700656 - \frac{h - 5.27}{H - 5.27} \right)^2 \right) \right] \end{aligned} \right\}^{0.5}$$

Bu denklemde, d; ağacın gövdesi boyunca herhangi bir yükseklikte tahmin edilecek çapı (cm), D; ağacın göğüs yüksekliğinde ölçülen göğüs çapını (cm), h; ölçüm yüksekliğini (m), H; ağaç boyun (m), F: 5.30 metre yüksekliğinde ölçülen çapını (cm) ve I_S , I_B , I_T ile I_M değişkenleri ise; tahmin edilecek çapın gövde üzerindeki yerine bağlı olarak kodlanan kukla değişkeni ifade etmektedir.

Tablo 2. Farklı tahmin yöntemleri ile elde edilmiş Gövde çapı denklemlerinin parametre değerleri ile çeşitli model başarı ölçütleri

Model	R ² _{adi}	HKO	HKOK	HKT	D,W,		Tahmin	StandartHata	t-değeri	P > t
Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi	0.9784	1.1155	1.0562	1179.1	1.4817	b ₁	21.23406	1.0407	20.40	<0.0001
						b ₂	1.401877	0.1164	12.05	<0.0001
						b ₃	0.740564	0.0360	20.56	<0.0001
						b ₄	1.628976	0.0823	19.79	<0.0001
AR (1)	0.9797	1.0483	1.0239	1107.0	1.9892	b ₁	20.88257	0.9980	20.93	<0.0001
						b ₂	1.39778	0.1334	10.48	<0.0001
						b ₃	0.6948	0.0431	16.14	<0.0001
						b ₄	1.520687	0.0736	20.67	<0.0001
						ρ1	0.2584	0.0309	8.35	<0.0001
AR (2)	0.9799	1.0398	1.0197	1096.9	1.9604	b ₁	21.51193	1.0157	21.18	<0.0001
						b ₂	1.432389	0.1328	10.78	<0.0001
						b ₃	0.700656	0.0431	16.27	<0.0001
						b ₄	1.503234	0.0745	20.17	<0.0001
						ρ1	0.235417	0.0318	7.41	<0.0001
						ρ2	0.102348	0.03222	3.18	0.0015

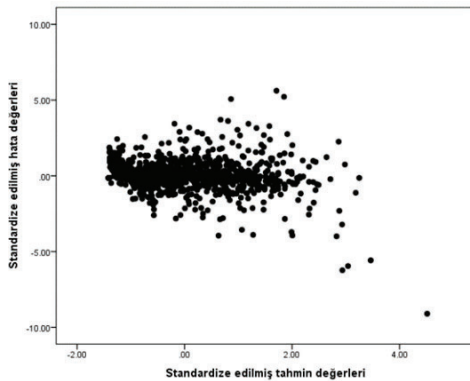
D.W.:Durbin-Watson test istatistiği, AR(1): 1 gecikmeli Otoregresif modelleme, AR(2): 2 gecikmeli Otoregresif modelleme

Jiang ve ark. (2005) denkleminde bağımsız değişken olan 5.30 metre yüksekliğindeki çap değerinin, göğüs çapına ve boy değerine göre tahmin denklem aşağıda verilmiştir.

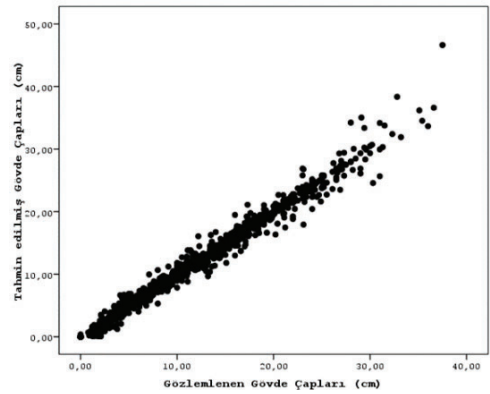
$$d_{5,30} = d_{1,20} \left(0.8392 + \left(-0.6186 \cdot \left(\frac{5.27}{H} \right)^2 \right) \right)$$

Bu denklemde tüm parametreler, p<0.0001 önem düzeyinde anlamlı bulunmuş olup, belirtme katsayısı (R²) ise; 0.923 olarak elde edilmiştir.

Arazide ölçülen gövde çap değerlerine bağlı olarak bu çalışmada geliştirilen denklem ile tahmin edilen gövde çaplarının dağılımına ilişkin grafik, Şekil 2’de ve standardize edilmiş hata değerlerinin standardize edilmiş tahmin değerlerine dağılımı Şekil 3’te verilmiştir. Bu şekiller incelendiğinde, Jiang ve ark. (2005)’in gövde çapı modeli ile gövde çaplarına ilişkin tahminlerin yansız ve tutarlı olduğu görülmektedir.



