

SERİ
SERIES
SERIE
SÉRIE

A

CİLT
VOLUME
BAND
TOME

45

SAYI
NUMBER
HEFT
FASCICULE

1

1995

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
ORMAN FAKÜLTESİ
D E R G İ S İ

REVIEW OF THE FACULTY OF FORESTRY,
UNIVERSITY OF ISTANBUL
ZEITSCHRIFT DER FORSTLICHEN FAKULTÄT
DER UNIVERSITÄT ISTANBUL
REVUE DE LA FACULTÉ FORESTIÈRE
DE L'UNIVERSITÉ D'ISTANBUL



GÖVDE ANALİZİNDE AĞAÇ BOYUNUN ÇEŞİTLİ YÖNTEMLERLE HESAPLANMASI

Y. Doç. Dr. Hakkı YAVUZ¹⁾

Kısa Özet

Bu çalışmada, seksiyon uzunlukları eşit olmayan 21 adet Dişbudak (*Fraxinus oxycarpa* Wild.) ağacı üzerinde yapılan gövde analizi verileriyle beş yönteme göre ağaç boyları hesaplanarak, Student'in Eşleştirilmiş t Testi ile bu yöntemler arasında fark olup, olmadığı araştırılmıştır. Ayrıca, hesaplanan ağaç boylarına bağlı olarak, yaş-boy fonksiyonu için Lojistik, Richards ve Gompertz Büyüme Modelleri denenmiş ve Richards Büyüme Modeli ile en iyi sonuç elde edilmiştir.

1. GİRİŞ

Gövde analizi yöntemi ile bir ağacın büyümeye başladığı ilk yaştan kesim yaşına kadar geçen zaman içinde yaptığı çap, göğüs yüzeyi, boy ve hacim gelişimleri ile bunlara ilişkin artımlar ve şekil katsayıları hesaplanmaktadır (FIRAT 1973; KALIPSIZ 1984). Gövde analizi bir ağacın gelişimi hakkında bilgi vermekle birlikte, bir meşcerede değişik sosyal sınıflardan alınan örnek ağaçlardaki gövde analizleri yardımı ile meşcerelerin gelişimine ilişkin genel bilgiler de verebilmektedir. Sürekli deneme alanı bulunmayan meşcerelerde bu tür değerlendirmeler yararlı bilgiler sağlamaktadır.

Gövde analizinde veriler, belirli aralıklar ile ağaç gövdesinden alınan enine kesitler üzerinde yapılan ölçümlerden elde edilmektedir. Kesitler arasındaki uzaklığın (seksiyon uzunlukları) olabildiğince kısa tutulması, yöntemin duyarlılığını arttırmaktadır (FIRAT 1973; FABBIO et al. 1994). Gövde analizinde karşılaşılan en önemli sorun, bir seksiyon içinde sona eren geçmiş dönemlere ait ağaç boylarının hesaplanmasıdır. Bu sorunun çözümünde kullanılan bazı yaklaşımlar, Yöntem Bölümünde tanıtılmıştır (Bölüm 2.2).

Bu çalışmada birinci amaç, verilen herhangi bir yaş için beş yönteme göre ağaç boylarının hesaplanması ve boy değerleri bakımından yöntemler arasında istatistiksel anlamda bir farklılık olup olmadığının denetlenmesidir. Diğer bir amaç ise, değişik yöntemlerle hesaplanan boy verileri ile en uygun yaş-boy modelinin belirlenmesidir.

1) KTÜ Orman Fakültesi, Orman Amenajmanı Anabilim Dalı

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 MATERYAL

Bu çalışmada, Sinop-Ayancık arasında yer alan Siyam Köyü yakınlarındaki bir saf Dişbudak (*Fraxinus oxycarpa* Wild.) meşceresinden kesilen 21 adet örnek ağaca ilişkin veriler kullanılmıştır. Gövde analizinde ağaç hacmi ve diğer hesaplamaların kolaylıkla yapılabilmesi için, seksiyonlar eşit uzunlukta (iki metre) alınmaktadır. Burada değerlendirilen örnek Dişbudak ağaçları ise piyasada en fazla talep gören uzunluklara göre bölünmüşlerdir. Bu nedenle, seksiyon uzunlukları eşit olmayıp, 1.97-3.35 m arasında değişmektedir. Örnek ağaçların göğüs çapı, boy, yaş, ortalama boy artımı ve seksiyon uzunluklarına ilişkin en küçük, en büyük, aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Bu değerlere göre örnek ağaçların göğüs çapları 19.5-48.1 ($x = 31.79$) cm, boyları 12.6-29.6 ($x = 19.36$) m, yaşları 67-96 ($x = 81$) yıl, ortalama boy artımları 15.23-38.84 ($x = 24.22$) cm/yıl arasındadır. Ayrıca, örnek ağaçların, 4'er cm'lik çap kademeleri (18, 22, 26, ..., 50 cm) ve 2'şer metrelik boy kademeleri (13, 15, 17, ..., 29 m) itibariyle dağılımı Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1 : Örnek Ağaçlara İlişkin Bazı Ölçüm Değerleri
Table 1 : Some Measurements of the Sample Trees

	Göğüs Çapı (cm)	Ağaç Boyu (m)	Yaş (Yıl)	Ortalama Boy Artımı (cm/yıl)	Seksiyon Uzunluğu (m)
Minimum	19.50	12.60	67	15.23	1.97
Maksimum	48.10	29.60	96	38.84	3.35
Aritmetik Ort.	31.79	19.36	81	24.22	2.41
Standart Sapma	8.78	4.85	8	6.17	0.79

Tablo 2 : Örnek Ağaçların Çap-Boy Kademelerine Göre Dağılımı
Table 2 : The Distribution into Diameter-Height Classes of the Sample Trees

Çap Kademesi (cm)	Boy Kademeleri Metre									Toplam
	13	15	17	19	21	23	25	27	29	
18	1									1
22	1	1		1						3
26		1	1	1	1					4
30	1		2							3
34		1				1				2
38				2		1		1	1	5
42										
46					1	1				2
50								1		1
Toplam	3	3	3	4	2	3		2	1	21

2.2 YÖNTEM

Gövde analizinde boylanma eğrileri ya da ağaç boylarının hesaplanması için genellikle Grafik Yöntem kullanılmaktadır. Grafik Yöntem'de, seksiyon başlangıç yükseklikleriyle, ağacın bu yükseklikleri aldığı yıl sayısının (kesit boyu yaşları) koordinat sistemine aktarılmasıyla elde edilen noktalardan, el yordamıyla (FIRAT 1973) ya da istatistiksel yöntemlerle (SARAÇOĞLU 1985) oluşturulan boylanma eğrisinden, istenen yaşlardaki ağaç boyları hesaplanmaktadır.

Kesit boyu yaşlarının hesaplanmasındaki iki yol izlenmektedir. Birincisinde; ağacın kesim yaşından, enine kesitlerdeki yıllık halka sayılarının farkı alınırken, ikincisinde ise bu değerlere bir yaş daha ilave edilmektedir. Bu işlemleri, SARAÇOĞLU (1985)'den alınan bir örnek ağaç verilerine bağlı olarak açıklamaya çalışalım.

