ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUDURNU-SIRÇALI ORMAN İŞLETME ŞEFLİĞİNDE YAYILIŞ GÖSTEREN ANADOLU KARAÇAMI [*Pinus nigra* arnold. subsp. *pallasiana* (lamb.) holmboe] MEŞCERELERİ İÇİN GÖVDE PROFİL DENKLEM SİSTEMLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Fatih Alpaslan ATALAY

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇANKIRI
2014

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Fatih Alpaslan ATALAY tarafından hazırlanan "Mudurnu-Sırçalı Orman İşletme Şefliğinde Yayılış Gösteren Anadolu Karaçamı [*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe] Meşcereleri için Meşcereleri İçin Gövde Profil Denklem Sistemlerinin Geliştirilmesi" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. İlker ERCANLI

Jüri Üyeleri :

Başkan **:** Yrd. Doç. Dr. İlker ERCANLI

Üye **:** Yrd. Doç. Dr. Muammer ŞENYURT

Üye **:** Yrd. Doç. Dr. Oytun Emre SAKICI

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Sezgin ÖZDEN
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MUDURNU-SIRÇALI ORMAN İŞLETME ŞEFLİĞİNDE YAYILIŞ GÖSTEREN ANADOLU KARAÇAMI [*pinus nigra* arnold. Subsp. *pallasiana* (lamb.) HOLMBOE] MEŞCERELERİ İÇİN MEŞCERELERİ İÇİN GÖVDE PROFİL DENKLEM SİSTEMLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Fatih Alpaslan ATALAY

Çankırı Karatekin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İlker ERCANLI

Tek ağaçlara ilişkin toplam hacim yanında ağaç gövdelerinden üretilebilecek tomruk, maden direği ve sanayi odunu gibi odun çeşitlerinin miktarlarına ilişkin daha ayrıntılı hacim tahminleri, Gövde Çapı ve Gövde Hacim Denklemleri ile elde edilebilmektedir. Bu bakımdan; her ağaç türü ve farklı yetişme ortamlarında, tek ağaçların odun hacminin daha doğru ve ayrıntılı olarak belirlenebilmesi için Gövde Çapı ve Gövde Hacim Denklemlerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada, Bolu Orman Bölge Müdürlüğü, Mudurnu Orman İşletme Müdürlüğü, Sırçalı Orman İşletme Şefliği'nde yayılış gösteren Karaçam [*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe] ağaçları için Max and Burkhart (1976), Parresol *et al.* (1987) ve Jiang *et al.* (2005) denklemleri kullanılarak uyumlu gövde çapı ve gövde hacim denklemleri geliştirilmiş ve bu denklemlerin başarı durumları karşılaştırılmıştır. Çeşitli istatistiksel başarı ölçütleri ile yapılan karşılaştırmada, Jiang *et al.* (2005) denklemi % 94.44'lük model açıklayıcılığı ile ağaçların gövde çapı gelişimlerini modellemede en başarılı denklem olarak belirlenmiştir. En başarılı denklem olarak belirlenen Jiang *et al.* (2005) denkleminin çalışmaya konu bölgedeki Karaçam ağaçlarına uygunluğu bağımsız bir veri grubu ile test edilerek $p<0.05$ önem düzeyi uygun olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada geliştirilen Jiang *et al.* (2005) denklemini esas alan ağaç hacim eşitliği ile Gülen (1959) tarafından geliştirilen çift girişli ağaç hacim denklemine oranla daha başarılı hacim tahminleri elde edilmiştir. Bu bakımdan, Karaçam'ın yayılış gösterdiği diğer alanlar için daha ayrıntılı ve doğru sonuçlar verebilecek gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin geliştirilmesi, bu alanlardaki ormanların işletilmesine önemli katkılar sağlayacaktır.

2014, 47 Sayfa

ANAHTAR KELİMELER: Gövde çapı ve gövde hacim denklemleri, karaçam, ağaç hacim tahminleri

ABSTRACT

M.S. Thesis

Developing Compatible Taper and Volume Equations for Crimean Pine [*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe] in Mudurnu-Sırçalı Forest District Enterprise

Fatih Alpaslan ATALAY

Çankırı Karatekin University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Forest Engineering

Supervisors: Yrd. Doç. Dr. İlker ERCANLI

In addition to the total volume predictions of individual trees, the detailed volume predictions for timber assortments, i. e. mine poles, sawlogs, firewoods and industrial wood, can be acquired by the compatible taper and volume equations. In this regard, the compatible taper and volume equations are required to accurately and comprehensively obtain individual tree wood volume predictions in various tree species and sites.

The compatible taper and volume equations were developed by using Max and Burhart (1976), Parresol *et. al*. (1987) and Jiang *et. al*. (2005) equations for Crimean Pine [*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe] trees located in Sircali Planning Unit, Mudurnu Forest Enterprise, Bolu Forest District Directoarate, and these models' fitting results were compared. In comparisons including some statistical indices, Jiang et. al. (2005)'s equation with 94.44 % of the coefficient of determination were found to produce the most satisfactory fits than other equation. The best predictive Jiang et. al. (2005)'s equation were decided to be appropriate at 0.05 significant level for the studied Crimean pine trees by testing independent data.

In this study, the volume equation based on Jiang *et. al*. (2005)'s equation produced better predictive volume predictions than Gülen (1959)'s double entry volume equation and tables. In this regard, the development of the compatible taper and volume equations to obtain the detailed volume predictions for other Crimean pine's distribution areas will provide important contributions to these forest managements.

2014, 47 pages

Key Words: The compatible taper and volume equations, crimean pine, tree volume predictions

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

"Mudurnu-Sırçalı Orman İşletme Şefliğinde Yayılış Gösteren Anadolu Karaçamı [*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe] Meşcereleri için Gövde Profil Denklem Sistemlerinin Geliştirilmesi" adlı bu çalışma Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Hasılat Anabilim Dalında ders dönemi bitimi sonunda Yüksek Lisans Tez çalışması olarak hazırlanmıştır. Başlangıç aşamasından, çalışmanın sonlandırılmasına kadar geçen sürede yardım ve desteklerini esirgemeyen herkese sonsuz teşekkür ederim.

İlk olarak çalışma konusunun seçiminden, çalışmanın sonlandırılmasına kadar her aşamada desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübesinden sıkça yararlandığım danışman hocam sayın Yrd. Doç. Dr. İlker ERCANLI 'ya, Yrd. Doç. Dr. Muammer ŞENYURT'a, Yrd. Doç. Dr. Oytun Emre SAKICI'ya, Arş. Gör. Ender BUĞDAY'a. ve sevgili arkadaşlarım Mudurnu Orman İşletme Müdürlüğü Sırçalı Orman İşletme Şefi Osman KOLTUK'a, Vakıf Aktaş İşletme Şefi Adem UZUN'a, Orm Müh. Fatih BAYNAZOĞLU'na, Orm. Müh. Davut ATAR'a Ahmet Sefa ÜNAL, Mustafa ESER, Doruk GÜRBÜZ, Harun UYSAL, Fethi YILMAZ ve Yüksek Lisans'a başlamamda ve bitirmemde büyük katkılar sağlayan Züleyha ARZU'ya teşekkürlerimi bir borç bilirim. Son olarak bütün hayatım boyunca beni hem maddi hem de manevi olarak destekleyen ve her durumda yanımda olduklarını bildiğim aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

Fatih Alpaslan ATALAY
Çankırı, Şubat 2014

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ v
ÇİZELGELER DİZİNİ vi
1.GİRİŞ 1
1.2. Karaçam(*Pinus nigra*) Türüne Ait Genel Bilgiler 7
1.2.1. Karaçamın doğal yayılışına ilişkin bilgiler 7
1.2.2. Botanik özellikleri 8
1.2.3. Silvikültürel ve ekolojik özellikleri 9
1.2.4. Odun kullanım alanları 10
1.2.5. Karaçam türüne ilişkin literatür özeti 11
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR 12
2.1. Örnek Ağaçların Seçimi ve Yapılan Ölçümler 12
2.2. Yöntem 18
3. BULGULAR 22
3.1. Gövde Çapı Modeline İlişkin Bulgular 22
3.2. Gövde Hacmine İlişkin Bulgular 30
4.SONUÇLAR VE ÖNERİLER 37
KAYNAKLAR 40
Ek-1. Ağaçlara İlişkin Hacim Hesaplamalarında Kullanılan Excel Visual Basic Uygulamasına İlişkin Kodlar 45
ÖZGEÇMİŞ 47

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Karaçamın Türkiye'deki doğal yayılışı 8
Şekil 2.1. Çalışma alanlarının coğrafik konumu 13
Şekil 2.2. Kesilen ağaçlar üzerinde gerçekleştirilen çap ölçümleri 14
Şekil 2.3. Modellerin oluşturulmasında (I.) ve denetiminde (II.) kullanılan verilerin çap-boy ilişkisi 16
Şekil 2.4. Modellerin oluşturulmasında (I.) ve denetiminde (I.) kullanılan verilerin oransal çap değerlerinin oransal boy değerlerine dağılımı 17
Şekil 3. 1. Jiang *et al.* (2005) modelinin oluşturulmasında kullanılan veriler için elde edilen tahmin değerlerini arazide ölçülen çap değerlerine göre değişimi 27
Şekil 3. 2.Jiang *et al.* (2005) modelinin oluşturulmasında kullanılan veriler için elde edilen model hatalarının tahmin edilen çap değerleri göre değişimi 27
Şekil 3. 3.Bağımsız veri grubuna ilişkin model tahmin değerlerinin arazide ölçülen çap değerlerine göre değişimi 28
Şekil 3. 4. Bağımsız veri grubuna ilişkin model hatalarının tahmin değerlerine göre değişimi 29
Şekil 3. 5. Geliştirilen Jiang *et al.* (2005) denklemi ile elde edilen tahmini çap değerlerinin gerçek ölçüm veriler ile Şahin (2012) tarafından geliştirilen denklem ile karşılaştırılması 30
Şekil 3.6.Jiang *et al.* (2005) (I) ve Gülen (1959) (II) denklemleri ile elde edilen model verilerine ilişkin hacim hatalarının çap sınıflarına dağılımı 35
Şekil 3.7. Jiang *et al.* (2005) (I) ve Gülen (1959) (II) denklemleri ile elde edilen bağımsız veri grubuna ilişkin hacim hatalarının çap sınıflarına dağılımı 36

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Örnek ağaçlara ilişkin istatistiksel bilgiler.....12
Çizelge2.2. Modellerin oluşturulmasında ve denetiminde kullanılan verilerin çap ve boy sınıflarına dağılımı 15
Çizelge3.1. Geliştirilen farklı gövde çapı denklemlerinin parametre değerleri ile çeşitli model başarı ölçütleri 23
Çizelge3.2.Oransal çap değerlerine göre çeşitli hata değerlerinin değişimi 25
Çizelge3.3. Oransal boy değerlerine göre çeşitli hata değerlerinin değişimi.....26
Çizelge3.4. Hacim denkleminin geliştirilmesinde kullanılan veriler için hacim değerlerine ilişkin çeşitli hata değerleri 34
Çizelge3.5. Bağımsız veri grubu için hacim değerlerine ilişkin çeşitli hata değerleri 34

1.GİRİŞ

Orman; uzun bir zaman ve geniş alan boyutlarında işlevlerini sürdüren, doğaya açık bir sistem yapısı gösteren bir ekosistemdir. Doğanın en önemli bileşeni olan orman ekosistemi, ihtiyaçlarının önemli bir kısmını karşılamaktadır. İnsanoğlu ilk var olduğu dönemden günümüze, insanların ormanlardan beklentileri sürekli olarak artmış ve böylece insan-orman ilişkisi daha da belirginleşmiştir. Bu sürecin doğal sonucu olarak da dünyada, orman ürünlerine olan gereksinimler hızla artarken orman alanları da sürekli olarak azalmaktadır (Asan 2000, Asan vd. 2001).

Orman ürünleri üretimi işlevi, ormanlardan ekonomik değeri fazla olan odun hammaddesini üreterek, toplumun ve topluma hizmet eden endüstri kuruluşlarının taleplerini karşılamak şeklinde özetlenebilir. Ormanlardan elde edilecek ürünleri, ana ürün olarak odun ve yan ürünler olarak da odun dışı ürünler şeklinde ikiye ayırmak gerekir. Ormanların sağladığı üretim dışı işlevleri ise, toplumun güvenliği, huzuru ve mutluluğu için gerekli olan su kaynaklarının düzenlenmesi ve korunması, su ya da rüzgar etkisiyle oluşabilecek toprak kayıplarının önlenmesi, çığ tehlikesinin ve daha bir çok odun dışı hizmetler olarak sıralamak mümkündür (Kapucu 1987).

İnsanoğlu talepleri ile orman kaynaklarının durumu arasındaki denge göz önüne alındığında, ormanlardan optimal ve sürekli bir faydalanma için mevcut orman alanlarının planlanarak kullanılması gerekmektedir. Ormanların odun üretimi ile diğer bir çok fonksiyondan devamlı ve optimal bir biçimde yararlanma sırasında, gelecek kuşakların orman ürün ve hizmetlerine olan gereksinimleri ve orman ekosistemlerinin sürekliliği göz ardı edilmemeli, yapılacak tüm planlar ve uygulanacak tüm müdahalelerde bu ölçütler kesinlikle dikkate alınmalıdır. Bu bakımdan, her bir ağaçtan sağlanacak ürün çeşidi ve miktarı arttırılmalıdır (Yavuz ve Sakıcı 2002).

Ormanların planlamasında en önemli temel altlıklar; planlamaya konu olan orman alanına ilişkin alansal veriler ile yetişme ortamına, ağaç servetine ve odun dışı ürünlerine ilişkin sayısal verilerdir. Tüm bu sayısal değerlerin ortaya konulmasına,

ormanların aktüel durumunun belirlenmesi veya kısaca orman envanteri adı verilmektedir (Eraslan ve Kalıpsız 1967). Orman envanteri, ormancılıktaki bütün planlama işlemlerinin temelini oluşturur. Özellikle, orman amenajman planların düzenlenmesinde; orman envanteri en temel altlık görevi görmektedir. Bu temel ne kadar sağlam ve güvenilir ise, düzenlenecek plan ve bu plana bağlı olarak yürütülecek tüm işletme teknikleri de o kadar sağlam ve güvenilir olacaktır (Fırat 1973, Eler 1977).

Ormanlardan sürekli ve optimal bir yararlanmayı hedef alan amenajman planlarının hazırlanmasında, orman envanterinin gerçekleştirilebilmesi için meşcerelerin bugünkü yapısı ile dinamiği hakkındaki çok sayıda verinin toplanması gerekmektedir. Meşcere dinamiğinin bir bileşeni olarak; meşcere hacmi ve meşcereden elde edilebilecek odun çeşitleri ile miktarının bilinmesi, orman envanterinde en önemli unsurlarından birisidir. Dikili gövde hacminin doğru tahmini, odun kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi açısından hem pratik ormancılık çalışmaları hem de bilimsel araştırmalar için gereklidir (Barrio-Anta *et al.* 2007). Ülkemiz ormancılık uygulamalarında, diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında daha pratik olmaları nedeniyle ağaçlara ilişkin hacim tahminlerinde "**Ağaç Hacim Tabloları Yöntemi"** yaygın bir biçimde kullanılmaktadır (Kalıpsız 1984). Ağaç hacim tabloları, dikili ağaçların çeşitli boyutlarının fonksiyonu olarak hacim değerlerini veren tablolardır (Kalıpsız 1999). Ağaç hacim tabloları, nispeten ölçümü kolay olan ağaç özellikleri (göğüs çapı ve ağaç boyu) yardımı ile doğrudan ölçümü zor olan ağaç hacminin belirlenmesinde kullanılan ve çap-boy-hacim ilişkisini gösteren regresyon denklemlerinden türetilen tablolardır (Bozkuş ve Carus 1997). Yalnız göğüs çapına göre düzenlendiklerinde "Tek Girişli Ağaç Hacim Tabloları", göğüs çapı ve ağaç boyuna göre düzenlendiklerinde "Çift Girişli Ağaç Hacim Tabloları", göğüs çapı ve ağaç boyuna ek olarak ağaç boyunun belirli bir oranına (örneğin % 30) karşılık gelen yükseklikteki gövde çapı ya da yerden 7 metre yüksekliğindeki gövde çapı gibi üç ya da daha çok değişkene göre düzenlendiklerinde ise "Çok Girişli Ağaç Hacim Tabloları" olarak isimlendirilmektedir. Geçerli oldukları alanın büyüklüğüne göre de "Yöresel (Lokal) Ağaç Hacim Tabloları", "Bölgesel Ağaç Hacim Tabloları" ve "Genel Ağaç Hacim Tabloları" olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır (Kapucu vd. 2002).

