

## Çankırı yöresi sarıçam meşcereleri için dinamik bonitet endeks modellerinin otoregresif modelleme ile geliştirilmesi

İlker Ercanlı<sup>a,\*</sup>, Muammer Şenyurt<sup>a</sup>, Ferhat Bolat<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Çankırı

\* İletişim yazarı/Corresponding author: ilkerercanli@gmail.com, Geliş tarihi/Received: 22.07.2013, Kabul tarihi/Accepted: 06.03.2014

**Özet:** Bu çalışmada, bonitet endeks modellerindeki en güncel ve gelişmiş yöntemler olan Genelleştirilmiş Cebirsel Fark Yaklaşımı ve Otoresif modelleme yaklaşımları kullanılarak; Çankırı yöresi Sarıçam meşcereleri için dinamik bonitet endeks modelleri geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, çalışma alanındaki 112 adet ağaçta yapılan gövde analizi verisi kullanılarak Bertalanffy-Richards, M1, ve Hossfeld, M2-M3, büyüme fonksiyonlarının Genelleştirilmiş Cebirsel Fark yaklaşımı ile elde edilmiş model yapıları gerek Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi gerekse Otoresif Modelleme ile tahmin edilmiş ve çeşitli model başarı ölçütleri ile karşılaştırılmıştır. En başarılı olarak belirlenen Hossfeld fonksiyonu, M3, için doğrusal olmayan regresyon analizi ile elde edilen belirtme katsayısı değeri,  $R^2$ , 0.9336 ve durbin-watson test istatistiği değeri ise; 1.2890 hesaplanırken, Otoresif modelleme ile elde edilen belirtme katsayısı değeri; 0.9449 ve durbin-watson test istatistiği değeri ise; 1.9903 olarak elde edilmiş olup, böylece Otoresif modelleme ile zaman serisi niteliğindeki gövde analizi verilerindeki seri-korelasyon problemlerine bir çözüm sağlanmıştır. Ayrıca, geliştirilen dinamik bonitet endeks modeli; polimorfizm, çoklu asimptot, standart yaşa bağlı değişmezlik "base-age invariable" özelliklerini gibi yaş-üst boy ilişkilerinin modellenmesinde beklenen büyüme kanuniyetleri uyumlu sonuçlar elde edilmiştir

**Anahtar kelimeler:** Bonitet endeks modelleri, Genelleştirilmiş cebirsel fark yaklaşımı, Otoresif modelleme, Sarıçam

## Developing dynamic site index models by using autoregressive modeling approach for scots pine stands in Çankırı forests

**Abstract:** In this study, it is aimed that the dynamic site index models for scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in Çankırı forests were developed by using Generalized Algebraic Difference Approach, GADA, and Autoregressive Modeling Approach which are up-to-date and complex methods for site index modeling. In this aiming, the model structures of Bertalanffy-Richards, M1, ve Hossfeld, M2-M3, based on Generalized Algebraic Difference Approach were developed and compared with both Nonlinear regression analysis and Autoregressive modeling approach by using 112 stem analysis obtained from studied area. The best predictive model, Hossfeld model, M3, produced the  $R^2$  value of 0.9336 with D.W. of 1.2890 for nonlinear regression analysis and the  $R^2$  value of 0.9449 with D.W. of 1.9903 for Autoregressive modeling, approach, thus this modeling approach has provided a solutions for serial-correlations, autocorrelations, originating from stem analysis data being as time series property. Additionally, the dynamic site index model developed has produced compatible predictions with the expected growth laws, e.g. polymorphism, multiple asymptote and base-age invariable properties in modeling relationships between dominant height and ages.

**Keywords:** Site index models, Generalized algebraic difference approach, Autoregressive modeling approach, Scotch pine

### 1. Giriş

Orman işletmelerini teknik ve ekonomik yönden optimal bir şekilde planlanması için meşcerelerin verim gücü farklılıklarının ortaya konulması ve derecelendirilmesi gerekmektedir (Garcia, 1983). Çünkü; bir meşcerenin artım ve büyüme öğeleri, bu meşcerenin bulunduğu yetişme ortamının iklimik, edafik, topografik, fizyografik gibi ekolojik özelliklerinden büyük ölçüde etkilenmektedir (Clutter vd., 1981). Bu bakımdan, başta ormancılık planlanması olmak üzere birçok ormancılık uygulanmasında, meşcerelerin yetişme ortamı verim güçlerinin bilinmesi büyük bir önem taşımaktadır (Eraslan, 1982).

İlk kez 1881 yılında Baur tarafından normal sıklıktaki eşit yaşlı saf meşcerelerde birim alandaki ağaç hacmi ile

meşcere orta boyu arasında bir ilişki olduğu ifade edilmiştir. *Eichorn yasası* olarak isimlendirilen kurala göre,

-Meşcere orta boyunun yaşa ve yetişme ortamına göre önemli farklar gösterdiği,

-Hektardaki hacim miktarının, meşcere boyu ile birlikte değiştiği,

-Hektardaki hacim veriminin ve dolayısıyla yetişme ortamı verimliliğinin, meşcere boyu ile tahmin edilebileceği ifade edilmektedir (Kalıpsız, 1998). Bununla birlikte, meşcere orta boyu, meşcereye yapılan teknik müdahalelerden büyük ölçüde etkilenmektedir. Bu nedenle eşit yaşlı meşcerelerde, silvikültürel müdahalelerden en az etkilenen meşcere özelliği olan meşcere üst boyu, meşcerelerin yetişme ortamı verim gücü göstergesi olarak kullanılmaktadır (Kalıpsız, 1998).