Şekil 2. Ölçülen çap değerlerine bağlı olarak Jiang ve ark. (2005)’in denklemi ile tahmin edilen çapların dağılımı



Şekil 3. Standardize edilmiş hata değerlerinin standardize edilmiş tahmin değerlerine dağılımı

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, Mersin-Tarsus yöresi Karaçam Ağaçlandırmalarından elde edilen 113 ağaca ilişkin veriler kullanılarak Jiang ve ark. (2005) tarafından önerilen Segmented Polinomiyal gövde profili modelinin, Otoregresif modelleme tekniği ile geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu gövde profilinin parametrelerinin tahmin edilmesinde; Doğrusal Olmayan regresyon Analizi (Nonlinear Regression Analysis) ile 1 (AR(1)) ve 2 (AR(2)) gecikmeli Otoregresif modelleme tekniği olmak üzere üç farklı yöntem kullanılmıştır. Gövde çapı profil denkleminin parametrelerinin tahmin edilmesinde kullanılan bu yöntemler ile gövde çapındaki değişimin modellenmesindeki başarı durumları, Hata kareler toplamı (HKT), Hata Kareler Ortalaması (HKO), Hata Kareler Ortalamasının karekökü (HKOK) ve

Düzeltilmiş Belirtme Katsayısı (R²) değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bu değerlere bağlı olarak yapılan bu karşılaştırmalarda; en başarılı olarak belirlenen 2 gecikmeli Otoregresif, AR(2), tahmin yöntemini esas alan regresyon analizi ile elde edilen belirtme katsayısı değeri; 0.9799 iken, Hata kareler ortalaması (HKO); 1.0398 cm, Hata Kareler Ortalamasının Karekökü değeri (HKOK); 1.0197 cm, Hata kareler Toplamı (HKT); 1096.9cm²'dir. Böylece geliştirilen bu denklem ile çaptaki değişim % 97,99'u (R²=0.9799) açıklanabilmektedir. Ayrıca bu denkleme ilişkin tüm parametreler p<0.0001 önem düzeyinde anlamlı bulunmuştur.

İlk olarak Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen ve gövde şeklini üç temel bölüme ayıran segmented polinamiyal denkleme göre, gövde şeklini dört farklı bölüme ayırıp, bu gövde şeklindeki farklılığında oldukça karmaşık bir denklem yapısı ile modelleyen Jiang ve ark. (2005)'in denklemi, gövde çapının modellenmesinde oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Jiang ve ark. (2005) geliştirdiği bu denklem yapısı ile %98,37'lik açıklayıcılık elde ederken, Özçelik ve Bal (2013); %98,59, Şahin (2012); %98.28'lik model açıklayıcılığı etmiştir.

Bu çalışmada kullanılan Jiang ve ark. (2005)'in denkleminde parametre tahminleri, Doğrusal Olmayan Regresyon analizi yanında, ayrıca seri korelasyon sorununa bir çözüm olarak önerilen ve zaman seri analizlerinin bir uygulaması olan Otoregresif Modelleme ile de tahmin edilmiştir. Doğrusal olmayan regresyon analizine ilişkin Durbin-Watson katsayısı 1,4817 olarak hesaplanmış iken, 1 ve 2 gecikmeli Otoregresif Modelleme ile 1.9892 ve 1.9604 olarak elde edilmiştir. 2,0 değerine yaklaştıkça, veriler arasında seri korelasyon probleminin olmadığını gösteren Durbin-Watson katsayısının 1 ve 2 gecikmeli Otoregresif modelleme ile 1.9892 ve 1.9604 olarak hesaplanması; Jiang ve ark. (2005)'in denkleminde ilişkin parametrelerin Otoregresif modelleme ile tahmin edilmesi ile seri korelasyon probleminin giderildiğini göstermektedir. Garber ve Maguire (2003), Yang ve ark. (2009), Fonweban ve ark. (2012) ve Li ve ark. (2012), gövde profil denklemlerinin geliştirilmesinde Otoregresif modelleme ile seri korelasyon problemine bir çözüm olarak kullanmışlardır.

Ağaçların gövde çaplarının gövde boyunca değişimini, gövde şeklindeki farklılıklarını esas alarak modelleyen ve oldukça karmaşık bir denklem yapısına sahip olan gövde profil denklemleri, gövde hacimlerini tahmin etmede de oldukça sonuçlar vermektedir.

Özellikle ayrıntılı gövde hacim tahminlerine imkan sağlayan gövde profil denklemleri, ülkemizde geliştirilmiş olan tek ve çift girişli denklemler oranla ormancılığımız için daha doğru ve tutarlı hacim tahminleri sunabilecektir. Ülkemiz ormancılığında değişen pazar koşullarının ve dikili satışın önem kazanması ile birlikte ayrıntılı ve daha doğru hacim tahminlerine olan gereksinim artmakta; bu bakımdan da gövde profil denklemleri daha fazla kullanım alanı bulmaktadır. Başta asli ağaç türlerimiz olmak üzere farklı ağaç türlerimizin değişik yetişme ortamları ve meşcere kuruluşları için gövde profil denklemlerinin geliştirmesi büyük bir önem taşımaktadır.

