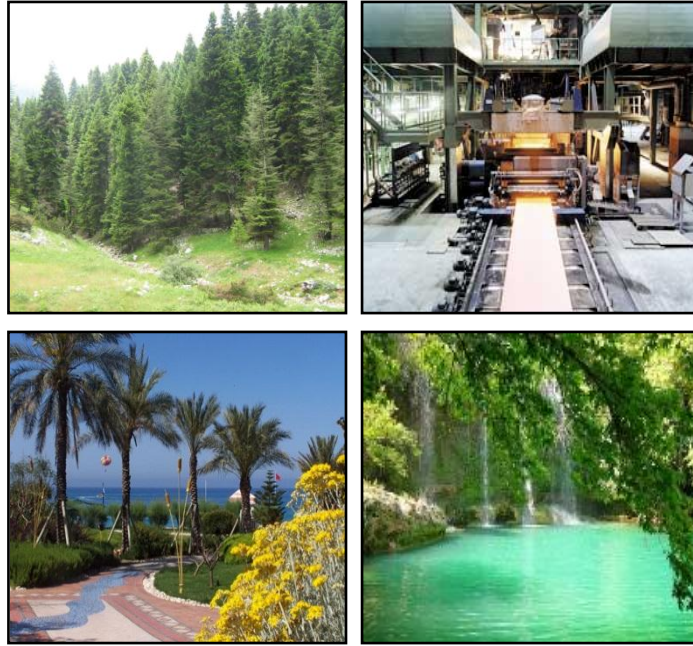


2011 Uluslararası Orman Yılı Kapsamında

I. ULUSAL
AKDENİZ ORMAN VE ÇEVRE
SEMPOZYUMU
BİLDİRİLER KİTABI



26-28 EKİM 2011
KAHRAMANMARAŞ



Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Orman Fakültesi Avşar Yerleşkesi



Kızılcık (<i>Cornus mas</i> L.) Odununun Bazı Fiziksel, Mekanik ve Teknolojik Özellikleri..	579
Kızılçam (<i>Pinus brutia</i> Ten.) ve Karaçam (<i>Pinus nigra</i> Arnold)'da Yıllık Halka Kalınlığının Gövde İçerisindeki Düşey Değişimi.....	589
Kızılçam (<i>Pinus brutia</i> Ten.)'da Reçine Kelebeği (<i>Dioryctria sylvestrella</i> Ratz.) ve Gövde Reçinesinin Uçucu Yağ Miktarları.....	597
Konya Kenti Yakın Çevresindeki Kentsel Rekreasyon Alanlarının Görsel Kalitesi İle Kullanıcıların Demografik Özellikleri Arasındaki İlişkiler.....	607
Kraft Yöntemiyle Üretilen Melez Kavak (<i>Populus x euramericana</i> (Dode) Guinier) Kağıt Hamurlarının Ağartılması.....	618
Küresel Isınmada Ormanların Karbon Tutulumuna Etkisi (Tarsus-Karabucak Örneği)	627
Laminat Parkenin Yanmaya Karşı Direncinin Artırılması Üzerine Araştırmalar.....	636
Lignoselülozik Esaslı Atıkların Termoplastik Kompozit Üretiminde Değerlendirilmesi.....	645
Nano ve Makro Materyallerle Desteklenmiş Steyren Maleik Anhidrit (SMA) Termoplastik Kompozitlerinin Üretimi ve Köpüklendirilmesi.....	651
Landsat 7 ETM+ Uydu Görüntüsü Yardımıyla Arazi Kullanımı, Meşcere Gelişim Çağı ve Meşcere Kapalılığın Tahmin Edilmesi; Kastamonu-Kızılcasu İşletme Şefliği Örneği.....	660
Odun Dışı Orman Ürünleri ve Entegre Yönetimi.....	668
Odun Dışı Orman Ürünleri, Ürün Çeşitliliği ve Standardizasyonun Önemi.....	677
Odun Esaslı Levha Ürünlerinde Kullanılan Tutkallarda Yapılan İyileştirmeler.....	687
Odun Hammaddesi Taşımada Karınca Kolonisi Optimizasyonunun Kullanılması.....	699
Odun ve Odun Ürünlerinin Sertifikasyonu.....	709
Okalıptüs Ağaçlandırmaları İçin Uyumlu Gövde Çapı ve Gövde Hacim Modellerinin Geliştirilmesi.....	720
Optimal Kuruluş Kavramının Etfop Sistemi Açısından İrdelenmesi.....	731
Orman Ekosistemlerinde Biyoçeşitliliğin Korunması ve İzlenmesi.....	741
Orman Ekosistemlerinde Habitat Parçalanmaları ve Biyolojik Çeşitlilik Üzerine Etkileri.....	753
Orman Yangınlarının Topraktaki Isı İletimi ve Nem Miktarına Etkisi.....	765
Orman Yangınlarıyla Yaşamayı Öğrenmek.....	777
Orman Yol Ağı Planlarının Sayısal Ortamda Üretilmesi (Antalya-Doyran İşletme Şefliği Örneği).....	787
Orman Yollarının Dinamik Modelli CAD Programları İle Planlanması.....	794
Orman Yolu İnşaatında Çevreye Duyarlı Kaya Kazısı Tekniği: Kaya Çatlatma Yöntemi ve Kullanım Olanakları.....	802
Ormancılık Örgütündeki Orman Mühendislerinin Yönetmel ve Örgütsel Sorunları Üzerine Bir Araştırma.....	813
Ormancılıkta Odun Hammaddesi Üretim Süreçlerinden Bölmeden Çıkarma Çalışmalarına Ergonomik Bakış.....	821
Ormancılıkta Artım Ve Büyümenin Modellenmesinde Yeni Bir Regresyon Analizi Yaklaşımı: Karışık Model Eşitlikleri.....	827
Osmaniye Yöresindeki Ormanlarda Resmi Olarak Üretilen ve Değerlendirilen Odun Dışı Orman Ürünleri.....	835
Peyzaj Değişimi Bağlamında Bitki Örtüsü Analizlerinde Kullanılan Uzaktan Algılama Teknikleri.....	844
Peyzaj Patern Metrikleri ve Landsat 5 TM Uydu Görüntüleri Kullanılarak Arazi Örtüsü/Arazi Kullanımı Değişimi Analizi (1984 - 2010): Kahramanmaraş Örneği.....	854
Polistiren Kompozit Kontrplakların Bazı Teknolojik Özellikleri Üzerine Ağaç Türü ve Yoğunluğun Etkisi.....	865

