

**T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TAŞKÖPRÜ ORMAN İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ
KARAÇAM MEŞCERELERİ İÇİN DİNAMİK BONİTET
ENDEKS MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

Mehmet SEKİ

**Danışman
Jüri Üyesi
Jüri Üyesi**

**Yrd. Doç. Dr. Oytun Emre SAKICI
Yrd. Doç. Dr. Turhan KÖPRÜBAŞI
Yrd. Doç. Dr. İlker ERCANLI**

**YÜKSEK LİSANS
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

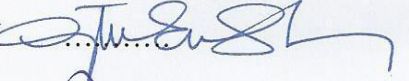
KASTAMONU 2015

TEZ ONAYI

Mehmet SEKİ tarafından hazırlanan "**Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü Karaçam Meşcereleri İçin Dinamik Bonitet Endeks Modellerinin Geliştirilmesi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde savunulmuş ve oy birliği ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Orman Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Oytun Emre SAKICI
Kastamonu Üniversitesi



Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Turhan KÖPRÜBAŞI
Kastamonu Üniversitesi



Jüri Üyesi

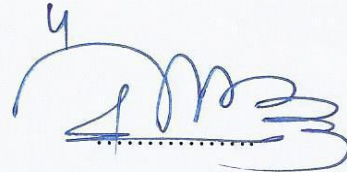
Yrd. Doç. Dr. İlker ERCANLI
Çankırı Karatekin Üniversitesi



22/06/2015

Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Ömer KÜÇÜK



TAAHHÜTNAME

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildirir ve taahhüt ederim.



Mehmet SEKİ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TAŞKÖPRÜ ORMAN İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ KARAÇAM MEŞCERELERİ İÇİN DİNAMİK BONİTET ENDEKS MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Mehmet SEKİ
Kastamonu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Oytun Emre SAKICI

Bu çalışmada, Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde yayılış gösteren Karaçam (*Pinus nigra* J.F.Arnold) meşcereleri için dinamik bonitet endeks modelleri geliştirilmiştir. Çalışma alanından alınan 132 adet örnek ağaçta yapılan gövde analizi verileri kullanılarak Hossfeld, Lundqvist-Korf, Bertalanffy-Richards, Weibull, King ve Pradon, Chapman-Richards, Schumacher ve Log-Logistic temel büyüme fonksiyonlarının Genelleştirilmiş Cebirsel Fark Yaklaşımı (GCFY) ile elde edilmiş dinamik bonitet endeks modellerinin parametreleri, gerek Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi gerekse Otoregresif Modelleme yaklaşımları ile tahmin edilmiş ve tahmin başarıları çeşitli istatistiksel ölçütler ile karşılaştırılmıştır.

En başarılı model olarak belirlenen Bertalanffy-Richards modeli (Model 5) için doğrusal olmayan regresyon analizi ile elde edilen belirtme katsayısı ($R_{düz}^2$) değeri 0,9734 ve Durbin-Watson test istatistiği değeri 0,3491 olarak hesaplanırken, otoregresif modelleme ile belirtme katsayısı ($R_{düz}^2$) değeri 0,9916'ya ve Durbin-Watson test istatistiği de 2,0420'e yükselmiştir. Böylece, zaman serisi özelliği gösteren gövde analizi verilerinde bulunan otokorelasyonun tahminlerdeki etkisi giderilirken, modelin belirtme katsayısı ($R_{düz}^2$) değerinde artış ve hata değerlerinde ise önemli bir düşüş elde edilmiştir. Geliştirilen GCFY modeli ile polimorfizm, çoklu asimptot, standart yaşa bağlı değişmezlik gibi birçok büyüme kanuniyetlerine uygun sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bonitet endeks modelleri, genelleştirilmiş cebirsel fark yaklaşımı, GCFY, otoregresif modelleme, karaçam

2015, 64 sayfa

Bilim Kodu: 1205

ABSTRACT

MSc. Thesis

DEVELOPING DYNAMIC SITE INDEX MODELS FOR BLACK PINE STANDS IN TAŞKÖPRÜ FOREST ENTERPRISE

Mehmet SEKİ
Kastamonu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Forest Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Oytun Emre SAKICI

In this study, dynamic site index models based on Generalized Algebraic Difference Approach (GADA) were developed for Black pine (*Pinus nigra* J.F.Arnold) stands in Taşköprü Forest Enterprise. The parameter of the model structures of Hossfeld, Lundqvist-Korf, Bertalanffy-Richards, Weibull, King ve Pradon, Chapman-Richards, Schumacher and Log-Logistic, based on GADA were fitted, by using stem analysis data of 132 sample trees obtained from study area. For developing the models, nonlinear regression and autoregressive analysis were performed. The most appropriate equation was determined by various statistical criteria.

The best predictive model, Bertalanffy-Richards model (Model 5), produced the adjusted R^2 value of 0,9734 with Durbin-Watson statistic of 0,3491 for nonlinear regression analysis and the adjusted R^2 value of 0,9916 with Durbin-Watson statistic of 2,0420 for autoregressive modeling. Therefore, by this study autocorrelation problem born of stem analysis data having the characteristic of time series was solved. Besides, the dynamic site index model developed has performed appropriate results in term of various growth laws such as polymorphism, multiple asymptote and base-age invariable.

Keywords: Site index models, generalized algebraic difference approach, GADA, autoregressive modeling approach, black pine

2015, 64 pages

Science Code: 1205

TEŞEKKÜR

“Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü Karaçam Meşcereleri İçin Dinamik Bonitet Endeks Modellerinin Geliştirilmesi” isimli bu çalışma Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı Lisansüstü Programı kapsamında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Öncelikle, konu seçiminden çalışmanın son aşamasına kadar, ilgili ve yol gösterici tutumuyla çalışmalarımı destekleyen ve yardımlarımı esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Oytun Emre SAKICI'ya şükranlarımı sunarım.

Çalışma konuyla ilgili hem bilgilerini paylaşarak hem de analizler aşamasında çalışmaya katkıda bulunan hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. İlker ERCANLI'ya ve tezin değerlendirilmesi aşamasında önemli katkılar sağlayan Sayın Yrd. Doç. Dr. Turhan KÖPRÜBAŞI'na teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışması süresince manevi destekleri ile sürekli yanımda olan ailem ve değerli arkadaşım Arş. Gör. Nagihan KÖSE'ye ve arazi çalışmalarını beraber yürüttüğümüz değerli arkadaşlarım Arş. Gör. Fadime SAĞLAM ile Orman Müh. Çağla KIRKÇEŞMELİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, çalışmanın arazi çalışmaları aşamasında her türlü imkânı sağlayarak yardımlarını esirgemeyen Taşköprü Orman İşletme Müdürü Sayın Muzaffer BÜYÜKTERZİ ve İşletme Müdürlüğü bünyesindeki tüm teknik personele sonsuz teşekkür ederim.

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

Mehmet SEKİ
Kastamonu, Haziran 2015

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
TABLolar DİZİNİ	ix
GRAFİKLER DİZİNİ	v
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel Bilgiler	1
1.2. Karaçam Türü Hakkında Genel Bilgiler	4
1.2.1. Karaçam'ın Botanik Özellikleri.....	4
1.2.2. Karaçam'ın Doğal Yayılışı	5
1.2.2. Karaçam'ın Ekolojik Özellikleri.....	5
1.2.3. Karaçam'ın Verim Gücü ve Hasılatı	6
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	7
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	12
3.1. Materyal.....	12
3.2. Yöntem	22
4. BULGULAR.....	31
5. TARTIŞMA	50
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	54
KAYNAKLAR	56
EKLER.....	63
ÖZGEÇMİŞ	64

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Karaçam'ın Türkiye'deki yayılışı	5
Şekil 3.1. Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü ve bünyesindeki şefliklerin coğrafik konumu	13
Şekil 3.2. Örnek ağaçların coğrafik konumları	14

TABLULAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Örnek ağaçlara ilişkin bilgiler.....	17
Tablo 3.2. Örnek ağaçlara ilişkin çeşitli istatistiksel bilgiler	21
Tablo 3.3. Yetiştirme ortamı verim gücünün belirlenmesinde kullanılan GCFY modelleri ve türetildikleri temel büyüme modelleri.....	29
Tablo 4.1. Doğrusal olmayan regresyon analizi sonucu elde edilmiş dinamik bonitet endeks denklemlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar	32
Tablo 4.2. Bonitet endeks değerleri ve sınırları	33
Tablo 4.3. Otoregresif modelleme sonucu elde edilmiş 5 no'lu modele ilişkin istatistiksel sonuçlar.....	46
Tablo 5.1. 5 no'lu model ile Kalıpsız (1963) bonitet endeks değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin Wilcoxon testi sonuçları	51

GRAFİKLER DİZİNİ

	Sayfa
Grafik 3.1. Örnek ağaçların yükselti basamaklarına dağılımları	15
Grafik 3.2. Örnek ağaçların bakı gruplarına dağılımları.....	15
Grafik 3.3. Örnek ağaçların eğim gruplarına dağılımları.....	15
Grafik 3.4. Örnek ağaçların boy basamaklarına dağılımları	21
Grafik 3.5. Örnek ağaçların yaş basamaklarına dağılımları.....	21
Grafik 3.6. Örnek ağaçlara ilişkin yaş-boy grafiği.....	22
Grafik 4.1. Doğrusal olmayan regresyon analizi ile geliştirilen 2 no'lu modele ilişkin 150 yıllık gelişimi gösterir grafik	34
Grafik 4.2. Doğrusal olmayan regresyon analizi ile geliştirilen 2 no'lu modele ilişkin 250 yıllık gelişimi gösterir grafik	34
Grafik 4.3. Doğrusal olmayan regresyon analizi ile geliştirilen 2 no'lu model için genel ortalama boy artımının bonitet endeks değerlerine göre değişimi	35
Grafik 4.4. Doğrusal olmayan regresyon analizi ile geliştirilen 3 no'lu modele ilişkin 150 yıllık gelişimi gösterir grafik	36
Grafik 4.5. Doğrusal olmayan regresyon analizi ile geliştirilen 3 no'lu modele ilişkin 250 yıllık gelişimi gösterir grafik	36
Grafik 4.6. Doğrusal olmayan regresyon analizi ile geliştirilen 3 no'lu model için genel ortalama boy artımının bonitet endeks değerlerine göre değişimi	37
Grafik 4.7. Doğrusal olmayan regresyon analizi ile geliştirilen 4 no'lu modele ilişkin 150 yıllık gelişimi gösterir grafik	38
Grafik 4.8. Doğrusal olmayan regresyon analizi ile geliştirilen 4 no'lu modele ilişkin 250 yıllık gelişimi gösterir grafik	38
Grafik 4.9. Doğrusal olmayan regresyon analizi ile geliştirilen 4 no'lu model için genel ortalama boy artımının bonitet endeks değerlerine göre değişimi	39
Grafik 4.10. Doğrusal olmayan regresyon analizi ile geliştirilen 5 no'lu modele ilişkin 150 yıllık gelişimi gösterir grafik	40
Grafik 4.11. Doğrusal olmayan regresyon analizi ile geliştirilen 5 no'lu modele ilişkin 250 yıllık gelişimi gösterir grafik	40
Grafik 4.12. Doğrusal olmayan regresyon analizi ile geliştirilen 5 no'lu model için genel ortalama boy artımının bonitet endeks değerlerine göre değişimi	41
Grafik 4.13. Doğrusal olmayan regresyon analizi ile geliştirilen 6 no'lu modele ilişkin 150 yıllık gelişimi gösterir grafik	42
Grafik 4.14. Doğrusal olmayan regresyon analizi ile geliştirilen 6 no'lu modele ilişkin 250 yıllık gelişimi gösterir grafik	42
Grafik 4.15. Doğrusal olmayan regresyon analizi ile geliştirilen 6 no'lu model için genel ortalama boy artımının bonitet endeks değerlerine göre değişimi	43
Grafik 4.16. Doğrusal olmayan regresyon analizi sonucu 5 no'lu modele ilişkin tahmin edilen boy-hata grafiği	45

Grafik 4.17. Doğrusal olmayan regresyon analizi sonucu 5 no'lu modele ilişkin ölçülen ve tahmin edilen boy değerleri ilişkisi.....	45
Grafik 4.18. Otoregresif modelleme ile geliştirilen 5 no'lu modele ilişkin 150 yıllık gelişimi gösterir grafik.....	46
Grafik 4.19. Otoregresif modelleme ile geliştirilen 5 no'lu modele ilişkin 250 yıllık gelişimi gösterir grafik.....	47
Grafik 4.20. Otoregresif modelleme ile geliştirilen 5 no'lu model için genel ortalama boy artımının bonitet endeks değerlerine göre değişimi ..	47
Grafik 4.21. Otoregresif modelleme sonucu 5 no'lu modele ilişkin tahmin edilen boy-hata grafiği	49
Grafik 4.22. Otoregresif modelleme sonucu sonucu 5 no'lu modele ilişkin ölçülen ve tahmin edilen boy değerleri ilişkisi.....	49
Grafik 5.1. 5 no'lu model ile Kalıpsız (1963) bonitet endeks değerlerinin karşılaştırılması	51

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

	Sayfa
Fotoğraf 3.1. Örnek ağaçların kesilmesi ve enine kesitlerin alınması	17
Fotoğraf 3.1. Laboratuvar çalışmaları	20

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

ADA	Algebraic difference approach
AIC	Akaike's information criterion
B	Batı
BE	Bonitet endeksi
CFY	Cebirsel fark yaklaşımı
cm	Santimetre
D	Doğu
DW	Durbin Watson test istatistiği
G	Güney
GADA	Generalized algebraic difference approach
GB	Güney batı
GCFY	Genelleştirilmiş cebirsel fark yaklaşımı
GD	Güney doğu
h	Boy
h_0	Üst boy
HKO	Hata kareler ortalaması
HKOK	Hata kareler ortalamasının karekökü
HKT	Hata kareler toplamı
K	Kuzey
KB	Kuzey batı
KD	Kuzey doğu
m	Metre
n	Veri sayısı
R^2	Belirtme katsayısı
$R_{düz}^2$	Düzeltilmiş belirtme katsayısı
t	Yaş
t_0	Standart yaş
vb	Ve benzeri
vd.	Ve diğerleri
\bar{X}	Aritmetik ortalama
%	Yüzde

1. GİRİŞ

1.1. Genel Bilgiler

İnsanoğlu varoluşundan bu yana ormanlardan yararlanmasını sürdürmektedir. Ancak, hızla artan nüfus ve gelişen teknoloji sonucunda insanların ormanlara olan talepleri gittikçe artmıştır. Bunun paralelinde, ormanlardan aşırı derecede, bilinçsiz faydalanmalar olmuş ve doğal denge bozulmaya başlamıştır. İnsanlar zamanla birçok doğal kaynağın (içme suyu, temiz hava vb.) nicelik olarak azaldığını, kalite olarak da kötüleştiğini görmüşler ve doğal dengenin bozulmasının ve ormanlardan bilinçsizce faydalanmanın doğurduğu sonuçların farkına varmışlardır. Bu farkındalık ile doğal kaynaklardan en iyi şekilde faydalanmak ve bu faydalanmanın sürekliliğini sağlamak için araştırmalar yapmaya başlamışlardır (Çepel, 1984). Bu araştırmalar öncelikle ormanların planlanabilmesi için gerekli bilgi birikimine sahip olmayı amaçlamaktadırlar. Çünkü başarıyı sağlayabilmek için yapılacak olan iş ve işlemlerin düzenli ve planlı olması gerekmektedir. Ormanlar da doğal kaynaklardan en önemlilerinden birisidir. Diğer alanlarla kıyaslanacak olunursa, ormancılık sektörü ciddi derecede geniş alanlarda faaliyet gösteren ve üretim süresi de uzun yıllara dayanan bir işletme mekanizmasıdır. Bu özelliklerinden dolayı, ormanların planlı olarak işletilmesi oldukça hayati önem taşımaktadır (Eraslan ve Şad, 1993).

Orman ekosistemi içerisindeki canlı elemanların zamana bağlı olarak artması ve değişmesi ormandaki üretimi göstermektedir. Ormanın üretim gücü ve çeşidi, orman toprağının verim gücü ile bağlantılı olarak çok geniş bir aralık içerisinde artıp azalmaktadır. Ormanın gelişimi ve üretim potansiyelleri ile ilgili bilgi sahibi olabilmek için, ormanın yapısını ve bu yapıya etki eden etmenleri iyi bir şekilde tanımak ve bunları ayrıntılı olarak incelemek gerekir (Kalıpsız, 1998). Ormanların verimliliklerinin tahmin edilmesi, hem etkin bir orman yönetimi hem de ekolojik çalışmalarda yetişme ortamı koşullarının değerlendirilebilmesi için oldukça önemlidir. Yetiştirme ortamı verimliliği; ışık, sıcaklık, nem, bitki besin maddeleri ve birçok toprak özelliklerinden etkilenmektedir (Wang ve Klinka, 1996).

Bir alanın yetiŒme ortamı verim gücünün tahmin edilebilmesi için verim gücü değeri ile meŒcere parametreleri arasındaki iliŒkiden yararlanmak gerekir. MeŒcere içerisindeki ağaçlar birbirleri ile sürekli rekabet içerisindeyler. MeŒcere parametreleri içerisinde komŒuluk iliŒkilerinden en az etkileneni boy değeridir. Çünkü ağaçlar komŒularıyla rekabet sırasında yenik düŒmemek ve ışığa ulaşabilmek için, enerjilerini boy gelişimine vermektedirler. MeŒcere boyu olarak meŒceredeki ağaçların boyunu temsil eden meŒcere orta boyu veya meŒceredeki galip ağaçların boylarını temsil eden meŒcere üst boyu değerleri kullanılmaktadır. MeŒceredeki galip ve müŒterek galip ağaçlar, silvikültürel müdahalelerden, meŒcere sıklık derecesinden ve komŒuluk iliŒkilerinden daha az etkilendikleri için, meŒcere orta boyu yerine meŒcere üst boyu tercih edilmektedir. Belirli bir yaŒtaki (standart yaŒ) meŒcere üst boyu, o meŒcerenin “*Bonitet Endeksi (BE)*” olarak tanımlanmaktadır. Bonitet endeks değeri ve eŒit boy aralıkları ile o meŒcerenin bonitet sınıfları belirlenmektedir. OluŒturulan bonitet sınıfları, ilgili ağaç türünün o yöredeki yetiŒme ortamı verim gücünü yansıtan bir göstergedir (Kalıpsız,1998).

Ülkemizde amenajman planları hazırlanırken; planlama birimi içerisindeki meŒcerelerin yetiŒme ortamı verim gücü değerlerinin belirlenmesi, ilgili planlama birimlerinin bonitet haritalarının hazırlanması, planlama birimlerinin ortalama bonitetlerinin belirlenmesi ve optimal kuruluŒlarının hesaplanması, fonksiyonların belirlenmesi, meŒcerelere yapılacak müdahalelerin kararlaŒtırılması, karar etalarının belirlenmesi gibi birçok aŒamada bonitet değerleri kullanılmaktadır. Planlamanın hesap ve karar aŒamalarında bu kadar etkin rol oynayan bu değerlerin doğru ve hassas bir Œekilde hesaplanması oldukça önemlidir.

YetiŒme ortamı verim gücünün yüksek olduğu ortamlarda, meŒcere boy gelişimi de iyi olmaktadır. Bundan dolayı, yetiŒme ortamı verim gücü tahminleri genellikle meŒcere boyuna dayanarak yapılmaktadır. MeŒcere orta boyunun meŒcereye yapılan silvikültürel müdahalelerden etkilenmesinden dolayı, verim gücü çalıŒmalarından meŒcere üst boyu kullanılmaktadır (Clutter ve Belcher, 1983). Standart yaŒtaki üst boy değeri olarak tanımlanan ve yetiŒme ortamı verim gücünün göstergesi olarak kullanılan “bonitet endeksi”, ormanın verimliliğini değerlendirebilmek için en yaygın kullanılan deęiŒkendir (Clutter ve Belcher, 1983; Carmean ve Lenthall, 1989;

Payandeh ve Wang, 1994). Bunun yanında, meşcere büyüme modellerinde ormanın verimlilik derecesinin tahmin edilebilmesi için de BE oldukça yaygın kullanılmaktadır (Gadow ve Hui, 1999).

Ülkemizde ve yurtdışında yapılan yetiştirme ortamı verim gücü belirleme çalışmalarında ilk başta elde edilen verilere uygun bir büyüme modeli seçilmekte ve modelin geliştirilmesi için bir standart yaş değeri belirlenmektedir. Klasik yöntem ile oluşturulan bonitet endeks modeli ile başta belirlenen standart yaşa bağlı tahminler yapılabilmektedir. Ülkemiz ormancılığında uzun idare süreli ağaçlar için 100 yıl, kısa idare süreli ağaçlar için 50 yıl olarak alınan standart yaş değeri, bazı ülkelerde 20, 40, 80 yıl gibi farklı değerler alabilmektedir. Ayrıca, piyasanın ürün talebine göre ülkemiz ormanlarında idare süreleri ve dolayısıyla standart yaş değerleri değişebilmektedir. Standart yaş değeri bu kadar değişkenlik gösterebilirken, başta seçilen tek bir standart yaşa göre geliştirilen bonitet endeks denklemlerinin yerine, standart yaşa bağlı değişmezlik (base-age invariable) özelliğine sahip dinamik bonitet endeks modelleri ise daha esnek ve dinamik verim gücü tahminlerine imkan tanımaktadır. İlk olarak Bailey ve Clutter (1974) tarafından literatüre kazandırılan Cebirsel Fark Yaklaşımı (CFY) “*Algebraic Difference Approach (ADA)*” ve Cieszewski ve Bailey (2000) tarafından geliştirilen Genelleştirilmiş Cebirsel Fark Yaklaşımı (GCFY) “*Generalized Algebraic Difference Approach (GADA)*” standart yaşa bağlı değişmezlik özelliklerine sahip olup, verim gücüne ilişkin büyüme yasaları ile uyumlu tahminlerin elde edilmesine imkan tanımaktadırlar.

CFY ile geliştirilen modeller büyüme kanuniyetleri açısından incelendiğinde, tek asimptotlu ve polimorfik veya çok asimptotlu ve anamorfik özellik gösteren bir trende sahiptirler. Ancak, büyüme kanuniyetleri açısından üretilen modelin hem çok asimptotlu hem de polimorfik bir özellik gösteren modeller, GCFY ile elde edilir. GCFY polimorfizm, çoklu asimptot, eğrilerin orjinden geçmesi ve geniş S şeklinde trend izlemesi gibi büyüme kanuniyetlerine uygun özelliklere sahip ve oldukça esnek bir yapıya sahip denklemlerin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır (Cieszewski ve Bailey, 2000; Cieszewski, 2002).

Ülkemiz Batı Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü içerisinde önemli bir yayılış alanına sahip Karaçam meşcereleri için başta amenajman planları yapım aşamasında kullanılabilecek, ayrıca silvikültürel müdahalelere karar verirken başvurulabilecek esnek ve dinamik verim gücü tahminlerinde bonitet endeks modellerine ihtiyaç vardır. Ayrıca, ülkemizde daha önce Karaçam meşcereleri için dinamik bonitet endeks modellerinin geliştirilmemiş olması ve dinamik bonitet endeks modelleri konusunda ülkemizde yapılan çalışmaların sayısının da oldukça az olması nedeniyle bu çalışma büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada; ülkemiz ormanlarında önemli bir yayılış alanına sahip asli ağaç türlerimizden Karaçam türünün Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü'nde yer alan eşit yaşlı saf meşcereleri için GADA ile üretilen dinamik bonitet endeks modellerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilecek modellerde kullanılacak olan ve zaman serisi özelliğine sahip gövde analizi verilerinde bulunan otokorelasyon probleminin tahminlerdeki olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi için otoregresif modelleme ile parametre tahmini yapılması da bu çalışmanın amaçları arasındadır.

