



Adana-Feke Kızılçam (*Pinus Brutia* Ten.) Meşcereleri İçin Gövde Çapı ve Gövde Hacim Denklemlerinin Karışık Etkili Modelleme ile Geliştirilmesinde Bazı Varyans Yapılarının Karşılaştırılması

İlker ERCANLI^{1,*}, Azim Kutlay KURT¹, Ferhat BOLAT¹

¹ ÇKÜ, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Çankırı
*İletişim yazarı: ilkerercanli@karatekin.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, Adana-Feke Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcereleri için gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin karışık etkili modelleme ile geliştirilmesinde bazı varyans yapıları karşılaştırılmıştır. Ağaçların gövde çapı değişimini modellemek üzere, Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen gövde çapı ve gövde hacim modeli kullanılmıştır. Karşılaştırılan farklı varyans yapılarından, b₁, b₃ ve b₄ rasgele parametrelerini rasgele olarak içeren ve AR(1) varyans yapısını kullanan modelleme tekniği ile en iyi tahmin sonuçları elde edilmiştir. Doğrusal olmayan regresyon analizine göre varyans yapılarının dikkate alınarak karışık etkili modelleme ile örnekleme üniteleri olan ağaçlar arasındaki gövde çapı değişkenliğinin daha iyi temsil edilmesi ve önemli bir hata kaynağının giderilmesi ile elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gövde Çapı ve Gövde Hacmi Denklemleri, Karışık Etkili Modelleme, Varyans Yapıları, Kızılçam

Comparing Variance Structure for Developing Stem Taper and Volume Equations Using Nonlinear Mixed Effect Modeling for Turkish Pine Stands in Feke-Adana Forest Directorate

Abstract

In this study, it is aiming to compare variance structure for developing Stem taper and volume equations using nonlinear mixed effect modeling for Turkish pine Stands in Feke-Adana Forest Directorate. A segmented polynomial taper and volume equations proposed by Max and Burkhart (1976) were developed to model tree taper. In comparing variance structures, AR(1) with random parameters of b₁, b₃ and b₄ provided the best fitting results to model tree taper. These successful fitting results were obtained by further taking account tree taper variances occurring in sample units, trees, and solving important problems in taper predictions according to nonlinear regression.

Keywords: Gövde Çapı ve Gövde Hacmi Denklemleri, Karışık Etkili Modelleme, Varyans Yapıları, Kızılçam

1. GİRİŞ

Ağaç hacmi ve ağaç gövdesinden elde edilen odun sınıflarının hacim ve boyutlarının doğru bir şekilde hesaplanması büyük önem arz etmektedir (Yavuz, 1995). Günümüzde değişen pazar koşulları ve ticari standartların ihtiyaçlarını kısıtlı imkânlarla rağmen, farklı boyutlardaki ve miktarlardaki odun ihtiyaçlarını sürekli olarak karşılayabilmektir. Ağaç servetinin gerçeğe en yakın bilinmesi, ağaçlardan elde edilen odun sınıflarına ilişkin gövde çapı ve gövde hacim miktarlarının en doğru şekilde hesaplanması, ormanlardan sürekli ve optimal bir yararlanmayı hedef alan orman amenajman planlarının düzenlenmesinde önemli yer tutmaktadır. Ağaçların toprak seviyesinden gövde üzerindeki herhangi bir yüksekliğe ya da çapa kadar olan kısmına, gövde üzerinde belirlenen herhangi iki yükseklik ya da çap değerleri arasındaki bölümüne ilişkin ayrıntılı hacim tahminleri, gövde çapı ve gövde hacim denklemleri (Stem taper and volume equations) ile elde edilebilmektedir (Yavuz 1995, Yavuz & Saraçoğlu 1999, Sakıcı 2002, Özçelik 2008). Gövde çapı ve gövde hacim modelleri ile elde edilebilecek bu tahminler Kozak (2004) tarafından;

- (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 & Alkan 2011, Özçelik vd. 2012).

