



Batı Karadeniz Yöresi Sarıçam Meşcereleri İçin Uyumlu Gövde Çapı ve Gövde Hacim Denklemlerinin Karışık Etkili Modelleme ile Geliştirilmesi

Muammer ŞENYURT^{1,*}, İlker ERCANLI¹, Ömer SARAÇOĞLU²

¹ ÇKÜ Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Çankırı

² İÜ Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, İstanbul

*İletişim yazarı: msenyurt@karatekin.edu.tr

Özet

Gövde çapı ve gövde hacim denklemleri (Stem taper and volume equations), ağaçlara ilişkin ayrıntılı hacim tahminleri ile bu tahminlere göre ağaçlardan elde edilebilecek odun çeşitlerinin ortaya konulmasını sağlamaktadırlar. Bu çalışmada Batı Karadeniz Yöresi Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) meşcerelerinden alınan 86 adet örnek ağaç verisine bağlı olarak Max ve Burkhart (1976) tarafından önerilen “Segmented Polinomial Gövde Çapı ve Gövde Hacim Denklemi” geliştirilmiştir. Ayrıca, modellerin oluşturulmasında veri kaynağı olarak kullanılan gövde üzerindeki çap ölçümlerindeki seri korelasyon bir çözüm olarak son yıllarda tercih “Karışık Etkili Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi” yöntemi ile de parametre tahminleri gerçekleştirilmiştir. AIC, AICC ve BIC ölçüt değerlerine göre yapılan karşılaştırmada, Farklı rasgele etkili ve sabit etkili parametre değerleri içeren denklem yapıları içerisinde, b_2 ve b_4 'i rasgele parametre olarak içeren doğrusal olmayan karışık etkili Segmented Polinomial Gövde Çapı Modeli ile gövde çapı değerlerine tahmin etmede diğer denklem yapılarına göre daha başarılı tahmin sonuçları elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gövde Çapı ve Gövde Hacim Denklemleri, Doğrusal Olmayan Karışık Etkili Modelleme, Sarıçam, Batı Karadeniz

Developing Stem Taper and Volume Equations Using Nonlinear Mixed Effect Modeling for Scotch Pine (*Pinus sylvestris* L.) Stands in West Black Sea Region

Abstract

Stem taper and volume equations provide detailed volume predictions and are important to obtain the predictions of timber assortments. In this study, segmented polynomial taper and volume equations proposed by Max and Burkhart (1976) were developed by using 86 sample trees Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) stands located in West Black Sea Region. Also, nonlinear mixed effect regression modeling analysis that come into prominence in recent years were used for a solution to serial correlated diameter data measured within tree stem. Comparing based on the AIC, AICC and BIC values, the nonlinear mixed effect model with random parameters of b_2 and b_4 provided the best fitting results to model tree taper than other equation structures including different fixed and random parameters.

Keywords: Stem taper and volume equations, Nonlinear mixed effect regression analysis, Turkish pine stands, West Black Sea Region

1. GİRİŞ

Ağaçlar, kambiyum faaliyetlerinin bir sonucu olarak çap ve boyları artarken zaman içinde hacimleri de artmaktadır. Buna bağlı olarak hacim gelişiminin iki temel ögesi; çap ve boy artımıdır. Çap ve boyda ki artışın bir sonucu olarak meydana gelen hacim; özellikle ormancılık faaliyetlerinin satılabilir üretiminin büyük bir kısmını oluşturması ile büyük bir önem taşımaktadır. Ormanın ana ürünü olan ve işletme sermayesinin büyük bir bölümünü oluşturan ağaç serveti, bir orman işletmesinin temel girdisi ve orman işletmesinin var oluşunu ortaya koyan temel öğedir (Yavuz, 1999; Kapucu, 2004).

