

Quickbird ve Landsat 7 ETM+ uydu görüntüleri kullanılarak Ayancık-Göldağ kayın (*Fagus orientalis* Lipsky) meşcerelerinde hacim tahmini

Alkan Günlü^{a,*}, İlker Ercanlı^a, Emin Zeki Başkent^b, Muammer Şenyurt^a

^a Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Çankırı.

^b Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Trabzon.

* İletişim yazarı/Corresponding author: alkangunlu18@gmail.com, Geliş tarihi/Received: 09.11.2012, Kabul tarihi/Accepted: 16.01.2013

Özet: Orman amenajman planlarının hazırlanmasında ve ormanların ekolojik, ekonomik sosyokültürel değerlerinin belirlenmesinde envanter verisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bilindiği gibi planlama süreci envanter çalışmaları ile başlamaktadır. Ormancılıkta envanter verisi, yersel ölçümler veya uzaktan algılama verileri (hava fotoğrafı veya uydu görüntüsü) ya da bu iki tekniğin birlikte kullanılmasıyla elde edilmektedir. Orman amenajman planlarının hazırlanmasında meşcere hacmi, göğüs yüzeyi, ağaç sayısı gibi meşcere parametreleri ihtiyaç duyulan önemli envanter verileridir. Bu parametrelerin yersel ölçümlerle elde edilmesi pahalı ve zaman alıcı bir aşamayı içermektedir. Bu çalışma, saf kayın meşcerelerinde Quickbird ve Landsat 7 ETM+ uydu görüntüleri yardımıyla meşcere hacminin tahmin edilmesi amacıyla yapılmıştır. Toplam geçici 70 örnek alanda, yersel ölçümlerle meşcere hacmi belirlenmiştir. Aynı örnek alanların koordinat değerlerinden yararlanarak Quickbird ve Landsat 7 ETM+ uydu görüntüleri üzerinde parlaklık değerleri hesaplanmıştır. Uydu görüntülerinden elde edilen parlaklık değerleri ile meşcere hacmi arasındaki ilişkiler regresyon analiziyle ortaya konulmuştur. Analizler sonucunda, Quickbird uydu görüntüsünün Bant 1, Bant 2, Bant 3 ve Bant 4 bağımsız değişkenleri ile elde edilen regresyon denklemi ile meşcere hacmi arasında en iyi ilişki ($R^2=0.70$, $RMSE=28.56 \text{ m}^3/\text{ha}$) bulunurken, Landsat 7 ETM+ uydu görüntüsünde ise ETM 2, ETM 3 ve ETM 4 bağımsız değişkenlerinde ($R^2=0.545$, $RMSE=53.13 \text{ m}^3/\text{ha}$) iyi ilişki olduğu bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Meşcere hacmi, Quickbird uydu görüntüsü, Landsat 7 ETM+ uydu görüntüsü

Predicting stand volume using Quickbird and Landsat 7 ETM+ satellite images for stands of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky): a case study in Ayancık-Göldağ

Abstract: In forestry, inventory data is needed for ecological, economical and social values of forest and in preparing forest management planning. The planning process starts with forest inventory. In forestry, inventory data is obtained from both remotely sensed (aerial photo interpretation or satellite image) data and field survey with temporary sample plots. In the preparation of forest management plans, stand volume, basal area, number of trees stand as an important inventory data for the required parameters. Obtaining measurements of these parameters is costly and time consuming. This study were carried out to examine the Quickbird and Landsat 7 ETM+ satellite images in estimating stand volume in pure stands of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky). The stand volume was determined by field measurements at total 70 temporary sampling plots. Reflectance values were calculated based on the Quickbird and Landsat 7 ETM+ satellite data points that correspond to the sampling plots. Regression analyses were conducted to examine the relationships between the reflectance values and stand volume. The results demonstrated that regression model with band 1, band 2, band 3 and band 4 as independent variables for Quickbird and ETM 2, ETM 3 and ETM 4 as independent variables for Landsat 7 ETM+ were used for a better estimation of stand volume ($R^2=0.70$, $RMSE=28.56 \text{ m}^3/\text{ha}^{-1}$; $R^2=0.545$, $RMSE=53.13 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), respectively.

Keywords: Stand volume, Quickbird satellite data, Landsat 7 ETM+ satellite data

1. Giriş

Orman amenajman planlarının yapılmasında ve ormanların ekolojik, ekonomik ve sosyo-kültürel değerlerinin belirlenmesinde envanter verisine gereksinim duyulmaktadır (Leckie ve Gillis 1995; Chubey vd., 2006). Ormancılıkta envanter verisi, yersel ölçümler veya uzaktan algılama verileri ya da bu iki tekniğin birlikte kullanılmasıyla elde edilmektedir (Lund ve Thomas, 1989; Avery ve Burkhart, 1994; Kilpelainen ve Tokola, 1999, Özdemir 2004). Meşcere hacmi, göğüs yüzeyi, ağaç sayısı vb. gibi meşcere parametrelerinin tahmin edilmesi orman amenajman planları için oldukça önemlidir. Bununla birlikte bu parametrelerin doğru bir şekilde belirlenmesi etkili ve

başarılı planlama için gerekli olmaktadır (Zimble vd., 2003). Bu parametrelerin arazide yersel ölçümlerle elde edilmesi pahalı, yoğun iş gücü ve zaman alıcı bir aşamayı içermektedir (Hyypä vd., 2000; Günlü vd., 2008; Sivrikaya, 2011; Günlü, 2012). Son zamanlarda, uzaktan algılama verileri geniş alanlarda başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Ormancılıkta uzaktan algılama verilerinin kullanılması envanter çalışmalarında iş yükünü azaltmaktadır (Yeşil vd., 2002). Literatüre bakıldığında uydu görüntüleri yardımıyla meşcere parametrelerinin belirlenmesine ilişkin birçok çalışma söz konusudur. Bu çalışmalardan bazıları şu şekildedir; Sivanpillai vd. (2006) tarafından yapılan bir çalışmada, Teksas'da *Pinus teada* ormanlarında Landsat ETM uydu görüntüsü kullanılarak

