

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KASTAMONU YÖRESİ ULUDAĞ GÖKNARI (*Abies nordmanniana* (Stev.) Spach.
subsp. *bornmülleriana* (Mattf.)) MEŞCERELERİNDE GÖVDE PROFİLİ, HACİM
VE HACİM ORAN DENKLEM SİSTEMLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

127498

Orm. Müh. Oytun Emre ŞAKICI

TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Orman Yüksek Mühendisi”
Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

127498

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 . 07 . 2002

Tezin Savunma Tarihi : 19 . 08 . 2002

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hakkı YAVUZ

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Selahattin KÖSE

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Mustafa USTA

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Asım KADIOĞLU

Trabzon 2002

ÖNSÖZ

“Kastamonu Yöresi Uludağ Göknaı (*Abies nordmanniana* (Stev.) Spach. subsp. *bornmülleriana* (Mattf.)) Meşcerelerinde Gövde Profili, Hacım ve Hacım Oran Denklem Sistemlerinin Geliştirilmesi” adlı bu çalışma K. T. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Öncelikle, konu seçiminden çalışmanın son aşamasına kadar, ilgili ve yol gösterici tutumuyla çalışmalarımı destekleyen ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Hakkı YAVUZ’a gönülden teşekkürlerimi sunarım.

Ormancılıkla ilgili her konudaki engin bilgileri ile çalışmama katkıda bulunan hocam Sayın Prof. Dr. Fikret KAPUCU’ya teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışması süresince manevi destekleri ile sürekli yanımda olan ailem ve değerli arkadaşım Arş. Gör. Çiğdem SAĞLAM’a ve arazi çalışmaları sırasında yardımlarını gördüğüm değerli arkadaşlarım Arş. Gör. Burak ARICAK ve Arş. Gör. Gökhan ŞEN’e şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmanın, ülkemiz ormancılığına ve diğer araştırmacılara yararlı olmasını dilerim.

Trabzon, Temmuz 2002

Oytun Emre SAKICI

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
TABLolar DİZİNİ.....	VIII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	IX
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Gökmar Hakkında Genel Bilgiler.....	6
1.2.1. Türkiye’de Doğal Olarak Yetişen Gökmar Taksonları.....	6
1.2.2. Gökmar’ların Türkiye’deki Yayılış Alanları.....	6
1.2.3. Gökmar’ların Botanik Özellikleri.....	7
1.2.4. Gökmar’ların Yetiştirme Ortamı Özellikleri.....	8
1.2.5. Gökmar’ların Silvikültürel Özellikleri ve Meşcere Kuruluşları.....	8
1.2.6. Gökmar Odununun Anatomik ve Teknolojik Özellikleri.....	10
1.2.7. Gökmar İle İlgili Yapılan Çalışmalar.....	10
1.3. Gövde Profili Modelleri.....	11
1.3.1. Gövde Profili Modellerinin Tanımı.....	11
1.3.2. Gövde Profili Modellerinin Tarihsel Gelişimi.....	11
1.3.3. Gövde Profili Modellerinin Sınıflandırılması.....	12
1.4. Literatür Özeti.....	14
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	26
2.1. Materyal.....	26
2.2. Yöntem.....	29
2.2.1. Gövde Çaplarının Tahmini İçin Düzenlenen Gövde Profili Modelleri.....	29
2.2.1.1. Deneysel Verilerle Oluşturulan Gövde Profili Modelleri.....	29
2.2.1.1.1. Polinomiyal Gövde Profili Modelleri.....	30
2.2.1.1.2. Segmented Polinomiyal Gövde Profili Modelleri.....	31
2.2.1.1.3. Değişken-Exponent Gövde Profili Modelleri.....	32

2.2.1.1.4. Değişken-Şekil Gövde Profili Modelleri	34
2.2.1.1.5. Ortalama Oransal Gövde Profili Modelleri.....	36
2.2.1.2. Geometrik Esaslara Göre Oluşturulan Gövde Profili Modelleri.....	37
2.2.1.2.1. Basit Eksponansiyel Gövde Profili Modelleri.....	37
2.2.1.2.2. Grafik Yöntemle Oluşturulan Gövde Profili Modelleri.....	38
2.2.1.2.3. Trigonometrik Gövde Profili Modelleri.....	38
2.2.2. Gövde Profili Modelleri İle Gövde Hacminin Hesaplanması.....	40
2.2.2.1. Uyumsuz Gövde Profili Modelleri	40
2.2.2.2. Uyumlu Gövde Profili Modelleri	41
2.2.3. En İyi Modellerin Belirlenebilmesi İçin Kullanılan Ölçütler	52
3. BULGULAR.....	54
3.1. Gövde Çaplarının Tahmini İçin Düzenlenen Gövde Profili Modellerine İlişkin Bulgular	54
3.1.1. Deneysel Verilerle Oluşturulan Gövde Profili Modellerine İlişkin Bulgular	54
3.1.2. Geometrik Esaslara Göre Oluşturulan Gövde Profili Modellerine İlişkin Bulgular	56
3.2. Gövde Profili Modelleri İle Gövde Hacminin Hesaplanmasına İlişkin Bulgular....	57
3.2.1. Uyumsuz Gövde Profili Modellerine İlişkin Bulgular	57
3.2.2. Uyumlu Gövde Profili Modellerine İlişkin Bulgular	58
3.3. Gövde Profili Modellerinden Yararlanarak Gövde Hacminin ve Gövdenin Herhangi Bir Bölümüne İlişkin Hacmin Hesaplanması.....	67
3.4. Gövde Profili Modellerinden Yararlanarak Ağaç Hacim Tablolarının Düzenlenmesi.....	72
4. TARTIŞMA	74
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	77
6. KAYNAKLAR	80
7. EKLER.....	93
ÖZGEÇMİŞ	94

ÖZET

Kastamonu Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı Bostan Orman İşletme Şefliği sınırları içinde kalan Gökmar meşcerelerinden alınan örnek ağaçlar üzerinde yapılan ölçümler ile elde edilen veriler kullanılarak, Gövde Profili, Hacim ve Hacim Oran Denklem Sistemleri geliştirilmiştir.

En uygun modelin belirlenmesinde, Ortalama Hata, Ortalama Mutlak Hata, Hataların Standart Sapması ve Açıklanan Varyans Yüzdesi ölçütleri kullanılmıştır. En uygun modeller belirlendikten sonra, bağımsız bir veri grubu ile modellerin bölgeye uygunlukları test edilerek $\alpha=0,05$ önem düzeyinde kullanılacak modele karar verilmiştir.

Verilerle en uyumlu sonuçlar, Kozak (1988) tarafından geliştirilen Değişken-Exponent Gövde Profili Modeli, Perez vd. (1990) tarafından geliştirilen Değişken-Şekil Gövde Profili Modeli, Bruce vd. (1968) tarafından geliştirilen Uyumlu Gövde Profili Modeli ve Allen (1993) tarafından geliştirilen Ortalama Oransal Gövde Profili Modeli ile edilmiştir. Ancak, kontrol amacıyla oluşturulan bağımsız veri grubu için en iyi sonucu Allen (1993) tarafından geliştirilen model vermiştir.

Elde edilen sonuçlar, uygun bulunan modellerin, verilerin sağlandığı Kastamonu bölgesi için kullanılabilir nitelikte olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Gövde Profili Modelleri, Gövde Çapı, Gövde Hacmi, Uyumlu Gövde Profili-Gövde Hacim ve Hacim Oran Denklem Sistemleri

SUMMARY

Development of Stem Profile, Total Tree Volume and Volume Ratio Equation Systems for *Abies nordmanniana* (Stev.) Spach. subsp. *bornmülleriana* in Kastamonu

In this study, by using data obtained from Fir (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana*) sample trees chosen from pure Fir stands in Kastamonu Forest Enterprise were used to determine stem profile, volume ratio and stem volume equations systems.

Model performances were measured by four statistical performance criteria (Average Residuals, Average Absolute Residuals, Standard Deviation of Residuals or Precision, Percent Variation Explained). After choosing the best stem profile equation according to these statistical performance criteria, which was tested by a independent data set if it is appropriate or inappropriate for Fir stands at 0,05 significant level.

Four stem profile models among eighteen models, Variable-Exponent Taper Equation (Kozak, 1988), Variable-Form Taper Function (Perez vd., 1990), Compatible Stem Profile Model (Bruce vd., 1968), Average Relative Stem Profile Model (Allen, 1993), gave the best results. However, only one of these models developed by Allen (1993) provided the best overall fit to a set of independent or validation data.

The results obtained have shown that the models formulated can be used to predict stem taper and stem volume of Fir trees in Kastamonu where the data were gathered.

Key Words: Stem Profile Models, Stem Taper, Stem Volume, Compatible Stem Taper-Volume and Volume Ratio Equation Systems

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil1. Uludağ Göknarı'nın yayılış alanları	7
Şekil 2. Model oluşturulmasında kullanılan veriler ile 15 no'lu denkleme ilişkin hata dağılımı	63
Şekil 3. Model oluşturulmasında kullanılan veriler ile 21 no'lu denkleme ilişkin hata dağılımı	63
Şekil 4. Model oluşturulmasında kullanılan veriler ile 29 no'lu denkleme ilişkin hata dağılımı	64
Şekil 5. Model oluşturulmasında kullanılan veriler ile 90 no'lu denkleme ilişkin hata dağılımı	64
Şekil 6. Kontrol verileri ile 15 no'lu denkleme ilişkin hata dağılımı	65
Şekil 7. Kontrol verileri ile 21 no'lu denkleme ilişkin hata dağılımı	65
Şekil 8. Kontrol verileri ile 29 no'lu denkleme ilişkin hata dağılımı	66
Şekil 9. Kontrol verileri ile 90 no'lu denkleme ilişkin hata dağılımı	66

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Verilerin sağlandığı bölmelere ilişkin bazı bilgiler.....	26
Tablo 2. Örnek ağaçlara ilişkin bazı istatistiksel değerler.....	27
Tablo 3. Model parametrelerinin tahmin edilmesi için kullanılan veriler.....	28
Tablo 4. Model uygunluğunun denetimi için kullanılan veriler	28
Tablo 5. Deneysel verilerle oluşturulan gövde profili modellerine ilişkin parametre değerleri	55
Tablo 6. Ormerod (1973) tarafından geliştirilen modele ilişkin ölçüt değerleri.....	57
Tablo 7. Geometrik esaslara göre oluşturulan gövde profili modellerine ilişkin parametre değerleri.....	57
Tablo 8. Uyumsuz gövde profili modellerine ilişkin parametre değerleri	58
Tablo 9. Uyumlu gövde profili modellerine ilişkin parametre değerleri	59
Tablo 10. Gövde profili modellerine ilişkin ölçüt değerleri.....	60
Tablo 11. Model uygunluğunun denetiminde kullanılan veriler ile en uygun denklemlerin (15, 21, 29 ve 90 no'lu denklemler) ölçüt değerleri	62
Tablo 12. Uyumlu gövde hacim denklemlerine ilişkin parametre değerleri	72
Ek Tablo 1. Uyumlu gövde profili modeli ile oluşturulan çift girişli ağaç hacım tablosu	93

SEMBOLLER DİZİNİ

- d : Gövde çapı (cm)
D : Göğüs çapı (cm)
h : Gövde çaplarının ölçüleceği yükseklik (m)
H : Ağaç boyu (m)
R_d: Çapa göre hacim oranı (%)
R_h: Boya göre hacim oranı (%)
V : Gövde hacmi (m³)
V_i : Gövdenin belirli bir bölümünün hacmi (m³)



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Toplumun, ormanlarla olan ilişkisi sürekli artmış, istekleri, yararlanma biçim ve çeşitleri ve ormanlardan olan beklentileri duraksamadan çoğalmış ve çeşitlenmiştir. Buna bağlı olarak, bugün ormanların yerine getirmekle yükümlü oldukları işlevleri de değişmiş, yeni boyutlar ve içerikler kazanmıştır. Ormanların işlevleri; ülkelerin gelişmişlik düzeyi, toplumsal yapıları, ormanların ülke alanına dağılışı, ülkenin genel topografik yapısı gibi daha birçok etmene bağlı olarak değişmektedir. Bu işlevleri, iki genel gruba ayırmak mümkündür. Bunlar;

- Orman ürünleri üretimi işlevi,
- Altyapısal hizmetler işlevi,

dir. Bu temel işlevlerin önemlilik ve öncelik sıraları, zamana ve toplumun ihtiyaç ve isteklerine bağlı olarak değişmektedir (Kapucu, 1987).

Orman ürünleri üretimi işlevi, ormanlardan ekonomik değeri olan bir hammadde üreterek, toplumun ve topluma hizmet eden endüstri kuruluşlarının bu hammaddelere olan taleplerini karşılamak şeklinde özetlenebilir. Ormanlardan elde edilecek ürünleri, ana ürün olarak odun ve yan ürünler olarak da odun dışı ürünler şeklinde ikiye ayırmak gerekir. Altyapısal hizmetler işlevi ise, toplumun güvenliği, huzuru ve mutluluğu için gerekli olan altyapısal hizmetleri içermektedir. Bu hizmetler; su kaynaklarının düzenlenmesi ve korunması, su ya da rüzgar etkisiyle oluşabilecek toprak kayıplarının önlenmesi, çığ tehlikesinin engellenmesi, tarım alanlarının korunması, toplum sağlığına katkıda bulunulması ve daha birçok üretim dışı işlevler şeklinde sıralanabilir (Kapucu, 1987).

Günümüzde insanlar, ormanlardan gerek hammadde üretimi, ki bunların başında odunsal ürünler gelmektedir, gerekse altyapısal hizmetler amacıyla çok yönlü olarak yararlanmaktadır. Ormanların bu işlevlerine olan gereksinimin dünya nüfusuna bağlı olarak artmasına karşın, mevcut orman alanları hızla azalmakta ve ormanlar yavaş yavaş kendilerinden beklenen hizmetleri karşılayamaz hale gelmektedirler. Bu olumsuz gidişe bir çözüm bulunamaması durumunda, gelecek kuşakların bugünkü orman varlığına dahi sahip

olamayacağı çok açık bir gerçektir. Orman varlığında meydana gelen bu azalış, mevcut orman kaynaklarından en uygun şekilde faydalanmanın gerekliliğini açıkça ortaya çıkarmaktadır. Faydalanma sırasında, gelecek kuşakların orman ürün ve hizmetlerine olan gereksinimleri ve orman ekosisteminin sürekliliği göz ardı edilmemeli, yapılacak tüm plan ve uygulanacak tüm müdahalelerde bu ölçütler kesinlikle dikkate alınmalıdır.

Ormancılıkta üretimi artırmanın iki yolu vardır. Bunlardan birincisi, orman alanlarının genişletilmesidir. Ancak bu çözüm yolunun gerçekleştirilmesi oldukça masraflı olmakta ve ayrıca yapılan ağaçlandırma çalışmaları da hemen hemen tüm dünya genelinde yetersiz görülmektedir. İkinci ve uygulanması daha kolay olan çözüm yolu ise, orman alanlarından faydalanmanın, orman ekosisteminin sürekliliğini tehlikeye atmadan artırılmasıdır. Bu faydalanma artışı; meşcerelerin silvikültürel müdahalelerle daha verimli hale getirilmesi, envanter yapılırken mevcut durumun tam anlamıyla ortaya konulması, faydalanmanın düzenlenmesi için yapılacak planlamaların daha özenli ve dikkatli bir şekilde yapılması, üretim işleri sırasında herhangi bir nedenle oluşabilecek kayıpların azaltılması ve özellikle odun üretimi sırasında yapılacak her türlü ölçme ve hesaplama işlemlerinde amaçlara uygun sonuçlar verecek yöntemlerin kullanılması gibi birçok yol izlenerek sağlanabilir.

Üretim sektöründe faaliyet gösteren işletmelerde, işletme tarafından yapılan tüm üretim çalışmaları toplumun ihtiyaçlarına göre düzenlenen belirli ticari standartlara göre sürdürülmektedir.Ormancılık sektöründe yapılan üretim (özellikle odun hammaddesi üretimi) çalışmalarında da ticari standartlar kullanılmakta, diğer bir ifadeyle faydalanmanın temel ölçütü ticari standartlar olmaktadır. Odun üretimi amacıyla işletilen ormanlarda ticari standartlar, uzun yıllardan bu yana genellikle çap ve boya dayandırılmaktadır. Ancak bu standartlar, toplumun istek ve ihtiyaçlarına bağlı olarak geçmişten günümüze kadar sürekli bir değişim göstermiştir. Böylece, belirli bir dönem için geçerli olan kimi standartların bugün geçerliliklerini yitirdikleri görülmektedir. Geçmişteki standartlara bağlı olarak oluşturulan odun çeşitleri, günümüzdeki değişik standartlara göre talep edilen odun çeşitlerini karşılayamamaktadır. Bunun sonucu olarak ortaya çıkan istek ve ihtiyaçlar, yeni standartların oluşturulmasını gerektirmiştir (Yavuz, 1995).

Bilindiği gibi, tüm dünyada işletilen gerek özel ormanlar ve gerekse devlet ormanlarında, işletme sermayesinin en büyük bölümünü ağaç serveti oluşturmaktadır. Ormanların işletilebilmesi için gerekli planların düzenlenmesi sırasında, ormandaki mevcut ağaç servetinin gerek toplam hacim ve gerekse odun çeşitlerine göre hacim ve değerinin güvenilir bir biçimde saptanması gerekir (Yavuz, 1995).

Ağaç servetinin belirlenmesi amacıyla değişik yöntemler kullanılmaktadır. Meşcereyi temsil eden örnek ağaçlardan yararlanmak, ağaç hacim tabloları, meşcere tipi hacim tabloları ve hasılat tablolarını kullanmak bunlara örnek olarak verilebilir (Fırat, 1973; Kalıpsız, 1984). Ancak uygulamada, diğer yöntemlere göre daha pratik olması nedeniyle genellikle ağaç hacim tabloları kullanılmaktadır.

Ağaç hacim tabloları; doğrudan belirlenmesi güç olan ağaç hacmini, çap ve boy gibi daha kolay ölçülebilen ağaç boyutları yardımı ile tahmin edebilmek amacıyla kurulan grafik veya istatistik bağıntıların sonuçlarından faydalanılarak oluşturulan ve ağaç hacim değerlerini doğrudan veren tablolardır. Bu tabloların oluşturulması için, yalnız göğüs çapı kullanılıyorsa "Tek Girişli Ağaç Hacim Tabloları", göğüs çapı ile ağaç boyu kullanılıyorsa "Çift Girişli Ağaç Hacim Tabloları", göğüs çapı ve boya ek olarak tepe yüksekliği, tepe uzunluğu, tepe uzunluğunun ağaç boyuna oranı ve gövdenin belirli yüksekliklerdeki çapı gibi üç ya da daha çok değişken kullanılıyorsa "Çok Girişli Ağaç Hacim Tabloları" olarak isimlendirilmektedir. Ağaç hacim tabloları ayrıca, geçerlilik alanlarının büyüklüğüne göre de, "Yöresel, Bölgesel ve Genel Ağaç Hacim Tabloları" olmak üzere üçe ayrılırlar (Kalıpsız, 1984). Ülkemizde her bir planlama birimi ve genellikle asli ağaç türleri için tek girişli ağaç hacim tabloları düzenlenmiş ve ilgili amenajman planlarında bu tablolar verilmiştir. Ayrıca, Karaçam (Gülen, 1959), Sedir (Evcimen, 1963; Sun vd., 1978), Kayın (Kalıpsız, 1963; Sun vd., 1978), Sarıçam (Alemdağ, 1967; Sun vd., 1978), Kızılçam (Sun vd., 1978), Gökmar (Sun vd., 1978), Ladin (Akalp, 1978; Sun vd., 1978), Ardiç (Aykın, 1978), Melez Kavak (Birler, 1983), Kara Kavak (Birler vd., 1984), Dişbudak (Şentürk, 1997) ve Kestane (Kapucu vd., 2002) ağaç türleri için de çift girişli genel hacim tabloları düzenlenmiştir.

Ormancılıkta, değişen ticari standartlara bağlı olarak elde edilecek ürünlerin boyut ve niteliklerinin, ağaçların kesimi öncesinde bilinmesi istenmiş ve gövde hacimlerinin

yanında ticari standartlara uygun odun çeşitlerine ilişkin hacimlerin de bilinmesi için çözümler aranmıştır. Ağaçlardan tomruk, direk ve sanayi odunu gibi odun çeşitleri elde edilmekte ve bu ürünler gerek boyutları ve gerekse birim fiyatları bakımından oldukça farklılık göstermektedir. Bu nedenle gövdenin toplam hacmine ek olarak, gövdeden üretilebilecek odun çeşitlerinin de hacminin ve değerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla oluşturulan ilk çalışmalar hacim oran denklemleridir. Bu denklemler ile gövdenin yerden herhangi bir yüksekliğe kadar olan bölümüne ilişkin hacminin gövdenin toplam hacmine oranı hesaplanmaktadır. Ancak bu denklemler, gövdenin yerden herhangi bir yükseklikteki çap değerini doğrudan vermediklerinden gövdeden elde edilebilecek odun çeşitlerinin boyutları da belirlenememektedir. Buna karşın, hacim oran denklemleri ile özellikle çatallanmanın çok sık görüldüğü *Angiospermae* türlerinde, yerden çatal oluşumuna kadar olan, diğer bir anlatımla gövdenin en kalın ve düzgün bölümünün hacmi doğrudan hesaplanabilmektedir. Oysa, ağaç hacim denklemleri ile gövdenin belirli bir bölümüne ilişkin hacim değerleri hesaplanamamakta, yalnız gövdenin tamamının hacmi elde edilmektedir.

Yukarıda da açıklandığı gibi, ağaç hacim denklemleri bir gövdenin tamamının hacmini, hacim oran denklemleri ise, yerden belirlenen bir yüksekliğe kadar olan bölümünün hacmini hesaplamak için kullanılabilir. Bu denklemler ile ağaçlardan elde edilebilecek odun çeşitlerinin gerek çap ve boylarını ve gerekse hacimlerini tahmin etmek mümkün olmamaktadır. Günümüzde “Gövde Profili Denklemleri (Stem Profile Equations)” ya da “Gövde Çapı Denklemleri (Stem Taper Equations)” olarak isimlendirilen modeller, bu amaçları gerçekleştirmek için oluşturulmaktadır.

Yüz yılı aşkın bir süredir, gerek ağaç gövdelerinin toprak seviyesinden tepeye doğru azalış biçimini belirlemek ve gerekse ağaçlar arasındaki gövde şekli farklılıklarını ortaya koymak, ormancılığın önemli çalışma konularından biri olmuş ve özellikle son otuz yıldır bu konuda oldukça fazla sayıda araştırma yapılmıştır (Fang ve Bailey, 1999). Gövde profili modellerinin oluşturulması ile gövde şekilleri üzerine yapılan çalışmaların ormancılıktaki önemi daha belirgin bir duruma gelmiştir. Gövde Profili Modelleri ile ağaç gövdesinin herhangi bir yüksekliğindeki gövde çapları ya da belirli bir gövde çapının yerden kaç metre yükseklikte olduğu istatistiksel bir yöntem olan Regresyon Analizi ile tahmin edilebilmektedir. Bu modeller ile gövdenin tamamının, toprak seviyesinden gövde

üzerindeki herhangi bir yükseklik ya da çapa kadar olan bölümünün ve gövde üzerinde belirlenen herhangi iki çap ya da yükseklik değerleri arasında kalan bölüme ilişkin hacmin hesaplanması mümkün olmaktadır. Karmaşık bir yapı göstermelerine karşın, özellikle son yıllarda geliştirilen gövde profili modelleri ile her bir ağaçtan elde edilebilecek odun çeşitleri ve bunlara ilişkin hacim miktarları güvenilir bir şekilde belirlenebilmektedir. Çeşitli ağaç türleri için düzenlenmiş çok sayıda gövde profili modeli (veya gövde çapı eşitliği) bulunmaktadır. Daha önce de belirtildiği gibi, Türkiye’de hemen hemen tüm ağaç türleri için ağaç hacim tabloları düzenlenmiştir. Kimi ağaç türleri (Doğu Ladini, Sarıçam, Karaçam, Kızılcıam, Gökmar, Sedir ve Kayın) için de göğüs çapına bağılı olarak, ağaçlardan elde edilebilecek odun çeşitleri ve bunların gövde hacmi içindeki oranlarını ortalama olarak veren tablolar düzenlenmiştir (Sun vd., 1978). Gövde profili modelleri ise Kızılağaç (Yavuz ve Saraçoğı, 1999) ile Kastamonu yöresi için geçerli olmak üzere Sarıçam ve Karaçam (Yavuz, 1995) ağaç türleri için oluşturulmuştur. Gövde profili modelleri ile gövdenin tamamının hacmi ile standartları ne olursa olsun gövdeden elde edilebilecek odun sınıflarına ilişkin boyut (çap ve boy) ve hacim değerlerinin doğrudan hesaplanabilmesi nedeniyle ağaç hacim tabloları yerine, bu tablolardan daha ayrıntılı bilgiler veren ve düzenlenebilmeleri için ek veri gerektirmeyen gövde profili modellerinin tüm ağaç türlerimiz için oluşturulması gerekir.

Bu tez çalışmasında, Gökmar ağaç türü için gövde profili modellerinin oluşturulması amaçlanmıştır. Modellerin oluşturulabilmesi için gerekli veriler Kastamonu yöresi Gökmar meşcerelerinde yapılan arazi çalışmaları ile sağlanmıştır. Modelin oluşturulması için önce geniş çaplı bir literatür taraması yapılmış ve tüm dünyada bu konuda yapılan araştırmalar arasından birçoğı incelenmiştir. Daha sonra uygulanabilecek modellere karar verilmiş ve bu modeller, elde edilen verilerden faydalanılarak SPSS adlı bir istatistik paket programı ile geliştirilmeye çalışılmıştır. Bazı istatistiksel analizler ile uygulanan modellerin uygunluğu test edilmiş ve en uygun modeller belirlenmiştir.