Orman işletmeciliğinde, işletmenin sermayesinin çok önemli bir kısmını oluşturan ağaç servetinin bilinmesi çok önemlidir. Birincil ürün olan ağaç servetinin ölçü birimi genellikle hacimdir. Ülkemizde ormanlar, amenajman planına göre işletilmektedir. Bu planların yapılması ve ürün hasadı aşamalarında meşcere hacminin bilinmesi gereklidir. Meşcere hacminin belirlenmesinde çeşitli yöntemler önerilmektedir (Fırat, 1973, Loetsch et al. 1973). Bunlardan en yaygın olarak kullanılan yöntem ise hacim tabloları yöntemleridir ve en çok tercih edilen "ağaç hacim denklemleri ve tabloları" yöntemidir (Kalıpsız, 1984). Envanter çalışmalarıyla meşcere hacminin belirlenmesinde, pratik olmaları nedeniyle, en büyük yardımcı ağaç hacim tablolarıdır (Saraçoğlu, 1988). Ağaç hacmi, genellikle göğüs çapı (tek girişli) ya da göğüs çapı ve boyun birlikte fonksiyonu (çift girişli) olarak oluşturulan ağaç hacim denklemleri ile hesaplanmaktadır (Yavuz ve Saraçoğlu, 1999). Tarihte ilk hacim tablosunu 1804 yılında kayın ağaç türü için düzenleyen araştırmacının H. von Cotta olduğu bilinmektedir. Cotta'ya göre "Bir ağacın hacmi; çapı, boyu ve şekline bağlıdır. Bir ağacın hacmi tam olarak belirlenmiş ise bu hacim benzer çap, boy ve şekilde olan ağaçlar için geçerlidir." olarak tanımlanmıştır (Meyer, 1953).

Ağaç hacim denklemleri ve tabloları, bir ağaçtan elde edilebilecek bütün odun hacmine ilişkine hacim tahminleri sağlarken, 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 tahminlerinin elde edilmesi, ormancılık uygulamalarında giderek önem kazanmaktadır. Çünkü böylece dikili satış yönteminin yoğun olarak kullanılması ve sürekli değişen pazar koşullarının değişmesi bu ayrıntılı tahminlerin elde edilmesini gerekli kılmaktadır. 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, 2008).

Özellikle, gövde çapı modellerinin geliştirilmesinde, veri kaynağı olarak; tek ağaçlar üzerinde gövde boyunca ölçülen çap değerleri kullanılmakta olup, böylece ölçümü yapılan çap değerleri birbiri ile bağımlı (seri korelasyon "otokorelasyon") olduğu bir hiyerarşik veri yapısı oluşmaktadır (Leites and Robinson, 2004). Elde edilen hiyerarşik veri yapısına bağlı olarak gövde çapı modellerinin geliştirilmesinde ise, doğrusal olmayan regresyon analizi tekniklerinin kullanımı ile bu analizlerinin gerektirdiği temel varsayımlardan biri olan verilerin bağımsızlığı ilkesi ihlal edilmektedir (Valentine and Gregorie, 2001). Özellikle 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 olabilmektedir (Ye, 2005). Gövde çapı modellerinin üretilmesinde son yıllarda, özellikle modellerin geliştirilmesinde veri kaynağı olarak kullanılan gövde boyunca elde edilmiş çap değerlerindeki seri korelasyon problemine (otokorelasyon) bir çözüm olarak "Karışık Etkili

Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi” (Nonlinear Mixed Effect Regression Analysis) yaygın bir biçimde kullanılmaktadır (Trincado and Burkhart, 2006; 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 et. al., 2011).

Bu çalışmada, Batı Karadeniz yöresi Sarıçam ağaçları için uyumlu gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin karışık etkili modelleme ile geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada Batı Karadeniz Yöresinde önemli bir yayılışa sahip olan Sarıçam meşcerelerinden, Şenyurt (2011) tarafınan elde edilmiş 86 adet Sarıçam ağacına ilişkin gövde analizi verisi kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında, özellikle farklı çaplarda ve boylarda seçilmiş olan örnek ağaçlar, dip kütük yüksekliğinden (0.3 m) kestirilmiş, mümkün olduğunca düzenli bir şekilde (0.3 m, 1.3 m, 3.3 m, 5.3 m gibi, 2’şer metre ara ile) gövde çapları ölçülmüştür. Gövde şekli olarak daireden farklı bozuk gövde şekillerine sahip ağaçlarda birbirine dik iki eksende 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.

Örnek ağaçlarda gövde boyunca elde edilen çap değerleri, çap ölçüm yükseklikleri ve toplam ağaç boyu verileri ile bu verilerden üretilmiş çeşitli bağımsız ve bağımlı değişkenleri içeren gövde çapı ve gövde hacim denkleminin elde edilmesinde, “Segmented Polinomial Gövde Profili Modeli” kullanılmıştır. Max ve Burkhart (1976)’ın geliştirmiş olduğu ‘Segmented Polinomial Gövde Çapı Modeli” ise aşağıda verilmiştir.

