

T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SİNOP YÖRESİ ULUDAĞ GÖKNARI (*Abies nordmanniana* (Stev.)
Subsp. *bornmülleriana* (Mattf.)) MEŞCERELERİ İÇİN GÖVDE ÇAPI
MODELİNİN KARIŞIK ETKİLİ MODELLEME TEKNİĞİ
KULLANILARAK GELİŞTİRİLMESİ

Ümit YAŞAR

Danışman
Doç. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2015

© 2015 [Ümit YAŞAR]

TEZ ONAYI

Ümit YAŞAR tarafından hazırlanan "**Sinop Yöresi Uludağ Göknaı (*Abies nordmanniana* (Stev.) Subsp. *bornmülleriana* (Mattf.)) Meşcereleri İçin Gövde Çapı Modelinin Karışık Etkili Modelleme Tekniği Kullanılarak Geliştirilmesi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Orman Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman	Doç. Dr. Ramazan ÖZÇELİK Süleyman Demirel Üniversitesi
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Yılmaz ÇATAL Süleyman Demirel Üniversitesi
Jüri Üyesi	Yrd. Doç. Dr. Özdemir ŞENTÜRK Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi

Enstitü Müdür V. Doç. Dr. Yasin TUNCER

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Ümit YAŞAR

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vi
1. GİRİŞ	7
1.1. Uludağ Göknarı Türüne Ait Genel Bilgiler.....	11
1.1.1. Botanik özellikleri ve doğal yayılışı	12
1.1.2. Ekolojik özellikleri.....	15
1.1.3. Silvikültürel özellikleri.....	15
1.1.4. Odununun kullanım yerleri.....	16
1.3. Gövde Profili Modellerin Sınıflandırılması	16
2. KAYNAK ÖZETLERİ	19
3. MATERYAL VE YÖNTEM	32
3.1. Materyal.....	32
3.2. Yöntem	34
3.2.1 Gövde çapı modelleri.....	34
3.2.2 Karışık-etkili modelleme ile gövde çapı modelinin geliştirilmesi	37
3.2.3 İstatistiksel analiz	41
3.2.4. Model Performanslarının Değerlendirmesinde Kullanılan Ölçütler	42
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	44
4.1. Karışık-etkili değişken şekil gövde çapı modeli	44
4.2. Hata varyansı ve otokorelasyon için elde edilen sonuçlar	47
4.3. Gövde çapı tahminlerinin değerlendirilmesi	50
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	55
KAYNAKLAR.....	58
ÖZGEÇMİŞ	68

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SİNOP YÖRESİ ULUDAĞ GÖKNARI (*Abies nordmanniana* (Stev.) Subsp. *bornmülleriana* (Mattf.)) MEŞCERELERİ İÇİN GÖVDE ÇAPI MODELİNİN KARIŞIK ETKİLİ MODELLEME TEKNİĞİ KULLANILARAK GELİŞTİRİLMESİ

Ümit YAŞAR

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

Sinop Ayancık Yöresi Uludağ göknarı (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana* Mattf.) meşcerelerinde gövde profilinin ağaçlar-arası ve ağaçlar-içi varyasyonunu değişken şekil gövde çapı modelini temel alarak modellemek için doğrusal olmayan karışık etkili modelleme yaklaşımı kullanılmıştır. Bu amaçla ölçümü yapılan ağaçları %75'i model geliştirmek gerekli kalan yaklaşık %25'lik kısmı ise geliştirilen modeli test etmek amacıyla kullanılmıştır. Ölçüt değerleri temel alındığında, en uygun model yapısının modelin bütün parametrelerinin tesadüfi değişken içermesi durumunda elde edildiği görülmüştür. Tesadüfi değişke içeren en iyi karışık etkili model, homojen bir varyans yapısı göstermiş ve veriler arası otokorelasyon azaltılmıştır. Ortalama hata ve hataların kareler ortalaması değerleri göstermiştir ki, tesadüfi değişken eklenen model, ağaç gövdesi üzerindeki değişik noktalardeki çap tahminlerinde önemli iyileşmeler sağlamıştır.

Karışık etkili modeller eğer ekstra çap ölçümleri mevcut ise, tesadüfi değişkenler yardımı ile yeni bir yer ya da birey için modelin kalibrasyonuna imkan sağlamaktadır. Bu amaçla özel kalibrasyon için ağaç gövdesi üzerindeki farklı yerlerdeki çap ölçümleri ve uygun Bayesian yaklaşımı kullanılarak kalibrasyon alternatifleri değerlendirilmiştir. Kabuklu göğüs çapı tahminleri için en uygun kalibrasyon seçeneğinin 8.3 m'de ölçülen çap değerleri olduğu görülmüştür. Bu çalışmanın sonuçları, daha önce yapılan çalışmaların sonuçlarına benzer şekilde, gövde üzerinde farklı çap tahminleri için gövde çapı modelinin etkinliğini ve esnekliğini arttırmak amacıyla karışık etkili modelleme yaklaşımının kullanımını desteklemektedir.

Anahtar Kelimeler: Değişken şekil gövde çapı modeli, Karışık-etkili modeller, Uludağ göknarı, Model kalibrasyonu

2015, 68 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DEVELOPING STEM TAPER EQUATIONS BY USING MIXED EFFECTS MODELING FOR ULUDAG FIR (*Abies nordmanniana* (Stev.) Subsp. *bornmülleriana* (Mattf.)) IN SINOP REGION

Ümit YAŞAR

Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Forest Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

A nonlinear mixed-effect modeling approach was used to model within- and between-tree stem profiles variation based on a variable exponent taper equation for Turkish fir (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmulleriana* Mattf.) stands in Ayacık-Sinop District of Turkey. About 75% of the trees were randomly selected for model development and the remainder used for model validation. Based on goodness-of-fit criteria, the model including random-effects in all parameters ($\beta_{0i}, \beta_{1i}, \beta_{2i}, \beta_{3i}$) was the best. The selected mixed-effects model showed homogeneous residual variance and autocorrelation was reduced with the inclusion of random-effects. Measures of bias and precision indicated that estimates of random-effects improved significantly the predictive capability of the taper equation when predicting upper stem diameters.

Mixed models allow calibration of the model for new locations, by predicting random coefficients if additional stem form measurements are available. Diameter measurements from various stem locations were evaluated for tree-specific calibrations by predicting random-effects parameters using an approximate Bayesian estimator. It was found that an upper stem diameter at 8.3 m above ground was best suited for calibrating tree-specific predictions of diameter outside bark. The results of this study support previous findings indicating that the use of mixed-effects modeling approach increases flexibility and efficiency of taper equations for upper stem diameter prediction.

Keywords: Variable-exponent taper model, mixed-effects models, Turkish fir, Model calibration.

2015, 68 pages

TEŞEKKÜR

Sinop Yöresi Uludağ Göknarı (*Abies nordmanniana* (Stev.) subsp. *bornmülleriana* (Mattf.)) Meşcereleri İçin Gövde Çapı Modelinin Karışık Etkili Modelleme Tekniği Kullanılarak Geliştirilmesi isimli bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Doç. Dr. Ramazan ÖZÇELİK'e teşekkürlerimi sunarım. Yüksek Lisans dersleri ve arazi çalışmalarımın her aşamasında bana yardımcı olan, yol gösteren, çalışmamın başından sonuna kadar her aşamasında katkısını gördüğüm Sayın Hocam Doç. Dr. Ramazan ÖZÇELİK'e ve Arş. Gör. Onur ALKAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

BAP-3963-YL1-14 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Ümit YAŞAR
ISPARTA, 2015

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Kızılçamın ülkemizdeki doğal yayılış alanı (Yaltırık ve Akkemik 2011'den değiştirilerek).....	13
Şekil 3.1. Sinop Yöresi Uludağ Göknarı İçin Model Geliştirme ve Test Verilerinin Nisbi Çap-Nisbi Boy İlişkisi.....	33
Şekil 4.1. Nisbi boylar itibariyle sabit etkili ve karışık etkili modeller için hata varyansı.....	47
Şekil 4.2. Sabit etkili ve karışık etkili modeller için Lag-hata otokorelasyonu grafiği	48
Şekil 4.3. Sabit etkili ve tesadüfi etkili parametrelere sahip modeller kullanılarak iki ağaç için gövde şekili eğrileri.....	49
Şekil 4.4. Nisbi boy sınıfları itibariyle tek ekstra çap kullanılarak yeni bir ağaç için ortalama ve kalibre edilmiş yanıtlar için RMSE değerleri.....	53
Şekil 4.5. Nisbi boy sınıfları itibariyle iki ekstra çap kullanılarak yeni bir ağaç için ortalama ve kalibre edilmiş yanıtlar için RMSE değerleri.....	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Uludağ göknarı için gövde çap modeli geliştirmek ve geliştirilen modelin test edilmesi amacıyla ölçülen parametrelerine ilişkin nitelendirici istatistikler	34
Çizelge 4.1. Sharma ve Parton (2009)'un değişken şekil gövde çapı modelinin farklı tesadüfi değişken kombinasyonları için istatistiki sonuçlar.....	44
Çizelge 4.2. Sharma ve Parton (2009)'un karışık etkili değişken şekil gövde çapı modeli için parameter tahminleri.....	45
Çizelge 4.3. Farklı nisbi boy değerlerindeki gövde çapı tahminleri için ortalama ve kalibre edilmiş cevaplar için ortalama hata (E) ve hata kareler ortalaması (MSE) değerleri	51
Çizelge 4.4. Uludağ Göknaında çap tahminleri için nisbi boylar itibariyle ortalama ve kalibre edilmiş yanıtların RMSE değerleri.....	52

1. GİRİŞ

Son yıllarda Türkiye, amenajman planlarının düzenlenmesinde, ekosistem tabanlı fonksiyonel planlama prensiplerine dayanan planlama yaklaşımlarını benimsemiş ve bunu orman amenajman planlarına yansıtmaya başlamıştır. Bu kapsamda, ormanların gördüğü fonksiyonlar belirlenmekte, bu fonksiyonlara göre fonksiyon haritaları yapılmakta, işletme amaç ve/veya amaç kombinasyonları ortaya konarak ete kararlaştırılmakta ve planlama çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Ancak, ormancılığımızda, planlama çalışmalarında ortaya çıkan bu değişme ve gelişmelere rağmen, orman ürünleri üretim fonksiyonu halen planlama çalışmalarında en önemli işletme amaçlarından biridir. Bu nedenle ağaç ve meşcerelere ilişkin hacmin ve bu hacim miktarının farklı ticari sınıflara dağılımının doğru hesaplanması, orman amenajman planlarının düzenlenmesi ve orman ürünleri sanayisinin geleceğine ilişkin projeksiyonlarının yapılabilmesi için büyük önem taşımaktadır. Orman ürünleri endüstrisinde, piyasa şartları odun hammaddesi standartlarındaki değişmelere bağlı olarak sürekli değişkenlikler gösterebilmektedir. Maalesef, halen kullanılmakta olan geleneksel hacim tahmin yöntemleri çeşitlenen ürün ve değişen pazar şartlarının gerektirdiği hacim tahminleri için yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle; odun kaynaklarının rasyonel olarak yönetimi, değişik yararlanma alternatifleri ve farklı yönetim uygulamaları için tek ağaç hacminin en doğru şekilde belirlenmesine imkân sağlayan esnek ve güvenilir hacim tahmin metodlarına ihtiyaç duymaktadır.

Ağaç hacimlerinin doğru tahmini için var olan farklı yöntemler arasında en etkin ve çok yönlü yaklaşım tarzı gövde profili modelleridir (Jiang vd., 2005). Gövde profili modellerinin ormancılık uygulamaları için diğer bir önemi de, büyüme ve hasılat modellerine entegre edilebilmesi, farklı yetime ortamları ve farklı planlama alternatiflerinden elde edilecek ürün sınıflarının ve miktarlarının tahminine imkan sağlamasıdır (de-Miguel vd., 2012). Bir ağaca ilişkin hacim tahmininin başarısı, gövde üzerindeki çap tahminleri ile doğru orantılıdır. Gövde üzerindeki farklı noktalardaki çap değerleri ne kadar doğru tahmin edilirse,

gövdenin tamamı ya da herhangi bir bölümüne ilişkin hacim de o derece doğru tahmin edilebilecektir.

Bir ağacın gövde formunun ve dolayısı ile gövde üzerindeki herhangi bir noktadaki çap değerinin tahmin edilmesi amacıyla çok farklı matematiksel formlarda modeller geliştirilmiştir (Huang vd., 2000; Figueiredo-Filho vd., 1996; Fang vd., 2000; Kozak (1988 ve 2004) Trincado ve Burkhart, 2006; Sharma ve Oderwald, 2001; Sharma ve Burkhart, 2002; Lee vd, 2003; Jiang vd., 2005; Jiang vd., 2007; Brooks vd., 2007; vb.). Bu kapsamda genel olarak üç farklı yaklaşım tarzı benimsenmiş ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Birinci yaklaşımda, gövde formu ya da gövde profili basit bir matematiksel fonksiyonla ile tanımlanmıştır (Kozak vd., 1969; Sharma ve Oderwald, 2001). İkinci yaklaşım tarzında ise, gövde formu farklı geometrik katı cisimlerin birleştirilmesi ile elde edilmeye çalışılmıştır. Bu amacı gerçekleştirebilmek için gövdenin alt bölümü kesik nayloid, orta bölümü paraboloid ve üs kısmı da koni olarak düşünülmüş ve katılma noktaları ile bu farklı geometrik katılar birleştirilmeye çalışılmıştır. Bu yaklaşım tarzının en önemli temsilcileri Max ve Burkhart (1976), Clark vd. (1991) ve Fang vd. (2000)'dir. Üçüncü yaklaşım tarzında ise, gövde formunun bir noktadan diğer noktaya değiştiği varsayılmaktadır. Bu varsayımda, tek bir sürekli fonksiyon ile değişken şekil gövde formu tanımlanabilmektedir. Bu yaklaşım tarzının en önemli örnekleri Kozak (1988 ve 2004) ve Newnham (1992)'dir. Daha sonraları ise, Sharma ve Zhang (2004) tarafından da değişken şekil gövde profili modelleri geliştirilmiştir.

Newnham (1988)'e göre gövde profili modelleri üzerindeki çalışmaların halen sürmesinin iki önemli nedeni vardır. Bunlardan birincisi; tüm ağaç türleri için gövde formundaki değişimi açıklamaya yetecek bir teorinin bulunmaması; ikincisi de sürekli değişen pazar koşullarına bağlı olarak değişen odun çeşidi standartlarını dikkate alan bir yöntemin elde edilememesidir. Bir gövde profili modelinin başarısı ağaç türüne göre değişiklikler gösterebilir. Bu yüzden her tür ve bu türün farklı yetiştirme ortamları için model parametrelerinin tahmin edilmesi gerekmektedir. Ormancılık çalışmalarında iki grup gövde profili modelinin başarı ile kullanıldığı belirtilmektedir. Bunlardan ilki değişken şekil çap modelleridir. Bu

modellerde, bir ağaç gövdesinin, dipten tepeye doğru nayloid, paraboloid ve konik parçalardan oluştuğu düşünülmektedir (Newnham, 1988; Kozak, 1988; Perez vd., 1990). Ancak bu model formunun bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar; gövde üzerindeki farklı şekillerin hacim hesaplamaları için birleştirilememesi ve en yüksekteki çap değeri için ticari boyun doğrudan hesaplanamayıp, bir iterasyon ile hesaplanmasının gerekli olması belirtilebilir. İkinci grup ise; parçalı-gövde çapı (Segmented-polynomial) modelleridir. Bu modeller farklı ağaç bölümlerinin çap düşüşlerini farklı denklem formları kullanılarak tanımlamaktadır (Martin, 1981; Parresol vd., 1987; Clark vd., 1991; Figueiredo-Filho vd., 1996; Jiang, 2004; Crecente-Campo vd., 2009). Bu gövde çapı modellerinin diğer gövde çapı modellerine göre önemli bir üstünlüğü, gövde çapı modellerinin hacim hesaplamaları için kolaylıkla hacim denklemlerine dönüştürülebilir olmasıdır (Fang vd., 2000).

Gövde profili modellerinin geliştirilmesi amacıyla genellikle doğrusal olmayan en küçük kareler (NLS) yöntemini kullanılmıştır. Ancak, bu modellerin geliştirilmesinde kullanılan veriler, aynı ağaç üzerinde düzenli ya da düzensiz aralıklarla ölçülen çap değerlerinden elde edilmektedir. Bunun sonucu olarak da, ölçüm değerleri birbiri ile ilişkili olmaktadır. Bu ilişki regresyondaki kovaryans matrisinin yansız tahmini için gerekli olan hataların bağımsız olma kuralını ortadan kaldırmaktadır. Bu nedenle, son yıllardaki araştırma çalışmaları hem yeni model formlarının geliştirilmesine, hem de gövde formundaki ağaçlar arası değişkenliğin hesaplanmasına ilişkin yeni yaklaşımlara odaklanmıştır. Bu amaçla son yıllarda, gövde profili modellerinin geliştirilmesinde doğrusal olmayan karışık etkili modelleme (NLME) yaklaşımı kullanılmaya başlamıştır (Gregoire ve Schabenberger, 1996; Fang ve Bailey, 2001). Bu yaklaşım ile çoklu hiyerarşik yapı gösteren veri seti içerisindeki bireylerin kendi içindeki ve bireyler arası ilişki hesaplanabilmekte ve model esnekliği sağlanabilmektedir. Yine bu modelleme yaklaşımı ile, sabit (fixed) ve tesadüfi (random) etkili parametreler eş zamanlı tahmin edebilmektedir. Bu özellik, karışık etkili modellemeyi yeni bir birey için tahmin yapılması gerekli olduğunda ve bu bireyle ilgili bir ön bilginin bulunması durumunda diğer modellere göre daha etkili yapmaktadır. Bu durumda, ön bilgi, yeni birey için tesadüfi değişkenin tahmin edilmesi için kullanılmakta ve modelin

kalibresini mümkün kılmaktadır. Bu özellikler karışık etkili modellemeyi, diğer modelleme tekniklerine göre daha avantajlı duruma getirmektedir. Burkhart ve Tome (2012) tarafından da belirtildiği gibi, karışık etkili modelleme tekniğinin geleneksel regresyon denklemlerine üstünlüğü; modelin yapısında sabit ve tesadüfi etkili parametreleri birlikte bulundurması ve ilişkili verilerin varyans-kovaryans matrislerinin modellenmesine izin vermesidir. Bu nedenle karışık etkili modelleme yaklaşımı, ağaçlar arası ve ağaçlar içi varyasyonu daha iyi açıklayabilmekte ve modelin sabit etkili parametrelerinin yansız ve doğru tahminine imkân sağlamaktadır. Bunun yanında karışık etkili modelleme yaklaşımı şayet örneklenmemiş bir yer için tesadüfi parametreleri tahmini yapılacaksa, modelin tahmin yeteneğini iyileştirebilmektedir (Calama ve Montero, 2004; Jiang vd. 2007).

Ülkemizde maalesef, ağaç türleri ve meşcere yapılarına bağlı olarak elde edilebilecek odun çeşitlerinin tahmin edilmesinde kullanılan temel altlıklardan biri olan gövde profili modelleri ile ilgili yeterli bilimsel çalışma bulunmamaktadır. Ülkemizde gövde profili modellerinin geliştirilmesi amacıyla yöresel bazda farklı model yapıları kullanılarak bazı çalışmalar yapılmıştır (Yavuz, 1995; Yavuz ve Saraçoğlu, 1999; Sakıcı, 2002; Meydan-Aktürk, 2006; Sakıcı vd., 2008; Brooks vd., 2008; Özçelik ve Brooks, 2012; Özçelik ve Bal, 2013). Karışık etkili modelleme yaklaşımı ile gövde çapı modellerinin geliştirilmesi ile ilgili olarak ise, ülkemizdeki çalışmaların sayısı oldukça azdır (Özçelik vd., 2011; Ercanlı ve Kahrıman, 2013; Şenyurt vd., 2014; Ercanlı, 2015).