1.2. Gökna r Hakkında Genel Bilgiler

1.2.1. Türkiye’de Doğal Olarak Yetişen Gökna r Taksonları

Gökna r (*Abies* Mill.), *Gymnospermae*’lerin *Coniferae* sınıfına ait *Pinoideae* takımının *Pinaceae* familyasında yer alan bir taksondur.

Ülkemizde doğal olarak yetişen gökna r taksonları, iki ana tür ve beş alt türde toplanmaktadır (Anşin, 2001). Bu ana ve alt türler şunlardır:

1. *Abies nordmanniana*

1.1. *Abies nordmanniana* subsp. *nordmanniana* (Doğu Karadeniz Gökna rı)

1.2. *Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana* (Uludağ Gökna rı)

1.3. *Abies nordmanniana* subsp. *equi-trojani* (Kazdağı Gökna rı)

2. *Abies cilicica* (Toros Gökna rı)

2.1. *Abies cilicica* subsp. *cilicica*

2.2. *Abies cilicica* subsp. *isaurica*

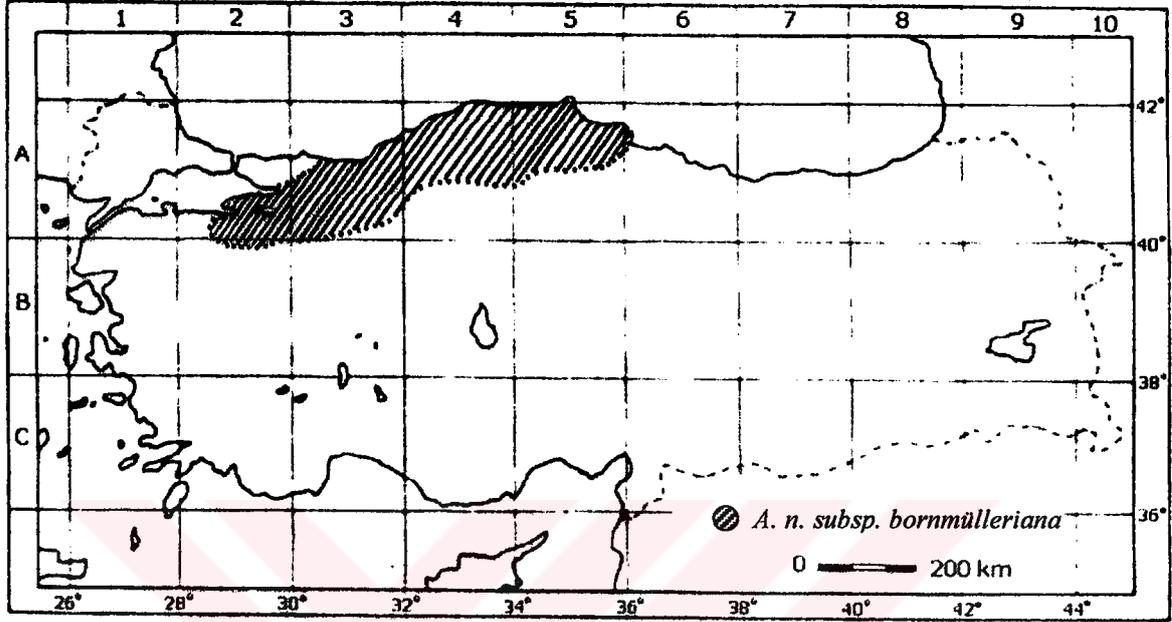
Bu çalışma, ilk ana türün ikinci alt türü olan *Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana* türüne ait veriler kullanılarak yürütülmüştür.

1.2.2. Gökna r’ların Türkiye’deki Yayılış Alanları

Doğu Karadeniz Gökna rı (*Abies nordmanniana* subsp. *nordmanniana*)’nın yayılış alanı, Kafkasya ile Kuzeydoğu Anadolu’nun dağlık kesimleridir. Ülkemizde, Yeşilirmak Vadisi ile Türkiye-Gürcistan sınırı arasında kalan Doğu Karadeniz orman alanlarında yayılır (Anşin, 2001). Batı sınırı Kızılırmak olarak kabul edilmektedir (Saatçioğlu, 1976).

Uludağ Gökna rı (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana*)’nın genel yayılış alanı, Kızılırmak’ın denize döküldüğü yer ile Uludağ arasında kalan Batı Karadeniz Bölgesi ile Kocaeli havzasıdır (Anşin, 2001). Bu alt tür, Karadeniz’in batısında

Kızılırmak'tan başlayarak Uludağ'a kadar geniş bir yayılış gösterir (Saatçioğlu, 1976). Bu alt türün, yayılış alanını gösteren bir harita Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Uludağ Göknaarı'nın yayılış alanları (Davis, 1965).

Kazdağı Göknaarı (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana*), Batı Anadolu'daki Kazdağı'nda yerel bir yayılış göstermektedir (Anşin, 2001).

Toros Göknaarı (*Abies cilicica*), Güney Anadolu'da Toroslar, Antitoroslar ve Amanos Dağları'nda yayılış göstermektedir (Anşin, 2001).

1.2.3. Göknaar'ların Botanik Özellikleri

Göknaar, genç yaşlarda piramidal, daha sonra konik bir tepe yapısı olan, herdem yeşil, dalları gövdeye çevrel dizili, boylu orman ağaçlarındandır. Genç bireylerde açık gri renkte ince ve düzgün olan kabuk, ileri yaşlarda kalın ve çatlaklıdır. Sürgünler, uzun sürgün şeklinde olup iğne yapraklar bunun üzerinde sarmal olarak teker teker dizilmiştir. Ancak çoğu kez, ışığa göre iki sıralı bir görünüm almışlardır. İğne yaprak rozet halinde, genelde yassı ve iki yüzlü olup, uçları tepe sürgünlerinde sivri, yan sürgün ve dallarda

çoğunlukla yuvarlak, küt veya kertiklidir. Üst yüzleri hafif oluklu, alt yüzlerinde de belirgin iki adet stoma çizgisi bulunmaktadır. Enine kesitlerinde çoğunlukla iki, ender olarak dört reçine kanalı vardır. İğne yaprakların ağaç üzerinde kalış süreleri 8-11 yıldır (Anşin, 2001).

Uludağ Göknaarı (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana*), Türkiye'ye özgü endemik bir taksondur. Çoğunlukla 40 metreye değin boylanabilen birinci sınıf orman ağacı durumundadır. Ana türe çok yakından benzemekle birlikte, genç sürgünlerin tüysüz, tomurcukların da reçineli olması ile ondan ayrılır. Ortalama 15-18 cm uzunluğunda ve 5 cm çaplarındaki silindirik kozalaklar, uca doğru daralmakta, olgun halde kırmızı kahverengi bir renk almaktadır. Kozalağın üzeri bol reçinelidir. Bu türe özgü olarak, iğne yaprakların bazılarının üst yüzeylerinin uç kısımlarında da beyaz stoma lekeleri görülmektedir (Anşin, 2001).

1.2.4. Göknaar'ların Yetiştirme Ortamı Özellikleri

Göknaarlar, gölgeye çok dayanıklı ağaçlardır. İlk 25-30 yıl içinde kuvvetli gölgelenmeye dayanır, bu yeteneğine 80 hatta 100'üncü yaşlara kadar devam eder. Sıcaklık istekleri, Çam ve Ladine oranla fazladır. Çok soğuk kışlar ve kurak yazlardan hoşlanmazlar. Derin, havadar ve nemli topraklar isterler (Saatçioğlu, 1976).

1.2.5. Göknaar'ların Silvikültürel Özellikleri ve Meşcere Kuruluşları

Doğu Karadeniz Göknaarı, bol, düzenli yağışlı ve serin deniz iklimli olan doğu mntıklarında 1500-2200 m yüksekliklerde servetçe zengin meşcereler yapar. Küçük sahalarda saf fakat çoğunlukla Ladin (*Picea orientalis*) ve Kayın (*Fagus orientalis*) ile birlikte bulunur (Saatçioğlu, 1976).

Kocaeli bölgesinde geniş bir yayılış gösteren Uludağ Göknaarı, Uludağ-Yirce Dağları arasındaki yüksek yerlerde oldukça büyük ormanlar teşkil eder. Bu sahada 2000 m'lere kadar çıkar. Alt sınırını yaklaşık olarak 1000 m kabul etmek doğru olur. En yoğun

ve optimum yayılış, Bolu, Kastamonu ve Zonguldak mntıklarındır. Buralarda çok geniş ve servetçe zengin saf ve kısmen Kayın'la karışık ormanlar meydana getirir. İç bölgelerde de Sarıçam ve kısmen Karaçam'la karışır. Doğu Karadeniz Göknaarı'na nazaran çok daha geniş bir yayılışa sahiptir (Saatçioğlu, 1976).

Kazdağı Göknaarı, dere ilerinde 300 m'ye kadar inmesine rağmen esas yayılışını 650-700 m yüksekliklerden 1000 m'ye kadar yapar. Bu türün saf meşcereleri yok denecek kadar azdır. Karaçam, Kayın, Meşe ve Kestane ile karışık meşcereler yapar (Saatçioğlu, 1976).

Toros Göknaarı, yayılış alanı içinde özellikle denize bakan dağların daha çok kuzey yamaçlarında küçük, saf veya Sedir, Karaçam ve Ardıç türleri ile birlikte ve çoğunlukla 1200-2000 m'ler arasında bulunur ve 2000 m'nin üstüne çıkmaz (Saatçioğlu, 1976).

Göknaar türleri, düzgün ve dolgun gövdeler meydana getirirler. Sürgünler dik büyüme yaparlar. Tepe belirli yaşlara kadar yayvanlaşmaz ve sivriliğini muhafaza eder. Kökler derinlemesine toprağa geçer ve yan kökler de derine gitme çabasındadırlar. Kök, gövde ve tepenin genel yapısı, bu türün oldukça fazla bir büyüme yeri isteği olduğunu göstermektedir (Saatçioğlu, 1976).

Göknaar, gençlikte yaklaşık olarak 10-12'inci yaşlara kadar yavaş büyür, fakat sonraları meydana getirdiği kuvvetli gelişme çok uzun zaman devam eder. Bu türün en önemli silvikültürel özelliklerinden biri de, oldukça ileri yaşlarda gölge baskısı kalktıktan sonra da yavaş yavaş normal gelişmeye geçebilmesidir. Bu süre içinde hayatiyetini kaybetmez ve kökleri de yavaş yavaş genişleme olanağı bulur. Zaman zaman uzun devreler içinde gölge baskısı altında kalmış ve tekrar ışığa kavuşmuş olan alt ve ara tabaka Göknaar fertlerinde boy büyümesinin azalması veya çoğalmasının bir sonucu olarak iki, üç veya daha fazla tepe katlarının meydana geldiği görülebilir. Bu nitelikleri ile seçme ormanı kuruluşuna en uygun türdür (Saatçioğlu, 1976).

1.2.6. Gök nar Odununun Anatomik ve Teknolojik Özellikleri

Gök nar'ların yıllık halkaları, yaz odunu traheitlerinin ilkbahar odununa göre daha koyu, yoğun ve kalın çeperli olması sayesinde çok belirgindir. Bu nedenle ilkbahar odunundan yaz odununa geçiş anidir. Özışınlar çok ince olup, özışını hücre yükseklikleri genellikle fazladır (30-60 hücre) ve mat bir yüzeyde parlak adacıklar halinde görülürler. Reçine kanalı yoktur. Özodunu ve diri odun arasında renk farkı yoktur. Odunu genellikle beyaz, sarımsı, bazen pembemsi, mat ve donuktur (Merev, 1997).

1.2.7. Gök nar İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Miraboğlu (1955), Türkiye'deki Gök nar türlerinde şekil ve hacim ilişkileri ile bu ilişkilere etki eden faktörleri incelemişler ve göğüs boyu şekil katsayısı tablosu ile hacim tablosu düzenlemişlerdir. Ayrıca, Gök nar ağaç türüne ait kabuk kalınlıklarını da incelemişlerdir.

Eraslan (1956), Bolu Aladağsuyu değişikyaşlı ormanlarında Meyer yöntemlerine bağlı kalarak, meşcerelerin optimum kuruluşlarını araştırmış ve çeşitli bonitetler için optimum kuruluş tiplerini oluşturmuştur. Daha sonraları Yüksel ve Giray ile birlikte (1984), Batı Karadeniz değişikyaşlı Uludağ Gök narı ormanlarının optimum kuruluşlarını, yine Meyer yöntemleri doğrultusunda daha kapsamlı olarak araştırmışlardır. Bu çalışmada, Flury yöntemine göre meşcerelerin bonitetlere ayrılması, siper baskısı süresi, serbest büyüme periyodu, çap-çap artımı ilişkisi ve bonitet sınıflarına göre kuruluş tiplerinin oluşturulması üzerinde durulmuştur (Eraslan vd., 1984).

Sun vd. (1978), temel ağaç türlerimizle ilgili çalışmalarında Doğu Karadeniz Gök narlarının da çift girişli gövde hacim, tek ağaç ürün çeşidi hacim oranı, hektardaki ürün çeşidi hacim oranı denklem ve tabloları ile göğüs çapı-kütük çapı, gövde ortası çap-kütük çapı ve gövde ortası çap-göğüs çapı ilişkilerini saptamışlardır.

Asan (1984), eşityaşlı Kazdağı Gök narı meşcereleri için bir hasılat tablosu oluşturmuşlardır.

Saraçoğlu (1988), Karadeniz yöresi değişikyaşlı Gökmar meşcerelerinde artım ve büyüme ilişkileri üzerine bir araştırma yapmışlardır.

1.3. Gövde Profili Modelleri

1.3.1. Gövde Profili Modellerinin Tanımı

Gövde Profili Modelleri; göğüs çapı ve ağaç boyu ile bu iki değişkenden türetilen diğer türevsel değişkenler yardımıyla, (i) bir ağaç gövdesinin herhangi bir yüksekliğindeki gövde çapını, (ii) herhangi bir gövde çapı değerinin gövdenin yerden ne kadar yüksekinde yer aldığını, (iii) toprak seviyesinden belirlenen herhangi bir yüksekliğe kadar olan gövde hacmini, (iv) toprak seviyesinden belirlenen herhangi bir gövde çapına kadar olan bölümün hacmini, (v) gövde üzerinde belirlenen herhangi iki çap değeri ya da uzunluk arasındaki gövde bölümünün hacminin hesaplamak için geliştirilen modellerdir (Yavuz, 1995).

1.3.2. Gövde Profili Modellerinin Tarihsel Gelişimi

Ormancılıkta ağaçların gövde şekli üzerine ilk çalışma 1903 yılında Höjer tarafından yapılmıştır (Figueiredo-Filho, Schaaf, 1999). Bunu 1920'li yıllarda Behre tarafından yapılan çalışmalar izlemiştir (Newnham, 1992). Gray (1956), çalışmalarını çap düşüşünün modellenmesi üzerine yoğunlaştırmıştır (Muhairwe, 1999).

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; Burkhardt, 1977; Cao vd., 1980; Clutter, 1980; Newnham, 1992). Göğüs çapı (D) ve ağaç boyunun (H) fonksiyonu olarak yerden belirli bir yükseklikteki (h_i) gövde çaplarını (d_i) belirlemeye yarayan bu modeller ikinci, üçüncü ya da daha yüksek dereceden polinom modeller biçiminde olup, gövdenin tamamı için ortalama bir şekil katsayısı değeri verirler (Bruce vd., 1968; Kozak vd., 1969; Bennet, Swindel, 1972).

Gövdenin tamamı yerine, şekil farklılıkları gösteren her bir bölümü için ayrı bir polinom oluşturarak, bu polinomları bir modelde birleştirip “Segmented Polinomial Gövde Profili Modeli” olarak isimlendirilen gövde profili modeli ilk olarak Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilmiştir. Bu çalışmada ağaçların dip kısmının naylonite, orta kısmının parabolite ve uç kısmının ise koniye benzediği varsayılmıştır. İstatistiksel olarak oldukça başarılı bulunan bu model daha sonra pek çok araştırmacı tarafından da değişik ağaç türlerine ilişkin gövde profillerinin oluşturulması amacıyla kullanılmıştır (Demaerschalk, Kozak, 1977; Cao vd., 1980; Green, Reed, 1985; Byrne, Reed, 1986; Czaplewski, McClure, 1988; Czaplewski, 1989).

Segmented polinomial modellerden sonra, göğüs çapı ve ağaç boyu ile gövde eğrisinin değişim gösterdiği oransal boy değeri ve bunlardan türetilen pek çok bağımsız değişkenin fonksiyonu olarak oluşturulan ve “Değişken-Üssel Gövde Profili Modeli (Variable Exponent Stem Profile Equation)” adı verilen oldukça karmaşık ve üssel formda regresyon modelleri kullanılmaya başlanmıştır (Kozak, 1988; Newnham, 1988; Perez vd., 1990).

Son zamanlarda ise gövde profili modellerinin oluşturulması için trigonometrik fonksiyonlardan yararlanılmaya başlanmıştır (Thomas, Parrersol, 1991; Bi, 2000; Bi, Long, 2001).

Gövde profilinin modellenmesi için yukarıda verilenlere ek olarak daha birçok yöntem kullanılmıştır. Denkleştirilmiş (spline) fonksiyonlar (Liu, 1980), Chapman-Richards fonksiyonu (Biging, 1984; Matney vd., 1985), Polinomial Enterpolasyon Yaklaşımı (Therien, Chamire, 1986), Asal Bileşenler Analizi (Real vd.,1989), Asal Bileşenler Regresyonu (Tatsuo, 1988) ve parametrik olmayan yöntemlerle gövde profilinin modellenmesi (M’Hirit, Postaire, 1985) bunlara örnek olarak verilebilir.

1.3.3. Gövde Profili Modellerinin Sınıflandırılması

Gövde Profili Modelleri üzerine yapılan literatür çalışmalarında, birçok araştırmacı tarafından çok sayıda sınıflandırmanın yapılmış olduğu, ancak bunlardan hemen hemen

hiçbirinin birbirine benzemediği görülmüştür. Bu benzersizlik, araştırmacıların sınıflandırma yapmak için kullandıkları ölçütlerin birbirlerinden farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle gövde profili modellerinin kesin ve net bir sınıflandırmasını yapmak oldukça zordur. Literatür çalışması sonucu belirlenen değişik sınıflandırmalara ilişkin örnekler aşağıda verilmiştir.

Reed ve Green (1984),

- a. Uyumsuz Gövde Profili Modelleri,
- b. Uyumlu Gövde Profili Modelleri,

Thomas ve Parresol (1991);

- a. Basit hiperbolik ifadeler,
- b. Yüksek dereceli polinomiyalere ilişkin çoğul regresyon modelleri,
- c. Karmaşık çoğul üssel fonksiyonlar,
- d. Segmented polinomial fonksiyonlar,

Flewelling ve Raynes (1993);

- a. Gövdeyi bir bütün olarak inceleyen fonksiyonlar,
- b. Gövdeyi bölümlere ayırarak inceleyen fonksiyonlar,

Muhairwe vd. (1994);

- a. Basit Gövde Profili Fonksiyonları,
- b. Segmented Gövde Profili Fonksiyonları,
- c. Değişken-Şekil ve Değişken-Exponent Gövde Profili Fonksiyonları,
- d. Doğrusal Modeller ve Kutupsal Koordinatlar gibi yaklaşımlar kullanılarak elde edilen gövde profili fonksiyonları,

Williams ve Reich (1997);

- a. Basit fonksiyonlar,
- b. Segmented fonksiyonlar,
- c. Karmaşık segmented fonksiyonlar,

Petersson (1999);

- a. Segmented fonksiyonlar,
- b. Sürekli (Continuos) fonksiyonlar,

Fang ve Bailey (1999);

- a. Deneysel (Empirical) yaklaşımla oluşturulan fonksiyonlar,
- b. Geometrik yaklaşımla oluşturulan fonksiyonlar,

Fang vd. (2000);

- a. Basit Sürekli Fonksiyonlar,
- b. Segmented Fonksiyonlar,

Sharma ve Oderwald (2001);

- a. Polinomieller,
- b. Segmented Polinomieller,
- c. Hacim Oran Fonksiyonları,
- d. Değişken-Şekil Fonksiyonları,
- e. Uyumlu Hacim-Çap Fonksiyonları,

biçiminde farklı sınıflandırmalar yapmışlardır.

1.4. Literatür Özeti

Bruce vd. (1968), *Alnus rubra* türü için gövde çapı ve gövde hacim tabloları geliştirmişlerdir.

Kozak vd. (1969), yerden belirli yüksekliklerdeki gövde çaplarını tahmin etmek için basit bir Quadratic Model geliştirmişlerdir.

Seegrist (1974), bir ağaçtaki belirli uzunluklardaki tomrukların sayı ve hacimlerinden faydalanarak, tomruk sayısının tersi ile tomruk hacminin toplam gövde hacmine oranı arasında doğrusal bir ilişki belirlemişlerdir.

Goulding ve Murray (1976), *Pinus radiata* türü için Uyumlu bir Polinomiyal Gövde Çapı ve Gövde Hacim Denklem Sistemi geliştirmişlerdir.

Max ve Burkhart (1976), ağaç gövdelerinin farklı bölümlerinin değişik geometrik şekiller gösterdiğini ifade ederek gövdenin en alt bölümünün naylonit, orta bölümünün kesik parabolit ve en üst bölümünün de koni şeklinde olduğu varsayımından yararlanmışlar ve her bölüm için ayrı bir polinomiyal regresyon denklemi oluşturarak, bu denklemleri tek bir eşitlik çatısı altında birleştirip bu modele "Segmented Polinomiyal Gövde Profili Modeli" adını vermişlerdir.

Cao vd. (1980), doğal ve yapay *Pinus teada* meşcereleri için ticari hacim ve gövde çaplarını belirlemek amacıyla toplam 12 adet regresyon modeli deneyerek, Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen modelin verilere en uygun model olduğu sonucuna varmışlardır.

Clutter (1980), ticari hacim oran denkleminin gövde çapına göre diferansiyelini alarak, ticari hacim denklemi ile uyumlu bir gövde çapı denklemi geliştirmişlerdir.

Liu (1980), gövde çaplarını belirlemek ve gövde hacimlerini hesaplamak için "Üçüncü Dereceden Kübik Spline Fonksiyonlar"dan yararlanmışlardır.

Monserud (1981), gövde hacminin hesaplanması için bir hacim oran ya da uyumlu gövde çapı denkleminin bulunmaması durumunda, özellikle tepesi kırık gövdelerin gövde bölümlerinin hacimlerinin belirlenebilmesi için analitik bir çözüm yöntemi geliştirmişlerdir. Bu yöntemde, her bir ağaç için ayrı birer gövde çapı eğrisi (Behre Hiperbolü) oluşturulmuş, belirlenen ticari sınırlar arasında kalan hacmi hesaplamak için de bu eğrinin integrali alınmıştır.

Gordon (1983), *Pinus teada* meşcerelerinden alınan verilerden yararlanarak uyumlu polinomiyal gövde çapı eşitliklerini karşılaştırmışlar, sonuç olarak Goulding ve Murray (1976) tarafından geliştirilen gövde çapı modelinin diğer polinomiyal modellere göre verilere daha çok uygunluk gösterdiğini belirlemişlerdir.

Biging (1984), altı farklı ağaç türü (*Pinus ponderosa*, *Pinus lambertina*, *Pseudotsuga menziesii*, *Abies concolor*, *Abies magnifica* ve *Libocedrus decurrens*) için gövde çaplarını tahmin etmek amacıyla, ağaç boyu, göğüs çapı ve oransal boyun fonksiyonu olarak Chapman-Richards fonksiyonundan elde edilen bir gövde çapı eşitliğinden yararlanılmışlar ve elde edilen sonuçları Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen gövde çapı modeli ile karşılaştırmışlardır. Ayrıca, gövde çapı fonksiyonunun integralini alarak, gövdenin tamamının hacmini hesaplamışlar ve bu değerleri de Schumacher-Hall hacim denklemi ile karşılaştırmışlardır.

Reed ve Green (1984), *Quercus velutina* için Uyumlu Gövde Profili, Hacim ve Hacim Oran Denklem Sistemlerinin geliştirilmesi için dört değişik gövde hacim denkleminin (sabit şekil katsayısı, birleşik değişkenler, Schumacher-Hall ve Huber hacim eşitlikleri) yararlanarak model başarılarını ortaya koymaya çalışmışlar ve her dört modelin de yaklaşık olarak aynı başarı düzeyine sahip olduğunu belirlemişlerdir.

Burkhart ve Walton (1985), aralama yapılmamış *Pinus teada* meşcereleri için oluşturulan gövde profili eşitliklerinde göğüs çapı ve ağaç boyunun yanında tepe oranının da bir serbest değişken olarak kullanılmasının, hata miktarının (Regresyondan Kaynaklanan Toplam Hata Miktarı; Sum of Squared Error) azalması üzerine olan etkisini araştırmışlar ve önemli ölçüde bir azalma miktarının olmadığını belirlemişlerdir.

Green ve Reed (1985), Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen gövde çapı eşitliğinden yararlanarak *Pinus rigida* için Uyumlu bir Gövde Profili, Hacim ve Hacim Oran Denklem Sistemi geliştirmişlerdir.

M'Hirit ve Postaire (1985), model oluşturulması için kullanılacak gövde çapı verilerin kısıtlı olması durumunda Parametrik Modellerin kullanımı ile oluşabilecek hata miktarının azaltılabilmesi amacıyla Parametrik Olmayan Modelleri kullanmışlar ve başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.

Reed ve Byrne (1985), Ormerod (1973) tarafından geliştirilen gövde çapı eşitliğini kullanarak oluşturdukları değişken gövde çapı eğrisinden yararlanarak, gövde çapı, gövde

hacım ve değişik çap veya boy standartlarına göre ticari gövde hacım değerlerini veren bir model geliştirmişlerdir.

Byrne ve Reed (1986), *Pinus teada* ve *Pinus resinosa* ağaçlandırma alanlarına ilişkin gövde analizi verilerinden yararlanarak, gövde çapı, gövde hacmi ve değişik çap ya da boy standartlarına bağlı olarak ticari gövde hacmi değerlerini belirlemek üzere beş değişik denklem sistemini denemişler ve bunlar arasında en uygun modelin Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen gövde profili denklemi olduğunu belirlemişlerdir.