Ormanlıkta ağaçların gövde şekli üzerine çalışmalara 100 yılda uzun süredir devam etmektedir (Höjer, 1903; Cloughton-Wallin & McVicker, 1920; Behre, 1923). Gövdenin ticari bölümlerine ait hacim değerlerini veren hacim oran denklemleriyle istatistiksel olarak ilk gövde profili modelleri 1960'ların sonlarına doğru geliştirilmeye başlanmıştır (Honer, 1967; Burkhart, 1977; Cao et al., 1980; Clutter, 1980; Newnham, 1992). Max & Burkhart (1976) Gövde modellerinin bütünü yerine, şekil farklılıkları gösteren her bir bölüm için ayrı bir polinom oluşturarak, bu polinomları bir modelde birleştirip "Segmented Polinomiyal Gövde Profili Modeli" isimli gövde çapı modelini geliştirmiştir. İstatistiksel anlamda oldukça başarılı olan bu model daha sonra pek çok araştırmacı tarafından farklı ağaç türleri için gövde çaplarının tahmin edilmesi için kullanılmıştır (Demaerschalk & Kozak, 1977; Cao et al., 1980; Green ve Reed, 1985; Byrne ve Reed, 1986; Czaplewski & McClure, 1988). Clark et. al (1991), Segmented polinomiyal gövde profili modeli Max & Burkhart (1976) tarafından geliştirilen model yapısından farklı bir formda geliştirilmiştir. Jiang et al. (2005), Clark et al. (1991) tarafından önerilen segmented polinomiyal gövde profili modelinde çeşitli dönüşümler ile daha az parametreye sahip yeni bir model formu geliştirmiştir. Gövde çapı modellerinin geliştirilmesinde veri kaynağı olarak; tek ağaçlar üzerinde gövde boyunca ölçülen çap değerleridir. Ağaçlar üzerinde ölçülen çap değerleri arasında seri-korelasyon problemi oluşmaktadır (Leites & Robinson, 2004).Gövde çapı ve gövde hacim denklemlerine ait parametre tahminlerin yapılırken güven aralıklarının sistematik bir hata ile tahmin edilmesine ve böylece model sonuçlarının güvenilirliğinin olumsuz yönde etkilememesine ve hatalı tahminlerin elde edilmesinde neden olan seri korelasyon problemine bir çözüm olarak ise; Karışık etkili modelleme (nonlinear mixed effect modeling) ile zaman seri analizlerinin bir uygulaması olan Otoregresif modelleme "Autoregressive modeling" olmak üzere iki farklı yaklaşım önerilmektedir (Gregoire et al., 1995). Son yıllarda da, karışık etkili modelleme ile otoregresif modellemenin bütünleştirildiği çalışmalar önem kazanmaktadır. Karışık etkili modelleme ile örnek ağaçlar arasındaki değişkenlik model yapıları içerisine katılırken; otoregresif modelleme ile de örnek ağaçlar arasındaki değişkenlik yapıları analiz

edilmektedir. Bu çalışmada, Adana – Feke yöresinden lede edilen 50 adet örnek ağaçtaki gövde çapının gövde boyunca değişimini modelleyen segmented polinomiyal modellerinin karışık etkili modelleme ile birlikte örnekleme ünitelerinde varyans yapılarını da dikkate ele alarak modellenmesi amaçlanmaktadır.

Sonuç olarak odun hacminin daha güvenilir ve daha doğru olarak belirlenebilmesi ve sürdürülebilir orman yönetimi için ağaç türleri ve farklı yetiştirme ortamları için gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada Aydın-Feke yöresi kızılçam meşcereleri için gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin karışık etkili modelleme ile geliştirilmesinde bazı varyans yapılarının karşılaştırılması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Çalışmaya konu olan 50 örnek ağaç Adana Orman Bölge Müdürlüğü Feke Orman İşletme Müdürlüğü içerisinde yayılış yapan Kızılçam meşcerelerinden elde edilmiştir. Seçilen örnek ağaçların ilgili meşcereleri çap ve boydaki değişkenliği temsil edebilmeleri için, farklı çap ve boy gruplarından seçilmiştir. Örnek ağaçların seçimi sırasında, tepesi kırık, çatallı tepeye ya da gövdeye sahip olan ve düzgün gövdeli olmayan ağaçların seçilmemesine özen gösterilmiştir. İkinci aşamada; örnek ağaçlar kesilmiş ve toplam ağaç boyu şerit metre yardımı ile ortalama 1 cm hata ile ağaç gövde çapı ve 1 metre aralıklarla ağaç tepe noktasına kadar gövde üzerinde çap değerleri cm hassasiyetiyle ölçülmüştür. Örnek ağaçlarla ilgili açıklayıcı istatistikler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Verilere ilişkin tanımlayıcı istatistikler