Ormancılıkta Artım Ve Büyümenin Modellenmesinde Yeni Bir Regresyon Analizi Yaklaşımı: Karışık Model Eşitlikleri

İlker ERCANLI

Hakkı YAVUZ

Aydın KAHRİMAN

İlker ERCANLI, ÇKÜ Orman Fakültesi, 18200 ÇANKIRI, ilkerercanli@karatekin.edu.tr

Hakkı YAVUZ, KTÜ Orman Fakültesi, 61080 TRABZON, hyavuz@ktu.edu.tr

Aydın KAHRİMAN, AÇÜ Orman Fakültesi, 08000 ARTVİN, kaydin61@hotmail.com

Özet

Regresyon analizi, biyoloji, sağlık, eğitim, tarım ve ormancılık gibi temel uygulamalı bilim dallarında özellikle çeşitli değişkenleri esas alacak şekilde tahminlerin yapılmasında çok yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Tekrarlı ölçümler ile hiyerarşik (Tek ağaç-Mescere-Orman) bir yapıya sahip örnek alanlarda yapılan ölçümlerle elde edilen veriler kullanılarak geliştirilecek regresyon modellerinde, veriler birbirine bağımlı olması sonucu, “otokorelasyon” veya “seri-korelasyon” olarak adlandırılan istatistiksel bir sorun söz konusu olabilmektedir. Bu yapıdaki verilerin modellenmesinde, varyans-kovaryans matris yapısının modellenmesine imkan sağlayan *Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Karışık Modelleme (Linear and Nonlinear Mixed Models)* yaklaşımının kullanılması önerilmektedir. Deterministik ve stokastik modelleme tekniklerini bir araya getiren ve bu nedenle de Karışık Modelleme (Mixed Model) olarak adlandırılmış söz konusu regresyon analizi yöntemi, birçok açıdan ormancılık uygulamalarında doğru, güvenilir ve tutarlı tahmin olanakları sunmaktadırlar. Bu bildiride, Karışık Modellerin kavramsal çerçeveleri, model yapıları, tahminlerin elde edilmesinde süreçler ile ormancılık uygulamalarındaki kullanımları açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Regresyon Analizi, Tekrarlı Ölçümler, Hiyerarşik Veri Yapısı, Karışık Model

New A Regression Analysis Approach For Modeling Growth and Yield In Forestry: Mixed Models

Abstract

Regression analysis is used extensively to obtain estimates including various variables on basic applied science disciplines such as biology, health, education agriculture and forestry. The regression models developed by longitudinal data and and hierarchical data (Individual tree-stand-forest) obtaining from sample plots with diverse structure possesses the problem called autocorrelation or serial-correlation owing to inter and intra dependences between data. The usage of Linear and Nonlinear Mixed models were preferred to model such like data by modeling variance-covariance matrix. Mixed models combining deterministic and stochastic modeling approach and thereby called mixed models presents accurate, reliable and consistent estimation in several ways for forest applications. The conceptual ways, structure of models, the process for producing model estimates, and applications on forestry of Mixed Models were explained in this study.

Keyword: Regression Analysis, Longitudinal data, Hierarchical data structure, Mixed Models

1. Giriş

İstatistik biliminin temel uğraşı alanlarından birisi de, bir değişkendeki değişimin bir model ile tahmin edilmesi ilişkin yöntem ve metotların geliştirilmesidir (Draper ve Smith, 1966). İstatistikte bu yöntemlerden, iki veya daha fazla değişken arasındaki istatistiksel ilişkinin matematiksel fonksiyon yapısının elde edilmesinde, Regresyon Analizi öne çıkmaktadır (Kalıpsız, 1981). Regresyon analizi, bir bağımlı değişken ile bir (basit regresyon analizi) ya da bir den çok bağımsız değişken (çoğul regresyon analizi) arasında istatistiksel ilişki regresyon denklemleri adı verilen matematiksel fonksiyonları üretir. Özellikle çok boyutlu çoğul regresyon analizinde; ölçümü zor olan Y bağımlı değişken iken, $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ değişkenleri ise ölçümü

kolay olan bağımsız değişkenler olarak adlandırılmakta ve regresyon modeli ile ise; $Y = f(X_1, X_2, X_3 \dots X_n)$ şeklindeki fonksiyonel ilişkileri ortaya koymaktadır (Kalıpsız, 1981). Regresyon analizinde çoğunlukla temel amaç, ele alınan değişkenlerle matematiksel model oluşturmak ve bağımlı değişkende meydana gelen değişimin ne kadarının bağımsız değişken ya da değişkenler tarafından açıklandığını belirlemektir (Orman ve Gürcan, 2001).