Göknar türleri (Uludağ göknarı, Doğu Karadeniz göknarı, Toros göknarı ve Kazdağı göknarı) ülkemizde 2012 yılı orman envanteri bilgilerine göre yaklaşık 670.000 ha alan kaplamaktadır. Bu alan içerisinde Uludağ göknarı da önemli bir yer tutmaktadır. Diğer yandan, bu göknar türü, hem ekolojik hem de ekonomik açıdan yayılış gösterdiği alanlar için önemli bir ağaç türüdür. Bu alanlarda Uludağ göknarı; toprak ve su kaynaklarının korunması, ilkim değişiminin olumsuz etkisinin azaltılması ve buna adaptasyon sağlanması ve biyolojik çeşitliliğin korunması gibi önemli çevresel konularda anahtar bir role sahiptir. Buna ilaveten Uludağ göknarı, özellikle son yıllarda artan ekonomik değeri ve dekoratif özellikler nedeniyle de Türkiye için özel bir öneme sahip türdür. Türkiye için

endemik bir tür özelliğine sahip Uludağ göknarı tüm dünyada Noel ağacı olarak büyük bir üne de sahiptir ve piyasada yüksek miktarda talebe konu olmaktadır (Sevik, 2012). Bu çerçevede, Uludağ göknarı ormanların bir taraftan korunması, diğer taraftan da sürdürülebilir işletilmesi amacıyla, geleceğe dönük planlama ve stratejilerin oluşturulması için bu ormanların mevcut durumuna, büyüme ve gelişme niteliklerine ilişkin güvenilir ve nitelikli bilgilere ihtiyaç bulunmaktadır.

Bu çalışmada, Sinop-Ayancık Yöresi doğal Uludağ göknarı meşcereleri için karışık etkili modelleme yaklaşımı kullanılarak gövde çapı modeli geliştirilmiştir. Bu amaçla farklı tesadüfi değişken kombinasyonları test edilmiş ve en başarılı tesadüfi değişken kombinasyonu kullanılarak yeni bir birey veya yer için modelin kalibrasyonu yapılarak geliştirilen model test edilmiştir. Çalışmada Sharma ve Parton (2009), tarafından önerilen değişken şekil gövde çapı modeli kullanılmıştır. Bu model orijinali Sharma ve Oderwald (2001), tarafından geliştirilen ve daha sonra bu modeli temel alarak oluşturulan Sharma ve Zhang (2004), gövde çapı modelinin değiştirilmiş şeklidir. Sharma ve Zhang (2004) tarafından da bildirildiği üzere bu model, gövde çapı tahminlerinde; Max ve Burkhart (1976), tarafından geliştirilen parçalı gövde çapı modeli, Kozak (1988) ve Zakrzewski (1999), tarafından geliştirilen değişken şekil gövde çapı modellerinden daha üstündür.

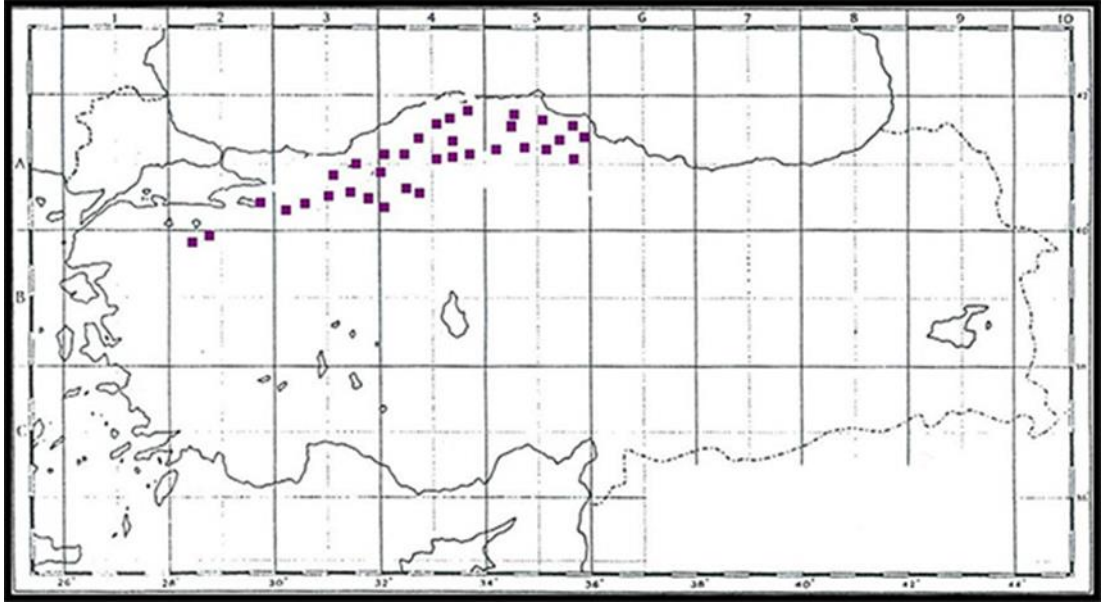
1.1. Uludağ Göknarı (*Abies nordmanniana* Subsp. *Bornmuelleriana* Mattf.) Türüne Ait Genel Bilgiler

Uludağ göknarı özellikle son yıllarda ön plana çıkan ağaç türlerimizdendir. Geçmiş yıllarda ekonomik yönden değerli bir tür olarak görülmediğinden dolayı Uludağ Göknarı bazı alanlarda tıraşlanarak dikim yoluyla tür değişimine gidilmiştir. Bunun yanında bazı bölgelerde de Uludağ göknarının karışım yaptığı ağaç türleri üzerinde yoğun baskı kurulmuş (özellikle kaçak kesimler ve usulsüz faydalanma ile) ve bu ağaç türlerinin alandan uzaklaşması sonucu bu alanlar saf Uludağ göknarı ormanları haline dönüşmüştür.

Ayrıca, son yıllarda Uludağ göknarının doğal yayılış alanlarında yoğun kurumalar yaşanması, dikkatleri fazlasıyla bu ağaç türünün üzerine çekmiş, yoğun ve münferit olarak yaşanan kurumaların sebepleri üzerine pek çok araştırma yapılmaya başlanmıştır. Ancak, kurumaların sebebi, genel olarak küresel iklim değişikliğine bağlanmış, bu durum ülkemiz için endemik bir tür olan Uludağ göknarının üzerinde daha fazla araştırma yapılmasını gerekli kılmıştır. Bu amaçla yapılmış olun bu çalışmada söz konusu ağaç türüne ait genel bilgiler aşağıda alt başlıklar halinde özetlenmiştir.

1.1.1. Botanik özellikleri ve doğal yayılışı

Uludağ göknarı, bitkiler âleminin tohumlu bitkiler (Spermatophyta) bölümü, açık tohumlular (Gymnospermae) alt bölümü Coniferae sınıfı Pinaceae familyasının Abies cinsi içerisinde yer almakta olup Türkiye'ye özgü endemik bir türdür (Saraçoğlu, 1988). Uludağ göknarı Kızılırmak'tan başlayarak Uludağ'ın batı yamaçlarına kadar, Doğu Karadeniz göknarları gibi, aynı yükseklik basamaklarında, geniş fakat kesintili bir yayılış gösterir (Şekil 1.1). Uludağ Köroğlu Dağ silsilesi Bolu, Ilgaz ve Küre Dağları üzerinde kayın, sarıçam; aşağılarda karaçamlarla karışık ve saf ormanlar oluşturur. Yayılış alanlarının denize yakın kısımlarında (Zonguldak-Ayancık) rutubeti seven deniz tipi, İç Anadolu'ya sokulan kısımlarında (Beyşehir-Kızılcahamam-Gerede) kuraklığa oldukça dayanıklı kara tipi olarak, iki ekotipten oluştuğu bilinmektedir (Saatçioğlu, 1976). Bu türün güneye inerken iklimin birden değişmesi ve arazinin yükselmesi gibi, yayılışını önleyici herhangi bir engelle karşılaşmadığı görülür (Sevim, 1962).



Şekil 1.1. Kızılcçamın ülkemizdeki doğal yayılış alanı (Yaltırık ve Akkemik 2011'den değiştirilerek)

Uludağ göknarı ülkemiz asli orman ağacı türlerindedir. Genel olarak ülke ormanlarımızın yaklaşık % 40'ını geniş yapraklı ormanlar, % 60'ını ise iğne yapraklı ormanlar oluşturmaktadır. Servet olarak ise iğne yapraklı ormanlar, ülke ormanlarımızın % 68'ini teşkil eder. Göknarlar ülkemizde yaklaşık 0,6 milyon ha yayılış alanı ile iğne yapraklı ağaçlar içerisinde, kızılçam, karaçam ve sarıçamdan sonra en geniş yayılış alanına sahip ağaç türüdür (Anonim, 2006). Fakat Uludağ göknarının yayılış alanının çok parçalı oluşu sebebiyle tam bir envanter çalışması yapılmadığından, bu türün nerelerde ve ne kadar yayılış alanına sahip olduğu net olarak belirlenememiştir.

Uludağ göknarı 30–40 m boy, 1,40 m gövde çapı yapan herdem yeşil birinci sınıf orman ağacıdır. Gençken dar piramidal bir gövde yapar, yaşlı ağaçlarda gövde yarı piramidal sütunumsu bir taç yapısına kavuşur. Gövde kabuğu gri, genç sürgünler gridir. Sürgünleri *A. nordmanniana*'ya benzer ancak parlak ve tüysüzdür ve kahverengindedir. Dörtlü ve oval-konik olan tomurcukları *A. nordmanniana*'nın aksine reçineli fakat tüysüzdürler. 2–3 cm uzunluğunda olan iğne yapraklar ışık alan sürgünlerde tarağımsı dizilmişlerdir, sürgünlerin diğer kısımlarında yer alan sürgünler ise her yönde yayılmışlardır.

Yaprakların üst yüzleri koyu yeşil ve çukurluklu; alt yüzlerinde 2 adet stoma bandı yer alır. Stoma bantları bazen üst yüzün üst taraflarına doğru taşabilmektedir. İlkbahar sonlarında geçen yılda oluşan sürgünlerin uçlarında görülürler. Erkek çiçekler sarı renktedirler. Silindirik ve dik durumlu olan kozalakları 15–20 cm boyunda 4–5 cm genişliğindedirler. Dış pullar (brahteler) dışarıdan görülürler ve kıvrıktırlar (Gökmen 1970; Sarıbaş 2011).

Bu alttürde en önemli tanıma özelliği, sürgünlerinin çıplak ve parlak kahverengi ve tomurcuklarının (kurduğunda) beyaz reçineli olmasıdır. Yaprığın üst yüzünde uca doğru stoma bantları bulunur. Sürgünleri daha kalındır. Erkek çiçekleri ise sarı-yeşil renktedir (Gaussen 1973; Arslan ve Çelem 2001; Yaltırık ve Akkemik 2011).

Orman ağaçlarının belli bir yaştan sonra gövdelerinde, öz çevresinde yani merkezi kısmında oluşan ve diğer kısımlara göre daha koyu renkli olan oduna 'Öz Odunu', öz odununun çevresinde yer alan açık renkli olan oduna da 'Diri Odun' adı verilmektedir (Gerçek vd. 2007). Ülkemizin en değerli orman ağaçlarından biri olan Uludağ göknarının odunları kokusuz, çoğunlukla beyaz ya da kırmızımsı-kahverengindedir. Diri odun ve özodun renk bakımından farklı değildir. Özışınları çok ince olup makroskopik olarak görülmez. Odunlarında normal olarak reçine kanalı görülmez. Odunları yumuşak, kolay işlenir, işlendiğinde düzgün ve pürüzsüz bir yüzey verir, güzel boya ve cila kabul eder. Kâğıt ve kibrit üretiminde önem taşımaktadır. Binaların iç kısımlarında kullanılması salık verilmektedir. Son zamanlarda düzgün lifli bireylerinden müzik aletleri yapımında yararlanılabileceği ortaya çıkmıştır (Bozkurt, 1992; Önal, 1984; Sarıbaş, 2005).

Abies nordmanniana subsp. *bornmuelleriana* Mattf.'ın yıllık halka sınırları belirgin olup yaz odununda traheidler radyal yönde yassılaştı ve kalın çeperlidir. İlkbahar odunu hücreleri ince çeperli ve geniş lümenlidir. İlkbahar odunundan yaz odununa geçiş yavaştır. İlkbahar odunu traheidlerinin radyal çeperlerindeki kenarlı geçitler tek sıralıdır. İkili geçitler çok nadir ve yer yer bulunmaktadır. Traheidlerinin teğet çapları 25–65 µm'dur. Traheidlerinin ortalama uzunlukları

1,3 mm–4,9 mm, ortalama genişlikleri 24,0 µm–68,0 µm, ortalama cidar kalınlıkları 1,0 µm–13,0 µm'dur. Özışınlarının hücre sayısı olarak maksimum yüksekliği 34 adet'tir. Özışınları tek sıralıdır, ender olarak iki sıralı diziliş gösterirler. Karşılaşma yeri geçitleri 2–4 (en çok 2) adet ve "Taxodioid" tiptedir. *Abies nordmanniana* subsp. *bornmuelleriana* Mattf.'in; boyuna traheidlerinin çeperlerinde krasüle rastlanmaktadır. Geçit çiftlerinin sayısı 4'ü geçmez. Boyuna paransimleri yoktur (Aytuğ 1959; Merev 1988; Bozkurt 1992).

1.1.2. Ekolojik özellikleri

Uludağ göknarının toprak ve rutubet istekleri fazladır. Bağıl nemi yüksek, rutubetli ve derin topraklarda iyi gelişir. Yaz kuraklığı olan, kontinental iklim şartlarına sahip yerlerden kaçarlar; sıcaklık istekleri orta derecededir; geç ilkbahar donlarından zarar görürler; ışık istekleri azdır ve tamamen bir gölge ağacıdır; zehirli gazlara, kirli havaya özellikle asit yağmurlarına karşı çok duyarlıdır (Yaltırık 1993).

Türk göknarı olarak da bilinen Uludağ göknarı, tomurcuklarının reçinesiz ve genç sürgünlerinin tüysüz oluşuyla Doğu Karadeniz göknarından ayrılır ve Karadeniz Bölgesi'nde, Kızılırmak'ın batısında ve Uludağ'da karşımıza çıkar. Kafkas göknarına göre bozkıra daha çok yaklaşır. Batı Karadeniz sıra dağlarının içe dönük kısımlarında sarıçam ve karaçam ile karışıma girer. Bu karışıma yer yer Doğu kayını da dâhil olur. Doğu kayını ile genellikle kuzey bakılarda karışık meşcereler kuran Uludağ göknarı, 1000-2000 m'lerde bulunur (Saatçioğlu 1976). Optimum yayılış alanları Bolu, Kastamonu ve Zonguldak orman mntıklarındadır (Atay 1982).

1.1.3. Silvikültürel özellikleri

Uludağ göknarı tipik gölge ağacıdır ve bu sayede 60-80 sene siper altında kalabilir; fakat en iyi gelişimini yine dolu ışıktta yapar. Nemli bölgeleri severler. Çok soğuk kışlardan, sıcak yazlardan pek hoşlanmazlar. Nem istekleri Doğu kayınına nazaran daha fazladır. Don zararlarına açık ortamlardaki normal siper

derecesine sahip meşcerelerde sorun yaşamazlar (Ata 1975, Saatçioğlu 1976, Bozkuş 1987).

Uludağ göknarının yayılışı ana taş tipine bağımlı değildir. Nitekim granit, gnays ve hatta mermer ana taşları üzerinde bulunabilir. Derin, rutubetli, havalanma kapasitesi yüksek, killi, killi balçık, balçık toprakları sever. Durgun sudan kaçınırlar (Ata 1975, Saatçioğlu 1976, Bozkuş 1987).

Uludağ göknarı da dahil olmak üzere göknarlar genellikle yürek kök geliştirir (Ata 1975, Saatçioğlu 1976). Göknarlardan sadece *A. cilicica* yetiştirme ortamı özeliği nedeniyle kazık kök geliştirme eğilimindedir (Bozkuş 1987).

Uzun ömürlü (500-600 yıl) göknarlar (Atay 1982) tepe tacı yönünden düzgün, dikine büyüyen (azman yapmayan), dar tepeli ağaçlardır. Daha sonraki yıllarda bu dikine boy artımı azalır, fakat yan dallar uzamaya devam eder ve böylece yaşlı ağaçlarda leylek yuvası oluşumları meydana gelir (Saatçioğlu 1976). Uzun yıllar siper altında kalsalar da takip eden müdahalelere olumsuz cevap vermezler. Su sürgünü veren ender konifer taksonlarından (Atay 1990).

1.1.4. Odununun kullanım yerleri

Değişen pazar şartları, reçinesiz, beyaz, işlenmesi kolay odunun çok yönlü kullanım alanına sahip oluşu, özellikle kağıt ve selüloz odunu olarak elverişliliği, göknarlara olan talebi arttırmıştır. Bu durum pek çok bölgede Uludağ göknarı endüstriyel odunlarının, bugüne kadar fiyat olarak çok gerisinde kaldığı karaçam, sarıçam ve kayın endüstriyel odunlarından daha çok talep görmesi ve daha yüksek fiyatlara alıcı bulmasına sebep olmuştur.

1.3. Gövde Profili Modellerin Sınıflandırılması

Gövde Profili Modelleri ile ilgili olarak yapılan çalışmalarda, farklı araştırmacılar tarafından farklı sınıflandırmaların yapılmış olduğu görölmektedir. Bu durum, genel olarak araştırmacıların sınıflandırma yapmak için kullandıkları ölçütlerin

birbirlerinden farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu nedenle gövde profili modellerinin kesin ve net bir sınıflandırmasını yapmak oldukça zordur. Sakıcı (2002), tarafından yapılan literatür çalışmasında, değişik sınıflandırmalara ilişkin örnekler aşağıda verilmiştir.

Reed ve Green (1984);

- a) Uyumsuz Gövde Çapı Modelleri,
- b) Uyumlu Gövde Çapı 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 ile 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 Fonksiyonlar,

Fang ve Bailey (1999);

- a) Deneysel yaklaşımla oluşturulan fonksiyonlar,
- b) Geometrik yaklaşımla oluşturulan fonksiyonlar,

Fang vd., (2000);

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

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Max ve Burkhardt (1976), bir ağaç gövdesinin farklı geometrik şekiller ifade ettiğini, gövdenin en alt bölümünün naylonoid, orta bölümünün kesik paraboloid, en üst bölümünün ise koni şeklinde olduğu varsayımından hareket ederek; her bölümün için ayrı polinomial regresyon denklemi oluşturmuş, bu denklemleri de katılma noktaları ile birleştirmiştir. Bu tip gövde çapı modellerine parçalı gövde çapı modeli adı verilmiştir.

Biginig (1984), altı farklı ağaç türü için gövde çaplarını tahmin etmek amacıyla, ağaç boyu (H), göğüs çapı(D) ve oransal boyun(h) fonksiyonu olarak adlandırılan Chapman-Richards fonksiyonundan elde edilen bir gövde çapı denkleminde yararlanılmış ve çıkan sonuçlar, Max ve Burkhardt (1976) tarafından geliştirilen gövde çapı modeli ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, gövde çapı fonksiyonunun integrali alınarak, gövdenin tamamının hacmini hesaplamış ve bu değerleri Schumacher-Hall hacim denklemi ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırmıştır.

Solomon vd. (1989), Ladin ve Gökmar ağaç türleri için, gövde analizi verileri ile Max ve Burkhardt (1976) tarafından önerilen çap denklemini kullanarak, gövde çapı ve toplam gövde hacimlerini hesaplamıştır. Gerçek hacim ve çap değerleri ile yapılan karşılaştırmada, farkların ihmal edilebilir olduğunu ve toplam gövde hacim denklemine alternatif olarak, gövde çapı denkleminin güvenli bir şekilde kullanabileceğini belirtmiştir.

Perez vd. (1990), *Pinus oocarpa* için gövde çaplarının hesaplanması için "Değişken Şekil Çap Fonksiyonu" nu kullanmışlardır. Fonksiyonda gövde şeklinin naylonoid'den paraboloid'e dönüştüğü noktanın saptanması için yapılan analizler sonucunda ağaç boyunun %25'inin en iyi sonucu verdiğini belirtmiştir.

