

DÜZLERÇAMI KIZILÇAM ORMANINDA QUICKBİRD UYDU VERİLERİ KULLANILARAK GÖVDE HACMİNİN TAHMİNİ

İbrahim ÖZDEMİR¹ Ahmet MERT²

¹ SDÜ Orman Fakültesi, Orm. Müh. Böl., 32260, ISPARTA, ibrahim@orman.sdu.edu.tr

² SDÜ Prof.Dr. Hasan Gürbüz Meslek Yüksek Okulu, Sütçüler, ISPARTA

ÖZET

Uzaktan algılama verilerinden çıkartılan parametrelerle, meşcere özellikleri arasında kuvvetli bir ilişki olması durumunda, regresyon ve diğer modelleme teknikleri kullanılarak meşcere özellikleri daha az masrafla tahmin edilebilir. Bu çalışmada, aynı yaşlı ve tek katlı meşcerelerden oluşan bir kızılçam ormanında, Quickbird (pan-sharpened) uydu verisinden çıkartılan spektral ve mekansal özellikler ile hektardaki gövde hacmi arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Spektral ve mekansal özellikler görüntü segmentasyonu tekniği ile oluşturulan poligonlar temel alınarak çıkartılmıştır. Bunlarla meşcere özellikleri arasındaki ilişkiler basit regresyon modelleriyle ortaya koyulmuştur. Regresyon analizlerine göre; hacim ile parlaklık değerleri arasındaki ilişkide ulaşılan en yüksek korelasyon katsayısı 0,40'dır. Öte yandan hacim ile gölge uzunluğu arasındaki kurulan regresyon modelinde en yüksek korelasyon katsayısı 0,81 olarak hesaplanmıştır. Çalışmanın sonuçları; i) Quickbird görüntüsünden elde edilen parlaklık değerlerinin, gövde hacminin tahmininde kullanılamayacağını, ii) görüntü üzerinden ölçülen gölge uzunluğunun ise gövde hacminin tahmini için güvenilir bir yardımcı değişken olabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Quickbird, Uzaktan algılama, Orman envanteri, Kızılçam

STEM VOLUME ESTIMATION IN THE BRUTIAN PINE FOREST LOCATED IN DÜZLERÇAMI USING QUICKBIRD SATELLITE DATA

ABSTRACT

When a strong relationship exists between forest attributes and the features extracted from remote sensing, forest attributes can be estimated in a cost-effective way from RS imagery using regression or other modelling techniques. This study explores the relationship between field measured stem volume and the spectral and spatial features extracted from Quickbird satellite data in a Brutian pine forest that is consisted of even aged stands. These features were extracted based on the polygons that are generated using image segmentation technique. The relationships between the image derived features and forest attributes were determined using simple regression models. According to the regression analyses, the best model for stem volume using brightness values resulted in a correlation coefficient of 0.40. The model for stem volume using shadow length resulted in a correlation coefficient of 0.81. The results showed that i) the brightness values of the Quickbird data used is not an appropriate auxiliary parameter for estimating stem volume, ii) the shadow length measured from the imagery, on the other hand, can be suitable for the estimation of stem volume in Brutian pine forests.

Keywords: Quickbird, Remote sensing, Forest inventory, Brutian pine

1. GİRİŞ

Değişik bilim dallarında olduğu gibi, ormancılıkta da uzaydan algılanan sayısal uydu verilerine oldukça yoğun ilgi gösterilmektedir. Orman alanlarının sınıflandırılması, orman zararlarının ve hastalıklarının izlenmesi, orman alanlarındaki meydana gelen değişimlerin belirlenmesi; uydu verilerinin ormancılıkta kullanımına yönelik ilk göze çarpan çalışma konularıdır (Radeloff vd., 1999; Sunar ve Özkan, 2001; Baskent ve Kadioğulları, 2007). Bunların dışında, görüntüyü oluşturan piksellerin parlaklık değerleri ile meşcere özellikleri arasındaki ilişkiler de yoğun olarak araştırılmaktadır (De Wulf vd., 1990; Ahern vd., 1991; Yesil vd., 1999). Bir pikselin sayısal değerinin oluşumunda etkili olan etmenler arasında, orman kaynaklarının planlanması açısından önemli olan hacim, göğüs yüzeyi, yaprak yüzey indeksi, biyokütle, artım vs. gibi meşcere özelliklerinin payı ne kadardır? sorusuna yanıt aranmaya çalışılmaktadır. Eğer piksel değeri bu parametrelerle ilişkilirse, adı geçen meşcere parametreleri modellenerek, hızlı ve kolay şekilde elde edilebilir (Nilson vd., 2003). Piksel değeri ile meşcere özellikleri arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla yapılan modelleme çalışmalarında birbirinden farklı sonuçlara ulaşılmıştır. Genellikle Avrupa ve Amerikanın kuzey bölgelerinde gerçekleştirilen araştırmalarda, parlaklık değeri ile hacim arasında kuvvetli ilişkiler bulunduğu tespit edilmiştir (Trotter vd., 1999; Pühr ve Donoghue, 2000; Hall vd., 2006; Donoghue ve Watt, 2006). Nitekim Finlandiya, yersel ölçmeleri azaltmak ve meşcere parametrelerini daha az hatayla tahmin etmek amacıyla ulusal orman envanterinde Landsat uydu verilerini kullanmaktadır (Tomppo, 1993).