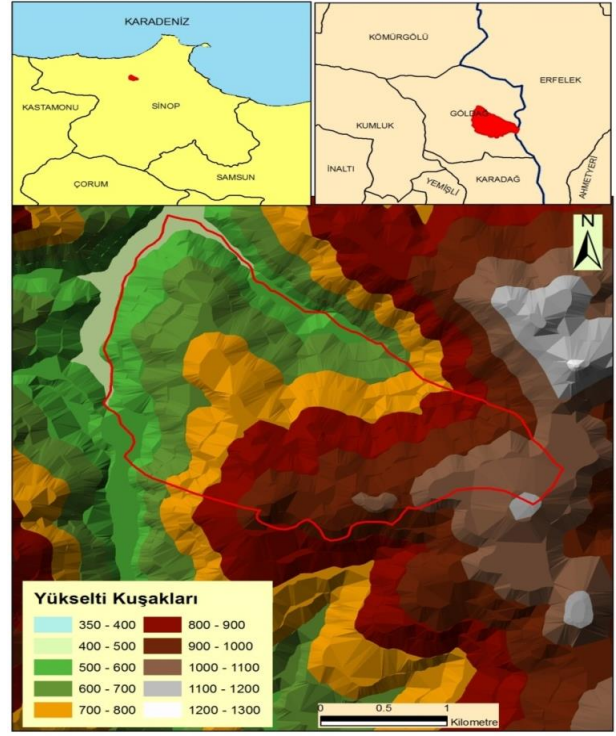
meşcere parametrelerinden meşcere yaşı ve ağaç sayısını, Hall vd., (2006) ve Mohammadi vd., (2010) tarafından yapılan çalışmada Landsat ETM uydu görüntüsü kullanılarak meşcere hacmini tahmin, Poulain vd., (2010) tarafından yapılan bir çalışmada ise ASTER uydu görüntüsü kullanılarak göğüs yüzeyini tahmin etmeye yönelik çalışmalar yapılmıştır. Son zamanlarda yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri kullanılarak meşcere parametrelerine ilişkin tahmin etmeye yönelik bazı çalışmalar yapılmıştır (Franklin vd., 2001; Kayitakire vd., 2006; Peuhkurinen vd., 2008). Astola vd., (2004) tarafından yapılan bir çalışmada IKONOS uydu görüntüsü kullanılmış ve meşcere hacmi, Kayitakire vd., (2006) tarafından yapılan başka bir çalışmada IKONOS uydu görüntüsü kullanılmış ve bu çalışmada göğüs yüzeyi, Peuhkurinen vd., (2008) tarafından yapılan başka bir çalışmada IKONOS uydu görüntüsü kullanılmış ve bu çalışmada sırasıyla meşcere hacmi, göğüs yüzeyi ve ortalama boy, Özdemir ve Kamieli (2011) tarafından yapılan bir çalışmada WorldView-2 uydu görüntüsü kullanılmış ve bu çalışmada ağaç sayısı, göğüs yüzeyi ve meşcere hacmi gibi meşcere parametrelerini tahmin etmeye yönelik çalışmalar yapılmıştır.

Yapılan çalışmalardan da görüleceği üzere uzaktan algılama verileri kullanılarak bazı meşcere parametrelerinin tahmin edilmesine ilişkin iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bu bağlamda, bu çalışmada Quickbird ve Landsat 7 ETM+ uydu görüntüsüne ait bantlardan elde edilen parlaklık değerleriyle ile meşcere hacmi arasındaki ilişkileri istatistiksel olarak ortaya konulması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve yöntem

Çalışma alanı, Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü, Ayancık Orman İşletme Müdürlüğüne bağlı Göladağ Planlama Ünitesi içerisinde yer alan yaklaşık 600 hektarlık bir alanı kaplamaktadır. Türkiye'nin Orta Karadeniz Bölgesi'nde yer almaktadır (Şekil 1). Çalışma alanı coğrafi mevki olarak, ED_1950_UTM_Zone_36N, 647000-651000 doğu boylamı, 4629000-4633000 kuzey enlemi koordinatları arasında yer almaktadır. Araştırma alanının ortalama eğimi %26 ve ortalama yükseltisi 775 m'dir. Araştırma alanının yıllık ortalama maksimum sıcaklığı yaz aylarında 27.6 °C, kış aylarında ise 13.8 °C ve ortalama 17.6 °C'dir. Araştırma alanının ortalama yıllık yağış miktarı ise 677.3 mm'dir (Günlü, 2009). Araştırma alanı müdahale görmemiş aynı yaşlı saf kayın meşcerelerinden oluşmaktadır.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde; 21.08.1999 tarihli ve 30 m konumsal çözünürlüğe sahip Landsat 7 ETM+ uydu görüntüsünün 6 bantı (ETM 1-5 ve 7), 18.06.2004 tarihli ve 0.60 cm çözünürlüğe sahip Quickbird uydu görüntüsünün 4 bantı ve yerleri sistematik olarak 300 x 300 m aralıklarla alınan 70 adet örnek alan verileri kullanılmıştır. Meşcere kaplılıklarına göre (3 kapalı meşcerelerde 400 m², 2 kapalı meşcerelerde 600 m² ve 1 kapalı meşcerelerde ise 800 m²) örnek alanların büyüklükleri belirlenmiştir. Her bir örnek alandaki 8 cm ve üzerindeki ağaçların göğüs çapı ölçülmüştür. Örnek alanlara ilişkin meşcere hacimleri ise, Carus (1998) tarafından geliştirilen ağaç hacim denklemleri ile tahmin edilen tek ağaçların hacim değerlerinin toplanıp, hektara çevrilmesi suretiyle hesaplanmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanının coğrafi konumu

Çalışmada kullanılan uydu görüntüleri üzerinde bazı ön işlemler yapılmıştır. Uydu görüntüleri üzerinde araştırma alanı olarak seçilen Göladağ Planlama Ünitesinin kapladığı alan, sayısallaştırılan meşcere tipi haritası sınırları kullanılarak gerekli geometrik düzeltmeler yapıldıktan sonra kesilmiştir. Bu çalışmada tüm işlemler kesilen görüntü üzerinden yapılmıştır. Uydu görüntülerinin konumsal veri tabanı içerisinde değerlendirilebilmesi için geometrik olarak düzeltilmesi gerekmektedir. Geometrik düzeltme işlemi, orijinal uydu görüntüsündeki eğilme-büzülmelerin (distorsiyonları) giderilerek harita düzeninde kullanımını sağlamaktadır. Dijital ortamdaki uydu görüntüleri, görüntü sistemi, uydu yörüngesi ve dünyanın dönmesinden meydana gelen bozulmalardan dolayı analitik olarak tanımlanmış dönüşümlerle yapılamaz. Bu nedenle, dönüşüm parametreleri en küçük kareler yöntemi ile belirlenir. Bunun için manuel (elle) olarak belirlenen ve hem görüntüde hem de çalışılan projeksiyon sisteminde çok sayıda kontrol noktalarına ihtiyaç duyulur. Bunlar yer kontrol noktaları (YKN) olarak adlandırılır. Geometrik düzeltme işleminin yapılabilmesi için öncelikle uydu görüntüsünün dönüştürüleceği koordinat sistemi için datum ve yer kontrol noktaları belirlenmelidir (Çakır, 2006).

