

Yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin geometrik doğruluk yönünden incelenmesi

Veysel Okan ATAK*, M. Orhan ALTAN

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin son yıllarda eriştiği üstün kalite düzeyi, bu verilerin ortofoto görüntüler ve farklı haritacılık üretimleri konusunda iyi bir veri kaynağı olabileceğini kanıtlamıştır. Ancak günümüzde halen, yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin büyük ölçekli harita üretim çalışmalarında kullanılabilmesine ilişkin tartışmalar sürmektedir. Bu nedenle, yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin geometrik doğruluk yönünden incelenmesi amacıyla, 10 km x 10 km boyutlarında bir alana ve 440 m yükseklik farkına sahip olan Ankara yakınlarındaki Gölbaşı bölgesinde bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma için 12 adet Yer Kontrol Noktası (YKN) tespit edilmiş ve görüntü alımından önce bu noktalar işaretlenmiştir. Daha sonra stereo Ikonos (4 Ağustos 2002 tarihli) ve mono Quickbird (26 Mayıs 2002 tarihli) görüntüleri ile 1/16000 ölçekli stereo hava fotoğrafları (29 Ağustos 2002 tarihli) temin edilmiştir. Geometrik doğruluk çalışması için öncelikle fotogrametrik ve kartografik yöntemler ile Ikonos uydu görüntülerinden Sayısal Yükseklik Modelleri (SYM) elde edilmiş ve farklı sayı ve dağılımda bulunan YKN kullanılarak değişik özelliklere sahip ortofotolar üretilmiştir. Arazide belirgin olarak tespit edilebilen 27 adet bağımsız kontrol noktası (test noktası) seçilmiş ve bunların koordinatları GPS ile arazide ölçülmüştür. Bağımsız kontrol noktalarının GPS koordinatları, aynı noktaların tüm ortofoto görüntüler üzerinde okunan koordinatları ile karşılaştırılmış ve aradaki farklar belirlenmiştir. Geometrik doğruluk araştırmaları sonucunda yapılan değerlendirmeler, yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin orta/büyük ölçekli (1/6000–1/10000) harita üretim çalışmalarında kullanılabilmesini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Yüksek çözünürlük, ortofoto, kontrol noktası, Sayısal Yükseklik Modeli (SYM).

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Veysel Okan ATAK. okan.atak@hgk.mil.tr; Tel: (533) 611 55 26.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Programında tamamlanmış olan "Yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin geometrik doğruluk ve detay değerlendirme yönünden incelenmesi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 05.02.2007 tarihinde dergiye ulaştırılmış, 08.03.2007 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 01.02.2009 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Geometric accuracy assessment of high resolution satellite imagery

Extended abstract

The high quality level that high resolution satellite images have reached in the last years has proved that these images could be a useful data source for the production of orthophoto images and different mapping products. Specifically, it is very important in areas where aerial photogrammetry is not possible or feasible due to political reasons / restrictions and mapping frequency constrained by the limits of flight planning.

Research activities about high resolution satellite images have been mainly focusing on the geometric accuracy aspects in ortho-image generation and Digital Elevation Model (DEM) extraction. In addition to these activities, some researches are increasingly concentrating on feature detection, recognition and reconstruction studies like automated mapping of roads, extraction of 3D buildings and cadastral mapping.

There are two important criteria for quality assessment of the images; geometric accuracy and object definition. When we take the mapping processes into consideration, these criteria are basically dependent on the relation between pixel size and the map scale, contrast information (spectral range and colour), atmosphere and the sun elevation, the printing technology and the resolution of the human eye in a usual reading distance.

A study has been implemented in Gölbaşı near Ankara, which has 10 km X 10 km area and a height difference about 440 m, for geometric accuracy assessment of high resolution satellite images. 12 ground control points were revised and signalized before the recording of images. Stereo-pair Ikonos (dated August 4th, 2002) and mono Quickbird (dated May 26th, 2002) images and 1/16000 scaled aerial photographs (dated August 29th, 2002) have been provided by Inta (Turkey), Eurimage (Italy) and General Command of Mapping (Turkey) free of charge.

For geometric accuracy assessment; different digital elevation models (DEM's) have been created using photogrammetric and cartographic methods. Photogrammetric DEM has been produced using

1/16000 scaled stereo aerial photographs and has accuracy about 1 m. From the other side, cartographic DEM has been produced digitizing map contours and has accuracy about 5 m. And lastly, Ikonos DEM has been produced from stereo-pair Ikonos images automatically and has accuracy about 2 m.

With these models, various orthophoto and mosaic images have been produced using ground control points. Used ground control points have had different distributions and number of points between 0 and 11. Well-recognized 27 checkpoints such as road junctions and field corners have been selected and measured with GPS. Planimetric coordinates of the checkpoints were measured on all orthophoto, mosaic and stereo images. These coordinates have been compared with GPS coordinates. From the comparison of these measurements, the differences and also the errors have been obtained. Afterwards the gross error positions have been evaluated according to ground control points' network.

The geometric accuracy results show that IKONOS - DEM can be used instead of photogrammetric DEM, the quality of GCP's is as important as the number of GCP's, systematic errors have occurred in the easting / north easting (across track) direction and IKONOS images have better accuracy than Quickbird images when using direct sensor orientation parameters. Also we can say that the high resolution satellite images can be used in mid / large also from 1/6000 to 1/10000 scale map productions and these results are harmonious with the examples given in the literature.