Regresyon analizi, biyoloji, sağlık, eğitim, tarım ve ormancılık gibi temel uygulamalı bilim dallarında özellikle çeşitli değişkenleri esas alacak şekilde tahminlerin yapılmasında çok yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Çünkü birçok alanda çeşitli değişkenleri farklı şartlar ve durumlardaki değerlerinin tahmin edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle regresyon modelleri ile elde edilecek bu tahminler, farklı girdi değişkenlerine (input variable) göre çıktı değişkenlerinin (output variable) elde edilerek, özellikle sonuçlarının elde edilmesinin yılları bulacak farklı uygulamaların ve seçeneklerin test edilmesine imkan sağlamaktadırlar. Uygulamalı bir bilim dalı olarak Ormancılıkta, gerek tek ağaçta gerekse tek ağaçların bir araya gelerek meydana getirdiği meşcerelerde, başta artım ve büyümenin modellenmesinde, regresyon analizi ve regresyon modelleri kullanılmaktadır. Özellikle Dendrometri ve Orman Hasılatı bilim dallarında tek ağaç ve meşcere bazındaki çeşitli değişkenler arasındaki ilişkilerin matematiksel fonksiyonlarının belirlenmesinde regresyon analizi sıklıkla kullanılmaktadır (Erkan, 2002). Tek ağaç ve meşcere büyüme modelleri, hasılat tabloları, tek ve çift girişli ağaç hacim tabloları, bonitet endeksi modelleri; özellikle orman amenajmanı olmak üzere çeşitli ormancılık uygulamalarında sıklıkla kullanılan regresyon modelleri örnekleridir. Özellikle meşcere büyüme modellerinin bir örneği olan ve meşcere büyüme öğelerini (bağımlı değişken; örneğin meşcere hacmi, göğüs yüzeyi, ağaç sayısı, orta çapı, orta boyu), çeşitli meşcere özelliklerine (normal hasılat tabloları için; yaş ve bonitet endeksi bağımsız değişkenleri; sıklığa bağlı hasılat tablolarında yaş, bonitet endeksine ilaveten meşcere sıklığa bağımsız değişkenleri) bağlı olarak tahmin eden hasılat tabloları; orman amenajmanında büyük bir öneme sahip olup, temel altlık görevi görmektedir. Amenajman planlarının doğruluğu ve güvenilirliği, bu planlarının hazırlanmasında temel altlık olan hasılat tablolarının doğruluğu ve tutarlılığı ve dolayısıyla da bu hasılat tablolarının düzenlenmesinde geliştirilen regresyon modellerinin doğruluğuna dayanmaktadır.

Hasılat tabloları ve çeşitli düzeylerdeki büyüme modelleri geliştirilirken, veri kaynaklarını tek ölçüme dayanan geçici örnek alanlar ile belirli periyotlarla ölçülen devamlı veya yarı devamlı örnek alanlar oluşturmaktadır. Özellikle devamlı örnek alanlarda belirli periyotlarla gerçekleştirilen ve uzun bir zaman sürecini kaplayan tekrarlı ölçümler (*longitudinal data*), doğrusal (linear model) ve doğrusal olmayan (nonlinear model) regresyon modelinin kullanımı ve uygulanmasını kısıtlayan bir durumdur (Verbeke ve Molenberghs, 2000). Tekrarlı ölçümler kullanılarak geliştirilecek regresyon modellerinde, aynı değişkenlerin farklı zamanlarda tekrarlı bir şekilde ölçüldükleri için, bu gibi veri yapılarında veriler birbirine bağımlı olup, bu durum “otokorelasyon” veya “seri-korelasyon” sorunu olarak adlandırılmaktadır (İyit, 2008). İstatistik bilimi; özellikle doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon modellerinin elde edilmesinde, farklı zamanlarda yapılan ölçümler ile elde edilen verilerin birbirinden bağımsız olması ve homojen bir varyansa ve dolayısıyla da benzer bir varyans-kovaryans matrisine sahip olduğu varsayımını kabul etmesine karşın, gerçekte bu varsayım çoğu durumda özellikle biyolojik bir varlıkla uğraşan bilim dallarında sağlanamamaktadır (Doğanay, 2007). Aynı deney birimi üzerinde tekrarlı ölçümlerin alındığı çalışmalarda, veriler birbiri ile ilişkili olup, deney birimleri arasında değişen varyans gözlemlenmektedir. Ölçümler ve gruplar arası varyans-kovaryans matrisinin heterojenliği, regresyon modellerinde “otokorelasyon” veya “seri-korelasyon” sorunu olarak belirlenmektedir. Veri yapısında yer alan tekrarlı ölçümlerin birbiri ile ilişkisiz ve homojen

