

ORTOGÖRÜNTÜ ÜRETİMİNDE YER KONTROL NOKTASI SEÇİMİ VE SONUÇLARA ETKİSİ

H. Topan, M. Oruç, M.G. Koçak

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Zonguldak
htopan@yahoo.com, orucm@hotmail.com, mgkxyz@yahoo.de

ÖZET

Ortogörüntülerin üretilmesinde görüntü koordinat sistemi ile yer koordinat sisteminin ilişkilendirilmesi ve yeryüzündeki yükseklik farklılıklarından kaynaklanan hatanın düzeltilmesi (görüntünün rektifikasyonu) gerekmektedir. Bu amaçla görüntülere ait yörünge ve kalibrasyon bilgileri ile yer kontrol noktaları (YKN) kullanılmaktadır. Fotogrametrik çalışmalarda YKN'ları fotoğraf çekimi öncesinde araziye tesis edilirken, uzaktan algılamada kullanılan YKN'ları genellikle görüntüde bulunan doğal veya yapay nesnelere seçilir. YKN'larının seçimi, dağılımı ve doğruluğu, rektifikasyon sonuçlarını etkilemesi açısından çok önemlidir. Bu çalışmada Zonguldak test alanına ait ortogörüntülerin üretiminde kullanılmak üzere farklı doğruluklarda YKN'ları kullanılmıştır. Bunlar 1:25000 ölçekli topografik haritalardan ve GPS gözlemlerinden elde edilmiştir. 1:25000 ölçekli haritalar kartografik genelleştirmeyle elde edilmiştir. Dolayısıyla harita ve görüntü arasında uyumsuzluk söz konusudur. YKN'larının GPS gözlemleriyle elde edilmesi için yürütülen arazi çalışması ise Batı Karadeniz Bölgesinin bir kısmını kapsamaktadır. Arazi çalışması ile görüntü alım tarihleri arasındaki üç aylık zamansal farkın olması, YKN'ların bulunmasında haritalara oranla güncellik sorununu ortadan kaldırmıştır. Ancak çalışmanın kış mevsiminde yürütülmüş olması, noktalara ulaşmada ve noktaların arazide bulunmasında zorluklara neden olmuş; bu sorunun çözümünde arazi çalışması öncesinde yapılan planlamanın büyük yararı olmuştur. Bu çalışma kapsamında derlenen YKN'ları, çeşitli matematiksel modellerle (DLT ve SOM) ile farklı çözünürlükte uydur görüntülerinde kullanılmış ve uyumsuz ölçü testi yapılmıştır. Böylece sonuçların YKN seçimine, dağılımına ve doğruluğuna olan bağlılıkları irdelenmiştir. SPOT-5 ve IRS-1C pankromatik görüntüleri (5 m) için yapılan çalışmada, 1:25000 ölçekli haritalardan derlenen YKN'ları kullanıldığında 1 pikselden daha büyük, GPS gözlemlerine dayalı YKN'lar kullanıldığında ise 1 pikselden daha küçük doğruluk sonuçlarına ulaşılmıştır. Uygun bir geometrik yapıya sahip olmayan, dolayısıyla görüntüde ve arazide seçiminde güçlük çekilen noktaların (büyük köprülerin ortası, simetrik olmayan yol kesişimleri vb.) uyumsuz ölçü testiyle uygun YKN olmadığı kanıtlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Yer kontrol noktası, ortogörüntü, rektifikasyon, uyumsuz ölçü testi

ABSTRACT

COLLECTION OF GROUND CONTROL POINTS AND ITS EFFECT ON GENERATION OF ORTHOIMAGE

Transformation between image and ground coordinate systems and relief of errors caused by rolling topography is required in orthoimage generation. GCPs and information of both orbit and calibration are used for this process. GCPs are set before the imaging on the land while nature and man-made objects are collected as GCPs for remote sensing applications. Collection, distribution and accuracy of GCPs have important-role on the rectification-accuracy. In this study GCPs with different accuracy are used over Zonguldak test field and collected from 1:25000 scale topographic maps and via GPS observations. 1:25000 scale topographic maps are generated by cartographic-generalisation and not updated. For this reason, the discrepancy is available between maps and images. The field study is runned in a part of Western Black Sea Region of Turkey in this study. The time-delay between the date of field study and imaging date does not cause any problem whereas many GCPs are not found on the 1:25000 maps. The main problem for field study is difficulty of getting closer to the GCPs and founding them. For overcoming of this problem, the pre-studies before field study are helpful. The GCPs are used by different mathematical models such as DLT or SOM and the blurring test is applied. So the effects of collection, distribution and accuracy of GCPs on generation of orthoimage are investigated. The analysis on SPOT-5 and IRS-1C panchromatic images (5 m) shows that the final RMSE of orthoimage is bigger than 1 pixel if 1:25000 scale topographic maps are used while it is smaller than 1 pixel by the analysis using GPS observations. The GCPs with un-optimal geometry (center of big bridges or un-simetric road-crossing) is detected by blurring test.