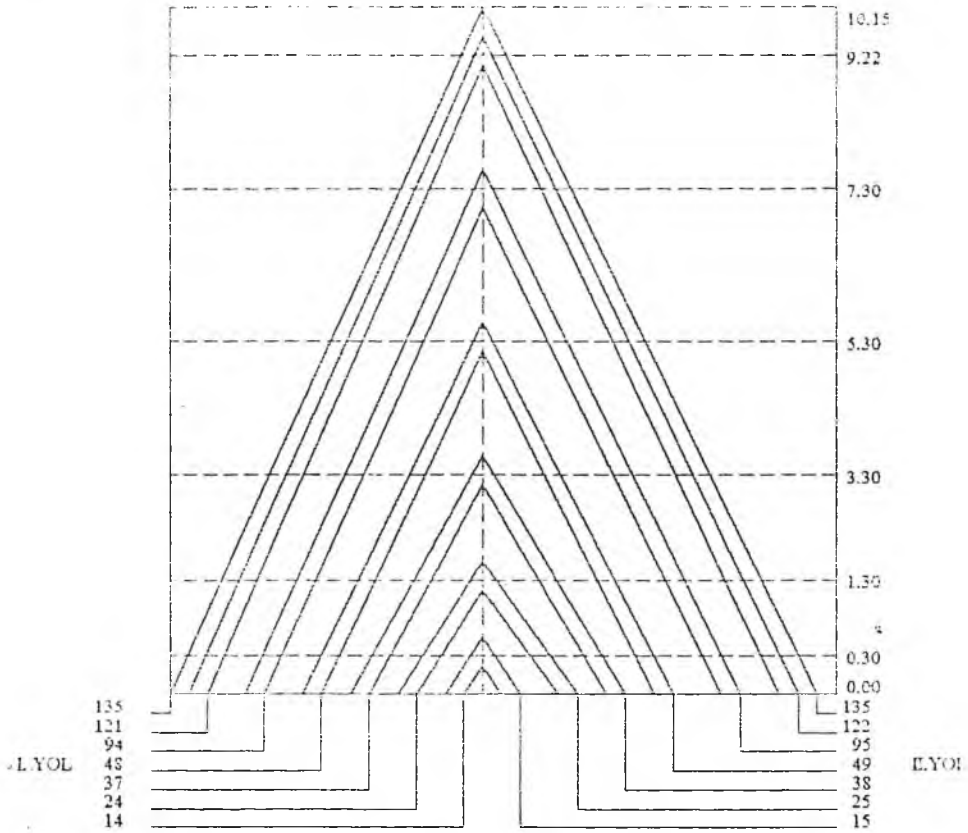
Tablo 3'ten de görülebileceği gibi, birinci kesit boyu (toprak seviyesi) yaşı 0 (135-135), ikinci kesit boyu yaşı 14 (135-121) ve yedinci kesit boyu yaşı 121 (135-14) olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerden, örnek ağacın 0.30 m'lik boya 14 yılda, 1.30 m'lik boya 24 yılda, 9.22 m'lik boya 121 yılda ve 10.15 m'lik boya 135 yılda ulaştığı anlaşılmaktadır (birinci yaklaşım). Örnek ağaç verilerine bağlı olarak çizilen boyuna profil Şekil 1'den de görülebileceği gibi aslında örnek ağaç 0.30 m'lik boya 15'inci yaşta (0.30 m kesitinde 121 yıllık halka bulunması nedeniyle, merkezdeki ilk halkanın yaşı 15 ve birer artırılarak, en dıştaki 121'inci halkanın yaşı, ağaç yaşından bir eksik, 134 olmaktadır), 1.30 m'lik boya 25'inci yaşta ve 9.22 m'lik boya 122'inci yaşta ulaşmış olmaktadır (ikinci yaklaşım). İkinci yaklaşımla hesaplanan kesit boyu yaşları ile de bir başka çelişki ortaya çıkmaktadır. Şöyle ki; hesaplanan kesit boyu yaşlarında, ağaç kesit yüksekliklerine ulaştıktan sonra vejetasyon dönemi sonuna kadar büyümesine devam ederek, kesit boyunu aşmaktadır. Böylece, boylanma eğrisinden, gerçek boy değerlerine göre birinci yaklaşımla daha büyük, ikinci yaklaşımla ise daha küçük boy değerleri elde edilmektedir. Grafik Yöntemin bu sakıncasını giderebilmek amacıyla, gövde analizi verilerinden elde edilen çap, boy, kesit yüksekliği ve yıllık halka sayılarına dayanarak çizilen boyuna ağaç profili üzerinde, her bir seksiyonda sona eren ağaçlara ait boy değerleri, bu ağaçların genel boy gelişimine uygun bir şekilde çizilmekte ve ağaç boyları ordinat (y) ekseninden doğrudan okunmaktadır (DYER/BAILEY 1987). Bu zaman alıcı bir yöntemdir. Ayrıca, sonuçta elde edilen boy değerleri, uygulayıcılara göre de değişebileceğinden, standart bir değerlendirme sağlanamamaktadır. Gövde analizinde çok sayıda örnek ağacın bulunması durumunda ise bu yöntem tercih edilmemektedir.

Tablo 3 : Kesit Boyu Yaşlarının Hesaplanması İçin Yararlanılmış Bir Örnek Ağaca İlişkin Veriler

Table 3 : The Data of a Sample Tree Used to Calculate the Section-Height Ages

Kesit No.	Kesit Boyu (m)	Seksiyon Uzunluğu (m)	Kesit Yük. Yıllık Halka Sayısı	Kesit Boyu Yaşı (yıl)
1	0.00	—	135	0
2	0.30	0.30	121	14
3	1.30	2.00	111	24
4	3.30	2.00	98	37
5	5.30	2.00	87	48
6	7.30	2.00	41	94
7	9.22	1.85	14	121
8	10.15	—	0	135

Kaynak : SARAÇOĞLU (1985)'den alınmıştır.



Şekil 1 : Kesit boyu yaşlarının hesaplanması amacıyla Tablo 3'teki verilere bağlı olarak oluşturulan bir boyuna ağaç profili

Figure 1 : A length wise stem profile produced by using data in Table 3 to calculate the section-height ages.

Gövde analizi çalışmalarında, Grafik Yöntem'den başka, her bir seksiyonda sona eren ağaçlara ait boy değerlerinin, yıllık ya da periyodik olarak hesaplanmasına olanak veren değişik yaklaşımlar da bulunmaktadır. Bu yaklaşımları tanıtmadan önce, formüllerde geçen bazı terimler öncelikle verilmiştir.

H_{ij} = i'inci seksiyon içinde sona eren j'inci büyüme halkası için hesaplanmış ağaç boyu (merkezden dışa doğru, $j = 1, 2, \dots$),

h_i = i'inci enine kesit yüksekliği,

n_i = i'inci enine kesit halka sayısı,

j = i'inci seksiyon içinde büyümesi sona eren yıllık halkaların sayısı,

T = örnek ağacın kesim yaşı,

t_{ij} = i'inci seksiyon içinde sona eren j'inci ağacın yaşı,

= $T - n_i + j$.