Orman amenajman planlarının hazırlanmasında, sadece çap ölçümü ile ağaç hacim tahminlerini sağlamaları ile pratik bir yöntem olarak, tek girişli ağaç hacim denklemleri tercih edilmektedir. Tek girişli ağaç hacim denklemleri; tek ağaçların toplam gövde hacimlerinden gidilerek meşcerenin 1 hektarlık toplam alanına veya tamamına ilişkin hacim miktarının tahmin edilmesinde kullanılmakta olup, bu denklemler; ağaç gövdelerinden üretilebilecek tomruk, maden direği ve sanayi odunu gibi odun çeşitlerinin miktarları konusunda herhangi bir tahmin olanağı sunamamaktadırlar (Sakıcı 2002, Aktürk 2006, Özçelik vd. 2012). Bu bakımdan, ağaçlardan elde edilebilecek odun çeşitlerine ilişkin tahminler yapabilecek ve böylece dikili satış yönteminin yoğun olarak kullanılması ve sürekli değişen pazar koşullarının gerektirdiği gövde hacmine ilişkin ayrıntılı hacim tahminlerine imkân sağlayabilecek yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır (Yavuz ve Saraçoğlu 1999, Yavuz ve Sakıcı 2002, Özçelik ve Alkan 2011). Ayrıca, orman ürünlerine olan talep artışına paralel olarak ticari standartlar da hızla değişmektedir. Bu durumda, geçmişteki sabit standartlar doğrultusunda oluşturulan gövde hacmi eşitlikleri veya ağaç hacim tabloları yetersiz kalmaktadır (Yavuz ve Sakıcı 2002).

Tek ağaçların toprak seviyesinden gövde üzerindeki herhangi bir yükseklik ya da çapa kadar olan kısmına veya gövde üzerinde belirlenen herhangi iki yükseklik ya da çap değerleri arasında kalan bölümüne ilişkin ayrıntılı hacim tahminleri, gövde çapı ve gövde hacim denklemleri (**Stem taper and volume equations**) ile elde edilebilmektedir (Yavuz 1995, Yavuz ve Saraçoğlu 1999, Sakıcı 2002, Özçelik vd. 2012). Bu bakımdan; tek ağaçların odun hacminin daha doğru ve ayrıntılı olarak belirlenebilmesi, her ağaç türü ve farklı yetişme ortamlarında, ***Gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin*** geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle gövde çapı ve gövde hacim modelleri ile elde edilebilecek bu tahminler, Kozak (2004) tarafından;

(i) herhangi bir yükseklikteki gövde çapı,
(ii) herhangi bir gövde çapının hangi yükseklikte olduğu,
(iii) ticari (satılabilir) gövde hacmi,
(iv) toplam gövde hacmi,
(v) bir gövdeden elde edilebilecek tüm odun çeşitlerinin hacmi,

(vi) gövde üzerinde herhangi iki yükseklik arasındaki gövde bölümünün hacmi,

(vii) gövde üzerinde herhangi iki çap arasındaki gövde bölümünün hacmi

olarak belirtilmiştir (Özçelik ve Alkan 2011, Özçelik vd. 2012).

Yüzyılı aşkın bir süredir, basitten çok karmaşığa kadar, pek çok ağaç türü için gövde çapı modelleri geliştirilmiştir (Max and Burkhart 1976, Hilt 1980, Kozak 1988, Clark *et al.* 1991, Newnham 1992, Fang *et al.* 2000). Newnham (1988)'e göre gövde çapı denklemleri üzerindeki çalışmaların her geçen gün artmasının iki temel sebebi vardır. Birincisi; bütün ağaç türleri için gövde formundaki varyasyonu tam olarak açıklayabilen bir teorinin bulunmaması, ikincisi ise; sürekli değişen pazar koşullarına bağlı olarak farklı odun çeşidi standartlarını dikkate alan bir yöntemin elde edilememesidir (Sakıcı 2002, Özçelik vd. 2012).

Gövdenin ticari (satılabilir) bölümlerine ilişkin hacim değerlerini veren hacim oran denklemleri ile istatistiksel anlamda ilk gövde profili modelleri 1960'lı yılların sonlarına doğru geliştirilmeye başlanmıştır (Honer 1967, Burkhart 1977, Cao *et al.* 1980, Clutter 1980, Newnham 1992). Bu modeller, Göğüs çapı (D) ve ağaç boyunun (H) fonksiyonu olarak yerden belirli bir yükseklikteki (h_i) gövde çaplarını (d_i) belirlemeye yarayan modeller biçiminde olup, gövdenin tamamı için ortalama bir şekil katsayısı değeri vermektedirler (Bruce *et al.* 1968, Kozak vd. 1969, Bennet and Swindel 1972). Gövde modellerinin tamamı yerine, şekil farklılıkları gösteren her bir bölüm için ayrı bir polinom oluşturarak, bu polinomları bir modelde birleştirip ''Segmented (Parçalı) Polinomiyal Gövde Profili Modeli'' olarak isimlendirilen gövde çapı modeli ilk olarak Max and Burkhard (1976) tarafından geliştirilmiştir. İstatistiksel olarak oldukça başarılı bulunan bu model daha sonra pek çok araştırıcı tarafından da değişik ağaç türlerine ilişkin gövde çaplarının tahmin edilmesi amacıyla kullanılmıştır (Demaerschalk ve Kozak 1977, Cao *et al.* 1980, Green and Reed 1985, Byrne and Reed 1986, Czaplewski and Mcclure 1988). Ayrıca, araştırma sonuçlarına göre parçalı gövde çapı modellerinin, diğer gövde profili modellerine göre daha üstün oldukları görülmüştür (Martin 1981, Parresol *et al.* 1987, Clark *et al.* 1991, Figueiredo-Filho *et al.* 1996, Jiang 2004). Bu gövde çapı modellerinin diğer gövde çapı modellerine göre önemli bir üstünlüğü, gövde çapı modellerinin hacim

hesaplamaları için kolaylıkla hacim denklemlerine dönüştürülebiliyor olmasıdır (Fang *et al.* 2000). Segmented polinomiyal 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-Şekil Gövde Çapı Modeli (Variable Exponent Stem Profile Equation)’’ adı verilen oldukça karmaşık ve üssel formda regresyon modelleri kullanılmaya başlanmıştır (Kozak 1988, Newnham 1988, Perez *et al.* 1990). Ancak Değişken-Şekil gövde çapı modelleri, gövde üzerindeki farklı şekillerin hacim hesaplamalarında birleştirilememesi ve en yüksekteki çap değeri için ticari boyun doğrudan hesaplanmaması yerine iterasyona gerek duyulması gibi birkaç olumsuzluğa sahiptir (Özçelik ve Alkan 2011, Özçelik vd. 2012). Gövde profilinin modellenmesi için yukarıda verilenlere ek olarak daha birçok yöntem kullanılmıştır. Denkleştirilmiş (spline) fonksiyonlar (Liu 1980); Champman-Richards fonksiyonu (Biging 1984, Matney *et al.* 1985), Polinomiyal Enterpolasyon Yaklaşımı (Therien and Chamire 1986), Asal Bileşenler Analizi (Real *et al.* 1989), Asal Bileşenler Regresyonu (Tatsuo 1988) ve parametrik olmayan yöntemler (M’hirit and Postaire 1985), gövde profilinin modellenmesinde kullanılan diğer yöntemlerdir (Sakıcı 2002).

Ülkemizde farklı araştırıcılar tarafından çeşitli gövde çapı modelleri geliştirilmiştir. Yavuz (1995), Taşköprü Orman İşletmesi’nde Sarıçam ve Karaçam için uyumlu gövde çapı, gövde hacmi ve hacim oranı denklem sistemleri geliştirmiştir. Yavuz ve Saraçoğlu (1999), Doğu Karadeniz Bölgesi’nde 510 örnek ağaçtan elde ettiği verilere bağlı olarak, Kızılağaç için uyumlu ve uyumsuz gövde çapı modelleri geliştirmiştir. Sakıcı (2002), Kastamonu yöresi için 114 adet örnek ağaçtan elde ettiği verileri kullanarak Uludağ Göknarı meşcerelerinde gövde profili hacim ve hacim oranı denklem sistemlerini geliştirmiştir. Aktürk (2006), Artvin Orman İşletme Müdürlüğünden elde edilen 160 adet örnek ağaç için trigonometrik gövde profil denklemini kullanarak Doğu Ladini için trigonometrik gövde profil denklemlerini oluşturmuştur. Brooks *et al.* (2008), Mut ve Elmalı yörelerinde Kızılçam, Lübnan Sediri ve Toros Göknarı için toplam 359 adet örnek ağaç kullanılarak Max and Burkhart (1976) tarafından geliştirilmiş Segmented Polinomiyal gövde çapı denklemleri ile uyumlu gövde hacmi ve gövde çapı denklemleri geliştirmiştir. Özçelik (2010), Erzincan Yöresinde yayılış gösteren Sarıçam

meşcerelerinden alınan 100 adet örnek ağaç verileri kullanılarak Jiang (2004)'ın gövde çapı ve gövde hacim denklemi ile uyumlu gövde çapı ve gövde hacim modeli geliştirmiştir. Özçelik ve Alkan (2011), Tarsus-Karabucak Ökaliptus ağaçlandırmalarından aldıkları 79 adet örnek ağaç verisine bağlı olarak Max and Burkhart (1976) ile Thomas and Parresol (1991)'un denklemlerini kullanarak uyumlu gövde çapı ve gövde hacim modellerini geliştirmiştir. Özçelik vd. (2011), Bucak Orman İşletme Müdürlüğünden 138'si Kızılçam, 129'u Toros Sediri ve 204'ü Göknar olmak üzere toplam 471 adet örnek ağaç verisi kullanılarak Max and Burkhart (1976), tarafından geliştirilen segmented polinimiyal denklemi ile gövde çapı ve gövde hacim modelleri geliştirmiştir. Özçelik ve Brooks (2012), Isparta Orman Bölge Müdürlüğü'nden elde ettiği 248 adet Kızılçam, 124 adet Toros Sedir, 196 adet Toros Sediri ve 162 adet Karaçam ağacı ve Erzurum Orman Bölge Müdürlüğü'nden elde ettiği 95 adet Sarıçam ağacı olmak üzere toplam 825 örnek ağaç için Clark *et al.* (1991)' ın segmented gövde çapı denklemi kullanarak uyumlu gövde hacim modeli geliştirmiştir. Özçelik vd. (2012), Bucak-Uğurlu işletme Şefliğinden elde ettiği 100 adet Kızılçam örnek ağacı verisini kullanarak Max and Burkhart (1976) ve Parresol *et al.* (1987) denklemleri ile uyumlu gövde çapı ve gövde hacim denklemleri geliştirmiştir. Şahin (2012), Sütçüler Orman İşletme Müdürlüğünde aldığı 103 adet Karaçam örnek ağacı verisi ile Max and Burkhart (1976), Parresol *et al.* (1987) ve Clark *et al.* (1991)'ın gövde çapı denklemleri ile gövde çapı ve gövde hacmi modelleri geliştirmiştir.

Bu çalışmada, Bolu Orman Bölge Müdürlüğü, Mudurnu Orman İşletme Müdürlüğü, Sırçalı Orman İşletme Şefliği'nde yayılış gösteren Karaçamı Ağaçları için Uyumlu Gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

1.2. Karaçam(*Pinus nigra*) Türüne Ait Genel Bilgiler

1.2.1. Karaçamın doğal yayılışına ilişkin bilgiler

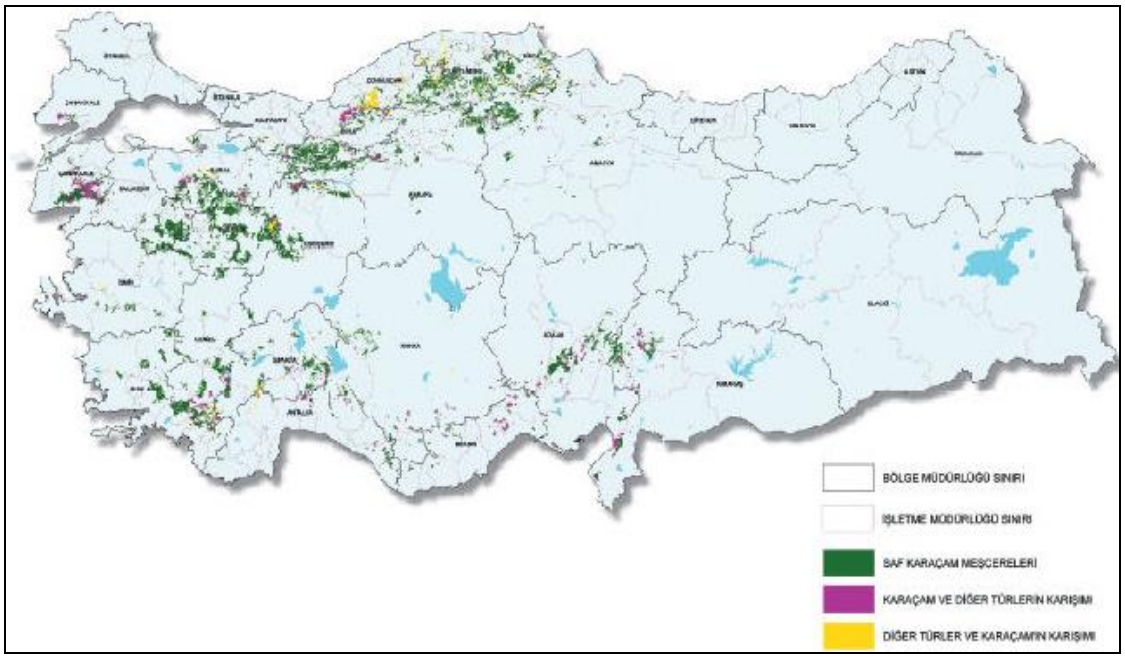
Karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) Güney ve Güneydoğu Avrupa ile Batı Asya'daki submediterran bölgelerdeki coğrafi yayılışına paralel olarak, her birisi çoğu kere bağımsız bir tür olarak kabul edilen;

1. *Pinus nigra* subsp. *nigra* Badaux (Avusturya karaçamı)
2. *Pinus nigra* subsp. *calabria* Schneid (Kalabriya karaçamı)
3. *Pinus nigra* subsp. *larico* Suring (Korsika karaçamı)
4. *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* Schneid (Anadolu karaçamı)

gibi çeşitli alt türleri bulunmaktadır. *Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* Emdl. Karaçamı Türkiye ve Kırım'da bulunan bir alt türüdür(Yaltırık 1993).

Anadolu Karaçamının genel coğrafi yayılış alanı Asya, Trakya, Kıbrıs, Suriye ve Kırım'dır. Türkiye'de çok geniş bir alana sahiptir (Şekil 1.1.). Kuzey Anadolu dağlarının içe dönük yamaçlarında, Batı Anadolu ve özellikle Güney Anadolu'da Toroslarda çok güzel ormanlar oluşturmaktadır. Bu yayılışında ya saf ya da Kızılçam, Sedir, Sarıçam, Ardıç, Göknar, Kayın ve Meşelerle karışık meşcereler kurar. Kütahya'nın Tavşanlı ormanları, Dursunbey'in Alaçam ormanları, Adana'nın Pos ormanları Karaçamın en iyi meşcereler kurduğu alanlardır. Yine Boyabat Elek Dağlarında, Kargı ve Tosya yörelerinde güzel Karaçam ormanları bulunmaktadır (Kayacık 1980).

Ülkemizin çam türleri arasında ikinci en fazla yayılışı yapan Karaçam, 4,693,060 hektar (Anonim 2012) alan kaplamaktadır. Bu alanın 2,580,193 ha'ı normal koru meşceresi ve 2,112,867 ha'ı ise bozuk karaçam meşceresi olup, toplam ormanlık alanlar içinde karaçam ormanlarının oranı % 22.9'dur.