Uydu verisinden çıkarılan parlaklık değeri ile meşcere parametrelerinin arasında kuvvetli ilişkilerin hesaplandığı ormanların genel özelliği; düz bir topoğrafyada bulunmaları ve aynı yaşlı normal kapalılıkta iğne yapraklı meşcerelerden oluşmalarıdır. Ülkemiz ormanları açısından bir değerlendirme yapılacak olursa, bu şartlara sahip alanların çok kısıtlı olduğu söylenebilir. Yapı ve kuruluşları bozuk meşcerelerden oluşan orman alanlarımızın miktarı oldukça fazladır ve ormanlarımız çoğunlukla dağlık ve engebeli arazilerde yayılmaktadır. Bu durumda, uydu görüntüsünün parlaklık değerlerinin, sözü edilen meşcere özelliklerindeki değişimlerden çok, başkaca faktörlerin etkisi altında şekilleneceği kaçınılmazdır (Özdemir, 2003). Öte yandan, hızlı gelişen ağaç türlerinden oluşan endüstriyel plantasyon ormanlarında sayısal uydu verilerinin parlaklık değerlerinden yararlanılarak hacim tahmini yapmak mümkün gözükmemektedir. Ayrıca ağaçlandırma ve doğal gençleştirme faaliyetleri sonucu normal meşcere kuruluşlarına sahip orman alanlarımız da giderek artmaktadır. Uydu görüntülerinin farklı aydınlanma koşullarından kaynaklanan radyometrik hataları azaltabilecek, uygun topoğrafik normalleştirme algoritmaları geliştirilirse, normal kapalılıktaki iğne yapraklı ormanlarımız için uydu verilerinden, özellikle ulusal orman envanterinde hacim tahmini amacıyla yararlanılabilir.

Aynıyaşlı (maktalı) iğne yapraklı türlerden oluşan ormanlarda, hava fotoğraflarından ölçülen meşcere orta boyu ve tepe tacı çapı ile meşcere

DÜZLERÇAMI KIZILÇAM ORMANINDA QUICKBİRD UYDU VERİLERİ KULLANILARAK GÖVDE HACMİNİN TAHMİNİ

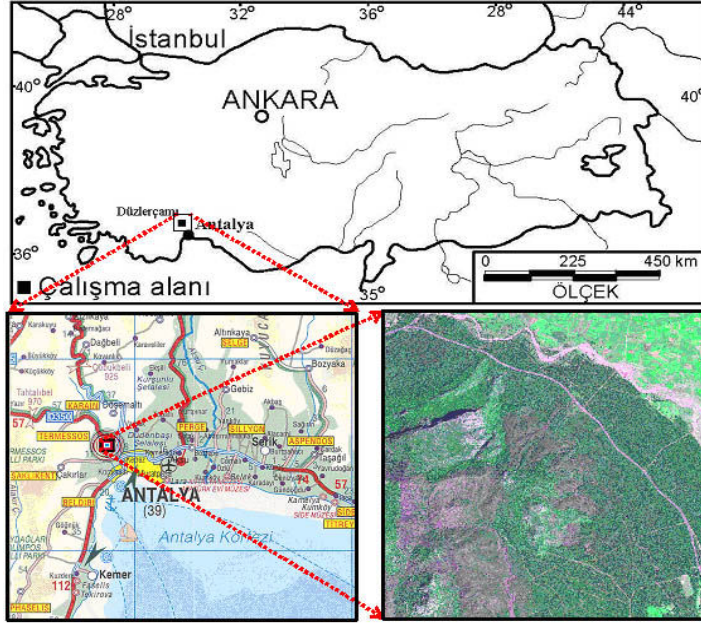
parametreleri arasında kuvvetli bağıntılar olduğu da bilinmektedir (Hagan ve Smith, 1986; Paine ve McCadden, 1988, Akca vd., 1995; Gering ve May, 1995). Uydu teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak uydu görüntülerinin çözünürlüğünün artmasıyla, hava fotoğraflarında olduğu gibi, ağaçların tepe çapı ve gölge uzunluğu gibi bazı özelliklerin, görüntü üzerinden ölçülmesi olanaklı duruma gelmiştir (Song, 2007). Uydu görüntüsünden ölçülebilen bu parametrelerle, yersel ölçmelerle belirlenen hacim arasında kuvvetli ilişkiler bulunursa, maktalı işletmeciliğin yapıldığı ormanlarda ağaç servetini tahmin etmek mümkün olabilir. Özellikle aynı yaşlı ve tek katlı normal kapalı bir ormanda, ağaçların meşcere kenarlarına ya da meşcere içindeki boşluklara düşen gölgeleri, meşcere orta boyunun az bir hatayla kestirilmesine olanak sağlayabilir.

Bu çalışma, aynı yaşlı ve maktalı bir kızılçam ormanında, hektardaki gövde hacmi ile Quickbird uydu verilerinden çıkartılan spektral ve mekansal özellikler arasındaki ilişkileri regresyon analizleriyle ortaya koymak amacıyla yapılmıştır. Uydu görüntülerinden özellik çıkarımı iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, görüntü segmentasyonu tekniği kullanılarak meşcere sınırlarını ortaya çıkaracak uygun poligonlar oluşturulmuştur. İkinci aşamada bu poligonlar içine giren piksellerin ortalama parlaklık değerleri ve yine poligon içindeki ağaçların ortalama gölge uzunluğu belirlenmiştir. Daha sonra bu değişkenler ile gövde hacmi arasındaki ilişkiler tespit edilmiştir.