DYER ve BAILEY (1987), bir seksiyon içinde boylanması sona eren ağaçların, yıllık boy artımlarının sabit olduğu varsayımından hareket ederek, ağaç boylarının hesaplanması,

$$H_{ij} = h_i + j (h_i + 1 - h_i) / (n_i - n_i + 1) \quad (1)$$

eşitliğini kullanmışlardır. Bir seksiyonda boylanması sona eren en dıştaki yıllık halkalara ait boyun, bu seksiyonun bitiş yüksekliğine dek çıkacağı varsayımından hareket etmesi, bu yaklaşımın önemli bir sakıncasını oluşturmaktadır.

LENHART (1972), bir seksiyonda boyun sona erdiği noktaların, seksiyon içinde eşit aralıklarla dağıldığı varsayımı ile ağaç boylarının hesaplanmasında;

$$H_{ij} = h_i + j (h_{i+1} - h_i) / (n_i - n_{i+1} + 1) \quad (2)$$

eşitliğini kullanmışlardır.

CARMEAN (1972), bir seksiyon içinde yıllık boy büyümesinin sabit olduğu ve enine kesitlerin yıllık boy artımının ortasına rastladığı varsayımına dayanarak ağaç boylarını,

$$H_{ij} = h_i + (h_{i+1} - h_i) / [2(n_i - n_{i+1})] + (j-1) (h_{i+1} - h_i) / (n_i - n_{i+1}) \quad (3)$$

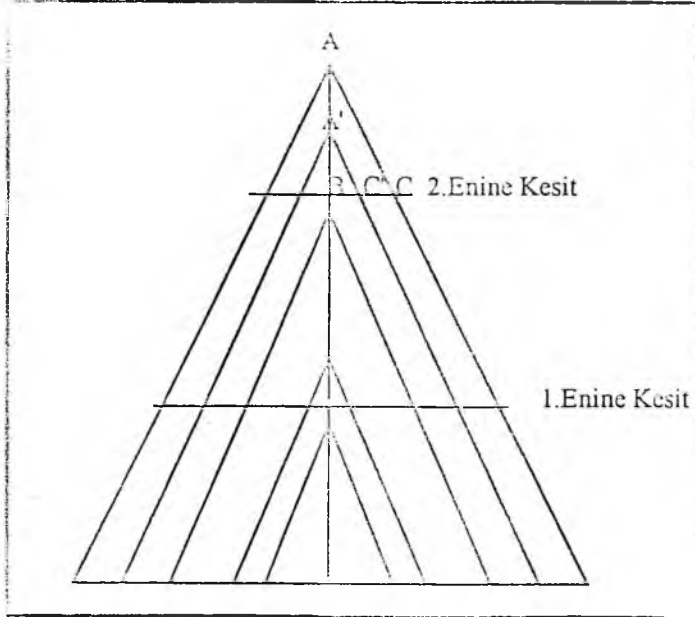
eşitliği ile hesaplamışlardır. Bu yaklaşımın, en son seksiyondaki ağaç boylarının hesaplanmasında küçük sonuç vermesi nedeniyle, yalnız bu seksiyon için geçerli olmak üzere (4) no'lu eşitliğin kullanılması önerilmektedir (NEWBERRY 1991).

$$H_{ij} = h_i + [(h_{i+1} - h_i) / (n_i - n_{i+1} - 0.5)] / 2 + (j-1) [(h_{i+1} - h_i) / (n_i - n_{i+1} - 0.5)] \quad (4)$$

Şekil 2'den de görülebileceği gibi, bir seksiyon içinde sona eren ağaç boylarının hesaplanmasında, ABC üçgeninin A'B'C' üçgenine benzerliği varsayımıyla,

$$H_{ij} = h_i + (\tan \alpha) r_j \quad (5)$$

eşitliğinden de yararlanılmaktadır (NEWBERRY 1978). Burada (α) açısı = ABC açısı, $\tan \alpha = \overline{AB}/\overline{BC}$ ve r_j = merkezden başlayarak j'inci halkanın yarıçapıdır.



Şekil 2 : 5 yaşındaki bir ağacın gövde büyüme gelişim modeli
Figure 2 : Stem growth model of a tree 5 years old

Ağaç boylarının hesaplanmasında, bir seksiyon uzunluğunun, bu seksiyonda sona eren yıllık halkalara, yarıçapları ile orantılı olarak dağıldığı varsayımından da yararlanılmaktadır (DYER/BAILEY 1987).

$$H_{ij} = h_i + (h_{i+1} - h_i) (r_j / r_k) \quad (6)$$

Burada, r_j = merkezden dışa doğru j'inci iç halka yarıçapı,

$$j = 1, 2, 3, \dots, k,$$

r_k = k'inci iç halka yarıçapı,

k = iç halka sayısı.

FABBIO et al. (1994), bir seksiyonda sona eren yıllık halkalara ilişkin boylar ile, bu seksiyonun başlangıç kesit boyu yaşını birlikte hesaplamışlardır. i'inci kesit boyu yaşının hesaplanması için önce,

$$D'' = (n_{i-1} - n_i) - (n_i - n_{i+1}) \quad (7)$$

eşitliği ile (i-1) ve i'inci kesit yıllık halka sayıları farkı ile (i+1) ve i'inci kesit yıllık halka sayıları farkını hesapladıktan sonra, bu iki değer tekrar birbirinden çıkarılıp, ikinci fark (D'') yardımıyla enine kesit boyu yaşını (e_i);

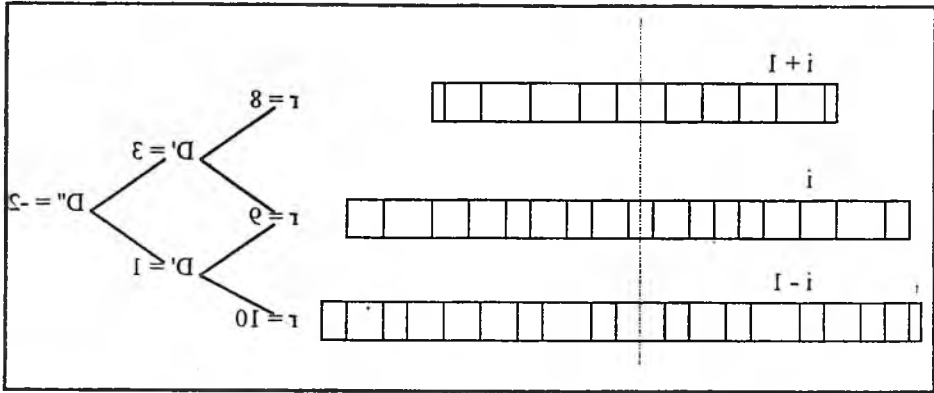
$$e_i = T - n_i + 1 / (2 + D''), \quad D'' > 0 \text{ ise} \quad (8)$$

$$e_i = T - n_i + 1 - 1 / (2 - D''), \quad D'' < 0 \text{ ise} \quad (9)$$

eşitlikleriyle hesaplamışlardır (Şekil 3). Daha sonra, enine kesit boyu yaşlarını kullanarak, i'inci kesitte sona eren j'inci ağacın boyunun (H_{ij}) hesaplanmasında, doğrusal enterpolasyon tekniğinden yararlanılmışlardır. Matematiksel olarak bu ifade,

$$H_{ij} = h_i + (t_{ij} - e_i) (h_{i+1} - h_i) / (e_{i+1} - e_i) \quad (10)$$

biçiminde olmaktadır. Burada, $t_{ij} = T - r_i + j$ 'dir. Eğer $D'' = 0$ ise, (8) ve (9) no'lu eşitliklerle hesaplanan kesit boyu yaşları birbirlerine eşit olmaktadır (11 no'lu eşitlik). Böylece, CARMEAN (1972) tarafından kullanılan (3) no'lu eşitlikle, FABBIO et al (1994) tarafından kullanılan (10) no'lu eşitlik aynı sonucu vermektedir.