Bu çalışmada yer kontrol noktaları 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritalar üzerinden seçilmiştir. Yüksek doğrulukta ve çok sayıda YKN seçimi oldukça zor bir işlemdir. Bu işlem için yol kesişimleri, yol-dere kesişimleri gibi yapay detaylar YKN olarak seçilmiştir. YKN'lerinin seçiminde, noktaların görüntü üzerine homojen olarak dağılmasına dikkat edilmiştir. Datum seçiminde, Göladağ Planlama Ünitesi 60°'lik tek bir UTM dilimi içerisinde değerlendirilebildiğinden, ülke koordinat sistemindeki diğer büyük ölçekli mühendislik çalışmalarla entegrasyonu kolay sağlamak amacıyla 60°'lik UTM koordinat sistemi ile 1/25.000 ölçekli paftaların üretiminde kullanılan ED50 datumu tercih edilmiştir. Uzaktan algılama verilerinin

geometrik dönüşümünde maksimum karesel ortalama hata (RMS) miktarı 0.5 piksel olarak kabul edilir (Jensen, 1996; Armston vd., 2002). RMS hatası 1 pikselden aşağı olacak şekilde Landsat 7 ETM+ uydu görüntüsünün geometrik düzeltmesi yapılmıştır. Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsünde ise RMS hatasının 1 metre veya 2 piksel düzeylerinde olması sağlanmıştır. Landsat 7 ETM+ ve Quickbird uydu görüntülerine ilişkin bazı ön işlemler yapıldıktan sonra arazide envanter aşamasında alınan her bir örnekleme alanı için, Landsat 7 ETM 1- ETM 5 ve ETM 7 ve Quickbird uydu görüntüsünün dört bantına ilişkin parlaklık değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamadaki parlaklık değerleri Landsat 7 ETM+ uydu görüntüsü üzerinde örnek alanların tekabül ettiği pikseldeki parlaklık değeri olarak alınmıştır. Buna karşın Quickbird uydu görüntüsü üzerindeki parlaklık değerleri ise örnek alan büyüklüklerine göre farklı şekilde hesaplanmıştır. Şöyle ki, 400 m² lik örnek alanlar için 35 x 35 m; 600 m² lik örnek alanlar için 42 x 42 m ve 800 m² lik örnek alanlar için ise 48x48 m büyüklüğündeki piksellerin ortalama parlaklık değerleri alınarak hesaplanmıştır.

3.1. İstatistiksel Analiz

Bu çalışmada, meşcere hacmi ile Landsat 7 ETM+ ve Quickbird uydu görüntülerine ilişkin parlaklık değerleri arasındaki istatistiksel ilişkileri modellemek üzere, çoğul regresyon analizi kullanılmıştır. Çoğul regresyon modellerinde tahmin edilmek istenen bağımlı değişken; meşcere hacmi iken, bağımsız değişken ise; Landsat 7 ETM uydu görüntüsüne ait altı bantın parlaklık değerleri (ETM1, ETM 2, ETM 3, ETM 4, ETM 5 ve ETM 7) ile Quickbird uydu görüntüsünün (Bant 1, Bant 2, Bant 3 ve Bant 4) dört bantına ilişkin değerlerdir. Meşcere hacmini çeşitli yansıma değerlerine ilişkin bant değerlerine göre tahmin regresyon model yapısı aşağıda verilmiştir.

$$V = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots + \beta_n \cdot X_n + \varepsilon \quad (1)$$

Denklemden, V; meşcere hacmini, $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$; denklem parametrelerini, X_1, X_2, \dots, X_n ; Landsat 7 ETM+ ve Quickbird uydu görüntüsünden elde edilen parlaklık değerlerine ilişkin bant değerlerini, ε ; ise model hatasını ifade etmektedir. Her iki uzaktan algılama verisinde %95 güven düzeyi için farklı bantların kombinasyonların üzerinden istatistiksel olarak anlamlı model seçenekleri belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan istatistiksel model başarı ölçütleri ise; Düzeltilmiş Belirtme Katsayısı (R_{adj}^2), Akaike Bilgi Ölçütü (AIC), Sawa'nın Bayesian Bilgi Ölçütü (BIC), Schwarz'ın Bayesian Bilgi Ölçütü (SBC), Hataların Ortalama Kare Kökü (the root mean square error, RMSE) ve Mallow'un Cp değeri olmak üzere altı adettir.

Belirtme Katsayısı, bağımlı değişkendeki değişimin ne kadarının bağımsız değişken (ler) tarafından açıklandığını ifade edip, modelin açıklayıcılık gücünün iyi bir göstergesidir. Aşağıdaki formül ile ifade edilmektedir; (Beal, 2007).

$$R_{adj}^2 = 1 - \frac{(n-1) \cdot RKT}{(n-k) \cdot GKT} \quad (2)$$

Bu formülde, RKT; regresyon kareler toplamı olup, modelin hata varyansını göstermektedir ve gözlem değerinden model ile elde edilen tahmin değerlerinin

çıkarılması ile elde edilen model hatalarının karesi ile olarak hesaplanmaktadır. GKT ise; genel kareler toplamı olup, bağımlı değişkene ilişkin varyansı göstermektedir. Özellikle 0 ile 1 arasında değer alan belirtme katsayısının, mümkün olduğunca 1'e yakın bir değer alması istenilmektedir.