Muhairwe (1999), tarafından iki okaliptüs türü için geliştirilen gövde çapı modelleri ile Kozak (1988), Max ve Burkhardt (1976) ve Gordon (1983) tarafından geliştirilen gövde çapı modeli karşılaştırılmıştır. Geliştirilen modellerden ilkinde göğüs çapı, ağaç boyu ve ağacın değişik bölümlerinde ölçülen boy değerleri,

ikincisinde ise sadece göğüs çapı ve ağacın değişik noktalarında ölçülen boy değerleri temel değişkenler olarak kullanılmıştır. Birinci modelin diğer modellere göre daha başarılı olduğu ortaya konmuştur.

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

Figueiredo ve Filho vd. (1996), *Pinus taeda* türü için gövde çaplarını belirlemek amacıyla beş farklı modeli (Kozak vd., 1969, Max ve Burkhart, 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 olduğu belirtmişlerdir.

Trincado vd. (1996), tarafından yapılan çalışmada, saplı meşe için gövde çapı tahminlerinde en başarılı modelin belirlenmesine çalışılmıştır Bu amaçla Kozak vd. (1969), Demaerschalk (1973) ve Riemer vd. (1995) tarafından geliştirilen gövde çapı modelleri kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda, Riemer vd. (1995) tarafından geliştirilen modelin diğerlerine göre daha başarılı sonuçlar ortaya koyduğu görülmüştür.

Kozak (1997), Monte Carlo Simülasyon Tekniğini kullanarak gövde çapı denkleminde yer alan değişkenler arasındaki “Çoklu Bağlantı” ve “Otokorelasyon” un, Kozak (1998) tarafından geliştirilen Değişken Exponent Gövde Çapı Modeli’nden faydalanılarak oluşturulan iki adet model üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Güçlü bir Çoklu Bağlantı ve Otokorelasyon sorununun bulunması durumunda dahi tahminlerin sistematik hatasız olduğunu belirtmiştir.

Tasissa ve Burkhart (1998), tarafından loblolly pine için gövde profili modelinin geliştirilmesi amacıyla karışık etkili modelleme tekniği kullanılmıştır. Veri yapısındaki otokorelasyon probleminin kısmen ya da tamamen ortadan

kaldırılabilmesi için doğrusal olmayan karışık etkili modelleme tekniği kullanılmıştır.

Huang vd. (1999), *Picea glauca* türü için Değişken Exponent Gövde Çapı 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.

Yavuz ve Saraçoğlu (1999), *Alnus glutinosa* için uyumlu ve uyumsuz gövde çapı modelleri geliştirmişlerdir. Yalnız gövde hacminin 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 belirtmiştir.

Bi (2000), Trigonometrik Hacim 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 karşılaştırmıştır.

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

Fang vd. (2000), *Pinus taeda* ve *P. elliotii* türleri için gövde çaplarını ve ticari hacimleri belirlemek üzere diferansiyel denklemler kullanarak gövde çapı, gövde hacmi ve ticari hacim değerlerini veren parçalı gövde çapı modeli oluşturmuştur.

Sakıcı (2002), Kastamonu yöresi Uludağ göknarı meşcereleri için gövde profili, hacim ve hacim oran denklemleri geliştirmiştir. Bu çalışmanın sonucunda, en iyi sonuçların Kozak (1988), tarafından geliştirilen değişken şekil çap modeli ile elde edildiği belirtilmiştir. Ancak kontrol grubu verileri ile yapılan

değerlendirmede ise en iyi sonuçların Allen (1993) tarafından geliştirilen model ile elde edildiği ifade edilmiştir.

Sharma ve Burkhart (2003), parçalı gövde çapı modeli için gövde çapı tahminlerinde gerekli olan parametre sayısının azaltılabilme imkânlarını araştırmıştır. Bu amaçla Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen parçalı gövde çapı modelini kullanmışlar ve katılma noktalarının toplam ağaç boyunun %11 ve %75'inde olması koşuluyla, dört parametrelili modelin çap tahminleri için altı ve sekiz parametrelili modellere göre daha başarılı olduğu görülmüştür.

Lee vd. (2003), Kore'deki *Pinus densiflora* türü için gövde çapı modelleri geliştirmiştir. Geliştirilen değişken şekil gövde çapı ağaç gövdesindeki değişimi oldukça başarılı bir şekilde modellemiştir. Geliştirilen model ile elde edilen sonuçlar Max ve Burkhart (1976) ve Kozak (1988) tarafından geliştirilen modeller ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Garber ve Maguire (2003), Amerika'da Oregon bölgesindeki ağaç türleri için gövde profili modeli geliştirmek amacıyla karışık etkili modelleme tekniği ve veri yapısında bulunan otokorelasyon probleminin ortadan kaldırılması amacıyla da otoregresiv hata yapısı kullanılmıştır. Bu amaçla modele birinci derece otoregresiv hata işlemi CAR(1) uygulanmıştır. Ancak bu işlem sonucunda otokorelasyon probleminin tamamen ortadan kaldırılamadığı görülmüştür.

Leites ve Robinson (2004), tarafından yapılan çalışmada; loblolly pine ağaç türü gövde çapı modellerinin geliştirilmesi amacıyla, doğrusal olmayan karışık etkili modelleme yaklaşımı (NLME) ile doğrusal olmayan en küçük kareler yöntemleri karşılaştırılmıştır. Yine bu çalışma sırasında tepe boyutlarının gövde çapı modelinin başarısı üzerine etkisi de incelenmiştir. Yine çalışmada doğrusal olmayan karışık etkili modelleme yöntemi için en uygun tesadüfi değişken kombinasyonları da test edilmiştir. Çalışmanın sonucunda en başarılı çap tahminlerinin NLME ile elde edildiği görülmüştür.

Rojo vd. (2005), tarafından Kuzey İspanya'nın Galicia Bölgesindeki Pinus pinaster meşcereleri için gövde çapı modelleri geliştirilmiştir. Bu amaçla farklı formlarda 31 adet gövde çapı modeli test edilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda en başarılı modelin Kozak (2004), tarafından geliştirilen model olduğu ortaya konmuştur.

Meydan-Aktürk (2006), tarafından Artvin yöresi doğu ladini meşcereleri için trigonometrik gövde profili modeli geliştirilmiştir. Çalışmada Bi (2000) tarafından okaliptüs ağaçları için geliştirilen trigonometrik gövde profili modeli kullanılmıştır.

Dieguez-Aranda vd. (2006), Kuzeybatı İspanya'daki sarıçam plantasyonları için uyumlu gövde çapı modelleri geliştirmiştir. Çalışmada 14 farklı gövde çapı değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda en başarılı model olarak Fang vd. (2000) tarafından geliştirilen model seçilmiştir. Model sarıçam plantasyonları için herhangi bir boydaki çap değerinin, ticari hacmin ve toplam hacim tahminleri için kullanılabilir olduğu belirtilmiştir.

Calama ve Montero (2006), fıstık çamı için gövde çapı ve gövde hacim modellerinin geliştirilmesi amacıyla karışık etkili modelleme yaklaşımını kullanmıştır. Aynı çalışmada, yeni bir birey ya da yer için modelin kalibrasyonu yapılmış bu amaçla ağaç gövde üzerinde ölçülen ekstra çap bilgileri kullanılmış ve farklı alternatifler denenmiştir. Kalibrasyon ile elde edilen çap ve hacim tahminlerinin sabit etkili modelle elde edile sonuçlara göre çok daha başarılı olduğu ortaya konmuştur.

Trincado ve Burkhart (2006), tarafından yapılan çalışmada ise NLME modelleme tekniği ile loblolly pine için gövde çapı modellerinin geliştirilmesine çalışılmıştır. Çalışmada Max ve Burkhart (1976), tarafından geliştirilen gövde çapı modeli kullanılmıştır. Çalışmada öncelikli olarak en uygun tesadüfi değişken kombinasyonun belirlenmesine çalışılmış ve bunun sonucunda otokorelasyon sorununun ortadan kalkıp kalkmadığı araştırılmıştır. Otokorelasyon probleminin azalmakla birlikte ortadan kalkmadığı görüldüğü için modele CAR(1) varyans

yapısı eklenmiştir. Bununla birlikte göğüs çapı dışında tek ve çift çap değeri kullanılarak modelin kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir. NLME yaklaşımı ile oldukça başarılı bir şekilde gövde çapı tahminleri gerçekleştirilebildiği ortaya konmuştur.

Klos vd. (2007), Kanada'nın Manitoba Bölgesindeki 5 ticari ağaç türü için gövde çapı modelleri geliştirmiştir. Bu amaçla Kozak (1988), tarafından geliştirilen değişken şekil gövde çapı modeli seçilmiştir. Yapılan değerlendirmeler belirtilen gövde çapı modeli ile oldukça başarılı sonuçların alındığını ortaya koymuştur. Diğer yandan her tür için ayrı model parametrelerinin tahmin edilmesi gerektiğini aksi takdirde önemli çap tahmini hatalarının ortaya çıkabileceği belirtilmiştir.

Brooks vd. (2007), tarafından yapılan çalışmada ise, longlife çam plantasyonları için gövde çapı, gövde hacmi ve biyokütle tahmin denklemleri geliştirilmiştir. Bu amaçla Max ve Burkhart (1976), tarafından geliştirilen gövde çapı modeli kullanılmıştır. Parametre tahminleri üç model için eş zamanlı yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, ilgili model yardımı ile çap, hacim ve biyokütle tahminlerinin çok düşük hata yüzdesi ile gerçekleştirilebileceğini göstermiştir.

Brooks vd. (2008), tarafından kızılçam, sedir ve göknar ağaç türleri için Max ve Burkhart (1976), tarafından geliştirilen parçalı gövde çapı ve gövde hacim modeli kullanılarak, çap ve hacim tahmin modeli geliştirilmiştir. Bu çalışma ile ülkemizde ilk defa gövde çapı ve gövde hacim tahmini için ortak model parametreleri tahmin edilmiş ve elde edilen hacim tahmini sonuçları, ilgili ağaç türleri için geliştirilen ağaç hacim denklemleri ile karşılaştırılmıştır.

Souza vd. (2008), tarafından yapılan çalışmada üç farklı parçalı gövde çapı modeli kullanılarak okaliptüs ağaçlarının boy ve ticari hacim tahminleri karşılaştırılmıştır. En başarılı sonuçlar Max ve Burkhart (1976), tarafından geliştirilen model ile elde edilmiş bu modeli sırasıyla Demaerschalk ve Kozak (1977) ve Parresol vd. (1987) tarafından geliştirilen modeller izlemiştir.

Berhe ve Arnoldsson (2009), tarafından Etiyopya'daki Cupressus lusitanica ağaçlandırmaları için yedi farklı gövde çapı modelini karşılaştırmıştır. Çalışmanın sonucunda en başarılı model olarak Kozak (1988) tarafından geliştirilen gövde çapı modeli en başarılı bulunmuştur. Bu modeli sırasıyla Lee vd. (2003) ve Kozak (2004) tarafından geliştirilen gövde çapım modelleri izlemiştir.

Corral-Rivas vd. (2007), tarafından Meksika'nın Durango Bölgesinde Biging (1984), Kozak (2004) ve Fang vd (2000) tarafından geliştirilen parçalı gövde çapı modellerini kullanarak, asli ağaç türleri için ticari hacim denklemleri geliştirmişlerdir. Yapılan istatistiksel değerlendirmelerde en başarılı sonuçlar Fang vd (2000) tarafından geliştirilmiş parçalı gövde çapı modeli ile elde edilmiştir.

Barrio-Anta vd. (2007), tarafından yapılan çalışmada ise, Kuzeybatı İspanya'da saplı meşe türü için Tasissa vd. (1997), Kozak (2004) ve Fang vd (2000) tarafından geliştirilen hacim ve gövde çapı modelleri kullanılarak ticari hacim denklemleri geliştirilmiştir. Yapılan istatistiksel karşılaştırmalarda Fang vd (2000) tarafından geliştirilen parçalı gövde çapı modelinin ticari boy, ticari hacim ve toplam hacim tahminleri için daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Jiang vd. (2007), tarafından yapılan çalışmada ise, üç farklı regresyon tekniği kullanılarak Yellow-poplar için gövde çapı modeli geliştirilmiştir. Bu modelleme teknikleri sırasıyla; doğrusal olmayan en küçük kareler yöntemi, eş zamanlı çözüm yöntemi ve karışık etkili modelleme tekniğidir. Yapılan istatistiksel değerlendirmelerde karışık etkili modelleme tekniği kullanılarak daha başarılı ve doğru çap tahminleri yapılabildiği ortaya konmuştur.

Pompa-Garcia vd. (2009), Meksika'da Chihuahua eyaletinin kuzeyinde yayılış gösteren değişik yaşlı meşe ağaçları için ticari hacim denklemlerinin geliştirilmesi amacıyla Kozak (1988), Bi (2000) ve Gang vd. (2000) tarafından geliştirilen üç farklı formda gövde çapı modeli denenmiştir. Yapılan istatistiki değerlendirmeler sonucunda ticari ağaç hacmi tahminleri için en uygun modelin

Fang vd. (2000), tarafından geliştirilen parçalı gövde çapı modeli olduğu ortaya konmuştur.

Crecente-Campo vd. (2009), tarafından sarıçam için ticari hacim denklemleri geliştirilmiştir. Bu amaçla ekolojik özellikleri farklı altı çalışma alanı seçilmiş ve iki farklı gövde çapı modeli karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda en iyi sonuçlar Fang vd. (2000), tarafından geliştirilmiş parçalı gövde çapı ve gövde hacim modeli ile elde edilmiştir.

Sharma ve Parton (2009), tarafından yapılan çalışmada karışık etkili modelleme tekniği kullanılarak değişken şekil gövde çapı modeli geliştirilmiştir. Bu amaçla Sharma ve Zhang (2004), tarafından geliştirilen gövde çapı modelinin değiştirilmiş bir formu kullanılmıştır. Karışık etkili modelleme tekniği ile çap tahminlerindeki hata varyansı homojen bir yapı kazanmış ve veri yapısındaki otokorelasyon hemen hemen ortadan kaldırılmıştır. Yine aynı çalışmada en uygun tesadüfi değişken kombinasyonunun ortaya konması için farklı alternatifler denenmiştir.

Yang vd. (2009), tarafında yapılan çalışmada ise, lodgpole türü için NLME yaklaşımı ile değişken şekil gövde çapı modeli geliştirilmiştir. NLME yaklaşımı gövde formundaki ağaçlar arası ve ağaçlar için varyasyonun hesaplanabilmesi için kullanılmıştır. Parametre tahminleri için %NLINMIX macro yöntemi kullanılmıştır. Yine çalışmada en uygun tesadüfi değişken kombinasyonuna karar verilerek modellerin başarı durumları test edilmiştir. Yine farklı ekstra tek çap değerleri için en uygun kalibrasyonun belirlenmesine çalışılmıştır.

Lejeune vd. (2009), tarafından yapılan çalışmada; Kozak tarafından geliştiren gövde çapı modelinin basitleştirilmiş bir formu kullanılarak karışık etkili modelleme tekniği kullanılarak gövde çapı modeli geliştirilmiştir. Daha sonra karışık etkili modelleme tekniği kullanılarak geliştirilen gövde çapı modeli farklı senaryolar için kalibre edilmiş ve elde edilen sonuçlar sabit etkili model ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu amaçla yeni bir birey için bir ve iki çap değeri ilave edilen modeller ile geleneksel model yapısı ayrı ayrı karşılaştırılmış

ve her iki durumunda geleneksel model ile yapıla tahminlerden daha başarılı olduğu görülmüştür.

Yavuz vd. (2010), tarafından yapılan çalışmada ise, Karadeniz Bölgesi saf ve karışık sarıçam meşcereleri için mekanistik büyüme modelleri geliştirilmiş ve biyokütle ve karbon depolama kapasitelerinin belirlenmesine çalışılmıştır. Bu çalışma ile ağaç türlerine bağlı olarak verim güçleri belirlenmiş, saf ve karışık sarıçam meşcerelerinin biyokütle miktarları ve karbon tutma miktarları belirlenmiştir.

Li ve Weiskittel (2010), Kuzey Amerika'daki Acadian Bölgesindeki önemli çam türleri için gövde çapı ve hacim tahminlerinde kullanılmak üzere gövde çapı ve gövde hacim modelleri geliştirmişlerdir. Bu amaçla, değişik formlarda gövde çapı ve gövde hacim modelleri kullanmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda, gövde çapı tahminleri için Kozak (2004) ve Bi (2000) tarafından geliştirilen modellerin; hacim tahminlerinde ise; Clark vd. (1991), tarafından geliştirilen modelin en başarılı sonuçları verdiği görülmüştür.

Gomat vd. (2011), okaliptüs ağaçlarının gövde çapı değişimleri üzerine çevresel faktörlerin ve orijinin etkisini incelemiştir. Bu amaçla farklı yörelerden 16 orijin seçilerek bu orijinlerden alınana ağaçlar üzerinde gerekli ölçümler yapılmıştır. Bu amaçla Saint-Andre vd. (2002), tarafından geliştirilen gövde çapı modeli seçilmiştir. Çalışma sonucunda çevresel faktörlerin ve orijin farklılığının gövde çapı gelişimi üzerinde önemli etkisinin olduğu ortaya konmuştur.

Fonweban vd. (2011), *Picea sitchensis* (Bong.) Carr. ve *Pinus sylvestris* L. ağaçlandırmaları için gövde çapı denklemleri geliştirmiştir. Bu amaçla gerekli olan verilerin İskoçya ve Kuzey İngiltere'den toplanmıştır. Bu amaçla üç farklı değişken şekil gövde çapı modeli kullanılmış ve modellerin geliştirilmesinde karışık etkili modelleme tekniği kullanılmıştır.

Heidarsson ve Pukkala (2011), tarafından İzlanda'daki *Pinus contorta* ve *Larix siberica* için gövde çapı modelleri geliştirilmiştir. Bu amaçla Biging (1984)

tarafından geliştirilmiş gövde çapı modeli ilke Kozak (1997 ve 2004), tarafından geliştirilmiş gövde çapım modelleri test edilmiştir. Yapılan istatistiki ve grafiksel değerlendirmeler sonucunda Kozak (2004), tarafından geliştirilmiş olan değişken şekil gövde çapı modelinin daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Li vd. (2012), tarafından Kuzey Amerika'nın Acadian Bölgesindeki 11 çam türü kullanılarak yapılan çalışmada Kozak (2004) tarafından geliştirilmiş değişken şekil gövde çapı kullanılmıştır. Bu denklem ile elde edilen hacim tahmin sonuçları Westfall ve Scott (2010) tarafından geliştirilen gövde çapı denklemi ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve Kozak (2004)'ün modeli ile daha başarılı sonuçların elde edildiği görülmüştür.

Özçelik ve Brooks (2012), tarafından yapılan çalışmada Türkiye'nin önemli çam türleri için uyumlu gövde çapı ve gövde hacim modeli geliştirilmiştir. Bu amaçla Max ve Burkhart (1976) ve Clark vd. (1991) tarafından geliştirilen uyumlu gövde çapı modelleri kullanılmıştır. Elde edilen bulgular ilgili ağaç türleri için kullanılan çift girişli hacim denklemleri ve Spurr'un hacim denklemi ile karşılaştırılmıştır. Clark vd. (1991) ile elde edilen sonuçların daha başarılı olduğu görülmüştür.

Bueno-Lopez ve Bevilacqua (2012), tarafından yapılan çalışmada, *Pinus occidentalis* için ticari hacim tahminleri doğrusal olmayan karışık etkili modelleme tekniği ile gerçekleştirilmiştir. Yine bu çalışmada, karışık etkili modellemeye tekniği kullanılarak geliştirilen gövde çapı modeli ile bir hacim oran denklemi hacim tahminlerindeki başarıları itibariyle karşılaştırılmış ve karışık etkili gövde çapı modelinin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Diğer yandan veri yapısında bulunan otokorelasyon probleminin karışık etkili modelleme ile ortadan kaldırılmasına çalışılmıştır.