Actually there is nearly a consensus among photogrammetry and remote sensing society that some mapping applications from high resolution space imagery can be realized in mid / large scale. In addition, in spite of increasingly concentrating by some researches on feature detection, recognition and reconstruction studies in high resolution satellite images, it can not be said that these images couldn't reach to the level of aerial images in determining and identifying of small features in big scale maps (e.g. 1/5000) yet. Therefore the discussions about usage of high resolution space imagery in big scaled map production are still lasting.

Keywords: High resolution, satellite images, orthophoto, control point, Digital Elevation Model (DEM).

Giriş

Günümüz haritacılık çalışmalarının temel yön-temi olarak kullanılan uzaktan algılamanın uygulandığı ilk dönem 2000 yıl kadar önceki Roma devridir. Demir madenlerinin yerlerini bulmak amacıyla kış aylarının karlı günlerinde yüksek tepelere çıkılarak karların önce eridiği yerlerin gözlenmesi, doğal algılayıcı insan gözünün uzaktan algılama amacına yönelik uygulanmasının bilinen ilk örneğidir. Yapay araç / gereç kullanımının ilk örneği ise, Osmanlı İmparatorluğu döneminde Lagari Hasan Çelebi'nin 1633 yılında gerçekleştirdiği insanlı roket denemesidir. Bu nedenle kayıtlara geçen ilk insanlı uzay denemesinin Türkler tarafından yapıldığı kabul edilmektedir (Önder, 1999).

Fotoğrafın 1839 yılında, uçağın ise 1903 yılında keşfi ve 1910 yılından itibaren havadan fotoğraf alımının gerçekleştirilmesi doğal olarak o güne kadar yersel metotlarla yapılan haritacılık çalışmalarına yeni bir boyut katmıştır.

Takip eden yıllarda ise, yeryüzüne ilişkin verilerin elde edilmesinde klasik hava fotoğrafçılığının sınırlı kalması, insanoğlunu uzaydan, geniş alanların daha hızlı ve ayrıntılı biçimde algılanmasını sağlayan çeşitli uzaktan algılama araç, gereç ve tekniklerini geliştirmeye yöneltmiştir. Gerçek anlamda uzayda uzaktan algılama, 1946-1950 yılları arasında New Mexico'dan fırlatılan V-2 roketlerine yerleştirilmiş küçük kameraların kullanımı ile başlamıştır. Sputnik-1 ile 4 Ekim 1957'de başlayan uzay yarışının uzaktan algılama alanına soktuğu uydu görüntüleri, LANDSAT, Uzay Mekiği, Soyuz ve SPOT projeleri ile yeryüzü doğal kaynaklarının araştırılmasında yeni ufuklar açmıştır (Önder, 1999).

Daha sonraki yıllarda, çeşitli ülkeler tarafından çok sayıda uydu uzaya gönderilmiş; başlangıçta düşük duyarlık ve çözünürlüklere sahip olan uydu görüntülerinde zaman içerisinde önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Özellikle Eylül 1999'da ve Ekim 2001'de uzaya fırlatılan Ikonos ve Quickbird uyduları ile 2002 yılı sonlarında faaliyete geçen Fransız SPOT-5 uydusundan temin edilen yüksek çözünürlükteki uydu görüntüleri sayesinde uydu teknolojisinde

yeni bir döneme girilmiş ve uydu görüntüleri hem sivil hem de askeri uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır (Özbalımcu, 2003).

Yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin son yıllarda eriştiği bu üstün kalite düzeyi dikkate alındığında, bu verilerin ortofoto görüntüler ve farklı haritacılık üretimleri konusunda iyi bir veri kaynağı olabileceği, yapılan farklı çalışmalarla kanıtlanmıştır. Özellikle politik sınırlamalar/nedenler dolayısı ile hava fotoğrafı alımının güç olduğu veya ekonomik olmadığı durumlarda uydu görüntüleri çok etkin olarak kullanılabilir (Li vd., 2000).

Ancak buna rağmen, yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin büyük ölçekli harita üretim çalışmalarında kullanılabileceklerine dair tartışmalar günümüzde halen devam etmektedir. Bu bağlamda yapılan çalışmanın hedefi; yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları kullanılarak yapılacak çalışmalarda geometrik doğrulukları inceleyerek "yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden büyük ölçekli (1/5000) harita üretilebilirliğini" araştırmak olarak belirlenmiştir.

Görüntü doğruluklarının araştırılmasında "Geometrik Doğruluk" ve "Detay Değerlendirme" olarak nitelendirilebilecek iki önemli kriter vardır. Bu kriterler temel olarak; piksel boyutu ile harita ölçeği arasındaki ilişkiye, kontrast bilgilerine (spektral aralık ve renk), atmosfere ve güneş yükseklik açısına, kağıt basım teknolojisine ve insan gözünün okuma mesafesindeki çözünürlüğüne bağlıdır (Topan vd., 2004). Nitekim dünya literatüründe yer alan çalışmalar genellikle bu iki temel konudan birisi üzerinde yoğunlaşmıştır. Hatta yapılan incelemelerden; ortofoto ve Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) üretimine yoğunlaşan geometrik doğruluk araştırmalarının (Grodecki ve Dial, 2001; Toutin, 2004) detay değerlendirme araştırmalarına nazaran çok daha fazla tercih edildiğini söylemek yanlış olmayacaktır.

Bu tür çalışmalar dışındaki projeler ya volkanik bölgeler, su detayları, sahil haritacılığı, orman

sınıflandırması gibi özel detaylarla ilgilenmişler (Vassilopoulou vd., 2002; Sawaya vd., 2003; Wang vd., 2004) ya da çok küçük alanlarda ve otomatik yol çıkarımı veya bina çıkarımı, kadastro haritacılık, değişim tespiti gibi belirli konularla ilgili olarak çalışmışlardır (Fraser vd., 2002; Baltasavias vd., 2004; Alexandrov vd., 2004; Kemper vd., 2004).