Akaike Bilgi Ölçütü (AIC), 1974 yılında Hirotosugu Akaike tarafından önerilmiş olan bir model karşılaştırma ölçütüdür. Özellikle farklı modelleri ve yaklaşımları sıklıkla kullanılan Akaike Bilgi Ölçütü (AIC) değerinin küçülmesi, daha başarılı sonuçların elde edildiğini göstermektedir.

$$AIC = n \cdot \ln\left(\frac{RKT}{n}\right) + 2k \quad (3)$$

Bu formülde, RKT; regresyon kareler toplamını, n ve k; modelin geliştirilmesinde kullanılan veri sayısını ve modeldeki katsayı sayısını ifade etmektedir (Beal, 2007).

Sawa'nın Bayesian Bilgi Ölçütü (BIC), Sawa (1978) tarafından Akaike Bilgi Ölçütünden Bayes yaklaşımı ile üretilmiştir.

$$BIC = n \cdot \ln\left(\frac{RKT}{n}\right) + \frac{2(k+2) \cdot n \cdot \sigma^2}{RKT} - \frac{2 \cdot n^2 \cdot \sigma^4}{RKT^2} \quad (4)$$

Yukarıdaki formül ile hesaplanan Sawa'nın Bayesian Bilgi Ölçütünde; RKT; regresyon kareler toplamını, σ ; model hatasını, n ve k; modelin geliştirilmesinde kullanılan veri sayısını ve modeldeki katsayı sayısını ifade etmektedir.

Schwarz'ın Bayesian Bilgi Ölçütü (SBC); Schwarz (1978) tarafından Sawa'nın Bayesian Bilgi Ölçütü (BIC) benzer şekilde, Akaike Bilgi Ölçütünden üretilmiş bir model karşılaştırma ölçütüdür.

$$SBC = n \cdot \ln\left(\frac{RKT}{n}\right) + k \cdot \ln(n) \quad (5)$$

Sawa'nın Bayesian Bilgi Ölçütü (BIC) ile Schwarz'ın Bayesian Bilgi Ölçütü (SBC) değerlerinin küçülmesi; Akaike Bilgi Ölçütündeki gibi daha başarılı modellerin elde edildiğini göstermektedir.

Hataların Ortalama Kare Kökü (the Root mean square error, RMSE); regresyon kareler toplamına ve veri sayısına göre aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{RKT}{n-k}} \quad (6)$$

Mallow'un Cp değeri, Mallow (1973) geliştirdiği bir model başarı ölçütü olup, Cp değeri küçüldükçe; başarılı modeller elde edilmektedir (Beal, 2007).

$$Cp = \frac{SSE}{\sigma^2} + 2k - n \quad (7)$$

Yukarıda söz edilen farklı bant değerlerini içeren çoğul regresyon modellerinin oluşturulmasında ve modellere ilişkin başarı ölçütlerinin tahmin edilmesinde, SAS/ETS 9.0 istatistik paket programında PROC REG ve PROC RSQUARE prosedürleri kullanılmıştır (SAS Institute Inc, 2004). Özellikle, PROC RSQUARE prosedürleri ile tüm bağımsız değişkenleri ilişkin seçenekleri içerecek şekilde regresyon modelleri ve bu modellere ilişkin yukarıda sözü edilen tüm model başarı ölçütleri elde edilebilmektedir.

3. Bulgular

Meşcere hacmini tahmin etmek üzere kullanılan Landsat 7 ETM+ uydu görüntüsünden elde edilen 6 adet bant (ETM 1, ETM 2, ETM 3, ETM 4, ETM 5 ve ETM 7) değişkenlerini içeren tüm farklı regresyon model seçeneklerine ilişkin model başarı ölçütleri Çizelge 1'de verilmiştir. Bu çizelge incelendiğinde, farklı bağımsız değişkenleri içeren tüm regresyon model seçeneklerine ilişkin model başarı ölçüt değerleri görülmektedir. Özellikle, 6. model grubundaki tüm bant değerlerini içeren model, en başarılı model olarak görülebilirken, diğer taraftan söz konusu bu modelde; bazı parametrelerin %95 güven düzeyi ile anlamlı olmaması model kullanılabilirliğini engellemektedir. Bu bakımdan, daha yüksek belirtme katsayılarına sahip modellerin parametre değerlerinin %95 güven düzeyi ile anlamlı olmamaları nedeniyle meşcere hacmini tahmin etmede başarılı model olarak seçilmemişlerdir. Model değerlendirme sürecinde, model başarı ölçütleri ile birlikte model parametrelerinin anlamlılığı da değerlendirildiğinde; 3. model grubundaki ETM 2, ETM 3 ve ETM 4'ü içeren model; meşcere hacmini tahmin etmede en başarılı model olarak seçilmiştir. Bu modele ilişkin parametre tahminleri, Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelge 2 incelendiğinde, modelin sabit katsayısının %95 güven ile anlamlı olmadığı görülmektedir. Bu bakımdan, modele ilişkin sabit katsayı, model yapısından çıkarılarak tekrar regresyon analizi ile model parametreleri tahmin edildiğinde; Çizelge 3'de verilen model parametreleri ve başarı ölçütleri elde edilmiştir. Sonuç olarak, Landsat uydu görüntüsü için seçilen en başarılı modelin başarı ölçütleri; $R^2_{adj.}=0.545$, $C_p=3.00$, $AIC=288.9147$, $BIC=291.4436$, $SBC=293.6652$, $RMSE=53.13$ olarak hesaplanmıştır. Modelin belirtme katsayısı, 0.545 olup, meşcere hacmindeki değişimin %54.5'i ETM 2, ETM 3 ve ETM 4 bant değerleri ile tahmin edilebilmektedir.