Eşit yaşlı ve saf meşcerelerin üst boy ile meşcere yaş ilişkisine dayanan yetişme ortamı verim gücü

sınıflamasında, özellikle de yetiştirme ortamı verim gücü eğrileri ve bonitet endeks tablosunun düzenlenmesinde; örnek alan verilerinin esas alan anamorfik yöntem ile örnek ağaçlarda yapılan gövde analizine dayanan polimorfik olmak üzere iki yöntem kullanılmaktadır (Günel, 1982). Anamorfik yöntem ile elde edilen bonitet eğrilerinin, kılavuz eğri olarak adlandırılan tek bir eğriyle orantılı olarak oluşturulmaları, gerek iyi gerekse kötü bonitetlerde aynı şekilde seyretmesi ve ayrıca standart yaştaki boy farkı oranlarının diğer yaşlarda da aynı olması gibi büyüme kanuniyetlerine aykırı varsayımlara dayanmaktadır (Günel, 1982). Polimorfik yöntem ise, münferit ağaçlardan elde edilen gövde analizi verilerine dayanmaları nedeniyle tek ağaçların boy gelişimleri ile meşçereye ilişkin yetiştirme ortamı verim gücü sınıflamasının yapılması gibi bir sakıncaya sahiptir (Akalp, 1978). Bununla birlikte polimorfik yöntem, farklı yetiştirme ortamı verim gücündeki eğrilerin, form olarak birbirinin benzeri olmamaları (polimorfizm) ve farklı yaşlardaki boy oranlarının farklı olması gibi biyolojik olarak daha gerçekçi ve uygulanabilir görülmektedir (Günel, 1982). Bu özellikleri ile polimorfik yöntem, bonitet endeks eğrilerinin geliştirilmesinde anamorfik yöntemle göre meşçere boy gelişmesini ve dolayısıyla yetiştirme ortamı farklılıklarını daha iyi yansıtmaktadır (Spurr, 1952; Carmean, 1972; Parresol ve Vissage, 1998).

Bonitet endeks modellerinin ve eğrilerinin oluşturulmasında; Bailey ve Clutter (1974) tarafından ilk olarak ormancılık literatürüne kazandırılan *Cebirsel Fark Yaklaşımı* (CFY)'nda ilk aşama olarak; meşçerelerin boylanma eğrisine (yaş-boy ilişkisine) uygun bir temel büyüme fonksiyonu seçilmekte, ikinci aşamada ise büyüme fonksiyonun seçilen bir parametresine bağlı olarak cebirsel olarak yeniden düzenlenmekte, böylece çok asimptotlu ve anamorfik şekilli veya tek asimptotlu ve polimorfik şekilli bonitet endeks modelleri üretilmektedir (Ercanlı, 2010). Hem polimorfik hem de çok asimptotlu bonitet endeks denklemleri elde edilmek isteniyorsa, seçilen temel büyüme fonksiyonun en az iki parametresine bağlı olarak cebirsel düzenlemelerin yapılması gerekir. En az iki parametrenin cebirsel olarak düzenlendiği *Genelleştirilmiş Cebirsel Fark Yaklaşımı* (GCFY), Cieszewski ve Bailey (2000) tarafından geliştirilmiştir. CFY ve GCFY ile elde edilen bonitet endeks denklemlerinin en önemli özelliklerinden birisi de, standart yaşa bağlı değişmezlik özelliğidir (base-age invariance). Klasik bonitetleme yöntemlerinde (base-age variable), bonitetlemenin ilk aşamasında belirli bir standart yaşın belirlenmesi ve bir sonraki aşamada ise bonitet ağaçları seçilen standart yaştaki üst boy değerine göre verim gücü sınıflarına göre sınıflandırılması gerekmektedir. Bonitetlemenin ilk aşamasında seçilen standart yaşa bağlı olarak, bonitet endeks tabloları oluşturulmakta ve yapılan bonitet endeksi tahminleri de seçilen standart yaşa bağlı olmaktadır. Diğer taraftan, başlangıçta belirlenen sabit bir yaş değeri, farklı standart yaşlar için tahminlere gerek duyulduğu durumlar için problem oluşturabilmektedir (Cieszewski, 1999). Bailey ve Clutter (1974) çalışması ile ormancılık literatürüne giren standart yaşa bağlı değişmezlik "base-age invariance" özelliğindeki bonitet endeks modellerinde, bir standart yaş secimi yerine standart yaşı temsil eden ağacın herhangi bir yaş değeri ve bu yaştaki boyu (örneğin toplam yaş ve bu yaştaki boyu) olmak üzere iki değişkenin bonitet endeks modellerinde yer almakta ve böylece aynı bonitet endeks modeli ile farklı standart yaşlar

için bonitet endeks tahminleri yapılabilmektedir (Cieszewski, 1999; Cieszewski vd., 2007). CFY ve GCFY ile elde edilen bonitet endeks modelleri farklı standart yaş değerlerini esas alan verim gücü tahminleri gibi farklı durumlar için çözümler sunmalarındaki bu kabiliyetleri ile dinamik bonitet endeks modelleri "dynamic site equations" olarak da adlandırılmaktadır (Diéguez-Aranda vd., 2006; Cieszewski vd., 2007; Benito vd., 2008).

Ağaçlarda yapılan gövde analizlerine dayanan polimorfik yöntemde; ağaçların farklı yaşlardaki boy değerlerinin oluşturduğu veri yapısı kullanılmakta olup, özellikle zaman serisi özelliğine sahiptirler. Zaman serisi verilerinde en önemli ve sıklıkla karşılaşılan problem ise; bir önceki dönemde ölçülen verinin, bir sonraki dönemdeki verinin değerinde önemli derecede etkili olması ve böylece zamansal olarak birbirinin devamı olan verilerin birbiri ile yüksek oranda ilişkili olmasıdır. "Otokorelasyon" ya da "Seri-korelasyon" olarak adlandırılan verilerin birbiri ile ilişkili olması (İyit, 2008); özellikle regresyon modellerindeki verilerin birbirinden bağımsız olması ve homojen bir varyansa ve dolayısıyla da benzer bir varyans-kovaryans matrisine sahip olduğu varsayımın ihlal edilmesine neden olmaktadır (Doğanay, 2007). Veri yapısında yer alan tekrarlı ölçümlerin birbiri ile ilişkisiz ve homojen varyansa sahip olduğu varsayımı üzerine dayanan regresyon analizine ilişkin model yapıları, tekrarlı ölçümlerin modellenmesinde oldukça kullanışsız ve hatalı sonuçlar veren bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır (İyit vd., 2006). Özellikle tekrarlı ölçümler için doğrusal ve doğrusal olmayan modelleme yaklaşımlarının kullanılması, regresyon modellerinde parametrelere ilişkin güven aralıklarının sistematik bir hata ile tahmin edilmesine neden olmaktadır (Searle vd., 1992). Bu durum, regresyon modellerinin sonuçlarının güvenilirliğini olumsuz yönde etkilemekte ve hatalı tahminlerin elde edilmesinde neden olabilmektedir (Ye, 2005). Ormancılıkta, polimorfik bonitet endeks modellerindeki seri-korelasyon problemine bir çözüm olarak; "Otoregresif modelleme" yaklaşımı önerilmektedir (Monserud, 1984; Gregoire vd., 1995; Parresol ve Vissage, 1998). Özellikle son yıllarda birçok bonitet endeks modelinin geliştirilmesinde; Otoregresif modelleme yaygın bir biçimde kullanılmıştır (Diéguez-Aranda vd., 2005, 2006; Nord-Larsen, 2006; Adame vd., 2006; Bravo-Oviedo vd., 2007; Cieszewski vd., 2007; Cieszewski ve Strub, 2008).