Şekil 1.1. Karaçamın Türkiye'deki doğal yayılışı

1.2.2. Botanik özellikleri

Genellikle 30, bazen de 50 m boya ulaşabilen orman ağaçlarındandır. Ortalama 40m boy ve 1 m gövde çapı yapar denilebilir. Genç ağaçlarda konik, yaşlı bireylerde tepe geniş ve dağınıktır. Çok yoğun bir yaprak kütlesi taşır. Kabuk önceleri grimsi, yeşilimsi-siyah ve çok erkenden yaşlarda kabuk çatlaklı hale gelir. Yaşlandıkça kabuk kalın ve derin çatlaklıdır. Sarıçama göre dallar daha kalındır. Gen sürgünler sarı-kahverengi, kısa tüylü ve tek nodludur. İri olan tomurcukların uçları sivri olup (uçları aniden sivrileşir), kaideleri geniştir. Tomurcukların bu özelliği Karaçamlar için karakteristiktir. Bilindiği gibi Sarıçamda kör ve küt uçlu tomurcuklar vardır. Tomurcuk pullarının kenarları kirpiklidir ve tomurcuklar bol reçinelidir. İkili iğne yapraklı olup iğne yapraklar koyu yeşil ve serttir; sürgün uçlarında bulunan yapraklar ise tomurcuğa yönelmiş olduğundan, "çanak" görünümünde bir boşluk oluştururlar. İğne yaprakların kenarı ince dişli, uç kısımları sertleşmiştir ve iğne gibi batıcıdır. 8-14 cm boyunda 0,15-0,20 cm yaprak kını daimi, koyu kahverengi 1-1,3 cm; yaprak koparılıp ovuşturulduğunda reçine kokusu salar. Erkek çiçekler soluk sarı renkli olmasına karşın, dişi kozalaklar parlak saman sarısı renktedir. Yumurtamsı-konik şekildeki kozalakları, Sarıçam kozalaklarının aksine, simetriktir ve kozalak yok denecek kadar kısa saplıdır.

Kalkan çıkık, göbek koyu renktedir. Kozalağın uç kısmındaki karpellerin çoğunun göbeğinde (umbo) iğne gibi ufak dikenimsi çıkıntı bulunur. Kozalak boyu 3,5-10 (-12) cm, 2,5 cm genişliğindedir. Olgunlaşma süresi 2 yıldır ve olgunlaştığında kahverengiye dönüşür. Kozalak gençken simetrik, parlak saman sarısı renkte, göbek (umbo) dikenlidir (Yaltırık 1993).

1.2.3. Silvikültürel ve ekolojik özellikleri

Karaçam türleri arasında iklim ekstremlerine en fazla dayanıklı olan Anadolu Karaçamıdır. Stepe kadar girmektedir. Bugün Ankara yörelerinde eski Karaçam artıklarına ve meşcerelerine yer yer rastlanmaktadır. Bu alttürde gövde ötekilere oranla çatallanmaya daha eğilimlidir. Yayılış yükseklikleri bölgelere göre önemli farklılıklar göstermektedir; Ender olarak deniz seviyesine oldukça yakın lokal yayılışlar yapmakla birlikte genellikle 400-2100 metre yükseklikler arasında yer alır (Boydak 2001).

Karaçam sadece Doğu Karadeniz'in deniz iklimli mıntıkalarında bulunmaz. Bu durum Karaçam yetişme ortamı isteklerini değerlendirme bakımından önemlidir. Karaçam, Karadeniz'in doğusu hariç diğer bölümlerinde yaklaşık olarak 400-1400 metre yükseklikler arasında geniş alanlarda saf meşcereler kurar. 1400-1700 metreler arsında Sarıçamla karışık olarak ve daha çok küçük alanlarda bulunur. Karadeniz'in batı kısımlarında özellikle Göknar ve Meşe ile karışıma girmektedir. Batı Anadolu'da çam türleri arasında Karaçam, geniş saf meşcereler halinde başta gelir ve Batı Anadolu dağlarının özellikle yüksek yerlerinde en belirgin ağacıdır, hatta denize bakan yamaçlarda vadilere kadar iner (Saatçioğlu 1976).

Karaçam sıcak ve kuru iklimlerde yetişmesine karşın, kış soğuklarına büyük ölçüde dayanıklı bir türdür, sıcaklık isteği bakımından Sarıçama oranla daha toleranslıdır. Karaçam yarı ışık ağacı olup bu niteliği optimum alanlarda yarı gölge ağacı karakterine kadar gider.

Karaçam toprak isteği bakımından çok kanaatkar bir türdür. Nemli ağır topraklarda büyümesi çok kuvvetli ve hızlıdır. Ancak kalın dallar ve kaba bir odun meydana getirir. Bu tür, Sarıçam gibi rutubet değişikliklerine ve özellikle su taşkınlarına karşı hassastır (Saatçioğlu 1976).

Karaçam kök sitemi olarak derin topraklarda kazık kök yapıp sıkı ve sert topraklarda ise yürek kök sistemi geliştirir.

Karaçam gençlikte hızlı büyümesi ve özellikle gölgeye dayanması nedeniyle, iklimin elverişli olduğu yerlerde Göknar, Kayın ve hatta ışık ağaçlarından Meşe ile karışıma girmektedir. Ancak, azman yapma eğiliminde olduğu için saf ve sık meşcerelerde daha kaliteli gövdeler ve dar tepeler meydana getiri. Sarıçamda olduğu gibi sık dikimlerle yapay gençleştirme çok iyi sonuç verir. Fakir topraklarda kuvvetli köklenme ile kalite bakımından üstün teknolojik niteliklere sahip ağaçlar meydana gelir (Saatçioğlu 1976).

1.2.4. Odun kullanım alanları

Karaçam, hafifliğine oranla direncinin fazlalığı, kolaylıkla işlenebilme kabiliyeti, elastiklik, haber verme özelliği, eğilme ve çivileme kabiliyeti gibi birçok yararlı özelliklere sahiptir. Karaçam, bünyesi değiştirilmeden tel, maden direği, çit kazığı, travers, temel kazık ve direkleri, iskele kazıkları, köprü ve kiriş aksamı, kaldırım parkeleri yapımında kullanılırken ağaç borular ise, gemi ve ufak teknelerde, bina inşaatında iç dekorasyonda, mobilya ve talaş levhaları imalinde özellikle kullanılabilmektedir. Bunların yanında kuru madde ambalaj fırçalarında, tarım aletlerinde, karoser, vagon ve spor uçak yapımı gibi kullanım alanlarında değerlendirilir. Bünyesi değiştirilmek suretiyle odun hamuru, yonga levhaları, lif levhaları, selüloz imali, odun kömürü, yakacak odun ve destilasyon kullanımına da elverişlidir (Göker 1969).

1.2.5. Karaçam türüne ilişkin literatür özeti

Karaçamın hacmi (Gülen 1959, Yavuz 1995), büyüme ve hasılatı (Kalıpsız 1963), Gövde çapı denklemleri (Şahin 2013), tohum büyüklüğü, çimlenme yüzdesi ile fidan boyu ve kalitesi (Çolak 1991), tohumların olgunlaşma zamanı ile saklama süreleri (Boydak, 1984), gençliklerinin gelişimi (Genç 1985, Çörtü 1991), doğal gençleştirme koşulları (Karadağ 1998), meşcere kuruluşları (Özarıcı 1989, Abbak 1991, Aydemir 1997), toprak özellikleri (Demir 1996), biyolojik ve genetik çeşitliliği (Velioğlu vd. 1999, Doğan vd. 1997, Gürses vd. 1996), odunun fiziksel özellikler (Yılgör 1999) üzerinde çalışılmıştır.

Karaçam ağaçlandırmalarının ise sadece artım ve büyüme ilişkileri (Özdemir 1994, Mısır 2003), toprak özellikleri (Deniz 1993) ile aralık mesafenin büyüme üzerine etkileri (Işık 1990) üzerine çalışmalar yapılmıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

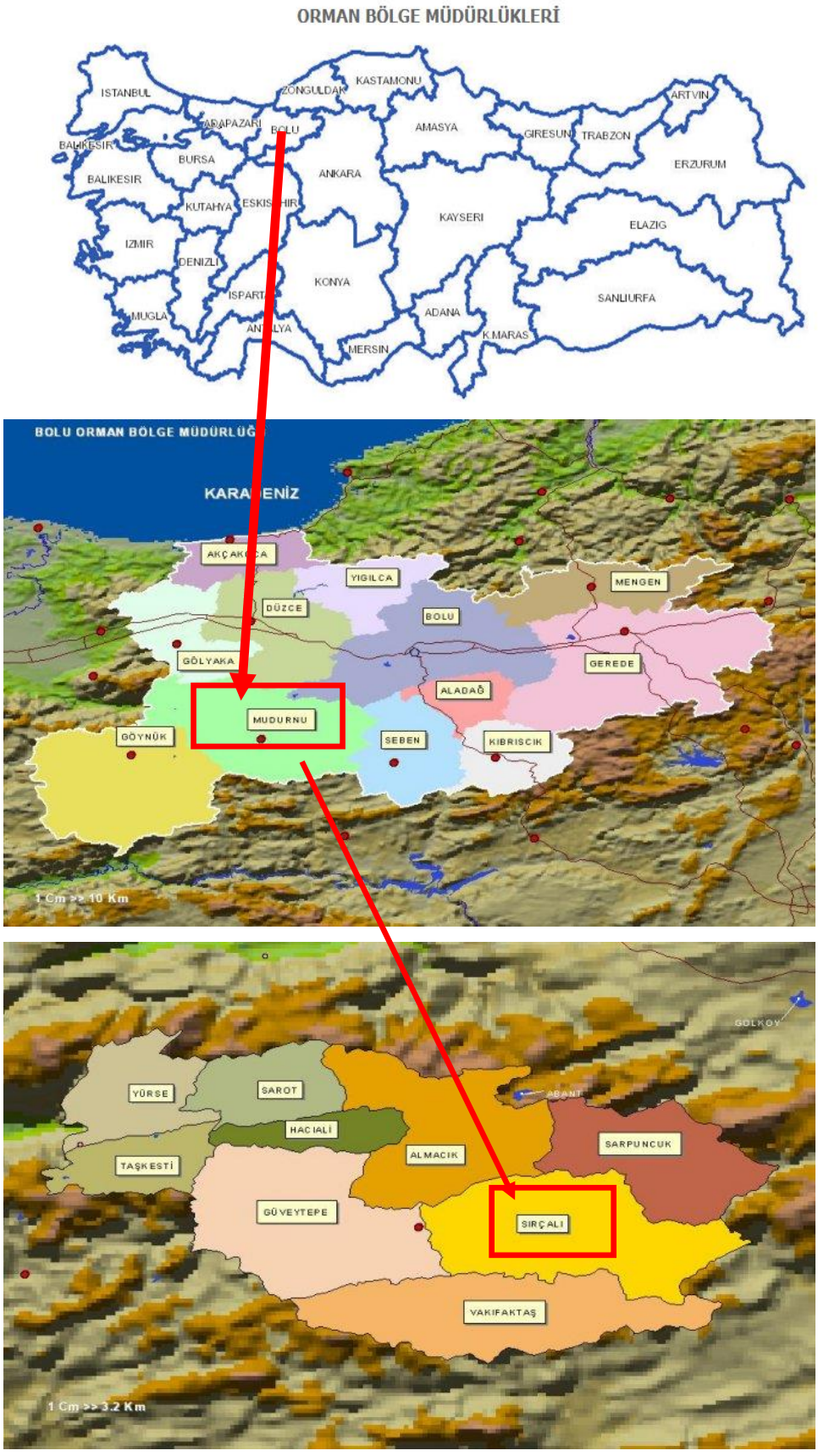
2.1. Örnek Ağaçların Seçimi ve Yapılan Ölçümler

Bu çalışmada, Bolu Orman Bölge Müdürlüğü, Mudurnu Orman İşletme Müdürlüğü, Sırçalı Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yer alan Karaçam meşceresinden 2012 yılında kesilen 153 adet örnek ağaçtan elde edilen veriler kullanılmıştır (Şekil 2.1.). Çalışma alanından elde edilen 153 adet ağaç, çalışma alanında gözlemlenen hacim gelişimindeki değişkenliği en iyi bir şekilde temsil edecek özelliklere sahip olmasına dikkat edilerek seçilmiştir. Özellikle, alınan örnek ağaçların; bozuk tepeli, kusurlu (tepe kırıklığı, çatallılık, kurumuş) olmamasına, böcek tahribatına uğramamış, mantar zararı ve özellikle çeşitli nedenlerle yaralanıp dip çürüklüğü olmayan bir özellik taşımasına özen gösterilmiştir.

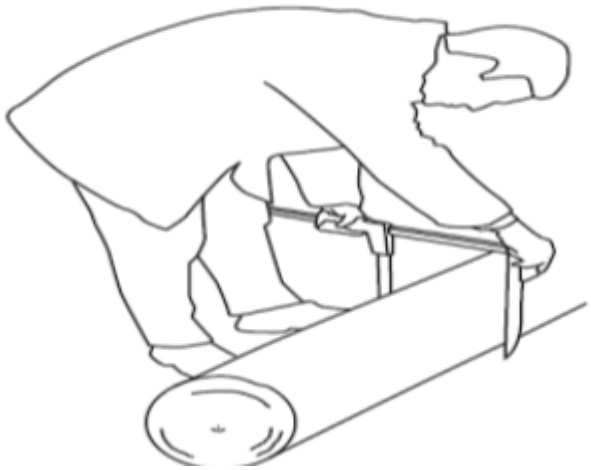
Çalışma kapsamındaki örnek ağaçlar dip kütük yüksekliğinden (0.3 m) kesilerek, ilk olarak dip kütük çapları () ölçülmüş, sonra göğüs yüksekliği çağı () ölçülmüş ve daha sonrada sırasıyla 5.3, 7.3, 9.3, … metrelerde 2'şer metre ara ile mümkün olduğunca düzenli bir şekilde çap ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca ağaçların toplam boy değerleri de çelik şerit metre ile ölçülmüştür. Çalışmada kullanılan bu 153 adet örnek ağaçta, toplam 1436 adet çap ölçümü yapılmıştır. Bu ölçümler yapılırken, eğer ağaç gövdesi daire biçimli olmayıp bozuk şekilli ise; gövde kesitine dik iki yönde çap ölçümü alınıp, iki ölçümün ortalaması alınmıştır. Çizelge 2.1'de, örnek ağaçlara ilişkin bazı istatistiksel değerler verilmiştir.