1.2. Karaçam Türü Hakkında Genel Bilgiler

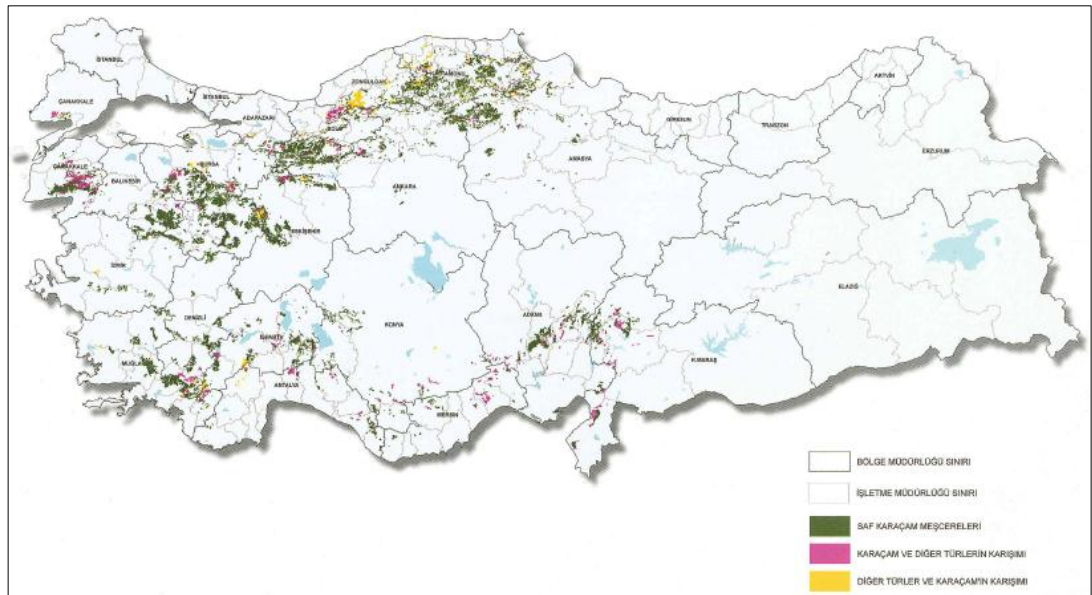
1.2.1. Karaçam'ın Botanik Özellikleri

Karaçam (*Pinus nigra* J.F.Arnold) uygun yetişme ortamı şartlarında ortalama 40 m'ye kadar boylanabilen herdem yeşil orman ağaçlarındandır. Ağaç genç iken düzgün ve sivri tepeli olup, yaşlandıkça tepe formu değişmektedir. Kabuk, koyu gri-siyah renklerde ve derin çatlaklıdır. Sürgünleri genç iken çıplaktır. Ayrıca koyu renkli ve kalındır. Tomurcukları reçineli, silindirik ve uçları sivridir. 4-18 x 0,2 cm boyutundaki yapraklar koyu yeşil, sert ve genellikle kıvrıktır. Yapraklar kısa sürgünler üzerinde ikili olarak bulunmaktadır. Sürgün uçlarında bulunanlar tomurcuğa doğru yönelmiş olduklarından, çanak gibi bir boşluk meydana getirmektedir. İğne yaprakların kenarı ince dişli, yaprak ucu ise iğne gibi batıcıdır. Dişi kozalaklar parlak açık sarı, esmer renkte, yumurtamsı-konik şekildedir. Kozalaklar simetrik şekilli ve sapları oldukça kısadır. Kalkan çıkık ve göbek koyu

renktedir. Kozalağın uç kısmında yer alan pulların göbeğinde genellikle diken bulunur. Kozalak boyu 3,5-10 cm arasında değişmektedir. Erkek çiçekler ise soluk sarı renkte ve silindirikdir (Coode ve Cullen, 1965; Yaltırık, 1988; Farjon, 2010; Akkemik, 2014).

1.2.2. Karaçam'ın Doğal Yayılışı

Karaçam'ın doğal yetişme alanı Balkanlar, Güney Karpatlar (Romanya), Kırım, Türkiye, Kıbrıs, Batı Kafkaslar ve Suriye'dir. Karaçam türü (*Pinus nigra*), dünya genelinde 5 alttüre sahiptir. Ülkemizde ise bu alttürlerden *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) / Holmboe taksonu İç Anadolu'yu üç taraftan çevreler şekilde kuzey, güney ve batıdaki dağlık alanlarda 300-1800 m yüksekliklerde yayılış göstermektedir (Coode ve Cullen, 1965; Gausson, Heywood ve Chater, 1964). Karaçam ağaç türünün Türkiye'de yapmış olduğu yayılış Şekil 1.1.'de verilmiştir.



Şekil 1.1. Karaçam'ın Türkiye'deki yayılışı

1.2.3. Karaçam'ın Ekolojik Özellikleri

Gerek yaz kuraklığına ve sıcaklarına, gerekse kış soğuklarına karşı dayanıklı ve ışığı seven bir türdür. Toprak istekleri bakımından kanaatkâr olup ana taşı kalker olan

topraklarda daha iyi gelişmektedir. Karaçamların odunları sert, dayanıklı, reçineli ve iyi kalitelidir ve sarıçam odununun kalitesine yaklaşıır. Ancak odunun olgunlaşması sarıçamdan daha uzun sürelidir. Ayrıca rüzgâra karşı dayanıklı olduğu için rüzgâr perdesi olarak kullanılabilir (Saatçioğlu, 1979).

1.2.4. Karaçam'ın Verim Gücü ve Hasılatı

Karaçam meşcerelerinde ilk verim gücü ve hasılat araştırmaları Kalıpsız (1963) tarafından yapılmıştır. Türkiye'deki doğal olarak yetişmiş karaçam meşcerelerinden alınan örnek alan verilerine bağlı olarak normal hasılat tablosu ve bonitet endeks tablosu düzenlemiştir. Düzenlenen bonitet endeks tablosu, standart yaş değeri 100 yıl alınarak 10-220 yaş aralığında onar yıllık yaş kademeleri ve 8-34 metre aralığında ikişer metrelik bonitet endeks değerleri alınarak meşcere üst boyları hesaplanmıştır.

Karaçam ağaçlandırmaları (Mısır, 2003), Isparta yöresi Anadolu Karaçamı meşcereleri (Carus, 2006), Isparta yöresi saf Anadolu Karaçamı meşcereleri (Tekin, 2008), Burdur-Çamoluk yöresindeki saf Anadolu Karaçamı meşcereleri (Karataş, 2013) için sıklığa bağlı hasılat tabloları oluşturulmuştur. Ayrıca, Çatal (2002) Isparta yöresinde Kızılcamin Anadolu Karaçamı ile geçiş zonunda oluşturdukları karışık meşcerelerde büyüme özelliklerini incelemiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Ormancılık uygulamalarında, ormanların büyüme ve gelişiminin tahmin edilmesi için yapılması gerekli çok sayıda hasılat araştırmasına ihtiyaç vardır. Bu araştırmalar sonucunda geliştirilen modeller ile mevcut orman varlığının günümüzdeki ve gelecekteki durumları tahmin edilebilecektir. Ormancılıkta planlamanın altyapısını oluşturan bu tür çalışmalar büyük önem taşımaktadırlar. Özellikle amenajman planlarının yapımı aşamasında mevcut meşcerelerin yetiştirme ortamı verim güçlerinin belirlenmesi, meşcere hacim ve hacim elemanları ile bunlara ilişkin artım ve büyüme değerlerinin ortaya konulabilmesi için büyüme modellerine ihtiyaç vardır. Günümüze kadar yapılan verim gücü çalışmaları aşağıda özetlenmeye çalışılmıştır.

Ülkemizde Kızılçam (Alemdağ, 1962; Erkan, 1995), Toros Sediri (Evcimen, 1963), Anadolu Karaçamı (Kalıpsız, 1963), Sarıçam (Alemdağ, 1967), Doğu Ladini (Akalp, 1976), Boylu Ardıç (Eler, 1986), Kazdağı Göknarı (Asan, 1984), Kızılağaç (Batu ve Kapucu, 1995), Doğu Kayını (Carus, 1998), Dişbudak (Kapucu, Yavuz ve Gül, 1999) ve Titrekkavak (Bilgili, 2007) ağaç türleri için yapılan çalışmalarda anamorfik yöntem kullanılarak bonitleme yapılmıştır. Birler ve Yüksel (1983) İstanbul Alemdağ Ormanı Sahil Çamı meşcerelerinde, Durkaya (2004) Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü içerisindeki Uludağ Göknarı-Sarıçam ve Doğu Kayını karışık meşcerelerinde yaptıkları çalışmalar kapsamında bonitet endeks tablosu oluşturmuşlardır. Değişik yaşlı meşcereler için; Eraslan, Yüksel ve Giray (1984) Göknar meşcerelerinin artım ve büyüme ilişkilerini incelemiş, Saraçoğlu (1986) Karadeniz yöresi Göknar meşcerelerinde artım ve büyüme ilişkilerini inceleyerek bonitet endeks tablosu oluşturmuş, Yıldızbakan ve Saraçoğlu (2004) Akdeniz yöresi Toros Göknarı meşcereleri için Flury yöntemi ile bonitet endeks denklemi geliştirmişlerdir.

Ülkemiz ormanlarında yapılan çalışmalarda bonitleme yöntemi olarak kullanım kolaylığı açısından çoğunlukla anamorfik yöntem tercih edilmiştir. Bunun yanında anamorfik yöntemde tüm bonitet endeks eğrilerinin aynı klavuz eğriden üretilmesinden kaynaklanan sıkıntılardan dolayı ülkemizde bazı ağaç türleri ile

yapılan çalışmalarda gövde analizine dayanan polimorfik yöntemle bonitleme yapılmıştır. Polimorfik yöntem ilk olarak Spurr (1952) tarafından ortaya atılmıştır (Çatal, 2009). Ve bu yöntemi ülkemizde de ilk defa Akalp (1978) kullanarak Doğu Ladini meşcereleri için bonitet endeks tablosu oluşturmuş ve anamorfik yöntemle karşılaştırarak polimorfik yöntemin daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir.

Ayrıca, Birler (1983) Melez Kavak plantasyonlarında, Asan (1984) Kazdağı Göknarı meşcerelerinde, Usta (1991) Kızılçam ağaçlandırmalarında, Birler vd. (1995) Okaliptus ağaçlandırmalarında, Özcan (2002) Sahil Çamı ağaçlandırmalarında, Bayburtlu (2007) Titrek kavak meşcerelerinde, Aydın (2008) Antalya ili sınırları içerisinde yer alan Sedir meşcerelerinde, Çatal (2009) Batı Akdeniz Bölgesi Kızılçam meşcerelerinde yaptıkları çalışmalarda polimorfik yöntemi kullanarak çalışma alanlarının yetiştirme ortamı verim gücü değerlerini hesaplamışlardır.

Yukarıda açıklanan çalışmalarda kullanılan bonitleme yöntemlerinde denklemler oluşturulurken başta tek bir standart yaşa karar verilmekte ve standart yaştaki üst boy değerleri o meşcerenin bonitet endeksi olmaktadır. Bu standart yaş değeri ülkemizde kısa idare süreli ağaç türleri (Kızılçam, Kızılağaç vb) için 50 yıl, uzun idare süreli ağaç türleri (Karaçam, Sarıçam vb) için 100 yıl olarak alınmaktadır. Başta belirlenen sabit standart yaştaki meşcere üst boy değeri kullanılarak bonitet endeks tabloları oluşturulmaktadır. Ancak, Bailey ve Clutter (1974) denklem formlarını, model içerisinden seçilen bir parametreyi cebirsel olarak yeniden düzenleyerek aynı model ile farklı standart yaş değerleri için tahminlerde bulunabilecek bir model yapısı elde etmiştir. Cebirsel Fark Yaklaşımı (CFY) adı verilen bu yaklaşım ile çok asimptotlu anamorfik veya tek asimptotlu polimorfik şekilli bonitet endeks tahminleri elde edilebilmektedir. Daha sonraki yıllarda, Cieszewski ve Bailey (2000) seçilen model içerisinde en az iki parametreyi cebirsel olarak düzenleyerek Genelleştirilmiş Cebirsel Fark Yaklaşımını (GCFY) literatüre kazandırmışlardır. GCFY ile hem çok asimptotlu hem de polimorfik bonitet endeks tahminleri elde edilebilmektedir. Dinamik bonitet endeks modelleri olarak da adlandırılan CFY ve GCFY ile düzenlenen modellerinin en önemli özelliklerinden birisi klasik bonitleme yöntemlerinde olduğu gibi başta bir standart yaş belirlemeye gerek duymadan, farklı standart yaşa bağlı olarak tahminlerin tek bir model ile elde edilebilmesidir. Diğer

tarafından, aynı denklem yapısı ile farklı standart yaşlar için tahminler elde edilirken, farklı standart yaşlar kullanılmasına rağmen herhangi bir t zamanındaki boy değerine ilişkin tahmin de değişmemektedir. CFY ve GCFY'na ilişkin bu özellik, standart yaşa bağlı değişmezlik (base-age invariance) olarak adlandırılmaktadır (Ercanlı, 2010).

Uluslararası literatüre bakıldığında; Sarıçam (Palahi, Tome, Pukkala, Trasobares ve Montero, 2004), Pyrenean Meşesi (Adame, Canellas, Roig ve Del Rio, 2006), Sarıçam (Cieszewski, Strub ve Zasada, 2007), Mantar Meşesi (Sanchez-Gonzalez, Canellas ve Montero, 2008), Gökmar, Kızılağaç ve Huş (Wang, Rennols ve Borders, 2008), Kara Ladin ve Banks Çamı (Subedi, Sharma ve Parton, 2009), Avrupa Ladini (Sharma, Brunner, Eid ve Oyen, 2011), Kızılağaç (Kitikidou, Petrou ve Milios, 2012), Tik Ağacı (Tewari, Alvarez-Gonzalez ve Gadow, 2014) ağaç türleri için ADA ve GADA yaklaşımları kullanılarak dinamik bonitet endeks modelleri geliştirilmiştir. Ayrıca Krumland ve Eng (2005) Kuzey Kaliforniya'daki birçok asli ağaç türü (Sekoya, Duglas, Gökmar, Batı Sarıçamı, Şeker Çamı, Su Sediri, Jeffrey Çamı, Contarta Çamı, Tanbark Meşesi, Siyah Meşe, Pasifik Kocayemişi, Kızılağaç, Defne) için ADA ve GADA yöntemini kullanarak dinamik bonitet endeks modelleri geliştirmişlerdir.

Ülkemizde ise Ercanlı (2010) Trabzon ve Giresun Orman Bölge Müdürlükleri sınırları içerisindeki Doğu Ladini-Sarıçam karışık meşcerelerinde yaptığı çalışmada CFY'nı kullanmıştır. Çalışma sonucunda Doğu Ladini ve Sarıçam için en uygun denklemin b_1 katsayısını esas alan dönüşümle elde edilmiş Chapman-Richards modeli olduğunu belirtmiştir (Doğu Ladini için $R^2=0,956$, Sarıçam için $R^2=0,946$). Seçilen denklemlerle elde edilen yaş-boy ilişkileri polimorfizm, eğrilerin S biçiminde bir trend izlemesi, genel boy artımlarının maksimuma ulaşma sürelerinin bonitet iyileştikçe azalması gibi büyüme kanuniyetlerine de uygunluk göstermişlerdir.

Yavuz vd. (2010) Karadeniz Bölgesi saf ve karışık Sarıçam meşcerelerinde yaptıkları çalışmada, Sarıçam, Karaçam, Ladin, Kayın ve Gökmar için dinamik bonitet endeks modelleri geliştirmişlerdir. CFY ve GCFY yöntemlerinin kullanıldığı bu çalışmada

belirtme katsayısı değerleri; 0,993-0,999 aralığında ve standart hata değerleri; 0,319m-0,460m aralığında hesaplanmıştır. Oluşturulan dinamik bonitet endeks denklemleri, belirtme katsayıları bakımından oldukęa yüksek bir açıklayıcılığa sahip ve standart hatalar bakımından da çok düşük sapmalar göstermesi bakımından istatistiksel olarak verilere çok uygundur.

Kahriman (2011) Karadeniz Bölgesi Sarıçam-Doğu Kayını karışık meşcereleri için yaptığı çalışmada, yetişme ortamı verim gücünün belirlenmesinde 17 adet CFY ve 12 adet GCFY modelini incelemiştir. Çalışma sonucunda her iki ağaç türü için de b_1 ve b_2 katsayılarını esas alan dönüşümle elde edilmiş olan Hossfeld GCFY modelini (Sarıçam için $R^2=0,979$, Kayın için $R^2=0,970$) en başarılı bonitet endeks modeli olarak seçmiştir. Seçilen denklemlerle elde edilen yaş-boy ilişkileri büyüme kanuniyetlerine uygun trendler seyretmişlerdir.

şenyurt ve Ercanlı (2013) Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü Sarıçam meşcerelerinde yaptıkları çalışmada 50 adet galip ağaçta gövde analizi yapmışlar ve bu verilerle GCFY ile bonitet endeks modelleri geliştirmişlerdir. Yapılan alışmada, Bertalanffy-Richards ve Hossfeld GCFY modelleri denenmiş ve Bertalanffy-Richards modeli ile daha iyi sonuçlar elde edilmiştir ($R^2_{düz}= 0,959$). Seçilen denklemlerle elde edilen yaş-boy ilişkileri polimorfizm, çoklu asimptot, eğrilerin S biçiminde bir trend izlemesi gibi büyüme kanuniyetlerine de uygunluk göstermişlerdir.

Ercanlı, Kahriman ve Yavuz (2014) Batı Karadeniz Bölgesi Sarıçam-Doğu Kayını karışık meşcerelerinde yaptıkları çalışmada GCFY ile bonitet endeks modellemesi yapmışlardır. Çalışmada 5 adet GCFY modeli denenmiş ve Sarıçam için Hossfeld GCFY modelini ($R^2_{düz}= 0,951$), Doğu Kayını için Bertalanffy-Richards GCFY modelini ($R^2_{düz}= 0,959$) en başarılı denklem olarak seçilmiştir. Seçilen denklemlerle elde edilen yaş-boy ilişkileri büyüme kanuniyetlerine uygun trendler seyretmişlerdir.

Bonitet endeks modellerinin geliştirilmesinde kullanılan doğrusal olmayan regresyon analizinde hata terimlerinin ilişkisiz rassal değişkenler olduğu varsayımı esastır. Diğer taraftan, çoğu durumlarda bu varsayım, verilerin doğal yapısından dolayı

bozulabilir. Bu varsayımın bozulmasındaki en önemli sebeplerden birisi, verilerin ardışık zaman dilimlerinde toplandığı tekrarlı veriler olmasıdır. Bu veriler zaman serisi özelliğe sahip olup, birbirini takip eden verilerin ilişkili olması doğal bir sonuçtur. Gövde analizi verilerinin zaman serisi niteliğinde olması ile birbiri ile ilişkili olduğu “otokorelasyon” problemi kaçınılmazdır. Bu gibi veri yapılarına otoregresif modellemenin uygulanması ile otokorelasyon probleminin verim gücü tahminlerine olumsuz etkisi önemli ölçüde giderilmiş olacaktır. Ormancılık literatüründe, özellikle bonitet endekslerine ilişkin modellerin geliştirildiği çalışmalarda; Cooper Çamı, Durango Çamı, Engelman Çamı, Chihuahua Çamı ve Herrera Çamı (Corral-Rivas, Alvarez-Gonzalez, Ruiz-Gonzalez ve Gadow, 2004), Sahil Çamı (Carvalho ve Parresol, 2005), Monteri Çamı (Dieguez-Aranda, Burkhart ve Rodriguez-Soalleiro, 2005), Saplı Meşe (Anta ve Dieguez-Aranda, 2005), Kuzey Carolina Çamı (Dieguez-Aranda, Burkhart ve Amateis, 2006), Avrupa Kayını (Nord-Larsen, 2006), Huş (Dieguez-Aranda, Grandas-Arias, Alvarez-Gonzalez ve Gadow, 2006), Sahil Çamı (Bravo-Oviedo, Rio, Montero, 2007), *Pinus pseudostrobus* (Vargas-Larreta, Aguirre-Calderon, Corral-Rivas, Crecente-Campo ve Dieguez-Aranda, 2013) ağaç türleri için otoregresif modellemeyi kullanmışlardır.

Ercanlı, Şenyurt ve Bolat (2014) Çankırı yöresi Sarıçam meşcereleri için düzenledikleri dinamik bonitet endeks modellerini otoregresif modelleme ile geliştirmişlerdir. Çalışmada doğrusal olmayan regresyon analizi sonucu bulunan en başarılı denklem Hossfeld büyüme modeli olmuştur. Aynı denkleme otoregresif modelleme uyguladıkları zaman belirtme katsayısı ($R^2_{düz}$) değerinin 0,9336'dan 0,9449 a çıktığı, hata değerlerinin de önemli derecede iyileştiği görülmüştür. Otokorelasyonun göstergesi olan ve ideal değeri 2.0 olan Durbin-Watson katsayısı (DW) ise 1,2890'dan 1,9903'e çıkmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

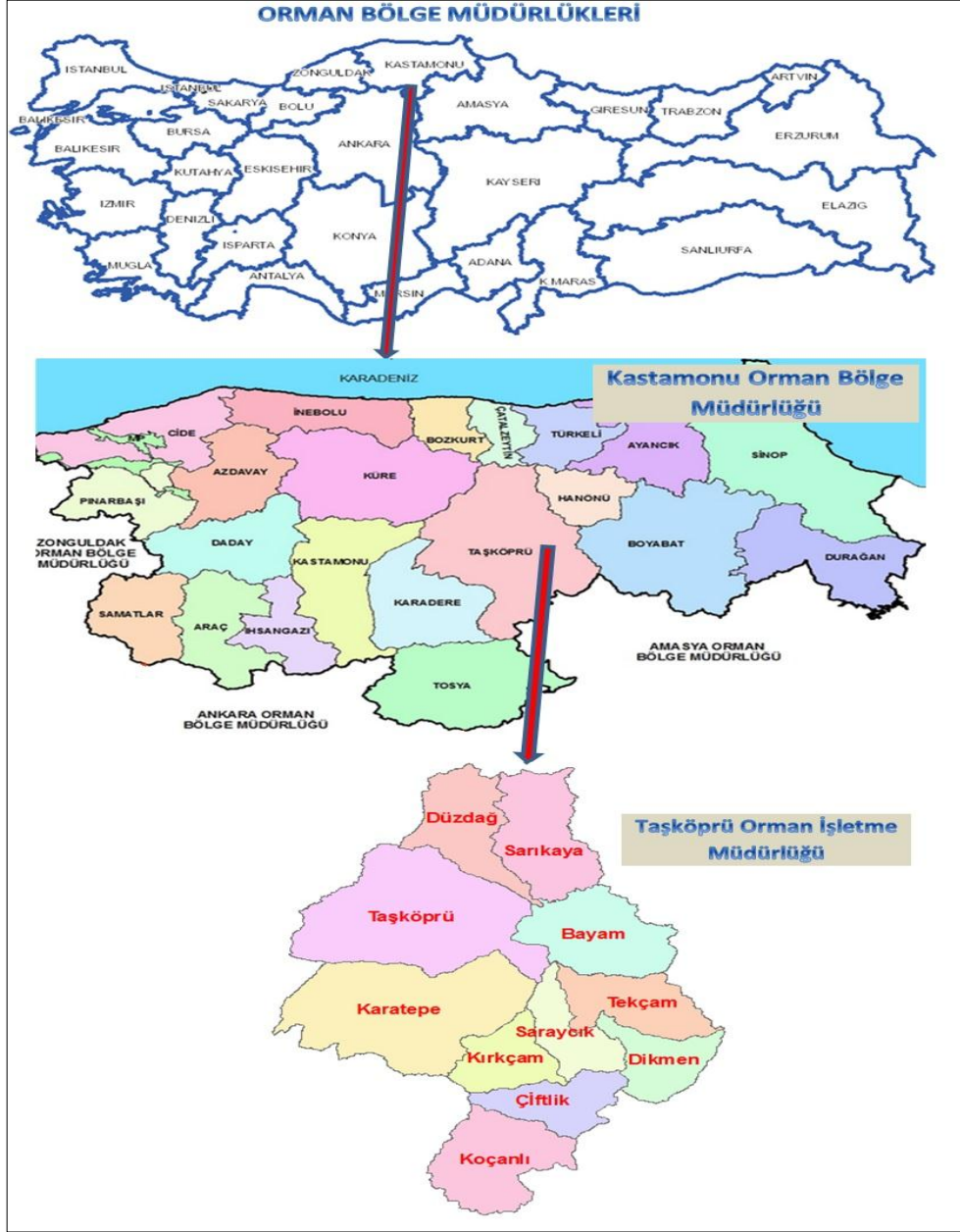
3.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan veriler; Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı 11 adet Orman İşletme Şefliği (Taşköprü, Düздаğ, Sarıkaya, Tekçam, Kırçam, Dikmen, Saraycık, Çiftlik, Koçanlı, Bayam, Karatepe Orman İşletme Şeflikleri) sınırları içerisinde kalan saf Karaçam meşcerelerinden elde edilmiştir (Şekil 3.1.). Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü'nün genel alanı 176 648 hektardır. Ormanlık alanı ise 113 519 hektar olup, ormanlık alanın genel alana oranı % 64'tür. Çalışmaya konu karaçam meşcerelerinden toplam 132 adet örnek ağaç seçilerek kesilmiştir. Kesilen bu ağaçlarda yapılan gövde analizi verileri çalışma materyalini oluşturmuştur. Alınan örnek ağaçların İşletme Müdürlüğü içerisindeki konumsal dağılımı Şekil 3.2.'de verilmiştir.

