

YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN KOORDİNATLANDIRILMASINDA RFM KULLANIMI

Hüseyin TOPAN

Yrd. Doç. Dr., Bülent Ecevit Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, 67100, Zonguldak, topan@beun.edu.tr

ÖZET

Uydu görüntülerinin kullanıldığı pek çok uygulamada koordinatlandırma işlemi gerekli ve önemli bir adımdır. Koordinatlandırma, temelde görüntü ve nesne koordinat sistemleri arasında bir dönüşümün sağlanması işlemidir ve bu işlem için parametrik, yarı parametrik ve parametrik olmayan matematik modeller kullanılır. Bu bildiride, OGC (Open Geospatial Consortium) tarafından önerilen, yüksek çözünürlüklü optik uydu görüntülerinin koordinatlandırılmasında yaygın olarak kullanılan ve yarı parametrik bir model olan algılayıcı bağımlı RFM (Rational Function Model – Orantısız İşlev Modeli) dönüşüm modeli konu edilmiştir. Öncelikle RFM'nin genel bağıntısı, katsayılarının nasıl elde edildiği, bu katsayıların ne tür hatalar içerdiği ve bunların nasıl giderildiği, katsayıların özelliklerine göre RFM modelinin nasıl basitleştirilebileceği ve farklı dengeleme modelleri üretilebileceği hakkında kuramsal bilgi verilecektir. Sonra, ebgebeli ve dağlık bir topoğrafyaya sahip Zonguldak test alanını kapsayan mono bir IKONOS pankromatik görüntüsü üzerinde hem yatayda hem de düşeyde uygun dağılmış 22 yer kontrol noktası ile yazar tarafından Matlab ortamında derlenen GeoFigcon hesaplama paketinde elde edilen konum doğrulukları gösterilecektir. Elde edilen sonuçlara örnek olarak, öteleme düzeltilmesi için benzerlik dönüşümü kullanıldığında birinci derece RFM için $m_x = \pm 0.4$ piksel, $m_y = \pm 0.5$ piksel konum doğruluğuna ulaşılmıştır.

Anahtar Sözcükler: RFM, IKONOS, Zonguldak, koordinatlandırma, konum doğruluğu, optik uydu görüntüsü

ABSTRACT

RFM USAGE FOR GEOREFERENCING OF HIGH RESOLUTION SATELLITE IMAGES

Georeferencing is a mandatory issue at many applications where the satellite images are used. Georeferencing is based on a transformation between image and object coordinate systems, and parametric, semi parametric and non-parametric mathematical models is preferred for this issue. A semi-parametric model, i.e. Sensor-based RFM (Rational Functional Model) suggested by the OGC (Open Geospatial Consortium), is subjected in this paper. Some theoretical background about the general equation, the estimation of coefficients, the distortions carried and their removing, the simplification of RFMs thanks to the special characteristics of coefficients and also the various adjustment models will be presented at first. Then, the georeferencing accuracies of a mono IKONOS panchromatic image covering Zonguldak test field having a undulating and mountainous topography will be presented using 22 GCPs via a computation package called GeoFigcon derived in Matlab environment by the author. If a bias compensation is applied, the accuracies are $m_x = \pm 0.4$ pixel, $m_y = \pm 0.5$ pixel when 1st degree RFM is preferred.

Keywords: RFM, IKONOS, Zonguldak, georeferencing, georeferencing accuracy, optical satellite image