Çizelge 2.1. Örnek ağaçlara ilişkin istatistiksel bilgiler

	Göğüs çapı (cm)	Boy (m)
Minimum	11.10	8.10
Maksimum	56.80	31.20
Ortalama	32.05	17.29
Standart Sapma	9.20	4.07



Şekil 2.1. Çalışma alanının coğrafik konumu



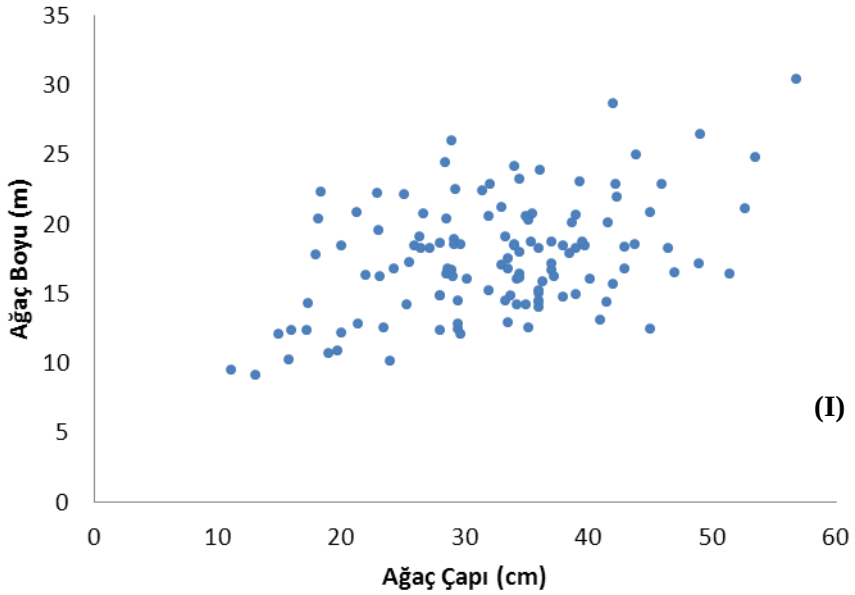
Şekil 2.2. Kesilen ağaçlar üzerinde gerçekleştirilen çap ölçümleri

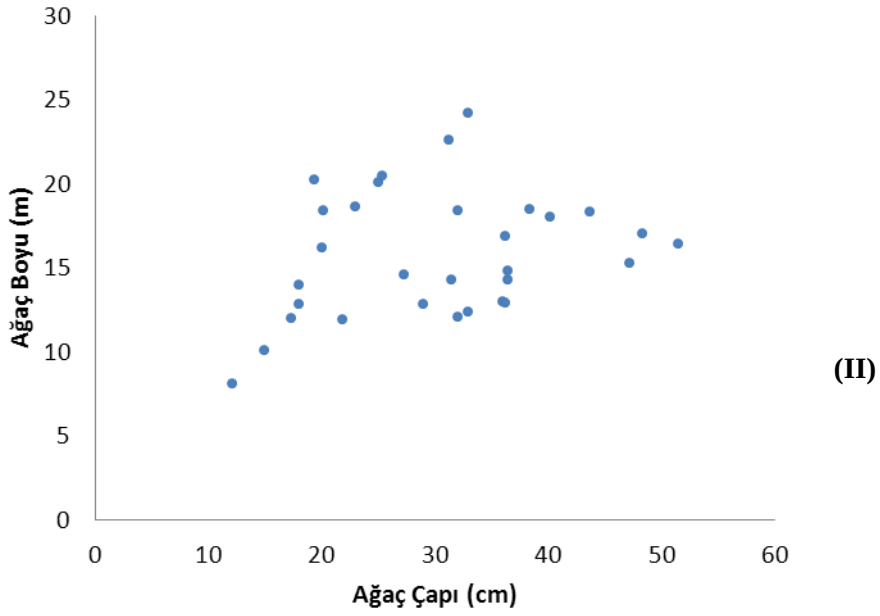
Çalışmada kullanılan veriler; ağaç hacim fonksiyonlarının parametrelerinin tahmininde ve bu fonksiyonların meşcereye uygunluğunun denetiminde kullanılan veriler olmak üzere rastgele iki gruba ayrılmıştır. I. grupta, toplam verinin yaklaşık % 80'i (n=122), II. grupta ise yaklaşık % 20'si (n=31) bulunmaktadır. Çizelge 2.2.'de, I. ve II. grupta bulunan verilerin, dörder cm'lik çap ve ikişer m'lik boy basamaklarına dağılımı verilmiştir. Şekil 2.3.'te, gövde çapı denkleminin oluşturulmasında (I.) ve denetiminde (II.) kullanılan veri gruplarına ilişkin göğüs çapı-boy ilişkisi verilmiştir. Şekil 2.4.'te ise, farklı gövde yüksekliklerinde ölçülen çap değerlerinin göğüs çapına oranı şeklinde hesaplanan oransal çapların, ölçüm yüksekliğinin ağaçların boyuna oranı şeklinde hesaplanan oransal boy değerlerine dağılımı verilmiştir.

Çizelge 2.2. Modellerin oluşturulmasında ve denetiminde kullanılan verilerin çap ve boy sınıflarına dağılımı

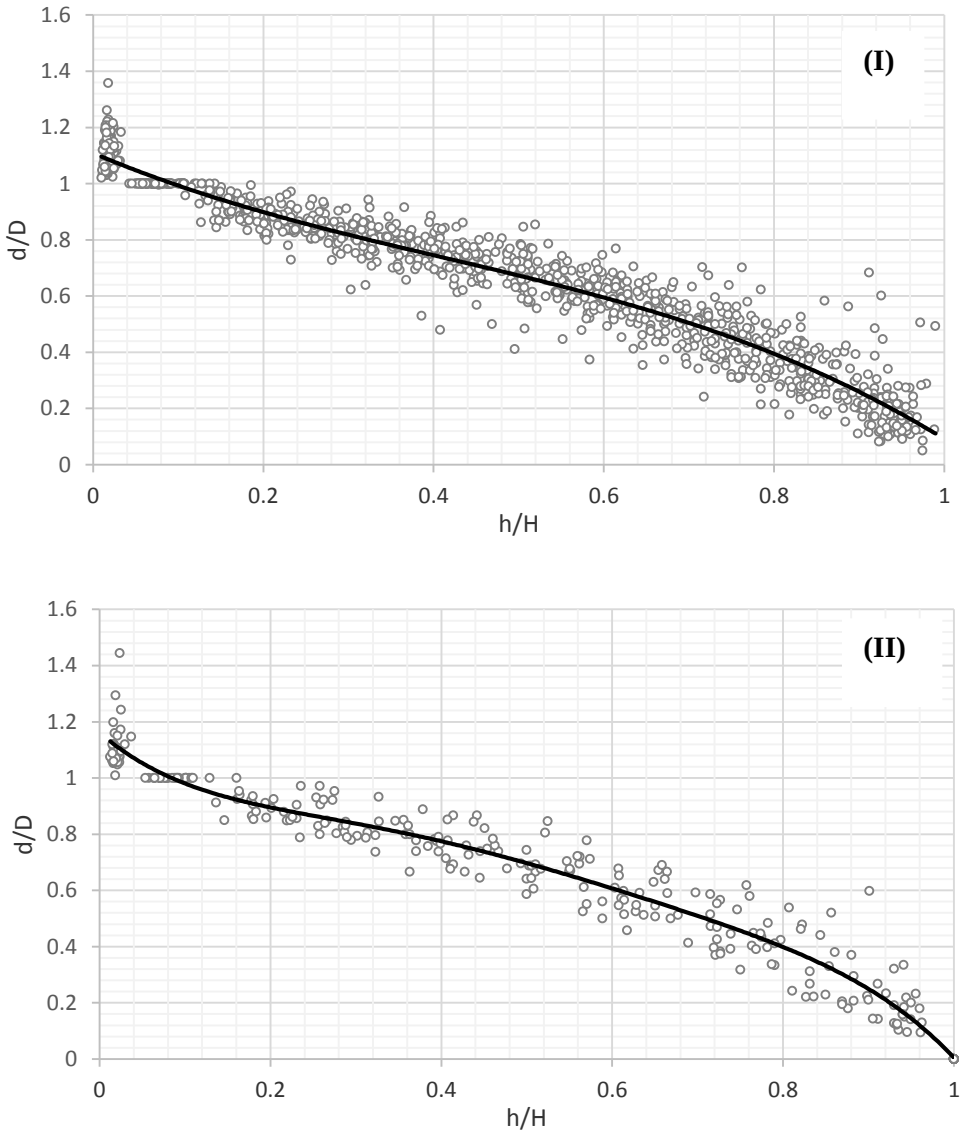
Boylar (m)	Çaplar (cm)													∑
	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	
10	1	2(1) *												2(1)
12		2(1)	3(1)	2(1)										4(3)
14		1	6(2)	2	1	5(2)	5(2)	1(1)						14(7)
16			1		4(1)	3(1)	10	5(2)	4	1(1)				23(5)
18			1	3(1)	3	4	6	4(1)	2(1)		4(2)			22(5)
20			1	3(2)	5	3(1)	5	7(1)	3(1)	1				23(5)
22			2(1)	1	2(2)	3	5	2	2	1		1		16(3)
24			1	1	1	4(1)	1	3	1					11(1)
26						2	1(1)		1			1		4(1)
28											1			1
30										1				1
32													1	1
∑	1	3 (2)	11 (4)	8 (4)	13 (3)	19 (5)	30 (3)	17 (5)	11 (2)	3 (1)	3 (2)	2	1	122 (31)

*parantez içindeki değerler, modellerin denetiminde kullanılan verilerdir





Şekil 2.3. Modellerin oluşturulmasında (I.) ve denetiminde (II.) kullanılan verilerin çap-boy ilişkisi



Şekil 2.4. Modellerin oluşturulmasında (I.) ve denetiminde (I.) kullanılan verilerin oransal çap değerlerinin oransal boy değerlerine dağılımı

2.2. Yöntem

Örnek ağaçlarda 0.3 metreden başlayıp, 1.30 m ve devamındaki 2'şer metre ara ile yapılan çap ölçümleri ile birlikte, gövde boyunca çap değerlerinin değişimi (çap düşüşü, tree taper) elde edilmiştir. Gövdenin en dip kısmından uça doğru devamlı azalan bir gelişim gösteren ve böylece çap düşüşü (Stem taper) olarak da adlandırılan ağaç çapındaki değişimin modellenmesinde, gövde çapı denklemleri kullanılmaktadır. Ormancılıkta ağaçların gövde şekli üzerine çalışmalara 100 yılı aşkın bir süredir devam etmekte olup (Höjer 1903, Claughton-Wallin and McVicker 1920, Behre 1923), özellikle gövdenin ticari (satılabilir) bölümlerine ilişkin hacim değerlerini veren hacim oran denklemleri ile istatistiksel anlamda ilk gövde profili modelleri 1960'lı yılların sonlarına doğru geliştirilmeye başlanmıştır (Honer 1967, Burkhart 1977, Cao *et al.* 1980, Clutter 1980, Newnham 1992). İlk yıllarda geliştirilen basit gövde çapı denklemleri, gövde boyunca çap değişimini tek bir denklem ile temsil etmeye çalışırken, gövde modellerinin tamamı yerine, şekil farklılıkları gösteren her bir bölüm için ayrı bir polinom oluşturarak, bu polinomları bir modelde birleştirip ''Segmented Polinomiyal Gövde Profili Modeli'' olarak isimlendirilen gövde çapı modeli ilk olarak Max and Burkhart (1976) tarafından geliştirilmiştir. Max and Burkhart (1976) modeli;

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

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

biçiminde olup, bu denklemde;

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

D = Kabuklu göğüs çapı (cm),

h = Ölçüm noktasının yerden olan yüksekliği (m),

H = Toplam ağaç boyu (m),

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

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

Max and Burkhart (1976) denklemini esas alan bir dönüşüm ile Parresol *et al.* (1987) aşağıdaki denklemi geliştirmişlerdir. Parresol *et al.* (1987) denklemi aşağıda verilmiştir.

$$\frac{d^2}{D^2} = z_i(b_1 - b_2 z_i) + (z_i - a)^2[b_3 + b_4(z_i + 2a)]I \qquad (2)$$

$$I_{i=}\begin{cases} 1 & \text{Şayet } Z_i \le a_i \\ 0 & \text{Şayet } Z_i > a_i \end{cases} \quad i=1,2 \qquad Z = (H-h)/H$$

ai = örnek ağaçlardan tahmin edilen katılma noktaları

Clark *et. al* (1991), Max and Burkhart (1976) tarafından geliştirilen model yapısından farklı bir formda segmented polinomiyal gövde profili modeli geliştirmiştir. Jiang *et al.* (2005) ise, Clark *et. al.* (1991)'ın önerdiği segmented polinomiyal gövde profil denklemini esas alarak, çeşitli dönüşümler ile daha az parametreye sahip yeni bir denklem formu geliştirmiştir. Jiang *et al.* (2005)'in denklem yapısı aşağıda verilmiştir.

$$d = \left\{ \begin{array}{c} I_S\left[D^2\left(1 + \dfrac{(1-h/H)^{b_1} - (1-1.30/H)^{b_1}}{1-(1-1.30/H)^{b_1}}\right)\right] \\ + I_B\left[D^2 - \dfrac{(D^2 - F^2)\left((1-1.30/H)^{b_2} - (1-h/H)^{b_2}\right)}{(1-1.30/H)^{b_2} - (1-5.30/H)^{b_2}}\right] + \\ + I_T\left[F^2\left(b_4\left(\dfrac{h-5.30}{H-5.30} - 1\right)^2 + I_M\left(\dfrac{1-b_4}{b_3^2}\right)\left(b_3 - \dfrac{h-5.30}{H-5.30}\right)^2\right)\right] \end{array} \right\}^{0.5} \qquad (3)$$

Bu denklemde;

d= Gövde boyunca herhangi bir yükseklikte ölçülen çap değeri (cm),

D = Kabuklu göğüs çapı (cm),

h = Ölçüm noktasının yerden olan yüksekliği (m),

H = Toplam ağaç boyu (m),

F= 5.30 metere yüksekliğindeki gövde çapını (cm) göstermektedir.

$$I_S = \begin{cases} 1 & h < 1.30 \\ 0 & Diğer \end{cases} \qquad I_B = \begin{cases} 1 & 1.30 \leq h < 5.30 \\ 0 & Diğer \end{cases}$$

$$I_T = \begin{cases} 1 & h > 5.30 \\ 0 & Diğer \end{cases} \qquad I_S = \begin{cases} 1 & h < \left(5.30 + b_3(H - 5.30)\right) \\ 0 & Diğer \end{cases}$$

Jiang *et al.* (2005) denkleminde bağımsız değişken olan 5.30 metre yüksekliğindeki çap değerinin, özellikle arazide dikili haldeki ağaçlar için ölçümünün zor olması nedeniyle; ağacın 5.30 metre yüksekliğindeki çap değerini, göğüs çapına ($d_{1.30}$) ve ağaç boyuna bağlı olarak tahmin eden aşağıdaki denklem, Clark *et al.* (1991) tarafından önerilmiştir.

$$d_{5.30} = d_{1.30}\left(b_1 + \left(b_2\left(\frac{5.27}{H}\right)^2\right)\right) \tag{4}$$

Geliştirilen bu 3 farklı gövde çapı modeli arasından, gövde çapını modellemede en başarılı olan denklemi belirlemek üzere çeşitli istatistiksel başarı ölçütleri kullanılmıştır. Kullanılan başarı ölçütleri; Hata kareler toplamı (HKT), Hata Kareler Ortalaması (HKO), Hata Kareler Ortalamasının karekökü (HKOK) ve Düzeltilmiş Belirtme Katsayısı (R^2) değerleridir. Bu ölçüt değerlerinden, HKT, HKO ve HKOK değerlerinin küçük, Belirtme Katsayısı değerlerinin ise olabildiğince 1'e yakın olması istenilmektedir. Bu istatistiki değerlere ilişkin formüller aşağıda verilmiştir;

$$\text{Hata Kareler Ortalaması (HKO)} = \sum_{i=1}^{n} \frac{(d_i - \hat{d}_i)^2}{n} \tag{5}$$

$$\text{Hata kareler Ortlamasının Karekökü (HKOK)} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(d_i - \hat{d}_i)^2}{n-p}} \tag{6}$$

$$\text{Hata Kareler Toplamı (HKT)} = \sum_{i=1}^{n} \left(d_i - \hat{d}_i\right)^2 .. \tag{7}$$

$$\text{Düzeltilmiş Belirtme Katsayısı } (R^2_{düz.}) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(d_i - \hat{d}_i)^2 (n-1)}{\sum_{i=1}^{n}(d_i - \bar{d}_i)^2 (n-p)} \tag{8}$$

Yukarıdaki formüllerdeki, d_i; belirli bir h yüksekliğinde ölçülen çap değeri, $\hat{d}_i$: geliştirilen gövde çapı modeli ile tahmin edilen çap değerini, n: veri sayısını ve p: modeldeki parametre sayısını ifade etmektedir.

Denklem yapısı verilen gövde profil denklemine ilişkin parametre tahminleri ile çeşitli istatistiksel başarı ölçüt değerlerinin elde edilmesinde, SAS İstatistik Paket Programındaki PROC MODEL prosedürü kullanılmıştır (SAS Institute Inc. 2004).

En başarılı olarak belirlenen denkleme ilişkin tahminlerin doğruluğu ve tutarlılığı, denklemin oluşturulmasında kullanılmayan bağımsız veriler ile denetlenmiştir. Bunun için, toplam verinin yaklaşık %20'sini oluşturan 31 adet örnek ağaç kullanılmıştır. Özellikle denklemlerin oluşturulmasında kullanılmamış olan 31 adet ağaca ilişkin arazide ölçülen çap değerleri ile denklem kullanılarak tahmin edilen çap değerleri hem grafiksel olarak karşılaştırılmış hem de geliştirilen denklemin istatistiksel olarak uygunluğu "Eşlendirilmiş İki Örnek Testi (Paired t test)" ile analiz edilmiştir. Ayrıca bu veriler, gövde çapını esas alan hacim formüllerine ilişkin hacim tahminlerinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Gövde Çapı Modeline İlişkin Bulgular

Bu çalışmada kullanılan 3 farklı modele ilişkin parametre tahminleri, standart hata değerleri, t-hesap değerleri ile önem düzeyleri ve çeşitli model başarı ölçüt değerleri, Çizelge 3.1'de verilmiştir. Bu modellere ilişkin parametre tahminlerinde, özellikle Max and Burkhart (1976) ve Parresol *et al.* (1987) denklemlerinin bazı parametrelerinin $p<0.05$ önem düzeyi ile anlamlı olmadığı, Jiang *et al.* (2005) modelinin tüm parametre değerlerinin ise $p<0.001$ önem düzeyi ile anlamlı olduğu görülmektedir.