varyansa sahip olduğu varsayımı üzerine dayanan doğrusal (linear) ve doğrusal olmayan (nonlinear) modelleme yapıları, tekrarlı ölçümlerin modellenmesinde oldukça kullanışsız ve hatalı sonuçlar veren bir yöntem olarak karşımız 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 ve ark., 1992). Bu durum, regresyon modellerinin sonuçlarının güvenilirliğini olumsuz yönde etkilemekte ve hatalı tahminlerin elde edilmesinde neden olabilmektedir (Ye, 2005). Tekrarlı ölçümler için söz konusu olabilecek bu gibi olumsuzluklar, hiyerarşik bir özellik gösteren veri yapılarında da görülebilmektedir (Castedo Dorado ve ark., 2005). Hiyerarşik veri yapıları, ormancılık uygulamalarında sıklıkla karşılaşılan bir durumdur. Özellikle orman envanterinde, veriler; örnek alan olarak adlandırılan ve farklı meşcere yapılarını temsil etmek üzere ormanlık alanlara geçici veya devamlı olarak tesis edilen örnek alanlarda yapılan ölçümler ile elde edilmektedir. Her bir örnek alan kendi içinde yetiştirme ortamı koşulları ve meşcere yapıları bakımından homojen bir yapıya sahip olduğu kabul edilmektedir. Farklı örnek alanlardan elde edilen bu veriler, bir veri havuzunda toplanarak; çeşitli düzeylerde büyüme modelleri, regresyon analizi ile geliştirilmektedir. Bu örnek alanlar, kendi içinde (intra) homojen ancak, kendi aralarında (inter) ise heterojen bir yapıda olup, bu şekilde edilen veri yapısı hiyerarşik bir özellik gösterdiği kabul edilmektedir. Bu gibi hiyerarşik veri yapılarında, aynı grup içinde ki veriler birbiri ile bağımlı bir özelliktedir. Örneğin tek ağaçların çap-boy ilişkisinde, seyrek bir meşcere aynı çapa karşılık gelen boy, sık bir meşceredeki gelişen ağaçlara oranla daha düşük değerlerde ölçülebilmektedir. Özellikle, farklı meşcere sıklığına sahip örnek alanlardaki ağaçların boy büyümesi, sıklık olarak farklı şartlara sahip bu örnek alanlarda farklılaşarak, örnek alan içi ve ağaçlar arası etkileşim ile örnek alanlar arasında heterojen yapı söz konusu olmaktadır. Böylece regresyon modellerinin geliştirilmesinde temel varsayımlardan biri olan verilerin bağımlılığı varsayımı ihlal edilmektedir. Gerek farklı zamanlarda ölçülen tekrarlı veri yapılarında, gerekse hiyerarşik olarak kümelenmiş veri yapılarında, regresyon modellerinin geliştirilmesinde temel varsayımlardan biri verilerin birbirinden bağımsız olması koşulu çoğu durumda sağlanamamaktadır. Bu bakımdan, verilerin bağımsızlığı varsayımının sağlanamadığı veri yapılarında; Doğrusal Regresyon modellerinin geliştirilmesinde En Küçük Kareler Yöntemi (Ordinary Least Squares, OLS) ve Doğrusal Olmayan Regresyon Modellerinde çeşitli Sayısal Çözümleme Yöntemleri ile parametre tahmini tekniklerinin kullanımı yerine, özellikle Varyans-kovaryans matris yapısının modellenmesine imkan sağlayan **Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Karışık Modelleme (Linear and Nonlinear Mixed Models)** yaklaşımının kullanılması önerilmektedir (Laird ve Ware, 1982; Keselman ve ark, 1998; Wolfinger ve Chang, 1999; Littell ve ark., 2005).

2. Karışık Modeller

Karışık model kavramı, ilk olarak Eisenhart (1947) tarafından ifade edilmiştir. Eisenhart (1947), hem sabit hem de rasgele etkileri içeren ve Karışık model olarak adlandırdığı model yapısı oluşturmuştur. Henderdon (1950); karışık modellerini, hayvan ıslahı ve genetik çalışmalarında genetik değerlerin tahmin edilmesinde kullanmıştır. Özellikle Henderson eşitlikleri olarak adlandırılan ve karışık modellerde rasgele etkilerin tahmininde kullanılan En iyi Doğrusal Yansız Ön kestirici (Best Linear Unbiased Predictor, BLUP) yöntemleri, Henderson (1950) tarafından elde edilmiştir (Robinson, 1991). Laird ve Ware (1982), tekrarlı ölçümlerde elde edilen verilerin çözümlenmesinde, karışık modellerinin kullanımını ve iki aşamalı model yapılarını ilk olarak tanımlamışlardır. Searle ve ark. (1992), 19. yüzyılın ortalarında karışık modelleri astronomi alanında kullanmışlardır. Keselman ve ark. (1998), doğrusal karışık modellerde, varyans-kovaryans matris yapılarının modellenmesinde; AR(1) (1. Dereceden otoregresif), CS (Bileşik

simetri), CSH (Heterojen bileşik simetri), ARH (1) (Heterojen birinci dereceden otoregresif), TOEP (Teopltitz), TOEPH (Heterojen Teopltitz) gibi farklı kovaryans modelleri kullanmışlardır.

İstatistik biliminde belirli bir gelişim süreci yaşayan karışık modeller, ormancılık uygulamalarında ilk olarak; 1980'li yıllarda yer bulmaya başlamıştır. West vd. (1984) ve Gregoire (1987), ormancılık uygulamalarında tekrarlı ölçümler ve hiyerarşik veri yapısı gibi nedenlerle ortaya çıkan verilerin birbirine bağımlı olması (otokorelasyon) sorununa işaret etmişler ve otokorelasyonun model tahminlerinde önemli bir hata kaynağı olduğunu ifade etmişlerdir. Karışık modeller, bonitet endeks modellerinde (Lappi ve Bailey, 1988; Fang ve Bailey, 2001), tek ağaç hacim tahminlerinde (Lappi, 1991), gövde çapı modellerinde (Lappi, 1986, Gregoire and Schabenberger, 1996), büyüme modellerinde (Fang, 1999; Hall ve Bailey, 2001) ve özellikle de çap-boy denklemlerinin geliştirilmesinde (Lappi, 1997; Zakrzewski ve ark., 2001; Mehtätalo, 2004; Lynch ve ark., 2005; Calama and Montero, 2004; Castedo Dorado ve ark., 2006; Sharma and Parton, 2007; Trincado ve ark. 2007; Saunders and Wagner, 2008; Budhathoki ve ark., 2008; Adame ve ark., 2008; Crecente-Campo ve ark., 2010) modelleme yaklaşımı olarak kullanılmıştır.