Keywords: Ground Control Point, orthoimage, rectification, blurring test

YKN'LARININ REKTİFİKASYONDAKİ YERİ VE ÖNEMİ

YKN'ları (Yer Kontrol Noktası), hem fotogrametride hem de uzaktan algılamada fotoğrafların/görüntülerin (burada sadece "görüntü" terimi kullanılacaktır) rektifikasyonu aşamasında görüntü koordinat sistemi ile yer koordinat sistemi arasındaki ilişkisinin kurulmasını sağlamaktadır. Bu nedenle YKN'larının doğruluğu ve dağılımı ortogörüntünün konum doğruluğunu etkilemektedir. Fotoğraf filmi kullanılan hava fotogrametrisi çalışmalarında kontrol noktaları genellikle arazide, fotoğraf çekimi öncesinde tesis edilen noktalarlardır. Dijital kameraların kullanılması durumunda GPS (Global Positioning System) ve IMU (Inertial Measurement Unit) birlikte kullanılmakta ve böylece rektifikasyonda kullanılan dış yönelme elemanları doğrudan belirlenebilmektedir. Buna rağmen sistematik GPS hatalarının giderilmesi ve datum dönüşümü için YKN'larına gereksinim duyulmaktadır (Yastıklı, 2005). Yersel fotogrametride ise son yıllarda, fotoğraf çekimi öncesinde nokta tesisi yapmaya gerek duyulmadan, görüntü üzerindeki nesnelere YKN olarak seçilmektedir. Laser tarama yöntemini kullanan yersel fotogrametri uygulamalarında ise kontrol noktaları, tarama işlemi öncesinde veya sonrasında tespit edilebilir (Demir, 2005). Lidar uygulamalarında ise YKN'larına gerek duyulmadan GPS/IMU sistemleriyle dış yönelme gerçekleştirilmektedir (Lohmann, 2007). Ancak dijital kameraların veya Lidar teknolojisinin henüz yaygınlaşmaması nedeniyle YKN'larına olan ihtiyaç sürmektedir.

Uzaktan algılama çalışmalarında ise YKN'larının niteliği, görüntünün geometrik ve radyometrik çözünürlüğüne ve yönelme için kullanılan matematiksel modele bağlıdır. Bu çalışma kapsamında, YKN'larının seçiminin, sayısının, dağılımının ve doğruluğunun ortogörüntü doğruluğuna etkisi, Zonguldak iline ait farklı çözünürlüklere sahip uzaktan algılama görüntüleri yardımıyla açıklanmaktadır.

1. YKN VE GEOMETRİK ÇÖZÜNÜRLÜK İLİŞKİSİ

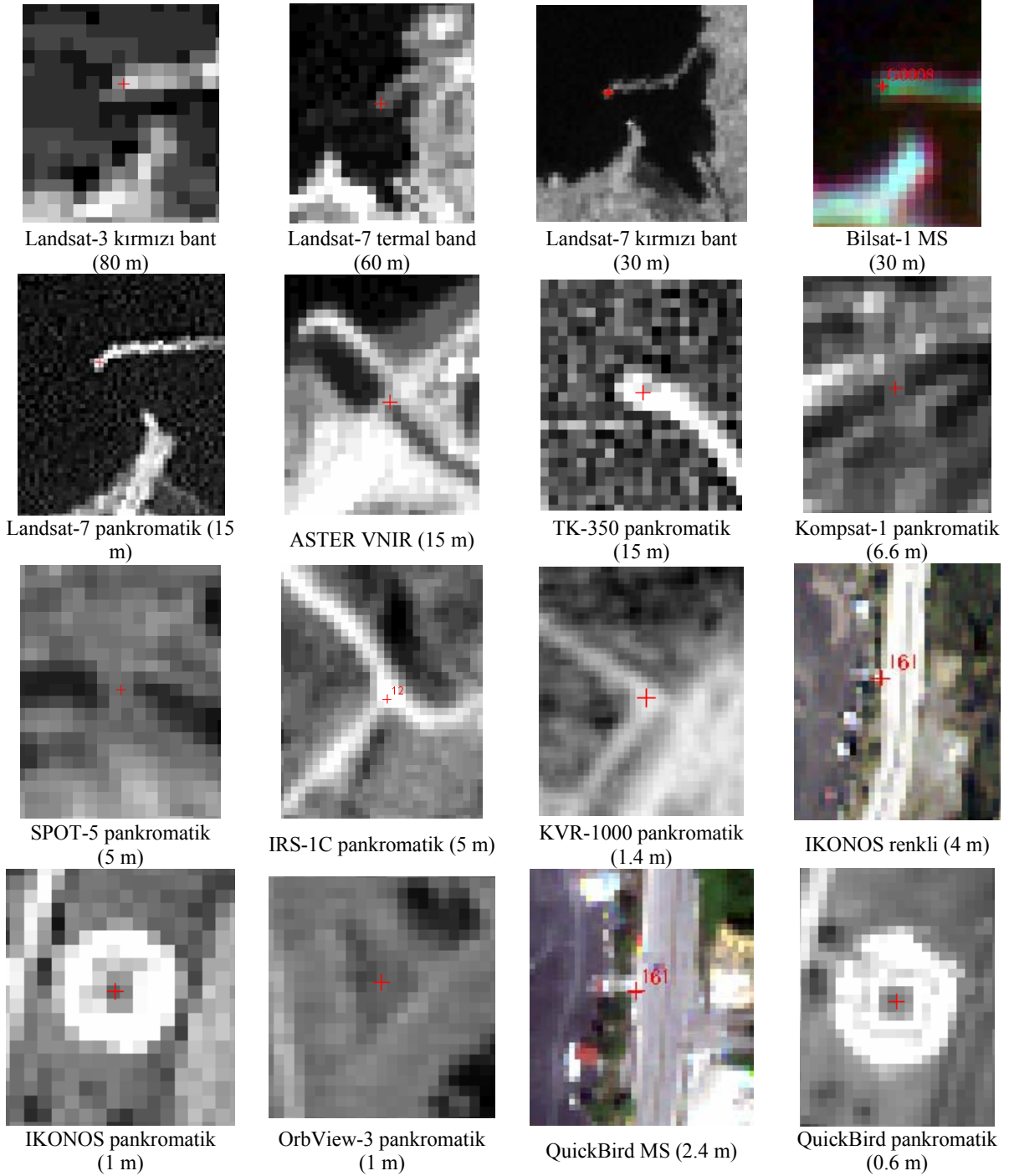
YKN seçiminde görüntünün geometrik çözünürlüğü büyük bir etkidir. Düşük çözünürlüğe sahip görüntülerde nesnelere, yüksek çözünürlüklü görüntülere oranla daha az pikselle gösterilmektedir. Dolayısıyla düşük çözünürlüklü görüntüler üzerinde seçilecek YKN'ları da boyut olarak büyük nesnelere olmaktadır. Ancak hangi boyuta sahip olursa olsun YKN olarak seçilecek nesnenin zamanla konumunun ve şeklinin değişmediğinden emin olunması; ayrıca nesne ile yeryüzü arasında yükseklik farkının olmaması gerekmektedir. Şekil 1'de farklı geometrik çözünürlüğe sahip görüntülere ait YKN'ları gösterilmektedir. Landsat-3 kırmızı bant (80 m), Landsat-7 termal bant (60 m), Landsat-7 kırmızı bant (30 m) ve pankromatik (15 m) veya Bilsat-1 (30 m) görüntülerinde mendirek ucu, geniş dere veya yol kesişimleri YKN olarak seçilebilmektedir. ASTER VNIR (Visible and Near Infrared) görüntüsünde ise YKN seçimi, kızılötesi bandın toprak-su veya toprak-orman ayırımı kolaylaştırması nedeniyle, Landsat pankromatik görüntüsündeki seçime göre daha kolaydır. Bu nedenle ASTER VNIR görüntüsünde özellikle köprüler veya yol kesişimleri tercih edilmiştir. TK-350 de (15 m) Landsat-7 pankromatik ve ASTER VNIR ile aynı geometrik çözünürlüğe sahiptir. Ancak özellikle ASTER ile karşılaştırıldığında, TK-350 görüntüsünün fotoğraf filminden taranmış olması ve fotoğraf filmi üzerinde çizikler bulunması nedeniyle YKN seçimi kolay olmamaktadır.