	Gövde çapı (cm)	Boy (m)
Maksimum	32,20	23,50
Minimum	14,90	13,50
Ortalama	22,18	17,92
Standart sapma	3,68	2,46

2.2. Yöntem

Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen gövde çapı modeli tüm ağaç gövdesini, gövdenin dibe yakın kısmı nailoid orta kısmı kesik paraboloid ve uç kısmını da koni olarak üç farklı geometrik şekilde tanımlamış olup üç farklı geometrik şekil iki katılma noktası ile birleştirilerek tek bir formül olarak vermiştir. Max and Burkhart (1976) modeli denklem;

$$\frac{d^2}{D^2} = b_1(Z - 1) + b_2(Z^2 - 1) + b_3(a_1 - Z)I_1 + b_4(a_2 - Z)I_2$$

$$Z = \frac{h}{H} \quad I_i = \begin{cases} 1 & Z \leq a_i \\ 0 & Z > a_i \end{cases} \quad i = 1, 2$$

biçiminde olup, bu denklemde;

h = Ölçüm noktasının yerden olan yüksekliği (m),

H = Toplam ağaç boyu (m),

D = Kabuklu göğüs çapı (cm),

d = Yerden herhangi bir h yüksekliğindeki kabuklu çap değeri (cm)

a_i = Örnek ağaçlardan tahmin edilen katılma noktaları, i=1,2

b_i = regresyon katsayıları, i=1,4, göstermektedir.

Örnekleme ünitesi olan örnek ağaçlardaki gövde boyunca elde edilen ve hiyerarşik bir yapı oluşturan veriler ile gövde çapı denkleminin oluşturulmasında, karışık etkili modeller kullanılmıştır. Karışık etkili modellemenin model yapısı parametrelerin rasgele etkilere ve sabit etkilere ilişkin parametre olarak iki grupta toplanır ve doğrusal ve doğrusal olmayan modellemeden farklı bir yapıya dayanmaktadır. Rasgele etkili parametre farklı örnekleme üniteleri arasında oluşan değişkenliği gösterirken, sabit etkili parametre toplumun bütünü için geçerli olan genel trendi ifade eder. Karışık modellerde model yapısı (1) ve Karışık modellerin, model parametrelerini sabit etkili ve rasgele etkili parametre olarak iki sınıfta değerlendirmesine ait formül aşağıda verilmiştir.

$$Y_{ij} = f(\Phi_i, X_{ij}) + \varepsilon_{ij}$$
$$\Phi_i = A_{ij}\beta + B_{ij}b_i$$

Y_{ij} i. örnek alandaki (tekrarlı ölçümlerde, i. ölçüm) j. ağaca ilişkin ölçülen bağımlı değişken değerini, X_{ij} i. örnek alandaki (tekrarlı ölçümlerde, i. ölçüm) j. ağaca ilişkin ölçülen bağımsız değişken değerini, Φ_i modele ilişkin parametre değerlerini, ε_{ij} model hatalarını göstermektedir (Calama & Montero, 2004; Castedo Dorado et al., 2006; Crecente-Campo et al., 2010). Karışık modellemede sabit etkili parametreler, modellerin tahmin edilmesi sürecinde edilir ve modelin geliştirildiği toplumun bütünü için geçerli olup söz konusu toplumdaki büyümenin genel eğilimlerini ortaya koymaktadır. Sabit etkili parametrelere ilişkin tahminler, örnek alanlar veya meşcereler arasında farklılıklar göstermezler, tüm toplum için sabit değerlerdir. Rasgele etkili parametreler modellerin uygulanacağı örnek alan veya meşcere için tahmin elde edilir. Örnek alanlar ve meşcereler arasında değişkenlik gösterir. Rasgele etkili parametrelerin, farklı örnek alanlar ve meşcereler için tahmin edilebilmesi farklı meşcerelerin sahip olduğu büyümedeki trendini yansıtabilecek tahminler elde edilebilmesi, karışık etkili modellerin, farklı örnek alanlarda tahmin başarılarını ve gerçekçiliğini artırmaktadır (Crecente-Campo et al., 2010).