De-Miguel vd. (2012), tarafından yapılan çalışmada ise; birden fazla gövde çapı modeli NLME yaklaşımı ile gövde çapı tahminleri için karşılaştırılmıştır. Diğer yandan kalibrasyon işlemi olmaksızın da NLME modelleme yaklaşımı ile çok başarılı sonuçlar elde edildiğini ortaya koymuştur. Diğer bir sonuç olarak NLME yaklaşımı ile gövde çapı modellerinin geliştirilmesi sırasında model başarısının

genel olarak modelin parametre sayısı ile doğru orantılı olduğunu ortaya koymuştur. Çalışmada modeller hacim tahminlerindeki başarısı açısından da değerlendirilmiştir.

Gomez-Garcia vd. (2013), tarafından yapılan çalışmada ise, öncelikli olarak farklı tesadüfi değişken kombinasyonları ortaya konmuş ve tek, iki ve üç tesadüfi değişken kullanımı için en uygun parametreler belirlenmiş ve daha sonra her bir kombinasyon için kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar en uygun tesadüfi değişken kombinasyonunun en iyi kalibrasyon sonucunu vermediği görülmüştür. Yine otokorelasyon sorunu için modele CAR(1) varyans yapısı eklenerek otokorelasyon problemi ortadan kaldırılmıştır.

Quinonoz-Barraza vd. (2014), tarafından Meksika'nın Durango Bölgesindeki asli çam türleri için yapılan bir çalışma ile uyumlu gövde çapı ve ticari hacim sistemlerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Max ve Burkhart (1976), Clark vd. (1991) ve Fang vd. (2000) tarafından geliştirilmiş parçalı gövde çapı modelleri kullanılmıştır. Yapılan istatistiki değerlendirmeler sonucunda Fang vd. (2000) tarafından geliştirilen modelin gerek gövde çapı gerekse ticari hacim tahminlerinde daha başarılı olduğu ortaya konmuştur.

Schröder vd. (2014), tarafından yapılan çalışmada ise Brezilya'nın Güney Parana bölgesindeki *Pinus elliottii* türü için gövde çapı modelleri geliştirilmiştir. Bu amaçla farklı formlarda 6 gövde çapı modeli test edilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda en başarılı model olarak Kozak (1988) tarafından geliştirilen model seçilmiştir. Bu model ile ilgili ağaç türünde yüksek doğrulukta çap ve hacim tahminleri yapılabileceği ifade edilmiştir.

Cecilia vd. (2014), *Okaliptüs grandis* ve *taeda* çamı için hacim ve gövde çapı modelleri geliştirmiştir. Bu amaçla 5 hacim denklemi ve 6 gövde çapı modeli karşılaştırılmıştır. Hacim tahminlerinde en başarılı modeller Clutter vd. (1983) ve Schumacher ve Hall (1933) tarafından geliştirilen modeller olurken, gövde çapı tahminlerinde en uygun modeller Muhairwe (1999) ve aynı modelin Method (2001) tarafından değiştirilmiş şekli en iyi sonuçları vermiştir.

Rodriguez vd. (2014), gövde çapı modelleri yardımı ile çap ve hacim tahminlerinde ileri teknoloji ürünü alet ve ekipmanlarının kullanımı üzerine çalışmışlardır. Özellikle gövde çapı ve gövde hacim modellerinin geliştirilmesi için gerekli verilerin ağaç kesmeden laser teknoloji ile sağlanabileceğini ve tahminlerde bir değişme olmayacağını ortaya koymuşlardır.

Ülkemizde ise NLME yaklaşımı ile gövde çapı modellerinin geliştirilmesi ile ilgili çalışma neredeyse yok denecek kadar azdır. Özçelik vd. (2011), tarafından yapılan bir çalışmada Bucak yöresi kızılçam, sedir ve göknar türleri için NLME yaklaşımı ile gövde çapı modelleri geliştirilmiştir. Bu amaçla öncelikli olarak en uygun tesadüfi değişken kombinasyonu belirlenmiştir. Daha sonra her ağaç türü için ayrı ayrı otokorelasyon problemi için modele CAR (1) varyans yapısı eklenmiştir. NLME yaklaşımı ile geliştirilen gövde çapı modellerinin çok daha başarılı oldukları görülmüştür. Yeni bir ağaç için bir ve iki ekstra çap ile kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiş ve kalibre edilmiş sonuçların kalibre edilmemiş sonuçlara göre daha başarılı olduğu görülmüştür.

Ercanlı ve Kahrıman (2013), tarafından yapılan çalışmada ise, Trabzon ve Giresun Yöresi doğu ladini ve sarıçam karışık meşcereleri için NLME yaklaşımı ile gövde çapı modelleri geliştirilmiştir. Bu amaçla Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilmiş gövde çapı modeli kullanılmıştır. İkili tesadüfi değişken kombinasyonlar test edilmiştir.

Ercanlı vd. (2014) ve Şenyurt vd. (2014) tarafından da NLME yaklaşımı ile gövde çapı modelleri geliştirilmiştir. Çalışmalarda, Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen gövde çapı modeli kullanılmıştır. Şenyurt vd., (2014) tarafından yapılan çalışmada AR(1) ve ARMA (1) varyans yapıları karşılaştırılmıştır.

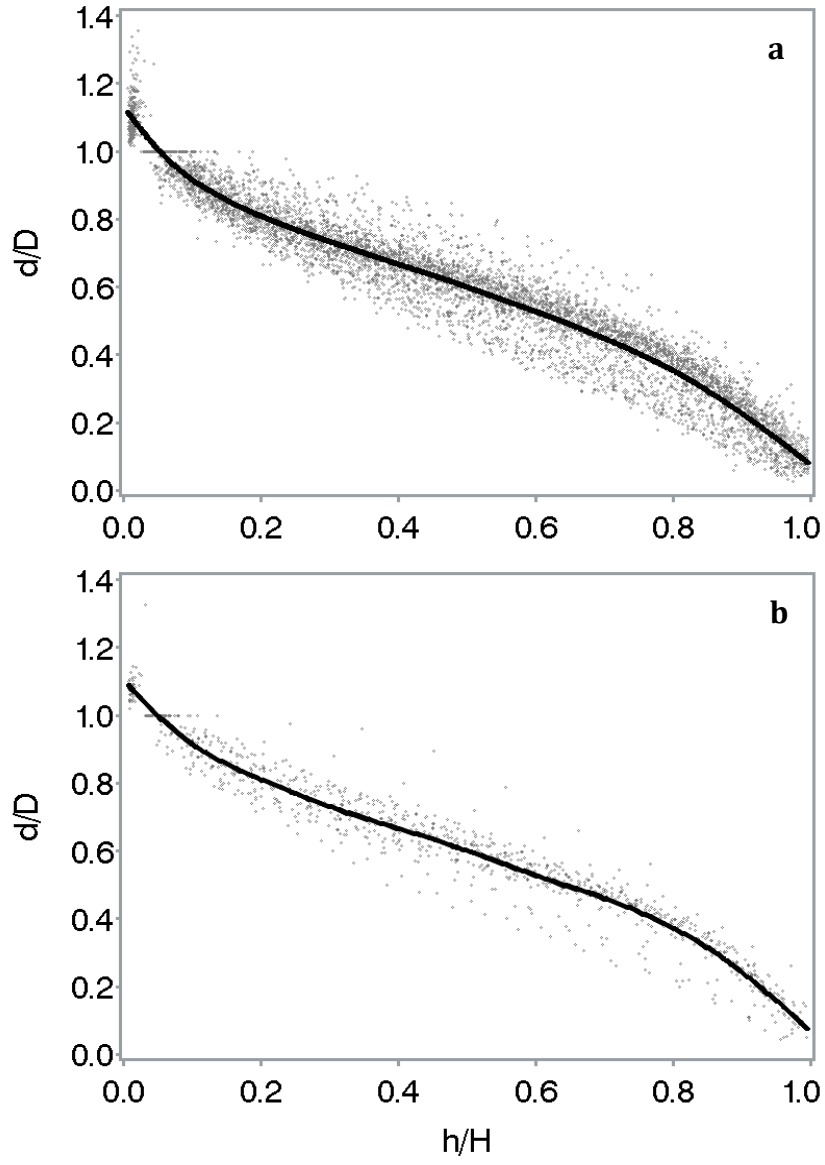
Ercanlı vd. (2015), tarafından yapılan çalışmada; Göldağ Yöresi doğu ladini meşcerelerinde kütük çapı yardımı ile göğüs çapı tahminin edilmeye çalışılmış ve bu amaçla karışık etkili modelleme tekniği kullanılmıştır. Yine çalışmada farklı

kalibrasyon seçenekleri denenmiş ve en uygun kalibrasyon alternatifini ortaya koymuştur.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışma için gerekli örnek ağaç verileri, 2014 yılında Sinop Orman Bölge Müdürlüğü Ayancık Orman İşletme Müdürlüğü Kepez Orman işletme şefliğindeki doğal Uludağ göknarı meşcerelerinden toplanmıştır. Bu amaçla toplam 319 adet örnek ağaç ölçümü gerçekleştirilmiştir. Bu örnek ağaçlardan 278 adedi karışık etkili modelleme tekniği ile gövde çapı modelinin geliştirilmesi gereği kalan 41 adet ağaç ise geliştirilen modelin test edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Örnek ağaçların seçiminde, ağaçların meşcere kuruluşlarını ve dolayısıyla çap ve boy sınıflarını en iyi şekilde temsil etmesini sağlamak amacıyla, tüm çap ve boy sınıflarına mümkün olduğu kadar eşit dağılımının sağlanmasına çalışılmıştır. Bu nedenle, örnek ağaçlar hem galip hem de müşterek galip ağaçlar arasından seçilmiştir. Örnek ağaçların seçiminde gövdelerin çatallı ve eğri, tepelerin kırık olmamasına ve ağaçların yetişme ortamı şartlarını en iyi biçimde yansıtmasına dikkat edilmiştir. Bu amaçla; örnek ağaçlar kesildikten sonra her ağaç üzerinde sırasıyla şerit metre yardımı ile ağaç boyları ölçülmüş ve daha sonra her ağaç üzerinde birer metre aralıkla çaplar ölçülmüştür. Çap ölçümleri için elektronik çap ölçer kullanılmıştır. Boy ölçümleri 5 cm; çap ölçümler ise 0.1 cm hassasiyetle gerçekleştirilmiştir. Örnek ağaç hacimlerinin belirlenmesi amacıyla Smalian Yöntemi kullanılmıştır. Üç parça hacminin bulunmasında ise koni hacmi esas alınmıştır. Coble ve Hilpp (2006) tarafından da belirtildiği gibi Smalian Yöntemi özellikle kısa seksiyon hacimlerinin ölçülmesinde oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Şekil 3.1’de model geliştirmek ve geliştirilen modelin test edilmesi amacıyla ölçülen örnek ağaç verilerine ilişkin nisbi çap-boy ilişkileri verilmiştir. Ölçümü yapılan örnek ağaçlara ilişkin nitelendirici istatistikî bilgiler ise Çizelge 3.1.’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Sinop Yöresi Uludağ Göknaarı İçin Model Geliştirme ve Test Verilerinin Nisbi Çap-Nisbi Boy İlişkisi

Çizelge 3.1. Uludağ göknarı için gövde çap modeli geliştirmek ve geliştirilen modelin test edilmesi amacıyla ölçülen parametrelerine ilişkin nitelendirici istatistikler.

Veri	Ortalama	SD ^a	Minimum	Maximum
Model Geliştirme Verisi (n = 278 ağaç)				
Göğüs Çapı (cm)	37.70	11.08	10.20	73.00
Toplam Boy (m)	27.02	7.58	6.91	51.30
Disk Çapı (cm)	22.64	11.92	1.00	75.00
Disk Boyu (m)	13.05	9.00	0.30	50.00
Disk Sayısı	12.35	7.96	1.00	40.00
Model Test Verisi (n = 41 ağaç)				
Göğüs Çapı (cm)	38.93	11.12	12.30	58.90
Toplam Boy (m)	27.49	7.73	9.52	41.80
Disk Çapı (cm)	23.29	11.69	1.00	60.10
Disk Boyu (m)	13.39	9.12	0.30	40.00
Disk Sayısı	13.22	8.49	1.00	38.00

^aSD: Standart sapma

3.2. Yöntem

3.2.1 Gövde çapı modelleri

Yüz yılı aşkın bir zamandır pek çok formda gövde çapı modeli geliştirilmiştir (Max ve Burkhardt, 1976; Cao vd., 1980; Clark vd., 1991; Kozak, 2004). Basit olarak nitelendirebileceğimiz gövde çapı modelleri ağacın genel çap düşüşünü oldukça başarılı olarak tanımlayabilseler de; tüm gövde profilini tanımlamakta başarısız olmuşlardır (Kozak, 1977; Kozak, 1988; Newnham, 1992). Bazı denklemler gövde profilinin ortasını tanımlamakta başarılı iken, bu denklemler tepeye yakın veya dibe yakın seksiyonlarının tanımlanmasında yetersiz kalmaktadır (Max ve Burkhardt, 1976; Fang vd., 2000). Ormancılık çalışmalarında iki grup gövde çapı modelinin başarı ile kullanıldığı belirtilmektedir. Bunlardan ilki değişken şekil

çap modelleridir. Bu modellerde bir ağaç gövdesinin, dipten tepeye doğru nayloid, paraboloid ve konik parçalardan oluştuğu düşünülmektedir (Newnham, 1988; Kozak, 1988; Perez vd., 1990). Ancak bu model formunun bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar; gövde üzerindeki farklı şekillerin hacim hesaplamalarında birleştirilememesi ve en yüksekteki çap değeri için ticari boyun doğrudan hesaplanamayıp, bir iterasyon ile hesaplanmasının gerekli olması belirtilebilir. İkinci grup ise; parçalı-gövde çapı (Segmented-polynomial) modelleridir. Bu modeller farklı ağaç bölümlerinin çap düşüşlerini farklı denklem formları kullanılarak tanımlamaktadır. Araştırma sonuçlarına göre, parçalı gövde çapı modellerinin, diğer gövde profili modellerine göre daha üstün oldukları görülmüştür (Martin, 1981; Parresol vd., 1987; Clark vd., 1991; Figueiredo-Filho vd., 1996; Jiang, 2004). Bu gövde çapı modellerinin diğer gövde çapı modellerine göre önemli bir üstünlüğü, gövde çapı modellerinin hacim hesaplamaları için kolaylıkla hacim denklemlerine dönüştürülebilir olmasıdır (Fang vd., 2000).

Bu çalışmada, başlangıçta kullanılması düşünülen model Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen parçalı gövde çapı iken, arazi ölçümleri sonucu ilgili model kullanarak yapılan ilk değerlendirmeler sonucu bu model formunun ilgili yörede gelişen Uludağ göknarı için uygun olmadığı görülmüştür. Aşağıda Max ve Burkhart (1976) tarafında geliştirilen gövde çapı modelinin karışık etkili model formu verilmiştir (3.1).

Model (Max ve Burkhart (1976))

$$y_{ij} = \beta_{1i}(x_{ij} - I) + \beta_{2i}(x_{ij}^2 - I) + \beta_{3i}(\alpha_{1i} - x_{ij})^2 I_1 + \beta_{4i}(\alpha_{2i} - x_{ij})^2 I_2 + e_{ij} \quad (3.1)$$

Burada:

$$I_k = \begin{cases} 1 & x \leq a_{ki} \\ 0 & x > a_{ki} \end{cases} \quad k = 1, 2$$

$$y_{ij} = d_{ij}^2 / D_i^2$$

$$x_{ij} = h_{ij} / H_i$$

$$h_{ij} = \text{i. ağaç için yerden yükseklik (m) ,}$$

$$\begin{aligned} H_i &= \text{i. ağaç için toplam ağaç boyu (m),} \\ D_i &= \text{i. ağaç için 1.3 m'deki kabuklu çap (cm),} \\ d_{ij} &= \text{i. ağaç için } h_{ij} \text{ 'deki kabuklu çap (cm),} \\ \beta_{1i}, \beta_{2i}, \beta_{3i}, \beta_{4i}, \alpha_{1i}, \alpha_{2i} &= \text{tahmin edilen parametreler,} \\ e_{ij} &= \text{hata terimi.} \end{aligned}$$

Yukarıda verilen gövde çapı modeli daha öncede belirtildiği gibi parçalı gövde çapı modelidir. Bunun anlamı; bu model formu ağaç gövdesini üç farklı parçaya ayırmakta ve bu parçaları iki katılma noktası ile birleştirmektedir. Ancak, Sinop-Ayancık Yöresi Uludağ göknar meşcerelerindeki bireylerin özellikle gövdelerin boyun ilk yarısındaki kısmı silindire oldukça yakındır. Bu nedenle ilgili model formuna uygun bir gövde şekli oluşturmamaktadır. Bu nedenle, yine gövde çapı modelleri arasında en çok kullanılan değişken şekil gövde çapı modelinin kullanılması düşünülmüştür. Yapılan çalışmalar, gövde çapı tahminlerinde, bu modellerinde parçalı gövde çapı modelleri kadar başarılı olduklarını göstermiştir (Sharma ve Parton, 2009; Yang vd, 2009b; Li vd. 2012; Gomez-Garcia vd., 2013).

Bu nedenle çalışmada Sinop Yöresi Uludağ göknarı meşcerelerinin karışık etkili modelleme tekniği ile gövde profilinin modellenmesinde Sharma ve Parton (2009), geliştirilen değişken şekil gövde çapı modeli kullanılmıştır. Bu model daha önceden de açıklanmaya çalışıldığı gibi, Sharma ve Oderwald (2001), modelini temel alan ve Sharma ve Zhang (2004), tarafından geliştirilen gövde çapı modelinin değiştirilmiş bir şeklidir. Regresyon modelleri genellikle toplum temelli ve birey temelli modeller olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Geleneksel regresyon modelleri en küçük kareler yöntemiyle toplum ortalamalarına ilişkin parametreleri tahmin etmekte iken, birey temelli modeller ise, bir toplum içindeki bireylere özel tahminler için kullanılmakta ve daha yüksek doğruluk ortaya koymaktadırlar. Bu amaçla da doğrusal olmayan karışık etkili modelleme (NLME) yaklaşımı kullanılmaktadır.

NLME modelleme yaklaşımı ile ilgili teori ve hesaplama metotlarına ilişkin detaylar Pinheiro ve Bates (2000), tarafından açıklanmıştır. Pinheiro ve Bates

tarafından kullanılan metodoloji ise Lindstrom ve Bates (1990)'in çalışmalarını temel almaktadır. NLME yaklaşımı, ağaçlar içi ve ağaçlar arasındaki varyasyonu açıklayabilmek için iki aşamalı bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada da, daha önce yapılan çalışmalarla karşılaştırma olanağı sağlamak ve tutarlığı sağlamak için Davidian ve Giltinan (1995), tarafından önerilen iki aşamalı yaklaşım kullanılarak gövde profili modeli geliştirilecektir.

3.2.2 Karışık-etkili modelleme ile gövde çapı modelinin geliştirilmesi

1. Aşama: Bireyler içi varyasyon

i. bireyin ölçümleri ile ilişkili tesadüfi ve sistematik varyasyonu temsil eden NLME modelin genel ifadesi aşağıdaki gibi yazılabilmektedir (3.2).

$$y_{ij} = f(\beta_i, x_{ij}) + \epsilon_{ij} \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, n_i \quad (3.2)$$

Burada; Y_{ij} i. örnek ağaçtaki j. gözlemin değerini, X_{ij} i. örnek ağaçtaki j. gözlem için tahmin vektörünü, $f(\cdot)$; parametre ve tahmin vektörlerinin doğrusal olmayan fonksiyonunu ve ϵ_{ij} normal dağılım gösteren hata terimini ifade etmektedir. Bir gövde çapı modeli kavramı içerisinde n ve n_i sırasıyla; toplam ağaç sayısını ve bir ağaç gövdesi boyunca ölçülen çap değerlerini ifade etmektedir. Bu formül, bir ağaç üzerinde gövde boyunca aşamalı düzensiz tekrarlı ölçüm verilerinin bir durumunu ifade etmektedir. Özel bir birey veya i. küme için y_{ij} yanıtları $[y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{in}]^T$ vektörü ile kombine edilebilir ve genel ifadesi aşağıdaki gibi yazılabilir (3.3 ve 3.4).

$$y_i = f(\beta_i, x_i) + e_i \quad (3.3)$$

$$e_i | \beta_i \sim N(0, R_i(\beta_i, \xi)), \quad \xi = [\sigma, \theta', \rho']^T \quad (3.4)$$

Burada; $R_i(\beta_i, \xi)$ varyans-kovaryans yapısını; ξ ise bütün bireyler için $[\sigma, \theta', \rho']^T$ bilinmeyen parametreler vektörünü ifade etmektedir. Birey içi sistematik varyasyon hata terimlerinin tesadüfi dağılımı ile ilgili varsayım ve

doğrusal olmayan fonksiyon yardımı ile yukarıdaki formül ile karakterize edilebilmektedir.