2. ÇALIŞMA SAHASININ ÖZELLİKLERİ

Sipariş görüntüler pahalı olduğundan (64 km² lik bir alan yaklaşık 2500 \$), çalışma sahasının seçimi, *DigitalGlobe*'nin arşivdeki mevcut görüntülere (bu görüntüleri 25 km² almak mümkün ve fiyatı yaklaşık 300 \$) bağlı olarak yapılmıştır. Bu görüntülerin kapladığı alanlarda, normal kapalılıkta (>%70) aynı yaşlı ve tek katlı meşcerelerin, istatistiksel analiz için yeterli sayıda bulunduğu bir yer araştırılmıştır. Topoğrafyadan kaynaklanan aydınlanma koşullarının etkisinin en az düzeyde olması için, arazinin olabildiğince düze yakın olmasına dikkat edilmiştir. Böylece, meşcerelerin hacminde meydana gelen değişimler ile piksellerin parlaklık değerleri arasındaki ilişkinin başkaca faktörlerden etkilenmesi en aza indirilmiştir.

Yapılan incelemeler sonucunda, hem yapay hem de doğal olarak kurulmuş aynı yaşlı ve tek katlı meşcerelerinden oluşan Antalya Düzlerçamı'ndaki Kızılçam ormanı, çalışma sahası olarak belirlenmiştir (Şekil 1). Aynı yaşlı ve maktalı orman yapısının yanısıra bu alanın tercih edilmesinin diğer sebebi, gölge ölçümüne imkan verecek iyi bir yol ağının bulunmasıdır.



Şekil 1. Çalışma alanı coğrafi konumu

3. UYDU VERİSİNİN ÖZELLİKLERİ

Çalışmada 03.05.2003 tarihli, Quickbird-2 uydu verisi kullanılmıştır. Görüntü bulutsuz olup, oldukça küçük olan çalışma alanı içinde herhangi bir atmosferik pus bulunmamaktadır. Pankromatik bant ile çok spektrumlu bantların birleştirilmesiyle oluşturulmuş görüntünün uzaysal çözünürlüğü 0.61 cm'dir. Elektromanyetik spektrumun yeşil (520-600 nanometre), kırmızı (630-690 nanometre), yakın kızılötesi (760-890 nanometre) algılanmış üç bandı bulunmaktadır.

Çalışma sahasının oldukça düz olması sebebiyle, geometrik düzeltilmesi dağıtıcı firma (*DigitalGlobe*) tarafından yapılmış olan Quickbird uydu (*standart format*) verisi için herhangi bir geometrik dönüşüm yapılmamıştır. Ancak geometrik hassasiyeti belirlemek için, görüntü El GPS'si ile toplanan 52 Yer Kontrol Noktası (YKN) ile denetlenmiş ve ortama karekök hatası ($RMSE=Root Mean Square Error$) 15 m olarak hesaplanmıştır. Örnek alanlarla parlaklık değerlerinin eşleştirilmesi, daha sonraki bölümlerde açıklanacağı gibi, poligon düzeyinde yapıldığından, bu doğruluk çalışmanın gerçekleştirilmesi için yeterli görülmüştür.

4. BİTKİ İNDEKSLERİNİN OLUŞTURULMASI

Çok kanallı uydu görüntülerinde bir spektral banttaki parlaklık değerlerinin, bunlara karşılık gelen diğer bir banttaki parlaklık değerlerine oranlanmasıyla oran

görüntüleri elde edilmektedir. Uzaktan algılamada, kırmızı ve yazın kızılötesi bantlar kullanılarak oluşturulan oran görüntüleri bitki indeksleri olarak adlandırılmaktadır. Yapılan araştırmalar, bitki indekslerinden elde edilen parlaklık değerleri ile bazı meşcere özellikleri arasında kuvvetli ilişki bulunduğunu ortaya koymuştur (McDonald vd., 1998; Zheng vd., 2004; Freitas vd., 2005; Sivanpillai vd., 2006; Myeong vd., 2006). Bu sebeple çalışmada, orijinal bantların yanı sıra SVI (basit bitki indeksi) NDVI (normalleştirilmiş bitki indeksi) ve TVI (çaprazlanmış bitki indeksi) oran görüntüleri de kullanılmıştır. Kullanılan bitki indeksleri formülleri aşağıda verilmiştir. Burada IR kızılötesi bandı ve R ise kırmızı bandı göstermektedir.

$$SVI; IR/R \quad NDVI; \frac{IR - R}{IR + R} \quad TVI; \sqrt{\frac{IR - R}{IR + R} + 0,5 \times 100}$$

5. UYDU GÖRÜNTÜSÜNDEN ÖZELLİK ÇIKARIMI

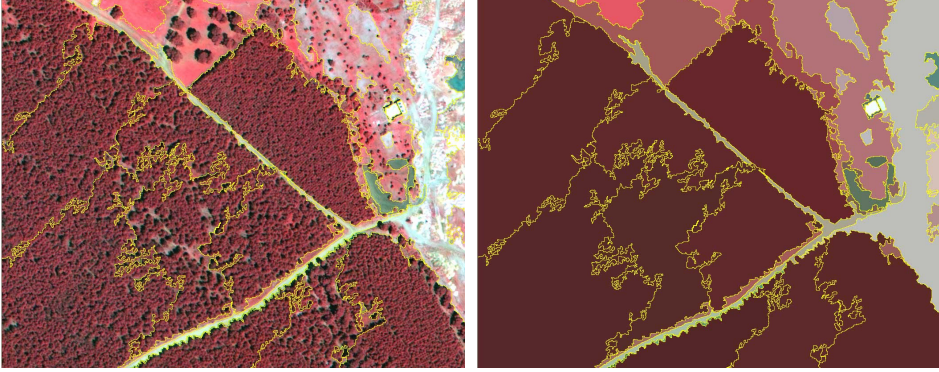
Uydu görüntüsünün orijinal bantları ve oluşturulan bitki indekslerine ait parlaklık değerleri ile ortalama gölge uzunluğuna ait veriler, görüntü segmentasyonu sonucu oluşturulan poligonlar temel alınarak elde edilmiştir. Poligonları oluşturan piksellerin ortalama değerleri ve yine her poligon için ölçülen ortalama gölge boyları regresyon analizi için hesaplanmıştır. Aşağıda yapılan işlemlerin ayrıntıları açıklanmıştır.