Dünya literatüründe yer alan çalışmalardan elde edilen sonuçlarda; yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden elde edilen geometrik doğrulukların 1/6000 - 1/10000 ölçekli harita çalışmaları için yeterli olduğu (Holland ve Marshall, 2004; Volpe, 2003) ve hatta söz konusu görüntülerin bazı limitlerine rağmen 1/5000 ölçekli klasik harita çalışmaları için kullanılabilirleri iyimser bazı çalışmalarda belirtilmiştir (Amato vd., 2004).

Bu bilgiler ışığında, yapacağımız çalışmanın farklı Yer Kontrol Noktaları (YKN) sayıları / geometrik dağılımları ve farklı SYM kullanılarak üretilen çok sayıda ortofoto görüntünün kullanılması ile, ülkemizde ve dünyada gerçekleştirilmiş olan geometrik doğruluk araştırmalarına yeni bir soluk katması amaçlanmıştır.

Test alanı ve veri setleri

Test alanı

İlk olarak 1995 yılında Kinematik GPS Destekli Fotogrametrik Nirengi test çalışmaları için kullanılan ve Ankara İ 29-c1 paftası içinde yer alan Gölbaşı bölgesi, bu çalışma için de test alanı olarak seçilmiştir. Söz konusu bölge yaklaşık olarak 10 km x 10 km boyutlarında olup bölgedeki yükseklik (z) değişimi 440 m civarındadır. Bölge ayrıca, Harita Genel Komutanlığı (HGK) tarafından gerçekleştirilen diğer birçok fotogrametrik ve jeodezik uygulamalarda da test alanı olarak kullanılmıştır. Bu bölgede, farklı tarihlerde YKN / nirengi koordinatları ölçülerek farklı ölçeklerde fotoğraf alımları ve harita üretimleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 1).

Yer kontrol noktaları

Gölbaşı test sahasına giren bölgede fotoğraf çekimi ve uydu görüntüsü alımı öncesinde YKN tesisi planlanmıştır. Daha önceki çalışmalarda

kullanılan YKN'ndan HGK Fotogrametri Dairesi Başkanlığınca belirlenen 12 noktanın arazide GPS ölçümü ve işaretlenmesi HGK Jeodezi Dairesi Başkanlığınca Mayıs 2002 tarihinde gerçekleştirilmiştir.

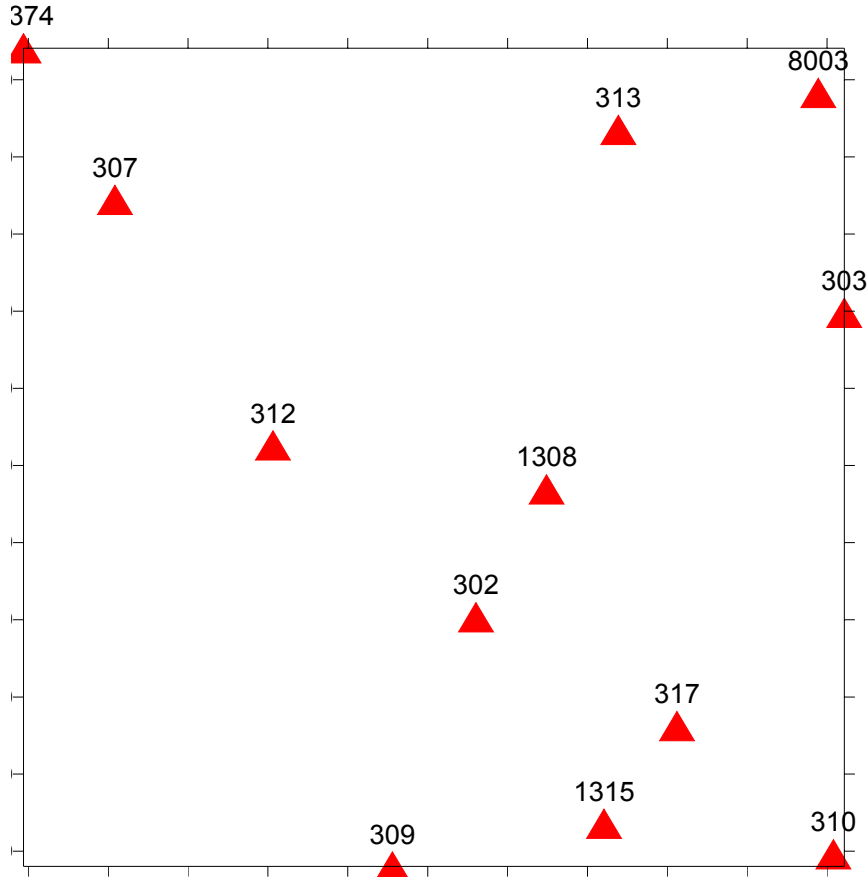


Şekil 1. Gölbaşı test alanından bir kesit

Bu noktaların yerleri belirlenirken; görüntülenecek bölgede geometrik açıdan uygun şekilde dağılmış olmalarına ve özellikle bölgenin kenarlarında da mutlaka en az bir YKN bulunmasına özen gösterilmiştir (Şekil 2).