1. GİRİŞ

Günümüzde görüntü temelli pekçok çalışmada, kullanılan görüntünün koordinatlandırılması kaçınılmaz bir işlem adımdır. Koordinatlandırma işleminde ana amaç, görüntü ile nesne koordinat sistemleri arasında bir dönüşüm ilişkisi kurmaktır. Bu dönüşüm, genel olarak parametrik ve parametrik olmayan matematik modeller şeklinde iki sınıfa ayrılır. Parametrik modeller, yöneltme elemanları adı verilen ve dönüşüm için gerekli olan elemanların ölçülerek dönüşümde kullanıldığı modellerdir. Bu elemanlar, iç ve dış yöneltme elemanlarıdır. Algılayıcı ve taşıyıcı sistemlere göre farklılık gösteren bu iç yöneltme elemanları genelde asal noktanın konumu, varsa çerçeve işaretleri, asal uzaklık, distorsiyon değerleri, kamera konum bilgileri gibi bilgiler yardımıyla görüntüleme geometrisini temsil ederler. Dış yöneltme elemanları ise uydunun durum ve konum bilgileri, hızı ve Kepler elemanları gibi bilgilerdir. Bu bilgilerin tümünün varlığı durumunda bir parametrik model ile, görüntü ve nesne koordinat sistemleri arasındaki geometrik ilişki, yardımcı koordinat sistemleri de kullanılarak tam olarak ifade edilebilir. Bu parametreler, YKN (Yer Kontrol Noktası) kullanılarak dengeleme işlemi ile düzeltilbilir ve olabildiğince yüksek konum doğruluğuna ulaşılabilir (Topan, 2009). Parametrik olmayan bir model ise görüntüleme geometrisini ve dolayısıyla görüntü ve nesne koordinat sistemleri arasındaki gerçek geometrik ilişkiyi dikkate almaz ve böyle bir modelde sadece YKN'ları kullanılarak dönüşüm katsayıları belirlenebilir. Bu nedenle, parametrik bir model parametrelere ve YKN'larına bağlı iken, parametrik olmayan bir model ise sadece YKN'larının sayısına, doğruluğuna ve dağılımına bağlıdır. Bu nedenle parametrik olmayan modellerle elde edilen doğruluk, parametrik modele kıyasla daha düşüktür (Topan, 2004).

Elde edilen yüksek doğruluğa rağmen parametrik bir modelle çalışmak oldukça zordur. Bunun için, görüntü ile nesne koordinat sistemi arasındaki gerçek geometrik ilişkiyi bilmek ve bazen de bu iki ana koordinat sistemi arasında kalan yardımcı pekçok koordinat sistemi arasında dönüşüm yapmak gerekebilir (Riazanoff, 2004). Parametrik olmayan bir modelde ise görüntü ve nesne koordinat sistemleri arasındaki gerçek geometrik ilişki dikkate alınmamakta ve dolayısıyla genelde daha kaba doğruluğa ulaşılmaktadır.

Durum böyle olunca, üçüncü bir model sınıfına yani yarı-parametrik modellere ihtiyaç duyulmuştur. Literatürde “yarı-parametrik model” tanımına rastlanmasa da yazar tarafından bu şekilde bir adlandırma uygun görülmüştür. Çünkü, bu bildirinin de konusu olan RFM’ye (Rational Function Model – Orantısız İşlev Modeli) ait katsayılar (RPC: Rational Polynomial Coefficient – Orantısız Polinom Katsayıları), eğer algılayıcı bağımlı olarak belirlenmekte ise parametrik bir model kullanılarak elde edilirler. Ancak ne gerçek bir parametrik modeldir, ne de tam olarak parametrik olmayan bir modeldir.

RFM, özellikle Amerika Birleşik Devletlerinde kullanılan ve OGC (Open Geospatial Consortium) tarafından genel bir dönüşüm modeli olarak kullanılması önerilen bir modeldir (OGC, 1999; Dowman ve Dolloff, 2000). 1999 yılından beri kullanımda olan IKONOS uydusuna ait görüntülerle geniş bir kullanım alanı bulan RFM’lerle elde edilen konum doğruluğu ile parametrik bir modelle elde edilen konum doğruluğu arasında 0.05 piksel fark olduğu ortaya konmuştur (Grodecki ve Dial, 2001). RPC’ler, sadece YKN’ları kullanılarak da elde edilebilir. Ancak böyle bir durumda elde edilen doğruluğun, bir önceki RPC türüne göre daha düşük olacağı ortaya konmuştur (Hu ve Tao, 2002; Jacobsen, 2006).