Max and Burkhart (1976) denkleminin başarı ölçüt değerleri, HKO: 7.8297, HKOK: 2.981, HKT: 9090.36, R^2: 0.9213 iken, Parresol *et al.* (1987) denkleminin başarı ölçüt değerleri, HKO: 7.5022, HKOK: 2.7390, HKT: 8710.1, R^2: 0.9213 olarak hesaplanmıştır. Jiang *et al.* (2005) denklemine ilişkin başarı ölçütleri ise, HKO: 4.8527, HKOK: 2.2029, HKT: 5634,01, R^2: 0.9444 olarak hesaplanmıştır. Bütün bu model başarı ölçüt değerleri değerlendirildiğinde; Jiang *et al.* (2005) tarafından geliştirilen gövde çapı denkleminin, Karaçam'ın gövde çapı gelişimini modellemede en başarılı model olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada en başarılı olarak belirlenen Jiang *et al.* (2005)' in gövde çapı modelinde parametreler yerine konulursa, aşağıdaki gibi bir gövde çapı denklemi elde edilmiş olur;

$$d = \left\{ \begin{array}{c} I_S\left[D^2\left(1+\frac{(1-h/H)^{104.8725}-(1-1.30/H)^{104.8725}}{1-(1-1.37/H)^{104.8725}}\right)\right] \\ +\, I_B\left[D^2-\frac{(D^2-F^2)((1-1.30/H)^{3,69633}-(1-h/H)^{3,69633})}{(1-1.30/H)^{3,69633}-(1-5.30/H)^{3,69633}}\right]+ \\ +\, I_T\left[F^2\left(3{,}171331\left(\frac{h-5.30}{H-5.30}-1\right)^2+I_M\left(\frac{1-3{,}171331}{0{,}847391^2}\right)\left(0.847391-\frac{h-5.30}{H-5.30}\right)^2\right)\right] \end{array} \right\}^{0.5} \quad (9)$$

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

Çizelge 3. 1. Geliştirilen farklı gövde çapı denklemlerinin parametre değerleri ile çeşitli model başarı ölçütleri

Model	R^2_{adj}	HKO	HKOK	HKT	Tahmin		Standart Hata	t-değeri	P > t
Max and Burkhard(1976)	0.9213	7.8297	2.7982	9090.36	b_1	4.350018	2.5539	1.70	0.0888
					b_2	-2.80854	1.3812	-2.03	0.0422
					b_3	3.188082	1.4165	2.25	0.0246
					b_4	21.42905	7.5387	2.84	0.0045
					a_1	0.906658	0.0147	61.85	<0.0001
					a_2	0.105687	0.0173	6.12	<0.0001
Parresol et al (1987)	0.9213	7.5022	2.7390	8710.1	b_1	0.8086	0.0353	22.88	<0.0001
					b_2	-23.47	0.0611	-3.84	0.0001
					b_3	-56.9493	48.7883	-1.17	0.2433
					b_4	24.5396	49.071	1.29	0.1984
					a	0.7337	0.1043	7.04	<0.0001
Jiang et al (2005)	0.9444	4.8527	2.2029	5634.01	b_1	104.8725	5.7249	18.32	<0.0001
					b_2	3.69633	1.0041	3.68	0.0002
					b_3	0.847391	0.0102	83.30	<0.0001
					b_4	3.171331	0.1289	24.60	<0.0001

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

$$d_{5.30} = d_{1.30}\left(0.8947 + \left(-0.7404 \cdot \left(\frac{5.30}{H}\right)^2\right)\right) \quad (10)$$

Bu denklemde tüm parametreler, $p<0.0001$ önem düzeyinde anlamlı bulunmuş olup, belirtme katsayısı (R^2) ise; 0.9443 olarak elde edilmiştir.

Jiang *et al.* (2005) denkleminin çap tahminlerindeki performansını daha iyi analiz etmek için, oransal çap ve boy değerlerine göre HKT, HKO ve HKOK değerleri hesaplanmıştır. Jiang *et al.* (2005) denklemi ile elde edilen çap tahminlerine ilişkin hata değerlerinin, ilgili çap değerinin göğüs çapına oranı şekilde hesaplanan oransal çap değerine göre değişimi Çizelge 3.2'te ve ilgili çapın ölçüldüğü yüksekliğin ağaç boyuna oranı şeklinde hesaplanan oransal boy değerine göre değişimi ise Çizelge 3.3'te verilmiştir. Çizelge 3.2 incelendiğinde; Oransal çap değerlerine göre hata değerlerinin 0.0-0.10 arasında en düşük değerlere sahip olduğu, sonra 0.91-1.00 ve 0.81-0.90 aralığı için düşük hata değerleri elde edildiği görülmektedir. Bununla birlikte, en yüksek hata değerleri, 1.21-1.30 oransal çap değeri aralığında elde edilmiş olup, 0.21-0.30 ve 0.41-0.50 oransal çap değerleri ise diğer yüksek hata değerlerine sahip sınıflardır.

Çizelge 3. 2. Oransal çap değerlerine göre çeşitli hata değerlerinin değişimi

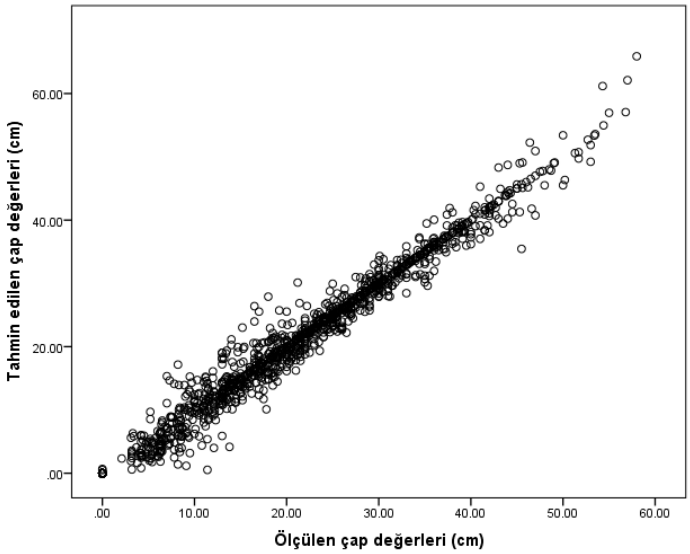
Oransal Çap	n	HKT	HKO	HKOK
0.0-0.10	129	18.3920	0.1426	0.3776
0.11-0.20	64	408.7272	6.3864	2.5271
0.21-0.30	74	767.6367	10.3735	3.2208
0.31-0.40	79	669.0368	8.4688	2.9101
0.41-0.50	87	804.7622	9.2501	3.0414
0.51-0.60	109	736.1794	6.7539	2.5988
0.61-0.70	137	642.5711	4.6903	2.1657
0.71-0.80	145	312.9682	2.1584	1.4691
0.81-0.90	165	154.4201	0.9359	0.9674
0.91-1.00	176	47.5554	0.2702	0.5198
1.01-1.10	67	468.2610	6.9890	2.6437
1.11-1.20	50	396.6692	7.9334	2.8166
1.21-1.30	4	105.9091	26.4773	5.1456
1.31-1.40	1	100.9261	100.9261	10.0462

Çizelge 3.3 incelendiğinde, Oransal boy değerlerine göre hata değerlerinin 0.11-0.20 arasında en düşük değerlere sahip olduğu, sonra 0.21-0.30 ve 0.41-0.50 aralığı için düşük hata değerleri elde edildiği görülmektedir. Bununla birlikte, en yüksek hata değerleri, 0.81-0.90 oransal boy değeri aralığında iken, 0.71-0.80 ve 0.00-0.10 oransal boy değerleri ise en yüksek hata değerlerine sahiptir.

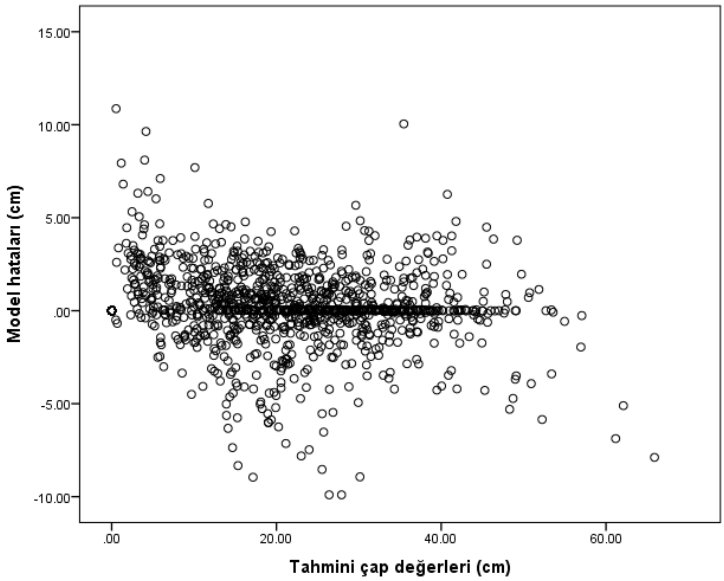
Çizelge 3. 3. Oransal boy değerlerine göre çeşitli hata değerlerinin değişimi

Oransal Boy	n	HKT	HKO	HKOK
0.0-0.10	225	1071.8628	4.7638	2.1826
0.11-0.20	93	47.5908	0.5117	0.7154
0.21-0.30	109	64.2268	0.5892	0.7676
0.31-0.40	104	330.6652	3.1795	1.7831
0.41-0.50	103	334.4270	3.2469	1.8019
0.51-0.60	113	520.5939	4.6070	2.1464
0.61-0.70	104	472.0680	4.5391	2.1305
0.71-0.80	111	925.6156	8.3389	2.8877
0.81-0.90	99	893.0289	9.0205	3.0034
0.91-1.00	226	973.9356	4.3094	2.0759

Jiang *et al.* (2005) denklemine bağlı olarak elde edilen tahmin değerleri ile arazide ölçülen çap değerleri arasındaki ilişki, Şekil 3.1.'da verilmiştir. Şekil 3.2.'te ise, modele ilişkin hataların tahmin değerlerine göre değişimleri verilmiştir. Bu şekiller incelendiğinde, Jiang *et al.* (2005) ile elde edilen tahminlere ilişkin hata değerlerinin ortalaması sıfır olup, artı ve eksi yöndeki hataların dağılımının dengeli ve rasgele bir biçimde olduğu görülmektedir.



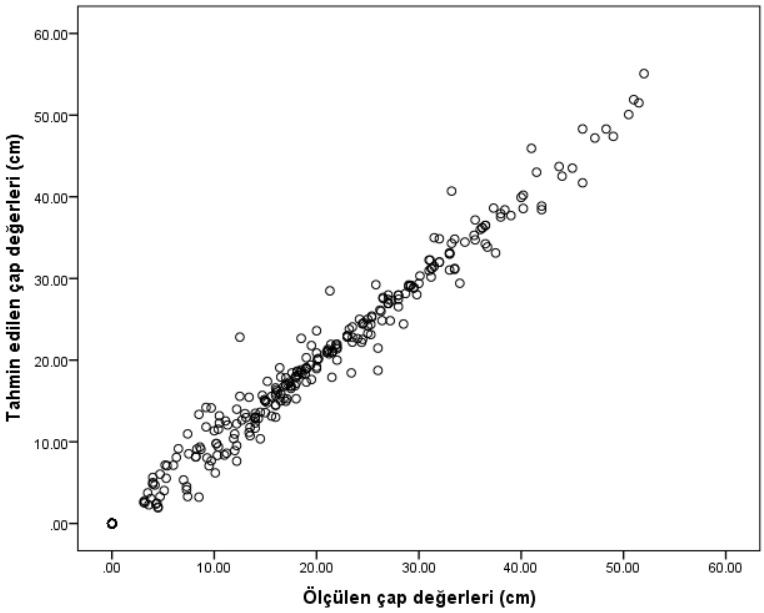
Şekil 3. 1. Jiang *et al.* (2005) modelinin oluşturulmasında kullanılan veriler için elde edilen tahmin değerlerini arazide ölçülen çap değerlerine göre değişimi



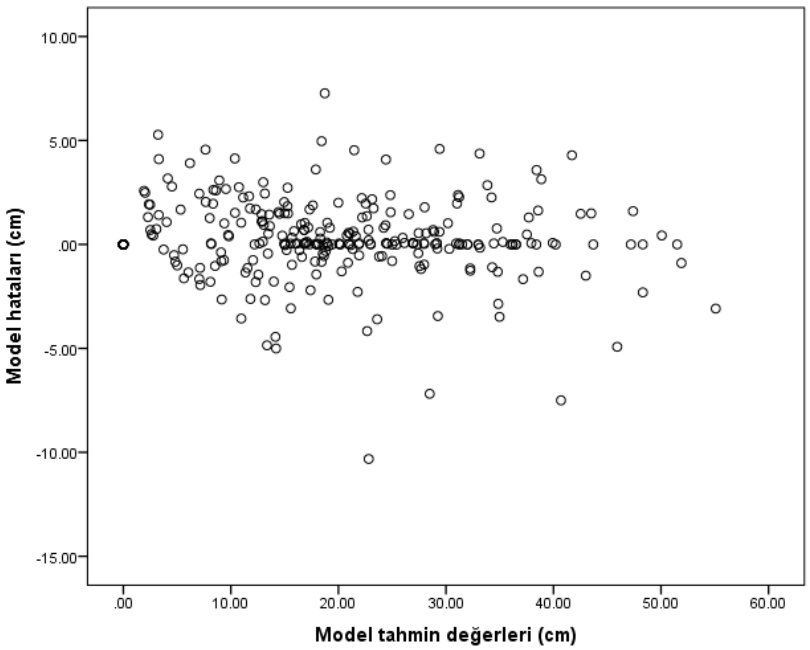
Şekil 3. 2. Jiang *et al.* (2005) modelinin oluşturulmasında kullanılan veriler için elde edilen model hatalarının tahmin edilen çap değerleri göre değişimi

Jiang *et al.* (2005)'in denklemine ilişkin tahminlerin doğruluğu ve tutarlılığı, denklemin oluşturulmasında kullanılmamış olan bağımsız bir veri gurubu ile de denetlenmiştir. Bunun için toplam verinin yaklaşık %20'sini oluşturan 31 adet ağaca ilişkin arazide ölçülen çap değerleri ile denklem kullanılarak tahmin edilen çap değerlerinin değişimi, Şekil 3.3'te ve model hataları ile tahmin değerlerinin değişimi ise Şekil 3.4'da verilmiştir. Geliştirilen denklemin denetlenmesinde kullanılan "Eşlendirilmiş İki Örnek

Testi (Paired t test)" testinde, veri sayısı n=300 olup, ortalama fark $\bar{D}$=-0.14076, farka ilişkin standart sapma S=1.76079, t hesap değeri t=-1.371, p=0.172 olarak hesaplandığından, arazide ölçülen gerçek çap değerleri ile geliştirilen denklem ile bu ağaçlar için tahmin edilen çap değerleri arasında p>0.05 önem düzeyi ile bir farklılık belirlenmemiştir. Bu bakımdan, bu çalışma kapsamında oluşturulan gövde çapı denkleminin, örnek ağaçların seçildiği alanlar için kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