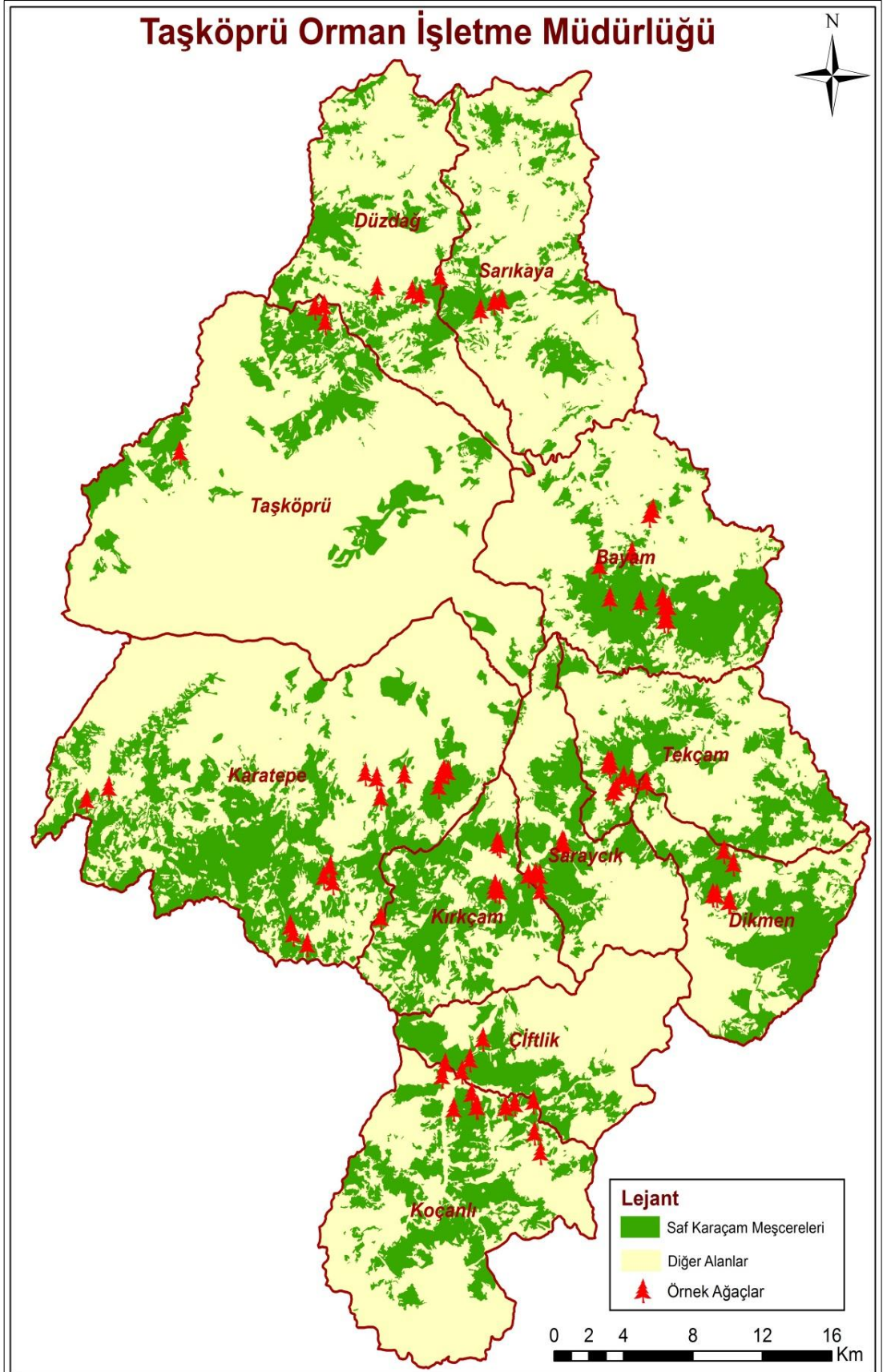
Çalışma kapsamında incelenen örnek ağaçlar mümkün olduğunca farklı yetişme ortamı verim gücü, kapalılık ve gelişim çağına sahip meşcerelerden seçilmiştir. Sözü edilen dağılımın sağlanabilmesi için örnek ağaçların alınacağı meşcereler, ilgili şefliklerin amenajman planlarında ayrıntılı olarak incelenmiştir ve örnek ağaçların farklı meşcere tiplerinden alınmasına özen gösterilmiştir (Tablo 3.1.).

Örnek ağaçların denizden yükseklikleri incelendiğinde (Grafik 3.1. ve Tablo 3.1.) 132 örnek ağaçtan 16'sının (% 12,1) 800-1000 m, 71'inin (% 53,8) 1000-1200 m, 33'ünün (% 25,0) 1200-1400 m ve 12'sinin (% 9,1) 1400-1600 m yükseklikte yer aldıkları görülmektedir (\bar{X} =1169 m). Örnek ağaçların bakı gruplarına dağılımları incelendiğinde (Grafik 3.2. ve Tablo 3.1.) 132 örnek ağaçtan 29'u (% 22,0) Kuzey, 23'ü (% 17,4) Kuzeydoğu, 15'i (% 11,4) Kuzeybatı ve 16'ü (% 12,1) de Doğu bakı olmak üzere 83'ünün (% 62,9) gölgeli bakılarda ve 9'u (% 6,8) Güney, 14'ü (% 10,6) Güneydoğu, 8'i (% 6,1) Güneybatı ve 18'si (% 13,6) Batı bakı olmak üzere 49'unun (% 37,1) güneşli bakılarda yer aldığı görülmektedir. Örnek ağaçların alındıkları noktaların eğim değerleri incelendiğinde ise (Grafik 3.3. ve Tablo 3.1.)

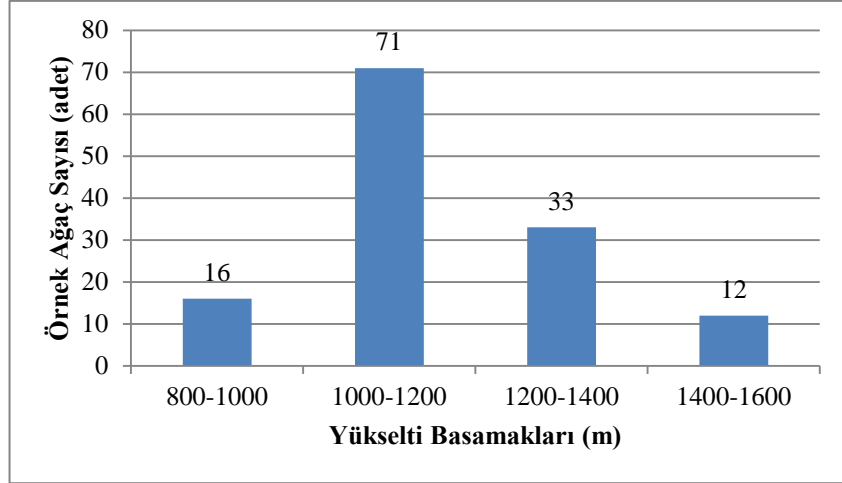
132 örnek ağaçtan 38'i (% 28,8) % 0-10 eğim grubunda, 57'si (% 43,2) % 10-20 eğim gurubunda, 22'si (% 16,6) % 20-30 eğim grubunda ve 15'i (% 11,4) de % 30-40 eğim grubunda yer almaktadır (\bar{X} = % 15,8).



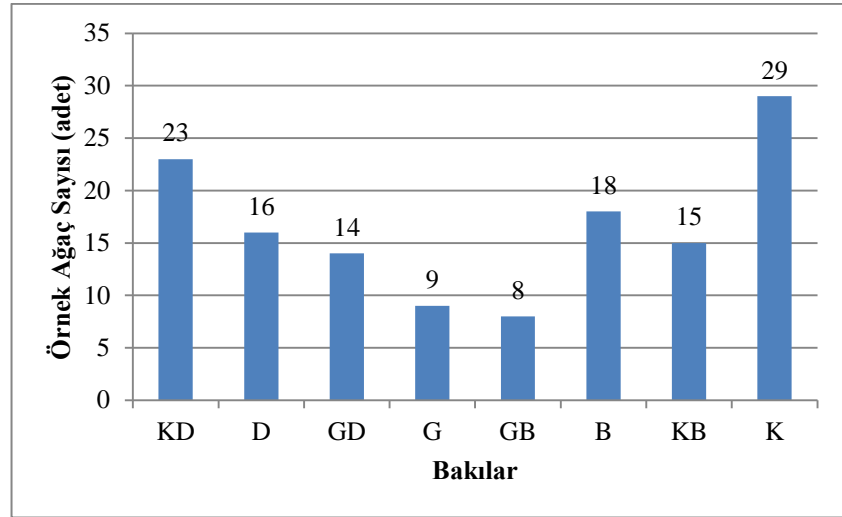
Şekil 3.1. Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü ve bünyesindeki şefliklerin coğrafik konumu



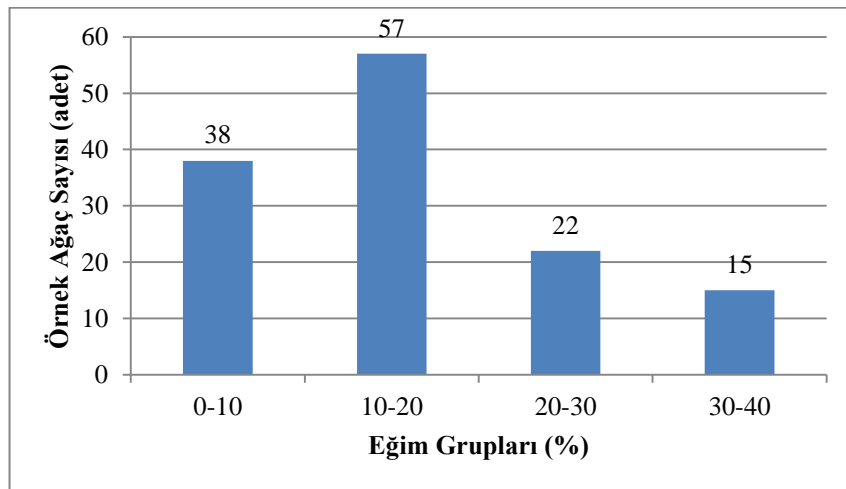
Şekil 3.2. Örnek ağaçların coğrafik konumları



Grafik 3.1. Örnek ağaçların yükselti basamaklarına dağılımları



Grafik 3.2. Örnek ağaçların bakı gruplarına dağılımları



Grafik 3.3. Örnek ağaçların eğim gruplarına dağılımları

Örnek ağaçların, alanın yetiştirme ortamı verim gücünü en iyi şekilde yansıtabilmesi amacıyla galip (dominant) veya müşterek galip (codominant) ağaçlar olmasına dikkat edilmiştir. Seçilen bu ağaçlar yerden 0,30 m yükseklikten kesilmiş ve her ağaçtan 0,30 m, 1,30 m, 2,30 m ve 2,30 m'den sonra 2 m'lik aralıklarla enine kesitler alınmıştır (Fotoğraf 3.1.). Ağaçların kesildikleri andaki yaşlarına ulaşmak amacıyla, her bir örnek ağacın kesildiği alanda veya yakınında bulunan 0,30 m boya sahip 3-4 adet fidanın sürgünlerini saymak suretiyle yaşları belirlenmiş ve bu yaşların ortalamaları alınmıştır. Daha sonra her bir ağacın 0,30 m yüksekliğindeki yıllık halka sayılarına bu değerler eklenerek ağaç yaşı bulunmuştur. Tablo 3.1.'de örnek ağaçlara ilişkin çeşitli bilgiler verilmiştir.



Fotoğraf 3.1. Örnek ağaçların kesilmesi ve enine kesitlerin alınması

Tablo 3.1. Örnek ağaçlara ilişkin bilgiler

Örnek Ağaç No	Orman İşletme Şefliği	Göğüs Çapı (cm)	Boy (m)	Yaş (yıl)	Yükselti (m)	Eğim (%)	Bakı	Meşcere Tipi
1	Taşköprü	37,0	22,4	96	1409	9	KB	Çkcd3
2	"	36,3	22,7	104	1410	9	KB	Çkcd3
3	"	19,6	15,3	84	1326	7	B	Çkbc3
4	"	19,6	15,7	81	1326	7	B	Çkbc3
5	"	25,4	17,1	120	1306	16	KB	Çkcd3
6	"	36,7	18,7	133	1306	16	KB	Çkcd3
7	"	20,2	9,3	83	1154	28	K	Çkbc2
8	"	19,3	8,3	71	1152	28	K	Çkbc2
9	Düzdağ	19,8	12,3	68	1121	23	GB	Çke1
10	"	27,6	14,7	76	1122	23	GB	Çke1
11	"	28,8	15,7	114	1380	12	K	Çke2
12	"	25,7	14,5	121	1182	22	GB	Çke1
13	"	29,0	17,1	153	1182	22	GB	Çke1
14	"	28,3	12,6	82	1313	10	GD	Çkcd1
15	Sarıkaya	30,5	12,7	136	1073	26	G	Çke2
16	"	25,5	12,7	134	1074	26	G	Çke2
17	"	38,5	16,3	141	1049	11	GD	Çke2
18	"	33,9	16,5	112	1047	11	GD	Çke2
19	"	52,6	21,0	118	1051	9	GB	Çkd2
20	"	40,0	19,6	135	1050	9	GB	Çkd2
21	Tekçam	26,1	12,4	63	1156	9	G	Çke2
22	"	26,4	13,0	60	1155	9	G	Çke2
23	"	29,5	12,5	55	1156	10	KD	Çke2
24	"	22,5	10,8	63	1157	10	KD	Çke2
25	"	24,0	12,2	67	1160	8	GD	Çke3
26	"	27,5	14,9	66	1161	8	GD	Çke3
27	"	43,5	21,5	112	1159	11	K	Çkd2
28	"	41,3	19,5	107	1158	11	K	Çkd2
29	"	31,5	16,3	64	1092	3	D	Çke2
30	"	33,3	18,0	61	1192	3	D	Çke2
31	"	27,1	17,5	62	1109	4	KD	Çke3
32	"	28,8	16,9	65	1109	4	KD	Çke3
33	"	21,5	11,0	33	1108	10	D	Çkbc2
34	"	36,7	20,7	60	1125	4	K	Çkd2
35	Kırçam	31,0	16,5	92	1063	9	K	Çkcd2
36	"	30,3	18,0	80	1064	9	K	Çkcd2
37	"	24,4	16,3	101	1065	9	K	Çke3
38	"	31,0	15,9	90	1064	9	K	Çke3
39	"	28,9	14,6	70	1189	8	KD	Çkcd2
40	"	30,7	15,2	93	1188	8	KD	Çkcd2
41	"	24,9	11,9	74	1179	12	KD	Çke3
42	"	22,5	12,7	68	1180	12	KD	Çke3
43	"	26,9	13,5	62	1196	10	K	Çkcd1
44	Dikmen	21,2	16,7	103	1209	5	KD	Çke3
45	"	22,4	15,9	106	1209	5	KD	Çke3
46	"	22,1	15,1	35	1206	2	KD	Çkb3

Tablo 3.1. 'in devamı

Örnek Ağaç No	Orman İşletme Şefliği	Göğüs Çapı (cm)	Boy (m)	Yaş (yıl)	Yükselti (m)	Eğim (%)	Bakı	Meşcere Tipi
47	Dikmen	19,6	14,0	35	1206	2	KD	Çkb3
48	"	39,5	22,0	74	1303	7	GD	Çkcd3
49	"	37,5	21,6	72	1303	7	GD	Çkcd3
50	"	39,4	21,0	77	1273	8	GD	Çkd1
51	"	26,1	17,1	80	1307	14	K	Çke3
52	"	29,9	17,4	57	1306	14	K	Çke3
53	"	27,8	18,8	83	1301	12	K	Çke3
54	"	35,2	20,2	87	1302	12	K	Çke3
55	Saraycık	16,4	11,3	41	1170	11	K	Çkb3
56	"	14,9	10,2	43	1171	11	K	Çkb3
57	"	24,2	13,5	54	1180	12	KD	Çkcd3
58	"	26,1	14,3	77	1181	12	KD	Çkcd3
59	"	26,0	12,1	89	1205	6	GD	Çkcd1
60	"	23,1	13,0	76	1205	6	GD	Çkcd1
61	"	21,2	16,1	77	1041	20	B	Çke3
62	"	17,9	12,3	83	1096	12	K	Çkb3
63	"	20,7	12,0	82	1095	12	K	Çkb3
64	"	26,2	17,8	47	1102	13	K	Çkbc3
65	"	23,3	16,5	70	1057	17	G	Çkbc3
66	Çiftlik	22,1	16,1	46	1280	17	GB	Çkb3
67	"	31,3	24,1	65	1170	15	KB	Çkcd3
68	"	27,5	23,3	63	1170	15	KB	Çkcd3
69	"	27,5	17,6	64	1151	24	G	Çkcd1
70	"	27,6	18,3	45	1156	23	B	Çkbc1
71	"	52,6	28,9	138	1411	38	D	Çkcd3
72	"	61,1	32,7	159	1413	35	D	Çkcd3
73	"	35,4	30,2	102	1416	33	D	Çkcd3
74	"	54,5	30,1	160	1523	35	D	Çkcd3
75	"	55,7	34,4	170	1520	35	D	Çkcd3
76	"	34,0	28,1	151	1510	32	D	Çkcd3
77	"	59,5	33,1	139	1524	33	D	Çkcd3
78	"	49,5	31,1	138	1513	33	D	Çkcd3
79	"	46,2	27,7	133	1520	35	D	Çkcd3
80	Koçanlı	34,2	18,6	75	1144	41	D	Çkd1
81	"	36,1	16,5	55	1142	41	D	Çkd1
82	"	30,1	21,8	63	1182	32	K	Çke1
83	"	26,5	18,5	66	1183	32	K	Çke1
84	"	20,3	16,3	40	1200	16	D	Çkb2
85	"	28,0	18,4	62	1302	30	GD	Çke1
86	"	28,3	17,7	58	1303	30	GD	Çke1
87	"	17,9	16,7	53	1178	27	KD	Çkb2
88	"	20,5	16,3	61	1178	27	KD	Çkb2
89	"	36,3	24,3	117	1327	16	K	Çkd3
90	"	21,5	16,3	65	1324	17	D	Çkb3
91	"	17,3	13,8	68	1323	17	D	Çkb3
92	"	42,2	14,7	73	1442	21	B	Çke1
93	"	43,7	26,2	153	1298	24	KD	Çkcd3

Tablo 3.1. 'in devamı

Örnek Ağaç No	Orman İşletme Şefliği	Göğüs Çapı (cm)	Boy (m)	Yaş (yıl)	Yükselti (m)	Eğim (%)	Bakı	Meşcere Tipi
94	Koçanlı	37,4	20,7	77	1314	27	KD	Çkd2
95	"	29,3	22,2	80	1315	27	KD	Çkd2
96	Bayam	26,1	20,5	100	1142	17	D	Çkbc3
97	"	24,7	18,7	102	1143	17	D	Çkbc3
98	"	31,0	16,8	111	1141	10	G	Çkcd2
99	"	25,3	17,2	111	1140	10	G	Çkcd2
100	"	21,7	17,2	72	1025	12	GD	Çkbc3
101	"	23,3	14,4	99	1048	21	GD	Çke2
102	"	27,9	19,6	105	987	18	KD	Çkcd3
103	"	28,4	20,2	111	988	18	KD	Çkcd3
104	"	26,0	14,2	84	1037	26	B	Çkcd2
105	"	35,4	20,3	109	1085	13	KB	Çkcd3
106	"	25,2	15,3	63	875	8	KB	Çke3
107	"	17,0	12,8	69	1077	10	KB	Çkb3
108	"	11,5	8,3	42	1122	7	KB	Çkb3
109	"	24,9	16,5	73	1224	12	G	Çkbc2
110	Karatepe	33,0	18,6	134	1192	13	B	Çke2
111	"	28,7	21,1	114	1102	16	D	Çkcd1
112	"	31,2	21,7	123	1101	16	D	Çkcd1
113	"	37,2	25,2	123	1113	8	K	Çkcd3
114	"	32,5	21,6	117	1113	8	K	Çkcd3
115	"	17,5	11,3	42	934	13	K	Çkb2
116	"	20,5	9,4	62	908	14	KB	Çkbc1
117	"	20,1	11,0	60	912	19	K	Çkbc2
118	"	20,6	12,5	53	911	19	K	Çkbc2
119	"	21,4	12,3	96	978	20	KB	Çke3
120	"	24,3	10,1	82	921	9	GD	Çke2
121	"	27,7	13,8	106	882	15	KD	Çke3
122	"	25,7	15,2	103	883	15	KD	Çke3
123	"	24,6	16,5	87	956	13	D	Çkcd1
124	"	16,4	9,8	40	910	6	K	Çkbc3
125	"	34,5	15,7	73	1231	9	KB	Çkcd3
126	"	16,8	8,2	27	1233	17	GB	Çkbc2
127	"	21,6	17,8	74	1173	28	B	Çkbc3
128	"	27,8	18,6	72	1173	28	B	Çkbc3
129	"	45,6	21,4	76	1332	8	B	Çkcd2
130	"	29,0	10,8	53	812	16	KB	Çke1
131	"	26,5	19,5	77	783	12	B	Çkcd2
132	"	30,5	17,6	83	783	12	B	Çkcd2

Örnek ağaçlardan alınan her bir enine kesitteki halka sayıları belirlenmiş ve bu sayılar ağaç yaşından çıkarılarak kesit yüksekliklerine ulaşma süreleri hesaplanmıştır. Böylece; her bir ağacın farklı yaşlardaki boy değerleri elde edilmiştir (1350 adet). Tablo 3.2.'de örnek ağaçlara ilişkin çeşitli istatistiksel bilgiler, Grafik 3.4. ve Grafik 3.5.'te örnek ağaçların boy ve yaş basamaklarına dağılımları, Grafik 3.6.'da örnek ağaçlara ilişkin farklı yaşlardaki boy değerlerini gösteren yaş-boy grafiği verilmiştir. Fotoğraf 3.2.'de ise yapılan laboratuvar çalışmaları gösterilmektedir.

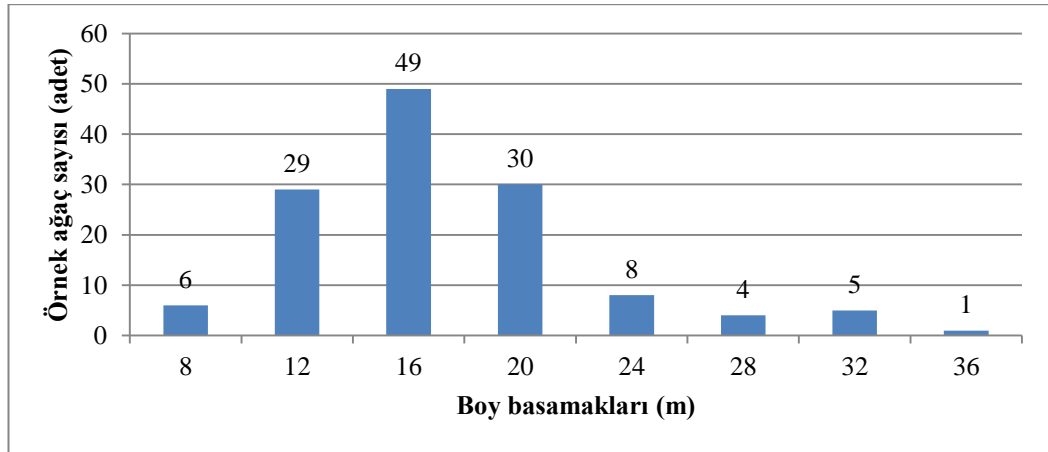


Fotoğraf 3.2. Laboratuvar çalışmaları

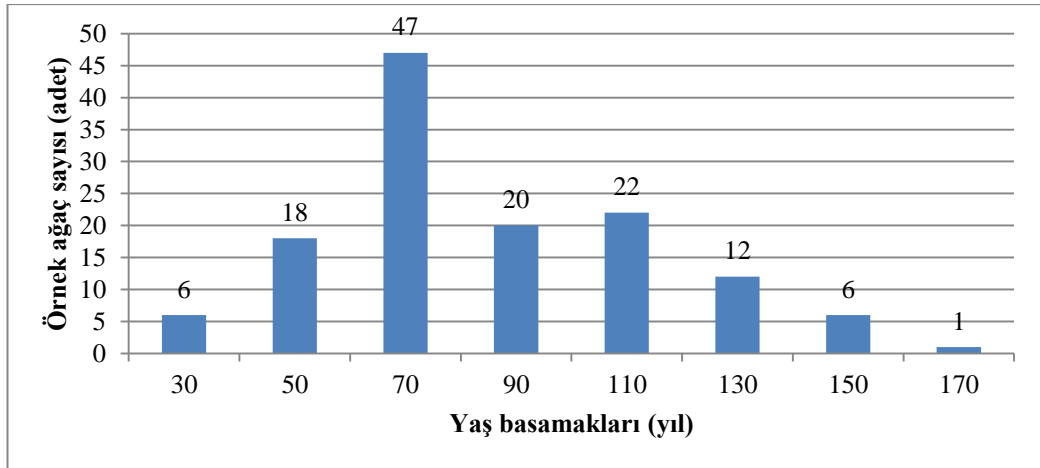
Tablo 3.2. Örnek ağaçlara ilişkin çeşitli istatistiksel bilgiler

Değişken	n	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma	Varyans
Ağaç Boyu (m)	132	8,2	34,4	17,3	5,22	27,25
Ağaç Yaşı (yıl)	132	27	170	85,0	30,96	958,65

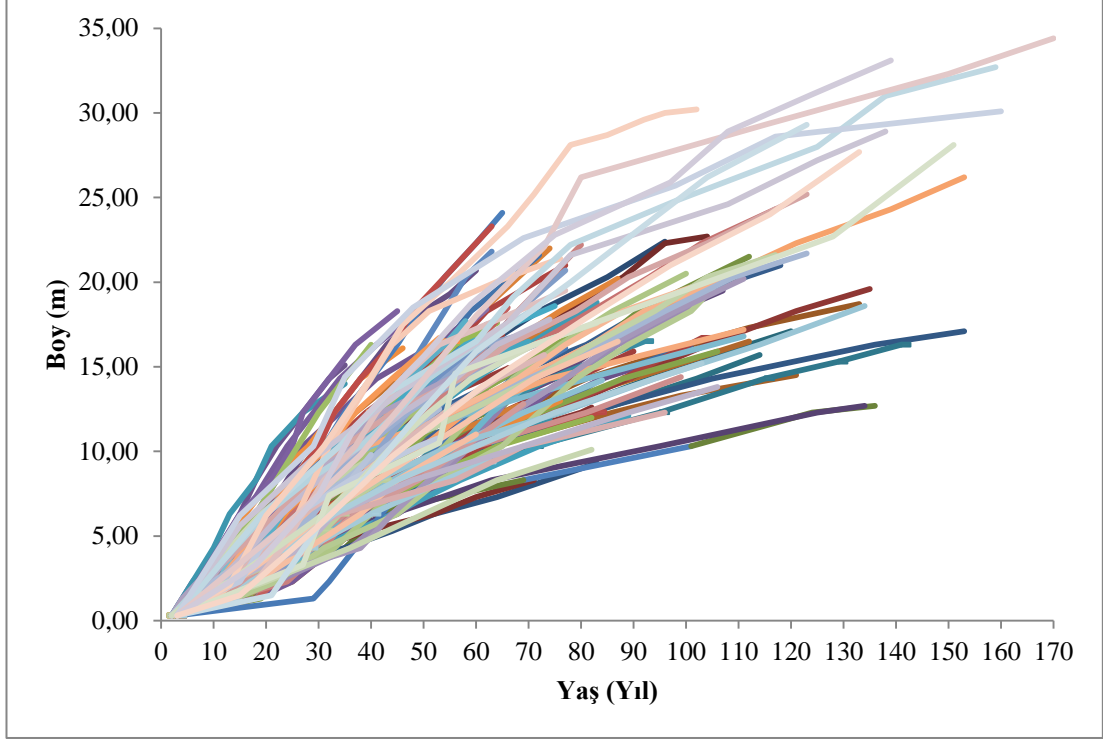
Tablo 3.2. incelendiğinde, çalışma kapsamında kullanılan örnek ağaçların boylarının 8,2 m ile 34,4 m arasında değiştiği ve ortalamasının da yaklaşık 17,3 m olduğu görülmektedir. Bunun yanında, ağaçların yaşları da 27 yıl ile 170 yıl arasında değişmekte olup ortalaması yaklaşık 85 yıldır.