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

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

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

Yukarıda eşitlikliği verilen gövde çapı modelinin parametre tahminleri ile çeşitli istatistiksel değerlerinin elde edilmesinde, SAS İstatistik Paket Programındaki NLIN prosedürü kullanılmıştır (SAS Institute Inc., 2004). Ayrıca bu çalışmada diğer bir aşama ise; Segmented Polinomial Gövde Çapı Modeline Karışık Etkili Modelleme sürecinin uygulanmasıdır. Karışık etkili modelleme; tek ağaçlar üzerinde gövde boyunca ölçülen çap değerlerinin kullanıldığı ve böylece oluşan ölçümü yapılan çap değerlerinin birbiri ile bağımlı (seri korelasyon “otokorelasyon”) olduğu hiyerarşik veri yapıları problemine bir çözüm olarak uygulanmaktadır. Bu çalışmada; doğrusal olmayan karışık etkili regresyon modellerinin parametre tahminlerinin elde edilmesinde, SAS İstatistik Paket Programındaki NLMIXED prosedürü kullanılmıştır (SAS Institute Inc., 2004).

Karışık etkili modelleme sürecinde ilk olarak değerlendirilmesi ve ortaya konulması gereken en önemli konu, model yapısı içinde hangi parametrelerin rasgele etkili hangi

parametrelerinin sabit etkili olacağını belirlenmesidir. Bunun için; bu çalışmada ağaçların gövde çapı düşüşünü modellemek üzere kullanılan Max and Burkhart (1976) denklemi, farklı sabit ve rasgele etkili parametreleri içerecek şekilde üretilerek, farklı parametre seçenekleri içeren denklemlerin gövde çap değerlerini tahmin başarıları ise Akaike Bilgi Ölçütü (AIC), düzeltilmiş Akaike Bilgi Ölçütü (AICC) ve Sawa'nın Bayesian Bilgi Ölçütü (BIC) değerleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Akaike Bilgi Ölçütü (AIC), düzeltilmiş Akaike Bilgi Ölçütü (AICC) ve Sawa'nın Bayesian Bilgi Ölçütü (BIC) formülleri aşağıda verilmiştir.

$$AIC = n \cdot \ln\left(\frac{RKT}{n}\right) + 2k$$
$$AICC = 1 + n \cdot \ln\left(\frac{RKT}{n}\right) + \frac{2(k+1)}{n-k-2}$$
$$BIC = n \cdot \ln\left(\frac{RKT}{n}\right) + \frac{2(k+2) \cdot n \cdot \sigma^2}{RKT} - \frac{2 \cdot n^2 \cdot \sigma^4}{RKT^2}$$

Bu formüllerde, RKT; regresyon kareler toplamı olup, modelin hata varyansını göstermektedir ve gözlem değerinden model ile elde edilen tahmin değerlerinin çıkarılması ile elde edilen model hatalarının karesi ile olarak hesaplanmaktadır. Formüllerde, n ve k; modelin geliştirilmesinde kullanılan veri sayısını ve modeldeki katsayı sayısını ifade etmektedir

3. BULGULAR

Bu çalışmada farklı yüksekliklerdeki çap değerlerini tahmin etmek üzere geliştirilen Segmented Polinomial Gövde Çapı Modeline ilişkin Doğrusal olmayan regresyon modeli ile Karışık Etkili modellemenin (K.M.E.) çeşitli rasgele parametreleri seçeneklerini içeren modelleri için hesaplanan AIC, AICC ve BIC değerleri; Tablo 1'de verilmiştir. Özellikle, farklı rasgele parametreleri içeren karışık etkili modellemeye ilişkin başarı ölçüt değerleri, doğrusal olmayan regresyon analizine ilişkin ölçüt değerlerine göre daha başarılı olarak elde edilmiştir (Tablo 1). Farklı rasgele etkili ve sabit etkili parametre değerleri içeren denklem yapıları içerisinde, b₂ ve b₄'i rasgele parametre olarak içeren doğrusal olmayan karışık etkili Segmented Polinomial Gövde Çapı Modeli en düşük AIC, AICC ve BIC değerlerine sahip olup (-2556, -2556, -2534), bu bakımdan farklı yüksekliklerdeki gövde çapı değerlerine tahmin etmede diğer denklem yapılarına göre daha başarılı tahmin sonuçları vermektedir. Tablo 2'te, b₂ ve b₄'i rasgele parametre olarak içeren doğrusal olmayan karışık etkili modelleme ile elde edilmiş Segmented Polinomial Gövde Çapı Modeli sabit ve rasgele parametreleri ile varyans bileşenleri verilmiştir.