SPOT-5 ve IRS-1C pankromatik görüntüleri aynı geometrik çözünürlüğe sahip oldukları halde, SPOT-5'de seçilen bir YKN IRS-1C'de seçilememektedir. Bunun nedeni SPOT-5 ve IRS-1C'nin farklı radyometrik çözünürlüğe sahip olmasıdır. SPOT-5, IRS-1C ve Komsat-1'de (6.6 m) yol kesişimleri ve küçük köprülerin ortası tercih edilmiştir. GSD (Ground Sampling Distance)'ları 1 m'den büyük görüntülerde genellikle dere ve yol kesişimleri veya köprü ortaları, KVR-1000 (1.4 m) görüntüsünde ise özellikle yol kesişimleri YKN olarak seçilmiştir. TK-350 ve KVR-1000 görüntüleri fotoğraf filmleri taranarak elde edildiğinden kontrastı düşüktür ve bu nedenle normal ve etkin GSD'leri arasında %30 fark bulunmaktadır (Topan vd., 2004). Bu durum YKN seçimini zorlaştırmaktadır.

IKONOS ve QuickBird renkli görüntüleri pankromatik görüntülere oranla dört kat GSD'ye sahiptir. Dolayısıyla geometrik özelliklerinden yararlanılarak YKN belirlemek zorlaşmaktadır. Ancak renkli görüntülerin renk bilgisine sahip olması YKN seçiminde yardımcı bir özelliktir. IKONOS, QuickBird ve OrbView-3 pankromatik görüntüleri gibi geometrik çözünürlükleri 1 m düzeyinde olan görüntülerde genellikle daha küçük nesnelere, örneğin 4 m çaplı bir havuzun ortası, tercih edilebilir. Landsat ve ASTER gibi düşük geometrik çözünürlüklü görüntülerde bir mendireğin ucu veya geniş ve uzun bir köprü'nün ortası YKN olarak seçilirken, QuickBird pankromatik görüntüsü gibi yüksek geometrik çözünürlüklü bir görüntüde 4 m çaplı bir havuzun ortası seçilebilir.

2. YKN VE RADYOMETRİK ÇÖZÜNÜRLÜK İLİŞKİSİ

Özellikle yüksek geometrik çözünürlüklü ($GSD \leq 1$ m) görüntüler için YKN'ları olabildiğince küçük ve yüksekliği yer seviyesinde bulunan simetrik nesnelere tercih edilmelidir. Bina, havuz veya yol köşesinde seçilen YKN'ları, görüntünün radyometrik çözünürlüğünden kaynaklanan bir etki ile asıl konumunda bulunmayabilir. Örneğin Şekil 2'de gösterilen IKONOS'a ait pankromatik bir görüntünün orijinali üzerinde bir bina köşesinde seçilen YKN'sının konumu, görüntüye kontrast genişletmesi yapıldığında 1 piksel kaymaktadır (Jacobsen, 2006). Bu hatadan kaçınmak için, görüntüde uygun büyüklükte bir simetrik nesnenin ortası seçilmelidir. Bunun sebebi, nokta yayılım fonksiyonunun bir sonucu olarak simetrik bir nesnenin yansıttığı spektral ışınının nesnenin merkezinde yoğunlaşmasıdır. Örneğin Şekil 3'de gösterilen