Lynch (1986), Clutter (1980) tarafından geliştirilen ticari hacım denkleminde yararlanarak bir gövde çapı fonksiyonu elde etmeye çalışmışlar ve bu fonksiyon yardımıyla da bir Uyumlu Gövde Profili, Gövde Hacım ve Ticari Gövde Hacım Denklem Sistemi geliştirmişlerdir.

McDonald ve Forslund (1986), *Abies balsamea*, *Picea mariana*, *Picea glauca*, *Populus tremuloides* ve *Betula papyrifera* ağaç türleri için parakonik (paraboloid ile koni arasında bir Şekil) gövde Şekilleri varsayımından hareketle bir geometrik hacım eşitliği geliştirmişlerdir.

McClure ve Czaplewski (1986), *Pinus teada* meşcereleri için Cao vd. (1980) tarafından önerilen gövde çapı denklemini daha geniş bir veri grubu ile dengeleyerek, gövde çapını, verilen bir gövde çapının yerden yüksekliğini ve hesaplanan bu boy ya da çap sınırlarına kadar olan kabuksuz gövde hacmini hesaplamışlardır.

Newberry ve Burkhart (1986), *Pinus teada* türü için, Ormerod (1973) tarafından geliştirilen gövde çapı modelini temel alarak, değişken Şekil gövde profili modellerinin kullanımı ile gövde çaplarının tahmininde hata miktarındaki azalışı incelemişler ve bu modeller ile hata miktarının %10-20 arasında azaldığını belirlemişlerdir.

Ormerod (1986), gövde çaplarının belirlenmesi için gövde boyunca çap değerlerinin doğal değişim noktalarını dikkate alan bir grup alt modeller içeren “ap-Point Metodu”nu geliştirmişlerdir. Bu modellerde elde ettikleri sonuçları Behre Hiperbolü yöntemiyle elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır.

Therien ve Camire (1986), gövde çapı eşitliklerinin oluşturulması için cebirsel bir yaklaşım kullanmışlar ve elde edilen eşitliği Cubic Spline Fonksiyonları ile karşılaştırmışlardır. Oluşturulan cebirsel çözümün uygun sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Valenti ve Cao (1986), *Pinus teada* türü için, gövde çapı eşitliklerinde gövde formunun bir ölçütü olarak tepe oranının kullanılabilirliğini belirlemek amacıyla 10 tepe oranı sınıfı oluşturmuş ve her bir sınıf üzerinde 2 ve 3 segmentli eşitlikler kullanarak, incelemeler yapmışlar ve tepe oranı dikkate alınarak oluşturulan 3 segmentli modellerin daha uygun sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

McTague ve Bailey (1987), *Pinus teada* türü için en küçük çap değerinin (D_m) sifira eşit olması durumunda gövde hacmini ticari hacmin özel bir durumu olarak kabul eden eşanlı bir gövde hacim ve ticari gövde hacim eşitliği geliştirmişlerdir. Ayrıca, ticari boyun alt sınırının 1,3 m alınması durumunda göğüs çapını hesaplayan bir uyumlu gövde profili modeli elde etmişlerdir.

Parresol vd. (1987), *Taxodium distichum* türü için gövdenin yerden 10 m yüksekliğindeki çap değerinden (d_{10}) faydalanarak bir gövde hacim denklemi, biri çapa diğeri boya dayanan iki hacim oran denklemi ve bir gövde çapı eşitliği içeren bir denklem sistemi geliştirmişlerdir.

Biging (1988), tomruk hacimlerinin hesaplanmasında gövde çapı eşitliklerinden yararlanarak elde edilen değerler ile Smalian, Huber, Newton ve Cubic Spline formülleriyle elde edilen değerleri karşılaştırmışlar ve Newton ile Huber formüllerinin en iyi sonucu verdiğini belirlemişlerdir.

Czaplewski ve McClure (1988), Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen gövde çapı denklemini yalnız göğüs çapı ile gövdenin 5,3 m yüksekliğindeki gövde çapını kullanarak çözmeye çalışmışlar ve oluşturdukları model ile faydalandıkları modeli Ortalama Hata (Bias) ve Hata Varyansı (Variance of Residuals) ölçütlerine göre karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, Ortalama Hata miktarında bir farklılık gözlenmezken, Hata Varyansında %10-25 arasında bir azalma olduğunu belirlemişlerdir.

Kozak (1988) ve Newnham (1988), gövde çaplarının belirlenmesinde yeni bir yaklaşım ile gövde üzerinde şekil değişim noktalarını dikkate alan üssel fonksiyonları denemişler ve başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. Oluşturdukları modeller, her gövde için bir değişim noktası (inflection point) içermektedir.

Farrar ve Murphy (1988), *Pinus teada* türü için gövde çaplarının hesaplanmasında, Bennet vd. (1978) tarafından önerilen modele tepe oranını eklemişler, ancak bu değişkenin modele önemli bir katkı sağlamadığı sonucuna varmışlardır.

McTague ve Stansfield (1988), *Pinus ponderosa* plantasyonları için göğüs çapı, boy ve Girard Şekil Sınıfı'nın fonksiyonu olarak, kabuklu ve kabuksuz gövde hacmi ve ticari hacim fonksiyonlarının parametrelerini hesaplayarak Knoebel vd. (1984) yaklaşımı ile gövde çapı ve ticari boy fonksiyonlarını hesaplamışlardır.

Czaplewski vd. (1989a), *Abies concolor*, *Abies lasiocarpa*, *Picea engelmannii*, *Pinus contorta*, *Pinus ponderosa*, *Pseudotsuga menziesii* ve *Populus tremuloides* türleri için gövde çaplarını hesaplamak amacıyla Max ve Burkhardt (1976) tarafından geliştirilen gövde çapı modelini kullanmışlardır. Bu model ile gövde çaplarının gerçek değerlere göre pozitif sapma gösterdiğini belirlemişler ve oluşan bu sistematik hatanın giderilmesi amacıyla iki aşamalı bir modelin kullanılmasını önermişlerdir.

Czaplewski vd. (1989b), *Abies amabilis*, *Abies grandis*, *Abies magnifica*, *Larix occidentalis*, *Pinus contorta*, *Pinus ponderosa*, *Pseudotsuga menziesii* ve *Tsuga heterophylla* türleri için Max ve Burkhardt (1976)'ın gövde profili modelinden faydalanmışlar ve oluşan sistematik hatayı yeni bir regresyon modeli ile %10 kadar azaltmışlardır.

Newberry vd. (1989), bilinen geometrik şekillerin hacim denklemlerini kullanarak Tek Ağaç Gövde Hacim Oran Denklemlerini geliştirmişlerdir. Koni ve paraboloid hacim denklemlerine göğüs çapını ilave ederek iki adet parametresiz denklem geliştirip bu denklemlerin veri sayısının kısıtlı olduğu durumlarda parametrelili denklemlere yakın sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır.

Real vd. (1989), *Pseudotsuga menziesii* meşcerelerinden elde edilen veriler kullanılarak, bilinen geometrik şekiller ile simule edilmiş ağaç gövdelerinden faydalanarak, Asal Bileşenler Analizi'nin gövde profilleri için kullanımını incelemişlerdir. Gerçek veriler ile simule edilmiş örnek ağaçlarla elde edilen verilerin benzer olduğunu belirtmişlerdir. Asal bileşenler analizinin ağaç gövdelerini farklı şekil gruplarına ayırmak için bir analitik araç olabileceği sonucuna varmışlardır.

Solomon vd. (1989), *Picea* ve *Abies* türleri için, gövde analizi verileri ile Max ve Burkhardt (1976) tarafından önerilen gövde çapı modelini kullanarak gövde çapı ve gövde hacimlerini hesaplamışlardır. Gerçek hacim değerleri ile yapılan karşılaştırmada, farkların ihmal edilebilir olduğunu ve asıl gövde hacim denklemine alternatif olarak gövde çapı denkleminin güvenli bir şekilde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Perez vd. (1990), *Pinus oocarpa* için gövde çaplarını hesaplamak üzere Değişken Şekil Çap Fonksiyonu'nu geliştirmişlerdir. Fonksiyonda gövde şeklinin naylonitten paraboloid dönüştüğü noktanın (inflection point) saptanması için yapılan analizler sonucunda ağaç boyunun %25'inin en iyi sonucu verdiğini belirtmişlerdir.

Rustagi ve Loveless (1991), göğüs çapının %50, %67 ve %75'ine sahip gövde yüksekliklerini ($h_{0,50D}$, $h_{0,67D}$ ve $h_{0,75D}$) esas alarak, üç farklı şekil faktörü hesaplamışlardır. Daha sonra bu şekil faktörlerinin fonksiyonu olarak oluşturdukları çap denklemleri ile gövde çaplarını hesaplamışlar ve en iyi sonucun göğüs çapının %67'sine sahip boy değeri ($h_{0,67D}$) değişkeni ile elde edildiğini belirtmişlerdir.

Thomas ve Parresol (1991), *Pinus elliottii*, *Quercus phellos* ve *Liquidambar styraciflua* verileri ile gövde çaplarının hesaplanması için trigonometrik modellerin kullanımını araştırmışlar ve elde ettikleri sonuçları Max ve Burkhardt (1976) tarafından geliştirilen modellerle karşılaştırmışlardır. Trigonometrik modellerin, gövde çaplarının belirlenmesinde başarılı bir model olduğunu belirtmişlerdir.

Newnham (1992), *Pinus banksiana*, *Pinus contorta*, *Picea glauca* ve *Populus tremuloides* türleri için gövde çapı ve gövde hacmini hesaplamak üzere Kozak (1988) tarafından geliştirilen model üzerinde bazı değişiklikler yaparak (D, H ve h

değişkenlerinden türetilen 25 bağımsız değişken arasından Aşamalı (Stepwise) Regresyon Yöntemi ile $\alpha=0,05$ önem düzeyinde etkili olan değişkenleri belirleyerek geliştirdikleri modeli Max ve Burkhart (1976)'ın modeli ile karşılaştırmışlar ve oluşturulan modelin daha iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir.

Allen (1993), *Pinus caribea* türü için gövde şekillerini üç sınıfa ayırarak her bir sınıf için ayrı şekil faktörü hesaplamışlardır. Şekil faktörü ve polinomial fonksiyonlardan yararlanarak gövde çapları tahmin edilmiş ve bu yöneme “Ortalama Oransal Gövde Profili Modeli” adı verilmiştir.

Flewelling ve Raynes (1993), *Tsuga heterophylla* türü için gövde çaplarını belirlemek üzere üç adet şartlandırılmış eşitlikten oluşan uyumlu bir Değişken Şekil Gövde Profili Denklemleri Sistemi kullanmışlardır.

Kozak ve Smith (1993), gövde çaplarının belirlenmesinde kullanılan dört değişik modeli (Max ve Burkhart, 1976; Ormerod, 1986; Kozak, 1988; Newnham, 1988) karşılaştırmışlar ve Ormerod (1986) tarafından geliştirilen model ile Kozak (1988) tarafından geliştirilen modellerin en başarılı modeller olduğunu belirtmişlerdir.

Bailey (1994), Schumacher ve Hall (1933) tarafından geliştirilen gövde hacim fonksiyonundan yararlanarak *Pinus elliottii* türü için uyumlu bir gövde çapı fonksiyonu geliştirmişlerdir.

Muhairwe (1994), *Pinus contorta* meşcerelerinde ağaçların gövde şekli ve çapında zamana bağlı olarak meydana gelen değişimleri, ayrıntılı bir gövde analizi kullanarak incelemişler ve gövde şekli ve çapında zamanla oluşan değişimlerin ağaç türü, meşcere kapallığı ve bonitet derecesi ile çok yakın ilişki içinde olduğunu belirtmişlerdir.

Muhairwe vd. (1994), Kozak (1988) tarafından geliştirilen gövde çapı eşitliğine, *Pseudotsuga menziesii*, *Thuja plicata* ve *Populus tremuloides* türleri için tepe sınıfı, bonitet sınıfı ve göğüs yüksekliğini aldığı yaş değişkenleri ve *Pinus contorta* türü için de tepe oranı, göğüs yüksekliğini aldığı yaş ve meşcere göğüs yüzeyi orta ağacının çapı

değişkenlerini ilave ederek, bu değişkenlerin modele olan etkilerini araştırmışlardır. Tepe oranının dışında kalan değişkenlerin etkisinin önemli bulunmadığını belirtmişlerdir.

Wahjono vd. (1994), gövde çapı eşitliklerini kullanılarak hesaplanan gövde hacmi değerlerine dayalı Çift Girişli Ağaç Hacim Tabloları oluşturmuşlardır.

Broad ve Wake (1995), gövde çapının integrali temeline dayanan hacim oran ve gövde çapı fonksiyonlarını geliştirmeye çalışmışlardır. Bunun için, diferansiyel denklemleri kullanarak bir integral çözümü elde etmişlerdir.

Coetzee ve Naicker (1995), *Eucalyptus smithii* türü için kabuklu göğüs çapı ile ağaç boyundan yararlanarak, kabuksuz gövde hacmini tahmin eden bir gövde hacim denklemi ile herhangi bir gövde çapındaki boyu veya herhangi bir boydaki gövde çapını veren bir gövde çapı eşitliği geliştirmişlerdir.

Yavuz (1995), *Pinus sylvestris* ve *Pinus nigra* türleri için kabuklu ve kabuksuz olarak, gövde hacmi, hacim oran ve uyumsuz gövde çapı denklemleri ile uyumlu gövde çapı denklemleri geliştirmişlerdir.

Figueiredo-Filho vd. (1996a), *Pinus teada* türü için gövde çaplarını belirlemek amacıyla beş farklı modeli (Kozak vd., 1969; Max ve Burkhardt, 1976; Parresol vd., 1987; Clark vd., 1991 ve beşinci dereceden bir polinomial model) incelemişler bu modeller arasında en yüksek başarıya sahip olan modelin Clark vd. (1991) tarafından geliştirilen model olduğunu belirtmişlerdir.

Figueiredo-Filho vd. (1996b), *Pinus teada* türü için gövde çapı ve gövde hacimlerini hesaplamak üzere Cubic Spline Fonksiyonları kullanmışlardır. Ayrıca, gövde çaplarının doğru olarak belirlenmesi amacıyla kaç adet gövde çapı değerinin ölçülmesi gerektiğini belirlemek amacıyla 4 ile 13 arasında çap ölçümü yaparak, incelemelerde bulunmuşlar ve güvenilir bir gövde çapı fonksiyonu için gövde üzerinde en az 10 adet gövde çapının ölçülmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Maguire ve Batista (1996), *Pseudotsuga menziesii* türü için gövde çaplarını tahmin etmek amacıyla Değişken Exponent Modeli kullanmışlardır.

Kozak (1997), Monte Carlo Simülasyon Tekniğini kullanarak gövde çapı denkleminde yer alan değişkenler arasındaki “Çoklu Bağlantı” ve “Otokorelasyon”un, Kozak (1988) tarafından geliştirilen Değişken Exponent Gövde Profili Modeli’nden faydalanılarak oluşturulan iki adet model üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Güçlü bir Çoklu Bağlantı ve Otokorelasyon sorununun bulunması durumunda dahi tahminlerin sistematik hatasız olduğunu belirtmişlerdir.

Bi ve Hamilton (1998), 25 ağaç türü için kabuksuz gövde hacim denklemleri geliştirmişlerdir.

Bi (1999), 25 ağaç türü için herhangi bir yüksekliğe kadar olan gövde hacmini toplam gövde hacminin yüzdesi olarak hesaplayan Trigonometrik Hacim Oran Eşitliklerini geliştirmişlerdir.

Coetzee ve Naicker (1999), *Eucalyptus dunnii* türü için kabuklu göğüs çapı ile ağaç boyundan yararlanarak, kabuksuz gövde hacmini tahmin eden bir gövde hacim denklemi ile herhangi bir gövde çapının yerden yüksekliğini veya herhangi bir yükseklikteki gövde çapını veren bir gövde çapı eşitliği geliştirmişlerdir.

Corral vd. (1999), *Pinus cooperi*, *P. durangensis*, *P. engelmannii*, *P. leiphylla* ve *P. herrerae* türleri için gövde çaplarının hesaplanmasında beş değişik modeli (Clutter, 1980; Amidon, 1984; Biging, 1984; Kozak, 1988; Newnham, 1992) incelemişler ve bunlar arasından en uygun olanının Biging (1984) tarafından geliştirilen model olduğunu belirtmişlerdir.

Fang ve Bailey (1999), 23 ağaç türü için Uyumlu Gövde Çapı, Gövde Hacim ve Hacim Oran Denklem Sistemleri geliştirmişleridir.

Figueiredo-Filho ve Schaaf (1999), değişik gövde çapı fonksiyonlarını (Max ve Burkhart, 1976; Cao vd., 1980; Schlaegel, 1983; Clark vd., 1991; 5. derece bir polinomial

model) kullanarak, elde edilen gövde hacim değerleri ile Ksilometre Tekniği (suda hacim ölçme) ile elde edilen hacim değerlerini karşılaştırmışlar ve kullanılan gövde çapı modellerinden en başarılı olanlarının Max ve Burkhart (1976) ve Clark vd. (1991) tarafından önerilen modeller olduğunu belirtmişlerdir.

Gordon vd. (1999), *Eucalyptus pilularis*, *E. muelleriana* ve *E. globoidea* türleri için bir gövde çapı denklemi oluşturmuşlardır.

Huang vd. (1999), *Picea glauca* türü için Değişken Exponent Gövde Profili Eşitliklerini, gövde analizi verileri üzerinde analiz etmişler ve hem gövde çapı hem de gövde hacmi tahminlerindeki toplam varyasyonun %99'unun, oluşturulan gövde çapı fonksiyonları ile açıklandığı sonucunu elde etmişlerdir.

Muhairwe (1999), *Eucalyptus pilularis* ve *E. grandis* türleri için iki adet gövde çapı eşitliği geliştirmişler ve bu eşitlikleri Max ve Burkhart (1976), Gordon (1983) ve Kozak (1988) modelleri ile karşılaştırmışlardır. Geliştirilen modellerden birini *E. pilularis* ve diğerini de *E. grandis* için uygun bulmuşlardır.

Petersson (1999), *Pinus sylvestris* türü için gövde çaplarını belirleyen bir segmented gövde çapı modeli geliştirmişlerdir.

Yavuz ve Saraçoğlu (1999), *Alnus glutinosa* için uyumlu ve uyumsuz gövde çapı modelleri geliştirmişlerdir. Yalnız gövde çaplarının tahmin edilmesinde Kozak (1988) tarafından önerilen modelin, gövde çapı, ağaç hacmi ve hacim oranlarının birlikte tahmin edilmesi durumunda ise Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen denklemin en iyi sonucu verdiğini belirtmişlerdir.

Bi (2000), trigonometrik hacim oran eşitliğinden faydalanarak, Trigonometrik Değişken Şekil Gövde Çapı Eşitliklerini geliştirmişlerdir. Geliştirilen modeli 25 ağaç türüne ait veriler üzerinde uygulamışlar ve Kozak (1988) tarafından geliştirilen model ile karşılaştırmışlardır.

Coble ve Wiant (2000), *Pinus teada* ve *P. ponderosa* meşcerelerinden alınan örnek ağaç verilerini kullanarak basit ve karmaşık gövde çapı fonksiyonlarını karşılaştırmışlar ve karmaşık fonksiyonların daha uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Fang vd. (2000), *Pinus teada* ve *P. elliottii* türleri için gövde çaplarını belirlemek üzere diferansiyel denklemler kullanarak, gövde çapı, gövde hacmi ve ticari hacim değerlerini veren bir segmented model oluşturmuşlardır.

Bi ve Long (2000), *Pinus radiata* meşcerelerinden alınan veriler yardımıyla bu ağaç türü için Trigonometrik Değişken Şekil Gövde Çapı Eşitliği'ni geliştirmişlerdir. Bu modeli 9 farklı model ile karşılaştırmışlar ve oluşturdukları trigonometrik modelin en uygun model olduğunu belirtmişlerdir.

Eerikainen (2001), *Pinus kesiya* türü için gövde çapı ve gövde hacmini veren eşitlikler geliştirmişlerdir.

Sharma ve Oderwald (2001), uyumlu gövde çapı ve gövde hacim eşitliklerini elde etmek için iki eşitliğin parametrelerini eşanlı olarak hesaplamışlardır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal

Tezin hazırlanması için kullanılan veriler Kastamonu Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı Bostan Orman İşletme Şefliği sınırları içinde yer alan Gökmar meşcerelerinden elde edilmiştir. Bostan Orman İşletme Şefliği'nin toplam alanı 8297,5 ha'dır. Şeflik sınırları içinde bulunan mevcut ağaç türleri; Gökmar, Karaçam, Sarıçam, Kayın ve diğer yapraklı türlerdir. Söz konusu şefliğe ilişkin Amenajman Planı 1998 yılında hazırlanmış olup, 1998-2008 yıllarını kapsamaktadır. Veriler, İşletme Şefliği'nin 66, 151, 155 ve 156 no'lu bölmelerinden seçilen Gökmar ağaçlarından sağlanmıştır. Bu bölmelere ait bazı temel bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Verilerin sağlandığı bölmelere ilişkin bazı bilgiler

Bölme No	Bonitet Derecesi	Alan (ha)
66	I	26,5
151	II	35,5
155	III	31,0
156	III	32,0

Gökmar ağaç türünün esas alındığı bu tez çalışmasında, örnek ağaçlar belirlenirken her çap basamağından olabildiğince eşit sayıda örnek ağacın seçilmesine özen gösterilmiştir. Toplam 114 adet örnek ağaç seçilmiş ve bu ağaçlar üzerinde şu ölçümler yapılmıştır:

- Ağaç boyu (H),
- Göğüs çapı (D),
- Toprak seviyesinden başlamak üzere 1'er metre ara ile tüm gövde çapları (d_i).

Örnek ağaç sayısı 114 olduğundan, 114 adet göğüs çapı ve ağaç boyu ile bu örnek ağaçlarda toplam 2224 adet gövde çapı ölçülmüştür. Gövde çapı, göğüs çapı ve ağaç boyu

sırasına göre ölçülen en küçük, en büyük ve ortalama değerler; 0,0 – 73,4 – 22,5 cm, 12,3 – 61,4 – 31,3 cm, 5,1 – 35,9 – 19,2 m'dir. Bu istatistiksel değerler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: Örnek ağaçlara ilişkin bazı istatistiksel değerler

	Gövde Çapı (d _i) cm	Göğüs Çapı (D) cm	Boy (H) m
N	2224	114	114
Minimum	0,0	12,3	5,1
Maksimum	73,4	61,4	35,9
Ortalama	22,5	31,3	19,2
Standart Sapma	12,1	12,2	7,4

Elde edilen verilerin, "Model Parametrelerinin Tahmininde Kullanılan Veriler" ve "Model Uygunluğunun Denetiminde Kullanılan Veriler" olmak üzere iki gruba ayrılması gerekmektedir. Bu nedenle veriler, toplam verilerin %75'i birinci grup, %25'i ise ikinci grup olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır. Bu ayırma işlemi için öncelikle 4'er cm'lik çap basamakları oluşturulmuş, daha sonra her çap basamağındaki ağaç sayısının %75 ve %25'lik bölümleri hesaplanarak her iki gruba düşen ağaç sayısı Tesadüfi Sayılar Tablosu yardımıyla belirlenmiştir. Bu ayırma işlemi sonucunda 85 ağaca ait verilerin model parametrelerinin belirlenmesinde, kalan 29 ağaca ait verilerin ise model uygunluğunun denetiminde kullanılmasına karar verilmiştir.

Her iki gruba ait örnek ağaçların çap ve boy basamaklarına dağılımları belirlenmiş ve bu dağılımlar Tablo 3 ve Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 3: Model parametrelerinin tahmin edilmesi için kullanılan veriler

Göğüs Çapı (cm)	Boy (m)														Σ	
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32		34
14	2	2	1	1		1										7
18		3	2	3	4											12
22			1	2	4	2	1									10
26					4	2	2	1								9
30						2	1	2	3	1						9
34					1		3		1		3					8
38							2	2	1	1	2	2				10
42								1	2			2				5
46										1		2	2		1	6
50												2	3			5
54													1			1
58												1				1
62												1			1	2
Σ	2	5	4	6	13	7	9	6	7	3	5	10	6	1	1	85

Tablo 4: Model uygunluğunun denetimi için kullanılan veriler

Göğüs Çapı (cm)	Boy (m)															Σ	
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34		36
14			2													2	
18	1	1		1	1											4	
22				1			2									3	
26					1	2										3	
30							2		1							3	
34					1	1		1								3	
38							1		1		1					3	
42							1		1	1						3	
46											1				1	2	
50															1	1	
54												1				1	
58														1		1	
Σ	1	1	2	2	3	3	6	0	1	3	1	2	1	0	2	1	29

2.2. Yöntem

Gövde boyunca herhangi bir yükseklikteki gövde çapını ya da herhangi bir gövde çapı değerinin gövdenin hangi yüksekliğinde yer aldığını, gövdenin tamamının hacmini ve gövdenin herhangi bir bölümüne ilişkin hacim değerlerini belirlemeye yarayan gövde profili modelleri, birçok araştırmacı tarafından değişik biçimlerde sınıflandırılmaktadır. Bunlara ilişkin bazı örnekler “Genel Bilgiler” bölümünde verilmiştir. Yapılan sınıflandırmalar incelendiğinde, gövde profili modelleri;

- Gövde çaplarının tahmin edilmesi amacıyla düzenlenen modeller
- Gövde çapı denklemlerinden yararlanarak gövde hacminin hesaplanmasında kullanılan modeller

olmak üzere iki gruba ayrılabilir.

2.2.1. Gövde Çaplarının Tahmini İçin Düzenlenen Gövde Profili Modelleri

Gövde profili modelleri, ölçüm yolu ile elde edilen deneysel veriler yardımıyla veya bilinen geometrik esaslara göre düzenlenmektedirler.