Hata terimlerinin varyans-kovaryans matrisi birey içi varyans ve birey içi korelasyonu (otokorelasyon) hesaplamak için daha genel bir form olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir (3.5).

$$R_i(\beta_i, \xi) = \sigma^2 G_i^{\frac{1}{2}}(\beta_i, \theta) \Gamma_i(\rho) G_i^{1/2} \quad (3.5)$$

Burada; $G_i^{1/2}(\beta_i, \theta)$ birey içi varyansı karakterize eden $(n_i \times n_i)$ boyutlarındaki bir çapraz matrisi, $\Gamma_i(\rho)$ ise; i. bireyin ölçümleri içindeki korelasyon kalıbını tanımlayan $(n_i \times n_i)$ boyutundaki bir matrisi ifade etmektedir. σ^2 ise modelin artıklara ilişkin varyansıdır.

Şayet ağaç içi varyans homojen ve hatalar ilişkili değil ise, varyans-kovaryans matrisi aşağıdaki gibi basitleştirilebilmektedir (3.6).

$$R_i = \sigma^2 \Gamma_i(\rho) \quad (3.6)$$

II.Aşama: Bireyler arası varyasyon

Bireyler arası varyasyon için parametre β_i 'in hesabı bireyden bireye değişmektedir. Parametre vektörü β_i , sistematik ve tesadüfi varyasyon düşünülerek aşağıdaki gibi genel bir formda ifade edilebilir (3.7).

$$\beta_i = A_i \beta + B_i b_i \quad b_i \sim N(0, D) \quad (3.7)$$

Burada; A_i ve B_i sabit ve rasgele etkili parametreler için dizayn parametreleridir. β ($r \times p$) büyüklüğünde sabit etkili parametre vektörü; b_i ise ($q \times 1$) büyüklüğünde i. ağaç için tesadüfi etkili parametre vektörüdür. D tesadüfi etkili parametreler için varyans-kovaryans matrisidir. p, q ise sırasıyla, modeldeki sabit ve tesadüfi

etkili parametrelerin sayısını göstermektedir. Bu dizayn matrisleri sabit ve tesadüfi etkili parametreler için sıfır ve bir değerlerini içermektedir.

Bu çalışmada gövde profili modeli olarak Sharma ve Parton (2009), tarafından geliştirilen model seçilmiştir. Bu amaçla NLME yaklaşımı ile gövde profili modelinin geliştirilmesi için SAS yazılımında bulunan NLMIXED yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile sırasıyla tüm parametrelerin sabit etkili olduğu durum ve farklı tesadüfi parametre kombinasyonları test edilmiştir. Bu çalışmada; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ parametrelerinin bir, iki, üç ve dörtlü tesadüfi etkili parametre kombinasyonları test edilmiştir. Bu çerçevede toplam 16 farklı durum test edilmiştir. En uygun tesadüfi etkili parametre kombinasyonunun belirlenmesi için ölçüt değerleri olarak, Akaike'nin bilgi kriteri (AIC, AKAIKE, 1974) ve iki kez negatif logaritmik olabilirlik ($-2\ln(L)$) kriterleri kullanılmıştır. En uygun parametre kombinasyonuna karar verildikten sonra, geliştirilen modellerin bağımsız bir veri seti ile testi de gerçekleştirilmiştir. Yukarıda belirtilen açıklamalar ışığında, Sharma ve Parton (2009), gövde profili modelinin karışık etkili model formu aşağıdaki şekilde yazılabilmektedir (3.8).

$$y_{ij} = \beta_{0i} \left(\frac{H_i - h_{ij}}{H_i - h_D} \right) \left(\frac{h_{ij}}{h_D} \right)^{\beta_{1i} + \beta_{2i}x_{ij} + \beta_{3i}x_{ij}^2} + e_{ij} \quad (3.8)$$

Burada;

$$y_{ij} = d_{ij} / D_i ; x_{ij} = h_{ij} / H_i$$

$$h_{ij} = i. \text{ birey için } j. \text{ ölçümün yerden yüksekliği (m),}$$

$$H_i = i^{th} \text{ birey için toplam ağaç boyu (m),}$$

$$h_D = \text{Göğüs yüksekliği (1.3m)}$$

$$\beta_{0i}, \beta_{1i}, \beta_{2i}, \beta_{3i} = \text{tahmin edilen parametreler,}$$

$$e_{ij} = \text{hata terimini ifade etmektedir.}$$

Yeni bir gözlem için tahmin (Kalibrasyon)

Karışık etkili modellemede, değerlendirilmesi ve çözümlenmesi gereken önemli bir konu da; modelin “Kalibrasyon Yanıtlarının” ortaya konulmasıdır. Kalibre edilen modeller, daha doğru, tutarlı ve güvenilir tahminler elde edilmesi imkanlarını sağlamaktadır (Calama ve Montero, 2006; Trincado ve Burkhart, 2006; Yang vd., 2009A; Cao ve Wang, 2011). Bir gövde profili modelinin temel amacı ölçülmemiş bir ağaç için gövde üzerindeki farklı çap değerlerinin tahminidir. Karışık etkili modelleme tekniğinin geleneksel regresyon modellerine olan üstünlüğü, karışık etkili modellemenin hem tüm popülasyona (ortalama yanıt) ilişkin hem de bireye özel (Kalibrasyon yanıtı) yanıtlara izin vermesidir. Bu özellikler karışık etkili modelleme yaklaşımını yeni bir ağaç için ön bilgilerin bulunması durumunda tahmin için daha etkili kılmaktadır. Trincado ve Burkhart (2006) tarafından belirtildiği gibi, kalibrasyon işlemi bir gövde profili modelinin tahmin kapasitesini artırmakta ve tahmin için ekstra değişkenlere olan ihtiyacı azaltmaktadır.

Durum 1: Ortalama yanıt tahmini

Şayet bir ağaca ilişkin ön bilgilere sahip değil isek, o ağaç için tesadüfi etkili parametreleri tahmin edemeyiz. Tesadüfi etkiler ($E(b_k)=0$) için beklenen tahminlerin kullanımı tek seçimdir. Sabit etkili parametre tahminlerini kullanarak bir ağaç gövdesi üzerindeki ortalama çap değerlerini tahmin edebiliriz.

Durum 2: Kalibrasyon yanıtı tahmini

Kalibrasyon yanıtı bir ağaç gövdesi üzerinde daha önceden ölçülmüş çap değerlerine ilişkin bilgileri gerektirir. Bu ilave bilgiler kullanılarak tesadüfi etkiler vektörü b_k tahmin edilebilir. Hesaplamalar aşağıda verilen b_k 'nin uygun Bayesian tahmincisi kullanılarak yapılabilir (Vonesh and Chinchilli 1997), (3.9).

$$\hat{b}_k \approx \hat{D}\hat{Z}_k^T \left(\hat{Z}_k \hat{D}\hat{Z}_k^T + \hat{R}_k \right)^{-1} \hat{e}_k \quad (3.9)$$

Burada:

\hat{D} = tesadüfi etkiler için $q \times q$ boyutlarındaki varyans-kovaryans matrisi,

\hat{R}_k = birey içi değişkenlik için $k \times k$ boyutlarındaki varyans-kovaryans matrisi,

$$\hat{e}_k = y_k - f(A_k \beta, x_k) \quad (3.10)$$

$$\hat{Z}_k = \left. \frac{\partial f(A_k \beta, x_k)}{\partial \beta_k^T} \right|_{\beta_k = \hat{\beta}_k} \cdot B_k \quad (3.11)$$

Tesadüfi etkili parametrelerin tahminine ilişkin detaylar Fang and Bailey (2001) ve Trincado and Burkhart (2006) ait yayınlarda bulunabilir. Bu projede karışık etkili modellerin kalibrasyon yanıtlarının belirlenmesinde; Trincado ve Burkhart (2006), Yang vd., (2009A); Yang vd., (2009B) ve Sharma ve Parton (2009)'un çalışmalarında önerdiği farklı senaryolar değerlendirilmiştir. Bu senaryolardan ilkinde, tek çap ölçümü esas alınacak ve buna uygun kalibrasyon yanıtları elde edilecektir (2.3, 3.3, 4.3, 5.3, 6.3, 7.3 ve 8.3 çapları gibi). İkinci kalibrasyon yanıtı belirlemeye yönelik ölçüm senaryosunda ise, ağaçlarda göğüs çapı dışında iki farklı çap değeri kullanılarak kalibrasyon yanıtları araştırılacaktır (3.3, 6.3; 2.3, 7.3; 3.3, 7.3; 3.3, 8.3 vb.).

3.2.3 İstatistiksel analiz

En küçük kareler yöntemi kullanılarak gövde çapı modellerinin geliştirilmesi ve analiz edilmesi ile ilgili bazı temel problemler bulunmaktadır ve bunlar arasında en yaygın olanı ve en çok karşılaşılanları çoklu bağıntı ve otokorelasyon problemleridir (Kozak, 1997). Bu problemler sıradan en küçük kareler (OLS) yaklaşımının temel varsayımı ile olan hataların bağımsızlığı kuralını bozmaktadır. Yine bu problemler, model katsayılarının standart hatalarını ciddi şekilde etkileyebilmektedirler. Bu yüzden gövde çapı modellerinin geliştirilmesinde otokorelasyon probleminden kaçınabilmek ve çoklu bağıntı

problemini azaltabilmek için uygun istatistiksel yaklaşımların seçilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Kozak, 1997).

Pinheiro ve Bates (2000), farklı sabit ve tesadüfi etkili parametre kombinasyonlarının değerlendirmesini önermektedir. Bu çalışmada da öncelikli olarak NLMIXED yöntemi kullanılarak tesadüfi etkili parametreler kullanılmaksızın 2 nolu denklem çözülmüştür. Bu işlem ağaç içi varyansın homojen ve artıkların ilişkisiz olduğu varsayımı ile gerçekleştirilmiştir. Ancak bilindiği gibi, gövde çapı modellerini geliştirmek üzere ölçülen veriler aynı ağaç üzerinde belirli ya da düzensiz aralıklarla ölçülmekte ve bu ölçüm değerleri çoklu bağlantı ya da otokorelasyon problemlerini ortaya çıkarmaktadır. Geçmişte yapılan çalışmalar; modele tesadüfi etkili parametrelerin eklenmesiyle ağaç içi ve ağaçlar arası otokorelasyonun oldukça azaltılabildiği ifade edilmektedir (Tasissa ve Burkhart, 1998; Trincado ve Burkhart, 2006; Yang vd., 2009a; Yang vd., 2009b; Sharma ve Parton, 2009; Gomez-Garcia vd., 2013).

3.2.4. Model Performanslarının Değerlendirmesinde Kullanılan Ölçütler

Tesadüfi değişken içeren ve içermeyen modellerin doğruluğunun ve tutarlılığının karşılaştırılmasında Arabatzis ve Burkhaet (1992) tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır. Bu amaçla en uygun tesadüfi değişken kombinasyonunun belirlenmesi amacıyla Akaike'nin bilgi kriteri (AIC, AKAIKE, 1974) ve iki kez logaritmik olabilirlik fonksiyonunu $(-2\ln(L))$ kriterleri kullanılmıştır. Akaike'nin bilgi kriteri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (3.12).

$$AIC = n \log \left(\sum_{i=1}^{i=n} (Y_i - \hat{Y}_i)^2 / n \right) + 2p \quad (3.12)$$

Burada L = likelihood fonksiyonu ve k = parametre sayısını ifade etmektedir. AIC farklı modellerin güvenilirliğinin karşılaştırılmasında yaygın olarak kullanılan bir ölçüt değeridir. AIC ve $(-2\ln(L))$ ölçütlerine göre, en küçük değerlere sahip model iyi model olarak düşünülmüştür.

En uygun tesadüfi değişen kombinasyonuna sahip model ile tüm parametreleri sabit etkili modelin gövde çapı tahminlerindeki başarı durumları farklı nisbi boy değerleri için karşılaştırılmıştır. Bu amaçla ağaç gövdesi on parçaya ayrılmış ve modellerin bu gövde parçalarındaki başarı durumları ortalama hata (E), hata kareler ortalaması (MSE) ve hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE) ölçütlerine göre değerlendirilmiştir. Bu kriterlere ilişkin formüller aşağıda verilmiştir (3.13, 3.14 ve 3.15).

$$E = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (y_i - \hat{y}_i)}{n} \quad (3.13)$$

$$MSE_i = \bar{e}_i^2 + v_i \quad (3.14)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n - p}} \quad (3.15)$$

Burada; y_i ölçülen değerleri, \hat{y}_i model ile tahmin edilen değerleri, \bar{y} ölçülen değerlerin ortalamasını, \bar{e}_i ortalama hatayı, n model geliştirmek için kullanılan toplam gözlem sayısını ve p ise tahmin edilen parametre sayısını göstermektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Karışık-etkili değişken şekil gövde çapı modeli

Çalışmada öncelikli olarak, sadece sabit etkili parametrelere sahip model ile, farklı tesadüfi değişken kombinasyonlarına sahip karılıklı etkili model karşılaştırılmıştır. Yapılan değerlendirmelerde bu iki durum arasında önemli farklılıkların olduğu ortaya konmuştur. Buna ilişkin sonuçlar Çizelge 4.1’de verilmiştir. Bütün durumlarda, tesadüfi değişken eklenen modeller daha başarılıdır.

Çizelge 4.1 Sharma ve Parton (2009)’un değişken şekil gövde çapı modelinin farklı tesadüfi değişken kombinasyonları için istatistikî sonuçlar.

Tesadüfi Değişkenler	Parametre sayısı	σ^2	-2LL (en küçüğü en iyisi)	AIC (en küçüğü en iyisi)
None ^a	5	0.01674	-2764	-2754
β_0	6	0.00329	-5878	-5866
β_1	6	0.01158	-3334	-3322
β_2	6	0.01132	-3374	-3362
β_3	6	0.01292	-3125	-3113
β_0, β_1	8	0.00190	-6800	-6784
β_0, β_2	8	0.00104	-7895	-7879
β_0, β_3	8	0.00117	-7670	-7654
β_1, β_2	8	0.01033	-3476	-3460
β_1, β_3	8	0.01061	-3428	-3412
β_2, β_3	8	0.00911	-3721	-3705
$\beta_0, \beta_1, \beta_2$	11	0.00074	-8397	-8375
$\beta_0, \beta_1, \beta_3$	11	0.00076	-8360	-8338
$\beta_0, \beta_2, \beta_3$	11	0.00070	-8495	-8473
$\beta_1, \beta_2, \beta_3$	11	0.00051	-8885	-8855
$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$	15	0.00046	-20315	-20285

σ^2 tahminlerin standart hatasını, -2LL iki kez logaritmik olabilirlik fonksiyonunu ve AIC Akaike'nin bilgi

kriterini, ^aSabit etkili modeli ifade etmektedir

-2LL ve AIC ölçüt değerleri ve σ^2 değeri dikkate alındığında tüm parametreleri tesadüfi etkili model en başarılıdır. En başarılı olarak ortaya çıkan karışık etkili modelin parametre tahminleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Sharma ve Parton (2009)’un karışık etkili değişken şekil gövde çapı modeli için parametre tahminleri.

	Tahmin	SE ^a
<i>Sabit etkili parametreler</i>		
β_0	0.9939	0.00136
β_1	-0.04286	0.00190
β_2	0.03461	0.01284
β_3	0.3120	0.01686
<i>Varyans bileşenleri</i>		
σ^2	0.000524	0.000011
Var(b_0)	0.000365	0.000044
Var(b_1)	0.000815	0.000088
Var(b_2)	0.03903	0.003971
Var(b_3)	0.07022	0.006826
Cov(b_0, b_1)	0.000077	0.000044
Cov(b_0, b_2)	0.000811	0.000293
Cov(b_0, b_3)	-0.00059	0.000387
Cov(b_1, b_2)	-0.00396	0.000515
Cov(b_1, b_3)	0.005459	0.000669
Cov(b_2, b_3)	-0.04538	0.004898

^a standard hata

Ağaçlar arası varyasyon için, k . Yeni bir ağaç için parametre vektörü β_k aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir (4.1).

$$\beta_k = \mathbf{A}_k \boldsymbol{\beta} + \mathbf{B}_k \mathbf{b}_k = \begin{bmatrix} 0.99390 + b_{0k} \\ -0.04286 + b_{1k} \\ 0.03461 + b_{2k} \\ 0.31200 + b_{3k} \end{bmatrix} \quad \mathbf{b}_k \sim N(0, \mathbf{D}), \quad (4.1)$$

Burada, sırasıyla, β sabit etkili parametre vektörünü $[0.99390, -0.04286, 0.03461, 0.31200]^T$, \mathbf{b}_k tesadüfi etkili parametre vektörünü $[\mathbf{b}_{0k}, \mathbf{b}_{1k}, \mathbf{b}_{2k}, \mathbf{b}_{3k}]^T$, $\mathbf{A}_k = \mathbf{B}_k = \mathbf{I}_4$ is a (4x4) tanım matrisini $[1000, 0100, 0010, 0001]^T$ veya sabit ve tesadüfi etkili dizayn matrisini ifade etmektedir. \mathbf{b}_k tesadüfi etkiler vektörü, $E[\mathbf{b}_k] = 0$ ve varyans-kovaryans matrisi \mathbf{D} ile çok değişkenli normal dağılmış olarak düşünülmektedir (4.2) (Çizelge 4.2).

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} 0.000365 & 0.000077 & 0.000811 & -0.000590 \\ 0.000077 & 0.000815 & -0.003960 & 0.005459 \\ 0.000811 & -0.003960 & 0.039030 & -0.044538 \\ -0.000590 & -0.005459 & -0.045380 & 0.070220 \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

Sharma ve Parton (2009) tarafından belirtildiği gibi, Formül (7) uygulanarak Gövde üzerinde ekstra çap ölçümleri kullanılarak ($j=1, \dots, n_k$) yeni bir ağaç veya yer için tesadüfi etkili parametreler vektörü tahmin edilebilir. Bu durumda, kısmi türev matrisi için yeni bir k . ağacın her j . satırının değeri aşağıdaki ifade ile elde edilebilir (4.3).