Çizelge 4'te, meşcere hacmini tahmin etmek üzere kullanılan Quickbird uydu görüntüsünden elde edilen 4 adet bant (bant 1, bant 2, bant 3 ve bant 4) değişkenine ilişkin tüm farklı regresyon model seçeneklerine ilişkin model başarı ölçütleri verilmiştir. Söz konusu tüm bu modeller model başarı ölçütleri ile birlikte model parametrelerinin anlamlılığı da değerlendirildiğinde; 4. model grubundaki bant 1, bant 2, bant 3 ve bant 4'ü içeren model; meşcere hacmini tahmin etmede en başarılı model olarak seçilmiştir. Bu modele ilişkin parametre tahminleri, Çizelge 5'de verilmiştir. Çizelge 5 incelendiğinde, modelin tüm katsayısının %95 güven ile anlamlı olduğu görülmektedir. Quickbird uydu görüntüsü için seçilen en başarılı modelin başarı ölçütleri; $R^2_{adj.}=0.70$, $C_p=5.00$, $AIC=145.07$, $BIC=150.00$, $SBC=150.29$, $RMSE=28.56$ olarak hesaplanmıştır. Modelin belirtme katsayısı, 0.70 olup, meşcere hacmindeki değişimin %70'i bant 1, bant 2, bant 3 ve bant 4 ile tahmin edilebilmektedir. Ayrıca seçilen modellere ilişkin tahmin değerleri ve gerçek değerlerini gösteren grafikler Şekil 2-3'te gösterilmiştir.

4. Tartışma ve sonuç

Bu çalışmada, Landsat 7 ETM+ uydu görüntüsünün 6 bantı ve Quickbird uydu görüntüsünün 4 bantı kullanılarak elde edilen parlaklık değerleri ile meşcere hacmi arasındaki istatistiksel ilişkilerin modellenmesi amaçlanmıştır., Quickbird uydu görüntüsüne ait bant 1, bant 2, bant 3 ve

bant 4 bantlarının bağımsız değişken olarak yer aldığı regresyon denklemi ($R^2=0.70$, $RMSE=28.56$ m³/ha) ile Landsat 7 ETM uydu görüntüsüne ait ETM 2, ETM 3 ve ETM 4 bantlarının bağımsız değişken olarak yer aldığı regresyon denklemi meşcere hacmini tahmin etmekte en iyi sonucu vermiştir ($R^2=0.545$, $RMSE=53.13$ m³/ha). Elde edilen bu sonuçlar değerlendirildiğinde Quickbird uydu görüntüsüne ait 4 bant (bant 1, bant 2, bant 3 ve bant 4) meşcere hacmini %70 düzeyinde açıklarken, Landsat 7 ETM+ uydu görüntüsüne ait 3 bant (ETM 2, ETM 3 ve ETM 4) meşcere hacmini %54.5 düzeyinde açıklamaktadır. İki görüntüden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında yüksek çözünürlüğe sahip Quickbird uydu görüntüsü, orta çözünürlüğe sahip Landsat 7 ETM+ uydu görüntüsüne göre daha başarılı sonuç vermektedir. Landsat 7 ETM+ uydu görüntüsünden elde edilen sonuçlar diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında bu çalışmadan elde edilen sonucun iyi olduğu söylenebilir. Meşcere hacmini tahmin etmek üzere Mohammadi vd. (2010) tarafından yapılan bir çalışmada, Landsat ETM uydu görüntüsüne ait ETM 4 bantı bağımsız değişken olarak kullanan regresyon denklemi ile % 42.3'lük bir açıklayıcılık elde edilmiştir ($R^2=0.423$, $RMSE=70.164$ m³/ha). Hall vd. (2006) ve Trotter vd. (1997) tarafından yapılan çalışmalarda geliştirilen modeller ile model açıklayıcılığı %30 ($R^2=0.30$), olarak bulunmuştur. Mallinis vd. (2003) tarafından yapılan ve Landsat TM uydu görüntüsüne ait bantlardaki yansıma değerleri ile meşcere hacmi arasındaki ilişkilerin araştırıldığı başka bir çalışmada TM2, TM3, TM4 ve TM5 bantlarının bağımsız değişken olarak kullanıldığı regresyon denkleminde regresyon denkleminde $R^2=0.183$, TM2, TM3 ve TM5 bantlarının bağımsız değişken olarak kullanıldığı regresyon denkleminde $R^2=0.172$ ve TM1-TM5 ve TM7 bantlarının bağımsız değişken olarak kullanıldığı regresyon denkleminde ise $R^2=0.117$ olarak bulunmuştur. Landsat TM uydu görüntüsü kullanılarak meşcere hacmin tahmin edilmesine yönelik Günlü vd. (2012) tarafından yapılan bir çalışmada ise TM 2 ve TM 4 bağımsız değişkenlerinin kullanılarak elde edilen regresyon denklemi ile meşcere hacmindeki değişimin %54'ü tahmin edilmiştir. Son zamanlarda yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri kullanılarak meşcere parametrelerine ilişkin tahmin etmeye yönelik bazı çalışmalar yapılmıştır (Kayitakire vd., 2006; Peuhkurinen vd., 2008). Astola vd. (2004) tarafından yapılan bir çalışmada IKONOS uydu görüntüsü kullanılmış ve meşcere hacmi için hata yüzdesi %39 olarak bulunmuştur. Kayitakire vd. (2006) tarafından yapılan başka bir çalışmada IKONOS uydu görüntüsü kullanılmış ve bu çalışmada göğüs yüzeyini tahmin eden modelin açıklayıcılığı %35 düzeyinde ($R^2=0.35$) bulunmuştur. Peuhkurinen vd. (2008) tarafından yapılan başka bir çalışmada IKONOS uydu görüntüsü kullanılmış ve bu çalışmada sırasıyla meşcere hacmi için hata yüzdesi %31.3, göğüs yüzeyi için %5.6 ve ortalama boy için %3.1 olarak bulunmuştur. Özdemir ve Karnieli (2011) tarafından yapılan bir çalışmada WorldView-2 uydu görüntüsü kullanılmış ve bu çalışmada elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde ağaç sayısını tahmin eden modelin açıklayıcılığı %38, göğüs yüzeyinin %54 ve meşcere hacminin ise %42 olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ışığında yüksek çözünürlüklü Quickbird uydu görüntüsünün, orta çözünürlüklü Landsat 7 ETM+ uydu görüntüsüne göre meşcere hacmini daha iyi tahmin ettiği görülmüştür. Bu nedenle bundan sonraki meşcere parametrelerinin tahmin

edilmesine yönelik yapılacak çalışmalarda yüksek çözünürlük uydu görüntülerinin kullanılması daha faydalı olacağı söylenebilir.