Görüntüler

Çalışmada iki farklı uyduya ilişkin yüksek çözünürlüklü görüntüler kullanılmıştır. Bu uydular Ikonos ve Quickbird uydularıdır. Bu kapsamda İnta Uzay Sistemleri (Türkiye) firmasından 4 Ağustos 2002 tarihli Ikonos uydu görüntü çifti, Eurimage (İtalya) firmasından ise 26 Mayıs 2002 tarihli Quickbird uydu görüntüsü ücretsiz olarak temin edilmiştir (Tablo 1).



Şekil 2. Arazide tespit edilen 12 YKN

Tablo 1. Uydu görüntülerinin azimut ve güneş yükseklik açıları

	Ort. Alım Açısı	Ort. Alım Yükseklik	Güneş Açısı	Güneş Yükseklik
Ikonos-1	343.397 °	79.1812 °	145.587 °	64.083 °
Ikonos-2	206.640 °	65.7324 °	146.031 °	64.182 °
Quickbird	239.034 °	83.0699 °	139.486 °	67.278 °

Diğer taraftan hava fotoğrafı çekimi, HGK tarafından B-200 Beechcraft uçağı ile 29 Ağustos 2002 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Fotoğraf alımı 1/16000 ölçekli olarak, doğu-batı ve batı-doğu yönlerinde olmak üzere toplam 5 yatay kolon şeklinde ve siyah-beyaz film kullanılarak yapılmıştır. Boyuna bindirme oranı % 60, enine bindirme oranı ise % 30 olup, kinematik GPS tekniği uygulanarak 40 adet fotoğraf alımı gerçekleştirilmiştir. Uçuşta 152.841 mm odak uzaklığına sahip Zeiss RMK TOP 15 kamerası kullanılmıştır.

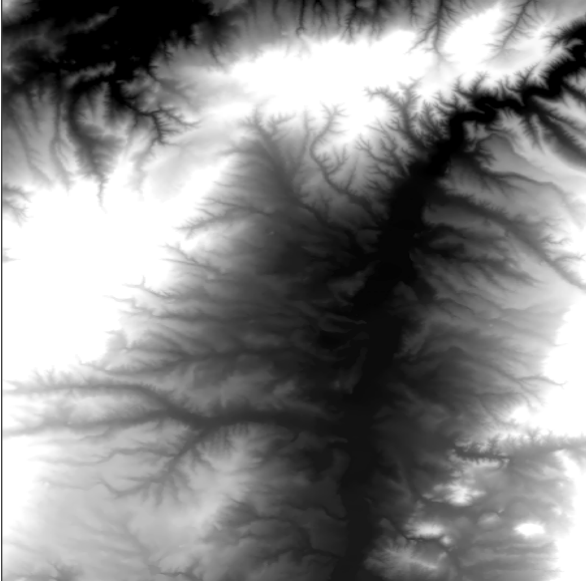
Sayısal yükseklik modelleri

Uygulamalarda kullanılan ilk SYM 1/16000 ölçekli hava fotoğraflarından elde edilen modeldir (HF-SYM). Bu SYM, Softplotter 3.0 yazılımındaki Surfer Tool modülü kullanılarak ve stereo modeller üzerinde 20 m aralıklarla otomatik olarak okunan noktalardan elde edilmiştir. Bu SYM'nin doğruluğunun ± 1 m civarında olduğu söylenebilir.

Kullanılan sayısal yükseklik modellerinden ikincisi HGK tarafından üretilmiş olan yükseklik paftalarıdır (YÜKPAF). Eş yükseklik eğrilerinin yarı otomatik olarak sayısallaştırılması ile üretilen bu SYM'nin doğruluğu da ± 5 m civarındadır (Şekil 3).

Çalışmada kullanılan son SYM Ikonos uydu görüntü çiftinden PCI yazılımının OrthoEngine modülü kullanılarak üretilen SYM'dir (Ikonos-SYM). Görüntülerde 8 adet YKN'nin ve 34 adet bağlama noktasının ölçümü yapılmıştır. Bu iş-

lemler sonucunda elde edilen korelasyon başarı yüzdesi % 97.29'dur.



Şekil 3. HGK'nca üretilmiş bir sayısal yükseklik paftası (YÜKPAF)

Fotogrametrik nirengi işlemleri

Hava fotoğrafları alımı gerçekleştirildikten sonra filmler banyo edilmiş ve fotogrametrik nirengi işlemleri uygulanmıştır. Fotogrametrik nirengi işlemlerinde sırasıyla;

- ◆ Filmler banyo edildikten sonra fotoğraflar, SCAI (Scanner with Autowinder Interface) hassas tarayıcısında 21 μm çözünürlük ile sayısallaştırılmış,
- ◆ Her bir fotoğrafta kolon ve model bağlama noktası olarak yaklaşık 20-25 noktada okuma yapılacak tarzda PAT (Phodis Aerial Triangulation) yazılımı ile fotogrametrik nirengi ölçümleri gerçekleştirilmiş,
- ◆ Kinematik GPS yöntemi ile fotoğraf izdüşüm merkezlerinin koordinatları SKIP (Static and Kinematic Positioning) programı kullanılarak tespit edilmiş ve
- ◆ Işın demetleriyle blok dengeleme yapan PAT-B GPS yazılımı kullanılarak 11 adet YKN ile dengeleme yapılmıştır. Dengeleme, 6 iteras-

yon sonunda ve $\sigma = 8.1855 \mu\text{m}$ 'lik bir doğruluk değeri ile sonlandırılmıştır.

Ortofoto ve mozaik görüntü üretimleri

İlk adımda, dengeleme işlemleri tamamlanmış olan hava fotoğraflarından çeşitli ortofotoların üretimi gerçekleştirilmiştir. Hava fotoğraflarından elde edilen ortofotolarda, hem yükseklik paftaları (YÜKPAF) hem de hava fotoğraflarından elde edilen SYM (HF-SYM) kullanılmıştır. Böylece her bir fotoğraf için, iki farklı sayısal yükseklik modeli kullanılarak iki farklı ortofoto elde edilmiştir.