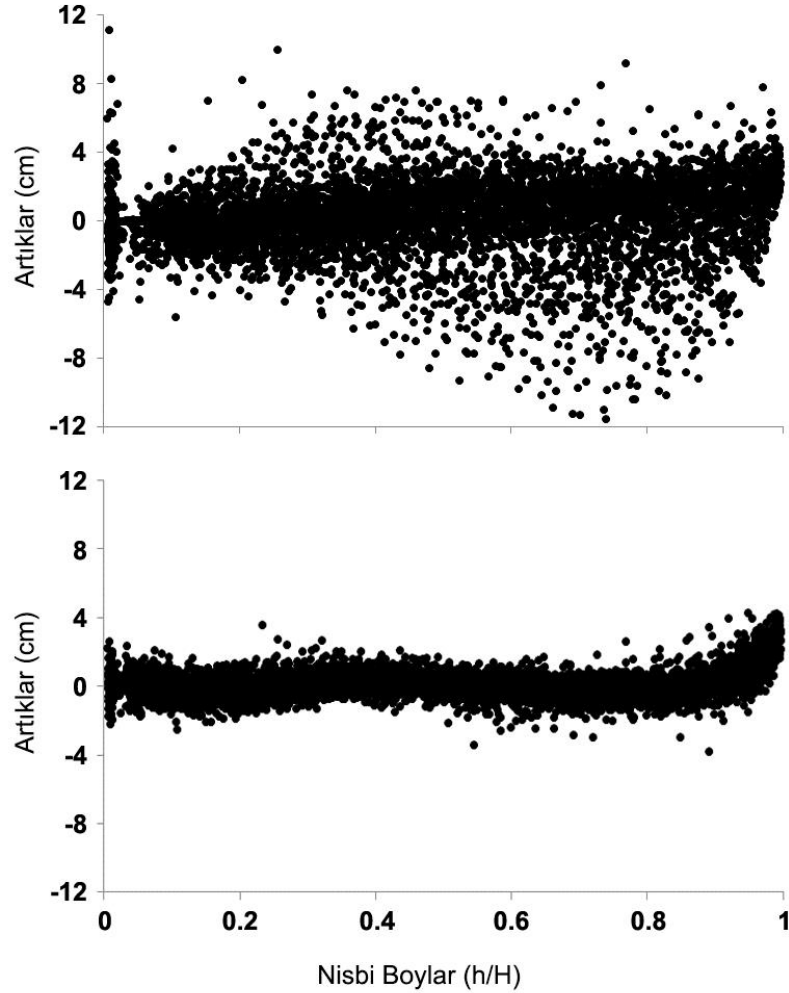
$$\left. \frac{\partial f(\mathbf{A}_k \boldsymbol{\beta}, x_k)}{\partial \boldsymbol{\beta}_k^T} \right|_{\beta_k = \hat{\beta}_k} = \begin{bmatrix} z_{kj} \\ z_{kj} \cdot \ln\left(\frac{h_{kj}}{1.3}\right) \\ z_{kj} \cdot \ln\left(\frac{h_{kj}}{1.3}\right) \cdot x_{kj} \\ z_{kj} \cdot \ln\left(\frac{h_{kj}}{1.3}\right) \cdot x_{kj}^2 \end{bmatrix}^T \quad (4.3)$$

Burada, $z_{kj} = \frac{\partial f(\mathbf{A}_k \boldsymbol{\beta}, x_k)}{\partial \beta_0} = \left(\frac{H_k - h_{kj}}{H_k - 1.3} \right) \left(\frac{h_{kj}}{1.3} \right)^{\beta_{1k} + \beta_{2k} x_{kj} + \beta_{3k} x_{kj}^2}$ β_0 sabit etkili parametre

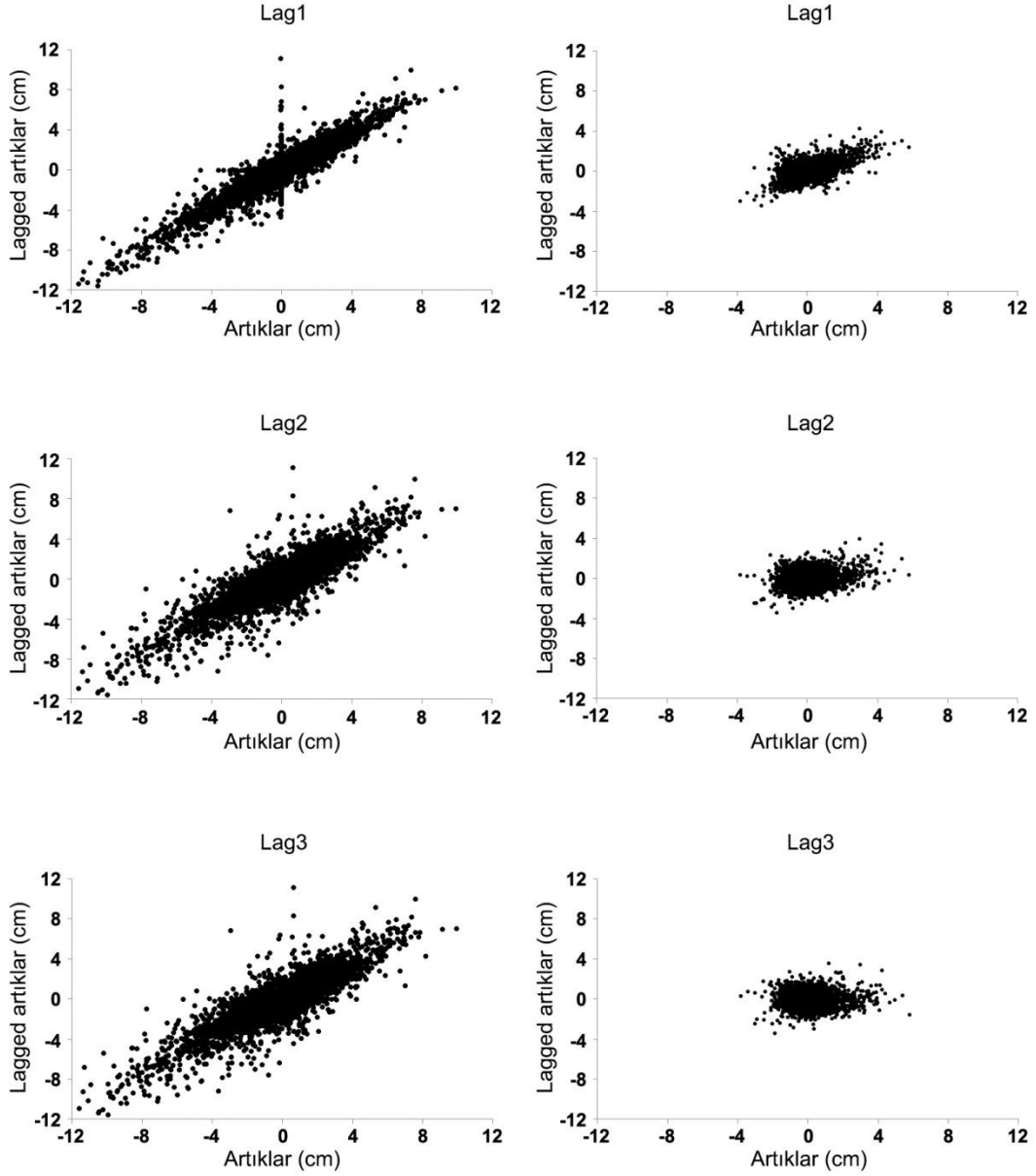
bakımından kısmi türevi ifade etmektedir.

4.2. Hata varyansı ve otokorelasyon için elde edilen sonuçlar

Sabit etkili ve tesadüfi etkili modellere ilişkin hata analizleri göstermiştir ki, tesadüfi etkili parametrelere sahip karışık-etkili modeller, sabit etkili modellere kıyasla daha homojen bir hata varyansı yapısına sahiptir. Bu durum Şekil 4.1 'de de açık bir şekilde görülebilmektedir. Şekilden de görüleceği gibi, tüm nisbi boy değerleri için tesadüfi etkili parametrelere sahip model, tüm parametreleri sabit etkili model göre daha homojen bir hata varyansı yapısına sahiptir. Yine şekilden de açıkça görülebileceği gibi tüm parametreleri sabit etkili modelde hata varyansı değerleri nisbi boy değerlerinin artmasına paralel olarak artış göstermektedir.



Şekil 4.1. Nisbi boylar itibariyle sabit etkili ve karışık etkili modeller için hata varyansı

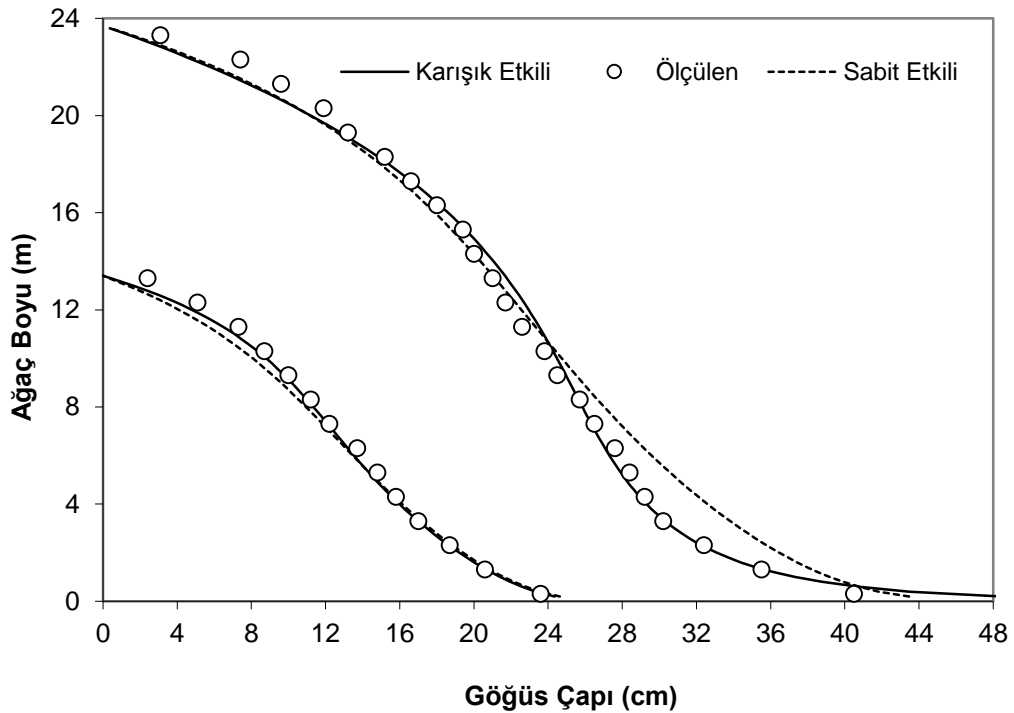


Şekil 4.2. Sabit etkili ve karışık etkili modeller için Lag-hata otokorelasyonu grafiği

Modele tesadüfi etkili parametrelerin eklenmesinden sonra, hata ile ilişkili otokorelasyon problemi hemen ortadan kalkmıştır. İlk üç laglar için hata otokorelasyonu Şekil 4.2’de verilmiştir. Burada, sabit etkili modelde önemli ve pozitif bir korelasyon gözlenmektedir. Ancak, ilgili grafikten de görüleceği gibi, hata korelasyonu, modele, tesadüfi etkili parametrelerin eklenmesi ile hemen ortadan kaldırılmıştır. Daha önceleri, farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Tasissa ve Burkhart,

1998; Trincado ve Burkahrt, 2006; Sharma ve Parton, 2009; Gomez-Garcia vd., 2013). Ağaç içi varyans-kovaryans matrisi 4 nolu denklem yardımı ile modellenmiştir. Bu formülde σ^2 (standart hata) değeri Çizelge 4.3'den de görüleceği gibi 0.000524'dür.

Sabit etkili parametreler ve tesadüfi etkili parametreler kullanılarak çap tahminlerine örnek olması amacıyla orta ve büyük çağ sınıflarından iki ağaç için çap tahminlerine ilişkin grafiksel sonuçlar Şekil 4.3'de verilmiştir. Şekilden de açıkça görülebileceği gibi, sadece sabit etkili parametrelere sahip model hem sabit hem de tesadüfi parametrelere sahip model göre gövde şeklini tanımlamakta daha başarısız olmuştur. Karışık etkili model Uludağ göknarı ağaçlarının gövde şeklini tanımlamakta daha başarılı olmuştur. Karışık etkili model, sabit etkili modele göre, özellikle ağaçların alt ve üst bölümlerini tanımlamada daha başarılıdır.



Şekil 4.3. Sabit etkili ve tesadüfi etkili parametrelere sahip modeller kullanılarak iki ağaç için gövde şekilli eğrileri

4.3. Gövde çapı tahminlerinin değerlendirilmesi

Karışık etkili modelleme tekniği kullanılarak geliştirilen gövde çapı modelinin gövde üzerindeki farklı nisbi boy gruplarındaki çap tahminlerindeki başarısı ortalama ve kalibre edilmiş yanıtlar için ortalama hata ve hataların standart sapması (tekrarlanan ölçümlerdeki hata varyasyonu, precision) bakımından karşılaştırılması da yapılmıştır. Her iki özellik bakımından en küçük değerler sahip olan model ilgili nisbi boy grubu için daha başarılı olarak adlandırılmıştır. Bu değerlendirmeler ilişkin sonuçlar Çizelge 4.4'de verilmiştir. Bu çizelgeden de görüleceği gibi, bütün nisbi boy grupları birlikte değerlendirildiğinde ortalama hata bakımından ve hata kareler ortalaması değerleri bakımından kalibre edilmiş yanıtlar, ortalama yanıtlardan daha başarılı olmuştur. Ortalama hata ve hata kareler ortalaması değerlerinin özellikle gövdenin alt kısımlarında kalibre edilmiş yanıtlar için daha küçük elde edilmesi daha önemlidir. Kalibre edilmiş yanıtlar bakımından bir bakımından bir değerlendirme yapılacak olursa; farklı kalibrasyon alternatifleri denenmiş bu amaçla gövde üzerinde ekstra bir ve ekstra iki çap ölçümü yapılmıştır. Ancak tüm nisbi boy sınıflarının ortalaması bakımından değerlendirildiğinde; göğüs çapı ve ağaç boyu yanında iki ekstra çap ölçümü ile daha doğru sonuçların alınabildiği görülmüştür. Ancak nisbi boy sınıfları için ayrı ayrı değerlendirildiğinde 8.3 m'de ölçülen ekstra çap değeriyle elde edilen kalibrasyon yanıtlarının daha doğru yakın sonuçlar ürettiği görülmüştür. Aynı nisbi boy değeri için hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE) değerleri Çizelge 4.5'de verilmiştir. Farklı nisbi boy grupları için en doğru sonuçların 8.3 m'de ölçülen ekstra tek çap değeri kullanılarak elde edilen kalibrasyon yanıtları ile elde edildiği görülmektedir. Ağaç gövdesinin %0-70'lik kısmındaki çap tahminleri için bu kalibrasyon yanıtlarının hem ortalama (Sabit etkili) hem de iki ekstra çap ölçümü ile elde edilen kalibrasyon yanıtlarından daha başarılı olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, Sinop Yöresi Uludağ göknarı meşcerelerindeki ağaçlara ilişkin çap tahminleri yapılması durumunda, en başarılı tahminler için kalibre edilmiş gövde çapı modellerinin kullanılması gerektiğini ortaya koymuştur. Ancak, uygulamada dikili haldeki ağaçların çap ölçümlerine ihtiyaç olduğu da unutulmamalıdır.

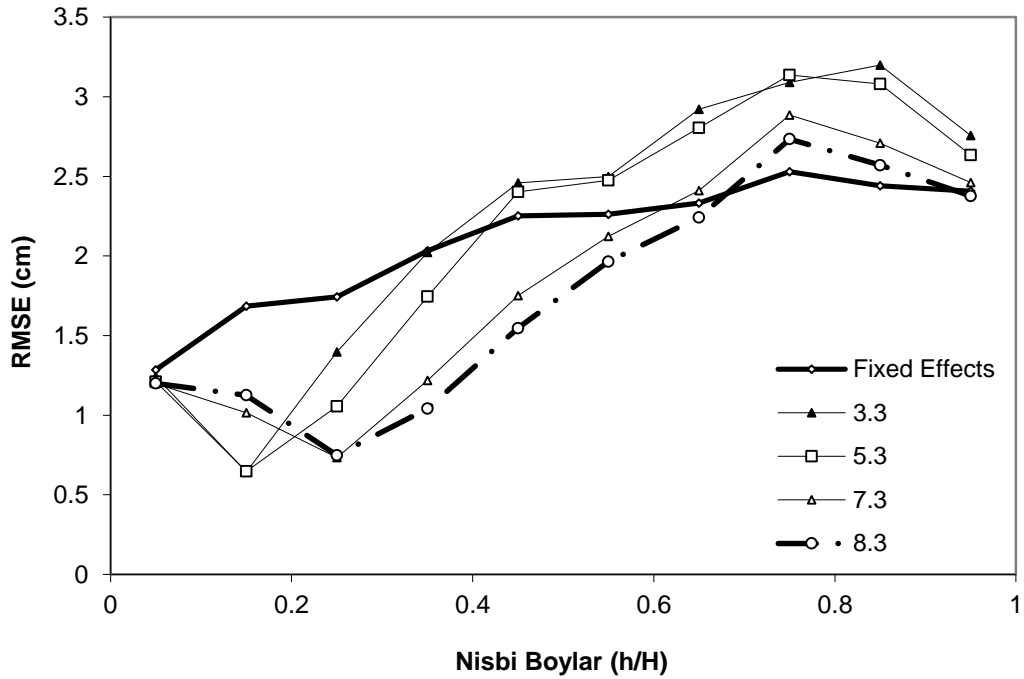
Çizelge 4.3. Farklı nisbi boy değerlerindeki gövde çapı tahminleri için ortalama ve kalibre edilmiş cevaplar için ortalama hata (E) ve hata kareler ortalaması (MSE) değerleri*.

Nisbi Boylar (h/H)	n	Ortalama Yanıtlar (cm)	Kalibre Edilmiş Yanıtlar (cm)										
			2.3 m	3.3 m	4.3 m	5.3 m	6.3 m	7.3 m	8.3 m	3.3-6.3 m	2.3-7.3 m	3.3-7.3 m	3.3-8.3 m
<i>Ortalama Hata (\bar{e}_i, cm)</i>													
0.0 < h/H													
≤0.1		0.4181	0.2567	0.2644	0.3024	0.3393	0.3339	0.3520	0.3612	0.3099	0.2803	0.3137	0.3109
0.1 < h/H ≤0.2		0.3099	-0.0068	-0.0300	-0.0162	0.1233	0.1352	0.2254	0.2698	0.0162	0.0428	0.0466	0.0416
0.2 < h/H ≤0.3		-0.0371	-0.2848	-0.3236	-0.2797	-0.1277	-0.1218	-0.0200	0.0372	-0.0110	-0.0485	0.0445	0.0374
0.3 < h/H ≤0.4		-0.1642	-0.4597	-0.4680	-0.3972	-0.2070	-0.1912	-0.1031	-0.0239	0.1408	0.0193	0.1609	0.1604
0.4 < h/H ≤0.5		-0.2878	-0.5803	-0.6540	-0.6595	-0.4429	-0.5051	-0.3887	-0.3006	-0.1309	-0.2240	-0.0305	-0.0091
0.5 < h/H ≤0.6		-0.0760	-0.3334	-0.3192	-0.2431	-0.0275	-0.0262	0.0714	0.1422	0.4402	0.2828	0.4616	0.4627
0.6 < h/H ≤0.7		-0.0985	-0.4811	-0.5614	-0.4782	-0.2631	-0.2604	-0.1132	0.0026	0.1453	0.0676	0.2364	0.2940
0.7 < h/H ≤0.8		-0.6054	-0.8346	-0.9237	-0.8308	-0.5625	-0.5688	-0.4801	-0.4248	-0.3462	-0.3942	-0.3229	-0.2894
0.8 < h/H ≤0.9		-0.9139	-1.1876	-1.1257	-1.0662	-0.8734	-0.8535	-0.7346	-0.6675	-0.8245	-0.7259	-0.7429	-0.6769
0.9 < h/H ≤1.0		-1.5277	-1.6406	-1.6880	-1.6616	-1.5743	-1.5729	-1.5426	-1.5193	-1.6014	-1.5720	-1.6072	-1.5849
<i>Toplam</i>		-0.2766	-0.5326	-0.5587	-0.5082	-0.3396	-0.3410	-0.2524	-0.1920	-0.1651	-0.2069	-0.1236	-0.1054
<i>MSE (v_i, cm)</i>													
0.0 < h/H													
≤0.1		1.6483	1.4206	1.5433	1.5675	1.4639	1.4397	1.4378	1.4398	2.5696	1.7273	2.6404	2.5231
0.1 < h/H ≤0.2		2.8363	1.1222	0.4150	0.2877	0.4178	0.7146	1.0322	1.2659	0.2111	0.5223	0.2660	0.3240
0.2 < h/H ≤0.3		3.0360	2.5483	1.9520	1.6804	1.1121	0.8950	0.5380	0.5596	1.0612	0.5878	0.5306	0.4829
0.3 < h/H ≤0.4		4.1347	4.5669	4.0919	4.0198	3.0453	2.6200	1.4857	1.0830	3.8985	1.8730	1.8836	1.1101
0.4 < h/H ≤0.5		5.0690	5.8463	6.0415	7.2856	5.7767	4.9399	3.0647	2.3928	7.1320	3.8939	3.5693	2.3383
0.5 < h/H ≤0.6		5.1179	5.5619	6.2452	7.3334	6.1275	5.9154	4.5078	3.8591	9.7765	6.3740	6.3000	4.5332
0.6 < h/H ≤0.7		5.4398	7.0029	8.5283	9.6223	7.8668	7.4692	5.8133	5.0275	9.9023	7.2474	6.8224	5.3361
0.7 < h/H ≤0.8		6.3995	7.3108	9.5523	11.5825	9.8383	9.7805	8.3235	7.4718	11.1311	9.2436	8.7128	7.4792
0.8 < h/H ≤0.9		5.9551	8.8127	10.2266	11.0538	9.4882	9.0532	7.3370	6.6061	9.0198	7.3877	7.3913	6.7101
0.9 < h/H ≤1.0		5.7943	6.5588	7.5936	7.6275	6.9330	6.7661	6.0526	5.6490	6.8790	6.1422	6.5026	6.1582
<i>Toplam</i>		4.2600	4.5631	5.0450	5.5678	4.6707	4.4466	3.5476	3.1675	5.5597	4.0444	4.0308	3.3406