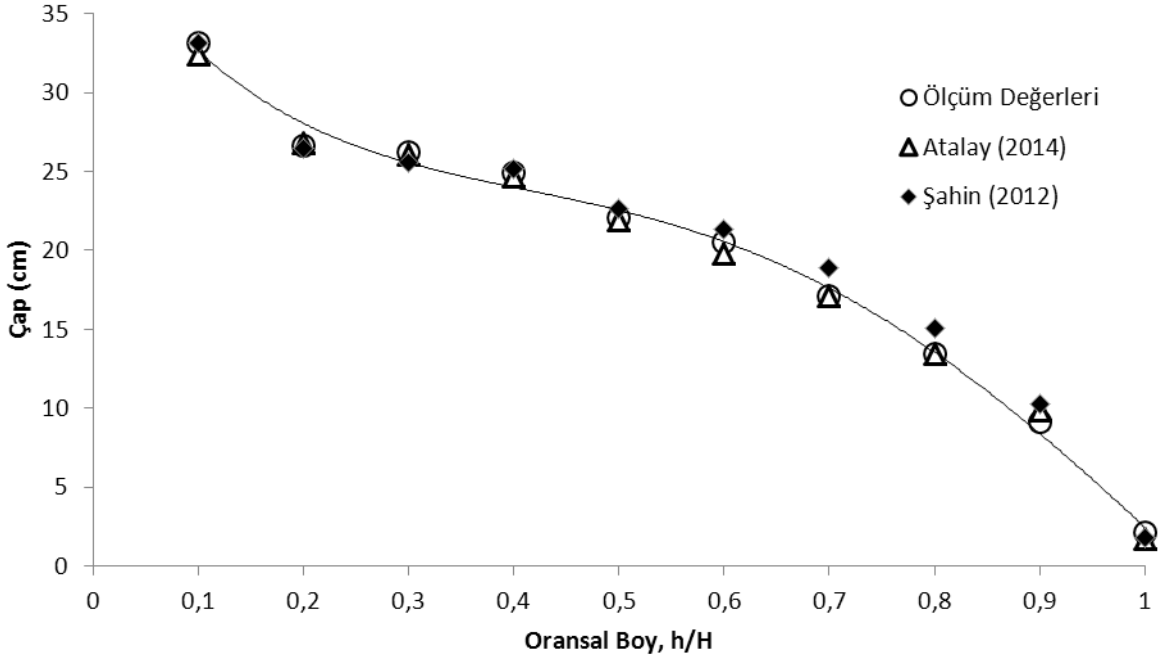


Şekil 3. 3. Bağımsız veri grubuna ilişkin model tahmin değerlerinin arazide ölçülen çap değerlerine göre değişimi



Şekil 3. 4. Bağımsız veri grubuna ilişkin model hatalarının tahmin değerlerine göre değişimi

Geliştirilen Jiang *et al.* (2005) denkleminin, bağımsız veri grubuna ilişkin farklı oransal boy değerlerine (h/H) göre elde edilen tahminlerinin gerçek ölçüm değerleri ve Isparta-Sütçüler Orman İşletme Müdürlüğü Karaçam meşcereleri için Şahin (2012) tarafından geliştirilen denklem ile elde edilen tahmin değerleri ile karşılaştırılması Şekil 3.5'te verilmiştir. Ayrıca, "Eşlendirilmiş İki Örnek Testi (Paired t test)" ile geliştirilen iki denkleme ilişkin tahminler arasında istatistiksel olarak bir fark olup olmadığı da test edilmiştir. Bu analizde, toplam veri sayısı n=300 olup, ortalama fark $\bar{D}$=-0.60053, farka ilişkin standart sapma S=0.89941, t hesap değeri t=-11.565, p<0.05 olarak hesaplandığından, bu çalışmada geliştirilen denklem ile Şahin (2012) tarafından geliştirilen denklem arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmuştur. Özellikle, bu çalışmada geliştirilen denklem ile elde edilen tahmin değerlerine ilişkin ortalama değer; 18.8 cm, Şahin (2012) ile elde edilen tahmini çap değerlerinin ortalaması ise 19.4 cm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3. 5. Geliştirilen Jiang *et al.* (2005) denklemi ile elde edilen tahmini çap değerlerinin gerçek ölçüm veriler ve Şahin (2012) tarafından geliştirilen denklem ile karşılaştırılması

3.2. Gövde Hacmine İlişkin Bulgular

Jiang *et al.* (2005)'in denklemi, uyumlu bir gövde çapı denklemi olduğundan, bu denklem kullanılarak dikili haldeki ağaçlara ilişkin gövde üzerindeki iki yükseklik arasındaki gövde hacmi, söz konusu bu denklemin çeşitli dönüşümleri ile elde edilen hacim formülü yardımıyla hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada, ağaçlara ilişkin hacim tahminleri Jiang *et al.* (2005)'de verilmiş olan hacim formülü yardımıyla hesaplanmıştır. Jiang *et al.* (2005)'in hacim formülü;

$$V = k\left[\begin{array}{l} \mathrm{I}_1 D^2\left[(1-GW_1)(U_1-L_1)+\frac{W_1\left((1-L_1/H)^{b_1}(H-L_1)-(1-U_1/H)^{b_1}(H-U_1)\right)}{(b_1+1)}\right] \\ \quad +\mathrm{I}_2\mathrm{I}_3\left[T(U_2-L_2)-\frac{Z\left((1-L_2/H)^{b_2}(H-L_2)-(1-U_2/H)^{b_2}(H-U_2)\right)}{(1+1.30/H)^{b_2}-(1-5.30/H)^{b_2}}\right] \\ \quad +\mathrm{I}_4F^2\left[\begin{array}{l} b_3(U_3-L_3)-\frac{b_3\left((U_3-5{,}30)^2-(L_3-5{,}30)^2\right)}{(H-5{,}30)}+ \\ \frac{(b_3/3)\left((U_3-5{,}30)^2-(L_3-5{,}30)^2\right)}{(H-5{,}30)}+ \\ \frac{I_5(1/3)\left((1-b_3)/b_4^2\right)\left(b_4(H-5{,}30)-(U_3-5{,}30)\right)^3}{(H-5{,}30)^2}- \\ \frac{I_6(1/3)\left((1-b_3)/b_4^2\right)\left(b_4(H-5{,}30)-(U_3-5{,}30)\right)^2}{(H-5{,}30)^2} \end{array}\right] \end{array}\right] \quad (11)$$

biçiminde olup, bu formüldeki ifadeler aşağıda açıklanmıştır.

k= 0.0000785 L_1= max (L, 0), L_2= max (L, 1.30), L_3= max (L, 5.30)

U_1= min (U, 1.30), U_2= min (U, 5.30), U_3= min (U, H)

$$G = \left(1-\frac{1.30}{H}\right)^{b_1} \qquad W_1 = \frac{1}{1-G} \qquad X = \left(\frac{1-1{,}30}{H}\right)^{b_2}$$

$$Y = \left(1-\frac{5.30}{H}\right)^{b_2} \qquad T = D^2 - ZX \qquad Z = \frac{D^2-F^2}{X-Y}$$

$$X = (1-1.30/H)^{b_4} \qquad Y = (1-5.30/H)^{b_4}$$

$$\mathrm{I}_1 = \begin{cases} 1 & L < 1.30 \\ 0 & Diğer \end{cases} \qquad \mathrm{I}_2 = \begin{cases} 1 & L > 5.30 \\ 0 & Diğer \end{cases}$$

$$\mathrm{I}_3 = \begin{cases} 1 & U > 1.30 \\ 0 & Diğer \end{cases}$$

$$\mathrm{I}_4 = \begin{cases} 1 & U > 5.30 \\ 0 & Diğer \end{cases} \qquad \mathrm{I}_5 = \begin{cases} 1 & (L_3 - 5.30) < b_3(H-5.30) \\ 0 & Diğer \end{cases}$$

Jiang *et al.* (2005)'in hacim formülü ile bir ağaca ilişkin çeşitli yükseklikler arasındaki hacim değerleri ile toplam ağaç hacmi hesaplanabilmektedir. Formüldeki, b_1, b_2, b_3 ve b_4 katsayıları, Jiang *et al.* (2005) gövde çapına ilişkin model katsayılar olup, bu çalışma için Çizelge 3.1'de verilmiştir. Diğer taraftan formüldeki, L ve U değerleri, ağaç üzerinde hacmi bulunmak istenen iki yüksekliğin dip ve uç yükseklikleri olup, formülde bu değeler denklemi kullanan kişi tarafından girilerek ağaç daha dikili halde iken ondan elde edilebilecek ürün çeşitleri tahmin edilebilmektedir. Ayrıca denkleme ilişkin L_1= max (L, 0) sorgulaması; L yüksekliğinin 1.30 metre olması durumunda 1.30 ve 0 değerleri arasında maksimum değer olan 1.30 değerini, L_2= max (L, 1.30) sorgulaması; L yüksekliğinin 3.30 metre olması durumunda 3.30 ve 1.30 değerleri arasında maksimum değer olan 3.30 değerini, L_3= max (L, 5.30) sorgulaması; L yüksekliğinin 7.30 metre olması durumunda 7.30 ve 5.30 değerleri arasında maksimum değer olan 7.30 değerini üretmektedir. Bununla birlikte, U_1= min (U, 1.30) sorgulaması; U yüksekliğinin 3.30 metre olması durumunda 3.30 ve 1.30 değerleri arasında minimum değer olan 1.30 değerini, U_2= min (U, 5.30) sorgulaması; U yüksekliğinin 7.30 metre olması durumunda 7.30 ve 5.30 değerleri arasında minimum değer olan 5.30 değerini, U_3= min (U, H) sorgulaması; U yüksekliğinin 7.30 metre olması durumunda 7.30 ve ağaç boyu değerleri arasından minumum değeri üretmektedir. I_1, I_2, I_3, I_4, I_5 ve I_6 sorgulamaları ise, seçilen alt (L) ve üst (U) değerlere bağlı olarak gerçekleştirilecek sorgulamalar ile 1 ya da 0 değerlerini üretmektedir. Bu şekilde kullanımı özetlenmeye çalışılan Jiang *et al.* (2005) hacim formülü ile ağaçlara ilişkin hacim tahminleri her bir ölçüm kesiti için (0.30-1.30, 1.30-3.30, 3.30-5.30, 5.30-7.30, 7.30-9.30....), Excel altında çalışan ve Visual Basic uygulaması ile gerçekleştirilmiş olup, bu hacim değerlerinin toplanması ile ağaçlara ilişkin toplam hacim elde edilmiştir. Hacim tahminlerinde kullanılan Excel Visual Basic uygulaması, Ek-1'de verilmiştir. Ayrıca Karaçam için günümüzde birçok yörede kullanılan Gülen (1959)'ın genel çift girişli ağaç denklemi ile de ağaçlara ilişkin hacim tahminleri elde edilmiştir. Bu çalışmamızda geliştirilen Jiang *et al.* (2005) gövde çapına dayanan hacim formülü ile elde edilen hacim tahminleri ile Gülen (1959)'ın çift girişli ağaç denklemi ile elde edilen hacim tahminlerine ilişkin hata değerleri, arazide ölçülen çap değerleri kullanılarak bölümleme yöntemi ile hesaplanan hacim değerlerinden sözü edilen iki farklı yöntem ile elde edilen tahmini hacim değerlerinin çıkarılması ile hesaplanmıştır. Bu hata değerleri

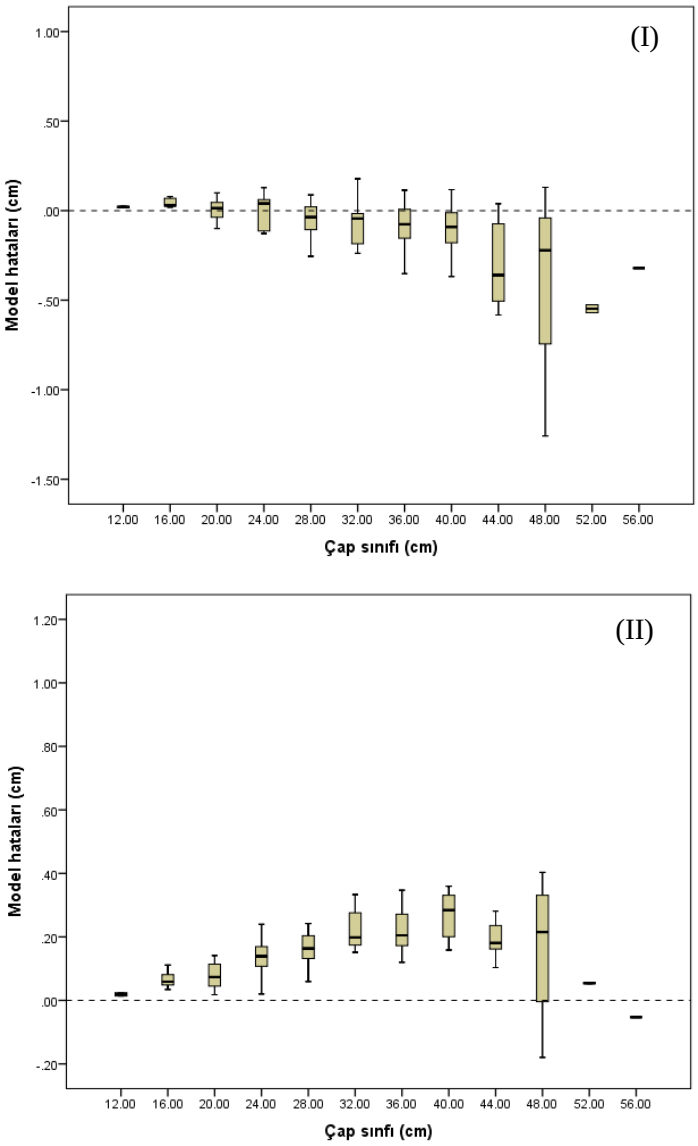
kullanılarak, HKO, HKT ve HKOK değerleri ile toplam hata ve ortalama mutlak hata değerleri hesaplanmış, denklemin geliştirilmesinde kullanılan model verileri (122 ağaç) için Çizelge 3.2 ve bağımsız veri grubu (31 ağaç) için Çizelge 3.3'te verilmiştir. Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'teki bu hata değerleri incelendiğinde; Jiang *et al.* (2005) denklemi ile toplam hata ve ortalama mutlak değerlerinin; denklemin geliştirilmesinde kullanılan veriler için -%9.0249 ve %14.4114 ile bağımsız veri grubu için ise -%6.8043 ve %12.3021 olarak elde edildiği görülmektedir. Gülen (1959) denklemi için ise, toplam hata ve ortalama mutlak değerlerinin; model verileri için %18.6403 ve %19.2018 ile bağımsız veri grubu için ise %18.5763 ve %18.5781 olarak hesaplanmıştır. Jiang *et al.* (2005) denklemi ile HKT, HKO ve HKOK değerleri; denklemin geliştirilmesinde kullanılan veriler için sırasıyla 124.4840, 1.0204 ve 1.0103, bağımsız veri grubu için ise, 0.6407, 0.0207 ve 0.1438 olarak elde edilmiştir. Gülen (1959) denklemi ile HKT, HKO ve HKOK değerleri; model verileri için sırasıyla 531.0517, 4.5329 ve 2.0864, bağımsız veri grubu için ise, 0.8902, 0.0287 ve 0.1694 olarak elde edilmiştir. Bütün bu değerler değerlendirildiğinde; Jiang *et al.* (2005)'in çap denklemini esas alan hacim formülü ile gerek denklemin geliştirilmesinde kullanılan veriler ve gerekse bağımsız veri grubu için, özellikle Gülen (1959)'in çift girişli hacim denklemine oranla daha doğru ve gerçekçi hacim tahmin değerleri elde edilmiştir. Şekil 3.4'de, Jiang *et al.* (2005)'in çap denklemini esas alan hacim formülü ile denklemin geliştirilmesinde kullanılan veriler ve bağımsız veri grubu için elde edilen hacim tahminlerine ilişkin hata değerlerinin 4 cm'lik çap sınıflarına dağılımları görülmektedir. Şekil 3.5'de ise, Gülen (1959)'un çift girişli hacim denklemi ile model verileri ve bağımsız veri grubu için elde edilen hataların çap sınıflarına dağılımları verilmiştir. Bu şekiller, incelendiğinde ağaçların alındığı yöre için Gülen (1959)'un çift girişli ağaç hacim tablosu ile elde edilen hacim tahminlerinin, bu çalışmada geliştirilen Jiang *et al.* (2005)'in gövde çapını esas alan hacim denklemine oranla belirgin biçimde hatalı ve yanlış sonuçlar verdiği görülmektedir.