Tablo 1. Farklı rasgele ve sabit etkili parametreleri içeren modellere ilişkin AIC, AICC ve BIC değerleri

	AIC	AICC	BIC
Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi	-1356	-1355	-1325
b_1 'i rasgele parametre olarak içeren K. E. M.*	-2242	-2242	-2224
b_2 'i rasgele parametre olarak içeren K. E. M.	-2235	-2235	-2217
b_3 'i rasgele parametre olarak içeren K. E. M.	-2170	-2170	-2152
b_4 'i rasgele parametre olarak içeren K. E. M.	-1999	-1998	-1981
b_1 ve b_2 'i rasgele parametre olarak içeren K. E. M.	-2394	-2393	-2371
b_1 ve b_3 'i rasgele parametre olarak içeren K. E. M.	-2402	-2402	-2380
b_1 ve b_4 'i rasgele parametre olarak içeren K. E. M.	-2531	-2531	-2509
b_2 ve b_3 'i rasgele parametre olarak içeren K. E. M.	-2202	-2201	-2282
b_2 ve b_4 'i rasgele parametre olarak içeren K. E. M.	-2556	-2556	-2534
b_3 ve b_4 'i rasgele parametre olarak içeren K. E. M.	-2348	-2347	-2325

Tablo 2. Doğrusal olmayan karışık etkili model parametreleri ile varyans bileşenleri

Parametreler	Parametre Tahmini	Standart Hata	t	p	
Sabit Etkili Parametreler	b_1	-6.5402	0.8943	-7.31	<0.0001
	b_2	3.1883	0.4867	6.65	<0.0001
	b_3	-3.3203	0.4937	-6.73	<0.0001
	b_4	44.9321	3.3881	13.26	<0.0001
	a_1	0.8491	0.01111	76.46	<0.0001
	a_2	0.1091	0.003129	34.88	<0.0001
Rasgele Etkili Parametre Varyansları	$\sigma_{b_2}^2$	0.005462	0.000992	5.51	<0.0001
	$\sigma_{b_4}^2$	232.32	54.8546	4.24	<0.0001
Kovaryans	$\sigma_{b_2b_4}^2$	0.05480	0.1484	0.37	<0.0001
Model Hatası	σ^2	0.001375	0.000076	18.08	<0.0001

Karışık etkili modelleme yaklaşımına göre elde edilmiş ve ağaçların herhangi bir yükseklikteki çaplarını tahmin eden segmented polinomiyal gövde çapı denklemi ise, aşağıda verilmiştir.

$$\frac{d^2}{D^2} = -6.5402 \cdot (Z - 1) + (3.1883 + u_0) \cdot (Z^2 - 1) - 3.3203 \cdot (0.8491 - Z)^2 I_1 + (44.9321 + u_1) \cdot (0.1091 - Z)^2 I_2$$

4. SONUÇ

Bu çalışmada, Batı Karadeniz Yöresinde önemli bir yayılışa sahip olan saf sarıçam meşcerelerinden elde edilmiş sarıçam ağaçları için gövde çapı ve gövde hacim denklemleri, doğrusal olmayan karışık etkili modelleme yaklaşımı ile geliştirilmiştir. Çalışmaya konu karışık meşcerelerinden kesilen örnek ağaç verileri kullanılarak (Şenyurt, 2011) ağaç gövdesinin tamamı yerine, şekil farklılıkları gösteren her bir bölüm için ayrı bir polinom oluşturularak, bu polinomları bir modelde birleştiren "Segmented Polinomiyal Gövde Profili Modeli" geliştirilmiştir. Gövde çapı denklemlerinin geliştirilmesinde veri kaynağı olan ağaçlar üzerinde ölçülen gövde çap ölçümlerinde oluşacak seri-korelasyon probleminin giderilmesi için Doğrusal olmayan karışık etkili modelleme "Nonlinear mixed effect modeling" ile sabit ve rasgele parametre tahminleri yapılmıştır.