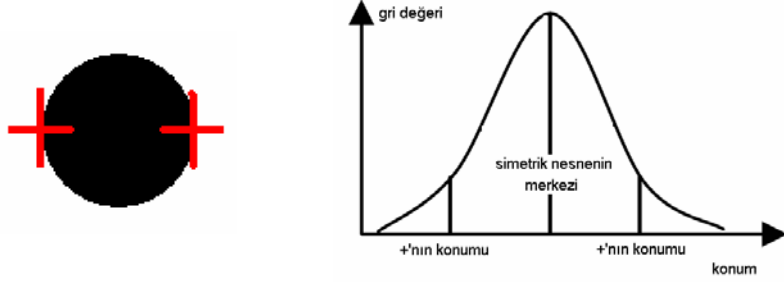


Şekil 1: Farklı geometrik çözünürlüklere sahip görüntülerde YKN'ları

bir nesnenin kenarlarında seçilen YKN'ları, gri değeri grafiğininin sağında veya solunda herhangi bir yerde bulunacaktır. Görüntü radyometrik olarak işlendiği takdirde, örneğin bir kontrast genişletme yapıldığında, kenarın konumu değiştiği halde, simetrik bir nesnenin merkezinin konumu değişmeyecektir. Ayrıca köşe veya kenarda seçilen bir noktanın konum doğruluğu, merkezde seçilen bir noktaninkine oranla ortalama %25 hata içermektedir. Dolayısıyla YKN'sının simetrik bir nesnenin ortası olarak seçilmesi en uygun çözümdür (Jacobsen, 2006). Ancak merkezin kolaylıkla tespiti için nesnenin boyutunun, görüntünün geometrik çözünürlüğüne oranla uygun olması gerekmektedir. Örneğin 5×5 pikselden oluşan bir nesne yerine 35×35 pikselden oluşan bir nesnenin merkezini bulmak daha zordur.

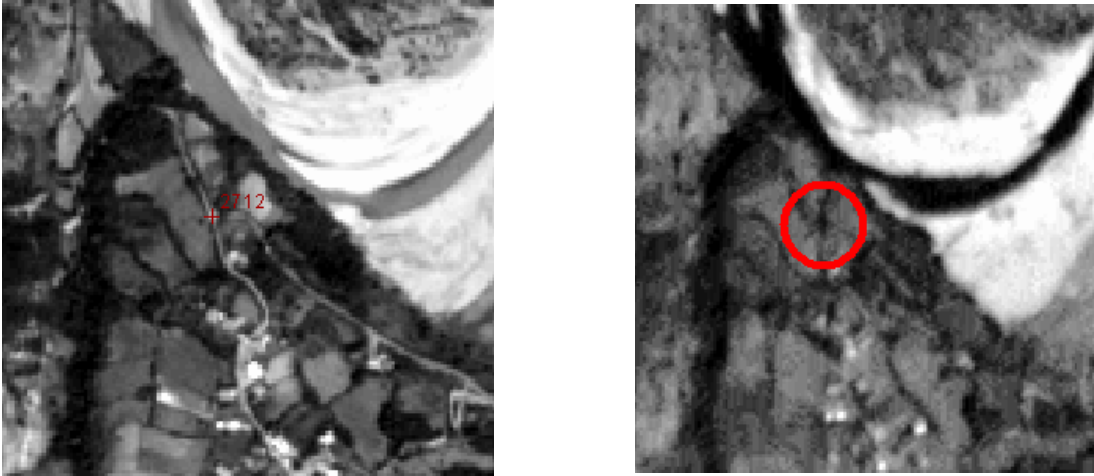


Şekil 2: Orijinal (sol) ve kontrast genişletmesi (sağ) yapılmış görüntülerde bina köşesinin YKN olarak seçilmesi (Jacobsen, 2006)



Şekil 3: Simetrik bir nesnenin nokta yayılım fonksiyonu

Aynı GSD değerine sahip farklı uydulara ait görüntülerin radyometrik çözünürlüklerinin farklı olması durumunda, her iki görüntüde de aynı YKN'sını seçmek zorlaşmaktadır. Örneğin SPOT-5 ve IRS-1C pankromatik görüntüleri için YKN seçimine dair yürütülen bir çalışmada, özellikle SPOT-5'de seçilen bazı noktalar, IRS-1C'de seçilememiştir. Bunun nedeni, SPOT-5'in 8 bit, IRS-1C'nin ise 6 bit örnekleme aralığına, dolayısıyla IRS-1C'nin düşük kontrasta sahip olmasıdır. Şekil 4'de SPOT-5 ve IRS-1C uydularınca aynı mevsimde görüntülenmiş bir bölge görülmektedir. SPOT-5'de yollar ve evler rahatlıkla görülebilmekteyken, IRS-1C'de ne yollar, ne evler, ne de SPOT-5'de seçilen YKN belirlenebilmektedir.



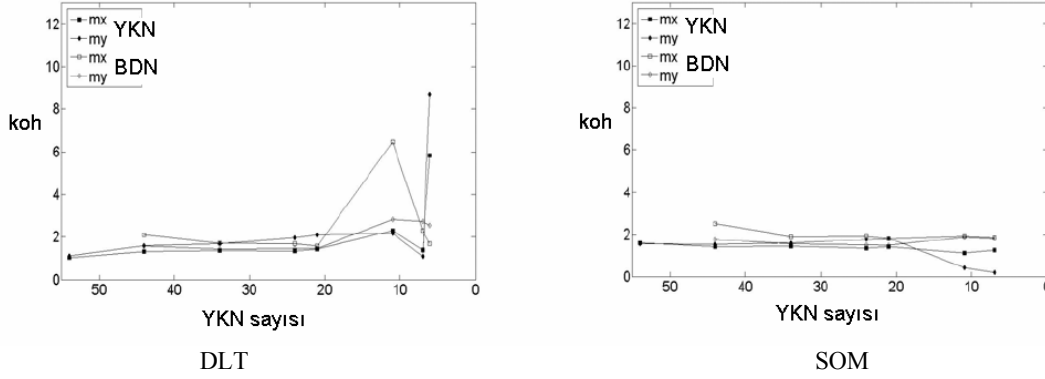
Şekil 4: Aynı bölgeye ait ve aynı GSD'ye sahip SPOT-5 ve IRS-1C pankromatik görüntülerinde YKN seçimi

3. YKN'LARININ SAYISI VE DAĞILIMI

YKN'larının sayısı ve dağılımı çeşitli etkenlere bağlıdır. Bunlar rektifikasyonda kullanılacak olan matematiksel model, nokta seçim yöntemi (arazi çalışması, haritadan okuma vb.), algılayıcı türü ve görüntünün çözünürlüğü, çalışma bölgesinin yapısı (düz, dağlık vb.) ve arzulanan konum doğruluğu ve hassasiyettir. Polinom dönüşümü veya DLT (Direct Linear Transformation) gibi parametrik olmayan matematiksel modeller, görüntüleme geometrisini yansıtmadıklarından dolayı, kuramsal olarak gerekenden daha fazla YKN'sına gerek duyar. Bu modeller nokta dağılımına da bağlıdır (Toutin, 2003a). Ancak görüntüleme geometrisi ve yörünge elemanları gibi bilgileri kullanan parametrik modeller, parametrik olmayan modellere oranla daha az YKN'sına gerek duyar ve nokta dağılımından da daha az etkilenir (Toutin, 2003b).