İzleyen bölümlerde, RFM’nin genel bağıntısı, katsayılarının nasıl elde edildiği, bu katsayıların ne tür hatalar içerdiği ve bunların nasıl giderildiği, katsayıların özelliklerine göre RFM modelinin nasıl basitleştirilebileceği ve farklı dengeleme modelleri üretilebileceği hakkında kuramsal bilgi verilecek ve IKONOS mono pankromatik uydu görüntüsü üzerinde örnek bir uygulamanın sonuçları paylaşılacaktır.

2. RFM VE ÖZELLİKLERİ

RFM için genel bağıntı aşağıdaki gibidir.

$$r_n = \frac{\sum_{i=0}^{m_1} \sum_{j=0}^{m_2} \sum_{k=0}^{m_3} a_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k}{\sum_{i=0}^{m_1} \sum_{j=0}^{m_2} \sum_{k=0}^{m_3} b_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k}, c_n = \frac{\sum_{i=0}^{m_1} \sum_{j=0}^{m_2} \sum_{k=0}^{m_3} c_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k}{\sum_{i=0}^{m_1} \sum_{j=0}^{m_2} \sum_{k=0}^{m_3} d_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k} \quad (1)$$

$$r_n = \frac{r - r_0}{S_r}, c_n = \frac{c - c_0}{S_c} \quad (2)$$

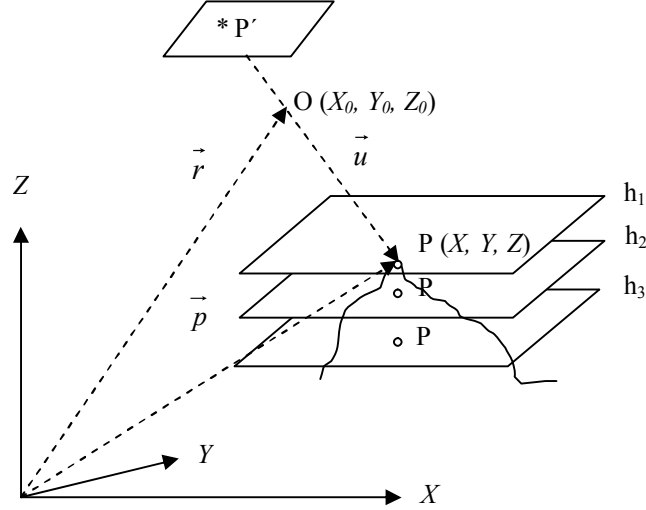
$$X_n = \frac{X - X_0}{S_X}, Y_n = \frac{Y - Y_0}{S_Y}, Z_n = \frac{Z - Z_0}{S_Z} \quad (3)$$

Burada r ve c sırasıyla görüntü koordinat sisteminin satır ve sütun koordinatlarını, X , Y ve Z nesne koordinatlarını, n normalleştirme yapıldığını, 0 ötelemeyi, S ölçeği, a, b, c ve d katsayıları (RPC) ifade etmektedir. Burada RFM’nin derecesi $i + j + k \leq 3$ kuralına uymak zorundadır. Algılayıcı bağımlı bir RFM sözü konusu olduğunda:

1. Normalleştirme işlemi ile görüntü ve nesne koordinatları -1 ve +1 aralığında ifade edilir ki bu sayısal çözümleme açısından yararlı bir işlemdir.
2. Normalleştirmede kullanılan öteleme ve ölçek parametreleri, görüntü ile birlikte verilen metadata dosyasında mevcuttur.
3. Nesne koordinatları WGS-84 (World Geodetic System-1984) datumunda ve coğrafi koordinatlar şeklinde olmalıdır. Zira RPC’ler, bu koordinat sisteminde ve türünde GNSS ile elde edilen parametreler yardımıyla hesaplanmaktadır.
4. IKONOS görüntüleri için $b = d$ ve hem IKONOS hem de QuickBird görüntüleri için $b_1 = d_1 = 1$ ’dir. Böylece normalde toplam 80 olan katsayı adedi IKONOS için 59, QuickBird için ise 78’e düşer. Bu, dengeli çözüm için gereken YKN sayısını belirleyen önemli bir etkidir.