Grafik 3.4. Örnek ağaçların boy basamaklarına dağılımları



Grafik 3.5. Örnek ağaçların yaş basamaklarına dağılımları



Grafik 3.6. Örnek ağaçlara ilişkin yaş-boy grafiği

3.2. Yöntem

Yetiştirme ortamı verim gücünün belirlenmesinde kullanılan yöntemler “*Doğrudan Yöntemler*” ve “*Dolaylı Yöntemler*” olmak üzere iki ana başlık altında toplanmaktadır. Doğrudan yöntemler de kendi içerisinde “Toprak Faktörlerinden Yararlanan Yöntemler”, “İklim Verilerinden Yararlanan Yöntemler” ve “Toprak Florasından Yararlanan Yöntemler” olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Bir meşcerenin verim gücü tüm ekolojik etmenlerden aynı zamanda ve karmaşık bir şekilde etkilenmektedir ve bu yüzden bu yöntemlerin hiçbirisi yetiştirme ortamı verim gücünü belirlemede tek başına yeterli değildir. Yetiştirme ortamı oldukça dinamik ve karmaşık bir sistem olduğu için bileşenler arasındaki ilişkilerin sayısal olarak doğru bir şekilde ifade edilmesi çok zordur. Ayrıca yetiştirme ortamı içerisindeki bu bileşenlerin bireysel etkileri ile sistemdeki karmaşık etkilerinin çok farklı olması da doğrudan yöntemlerin kullanılabilirliğini zorlaştıran faktörlerdir. Doğrudan yöntemin kullanılabilmesi için, yukarıda sayılan faktörlerin ayrı ayrı sayısal olarak belirlenmesi gerekmektedir (Kapucu, 2004).

Bir başka açıdan bakmak gerekirse; bütün ekolojik etmenler yetiştirme ortamı verim gücünü etkileyen birer bağımsız değişken olarak istatistiksel modeller içerisinde yer alabilirler. İstatistiksel olarak anlamlı olan bütün değişkenleri model içerisine bağımsız birer değişken olarak dahil etmek, büyüme modellerinin doğruluğunu arttırmaktadır. Ancak, ideal araştırma koşulları altında, modelin yetiştirme ortamı verim gücü üzerinde etkili olan bütün değişkenleri içerip içermemesi tartışma konusudur. Çünkü, ilgili modelin istatistiksel olarak büyüme ile anlamlı korelasyon gösteren bütün değişkenleri içermesinin yanında, bu değişkenlerin uygulamada elde edilebilirliği de oldukça önemlidir. Gerek ormanın planlanmasında ve gerekse silvikültürel çalışmalarda kullanılabilir olması için modelin kolay elde edilebilir değişkenler içermesi gerekmektedir (Van Laar ve Akça, 2007).

Eşit yaşlı meşcerelerde kullanılan dolaylı yöntemler “*Anamorfik yöntem*”, “*Polimorfik yöntem*” ve “*Kombine yöntem*”, değişik yaşlı meşcerelerde kullanılan dolaylı yöntemler ise “*Flury'nin çap sınıfları yöntemi*”, “*Mittscherlich'in çap-çap artımı ilişkisine dayanan yöntem*” ve “*Ağaçların baskıdan kurtulduktan sonraki yaş-boy ilişkisine dayanan yöntem*” olmak üzere üç grupta toplanmaktadır (Günel, 1982).

Ormancılık literatüründe ilk kez, Baur (1881) tarafından eşit yaşlı saf meşcerelerde birim alandaki ağaç hacmi ile meşcere orta boyu arasında bir ilişki olduğu tespit edilmiş ve bu ilişkiye dayanarak meşcerelerin yetiştirme ortamı verim gücü değerlerinin tahmin edilebileceği belirtilmiştir. *Eichorn Yasası*'na göre; meşcere boyu yaşa ve ortama göre önemli farklılıklar göstermekte, hektardaki hacim değeri meşcere boyu ile birlikte değişmekte ve dolayısıyla yetiştirme ortamı verim gücünün tahmini meşcere boyu yardımıyla yapılabilmektedir. Eşit yaşlı saf meşcerelerde, meşceredeki galip ve müşterek galip ağaçlar, silvikültürel müdahalelerden, meşcere sıklık derecesinden ve komşuluk ilişkilerinden daha az etkilendikleri için, meşcere orta boyu yerine meşcere üst boyu tercih edilmektedir. Standart yaş olarak adlandırılan belirli bir yaştaki (25, 50 veya 100 yıl) meşcere üst boyu da yetiştirme ortamı verim gücü göstergesi olan Bonitet Endeksi (BE) olarak tanımlanmaktadır (Kalıpsız, 1998). “Bonitet endeksi” bir ormanın yetiştirme ortamı verimliliğinin göstergesi olarak kullanılan en yaygın ölçütlerden birisidir (Adame, Canellas, Roig ve Rio, 2006).

Eşit yaşlı meşcerelerde bonitet endeks modellerinin geliştirilmesinde kullanılan, “*Anamorfik Yöntem*” ve “*Polimorfik Yöntem*”, dayandıkları ilkeler açısından avantaj ve dezavantajlara sahiptirler. Anamorfik yöntemde her bonitet sınıfının sahip olduğu eğriler tek bir klavuz eğri üzerinden türetilmekte ve bu eğrinin sahip olduğu bütün hatalara sahip olmaktadır (Akalp, 1978). Bunun yanında, her bonitet sınıfında cari boy artımı aynı yaşta maksimuma ulaşmaktadır. Büyüme kanuniyetlerine aykırı olan bu durumlar anamorfik yöntemin sahip olduğu sakıncalardır (Asan, 1987). Anamorfik yöntemin kullanılabilmesi için meşcerelerden alınan örnek alanlarda yapılacak meşcere yaşı ve üst boyu ölçüm değerleri yeterli olmaktadır. Uygulamadaki bu kolaylığı açısından anamorfik yöntem, ülkemizde amenajman planları hazırlanırken meşcerelerin bonitetlerinin belirlenmesi sırasında kullanılmaktadır.

Polimorfik yöntemin de, meşcereden seçilen hakim ağaçlarda yapılan gövde analizlerine dayanması ve seçilen bu ağaçların bütün meşcereyi temsil etmeme olasılığı gibi sakıncaları mevcuttur. Bunun yanında, polimorfik yöntem farklı bonitet sınıflarındaki eğrilerin şekil olarak birbirlerinden farklı olması (polimorfizm), iyi ve kötü bonitet sınıflarındaki boy artımlarının farklı yaşlarda maksimuma ulaşması gibi biyolojik olarak daha gerçekçi özelliklere sahiptir. Gövde analizine dayanan polimorfik yöntem ile üretilen bonitet endeks eğrileri anamorfik yönteme göre daha çok tercih edilmektedir. Örneğin; Bull (1931), Spurr (1952), Brickell (1968) ve Akalp (1978) yetişme ortamları arasındaki farkları daha iyi yansıtmaları ve hatanın daha az olmasından dolayı polimorfik yöntemi tercih etmişlerdir (Asan, 1990).

Klasik bonitetleme yöntemleri ile yetişme ortamı verim gücü sınıflamasının yapılması sırasında ilk olarak standart bir yaş belirlenmeli ve bu standart yaştaki üst boy değeri (bonitet endeksi) hesaplanmalıdır. Çünkü, bonitet endeksi yetişme ortamı verim gücünün bir göstergesidir ve bu değere göre meşcerenin hangi bonitet sınıfı içerisine düştüğüne karar verilmektedir. Bonitet endeks modellerinin oluşturulmasında temel rol oynayan standart yaş değerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Standart yaş değeri, ülkemizde genelde uzun idare süreli ağaç türleri için 100 yıl, kısa idare süreli ağaç türleri için ise 50 yıl alınmaktadır. Bu değerler, yurt dışında yapılan çalışmalarda işletme amacına göre çok farklı değerler (30, 40, 50,

100 yıl vb.) alabilmektedir (Ercanlı, 2010). Modellemenin en başında karar verilen standart yaş değeri, geliştirilen bonitet endeks modelleri ile yapılan yetiştirme ortamı verim gücü (bonitet endeks) tahminlerinde çok önemli rol oynamaktadır. Çünkü, aynı ağaç türü ve aynı yetiştirme ortamı için seçilen model, standart yaş değeri 50 yıl için düzenlenirse farklı tahminler, 100 yıl için düzenlenirse farklı tahminler yapmaktadır (base-age variance). Bu durum büyüme kanuniyetlerine aykırıdır. Bu yüzden, aynı bonitet endeks modeli ile farklı standart yaşlar için bonitet endeks tahmini yapabilen ve “standart yaş değişmezliği (base-age invariance)” özelliğine sahip “*Dinamik Bonitet Endeks Modelleri*” ne ihtiyaç vardır.

Belirli bir t yaşı için belirlenen standart yaş değerinden etkilenmeyen tahminleri yapabilecek bu yöntemler; “*Cebirsel Fark Yaklaşımı*” ve “*Genelleştirilmiş Cebirsel Fark Yaklaşımı*” olarak ikiye ayrılmaktadır (Ercanlı, 2010). Bu yaklaşımlarla elde edilen modellere de “*Dinamik Bonitet Endeks Modelleri*” adı verilmektedir. Dinamik bonitet endeks modellerinin en önemli özelliklerinden birisi standart yaş değerinin değişmesinin tahminler üzerinde herhangi bir etkiye sahip olmamasıdır ki bu özellik “standart yaş değişmezliği (base-age invariance)” olarak adlandırılır (Cieszewski, 2001).

Cebirsel Fark Yaklaşımı (CFY) modelleri ilk olarak, Bailey ve Clutter (1974) tarafından “*Standart yaş değişmezlik (base-age invariance)*” özelliğine sahip denklemler olarak literatüre kazandırılmışlardır. Bu yöntem ile öncelikle yaş-boy ilişkisini en iyi temsil edebilecek bir büyüme modeli belirlenmekte sonra da bu model, bir parametresi cebirsel olarak yeniden düzenlenerek CFY model yapısına çevrilmiştir. Cebirsel olarak yeniden düzenlenen bu denklem ile elde edilen eğriler, ya tek asimptotlu ve polimorfik ya da çok asimptotlu ve anamorfik özellik göstermektedir (Ercanlı, 2010). Hem çok asimptotlu hem de polimorfik özellik gösteren denklemler de ilk olarak Cieszewski ve Bailey (2000) tarafından Genelleştirilmiş Cebirsel Fark Yaklaşımı (GCFY) adı altında geliştirilmişlerdir. CFY’nda modelin tek bir parametresi cebirsel olarak yeniden düzenlenirken, GCFY ile modelin en az iki parametresine cebirsel işlem uygulanmaktadır.

GCFY ile elde edilen dinamik bonitet endeks modelleri, farklı durumlar için farklı çözümler sunabilen dinamik bir yapıya sahiptirler. Geliştirilen bu modeller standart yaş değişmezlik özelliğine sahip olmakta ve elde edilen yaş-boy eğrileri birçok verim gücüne ilişkin büyüme kanuniyeti ile uyumlu sonuçlar göstermektedir. Sözü edilen büyüme kanuniyetleri Cieszewski ve Bailey (2000) tarafından aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- 1) Oluşturulan bonitet endeks eğrilerinin orjinden geçmesi ($t=0$ için $h=0$),
- 2) Farklı bonitet endekslerine ait eğrilerin seyrettikleri trendlerin farklı olması (polimorfizm),
- 3) Farklı bonitet endekslerine ilişkin maksimum boy değerlerinin yetiştirme ortamı verim gücüne göre değişmesi (çoklu asimptot),
- 4) Eğrilerin geniş S harfi şeklinde bir trend izlemesi,
- 5) Büyüme ile ilgili diğer kuramsal gerekçeler.

Yukarıda maddeler halinde verilen büyüme kanuniyetlerinden son sırada yer alan kuramsal gerekçeler büyüme ile ilgili genel kurallardır. Bu kabullerden birisi olarak “farklı verim gücüne ait bonitet endeks eğrilerinin maksimum boy artımına ulaşma yaşlarının yetiştirme ortamı verim gücü iyileştikçe azalması ve değer olarak da artması” kriteri çalışma kapsamında diğer büyüme kanuniyetlerinin yanında incelenmiştir.

Bu çalışmada yetiştirme ortamı verim gücünün belirlenmesi için GCFY ile elde edilmiş bonitet endeks modellerine dayanan “Polimorfik Yöntem” kullanılmıştır. Cieszewski (2002), Cieszewski (2004), Krumland ve Eng (2005) ve Dieguez-Aranda, Burkhart ve Rodriguez-Soalleiro (2005) tarafından çeşitli temel büyüme modellerinin (Hossfeld, Lundqvist-Korf, Bertalanffy-Richards, Weibull, King ve Pradon, Chapman-Richards, Schumacher, Log-Logistic, Cieszewski) GCFY’ na göre düzenlenmiş 3 değişkenli bonitet endeks modelleri ($h = f(t, t_0, h_0)$) kullanılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan 10 adet GCFY modeli ve bu denklemlerin geliştirildikleri temel büyüme modelleri Tablo 3.3.’de verilmiştir. Bu çalışma kapsamında, polimorfik yöntemle GCFY modellerinin geliştirilmesi için çalışma

alanlarından kesilmiş olan örnek ağaçlarda yapılan gövde analizi verileri kullanılmıştır.

Regresyon analizlerinde, hata terimlerinin ilişkisiz rassal değişkenler olduğu varsayımı esastır. Ancak, çoğu durumlarda araştırmacıların kontrolü dışında olan ve verilerin doğasında bulunan bazı özellikler nedeniyle bu varsayım sağlanamamaktadır. Özellikle, gözlemlerin ardışık zaman dilimlerinde toplandığı zaman serisi veriler ile çalışılırken bu durum sıklıkla gözlenmektedir. Zaman serisi verilerinde, hatalar birbiri ile ilişki olup, bu durum genellikle “ilişkili hatalar (correlated errors)” olarak isimlendirilirler. Bu şekilde ilişkili hataların, “otokorelasyonlu” veya “ardışık bağımlı (ilişkili)” oldukları bilinmektedir. Otokorelasyon ya da ardışık bağımlılık problemi iki değişken arasındaki ilişkiden değil, aynı değişkenin ardışık değerleri arasındaki ilişkiden kaynaklanmaktadır (Aydın, 2014). Polimorfik yöntemle bonitet endeks modellerinin geliştirilmesinde, gövde analizi verileri kullanılmaktadır ve bu veriler de ağaçların farklı yaşlardaki boy değerlerinden elde edilmektedir. Gövde analizinden elde edilen bu veri yapısı, zaman serisi özelliğine sahip olup, zamansal olarak birbirlerinin devamı olan bu veriler “*Otokorelasyon*” problemine sahiptirler (Ercanlı vd., 2014). Ormancılıkta, polimorfik yöntemle bonitet endeks modellerinin geliştirilmesinde kullanılan gövde analizi verilerinin sahip olduğu “otokorelasyon” probleminin çözümü için “*Otoregresif Modelleme*” önerilmektedir (Monserud, 1984; Gregoire, Schabenberger ve Barret, 1995; Parresol ve Vissage, 1998; Ercanlı vd., 2014). Otoregresif modelleme ile otokorelasyon probleminin etkisinin giderilip giderilmediğini belirlemek üzere “Durbin-Watson” test istatistiği hesaplanmaktadır. Durbin-watson katsayısı 0 ile 4 arasında bir değer almakta, 0’a yakın değerler pozitif, 4’e yakın değerler negatif korelasyon olduğunu ve 2’ye yakın değerler otokorelasyon probleminin olmadığını göstermektedir (Fox, 1997). Bu çalışmada da, zaman serisi özelliğindeki gövde analizi verilerindeki otokorelasyon probleminin tahminlerdeki olumsuz etkisini gidermek amacıyla otoregresif modelleme yapılmıştır ve Durbin-Watson test istatistiği hesaplanarak otokorelasyon probleminin etkisinin giderilip giderilmediği kontrol edilmiştir.

Çalışma kapsamında ilk olarak doğrusal olmayan regresyon analizi ile modeller geliştirilmiş, daha sonra da otoregresif modelleme ile var olan otokorelasyon probleminin etkisi giderilmeye çalışılmıştır. Modellerin parametrelerinin tahmin edilmesinde Levenberg-Marquardt tahmin yöntemi kullanılmıştır. Modellerin parametrelerinin tahminleri ve çeşitli istatistiksel bilgilerin hesaplanmasında ve otoregresif modellemenin gerçekleştirilmesinde SAS İstatistik Paket Programındaki PROC MODEL prosedürü kullanılmıştır (SAS Institute Inc., 2004).

Geliştirilen bonitet endeks modellerinin arasından en iyi modelin seçilmesinde; 5 farklı istatistiksel ölçüt kullanılmıştır. Bu ölçütler aşağıda verilmiştir.

$$\text{Hata Kareler Ortalaması (HKO)} = \frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \hat{h}_i)^2}{n} \quad (3.1)$$

$$\text{Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (HKOK)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \hat{h}_i)^2}{n}} \quad (3.2)$$

$$\text{Hata Kareler Toplamı (HKT)} = \sum_{i=1}^n (h_i - \hat{h}_i)^2 \quad (3.3)$$

$$\text{Düzeltilmiş Belirtme Katsayısı (} R_{düz}^2 \text{)} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \hat{h}_i)^2 (n-1)}{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h}_i)^2 (n-p)} \quad (3.4)$$

$$\text{Akaike Bilgi Ölçütü (AIC)} = n \cdot \ln \left(\frac{HKT}{n} \right) + 2k \quad (3.5)$$

Burada; h_i : i yaşında ölçülen üst boy değerini, \hat{h}_i : model ile tahmin edilen üst boy değerini, \bar{h}_i : ortalama üst boy değerini, n : model geliştirmede kullanılan veri sayısını, p : modelin parametre sayısını, k : modelde tahmin edilecek parametre sayısını ifade etmektedir.

En uygun bonitet endeks modeli, denenen denklemler içerisinde en yüksek $R_{düz}^2$ ve en düşük HKO, HKOK, HKT ile AIC değerlerine sahip olan denklem olarak seçilmiştir. Boy tahminlerinde en başarılı olarak belirlenen denklemin ayrıca, daha

önce ifade edilen verim gücüne ilişkin büyüme kanuniyetlerini sağlayıp sağlamadıkları da kontrol edilmiştir.

Tablo 3.3. Yetiştirme ortamı verim gücünün belirlenmesinde kullanılan GCFY modelleri ve türetildikleri temel büyüme modelleri

Temel Büyüme Modeli	GCFY Modeli	Model Numarası
<p><i>Hossfeld:</i></p> $h = \frac{a}{1 + bt^{-c}}$	$h = \frac{b_1 + X_0}{1 + b_2 X_0 t^{-b_3}}$ $X_0 = \frac{h_0 - b_1}{1 + b_2 h_0 t_0^{-b_3}}$	1
	$h = \frac{b_1 + X_0}{1 + b_2 / X_0 t^{-b_3}}$ $X_0 = \frac{1}{2} (h_0 - b_1 - \sqrt{(h_0 - b_1)^2 - 4 b_2 h_0 t_0^{-b_3}})$	2
<p><i>Lundqvist-Korf:</i></p> $h = a \cdot \exp(-bt^{-c})$	$h = \exp(X_0) \cdot \exp\left(-\left(b_1 + \frac{b_2}{X_0}\right) \cdot t^{-b_3}\right)$ $X_0 = \frac{1}{2} (b_1 t_0^{-b_3} + \ln h_0 + L_0)$ $L_0 = \sqrt{(b_1 t_0^{-b_3} + \ln h_0)^2 + 4 b_2 t_0^{-b_3}}$	3
<p><i>Bertalanffy-Richards:</i></p> $h = a (1 - \exp(-bt))^c$	$h = h_0 \left[\frac{1 - \exp(-b_1 t)}{1 - \exp(-b_1 t_0)} \right]^{(b_2 + \frac{b_3}{X_0})}$ $X_0 = \frac{1}{2} ((\ln h_0 - b_2 L_0) + \sqrt{(\ln h_0 - b_2 L_0)^2 - 4 b_3 L_0})$ $L_0 = \ln(1 - \exp(-b_1 t_0))$	4
	$h = \exp(X_0) [1 - \exp(-b_1 t)]^{(b_2 + 1/X_0)}$ $X_0 = \frac{1}{2} ((\ln h_0 - b_2 L_0) + \sqrt{(\ln h_0 - b_2 L_0)^2 - 4 L_0})$ $L_0 = \ln(1 - \exp(-b_1 t_0))$	5
<p><i>Weibull:</i></p> $h = a (1 - \exp(-b \cdot t^c))$	$h = \exp\left(X_0 + (b_1 + b_2 X_0) \ln(1 - \exp(-t^{b_3}))\right)$ $X_0 = \frac{\ln h_0 - b_1 \ln(1 - \exp(-t_0^{b_3}))}{1 + b_2 \ln(1 - \exp(-t_0^{b_3}))}$	6
<p><i>King ve Pradon:</i></p> $h = \frac{t^2}{a + bt + ct^2}$	$h = \frac{t^{b_1}}{b_2 + (b_3 R_0) + (R_0 t^{b_1})}$ $R_0 = \frac{\left(\frac{t_0^{b_1}}{h_0}\right) - b_2}{b_3 + t_0^{b_1}}$	7
<p><i>Chapman-Richards:</i></p> $h = a (1 - \exp(b \cdot t))^c$	$h = h_0 \left[\frac{(1 - \exp(-(b_2 \left(\frac{h_0}{t_0}\right)^{b_3} t_0^{b_4} t))}{(1 - \exp(-(b_2 \left(\frac{h_0}{t_0}\right)^{b_3} t_0^{b_4} t_0))} \right)^{b_1}$	8

Tablo 3.3. 'ün devamı

Temel Büyüme Modeli	GCFY Modeli	Model Numarası
<p><i>Schumacher:</i> $h = \exp(a + b t^c)$</p>	$h = \exp\left(X_0 - \left(\frac{b_1}{X_0}\right) t^{b_3}\right)$ $X_0 = \frac{1}{2} (\ln h_0 + \sqrt{(\ln h_0)^2 + 4b_1 t_0^{b_3}})$	9
<p><i>Log-Logistic:</i> $h = \frac{a}{1 + \exp(b + c \ln t)}$</p>	$h = \frac{b_1 + R_0}{1 + \left(\frac{b_2}{R_0}\right) \exp(b_3 \ln t)}$ $R_0 = \frac{1}{2} (h_0 - h_1) + \sqrt{(h_0 - h_1)^2 + 4b_2 [\exp b_3 \cdot \ln t_0] h_0}$	10

a, b, c ; temel büyüme modellerinin parametrelerini, b_1, b_2, b_3, b_4 ; GCFY ile elde edilen bonitet endeks modellerinin parametrelerini, t_0 ; standart yaşı, h_0 ; standart yaştaki üst boyu (bonitet endeksi), t ; ağaç yaşını ve h ; ağacın t yaşındaki üst boyunu göstermektedir.

4. BULGULAR

Bu çalışmada yetiştirme ortamı verim gücünün belirlenebilmesi amacıyla GCFY ile dönüştürülmüş dinamik bonitet endeks modelleri geliştirilmiştir. Modellerin parametreleri “Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi” ile tahmin edilmiştir. 1 no’lu, 9 no’lu ve 10 no’lu modeller için doğrusal olmayan regresyon analizi ile çözüm elde edilememiştir (No convergence). Bu denklemler bir sonraki analizlerde kullanılamamışlardır. Çözüme ulaşan ve parametreleri hesaplanabilen diğer modellerin (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 no’lu modeller) doğrusal olmayan regresyon analizi sonucunda elde edilen parametre tahmin değerleri, denklemlerin düzeltilmiş belirtme katsayıları ($R_{düz}^2$), hata kareler ortalaması (HKO), hata kareler ortalamasının karekökü (HKOK), hata kareler toplamı (HKT), Akaike bilgi ölçütü (AIC) ve Durbin-Watson test istatistiği (DW) değerleri Tablo 4.1.’de verilmiştir.