Karışık modellemede, modelleme yaklaşımı olarak; bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasındaki istatistik ilişki ile birlikte özellikle tekrarlı ölçümler ya da gruplar (çoğunlukla örnek alanlar) arasındaki farklılığı ifade eden varyans-kovaryans matris yapısının esnek modellemesi de gerçekleştirilmektedir. Karışık modellerde model yapısı;

$$Y_{ij} = f(\Phi_i, X_{ij}) + \epsilon_{ij}$$

biçiminde olup, Y_{ij} i. örnek alandaki (tekrarlı ölçümlerde, i. ölçüm) j. ağaca ilişkin ölçülen bağımlı değişken değerini, X_{ij} i. örnek alandaki (tekrarlı ölçümlerde, i. ölçüm) j. ağaca ilişkin ölçülen bağımsız değişken değerini, Φ_i modele ilişkin parametre değerlerini, ϵ_{ij} model hatalarını göstermektedir (Calama and Montero, 2004; Castedo Dorado ve ark., 2006; Crecente-Campo ve ark., 2010). Karışık modellerin, model yapısı olarak en temel özelliği; Φ_i parametresini, sabit etkilere ilişkin parametre ve rasgele etkilere ilişkin parametre olmak üzere iki bölümde incelemesidir. Karışık modellerin parametrelerinin bu özelliği;

$$\Phi_i = A_{ij}\beta + B_{ij}b_i$$

biçiminde formül olarak gösterilebilir (Castedo Dorado ve ark., 2006). Bu gösterimde, β sabit etkilere ilişkin parametre olup, popülasyonun tamamı için hesaplanırken, b_i rasgele etkilere ilişkin parametre olup, örnek alanlar arasında veya tekrarlı ölçümlerde ölçüm periyotları arasındaki farklılığı göstermektedir. Özellikle karışık modellerin uygulanmasında, önemli konulardan birisi de farklı örnekleme üniteleri (her bir örnek alan veya tekrarlı ölçümlerde ölçüm periyotları için) her biri için söz konusu bu rasgele parametrenin tahmininin yapılmasıdır. Karışık modellerde, rasgele etkilere ilişkin parametreye ve model hataları için temel varsayım,

$$b_i \sim N(0, D)$$

$$\epsilon_{ij} \sim N(0, R)$$

biçiminde gösterilip, b_i rasgele etkilere ilişkin parametrenin, aritmetik ortalaması 0 ve varyansı D , model hatası olan ϵ_{ij} 'nin, aritmetik ortalaması 0 ve varyansı R olan bir normal dağılıma sahip olduğu şeklinde ifade edilebilir. Bu varsayımlarda ifade edilen D ve R bileşenlerinin

tahmini, karışık modellerin önemli bir yönünü oluşturmaktadır (Lappi, 1997). D bileşeni, örnek alanlar arasındaki (tekrarlı ölçümlere ölçüm periyotları arasında) değişkenliği ifade eden ve pozitif tanımlı varyans-kovaryans matrisi iken, R bileşeni ise örnek alan içindeki veriler arasındaki değişkenliği tanımlayan varyans-kovaryans matrisidir. Özellikle gerek örnek alanlar (tekrarlı ölçümlere ölçüm periyotları arasında) gerekse örnek bireyler arasındaki değişkenliği tanımlayan ve modelleyen söz konusu bu D ve R varyans-kovaryans matrislerinin formülleri aşağıdaki eşitliklerle gösterilmiştir.

$$D = \begin{bmatrix} \sigma_u^2 & \sigma_{uv}^2 \\ \sigma_{uv}^2 & \sigma_v^2 \end{bmatrix}$$

$$R = \sigma^2 I_i$$

Yukarıda gösterilen bu eşitliklerde, σ_u^2 ; u rasgele etkili parametrenin varyansını, σ_v^2 ; v rasgele etkili parametrenin varyansını, σ_{uv}^2 ; rasgele etkili parametreler arasındaki kovaryansını, σ^2 ; modele ilişkin hata değerini, I_i ; satır-sütun sayısı karışık modelin uygulanacağı örnek alandaki veri sayısına eşit olan ve sabit olmayan varyansı tanımlayan diagonal matris değeridir (Castedo Dorado ve ark., 2006; Trincado ve ark., 2007).