Bu çalışmada, Çankırı Yöresi Sarıçam meşçereleri için GCFY esas olarak oluşturulmuş dinamik bonitet endeks modellerinin Otoregresif modelleme ile geliştirilmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve yöntem

Çalışmada kullanılan veriler; Ankara Orman Bölge Müdürlüğü bünyesindeki Çankırı Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde yer alan Çankırı-Merkez ve Yapraklı Orman İşletme Şeflikleri ile Ilgaz Orman İşletme Müdürlüğüne bağlı Yenice Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde kalan Sarıçam meşçerelerinden elde edilmiştir. Çalışmaya konu sarıçam meşçerelerinden, 40 adedi Çankırı Yapraklı Orman İşletme Şefliğindeki Büyükyayla bölgesinden, 49 adedi Çankırı Ilgaz-Yenice Orman İşletme Şefliğindeki Kadınçayırı bölgesinden ve 23 adedi Çankırı-Merkez İşletme Şefliğindeki Maruf bölgesinden olmak üzere toplam 112 adet ağaç kesilip, farklı gövde

yüksekliklerinden kesitler alınarak, her bir kesitteki halka sayıları belirlenmiştir. Seçilen bu ağaçların, alana ilişkin yetişme ortamı verim gücünün göstergesi olan galip (dominant) veya müşterek galip (co-dominant) ağaçlar olmasına özen gösterilmiştir. Her bir kesitteki halka sayıları, ağacın son kesildiği andaki yaşından çıkarılarak; kesitlere ulaşma süreleri hesaplanmıştır. Böylece; ağaçların farklı yaşlardaki boy değerleri elde edilmiştir. Şekil 1’de, örnek ağaçlara ilişkin farklı yaşlardaki boy değerlerini gösterir yaş-boy grafikleri verilmiştir. Çizelge 1’de ise, örnek ağaçlara ilişkin çeşitli istatistik bilgileri verilmiştir.

### 2.1. Dinamik bonitet endeks modelleri

Bu çalışmada yetişme ortamı verim gücünün belirlenmesi ve bonitet endeks modelinin geliştirilmesinde, Genelleştirilmiş Cebirsel fark yaklaşımı ile elde edilmiş bonitet endeks modellerine dayanan “Polimorfik yöntem” kullanılmıştır. Özelliklerin ağaçların farklı yaşlardaki boy değerlerinin yaşa ve diğer değişkenlere (standart yaş ve bonite endeks göstergesi) göre değişimleri modellemek üzere Bertalanffy-Richards, M1, ve Hossfeld, M2-M3, büyüme fonksiyonları kullanılmıştır. Bu fonksiyonlar; Cieszewski (2002) ve Cieszewski (2004) tarafından GCFY ile yeniden düzenlenerek, farklı bonitet ve standart yaşlar için üst boy tahminleri yapabilecek bir model yapısına dönüştürülmüştür. Çalışma kapsamında bu denklemlerin GCFY ile geliştirilen model yapıları kullanılmıştır. Genelleştirilmiş Cebirsel fark yaklaşımının temelini oluşturan bu cebirsel dönüşümlerde, iki parametrenin yetişme ortamı verim gücünün bir göstergesi olduğu varsayılmaktadır. Çizelge 2’de, bu çalışmada kullanılan fonksiyonların temel model yapıları ile GCF yaklaşımı ile elde edilmiş dinamik model yapıları verilmiştir. Dinamik bonitet endeks model yapıları incelendiğinde; özellikle temel yapılarından farklı olarak  $h_0$  ve  $t_0$  olmak üzere 2 değişken daha eklendiği görülmektedir. Bu değişkenlerden,  $h_0$  değişkeni; bonitet endeks gösterge değeri iken,  $t_0$  değişkeni ise; standart yaş değerine ilişkin gösterge değeridir. Bonitet endeks modellerinin bu yapısı; tek bir bonitet endeks modeli ile farklı bonitet eğrilerinin (site curves), farklı standart yaşlar referans alarak oluşturabilmesini sağlamaktadır.

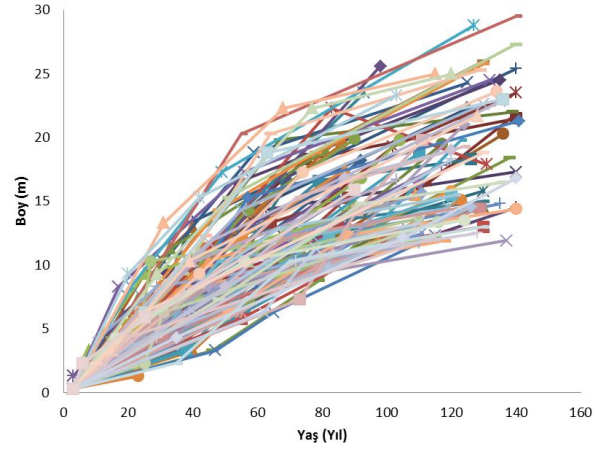
Bu çalışmada kullanılan farklı modellerden, ağaçların yaş-üst boy ilişkilerinin modellemeye en başarılı olanını belirlemek üzere bazı istatistik başarı ölçüt değerleri kullanılmıştır. Bu ölçüt değerleri; Hata kareler toplamı (HKT), Hata Kareler Ortalaması (HKO), Hata Kareler Ortalamasının karekökü (HKOK) ve Düzeltilmiş Belirtme Katsayısı ( $R^2$ ) değerleridir. Bu istatistik değerlerden, Hata kareler toplamı, Hata Kareler Ortalaması, Hata Kareler Ortalamasının karekökü değerlerinin küçük, belirtme katsayısının ise 1’e yakın olması istenilmektedir. Kullanılan bu istatistik ölçütlere ilişkin formüller aşağıda verilmiştir.