Doğrusal olmayan regresyon analizi sonucunda bonitet endeks modellerinin $R_{düz}^2$ değerleri; 0,8622-0,9739 aralığında, HKO değerleri; 1,1947-6,2883 aralığında, HKOK değerleri; 1,0912-2,5076 aralığında, HKT değerleri; 1609-8470 aralığında, AIC değerleri de; 239,64-2485,00 aralığında değişmektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, başarılı bulunan 2, 3, 4, 5 ve 6 no’lu modellerin tüm parametrelerinin 0,05 önem düzeyinde anlamlı olduğu görülmektedir. Tüm parametreleri anlamlı bu modellerden en yüksek $R_{düz}^2$ ve en düşük HKT, HKO, HKOK ve AIC değerleri 4 no’lu model ile elde edilmiş ve bunu sırası ile 5, 6, 3, 2 no’lu modeller izlemiştir (Tablo 4.1.).

Tablo 4.1. Doğrusal olmayan regresyon analizi sonucu elde edilmiş dinamik bonitet endeks denklemlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar

Model	$R^2_{düz}$	HKO	HKOK	HKT	AIC	DW	Parametreler	Tahmin	Standart Hata	t- değeri	P
2	0,8622	6,2883	2,5076	8470	2485,00	0,3586	b_1	34,8127	0,4832	72,04	<0,0001
							b_2	-81336,3	14652,3	-5,55	<0,0001
							b_3	2,4889	0,0489	50,90	<0,0001
3	0,9719	1,2846	1,1334	1730	341,10	0,3442	b_1	14,77811	1,0299	14,35	<0,0001
							b_2	-19,009	5,2024	-3,65	0,0003
							b_3	0,384647	0,0165	23,35	<0,0001
4	0,9738	1,1947	1,0930	1609	243,19	0,3535	b_1	0,013239	0,0005	28,35	<0,0001
							b_2	1,748456	0,1120	15,60	<0,0001
							b_3	-1,22344	0,3956	-3,09	0,0020
5	0,9734	1,2159	1,1027	1639	265,88	0,3491	b_1	0,01376	0,0005	30,76	<0,0001
							b_2	1,14146	0,0221	51,60	<0,0001
6	0,9726	1,2518	1,1188	1686	306,12	0,3438	b_1	14,38091	1,8629	7,72	<0,0001
							b_2	0,924325	0,4392	2,10	0,0355
							b_3	0,234749	0,0045	52,63	<0,0001
7	0,9735	1,2079	1,0990	1627	257,95	0,3474	b_1	1,38834	0,0194	71,50	<0,0001
							b_2	1,185128	1,0502	1,13	0,2593 ^{ns}
							b_3	505,6864	54,200	9,33	<0,0001
8	0,9739	1,1907	1,0912	1603	239,64	0,3578	b_1	1,335384	0,0327	40,83	<0,0001
							b_2	0,004513	0,0020	2,25	0,0247
							b_3	-0,20812	0,0683	-3,05	0,0024
							b_4	0,136494	0,0834	1,64	0,1021 ^{ns}

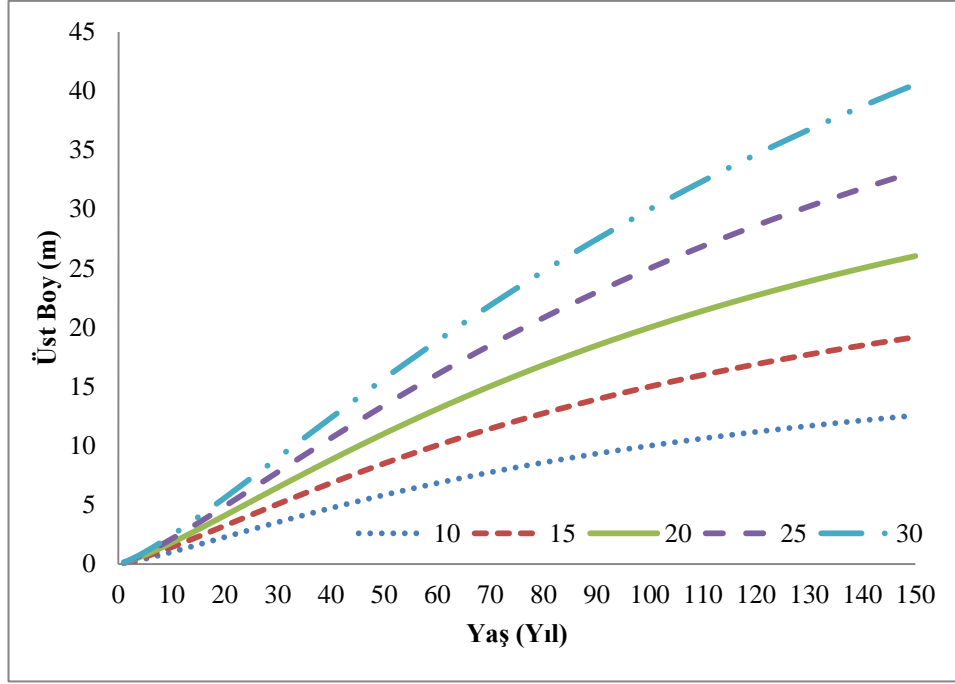
ns: 0,05 önem düzeyinde anlamlı değil

Boy değerlerini tahmin etmede tüm parametreleri anlamlı ve en başarılı olarak elde edilen 4 no'lu modelin $R^2_{düz}$ değeri 0,9738, HKO değeri 1,1947, HKOK değeri 1,0930, HKT değeri 1609 ve AIC değeri 243,19 olarak hesaplanmıştır. Parametreleri anlamlı bulunan 5 no'lu modelin büyüme kanuniyetlerine uygunlukları da grafik yöntemlerle incelenmiştir. Çalışmada denenen ve başarılı bulunan modellere ilişkin bonitet endeks eğrilerinin 150 ve 250 yıllık gelişimleri ve genel ortalama boy artımlarının bonitet endekslerine göre değişimleri grafiklerle açıklanmıştır (Grafik 4.1. – Grafik 4.15.). Bonitet endeks modellerinin büyüme kanuniyetlerine uygunluklarının incelenmesi için 5'er metre aralıklı 5 bonitet sınıfı oluşturulmuştur ve standart yaş 100 yıl alınarak bonitet endeks eğrileri çizilmiştir. Bonitet sınıflarının sınır değerleri Tablo 4.2.'de verilmiştir. Geliştirilen tüm modellerin bonitet endeks eğrileri verim gücüne göre değişen (polimorfizm) ve S biçiminde bir trend izlemekte, çoklu asimptot oluşturmaktadır (Grafik 4.1., Grafik 4.2., Grafik 4.4., Grafik 4.5., Grafik 4.7., Grafik 4.8., Grafik 4.10., Grafik 4.11., Grafik 4.13., Grafik 4.14.).

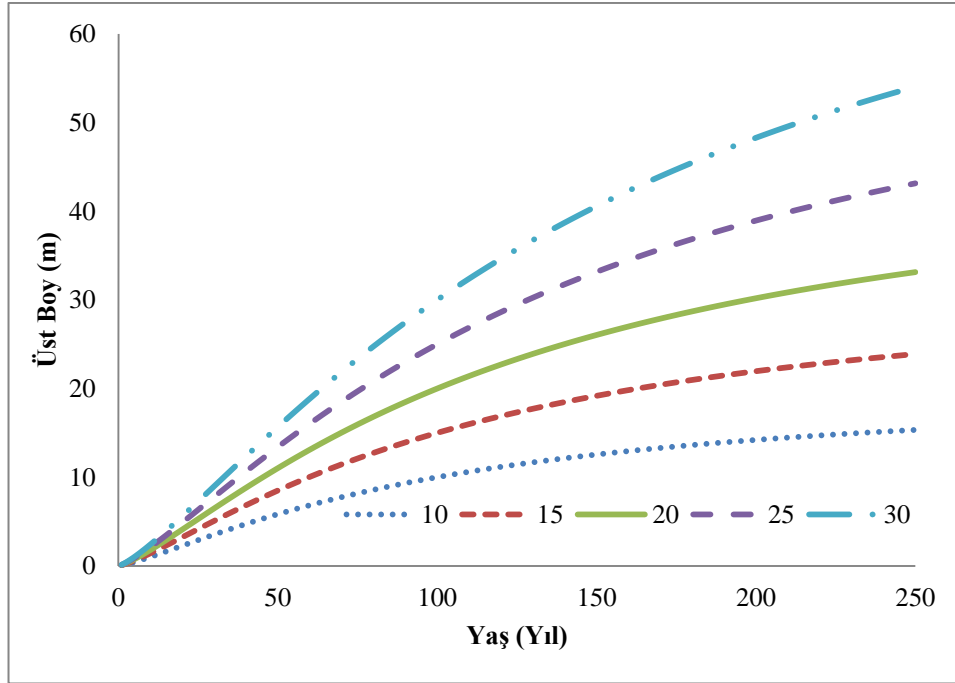
Ancak, 5 no'lu model hariç diğer tüm modellerde, verim gücü iyileştikçe maksimum genel ortalama boy artımları değer olarak artmasına rağmen, bu maksimum değere ulaşma süreleri azalması gerekirken artmıştır. Bu sonuç, iyi bonitetlerde, kötü bonitetlere göre daha geç yaşta maksimum boy artımının elde edilmesini ifade etmektedir ve büyüme kanuniyetlerine uygun değildir.

Tablo 4.2. *Bonitet endeks değerleri ve sınırları*

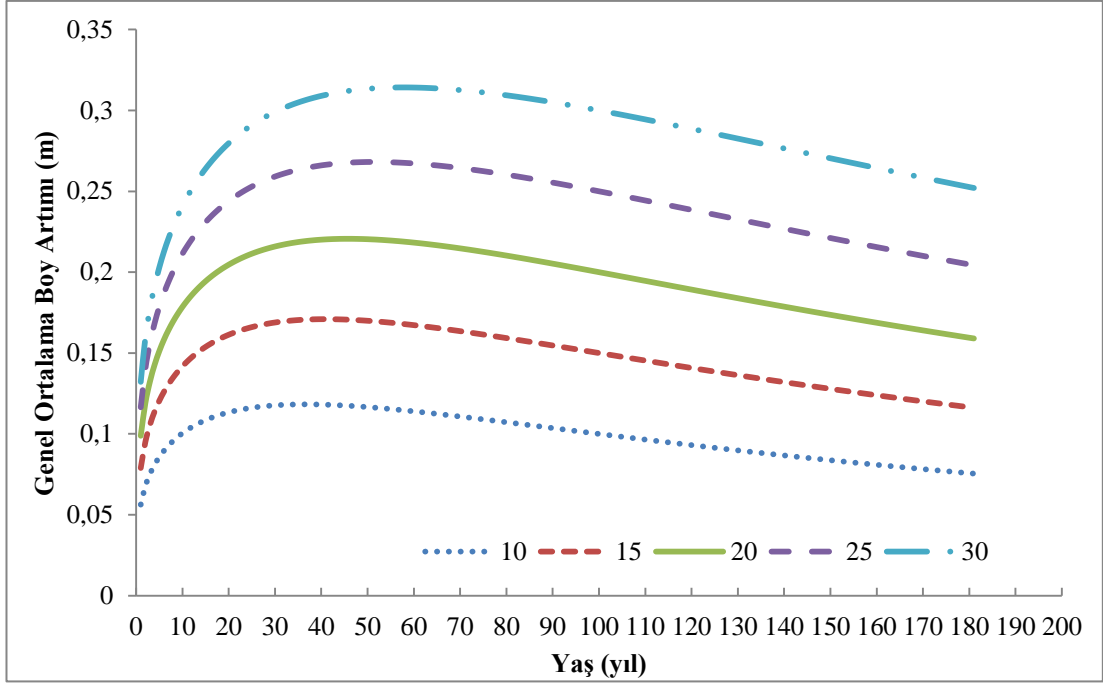
Bonitet Sınıfları	Orta Değer (m)	Alt ve Üst Sınır Değerleri (m)
I	30,00	27,51 – 32,50
II	25,00	22,51 – 27,50
III	20,00	17,51 – 22,50
IV	15,00	12,51 – 17,50
V	10,00	7,51 – 12,50



Grafik 4.1. Doğrusal olmayan regresyon analizi ile geliştirilen 2 no'lu modele ilişkin 150 yıllık gelişimi gösterir grafik



Grafik 4.2. Doğrusal olmayan regresyon analizi ile geliştirilen 2 no'lu modele ilişkin 250 yıllık gelişimi gösterir grafik



Grafik 4.3. Doğrusal olmayan regresyon analizi ile geliştirilen 2 no'lu model için genel ortalama boy artımının bonitet endeks değerlerine göre değişimi

2 no'lu modele ilişkin farklı bonitet endeks eğrilerinin genel ortalama boy artımları incelendiğinde;

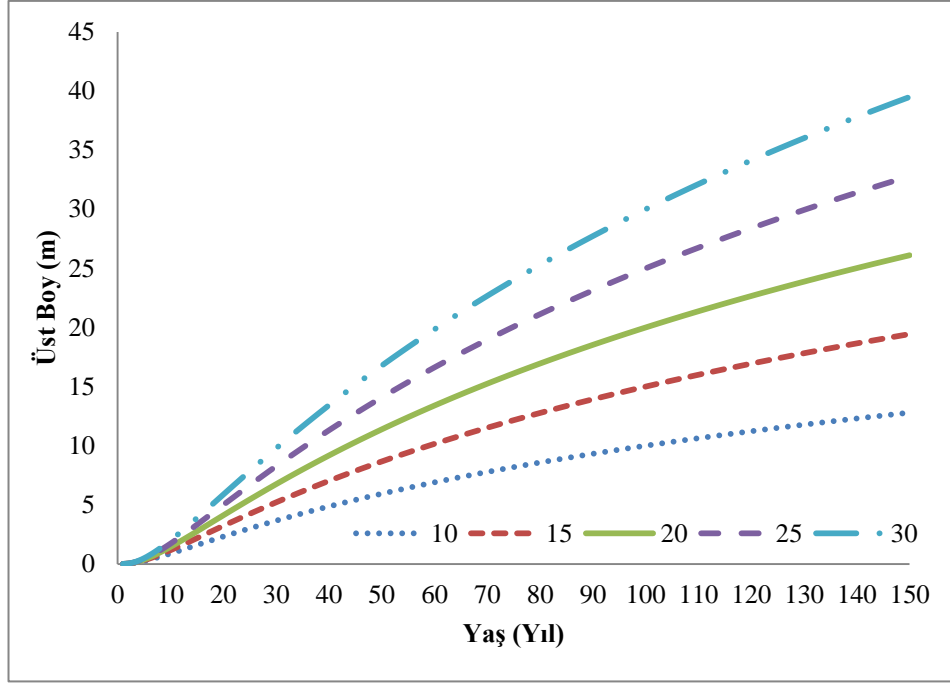
BE = 10 m için; 30 yaşında 0,1916 m,

BE = 15 m için; 33 yaşında 0,2621 m,

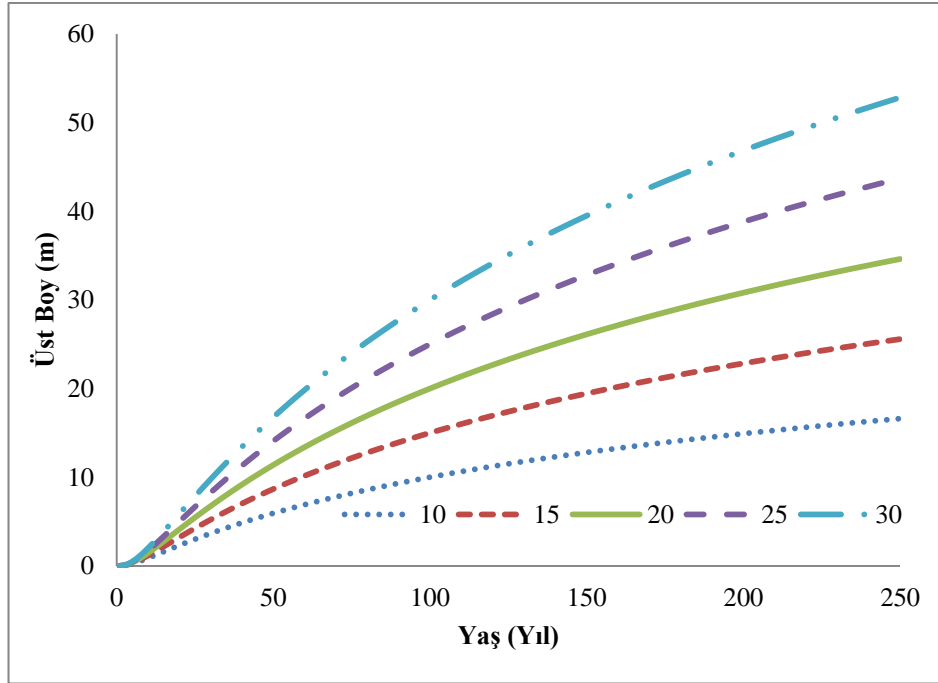
BE = 20 m için; 36 yaşında 0,3119 m,

BE = 25 m için; 41 yaşında 0,3371 m,

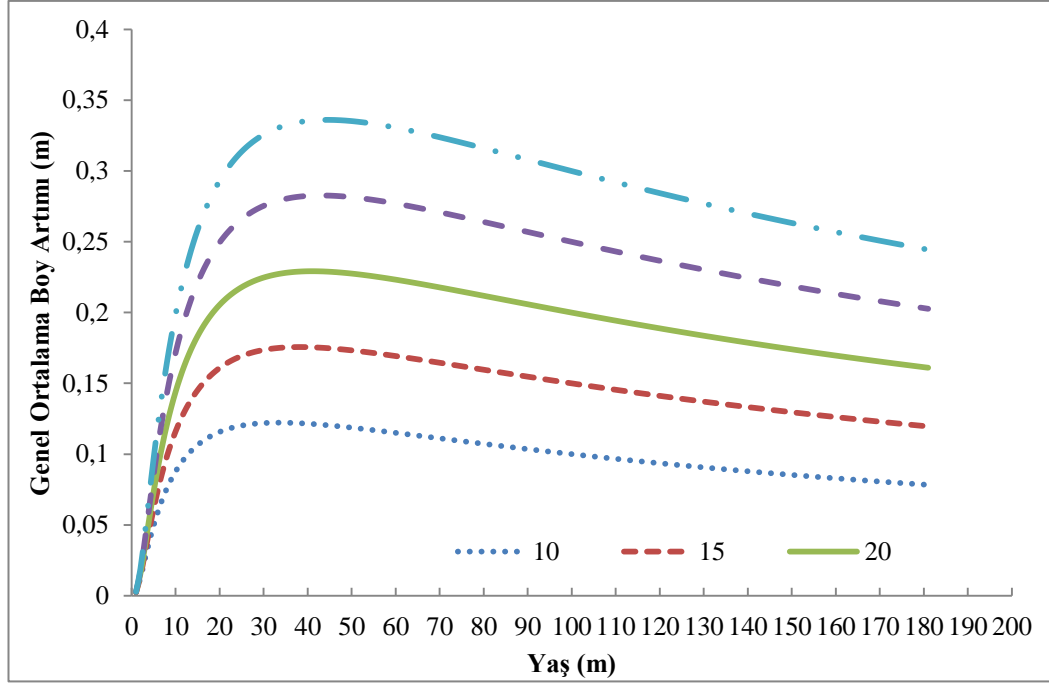
BE = 30 m için; 48 yaşında 0,3356 m maksimum boy artımı sağlanmıştır.



Grafik 4.4. Doğrusal olmayan regresyon analizi ile geliştirilen 3 no'lu modele ilişkin 150 yıllık gelişimi gösterir grafik



Grafik 4.5. Doğrusal olmayan regresyon analizi ile geliştirilen 3 no'lu modele ilişkin 250 yıllık gelişimi gösterir grafik



Grafik 4.6. Doğrusal olmayan regresyon analizi ile geliştirilen 3 no'lu model için genel ortalama boy artımının bonitet endeks değerlerine göre değişimi

3 no'lu modele ilişkin farklı bonitet endeks eğrilerinin genel ortalama boy artımları incelendiğinde;

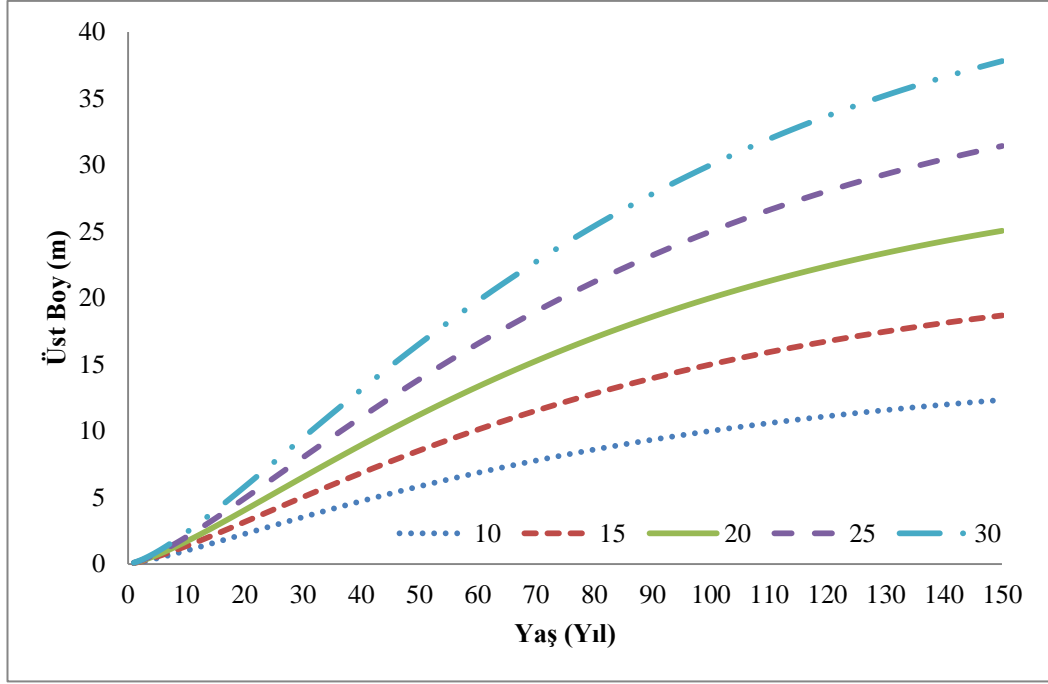
BE = 10 m için; 34 yaşında 0,1222 m,

BE = 15 m için; 38 yaşında 0,1756 m,

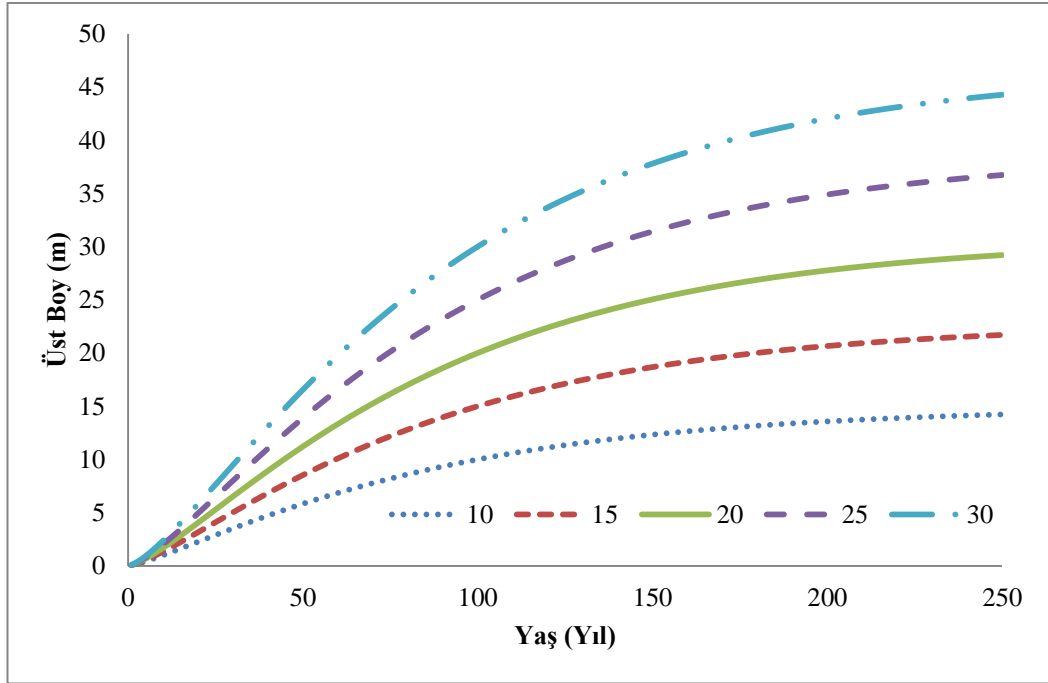
BE = 20 m için; 41 yaşında 0,2292 m,

BE = 25 m için; 43 yaşında 0,2828 m,

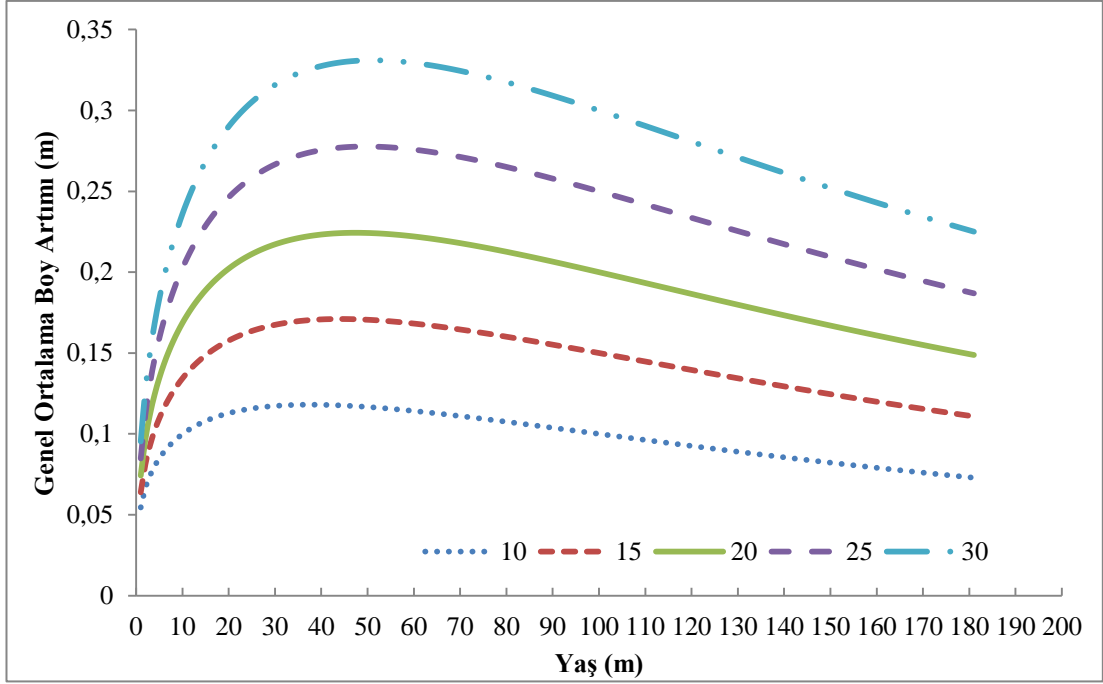
BE = 30 m için; 45 yaşında 0,3362 m maksimum boy artımı sağlanmıştır.