3. Rasgele Etkili Parametrelerin Tahmini ve Karışık Modellerin Kalibrasyonu

Karışım modeller, sabit etkili parametrelerin tahmin edilmesini izleyen sonraki süreçte, farklı yetiştirme ortamlarına ve örnek alanlar için kullanılabilmesi için, rasgele etkili parametrelerin bu alanlardan alınacak yeni verilere bağlı olarak tahmin edilmektedir. Rasgele etkili parametrelerin söz konusu bu örnek alanlar için tahmin edilmesi ile karışık modeller bu alanlar için uygulanabilir bir duruma gelmektedir ki, modelleme çalışmalarında bu süreç; modellerin “kalibre edilmesi, Calibration” olarak adlandırılmaktadır (Crecente-Campo ve ark. (2010). Kalibre edilen modeller söz konusu bu alanlar için doğru, tutarlı ve güvenilir tahminlerin elde edilmesi imkanları sağlanmaktadır (Castedo Dorado et. al., 2006; Crecente-Campo et. al., 2010). Karışık modellerde, örnek alanlarda yeni elde edilen gözlem değerleri kullanılarak, rasgele parametreler hesaplanmakta ve popülasyonun tamamı için geçerli olan sabit etkili parametre değerlerine bu rasgele parametre eklenerek, söz konusu örnek alan için geçerli parametre değerleri hesaplanmaktadır. Ormancılık uygulamalarında, karışık modellerin kalibre edilmesi, Lappi (1991)’nin ormancılıkta ilk olarak kullandığı ve Henderson eşitlikleri olarak da adlandırılan *En iyi Doğrusal Yansız Ön kestirici (Best Linear Unbiased Predictor, BLUP)* yöntemi kullanılmaktadır. Hökkä (1997), Jarayaman ve Lappi (2001), Jayaraman ve Zakrzewski (2001), Calama ve Montero (2004), Mehtätalo (2004), Lynch ve ark., 2005; Castedo Dorado ve ark., 2006; Crecente-Campo ve ark. (2010) çalışmalarında, rasgele etkili parameter tahmininde Henderson eşitliklerini kullanılmışlardır.

En iyi Doğrusal Yansız Ön kestirici (Best Linear Unbiased Predictor, BLUP) yöntemi, özellikle rasgele etkili parametrenin tahmininde kalibre edilecek yetiştirme ortamı veya örnek alanda belirli sayıda yeni verinin ölçümüne gerek duymaktadır (Crecente-Campo et. al., 2010). Bu yöntem ile rasgele etkili parameter, aşağıdaki eşitlikle tahmin edilmektedir.

$$\hat{b}_i \approx DZ_i'(R + Z_i DZ_i')^{-1}(Y_i - A_{ij}\beta)$$

Bu eşitlikte yer alan D ve R bileşenleri, daha önce tanımlanmış varyans-kovaryans matrisleri olup, Z_i bileşeni; rasgele etkili parametreler için dizayn matrisi iken Z_i' ; Z_i matrisinin tersi olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca yukarıdaki eşitlikte, $(Y_i - A_{ij}\beta)$ bileşeni, karışık modelde sadece sabit ekili parametreler kullanılarak yapılacak tahminin, gözlem (observed value) değerinden çıkarılması ile hesaplanmaktadır (Schmidt ve ark., 2010).

4. Sonuç

Ormancılık uygulamalarında çeşitli amaçlara için tahminlerin yapılmasında istatistik yöntemlerinden regresyon analizi ve regresyon modelleri, sıklıkla kullanılmaktadır. Ormandan elde edilen parasal gelirin önemli bir kısmını oluşturan orman serveti; hacime dayalı olarak, tek ve çift girişli ağaç hacim denklemleri diğer bir ifadeyle çapa (tek girişli) veya çap ile birlikte boya (çift girişli) göre ağaç hacmini tahmin eden çoğul regresyon modelleri kullanılarak tahmin edilmektedir. Orman amenajmanında, uygulaması uzun yıllara yayılan planlamaların hazırlanmasında, özellikle de planların karar verme sürecinde meşcerelerin çeşitli koşullar altında gelecekteki artım ve büyümesinin tahmin edilmesinde, artım ve büyüme değerlerini çeşitli meşcere özelliklerine göre tahmin eden ve regresyon analizi ile elde edilen ve istatistik yönüyle de bir regresyon modeli niteliğinde olan artım ve büyüme modelleri (Normal ve Sıklığa bağlı hasılat tabloları) kullanılmaktadır. Ormancılık uygulamaları açısından, farklı ve çeşitli uygulamaları çok sayıda verilebilecek olan regresyon analizi ve regresyon modelleri, birçok uygulamalı bilim dalında olduğu gibi ormancılık bilimi ve pratiği açısından büyük bir öneme sahiptir.

Çeşitli koşullar altındaki meşcerelere ilişkin tahminlerde kullanılan regresyon modelleri, istatistik bir yöntem olarak belirli varsayımlar üzerine geliştirilmekte ve özellikle bu varsayımların gerçekleşmesi durumunda güvenilir ve doğru tahminler sunabilmektedirler. Bu varsayımlardan en önemlisi ise, verilerin birbirine bağlı olamaması ve birbirini etkilememesi varsayımdır. Bununla birlikte, özellikle güvenilir veri kaynağı olarak kabul edilen ve artım ve büyümeyi en doğru şekilde tahmin edilmesi imkanı sağlayan devamlı örnek alanlar üzerinde belirli zaman aralıklarıyla gerçekleştirilen tekrarlı ölçümlerde (*Longitudinal data*), verilerin değer olarak birbirine bağımlı olduğu ve böylece seri-korelasyon sorunun yaşandığı ifade edilmektedir (West vd., 1984; Gregoire, 1987). Diğer taraftan, örnek alanlarda yapılan ölçümlerde, örnek alan içinde yer alan ağaçlar üzerinde yapılan ölçümler örnek alandaki diğer ağaçların konumları ve boyutlarından etkilenmekte ve bu bakımdan örnek alan içinde veriler birbirine bağımlı olmaktadır. Bu şekildeki örnek alanlar içindeki verilerin bağımlılığı, hiyerarşik veri yapısı olarak adlandırılmaktadır. Hatta aynı ağaç üzerinde, özellikle gövde analizleri ile elde edilecek ölçüm değerleri arasında da bir bağımlılık olduğu ifade edilerek, gövde çapı modellerinde karışık model yapısının kullanımı önerilmektedir (Lappi, 1986, Gregoire and Schabenberger, 1996).