Çizelge 1. Meşcere hacmini tahmin etmek üzere geliştirilmiş Landsat 7 ETM+ uydu verilerine bağlı olarak hesaplanmış farklı bağımsız değişkenleri içeren regresyon model seçeneklerine ilişkin başarı ölçüt değerleri

Model Grup	R ² _{adj.}	Cp	AIC	BIC	RMSE	SBC	Değişkenler					
1	0.33	18.03	299.53	300.25	62.37	302.70	ETM3					
1	0.20	28.44	306.34	306.39	68.56	309.50	ETM4					
1	0.18	29.69	307.08	307.06	69.27	310.24	ETM7					
1	0.15	31.70	308.23	308.11	70.38	311.39	ETM1					
1	0.11	34.99	310.04	309.76	72.18	313.21	ETM2					
1	0.08	37.39	311.31	310.92	73.46	314.48	ETM5					
2	0.43	11.80	295.07	296.19	57.88	299.82	ETM2	ETM3				
2	0.39	14.66	297.44	298.20	59.82	302.19	ETM3	ETM4				
2	0.33	18.90	300.71	300.99	62.60	305.46	ETM3	ETM5				
2	0.32	19.61	301.23	301.43	63.05	305.98	ETM3	ETM7				
2	0.32	19.66	301.27	301.46	63.08	306.02	ETM1	ETM3				
2	0.29	21.66	302.69	302.68	64.34	307.44	ETM1	ETM4				
2	0.23	26.21	305.73	305.31	67.11	310.48	ETM4	ETM7				
2	0.22	26.57	305.95	305.51	67.32	310.70	ETM4	ETM5				
2	0.22	27.05	306.26	305.77	67.61	311.01	ETM2	ETM4				
2	0.21	27.61	306.61	306.08	67.94	311.36	ETM1	ETM7				
2	0.21	27.74	306.69	306.15	68.02	311.44	ETM1	ETM5				
2	0.17	30.61	308.44	307.67	69.69	313.19	ETM2	ETM7				
2	0.16	31.35	308.87	308.05	70.11	313.62	ETM5	ETM7				
2	0.14	32.75	309.69	308.77	70.91	314.44	ETM1	ETM2				
2	0.13	33.73	310.24	309.26	71.46	315.00	ETM2	ETM5				
3	0.50	7.24	290.91	293.09	53.96	297.25	ETM2	ETM3	ETM4			
3	0.45	10.65	294.25	295.69	56.52	300.58	ETM1	ETM2	ETM3			
3	0.44	11.98	295.46	296.65	57.48	301.80	ETM2	ETM3	ETM5			
3	0.43	12.27	295.72	296.85	57.69	302.06	ETM3	ETM4	ETM5			
3	0.42	13.16	296.50	297.47	58.32	302.84	ETM2	ETM3	ETM7			
3	0.38	16.12	299.01	299.47	60.38	305.34	ETM1	ETM3	ETM4			
3	0.37	16.52	299.33	299.73	60.65	305.67	ETM3	ETM4	ETM7			
3	0.32	20.31	302.28	302.11	63.19	308.61	ETM1	ETM3	ETM5			
3	0.31	20.89	302.70	302.46	63.56	309.04	ETM3	ETM5	ETM7			
3	0.31	21.08	302.84	302.57	63.68	309.17	ETM4	ETM5	ETM7			
3	0.30	21.27	302.98	302.68	63.81	309.32	ETM1	ETM4	ETM5			
3	0.30	21.34	303.03	302.72	63.85	309.36	ETM1	ETM3	ETM7			
3	0.28	23.08	304.28	303.75	64.97	310.62	ETM1	ETM4	ETM7			
3	0.27	23.63	304.66	304.06	65.32	311.00	ETM1	ETM2	ETM4			
3	0.25	24.75	305.44	304.70	66.02	311.77	ETM2	ETM4	ETM5			
3	0.22	27.39	307.20	306.15	67.65	313.53	ETM2	ETM4	ETM7			
3	0.20	28.28	307.77	306.63	68.20	314.10	ETM1	ETM5	ETM7			
3	0.19	29.60	308.61	307.33	68.99	314.94	ETM1	ETM2	ETM7			
3	0.18	29.74	308.69	307.40	69.07	315.03	ETM1	ETM2	ETM5			
3	0.15	32.25	310.22	308.68	70.56	316.56	ETM2	ETM5	ETM7			
4	0.55	5.17	288.50	292.00	51.56	296.42	ETM1	ETM2	ETM3	ETM4		
4	0.54	5.53	288.92	292.29	51.86	296.83	ETM2	ETM3	ETM4	ETM5		
4	0.49	9.15	292.82	295.06	54.75	300.74	ETM2	ETM3	ETM4	ETM7		
4	0.48	9.65	293.33	295.43	55.14	301.25	ETM1	ETM2	ETM3	ETM5		
4	0.44	12.30	295.92	297.31	57.16	303.84	ETM1	ETM2	ETM3	ETM7		
4	0.42	13.96	297.45	298.43	58.39	305.36	ETM2	ETM3	ETM5	ETM7		
4	0.41	14.15	297.61	298.56	58.52	305.53	ETM3	ETM4	ETM5	ETM7		
4	0.41	14.18	297.64	298.58	58.55	305.56	ETM1	ETM3	ETM4	ETM5		
4	0.36	17.87	300.80	300.94	61.17	308.72	ETM1	ETM3	ETM4	ETM7		
4	0.32	20.95	303.25	302.81	63.29	311.17	ETM1	ETM4	ETM5	ETM7		
4	0.30	22.31	304.27	303.59	64.19	312.19	ETM1	ETM3	ETM5	ETM7		
4	0.29	22.71	304.57	303.82	64.46	312.49	ETM2	ETM4	ETM5	ETM7		
4	0.28	23.25	304.97	304.13	64.82	312.89	ETM1	ETM2	ETM4	ETM5		
4	0.26	24.89	306.14	305.05	65.88	314.06	ETM1	ETM2	ETM4	ETM7		
4	0.18	30.20	309.72	307.87	69.24	317.64	ETM1	ETM2	ETM5	ETM7		
5	0.56	5.01	287.91	292.69	50.57	297.41	ETM1	ETM2	ETM3	ETM4	ETM5	
5	0.54	6.72	289.98	293.98	52.04	299.48	ETM1	ETM2	ETM3	ETM4	ETM7	
5	0.53	7.40	290.76	294.48	52.61	300.27	ETM2	ETM3	ETM4	ETM5	ETM7	
5	0.47	11.46	295.14	297.32	55.90	304.64	ETM1	ETM2	ETM3	ETM5	ETM7	
5	0.40	16.10	299.57	300.32	59.46	309.07	ETM1	ETM3	ETM4	ETM5	ETM7	
5	0.29	22.89	305.20	304.30	64.29	314.70	ETM1	ETM2	ETM4	ETM5	ETM7	
6	0.55	7.00	289.90	295.16	51.42	300.99	ETM1	ETM2	ETM3	ETM4	ETM5	ETM7