Şekil 5'de IRS-1C pankromatik görüntüsünün geometrik doğruluğu GPS gözlemleriyle derlenen YKN ve BDN'leriyle (Bağımsız Denetim Noktaları: Hem görüntü hem de yer koordinatları bilinen noktalardır. YKN'ları yardımıyla görüntü

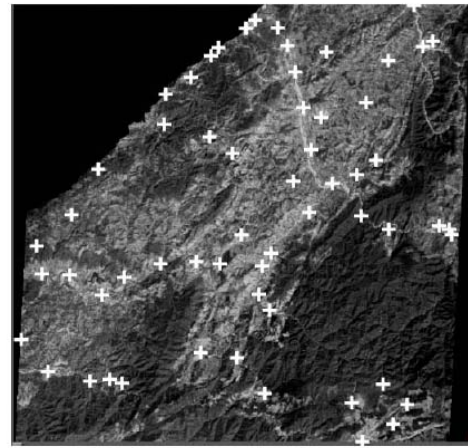
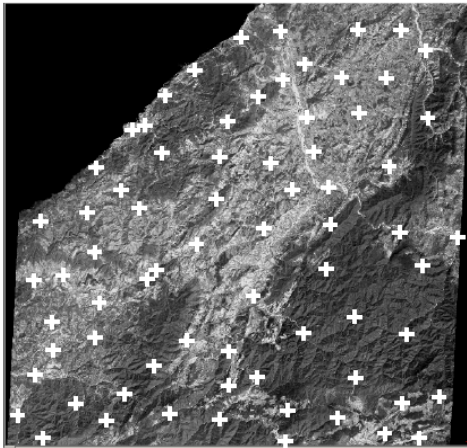
ve yer koordinat sistemleri arasındaki dönüşüm parametreleri veya katsayıları hesaplanır ve bu katsayılar yardımıyla BDN'lerindeki hatalar bulunur. Böylece YKN'ları yardımıyla üretilen katsayı veya parametrelerin görüntüdeki diğer noktalar için ne kadar geçerli olduğu ortaya konur) incelenmiştir. Soldaki grafik YKN sayısının azaltılması ile DLT'nin hem YKN hem de BDN'lerinde verdiği doğrulukları göstermektedir. Bu yöntem uygulandığında YKN'larının sayısı azaldıkça sonuç doğruluk da 8 piksel düzeyine ulaşmaktadır. Sağdaki grafikte ise Toutin tarafından geliştirilen SOM (Satellite Orbital Model) yönteminin YKN sayısına bağlı olmadığı görülmektedir, zira YKN sayısı altıya kadar azaldığı halde koh 2 pikselin altındadır. Dolayısıyla DLT gibi parametrik olmayan modellerle elde edilen doğruluk SOM gibi parametrik modellere oranla YKN sayısına daha bağımlıdır (Topan, 2004).



Şekil 5: IRS-1C pankromatik görüntüsünün farklı matematiksel modellerle doğruluk analizi (koh'lar piksel birimindedir)

İç-kestirim doğruluğunu arttırmak ve dış-kestirimi azaltmak için YKN'larının tüm görüntüye yatayda ve düşeyde homojen dağılması arzulanır. Özellikle parametrik olmayan modeller açısından homojen dağılım önemlidir. Toutin (2003b)'in aksine parametrik bir model olan SOM da YKN dağılımına bağlı olduğu kanıtlanmıştır (Topan, 2004). Şekil 6'da hem afin (birinci derece polinom), hem de SOM için aynı YKN ve BDN'lerle yapılan bir analizin sonuçları sergilenmekte ve BDN'lerinde hatanın, YKN'larındakine oranla on kattan fazla olduğu görülmektedir. Benzer bir analiz, RPC'lerle (Rational Polynomial Coefficient) IKONOS Geo görüntüleri üzerinde yapılmış ve uygun olmayan nokta dağılımında BDN'lerindeki hatanın büyük olduğu görülmüştür (Büyüksalih vd., 2003). Dolayısıyla, eğer görüntünün rektifikasyonu Şekil 6'da gösterilen YKN'ları ile gerçekleştirildiğinde, BDN'lerinin bulunduğu bölge için dış-kestirim yapılması gerekecek ve bu bölgedeki doğruluk düzeyi oldukça düşecektir. O nedenle YKN'larının mümkün olduğunca görüntüye homojen dağılması gerekmektedir.