Şekil 3 : Enine kesit yıllık halka sayılarına bağlı olarak ikinci farkların (D'') hesaplanması

Figure 3 : Calculation of the second differences (D'') depending on the numbers of annual rings of cross sections

$$e_i = T - n_i + 1/2 \quad (11)$$

Bunun matematiksel ispatı aşağıda verilmiştir. CARMEAN (1972) tarafından kullanılan (3) no'lu eşitlik;

$$H_{ij} = h_i + (h_{i+1} - h_i) / [2 (n_i - n_{i+1})] + (j - 1) (h_{i+1} - h_i) / (n_i - n_{i+1}) \quad (12)$$

$$= h_i + [(h_{i+1} - h_i) + 2 (j - 1) (h_{i+1} - h_i)] / [2 (n_i - n_{i+1})] \quad (12)$$

$$= h_i + (h_{i+1} - h_i) [1 + 2 (j - 1)] / [2 (n_i - n_{i+1})] \quad (13)$$

$$= h_i + (h_{i+1} - h_i) [1 + 2j - 2] / [2 (n_i - n_{i+1})] \quad (14)$$

$$= h_i + [(2j - 1) / 2] / [(h_{i+1} - h_i) / (n_i - n_{i+1})] \quad (15)$$

$$= h_i + (j - 1/2) [h_{i+1} - h_i] / (n_i - n_{i+1}) \quad (16)$$

şeklinde de yazılabilir. FABBIO et al. (1994) tarafından kullanılan (10) no'lu eşitlikte, D" = 0 olduğunda, daha önce de belirtildiği gibi kesit boyu yaşları (e_i) birbirlerine eşit olmaktadır (11 no'lu eşitlik).

$$e_i = T - n_i + 1/2$$

Bu durumda, (10) no'lu eşitlikteki ($e_{i+1} - e_i$) ve ($t_{ij} - e_i$) terimleri

$$(e_{i+1} - e_i) = (T - n_{i+1} + 1/2) - (T - n_i + 1/2) \quad (17)$$

$$= T - n_{i+1} + 1/2 - T + n_i - 1/2 \quad (18)$$

$$= (n_i - n_{i+1}) \quad (19)$$

$$(t_{ij} - e_i) = T - n_i + j - (T - n_i + 1/2) \quad (20)$$

$$= T - n_i + j - T + n_i - 1/2 \quad (21)$$

$$= (j - 1/2) \quad (22)$$

biçiminde hesaplanmaktadır. (19) ve (22) no'lu eşitlik

$$H_{ij} = h_i + (j - 1/2) [(h_{i+1} - h_i) / (n_i - n_{i+1})] \quad (23)$$

şekline dönüşmektedir. Böylece, (16) ve (23)'nolu eşitliklerle hesaplanan ağaç boyları birbirlerine eşit olmaktadır.

Bu çalışmada, ağaç boylarının hesaplanması için Grafik Yöntem (bu yöntemde kesit boyu yaşlarının hesaplanması için ikinci yol izlenmiştir) ile (1), (2), (3) ve (10)'nolu eşitlikler kullanılmıştır. (5) ve (6)'nolu eşitliklerle ağaç boylarının hesaplanabilmesi için enine kesitlerdeki her bir iç yıllık halka yarıçapının ölçümü gerekmektedir. Yıllık halka yarıçaplarının periyodik olarak ölçülmesi nedeniyle (5) ve (6)'nolu eşitlikler, ağaç boylarının hesaplanmasında dikkate alınmamıştır. Böylece, beş değişik yöntemle göre hesaplanan ağaç boyları "Student'in Eşleştirilmiş t Testi"ni kullanarak birbirleriyle karşılaştırılmıştır (KALIPSIZ 1984; GÜNEL 1986; KALIPSIZ 1988; BATU 1988). Bu testin uygulanabilmesi için, karşılaştırılan örneklerin alındığı toplumların normal dağılımlı olması ve varyanslarının eşit bulunması gerekmektedir. Varyansların eşitliği;

$$t = \{ | (V_x - V_y) (n - 2)^{1/2} | \} / \{ 2 (V_x V_y - V_{xy}^2)^{1/2} \} \quad (24)$$

formülü ile hesaplanan "t" değeri ile de sınınmaktadır. Burada, V_x ve V_y genel varyansları, V_{xy} ise kovaryansı göstermektedir. Varyansların eşit bulunmaması halinde, t istatistiği yerine, dağılıma bağlı olmayan özel istatistik yöntemler (Wilcoxon Testi, Dixon-Mood Testi, McNemar testi gibi) kullanılmaktadır (KALIPSIZ 1988).

Eşlendirilmiş t Testi'nde, önce iki farklı yöntemle göre hesaplanan ağaç boyları (x_i ve y_i), bire bir eşlendirme ($x_1 - y_1, x_2 - y_2, \dots, x_n - y_n$) yapılarak, cebirsel farkları hesaplanmış, bu işlemlerle hesaplanan fark değerleri (d_i)'nin aritmetik ortalaması (\bar{d}) ve standart hatası ($S_{\bar{d}}$) hesaplandıktan sonra, iki eş arasındaki farkın istatistiksel anlamda önemli olup olmadığı için

$$t = (\bar{d} - 0) / S_d^- \quad (25)$$

eşitliği ile "t_{istatistiği}" hesaplanarak, serbestlik derecesi (n-1) ve yanılma olasılığı (α) ile "t Tablosu"ndan alınan tablo değeri karşılaştırılmıştır. t_{istatistiği} < t_α, (n-1) olması durumunda, iki yöntemle hesaplanan boy değerleri arasında (α) önem düzeyi ile farklılık olmadığı, aksi halde farklılık olduğu sonucuna varılmıştır. Ağaç boylarının hesaplamasında kullanılan (1), (2), (3) ve (10)'nolu eşitlikler ile İki Eş Arasındaki Farkın Denetimi'nde kullanılan (24) ve (25)'nolu eşitliklere ilişkin bilgisayar programı BASIC programlama dilinde yazılarak, Anabilim Dalımızda bulunan 486 DX Kişisel Bilgisayarında oluşturulmuştur.

Yukarıda verilen beş değişik yöntemle (Grafik Yöntem, (1), (2), (3) ve (10)'nolu eşitliklerden yararlanılmıştır), bir yaşımdan başlayarak, birer yaş ara ile her bir örnek ağaç için ayrı ayrı olmak üzere tüm ağaç boyları hesaplanmıştır. Örnek ağaçların aynı meşcereden alınması nedeniyle, örnek ağaçların tümü için bir boylanma eğrisi düzenlemek istenmiştir. Boylanma eğrisinin düzenlenmesinde ise tüm yaş-boy değerleri (21 adet örnek ağaçtan hesaplanan 1703 adet yaş-boy değeri) yerine, her bir seksiyonda ilk sona eren ağaçlara ait yaş-boy değerleri (toplam seksiyon sayısı=141 adet yaş-boy veri çifti) esas alınmıştır.