Çizelge 3.4. Hacim denkleminin geliştirilmesinde kullanılan veriler için hacim değerlerine ilişkin çeşitli hata değerleri

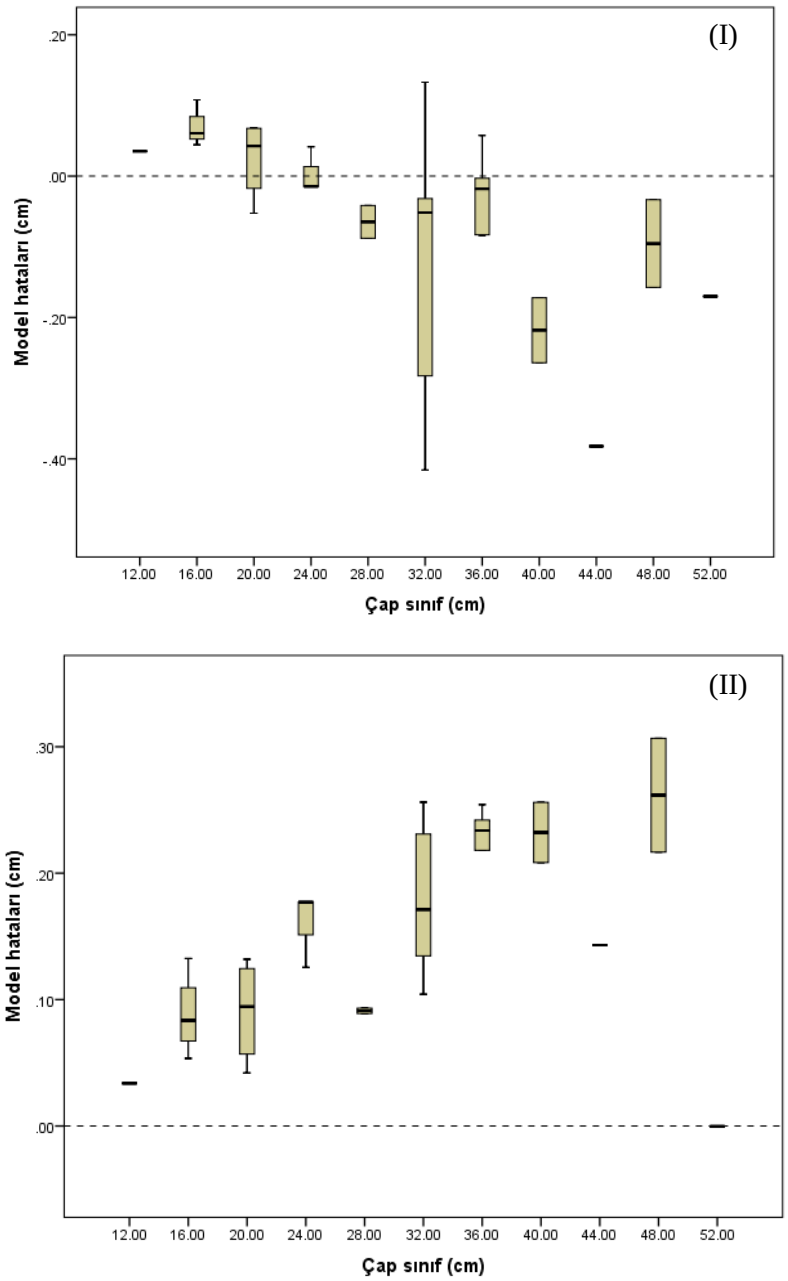
Model	HKT	HKO	HKOK	TH (%)	OMH (%)
Jiang *et al.* (2005)	124.4840	1.0204	1.0103	-9.0249	14.4114
Günel (1959)	531.0517	4.3529	2.0864	18.6403	19.2018

Çizelge 3.4. Bağımsız veri grubu için hacim değerlerine ilişkin çeşitli hata değerleri

Model	HKT	HKO	HKOK	TH (%)	OMH (%)
Jiang *et al.* (2005)	0.6407	0.0207	0.1438	-6.8043	12.3021
Günel (1959)	0.8902	0.0287	0.1694	18.5763	18.5781



Şekil 3.6. Jiang *et al.* (2005) (I) ve Gülen (1959) (II) denklemleri ile elde edilen model verilerine ilişkin hacim hatalarının çap sınıflarına dağılımı



Şekil 3.7. Jiang *et al.* (2005) (I) ve Gülen (1959) (II) denklemleri ile elde edilen bağımsız veri grubuna ilişkin hacim hatalarının çap sınıflarına dağılımı

4.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Bolu Orman Bölge Müdürlüğü, Mudurnu Orman İşletme Müdürlüğü, Sırçalı Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yer alan Karaçam meşceresinden alınan 153 adet Karaçam ağacına ilişkin veriler kullanılarak gövde çapı ve gövde hacmi denklemlerinin geliştirilmiştir. Ağaçların dipten uca kadar olan gövde çapını modellemek üzere; Max and Burkhart (1976), Parresol *et al.* (1987) ve Jiang *et al.* (2005)'in geliştirdikleri "Segmented Polinomiyal" gövde çapı denklemleri kullanılmıştır. Denklemlere ilişkin parametrelerin tahmin edilmesinde ve çeşitli model başarı ölçütlerinin hesaplanmasında, Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi yöntemi kullanılmıştır. Geliştirilen bu denklemlerden, Max and Burkhart (1976)'ın denklemi için HKT, HKO, HKOK ve R^2 değerleri; sırasıyla 9090.36, 7.8297, 2.981 ve 0.9213 olarak hesaplanmıştır. Parreson *et al*. (1987)'in denklemine ilişkin HKT değeri: 8710.1, HKO: 7.5022, HKOK: 2.7390, R^2: 0.9213 olarak elde edilmiştir. En başarılı olarak belirlenen Jiang *et al.* (2005)'nin gövde çapı denkleminin başarı ölçüt değerleri ise; HKT: 5634,01, HKO: 4.8527, HKOK: 2.2029, R^2: 0.9444 olarak hesaplanmıştır. Böylece Jiang *et al.* (2005)'nin gövde çapı denklemi ile gövde çapındaki değişimin %94.44'ü açıklanmıştır. Ayrıca denkleme ilişkin bütün parametreler, istatistiki olarak $p<0.001$ önem düzeyi ile anlamlı bulunmuştur.

İlk olarak Max and Burkhart (1976) tarafından geliştirilen ve gövde şeklini üç temel bölüme ayıran segmented polinamiyal denklemine göre, gövde şeklini dört farklı bölüme ayıran bir denklem yapısı ile modelleyen Jiang *et al.* (2005)'in denklemi, birçok çalışmada gövde çapının modellenmesinde oldukça başarılı sonuçlar vermiştir. Jiang *et al.* (2005), Özçelik ve Bal (2013) ve Şahin (2012), dört parçalı bu segmented polinomiyal denklem yapısı ile sırasıyla gövde çapının modellenmesinde %98.37'lik %98.59 ve %98.28'lik bir açıklayıcılık elde etmiştir. Jiang *et al.* (2005)'in denkleminin gövde çapını modellemedeki bu başarısı, özellikle karmaşık bir denklem yapısı ile gövde gelişimindeki değişkenliği yansıtabilmesi ile açıklanabilir. Jiang *et al.* (2005) gövde çapı modelinin kullanımında; ağacın göğüs çapı, boyu, 5.30 metredeki çap ve çapı tahmin edilmek istenilen yükseklik değerleri bağımsız değişken olarak denklemde girilmesi gerekmektedir. Bu değişkenlerde, ağacın 5.30 metredeki yüksekliğinin ölçümü

zor bir değişken olarak karşımıza çıkmasına karşın, özellikle 5.30 yüksekliğindeki çap değerini, ağacın göğüs çapına ve boyuna göre %94.4 açıklayıcılıkla tahmin eden 10 nolu denklem, ölçümü zor olan bu değerin tahmin edilmesinde bir çözüm olarak kullanılabilir.

Geliştirilen Jiang *et al.* (2005) gövde çapı modelinin tahmin değerlerinin farklı oransal çap ve boy değerlerine göre değişimi, Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'te verilmiştir. Oransal çap değerlerine göre rastgele bir değişime sahip olan hata değerlerinin, özellikle oransal boy değerlerine göre ise; oransal boy değerlerinin artışına bağlı olarak hata değerlerinin genel olarak arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum, Jiang *et al.* (2005) atfen Şahin (2012) tarafından özellikle ağaç gövdelerinin yukarı kısımlarında canlı tepelerinin başlaması ve dallanmanın yoğun olması ve böylece çap ölçümlerinde ve tahminlerinde belirgin bir hatanın söz konusu olması ile açıklanmıştır. Şahin (2012), Isparta-Sütcüler Orman İşletme Müdürlüğü Karaçam meşcereleri için yaptığı çalışmada hatanın gövdenin % 60-70'inden sonra yükseldiğini ifade etmiştir. Çalışmamızda ise, özellikle gövdenin % 71-90'lık kısmında hata değerleri en yüksek değerlere ulaşmıştır.

Geliştirilen Jiang *et al.* (2005) gövde çapı modeli ile elde edilen tahminlerin, ağaçların alındığı Sırçalı Orman İşletme Şefliği sınırları içerisindeki Karaçam meşcereleri için uygun olup olmadığı, denklemin oluşturulmasında kullanılmamış olan veriler ile test edilmiş ve geliştirilen denklemin, karaçam ağaçlarının çap değerlerini tahmin etmede kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Diğer taraftan geliştirilen denklemlerin Karaçam'ın yayılış gösterdiği diğer bölgeler için kullanılabilmesi için; denkleme ilişkin tahminlerin uygunluğunun istatistiksel olarak bir analiz ile test edilmesi gerekmektedir.

Gövde boyunca çap değişimini modelleyen Jiang *et al.* (2005) gövde çapı denklemi, uyumlu gövde çapı eşitliği olup, bu eşitlikler yardımıyla çift girişli ağaç hacim denklemleri üretilebilmektedir. Bu bakımdan, 11 numaralı eşitlikte görüldüğü üzere, Jiang *et al.* (2005) gövde çapı modelinden bir çok girişli ağaç hacim denklemi oluşturulmuştur. Bu denklem, özellikle dikili ağaçların gövde üzerindeki iki nokta arasındaki (L ve U yükseklikleri) bölümünün hacmini veren bir eşitlik olup, ayrıca

ağaçların toplam hacmine ilişkin tahminlere de imkan sağlamaktadırlar. Bu hacim eşitliği kullanılarak, ağaçların hacim değerleri ve bu ağaçlardan elde edilebilecek ürün çeşitleri de tahmin edilebilmektedir. Jiang *et al.* (2005)'in çap denklemine dayanan hacim eşitliği ile elde edilen hacim tahminleri, Ülkemizde kullanılan Gülen (1959)'un genel çift girişli ağaç hacim denklemi ile elde edilen hacim tahminleri ile de karşılaştırılmıştır. Gülen (1959)'un toplam hata değerlerinin 18.6403 ile 18.5763 iken, Ortalama Mutlak Hata Oranlarının 19.2018 ile 18.5781 arasında değişirken, Jiang *et al.* (2005)'in çap denklemine dayanan hacim eşitliği ile Toplam hata değerleri -9.0249 ile -6.8043 ve Ortalama Mutlak Hata Oranları ise 14.4114 ile 12.3021 olarak elde edilmiştir. Bu bakımdan Jiang *et al.* (2005)'in çap denklemine dayanan hacim eşitliği ile mevcut ormancılık uygulamalarında kullanılan çift girişli ağaç hacim denklemine oranla daha doğru ve gerçekçi hacim tahminleri elde edilmiştir. Ayrıca, Jiang *et al.* (2005)'in çap denklemine dayanan hacim eşitliği ile dikili haldeki bir ağaç için; bu ağaç kesilmeden iki gövde noktası arasındaki hacim tahminleri elde edilebilmekte, bu bakımdan geliştirilen gövde çapı ile daha ayrıntılı hacim tahminleri mümkün olabilmektedir. Gövde çapı ve gövde hacim denklemleri, ormancılık uygulamalarında özellikle ağaçlara ilişkin daha ayrıntılı hacim tahminlerine imkan sağlamaları ile öne çıkmaktadırlar.

Ağaçların gövde çaplarının gövde boyunca değişimini, gövde şeklindeki farklılıklarını esas alarak modelleyen ve oldukça karmaşık bir denklem yapısına sahip olan gövde profil denklemleri, gövde hacimlerini tahmin etmede de oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Özellikle ayrıntılı gövde hacim tahminlerine imkan sağlayan gövde profil denklemleri, ülkemizde geliştirilmiş olan tek ve çift girişli denklemlere oranla ormancılığımız için daha doğru ve tutarlı hacim tahminleri sunabilecektir. Ülkemiz ormancılığında değişen pazar koşullarının ve dikili satışın önem kazanması ile birlikte ayrıntılı ve daha doğru hacim tahminlerine olan gereksinim artmakta; bu bakımdan da gövde profili denklemleri daha fazla kullanım alanı bulmaktadır. Başta asli ağaç türlerimiz olmak üzere faklı ağaç türlerimizin değişik yetişme ortamları ve meşcere kuruluşları için gövde profil denklemlerinin geliştirmesi büyük bir önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

Abbak, F. 1991. Belgrad Ormanı'nda saf Karaçam ve saf Sarıçam meşcereleri İle meşe-gürgen-kayın karışık meşcerelerinde aralama uygulamaları. Yüksek lisan tezi, İ.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,42 s.

Aktürk, G.M. 2006. Doğu Ladini için trigonometrik gövde profili denkleminin oluşturulması. KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, basılmamış Yüksek lisans tezi, 120 s.

Anonim. (2012). Türkiye orman varlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.

Asan, Ü. 2000. Ulusal orman envanteri kavramı ve Türkiye'deki durumu. T.C. Orman Bakanlığı, Teknik Bülten, Yıl,1, Sayı,2, 2000.

Asan, Ü., Başkent, E.Z. ve Özçelik, R. 2001. Gelişmiş ülkelerdeki ulusal orman envanter sistemleri ve Türkiye için öneriler. 1. Ulusal Ormancılık Kongresi, 19-20 Mart, s.30-51, Ankara.

Aydemir, Z. 1997. Kütahya-Dumlupınar Karaçam (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana*) meşcerelerinn orman kuruluşları ve silvikültürel ihtiyaçları. Yüksek lisans tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Barrio-Anta, M, Dieguez-Aranda, U., Castedo-Dorado, F., Alvarez-Gonzalez, J.G. and von Gadow, K. 2007. Merchantable volume system for pedunculate oak in northwestern Spain. Ann For Sci 64, 511-520.

Behre, C.E. 1923. Preliminary Notes on Studies of Tree Form. Journal of Forestry 21, 507-511.

Bennet, F. A. and Swindel, B. F. 1972, Taper curves for planted slash pine. USDA Forest Service Research Note SE-179, 4 s.

Biging, G.S. 1984, Taper equations for second-growth mixed conifers of northern California. Forest Science, 30, 4, 1103-1117.

Boydak, M. 1984. Sarıçam ve Karaçam tohumlarında olgunlaşma zamanı ile saklama süreleri arasındaki ilişkiler. İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri A, 34, 2, 104-125.

Boydak, M. 2001. Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana*) Anadolu'da saptanan yeni bir varyetesi. The Karaca Arboretum Magazine, 6, 1, 15-23

Bozkuş, H. F. ve Carus, S., 1997, Toros Göknarı (*Abies clicica* Carr.) ve Sedir (*Cedrus libani* Link.)'in çift girişli gövde hacim tabloları ve mevcut tablolarla karşılaştırılması. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 47, 1, 51-70

Brooks, J. R., Jiang, L. and Özçelik, R. 2008. Compatible stem volume and taper equations for Brutian Pine, Caedar oflebanon, and Cilicica Fir in Turkey. Forest Ecology and Management, 256,147-151.

Bruce D., Curtis R and Vanndevering C 1968, Development of system of taper and volume tables for res alder. forest science, 14, 339-3350.

Bryne, J. and Reed, D.D., 1986. Complex compatible taper and volume estimation system for red and loblolly pine. forest science, 32, 2, 423-443.

Burkhart, H. E. 1977. Cubic foot volume of Loblolly pine to any merchantable top limit. Southern Journal of Applied Forestry, 1 7-9.

Cao, Q.V., Burkhart, H.E. and Max. T.A., 1980. Evaluation of the two methods for cubic-volume prediction of loblolly pine to any merchantable limit. *For. Sci.* 26,71– 80.

Clark., A., Souther, R.A. and Schlaegel, B.E. 1991. Stem profile equations for southern tree species. USDA For. Serv. Res. Pap. SE-282.

Claughton-Wallin, H. and F. McVicker. 1920. The Jonson "absolute form quotient" as an expression of taper. Journal of Forestry 18,346-357.

Clutter, J. L. 1980. Development of taper functions from variable-top merchantable volume equations. For. Sci. 26,117-120.