5.1. Uydu Görüntüsünden Spektral Özelliklerin Çıkartılması

Çalışmada kullanılan *eCognition* programının görüntü segmentasyonu algoritması, spektral ve mekansal ölçütlere göre, birbirine yakın özellikteki pikselleri olabildiğince homojen parçalar olarak gruplandırmaktadır. Bu işlem sonucunda tek piksellerden oluşan görüntü yerine, piksel gruplarından yani daha anlamlı nesnelere oluşan bir görüntü ortaya çıkmaktadır (Şekil 2) (Benz vd., 2004). Bu işlemde kesin doğru bir segmentasyon seçeneğinden söz edilemediğinden, çalışma amacına en uygun segmentler (poligonlar) oluşturulana kadar, çok sayıda deneme yapılmıştır. Bu amaçla; ölçek, renk ve biçim parametreleri sürekli değiştirilerek elde edilen segmentlerin hedeflenen nesnelere (meşcere tiplerini) ne derece ortaya çıkarabildiği görsel olarak denetlenmiş ve en uygun segmentasyon seçeneğine karar verilmiştir (Baatz vd., 2001).

Görüntü segmentasyonu işleminde kullanılan parametreler şu şekilde açıklanabilir (Baatz vd., 2001);

- Ölçek parametresi; Bu parametre nesnelere heterojenliğine izin veren azami değeri belirtmektedir. Daha başka bir anlatımla, ölçek parametresi ne kadar büyürse nesnelere de o kadar büyümektedir ve nesnelere içindeki heterojenlik artmaktadır.



Şekil 2. Görüntü segmentasyonu ve anlamlı nesnelerin (meşcerelerin) ortaya çıkarılması

- **Renk / Biçim;** Bu parametreler, renk ve biçim homojenliğinin nesne üretimi üzerine etkisini düzenlemektedir. Biçim homojenliği, objenin sınır uzunluğunun objeyi oluşturan piksel sayısına oranını ifade etmektedir. Renk homojenliği ise objeyi oluşturan piksellerin varyansını düzenlemektedir. Örneğin, biçim ölçütü ne kadar yüksek olursa, renk homojenliğinin nesne üretimine etkisi daha az olmaktadır.

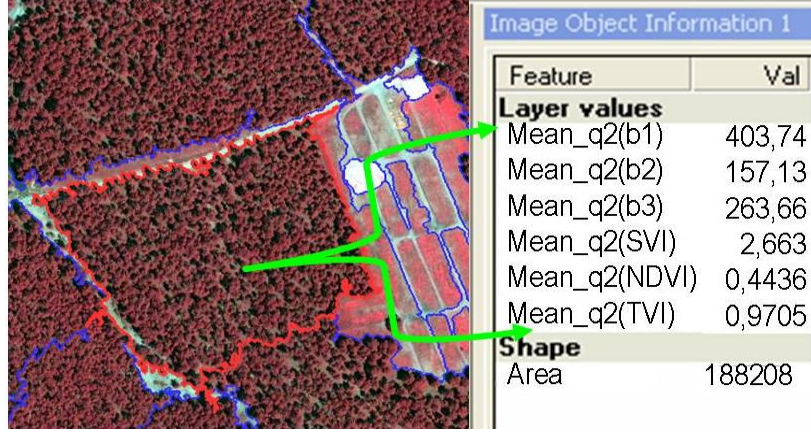
eCognition programı ile gerçekleştirilen otomatik segmentasyon işlemleri, uydu verisinin orijinal bantları ile bu bantların birleşimlerinden elde edilen bitki indekslerinin (SVI, NDVI ve TVI) bir araya toplanıp, tek dosya halinde kaydedildiği görüntü üzerinde uygulanmıştır. Ancak, oran görüntülerinin ağırlıkları sıfır (0) alınarak, görüntü segmentasyonu sadece orijinal bantlara dayalı olarak yapılmıştır.

Görüntü segmentasyon işlemi orijinal bantlar temel alınarak gerçekleştirildikten sonra, hem orijinal bantlara hem de bitki indekslerine ait parlaklık değerleri, her örnek alan ya da alanların isabet ettiği segment (poligon) seçilerek görüntü nesne bilgi penceresinden okunmuş ve kaydedilmiştir (Şekil 3).