Boylanma eğrisi için;

$$H = \beta_0 (1 + \beta_1 \exp(-\beta_2 t)) \quad (\text{Logistic Büyüme Modeli}) \quad (26)$$

$$H = \beta_0 \exp(-\beta_1 \exp(-\beta_2 t)) \quad (\text{Gompertz Büyüme Modeli}) \quad (27)$$

$$H = \beta_0 (1 - \exp(-\beta_1 t)) \beta^2 \quad (\text{Richards Büyüme Modeli}) \quad (28)$$

modelleri denenmiştir (PINNEAR/TURNBULL 1973; GÜNEL 1978; CAUSTON/VENUS 1981; GERTNER 1985; MEYERS 1990).

Regresyon denklemlerine ilişkin parametrelerin hesaplanmasında, doğrusal ya da doğrusal hale getirilebilen (logaritmik dönüşüm uygulanarak) modeller için "En Küçük Kareler (Least Squares)" yöntemi, doğrusal olmayan modeller için ise "Doğrusal Olmayan En Küçük Kareler (Nonlinear Least Squares)" yöntemi kullanılmaktadır. Boylanma eğrisi için, bu çalışmada denenilen modellerin doğrusal olmaması nedeniyle, parametrelerin hesaplanmasında Doğrusal Olmayan En Küçük Kareler Yöntemi uygulanmıştır. Fazla matematiksel ayrıntıya girmeden, bu yöntem hakkında bazı açıklayıcı bilgiler aşağıda verilmiştir.

Modelin genel yapısı,

$$y_i = f(x_i, \theta) + e_i, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (29)$$

biçiminde yazılırsa (burada n=veri sayısı, p=parametre sayısı, θ=parametre vektörü ve n>p'dir), gerçek parametrelerin (θ) tahmin değerleri (θ̂) = [θ̂₁, θ̂₂, ... θ̂_p] vektörüne bağlı olarak, "Hata Kareler Toplamı = HKT (Residual Sum of Squares = SS_{residual})"nı minimum yapan θ̂

$$HKT = \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i, \theta))^2 \quad (30)$$

parametrelerinin hesaplanması gerekir. Denklemin parametrelerinin hesaplanmasında, parametreler için "başlangıç değerleri"ne (θ₀) ihtiyaç duyulmakta ve bu değerlere bağlı olarak ardışık çözümler (iterasyon) ile sonuca ulaşılmaktadır.

Burada amaç, (30)'nolu eşitlikle verilen Hata Kareler Toplamı'nı minimum yapan θ değerlerini hesaplamaktır. Bu nedenle, önce (29)'nolu eşitlik $\theta = \theta_0$ başlangıç değerlerinden başlayarak, "Taylor Serisi"ne göre açılıp, sadece doğrusal terimler bırakıldığında,

$$f(x_i, \theta) = f(x_i, \theta_0) + (\theta_1 - \theta_{1,0}) \left[\frac{\partial f(x_i, \theta)}{\partial \theta_1} \right]_{\theta=\theta_0} + (\theta_2 - \theta_{2,0}) \left[\frac{\partial f(x_i, \theta)}{\partial \theta_2} \right]_{\theta=\theta_0} + \dots + (\theta_p - \theta_{p,0}) \left[\frac{\partial f(x_i, \theta)}{\partial \theta_p} \right]_{\theta=\theta_0}, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (31)$$

biçiminde olmaktadır. (31)'nolu eşitlikle; (29)'nolu doğrusal olmayan bir eşitliğin, doğrusal biçime sokulması gösterilmektedir. (31)'nolu eşitlik, kısaca

$$f(x_i, \theta) - f(x_i, \theta_0) = \gamma_1 w_{1i} + \gamma_2 w_{2i} + \dots + \gamma_p w_{pi} \quad (32)$$

biçiminde yazılabilmektedir. Burada,

$$w_{jii} = \left[\frac{\partial f(x_i, \theta)}{\partial \theta_j} \right]_{\theta=\theta_0} \text{dir.}$$

(32)'nolu eşitliğin sol tarafı $y_i - f(x_i, \theta_0)$ olarak yazıldığında,

$$y_i - f(x_i, \theta_0) = \gamma_1 w_{1i} + \gamma_2 w_{2i} + \dots + \gamma_p w_{pi} + e_i, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (33)$$

eşitliğine dönüşmektedir. Bu eşitlikte $\hat{\theta}$ parametrelerinin hesaplanması için aşağıdaki işlemler sırasıyla uygulanmaktadır.

1- Doğrusal En Küçük Kareler Yöntemiyle (33)'nolu eşitlikteki $\gamma_{1i}, \gamma_{2i}, \dots, \gamma_{pi}$ katsayıların birinci iterasyonla $\hat{\gamma}_1, \hat{\gamma}_2, \dots, \hat{\gamma}_p$ tahmin değerleri hesaplanmaktadır.

2- $\hat{\theta}_{j,1} = \theta_{j,0} + \hat{\gamma}_{j,1}$ ($j = 1, 2, \dots, p$) hesaplanması. Bu noktada, θ 'ların en son çözüm değerlerine sahip değiliz. $\hat{\theta}_{1,1}, \hat{\theta}_{2,1}, \dots, \hat{\theta}_{p,1}$ değerleri birinci iterasyonla hesaplanan değerleri göstermektedir.

3- (33)'nolu denklemde, başlangıç değerleri ($\hat{\theta}_0$) yerine ikinci adımdan hesaplanan θ değerlerinin yerleştirilmesi.

4- Tekrar birinci adıma dönerek, $\hat{\gamma}_{1,2}, \hat{\gamma}_{2,2}, \dots, \hat{\gamma}_{p,2}$ ve $\hat{\theta}_{1,2}, \hat{\theta}_{2,2}, \dots, \hat{\theta}_{p,2}$ değerlerinin hesaplanması.

5- Her bir iterasyon sonunda hesaplanan Hata Kareler Toplamı'nın, bir önceki iterasyonla elde edilen değeri ile karşılaştırılarak, farkın sıfıra yakın ya da önceden belirlenen bir değere eşit luncaya kadar iterasyona devam edilmektedir. Diğer bir ifadeyle, Hata Kareler Toplamının değişmediği (k) sayıda iterasyon sonunda işlem kesilip, en son (k 'inci) iterasyonla hesaplanan parametre değerleri, denklemin katsayıları olarak alınmaktadır (DRAPER/SMITH 1966; GUNST/MASON 1980; MEYERS 1990). Bu yöntemde karşılaşılan en önemli sorun; uygun başlangıç değerlerinin (θ_0 'ların) belirlenmesidir. Başlangıç değerlerinin rasgele seçilmesi halinde, ya iterasyon sayısı artmakta ya da uygun olmayan parametre değerleri hesaplanmaktadır. Bu nedenle, başlangıç değerleri olarak, denenen modellere ilişkin eğer varsa literatür bilgilerinden yararlanılmakta, ya da bağımsız değişkenlerden bazıları sıfır (etkisiz) kabul edilerek, parametrelerin tahmin değerleri kabaca hesaplanıp, bunlar başlangıç değeri olarak alınmaktadır. Bu çalışmada, MEYERS (1990) ile

DYER/BAILEY (1987) tarafından hesaplanan parametre değerleri, aynı modellerin kullanılması nedeniyle başlangıç değeri olarak seçilmiştir. Regresyon denklemlerine ilişkin parametreler ile diğer istatistiksel değerlerin hesaplanmasında "STATGRAF" adlı bir istatistik paket programından yararlanılmıştır.