Czaplewski, R. L. and Mcclure, J. P., 1988. Conditioning a segmented stem profile model for two diameter measurement. Forest Science, 34, 2, 512-522.

Çolak, A.H. 1991. Karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) bazı yetişme tekniklerinin fidan kalitesi sınıflamasının temel teşkil eden morfolojik etkileri. Yüksek lisans tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 62 s.

Çörtü, M.R. 1991. Boyabat Orman İşletmesi Elekdağ Karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) ormandaki doğal gençlikler üzerinde tesbitler. Yüksek lisans tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 170 s.

Demeaerschalk, J. P. and 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.

Demir, C. 1996. Elmalı Barajı Havzası'nda Karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) Ormanlarının toprak özellikleri. Yüksek lisans tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Deniz, M. 1993. Demirköy'de Sarıçam ve Karaçam ağaçlandırma alanlarında toprak özellikleri üzerine araştırma. Yüksek lisans tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 110 s.

Doğan, B., Özer, A.S., Gülbaba, A.G., Velioğlu, E., Doerksen, A.H. ve Adams, W.T. 1997. Kazdağları'ndan örneklenen Karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) populasyonlarında kalıtım ve allellerin başlılığı. Ege Ormancılık Araştırma Enstitüsü Araştırma Dergisi, Sayı, 1, İzmir, 40-59.

Eler, Ü. 1977. Ağaç serveti envanteri yapılması amacıyla meşcere tipi ayrımı üzerine araştırmalar. İ.Ü. Orman Fakültesi, Doktora tezi, 159 s.(yayınlanmamıştır).

Eraslan, İ. ve Kalıpsız, A. 1967. Belgrad Ormanlarının amenajmanında uygulanan envanter metotları. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 1259, O.F. Yayın No:112.104s.

Fang, Z., Borders, B. E. and Bailey, R. L. 2000. Compatible volume-taper models for loblılly and slash pine based on a system with segmented-stem form factors. forest science, 46, 1, 1-11.

Fırat, F. 1973. Dendrometri, IV. Baskı, İ.Ü. Orman Fakültesi, İ.Ü Yayın No: 1800, O.Yayın No: 193, Kutulmuş Matbaası, İstanbul.

Figueiredo-Filho, A., Borders, B.E. and Hitch, K.L. 1996. Taper equations for pinus taeda plantations in southern Brazil. For. Ecol. Manage. 83,39-46

Göker, Y. 1969. Dursunbey ve Elekdağ Karaçamları (*Pinus nigra* var. *pallasiana*)'nın fiziksel, mekanik özellikleri ve kullanış yerleri hakkında araştırmalar. İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri A, XIX, 2, 91-135.

Green, E. J. and Reed, D. D., 1985. Compatible tree volume and taper functions for pitch pine, nothern journal of applied forestry, 2, 14-16.

Gülen, İ. 1959. Karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) hacim toblosu. İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri A, 97-112.

Gürses, M.K., Gemici, Y., Özkurt, N., Gülbaba, A.G.,Özkurt, A. ve Tüfekçi, S. 1996. Bolkar Dağları Karaçam (*Pinus nigra* Arnold. Var. *pallasiana* Schneider) populasyonlarında biyolojik çeşitlilik üzerine araştırmalar. DOA Dergisi, No: 2, Tarsus, 49-70.

Hilt, D. E., 1980 Taper-based system for estimating stem volumes ofupland oaks. USDA Forest Service, Research Paper NE-458, 12 s., 1980.

Hojer A., 1903. Growth of Scots pine and Norway spruce. Stockholm, Bilaga till. Loven, F.A. om vara barrskorar.

Honer, T. G., 1967. Standard volumes and merchantable converion 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.

Işık, K. 1990. Seasonal course of height and needle growth in *Pinus nigra* Grown in summer dry Central Anatolia. Forest Ecology and Managemenet, 35, 261-270.

Jiang, L. 2004. Compatible taper and volume equations for yellow-poplar in West Virginia. MS thesis. West Virginia University. Morgantown. WV. 75pp.

Jiang, L., Brooks, JR. and Wang, J., 2005. Compatible taper and volume equations for yellow-poplar in West Virginia. Forest Ecology and Management, 213, 399-409.

Kalıpsız, A. 1963. Türkiye'de Karaçam meşcerelerinin tabii bünyesi ve verim kudreti üzerine araştırmalar. O.G.M. Yayını, İstanbul, 141 s.

Kalıpsız, A., 1984, Dendrometri. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No: 3194, O.F. Yayın No: 354, İstanbul, 407 s.

Kalıpsız, A. 1999, Dendrometri. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No:3194/354, İstanbul.

Kapucu, F. 1987. Ormancılık bilgisi. K.T.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, Trabzon, 308s.

Kapucu, F., Yavuz, H., Gül, A.U. ve Mısır, N. 2002. Kestane meşcerelerinin hasılatı ve amenajman esasları. Tübitak TAGTOG TARP-2229 No'lu Proje, 118 s.

Karadağ, M. 1998. Batı Karadeniz Bölgesi'nde Karaçam (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* Lamb. Holmboe) doğal gençleştirme koşulları üzerine araştırmalar. Doktora Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kayacık, H. 1980. Orman ve park ağaçlarının özel sistematiği, *Gymnospermae* (Açık Tohumlular). İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın NO: 2642/281, 1. Cilt, Bozak Matbaası, Dördüncü Baskı, İstanbul, 388 sayfa.

Kozak, A. 1988, A Variable exponent taper equation. Canadian Journal of Forest Research, 18, 1363-1368.

Kozak, A., 2004. My last words on taper equations. Forest Chronicle. 80, 507-515.

Liu, C.J. 1980. Long volume Estimating with spline approximation. Forest Science, 26, 3, 361-369.

M'Hirit, D. and Postaire, J.G. 1985. A Nonparametric technique for taper function estimaion. Canadaian Journal of Forest Research, 15, 862-871.

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., Hodges, J.D., Sullivan, A.D. and 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 and Burkhart, H. E., 1976. Segmented polynomial regression applied to taper equations. Forest Science, 22, 3, 283-289.

Mısır, N., 2003. Karaçam ağaçlandırmalarına ilişkin büyüme modelleri. Doktora tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 222 s.

Newnham, R. M. 1988, A Variable Form Taper Function, Canada Frest Service, Petawawa Natl. For. Ins. Inf. Rep. PI-X-83.

Newnham , R.M. 1992 Variable-form taper functions for four Alberta tree species. *Can. J. For. Res.* 22 , 210 – 223

Özarıcı, İ. 1989. Boyabat yöresindeki Karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) meşcerelerinde kuruluş özellikleri. Yüksek lisans tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Özçelik, R., 2010. Sarıçam için uyumlu gövde çapı ve gövde hacim modeli. III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi Artvin, Bildiriler Kitabı, 358-366.

Özçelik, R. ve Alkan, H., 2011. Okaliptüs ağaçlandırmaları için uyumlu gövde çapı ve gövde hacim modellerinin geliştirilmesi. I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu Kahramanmaraş, Bildiriler Kitabı, 720-730.

Özçelık, R., Brooks, J.R. and Jıang, L., 2011. Modeling stem profile of Lebanon cedar, Brutian pine and Cilicica fir in Southern. Turkey using nonlinear mixed-effects models. European Journal of Forest Research, 130, 613-621.

Özçelik, R. and Brooks, J. R., 2012. Compatible volume and taper models for economicaly ımportant tree species of Turkey, Annals of Forest Science, 69, 105-118.

Özçelik, R., Yavuz, H., Karatepe, Y., Gürlevik, N.ve Kırış, R., 2012. Burdur yöresi kızılçam meşcereleri için gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin geliştirilmesi. SDÜ Orman Fakültesi Dergisi, 85-91.

Özcelik, R. ve Bal, C., 2013. Effects of adding crown variables in stem taper and volume predictions for black pine. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 37,231-242.

Özdemir, M. 1994. Taşköprü İşletmesi Sarıçam(*Pinus sylvestris* L.) ve Karaçam (*Pinus nigra*) ağaçlandırma sahalarında büyüme ilişkileri. Yüksek lisans tezi, K.T.Ü. Fen Bilimlerii Enstitüsü, Trabzon, 68 s.

Parresol, B.R., Hotveld, J.E. and Cao, Q. V. 1987. A volume and taper prediction system for bald cypress. Canadian Journal of Forest Research, 17, 250-259.

Perez, D. N. and Burkhart, H. E. Stiff, C. T, 1990, A variable form taper function for pinus ocarpa schiede in central honduras. Forest Science, 36, 1, 186-191.

Real, p. l., Moore, j. a. and Newberry, J. D., 1989. Principal components analysis of tree stem profile, Canadian Journal of Forest Research, 19, 1538-1542.

Saatçioğlu, F. 1976. Silvikültür I, Sivikültürün biyolojik esasları ve prensipleri. İ.Ü. Orman Fakültesi, Yayın NO: 2187/222, İkinci Baskı, Sermet matbaası, İstanbul, 423 sayfa.

Sakıcı, O., 2002. Kastamonu yöresi Uludağ Göknarı meşcerelerinde gövde profili, hacim, hacim oran sistemlerinin geliştirilmesi. Yüksek lisans tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

SAS Institute Inc. 2004. SAS/ETS 9.1 User's Guide. Cary, NC, SAS Institute Inc.

Şahin, D., 2012. Karaçam meşcereleri için uyumlu gövde çapı ve gövde hacmi denklem sistemlerinin geliştirilmesi. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek lisans tezi, 64s.

Tatsuo, S. 1988. A Theoretical taper curve(II), Journal of Japan Forest Society, 70, 199-205.

Therien, G.and Camire, C. 1986. Use of taper curve solved by an algebraic method in silvicultural research. The Fprestry Chronicle, 62, 259-532.

Thomas, C.E. and Parresol, B.R. 1991, Simle, flexible, trigonometric taper equations, Canaddian Journal of Faret research. 21, 1132-1137.

Velioğlu, E., Çengel, B. ve Kaya, Z. 1999. Kazdağları'ndaki doğal karaçam (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana*) populasyonlarında genetik çeşitliliğin yapılması. Orta Anadolu Tohum Islahı Araştırma Müdürlüğü, Teknik Bülten Serisi, No:1.

Yaltırık, F., 1993. Dendroloji ders kitabı II *Angiospermae* (Kapalı Tohumlular). Bölum I, 2. Baskı, İstanbul, 46-48 s.

Yavuz, H., 1995. Uyumlu ve uyumsuz gövde çapı modelleri. KTÜ Orman Fakültesi Bahar yarıyılı seminerleri, Fakülte Yayın No:49, 101-106.

Yavuz, H. ve Saraçoğlu, N., 1999. Kızılağaç için uyumlu ve uyumsuz gövde çapı modelleri. Turkısh Journal of Agriculture And Forestry, 23, Ek Sayı 5, 1275-1282.

Yavuz, H. ve Sakıcı, O. E. 2002, Gövde profili modellerinin bilimsel ve pratik açıdan irdelenmesi, orman amenajmanı'nda kavramsal açılımlar ve yeni hedefler sempozyomu. Bildiriler Kitabı, İstanbul, 233-241.

Yılgör, N. 1999. Türkiye'de Karaçam (*Pinus nigra* L.) varyetelrinin kimyasal açıdan karakterizasyonu. Doktora tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ek-1. Ağaçlara İlişkin Hacim Hesaplamalarında Kullanılan Excel Visual Basic Uygulamasına İlişkin Kodlar

```
Sub hacimtahminjiang()
Dim b1, b2, b3, b4, G, W, D, H, F, x, y, T, Z, L1, L2, L3, U1, U2, U3, I1, I2, I3, I4, I5, I6 As
Double
b1 = 104.8725
b2 = 3.69633
b3 = 0.847391
b4 = 3.171331
n = WorksheetFunction.Count(Columns(3))
For i = 1 To n
D = CDbl(Sayfa1.Cells((i + 1), 1))
H = CDbl(Sayfa1.Cells((i + 1), 2))
F = CDbl(Sayfa1.Cells((i + 1), 3))
L = CDbl(Sayfa1.Cells((i + 1), 4))
U = CDbl(Sayfa1.Cells((i + 2), 4))
If i = n Then
U = H
End If
Sayfa1.Cells((50), 1) = L
Sayfa1.Cells((51), 1) = U
G = (1 - (1.3 / H)) ^ b1
Sayfa1.Cells((i + 1), 5) = G
W = (b2 + (b3 / (D * D * D))) / (1 - G)
Sayfa1.Cells((i + 1), 6) = W
x = (1 - (1.3 / H)) ^ b4
Sayfa1.Cells((i + 1), 7) = x
y = (1 - (5.3 / H)) ^ b4
Sayfa1.Cells((i + 1), 8) = y
Z = ((D * D) - (F * F)) / (x - y)
Sayfa1.Cells((i + 1), 9) = Z
T = (D * D) - (Z * x)
Sayfa1.Cells((i + 1), 10) = T
L1 = CDbl(Sayfa1.Cells((i + 1), 13))
```

```
L2 = CDbl(Sayfa1.Cells((i + 1), 16))
L3 = CDbl(Sayfa1.Cells((i + 1), 19))
U1 = CDbl(Sayfa1.Cells((i + 1), 22))
U2 = CDbl(Sayfa1.Cells((i + 1), 25))
U3 = CDbl(Sayfa1.Cells((i + 1), 28))
I1 = CDbl(Sayfa1.Cells((i + 1), 29))
I2 = CDbl(Sayfa1.Cells((i + 1), 30))
I3 = CDbl(Sayfa1.Cells((i + 1), 31))
I4 = CDbl(Sayfa1.Cells((i + 1), 32))
I5 = CDbl(Sayfa1.Cells((i + 1), 33))
I6 = CDbl(Sayfa1.Cells((i + 1), 34))
parca1 = I1 * (D * D) * (((1 - G * W) * (U1 - L1)) + (W * ((((1 - L1 / H) ^ b1) * (H - L1)) - (((1 - U1 / H) ^ b1) * (H - U1))) / (b1 + 1)))
parca2 = I2 * (I3) * (((T * (U2 - L2))) + (Z * ((((1 - L2 / H) ^ b2) * (H - L2)) - (((1 - U2 / H) ^ b2) * (H - U2))) / ((((1 + (1.3 / H)) ^ b2) - ((1 - (5.3 / H)) ^ b2)))))
parca3 = b3 * (U3 - L3) - ((b3 * (((U3 - 5.3) ^ 2) - ((L3 - 5.3) ^ 2))) / (H - 5.3))
parca4 = (b3 / 3) * ((((U3 - 5.3) ^ 2) - ((L3 - 5.3) ^ 2)) / (((H - 5.3))))

parca5 = (I5 * (1 / 3) * ((1 - b3) / (b4 ^ 2)) * (((b4 * (H - 5.3)) - (U3 - 5.3)) ^ 3)) / ((H - 5.3) ^ 2)
parca6 = (I6 * (1 / 3) * ((1 - b3) / (b4 ^ 2)) * (((b4 * (H - 5.3)) - (U3 - 5.3)) ^ 3)) / ((H - 5.3) ^ 2)
Vjiang = (parca1 + parca2 + (I4 * (F * F) * (parca3 + parca4 + parca5 - parca6))) * 0.0000785
Sayfa1.Cells((i + 1), 35) = Vjiang
Next i
Vtoplam = WorksheetFunction.Sum(Columns(35))
Sayfa1.Cells(23, 11) = Vtoplam
End Sub
```

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	, Fatih Alpaslan ATALAY
Doğum Yeri	, Artvin
Doğum Tarihi	, 17.04.1989
Medeni Hali	, Bekar
Yabancı Dili	, İngilizce
Adres	, Buğdaylı mah. Yeni İstanbul Yolu Üzeri Işıklar Apt. No,12/12 Merzifon, Amasya
Tel	, 0 506 337 30 07
E-posta	, faatalay@gmail.com
Eğitim Durumu	
Lise	, Merzifon Lisesi – Amasya/Merzifon (2003-2006)
Lisans	, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği (2007-2011)
Yüksek Lisans	, Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı (2011-2014)
Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl	
2012 - 2013	Optimal Ormancılık Müş. İnş. Teks. Gıda San. Tic. Ltd. Şti. Adapazarı/Sakarya
- 2012	Aydın, Koçarlı, Germencik
- 2013	Adana(Aladağ Pos Orman İşletme Müdürlüğü), Tokat(Yaylacık, Gökdere, Merkez) Amenajman Planlaması, Orman Envanteri