5.2. Poligonlar İçin Ortalama Gölge Uzunluğunun Belirlenmesi

Hava fotoğrafları üzerinden ölçülen ağaçların tepe çapı ve ağaç boyu ile hacim arasında kuvvetli bir bağıntı olduğu bilinmektedir (Akça, 2000; Paine ve Kiser, 2003). Hava fotoğrafları yardımıyla ağaç boyunun belirlenmesinde tek hava fotoğraflarından *radyal yer değiştirme* ve *gölge uzunluğu* ya da stereoskopik hava fotoğrafı çifti yardımıyla *paralaks farkı* ölçümleri kullanılabilir (Erdin, 1986; Akça, 2000). Hava fotoğraflarında olduğu gibi, uydu verilerinin uzaysal çözünürlüğünün artması, tepe çapı ve gölge uzunluğunun ölçülmesine imkan sağlamıştır. Örneğin bu çalışmada kullanılan pankromatik bantla birleştirilmiş Quickbird uydu görüntüsünün uzaysal çözünürlüğü 0,61 metredir. Bu çözünürlük, nispeten tepe kapallığı düşük meşcerelerde ağaç tepelerinin ve iyi bir yol ağına sahip aynı yaşlı ve tek katlı meşcerelerdeki ağaçların yola ya da boşluklara düşen gölgelerinin ölçümüne olanak vermektedir.

DÜZLERÇAMI KIZILÇAM ORMANINDA QUICKBİRD UYDU VERİLERİ KULLANILARAK GÖVDE HACMİNİN TAHMİNİ

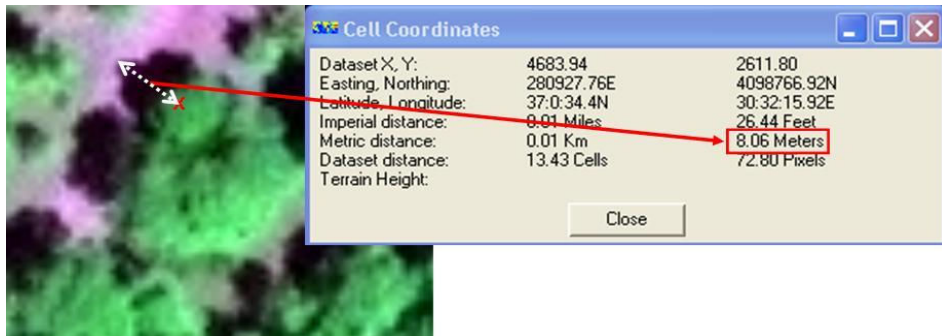


Şekil 3. Parlaklık değerlerinin elde edilmesi

Çalışma sahasındaki meşcereler çoğunlukla normal kapalı olduğundan, tepe ölçümü mümkün olmamıştır. Ancak, sahada iyi bir yol ağının bulunması, meşcere kenarlarından gölge ölçümüne olanak vermiştir. Gölge uzunluğunun ölçümü tepesi seçilebilen ağaçlarda yapılmıştır (Şekil 4). Ayrılan poligonların büyüklüğüne ve meşcerenin sınırındaki yola gölge düşüp düşmemesine göre; ortalama 8–25 ağacın gölgesi ölçülmüştür. Daha sonra her poligon için ortalama gölge uzunluğu hesaplanmıştır.

6. YERSEL ÖLÇMELER

86 adet örnek alan 250 x 250 m aralık ve mesafe ile tüm çalışma alanına sistematik olarak dağıtılmıştır. Örnek alanların koordinatları uydu görüntüsü üzerine aktarılmış ve arazide yerlerinin daha kolay tespit edilmesi için bu görüntünün A₀ çıktısı alınmıştır. Örnek alanların yerlerinin belirlenmesinde ayrıca Küresel Konum Belirleyici (GPS = *Global Position System*) kullanılmıştır.



Şekil 4. Görüntü üzerinde gölge uzunluğunun ölçülmesi

Örnek alanlardaki tüm ağaçların çapları ve 3 ağacın boyu ölçülmüştür. Daha sonra tüm çalışma sahası için ölçülen çap ve boylardan yararlanarak çap-boy grafiği elde edilmiştir. Çap kademelerinin orta çapına denk gelen ağaçların boyu bu grafikten tespit edilmiştir. Daha sonra çift girişli hacim tablosundan her örnek alanın gövde hacmi hesaplanmış ve hektara çevrilmiştir. İstatistiksel analizler poligon düzeyinde yapıldığından, bir poligon içine iki ya da daha fazla örnek alan isabet ettiği durumlarda, bunlara ait hacim değerlerinin aritmetik ortalaması kullanılmıştır.

7. BULGULAR

Orman envanterinde regresyon tahmini ile hacmin belirlenmesinde kolay ölçülebilen yardımcı değişken ile yersel ölçmelerle elde edilen bağlı değişken arasında istatistiksel olarak kuvvetli bir doğrusal ilişki olması önerilmektedir (Köhl, 1993; Akça, 2000; Shiver ve Borders, 1996). Bundan ötürü çalışmada, hektardaki gövde hacmi ile parlaklık değerleri ve ağaç gölge uzunluğu arasındaki basit doğrusal ilişkiler araştırılmıştır. Kullanılan denklem formülü aşağıda verilmiştir.

$$y = a+bx$$

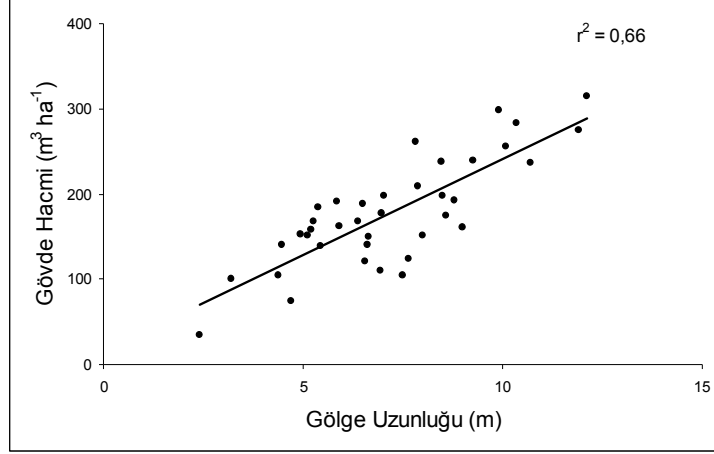
Denklemden x; değişik bantlara göre uydu görüntülerinden okunan parlaklık değerleri ya da ortalama gölge uzunluğu (m), y; gövde hacmini (m³/ha), a ve b ise denklem katsayısını göstermektedir.