Ağaçların gövde çaplarını tahmin etmek üzere geliştirilen doğrusal olmayan gövde çapı denklemlerine ilişkin ve model yapısında farklı rasgele ve sabit etkili parametreleri içeren karışık etkili denklem yapılarına ilişkin model başarı ölçüt değerleri olan Akaike Bilgi Ölçütü

(AIC), düzeltilmiş Akaike Bilgi Ölçütü (AICC) ve Sawa'nın Bayesian Bilgi Ölçütü (BIC) değerleri hesaplanmıştır. Bu başarı ölçüt değerli esas alınarak yapılan karşılaştırmada, karışık etkili modelleme yaklaşımı ile geliştirilen denklem yapısı, doğrusal olmayan regresyon analizi ile geliştirilen denkleme göre daha iyi tahmin sonuçları vermiştir. Bu bakımdan, karışık etkili modelleme ile örnekleme üniteleri arasındaki değişkenliğin denklem yapısında dikkate alınması ve modellenmesi, gövde çapı tahminlerinde başarısı açısından olumlu bir katkı sağlamıştır. Karışık etkili modelleme kullanımı ile benzer şekilde tahmin sonuçlarında iyileşme, Trincado and Burkhart (2006), Tasissa and Burkhart (1998), Garber and Maguie (2003), Leites and Robinson (2004), Trincado and Burkhart (2006), Özçelik et. al. (2011) gibi birçok gövde çapı denklemi çalışmasında da elde edilmiştir. Karışık etkili modellemenin denklem yapısında, farklı rasgele ve sabit etkili parametreleri içeren farklı denklem yapıları için yapılan karşılaştırmada, en başarılı seçenek olarak b_2 ve b_4 'i rasgele parametre olarak içeren doğrusal olmayan karışık etkili modelleme ile elde edilmiştir. Karışık etkili modellemenin denklem yapısı açısından bu şekilde bir sonucun çıkması, özellikle verilerin elde edildiği bölgelerde, ağaçların gövde çapı gelişimindeki değişkenliğin söz konusu b_2 ve b_4 parametreleri ile en iyi bir şekilde temsil edilmesi ile ilişkilidir. Diğer bazı çalışmalarda, farklı bölgelerden elde edilen veriler ile farklı parametrelerin rasgele parametre olduğu denklem yapılarının en iyi sonucu verecek şekilde tahmin sonuçları elde edilmiş olup, bu durum denklemlerin oluşturulmasında kullanılan verilerin özellikleri ve değişkenlik yapıları ile ilişkilidir. Gövde çapı denklemlerinin geliştirilmesinde, verilerin elde edildiği bölgeye bağlı olarak da değişkenlik kaynakları ile sabit etkili ve rasgele etkili denklem yapıları değişmektedir. Bu bakımdan, ülkemiz ormanlarında elde edilecek veriler yardımıyla ağaçların gövde çapı değişkenliği ortaya konulması, gövde çapı tahminlerinin ve bu çap değerlerine göre yapılacak hacim tahminlerinin başarısını ve tutarlılığını artıracaktır.

KAYNAKLAR

- 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.
- Fırat, F., 1973. Dendrometri, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın NO: 1800, O.F. Yayın No: 193, Kurtuluş Matbası, İstanbul, 359 s.
- 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.
- Kalıpsız, A., 1984. Dendrometri, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No: 3194, O.F. Yayın No: 354, İstanbul, 407 s.
- Kapucu, F., 2004. Orman Amenajmanı, KTÜ Basımevi, Orman Fakültesi Yayını, No: 33, Trabzon, 117-118.
- 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.
- Loetsch F, Zoehrer F, Haller, 1973. *Forest inventory*. Muenchen. Bern. Wien: BLV – Verlagsges. Vol. II, pp. 469.
- Max, T. A, Burkhart, H. E., 1976. Segmented Polynomial Regression Applied to Taper Equations, *Forest Science*, 22, 3, 283-289.
- Meyer, H. A. 1953. *Forest mensuration*. Penns Valley publishers, Inc.state college. pp. 357.
- Özçelik, R., 2008. Comparison of Formulae for Estimating Tree Bole Volumes of *Pinus slyvestris*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 23 (5), 412-418.
- 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.
- Saraçoğlu, N., 1988. Kızılağaç (*Alnus glutinosa* var. *barbata* (C. A. Mey.) Ledeb.) Gövde Hacim Tablolarının Düzenlenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Şenyurt, M., 2011, Batı Karadeniz yöresi Sarıçam meşcerelerinde artım ve büyüme, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 210 s.

- Sas Institute Inc., 2004. SAS/STAT 9.1 User's Guide: statistics, Version 9.1, SAS Institute Inc., Cary, NC., 816 s.
- Tassia, G. and 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. and 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., 1999, Taşköprü Yöresinde Karaçam İçin Hacim Fonksiyonları ve Hacim Tabloları, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23, 1181-1188.
- Yavuz, H. ve 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 Lousville, Kentucky, USA.