Grafik 4.7. Doğrusal olmayan regresyon analizi ile geliştirilen 4 no'lu modele ilişkin 150 yıllık gelişimi gösterir grafik



Grafik 4.8. Doğrusal olmayan regresyon analizi ile geliştirilen 4 no'lu modele ilişkin 250 yıllık gelişimi gösterir grafik



Grafik 4.9. Doğrusal olmayan regresyon analizi ile geliştirilen 4 no'lu model için genel ortalama boy artımının bonitet endeks değerlerine göre değişimi

4 no'lu modele ilişkin farklı bonitet endeks eğrilerinin genel ortalama boy artımları incelendiğinde;

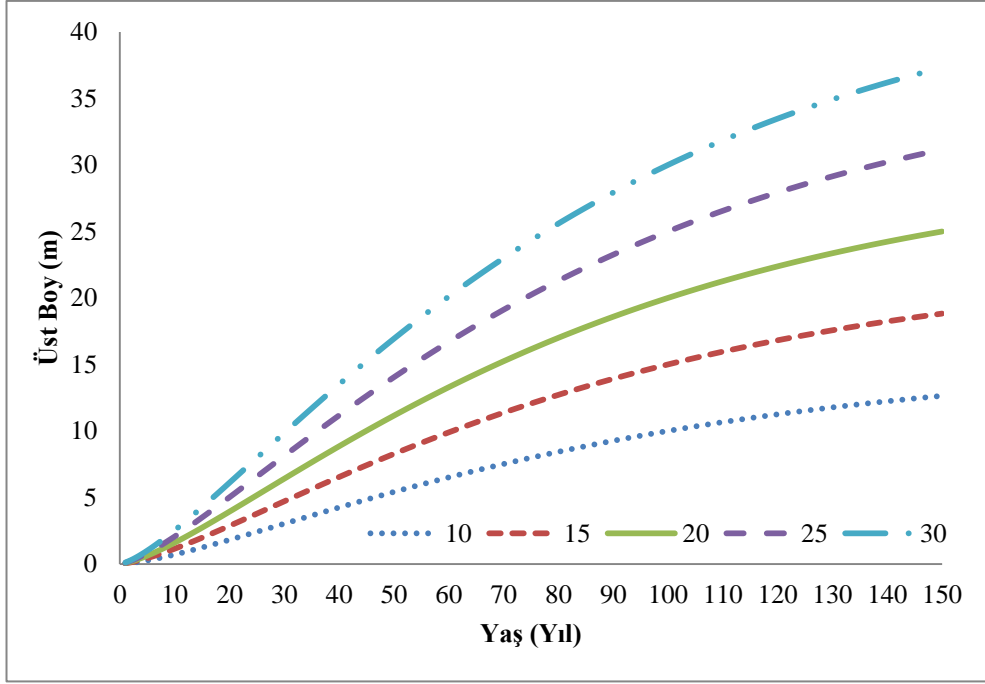
BE = 10 m için; 38 yaşında 0,1180 m,

BE = 15 m için; 44 yaşında 0,1710 m,

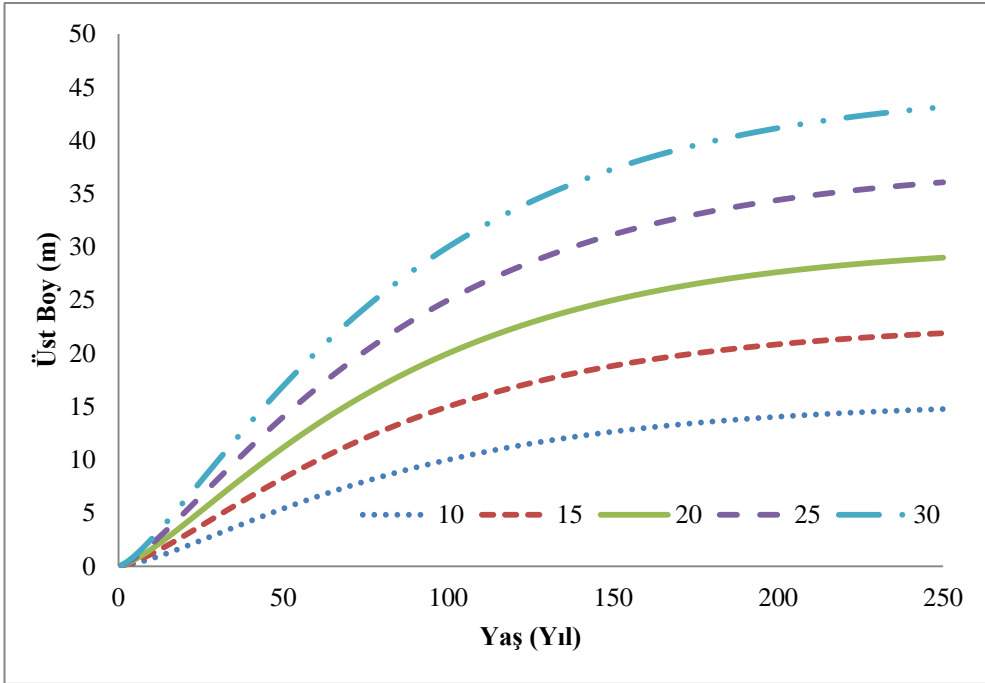
BE = 20 m için; 47 yaşında 0,2243 m,

BE = 25 m için; 50 yaşında 0,2777 m,

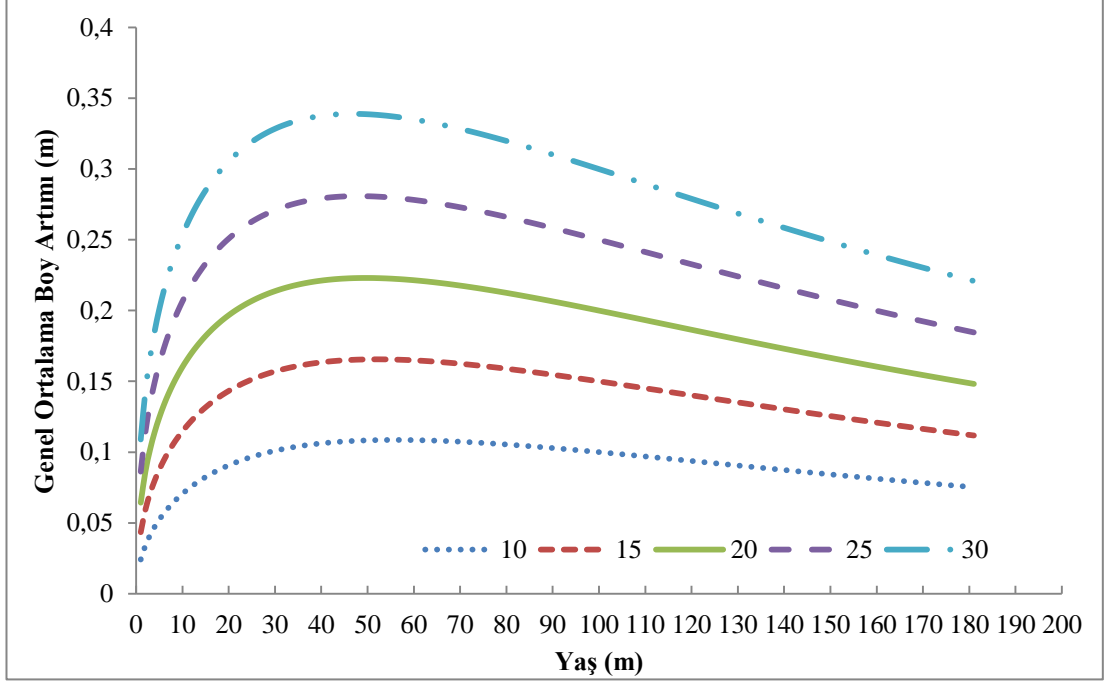
BE = 30 m için; 51 yaşında 0,3310 m maksimum boy artımı sağlanmıştır.



Grafik 4.10. Doğrusal olmayan regresyon analizi ile geliştirilen 5 no'lu modele ilişkin 150 yıllık gelişimi gösterir grafik



Grafik 4.11. Doğrusal olmayan regresyon analizi ile geliştirilen 5 no'lu modele ilişkin 250 yıllık gelişimi gösterir grafik



Grafik 4.12. Doğrusal olmayan regresyon analizi ile geliştirilen 5 no'lu model için genel ortalama boy artımının bonitet endeks değerlerine göre değişimi

5 no'lu modele ilişkin farklı bonitet endeks eğrilerinin genel ortalama boy artımları incelendiğinde;

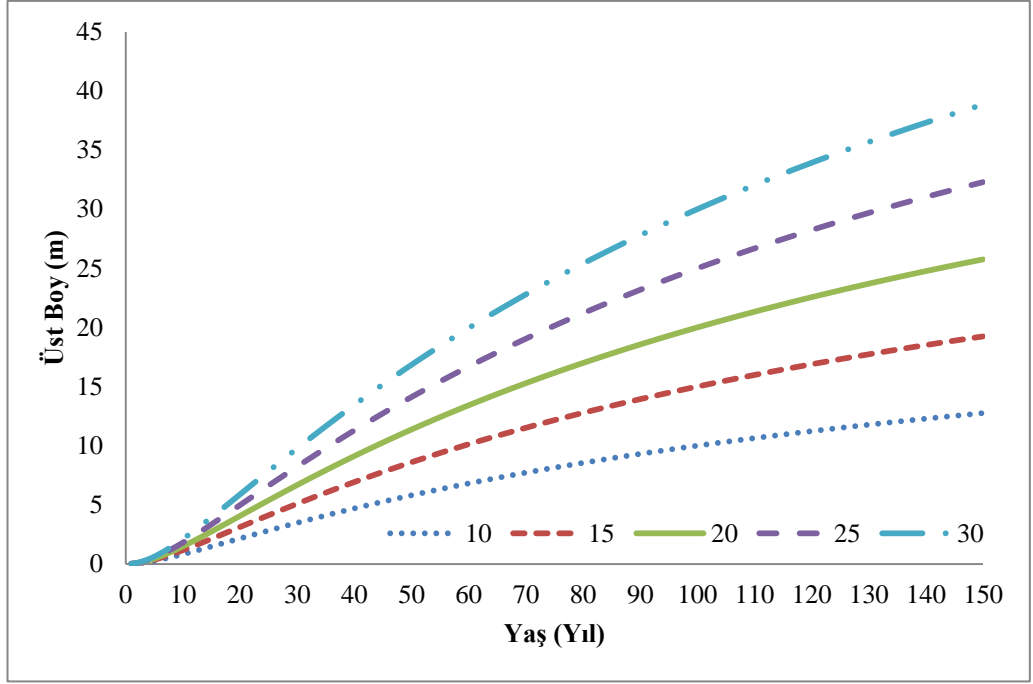
BE = 10 m için; 56 yaşında 0,1086 m,

BE = 15 m için; 52 yaşında 0,1656 m,

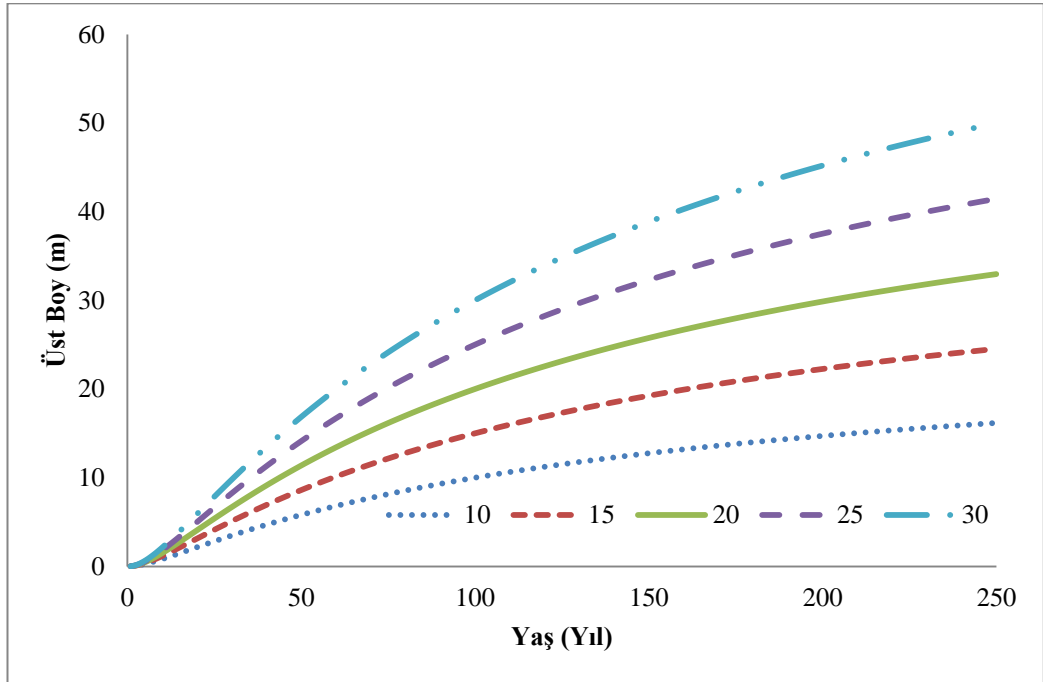
BE = 20 m için; 50 yaşında 0,2230 m,

BE = 25 m için; 48 yaşında 0,2809 m,

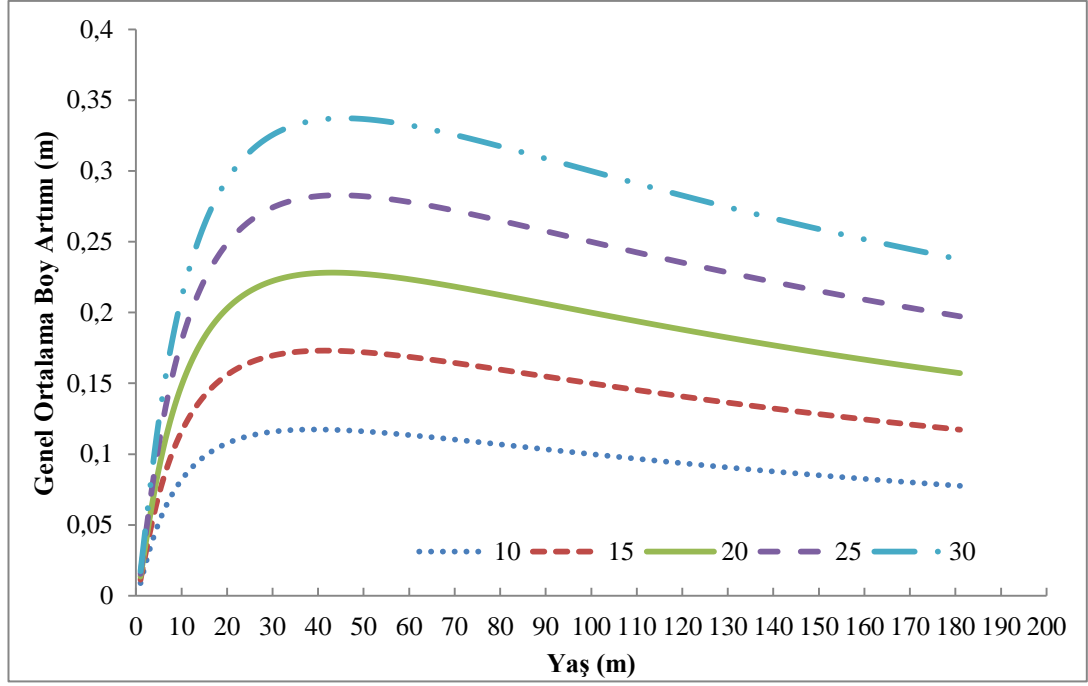
BE = 30 m için; 47 yaşında 0,3390 m maksimum boy artımı sağlanmıştır.



Grafik 4.13. Doğrusal olmayan regresyon analizi ile geliştirilen 6 no'lu modele ilişkin 150 yıllık gelişimi gösterir grafik



Grafik 4.14. Doğrusal olmayan regresyon analizi ile geliştirilen 6 no'lu modele ilişkin 250 yıllık gelişimi gösterir grafik



Grafik 4.15. Doğrusal olmayan regresyon analizi ile geliştirilen 6 no'lu model için genel ortalama boy artımının bonitet endeks değerlerine göre değişimi

6 no'lu modele ilişkin farklı bonitet endeks eğrilerinin genel ortalama boy artımları incelendiğinde;

BE = 10 m için; 39 yaşında 0,1174 m,

BE = 15 m için; 42 yaşında 0,1731 m,

BE = 20 m için; 43 yaşında 0,2282 m,

BE = 25 m için; 45 yaşında 0,2829 m,

BE = 30 m için; 46 yaşında 0,3373 m maksimum boy artımı sağlanmıştır.

Bertalanffy-Richards temel büyüme modelinden GCFY ile dönüştürülmüş olan 5 no'lu dinamik bonitet endeks modeli daha önce ifade edilen yetiştirme ortamı verim gücüne ilişkin tüm büyüme kanuniyetlerine uygun tahminler vermiştir. Bir başka ifade ile 5 no'lu model; polimorfizm, çoklu asimptot, eğrilerin S şeklinde trend izlemesi, eğrilerin orjinden geçmesi gibi büyüme kanuniyetlerini sağlamıştır. Diğer modellerde ise, maksimum boy artımının, verim gücü iyileştikçe değer olarak artmasının yanında, maksimum boy artımına ulaşma süreleri de artmaktadır (Grafik 4.3., Grafik 4.6., Grafik 4.9., Grafik 4.15.). 5 numaralı modelinin genel ortalama boy artımlarının farklı bonitet endeks eğrilerine göre değişimini gösteren grafikte (Grafik 4.12.) ise maksimum boy artımının verim gücü iyileştikçe değer olarak arttığı, maksimum olma yaşlarının da azaldığı görülmektedir.

Yetiştirme ortamı verim gücüne ilişkin büyüme yasalarından biri olan bonitet endeksi (BE) değeri arttıkça ve verim gücü iyileştikçe maksimum boy artımına ulaşma sürelerinin azalması maksimum boy artım değerinin de artması özelliğini sadece 5 no'lu model sağlamıştır. Böylece, doğrusal olmayan regresyon analizine ilişkin istatistiksel değerler ve büyüme kanuniyetlerinin birlikte incelenmesinin sonucunda; en başarılı denklem olarak Bertalanffy-Richards temel büyüme modelinden Cieszewski (2004) tarafından GCFY ile dönüştürülmüş olan 5 no'lu model seçilmiştir.

En başarılı olarak belirlenen 5 no'lu model, doğrusal olmayan regresyon analizi ile tahmin edilen parametreleri ile birlikte aşağıda verilmiştir.

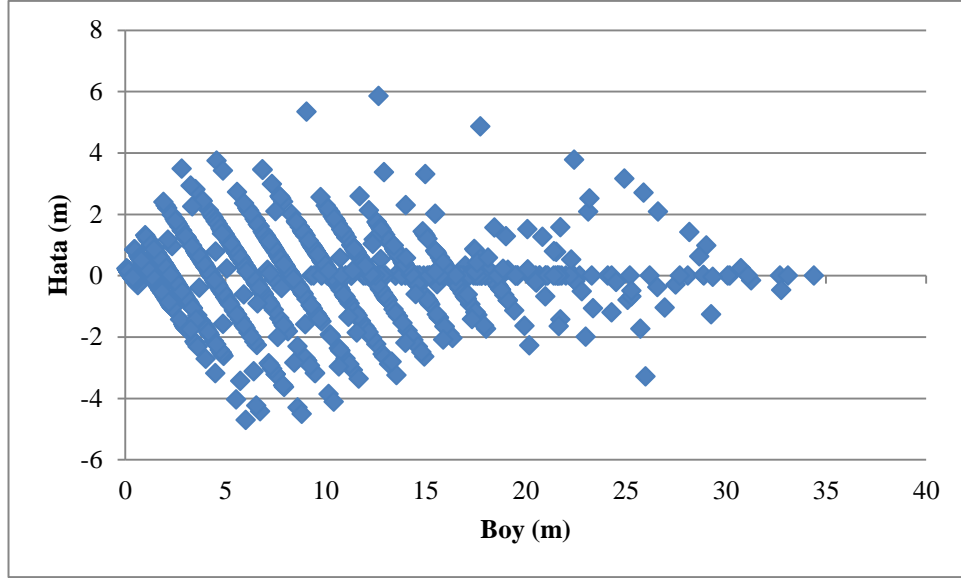
$$h = \exp(X_0) [1 - \exp(-0,01376 t)]^{(1,14146 + 1/X_0)}$$

$$X_0 = \frac{1}{2}((\ln h_0 - 1,14146 L_0) + \sqrt{(\ln h_0 - 1,14146 L_0)^2 - 4L_0})$$

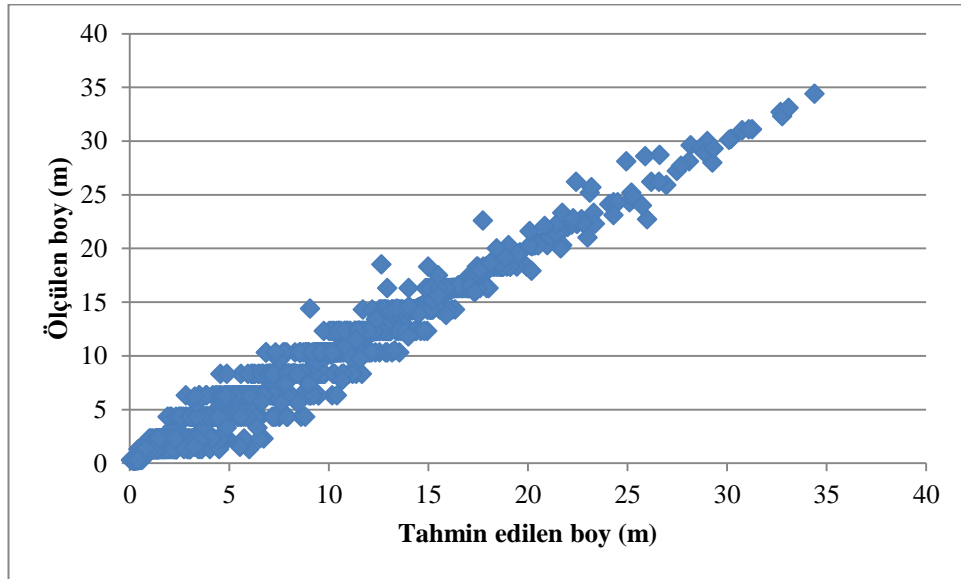
$$L_0 = \ln(1 - \exp(-0,01376 t_0))$$

Bu modelde; h: t yaşındaki ağaç boyunu (m), t: yaşı (yıl), h_0 : bonitet göstergesini (m), t_0 : standart yaşı (yıl) göstermektedir.