Algılayıcı bağımlı bir RFM’de RPC’ler Şekil 1’de gösterildiği gibi elde edilirler. Burada, görüntüde * ile gösterilen bir P’ noktasının görüntüdeki karşılığının (P) konumu (X, Y, Z), parametrik bir model ve $\vec{p} = \vec{r} + \vec{u}$ kuralı yardımıyla farklı yükseklik seviyeleri (örneğin h_1 , h_2 ve h_3) için belirlenir. Farklı yükseklik seviyeleri için

belirlenmesinin sebebi, bindirmeli (stereo) görüntü veya bölgeye ait yükseklik bilgisi yoksa, P noktasının hangi yükseklik seviyesinde olduğunun bilinmemesidir. Böylece, P'nin tüm yüksekliklere göre konumu belirlenir ve bunlar yukarıda verilen eşitliklerde yerine konularak RPC'ler elde edilir. Her yükseklik seviyesi için farklı RPC elde edileceğinden bunların ortalaması alınarak, görüntünün her yükseklik bölgesi için en uygun RPC seti oluşturulmuş olur.



Şekil 1. Algılayıcı bağımlı RFM'de RPC üretimi.

RPC'ler, öteleme ve sürüklenme hatası denilen iki tür hata içermektedir. Bunlardan sürüklenme hatası, görüntünün 50 km'den daha geniş bir alanı kapsamaması durumunda etkilidir (Fraser vd., 2006). IKONOS gibi pekçok görüntünün 10 km'den daha dar boyuta sahip olması nedeniyle bu bildiride sürüklenme hatasından bahsedilmeyecektir.

2.1. Öteleme Hatası

RPC'ler hesaplanırken genellikle görüntülen bölgeye ait YKN'ları elde mevcut değildir. Bu durumda, genellikle dış yöneltme elemanlarına (yani algılayıcının veya taşıyıcı sistemin konumu ve dönüklüğü vb.) ait değerler dengeli olarak belirlenemez. Bu şekilde hesaplanan RPC'ler, öteleme hatası denilen bir hatayı taşırlar. Bu hatanın düzeltilmesi için bazı matematik modeller önerilmiştir. Bu bildiride Teo (2011) tarafından önerilen aşağıdaki modeller kullanılmıştır.

$$r_n^b = A_{01} + A_{02}r_n + A_{03}c_n \quad (4)$$

$$c_n^b = A_{11} + A_{03}r_n + A_{02}c_n$$

$$r_n^b = A_{01} + A_{02}r_n + A_{03}c_n \quad (5)$$

$$c_n^b = A_{11} + A_{12}r_n + A_{13}c_n$$

Bu eşitliklerde r_n^b ve c_n^b öteleme düzeltmesi getirilmiş ve normalize edilmiş görüntü koordinatlarını, A ise dönüşüm katsayısını belirtmektedir. Görüleceği üzere (4) eşitliği benzerlik (Helmert), (5) eşitliği ise afin (1. Derece polinom) dönüşümdür.