Varyans yapıların karşılaştırılıp ağaçların çap-boy ilişkilerinin modellenmesindeki en başarılı olanın belirlenmesinde; Akaike Bilgi Ölçütü (Akaike's Information Criterion, AIC), Bayesian Bilgi Ölçütü (BIC) ve log likelihood değeri kullanılmıştır. çalışmada kullanılan regresyon modelleri ile bağımlı değişkendeki açıklanan değişkenliğin oranını veren belirtme katsayısının olabildiğince büyük ve 1'e yakın, AIC ve BIC ölçütlerinin ise olabildiğince küçük olması istenilmektedir (Castedo-Dorado et al., 2006). AIC ve BIC ölçütleri, çap-boy denklemlerinin karşılaştırılmasında yaygın bir biçimde kullanılan başarı ölçütleri olup, başarı ölçütlerine ilişkin eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$AIC = -2 \log L + 2q$$
$$BIC = -2 \ln(L) + q \ln(L)$$
$$-2LL = -2 \ln(L)$$

Bu eşitliklerde, L; Logaritmik Likelihood fonksiyonunun maksimum değerini, q; tahmin edilen sabit etkili ve rasgele etkili varyans bileşeni sayısını, N; örnek alan sayısını, n örnek alandaki boyu ölçülen ağaç sayısını, h_i ve h_{ij} ölçülen ve tahmin edilen ağaç boylarını ifade etmektedir.

Denklemler verilen gövde profil denkleminin parametre tahminleri ile çeşitli istatistiksel başarı ölçüt değerlerinin elde edilmesinde, SAS İstatistik Paket Programındaki PROC MODEL prosedürü kullanılmıştır (SAS Institute Inc, 2004). Çalışmada eşitlikleri verilen çap-boy ilişkilerinin modelleyen doğrusal olmayan karışık etkili regresyon modellerinin parametre tahminlerinin elde edilmesinde, Maksimum Olabilirlik (Maximum Likelihood) yöntemini esas alan SAS İstatistik Paket Programındaki NLMIXED prosedürü kullanılmıştır (SAS Institute Inc., 2004).

3. BULGULAR

Ağaçların gövde boyunca çap düşüşünü modellemek üzere kullanılan Max and Burkhardt (1976) denkleminin Doğrusal Olmayan regresyon analizi ile elde edilen parametre değerleri ile çeşitli istatistik değerler Tablo 2’te verilmiştir. Tablo 2 incelendiğinde, geliştirilen denklemin açıklayıcılığı %98.22 iken, bazı parametrelerin ise %0.05 önem düzeyi ile anlamsız olduğu görülmektedir. Tablo 3’te ise, b₁, b₃ ve b₄ rasgele parametrelerini rasgele olarak içeren ve herhangi bir varyans yapısını kullanmayan denklem sonuçları ile rasgele parametreler ile birlikte AR(1) ve ARMA(1) varyans yapılarını kullanan denkleme ilişkin -2LL, AIC ve BIC sonuçlar görülmektedir. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde; en iyi model tahmin sonuçları, b₁, b₃ ve b₄ rasgele parametrelerini rasgele olarak içeren ve AR(1) varyans yapısını kullanan modelleme tekniği ile elde edildiği görülmektedir. Tablo 4’da, b₁, b₃ ve b₄ rasgele parametrelerini rasgele olarak içeren ve AR(1) varyans yapısını kullanan modelleme tekniği ile elde edilen parametre değerleri ile çeşitli istatistik ölçüt değerleri verilmiştir

Tablo 2. Doğrusal olmayan regresyon analizi sonuçları

	Tahmin	Standart Hata	t-değeri	P > t
b1	-3.2111	1.9471	-1.65	0.0998
b2	1.4795	1.0559	1.40	0.1618
b3	-0.8089	1.0863	-0.74	0.4568
b4	27.9288	4.1372	6.75	<0.0001
a1	0.9059	0.0426	21.28	<0.0001
a2	0.1165	0.00843	13.82	<0.0001

Tablo 3. Farklı varyans yapıları için çeşitli istatistik kriter sonuçları*

Varyans yapısı	-2LL	AIC	BIC
b ₁ , b ₃ ve b ₄ rasgele parametre	-408.6	-406.6	-404.7
b ₁ , b ₃ ve b ₄ rasgele parametre + AR (1)	-427.3	-411.3	-396.0
b ₁ , b ₃ ve b ₄ rasgele parametre + ARMA (1)	-408.6	-402.6	-396.8

*TOEPLITZ ve COMPOUN SYMETRY varyans yapıları için sonuç elde edilememiştir.