Hava fotoğraflarından elde edilen ortofotolar mozaikleme işlemi ile birleştirilmiştir. Mozaikleme, birbiri ile bindirmeli iki veya daha fazla ortofoto görüntünün birleştirilerek tek bir görüntü haline getirilmesidir. Mozaikleme işlemi, Erdas Imagine 8.6 yazılımının Veri Hazırlama (Data Preparation) modülü altında yer alan Mozaikleme (Mosaic Images) alt modülü kullanılarak yapılmıştır.

Uydu görüntülerinden ise farklı sayı ve dağılımdaki YKN ile YÜKPAF, HF-SYM veya Ikonos-SYM kullanılarak farklı özelliklerde ortofotolar oluşturulmuştur. Ayrıca YKN olmaksızın, sadece görüntüler ile birlikte uydu firmalarından temin edilen yörünge bilgileri kullanılarak da ortofotolar oluşturulmuştur.

Ortofoto üretimlerinde Erdas Imagine 8.6 yazılımının OrthoBase modülü kullanılmıştır. Üretimlerde yeniden örnekleme (resample) metodu olarak bilineer enterpolasyon seçeneği, sonuç ürünün piksel boyutu olarak da; hava fotoğrafları için 0.5 m, Ikonos uydu görüntüleri için 1 m, Quickbird uydu görüntüleri için ise 0.6 m değeri girilmiştir.

Sonuç itibarı ile bu çalışma için uydu görüntülerinden üretilen ortofotolar Tablo 2'de sunulmuştur.

Bağımsız kontrol noktaları

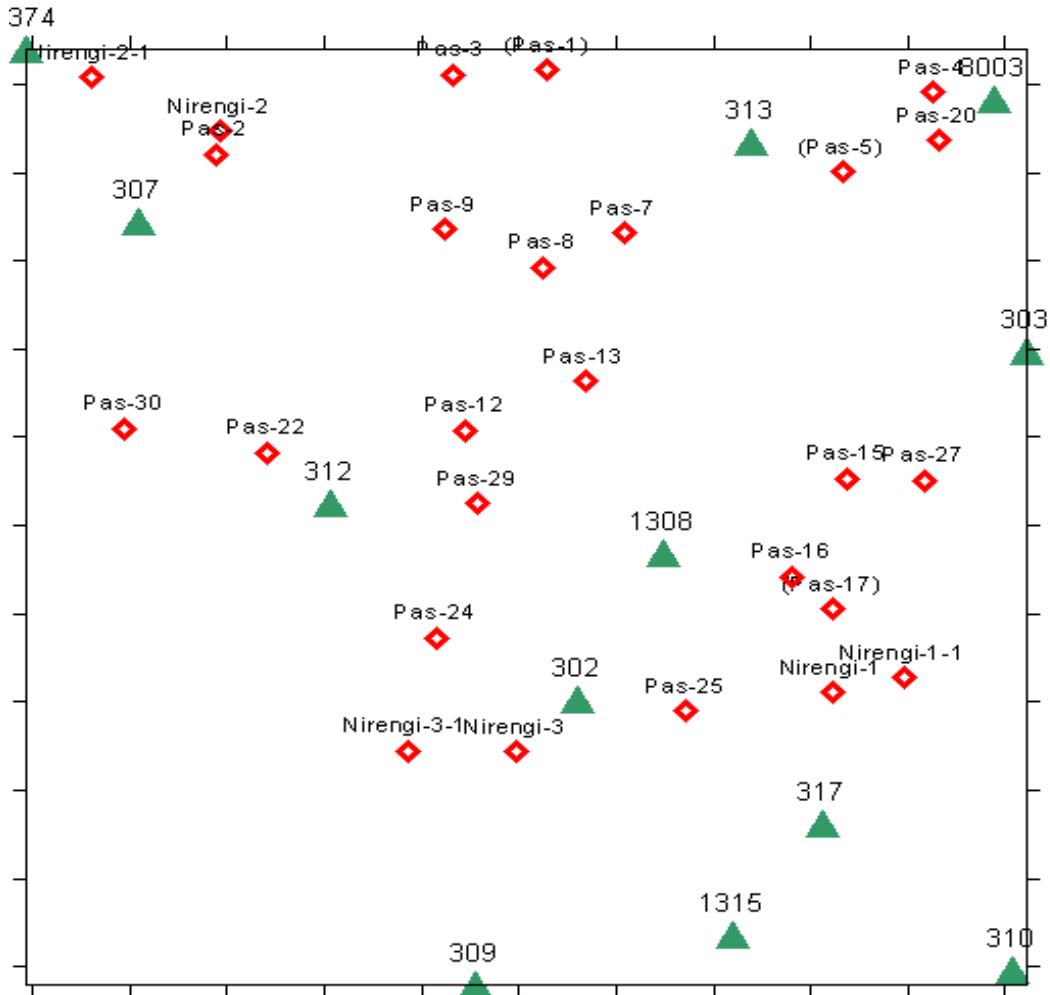
Ortofotoların üretiminden sonra, hem hava fotoğraflarında hem de her iki uydu görüntüsünde

de rahatlıkla seçilebilir özellikte olan test / bağımsız kontrol noktaları (independent check points) tespit edilmiştir. Bu işlem esnasında seçilen noktaların; yol kesişimleri, arsa köşeleri, parlak detaylar vb. gibi keskin detaylar olmalarına özen gösterilmiştir (Hanley ve Fraser, 2004; Li vd., 2000; Sadeghian ve Zoej, 2004). Bu şekilde toplam 35 adet test noktası seçilmiştir.