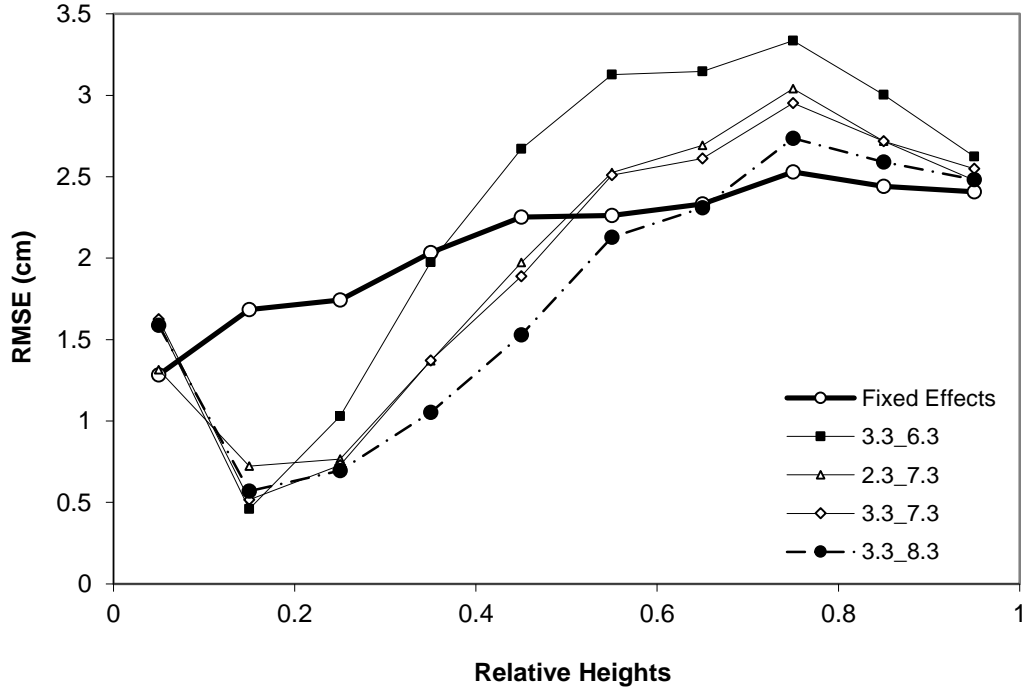
Çizelge 4.4. Uludağ Göknaında çap tahminleri için nisbi boylar itibariyle ortalama ve kalibre edilmiş yanıtın RMSE değeri*.

Nisbi Boylar (h/H)	n	Ortalama Yanıtlar (cm)	Kalibre Edilmiş Yanıtlar (cm)										
			2.3 m	3.3 m	4.3 m	5.3 m	6.3 m	7.3 m	8.3 m	3.3-6.3 m	2.3-7.3 m	3.3-7.3 m	3.3-8.3 m
<i>Ortalama Hata (\bar{e}_i, cm)</i>													
0.0 < h/H													
≤0.1		1.2839	1.1999	1.2423	1.2520	1.2099	1.1999	1.1991	1.1919	1.6030	1.3143	1.6249	1.5884
0.1 < h/H ≤0.2		1.6841	1.0593	0.6442	0.5364	0.6464	0.8453	1.0160	1.1251	0.4594	0.7227	0.5158	0.5692
0.2 < h/H ≤0.3		1.7424	1.5963	1.3972	1.2963	1.0546	0.9460	0.7335	0.7481	1.0301	0.7667	0.7284	0.6949
0.3 < h/H ≤0.4		2.0334	2.1370	2.0228	2.0050	1.7451	1.6186	1.2189	1.0407	1.9745	1.3686	1.3724	1.0536
0.4 < h/H ≤0.5		2.2514	2.4179	2.4579	2.6992	2.4035	2.2226	1.7506	1.5292	2.6706	1.9733	1.8893	1.5469
0.5 < h/H ≤0.6		2.2623	2.3584	2.4990	2.7080	2.4754	2.4322	2.1232	1.9644	3.1267	2.5247	2.5100	2.1291
0.6 < h/H ≤0.7		2.3323	2.6463	2.9203	3.1020	2.8048	2.7330	2.4111	2.2422	3.1468	2.6921	2.6120	2.3100
0.7 < h/H ≤0.8		2.5297	2.7039	3.0907	3.4033	3.1366	3.1274	2.8850	2.7335	3.3363	3.0403	2.9518	2.7348
0.8 < h/H ≤0.9		2.4403	2.9686	3.1979	3.3247	3.0803	3.0089	2.7087	2.5702	3.0033	2.7180	2.7187	2.5904
0.9 < h/H ≤1.0		2.4071	2.5610	2.7557	2.7618	2.6331	2.6012	2.4602	2.3768	2.6228	2.4783	2.5500	2.4816
<i>Toplam</i>		2.0640	2.1361	2.2461	2.3596	2.1612	2.1087	1.8835	1.7797	2.3579	2.0110	2.0077	1.8277

Aynı nisbi boy değeri için hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE) değerlerinin grafik analizi de Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de verilmiştir. İlk şekilde göğüs çapı ve toplam ağaç boyuna ilave olarak tek çap ölçümü; ikincisinde ise ağaç çapı ve boyuna ilave olarak iki çap ölçümü kullanılarak elde edilen kalibrasyon yanıtları ile ortalama yanıtların karşılaştırmalı sonuçları verilmiştir. Şekil 4.5’de farkı nisbi boy değerleri için yapılan değerlendirmelerde sabit etkili modele göre en başarılı sonuçlar; 8.3 m’deki çap değerleri kullanılarak elde edilen kalibrasyon yanıtları ile elde edilmiştir. Bunu 7.3 m’deki çap değerleri kullanılarak elde edilen kalibrasyon yanıtları izlemiştir. Şekil 4.4’den de görüleceği gibi bütün tek ekstra çap değeri kullanılarak gerçekleştirilen kalibrasyon yanıtları ağaç gövdesinin ilk yarısında ortalama yanıtlara göre daha doğru sonuçlar vermiştir.



Şekil 4.4. Nisbi boy sınıfları itibariyle tek ekstra çap kullanılarak yeni bir ağaç için ortalama ve kalibre edilmiş yanıtlar için RMSE değerleri



Şekil 4.5. Nisbi boy sınıfları itibariyle iki ekstra çap kullanılarak yeni bir ağaç için ortalama ve kalibre edilmiş yanıtlar için RMSE değerleri

Şekil 4.5’de farklı nisbi boy değerleri için yapılan değerlendirmelerde sabit etkili modele göre en başarılı sonuçlar; 3.3 ve 8.3 m’deki çap değerleri kullanılarak elde edilen kalibrasyon yanıtları ile elde edilmiştir. Bunu 3.3 ve 7.3 m’deki çap değerleri kullanılarak elde edilen kalibrasyon yanıtları izlemiştir. Şekil 4.5’den de görüleceği gibi bütün iki ekstra çap değeri kullanılarak gerçekleştirilen kalibrasyon yanıtları ağaç gövdesinin ilk yarısında ortalama yanıtlara göre daha doğru sonuçlar vermiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Sinop Yöresi Uludağ göknarı meşecreleri için karışık etkili modelleme tekniği kullanılarak değişken şekil gövde çapı modeli geliştirilmiştir. Bu amaçla; Sharma ve Parton (2009), tarafından geliştirilmiş değişken şekil gövde çapı modeli kullanılmıştır. Bu model orijinali Sharma ve Oderwald (2001), tarafından sunulan boyutsal gövde çapı modelini temel alan ve Sharma ve Zhang (2004), tarafından geliştirilmiş değişken şekil gövde çapı modelinin değiştirilmiş bir şeklidir. Sharma ve Zhang (2004), tarafından geliştirilen model Güney Kanada'da balsam göknarı için yapılan bir çalışmada; Max ve Burkhart (1976), Kozak (1988) ve Zakrzewski (1999) tarafından geliştirilen modellere göre çap tahminlerinde çok daha başarılı sonuçlar vermiştir.

Yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucunda; tesadüfi etkili parametrelere sahip gövde çapı modelinin sadece sabit etkili parametrelere sahip modele göre daha iyi gövde çapı tahminlerine imkân sağladığı görülmektedir. Karışık etkili modelleme tekniği ile gövde çapı modelinin geliştirilmesinde yapılması gereken önemli şeylerden birisi en uygun tesadüfi etkili parametre kombinasyonunun ortaya konmasıdır. Bu çalışmada 15 farklı tesadüfi etkili parametre kombinasyonu denenmiş ve en uygun kombinasyon olarak bütün terimlerin tesadüfi etkili $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ olduğu durum bulunmuştur. Bu kombinasyon Sharma ve Parton (2009), tarafından yapılan çalışmada da en iyi kombinasyon olarak tanımlanmıştır.

Karışık etkili modelleme tekniğinin geleneksel regresyon modellerine karşı en önemli üstünlüğü veri yapısında bulunan otokorelasyon sorununun ortadan kaldırılmasına imkan sağlaması ve hata varyansı dağılımını homojen yapabilmesidir. Bu çalışmada da, karışık etkili modelleme tekniği kullanılarak otokorelasyon problemi hemen hemen ortadan kaldırılmış ve hata varyansı dağılımı tüm nisbi boy sınıfları için homojen bir yapıya dönüştürülmüştür. Benzer konuda başka araştırmacılar (Garber ve Maguire, 2003; Trincado ve Burkhart 2006; Yang vd., 2009b; Li ve Weiskittle, 2010; Özçelik vd., 2011) tarafından yapılan çalışmalarda otokorelasyon probleminin tamamen ya da kısmen ortadan

kaldırılabilmesi için modele otokorelasyon hata yapısı bileşeninin eklenmesi önerilmekte ise de bu çalışmada Sharma ve Parton (2009), ve Lejeune vd (2009), tarafından yapılan çalışmalardakine benzer olarak buna ihtiyaç duyulmamıştır. West (1984), tarafından da belirtildiği gibi, otokorelasyonun hesaplanması modelin tahmin kapasitesini düzeltmemekte, fakat uygun istatistiksel yöntemler yardımı ile parametrelerin kovaryans matrisinin tahmininde yapılabilecek hataları önlemektedir. Diğer yandan Yang vd. (2009a) ve Gomez-Garcia vd. (2013), tarafından da belirtildiği gibi, otokorelasyon parametreleri aynı ağaç üzerinde farklı boylardaki birkaç çap değeri kullanılarak yapılan kalibrasyon işlemi uygulanmadıkça pratik amaçlarla ya da uygulamada kullanılmamaktadır.

Bu çalışmada bir ağaç gövde şeklinin kalibrasyonu için gövde üzerinde göğüs çapı ve ağaç boyu dışında ekstra çap değerleri kullanılarak tesadüfi etkili parametreler kullanılmıştır. Çalışmada farklı kalibrasyon alternatifleri denenmiş ve sonuçları sayısal ve grafiksel olarak karşılaştırılmıştır. Bu amaçla 11 farklı kalibrasyon alternatifi denemiştir. Calama ve Montero (2006), tarafından da belirtildiği gibi, günümüzde, gövde çapı veya gövde hacmi denklemlerinde, açıklayıcı bir eş değişken olarak ilave çap değerlerinin kullanımı ormancılık çalışmalarında genel bir uygulama haline almıştır. Denenen kalibrasyon alternatifleri farklı nisbi boy sınıfları için ortalama hata (E), hata kareler ortalaması (MSE) ve hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE) gibi kriterler göre değerlendirilmiştir. Genel olarak bütün kalibrasyon alternatifleri her üç ölçüt değeri içinde ortalama yanıtlardan daha başarılı sonuçlar vermiştir. Bu sonuçlar daha önce Trincado ve Burkart (2006), Sharma ve Parotn (2009), Lejeune vd. (2009) ve Yang vd. (2009), tarafından yapılan çalışmalarla benzer ve tutarlıdır. Genel olarak değerlendirildiğinde ağaç çapı ve boyu yanında ekstra bir ya da iki çap değerinin kullanılması durumunda kalibrasyon alternatifleri arasında önemli bir fark ortaya çıkmamıştır. Ancak tek çap ölçümlerinde ekstra çapın ağaç gövde üzerinde daha yüksekten ölçülmesiyle kalibrasyon değerleri daha doğru şekilde elde edilmiştir.

Ancak burada belirtmek gerekir ki, kalibrasyon işlemi ile ağaç gövde şeklinin tahminindeki en önemli kısıt, dikili ağaçlar üzerinde ekstra çap ölçümlerinin gerekli olmasıdır. Bu çap değerleri de yerden ölçülemeyecek kadar yüksekte olmasıdır. Örneğin bu çalışmada kalibrasyon yanıtları için en doğru sonuçlar yerden 8.3 m'deki çap ölçümünün kullanılmasıdır. Ancak bu çap değerinin ölçümü kolay değildir. Kozak (1998), tatarından da belirtildiği gibi ölçüm hataları bir modelin çap ve hacim tahminlerindeki başarısını etkileyen en önemli kriterdir. Ancak günümüzde, Cao ve Wang (2011) ve Rodríguez vd. (2014), tarafından da belirtildiği gibi, laser teknolojisi sayesinde dikili haldeki ağaçlarda gövdenin üst kısımlarındaki çaplarının ölçülmesi oldukça kolaylaşmıştır.

Bütün bu değerlendirmeler sonucunda; Sinop Yöresi Uludağ göknarı meşcerelerinde, gövde çapı tahminleri için doğrusal olmayan karışık etkili modelleme tekniği kullanılarak başarılı çap tahminleri yapılabileceği görülmüştür. Yeni bir ağaç ya da yer için modelin kalibrasyonu için ağaç çapı ve boyuna ilave olarak ekstra bir çap ya da iki çap ölçülmesinin çap tahminlerindeki doğruluğu çok fazla etkilemediği, ancak sadece sabit etkili parametrelere sahip modele göre tahmin başarısının daha yüksek olduğu görülmüştür. Kalibre edilmiş modeller özellikle gövdenin ilk %50'lik kısmında sabit etkili modellere göre çok daha başarılı sonuçlar üretmiştir. Bu durum özellikle gövde hacminin büyük miktarının bu bölgede yoğunlaşmış olması nedeniyle önemlidir. Çap tahminlerindeki başarı doğrudan hacim tahminlerini etkilemektedir. Çünkü pratik ormancılık çalışmalarında ağaçların göğüs çaplarının doğru tahmin edilmesinden daha ziyade hacminin doğru tahmin edilmesi önemlidir. Ancak, burada yine belirtmek gerekir ki, herhangi bir yöredeki bir ağaç türü için uygun modelin seçilmesinde benzer tahmin başarısına sahip modeller arasından tercih yapılması gerektiğinde, yöntemin pratik olarak uygulanabilmesi ve orman yöneticilerinin tercihleri de önemlidir.

KAYNAKLAR

- Akaike, H., 1974. A new look at the statistical model identification. IEEE Transactions on Automatic Control, 19(2), 716-723.
- Allen, P. J., 1993. Average Stem Profile Comparisons for Three Size Classes of Caribbean Pine. Canadian Journal of Forest Research, 23, 2594-2598.
- Anonim, 2006. Orman Varlığımız, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü, Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı, 160 s. Ankara.
- Arabatzis, A.A., Burkhart, H., 1992. An evaluation of sampling methods and model forms for estimating height-diameter relationships in Loblolly pine plantations. Forest Science, 38, 192-198.
- Arslan, M., Çelem, H., 2001. Ankara'nın Egzotik Ağaç ve Çalıları, TÜBİTAK Türkiye Tarımsal Araştırma Projesi Yayınları, TOGTAG-TARP-2125, Ankara.
- Ata, C., 1975. Kazdağı Göknaarı (*Abies equi-trojani* Aschers et Sinten)'nin Türkiye'deki Yayılışı ve Silvikültürel Özellikleri. Yayımlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, İstanbul.
- Atay, İ., 1982. Doğal Gençleştirme Yöntemleri I (Doğal Gençleştirmenin Başarısını Etkileyen Önemli Hususlar). İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayını, No. 2876, 306, İstanbul.
- Atay, İ., 1990. Silvikültür II (Silvikültürün Tekniği). İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayını, No. 3599, 405, İstanbul.
- Aytuğ, B., 1959. Türkiye göknar (*Abies Tourn.*) türleri üzerinde morfolojik esaslar ve anatomik araştırmalar. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 9(2), 165-217.
- Barrio-Anta, M., Dieguez-Aranda, U., Castedo-Dorado, F., AlvarezGonzalez, J.G., von Gadow, K., 2007. Merchantable volume system for pedunculate oak in northwestern Spain. Annals of Forest Science, 64, 511-520.
- Berhe, L., Arnoldsson, G., 2009. Tree taper models for Cupresus lusitanica plantations in Ethiopia. Southern forests, 70(3), 193-203.
- Bi, H., 2000. Trigonometric Variable-From Taper Equations for Australian Eucalyptus. Forest Science, 46(3), 397-407.
- Biging, G.S., 1984. Taper equations for second-growth mixed conifers of northern California. Forest Science, 30, 1103-1117.
- Bozkurt, Y., 1992. Odun Anatomisi, Fakülte Yayın No 415, Üniversite Yayın No 3652, İstanbul Üniversitesi Basım evi ve Film Merkezi, 298s. İstanbul.

- Bozkuş, H.F., 1987. Toros Göknarı (*Abies cilicica* Carr.)'nın Türkiye'deki Doğal Yayılış ve Silvikültürel Özellikleri. Orman Genel Müdürlüğü Yayını, No. 660, 60, Anklara.
- Brooks, J.R., Jiang, L., Ozcelik, R., 2008. Compatible stem volume and taper equations for Brutian pine, Cedar of Lebanon, and Cilicica fir in Turkey. *Forest Ecology and Management*, 256, 147-151.
- Brooks, John R., L. Jiang, Clark III, A., 2007. Compatible Stem Taper, Volume and Weight Equations 1 for Young Longleaf Pine Plantations in Southwest Georgia, *Southern Journal of Applied Forestry*, 31(4), 187-191.
- Bueno-Lopez, S.W., Bevilacqua, E., 2012. Nonlinear mixed model approaches to estimating merchantable bole volume for *Pinus occidentalis*. *Biogeosciences and Forestry*, 5, 247-254.
- Burkhart, H.E., Tome, M. 2012. Modelling forest trees and stands. Springer, 439p.
- Calama, R., Montero, G., 2004. Multilevel Linear Mixed Model for Tree Diameter Increment in Stone Pine (*Pinus pinea*): a Calibrating Approach. *Silva Fennica*, 39(1), 37-54.
- Calama, R., Montero, G., 2006. Stand and tree-level variability on the stem form and tree volume in *Pinus pinea* L.: A multilevel random components approach. *Forest Systems*, 15, 24-41.
- Cao, Q.V., Burkhart, H.E., Max, T.A., 1980. Evaluation of two methods for cubic volume prediction of loblolly pine to any merchantable limit. *Forest Science*, 26, 71-80.
- Cao, Q.V., Wang, J., 2011. Calibrating fixed- and mixed-effects taper equations. *Forest Ecology and Management*, 262, 671-673.
- Cecilia, R.C., Mason Euan, G., Woollons, R., Resquin, F., 2014. Volume and taper equations for *P. Taeda* (L.) and *E. Grandis* (Hill ex. Maiden). *Agrociencia Uruguay*, 18, 47-60.
- Clark, III A., Souter, R.A., Schlaegel, B.E., 1991. Stem profile equations for southern tree species. United States Department of Agriculture Forest Service Research Paper, SE-282.
- Clutter, J., Fortson, J., Pienaar, L., Brister, H., Bayley, R., 1983. Timber management: a quantitative approach. John Wiley & Sons, 333p. New York.
- Coble, D.W., Hilpp, K., 2006. Compatible Cubic-Foot Stem Volume and Upper-Stem Diameter Equations for Semi-intensive Plantation Grown Loblolly Pine Trees in East Texas. *Southern Journal of Applied Forestry*, 30(3), 132-141.