3. BULGULAR

Grafik Yöntem (GY) ve (1), (2), (3), (10)'nolu eşitliklerle hesaplanan ağaç boyları, Eşlendirilmiş t Testi ile iki aşamalı olarak karşılaştırılmıştır. Birinci aşamada, örnek ağaçların tümü (21 adet) için hesaplanan boy değerlerine dayanarak, ikili karşılaştırmalar yapılmıştır. Böylece GY-(1), GY-(2), GY-(3), GY-(10), (1)-(2), (1)-(3), (1)-(10), (2)-(3), (2)-(10) ve (3)-(10)'nolu eşitlikler arasında olmak üzere toplam 10 adet karşılaştırma yapılmıştır. Tablo 4'ten de görülebileceği gibi, yalnız CARMEAN (1972) ile FABBIO et al. (1994) tarafından kullanılan yöntemler (3 ve 10'nolu eşitliklerle verilen) arasında $\alpha = 0.05$ önem düzeyinde farklılık bulunmamasına karşın, diğer boy hesaplama yöntemleri arasında, aynı önem düzeyinde, farklılık olduğu sonucuna varılmıştır. Aynı tabloda, Grafik Yöntemle hesaplanan boy değerlerinin, diğer yöntemlerle hesaplanan boy değerlerine göre daha küçük (eksi işaretli t değerleri), LENHART (1972) tarafından kullanılan yöntemin ise daha büyük sonuç verdiği görülmektedir (Tablo 4).

Tablo 4 : Örnek Ağaçların Tümü İçin Karşılaştırılan Yöntemlerle İlişkin t Değerleri
Table 4 : t Values of The Methods Compared with the Whole of Sample Trees

Yöntem	(1)	(2)	(3)	(10)
GY	-17.87*	-21.49*	-14.35*	-11.41*
(1)		7.29*	19.30*	16.91*
(2)			24.03*	17.05*
(3)				1.47 ^{ns}

* : $p < 0.05$, ns: $p > 0.05$.

Beş farklı yöntem kullanılarak hesaplanan ağaç boyları, her bir örnek ağaç için ayrı ayrı olmak üzere tekrar karşılaştırılmıştır (Tablo 5). Tek ağaçlar baz alınarak yapılan bu karşılaştırmada, Tablo 5'ten de görülebileceği gibi, (3)-(10)'nolu eşitliklerle hesaplanan boy değeri arasında, $\alpha=0.05$ önem düzeyinde, 21 adet örnek ağaçtan yalnız 2'sinde (örnek ağaçların % 9.5'i) fark olmasına karşın, diğer yöntemler arasında, aynı önem düzeyinde, örnek ağaçların en az 19'unda (örnek ağaçların % 90.5'i) farklılık bulunmuştur.

Tablo 5 : Her Bir Örnek Ağaç İçin Karşılaştırılan Yöntemlerin $\alpha=0.05$ Önem Düzeyinde Farklı Olanlarına İlişkin Toplam Ağaç Sayısı ve Yüzde Değerleri

Table 5 : The Total Number of Trees and Their Percent Values Due to Ones Different at the Significance Level $\alpha=0.05$ of the Compared Methods For Each Sample Tree

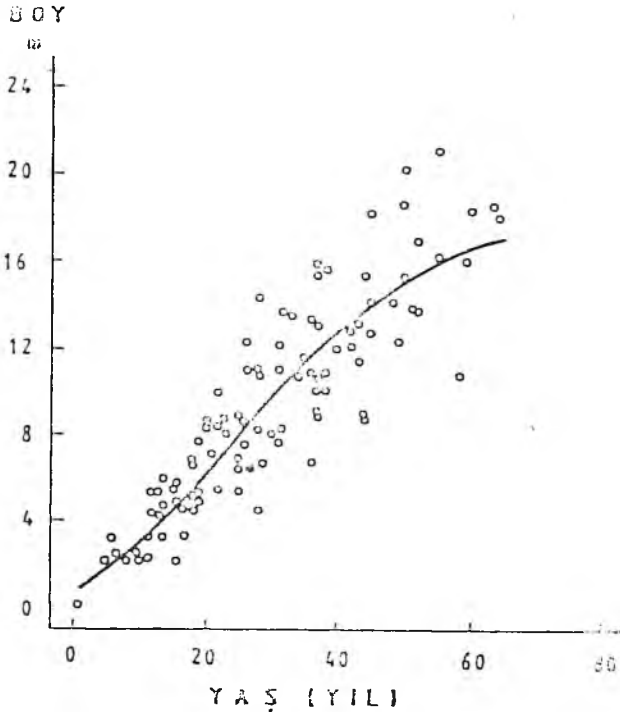
Yöntem	(1)	(2)	(3)	(10)
GY	20(95.2)	20(95.2)	21(100)	20(95.2)
(1)		19(90.5)	21(100)	20(95.2)
(2)			21(100)	20(95.2)
(3)				2(9.5)

Boylanma fonksiyonu için, (10)'nolu eşitlikle hesaplanan boy değerleri esas alınmıştır. Bu değerlere bağlı olarak, örnek ağaçların tümü için yaş-boy verileri ile (26), ve (28)'nolu fonksiyonlara ilişkin parametreler hesaplanmıştır. En uygun modelin belirlenmesinde, "Hata Kareler Toplamı (RSS=Residual Sum of Squares)" en küçük ve "Uygunluk İndeksi (FI=Fit Index)" en büyük olma ölçütleri aranmıştır. Bu ölçütlere göre en iyi sonuç, Richards'ın Büyüme Modeli (27'nolu eşitlik) ile elde edilmiştir. Bu modele ilişkin çeşitli istatistiksel değerler Tablo 6'da, yaş-boy eğrisi ise Şekil 4'te verilmiştir.