Nokta seçiminden sonra, üç ölçü ekibi tarafından 25 – 26 Mart 2003 tarihlerinde 2 gün boyunca araziye çıkarak seçilen noktalar üzerinde GPS ölçüsü yapılmıştır. Ancak görüntüler ile arazi çalışmaları arasındaki zaman farkı ve hava koşullarının kötülüğü nedeni ile 35 test noktasının ancak 27 tanesine ulaşılarak GPS ölçüsü yapılabilmektedir (Şekil 4).

Tablo 2. Uydu görüntülerinden oluşturulan ortofoto / mozaik görüntüler

COĞRAFİ VERİ	YKN SAYISI	SYM CİNSİ
İkonos	4 ADET	SYM
İkonos	4 ADET	İkonos-SYM
İkonos	5 ADET	SYM
İkonos	7 ADET	SYM
İkonos	7 ADET	İkonos-SYM
İkonos	7 ADET	YÜKPAF
İkonos	Yönelme Parametreleri	İkonos-SYM
İkonos	Yönelme Parametreleri	YÜKPAF
Quickbird	4 ADET	SYM
Quickbird	5 ADET	SYM
Quickbird	9 ADET	SYM
Quickbird	9 ADET	YÜKPAF
Quickbird	Yönelme Parametreleri	YÜKPAF



Şekil 4. YKN ve bağımsız kontrol noktalarının dağılımı

Ölçümler

GPS ölçümü ve jeodezik hesaplamalar sonrasında arazide ölçülen 27 test noktasına ait koordinatlar üretilen görüntüler üzerinde okunmuştur. Bu okumalarda, her bir noktaya ilişkin koordinat tüm ortofoto görüntüler üzerinde okunduktan sonra diğer noktanın koordinat okumasına geçilmiştir. Böylece her görüntüde söz konusu detay noktasının aynı şekilde okunmasına özen gösterilmiştir.

Ayrıca daha önceden de bahsedildiği gibi, görüntü üzerinde seçilen noktalarla arazide GPS ölçüsü yapılan noktaların eşleştirilmesinde zorluklar yaşandığı için, benzer çalışmalarda olduğu gibi (Helder vd., 2003) her bir görüntü üzerinde mümkün olduğunca aynı detayı temsil eden ve aynı parlaklık değerine sahip olan pikseller tespit edilmeye çalışılmıştır.

İkinci adımda ise Ikonos uydu görüntüsü çiftinden Erdas Imagine 8.6 yazılımı kullanılarak stereo model oluşumu gerçekleştirilmiş ve aynı test noktaları bu görüntüler üzerinde de okunmuştur.

Üretim aşamasında, iki görüntüde de ortak olan ve Ikonos ortofoto üretimlerinde de kullanılan 7 adet YKN kullanılmıştır. Stereo model oluşturulduktan sonra Erdas Imagine 8.6 yazılımının Stereo Analyst Modülü kullanılarak ortak detay / test noktalarına yanaşarak ölçüm yapılmış ve 3 boyutlu (3B) koordinatlar okunmuştur.

Elde edilen farklar

Yapılan çalışmada ilk olarak, ortofoto görüntüler üzerinde okunan test noktası koordinatlarının arazide yapılan GPS ölçülerinden farkları alınmıştır. Bu farklar sonucunda, karesel ortalama hatayı ifade eden (Deakin ve Kildea, 1999);

$$\sigma_x^2 = \sum (X_{ölçü} - X_{gps})^2 / n; \sigma_y^2 = \sum (Y_{ölçü} - Y_{gps})^2 / n \quad (1)$$

değerlerinin 3 katından büyük farklara sahip ölçüler kaba hata olarak değerlendirilmiştir. Bu şekilde kaba hata tespiti yapıldığında bütün gözlemlerin 3 σ aralığında olma ihtimali % 99.73'dür. Yani herhangi bir gözlem bu aralığın dışında kalıyorsa % 99.73 ihtimalle kaba hatadır.

Kaba hata olarak değerlendirilen ölçümler yeniden yapılmış ancak buna rağmen düzelmeyen noktalar okumalardan çıkarılmıştır. Bu nedenle her bir ortofoto görüntü üzerinde okunan ve değerlendirmeye alınan test noktası sayısı farklıdır. Elde edilen farklar Tablo 3-6'da sunulmuştur.

Tablo 3. Ikonos uydu görüntülerinden elde edilen farklar

YKN Sayısı	SYM Cinsi	Test Nokta Sayısı	RMSE (m)		
			x	y	Yatay
4	HF-SYM	25	2.25	1.54	2.73
4	Ikonos DEM	25	2.25	1.43	2.67
5	HF-SYM	25	2.16	1.49	2.62
7	HF-SYM	26	1.28	1.55	2.01
7	Ikonos DEM	26	1.28	1.54	2.00
7	YÜKPAF	26	1.37	2.19	2.58
Kendi Par.	Ikonos DEM	27	11.97	11.84	16.84
Kendi Par.	YÜKPAF	26	11.58	10.66	15.74