Hata Kareler Ortalaması

$$(HKO) = \frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h}_1)^2}{n} \quad (1)$$

Hata kareler ortalamasının karekökü

$$(HKOK) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h}_1)^2}{n-p}} \quad (2)$$



Şekil 1. Örnek ağaçlara ilişkin farklı yaşlardaki boy değerlerini gösterir yaş-boy grafikleri

Hata Kareler Toplamı

$$(HKT) = \sum_{i=1}^n (h_i - \hat{h}_1)^2 \quad (3)$$

Düzeltilmiş Belirtme Katsayısı

$$(R^2_{\text{düz}}) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \hat{h}_1)^2 (n-1)}{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h}_1)^2 (n-p)} \quad (4)$$

Bu formüllerdeki,  $h_i$ ; belirli bir yaşta ölçülen boy değerini,  $\hat{h}_1$  bonitet endeks model ile tahmin edilen boy değerini,  $n$  veri sayısını ve  $p$  değeri ise modeldeki parameter değerini ifade etmektedir.

Çizelge 2’de eşitlikleri verilen dinamik bonitet endeks modellerine ilişkin parametre tahminleri ile yukarıda ifade edilen çeşitli istatistiksel değerlerinin elde edilmesinde, SAS İstatistik Paket Programındaki PROC MODEL prosedürü kullanılmıştır (SAS Institute Inc., 2004).

### 2.2. Otoregresif modelleme

Bu çalışmada 3 farklı bonitet endeks modelin parametreleri; özellikle zaman serisi olarak gövde analizlerinden elde edilen veriler arasındaki mevcut serikorelasyonu (otokorelasyon) gidermek üzere, otoregresif modelleme ile yeniden tahmin edilmiştir. Zaman serisi analizinin temel bir bileşeni olan Otoregresif modelleme yapısı;

$$H_{ij} = f(H_j, t_i, t_j, \beta) + e_{ij} \quad (5)$$

$$e_{ij} = \rho \cdot e_{i-1,j} + \gamma \cdot e_{i,j-1} + \varepsilon_{ij} \quad (6)$$

Çizelge 1. Örnek ağaçlara ilişkin çeşitli istatistik bilgileri

| Değişken  | Min.  | Max.   | Ortalama | Standart sapma | Varyans | Varyasyon katsayısı (%) |
|-----------|-------|--------|----------|----------------|---------|-------------------------|
| Ağaç Boyu | 9.50  | 29.50  | 17.38    | 4.64           | 21.51   | 26.70                   |
| Ağaç Yaşı | 40.00 | 141.00 | 112.54   | 21.34          | 455.43  | 18.96                   |

biçiminde olup,  $H_{ij}$ ;  $H_j$  ile tahmin edilen boy değerini,  $t_i$ ;  $i$ . yaşı,  $t_j$ ;  $j$ . yaşı,  $H_j$ ;  $j$ . yaştaki boy değerini,  $e_{ij}$ ; hata terimlerini,  $\rho$ ;  $H_j$  ile tahmin edilen  $H_{i-1}$ 'e ilişkin hatalar arasındaki otokorelasyon değerini,  $\gamma$ ;  $H_{j-1}$  ile tahmin edilen  $H_i$ 'e ilişkin hatalar arasındaki otokorelasyon değerini ifade etmektedir (Diéguez-Aranda vd., 2005; Álvarez-González vd., 2005).

Otoregresif modelleme ile zaman serisi niteliğindeki veriler arasındaki seri-korelasyonun (otokorelasyon) giderilip giderilmediğini belirlemek üzere, "Durbin-Watson" test istatistiği kullanılmıştır. Durbin-Watson test istatistiğine ilişkin eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$d = \frac{\sum_{i=2}^n (e_i - e_{i-1})^2}{\sum_{i=2}^n e_i^2} \quad (7)$$

Bu eşitlikte,  $e_i$ ;  $i$ . veriye ilişkin hata değerini,  $n$ ; veri sayısını ifade etmekte olup, durbin-watson katsayısı ise, 0 ile 4 arasında değer almaktadır. Özellikle 2'ye yakın durbin-watson katsayısı, seri-korelasyon (otokorelasyon) sorunun olmadığını göstermektedir (Fox, 1997).

### 3. Bulgular

Bonitet endeks modellerinin geliştirilmesi için kullanılan 3 farklı dinamik bonitet endeks modellerine ilişkin parametre tahminleri ile bu modellere ilişkin çeşitli istatistiksel başarı ölçüt değerleri; Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi için Çizelge 3'te ve Otoregresif modelleme yaklaşımı için ise Çizelge 4'de verilmiştir. Test edilen tüm bu bonitet endeks modelleri, iki farklı modelleme yaklaşımı için de;  $p < 0.05$  önem düzeyi ile anlamlı bulunmuştur. Doğrusal Olmayan regresyon analizi ile parametreleri tahmin edilen denklemlere ilişkin belirtme katsayısı değerleri, 0.8870 ile 0.9336 arasında, Hata kareler ortalamaları (HKO); 3.449 ile 5.875, Hata Kareler Ortalamasının Karekökü değerleri (HKOK); 1.857 ile 2.424 ve Hata kareler Toplamı değerleri ise; 1583 ile 2996 arasında değişmektedir. Otoregresif modelleme ile elde

edilen denklemlere ilişkin belirtme katsayısı değerleri, 0.9058 ile 0.9449 arasında, Hata kareler ortalamaları (HKO); 2.862 ile 4.897, Hata Kareler Ortalamasının Karekökü değerleri (HKOK); 1.692 ile 2.213 ve Hata kareler Toplamı değerleri ise; 1308 ile 2238 arasında değişmektedir.

Modellere ilişkin başarı ölçütleri değerlendirildiğinde, yaş-üst boy ilişkisini modellemede en başarılı denklemler olarak; gerek Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi gerekse Otoregresif modelleme için Hossfeld büyüme fonksiyonunun (M3) olduğu görülmektedir. Hossfeld fonksiyonu için doğrusal olmayan regresyon analizi ile elde edilen belirtme katsayısı değeri, 0.9336, Hata kareler ortalaması (HKO); 3.449, Hata Kareler Ortalamasının Karekökü değeri (HKOK); 1.857, Hata kareler Toplamı değeri; 1583 ve durbin-watson test istatistiği değeri ise; 1.2890'dır. Otoregresif analizi elde edilen belirtme katsayısı değeri, 0.9449, Hata kareler ortalaması (HKO); 2.862, Hata Kareler Ortalamasının Karekökü değeri (HKOK); 1.692, Hata kareler Toplamı değeri ise; 1308 ve Durbin-Watson test istatistiği değeri ise; 1.9903'dır. Bu başarı ölçüt değerleri değerlendirildiğinde, Otoregresif modelleme ile seri korelasyon problemin büyük oranda giderildiği (D.W.=1.9903) ve belirli oranda model başarı ölçütlerinde iyileşme olduğu görülmektedir. Otoregresif modelleme ile elde edilen Hossfeld denkleminin ilişkin model yapısı ise aşağıda verilmiştir.

$$h = \frac{61.25246 + X_0}{1 - 11.5226 \cdot X_0 t^{-1.334833}} \quad (8)$$

$$X_0 = \frac{h_0 - 61.25246}{1 - 11.5226 \cdot h_0 t_0^{-1.334833}} \quad (9)$$

Bu denklemlerde, Bu modelde,  $h$  belirli  $t$  yaşı için tahmin edilen üst boyu,  $t_0$  standart yaşı,  $h_0$  ise;  $t_0$  standart yaştaki üst boy değerini veya diğer bir ifadeyle bonitet endeksini göstermektedir.