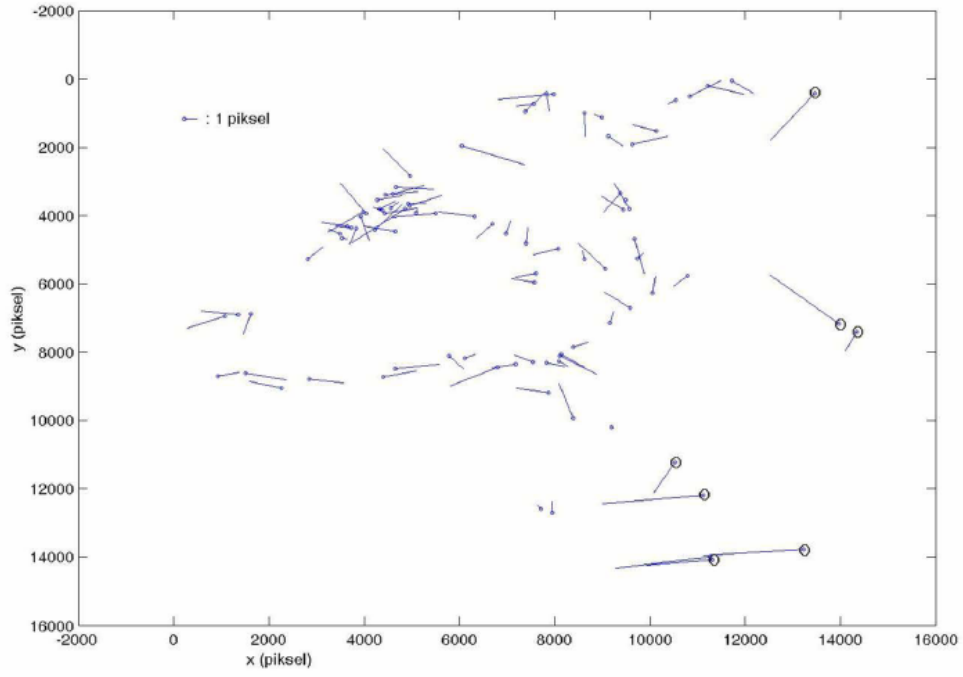
Nokta dağılımı, YKN'larının yer koordinatlarının nasıl elde edileceğine de bağlıdır. Örneğin 1:25000 ölçekli haritalar kullanıldığında dağılım olabildiğince homojen olduğu halde GPS gözlemlerine dayalı bir arazi çalışmasında, arazide ulaşılamayan yerler (ormanlık alanlar, tepeler vb.) olduğundan nokta dağılımı homojen olamamaktadır. Örneğin Şekil 7'de 1:25000 ölçekli haritalardan derlenen YKN'ları, ormanlık ve dağlık bölgelerde dahi seçilebilmişken, GPS gözlemlerinde özellikle ormanlık ve dağlık bölgelere ulaşılamamış, dolayısıyla sadece araçla ulaşılabilecek yerlerde elde edilmiştir. Ancak, 1:25000 ölçekli haritaların sağladığı konum doğruluğunun yeterli olmaması durumunda büyük ölçekli harita kullanımı veya GPS gözlemi gerektiği unutulmamalıdır.



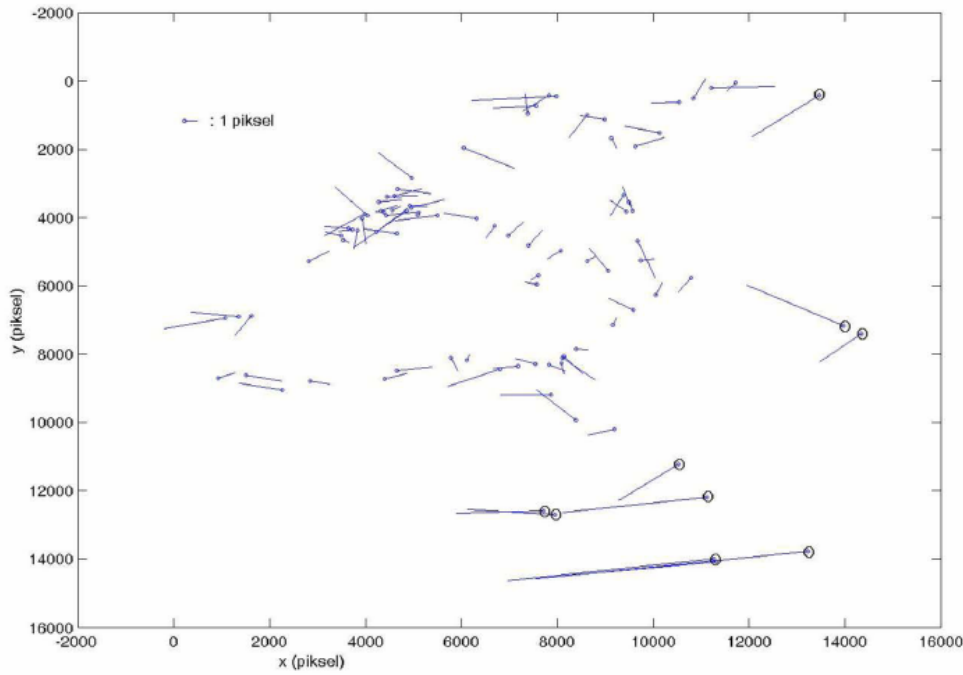
1:25000 ölçekli haritalardan derlenen YKN'ları

GPS gözlemleriyle derlenen YKN'ları

Şekil 7: Farklı kaynaklardan erlenen YKN'larının IRS-1C pankromatik görüntüsünde dağılımı



1. derece polinom ile uygun olmayan YKN-BDN dağılımında elde edilen hata vektörleri (o: YKN, O: BDN).



SOM ile uygun olmayan YKN-BDN dağılımında elde edilen hata vektörleri (o: YKN, O: BDN).

Şekil 6: Uygun olmayan YKN dağılımında hata vektörleri

4. YKN DOĞRULUĞUNUN SONUÇLARA ETKİSİ

YKN'larının konumsal doğruluğu, görüntünün GSD değerinin üçte biri düzeyinde olması gerekmektedir (EC, 2006). Bu durumda, örneğin 5 m GSD değerine sahip IRS-1C veya SPOT-5 pankromatik görüntüleri için 1:25000 ölçekli haritalardan derlenen YKN'ları kullanılmamalıdır. Zira bu haritalardan elde edilecek yatay konum doğruluğu ± 5 m düzeyindedir. Bu durumda daha büyük ölçekli harita kullanımı veya GPS gözlemi gerekmektedir. Ancak, her bölgeye ait büyük ölçekli haritaların bulunmaması veya GPS gözlemlerinin maliyeti gibi etkenlerden dolayı 1:25000 ölçekli haritalar kullanılması gerektiğinde, örneğin IRS-1C pankromatik görüntüsü için $\pm 2.5-3$ piksel doğruluk sağlanırken, GPS gözlemleriyle elde edilmiş YKN'ları ile sonuç doğruluk ± 1.5 piksel düzeyindedir. Burada GPS gözlemlerinin yatay konum doğruluğu ± 6 cm ile ± 50 cm arasında değişmektedir (Topan, 2004). Dolayısıyla YKN'larının doğruluğu,