Ormancılık uygulamalarında çeşitli amaçlar için elde edilen verilerin, gerek zamansal gerekse konumsal bağımlılığı ve hiyerarşik yapısı, En Küçük Kareler Yöntemi (Ordinary Least Squares, OLS) ile parametre tahmini yapan Doğrusal Modeller ile çeşitli Sayısal Çözümleme Yöntemleri ile parametre tahmini yapan Doğrusal Olmayan Modelleri, güvensiz, hatalı ve kullanışsız yapmaktadır. Bu regresyon parametre tahmini yöntemleri yerine, özellikle veri yapılarının bu özelliklerini dikkate alan regresyon analizi teknikleri önem kazanmış ve ***Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Karışık Modelleme (Linear and Nonlinear Mixed Models)*** yaklaşımları öne çıkmıştır. Ormancılık uygulamaların her geçen gün, karışık model eşitlikleri yaygınlaşmakta ve özellikle

artım ve büyüme modellemesi üzerine yoğunlaşan çalışmalarda, regresyon modelleri; karışık model yaklaşımı elde edilmektedir.

Karışık modeller, devamlı ve yarı devamlı örnek alanlarda yapılan tekrarlı ölçümlerde oluşan ve özellikle gerek örnek alanlar arasında gerekse örnek alan içindeki ağaçlar arasındaki bağımlılığı ve standart regresyon analizi teknikleri kullanılması durumunda açıklanamayan varyansı modelleme oldukça başarılıdır. Birçok çalışmada, standart regresyon teknikleri ile karışık model eşitlikleri karşılaştırılmış ve özellikle standart regresyon modellerinin açıklayamadığı değişkenliği modellemede karışık modeller oldukça başarılı ve etkin bulunmuştur. Ayrıca karışık modeller, farklı yetiştirme ortamları ve örnek alan için rasgele etkili parametreleri tahmin edilmesi yoluyla, bu alanlara özgü parametreler elde edilmesine imkan verebilmektedirler (Kalibrasyon). Karışık modellerin verilerin bağımlılığı varsayımının ihlal edilmesindeki sorununa bir çözüm sunmaları yanında, karışık modeller farklı örnek alanlar için kalibre edilmelerindeki başarıları, standart regresyon modellerine göre daha çok tercih edilmelerine sebep olmaktadır.

Deterministik ve stokastik modelleme tekniklerini bir araya getiren ve bu nedenle de Karışık Modelleme (Mixed Model) olarak adlandırılmış bu regresyon analizi yöntemi, birçok açıdan ormancılık uygulamalarında doğru, güvenilir ve tutarlı tahmin olanakları sunmaktadır. Özellikle, Karışık modelleme yaklaşımı ile ülkemizde yayılış gösteren asli ağaç türlerimizin artım ve büyüme değerleri, bu alanlarda kurulacak devamlı ve yarı devamlı deneme alanlarında yapılacak ölçümler kullanılarak daha doğru ve güvenilir tahmin edilebilecektir. Karışık modelleme yaklaşımı, ormanlık alanlarda yapılacak ölçümlerle elde edilecek verilerin etkin ve tutarlı bir şekilde modellenmesinde önemli bir araç olarak hizmet edecektir.

Kaynaklar

- Draper, N. R., Smith, H. 1966. Applied regressin Analysis, John Wiley and Sons Inc., New York
- Kalıpsız, A. 1981. İstatistik Yöntemler, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayın No: 2837/294, 558 s.
- Orman, M.N., Gürcan, İ. S. 2001. Doğrusal olanmayan regresyon analizi ve biyoistatistikte kullanımı, Ankara Üniversitesi Vet. Fak. Derg., 48, 195-199.
- Erkan, N. 2003. Regresyon Analizi ve Ormancılıkta Kullanımı, İ. Ü. Orman Fakültesi Dergisi Seri: B Sayı:1, 57-76, İstanbul.
- Verbeke G. and Molenberghs G. 2000. Linear mixed models for longitudinal data, Springer Series in Statistics, Springer-Verlag, New-York, 568 p.
- İyit, N. 2008. İlişkili Veri Analizinde Lineer Karma Modellerin Yapılandırılması, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Konya, 162 s
- Doğanay, B. 2007. Uzunlamasına çalışmaların analizinde karma etki modelleri, Ankara Üniversitesi, Sağlık bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 94 s.
- 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, Konya, TURKEY, 937-942
- Searle, S. R., Casella, G., Mc Culloch, C. E. 1992. Variance components, John Wiley and Sons Inc., USA.
- 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, USA.
- Castedo Dorado, F., Barrio Anta, M., Parresol, B.R., Álvarez González, J.G. 2005. A stochastic height-diameter model for maritime pine ecoregions in Galicia (northwestern Spain). Annals of Forest Science 62(5): 455-465.
- Laird, N.M. and Ware, J.H. (1982) "Random-Effects Models for Longitudinal Data", Biometrics, 38, 963-974.
- Keselman, H. J., Algina, J., Kowalchuk, R. K., and Wolfinger, R. D. 1998. A Comparison of Two Approaches for Selecting Covariance Structures in the Analysis of Repeated Measures, Communications in Statistics-Computation and Simulation, 27(3), 591-604.
- Wolfinger R., and M. Chang. 1999. Comparing the SAS GLM and MIXED Procedures for repeated measures. SAS Institute, Inc., Cary, NC.