Çizelge 2. Meşcere hacmini tahmin etmede seçilmiş en başarılı modele ilişkin parametre değerleri ve bunlara ilişkin istatistiksel bilgiler

Denklem Parametresi	Tahmin Değeri	Standart Hata	t değeri	p
β_0	5.26455	128.938	0.04	0.9677
ETM2	-15.2779	5.223	-2.92	0.0063
ETM3	21.3665	4.800	4.45	<0.0001
ETM4	1.4838	0.607	2.44	0.0203

Çizelge 3. Meşcere hacmini tahmin etmede seçilmiş en başarılı modelin sabit katsayısı parametre değerleri ve bunlara ilişkin istatistiksel bilgiler ile model başarı ölçüt değerleri

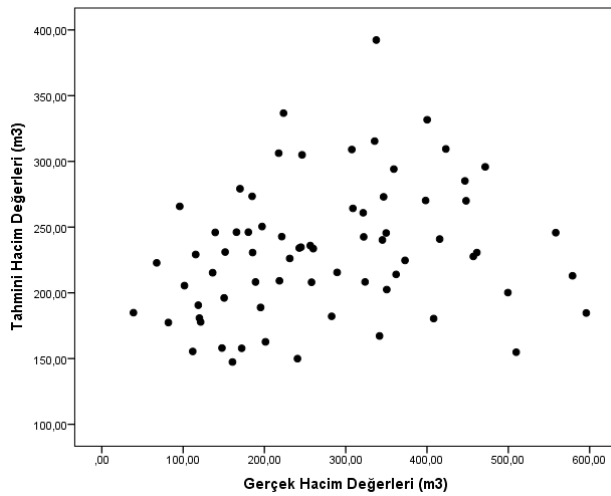
Denklem Parametresi	Tahmin Değeri	Standart Hata	t değeri	p
ETM2	-15.1277	3.6554	-4.14	0.0002
ETM3	21.2895	4.3467	4.90	<0.0001
ETM4	1.4917	0.5674	2.63	0.0129
$R^2_{adj}=0.545$	$C_p=3.00$	$AIC=288.9147$		
$SBC=293.6652$	$RMSE=53.13$	$BIC=291.4436$		

Çizelge 4. Meşcere hacmini tahmin etmek üzere geliştirilmiş Quickbird uydu verilerine bağlı olarak hesaplanmış farklı bağımsız değişkenleri içeren regresyon model seçeneklerine ilişkin başarı ölçüt değerleri

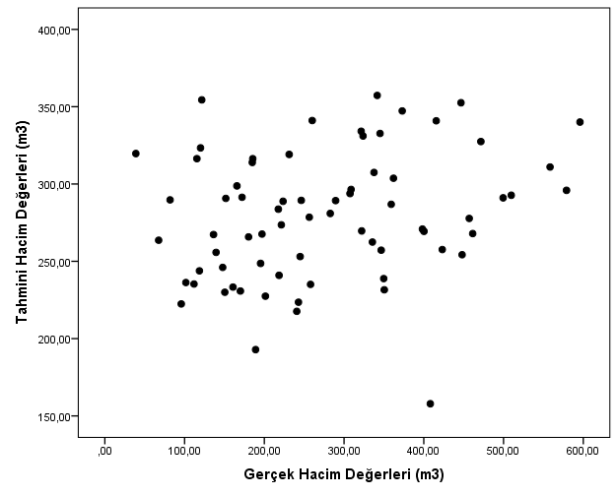
Model Grup	R^2_{adj}	C_p	AIC	BIC	RMSE	SBC	Değişkenler				
1	0.32	26.48	160.07	159.46	43.20	162.15	Bant 1				
1	0.28	29.41	161.44	160.65	44.64	163.53	Bant 4				
1	0.24	31.49	162.36	161.45	45.62	164.44	Bant 2				
1	0.19	35.26	163.93	162.82	47.36	166.02	Bant 3				
2	0.50	15.57	154.67	154.59	37.22	157.80	Bant 1	Bant 4			
2	0.45	18.69	156.71	156.17	39.07	159.84	Bant 1	Bant 3			
2	0.44	19.08	156.95	156.35	39.30	160.08	Bant 2	Bant 4			
2	0.39	22.16	158.77	157.78	41.04	161.90	Bant 3	Bant 4			
2	0.38	22.52	158.97	157.94	41.23	162.10	Bant 2	Bant 3			
2	0.33	25.73	160.70	159.32	42.96	163.83	Bant 1	Bant 2			
3	0.62	8.84	149.61	151.29	32.37	153.78	Bant 1	Bant 3	Bant 4		
3	0.61	9.50	150.23	151.69	32.86	154.41	Bant 2	Bant 3	Bant 4		
3	0.50	15.54	155.23	154.97	37.00	159.40	Bant 1	Bant 2	Bant 4		
3	0.50	15.61	155.28	155.01	37.05	159.45	Bant 1	Bant 2	Bant 3		
4	0.70	5.00	145.07	150.00	28.56	150.29	Bant 1	Bant 2	Bant 3	Bant 4	

Çizelge 5. Quickbird uydu verilerine bağlı olarak meşcere hacmini tahmin etmede seçilmiş en başarılı modelin parametre değerleri ve bunlara ilişkin istatistiksel bilgiler ile model başarı ölçüt değerleri.