ortogörüntünün doğruluğunu etkilemektedir. 1:25000 ölçekli haritalar gibi kartografik ürünlerle çalışmanın diğer bir zorluğu da genelleştirme ile elde edilen bu haritalar üzerinde seçilecek bir noktanın, genelleştirmeden kaynaklanan öteleme, abartma vb. etkenlerle konumunun doğru elde edilememesidir. Ancak belirtilmelidir ki yukarıda değinilen çalışmada YKN seçiminde yol kesişimleri, köprü ortaları vb. kullanıldığından böyle bir sorunla karşılaşmamıştır.

5. UYUŞUMSUZ ÖLÇÜ TESTİ

Ortogörüntü doğruluğunu olumsuz etkileyecek olan YKN'lerinin belirlenmesinde uyumsuz ölçü testinden yararlanılabilir. Örneğin, uzun ve geniş bir köprü'nün ortasında alınmak zorunda kalınan bir YKN'sının gerek arazide gerekse görüntü üzerinde yerinin tespitinde zorlanılmıştır. Bu noktanın, hem normal dağılım hem de t-student testi ile uyumsuz olduğu tespit edilmiştir. Ancak uyumsuz ölçü testi ile yapılan bazı analizlerde, görüntünün kenarlarında bulunan ve komşu noktası olmayan noktalar uyumsuz olarak ortaya çıkmaktadır. Bunun nedeni, bu noktaların hatalı olmasından ziyade, görüntünün kenarlarında olması ve komşu nokta bulunmamasıdır.

6. YKN SEÇİMİNDE ARAZİ ÇALIŞMALARI

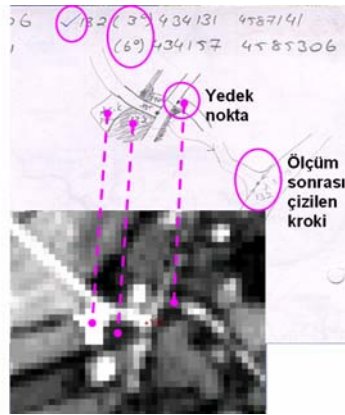
YKN seçimi için bir arazi çalışması yapılacaksa, görüntü alım tarihi ile arazi çalışması arasındaki zaman farkının olabildiğince az olması gerekmektedir. Çünkü görüntü üzerinde belirlenebilecek noktalar, zamanla şekilsel olarak değişime uğramaktadır. Bu nedenle noktaların konumunun değişmez, şeklinin ise simetrik olması gerekmektedir. Örneğin bir yol kesişiminde kavşağın köşesi yerine ortasının alınması daha uygundur. Bunun nedeni radyometrik çözünürlük konusunda açıklanmıştır. Ayrıca görüntüde büyük nesnelere yerine olabildiğince uygun ve çevresiyle kontrastı yüksek nesnelere seçilmelidir.

Arazi çalışması öncesinde yapılacak hazırlık çalışmalarının yeterli düzeyde olması, özellikle zorlu hava ve arazi şartlarında yapılacak çalışmalarda büyük bir kolaylık sağlayacaktır. GPS gözlemleriyle YKN derleme amaçlı yapılan çalışmalarda kazanılan deneyim doğrultusunda aşağıdaki öneriler yapılabilir:

- **Arazi öncesi çalışmalar:** Arazide olabildiğince dizüstü/avuçiçi bilgisayar kullanımı azaltılmalıdır. Aralık ayında fırtınalı hava şartlarında gerçekleştirilen bir arazi çalışmasında bilgisayardan noktalar tespit edilerek el GPS'i ile noktanın bulunduğu yere gidilmeye çalışılmıştır. Nokta seçimi arazi çalışması öncesinde yapılmadığından, gerek noktanın arazide seçimi, gerekse bilgisayarın kötü hava koşullarında kullanım zorluğu ve arızalar büyük bir zaman kaybına neden olmuştur. Bunun yerine, noktalar görüntüde arazi çalışması öncesinde tespit edilmiş, bu noktalar bölgeye ait haritalara işlenmiş, haritalardan ölçülen nokta konum bilgileri el GPS'ine yüklenmiş ve nokta arazide kolaylıkla bulunmuştur. Ancak noktanın arazide bulunamaması olasılığına karşı yedek noktalar ve konumları da krokilere işlenmiştir. Çalışmada krokilerden de yararlanılmış, hem ölçüden önce hem de ölçüden sonra durum krokileri çizilmiştir. Ayrıca noktanın çeşitli yönlerden fotoğrafları da çekilmiştir (Şekil 8). Tüm bunlar, noktanın hem arazide hem de görüntüde bulunmasını kolaylaştırmıştır.



El GPS'si ile noktanın bulunması



Arazi çalışması öncesi ve sonrasında çizilen krokiler



Noktanın fotoğrafı

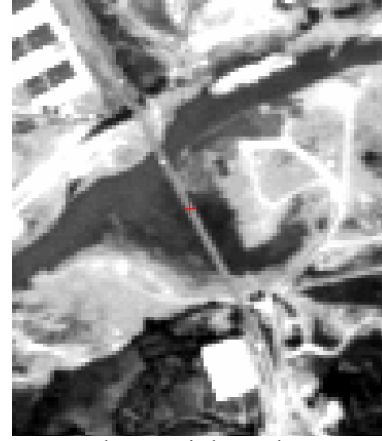
Şekil 8: Arazi çalışması

- **Yüksek gerilim hatları:** Arazide genellikle araçla ulaşılacak yerlerde nokta alınmıştır. Özellikle dik veya dike yakın yol kesişimleri ideal noktalardır. Ancak yüksek gerilim hatları ve şehiriçi elektrik hatları yollara paraleldir. Bu nedenle, özellikle yüksek gerilim hatlarının altında bulunan noktalarda GPS ile hassas konum elde edilememiş ve bu noktalar kullanılamamıştır.