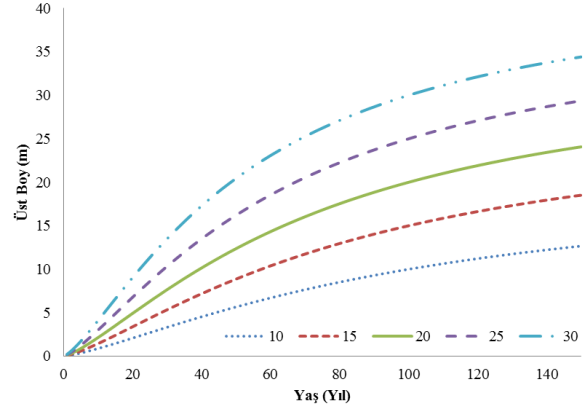
Çizelge 2. Ağaçların Yaş-Üst boy ilişkisini modellemek üzere kullanılan GADA denklemleri

| No | Temel Denklem                                     | Yetiştirme ortamı ile ilişkili Parametre | Model Bileşenlerine ilişkin denklemler   | Dinamik GADA Modelleri   |
|----|---|--|--|--|
| M1 | Bertalanffy-Richards:<br>$h = a(1 - \exp(-bt))^c$ | $a = \exp(X)$<br>$c = b_2 + 1/X$         | $X_0 = \frac{1}{2} \left( \ln h_0 - (b_2 L_0) + \sqrt{(\ln h_0 - b_2 L_0)^2 - 4L_0} \right)$<br>with $L_0 = \ln(1 - \exp(-b_1 t_0))$ | $h = \exp(X_0) \left( 1 - \exp(-b_1 t) \right)^{(b_2 + 1/X_0)}$<br>Cieszewski (2004) |
| M2 | Hossfeld:<br>$h = \frac{a}{1 + bt^{-c}}$          | $a = b_1 + X$<br>$b = \frac{b_2}{X}$     | $X_0 = \frac{1}{2} \left( h_0 - b_1 - \sqrt{(h_0 - b_1)^2 - 4b_2 h_0 t_0^{-b_3}} \right)$  | $h = \frac{(b_1 + X_0)}{1 + b_2/X_0 t^{-b_3}}$<br>Cieszewski (2002)                  |
| M3 |   | $a = b_1 + X$<br>$b = b_2 X$             | $X_0 = \frac{h_0 - b_1}{1 + b_2 h_0 t_0^{-b_3}}$   | $h = \frac{b_1 + X_0}{1 + b_2 X_0 t^{-b_3}}$<br>Cieszewski (2002)                    |

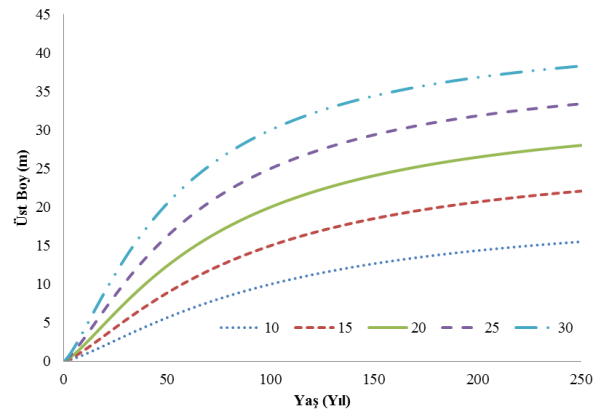
$h$ ;  $t$  yaşındaki Üst boy,  $h_0$ ; Standart yaştaki üst boy (bonitet endeks) değeri,  $t_0$ ; Standart yaş,  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$ ; model parametreleri.

Hossfeld eşitliğini esas alan bonitet endeks modeli ile elde edilen boy gelişiminin, verim gücüne bağlı olarak yaş-boy ilişkilerinde bilinen büyüme yasaları ile uyumluluğu da değerlendirilmiştir. Değerlendirme sürecinde dikkate alınan verim gücüne bağlı olarak yaş-boy ilişkilerinin değişimine ilişkin beklenen özellikler (büyüme yasaları); Polimorfizm, çoklu asimptot, eğrilerin S biçimli bir trend izlemesi, boy artımlarının maksimuma ulaşma sürelerinin bonitet iyileştikçe azalması gibi temel özelliklerdir. Bu özellikler ile Hossfeld modelini değerlendirmek üzere, yaş-boy ilişkilerine ilişkin büyüme grafikleri; 150 ve 250 yıllar için Şekil 2 ve Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 2 ve 3 değerlendirildiğinde, Hossfeld modeli ile elde edilen yaş-boy ilişkilerinin, yukarıda söz edilen beklenen büyüme yasaları ile uyumlu olduğu görülmektedir. Diğer bir ifadeyle, elde edilen bonitet endeks eğrileri (Şekil 3 ve Şekil 4); çok asimptotlu S biçiminde ve şekilleri verim gücüne göre değişen bir trend (Polimorfizm) göstermektedir.

Şekil 4'te, genel ortalama boy artımının bonitetlere göre değişimi; bu eğrilerin maksimum olma yaşları ve değerleri ile birlikte verilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde; 10. metre eğrisi, 45 yaşında 0.113486 metre genel ortalama değeri ile maximum olurken, 15. metre eğrisi; 38 yaşında 0.179539 m, 20. metre eğrisi 33 yaşında 0.255235 m, 25. metre eğrisi 28 yaşında 0.344539 m ve 30. metre eğrisi ise 24 yaşında 0.453633 metre genel ortalama değeri ile maksimum olmaktadır. Hossfeld denkleminin ortaya koyduğu genel ortalama boy değişimi olarak, Bonitet endeks değeri arttıkça diğer bir ifadeyle yetiştirme ortamı verim gücü iyileştikçe eğrilerin maksimum olma yaşı düşerken, max. olduğu genel ortalama boy değeri ise artmaktadır.