Ek 1.2 Gecikmeli Otoregresif modellenin, AR(2), uygulanmasına ilişkin SAS yazılımı kaynak kodu

```
DataCKplantasyon;
input;
cards;
.....
;
run;
PROCModeldata=CKplantasyon;
parameters ;

var;

S=k*(((d**2)*(1+(((1-(y))**a)-((1-(t))**a))/(1-((1-(t))**a)))));

U=1*(((d**2)-(((d**2)-(f**2))*((1-(t))**b)-((1-(y))**b)))/(((1-(t))**b)-((1-(p))**b)));

V=((o*(((hh-5.27)/(h-5.27))-1)**2));

E=((1-o)/(c**2))*((c-((hh-5.27)/(h-5.27)))**2);

Q=((S+U+(m*((f*f)*(V+(n*E)))))**(0.5));

z=Q+PHI1*zlag1(z-Q)+PHI2*zlag2(z-Q);

fit z/dw;

run;
```

Kaynaklar

- Avery, T.E. ve Burkhart, H. E. 1983. Forest Measurements, McGraw-Hill Series in Forest Resources, McGraw-Hill Book Company, New York, 331 s.
- Behre, C.E. 1923. Preliminary Notes on Studies of Tree Form. *Journal of Forestry* 21: 507-511.
- Brooks, J.R., Jiang, L. and Özçelik, R. 2008. Compatible stem volume and taper equations for Brutian Pine, Cedar of Lebanon, and Cilicica Fir in Turkey. *Forest Ecology and Management*, 256: 147-151.
- Bryne, J., Reed, D.D., 1986. Complex Compatible Taper and Volume Estimation System for Red and Loblolly Pine, *Forest Science*, 32, 2, 423-443.
- Burkhart, H. E. 1977. Cubic foot volume of Loblolly pine to any merchantable top limit. *Southern Journal of Applied Forestry*, 1 7-9.
- Cao, Q.V., Burkhart, H.E. and Max. T.A., 1980. Evaluation of the two methods for cubic-volume prediction of loblolly pine to any merchantable limit. *For. Sci.* 26:71– 80.
- Clark, A., Souther, R.A., Schlaegel, B.E., 1991. Stem Profile Equations For Southern Tree Species. USDA Forest Service Research Paper, SE-282.
- Cloughton-Wallin, H. and F. McVicker. 1920. The Jonson "Absolute Form Quotient" as an Expression of Taper. *Journal of Forestry* 18:346-357.
- Clutter, J. L. 1980. Development of taper functions from variable-top merchantable volume equations. *For. Sci.* 26:117-120.
- Czaplewski, R. L., McClure, J. P., 1988. Conditioning A segmented Stem Profile Model for Two Diameter Measurement, *Forest Science*, 34, 2, 512-522.
- Demeaerschalk, J. P., Kozak, A., 1977. The Whole-Bole System: A conditional Dual-Equation System for Precise Prediction of Tree Profiles, *Canadian Journal of Forest Research*, 7, 488-497.
- Fonweban, J., B. Gardiner, and Auty, D.. 2012. Variable-top merchantable volume equations for Scots pine (*Pinus sylvestris*) and Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) in Northern Britain. *Forestry* 85 (2): 237–253.
- Fox, J., 1997. Applied Regression Analysis, Linear Models, and Related Methods. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Garber, S. M., Maguire D. A., 2003. Modeling taper of three central Oregon species using nonlinear mixed effects models and autoregressive error structures, *Forest Ecology and Management*, 179, 507-507.
- Green, E. J., Reed, D. D., 1985. Compatible Tree Volume and Taper Functions for Pitch Pine, *Northern Journal of Applied Forestry*, 2, 14-16.
- Gregoire T, Schabenberger O, Barret, J. 1995. Linear modelling of irregularly spaced, unbalanced, longitudinal data from permanent-plot measurements. *Can J For Res* 25, 137-156.
- Hoyer A., 1903. Growth of Scots pine and Norway spruce. Stockholm, Bilagatill. Loven, F.A. om vara barrskorlar.
- Honer, T.G., 1967. Standard Volumes and Merchantable Conversion Factors for the Commercial Tree Species of Central and Eastern Canada, Forest Management Research and Service Institute, Ottawa, Ontario, Inform Rep. FMR-X-5, 21 s.
- Jiang, L., Brooks, JR., Wang, J., 2005. Compatible taper and volume equations for yellow-poplar in West Virginia, *Forest Ecology and Management*, 213, 399-409.
- Kalipsız, 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.
- Leties, L.P., Robinson, A.P., 2004. Improving taper equations of loblolly pine with crown dimensions in a mixed-effects modeling framework, *Forest Science*, 50, 204-212.