Tablo 4. b₁, b₃ ve b₄ rasgele parametrelerini rasgele olarak içeren ve AR(1) varyans yapısı ile edilen parametre değerleri

	Tahmin	Standart Hata	t-değeri	P > t
b1	-3.8524	0.0461	-22.24	<0.0001
b2	1.0458	0.03258	12.58	<0.0001
b3	-0.7896	0.0125	-0.55	<0.0001
b4	25.254	2.1587	4.25	<0.0001
a1	0.8852	0.0145	25.27	<0.0001
a2	0.1025	0.00458	15.88	<0.0001

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Adana-Feke yöresi kızılçam meşcereleri elde edilmiş kızılçam ağaçları için gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin, doğrusal olmayan karışık etkili modelleme yaklaşımı ile geliştirilmiş ve farklı varyans yapıların göre model tahmin sonuçlarının karşılaştırılmıştır. Doğrusal olmayan regresyon analizi ile bazı parametreler istatistiksel olarak anlamsız olarak belirlenmesine karşın, özellikle karışık etkili modelleme ile birlikte varyans yapılarının da dikkate alınması, tüm parametre tahminlerinin istatistiksel olarak anlamlı olarak elde edilmesini sağlamıştır. Bu sonuç, doğrusal olmayan regresyon analizine göre varyans yapılarının dikkate alınarak karışık etkili modelleme ile örnekleme üniteleri olan ağaçlar arasındaki gövde çapı değişkenliğinin daha iyi temsil edilmesi ve önemli bir hata

kaynağının giderilmesi ile açıklanabilir. Ye (2005), regresyon analizine ilişkin bu varsayımın ihlal edilmesi, parametrelere ilişkin güven aralıklarının sistematik bir hata ile tahmin edilmesine ve model sonuçlarının güvenilirliğinin olumsuz yönde etkilemesine ve hatalı tahminlerin elde edilmesine neden olabileceğini ifade etmiştir. Bu bakımdan çalışmamızda, parametre tahminlerinde ki bu iyileşme, varyans yapılarını da dikkate alarak karışık etkili modelleme ile elde edilmiştir. Çalışma kapsamında karşılaştırılan farklı varyans yapılarından, AR(1) varyans yapısının en iyi tahmin sonuçları elde edilmiş olup, özellikle örneklem üniteleri arasındaki değişkenliğin, diğer varyans yapısına göre AR(1) varyans yapısının daha iyi temsil etmesi ile bu sonuç elde edilmiştir. Benzer şekilde, Gövde çapının modellenmesine ilişkin yapılan diğer bir çok çalışmada, Tasissa and Burkhart (1998), Valentine and Gregorie (2001), Fang and Bailey (2001), Garber and Maguie (2003), Leites and Robinson (2004), Trincado and Burkhart (2006), Özçelik ve ark. (2011), karışık etkili modelleme ile daha iyi tahmin sonuçları elde edilmiştir. Bu bakımdan, karışık meşcerelerinden elde edilmiş ağaçlar kullanılarak geliştirilecek gövde çapı ve gövde hacim denklemleri ile daha doğru ve güvenilir gövde çapı ve ayrıntılı hacim tahminleri elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- Behre, C.E. 1923. Preliminary Notes on Studies of Tree Form. *Journal of Forestry* 21: 507-511.
- 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. *South. J. Appl. For.* 1(2):7-9.
- Calama R, Montero G (2004). Interregional nonlinear height– diameter model with random coefficients for stone pine in Spain, *Canadian Journal of Forest Research* 34, 150–163.
- Cao, Q. V., Burkhart, H. E., Max, T. A., 1980. Evaluating of Two Methods for Cubic-Volume Prediction Of Loblolly Pine to Any Merchantable Limit, *Forest Science*, 2, 1, 71-80.
- Castedo-Dorado F, Diéguez-Aranda U, Barrio M, Sánchez M, von Gadow K (2006). A generalized height-diameter model including random components for radiata pine plantations in northeastern Spain, *Forest Ecology and Management*, 229, pp. 202 – 213.
- Clark, A., Souther, R.A., Schlaegel, B.E. 1991. Stem profile equations for southern tree species. *USDA For. Serv. Res. Pap.* 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, *Forest Science*, 26, 1, 117-120.
- Crecente-Campo F, Tomé M, Soares P, Diéguez-Aranda U (2010). A generalized nonlinear mixed-effects height-diameter model for Eucalyptus globulus L. in northwestern Spain, *Forest Ecology and Management*, 259, 943-952.
- Czaplewski, R. L., McClure, J. P., 1988. Conditioning A segmented Stem Profile Model for Two Diameter Measurement, *Forest Science*, 34, 2, 512-522.
- Czaplewski, R. L., Brown, A. S., Guenther, D. G., 1989. Estimating Merchantable Tree Volume in Oregon and Washington Using Stem Profile Models, *USDA Forest Research Service Paper Service Paper RM-286*, 15 p.
- 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.
- Fang, Z., Bailey R.L., 2001. Nonlinear mixed effects modeling for slash pine dominant height growth following intensive silvicultural treatments, *Forest Science* 47, 287-300.
- Garber, S. M., Maguire D. A., 2003. Modeling stem 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.