Şekil 2. Geliştirilen dinamik bonitet endeks modeline ilişkin 150 yıllık gelişimi gösterir grafik



Şekil 3. Geliştirilen dinamik bonitet endeks modeline ilişkin 250 yıllık gelişimi gösterir grafik

Çizelge 3. Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi elde edilmiş dinamik bonitet endeks denklemlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar

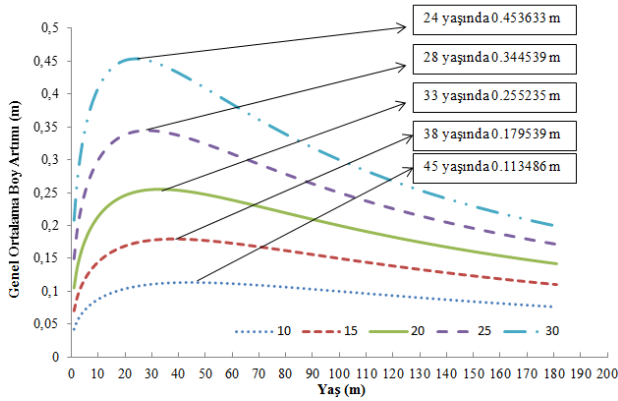
| Model | $R^2_{adj}$ | HKO   | HKOK  | HKT  | D.W.   | Tahmin | Standart Hata       | t-değeri               | P > t                 |         |
|-------|-------------|-------|-------|------|--------|--------|---------------------|------------------------|-----------------------|---------|
| M1    | 0.9162      | 4.357 | 2.087 | 2004 | 1.1921 | $b_1$  | 0.02747             | 0.00111                | 24.85                 | <0.0001 |
|       |             |       |       |      |        | $b_2$  | 1.4119              | 0.1018                 | 13.87                 | <0.0001 |
| M2    | 0.8870      | 5.875 | 2.424 | 2696 | 1.2479 | $b_1$  | 56.30105            | 8.8751                 | 6.34                  | <0.0001 |
|       |             |       |       |      |        | $b_2$  | -337962             | 130772                 | -2.58                 | 0.0101  |
|       |             |       |       |      |        | $b_3$  | 2.526168            | 0.077                  | 32.81                 | <0.0001 |
| M3    | 0.9336      | 3.449 | 1.857 | 1583 | 1.2890 | $b_1$  | 48.02739            | 3.5006                 | 13.72                 | <0.0001 |
|       |             |       |       |      |        | $b_2$  | $-6 \times 10^{62}$ | $2.11 \times 10^{-79}$ | $-28 \times 10^{140}$ | <0.0001 |
|       |             |       |       |      |        | $b_3$  | 1.056671            | 0.042                  | 25.19                 | <0.0001 |

D.W.: Durbin-Watson test istatistiği

Çizelge 4. Otoregresif modelleme ile elde edilmiş dinamik bonitet endeks denklemlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar

| Model | $R^2_{adj}$ | HKO   | HKOK  | HKT  | D.W.   | Tahmin | Standart Hata | t-değeri | P > t |         |
|-------|-------------|-------|-------|------|--------|--------|---------------|----------|-------|---------|
| M1    | 0.9331      | 3.477 | 1.865 | 1592 | 1.9470 | $b_1$  | 0.028593      | 0.00137  | 20.94 | <0.0001 |
|       |             |       |       |      |        | $b_2$  | 1.590214      | 0.1398   | 11.38 | <0.0001 |
| M2    | 0.9058      | 4.897 | 2.213 | 2238 | 1.9710 | $b_1$  | 51.99724      | 10.2419  | 5.08  | <0.0001 |
|       |             |       |       |      |        | $b_2$  | -461476       | 215758   | -2.14 | 0.0330  |
|       |             |       |       |      |        | $b_3$  | 2.618014      | 0.09105  | 28.61 | <0.0001 |
| M3    | 0.9449      | 2.862 | 1.692 | 1308 | 1.9903 | $b_1$  | 61.25246      | 12.9374  | 4.73  | <0.0001 |
|       |             |       |       |      |        | $b_2$  | -11.5226      | 5.6599   | -2.04 | <0.0001 |
|       |             |       |       |      |        | $b_3$  | 1.334833      | 0.0804   | 16.60 | <0.0001 |

D.W.: Durbin-Watson test istatistiği



Şekil 4. Genel ortalama boy artımının bonitetlere göre değişimini, maksimum olma yaşı ve değerleri ile birlikte gösterir grafik

#### 4. Tartışma ve sonuç

Bu çalışmada, Ankara Orman Bölge Müdürlüğü-Çankırı Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde yer alan Merkez ve Yapraklı Orman İşletme Şeflikleri ile Ilgaz Orman İşletme Müdürlüğüne bağlı Yenice Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde kalan Sarıçam meşcerelerinden 112 adet galip veya müşterek galip ağaç kesilmiş ve gövde analizleri yapılmış ve böylece elde edilen veriler ile bonitet endeks modelleri geliştirilmiştir. Yaş-üst boy ilişkilerinin modellenmesinde, Bertalanffy-Richards, M1, ve Hossfeld foksionlarının, M2 ve M3, Cieszewski (2002) ve Cieszewski (2004) tarafından GCFY'na göre yapılan dönüşümleri sonucu elde edilmiş 3 değişkenli dinamik bonitet endeks denklemleri,  $h=f(t, t_0, h_0)$ , kullanılmıştır. Ayrıca çalışma kapsamında, denklemlere ilişkin parametre tahminleri; gerek doğrusal olmayan regresyon analizi gerekse zaman serisi niteliğindeki gövde analizi verileri arasındaki seri korelasyon (otokorelasyon) sorununu gidermek üzere Otoresif modelleme yöntemi kullanılmıştır. Bu denklemlerden, özellikle Hossfeld'in denklemi, M3; yaş-boy ilişkilerinin modellenmesinde, doğrusal olmayan regresyon analizi ile %93.36 ve Otoresif modelleme ile de %94.49'lük açıklayıcılıkta en başarılı model olarak belirlenmiştir. Doğrusal olmayan regresyon analizi ile geliştirilen modellerde, durbin-watson katsayılarının 1.1921 ile 1.2890 arasında hesaplanması; zaman serisi özelliğindeki gövde analizi verileri ile oluşturulan bonitet endeks modellerinde seri-korelasyon sorunun varlığını göstermektedir. Bununla birlikte, özellikle Otoresif modellemenin kullanımı ile modellere ilişkin durbin-watson katsayıları; 1.9470 ile 1.9903 arasında hesaplanmış olup, seri-korelasyon sorunun olmadığı gösteren 2.0 ideal değere oldukça yakın hesaplanan modellere ilişkin durbin-watson katsayıları; otoresif analizi ile seri-korelasyon sorunun önemle oranda giderildiği göstermektedir. Ayrıca, otoresif modelleme ile modellere ilişkin başarı ölçütlerinde belirli bir oranda bir iyileşme sağlanmıştır. Bu durum, seri-korelasyon kaynaklı yaş-üst boy ilişkilerinde açıklanamayan varyansın, otoresif modelleme ile en aza indirilmesi sonucu olabilir.