Regresyon analizleri sonucu hesaplanan korelasyon ve belirtme katsayıları çizelge 1'de verilmiştir. Çizelge 1'de görüldüğü gibi, Quickbird görüntüsünden elde edilen poligonlara ait ortalama parlaklık değerleri ile gövde hacmi arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki çıkmamıştır. Uygulamada, bağlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak önemli sayılabilmesi için, bağlı değişkende (hacim) gözlenen varyansın %50 (r² > 50) sinden fazlasının bağımsız değişkenle açıklanabilmesi gerektiği önerilmektedir (Kalıpsız, 1999). Öte yandan, gölge uzunluğu ile hacim arasında oldukça kuvvetli bir istatistiksel ilişki hesaplanmıştır. Bu ilişkiye ait grafik şekil 3 de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Uygu görüntüsünden çıkartılan parlaklık değerleri ve gölge uzunluğu ile hacim arasındaki ilişkiler

Bağımsız değişken (x)	Korelasyon Katsayısı (r)	Belirtme Katsayısı (r ²)
Bant 1	0,14	0,02
Bant 2	0,40	0,16
Bant 3	0,32	0,10
SVI	0,33	0,11
NDVI	0,37	0,14
TVI	0,17	0,03
Ort. Gölge Uzunluğu (m)	0,81	0,66

DÜZLERÇAMI KIZILÇAM ORMANINDA QUICKBİRD UYDU VERİLERİ KULLANILARAK GÖVDE HACMİNİN TAHMİNİ



Şekil 5. Quickbird görüntüsünden ölçülen gölge uzunluğu ile gövde hacmi arasında ilişki

8. TARTIŞMA ve ÖNERİLER

Çalışmanın bulguları, çok yüksek çözünürlüklü Quickbird uydu verisinin hem orijinal hem de bitki indeksi bantlarının parlaklık değerleri ile hacim arasında da kuvvetli bir ilişki bulunmadığını göstermektedir. Buna göre, Quickbird uydu verisinin spektral özelliklerinin kızılçamda hacim tahmini için uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Kaldı ki, seçilen çalışma alanı topoğrafik etkilerin en az düzeyde olduğu düz bir alandır. Dağlık arazi koşullarında bu ilişkinin daha da zayıflayacağı kaçınılmazdır. Topoğrafik normalleştirme algoritmaları uygulansa bile çok yüksek çözünürlüklü uydu verileriyle hacim tahmini yapmak olası gözükmemektedir. Kayitakire vd. (2006) tarafından Ikonos uydu verisi kullanılarak saf Ladin ormanlarında yapılan benzer bir çalışmada, gerçek göğüs yüzeyi ile spektral özellikler kullanarak tahmin edilen göğüs yüzeyi arasındaki ilişkinin korelasyon katsayısı, 0,59 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan r değeri burada gerçekleştirilen çalışmada hesaplanandan biraz daha büyüktür. Bu farklılık ağaç türü değişikliğinden kaynaklanmış olabilir.

Çalışmada kullanılan uydu verisinin spektral özellikleri ile hacim arasında ortaya çıkan zayıf ilişkilerin başlıca nedeni; pasif algılayıcı sistemlerin kaydettiği dalga boylarının tepe çatısından meşcere içine doğru sızma yeteneğinin (penetrasyon) düşük olması gösterilebilir. Bu durumda spektral yansıtım değerleri gövde hacmindeki değişimlerden çok, meşcerenin tepe yapısından etkilenmektedir. Genç yaşlarda meşcerenin yaşına bağlı olarak, spektral yansıtım özelliklerinde belirgin bir fark göze çarpmaktadır. Ancak, belirli bir dönemden sonra, meşcere hacmindeki artışa karşılık, meşcerenin tepe yapısı değişmemekte ve dolayısıyla elektromanyetik enerjiyi yansıtmasında çok fazla bir farklılık olmamaktadır (Danson, 2000).

Uydu görüntüsünden ölçülen ortalama gölge uzunluğu ile hacim arasındaki güçlü istatistiksel ilişkiler bulunmuştur. Bu ilişkinin korelasyon katsayısı 0,83'dür. Bu değer, pankromatik bantla keskinleştirilmiş Quickbird görüntüsünden ölçülen gölge uzunluğunu kullanarak hacim tahmini yapmanın mümkün olabileceğini göstermektedir. Yol ağının gölge uzunluğu ölçümü için elverişli olduğu, aynı yaşlı ve tek katlı meşcerelerden (özellikle endüstriyel plantasyonlarda) ormanlarda bu yöntemle meşcere hacmi kestirilebilir. Nitekim, Kanada'da ladin ormanlarında Quickbird görüntüleri kullanılarak yapılan benzer bir çalışmada, ağaç gölgeleri ile biyokütle arasındaki ilişkinin belirtme katsayısı 0,85 olarak hesaplanmıştır (Leboeuf vd., 2007).