Tablo 6 : Richards'ın Büyüme Fonksiyonu İle Elde Edilen Çeşitli İstatistiksel Değerler
Table 6 : Miscellaneous Statistical Values Obtained With the Help of Richards' Growth Function

Parametre Değerleri	Parametrelerin Standart Hatası	t _{istatistiği}	RRS	F Oranı	Uygunluk İndeksi (FI)
$\beta_0 = 25.46486$	3.01711	8.4423***	553.442	1150.49***	0.9118
$\beta_1 = 0.02015$	0.00605	3.3287**			
$\beta_2 = 1.18862$	0.17988	6.6075***			

** : $p < 0.01$. ***: $p < 0.001$.



Şekil 4 : Richards Büyüme Modeli ile dengelenmiş boylanma eğrisi
Figure 4 : Balanced Growth Curve of Richards Growth Model.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Ağaç boyunun hesaplanmasında kullanılan yöntemlerden, en uygununun belirlenebilmesi için gerçek boy değerlerinin bilinmesi gerekir. Gerçek ağaç boyları, ancak örnek ağaçların bir yaşından itibaren sürekli ölçülmesi ya da ağacın toprak yüzeyi ile tepe noktası arasında boyuna kesitinin alınmasıyla mümkün olabilmektedir. Bu çalışmada, esas alınan örnek ağaçlara ilişkin sürekli ölçüm verileri bulunmamaktadır. Örnek ağaçların boyuna kesitinin alınması durumunda ise kullanım alanlarının daralması nedeniyle büyük oranda ekonomik kayıplar oluşmaktadır. Bu nedenlerle, örnek ağaçlara ilişkin kontrol verileri elde edilememiştir. Ağaç boyunun hesaplanmasında kullanılan yöntemler, ancak kendi aralarında karşılaştırılabilmişlerdir.

Kontrol verileri ile altı yöntemin (Grafik Yöntem ve (1), (2), (3), (5), (6)'nolu eşitliklerle verilen yöntemler) karşılaştırılmasıyla, DYER ve BAILEY (1987) tarafından elde edilen sonuçlara göre, en iyi sonuç; CARMEAN (1972) tarafından kullanılan (3)'nolu eşitlikle elde edilmiştir. Yine kontrol verilerine dayanarak, FABBIO et al. (1994) tarafından yapılan karşılaştırmada ise kısa seksiyonlar (50 cm) için (10)'nolu eşitlik, uzun seksiyonlar için (3)'nolu eşitliğin en iyi sonucu verdiği belirtilmiştir.

Bu çalışmada uygulanan boy hesaplama yöntemlerinden, 3. BULGULAR Bölümü'nde belirtildiği gibi, yalnız (3)-(10)'nolu eşitlikler arasında, $\alpha=0.05$ önem düzeyinde farklılık bulunmamıştır. Böylece, literatür bilgileri ile uyumlu sonuçlar elde edildiği söylenebilir.

Gövde analizinde ağaç boylarının hesaplanması için, Grafik Yöntemin seçilmesi durumunda, kesit boyu yaşlarının belirlenmesinde kullanılan yöntemle bağlı olarak, ağaç boyları gerçek değerlere göre küçük ya da büyük değerler olarak hesaplanmaktadır. Ülkemizde yürütülen gövde analizi çalışmalarında da bu yöntem uygulanmaktadır (FIRAT 1973; KALIPSIZ 1984; SARAÇOĞLU 1985; GİRAY 1985). Grafik Yöntemde boylanma eğrileri genellikle el yordamıyla dengelenmekle birlikte, SARAÇOĞLU (1985) tarafından dereceleri 2-6 arasında değişen beş polinom modeli denenerek, her bir örnek ağaç için, bu modeller arasından seçilen en uygun fonksiyonla, istatistiksel olarak boylanma eğrisini dengelemişlerdir. Uygun fonksiyonun bulunamaması durumunda ise, boylanma fonksiyonu üzerinde yapılacak enterpolasyonla periyodik boyların hesaplanmasını önermişlerdir. Denenen modellerdeki parametre sayıları ise 2-6 arasında değişmektedir. Regresyon denklemlerinde, parametrelerin belirlenebilmesi için veri sayısının (n) parametre sayısından (p) büyük, ayrıca veri sayısının yeterince büyük olması ($n \geq 30$) gerekmektedir. Bu nedenlerle, ancak kesitlerin yeterli sayıda alınması durumunda, regresyon denklemleriyle tek ağaçlar için güvenilir boylanma eğrileri elde edilebilecektir.

Bu çalışmada ağaç boylarının hesaplanması için uygulanan yöntemlerde ise böyle bir kısıtlayıcı durum bulunmamakla birlikte, her yaştaki ağaç boyunun hesaplanabilmesi nedeniyle, tek ağaçların boylanma eğrisi için en uygun regresyon denkleminin belirlenmesine de gerek kalmamaktadır. Burada ortaya çıkan en önemli sorun; uygulanan yöntemlerden hangisinin en iyi sonucu verdiğinin belirlenemeyişidir. Daha önce literatür bilgilerine dayanarak belirtildiği gibi, gövde analizinde ağaç boylarının hesaplanması için, kontrol verileri ile karşılaştırmalı olarak, (3) ve (10)'nolu eşitlikler önerilmektedir (DYER/BAILEY 1987; FABBIO et al. 1994). Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre ağaç boyunun hesaplanmasında kullanılan yöntemler arasında, literatür bilgileriyle uyumlu olarak (3) ve (10)'nolu eşitliklerle hesaplanan boylar dışında, istatistiksel bir farklılık ortaya çıkmasına karşın, kontrol verilerinin bulunmaması nedeniyle herhangi bir yöntemin önerilmesi mümkün olamamıştır.

HEIGHT ESTIMATION IN STEM ANALYSIS USING VARIOUS ALGORITHMS

Y. Doç. Dr. Hakkı YAVUZ

Abstract

Five methods (Graphic, Graves, Lenhart, Carmean and *Issa* methods) of estimating the height of trees with sectioned-tree stem analysis data were compared each other for 21 ash (*Fraxinus oxycarpa* Willd.) trees. There was no significant difference only between the heights estimated by *Issa* and Carmean methods ($p>0.05$). The height data produced by *Issa* method were used to fit the three nonlinear growth models (Logistic, Gompertz and Richards Growth Models). The best height-age model was the Richards Growth Model because it showed the heighest FI (Fit Index) and the lower RSS (Residual Sum of Squares) among the other growth models.

1. INTRODUCTION

Estimation of the heights of trees is an important problem in stem analysis. To solve this problem, various algorithms were developed by GRAVES (1909); LENHART (1972); CARMEAN (1972); NEWBERRY (1978) and FABBIO et al. (1994).

DYER/BAILEY (1987) stated that Carmean's method in the most accurate method by comparing the actual and estimated heights from six different estimation methods for 28 *loblolly pine* trees. On the other hand, FABBIO et al (1994) mentioned that the *Issa* method is the most precise at a frequency of 50 cm, and the Carmean method is the most precise at a frequency of 200 cm.

In this study, Graphic, Graves, Lenhart, Carmean and *Issa* methods were used to estimate the heights of 141 ash trees based on stem analysis data.

2. MATERIAL AND METHODS

The material consist of 21 ash (*Fraxinus oxycarpa* Willd.) trees taken from an evenaged stand in the Siyam Vallage region of Sinop Forest Enterprise. The sample trees were free of any damage. As it is shown in Table 1, tree age, height, diameter, avarage height increment and section length ranged between 67 to 96 yr, 12.6 to 29.6 m, 19.5 to 48.1 cm, 15.23 to 38.84 cm/yr, and

1.97 to 3.35 m, respectively. On the other hand, diameter and height class distribution of the sample trees were given in Table 2.

Total heights and section lengths were measured to the nearest 1 cm. The section lengths were not constant and varied within each trees according to market conditions.

There are several algorithms available for estimating the height of tree stem analysis. The five of these algorithms are described below.