Denklem Parametresi	Tahmin Değeri	Standart Hata	t değeri	p
β_0	-2409.0388	592.0841	-4.53	0.0003
ETM 1	11.7274	4.5994	2.55	0.0214
ETM2	10.6365	4.4015	2.42	0.0280
ETM3	-20.2712	5.7242	-3.54	0.0027
ETM4	0.13417	0.0377	3.55	0.0027
$R^2_{adj}=0.700$	$C_p=5.00$	$AIC=145.07$		
$SBC=150.29$	$RMSE=28.56$	$BIC=150.00$		



Şekil 2. Landstat 7 ETM+ uydu görüntüsünden tahmin edilen hacim değerleri ile gerçek değerlere ilişkin grafik



Şekil 3. Quickbird uydu görüntüsünden tahmin edilen hacim değerleri ile gerçek değerlere ilişkin grafik

Kaynaklar

- Armston J.D., Danaher T.J., Goulevitch B.M., Byrne M.I. 2002. Geometric correction of Landsat MSS, TM, and ETM+ Imagery for mapping of woody vegetation cover and change detection in Queenlands, <http://www.nrm.gld.gov.au/slats/pdf/0078anav.pdf>.
- Astola, H., Bounsaythip, C., Ahola, J., Häme, T., Parmes, E., Sirro, L., Veikkanen, B., 2004. Highforest-forest parameter estimation from high resolution remote sensing data. Proceedings of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Twentieth Congress, 12–23 July, pp. 355–340, Istanbul, Turkey
- Avery, T.E., Burkhardt H.E. 1994. Forest measurements. McGraw-Hill Inc., New York.
- Beal, D.J., 2007. Information criteria methods in SAS® for multiple linear regression models. SAS Note, Paper SA05, 10 s.
- Çakır, G., 2006. Orman Amenajman Planlamasında Gerekli Bilişimin Sağlanması İçin Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinden Yararlanılması. Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Carus, S., 1998. Aynı Yaşlı Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) Ormanlarında Artım ve Büyüme. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Chubey, M.S., Franklin, S.E., Wulder, M.A., 2006. Object-based analysis of IKONOS-2 imagery for extraction of forest inventory parameters. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 72 (4): 383-394.
- Günlü, A., Sivrikaya, F., Başkent, E.Z., Keleş, S., Çakır, G., Kadioğulları, A.İ., 2008. Estimation of stand type parameters and land cover using Landsat-7 ETM image: A Case Study from Turkey. Sensors, 8: 2509-2525.
- Günlü, A., 2009. Yetiştirme Ortamı Envanterinin Doğrudan, Dolaylı ve Uzaktan Algılama Yöntemleri ile Belirlenmesi ve Karşılaştırılması. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Günlü, A., 2012. Landsat TM Uydu Görüntüsü Yardımıyla Bazı Meşcere Parametreleri (Gelişim Çağı ve Kapalılık) ve Arazi Kullanım Sınıflarının Belirlenmesi. Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi, 12(1):71-79.
- Hall, R.J., Skakun, R.S., Arsenault, E.J., 2006. Modeling forest stand structure attributes using Landsat ETM+ data: application to mapping of aboveground biomass and stand volume. Forest Ecology and Management, 225:378–390.
- Hyypä, J., Hyypä, H., Inkinen, M., Engdahl, M., Linko, S., Zhu, Y., 2000. Accuracy comparison of various remote sensing data sources in the retrieval of forest stand attributes. Forest Ecology and Management, 128:109-120.
- Jensen, J.R., 1996. Introductory Dijital Image Processing: A Remote Sensing Perspective 2d. Ed. Engle wood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
- Kayıtakire, F., Hamel, C., Defourny, P., 2006. Retrieving forest structure variables based on image texture analysis and IKONOS-2 imagery. Remote Sensing of Environment, 102:390–401.
- Kilpelainen, P., Tokola, T., 1999. Gain to be achieved from stand delineation in Landsat TM image-based estimates of stand volume. Forest Ecology and Management, 124:105–111.
- Leckie, D.G., Gillis, M.D., 1995. Forest inventory in Canada with emphasis on map production. The Forestry Chronicle, 71:74-88.
- Lund, H.G., Thomas, C.E., 1989. A primer on stand and forest inventory designs. General Technical Report WO-54. USDA Forest Service, Washington, DC.
- Mallows, C.L., 1973. Some comments on Cp. Technometrics, 15:661-675.
- Mohammadi, J., Joibary, S.S., Yaghmaee, F., Mahiny, A.S., 2010. Modelling forest stand volume and tree density using Landsat ETM data. International Journal of Remote Sensing, 31: 2959–2975.
- Özdemir, İ., 2004. Orman Envanterinden Uydu verilerinden Yararlanma Olanakları, SDÜ Orman Fakültesi Dergisi, Seri A, Sayı: 1, 84-96.
- Özdemir, İ., Karnieli, A., 2011. Predicting forest structural parameters using the image texture derived from WorldView-2 multispectral imagery in a dryland forest, Israel, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 13(5):701-710.
- Peuhkurinen, J., Maltamo, M., Vesa, L., Packalén, P., 2008. Estimation of forest stand characteristics using spectral histograms derived from an Ikonos Satellite Image. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 74:1335–1341.
- Poulain, M., Peña, M., Schmidt, A., Schmidt, H., Schulte, A., 2010. Relationships between forest variables and remote sensing data in a *Nothofagus pumilio* forest. Geocarto International, 25:25-43.
- SAS Institute Inc., 2004. SAS/STAT 9.1 User's Guide: statistics, Version 9.1, SAS Institute Inc., Cary, NC., 816 s.
- Sawa, T., 1978. Information criteria for discriminating among alternative regression models. Econometrica, 46:1273-1282.
- Schwarz, G., 1978. Estimating the dimension of a model. Annals of Statistics, 6:461-464.
- Sivanpillai, R., Smith, C.T., Srinivasan, R., Messina, M.G., Wu, X.B., 2006. Estimation of managed loblolly pine stand age and density with Landsat ETM+ data. Forest Ecology and Management, 223:247–254.
- Sivrikaya, F., 2011. The importance of spatial accuracy in characterizing stand types using remotely sensed data. African Journal of Biotechnology, 10(66):14891-14906.
- Yeşil, A., Musaoğlu, N., Kaya, Ş., Coşkun, G., Asan, Ü., Örmeci, C., 2002. Statistical modelling and stand type forest mapping selected area around Istanbul using Landsat-TM and Spot data. Proceeding, International Symposium on Remote Sensing and Integrated Technologies, 291-300, Istanbul, Turkey,
- Zimble, D.A., Evans, D.L., Carison, G.C., Parker, R.C., Grado, S.C., Gerard, P.D., 2003. Characterizing vertical forest structure using small-footprint airborne lidar. Remote Sensing of Environment, 87(2-3):171-182.