- **Yol kesişimleri ve köprüler:** Dik olmayan yol kesişimleri, Şekil 9'da sol tarafta da gösterildiği gibi, kesişimin arakesitinin uzun olmasına ve bu arakesit üzerinde nokta alınmasının zorlaşmasına neden olur. Bu nedenle olabildiğince dik yok kesişimleri tercih edilmelidir. Büyük ve geniş köprülerde ise, köprünün başlangıç ve bitişinin görüntüde belirlenememesi nedeniyle noktanın yeri doğru belirlenemez. Bunun yerine kısa ve dar köprüler tercih edilmelidir. Burada da sorun, noktanın köprünün tam ortasında seçilmesi durumunda trafiğin dikkate alınması zorunluluğudur. Bu durumda, seçilen noktanın yeri bir miktar köprü kenarına doğru kaydırılır ve görüntü üzerinde YKN işaretlenirken dikkate alınır.



Dik olmayan yol kesişiminde YKN



Büyük ve geniş köprüde YKN

Şekil 9: Uygun olmayan YKN seçimi

- **Zamansal değişim:** Zamana bağlı olarak yine köprülerde yaşanabilecek bir sorun şöyle açıklanabilir: Görüntüde köprünün ortası belirlenirken su ile toprağın spektral yansıtma farklılığından yararlanır. Ancak suyun dere yatağında kapladığı alan zamanla değişiyorsa, görüntüde köprünün ortasının belirlenmesi zorlaşmaktadır. Ayrıca görüntüde rahatlıkla seçilen bir nokta değişmiş, örneğin bir yol kesişimi zamanla genişlemiş veya inşaat sahası olmuş olabilir. Bu sorun, ancak yakınlarda yedek noktaların seçilmesi ile aşılabılır.

7. SONUÇ

Gelişen teknolojiye rağmen YKN'ları, gerek fotogrametride, gerekse uzaktan algılamada ortogörüntü üretimindeki önemini korumaktadır. YKN'larının seçiminde noktanın niteliği, sayısı, dağılımı ve doğruluğu önemlidir. Nokta seçiminde:

- Bina, yol, havuz vb. nesnelerin köşesinde seçilmemesine,
- Noktaların simetrik nesnelerin ortasında alınmasına,
- Noktanın yerde olmasına, yani bina gibi yerden yüksek bir nesnenin üzerinde alınmamasına,
- Nesnenin boyutu ile görüntünün GSD değeri arasındaki ilişkinin uygunluğuna,
- Noktanın zamanla konumunun değişmediğinden emin olunmasına,
- Noktanın konum doğruluğunun, görüntünün geometrik çözünürlüğünün üçte biri olmasına (EC, 2006) dikkat edilmelidir.

YKN'larının sayısı ve dağılımı çeşitli etkenlere bağlıdır. Bu etkenler, rektifikasyonda kullanılacak olan matematiksel model, nokta seçim yöntemi (arazi çalışması, haritadan okuma vb.), algılayıcı türü ve görüntünün çözünürlüğü, çalışma bölgesinin yapısı (düz, dağlık vb.), arzulanan konum doğruluğu ve hassasiyettir. Dolayısıyla YKN'ları seçilirken bu etkenler dikkate alınmalıdır. Eğer bir arazi çalışması planlanıyorsa, yapılacak ön hazırlık, kullanılabilir nitelikli YKN sayısını arttıracaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan görüntülerden bir kısmı TÜBİTAK'ın ve Julich'in (Almanya) katkılarıyla sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

Büyüksalih, G., Oruç, M. ve Koçak, M. G., 2003. *Geometric Accuracy Testing of Ikonos Geo-Product Mono Imagery Using Different Sensor Orientation Models*, Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences 27 (2003) , 347-360.

Demir, N., 2005, *Yersel Laser Tarama ve Fotogrametrinin Birlikte Kullanımı*, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

EC, 2006. *Guidelines for Best Practice and Quality Checking of Ortho Imagery*, European Commission, Directorate General Joint Research Centre, Institute for the Protection and Security of the Citizen Monitoring Agriculture with Remote Sensing Unit, Italy.

Lohmann, P., 2007. Kişisel görüşme.

Jacobsen, K., 2006, *High resolution space sensors – Geometry*, II. Uzaydan Harita Yapımı Kursu (Zonguldak Karaelmas Üniversitesi – Leibniz Hannover Üniversitesi), Zonguldak.

Topan, H., 2004. *Yörünge Düzeltmeli IRS-1C/1D Pankromatik Mono Görüntüsünün Geometrik Doğruluk ve Bilgi İçeriği Açısından İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.

Topan, H., Büyüksalih, G. ve Jacobsen, K., 2004, *Comparison of Information Contents of High Resolution Space Images*, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 35, Part B4, Istanbul, pp. 583-588.

Toutin, T., 2003a. *Geometric Correction of Remotely Sensed Images*, Remote Sensing of Forest Environments: Concepts and Case Studies, M. A. Wulder and S. E. Franklin Editors, Kluwer Academic Publishers, 2003, Chapter 6, pp. 143-180.

Toutin, T., 2003b. *Error Tracking in IKONOS Geometric Processing Using a 3D Parametric Model*, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2002, 68(11): 43-51.

Yastıklı, N., 2005. *Algılama Sistemlerinin Doğrudan Yöneltilmesi*, HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 2004/90.