Dünya'da Ormancılığı geliştirmiş ülkelerde son yıllarda Genelleştirilmiş Cebirsel Fark Yaklaşımı, GCFY, (Generalized Algebraic Difference Approach, GADA) ile geliştirilen bonitet endeks modelleri daha çok tercih edilmektedir. Cieszewski (2001, 2002, 2003); Cieszewski ve

Nigh (2002); Trincado vd. (2003); Diéguez-Aranda vd. (2005, 2006); Nord-Larsen (2006); Adame vd. (2006); Bravo-Oviedo vd. (2007); Cieszewski vd. 2007; Cieszewski ve Strub (2008) gibi çalışmalar, GCFY ile geliştirilmiş bonitet endeks modellerine örnek olarak verilebilir. Özellikle, Genelleştirilmiş Cebirsel Fark yaklaşımı ile elde edilmiş dinamik bonitet endeks modelleri; özellikle yaş-üst boy ilişkilerinde beklenen büyüme kanuniyetleri sağlanmasında başarılı sonuçlar vermektedir. Bu çalışmada, en başarılı olarak belirlenen Hossfeld'in modeli ile elde edilen yaş-üst boy değişimi; farklı bonitetlere için değişen şekillere (polimorfizm) ve çoklu asimptotlara sahip olup, bu trend; yaş-üst ilişkilerinin modellenmesinde beklenen temel büyüme kanuniyetleri uyumludur. Ayrıca, söz konusu bu denklem ile genel boy artımı için elde edilen değişim de, yetiştirme ortamı verim gücü iyileştikçe; genel boy artımının maksimum olma yaşı azalmakta, diğer taraftan maksimum olma değeri artmaktadır. Genel boy artımı için elde edilen bu değişim; boy artımına ilişkin büyüme kanuniyetleri ile uyum göstermektedir. Bu çalışmada geliştirilen bonitet endeks modellerinin büyüme kanuniyetleri ile uyumlu bu özellikleri yanında, diğer bir önemli özellikleri ise; GCFY'nın bonitet endeks modellerine kazandırdığı bir özellik olarak  $t_0$  ve  $h_0$  olmak üzere iki bağımsız değişkeni yaşa ilaveten içermeleridir. Standart yaş ( $t_0$ ) ve bonitet göstergesi ( $h_0$ ) olan bu iki değişken; bonitet endeks modellerine tek bir model ile farklı standart yaşlar ve bonitetler için üst boy tahmini imkanı sunmaktadır. Bu çalışmada, standart yaş 100 yıl esas alınmasına karşın, diğer taraftan modeldeki  $t_0$  değişkenine 50, 75, 30 ya da istenilen bir yaş değeri atanarak, farklı standart yaşları esas alan üst boy tahminleri elde edilebilmektedir. Klasik bonitetleme yöntemlerinde, modellerin geliştirilmesinde başta belirlenen bir standart yaşa göre tüm tahminler elde edilmekte ve farklı standart yaşlar için tahmin olanağı bulunmamaktadır. Diğer taraftan, GCF ile geliştirilen dinamik bonitet endeks modellerinde ise; farklı standart yaşlar için tahminler tek bir model yapısı ile mümkün olmaktadır. Tek bir bonitet endeks eğrisi ile farklı standart yaşlar için bonitet endeks tahmin olanağı sunan ve ayrıca modellerin elde edilmesinde ilk aşamada herhangi bir standart yaş seçimini gerektirmeyen GCFY'na ilişkin bonitet endeks modelleri, standart yaşa bağlı değişmezliğe sahip modeller "base-age invariable models" olarak adlandırılmaktadır. Ayrıca standart yaş değişmezliği özelliği, bu modellerde farklı standart yaşlar (farklı  $t_0$  değerleri) kullanılmasına karşın, belirli bir yaş için tahmin edilen boy ( $h$ ) değerinin değişmemesini de ifade etmektedir. Örneğin, standart yaş = 100 için bonitet endeksi değeri = 20 m olan bir meşcerenin 130 yaşındaki üst boy değeri, 8 ve 9 nolu eşitlikler ile 22.7198 metre tahmin edilirken, benzer şekilde aynı meşcere için standart yaş = 50 ve bonitet endeksi = 12.3696329 m (standart yaş = 100 için bonitet endeksi 20 m olan bonitet endeksi eğrisi üzerinde standart yaş = 50 için bonitet endeksi = 12.3696329 m'dir) alınması durumunda da 130 yaşındaki boy değeri 22.7198 metre olarak tahmin edilmektedir. Bu örnek ile de görüleceği üzere, standart yaşa bağlı değişmezlik "base-age invariable" özelliği, GCFY ile elde edilmiş bonitet endeks modellerine; aynı bonitet endeks eğrisi üzerinde farklı standart yaşlar kullanılmasına karşın, herhangi bir t zamanı için tahmin edilen boy değerinin ( $h$ ) değişmemesi özelliğini kazandırmaktadır.

Bu çalışmada, bonitet endeks modellerindeki en güncel ve gelişmiş yöntemler olan Genelleştirilmiş Cebirsel Fark Yaklaşımı ve Otoresif modelleme yaklaşımları kullanılarak; Çankırı yöresi Sarıçam meşcereleri için dinamik bonitet endeks modelleri geliştirilmiştir. Ülkemizde asli ağaç türlerimizin yayılış gösterdiği meşcerelerin yetişme ortamı verim güçlerinin belirlenmesinde daha doğru ve tutarlı tahminlere imkan sağlayan GCFY esas alan dinamik bonitet endeks modellerinin geliştirilmesine önemli oranda bir ihtiyaç ve gereklilik vardır. Ayrıca, bonitet endeks modellerinin tahmin tutarlılığı ve geçerliliği açısından başarıyı artırmak üzere, farklı yetişme ortamları ve farklı meşcereleri temsil edecek şekilde yarı devamlı ve devamlı örnek alanlarının oluşturulması ve periyodik olarak ölçülmesi büyük bir önem taşımaktadır. Devamlı deneme alanları ile geliştirilecek bu modeller ile modellerin hem tahmin tutarlılığı ve gerçekçiliği artacak hem de bu modeller, farklı zaman periyotları için güncellenmesi ve uygunluğunun denetlenmesi imkanları da elde edilebilecektir.