2.2.1.1. Deneysel Verilerle Oluşturulan Gövde Profili Modelleri

Bu yolla oluşturulan modellerde gövde şekli herhangi bir geometrik şekle benzetilmez. Elde edilen verilere en uygun regresyon denklemi belirlenerek, tüm ağaçlar için ortalama bir gövde profili veya eğrisi düzenlenir. Diğer bir anlatımla, modellerin oluşturulmasında deneysel (ampirik) yöntem kullanılır. Bu yaklaşımla oluşturulan modeller, istatistiksel yapılarına göre beş grupta toplanabilir:

- (i) Polinomial Gövde Profili Modelleri,
- (ii) Segmented Polinomial Gövde Profili Modelleri,
- (iii) Değişken-Şekil Gövde Profili Modelleri,

- (iv) Değişken-Exponent Gövde Profili Modelleri,
- (v) Ortalama Oransal Gövde Profili Modelleri.

2.2.1.1.1. Polinomiyal Gövde Profili Modelleri

Bu modeller, en basit gövde profili modelleridir. Kozak vd. (1969) tarafından geliştirilen ikinci dereceden polinomiyal model, bu grup modellere örnek olarak verilebilir.

$$d^2/D^2 = b_1(h/H - 1) + b_2(h^2/H^2 - 1) \quad (1)$$

Bennet ve Swindel (1972), göğüs yüksekliği ile uç nokta arasında gövde çaplarını tahmin edebilmek için (2) no'lu regresyon denklemini kullanmışlardır.

$$d = b_1 \left(\frac{H-h}{H-1,3} \right) + b_2 (H-h)(h-1,3) + b_3 H(H-h)(h-1,3) + b_4 (H-h)(h-1,3)(H+h+1,3) \quad (2)$$

Bennet vd. (1978), gövdenin herhangi bir yüksekliğindeki çapı tahmin etmek amacıyla (2) no'lu eşitliğe kısmen benzer (3) no'lu eşitliği kullanmışlardır.

$$d = b_1 \frac{(H-h)}{(H-1,3)} + b_2 (H-h)(H-1,3)H^{-2} + b_3 D(H-h)(h-1,3)H^{-2} + b_4 D^2 (H-h)(h-1,3)H^{-2} + b_5 (H-h)(h-1,3)(2H-h-1,3)H^{-3} \quad (3)$$

Yukarıda verilen her üç eşitlik için,

D: Göğüs çapını (cm),

H: Ağaç boyunu (m),

h: Tahmin edilmek istenen gövde çapının yerden yüksekliğini (m),

d: h yüksekliğindeki gövde çapını (cm),

b_i: Regresyon denkleminin parametrelerini,

göstermektedir.

Gövde profili modelleri üzerine yapılan ilk çalışmalar olarak nitelendirilebilecek polinomiyal modellere ilişkin diğer bir çalışma da, Goulding ve Murray (1976) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, diğer polinomiyal modellerden farklı olarak, ağaçların yerden herhangi bir yükseklikteki (h) gövde çapı (d) yerine tepeden herhangi bir uzaklıktaki (l) gövde çapı hesaplanmıştır.

$$d^2 = \left\{ b_1 \left(\frac{l}{H} \right)^5 + b_2 \left(\frac{l}{H} \right)^4 + b_3 \left(\frac{l}{H} \right)^3 + b_4 \left(\frac{l}{H} \right)^2 + b_5 \left(\frac{l}{H} \right) \right\} \{ b_6 D^2 + b_7 \} \quad (4)$$

2.2.1.1.2. Segmented Polinomiyal Gövde Profili Modelleri

Max ve Burkhart (1976), gövde çaplarını hesaplamak için ağaç gövdesini üç bölüme ayırıp (birinci bölüm: ağacın toprak seviyesine yakın bölümü, ikinci bölüm: birinci bölümün bitiş noktası ile tepe başlangıcı arasındaki gövdenin ana bölümü ve üçüncü bölüm: gövdenin tepe kısmındaki bölümü), ilk bölümün naylonit, ikinci bölümün parabolit ve üçüncü bölümün koni biçiminde olduğunu varsayarak, her bir bölüm için bir regresyon denklemi oluşturmuş ve aşağıda olduğu gibi I_1 ve I_2 yapay değişkenleri ile bu denklemleri birleştirmişlerdir:

$$d^2 = D^2 \left[b_1 (h/H - 1) + b_2 \left((h/H)^2 - 1 \right) + b_3 (\alpha_1 - h/H)^2 I_1 + b_4 (\alpha_2 - h/H)^2 I_2 \right] \quad (5)$$

Bu eşitlikte yer alan I_1 ve I_2 yapay değişkenleri, α_1 ve α_2 değerlerine bağlı olarak 1 veya 0 değerlerini alıp, denklemin ilgili bölümlerinin hesaplamalara katılıp katılmamasını sağlamaktadır.

$$\begin{array}{ll} I_1 = 0 & (\alpha_1 < h/H), \\ I_2 = 0 & (\alpha_2 < h/H), \end{array} \quad \begin{array}{ll} I_1 = 1 & (\alpha_1 \geq h/H) \\ I_2 = 1 & (\alpha_2 \geq h/H) \end{array}$$

Burada α_1 ve α_2 değerleri sırasıyla, gövde şeklinin naylonitten parabolite ve parabolitten koniye dönüştüğü oransal boy değerlerini göstermektedir.

2.2.1.1.3. Değişken-Exponent Gövde Profili Modelleri

Bu tür modellerde gövde çapları, göğüs çapı, ağaç boyu ve gövde şeklinin naylonitten parabolite değiştiği oransal boy (p) değerleri ile bunlardan türetilen çeşitli değişkenlerin üssel fonksiyonu olarak tahmin edilmektedir. Kozak (1988) tarafından geliştirilen bu tür bir model aşağıda verilmiştir.

$$Y = X^C \quad (6)$$

Bu eşitlikte,

$$Y = d_i / DI \quad (7)$$

$$X = (1 - \sqrt{Z}) / (1 - \sqrt{p}) \quad (8)$$

$$C = b_1 Z^2 + b_2 \ln(Z + 0,001) + b_3 Z^{0,5} + b_4 e^Z + b_5 (D / H) \quad (9)$$

$$Z = h_i / H \quad (10)$$

$$p = HI / H * 100 \quad (11)$$

olmakta ve

d_i : h_i yüksekliğindeki gövde çapını (cm),

D: Kabuksuz göğüs çapını (cm),

H: Ağaç boyunu (m),

h_i : Hesaplanmak istenen gövde çaplarının yüksekliklerini (m) ($0 \leq h_i \leq H$),

HI: Gövde şeklinin değişiklik gösterdiği noktanın yerden yüksekliğini (m),

DI: HI yüksekliğindeki kabuklu gövde çapını (cm),

Z: Oransal boy değerini,

p: Gövde şeklinin değişim yüksekliğinin ağaç boyuna oranını,

b_i : Regresyon denkleminin parametrelerini,

ifade etmektedir.

Bu modelin oluşturulması için gerekli bağımsız değişkenlerden biri olan kabuksuz göğüs çapı (D), verilerin elde edilmesi sırasında ölçülemediğinden istatistiksel bir bağıntı ile hesaplanmıştır. Bu bağıntının oluşturulması için Miraboğlu (1955) tarafından yapılan araştırmadan yararlanılmıştır. Bu araştırmada, çap basamaklarına göre kabuklu göğüs çaplarına ilişkin kabuk kalınlıkları verilmiştir. Bu değerler yardımıyla Doğrusal Regresyon Tekniği kullanılarak en uygun model aranmış ve aşağıdaki (12) no'lu eşitlik elde edilmiştir. Bu eşitlikte $d_{1,3}$, kabuklu göğüs çapını ifade etmektedir.

$$D = d_{1,3} - \left(d_{1,3}^{0,8313} / 10 \right) \quad (12)$$

Modelde X değişkeninin hesaplanmasında kullanılan p değeri; ağaç boyunun %5, %10, %15, %20, %25, %30 ve %35'ine eşit olan boy değerleri olmak üzere yedi farklı biçimde hesaba katılmış ve sonuçta regresyon modeline ilişkin belirtme katsayısının (R^2) en yüksek ve standart hatanın (S_{yx}) en düşük olduğu p değeri seçilmiştir.

Yukarıda verilen yardımcı eşitlikler yardımıyla bu modele ilişkin temel eşitlik aşağıdaki şekli almaktadır.

$$d_i / DI = X^{b_1} Z^2 + b_2 \ln(Z+0,001) + b_3 \sqrt{Z} + b_4 e^Z + b_5 (D/H) \quad (13)$$

Gövde şeklinin değiştiği noktadaki kabuklu gövde çapı değerinin (DI) belirlenebilmesi için öncelikle şekil değişim yüksekliğinin (HI) bilinmesi gerekmektedir. Ancak, bu yükseklik her ağaçta farklı olacağından bu yükseklikteki çap değerini arazi çalışmaları sırasında ölçmek mümkün olmaktadır. Kozak (1988), bu değer kabuksuz göğüs çapı (D) değerinden faydalanılarak hesaplanabileceği bir eşitlik geliştirmiştir.

$$DI = a_0 D^{a_1} a_2^D \quad (14)$$

Bu durumda bu modele ilişkin temel eşitlik;

$$d_i = b_0 D^{b_1} b_2^D X^{b_3 Z^2 + b_4 \ln(Z+0,001) + b_5 \sqrt{Z} + b_6 e^Z + b_7 D/H} \quad (15)$$

şeklinde olup, doğrusal olarak da aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned} \ln(d_i) = & \ln(a_0) + a_1 \ln(D) + \ln(a_2)D + b_1 \ln(X)Z^2 + b_2 \ln(X)\ln(Z + 0,001) \\ & + b_3 \ln(X)\sqrt{Z} + b_4 \ln(X)e^Z + b_5 \ln(X)(D/H) \end{aligned} \quad (16)$$

2.2.1.1.4. Değişken-Şekil Gövde Profili Modelleri

Bu modeller, ilk olarak Perez vd. (1990) tarafından, değişken-exponent gövde profili gövde profili modeline (Kozak, 1988) ilişkin eşitlikten yararlanılarak geliştirilmiştir. Değişken-exponent modeli çok karmaşık bularak, bu modeli daha basit hale getirmeyi amaçlamışlar ve aşağıdaki eşitliği geliştirmişlerdir.

$$d_i = b_0 D^{b_1} X^C \quad (17)$$

Bu eşitlikte;

$$X = (1 - \sqrt{Z}) / (1 - \sqrt{I}) \quad (18)$$

$$C = b_1 Z^2 + b_2 \ln(Z + 0,001) + b_3 (D/H) \quad (19)$$

$$Z = h_i / H \quad (20)$$

olmakta ve modele ait denklem,

$$d_i = b_0 D^{b_1} X^{(b_2 Z^2 + b_3 \ln(Z+0,001) + b_4 D/H)} \quad (21)$$

şeklinde olup, modelde;

d_i : h_i yüksekliğindeki gövde çapını (cm),

D: Kabuksuz göğüs çapını (cm),

H: Ağaç boyunu (m),

h_i : Hesaplanacak gövde çaplarının yüksekliklerini ($0 \leq h_i \leq H$),

I: Gövde şeklinin değişiklik gösterdiği noktanın yerden yüksekliğini (m),

ifade etmektedir.

Değişken-exponent modelde olduğu gibi bu modelde de kabuksuz göğüs çapının (D) belirlenmesi için yukarıda verilen (12) no'lu eşitlikten yararlanılmıştır.

Yine bu modelde de gövdenin şekil değişim yüksekliğini belirlemek amacıyla toplam ağaç boyunun %5, %10, %15, %20, %25, %30 ve %35'i değerleri arasından en uygun olanı belirlenmeye çalışılmıştır.

Değişken-şekil gövde profili modellerine ilişkin ikinci çalışma Newnham (1992) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada da Kozak (1988)'in önerdiği değişken-exponent model esas alınmıştır. Geliştirdikleri modelde yararlandıkları modelden farklı olarak şekil değişim yüksekliği değişkeninin yerine göğüs yüksekliğini (1,3 m) ve şekil değişim yüksekliğindeki çap değeri yerine de kabuklu göğüs çapı değerini kullanmışlardır. Geliştirilen model aşağıdaki gibidir.

$$\ln\left(\frac{d}{D}\right) = b_1 \ln(X) + b_2 \ln(X)X + b_3 \ln(X)\frac{D}{H} + b_4 \ln(X)X\frac{D}{H} + b_5 \ln(X)\frac{D/H}{\sqrt{h}} + b_6 \ln(X)\frac{H}{\sqrt{h}} + b_7 \ln(X)\frac{H^2}{h} + b_8 \ln(X)\frac{D/H}{\sqrt{h}} + b_9 \ln(X)D\frac{H}{h} \quad (22)$$

Bu eşitlikte yer alan değişkenlerden X değişkeni (8) no'lu eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır. Eşitlik içinde yer alan değişkenlerden,

d: h yüksekliğindeki gövde çapını (cm),

D: Kabuklu göğüs çapını (cm),

H: Ağaç boyunu (m),

h: Gövde çaplarının yüksekliklerini (cm),

b_i : Denklem parametrelerini,

ifade etmektedir.

2.2.1.1.5. Ortalama Oransal Gövde Profili Modelleri

Deneysel verilerle oluşturulan gövde profili modellerinin diğer bir sınıfı, Allen (1993) tarafından geliştirilen “Ortalama Oransal Gövde Profili Modeli”dir. Gövde çaplarını, göğüs çapı, ortalama oransal boy ve oransal boy değişkenlerinin bir fonksiyonu olarak belirleyen bu modelin genel matematik ifadesi şu şekildedir:

$$d = D \frac{F(X_i)}{F(X_m)} \quad (23)$$

Bu modelde, öncelikle ortalama bir oransal boy (X_m) değeri belirlenmektedir. Bu değer ortalama boy değerinin (h_m) ağaç boyuna bölünmesi ile elde edilmektedir. Ayrıca gövde çapı ölçümlerinin yapıldığı yüksekliklere (h_i) ait oransal boy değerleri (X_i) belirlenmektedir. Ortalama oransal ve oransal boy değerlerinin matematiksel ifadeleri aşağıdaki gibidir.

$$X_m = \frac{h_m}{H} \quad (24)$$

$$X_i = \frac{h_i}{H} \quad (25)$$

Kullanılabilecek en genel oransal boy, göğüs yüksekliğinin toplam ağaç boyuna oranıdır. Bu durumda ortalama oransal boyu veren eşitlik şöyle olmaktadır:

$$X_{1.3} = \frac{1,3}{H} \quad (26)$$

Modelde bulunan ortalama oransal ve oransal boy değerlerine ilişkin fonksiyonlar da şöyledir;

$$F(X_i) = b_0 + b_1 X_i^{0,5} + b_2 X_i + b_3 X_i^{1,5} + b_4 X_i^2 \quad (27)$$

$$F(X_{1,3}) = b_5 + b_6 X_{1,3}^{0,5} + b_7 X_{1,3} + b_8 X_{1,3}^{1,5} + b_9 X_{1,3}^2 \quad (28)$$

Bu açılımlar temel eşitlikte ilgili yerlere konulduğunda modelin son hali aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$d = D \frac{b_0 + b_1 X_i^{0,5} + b_2 X_i + b_3 X_i^{1,5} + b_4 X_i^2}{b_5 + b_6 X_{1,3}^{0,5} + b_7 X_{1,3} + b_8 X_{1,3}^{1,5} + b_9 X_{1,3}^2} \quad (29)$$

2.2.1.2. Geometrik Esaslara Göre Oluşturulan Gövde Profili Modelleri

Geometrik esaslara göre düzenlenen gövde profili modellerinde bir ağaç gövdesi bazı geometrik şekillere benzetilmektedir. Bu modelleri de;

- (i) Basit Eksponansiyel Gövde Profili Modelleri,
- (ii) Grafik Yöntemle Oluşturulan Gövde Profili Modelleri,
- (iii) Trigonometrik Gövde Profili Modelleri,

olmak üzere üç gruba ayırabiliriz.

2.2.1.2.1. Basit Eksponansiyel Gövde Profili Modelleri

Ormerod (1973) tarafından geliştirilen bu model şu şekilde formüle edilmiştir:

$$d = D \left[\frac{(H - h)}{(H - 1,3)} \right]^{b_1} \quad (30)$$

Burada, d, gövdenin herhangi bir yüksekliğindeki gövde çapını, D, göğüs yüksekliğindeki çapı, h, hesaplanacak gövde çaplarının yüksekliklerini, H, ağaç boyunu ve b_1 parametresi de gövde şeklini ifade etmektedir. Gövdenin, $b_1=0$ ise silindir, $b_1=0,5$ ise paraboloid, $b_1=0,33$ ise koni ve $b_1=0,25$ ise naylonit olduğu varsayılmaktadır. Gerek ağaç türleri ve gerekse aynı ağaç türünün yayılış gösterdiği farklı coğrafi bölgeler için ayrı ayrı

hesaplanacak b_1 parametresi yardımıyla, ilgili ağaç türü ve coğrafi bölge için belirlenen ortalama b_1 değeri, diğer bir anlatımla geometrik şekil katsayısı (30) no'lu eşitlikte yerine konularak istenen yükseklikte (h) gövde çapı basit bir dört işlemle kolaylıkla hesaplanabilmektedir.

2.2.1.2.2. Grafik Yöntemle Oluşturulan Gövde Profili Modelleri

Biging (1984), gövde çaplarının hesaplanması için Chapman-Richards fonksiyonundan faydalanmışlardır. Bu fonksiyon yardımıyla oransal boy (h/H) – oransal çap (d/D) grafiği çizilerek, bu grafiğe uygun bir regresyon denklemi elde edilmiştir. Bu denklem aşağıda verilmiştir.

$$d = D \left\{ b_0 + b_1 \ln \left[1 - \left(1 - e^{-b_1/b_2} \right) (h/H)^{1/3} \right] \right\} \quad (31)$$

Bu eşitlikte, d gövde çaplarını, D göğüs çapını, h gövde çapı ölçülen yükseklikleri ve H ağaç boyunu ifade etmektedir.

2.2.1.2.3. Trigonometrik Gövde Profili Modelleri

Trigonometrik modellere ait ilk çalışma Thomas ve Parresol (1991) tarafından yapılmıştır:

$$d^2 / D^2 = b_1(x-1) + b_2 \sin(c\pi x) + b_3 \cot an(\pi x/2) \quad (32)$$

Bu eşitlikte,

d: h yüksekliğindeki gövde çapını (cm),

D:Göğüs çapını (m),

x: Oransal boy değerini (h / H),

c: Modele ilişkin bir katsayıyı,

göstermektedir.

Modelde yer alan c katsayısının, iğne yapraklı türler için ortalama 1,5 ve yapraklı türler için de ortalama 2,0 olduğu belirtilmiştir (Thomas, Parresol, 1990). Bu durumda araştırma konusu olan türün Gökmar olması nedeniyle c katsayısı 1,5 olarak alınmıştır.

Bu modelde yer alan trigonometrik ifadeler Radyan cinsindedir.

Bi (2000), trigonometrik eşitliklerden yararlanarak gövde çaplarının tahmin edilmesi konusunda daha geniş kapsamlı bir çalışma yapmıştır. Geliştirilen trigonometrik eşitlik aşağıdaki gibidir.

$$d = B^K \quad (33)$$

Eşitlikte bulunan d , B ve K değerleri aşağıdaki şekilde açıklanabilir.

$$d = \frac{DUB}{DBHUB} \quad (34)$$

$$B = \frac{\ln \sin\left(\frac{\pi}{2}h\right)}{\ln \sin\left(\frac{\pi}{2}b\right)} \quad (35)$$

$$K = a_1 + a_2 \sin\left(\frac{\pi}{2}h\right) + a_3 \cos\left(\frac{3\pi}{2}h\right) + a_4 \sin\left(\frac{\pi}{2}h\right)/h + a_5 D + a_6 h\sqrt{D} + a_7 h\sqrt{TH} \quad (36)$$

Bu değerler yerine konulduğunda eşitliğin son hali şöyle olmaktadır:

$$d = \left(\frac{\ln \sin\left(\frac{\pi}{2}h\right)}{\ln \sin\left(\frac{\pi}{2}b\right)} \right)^{b_0 + b_1 \sin\left(\frac{\pi}{2}h\right) + b_2 \cos\left(\frac{3\pi}{2}h\right) + b_3 \sin\left(\frac{\pi}{2}h\right)/h + b_4 D + b_5 h\sqrt{D} + b_6 h\sqrt{TH}} \quad (37)$$

Bu eşitlikte,

d: Oransal gövde çaplarını (cm),

D: Kabuklu göğüs çapını (cm),

DBHUB: Kabuksuz göğüs çapını (cm),

DUB: Oransal boylardaki (h) kabuksuz gövde çaplarını (cm),

TH: Ağaç boyunu (m),

H: Hesaplanacak gövde çaplarının yüksekliklerini (m),

h: Oransal boyu (H / TH),

b: Oransal göğüs boyunu (1,3 / TH),

ifade etmektedir.

Bu eşitlikte yer alan oransal boylardaki kabuksuz gövde çapları (DUB), Kozak (1988) tarafından önerilen model ile hesaplanan gövde çapları olarak alınmaktadır. Kabuksuz göğüs çaplarının hesaplanması için ise, kabuklu göğüs çaplarını kullanan aşağıdaki eşitlik önerilmiştir.

$$DBHUB = D e^{\frac{1}{b_0 + b_1 D + b_2 \ln(D) + b_3 \ln(TH)}} \quad (38)$$

Ancak, bu eşitliğin parametrelerinin hesaplanması için kabuksuz göğüs çaplarının bilinmesi gerektiğinden bu eşitlik yerine Miraboğlu (1955) tarafından yapılan araştırmaya ait veriler yardımıyla oluşturulan (12) no'lu eşitlikten yararlanılmıştır.

2.2.2. Gövde Profili Modelleri İle Gövde Hacminin Hesaplanması

2.2.2.1. Uyumsuz Gövde Profili Modelleri

Gövde profili modelleri ile gövde üzerindeki herhangi bir yükseklikteki veya herhangi iki yükseklik arasındaki gövde çapları hesaplanabilmektedir. Gövde üzerinde istenen yüksekliklerdeki çaplar hesaplandıktan sonra, gövdenin bu bölümünün ya da diğer bölümlerinin hacmi Orta Yüzey, Smalian veya Newton-Riecke gibi sayısal yöntemlerle belirlenebilmektedir. Sözü edilen sayısal modellerde kullanılmak üzere gövde çaplarını

hesaplayan bu modellere “Uyumsuz Gövde Profili Modelleri (Noncompatible Stem Profile Models)” adı verilmektedir (Yavuz, 1995).

Kozak vd. (1969) tarafından önerilen ve yukarıda “Polinomiyal Gövde Profili Modelleri” bölümünde açıklanan (1) no’lu regresyon denklemi uyumsuz bir gövde profili modelidir. Bu model ile elde edilen gövde çapları, bilinen gövde hacmi eşitliklerinde kullanılarak gövdenin istenilen bölümüne ilişkin hacmi hesaplanabilmektedir. Benzer şekilde, Bennet ve Swindel (1972) tarafından önerilen (2) no’lu, Bennet vd. (1978) tarafından önerilen (3) no’lu, Kozak (1988) tarafından önerilen (15) no’lu ve Perez vd. (1990) tarafından önerilen (21) no’lu modeller uyumsuz gövde profili modelleridir.

2.2.2.2. Uyumlu Gövde Profili Modelleri

Bir gövde profili denkleminin toprak seviyesi ile uç nokta arasında, $0 \leq h \leq H$, integrali alındığında elde edilen hacim miktarının, ağaç hacim denklemi ile hesaplanan gövde hacmine, toprak seviyesi ile gövdenin belirli yükseklikleri (h_i) arasında integrali alındığında elde edilen hacim miktarının da hacim oran denklemleri ile hesaplanan hacme eşit olması durumunda, bu tür gövde profili modellerine “Uyumlu Gövde Profili Modelleri (Compatible Stem Profile Models)” adı verilmektedir (Yavuz, 1995).

Demaerschalk (1973), gövde çaplarını açıklamak için aşağıdaki denklemi kullanmışlardır.

$$d^2 = b_1 D^2 [(H - h)/H]^{b_2} \quad (39)$$

Bu denklemin toprak seviyesi ile uç nokta arasında integrali alındığında aşağıda verilen sabit şekil katsayısı (Constant Form Factor) yaklaşımıyla geliştirilen çift girişli ağaç hacim denklemi (Spurr, 1952) ile uyumlu bir gövde hacmi fonksiyonu oluşmaktadır.

$$V = b_1 D^2 H \quad (40)$$

(39) no'lu gövde profili denkleminin, toprak seviyesinden gövdenin herhangi bir yüksekliğine kadar integrali alındığında,

$$V_{h_i} = \int G \delta h \quad (41)$$

$$V_{h_i} = \int k d^2 \delta h \quad (42)$$

$$V_{h_i} = \int k b_1 D^2 [(H-h)/H]^{b_2} \delta h \quad (43)$$

$$V_{h_i} = \frac{k b_1}{b_2 + 1} D^2 H \left[1 - ((H-h)/H)^{b_2 + 1} \right] \quad (44)$$

$$V_{h_i} = TV * R_h \quad (45)$$

olmaktadır. Burada,

$$TV = a_1 D^2 H \quad (46)$$

$$a_1 = (k b_1) / (b_2 + 1) \quad (47)$$

$$R_h = 1 - ((H-h)/H)^{b_2 + 1} \quad (48)$$

V_{h_i} : Toprak seviyesi (0) ile h_i yüksekliği arasındaki gövde hacmi,

G : Gövdenin h_i yüksekliğindeki göğüs yüzeyi,

dir.