Doğrusal olmayan regresyon analizi ile geliştirilen 5 numaralı modelin “tahmin edilen boy-hata” ve “ölçülen boy-tahmin edilen boy” değerlerine ilişkin grafikler aşağıda verilmiştir (Grafik 4.16. ve Grafik 4.17.).



Grafik 4.16. Doğrusal olmayan regresyon analizi sonucu 5 no'lu modele ilişkin tahmin edilen boy-hata grafiği



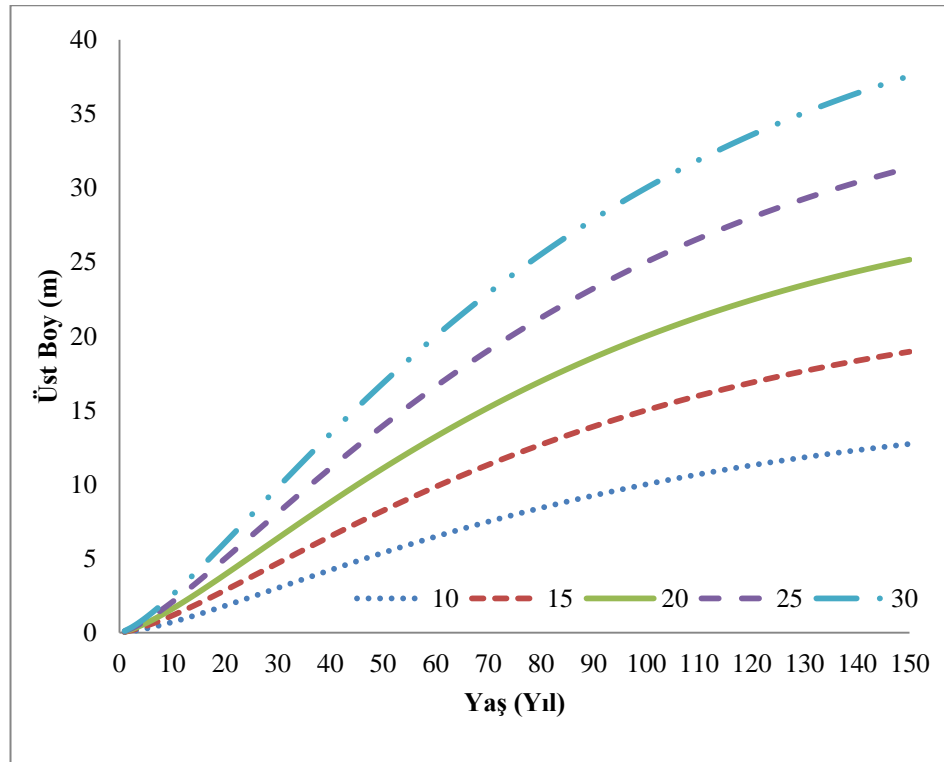
Grafik 4.17. Doğrusal olmayan regresyon analizi sonucu 5 no'lu modele ilişkin ölçülen ve tahmin edilen boy değerleri ilişkisi

Tablo 4.1.'de görüldüğü üzere, parametreleri anlamlı çıkan bütün dinamik bonitet endeks modellerinin DW test istatistikleri ideal değer olan 2'ye oldukça uzaktır. Bu bakımdan, çalışmada kullanılan verilerde güçlü derecede ve pozitif yönde bir otokorelasyonun bulunduğu görülmektedir. Farklı zamanlarda ölçülen boy değerlerinde oluşan bu otokorelasyon probleminin tahmin değerlerindeki olumsuz etkisi otoregresif modelleme ile giderilmeye çalışılmış ve DW değerlerinin ideal

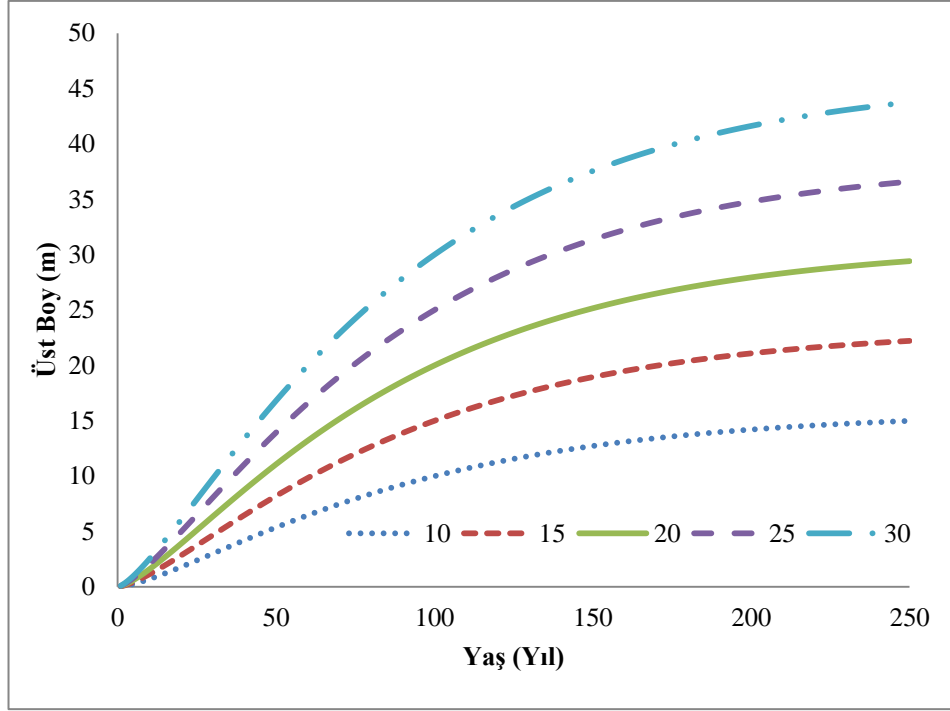
değer olan 2'ye yaklaştırılmasına çalışılmıştır. Otokorelasyon probleminin tahminlerdeki etkisinin giderilmeye çalışıldığı otoregresif modelleme ile hesaplanan modele ilişkin istatistik değerlerin, doğrusal olmayan regresyon analizi sonucunda hesaplanan değerlere oranla daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir (Tablo 4.3.).

Tablo 4.3. Otoregresif modelleme sonucu elde edilmiş 5 no'lu modele ilişkin istatistiksel sonuçlar

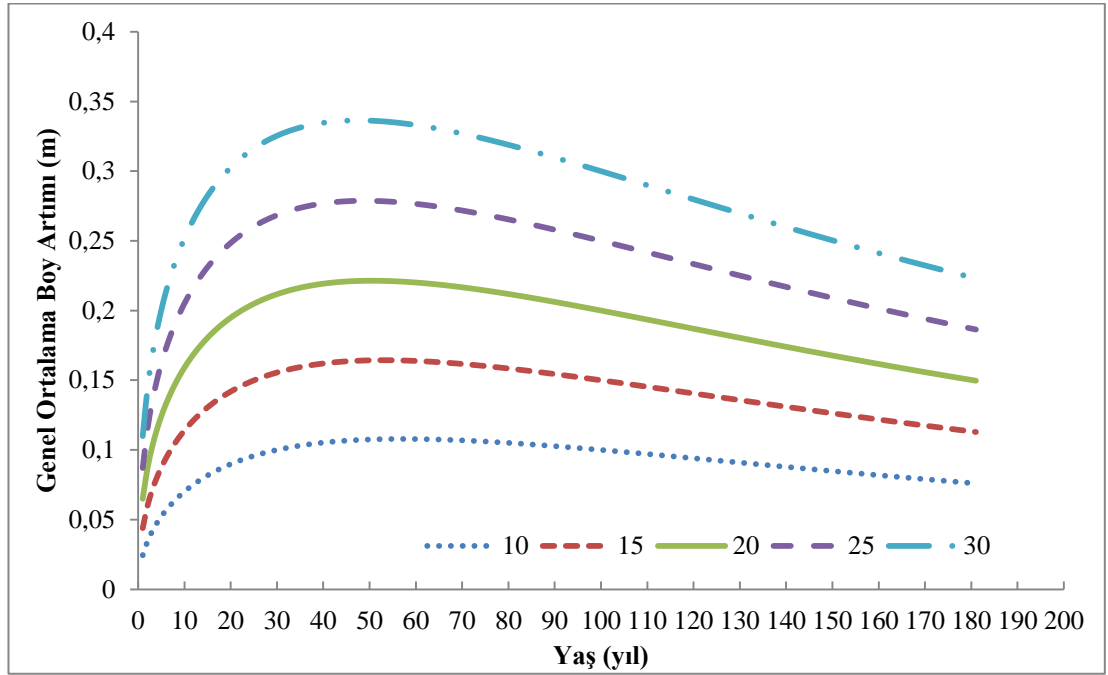
Model	$R^2_{düz}$	HKO	HKOK	HKT	AIC	DW	Parametreler	Tahmin	Standart Hata	t- değeri	p
M5	0,9916	0,3812	0,6174	513	-1302,24	2,0420	b_1	0,014351	0,0006	22,72	<0,0001
							b_2	1,166273	1,1663	36,04	<0,0001



Grafik 4.18. Otoregresif modelleme ile geliştirilen 5 no'lu modele ilişkin 150 yıllık gelişimi gösterir grafik



Grafik 4.19. Otoregresif modelleme ile geliştirilen 5 no'lu modele ilişkin 250 yıllık gelişimi gösterir grafik



Grafik 4.20. Otoregresif modelleme ile geliştirilen 5 no'lu model için genel ortalama boy artımının bonitet endeks değerlerine göre değişimi

5 no'lu modele ilişkin farklı bonitet endeks eğrilerinin genel ortalama boy artımları incelendiğinde;

BE = 10 m için; 56 yaşında 0,1090 m,

BE = 15 m için; 52 yaşında 0,1662 m,

BE = 20 m için; 50 yaşında 0,2230 m,

BE = 25 m için; 48 yaşında 0,2818 m,

BE = 30 m için; 47 yaşında 0,3401 m maksimum boy artımı sağlanmıştır.

Doğrusal olmayan regresyon analizi sonuçlarında olduğu gibi, otoregresif modelleme ile de yetiştirme ortamı iyileştikçe (BE değeri arttıkça) maksimum genel ortalama boy artım değerinin arttığı ve maksimum boy artımına ulaşma sürelerinin azaldığı görülmektedir (Grafik 4.20). Ayrıca, 5 no'lu model polimorfizm, çoklu asimptot, eğrilerin S şeklinde trend izlemesi gibi tüm büyüme kanuniyetlerine uygun sonuçlar vermektedir.

Otoregresif modelleme ile parametreleri tahmin edilen 5 no'lu dinamik bonitet endeks modeli aşağıda verilmiştir.

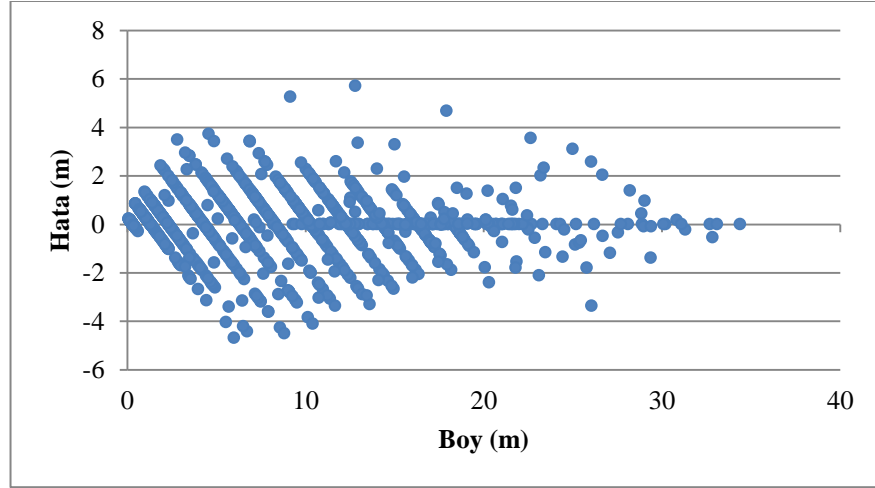
$$h = \exp(X_0) [1 - \exp(-0,014351 t)]^{(1,166273 + 1/X_0)}$$
$$X_0 = \frac{1}{2}((\ln h_0 - 1,166273 L_0) + \sqrt{(\ln h_0 - 1,166273 L_0)^2 - 4L_0})$$
$$L_0 = \ln(1 - \exp(-0,014351 t_0))$$

Bu modelde; h: t yaşındaki ağaç boyunu (m), t: yaşı (yıl), h_0 : bonitet göstergesini (m), t_0 : standart yaşı (yıl) göstermektedir.

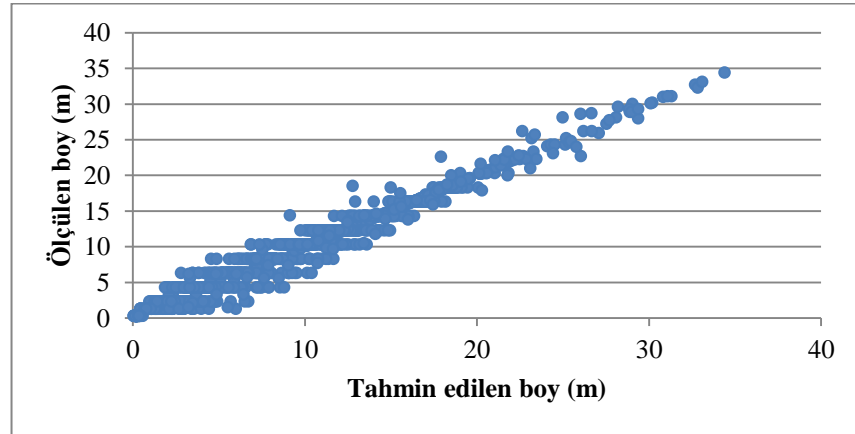
Çalışma kapsamında geliştirilen bu model ile ağaçların belirli bir standart yaş ve bonitet endeksi değerine göre çeşitli yaşlardaki boy değerleri tahmin edilebilmektedir. Bu model ile tahmin edilen boy değerleri ve daha sonra alınacak örnek alandaki ölçülecek yaş ve üst boy değerleri esas olmak üzere yetiştirme ortamı verim gücünün belirlenmesinde ve bonitet endeksinin (standart yaştaki üst boy) tahmin edilmesinde kullanılmak üzere bonitet endeks tablosu geliştirilmiştir. EK 1'de, 2 metre ve 10 yıl ara ile geliştirilen "Bonitet Endeks Tablosu" verilmiştir. Bu bonitet endeks tablosu kullanılarak daha sonraki dönemlerde alınacak örnek alanlara

ilişkin bonitet endekslerinin tahmin edilmesi ve yetiştirme ortamı verim gücünün belirlenmesi mümkün olabilecektir.

Otoregresif modelleme ile geliştirilen 5 no'lu modelin “tahmin edilen boy-hata” ve “ölçülen boy-tahmin edilen boy” değerlerine ilişkin grafikler aşağıda verilmiştir (Grafik 4.21. ve Grafik 4. 22.).



Grafik 4.21. Otoregresif modelleme sonucu 5 no'lu modele ilişkin tahmin edilen boy-hata grafiği



Grafik 4.22. Otoregresif modelleme sonucu 5 no'lu modele ilişkin ölçülen ve tahmin edilen boy değerleri ilişkisi

5. TARTIŞMA

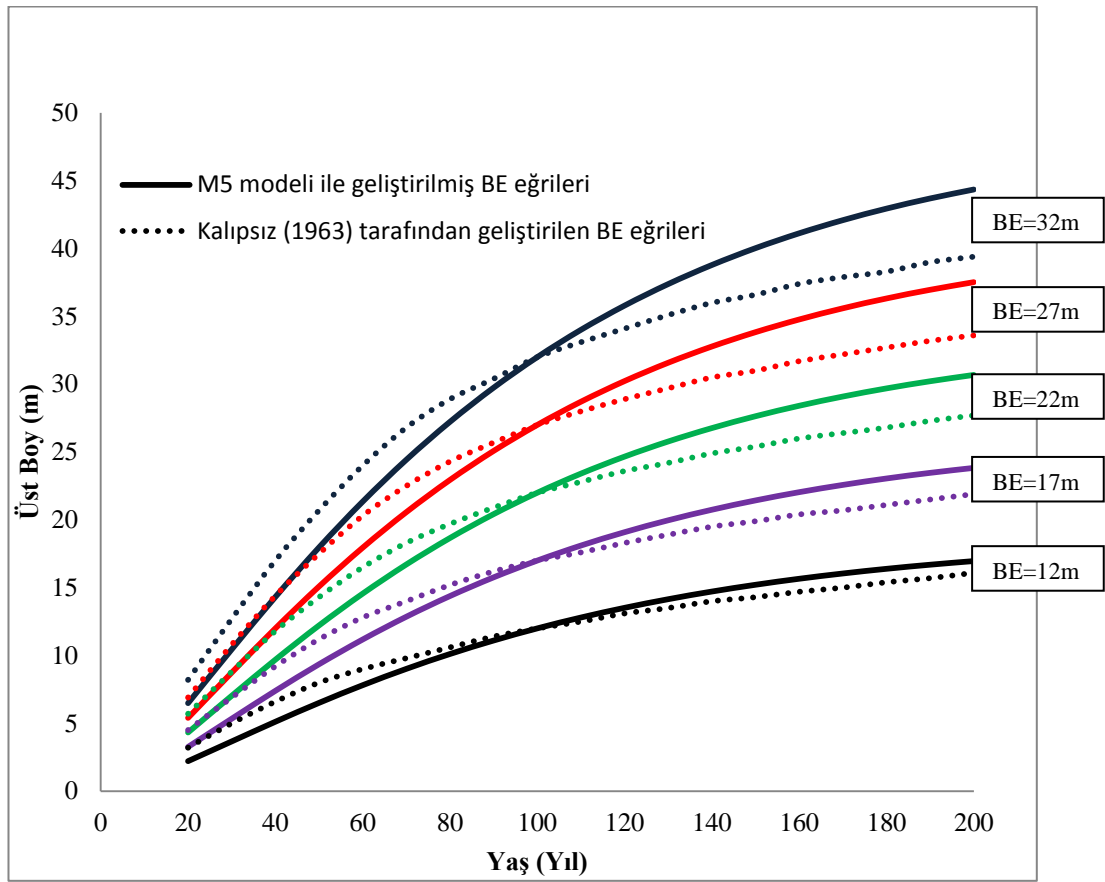
Bu çalışmada, Karaçam için yetiştirme ortamı verim gücü tahminlerinde kullanılmak üzere güncel ve yeni bir yöntem olan GCFY'na dayanarak dinamik bonitet endeks modeli geliştirilmiştir. Ülkemizde, Klasik yöntemin bir uygulaması olarak Kalıpsız (1963) tarafından Karaçam için anamorfik yöntemle yetiştirme ortamı verim gücü sınıflaması yapılmış ve bonitet endeks tablosu üretilmiştir. Bu tablo, günümüze kadar Karaçamın Türkiye'de yayılış yaptığı eşityaşlı, saf ve normal kapalı meşcerelerin yetiştirme ortamı verim gücü sınıflarının belirlenmesinde kullanılmaya gelmiştir.

Bu çalışmada, otoregresif modellemenin kullanılması ile otokorelasyonun tahminlerdeki olumsuz etkisi giderilmiştir. Otokorelasyonun etkisinin giderilmesi ile belirtme katsayısı; 0,9734'den 0,9916'a yükselirken, HKO 1,2159'dan 0,3812'e, HKOK 1,1027'den 0,6174'e, HKT 1639'dan 513'e, AIC 265,88'den -1302,24'e düşmüş, DW istatistiği ise 0,3491'den 2,0420'ye yükselmiştir. Bu değerler dikkate alındığında; otoregresif modelleme ile model başarı ölçütlerinde önemli iyileşmeler elde edilmiştir.

GCFY ile geliştirilmiş dinamik bonitet endeks modellerinden başarılı bulunan 5 no'lu model ile Kalıpsız (1963) tarafından geliştirilen bonitet endeks eğrilerine ilişkin değerler istatistiksel ve grafiksel olarak karşılaştırılmıştır. İstatistiksel olarak bonitet endeks eğrilerinin karşılaştırılması, parametrik olmayan testlerden *Wilcoxon İşaret Testi* ile yapılmıştır. Wilcoxon İşaret Testine göre Kalıpsız (1963) ile bu çalışmada elde edilen bonitet endeks eğrileri V. bonitet hariç, tüm bonitet sınıfları için % 5 önem düzeyi ile farklıdır (Tablo 5.1.). Kalıpsız (1963) ile bu çalışma kapsamında oluşturulan bonitet endeks eğrileri grafiksel olarak karşılaştırıldığında da, Kalıpsız (1963) ile yapılan üst boy tahminlerinin 100 yaşına (standart yaş) kadar 5 no'lu modelin yaptığı tahminlerden yüksek, 100 yaşından sonra ise düşük değerler aldığı belirlenmiştir (Grafik 5.1.).

Tablo 5.1. 5 no'lu model ile Kalıpsız (1963) bonitet endeks değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin Wilcoxon testi sonuçları

BE	Bonitet Sınıfı	Z	p
32,0	I	-12,535	0,000
27,0	II	-11,667	0,000
22,0	III	-12,535	0,000
17,0	IV	-12,535	0,000
12,0	V	-1,282	0,200



Grafik 5.1. 5 numaralı model ile Kalıpsız (1963) bonitet endeks değerlerinin karşılaştırılması

Ercanlı (2010) tarafından Trabzon ve Giresun Orman Bölge Müdürlükleri sınırları içerisinde yer alan Doğu Ladini-Sarıçam karışık meşcerelerinde yapılan çalışmada her iki tür için de CFY ile dinamik bonitet endeks modelleri geliştirilmiştir. 7 adet CFY modelinin denendiği çalışmada hem Doğu Ladini ($R^2 = 0,956$) hem de Sarıçam ($R^2 = 0,946$) için en uygun bonitet endeks modeli olarak Chapman-Richards modeli seçilmiştir. Kahrıman (2011) tarafından Karadeniz Bölgesi Sarıçam-Doğu Kayını

karişik meşcereleri için yapılan çalışmada her iki ağaç türü için dinamik bonitet endeks modelleri geliştirilmiştir. Bu amaçla, 17 adet CFY ve 12 adet GCFY modeli incelenmiştir. Sarıçam ($R^2 = 0,956$) ve Doğu Kayını ($R^2 = 0,956$) türleri için Hossfeld modeli en başarılı bonitet endeks modeli olarak bulunmuştur. Her iki çalışmada da en başarılı seçilen ilgili modeller tüm büyüme kanuniyetlerine uygun özellikler göstermektedir. 10 adet GCFY modelinin denendiği bu çalışmada da Chapman-Richards temel büyüme modelinin GCFY ile dönüştürülmüş model formu incelenmiştir. Ancak, Chapman-Richards modeli için istatistiksel olarak en iyi değerlerin elde edilmesine rağmen, büyüme kanuniyetlerinden birisi olan “maksimum boy artımının, verim gücü iyileştikçe değer olarak artmasının yanında, maksimum boy artımına ulaşma sürelerinin azalması” kriteri sağlanamadığı için Chapman-Richards modeli bu çalışmada uygun model olarak seçilmemiştir. En başarılı bonitet endeks modelleri bakımından yukarıda sözü edilen çalışmalar (Ercanlı, 2010; Kahrıman, 2011) ile bu çalışma arasındaki farklılığın temel sebeplerinin ağaç türü, yöre ve veri yapılarındaki farklılıklar olduğu düşünülmektedir.

Şenyurt ve Ercanlı (2013) tarafından Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü'nde Sarıçam ağaç türü için GCFY ile bonitet endeks modellemesi yapılmıştır. Yapılan çalışmada istatistiksel ölçütlere göre en iyi sonuçları veren ve büyüme kanuniyetlerine uygun olan Bertalanffy-Richards modeli en uygun dinamik bonitet endeks modeli seçilmiştir. Bunun yanında, Ercanlı vd. (2014) tarafından Batı Karadeniz Bölgesi Sarıçam-Doğu Kayını meşcerelerinde yapılan çalışmada da Doğu Kayını ağaç türü için en başarılı GCFY modeli Bertalanffy-Richards modeli bulunmuştur ($R^2 = 0,959$). Aynı çalışmada, Sarıçam ağaç türü için de en iyi sonuçları Hossfeld GCFY modeli sağlamıştır. Sarıçam (Şenyurt ve Ercanlı, 2013) ve Doğu Kayını (Ercanlı vd., 2014) ağaç türleri için Bertalanffy-Richards temel büyüme modelinden GCFY ile dönüştürülen bonitet endeks modeli, bu çalışmada olduğu gibi en başarılı model olarak seçilmiştir.