Tablo 4. Stereo Ikonos uydu görüntülerinden elde edilen farklar

YKN Sayısı	Test Nokta Sayısı	RMSE (m)			
		x	y	Yatay	z
7	24	0.77	0.89	1.17	0.94

Tablo 5. Quickbird uydu görüntülerinden elde edilen farklar

YKN Sayısı	SYM Cinsi	Test Nokta Sayısı	RMSE (m)		
			x	y	Yatay
4	HF-SYM	25	1.05	0.85	1.35
5	HF-SYM	25	1.04	0.84	1.33
9	HF-SYM	26	1.29	1.01	1.63
9	YÜKPAF	26	1.56	1.02	1.86
Kendi Par.	YÜKPAF	27	38.97	14.89	41.72

Tablo 6. Hava fotoğrafları görüntülerinden elde edilen farklar

YKN Sayısı	SYM Cinsi	Test Nokta Sayısı	RMSE (m)		
			x	y	Yatay
11	HF-SYM	23	0.94	0.95	1.33
11	YÜKPAF	22	1.20	0.98	1.55

Sonuçlar

Büyük Ölçekli Haritaların Yapım Yönetmeliğinde (1995) yer alan 255. maddede “detay noktaları haritada en az 0.2 mm konum doğruluğunu sağlayacak nitelikte olmak üzere paftaya konur” denmektedir. Aynı yönetmeliğin 217. maddesine göre de “Çizim bilgisayar destekli çizim sistemleriyle yapıldığında, bunların ayırma gücü 0.01 mm, çizim veya noktalama doğruluğu ± 0.10 mm’den daha büyük olmamalıdır”. Nitekim 0.2 mm’lik konum doğruluğu, tez çalışmasının sorguladığı 1/5000 ölçeğinde 1 m’ye karşılık gelmektedir. Bu nedenle geometrik doğruluk araştırmasından elde edilen sonuçlar yorumlanırken hep bu değer dikkate alınmıştır.

◆ HF-SYM ile birlikte 11 YKN kullanılan 1/16000 ölçekli hava fotoğraflarından 3 σ aralığında elde edilen sonuçların istenen doğruluğu (1 m) mutlak ortalama olarak sağladığı (1.05 m) ancak karesel ortalama sağlamadığı (1.34 m) görülmüştür. Bu durumun bir nedeni olarak 3 σ değerine yakın olan ve karesel ortalama hatayı artırıcı yönde etki eden hataların mevcudiyeti gösterilebilir.

◆ Diğer taraftan uydu görüntülerinden elde edilen sonuçların çoğu hem mutlak hem de karesel ortalama istenen doğruluğu sağlayamamıştır.

◆ Bununla birlikte, daha fazla nirengi okunmasının da katkısı ile Quickbird uydu görüntülerinde 9 YKN kullanılarak elde edilen sonuçlar Ikonos uydu görüntülerinde 7 YKN kullanılarak elde edilen sonuçlardan daha iyi performans sergilemişlerdir.

◆ Ancak sadece 4 / 5 YKN kullanılan Quickbird uydu görüntülerinden elde edilen sonuçlar hava fotoğrafları ile neredeyse eşittir.

◆ Stereo Ikonos görüntülerinden elde edilen değerler ise tüm okumalar içerisinde en iyi sonuçlara sahiptir. Aslında bu beklenen bir sonuçtur çünkü stereo görüntüler üzerindeki okumalarda noktaya yansıma hassasiyeti daha yüksektir ve bu okumalar SYM kullanımının getirdiği hataları içermemektedirler.

◆ Uyduların kendi yöneltme parametreleri kullanıldığında ise Quickbird uydusuna nazaran Ikonos uydu görüntülerinde çok daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ancak bu sonuçların 2002 yılına ait uydu yörünge bilgilerini içeren veriler ile sağlandığı ve bu verilerin sürekli olarak iyileştirildiği unutulmamalıdır.

◆ Uyduların kendi yöneltme parametreleri kullanıldığında görüntü yörünge özellikleri nedeniyle her iki uydu görüntüsünde de yaklaşık doğu - kuzey doğu yönünde sistematik hatalar gözlenmiştir. YKN kullanılan çalışmalarda ise hatalar her yönde gerçekleşmiştir.

◆ YKN sayısının azalması ile doğrulukların Ikonos görüntülerinde kötüleştiği, Quickbird uydu görüntülerinde ise iyileştiği görülmüştür. Bunun sebebi YKN kalitesidir. Bu durum geometrik doğruluk için YKN sayısı kadar YKN kalitesinin de önemli olduğunu bir kez daha kanıtlamaktadır. Ancak burada dikkat edilmesi gereken bir başka konu da, 10 – 15 adet YKN kullanımını sonrasında nokta sayısının artmasının doğruluğa anlamlı bir katkı sağlamadığıdır (Lid., 2000; Volpe, 2003; Toutin, 2003).

◆ Ikonos-SYM kullanılan görüntülerin, hava fotoğraflarından elde edilen HF-SYM kullanılan görüntüler kadar iyi sonuçlar verdiği ve bu nedenle Ikonos-SYM’nin HF-SYM yerine kullanılabileceği söylenebilir.

◆ Son olarak, nispeten daha büyük olan hata değerlerinin genellikle düz ve alçak alanlardan ziyade arazi yüksekliğinin arttığı engebeli alanlarda bir araya toplandığı gözlenmiştir.

Bu nedenle kullanılan standart harita ölçekleri dikkate alındığında her iki uydu görüntüleri ile 1/10000 ölçeğinde harita üretiminin yapılabileceği belirlenmiştir. Ayrıca Quickbird uydu görüntüleri ile standart dışı olacak şekilde ve 1/7000-1/7500 gibi daha büyük ölçeklerde harita üretiminin de mümkün olabileceği değerlendirilmiştir.