Toprak seviyesi ile h_i yüksekliği arasındaki gövde bölümünün hacminin toplam gövde hacmine oranı (45) no'lu denklemden R_h çekilerek elde edilebilir.

$$R_h = V_{h_i} / TV \quad (49)$$

Böylece, (40) no'lu gövde hacim denklemi ile uyumlu bir gövde profili ve hacim oran denklem sistemi oluşmaktadır. Aynı gövde profili denkleminde (39 no'lu denklem) "h" çekilerek,

$$h = H - (d^{2/b_2} b_1^{-1/b_2} D^{-2/b_2} H) \quad (50)$$

denklemini elde edilmekte ve bu değer (48) no'lu eşitlikte yerine konulduğunda,

$$R_d = 1 - \left(b_1^{(b_2+1)/b_2} (d/D)^{2((b_2+1)/b_2)} H^{b_2+1} \right) \quad (51)$$

eşitliği elde edilmektedir.

Yukarıda verilen eşitliklerden (48) no'lu eşitlik kullanılarak toprak seviyesinden herhangi bir yüksekliğe kadar olan gövde hacmi, (51) no'lu eşitlik kullanılarak da gövde üzerindeki herhangi bir çapa kadar olan gövde hacmi, gövde hacim fonksiyonu ile uyumlu olarak hesaplanabilmektedir. Bu eşitlikler (39, 46, 48 ve 51 no'lu eşitlikler) bir sistem olarak verildiğinde,

$$d^2 = b_1 D^2 [(H - h)/H]^{b_2}$$

$$TV = a_1 D^2 H$$

$$R_h = 1 - ((H - h)/H)^{b_2+1}$$

$$R_d = 1 - \left(b_1^{(b_2+1)/b_2} (d/D)^{2((b_2+1)/b_2)} H^{b_2+1} \right)$$

uyumlu bir gövde profili, gövde hacim ve hacim oran denklem sistemi ortaya çıkmaktadır. Gövde hacim denkleminde yer alan "k" katsayısı, cm² cinsinden hesaplanacak olan göğüs yüzeyinin m²'ye dönüştürülmesi için göğüs yüzeyi denkleminin sabit katsayısı olan ($\pi/4$) teriminin (1/10000) ile çarpılmasıyla elde edilmiştir.

$$k = (\pi / 4)(1/10000) \quad (52)$$

Matney ve Sullivan (1982), aynı yaklaşımla Demaerschalk (1973) tarafından geliştirilen başka bir gövde profili eşitliği ile Schumacher-Hall gövde hacim fonksiyonunu kullanarak uyumlu bir denklem sistemi geliştirmişlerdir. Demaerschalk (1973) tarafından geliştirilen gövde profili eşitliği ile Schumacher-Hall toplam gövde hacmi fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$d = b_1 D^{b_2} \left[(H - h)^{b_3} / H^{b_4} \right] \quad (53)$$

$$TV = a_1 D^{a_2} H^{a_3} \quad (54)$$

Gövde hacim fonksiyonunda yer alan parametrelerin (a_1 , a_2 ve a_3) açılımları ise şöyledir:

$$a_1 = (kb_1^2) / (2b_3 + 1) \quad (55)$$

$$a_2 = 2b_2 \quad (56)$$

$$a_3 = 2b_3 + 1 - 2b_4 \quad (57)$$

Toprak seviyesinden (0) gövdenin herhangi bir yüksekliğine (h_i) kadar olan gövde hacmi yukarıda da belirtildiği gibi,

$$V_{h_i} = \int G \delta h$$

$$V_{h_i} = \int k d^2 \delta h$$

integrali ile hesaplanmaktadır. Yukarıdaki eşitlikte d^2 yerine Demaerschalk (1973) tarafından önerilen model (53 no'lu eşitlik) konulup integrali alındığında,

$$V_{h_i} = \frac{kb_1^2}{2b_3+1} D^{2b_2} H^{2b_3+1-2b_4} \left[1 - \left(\frac{H-h}{H} \right)^{2b_3+1} \right] \quad (58)$$

$$V_{h_i} = TV * R_h \quad (59)$$

eşitlikleri elde edilmektedir. Burada,

$$R_h = 1 - \left(\frac{H-h}{H} \right)^{2b_3+1} \quad (60)$$

olmaktadır. (53) no'lu gövde profili denkleminde "h" çekilip,

$$h = H - \left(d^{1/b_3} b_1^{-1/b_3} D^{-b_2/b_3} H^{b_4/b_3} \right) \quad (61)$$

(60) no'lu denkleminde yerine konulduğunda,

$$R_d = 1 - \left[\left(b_1^{-((2b_3+1)/b_3)} d^{((2b_3+1)/b_3)} \right) / \left(D^{b_2((2b_3+1)/b_3)} H^{(1-b_4/b_3)(2b_3+1)} \right) \right] \quad (62)$$

eşitliği elde edilmektedir. Yukarıda verilen eşitliklerden (60) no'lu eşitlik kullanılarak toprak seviyesinden herhangi bir yüksekliğe kadar olan gövde hacmi, (62) no'lu eşitlik kullanılarak da gövde üzerindeki herhangi bir çapa kadar olan gövde hacmi gövde hacim fonksiyonu ile uyumlu olarak hesaplanabilmektedir. Bu eşitlikler (53, 54, 60 ve 62 no'lu eşitlikler) de bir denklem sistemi olarak verildiğinde,

$$d = b_1 D^{b_2} \left[\frac{(H-h)^{b_3}}{H^{b_4}} \right]$$

$$TV = a_1 D^{a_2} H^{a_3}$$

$$R_h = 1 - ((H - h)/H)^{2b_3 + 1}$$

$$R_d = 1 - \left[b_1^{-((2b_3 + 1)/b_3)} d^{((2b_3 + 1)/b_3)} / D^{b_2 / ((2b_3 + 1)/b_3)} H^{(1 - b_4/b_3)(2b_3 + 1)} \right]$$

yine uyumlu bir gövde profili, gövde hacim ve hacim oran denklem sistemi meydana gelmektedir.

Reed ve Green (1984), yine Demaerschalk (1973) tarafından geliştirilen bir diğer gövde profili modeli ile Honer'in gövde hacim fonksiyonundan yararlanarak uyumlu bir denklem sistemi geliştirmişlerdir. Demaerschalk (1973) tarafından geliştirilen gövde profili eşitliği ile Honer'in gövde hacim fonksiyonu aşağıda gibidir.

$$d^2 = b_1 D^2 \left[(H - h)^{b_2} / (b_3 H^{b_2 + 1} + b_4 H^{b_2}) \right] \quad (63)$$

$$TV = D^2 / (a_1 + a_2 / H) \quad (64)$$

Hacim denklemindeki parametreler (a_1 ve a_2) aşağıdaki gibidir.

$$a_1 = [(b_2 + 1)b_3] / (kb_1) \quad (65)$$

$$a_2 = [(b_2 + 1)b_4] / (kb_1) \quad (66)$$

Toprak seviyesi ile h_i yüksekliği arasındaki gövde hacmi,

$$V_{h_i} = \int G \delta h$$

$$V_{h_i} = \int k d^2 \delta h$$

eşitlikleri ile hesaplanmaktadır. Bu eşitliklerde, d^2 yerine Demaerschalk (1973) tarafından geliştirilen gövde profili denklemini (63 no'lu eşitlik) konulup, denklemin integrali alınırsa gövde hacmi eşitliği şu şekli alacaktır;

$$V_{h_i} = \frac{kb_1 D^2}{b_2 + 1} \left[\frac{1}{(b_3 + b_4/H)} \right] \left[1 - \left(\frac{H-h}{H} \right)^{b_2 + 1} \right] \quad (67)$$

$$V_{h_i} = TV * R_h \quad (68)$$

Bu eşitlikte,

$$R_h = 1 - \left(\frac{H-h}{H} \right)^{b_2 + 1} \quad (69)$$

olmaktadır. (63) no'lu denklemde "h" çekilip,

$$h = H - (b_1^{-1/b_2} (d/D)^{2/b_2} (b_3 H + b_4)^{1/b_2} H) \quad (70)$$

(70) no'lu eşitlikte yerine konulduğunda,

$$R_d = 1 - b_1^{-((b_2 + 1)/b_2)} (d/D)^{2((b_2 + 1)/b_2)} (b_3 H + b_4)^{((b_2 + 1)/b_2)} \quad (71)$$

eşitliği elde edilmektedir. Toprak seviyesinden herhangi bir yüksekliğe kadar olan gövde hacmi (69) no'lu ve gövde üzerindeki herhangi bir çapa kadar olan gövde hacmi de (71) no'lu eşitlikler yardımıyla gövde hacim fonksiyonuna uyumlu olarak hesaplanabilmektedir. Bu eşitlikler (63, 64, 69 ve 71 no'lu eşitlikler) de benzer şekilde uyumlu bir denklem sistemi meydana getirmektedirler.

$$d^2 = b_1 D^2 \left[\frac{(H-h)^{b_2}}{(b_3 H^{b_2 + 1} + b_4 H^{b_2})} \right]$$

$$TV = D^2 / (a_1 + a_2/H)$$

$$R_h = 1 - \left(\frac{H-h}{H} \right)^{b_2 + 1}$$

$$R_d = 1 - b_1^{-((b_2 + 1)/b_2)} (d/D)^{2((b_2 + 1)/b_2)} (b_3 H + b_4)^{((b_2 + 1)/b_2)}$$

Yine Reed ve Green (1984), Demaerschalk (1973) tarafından geliştirilen dördüncü gövde profili modeli ile uyumlu bir gövde hacim denklemi (Combined Variable) kullanarak uyumlu bir denklem sistemi oluşturmuşlardır. Demaerschalk (1973)'a ait gövde profili denklemi ile gövde hacim denklemi aşağıdaki gibidir.

$$d^2 = b_1 \left[(H-h)^{b_2} / H^{b_2+1} \right] + b_3 D^2 \left[(H-h)/H \right]^{b_4} \quad (72)$$

$$TV = a_1 + a_2 D^2 H \quad (73)$$

Gövde hacmine ilişkin parametreler (a_1 ve a_2),

$$a_1 = b_1 / (b_2 + 1) \quad (74)$$

$$a_2 = b_3 / (b_4 + 1) \quad (75)$$

şeklindedir. Toprak seviyesi ile h_i yüksekliği arasındaki gövde hacminin genel ifadesi tekrar yazılacak olursa;

$$V_{h_i} = \int G \delta h$$

$$V_{h_i} = \int k d^2 \delta h$$

Bu eşitlikte de, d yerine Demaerschalk (1973) tarafından geliştirilen gövde profili denklemi (72 no'lu eşitlik) konulup, denklemin integrali alınırsa gövde hacim eşitliği;

$$V_{h_i} = \frac{kb_1}{b_2 - 1} \left[1 - \left(\frac{H-h}{H} \right)^{b_2+1} \right] - \frac{kb_3}{b_4 - 1} D^2 H \left[\left(\frac{H-h}{H} \right)^{b_2+1} \right] \quad (76)$$

$$V_{h_i} = a_1 * R_{1h} + a_2 D^2 H * R_{2h} \quad (77)$$

şeklini almaktadır. Burada;

$$R_{1h} = 1 - ((H - h)/H)^{b_2 + 1} \quad (78)$$

$$R_{2h} = 1 - ((H - h)/H)^{b_4 + 1} \quad (79)$$

olmaktadır. (72) no'lu eşitlikten "h" değerinin hesaplanması mümkün olmadığından R_d hesaplanamamaktadır.

Green ve Reed (1985), Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen ve (5) no'lu eşitlikte verilen segmented polinomial model ile uyumlu gövde hacim denklemleri geliştirmişlerdir. (5) no'lu eşitlik ve gövde hacim denklemi aşağıdaki gibidir.

$$d^2 = D^2 \left[b_1 (h/H - 1) + b_2 \left((h/H)^2 - 1 \right) + b_3 (\alpha_1 - h/H)^2 I_1 + b_4 (\alpha_2 - h/H)^2 I_2 \right]$$

$$TV = \phi D^2 H \quad (80)$$

$$\phi = k \left[(b_2/3) + (b_1/2) - (b_1 + b_2) + (b_3/3)\alpha_1^3 + (b_4/3)\alpha_2^3 \right] \quad (81)$$

Gövdenin h yüksekliğine kadar olan hacminin, gövde hacmine oranı;

$$R_h = 1/\lambda \left[(b_2/3)(h/H)^3 + (b_1/2)(h/H)^2 - (b_1 + b_2)(h/H) - (b_3/3) \left\{ (\alpha_1 - h/H)^3 I_1 - \alpha_1^3 \right\} - (b_4/3) \left\{ (\alpha_2 - h/H)^3 I_2 - \alpha_2^3 \right\} \right] \quad (82)$$

denklemini ile hesaplanmaktadır. Bu denklemde yer alan λ değeri aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\lambda = (b_2/3) + (b_1/2) - (b_1 + b_2) + (b_3/3)\alpha_1^3 + (b_4/3)\alpha_2^3 \quad (83)$$

Gövde üzerindeki herhangi bir çapa (d) kadar olan hacmin gövde hacmine oranını hesaplamadan önce, verilen çapın (d) toprak seviyesine olan uzaklığı yani yerden yüksekliği değerinin (w) hesaplanması gerekmektedir. Bu amaçla aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır.

$$w = (H/2A) \left[-B - (B^2 - 4AC)^{0,5} \right] \quad (84)$$

Bu eşitlikte,

$$A = b_2 + b_3 J_1 + b_4 J_2 \quad (85)$$

$$B = b_1 - 2\alpha_1 b_3 J_1 - 2\alpha_2 b_4 J_2 \quad (86)$$

$$C = -(b_1 + b_2) + b_3 \alpha_1^2 J_1 + b_4 \alpha_2^2 J_2 - (d/D)^2 \quad (87)$$

Bu eşitliklerde yer alan J_i değerleri, modelin kısıtlayıcısı olmakta ve işlemden kullanılacak çap değerinin gövdenin şekil değişimi yüksekliğindeki (α_i) gövde çapı (M_i)'nden büyük, küçük ya da eşit olmasına göre 0 veya 1 değerini almaktadır. J_i ve M_i değerlerinin belirlenmelerine ilişkin koşul ve eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$J_i = 1 \text{ eğer } d \geq M_i$$

$$J_i = 0 \text{ eğer } d < M_i$$

$$M_i = D \left[b_1 (\alpha_i - 1) + b_2 (\alpha_i^2 - 1) + b_4 (\alpha_i^2 - \alpha_i) \right]^2 \quad (88)$$

Hesaplanan w, J_i ve M_i değerleri kullanılarak, arzu edilen gövde çapına (d) kadar olan gövde hacminin gövde hacmine oranı,

$$R_d = 1/\lambda \left[(b_2/3)(w/H)^3 + (b_1/2)(w/H)^2 - (b_1 + b_2)(w/H) - (b_3/3) \left\{ (\alpha_1 - w/H)^3 J_1 - \alpha_1 \right\}^3 - (b_4/3) \left\{ (\alpha_2 - h/H)^3 I_2 - \alpha_2 \right\}^3 \right] \quad (89)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. (5), (80), (82) ve (89) no'lu eşitlikler bir araya getirildiklerinde, yine uyumlu bir gövde profili, gövde hacim ve hacim oran denklem sistemi oluşturmaktadırlar.

$$d^2 = D^2 \left[b_1(h/H - 1) + b_2 \left((h/H)^2 - 1 \right) + b_3(\alpha_1 - h/H)^2 I_1 + b_4(\alpha_2 - h/H)^2 I_2 \right]$$

$$TV = \phi D^2 H$$

$$R_h = 1/\lambda \left[(b_2/3)(h/H)^3 + (b_1/2)(h/H)^2 - (b_1 + b_2)(h/H) - (b_3/3) \left\{ (\alpha_1 - h/H)^3 I_1 - \alpha_1^3 \right\} - (b_4/3) \left\{ (\alpha_2 - h/H)^3 I_2 - \alpha_2^3 \right\} \right]$$

$$R_d = 1/\lambda \left[(b_2/3)(w/H)^3 + (b_1/2)(w/H)^2 - (b_1 + b_2)(w/H) - (b_3/3) \left\{ (\alpha_1 - w/H)^3 J_1 - \alpha_1^3 \right\} - (b_4/3) \left\{ (\alpha_2 - h/H)^3 I_2 - \alpha_2^3 \right\} \right]$$

Bruce vd. (1968), gövde profilinin modellenmesi için aşağıdaki modeli önermişlerdir.

$$d^2 = D^2 \left[b_1 X^{1,5} (10^{-1}) + b_2 (X^{1,5} - X^3) D (10^{-2}) + b_3 (X^{1,5} - X^3) H (10^{-3}) + b_4 (X^{1,5} - X^{32}) H D (10^{-5}) + b_5 (X^{1,5} - X^{32}) H^{0,5} (10^{-3}) + b_6 (X^{1,5} - X^{40}) H^2 (10^{-6}) \right] \quad (90)$$

Burada,

$$X = (H - h)/(H - 1,3) \quad (91)$$

d: h yüksekliğindeki gövde çaplarını (cm),

D: Göğüs çapını (cm),

H: Toplam ağaç boyunu (m),

h: Gövde çaplarının hesaplanacağı yükseklikleri (m),

ifade etmektedir.

Martin (1981), yukarıda verilen gövde profili modeli ile aşağıdaki gövde hacim denklemini uyumlu hale getirmişlerdir.

$$TV = kd^2 H (Q_1 H^{1,5} - Q_2 H^3 - Q_3 H^{32} - Q_4 H^{40}) \quad (92)$$

Bu eşitlikte yer alan değerler,

$$Q_1 = [b_1(10^{-1}) + b_2 D(10^{-2}) + b_3 H(10^{-3}) + b_4 HD(10^{-5}) + b_5 H^{0,5}(10^{-3}) + b_6 H^2(10^{-6})] / [2,5(H - 1,3)^{1,5}] \quad (93)$$

$$Q_2 = [b_2 D(10^{-2}) + b_3 H(10^{-3})] / 4(H - 1,3)^3 \quad (94)$$

$$Q_3 = [b_4 HD(10^{-4}) + b_5 H(10^{-3})] / 33(H - 1,3)^{31} \quad (95)$$

$$Q_4 = [b_6 H^2(10^{-6})] / 41(H - 1,3)^{40} \quad (96)$$

Bu eşitliklerden yararlanılarak oluşturulan hacim oran denklemini de şöyledir;

$$R_h = 1 - \{ [Q_1(H - h)^{2,5} - Q_2(H - h)^4 - Q_3(H - h)^{33} - Q_4(H - h)^{41}] / [Q_1 H^{2,5} - Q_2 H^4 - Q_3 H^{33} - Q_4 H^{41}] \} \quad (97)$$

(90) no'lu eşitlikten R_d 'nin çözümü mümkün olmamaktadır.

2.2.3. En İyi Modellerin Belirlenebilmesi İçin Kullanılan Ölçütler

En iyi gövde profili denkleminin belirlenebilmesi için gerçek gövde çapı değerleri ile tahmin edilen gövde çapı değerleri arasındaki farklara dayanan 4 farklı ölçüt kullanılmıştır. Bu ölçütler aşağıda verilmiştir.

- Ortalama Hata:

$$\bar{D} = (\sum D_i) / N \quad (98)$$

- Hataların Standart Sapması:

$$S_D = \left(\left(\sum D_i^2 - \frac{(\sum D_i)^2}{N} \right) / (N-1) \right)^{1/2} \quad (99)$$

- Ortalama Mutlak Hata:

$$|\bar{D}| = (\sum |D|) / N \quad (100)$$

- Açıklanan Varyans Yüzdesi:

$$\% PVE = \left\{ \frac{\left[\sum (d_i - d_{ort})^2 - \sum D^2 \right]}{\sum (d_i - d_{ort})^2} \right\} * 100 \quad (101)$$

Bu eşitliklerde,

$$D_i = \hat{d}_i - d_i,$$

d_i : Ölçülen gövde çaplarını (cm),

\hat{d}_i : Denklemden hesaplanan gövde çaplarını (cm),

N : Örnek ağaç sayısını,

ifade etmektedir.

En uygun gövde profili denklemi, denenen denklemler içinde ortalama hatası, hataların standart sapması ve ortalama mutlak hatası en düşük, açıklanan varyans yüzdesi en yüksek olan denklem olarak seçilmiştir. Bu amaçla, her bir ölçüt için denenen denklemlerin en iyisine 1, en kötüsüne n (test edilen denklem sayısı) olmak üzere 1'den n'e kadar sıra numarası (RANK) verilmiştir. Daha sonra her bir denklemin dört ölçüte ilişkin sıra numaraları toplanarak en küçüğü en uygun olarak seçilmiştir.

3. BULGULAR

“Yöntem” Bölümü’nde de açıklandığı gibi gövde profili modelleri; model oluşturulmasında kullanılan yöntemler ve modellerin hacim hesaplamalarında kullanılabilirliklerine göre iki bölüme ayrılabilir. Gövde profili modellerinin oluşturulmasında temel olarak iki yöntemden faydalanılmaktadır. Bunlardan ilki, deneysel veriler kullanılarak, ikincisi ise geometrik esaslara göre modellerin oluşturulmasıdır. Hacim hesaplamalarında ise, geliştirilen istatistiksel denklemler ile gövde çapları hesaplandıktan sonra Orta Yüzey, Smalian ve Newton-Riecke gibi yuvarlak odun hacim formülleri ile gövde hacimlerinin hesaplanmasını sağlayan “Uyumsuz Gövde Profili Modelleri” ile doğrudan gövde hacmini hesaplayabilen “Uyumlu Gövde Profili Modelleri” olmak üzere iki gruptan söz edilmişti. Bu bölümde de sözü edilen her bir sınıfta yer alan modellere ilişkin parametre tahmin değerlerini gösteren bulgular ayrı ayrı verilmeye çalışılmış, sözü edilen modellere ilişkin ölçüt değerlerini gösteren bulgular ise, modellerin birbirleri ile karşılaştırılabilmeleri amacıyla tek bir tabloda verilmiştir.

3.1. Gövde Çaplarının Tahmini İçin Düzenlenen Gövde Profili Modellerine İlişkin Bulgular

3.1.1. Deneysel Verilerle Oluşturulan Gövde Profili Modellerine İlişkin Bulgular

Deneysel verilerle oluşturulan gövde profili modellerine (1, 2, 3, 4, 5, 15, 21, 22 ve 29 no’lu denklemler) ilişkin parametre tahmin değerleri ve parametrelerin önem düzeyleri Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5’den de görülebileceği gibi 1, 2, 15 ve 21 no’lu gövde profili denklemlerinin tüm katsayıları, $p < 0.001$ önem düzeyi ile anlamlı bulunmuştur. 3 no’lu gövde profili denkleminde b_1 , b_2 ve b_3 , 22 no’lu denkleminde b_2 , b_3 ve b_6 katsayıları $p < 0.001$, 5 no’lu denkleminde b_3 katsayısı $p < 0.01$ ve b_1 katsayısı $p < 0.05$ önem düzeyi ile anlamlı olmasına karşın, 3 no’lu denklemin b_4 ve b_5 , 5 no’lu denklemin b_2 ve b_4 , 22 no’lu denklemin b_1 , b_4 ,

b_5 , b_7 , b_8 ve b_9 , 4 ve 29 no'lu denklemlerin ise tüm katsayıları $p > 0.05$ önem düzeyi ile anlamsızdır.

Deneyisel verilerle oluşturulan modellere ilişkin ölçüt değerleri, diğer modellere ilişkin değerlerle karşılaştırılabilmeleri için Tablo 10'da, tüm modellere ilişkin ölçüt değerleri ile birlikte verilmiştir. Bu tabloda, hesaplanan ölçüt değerlerinin yanında, modellerin birbirleriyle karşılaştırılabilmeleri için bir başarı sıralaması yapılabilmesi amacıyla RANK sütunu oluşturulmuştur.

Tablo 5. Deneyisel verilerle oluşturulan gövde profili modellerine ilişkin parametre değerleri

Denklemler	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7	b_8	b_9
1		-1,8635 ***	0,6403 ***							
2		1,0344 ***	0,0801 ***	-0,0028 ***	0,0026 ***					
3		33,059 ***	-85,507 ***	3,3708 ***	-0,0057 NS	4,0512 NS				
4		4,7804 NS	-9,6282 NS	6,2521 NS	-1,2563 NS	0,2029 NS	3,7542 NS	482,93 NS		
5		-0,6360 *	-0,0938 NS	0,9030 **	0,2730 NS					
15	1,5173 ***	0,8565 ***	1,0018 ***	1,5521 ***	-0,2921 ***	1,7793 ***	-1,1080 ***	0,2358 ***		
21	1,5236 ***	0,9108 ***	0,4604 ***	-0,1578 ***	0,1385 ***					
22		0,0066 NS	-0,7794 ***	0,1792 ***	-0,1166 NS	59160,6 NS	0,0591 ***	-0,0005 NS	-59160 NS	0,00003 NS
29	1,40336 NS	-2,7291 NS	5,0154 NS	-3,8476 NS	0,1714 NS	-3,8476 NS	64,910 NS	-310,05 NS	632,297 NS	-467,99 NS

Not: NS = $p > 0.05$, * = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$, *** = $p < 0.001$

3.1.2. Geometrik Esaslara Göre Oluşturulan Gövde Profili Modellerine İlişkin Bulgular

Geometrik esaslara göre oluşturulan gövde profili modellerinden Ormerod (1973) tarafından geliştirilen modelde b_1 katsayısı, kabul edilen gövde şekline göre 1.00, 0.50, 0.33 ve 0.25 değerlerinden birini almaktadır. Bu katsayıların tamamı bu denklem için uygulanarak en uygun olanı belirlenmeye çalışılmış ve 0.50 değeri en uygun bulunmuştur. Bu katsayılar kullanılarak elde edilen ölçüt değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Bu tablodan da görülebileceği gibi, Ormerod (1973) tarafından geliştirilen geometrik gövde profili modelinde, gövde şeklinin naylonit ($b_1=0,25$), koni ($b_1=0,33$), paraboloid ($b_1=0,50$) ve silindir ($b_1=1,00$) gibi dört farklı geometrik şekil biçiminde alınması durumunda en iyi sonuç paraboloid ($b_1=0,50$) ile elde edilmiştir. Bu, beklenen bir sonuçtur. Çünkü Göknarlarda çap düşüşü oldukça yavaş olduğundan, bu tür genellikle dolgun gövdelere sahiptir. Ancak, bu katsayının daha farklı değerler de alabileceği düşünülerek, b_1 katsayısı denklemin bir parametresi olarak işleme konulmuş ve örnek ağaçlar için yeniden hesaplanmıştır. Sözü edilen model, Tablo 7'de 30 no'lu denklem olarak gösterilmiş ve b_1 katsayısı 0,6644 bulunmuştur. İstatistiksel olarak $p < 0.001$ önem düzeyi ile anlamlı bulunan b_1 katsayısı, örnek ağaç gövdelerinin paraboloidten daha dolgun olduğunu göstermektedir.