Graphich Method: This method consists of plotting the height of the crosscut versus the age of the tree at the crosscut and drawing a curve through these points. The height of the tree corresponding to any age is then read directly from this curve.

Graves discussed a method for the determination of the length of the hidden tip based on the assumption that height growth is constant for each year that ends in the section containing the hidden tip. In this method, the length of the last section of the growth period is taken to be same proportion of the bolt length as the proportion of years ending in the bolt that belong to taht growth period. Applied on an annual basis, Graves' method proportions a section equally among the inner rings (DYER/BAILEY 1987).

LENHART's (1972) method is a slight modification of that describet by Graves. Lenhart's algorithm is based on the assumption that the points were height growth ended are equally spaced throughout the section.

CARMEAN's (1972) method is based on two assumptions. First, annual height growth is assumed to be constant for each year for which height growth is wholly or partially contained within the section. Second, it is assumed that, on the average, a crosscut will occur in the middle of a year's height growth.

Issa method (FABBIO et al., 1994): This method estimates the crosscut age (crosscut age means the age when the tree height reaches the height of the crosscut) and consequently the unknown heights, through the calculation of second differencies in the numero f annual rings as determined at tree consecutive crosscut. If the second differencies are equal to zero *Issa* method gives the same result as Carmean's algorithm. In the first step, the height values estimated by means of the five methods described above were compaired each other. The pricision of the methods in annual heigh increment estimation was then analyzed. In the second step, the sensitivity of parameter estimates for a height-age model to data from the various algorithms were examined.

3. RESULTS AND DISCUSSION

For a given tree, the problem of determining the true height corresponding to the age indicated by the ring count at a crosscut is essentially a problem of estimating the length of the first leader in each bolt. When predicting the length of this first leader with Carmean's and *Issa* method, estimated heights were not significantly different at 0.05 probability level. The Greves and Lenhart methods significantly overestimated the length of this first leader according to the *Issa* and Carmean's methods. The Graphic method, which assumes the first leader to have zero length, resulted in significantly underestimated heights for the age corresponding to the ring count (Table 3).

The result of the estimating the height associated with the ring count at a cross-section (i.e., first inner ring only) were also examined on a tree by tree basis.

The estimated heights with Graphic method were significantly different then the heights estimated by Graves, Lenhart, *Issa* and Carmean method on 95.2%, 95.2%, 100%, 95.2% of the trees respectively. Likewise, they were different on 90.5% of the trees for Graves-Lenhart, 100 Graves-Carmean, 95.2% Graves-*Issa*, 100% Lenhart-Carmean and 95.2% Lenhart-*Issa* methods. They were not different on 9.5% of the trees when using Carmean and *Issa* methods (Table 4).

The best model fitting equation to height-age pairs from the Issa algorithm using 141 trees was Richards Growth Function. Among the all models, the Richards Growth Model gave the highest FI (Fit Index) and the lower RSS (Residual Sum of Squares).

Issa and Carmean's methods gave the most accurate results of five methods tested. It is not difficult to understand why the Graphic and Graves methods result in biased estimates of height. The Graphic method will significantly underestimate the true height because it uses the height of a crosscut as the tree height corresponding to the ring count at that crosscut.

Considering the above results, *Issa* of Carmean methods can be recommended for estimating the heights of trees on stem analysis data.

KAYNAKLAR

- AKALP, T., 1978: *Anamorfik ve Polimorfik Yöntemlerle Bulunmuş Bonitet Eğrilerinin Karşılaştırılması*. İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi. Seri A, Sayı 1: 212-228 s.
- ALEMDAĞ, Ş., 1985: *Bonitet Endeks Denklemlerinin Kuruluşunda Gövde Analizine Dayanan Bir Metod*. İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi. Seri A, Cilt 35, Sayı 1: 132-142 s.
- BATU, F., 1989: *Uygulamalı İstatistik Yöntemler*. K.T.Ü. Orman Fakültesi Ders Tezsirleri Serisi No: 25. 328 s.
- CARMEAN, W.H., 1972: *Site Indeks Curves for Upland Oaks in the Central States*. *Forest Science*. 18 (2): 109-120 s.
- CAUSTON, D.R., J.C. VENUS., 1981: *The Biometry of Plant Growth*. Edward Arnold Ltd. 41 Bedford Square. Londra. 307 s.
- DEVAN, J.S., H.E. BURKHART., 1982: *The Biometry of Plant Growth*. Edward Arnold Ltd. 41 Bedford Square. Londra. 307 s.
- DRAPER, N.R., R.L. SMITH., 1966: *Applied regression Analysis*. John Wiley & Sons. Inc. New York. 407 s.
- DYER, M.E., R.L. BAILEY., 1987: *A test of Six Methods for Estimating True Heights from Stem Analysis Data*. *Forest Science*. 33 (1): 3-13 s.
- FABBIO, G., FRATTEGIANI, M., M.C. MANETTI., 1994: *Height Estimation in Stem Analysis Using Second Differences*. *Forest Science*. 49 (2): 329-340 s.
- FIRAT, F., 1973: *Dendrometri*. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 193. İstanbul. 359 s.
- GERTNER, G.Z., 1985: *Efficient Nonlinear Growth Model Estimation: Its Relationships to Measurement Interval*. *Foret Science*. 31 (4): 821-826 s.
- GİRAY, N., 1984: *Gövde Analizi*. *Ormanlık Araştırma Dergisi*. 7-44 s.
- GUNST, F.R., R.L. MASQN., 1980: *Regression Analysis and Its Application*. Marcel Dekker, Inc. New York. 402 s.
- GÜNEL, H.A., 1978: *Tek Ağaç ve Meşcerede Artım e Büyümenin Matematiksel Modelleri*. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 327.

- KALIPSIZ, A., 1984: *Dendrometri. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 354, 450 s.*
- KALIPSIZ, A., 1988: *İstatistiksel Yöntemler. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 394, 558 s.*
- LENHART, D.J., 1972: *An Alternative Procedure for Improving Height/Age Data From Stem Analysis. Forest Science. 18 (4): 332.*
- MEYERS, R.H., 1990: *Classical and Modern Regression with Application. PWS-KENT Publishing Company. Boston. 488 s.*
- MURAY, J.S., S. DIAMANDIS., 1977: *The Use of Stem Rings to Determine Annual Height Increment in Norway Spruce. Forestry. 50 (2): 139-142 s.*
- NEWBERRY, J.D., 1978: *Dominant Height Growth Models and Site Index Curves for Site-Prepared Slash Pine Plantations in the Lower Coastal Plain of Georgia and North Florida. M.S. Thesis. Univ. Georgia. 47 s.*
- NEWBERRY, J.D., 1991: *A Note on Carmean's Estimate of Height from Stem Analysis Data. Forest Science. 37 (1): 368-369 s.*
- PIENAAR, L.V., K. J. TURNBULL., 1973: *The Chapman-Richards Generalization of Von Bertalanffy's Growth Model for Basal Area Growth and Yield in Even-Aged Stands. Forest Science. 19 (2): 2-22 s.*
- SARAÇOĞLU, Ö., 1985: *Gövde Analizi Bilgisayar Programı. İ.Ü. Orman Fakültesi Seri A, Cilt 35, Sayı: 1. 108-131 s.*