### Teşekkür

Bu çalışma, 2012/15 proje numarası ile Çankırı Karatekin Üniversitesi Bilimsel Araştırma projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir

### Kaynaklar

Adame, P., Cañellas, I., Roig, S., Del Rio, M., 2006. Modeling dominant height growth and site index curves for Rebollo oak (*Quercus pyrenaica* Willd.). Ann. For. Sci. 63:929-940.

Álvarez-González, J., Ruiz Gonzalez, A., Rodriguez Soalleiro, R., Barrio Anta, M., 2005. Development of ecoregion-based site index models for even-aged stands of *Pinus pinaster* Ait. in Galicia (northwestern Spain). Ann. For. Sci., 62:117-129.

Akalp, T., 1978. Anomorfik ve polimorfik yöntemlerle bulunmuş bonitet eğrilerinin karşılaştırılması. İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, 28:213-232.

Bailey, R.L., Clutter, J.L., 1974. Base-Age invariant polymorphic site curves. Forest Science, 20:155-159.

Bravo-Oviedo, A., del Río, M., Montero, G., 2007. Geographic variation and parameter assessment in generalized algebraic difference site index modeling. Forest Ecology and Management, 247(1-3):107-119.

Benito, D.M., Izquierdo, G.G., Rio, M.D. Cañellas, I., 2008. Long-term trends in dominant-height growth of black pine using dynamic models. Forest Ecology and Management, 256:1230-1238.

Carman W.H., 1972. Site index curves for upland oaks in the central states. Forest Science, 18:109-120.

Cieszewski, C.J., 1999. The Algebraic Difference Approach Improves Fixed Base-Age Site Models Based On Chapman-Richard Function, PMRC Technical Report 1999-9.

Cieszewski, C.J., 2001. Three methods of deriving advanced dynamic site equations demonstrated on inland douglas-fir site curves. Canadian Journal of Forest 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., 2003. Developing a well-behaved dynamic site equation using a modified hossfeld IV function  $Y^3 = (Ax^m) / (C + X^{m-1})$ , a simplified mixed-model and scant subalpine fir data. Forest Science, 49:539-554.

Cieszewski, C.J., 2004. GADA Derivation of Dynamic Site Equations with Polymorphism and Variable Asymptotes From Richards to Weibull and Other Exponential Function., Plantation Management Research Cooperative, 10 s., Athens.

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., Nigh, G., 2002. A dynamic equation for a Sitka Spruce height-age model. Forest Chronicle 78(5): 1-5.

Cieszewski, C.J., Strub, M., 2008. Generalized algebraic difference approach derivation of dynamic site equations with polymorphism and variable asymptotes from exponential and logarithmic functions. Forest Science, 54:303-315.

Cieszewski, C.J., Strub, M., Zasada, M.J., 2007. New dynamic site equation that fits best the schwappach for scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in central Europe. Forest Ecology and Management, 23:83-93.

Clutter J.L., Fortson, J.C., Peinar, L.V., Brister, G.H., Bailey, R.L., 1983. Timber Management A Quantitative Approach, Wiley, 333 s., New York.

Diéguez-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.

Diéguez-Aranda, U., Grandas-Arias, J.A., Álvarez-González, J.G. Gadow, K.V., 2006. Site quality curves for birch stands north-western Spain. Silva Fennica, 40(4):631-644.

Doğanay, B., 2007. Uzunlamasına çalışmaların analizinde karma etki modelleri. A.Ü. Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 94 s. Ankara.

Eraslan, İ., 1982. Orman Amenajmanı. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, Yayın No:318.

Ercanlı, İ., 2010. Trabzon ve Giresun orman bölge müdürlükleri sınırları içerisinde yer alan Doğu Ladini (*Picea orientalis* (L.) Link)-Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) karışık meşcerelerine ilişkin büyüme modelleri. Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Fox, J., 1997. Applied Regression Analysis, Linear Models, and Related Methods. Thousand Oaks, CA: Sage.

Garcia, O., 1981. Simplified Method of Moments Estimation for The Weibull Distribution. New Zealand Journal of Forest Science, 11(3):304-306.

Gregoire, T., Schabenberger, O., Barret, J., 1995. Linear modelling of irregularly spaced, unbalanced, longitudinal data from permanent-plot measurements. Can. J. For. Res., 25:137-156.

Günel, A., 1982. Orman Hasılat Bilgisi Ders Notları. İ.Ü. Orman Fakültesi (Basılmamıştır), 89 s.

- İyit, N., 2008. İlişkili veri analizinde lineer karma modellerin yapılandırılması. S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 162 s., Konya.
- İyit, N., Genç, A., Arslan, F., 2006. Analysis of repeated measures for continuous response data using general linear model and mixed models. Proceedings of The International Conference on Modeling And Simulation, 937-942, Konya.
- Kalıpsız, A., 1998. Orman Hasılat Bilgisi. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, No:4060/448, 349 s., İstanbul.
- 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.) in Denmark. Forest Sci., 52:173-181.
- Parresol B.R., Vissage J.S., 1998. White Pine Site Index for The Southern Forest Survey, USDA For. Serv. Res. Pap. SRS-10.
- SAS Institute Inc. 2004. SAS/ETS® 9.1 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Searle, S.R., Casella, G., McCulloch, C.E., 1992. Variance Components. John Wiley and Sons Inc. USA.
- Spur, S.H., 1952. Forest Inventory. Ronald Press, 476 s., New York.
- Trincado, G.V., Kiviste, A., Gadow, K.V. 2003. Preliminary site index models for native Roble (*Nothofagus obliqua*) and Rauli (*N.alpina*) in Chile. New Zeland. J.For.Res-JPN 32(3):322-333.
- Ye, S., 2005. Covariance structure selection in linear mixed models for longitudinal data. M.Sc. Thesis, Department of Bioinformatics and Biostatistics, University of Louisville, Kentucky, 230 p., USA.