Geometrik esaslara göre oluşturulan diğer gövde profili modellerine (31, 32 ve 37 no'lu denklemler) ilişkin parametre tahmin değerleri ve parametrelerin önem düzeyleri Tablo 7'de verilmiştir. Bu tablodan da görülebileceği gibi, geometrik esaslara göre oluşturulan tüm gövde profili modellerine ilişkin katsayılar $p < 0.001$ önem düzeyi ile anlamlı bulunmuştur. Ölçüt değerleri ise, diğer modellerle birlikte Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 6. Ormerod (1973) tarafından geliştirilen modele ilişkin ölçüt değerleri

b_1	\bar{D} cm	$ \bar{D} $ cm	S_D cm	PVE %
0,25	5,92	6,57	8,55	52,56
0,33	4,43	5,07	6,71	70,80
0,50	1,72	2,65	3,77	90,75
1,00	-3,76	3,93	84,60	4,87

Tablo 7. Geometrik esaslara göre oluşturulan gövde profili modellerine ilişkin parametre değerleri

Denklemler	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6
30		0,6644 ***					
31	1,2235 ***	0,4010 ***					
32		-0,9175 ***	0,0427 ***	0,0119 ***			
37	3,5329 ***	-1,2521 ***	-0,2340 ***	-1,8706 ***	0,0011 ***	0,0805 ***	-0,1261 ***

Not: NS = $p > 0.05$, * = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$, *** = $p < 0.001$

3.2. Gövde Profili Modelleri İle Gövde Hacminin Hesaplanmasına İlişkin Bulgular

3.2.1. Uyumsuz Gövde Profili Modellerine İlişkin Bulgular

Uyumsuz gövde profili modelleri, “Yöntem” Bölümü’nde de ifade edildiği gibi, doğrudan gövde hacmini vermezler. Bu modeller ile gövde üzerinde belirli aralıklarla çap değerleri tahmin edilerek, Smalian ve Huber gibi çeşitli dendrometrik formüllerle her bir seksiyonun hacmi hesaplanıp toplanarak gövde hacmi elde edilmektedir. Bu modellere (1,

2, 3, 15 ve 17 no'lu denklemler) ilişkin parametre değerleri ve önem düzeyleri Tablo 8'de, ölçüt değerleri ise Tablo 10'da verilmiştir.

Uyumsuz gövde profili modellerinden 1, 2, 15 ve 21 no'lu denklemlere ilişkin tüm katsayılar $p < 0.001$ önem düzeyi ile anlamlı bulunmuştur. 3 no'lu denklemde b_1 , b_2 ve b_3 katsayıları $p < 0.001$ önem düzeyi ile anlamlı ve b_4 ve b_5 katsayıları ise $p > 0.05$ önem düzeyi ile anlamsızdır.

Tablo 8. Uyumsuz gövde profili modellerine ilişkin parametre değerleri

Denklem No	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7
1		-1,8635 ***	0,6403 ***					
2		1,0344 ***	0,0801 ***	-0,0028 ***	0,0026 ***			
3		33,059 ***	-85,507 ***	3,3708 ***	-0,0057 NS	4,0512 NS		
15	1,5173 ***	0,8565 ***	1,0018 ***	1,5521 ***	-0,2921 ***	1,7793 ***	-1,1080 ***	0,2358 ***
21	1,5236 ***	0,9108 ***	0,4604 ***	-0,1578 ***	0,1385 ***			

Not: NS = $p > 0.05$, * = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$, *** = $p < 0.001$

3.2.2. Uyumlu Gövde Profili Modellerine İlişkin Bulgular

Uyumlu gövde profili modellerine (39, 53, 63, 72 ve 90 no'lu denklemler) ilişkin parametre değerleri ve önem düzeyleri Tablo 9'da verilmiştir. Yine bu modellere ilişkin ölçüt değerleri, diğer modellerle birlikte Tablo 10'da verilmiştir.

Uyumlu gövde profili denklemlerinden, 39, 53 ve 90 no'lu denklemlerin tüm katsayıları $p < 0.001$ önem düzeyi ile anlamlı bulunmasına karşın, 63 no'lu denklemin b_1 , b_3 ve b_4 katsayıları, 72 no'lu denklemin ise b_2 katsayısı $p > 0.05$ önem düzeyi ile anlamsız bulunmuştur.

Tablo 9. Uyumlu gövde profili modellerine ilişkin parametre değerleri

Denklem No	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6
39	1,1356 ***	1,4375 ***				
53	1,5103 ***	0,7810 ***	0,6929 ***	0,5472 ***		
63	65028,10 NS	1,4382 ***	150,6897 NS	53123,55 NS		
72	925,256 ***	0,4936 NS	1,1179 ***	1,4681 ***		
90	10,4977 ***	-4,2037 ***	68,8670 ***	26,4299 ***	14,1935 ***	-191,9812 ***

Not: NS = $p > 0.05$, * = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$, *** = $p < 0.001$

Bu çalışmada test edilen tüm gövde profili modellerine ilişkin ölçüt değerleri Tablo 10'da verilmiştir. Model başarılarını belirlemek amacıyla Ortalama Hata (\bar{D}), Ortalama Mutlak Hata ($|\bar{D}|$), Hataların Standart Sapması (S_D) ve Açıklanan Varyans Yüzdesi (%PVE) olmak üzere dört değişik ölçüt değeri hesaplanmıştır. Bu ölçütlerden birine göre en iyi sonucu veren bir gövde profili modelinin, başka bir ölçüte göre en iyi sonucu veremeyebileceği düşüncesinden hareket ederek, tüm gövde profili modellerine her bir ölçüte göre ayrı ayrı sıra numarası verilmiştir. Örneğin ortalama hata değeri bakımından en küçük değere sahip olan 15 ve 21 no'lu gövde profili modelleri, aynı ortalama hata değerine sahip olduklarından, birinci ve ikinci sıra yerine, her birine 1,5 sıra numarası verilmiştir. Ortalama mutlak hata değeri bakımından en küçük değer 15 no'lu, en büyük değer ise 18 gövde profili modeli arasından 3 no'lu denklemle elde edildiğinden, bu ölçüte göre 15 no'lu gövde profili denkleminde 1, 3 no'lu gövde profili denkleminde de 18 sıra numarası verilmiştir. Hataların standart sapması ve açıklanan varyans yüzdesi değerine göre de 15 no'lu denklem birinci, 3 no'lu denklem ise son sırada yer almıştır. Böylece her bir ölçüte göre başarı sıra sayıları toplamı en küçük olan denklem verilere en uygun denklem olmaktadır.

Tablo 10'daki sıra numaraları toplamı ya da RANK değerleri incelendiğinde; uygulanabilirlik bakımından 15 no'lu denklemin birinci, 21 no'lu denklemin ikinci, 90

no'lu denklemin üçüncü, 29 no'lu denklemin dördüncü ve 5 no'lu denklemin ise sonuncu sırada yer aldığı görülmektedir.

Tablo 10. Gövde profili modellerine ilişkin ölçüt değerleri

Denklemler No	\bar{D} cm	$ \bar{D} $ cm	S_D cm	PVE %	RANK
1	0,50 15	2,01 16	2,74 16	95,68 14	61
2	-0,17 9	1,66 6	2,31 7	96,93 6	28
3	-0,10 7	3,87 18	6,29 18	77,21 18	61
4	0,08 6	1,69 7	2,27 6	97,03 5	24
5	0,68 17	2,13 17	2,90 17	95,14 17	68
15	0,01 1,5	1,33 1	1,83 1	98,08 1	4,5
21	-0,01 1,5	1,38 2	1,87 2	97,99 2	7,5
22	0,17 9	1,60 4	2,37 8,5	96,35 10	31,5
29	-0,17 9	1,62 5	2,16 4	97,30 4	22
30	-0,42 13	1,88 13	2,66 14	95,41 15	55
31	-0,25 11	1,78 10	2,39 10	96,72 9	40
32	0,80 18	1,90 15	2,67 15	95,32 16	64
37	-0,40 12	1,71 9	2,22 5	96,80 7	33
39	-0,59 16	1,89 14	2,60 13	96,11 13	56
53	-0,02 3	1,70 8	2,37 8,5	96,76 8	27,5
63	-0,49 14	1,86 12	2,57 12	96,18 12	50
72	-0,03 4	1,85 11	2,55 11	96,25 11	37
90	-0,05 5	1,46 3	1,95 3	97,82 3	14

En iyi sonucu veren 15 no'lu denklem, Kozak (1988) tarafından geliştirilen Değişken-Exponent Gövde Profili Modeli'dir. Bu modelin, ortalama hatası $\bar{D}=0,01$ cm, ortalama mutlak hatası $|\bar{D}|=1,33$ cm, hataların standart sapması $S_D=1,83$ cm ve açıklanan varyans yüzdesi ise %PVE=%98,08 olarak hesaplanmış olup, hata miktarı oldukça düşüktür. Bu denklemde bulunan X değişkeninin hesaplanmasında kullanılan oransal boy değeri (p) ağaç boyunun % 15'i (p=0,15) olarak belirlenmiştir.

Başarı bakımından ikinci sırada yer alan 21 no'lu denklem Değişken-Şekil Gövde Profili Modeli sınıfında, üçüncü sırada bulunan 90 no'lu denklem Uyumlu Gövde Profili Modelleri sınıfında, dördüncü sırada yer alan 29 no'lu denklem Ortalama Oransal Gövde Profili Modeli sınıfında ve son sırayı alan 5 no'lu denklem ise Segmented Polinomial Gövde Profili Modeli sınıfında yer almaktadır. İkinci sırada bulunan 21 no'lu denklemde, gövdenin şekil değişim yüksekliği, ağaç boyunun %5'i olarak (I=0,05) bulunmuştur.

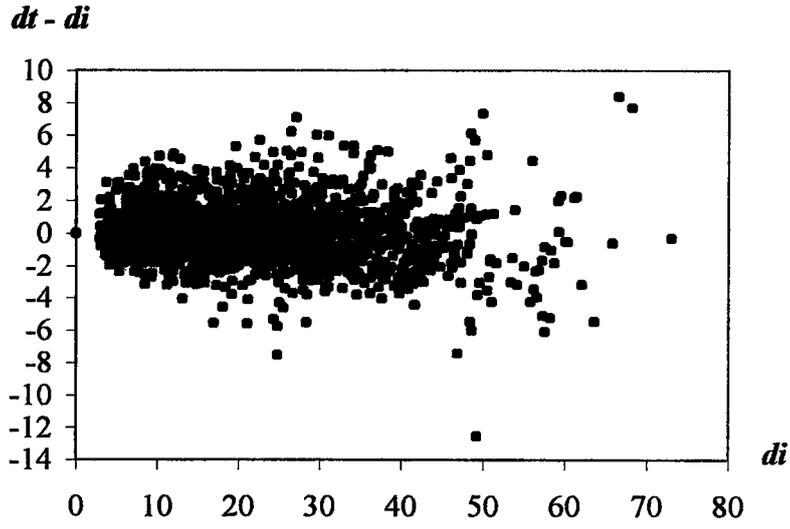
Geometrik esaslara göre oluşturulan gövde profili modellerinde oldukça başarılı sonuçlar elde edilmesine karşın, deneysel verilerle oluşturulan modellerin başarısı daha yüksek olmaktadır. Benzer şekilde, uyumsuz gövde profili modelleri ile uyumlu gövde profili modelleri karşılaştırıldığında da uyumsuz gövde profili modellerinin gövde çaplarının tahmininde daha başarılı olduğu görülmektedir.

Elde edilen gövde profili modelleri içinde en uygun bulunanların, örnek ağaçların alındığı Gökmar meşcereleri için uygun olup olmadığı, modellerin oluşturulmasında kullanılan verilerden bağımsız olarak oluşturulan farklı bir veri grubu ile test edilerek elde edilen sonuçlar Tablo 11'de verilmiştir. Bu testin uygulanmasında, SPSS paket programından yararlanılarak "Eşlendirilmiş t Testi" kullanılmıştır. Tablo 11'den de görülebileceği gibi, başarı bakımından birinci, ikinci ve üçüncü sırada yer alan 15, 21 ve 90 no'lu denklemlerin, istatistiksel olarak $\alpha=0,05$ önem düzeyi ile bağımsız veri grubuna ilişkin örnek ağaçlardan farklı sonuçlar vermesine karşın, dördüncü sırada yer alan 29 no'lu gövde profili modelinin $p > 0,05$ önem düzeyi ile farksız sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Sözü edilen modellerin, gerek model oluşumunda kullanılan verilerle ve gerekse kontrol verileri ile gösterdikleri farkların dağılımı Şekil 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ve 9'da verilmiştir. Bu şekillerin apsis (x) ekseninde yer alan "di" değeri ölçülen gövde çaplarını,

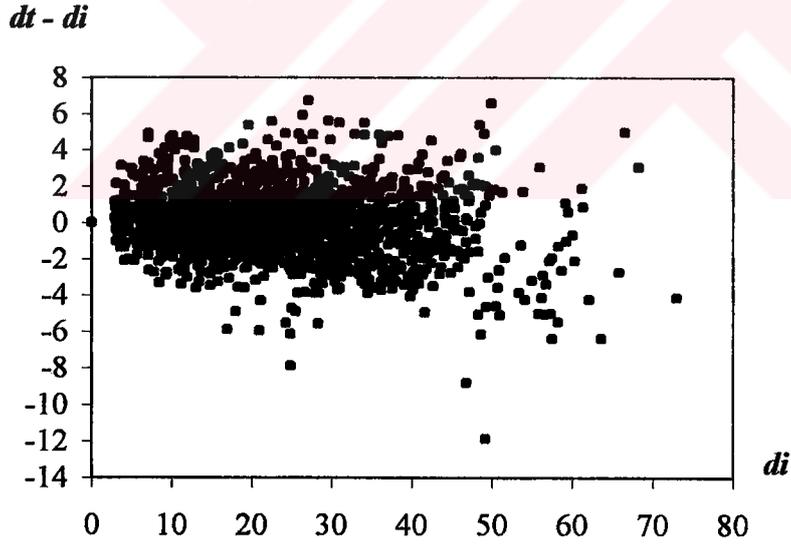
ordinat (y) ekseninde yer alan “ d_t-d_i ” değeri de modeller kullanılarak tahmin edilen gövde çapları ile ölçülen gövde çapları arasındaki farkları göstermektedir. Bu Şekillerden ilk dördü (Şekil 2, 3, 4 ve 5) model oluşturulmasında kullanılan verilerden yararlanılarak, diğer dördü (Şekil 6, 7, 8 ve 9) ise kontrol verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Tablo 11. Model uygunluğunun denetiminde kullanılan veriler ile en uygun denklemlerin (15, 21, 29 ve 90 no’lu denklemler) lt değerleri

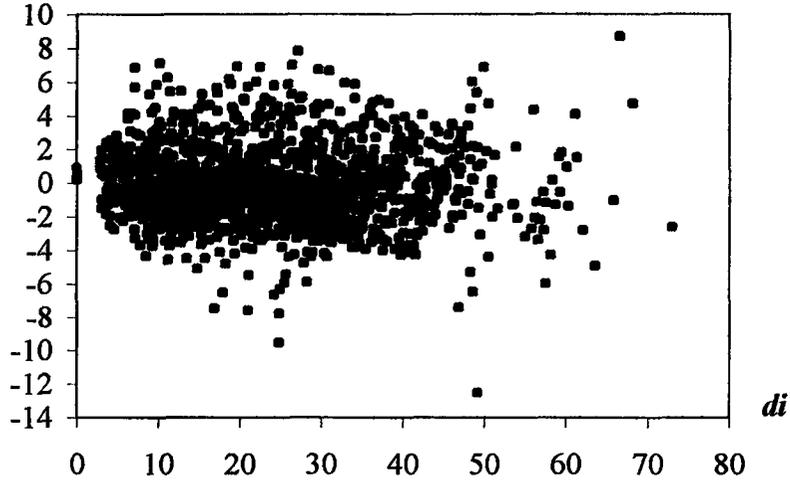
Denklemler No	\bar{D} cm	S_D cm	t_h	p
15	-0,25	0,08	-3,047	0,002
21	-0,21	0,08	-2,603	0,009
29	-0,15	0,09	-1,521	0,129
90	-0,30	0,09	-3,458	0,001



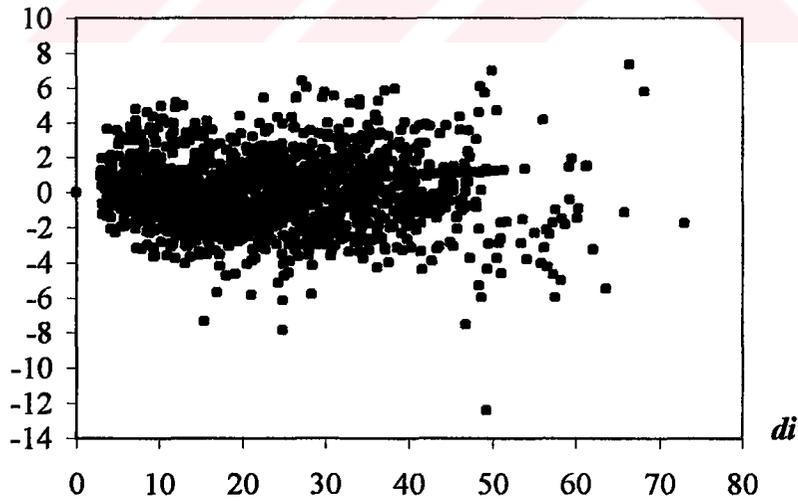
Şekil 2. Model oluşturulmasında kullanılan veriler ile 15 no'lu denkleme ilişkin hata dağılımı



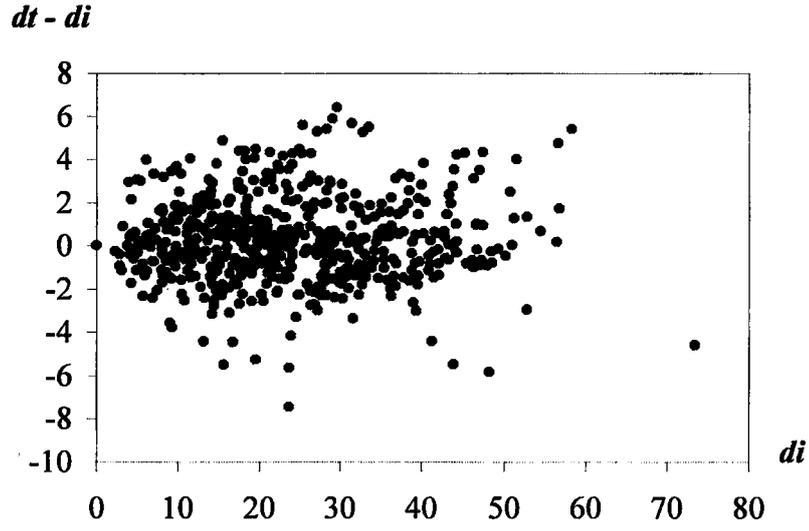
Şekil 3. Model oluşturulmasında kullanılan veriler ile 21 no'lu denkleme ilişkin hata dağılımı

$dt - di$ 

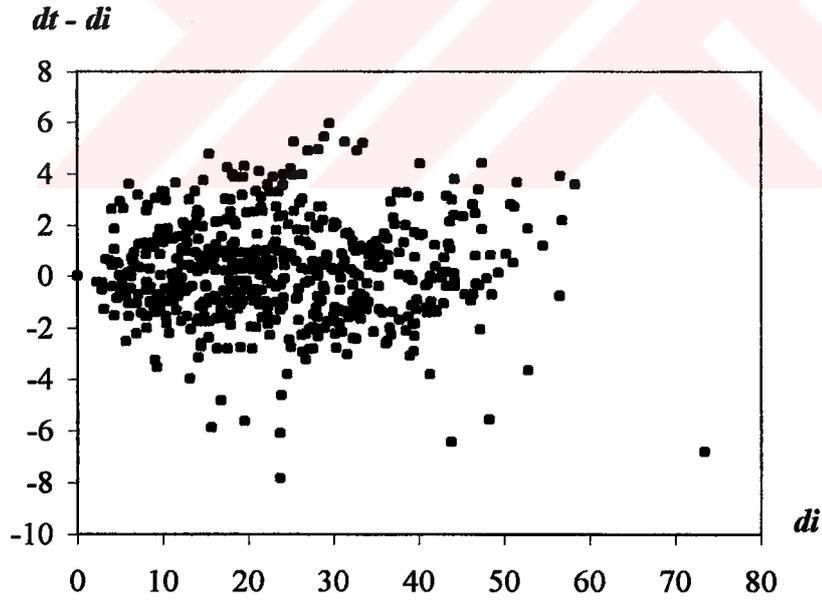
Şekil 4. Model oluşturulmasında kullanılan veriler ile 29 no'lu denkleme ilişkin hata dağılımı

 $dt - di$ 

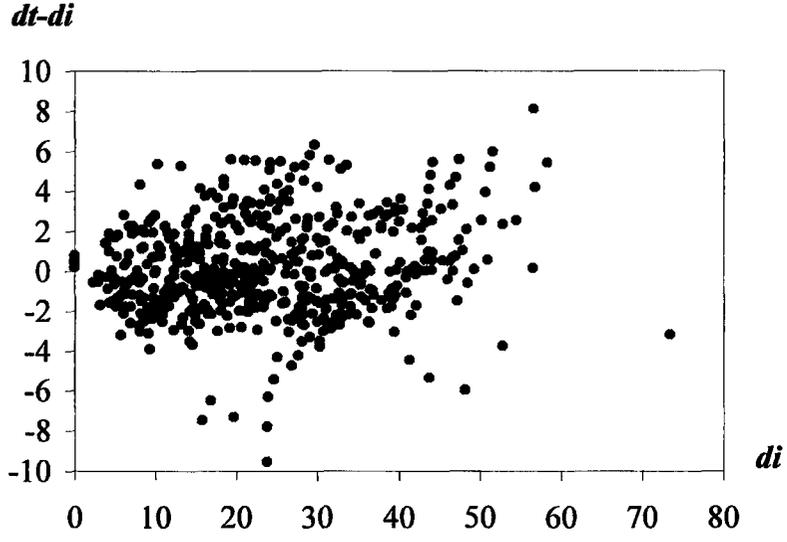
Şekil 5. Model oluşturulmasında kullanılan veriler ile 90 no'lu denkleme ilişkin hata dağılımı



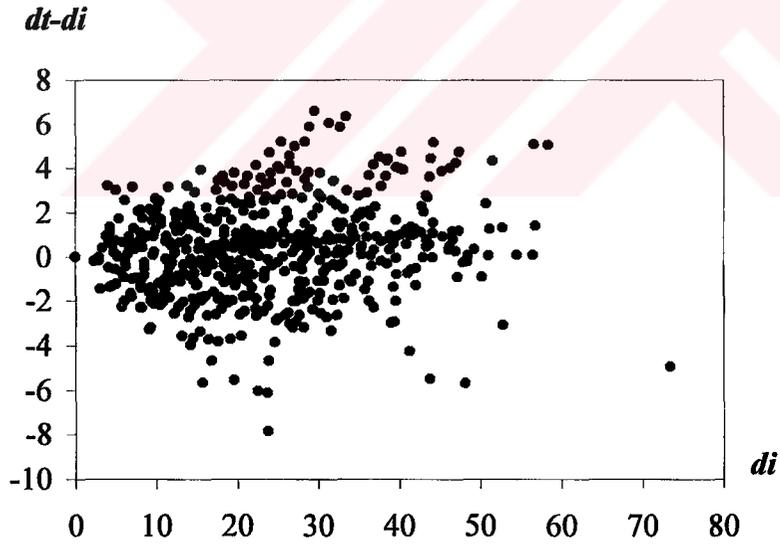
Şekil 6. Kontrol verileri ile 15 no'lu denkleme ilişkin hata dağılımı



Şekil 7. Kontrol verileri ile 21 no'lu denkleme ilişkin hata dağılımı



Şekil 8. Kontrol verileri ile 29 no'lu denkleme ilişkin hata dağılımı



Şekil 9. Kontrol verileri ile 90 no'lu denkleme ilişkin hata dağılımı

Yukarıdaki şekillerden de görülebileceği gibi, başarılı bulunan tüm modellerde gövde çaplarının tahminindeki hata miktarı küçük gövde çapı değerlerinde oldukça düşük olmakta ve çap değerinin artışı ile birlikte hata miktarı da artmaktadır. Ancak, en yüksek gövde çaplarındaki hata miktarları dahi istatistiksel güven sınırları içinde kalmaktadır. Gövde profili modelleri, modellerin oluşturulmasında kullanılan veriler yardımıyla oluşturulduklarında, hata dağılımı en düşük olan modelin 15 no'lu denklem olmasına karşın, kontrol verileri ile oluşturulduklarında en iyi hata dağılımın 29 no'lu denklem göstermektedir. Verilere en uygun bulunan gövde profili denklemlerinden 15 no'lu denklemin ortalama hatası pozitif (+) yönde olmasına karşın, diğer üç denklemin (21, 29 ve 90 no'lu denklemler) ortalama hataları negatif (-) yönde olmaktadır. Bu durumda, 15 no'lu denklemle hesaplanan gövde çapı değerlerinin ölçülen gövde çaplarından ortalama olarak fazla, 21, 29 ve 90 no'lu denklemler ile hesaplanan gövde çaplarının ise ölçülenlerden ortalama olarak eksik olduğu söylenebilir. Bu modeller, bağımsız olarak oluşturulan kontrol veri grubuna uygulandıklarında ise tüm modellerin ortalama hatalarının negatif (-) yönde olduğu belirlenmiştir. Başka bir deyişle, tüm modeller, kontrol verilerinden ortalama olarak eksik sonuç vermektedirler. Ancak, 29 no'lu gövde profili denkleminin kontrol verileri ile gösterdikleri hataların istatistiksel olarak sıfırdan farksız olduğu sonucu elde edildiğinden, bu modelin sapmasız olduğu söylenebilir.