- Littell, R. C., Miliken, G. A., Stroup, W. W., Wolfinger, R. D. 2005. SAS system for Mixed Models, SAS Institute Inc., Cary,, NC, USA
- Eisenhart, C. 1947. The assumptions underlying the analysis of variance, *Biometrics*, 3,1-21.
- Henderson, C. R. 1950. Estimation of genetic parameters, *Ann. Math. Stat.*, 21, 309-310.
- Robinson, G. K. 1991. That BLUP is a good thing-the estimation of random effects, *Stat. Sci.*,6, 111-129
- West, P.W., Ratkowsky, D.A. and Davis, A.W. (1984) Problems of hypothesis testing of regressions with multiple measurements from individual sampling units. *For. Ecol. Manage.* 7, 207-224.
- Gregoire, T. G. 1987. Generalized error structure for forestry yield models. *For. Sci.* 33: 423-444.
- Lappi J., Bailey, R.L. 1988. A height prediction model with random stand and tree parameters: an alternative to traditional site index methods, *For. Sci.*, 34(4): 907-927
- Fang, Z., Bailey, L. 2001. Nonlinear mixed effects modeling for slash pine dominant height growth following intensive silvicultural treatments, *For. Sci.*, 47(3): 287-300
- Lappi, J. 1991. Calibration of height and volume equations with random parameters, *For. Sci.* 37(3):781-801
- Lappi, J., 1986. Mixed linear models for analysing and predicting stem form variation of Scots pine. *Commun. Inst. For. Fenn.* 134, 69.
- Gregoire, T.G and Schabenberger, O. 1996. A non-linear mixed-effects model to predict cumulative bole volume of standing trees. *Journal of App. Statistics*, 23: 257-271
- Fang, Z., 1999. A simultaneous system of linear and nonlinear mixed effects models for forest growth and yield prediction (Ph.D dissertation). University of Georgia. 177 pp.
- Hall, D. B., Bailey, R. L. 2001. Modeling and prediction of forest growth variables based on multilevel nonlinear mixed models. *For. Sci.* 47 (3), 311-321.
- Lappi, J. 1997. A longitudinal analyses of height/diameter curves, *For. Sci.*, 43(4): 555-569
- Zakrzewski, W.T., and Bella, E. 1988. Two new height models for volume estimation of lodgepole pine stands. *Can. J. For. Res.* 18: 195-201.
- Mehtätalo, L. 2004. A longitudinal height-diameter model for Norway spruce in Finland., *Can. J. For. Res.* 34:131-140
- Lynch, T. B., Holley A. G., Stevenson, D. J. 2005. A random-parameter height-dbh model for cherrybark oak. ,*South J. Appl. For.*: 29:22-26
- Calama, R., Montero, G., 2004. Interregional nonlinear height- diameter model with random coefficients for stone pine in Spain. *Can. J. For. Res.*: 34:150-163
- Castedo-Dorado, F., Barrio Anta, M., Parresol, B. R., Álvarez-González, J. G. 2005. Stochastic height-diameter model for maritime pine ecoregions in Galicia (northwestern Spain). *Ann. For. Sci.*, 62: 455-465
- Castedo-Dorado, F., Diéguez-Aranda, U., Barrio, M., Sánchez, M. and von Gadow, K. 2006. A generalized height-diameter model including random components for radiata pine plantations in northeastern Spain . *For. Ecol. Manage.* 229 , 202 – 213 .
- Sharma, M. and Parton, J. 2007. Height-diameter equations for boreal tree species in Ontario using a mixed-effects modeling approach . *For. Ecol. Manage.* 249, 187-198 .
- Trincado, G., VanderSchaaf, C. L. and Burkhart, H. E. 2007. Regional mixed-effects height-diameter models for loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantations . *Eur. J. For. Res.* 126 , 253 – 262 .
- Saunders, M. R. and Wagner, R. G. 2008. Long-term spatial and structural dynamics in Acadian mixedwood stands managed under various silvicultural systems . *Can. J. For. Res.*, 38, 498-517 .
- Budhathoki, C. B., Lynch, T. B., Guldin, J. M., 2008. A mixed-effects model for dbh-height relationship of shortleaf pine (*Pinus echinata* Mill.). *South. J. Appl. For.* 32, 5-11.
- Adame, P., del Río, M., Cañellas, I., 2008. A mixed nonlinear height-diameter model for pyrenean oak (*Quercus pyrenaica* Willd.). *For. Eco. and Man.*, 256, 88-98
- Crecente-Campo, F., Tomé, M., Soares, P., Diéguez-Aranda, U. 2010. A generalized nonlinear mixed-effects height-diameter model for *Eucalyptus globulus* L. in northwestern Spain. *For. Eco. and Man.*, 259: 943-952.
- Hökkä, H. 1997. Height-diameter curves with random intercepts and slopes for trees growing on drained peatlands. *For. Ecol. Manage.* 97: 63-72.
- Jayaraman, K., and Lappi, J. 2001. Estimation of height-diameter curves through multilevel models with special reference to evenaged teak stands. *For. Ecol. Manage.* 142: 155-162.
- Jayaraman, K., Zakrzewski, W.T., 2001. Practical approaches to calibrating height-diameter relationships for natural sugar maple stands in Ontario. *For. Ecol. Manage.* 148, 169-177.
- Schmidt, M., Kiviste, A., von Gadow, K., A spatially explicit height-diameter model for Scots pine in Estonia, *Eur. J. Forest Res.*, 23, 1-13