- Hojer A., 1903. Growth of Scots pine and Norway spruce. Stockholm, Bilaga till. 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 p.
- Jiang, L., Brooks, JR. and Wang, J., 2005. Compatible taper and volume equations for yellow-poplar in West Virginia, Forest Ecology and Management, 213, 399-409.
- 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.
- Max, T. A., Burkhart, H. E., 1976. Segmented Polynomial Regression Applied to Taper Equations, Forest Science, 22, 3, 283-289.
- Newnham, R. M., 1988. A Variable Form Taper Function. Information Report PI-X-83. Forestry. Canada, 33 p.
- Kozak, A., 2004. My Last Words on Taper Equations. Forest Chronicle, 80, 507-515.
- Özçelik, R., 2008. Comparison of Formulae for Estimating Tree Bole Volumes of *Pinus sylvestris*. Scandinavian Journal of Forest Research, 23 (5), 412-418.
- Özçelik, R., 2010. Sarıçam için Uyumlu Gövde Çapı ve Gövde Hacim Modeli. III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi Artvin, Bildiriler Kitabı, 358-366.
- Özçelik, R., Alkan, H., 2011. Okalıptüs Ağaçlandırmaları için Uyumlu Gövde Çapı ve Gövde Hacim Modellerinin Geliştirilmesi. I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu Kahramanmaraş, Bildiriler Kitabı, 720-730.
- Özçelik, R. and Brooks, J. R., 2012. Compatible Volume and Taper Models for Economically Important Tree Species of Turkey, Annals of Forest Science, 69, 105-118.
- Ozçelik, R., Brooks, J.R., Jiang, L., 2011. Modeling stem profile of Lebanon cedar, Brutian pine, and Cilicica fir in Southern Turkey using nonlinear mixed-effects models. European Journal of Forest Research, 130, 613-621.
- Özçelik, R., Yavuz, H., Karatepe, Y., Gürlevik, N., Kırış, R., 2012, Burdur Yöresi Kızılcım Meşcereleri için Gövde Çapı ve Gövde Hacim Denklemlerinin Geliştirilmesi, SDÜ Orman Fakültesi Dergisi, 85-91.
- Sakıcı, O., 2002. Kastamonu Yöresi Uludağ Göknarı Meşcerelerinde Gövde Profili, Hacim, Hacim Oran Sistemlerinin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Sas Institute Inc., 2004. SAS/STAT 9.1 User's Guide: statistics, Version 9.1, SAS Institute Inc., Cary, NC., 816 s.
- Tassia, G. & Burkhart, H.E., 1998. An application of mixed effects analysis to modeling thinning effects on stem profile of loblolly pine. Forest Ecology and Management, 103, 87-101.
- Trincado, G. & Burkhart, H.E., 2006. A generalized approach for modeling and localizing stem profile curve, Forest Science, 52:670-682.
- Valentine, H. and T., Gregoire T., G., 2001. A switching model of bole taper, Canadian Journal of Forest Research, 31(8): 1400-1409.
- Yavuz, H., 1995. Uyumlu ve Uyumsuz Gövde Çapı Modelleri, KTÜ Orman Fakültesi Bahar Yarıyılı Seminerleri, Fakülte Yayın No:49, 101-106.
- Yavuz, H. & Saraçoğlu, N., 1999. Kızılağaç için Uyumlu ve Uyumsuz Gövde Çapı Modelleri, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 23, Ek Sayı 5, 1275-1282
- Ye, S., 2005. Covariance structure selection in linear mixed models for longitudinal data, M. Sc. Thesis, Department of Bioinformatics and Biostatistics, University of Louisville, Kentucky, USA.