3.3. Gövde Profili Modellerinden Yararlanarak Gövde Hacminin ve Gövdenin Herhangi Bir Bölümüne İlişkin Hacmin Hesaplanması

Uyumlu gövde profili modelleri kullanılarak, gövdenin tamamının ya da herhangi bir bölümünün hacmi doğrudan hesaplanabilmektedir. “Yöntem” Bölümü’nde de açıklandığı gibi gövde hacmi, bölümlene yöntemi ile gövde bölümlerinin hacimlerinin tek tek hesaplanıp, toplanması gibi uzun bir işlem yerine, herhangi bir gövde hacim denklemi ile uyumlu gövde profili modellerinin integrali alınarak kolaylıkla hesaplanabilmektedir. Uygulanması oldukça basit olan bu yöntem için gerekli olan veriler, sadece gövde üzerinde belirli aralıklarla ölçülecek gövde çapları ve ağaç boyu ile sınırlı kalmakta ve başka bir ölçüm gerektirmemektedir. Bu konu ile ilgili kaynaklarda; uyumlu gövde profili modelleri kullanılarak hesaplanan gövde hacmi ile bölümlene yöntemi ile hesaplanan gövde hacmi arasındaki farkın ihmal edilebilir düzeyde olduğu belirtilmektedir.

Bir ağacın toprak seviyesinden belirli bir yüksekliğe kadar olan hacmi, hacim oran denklemleri ile hesaplanabilmektedir. Uyumlu gövde profili modelleri, gövdenin yerden herhangi bir yüksekliğe kadar olan hacmini hesaplamanın yanında, gövdenin herhangi iki boy (h_1 ve h_2 gibi) ya da herhangi iki çap değeri (d_1 ve d_2 gibi) arasında kalan hacmini de hesaplayabilmektedir. Bu amaçla, yine gövde profili modelinin integrali alınarak elde edilen gövde hacim denkleminde, ilgilenilen boy veya çap değerlerinden ilki dikkate alınarak denklem çözüldüğünde o boy veya çap değerine kadar olan hacim hesaplanacaktır. Aynı işlemin ikinci boy veya çap değerine uygulanması ile elde edilen iki sonuç arasındaki fark, gövdenin o boy ya da çap değerleri arasındaki hacmini verecektir. Bu yönüyle de uyumlu gövde profili modelleri, oldukça kullanışlı modellerdir.

Bu modeller yardımıyla gövdenin tamamının ve belirli bir bölümün hacminin hesaplanmasına ilişkin sayısal bir örnek aşağıda verilmiştir.

Göğüs çapı 36,4 cm ve boyu 26,8 m olan bir Gökmar ağacının gövde hacminin uyumlu gövde profili modellerinden yararlanarak hesaplanması için, öncelikle kullanılacak modelin integrali alınmalıdır. Bu amaçla, Demaerschalk (1973) tarafından geliştirilen ve Schumacher-Hall gövde hacim denklemi ile uyumlu olan gövde profili denkleminin yararlanılabilir. Bu denklemin katsayıları, aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (Tablo 9: 53 no'lu denklem).

$$d = 1,5103.D^{0,7810} \left[(H - h)^{0,6929} / H^{0,5472} \right]$$

Yukarıdaki gövde profili denkleminin integrali alınarak elde edilen gövde hacim denkleminin uyumlu olan Schumacher-Hall gövde hacim denklemi ise aşağıdaki gibidir (Bu konuda daha ayrıntılı bilgi, Yöntem Bölümü'nde verilmiştir).

$$TV = a_1 D^{a_2} H^{a_3}$$

Bu hacim denklemi ile gövde hacmini hesaplamak oldukça kolaydır. Denkleminde yer alan a_1 , a_2 ve a_3 katsayıları, gövde profili modelinin oluşturulması sırasında belirlenen

ve gövde profili modelinden doğrudan alınan katsayılar olan b_1 , b_2 , b_3 ve b_4 katsayılarından hesaplanmaktadır. Katsayıları veren eşitlikler şöyledir:

$$a_1 = (kb_1^2)/(2b_3 + 1) = [(\pi/4).(1/10000).1,5103^2] / [2.(0,6929) + 1] = 0,0000699$$

$$a_2 = 2b_2 = 2.(0,781) = 1,562$$

$$a_3 = 2b_3 + 1 - 2b_4 = 2.(0,6929) + 1 - 2.(0,5472) = 1,2919$$

Bu eşitlikler yardımıyla a_1 , a_2 ve a_3 katsayıları, sırasıyla 0,0000699, 1,562 ve 1,2919 olarak hesaplanmıştır. Böylece çift girişli hacim denklemi,

$$V = 0,0000699.D^{1,562}.H^{1,2919}$$

Örnekteki göğüs çapı ve ağaç boyu bu hacim denkleminde yerine konulduğunda, gövdenin tamamının hacmi:

$$V = 0,0000699 . (36,4)^{1,562} . (26,8)^{1,2919}$$

$$V = 1,3425 \text{ m}^3$$

olarak hesaplanmaktadır.

Aynı ağaç için, toprak seviyesinden 3 m ile 7 m yükseklikler arasında kalan bölümün hacmi hesaplanmak istendiğinde, yerden 7 m'ye kadar olan bölümün hacmi ile 3 m'ye kadar olan hacim ayrı ayrı hesaplanıp farkları alınmalıdır. Yerden herhangi bir yüksekliğe kadar olan gövde hacmi, uyumlu gövde profili modellerinin integrali alınarak elde edilen aşağıdaki gövde hacim denklemi kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$V_{h_i} = TV * R_h$$

Bu denklemde R_h değeri, yerden herhangi bir yüksekliğe (h) kadar olan hacmin gövde hacmine oranını vermektedir. Denklemden de anlaşılacağı gibi R_h değeri hesaplanıp gövde hacmi ile çarpıldığında, istenilen yüksekliğe kadar olan hacim

hesaplanmaktadır. R_h değeri aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak belirlenmektedir. Bu eşitlikte kullanılan b_3 katsayısı, ilgili gövde profili modelinden alınmaktadır. $b_3=0,6929$ olduğundan hacim oran denklemi;

$$R_h = 1 - ((H - h)/H)^{2b_3 + 1}$$

$$R_h = 1 - ((H - h)/H)^{2,3858} \text{ biçiminde olacaktır.}$$

Bu durumda 3 m ve 7 m için hacim oran değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$R_3 = 1 - ((26,8 - 3) / 26,8)^{2,3858} = 0,247$$

$$R_7 = 1 - ((26,8 - 7) / 26,8)^{2,3858} = 0,514$$

Hesaplanan bu oran değerleri, gövde hacmi ile çarpılarak, yerden 3 m ve 7 m yüksekliklere kadar olan hacimler hesaplanır.

$$V_{0-3} = 1,3425 \cdot 0,247$$

$$V_{0-3} = 0,3316 \text{ m}^3$$

$$V_{0-7} = 1,3425 \cdot 0,514$$

$$V_{0-7} = 0,6901 \text{ m}^3$$

Son olarak, bu iki hacim değerinin farkı alınarak, gövdenin 3 m ile 7 m arasındaki bölümün hacmi;

$$V_{3-7} = 0,6901 - 0,3316$$

$$V_{3-7} = 0,3585 \text{ m}^3 \text{ olur.}$$

Yukarıdaki örneğe benzer şekilde, gövde çapının 30 cm'ye düştüğü A noktası ile 22 cm'ye düştüğü B noktası arasında kalan gövde bölümüne ilişkin hacim değeri hesaplanmak istenebilir. Bu işlemler de uyumlu gövde profili modelleri kullanılarak gerçekleştirilebilir.

Burada toprak seviyesinden sonra 22 cm çap değerine sahip gövde yüksekliğine (B noktası) kadar olan bölümün hacmi ile 30 cm çap değerine sahip gövde yüksekliğine (A noktası) kadar olan bölümün hacmi ayrı ayrı hesaplanıp farkları alınacaktır. Bu amaçla, yine uyumlu gövde profili modellerinin integrali alınarak, elde edilen gövde hacim denkleminde yararlanılarak oluşturulan aşağıdaki eşitlikten yararlanılmalıdır.

$$V_{d_i} = TV * R_d$$

Bu denklemde yer alan R_d değeri, herhangi bir çap değerine (d) sahip olan yüksekliğe kadar olan hacmin gövde hacmine oranını ifade etmektedir. R_d değeri hesaplanıp gövde hacmi ile çarpıldığında, istenilen çap değerine sahip olan yüksekliğe kadar olan hacim hesaplanmaktadır. R_d değeri, aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak belirlenmektedir. Bu eşitlikte kullanılan b_1 , b_2 , b_3 ve b_4 katsayıları, gövde profili modeline ilişkin parametre değerleri olup doğrudan denklemden alınmaktadır.

$$R_d = 1 - \left[\left(b_1^{-((2b_3+1)/b_3)} d^{((2b_3+1)/b_3)} \right) / \left(D^{b_2((2b_3+1)/b_3)} H^{(1-b_4/b_3)(2b_3+1)} \right) \right]$$

$$R_d = 1 - \left[\left(1,5103^{-3,4432} d^{3,4432} \right) / \left(D^{2,6891} H^{0,5017} \right) \right]$$

Bu eşitliğe göre, 30 cm ve 22 cm gövde çaplarına sahip olan yüksekliklere kadar olan bölümlere ilişkin hacim oran değerleri hesaplanmış ve aşağıdaki değerleri almıştır.

$$R_{22} = 1 - \left[\left(1,5103^{-3,4432} 22^{3,4432} \right) / \left(36,4^{2,6891} 26,8^{0,5017} \right) \right]$$

$$R_{30} = 1 - \left[\left(1,5103^{-3,4432} 30^{3,4432} \right) / \left(36,4^{2,6891} 26,8^{0,5017} \right) \right]$$

$$R_{22} = 0,877$$

$$R_{30} = 0,641$$

Hesaplanan bu oran değerleri, gövde hacmi ile çarpılarak, 22 cm ve 30 cm çaplara sahip yüksekliklere kadar olan hacimler hesaplanır.

$$V_{22} = 1,3425 \cdot 0,877 = 1,1774 \text{ m}^3$$

$$V_{30} = 1,3425 \cdot 0,641 = 0,8605 \text{ m}^3$$

Son olarak, bu iki hacim değerinin farkı alındığında, 22 cm ile 30 cm çaplara sahip yükseklikler arasındaki bölümün hacmi hesaplanmış olur.

$$V_{22-30} = 1,1774 - 0,8605$$

$$V_{22-30} = 0,3169 \text{ m}^3$$

Yukarıda verilen örneklerden de anlaşılacağı gibi, uyumlu gövde profili modelleri ile; gövde hacmi, yerden belirli bir yüksekliğe kadar olan bölümün hacmi ve herhangi iki boy ya da herhangi iki çap değeri arasında kalan bölümlere ilişkin hacim değerleri kolaylıkla hesaplanabilmektedir.

Uyumlu gövde profili modellerinden yararlanılarak gövde hacimlerinin belirlenebilmesi için, bu modellerin integrali alınarak elde edilen uyumlu gövde hacim denklemlerinden, kolaylıkla kullanılabilecekleri düşünülenlerin (46 ve 54 no'lu denklemler) katsayıları Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12. Uyumlu gövde hacim denklemlerine ilişkin parametre değerleri

Denklem No	A_1	a_2	a_3
46	0,0000366		
54	0,0000699	1,5620000	1,2919000

3.4. Gövde Profili Modellerinden Yararlanarak Ağaç Hacim Tablolarının Düzenlenmesi

Gövde profili modelleri kullanılarak, gövde hacimlerini doğrudan veren ağaç hacim tabloları da oluşturulabilmektedir. Uyumlu gövde profili modellerinin integrali alınarak oluşturulan gövde hacim denklemlerinden, istenilen tüm göğüs çapı ve ağaç boyu değerlerine ilişkin gövde hacimleri hesaplanarak bu tablolar çift girişli olarak hazırlanabilir.

Demaerschalk (1973) tarafından geliştirilen ve Schumacher-Hall gövde hacim denklemi ile uyumlu olan gövde profili modelinden yararlanılarak bir Çift Girişli Ağaç Hacim Tablosu oluşturulmuş ve Ek Tablo 1'de verilmiştir. Bu tablonun hazırlanması için öncelikle, 14 cm ile 60 cm arasında kalan göğüs çapı değerlerini içeren 2 cm'lik çap basamakları ve 6 m ile 40 m arasında kalan boy değerlerini içeren 2 m'lik boy basamakları oluşturulmuştur. Daha sonra, uyumlu gövde profili denkleminin integrali alınarak elde edilen gövde hacim denklemi kullanılarak tüm çap ve boy değerleri için gövde hacimleri hesaplanmıştır. Bu tabloda, arazi çalışmaları sonucunda elde edilen verilerin çap ve boy basamaklarına dağılımı dikkate alınarak, göğüs çapı-boy ikililerinden anlamsız görülenlere (6 cm-30 m veya 54 cm-10 m gibi) ilişkin gövde hacim değerleri tabloda gösterilmemiştir.

Oluşturulan Çift Girişli Ağaç Hacim Tablosu'ndan yararlanılarak, Kastamonu yöresinde yayılış gösteren Gökmar ağaçlarının gövde hacimleri doğrudan elde edilebilir.



4. TARTIŞMA

Bu çalışmada elde edilen sonuçların, bilinen literatür bilgileri ile uyumlu olduğu söylenebilir. Denenen modellerden birçoğuna ilişkin sonuçlar, aynı modeller üzerinde çalışan diğer araştırmacıların elde etmiş olduğu sonuçlara benzer bir durum göstermektedir.

En basit gövde profili modelleri olan ve herhangi bir hacim denklemi ile uyumlu olmayan polinomiyal modellerden, Kozak vd. (1969) tarafından geliştirilen 1 no'lu model ve Bennet vd. (1978) tarafından geliştirilen 3 no'lu model, kullanılan tüm istatistiksel ölçütler bakımından oldukça başarısız sonuçlar vermişlerdir. Polinomiyal modellerden, Bennet ve Swindel (1972)'in 2 no'lu modeli ile Goulding ve Murray (1976) tarafından geliştirilen 4 no'lu model ise diğer polinomiyal modellere göre daha başarılı sonuçlar vermesine karşın, gövdenin alt kısımlarında ve özellikle dip kütük yüksekliğinde (0,30 m) negatif yönde oldukça hatalı sonuçlar vermişler, başka bir ifade ile gövdenin alt bölümlerine ilişkin gövde çaplarını gerçek değerlerden oldukça eksik hesaplamışlardır.

Literatürde, Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen segmented polinomiyal gövde profili modelinin (5 no'lu model) çoğu ağaç türleri için oldukça başarılı sonuçlar verdiği belirlenmiş olmasına karşın, bu çalışmada kullanılan verilerle Gökmar için, uygulanan tüm gövde profili modelleri arasında en başarısız model olmuştur.

Kozak (1988) tarafından geliştirilen değişken-exponent gövde profili modeli (15 no'lu denklem), tüm modeller arasında, kullanılan tüm istatistiksel uygunluk ölçütlerine göre en başarılı sonuçları vermişlerdir. Perez vd. (1990) tarafından, Kozak (1988)'a ait modelden yararlanılarak geliştirilen değişken-şekil gövde profili modeli (21 no'lu model) de aynı ölçütler bakımından ikinci sırayı almıştır. Newnham (1992) tarafından geliştirilen diğer bir değişken şekil gövde profili modeli olan 22 no'lu model ise başarı sıralamasında orta sıralarda yer almıştır. Literatürde, Kozak (1988) ve Perez vd. (1990) tarafından geliştirilen gövde profili modellerinin, gövdenin şekil değişim yüksekliğini dikkate alan çok sayıda değişkene sahip olmaları nedeniyle oldukça yüksek bir başarı gösterdikleri belirtilmektedir. Sözü edilen bu iki model, modellerin oluşturulmasında kullanılan verilerden bağımsız olarak oluşturulan veri grubu için aynı oran da başarılı olamamışlardır.

Ancak bu olumsuzluğun, modellerden değil, veri grubunda yer alan bazı bozuk şekilli örnek ağaçlardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Oransal boy değerlerinden yararlanarak gövde çaplarını tahmin etmeyi amaçlayan 29 no'lu model (Allen, 1993) de başarılı gövde profili modelleri arasında bulunmakta ve istatistiksel ölçütlere göre yapılan başarı sıralamasında dördüncü sırada yer almaktadır. Buna karşın, bağımsız bir veri grubu ile yapılan, meşçereye uygunluk denetiminde ise yalnız bu model istatistiksel olarak uygun bulunmuş ve ilk iki sırada yer alan 15 ve 21 no'lu gövde profili denklemlerine üstünlük sağlamıştır.

Geometrik esaslara göre oluşturulan gövde profili modellerinin tümü (30, 31, 33 ve 37 no'lu modeller), istatistiksel ölçütlere göre oldukça başarısız sonuçlar vermiştir. Bu modellerden, Ormerod (1973) tarafından geliştirilen 30 no'lu basit eksponansiyel gövde profili modelinde, gövde şeklinin naylonit ($b_1=0,25$), koni ($b_1=0,33$), parabolit ($b_1=0,50$) ve silindir ($b_1=1,00$) gibi geometrik şekillerden birine benzediği varsayımından hareket edilmektedir. Veri grubu için bu katsayılar kullanılarak bu model incelendiğinde, Gökmar türü için gövde şeklinin parabolit olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak bu katsayı, modeller için istatistiksel analiz yardımıyla belirlenmeye çalışıldığında, gövde şeklinin parabolit ile silindir arasında ($b_1=0,66$) olduğu anlaşılmaktadır. Bu da, Gökmarların oldukça dolgun gövdelere sahip olduğunu göstermektedir. Bu modelin başarısının diğer modellere oranla daha düşük bir başarı göstermesi, modelin gövdenin dip kısımlarında gerçeğe göre oldukça küçük çap değeri vermesinden kaynaklanmaktadır.

Chapman-Richards fonksiyonundan yararlanılarak oluşturulan grafikler ile gövde çaplarını hesaplayan 31 no'lu model (Biging, 1984) de başarı bakımından son sıralarda yer almaktadır.

Son yıllarda, gövde profili modelleri ile ilgili birçok araştırmada kullanılan trigonometrik gövde profili modelleri ise Gökmar için, beklenen başarıyı gösterememiştir.

Deneysel verilerle oluşturulan gövde profili modelleri ile geometrik esaslara göre oluşturulan gövde profili modelleri genel olarak karşılaştırıldıklarında, deneysel verilerle oluşturulan modellerin daha başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bunun nedeni,

geometrik esaslara dayanılarak oluşturulan modellerde, gövde şeklinin naylonit, koni ve parabolit gibi bazı standart geometrik şekillere benzetilmesi, deneysel yolla oluşturulan modellerde ise belirli bir geometrik şekle bağlı kalmadan eldeki verilere göre belirlenen ortalama şekil katsayılarının kullanılmasıdır.

Gövde hacim denklemleri ile uyumlu gövde profili modelleri arasında en başarılı sonucu Bruce vd. (1968) tarafından geliştirilen 90 no'lu denklem vermektedir. Demaerschalk (1973) tarafından geliştirilen dört farklı uyumlu gövde profili modelinden (39, 53, 63 ve 72 no'lu denklemler) istatistiksel ölçütlere göre en başarılı olanı, Schumacher-Hall gövde hacim denklemi ile uyumlu olan 53 no'lu denklemdir. Bruce vd. (1968) tarafından geliştirilen model, gövde hacminin ve herhangi iki boy sınırı arasında kalan bölüme ilişkin hacim değerinin hesaplanmasında kullanılabilmesine karşın, iki çap değeri arasında kalan bölüme ilişkin hacim hesaplamalarında kullanılamamaktadır. Ayrıca, bu model ile gövde hacminin hesaplanması da oldukça karmaşık ve uzun işlemleri gerektirmektedir. Bu nedenle, gövde hacimlerinin, gövdenin yerden herhangi bir yüksekliğe kadar olan ya da herhangi iki çap veya herhangi iki boy değeri arasında kalan gövde bölümlerine ilişkin hacim değerlerinin hesaplanmasında, Demaerschalk (1973) tarafından geliştirilen 53 no'lu gövde profili denklemi ve bununla uyumlu Schumacher-Hall hacim denkleminin kullanılması pratik açıdan daha yararlıdır.

Demaerschalk (1973) tarafından geliştirilen 53 no'lu uyumlu gövde profili modeli ile göğüs çapı ve boy değerlerinden yararlanılarak, bir çift girişli ağaç hacim tablosu da oluşturulmuştur. Bu tablo kullanılarak, Kastamonu yöresinde bulunan ve herhangi bir göğüs çapı ve boy değerine sahip Göknaar gövdelerinin hacimleri doğrudan bulunabilmektedir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada; bir ağaç gövdesinin istenilen yüksekliklerdeki gövde çaplarının, gövde hacminin, toprak seviyesinden istenilen herhangi bir yüksekliğe kadar olan hacim değerinin ve herhangi iki çap ya da boy değeri arasında kalan gövde bölümüne ilişkin hacmin hesaplanmasında kullanılabilen gövde profili modelleri, Kastamonu yöresinde yayılış gösteren Uludağ Göknarı (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana*) için düzenlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla 18 farklı model incelenmiş ve en başarılı modeller belirlenmeye çalışılmıştır.

Modellerin başarılarının ortaya konulmasında, Ortalama Hata (\bar{D}), Ortalama Mutlak Hata ($|\bar{D}|$), Hataların Standart Sapması (S_D) ve Açıklanan Varyans Yüzdesi (%PVE) olmak üzere dört değişik istatistiksel ölçüt kullanılmıştır. Modeller, bu ölçütlerin her biri için verilen başarı değerlerinin toplamları (RANK) alınarak karşılaştırılmıştır. Buna göre, modellerin oluşturulması için hazırlanan veri grubu için en başarılı model 15 no'lu model olmuştur. Bu modelin, ortalama hatası $\bar{D}=0,01$ cm, ortalama mutlak hatası $|\bar{D}|=1,33$ cm, hataların standart sapması $S_D=1,83$ cm ve açıklanan varyans yüzdesi ise %PVE=%98,08 olarak hesaplanmıştır. Bu modeli sırasıyla 21, 90 ve 29 no'lu modeller izlemiştir. Başarılı bulunan bu modeller, bağımsız olarak oluşturulan ayrı bir veri grubu kullanılarak test edildiklerinde, 15, 21 ve 90 no'lu modellerin bu veri grubuna uygun olmadığı görülmüştür. Kontrol amacıyla düzenlenen bu veri grubu için en başarılı model 29 no'lu model olmuştur. Bu modelin ortalama hatası $\bar{D}=-0,15$ cm, hataların standart sapması $S_D=1,83$ cm ve hesaplanan t değeri $-1,521$ dir.

Deneysel verilerle oluşturulan gövde profili modelleri, geometrik esaslara göre oluşturulan gövde profili modelleri ile karşılaştırıldıklarında, deneysel verilerle oluşturulan modellerin daha başarılı oldukları belirlenmiştir. Deneysel verilerle oluşturulan modeller arasında da en başarılı model, Değişken-Exponent Gövde Profili Modeli, geometrik esaslara göre oluşturulan modeller arasında ise en başarılı model, Trigonometrik Gövde Profili Modelidir.

Hacim hesaplamalarında kullanılacak uyumlu gövde profili modelleri arasında en başarılı model, 90 no'lu model olmuştur. Bu modelin, ortalama hatası $\bar{D} = -0,05$ cm, ortalama mutlak hatası $|\bar{D}| = 1,46$ cm, hataların standart sapması $S_D = 1,95$ cm ve açıklanan varyans yüzdesi ise %PVE=%97,82 olarak hesaplanmıştır. Bu model, herhangi iki çap değeri arasındaki bölüme ilişkin hacmi hesaplayamaması ve hacim hesaplarının oldukça karışık olması nedeniyle kullanılmamış, onun yerine, ortalama hatası $\bar{D} = -0,2$ cm, ortalama mutlak hatası $|\bar{D}| = 1,70$ cm, hataların standart sapması $S_D = 2,37$ cm ve açıklanan varyans yüzdesi %PVE=%96,76 olan 53 no'lu model seçilmiştir.

Gövde hacmi ile gövdenin belirli bölümlerine ilişkin hacmin hesaplanmasında uyumlu gövde profili modellerinin nasıl kullanıldığını gösteren üç adet örnek çözülmüş, ayrıca uyumlu gövde profili modelleri kullanılarak, çalışma konusu olan ağaç türü (Göknar) için bir çift girişli ağaç hacim tablosu da düzenlenmiştir.

Polinomial gövde profili modelleri, gerek düzenleme ve gerekse kullanım bakımından oldukça basit modeller olmakla birlikte, genellikle hata miktarları yüksek olan modellerdir. Oldukça karmaşık olan segmented polinomial modeller de bu ağaç türü için başarılı sonuçlar vermemiştir. Geometrik esaslara dayanılarak oluşturulan tüm modeller (trigonometrik, basit eksponansiyel ve grafik modeller) de güvenilir sonuçlar vermemiştir. En başarılı model, değişken exponent gövde profili modeli olduğundan, gövde çaplarının hesaplanmasında yüksek bir güven düzeyi arzu ediliyorsa bu modelden faydalanılmalıdır.