Ercanlı vd. (2014) tarafından Çankırı yöresi Sarıçam meşcereleri için otoregresif modelleme ile dinamik bonitet endeks modelleri geliştirilmiştir ve en başarılı model Hossfeld büyüme modeli bulunmuştur ($R^2 = 0,9449$). Yapılan çalışmada otoregresif

modelleme ile DW test istatistiği 1,2890'dan 1,9903'e çıkarılarak otokorelasyon problemi giderilmiştir. Ercanlı vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada olduğu gibi bu çalışmada da otoregresif modelleme uygulanmış, ancak en başarılı büyüme modeli olarak Bertalanffy-Richards modeli ne çıkmıştır. Bu durumun, daha önce bahsedildiği gibi ağaç türü, yöre ve veri yapılarındaki farklılıklardan kaynaklandığı söylenebilir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Hazırlanan bu yüksek lisans tezi kapsamında, Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü'nde yayılış gösteren Karaçam meşcereleri için GCFY ile elde edilmiş dinamik bonitet endeks modelleri geliştirilmiştir. GCFY ile geliştirilen 10 adet bonitet endeks modelinin kullanıldığı bu çalışmada, doğrusal olmayan regresyon analizi ile elde edilen tahminlerde, gövde analizi verilerinin kullanılması nedeniyle önemli bir otokorelasyon probleminin olduğu belirlenmiştir. Zaman serisi özelliğindeki gövde analizi verilerinin doğasında var olan otokorelasyon problemi, otoregresif modelleme ile giderilmeye çalışılmış ve DW test istatistik değerleri ideal değer olan 2'ye oldukça yakın değerler elde edilmesi ile otokorelasyon probleminin tahminlerdeki etkisinin önemli oranda giderildiği görülmüştür. Otoregresif modelleme yapıldıktan sonra istatistiksel başarı ölçütleri ve büyüme kanuniyetlerine uygunluklar değerlendirilmiş ve en başarılı model Bertalanffy-Richards bonitet endeks modeli olarak belirlenmiştir ($R_{düz}^2 = 0,9916$).

Uluslararası ormancılık literatürüne ilk defa Cieszewski ve Bailey (2000) ile giren GCFY ile standart yaşa bağlı değişmezlik özelliğine sahip dinamik bonitet endeks modelleri, ülkemizde de ilk olarak Yavuz vd. (2010) tarafından kullanılmaya başlanmıştır. Gerek uluslararası ve gerekse ulusal literatürde oldukça yeni ve güncel olan bu modellerin geliştirilmesi ülkemiz asli orman ağacı türleri için önemli bir gereksinimdir. Ülkemiz ormancılığında geçmişten günümüze kadar klasik bonitetleme yöntemleri kullanılarak yapılan yetiştirme ortamı verim gücü (bonitet) tahminlerinin, daha güncel ve daha etkin sonuçlar veren modern yöntemlerle yapılması oldukça önemlidir. Sabit bir standart yaş belirlemek yerine model yapısındaki “ t_0 ” değişkeni ile farklı amaçlarda farklı standart yaşlar için tahminde bulunabilme özelliğine sahip dinamik modellerin başta ülkemiz asli orman ağacı türleri olmak üzere tüm ağaç türleri için geliştirilmesi önemli katkılar sağlayacaktır.

Otoregresif modelleme yaklaşımı ile geliştirilen GCFY modelleri, doğrusal olmayan regresyon analiziyle geliştirilen modellerde mevcut olan otokorelasyon probleminin

tahminlerdeki olumsuz etkisini önemli oranda gidermektedir. Özellikle dinamik piyasa şartları ve işletme politikalarıyla bir bölgedeki herhangi bir ağaç türü için idare süresi, buna bağlı olarak da standart yaş değeri değişebilmektedir. Bu sebepten dolayı, asli orman ağacı türlerimiz için aynı model yapısı ile farklı standart yaşlar için tahminler sunma özelliğine sahip olan GCFY modellerinin geliştirilmesi gerekmektedir. GCFY modellerinin geliştirilmesi sırasında otokorelasyon sorununun tahminlerdeki etkilerinin giderilmesi ve modellerin istatistiksel başarılarının artırılabilmesi için otoregresif modelleme yaklaşımının kullanılması da önem taşımaktadır.

Bu çalışmanın, yalnızca Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde bulunan Karaçam meşcereleri için geçerli olduğu düşünülürse, bu ağaç türünün en geniş yayılışa sahip ağaç türü olduğu Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü için ve ayrıca Türkiye'deki tüm Karaçam meşcereleri için geçerli dinamik bonitet endeks modellerinin geliştirilmesi, ormancılık uygulamalarına önemli katkılar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Adame, P., Canellas, I., Roig, S. & D.Rio, M. (2006). Modelling Dominant Height Growth and Site Index Curves for Rebollo Oak (*Quercus pyrenaica* Willd.). *Annals of Forest Science*, 63, 929-940.
- Akalp, T. (1976). Türkiye'deki Doğu Ladini Ormanlarında Hasılat Araştırmaları. *İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları*, 26(1), 9-46.
- Akalp, T. (1978). Anamorfik ve Polimorfik Yöntemlerle Bulunmuş Bonitet Eğrilerinin Karşılaştırılması. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 28 (1), 213-232.
- Akkemik, Ü. (2014). Türkiye'nin Doğal-Egzotik Ağaç ve Çalıları -I. *Orman Genel Müdürlüğü Yayınları*, 187-188.
- Alemdağ, İ.Ş. (1962). Türkiye'deki Kızılçam Ormanlarının Gelişimi, Hasılatı ve Amenajman Esasları, *Ormancılık Araştırma Enstitüsü Teknik Bülten*, No: 11, Ankara.
- Alemdağ, İ.Ş. (1967). Türkiye'deki Sarıçam Ormanlarının Kuruluşu, Verim Gücü ve Bu Ormanların İşletilmesinde Takip Edilecek Esaslar. *Ormancılık Araştırma Enstitüsü Teknik Bülten*, No: 20.
- Anta, M.B. & Dieguez-Aranda, U. (2005). Site Quality of Pedunculate Oak (*Fagus robur* L.) Stands in Galicia (Northwest Spain), *European Journal of Forest Research*, 124, 19-28.
- Asan, Ü. (1984). Kazdağı Göknarı (*Abies equi-Trojani* Aschers Et Sinten) Ormanlarının Hasılat ve Amenajman Esasları Üzerine Araştırmalar. Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Asan, Ü. (1987). Batı Karadeniz Yöresindeki Doğu Kayını Ormanlarında Bonitet Araştırmaları. *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, 37, 106-130.
- Asan, Ü. (1990). Sürgün Kökenli Kayın Ormanlarında Bonitet Araştırmaları. *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, 40(2), 70-90.
- Aydın, A.C. (2008). Antalya İli Sedir Ormanlarında Polimorfik Yöntemle Meşcere Verim Gücünün Saptanması. Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Trabzon.
- Aydın, D. (2014). *Uygulamalı Regresyon Analizi, Kavramlar ve R Hesaplamaları*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti.
- Bailey, R.L. & Clutter, J.L. (1974). Base-Age Invariant Polymorphic Site Curves. *Forest Science*, 20, 155-159.

- Batu, F. & Kapucu, F. (1995). Doğu Karadeniz Bölgesi Kızılağaç Meşcerelerinde Bonitet Endeksi ve Hasılat Tablosunun Düzenlenmesi. *KTÜ, 1. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, Bildiriler 4. Cilt*, 349-362, Trabzon.
- Bayburtlu, Ş. (2007). Titrek Kavak (*Populus tremula* L.) Hacim ve Bonitet Endeks Tablolarının Düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Trabzon.
- Bilgili, F. (2007). Titrek Kavak (*Populus tremula* L.) Meşcereleri İçin Normal Hasılat Tablosu. Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Trabzon.
- Birler, A.S. (1983). 'I-214' Melez Kavağı Plantasyonlarında Hasılat Araştırmaları. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Birler A.S. & Yüksel Y. (1983). Sahil Çamı (*Pinus pinaster* Ait.) Ağaçlandırma Meşcerelerinde Hasılat Araştırmaları, *Kavak ve Hızlı Gelişen Yabancı Tür Orman Ağaçları Enstitüsü Yayınları*, No:19.
- Birler, A.S., Kocar, S., Avcıoğlu, E., Diner, A., Gürses, K. & Gülbaba A. G. (1995). Okaliptüs Ağaçlandırmalarında Hacim ve Kuru Madde Hasılatı. *Kavak ve Hızlı Gelişen Yabancı Tür Orman Ağaçları Enstitüsü Yayınları*, No:171.
- Bravo-Oviedo, A., Rio, M.D. & Montero, G. (2007). Geographic Variation and Parameter Assesment in Generalized Algebraic Difference Site Index Modelling, *Forest Ecology and Management*, 247, 107–119.
- Brickell, T.E. (1968). A Method for Constructing Site Index Curves From Measurements of Tree Age and Height - Its Application to Inland Douglas-Fir. *Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Intermountain Forest and Range Experiment' Station*.
- Bull, H. (1931). The Use of Polymorphic Curves in Determining Site Quality in Young Pine Plantation. *Journal of Agriculture*, 43, 1-27.
- Carmean, W.H. & Lenthal, D.J. (1989). Height Growth and Site-Index Curves for Jack Pine in North Central Ontario, *Canadian Journal of Forestry Research*, 19, 215-224.
- Carus, S. (1998). Aynı yaşlı Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) Ormanlarında Artım ve Büyüme. Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Carus, S. (2006). Isparta Yöresi Anadolu Karaçamı [*Pinus nigra* Arnold subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe] Meşcerelerinde Artım ve Büyüme. *SDÜ BAP Sonuç Raporu*, 30s., Isparta.

- Carvalho, J.P. & Parresol, B.R. (2005). A Site Model for Pyrenean Oak (*Quercus pyrenaica*) Stands Using a Dynamic Algebraic Difference Equation. *Canadian Journal of Research*, 35, 93-99.
- Cieszewski, C.J. & Bailey, R.L. (2000). Generalized Algebraic Difference Approach: Theory Based Derivation of Dynamic Site Equations with Polymorphism and Variable Asymptotes. *Forest Science*, 46, 116–126.
- Cieszewski, C.J. (2001). Three Methods of Deriving Advanced Dynamic Site Equations Demonstrated on Inland Douglas-Fir Site Curves. *Canadian Journal of Research*, 31, 165-173.
- Cieszewski, C. J. (2002). Comparing Fixed and Variable-Base-Age Site Equations Having Single Versus Multiple Asymptotes, *Forest Science*, 48(1), 7-23.
- Cieszewski, C.J. (2004). GADA Derivation of Dynamic Site Equations with Polymorphism and Variable Asymptotes From Richards to Weibull and Other Exponential Functions, *Plantation Management Research Cooperative*, Athens.
- Cieszewski, C.J., Strub, M. & Zasada, M. (2007). New Dynamic Site Equation That Fits Best the Schwappach Data for Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) in Central Europe, *Forest Ecology and Management*, 243, 83-93.
- Clutter, J.L. & Belcher, D.M. (1983). *Timber Management-A Quantitative Approach*. Wiley, New York, 333.
- Coode, M.J.E. & Cullen J. (1965). *Pinus* L. Davis, P.H. (Ed.), *Flora of Turkey and The Aegean islands*. Edinburgh: Edinburgh University Press.
- Corral-Rivas, J.J., Alvarez-Gonzalez, J.G., Ruiz-Gonzalez, A.D., Gadov, K.V. (2004). Compatible Height and Site Index Models for Five Pine Species in El Santo, Durango (Mexico), *Forest Ecology and Management*, 201, 145-160.
- Çatal, Y. (2002). Isparta Bölgesi Doğal Kızıldağ (*Pinus brutia* ten.)-Karaçam (*Pinus nigra* Arnold. var. pallsiana (Lamb.) holmboe) Karışık Meşcerelerinde Artım ve Büyüme İlişkileri. Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Isparta.
- Çatal, Y. (2009). Batı Akdeniz Bölgesi Kızıldağ (*Pinus brutia* Ten.) Meşcerelerinde Artım ve Büyüme. Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Isparta.
- Çepel, N. (1984). Ekosistem Kavramı ve Ekosistem Amenajmanı, *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, 34 (2), 23-32.
- Diegues-Aranda, U., Burkhart, H.E. & Amateis, R.L. (2006). Dynamic Site Model for Loblolly Pine (*Pinus taeda* L.). *Forest Science*, 52(3), 262-272.

- Dieguez-Aranda, U., Burkhart, H.E. & Rodriguez-Soalleiro, R. (2005). Modeling Dominant Height Growth of Radiata Pine (*Pinus radiata* D. Don) Plantations in North-Western Spain. *Forest Ecology and Management*, 215, 271–284.
- Dieguez-Aranda, U., Grandas-Arias, J.A., Alvarez-Gonzalez, J.G. & Gadow, K.V. (2006). Site Quality Curves for Birch Stands in North-Western Spain. *Silva Fennica*, 40(4), 631–644.
- Durkaya, B. (2004). Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.)-Uludağ Göknaarı (*Abies bornmülleriana* Mattf.)-Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) Karışık Meşcerelerinde Artım-Büyüme İlişkileri. Doktora Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Zonguldak.
- Eler, Ü. (1986). Türkiye’de Boylu Ardıç (*Juniperus Excelsa* Bieb.) Ormanlarında Hasılat Araştırmaları, *Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten* No: 192, Ankara.
- Eraslan, İ. (1954). Trakya ve Bilhassa Demirköy Mıntıkası Meşe Ormanlarının Amenajman Esasları Hakkında Araştırmalar. *O.G.M. Yayınları*, No: 13, Ankara.
- Eraslan, İ. (1982). *Orman Amenajmanı*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi.
- Eraslan, İ., Yüksel, Ş. & Giray, N. (1984). Batı Karadeniz Bölgesindeki Kuru Ormanlarının Optimal Kuruluşları Hakkında Araştırmalar. *Tarım Orm. ve Köy İşl. Bak. OGM*. Yayın Sıra No: 650, 58, Ankara.
- Eraslan, İ. & Şad, H.C. (1993). *Orman Amenajmanı*. 4, İstanbul: İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Basımevi.
- Ercanlı, İ. (2010). Trabzon ve Giresun Orman Bölge Müdürlükleri Sınırları İçerisinde Yer Alan Doğu Ladini (*Picea orientalis* (L.) Link)-Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Karışık Meşcerelerine İlişkin Büyüme Modelleri. Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Trabzon.
- Ercanlı, İ., Kahrıman, A., Yavuz, H. (2014). Dynamic Base-Age Invariant Site Index Models Based on Generalized Algebraic Difference Approach for Mixed Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) and Oriental Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) Stands. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38, 134-147. doi:10.3906/tar-1212-67
- Ercanlı, İ., Şenyurt, M. & Bolat, F. (2014). Çankırı Yöresi Sarıçam Meşcereleri İçin Dinamik Bonitet Endeks Modellerinin Otoresif Modelleme ile Geliştirilmesi. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 15, 53-60.

- Erkan, N. (1995). Kızılçam'da Meşcere Gelişiminin Simülasyonu. Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Evcimen, B. S. (1963). *Türkiye Sedir Ormanlarının Ekonomik Önemi Hasılat ve Amenajman Esasları*. İstanbul: İstanbul OGM Yayınları, Yenilik Basımevi.
- Farjon, A. (2010). *A Handbook of the World's Conifers*, V, 1-2. Leiden-Boston: Brill Academic Publishers.
- Fox, J. (1997). *Applied Regression Analysis, Linear Models, and Related Methods*. California: Sage Publications.
- Gadow, K.V. & Hui, G.Y. (1999). *Modelling Forest Development*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Gaussen, H., Heywood, V.H., Chater, A.O. (1964). The genus *Pinus* L. Flora Europaea. *Cambridge university Press*, 1, 32-35.
- Gregoire, T., Schabenberger, O., Barret, J. (1995). Linear Modelling of Irregularly Spaced, Unbalanced, Longitudinal Data From Permanent-Plot Measurements. *Canadian Journal of Research*, 25, 137-156.
- Günel, A. (1982). *Orman Hasılat Bilgisi Ders Notları*. İstanbul: İ.U. Orman Fakültesi (Basılmamıştır).
- Kahrıman, A. (2011). Karadeniz Bölgesi Sınırarı İçerisinde Yer Alan Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) – Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) Karışık Meşcerelerine İlişkin Büyüme Modellerinin Geliştirilmesi. Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Trabzon.
- Kalıpsız, A. (1963). *Türkiye'de Karaçam Meşcerelerinin Tabii Bünyesi ve Verim Kudreti Üzerine Araştırmalar*, İstanbul: O.G.M. Yayınları.
- Kalıpsız, A. (1998). *Orman Hasılat Bilgisi*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Basımevi ve Film Merkezi.
- Kapucu, F. (2004). *Orman Amenajmanı*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Matbaası.
- Kapucu, F., Yavuz, H. & Gül, A.U. (1999). Dişbudak Meşcerelerinde Hacim, Bonitet Endeks ve Normal Hasılat Tablosunun Düzenlenmesi. *KTÜ Araştırma Fonu Başkanlığı*, Sonuç Raporu, Proje Kod No:96.113.001.4, Trabzon, 46 s.
- Karataş, S. (2013). Burdur-Çamoluk Yöresi Saf, Aynı Yaşlı ve Doğal Anadolu Karaçamı Meşcerelerinde Büyümenin Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Isparta

- Kitikidou, K., Petrou, P. & Milios, E. (2012). Dominant Height Growth and Site Index Curves for Calabrian Pine (*Pinus brutia* Ten.) in Central Cyprus. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 1323-1329.
- Krumland, B. & Eng, H. (2005). Site Index Systems for Major Young-Growth Forest and Woodland Species in Northern California. California. *California Department of Forestry and Fire Protection*, Report No: 4.
- Mısır, N. (2003). Karaçam Ağaçlandırmalarına İlişkin Büyüme Modelleri. Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Trabzon.
- Monserud, R.A. (1984). Height Growth and Site Index Curves for Inland Douglas-Fir Based on Stem Analysis Data and Forest Habitat Type. *Forest Science*, 30, 943-965.
- Nord-Larsen, T. (2006). Developing Dynamic Site Index Curves for European Beech (*Fagus sylvatica* L.). *Forest Science*, 52(2), 173-181.
- Özcan, B.G. (2002). Sahil Çamı (*Pinus pinaster* ait.) Ağaçlandırmalarında Artım ve Büyüme, Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Palahi, M., Tome, M., Pukkala, T., Trasobares, A. & Montero, G. (2004). Site Index Model for *Pinus sylvestris* in North-East Spain. *Forest Ecology and Management*, 187, 35-47.
- Parresol B.R. & Vissage J.S. (1998). White Pine Site Index for The Southern Forest Survey. *USDA For. Serv. Res. Pap. SRS-10*.
- Payandeh, B. & Wang, Y. (1994). Relative Accuracy of a New Base-Age Invariant Site Index Model. *Forest Science*, 40(2), 341-348.
- Saatçioğlu, F. (1979). *Silvikültür Tekniği*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayını.
- Sanchez-Gonzalez, M., Canellas, I. & Montero, G. (2008). Base-Age Invariant Cork Growth Model for Spanish Cork Oak (*Quercus suber* L.) Forests. *European Journal of Forest Research*, 127, 173-182.
- Saraçoğlu, Ö. (1986). Karadeniz Yöresi Gökmar Meşcerelerinde Artım ve Büyüme. Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Amenajmanı Ana Bilim Dalı*. İstanbul.
- SAS Institute Inc. 2004. SAS/ETS® 9.1 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Sharma, P.R., Brunner, A., Eid, T. & Oyen, B.H. (2011). Modelling Dominant Height Growth From National Forest Inventory Individual Tree Data With Short Time Series and Large Age Errors. *Forest Ecology and Management*, 262, 2162-2175.

- Spurr, S.H. (1952). *Forest Inventory*. New York: The Ronald Press Company.
- Subedi, N., Sharma, M. & Parton, J. (2009). An Evaluation of Site Index Models for Young Black Spruce and Jack Pine Plantations in a Changing Climate. Ontario. *Ontario Ministry of Natural Resources*, Climate Change Report CCRR-15.
- Şenyurt, M. & Ercanlı, İ. (2013). Dynamic Base-age Invariant Site Index Models for Scotch Pine (*Pinus silvestris* L.) in Kastamonu Forest Regional Directorate. *International Caucasian Forestry Symposium*, 179-183, Artvin.
- Tekin, B.A. (2008). Isparta Yöresi Saf, Aynı Yaşlı ve Doğal Anadolu Karaçamı [*Pinus nigra* Arnold subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe] Meşcerelerinde Artım ve Büyüme Yönünden Meşcere Yaşı-Sıklık ve Bonitetin Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Isparta.
- Usta, H.Z. (1991). Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Ağaçlandırmalarında Hasılat Araştırmaları. *Ormancilık Araştırma Enstitüsü*, Teknik Bülten, 219, Ankara.
- Van Laar, A. & Akça, A. (2007). *Forest Mensuration*. Dordrecht: Springer.
- Vargas-Larreta, B., Aguirre-Calderon, O.A., Corral-Rivas, J.J., Crecente-Campo, F. & Dieguez-Aranda, Ulises (2013). A Dominant Height Growth and Site Index Model for *Pinus pseudostrabus* Lindl. in Northeastern Mexico. *Agrociencia*, 47(1), 91-106.
- Wang G.G. & Klinka K. (1996). Use of Synoptic Variables in Predicting White Spruce Site Index. *Forest Ecology and Management*, 80, 95-105.
- Wang G.G., Rennols, K. & Borders, B.E. (2008). Base-Age Invariant Site Index Models from a Generalized Algebraic Parameter Prediction Approach. *Forest Science*, 54(6), 625-632.
- Yaltırık, F. (1988). *Dendroloji Ders Kitabı I, Gymnospermae*. İstanbul: İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları.
- Yavuz, H., Mısır, N., Mısır, M., Tüfekçioğlu, A., Karahalil, U., Küçük M. (2010). Karadeniz Bölgesi Saf ve Karışık Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Meşcereleri için Mekanistik Büyüme Modellerinin Geliştirilmesi, Biyokütle ve Karbon Depolama Miktarlarının Belirlenmesi. *TÜBİTAK TOVAG 1060274 Nolu Proje Sonuç Raporu*, Ankara.
- Yıldızbakan, A. & Saraçoğlu, Ö. (2004). Toros Göknarı (*Abies cilicica* Carr.) Meşcerelerinde Bazı Artım ve Büyüme İlişkileri. *Doğu Akdeniz Ormancilık Araştırma Müdürlüğü DOA Dergisi*, 10, 45-75.

EK 1 Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü Karaçam Meşcereleri İçin Dinamik Bonitet Endeks Tablosu

Yaş Kademesi	Bonitet Endeksleri													
	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34
	Üst Boylar (m)													
10	0,5	0,7	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9
20	1,4	1,8	2,2	2,6	3,1	3,5	3,9	4,3	4,8	5,2	5,6	6,1	6,5	7,0
30	2,4	3,0	3,7	4,4	5,1	5,7	6,4	7,1	7,8	8,5	9,2	9,9	10,5	11,2
40	3,3	4,3	5,2	6,1	7,0	7,9	8,9	9,8	10,7	11,7	12,6	13,5	14,5	15,4
50	4,3	5,4	6,6	7,7	8,9	10,0	11,2	12,3	13,5	14,7	15,8	17,0	18,2	19,3
60	5,2	6,5	7,9	9,2	10,6	12,0	13,3	14,7	16,1	17,4	18,8	20,2	21,5	22,9
70	6,0	7,5	9,1	10,6	12,2	13,7	15,3	16,8	18,4	19,9	21,5	23,1	24,6	26,2
80	6,7	8,5	10,2	11,9	13,6	15,3	17,0	18,8	20,5	22,2	23,9	25,6	27,4	29,1
90	7,4	9,3	11,1	13,0	14,9	16,7	18,6	20,5	22,3	24,2	26,1	28,0	29,8	31,7
100	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	22,0	24,0	26,0	28,0	30,0	32,0	34,0
110	8,5	10,6	12,8	14,9	17,0	19,1	21,2	23,3	25,5	27,6	29,7	31,8	33,9	36,0
120	9,0	11,2	13,4	15,7	17,9	20,1	22,3	24,5	26,8	29,0	31,2	33,4	35,6	37,8
130	9,4	11,7	14,0	16,3	18,7	21,0	23,3	25,6	27,9	30,2	32,5	34,8	37,1	39,4
140	9,8	12,2	14,6	17,0	19,3	21,7	24,1	26,5	28,9	31,3	33,6	36,0	38,4	40,8
150	10,1	12,6	15,0	17,5	19,9	22,4	24,8	27,3	29,7	32,2	34,6	37,1	39,5	42,0
160	10,4	12,9	15,4	17,9	20,5	23,0	25,5	28,0	30,5	33,0	35,5	38,0	40,5	43,0
170	10,6	13,2	15,8	18,3	20,9	23,5	26,0	28,6	31,2	33,7	36,3	38,8	41,4	44,0
180	10,8	13,5	16,1	18,7	21,3	23,9	26,5	29,1	31,7	34,4	37,0	39,6	42,2	44,8
190	11,0	13,7	16,3	19,0	21,7	24,3	27,0	29,6	32,2	34,9	37,5	40,2	42,8	45,5
200	11,2	13,9	16,6	19,3	22,0	24,6	27,3	30,0	32,7	35,4	38,0	40,7	43,4	46,1
210	11,3	14,0	16,8	19,5	22,2	24,9	27,6	30,4	33,1	35,8	38,5	41,2	43,9	46,6
220	11,4	14,2	16,9	19,7	22,4	25,2	27,9	30,7	33,4	36,1	38,9	41,6	44,3	47,0
230	11,5	14,3	17,1	19,9	22,6	25,4	28,2	30,9	33,7	36,4	39,2	41,9	44,7	47,4

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet SEKİ

Doğum Yeri ve Yılı : Anamur / 1988

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dil : İngilizce

E-posta : mseki@kastamonu.edu.tr



Eğitim Durumu

Lise : Anamur Anadolu Lisesi (2002-2006)

Lisans : K.T.Ü. Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümü
(2008-2012)

Mesleki Deneyim

İş Yeri : K.Ü. Orman Fakültesi (Araştırma Görevlisi)
2012 - (halen)