Eğimli arazi şartlarında gölge uzunluğu hesaplanırken, eğim faktörünün dikkate alınması gerekmektedir. Burada sözü edilen eğim, arazinin doğrudan eğimi değil, ağacın gölgesinin uzandığı doğrultudaki eğimdir. Bu doğrultu güneşin azimut (kuzeyle yaptığı) açısına (GAA) göre belirlenir. Gölge yönünde çizilecek bir vektör yardımıyla, sayısal arazi yükseklik modeli (SAYM) üzerinden eğim hesaplanabilir. Gölge uzunluğunun yatay düzleme göre normalleştirilmesi için; SAYM ve GAA dışında güneş yükseklik açısının (GYA) da bilinmesi gerekmektedir. Güneş açıları uydu görüntülerinin bilgi dosyasında mevcut olduğundan, bu normalleştirme işlemi kolaylıkla gerçekleştirilebilir.

8.1. Endüstriyel Plantasyonlar Açısından Bir Değerlendirme

Dünya nüfus artışına paralel olarak odun hammaddesine olan ihtiyaç giderek büyümektedir. FAO tarafından yapılan uzun dönemli tahminler, doğal orman alanlarının odun hammaddesine olan talebi karşılamada yetersiz kalacağını göstermektedir. Ülkemizde de dünyadakine benzer bir eğilim göze çarpmaktadır. Birler (1998), Orman Genel Müdürlüğü tarafından üretilen miktarın piyasanın odun talebini karşılayamadığını ve gerekli tedbirler alınmazsa odun açığının giderek büyüyeceğini vurgulamaktadır. Odun hammaddesi ihtiyacını karşılamak için alınacak önlemlerden birisi endüstriyel plantasyonların artırılmasıdır. Yazar tarafından önerilen programa göre, ülkemizde orman rejimi içinde ve dışında 1.840.000 ha endüstriyel plantasyon kurulabileceği öngörülmektedir.

Endüstriyel plantasyonlarda işletme şekli; tıraşlama kesim ve dikime dayanır. Bu yüzden endüstriyel plantasyonlar, aynı yaşlı ve maktalı orman formuna sahiptir (Asan ve Ercan, 2002). Hedeflenen bu miktara ulaşıldığında, tıraşlama ve dikime dayalı kurulan aynı yaşlı ve tek katlı, normal kapalılıkta meşcerelerden oluşan orman alanları çoğalacak ve bunların bir kısmı devlet ormanları dışında (840.000 ha) yer alacaktır (Birler 1998). Ülke ormancılık politikaları açısından sağlam bir strateji oluşturmak için, bu kaynağa ait ağaç servetinin belirli zaman aralıklarıyla izlenmesi gündeme gelecektir (Asan 2000). Endüstriyel plantasyonların nispeten düz arazilerde kurulması, iyi bir yol şebekesine sahip olması ve aynı yaşlı ve tek katlı meşcerelerden oluşması, gölge uzunluğu yardımıyla ağaç servetinin modellenmesine olanak sağlayabilir.

DÜZLERÇAMI KIZILÇAM ORMANINDA QUICKBİRD UYDU VERİLERİ KULLANILARAK GÖVDE
HACMİNİN TAHMİNİ

Devlet ormanlarında kurulacak endüstriyel plantasyonlar için amenajman planlarının hazırlanması amacıyla yapılan envanterlerle ihtiyaç duyulan bilgiler toplanabilir. Ancak, ormancılık sektörünün geleceği açısından güvenilir bir stratejik planlama için özel mülkiyete ait arazilerdeki odun hacminin de (örneğin kavak alanlarındaki) bilinmesi gerekmektedir. Bu sebeple, ülkemizde yaygınlaşacağı beklenen endüstriyel plantasyonlara (özellikle özel mülkiyete konu olan) ait ağaç servetinin kısa zaman aralıklarıyla izlenmesinde, çok yüksek çözünürlüklü uydu verileri önemli bir bilgi kaynağı olabilir.

KAYNAKLAR

- Ahern, F.J., Erdle, T., Maclean, D.A., Kneppeck, I.D., A quantitative relationship between forest growth rates and Thematic Mapper reflectance measurements, *International Journal of Remote Sensing*, 12:3, 387-400.
- Akça, A., 2000. Forest Inventory, Institute for Forest Management and Yield Sciences, University of Göttingen, 191 s.
- Akca, A., Beisch, TH., Eilermann, F., 1995. Two-Phased Sampling Method, Using Regression Estimators and Small-Scale Aerial IR-Photographs in Volume and Increment Estimation, *Proceeding of the Meeting of IUFRO*, 6-12 August, Volume II, Tempere, Finland, s. 255-264.
- Asan, Ü., 2000. Türkiye İçin Uygun Ulusal Orman Envanteri Modelinin Belirlenmesi, *Orman Bakanlığı Bülteni*, No: 2, Ankara, s. 18-28.
- Asan, Ü., Ercan, M., 2002. Orman Amenajmanında Yeni Açılımlar ve Uygulamalar (Kerpe Örneği), *Orman Amenajmanında Kavramsal Açılımlar ve Yeni Hedefler Sempozyumu*, 18-19 Nisan, İstanbul, s. 8-22.
- Baatz, M., Benz, U., Dehgani, S., Heynan, M., Holtje, A., Hofmann, P., Lingensfelder, I., Mimler, M., Sohlbach, M., Weber, M. And Willhauck, G., 200. *eCognition Object Oriented Image Analysis User Guide*. Munich, Germany, 483,
- Baskent, E.Z., Kadioğulları, A.İ., Spatial and temporal dynamics of land use pattern in Turkey: A case study in İnegöl, *Landscape and Urban Planning*, 81, 316-327.
- Benz, U.C., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingensfelder, I. And Heynen, M., 2004. Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 58(3-4): 239-258.
- Birler A.S., 1998. Endüstriyel Plantasyonlar (Orman Ağaçları Tarımı). Çevre ve İnsan, Kıvanç, M., Yücel, E., (Eds.), *Anadolu Üniversitesi Yayınları*, 1017/560, s. 173-188.
- De Wulf, R.R., Goosens, R.E., De Roover, B.P., Borry, F.C., 1990. Extraction of forest stand parameters from panchromatic and multispectral SPOT-1 data, *International Journal of Remote Sensing*, 11:9, 1571-1588.
- Donoghue, D.N.M., Watt, P.J., 2006. Using LiDAR to compare forest height estimates from IKONOS and Landsat ETM+ data in Sitka spruce plantation forests. *International Journal of Remote Sensing*, 27-11: 2161-2175.
- Erdin, K., 1986. Fotoyorumlama ve Uzaktan Algılama. İ.Ü.Orman Fak., Yayın No: 3404-381, İstanbul, 183 s.
- Freitas SR, Mello MCS, Cruz CBM., 2005. Relationships between forest structure and vegetation indices in Atlantic Rainforest. *Forest Ecology and Management* 218 (1-3): 353-362.
- Gering, LR., May, DM., 1995., The relationship of Diameter at Breast Height and Crown Diameter for Four Species Groups in Hardin County Tennessee. *Southern Journal of Applied Forestry* 19-4, 177-181.