Hacim hesaplamalarında, uyumlu gövde profili modelleri uyumsuz gövde profili modellerine göre daha pratiktir. Çünkü, uyumlu denklemlerde hacim değerleri doğrudan, uyumsuz denklemlerde ise bölümlene yöntemi ile hesaplanmaktadır. Hacim hesaplamalarında uyumlu modellerden faydalanılarak, daha kısa sürede ve daha az emekle güvenilir sonuçlar elde edilmektedir. Ayrıca, çap veya boy limitlerine göre belirlenecek herhangi bir gövde bölümünün hacmi de bu modeller ile kolaylıkla hesaplanabilmektedir. Özellikle *Angiospermae* ağaç türlerinin gövdelerinde görülen çatallanmalar düşünülürse, gövdenin çatal oluşumuna kadar olan bölümü ile çatallanmadan sonraki bölümünün farklı değerde olması nedeniyle, uyumlu gövde profili denklemleriyle bu iki bölüm için ayrı ayrı hacim değerleri kolaylıkla hesaplanabilmektedir.

Uyumlu gövde profili modellerinden yararlanarak, bir gövdeden elde edilebilecek odun çeşitleri ve bunların boyutları güvenilir bir şekilde tahmin edilebilmektedir. Özellikle dikili satışlar sırasında, satışa konu olan ağaçlardan elde edilebilecek odun çeşitlerinin (tomruk, direk ve sanayi odunu gibi) boyut ve hacim miktarları da uyumlu gövde profili modelleri kullanılarak belirlenebilmektedir.

Gövde profili modelleri, bir ağaç ya da meşcereden elde edilebilecek odun çeşitlerinin boyut ve hacimlerinin kesim öncesinde belirlenmesine olanak sağladıklarından, planlama çalışmalarında özellikle ekonomik bakımdan büyük değer taşımaktadırlar.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, Kastamonu yöresi Uludağ Gökarnı ağaç türü için geçerlidir. Ancak, elde edilen sonuçların Uludağ Gökarnı'nın yayılış gösterdiği diğer alanlar için de uygun olup olmadığının araştırılması gerekir.

Ülkemizde sadece Sarıçam ve Karaçam (Yavuz, 1995) ile Kızılağaç (Yavuz ve Saraçoğlu, 1999) için gövde profili modelleri düzenlenmiş olup, Gökarn için düzenlenen bu çalışma, konuya ilişkin üçüncü çalışmadır. Diğer ağaç türlerimiz ve özellikle ülkemiz ormancılığında oldukça büyük öneme sahip Ladin (*Picea orientalis*), Kızılcım (*Pinus brutia*), Kayın (*Fagus orientalis*), Meşe (*Quercus* sp.) ve Sedir (*Cedrus libani*) gibi ekonomik değeri yüksek ağaç türleri için de ivedilikle gövde profili modellerinin düzenlenmesi gerekir.

6. KAYNAKLAR

- Alemdağ, I. S., 1988, A Ratio Method for Calculating Stem Volume to Variable Merchantable Limits, and Associated Taper Equations, The Forestry Chronicle, 64, 18-26.
- Allen, P. J., 1993, Average Stem Profile Comparisons for Three Size Classes of Caribbean Pine, Canadian Journal of Forest Research, 23, 2594-2598.
- Anşin, R., 2001, Tohumlu Bitkiler, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Genel Yayın No: 122, Orman Fakültesi Yayın No: 15, Trabzon, 296 s.
- Asan, Ü., 1984, Kazdağı Göknarı (*Abies equi-trojani* Aschers, et Sinten.) Ormanlarının Hasılat ve Amenajman Esasları, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ. Ü. Yayın No: 3205, O. F. Yayın No: 365, 207 s.
- Ata, C., 1995, Silvikültür Tekniği Ders Kitabı, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Bartın Orman Fakültesi Yayınları, Üniversite Yayın No: 4, Fakülte Yayın No: 3, Bartın, 453 s.
- Avery, T. E., Burkhart, H. E., 1983, Forest Measurements, Third Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, USA, 331 p.
- Bailey, R. L., 1994, A Compatible Volume-Taper Model Based on The Schumacher and Hall Generalized Constant Form Factor Volume Equation, Forest Science, 40, 2, 303-313.
- Batu, F., 1995, Uygulamalı İstatistik Yöntemler, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Genel Yayın No: 179, Orman Fakültesi Yayın No : 22, Trabzon, 312 s.
- Bennet, F. A., Swindel, B. F., 1972, Taper Curves for Planted Slash Pine, USDA Forest Service Research Note SE-179, 4 s.

- Bennet, F. A., Lloyd, F. T., Swindel, B. F., Whitehorn, E. W., 1978, Yields of Veneer and Associated Products From Unthinned , Old-Field Plantations of Slash Pine, in The North Florida and South Georgia Flatwoods, Research Paper, Se-176, Asheville, NC, U. S. Department of Agriculture, Forest Service, 80 p.
- Bi, H., Hamilton, F., 1998, Stem Volume Equations for Native Tree Species in Southern New South Wales and Victoria, Australian Forestry, 61, 4, 275-286.
- Bi, H., 1999, Predicting Stem Volume to Any Height Limit for Native Tree Species in Southern New South Wales and Victoria, New Zealand Journal of Forestry Science, 29, 2, 318-331.
- Bi, H., 2000, Trigonometric Variable-Form Taper Equations for Australian Eucalyptus, Forest Science, 46, 3, 397-407.
- Bi, H., Long, Y., 2001, Flexible Taper Equation for Site-Specific Management of *Pinus radiata* in New South Wales, Australia, Forest Ecology and Management, 148, 79-91.
- Biging, G. S., 1984, Taper Equations for Second-Growth Mixed Conifers of Northern California, Forest Science, 30, 4, 1103-1117.
- Biging, G. S., 1988, Estimating The Accuracy of Volume Equations Using Taper Equations of Stem Profile, Canadian Journal of Forest Research, 18, 1002-1007.
- Broad, R. L., Wake, G. C., 1995, Derivative Based Methods for Constructing Volume-Ratio and Taper Equations, Forest Science, 41, 1, 157-167.
- Bruce, D., Curtis, R. O., Vandevering, C., 1968, Development of a System of Taper and Volume Tables for Red Alder, Forest Science, 14, 339-350.
- Burkhart, H. E., 1977, Cubic-Foot Volume of Loblolly Pine to Any Merchantable Top Limit, Southern Journal of Applied Forestry, 1, 7-9 s.

- Burkhart, H. E., Walton, S. B., 1985, Incorporating Crown Ratio Into Taper Equations for Loblolly Pine Trees, Forest Science, 31, 2, 478-484.
- Byrne, J. C., Reed, D. D., 1986, Complex Compatible Taper and Volume Estimation System for Red and Loblolly Pine, Forest Science, 32, 2, 423-443.
- 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.
- Clutter, J. L., 1980, Development of Taper Functions from Variable-Top Merchantable Volume Equations, Forest Science, 26, 1, 117-120.
- Coble, D. W., Wiant, H. V. Jr., 2000, Centroid Method: Comparison of Simple and Complex Proxy Tree Taper Functions, Forest Science, 46, 4, 473-477.
- Coetzee, J., Naicker, S., 1995, Tree Volume and Taper Equations for *Eucalyptus smithii*, ICFR Bulletin Series, 12/95, 9 p.
- Coetzee, J., Naicker, S., 1999, Tree Volume and Taper Equations for *Eucalyptus dunnii*, ICFR Bulletin Series, 7/99, 7 p.
- Coode, M. J. E., Cullen, J., 1965, *Abies Mill.*, In Davis, P. H. (ed.), *Flora of Turkey and The Aegean Islands*, At The University Press, Vol. 1, 67-70.
- Corral, R. S., Chaidez, J. J. N., Sanchez, F. F., 1999, Fitting Taper Functions to Stem Profiles of Five Pine Species in The El Salto, Durango, Region, *Madera y Bosques*, 5, 2, 53-65.
- 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., Walker, R. C., 1989, Profile Models for Estimating Log and Diameters in The Rocky Mountain Region, USDA Forest Research Service Paper RM-284, 9 p.
- 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 RM-286, 15 p.
- Czaplewski, R. L., Bruce, D., 1990, Retransformation Bias in A Stem Profile Model, Canadian Journal of Forest Research, 20, 1623-1630.
- Demaerschalk, J. P., 1972, Converting Volume Equations to Compatible Taper Equations, Forest Science, 18, 241-245.
- Demaerschalk, J. P., 1973, Integrated Systems for The Estimation of Tree Taper and Volume, Canadian Journal of Forest Research, 3, 90-94.
- Demaerschalk, 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.
- Eerikainen, K., 2001, Stem Volume Models with Random Coefficients for *Pinus kesiya* in Tanzania, Zambia and Zimbabwe, Canadian Journal of Forest Research, 31, 879-888.
- Eraslan, İ., 1982, Orman Amenajmanı, İ. Ü. Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 3010/318, İstanbul, 582 s.
- Eraslan, İ., Yüksel, Ş., Giray, N., 1984, Batı Karadeniz Bölgesindeki Değişikyaşlı Kuru Ormanlarının Optimal Kuruluşları Hakkında Araştırmalar, OGM Yayınları, Sıra No: 650, Seri No: 58, Ankara, 161 s.

- Fang, Z., Bailey, R. L., 1999, Compatible Volume and Taper Models with Coefficients for Tropical Species on Hainan Island in Southern China, Forest Science, 45, 1, 85-99.
- Fang, Z., Borders, B. E., Bailey, R. L., 2000, Compatible Volume-Taper Models for Loblolly and Slash Pine Based on A System with Segmented-Stem Form Factors, Forest Science, 46, 1, 1-11.
- Farrar, R. M., Murphy, P. A., 1988, A Versatile Volume-Defining Function for Natural Loblolly Pine Trees, USDA Forest Research Service Paper SO-243, 9 p.
- Firat, F., 1973, Dendrometri, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ. Ü. Yayın No: 1800, O. F. Yayın No: 193, Kurtuluş Matbaası, İstanbul, 359 s.
- Figueiredo-Filho, A. F., Borders, B. E., Hitch, K.L., 1996, Number of Diameters Required to Represent Stem Profiles Using Interpolated Cubic Splines, Canadian Journal of Forest Research, 26, 1113-1121.
- Figueiredo-Filho, A. F., Borders, B. E., Hitch, K.L., 1996, Taper Equations for Pinus teada in Southern Brazil, Forest Ecology and Management, 83, 39-46.
- Figueiredo-Filho, A. F., Schaff, L. B., 1999, Comparison between Predicted Volumes Estimated by Taper Equations and True Volumes Obtained by The Water Displacement Technique, Canadian Journal of Forest Research, 29, 451-461.
- Flewelling, J. W., Raynes, L. M., 1993, Variable-Shape Stem-Profile Predictions for Western Hemlock. Part I, Predictions from DBH and Total Height, Canadian Journal of Forest Research, 23, 520-536.
- Forslund, R. R., 1991, The Power Function as A Simple Stem Profile Examination Tool, Canadian Journal of Forest Research, 21, 193-198.

- Gordon, A., 1983, Comparison of Compatible Polynomial Taper Equations, New Zealand Journal of Forestry Science, 13, 2, 146-155.
- Gordon, A. D., Lundgreen, C., Hay, E., 1999, Composite Taper Equations to Predict Over- and Under-Bark Diameter and Volume of *Eucalyptus pilularis*, *E. globoidea* and *E. muelleriana* in New Zealand, New Zealand Journal of Forestry Science, 29, 2, 311-317.
- Goulding, C. J., Murray, J. C., 1976, Polynomial Taper Equations That Are Compatible with Tree Volume Equations, New Zealand Journal of Forestry Science, 5, 313-322.
- 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. G., Schabenberger, O., Kong, F., 2000, Prediction From An Integrated Regression Equation: A Forestry Application, Biometrics, 56, 414-419.
- Hann, D. W., 1994, A Key to The Literature Presenting Tree Volume and Taper Equations for Species in The Pacific Northwest and California, Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis, Research Contribution 6, 58 p.
- 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.
- Huang, S., Titus, S, Price, D., Morgan, D., 1999, Validation of Ecoregion-Based Taper Equations for White Spruce in Alberta, The Forestry Chronicle, 75, 2, 281-292.
- Kalipsız, A., 1984, Dendrometri, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No: 3194, O.F. Yayın No: 354, İstanbul, 407 s.
- Kapucu, F., 1987, Ormancılık Bilgisi, K. T. Ü Orman Fakültesi Yayınları, Trabzon, 308 s.

- Kapucu, F., Yavuz, H., Gül, A. U., Mısır, N., 2002, Kestane Meşcerelerinin Hasılatı ve Amenajman Esasları, TOGTAG / TARP-2229, Basılmamıştır, 118 s.
- Katz, A., Dunningham, A. G., Gordon, A., 1984, A Compatible Volume and Taper Equation for New Zealand *Pinus radiata* D. Don Grown Under The Direct Sawlog Regime, New Zealand, FRI Bulletin, 67, 12 s.
- Kayacık, H., 1967, Orman ve Park Ağaçlarının Özel Sistematiği, I. Cilt, Gymnospermae, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- Kilki, P., Varmola, M., 1981, Taper Curve Models for Scots Pine and Their Applications, Acta Forestalia Fennica, 174, 60 p.
- Kilki, P., 1983, Sample Trees in Timber Volume Estimation, Acta Forestalia Fennica, 182, 35 p.
- Korhonen, K. T., 1992, Calibration of Upper Diameter Models in Large-Scale Forest Inventory, Silva Fennica, 26, 4, 231-239.
- Kozak, A., Munro, D. D., Smith, J. H. G., 1969, Taper Functions and Their Applications in Forest Inventory, The Forestry Chronicle, 45, 278-283.
- Kozak, A., 1988, A Variable Exponent Taper Equation, Canadian Journal of Forest Research, 18, 1363-1368.
- Kozak, A., Smith, J. H. G., 1993, Standards for Evaluating Taper Estimating Systems, The Forestry Chronicle, 69, 4, 438-444.
- Kozak, A., 1997, Effects of Multicollinearity and Autocorrelation on The Variable-Exponent Taper Functions, Canadian Journal of Forest Research, 27, 619-629.
- Köksal, B. A., 1995, İstatistik Analiz Metodları, Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 572 s.

- Lahtinen, A., 1988, On The Construction of Monotony Preserving Taper Curves, Acta Forestalia Fennica, 203, 34 p.
- Liu, C. J., 1980, Log Volume Estimating with Spline Approximation, Forest Science, 26, 3, 361-369.
- Loetsch, F., Zöhrer, F., Haller, K. E., 1973, Forest Inventory, Volume II, BLV Verlagsgesellschaft, München, 469 p.
- Lynch, T. B., 1986, Total Cubic Volume Equations Implied by Diameter-Based Merchantable to Total Volume Ratio Models, Forest Science, 32, 1, 262-267.
- MacDonald, G. B., Forslund, R. R., 1986, Application of A Geometrical Volume Equation to Species with Different Bole Forms, Canadian Journal of Forest Research, 16, 311-314.
- Maguire, D. A., Batista, J. L. F., 1996, Sapwood Taper Models and Implied Sapwood Volume and Foliage Profiles for Coastal Douglas-Fir, Canadian Journal of Forest Research, 26, 849-863.
- Martin, A. J., 1981, Taper and Volume Equations for Selected Appalachian Hardwood Species, USDA Forest Service Research Paper, NE-490, 22 p.
- Matney, T. G., Sullivan, A. D., 1982, Variable Top Volume and Height Prediction for Slash Pine Trees, Forest Science, 28, 274-282.
- Matney, T. G., Hodges, J. D., Sullivan, A. D., Ledbetter, J. R., 1985, Tree Profile and Volume Ratio Equations for Sweetgum and Cherrybark Oak Trees, Southern Journal of Applied Forestry, 9, 222-226.
- Max, T. A., Burkhart, H. E., 1976, Segmented Polynomial Regression Applied to Taper Equations, Forest Science, 22, 3, 283-289.

- McClure, J. P., Czaplewski, R. L., 1986, Compatible Taper Equation for Loblolly Pine, Canadian Journal of Forest Research, 16, 1272-1277.
- McTague, J. P., Bailey, R. L., 1987, Simultaneous Total and Merchantable Volume Equations and A Compatible Taper Function For Loblolly Pine, Canadian Journal of Forest Research, 17, 87-92.
- McTague, J. P., Stansfield, W. F., 1988, Total and Merchantable Volume Equations and Taper Functions for Southwestern Ponderosa Pine, Western Journal of Applied Forestry, 3, 4, 123-125.
- Merev, N., 1997, Odun Anatomisi ve Odun Tanıtımı, K.T.Ü Orman Fakültesi, Ders Teksirleri Serisi, No: 88, Trabzon, 148 s.
- M'Hirit, D., Postaire, J. G., 1985, A Nonparametric Technique for Taper Function Estimation, Canadian Journal of Forest Research, 15, 862-871.
- Miraboğlu, M., 1955, Göknarlarda Şekil ve Hacim Araştırmaları, O.G.M. Yayınları, 188, 5, İstanbul, 103 s.
- Monserud, R. A., 1981, Estimating Truncated Tree Volumes with The Behre Hyperboloid and Existing Total Volume Equations, Forest Science, 27, 2, 253-265.
- Muhairwe, C. K., 1999, Taper Equations for *Eucalyptus pilularis* and *Eucalyptus grandis* for The North Coast in New South Wales, Australia, Forest Ecology and Management, 113, 251-269.
- Muhairwe, C. K., 1994, Tree Form and Taper Formation Over Time for Interior Lodgepole Pine, Canadian Journal of Forest Research, 24, 1904-1913.
- Muhairwe, C. K., Lemay, V. M., Kozak, A., 1994, Effects of Adding Tree, Stand and Site Variables to Kozak's Variable-Exponent Taper Equation, Canadian Journal of Forest Research, 24, 252-259.

- Newberry, J. D., Burkhart, H. E., 1986, Variable-Form Stem Profile Models for Loblolly Pine, Canadian Journal of Forest Research, 16, 109-114.
- Newberry, J. D., Burkhart, H. E., Amateis, R. L., 1989, Individual Tree Merchantable Volume to Total Volume Ratios Based on Geometric Solids, Canadian Journal of Forest Research, 19, 679-683.
- Newnham, R. M., 1988, A Variable Form Taper Function, Canada Forest Service, Petawawa Natl. For. Ins. Inf. Rep. PI-X-83.
- Newnham, R. M., 1992, Variable-Form Taper Functions for Four Alberta Tree Species, Canadian Journal of Forest Research, 22, 2, 210-223.
- Ormerod, D. W., 1973, A Simple Bole Model, The Forestry Chronicle, 49, 136-138.
- Ormerod, D. W., 1986, The Diameter-Point Method for Tree Taper Description, Canadian Journal of Forest Research, 16, 484-490.
- Parresol, B. R., Hotvedt, J. E., Cao, Q. V., 1987, A Volume and Taper Prediction System for Bald Cypress, Canadian Journal of Forest Research, 17, 250-259.
- Perez, D. N., Burkhart, H. E., Stiff, C. T., 1990, A Variable Form Taper Function for *Pinus oocarpa* Schiede in Central Honduras, Forest Science, 36, 1, 186-191.
- Petersson, H., 1999, A Segmented Stem Profile Model for *Pinus sylvestris*, Forest Ecology and Management, 124, 13-26.
- Real, P. L., Moore, J. A., Newberry, J. D., 1989, Principal Components Analysis of Tree Stem Profiles, Canadian Journal of Forest Research, 19, 1538-1542.
- Reed, D. D., Green, E. J., 1984, Compatible Stem Taper and Volume Ratio Equations, Forest Science, 30, 4, 977-990.

- Reed, D. D., Byrne, J. C., 1985, A Simple, Variable Form Volume Estimation System, The Forestry Chronicle, 61, 87-90.
- Rustagi, K. P., Loveless, R. S. Jr., 1991, Compatible Variable-Form Volume and Stem-Profile Equations for Douglas-Fir, Canadian Journal of Forest Research, 21, 143-151.
- Saatçioğlu, F., 1976, Silvikültür I Silvikültürün Biyolojik Esasları ve Prensipleri, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü Yayın No: 2187, O.F. Yayın No: 222, İstanbul, 423 s.
- Saraçoğlu, Ö., 1988, Karadeniz Yöresi Gökmar Meşcerelerinde Artım ve Büyüme, Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, İstanbul, 312 s.
- Seegrist, D. W., 1974, Statistical Models and Estimators of The Proportion of Volume by Log Position, Forest Science, 20, 4, 357-362.
- Sharma, M., Oderwald, R. G., 2001, Dimensionally Compatible Volume and Taper Equations, Canadian Journal of Forest Research, 31, 797-803.
- Silva, J. A. A., Borders, E. B., 1993, A Tree Volume Equation Based on Two Lower Stem Diameters for Loblolly Pine in The Southeastern United States, Southern Journal of Applied Forestry, 17, 3, 160-162.
- Solomon, D. S., Droessler, T. D., Lemin, R. C. Jr., 1989, Segmented Quadratic Taper Equations for Spruce and Fir in The Northeast, Northern Journal of Applied Forestry, 6, 123-126.
- Sun, O., Eren, M. E., Orpak, M., 1978, Temel Ağaç Türlerimizde Tek Ağaç ve Birim Alandaki Odun Çeşidi Oranlarının Saptanması, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Tarım ve Ormancılık Grubu, Proje No: TOAG-288, 119 s.

- Şentürk, N., 1997, Dişbudak (*Fraxinus angustifolia* Wahl. subsp. *oxycarpa* (Bieb.Ex Willd) Fanco & Rocha Afonso) Gövde Hacım ve Ağaç Hacım Tablolarının Düzenlenmesi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 98 s.
- Tatsuo, S., 1988, A Theoretical Stem Taper Curve (II), Journal of Japan Forest Society, 70, 199-205.
- Therien, G., Camire, C., 1986, Use of Taper Curve Solved by An Algebraic Method in Silvicultural Research, The Forestry Chronicle, 62, 529-532.
- Thomas, C. E., Parresol, B. R., 1991, Simple, Flexible, Trigonometric Taper Equations, Canadian Journal of Forest Research, 21, 1132-1137.
- Valenti, M. A., Cao, Q. V., 1986, Use of Crown Ratio to Improve Loblolly Pine Taper Equations, Canadian Journal of Forest Research, 16, 1141-1145.
- Wahjono, D., Atmawijaya, R. Saryono, L. H., 1994, Stem Volume Estimation Model of *Shorea pervifolia* Dyer Based on The Integration of The Taper Equation in Kalimantan, Bulletin Penelitian Hutan, 559, 1-18.
- Williams, M. S., Reich, R. M., 1997, Exploring The Error Structure of Taper Equations, Forest Science, 43, 3, 377-386.
- Yaltırık, F., 1997, Orman ve Park Ağaçlarımız, İğne Yapraklılar, 114 s.
- Yavuz, H., 1995, Taşköprü Orman İşletmesinde Sarıçam ve Karaçam İçin Uyumlu Gövde Çapı, Gövde Hacmı ve Hacım Oran Denklem Sistemlerinin Geliştirilmesi, Trabzon, (Basılmamıştır), 101 s.
- Yavuz, H., 1995, Uyumlu ve Uyumsuz Gövde Çapı Modelleri, K.T.Ü. Orman Fakültesi Bahar Yarıyılı Seminerleri, Fakülte Yayın No: 49, 101-106.

- Yavuz, H., 1997, Compatible Stem Taper, Total Tree Volume and Volume Ratio Equation Systems, XI. World Forestry Congress, Antalya, Vol. 1.
- Yavuz, H., Saraçoğlu, N., 1999, Kızılağaç için Uyumlu ve Uyumsuz Gövde apı Modelleri, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 23, Ek Sayı 5, 1275-1282.
- Yavuz, H., Sakıcı, O. E., 2002, Gövde Profili Modellerinin Bilimsel ve Pratik Açıdan İrdelenmesi, Orman Amenajmanı'nda Kavramsal Açılımlar ve Yeni Hedefler Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, İstanbul, 233-241.



7. EKLER

Ek Tablo 1. Uyumlu gövde profili modeli ile oluşturulan çift girişli ağaç hacim tablosu

Gövde Çapı (cm)	Boylar (m)																			
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40		
14	0,04	0,06	0,08	0,11	0,13	0,16	0,18													
16	0,05	0,08	0,10	0,13	0,16	0,19	0,22													
18		0,09	0,13	0,16	0,19	0,23	0,27	0,31												
20		0,11	0,15	0,19	0,23	0,27	0,32	0,36												
22			0,17	0,22	0,26	0,31	0,37	0,42	0,47											
24			0,20	0,25	0,30	0,36	0,42	0,48	0,54											
26				0,28	0,34	0,41	0,47	0,54	0,62	0,69										
28				0,32	0,39	0,46	0,53	0,61	0,69	0,77										
30					0,43	0,51	0,59	0,68	0,77	0,86	0,95									
32					0,47	0,56	0,66	0,75	0,85	0,95	1,06									
34						0,62	0,72	0,83	0,94	1,05	1,16	1,28								
36						0,68	0,79	0,90	1,02	1,14	1,27	1,40								
38							0,86	0,98	1,11	1,25	1,38	1,52	1,66							
40							0,93	1,07	1,21	1,35	1,50	1,65	1,80							
42								1,15	1,30	1,46	1,61	1,78	1,94	2,11						
44								1,24	1,40	1,57	1,74	1,91	2,09	2,27						
46									1,50	1,68	1,86	2,05	2,24	2,43	2,63					
48									1,60	1,79	1,99	2,19	2,39	2,60	2,81					
50										1,91	2,12	2,33	2,55	2,77	3,00	3,23				
52										2,03	2,25	2,48	2,71	2,95	3,19	3,43				
54											2,39	2,63	2,88	3,13	3,38	3,64	3,90			
56											2,53	2,78	3,04	3,31	3,58	3,85	4,13			
58												2,94	3,22	3,50	3,78	4,07	4,36	4,66		
60												3,10	3,39	3,69	3,99	4,29	4,60	4,92		

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Mardin'de doğdu. İlköğrenimini Kuzey Kıbrıs'ta, Ortaöğrenimini Ankara'da tamamladı. 1995 yılında KTÜ Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 1999 yılında mezun olan SAKICI, aynı yıl KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine başladı. 2000 yılında KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı Orman Amenajmanı Bilim Dalı'na Araştırma Görevlisi olarak atandı. Halen aynı görevi yürütmekte olup, İngilizce bilmektedir.



**TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**