Bunlarla birlikte; Ikonos uydusu stereo görüntülerinde yapılan okumaların noktaya yanaşma hassasiyetinin daha yüksek olması ve bu okumaların SYM kullanımının getirdiği hataları içermemesi nedeni ile stereo IKONOS uydu görüntüleri ile yaklaşık 1 / 6000 ölçeğine kadar harita üretimi mümkündür.

Teşekkür

Çalışmamızın her safhasında bizlere büyük katkılar sağlayan ve desteğini esirgemeyen Harita Genel Komutanlığı ile uydu görüntülerini temin eden İnta Uzay Sistemleri (Türkiye) ve Euroimage (İtalya) firmalarına teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Alexandrov, A., Hristova, T., Ivanova, K., Koeva, M., Madzharova, T., Petrova, V., (2004). Application of Quickbird satellite imagery for updating cadastral information, *XX. Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Kongresi*, Komisyon II/6, 12-23 Temmuz, İstanbul.
- Amato, R., Dardanelli, G., Emmolo, D., Franco, V., Brutto, M. L., Midulla, P., Orlando, P., Villa, B., (2004). Digital orthophotos at a scale of 1:5 000 from high resolution satellite images, *XX. Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Kongresi*, Komisyon IV/7, 12-23 Temmuz, İstanbul.
- Baltsavias, E., O'Sullivan, L., Zhang, C., (2004). Automated road extraction and updating using the ATOMI system-performance comparison between aerial Film, ADS40, Ikonos and Quickbird orthoimagery, *XX. Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Kongresi*, Komisyon III/7, 12-23 Temmuz, İstanbul.
- Büyük Ölçekli Haritaların Yapım Yönetmeliği, (1995). TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası – İstanbul Şubesi, Ankara.

- Deakin, R. E. ve Kildea, D. G., (1999). A note on standart deviation and RMS, *The Australian Surveyor*, **44**, 1, 74-79.
- Fraser, C. S., Baltsavias, E., Gruen, A., (2002). Processing of Ikonos imagery for submeter 3D positioning and building extraction. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, No:1209, **56**, 3, 177-194.
- Grodecki, J. ve Dial, G., (2001). IKONOS geometric accuracy. *Proceedings of Joint International Workshop on High Resolution Mapping from Space*, 19-21 Eylül, Hannover – Almanya, 77-86.
- Hanley, H. B. ve Fraser, C. S., (2004). Sensor orientation for high-resolution satellite imagery: Further insights into bias-compensated RPCs. *XX. Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Kongresi*, Komisyon I/2, 12-23 Temmuz, İstanbul.
- Helder, D., Coan, M., Patrick, K., Gaska, P., (2003). Ikonos geometric characterization, *Remote Sensing of Environment*, **88**, 69-79.
- Holland, D. ve Marshall, P., (2004). Updating maps in a well-mapped country using high resolution satellite imagery. *XX. Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Kongresi*, Komisyon II/6, 12-23 Temmuz, İstanbul.
- Kemper, G., Çelikoyan, M., Altan, O., Toz, G., Lavallo, C., Demicelli, L., (2004). RS-Techniques for land use change detection – case study of İstanbul, *XX. Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Kongresi*, 12-23 Temmuz, İstanbul.
- Li, R., Zhou, G., Yang, S., Tuell, G., Schmidt, N. J., Fowler, C., (2000). A study of the potential attainable geometric accuracy of IKONOS satellite imagery. *IXX. Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Kongresi*, Komisyon IV/6, 16-23 Temmuz, Amsterdam-Hollanda.
- Önder, M., (1999), *Uzaktan Algılama Ders Kitabı*, 210, Kara Harp Okulu Basımevi, Ankara.
- Özbalımcı, M., (2003). Uydu görüntülerinin temin edilmesi ve kullanılmasına yönelik temel esaslar, *Silahlı Kuvvetler Dergisi*, Genel Kurmay Basımevi, Ankara, **375**, 29-50.
- Sadeghian, S., ve Zoj, M. J. V., (2004). Comparative testes of mathematical models for accuracy potential of point measurements in Ikonos geo image, *XX. Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Kongresi*, Komisyon III/1, 12-23 Temmuz, İstanbul.
- Topan, H., Büyüksalih, G., Jacobsen K., (2004). Comparison of information contents of high resolution space images. *XX. Uluslararası*

- Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Kongresi*, Komisyon IV/7, 12-23 Temmuz, İstanbul.
- Toutin, T., (2004). DSM generation and evaluation from Quickbird stereo imaging with 3D physical modelling. *International Journal of Remote Sensing*, **25**, 22, 5181-5193.
- Vassilopoulou, S., Hurni, L., Dietrich, V., Baltsavias, E., Pateraki, M., Lagios, E., Parcharidis, L., (2002). Orthophoto generation using Ikonos imagery and high-resolution DEM: A case study on volcanic of hazard monitoring of Nisyros island (Greece), *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **57**, 24-38.
- Volpe, F., (2003). Geometrical processing of Quickbird high resolution satellite data. *Joint ISPRS/EARSEL International Workshop 'High Resolution Mapping from Space'*, 6-8 Ekim, Hannover-Almanya.
- Wang, L., Sousa, W. P., Gong, P., Biging, G. S., (2004). Comparison of Ikonos and QuickBird images for mapping mangrove species on the caribbean coast of panama, *Remote Sensing of Environment*, **91**, 432-440.
-
- Sawaya, K. E., Olmanson, L. G., Heinert, N. J., Brezonik, P. L., Bauer M. E., (2003). Extending satellite remote sensing to local scales: Land and water resource monitoring using high-resolution imagery. <http://www.elsevier.com/locate/rse>, (20 Mart 2005).