- Corral-Rivas, J.J., Barrio-Anta, M., Aguirre-Calderon, O.A., Dieguez-Aranda, U., 2007. Use of stump diameter to estimate diameter at breast height and tree volume for major pine species in El Salto Durango (Mexico). *Forestry* 80, 29-40.
- Crecente-Campo, F., Alboreca, A. R., Dieguez-Aranda, U., 2009. A Merchantable volume system for *Pinus sylvestris* L. in the major mountain ranges of Spain. *Annals of Forest Science*, 66-808.
- Davidian, M., Giltinan, D.M., 1995. *Nonlinear Models for Repeated Measurement Data*, New York, Chapman and Hall.
- Demaerschalk, J.P., 1973. Integrated Systems for the Estimation of Tree Taper and Volume. *Canadian Journal of Forest Research*, 3(1), 90-94.
- De-Miguel, S., Mehtatalo, L., Shater, Z., Kraid, B., Pukkala, T., 2012. Evaluating marginal and conditional predictions of taper models in the absence of calibration data. *Canadian Journal of Forest Research*, 42, 1383-1394.
- Dieguez-Aranda, U., Castedo- Dorado, F., Alvarez-Gonzalez, J.G., Rojo, A., 2006. Compatible Taper Function for Scots Pine Plantations in Northwestern Spain. *Canadian Journal of Forest Research*, 36, 1190–1205.
- Ercanlı, İ., 2015. Nonlinear Mixed Effect Models for Predicting Relationships Between Total Height And Diameter Of Oriental Beech Trees in Kestel, TURKEY, *Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente Journal*, In Press, DOI 10.5154/r.rchscfa.2015.02.006
- Ercanlı, İ., Kahriman, A., 2013. Trabzon ve Giresun Orman Bölge Müdürlükleri sınırları içerisinde yer alan doğu ladini (*Picea orientalis* (L.) Link) ve Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) karışık meşcereleri için gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin karışık etkili modelleme yaklaşımı ile geliştirilmesi. *Ormancılıkta Sektörel Planlamanın 50. Yılı Uluslararası Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 613-621, Antalya.
- Ercanlı, İ., Kurt, A.K., Bolat, F., 2014. Adana-Feke kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcereleri için gövde çapı ve Gövde hacim denklemlerinin karışık etkili modelleme ile geliştirilmesinde bazı varyans yapılarının karşılaştırılması. *II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, Bildiriler Kitabı*, Isparta, 585-591.
- Ercanlı, I., Günlü, A., Başkent, E.Z., 2015. Mixed effect models for predicting breast height diameter from stump diameter of Oriental beech in Göldağ, *Scientia Agricola*, 72(3), 245-251.
- Fang, Z., Bailey, R.L., 2001. Nonlinear Mixed Effects Modeling for Slash Pine Dominant Height Growth Following Intensive Silvicultural Treatments. *Forest Science*, 47, 287-300.

- 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, 85-100.
- Fang, Z., Borders, B.E., Bailey, R.L., 2000. Compatible volume taper models for loblolly and slash pine based on system with segmented-stem form factors. *Forest Science*, 46, 1-12.
- Figueiredo-Filho, A., Borders, B.E., Hitch, K.L., 1996. Taper Equations for *Pinus taeda* Plantations in Southern Brazil. *Forest Ecology Management*, 83, 39-46.
- Flewelling, J.W., 1993. Variable-shape stem-profile predictions for western hemlock. *Canadian Journal of Forest Research*, 23, 537-544.
- Fonweban, J., Gardiner, B., Macdonald, E., Auty, D., 2011. Taper functions for Scots pine (*Pinus sylvestris*, L.) and Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) in Northern Britain. *Forestry*, 84, 49-60.
- Garber, S.M., Maguire, D.A., 2003. Modeling stem taper of three central Oregon species using nonlinear mixed effects models and autoregressive error structures, *Forest Ecology and Management*, 179, 507-507.
- Gaussen, H., 1973. Les resineux de turquie, Kazdağı Göknarı ve Türkiye Florası Uluslar Arası Sempozyumu Bildirileri, İstanbul Üniversitesi Yayın No 1921, Orman Fakültesi Yayın No 209, s.37-56, İstanbul.
- Gerçek, Z., Merev, N., Serdar, B., 2007. Bitki Morfogenezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Matbaası, 365s. Trabzon.
- Gomat, H.Y., Deleporte, P., Moukini, R., Mialounguila, G., Ognouabi, N., Saya, R.A., Vigneron, P., Saint-André, L., 2011. What factors influence the stem taper of Eucalyptus: growth, environmental conditions, or genetics? *Annals of Forest Science*, 68(1), 109-120.
- Gomez-garcia, E., Crecente-Campo, F., Dieguez-Aranda, U., 2013. Selection of mixed effects parameters in a variable exponent taper equation for birch trees in northwestern Spain. *Annals of Forest Science*, doi: 10.1007/s13595-103-0313-9.
- Gordon, A., 1983. Comparison of polynomial taper equations. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 13, 146-155
- Gökmen, H., 1970. Açık Tohumlular (Gymnospermae), Alkan Matbaası, 577s. Ankara.
- Gregoire, T.G., Schabenberger, O., 1996. A non-linear mixed-effects model to predict cumulative bole volume of standing trees. *Journal of Applied Statistics*, 23, 257-271.

- Heidarsson, L., Pukkala, T., 2011. Taper functions for lodgepole pine (*Pinus contorta*) and Siberian larch (*Larix sibirica*) in Iceland. *Icelandic Agricultural Sciences*, 24,3-11.
- Huang, S., Price, D., Morgan, D., Peck, K., 2000. Kozak's variable-exponent taper equation regionalized for white spruce in Alberta, *Western Journal of Applied Forest*, 15, 75-85.
- Huang, S., Titus, S., Price, D., Morgan, D., 1999. Validation of Eco region-Based Taper Equations for White Spruce in Alberta, *The Forestry Chronicle*, 75(2), 281-292.
- Jiang, L. 2004. Compatible taper and volume equations for yellow-poplar in West Virginia. West Virginia University, M.Sc Thesis, 75p, Morgantown, WV.
- Jiang, L., Brooks, J.R., Hobbs, G.R., 2007. Using Crown Ratio in Yellow-Poplar Compatible Taper and Volume Equations. *Northern Journal of Applied Forestry*, 24, 271-275.
- Jiang, L., Brooks, J.R., Wang, J., 2005. Compatible taper and volume equations for yellow-poplar in West Virginia. *Forest Ecology and Management*, 213, 399-409.
- Klos, R.J., Wang, G.G., Dang, Q.L., East, E.W., 2007. Taper equations for five major commercial tree species in Manitoba, Canada. *Western Journal of Applied Research*, 22, 163-170.
- Kozak, A., 1998. Effects of upper stem measurements on the predictive ability of a variable-exponent taper equations. *Canadian Journal of Forest Research*, 28, 1078-1083.
- Kozak, A. 1988. A Variable Exponent Taper Equation, *Canadian Journal of Forest Research*, 18, 1363-1368.
- Kozak, A. 1997. Effects of Multicollinearity and Autocorrelation on the Variable-Exponent Taper Functions. *Canadian Journal of Forest Research*, 27, 619-629.
- Kozak, A., 2004. My last words on taper equations. *Forestry Chronicle*, 80, 507-515.
- Kozak, A., Munro, D.O., Smith, J.H.G., 1969. Taper Functions and Their Application in Forest Inventory. *Forestry Chronicle*, 45,278-283.
- Lee, W.K., Seo, J.H., Son, Y.M., Lee, K.H., Von Gadow, K., 2003. Modeling stem profiles for *Pinus densiflora* in Korea. *Forest Ecology and Management*, 172, 69-77.

- Leites, L., Robinson, A., 2004. Improving taper equations of loblolly pine with crown dimensions in a mixed-effects modeling framework. *Forest Science*, 50(2), 204-212.
- Lejeune, G., Ung, C.H., Fortin, M., Guo, X.J., Lambert, M.C., Ruel, J.C. 2009. A simple stem taper model with mixed effects for boreal black spruce. *European Journal of Forest Research*, 128, 505-513.
- Li, R., Weiskittel, A., Dick, A.R., Kershaw, J.A., Seymour, R.S., 2012. Regional stem taper equations for eleven conifer species in the Acadian region of North America: development and assessment. *Northern Journal of Applied Forestry*, 29, 5-14.
- Li, R., Weiskittel, A.R., 2010. Estimating and predicting bark thickness for seven conifer species in the Acadian Region of North America using a mixed-effects modeling approach: comparison of model forms and subsampling strategies. *European Journal of Forest Research*, 130, 219-233.
- Lindstrom, M.J., Bates, D.M., 1990. Nonlinear Mixed Effects Models for Repeated Measures Data. *Biometrics*, 46, 673-687
- Martin, A.J., 1981. Taper and volume equations for selected Appalachian hardwood species. United States Department of Agriculture Forest Service Research Paper, NE-490.
- Max, T.A., Burkhart, H.E., 1976. Segmented Polynomial Regression Applied to Taper Equations. *Forest Science*, 22, 283-289.
- Merev, N., 1988. Odun Anatomisi ve Odun Tanıtımı, Karadeniz Teknik Üniversitesi Matbaası, 128s. Trabzon.
- Methol, R.J., 2001. Comparisons of approaches to modelling tree taper, stand structure and stand dynamics in forest plantations. University of Canterbury, Ph.D. Thesis. 298p, Canterbury.
- Meydan-Aktürk, G., 2006. Doğu Ladini (*Picea orientalis* (L.) Link) için Trigonometrik Gövde Çapı Denklemine Oluşturulması. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, 120s. Trabzon.
- 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., 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.

- Newnham, R.M., 1988. A Variable form Taper Function. Information Report PI-X-83. Forestry, 33p. Canada.
- Newnham, R.M., 1992. A variable-form taper function four Alberta tree species. Canadian Journal of Forest Research, 22, 210-223.
- Ozcelik, R., Brooks, J.R., 2012. Compatible volume and taper models for economically important tree species of Turkey. Annals of Forest Science, 69, 105-118.
- Önal, S., 1984. Müzik Aletleri Yapımında Kullanılan Yerli Ağaç Türleri ve Özellikleri. Ormancılık Araştırma Dergisi, 30(59), 169-163.
- Özçelik, R., 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.
- Özçelik, R., 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.
- 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, 186-191.
- Petersson, H., 1999. A Segmented Stem Profile Model for *Pinus sylvestris*. Forest Ecology and Management, 124, 13-26.
- Pinheiro, J.C., Bates, D.M., 2000. Mixed effects models in S and S-plus. Springer, Heidelberg, 528p. report. United Nations Economic Commission for Europe, Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests (International Co-operative Programme Forests), 23p.
- Pompa, G.M., Corral, R.J.J., Diaz, M.A., V.Y.M., Martinez, S., 2009. Funcion de ahusamiento y volumen compatible para *Pinus arizonica* Engelm. en el suroeste de Chihuahua. Rev Cien Forest en Mex, 34, 119-136.
- Quinonoz-Barraza, G., De los Santos-Posadas, H.M., De los Santos-Posadas, J.G., Velázquez-Martínez, A., 2014. Compatible Taper And Merchantable Volume System For Major Pine Species In Durango, Mexico. Agrociencia, 48, 553-567.
- Reed, D.D., Green, E.J., 1984. Compatible Stem Taper and Ratio Equations. Forest Science, 30(4), 977-990.

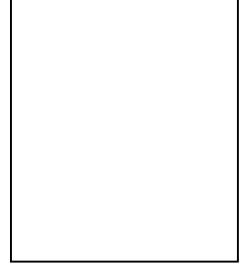
- Riemer, T., Von Gadow, K., Sloboda, B. 1995. Ein Modell zur Beschreibung von Baumschäften. Allgemeine Forst und Jagdzeitung, 166, 144-147.
- Rodriguez, F., Lizarralde, I., Fernandez-Landa, A., Condes, S., 2014. Non-destructive measurement techniques for taper equation development: a study case in the Spanish Northern Iberian Range. European Journal of Forest Research, 133, 213-223.
- Rojo, A., Perales, X., Sánchez-Rodríguez, F., Álvarez-González, J.G., Gadow, K., 2005. Stem taper functions for maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) in Galicia (Northwestern Spain). European Journal of Forest Research 124, 177-186.
- Saatçioğlu, F., 1976. Silvikültür I. Silvikültürün biyolojik esasları ve prensipleri. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No 222, İstanbul.
- Saint-André, L., Laclau, J.P., Bouillet, J.P., Deleporte, P., Miabala, A., Ognouabi, N., Baillères, H., Nouvellon, Y. & Moukini, R., 2002. Integrative modelling approach to assess the sustainability of the Eucalyptus plantations in Congo. In G. Nepveu, ed., Connection between Forest Resources and Wood Quality: Modelling Approaches and Simulation Software. Proceedings of the Fourth workshop International Union of Forest Research Organizations S5.01.04, Harrison Hot Springs, British Columbia, Canada, September 8-15, 2002. IUFRO, 611-621.
- Sakıcı, O., 2002. Kastamonu Yöresi Uludağ Gökmarı Meşcerelerinde Gövde Profili, Hacim, Hacim Oran Sistemlerinin Geliştirilmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Sakıcı, O.E., Mısır, N., Yavuz, H., Mısır, M., 2008. Stem taper functions for *Abies nordmanniana* subsp. *bornmulleriana* in Turkey. Scandinavian Journal of Forest Research, 23,522-533.
- Saraçoğlu, Ö., 1988. Karadeniz Yöresi Gökmar Meşcerelerinde Artım ve Büyüme. TC Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü Yayını, İstanbul.
- Sarıbaş, M., 2005. Türkiye'nin Odunsu Endemik Bitkileri, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Bartın Orman Fakültesi Yayınları, 101s. Bartın.
- Sarıbaş, M., 2011. Dendroloji I (Gymnospermae) II. Cilt, Dönmez Ofset, 321s. Ankara.
- Schroeder, T.A., Healey, S.P., Moisen, G.G., Frescino, T.S., Cohen, W.B., Huang, C., Kennedy, R.E., Yang, Z., 2014. Improving estimates of forest disturbance by combining observations from landsat time series with U.S. Forest Service Forest Inventory and Analysis data. Remote Sensing of Environment, 154(1), 61-73.

- Schumacher, F.X., Hall, F.S., 1933. Logarithmic expression of timber-tree volume
Journal of Agricultural Research, 47(9), 719-734.
- Sevim, M., 1962. Türkiye Orman Yetiştirme Muhitlerinin Tabii Esaslarına Genel Bir Bakış. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 12(2), 22-30.
- Sharma, M., Burkhart, H.E., 2003. Selecting a level of conditioning for the segmented polynomial taper equation. Forest Science, 49, 324-330.
- Sharma, M., Oderwald, R.G., 2001. Dimensionally compatible volume and taper equations. Canadian Journal of Forest Research, 31, 797-803.
- Sharma, M., Parton, J., 2009. Modeling Stand Density Effects on Taper for Jack pine Black spruce plantations Using Dimensional Analysis, Forest Science, 55 (3), 268-282.
- Sharma, M., Zhang, S.Y., 2004. Variable-exponent taper equations for jack pine, black pine, and balsam fir in eastern Canada. Forest Ecology and Management, 198, 39-53.
- Solomon, D., Droessler, S., Lemin, T.D., R, C. Jr., 1989. Segmented Quadratic Taper Equations for Spruce and Fir in The Northeast. Northern Journal of Applied Forestry, 6, 123-126.
- Şenyurt, M., Ercanlı, İ., Saraçoğlu, Ö., 2014. Batı Karadeniz Yöresi Sarıçam meşcereleri için uyumlu Gövde çapı ve Gövde hacim denklemlerinin karışık etkili modelleme ile Geliştirilmesi. II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, Antalya, Bildiriler Kitabı, s.601-607.
- Şevik, H., 2012. "Variation in seedling morphology of Turkish fir (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmulleriana* Mattf)", African Journal of Biotechnology, 11(23), 6389-6395.
- Tasissa, G., Burkhart, H.E., 1997. Modeling thinning effects on ring width distribution in loblolly pine (*Pinus taeda*). Canadian Journal of Forest Research, 27(8), 1291-1301.
- Tasissa, G., Burkhart, H.E., 1998. An application of mixed effects analysis to modeling thinning effects on stem profile of loblolly pine. Forest Ecology and Management, 103, 87-101.
- Thomas, C.E., Parresol, B.R., 1991. Simple, flexible, trigonometric taper equations. Canadian Journal of Forest Research, 21, 1132-1137.
- Trincado, G., Burkhart, H.E., 2006. A generalized approach for modeling and localizing stem profile curve, Forest Science, 52, 670-682.

- Trincado, G., Gadow, K.V., Tewari, V.P., 1996. Comparison of three stem profile equations for *Quercus robur* L. Suid-Afrikaanse Bosboutydskrif, 177, 23-29.
- Vonesh, E.F., Chinchilli, V.M., 1997. Linear and Nonlinear Models for the Analysis of Repeated Measurements, Marcel Dekker, New York.
- Westfall, J.A., Scott, C.T., 2010. Taper models for commercial tree species in the northeastern United States. Forest Science. 56(6), 515-528.
- Williams, M.S., Reich, R.M., 1997. Exploring the Error Structure of Taper Equations. Forest Science, 43, 378-386.
- Yaltırık, F., Akkemik, Ü., 2011. Türkiye'nin Doğal Gymnospermleri (Açık Tohumlular), Çevre ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü yayını, Dumat Ofset, 213s. Ankara.
- Yaltırık, F., 1993. Dendroloji I Ders Kitabı Gymnospermae (Açık Tohumlular). 2. Baskı, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayını, No. 3443-386, İstanbul.
- Yang, Y., Huang, S., Trincado, G., Meng, S.X., 2009A. Nonlinear Mixed Effects Modelling of Variable Exponent Taper Equations for Lodgepole pine in Alberta, Canada, European Journal of Forest Research, 128, 415-429.
- Yang, Y., Huang, S., Meng, S.X., 2009B. Development of a Tree-Specific Stem Profile Model for White spruce: A Nonlinear Mixed Model Approach with a Generalized Covariance Structure. Forestry, 82(5), 541-555.
- Yavuz, H., 1995. Taşköprü Orman İşletmesinde Sarıçam ve Karaçam İçin Uyumlu Gövde Çapı, Gövde Hacmi ve Hacim Oran Denklem Sistemlerinin Geliştirilmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Mühendisliği Bölümü, Orman Amenajmanı Anabilim Dalı, Basılmamış Doçentlik Tezi, 101s. Trabzon.
- Yavuz, H., Mısır, N., Mısır, M., Tüfekçioğlu, A., Karahalil, U., Küçük, M., 2010. Karadeniz Bölgesi Saf ve Karışık Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Meşcereleri İçin Mekanistik Büyüme Modellerinin Geliştirilmesi, Biyokütle ve Karbon Depolama Miktarlarının Belirlenmesi. Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Tarım ve Ormanlık Grubu, Proje No: 1060274, 318s. Trabzon.
- Yavuz, H., Saraçoğlu, N., 1999. Compatible and non-compatible stem taper equations for Alder. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 23, 1275-1282.
- Zakrzewski, W.T., 1999. A mathematically tractable stem profile model for jack pine in Ontario. Northern Journal of Applied Forestry 16, 138-143

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ümit YAŞAR
Doğum Yeri ve Yılı : Alaçam, 1985
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : umityasar@ogm.gov.tr



Eğitim Durumu

Lise : Samsun 19 Mayıs Anadolu Lisesi - 2003
Lisans : Ankara Üniversitesi Çankırı Orman Fakültesi - 2010

Mesleki Deneyim

Orman Genel Müdürlüğü, Kastamonu OBM 2011-