- Hagan, G.F., Smith, J.L., 1986. Predicting tree ground line diameter from crown measurement made on 35-mm aerial photography. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52:5, 687-690.
- Hall R.J., Skakun, R.S., Arsenault, E.J., Case, B.S., 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.
- Köhl, M., 1993. *Forest Inventory*, Pancel, L. (ed), *Tropical Forestry Handbook*, Springer Verlag, 243332, Heidelberg, s. 273-276.
- Leboeuf, A., Beaudoin, A., Fournier, R.A., Goindon, L., Luther, J.E., Lambert, M.C., 2007. A shadow fraction method for mapping biomass of northern boreal black spruce forests using QuickBird imagery *Remote Sensing of Environment*, 110 (4), 488-500.
- McDonald AJ, Gemell FM, Lewis PE., 1998. Investigation of the utility of spectral vegetation indices for determining information on coniferous forests. *Remote Sensing of Environment* 66 (3): 250-272.
- Myeong S, Nowak DJ, Duggin MJ., 2006. A temporal analysis of urban forest carbon storage using remote sensing. *Remote Sensing of Environment* 101 (2): 277-282.
- Nilson, T., Kuusk, A., Lang M., Lökk., 2003. Forest Reflectance Modeling: Theoretical Aspects and Applications, *Ambio*, 33: 8, 534-540.
- Özdemir, İ., 2004. Orman Envanterinde Uydu Verilerinden Yararlanma Olanakları, *SDÜ, Orman Fakültesi Dergisi*, Seri A, Sayı 1, Isparta, 84-96.
- Paine, D.P., McCadden, R.J., 1988, Simplified forest inventory using large-scale 70-mm photography and tariff tables. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 54, no. 10, p. 1423-1427.
- Puhr, C.B., Donoghue, D.N.M., 2000. Remote sensing of upland conifer plantations using Landsat TM data: A Case Study from Galloway, South-West Scotland. *International Journal of Remote Sensing*, 21, 633-646.
- Radeloff, V.C., Mladenoff, D.J., Boyce, M.S., 1999. Detecting jack pine budworm defoliation using spectral mixture analysis: Separating effects from determinants, *Remote Sensing of Environment*, 69 (2), 156-169.
- Shiver, B.D., Borders, B.E., 1996. *Sampling Techniques for Forest Resource Inventory*, John Wiley&Sons, New York, s. 190-195.
- Sivanpillai, R., Smith, C.T., Srinivasan, R., Messina, M.G., Ben Wu, X., 2006. Estimation of managed loblolly pine stand age and density with Landsat ETM+ data. *Forest Ecology and Management* 223 (1-3): 247-254.
- Song, C., 2007. Estimating tree crown size with spatial information of high resolution optical remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 28: 3305-3322.
- Sunar, F., Özkan, C., Forest fire analysis with remote sensing data, *International Journal of Remote Sensing*, 22 (12): 2265-2277.
- Tomppo, E. 1993. Multi-Source National Forest Inventory of Finland. *Proceedings of Ilvessalo Symposium on National Forest Inventories*. Finland 17-21 August, 1992. IUFRO S4.02. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 444. pp. 52-60.
- Trotter, C.M., Dymond, J.R., Goulding, C.J., 1997. Estimation of timber volume in a coniferous plantation forest using Landsat TM. *International Journal of Remote Sensing*, 18-10: 2209 – 2223.
- Yeşil, A., Asan, Ü., Coşkun, G., Örmeci, C., Kaya, Ş., 1999. Statically Modeling and Stand Type Forest Mapping Selected Area Around İstanbul Using Landsat-TM and SPOT Data, *Proceedings of the International Symposium On Remote Sensing & Integrated Technologies*, İstanbul, 151-162.
- Zheng DL, Rademacher J, Chen JQ, Crow T, Bresee M, le Moine J, Ryu SR., 2004. Estimating aboveground biomass using Landsat 7 ETM+ data across a managed landscape in northern Wisconsin, USA. *Remote Sensing of Environment* 93 (3): 402-411.