2.2. Dengeleme

Dengeleme hesabında amaç, hem ölçülere (yani görüntü koordinatlarına, l) ait düzeltmeleri (v), hem de dengeleme parametrelerine (yani RPC, P) ait düzeltmeleri (dP) belirlemektir. Eğer EKK (En Küçük Kareler) dengeleme yöntemi kullanılırsa, $v^T v = \min$ şartının sağlanması gerekir. Bu durumda, aşağıdaki bağıntılara ulaşılır:

$$\bar{l}_n^b = l_n^b + v_n^b = l_n^b \Big|_0 + \underline{A} \cdot dP \quad (6)$$

$$dP = (\underline{A}^T \cdot \underline{A})^{-1} \cdot \underline{A}^T \cdot (l_n^b - l_n^b \Big|_0) \quad (7)$$

$$\bar{P} = P|_0 + dP \quad (8)$$

$$\underline{v}_n^b = L_n^b|_0 - l_n^b + A \cdot dP \quad (9)$$

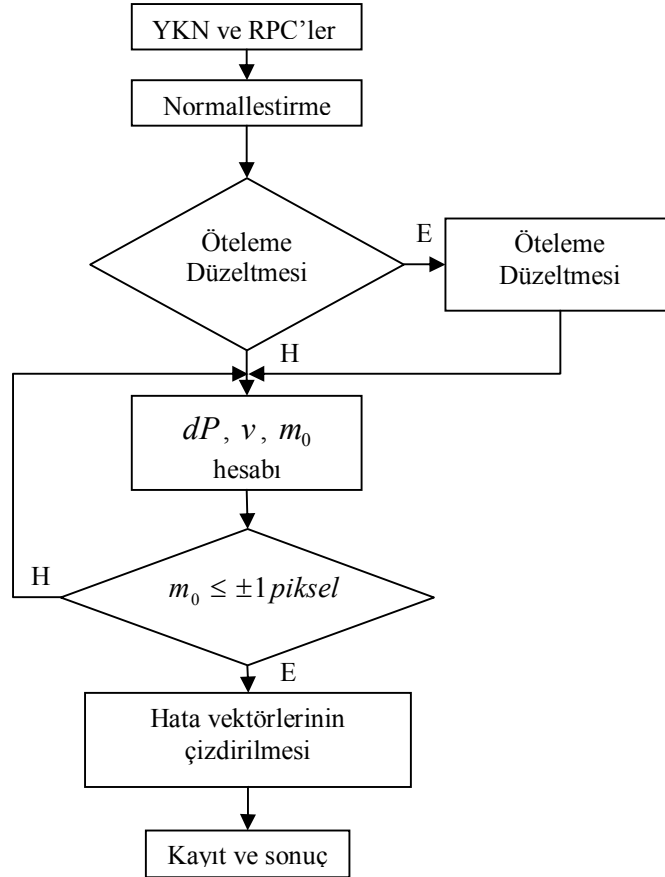
Burada 0 yaklaşık değer anlamındadır. A , normal denklemlerin katsayılar matrisidir. Birim ağırlıklı ölçünün karesel ortalama hatası ise

$$m_0 = \sqrt{\frac{\underline{v}^T \underline{v}}{n-u}} \quad (10)$$

Burada n toplam ölçü sayısı, u ise bilinmeyen sayısıdır. Bu bildiride $n = 2 \cdot 22 = 44$, birinci derece RFM için $u = 15$, ikinci derece RFM için ise $u = 29$ 'dur.

2.3. GeoFigcon

Uygulama kapsamında, görüntülerin konuma bağlı analizi amacıyla yazar tarafından Matlab ortamında geliştirilen GeoEtrim hesaplama paketinin bir alt-paketi olan GeoFigcon, bu bildirideki hesaplamalar amacıyla yeniden düzenlenerek geliştirilmiştir. GeoFigcon, RFM ile hesaplama yaparken Şekil 2'deki gibi bir akış şeması ile çalışır. Burada, $m_0 \leq \pm 1 \text{ piksel}$ koşulu sağlanmıyorsa, düzeltilmiş RPC'ler ve görüntü koordinatları yeniden dengeleme işlemine sokularak şart sağlanana veya hep aynı (ya da çok yakın) sonuçlar bulunana kadar işlem tekrar edilir.



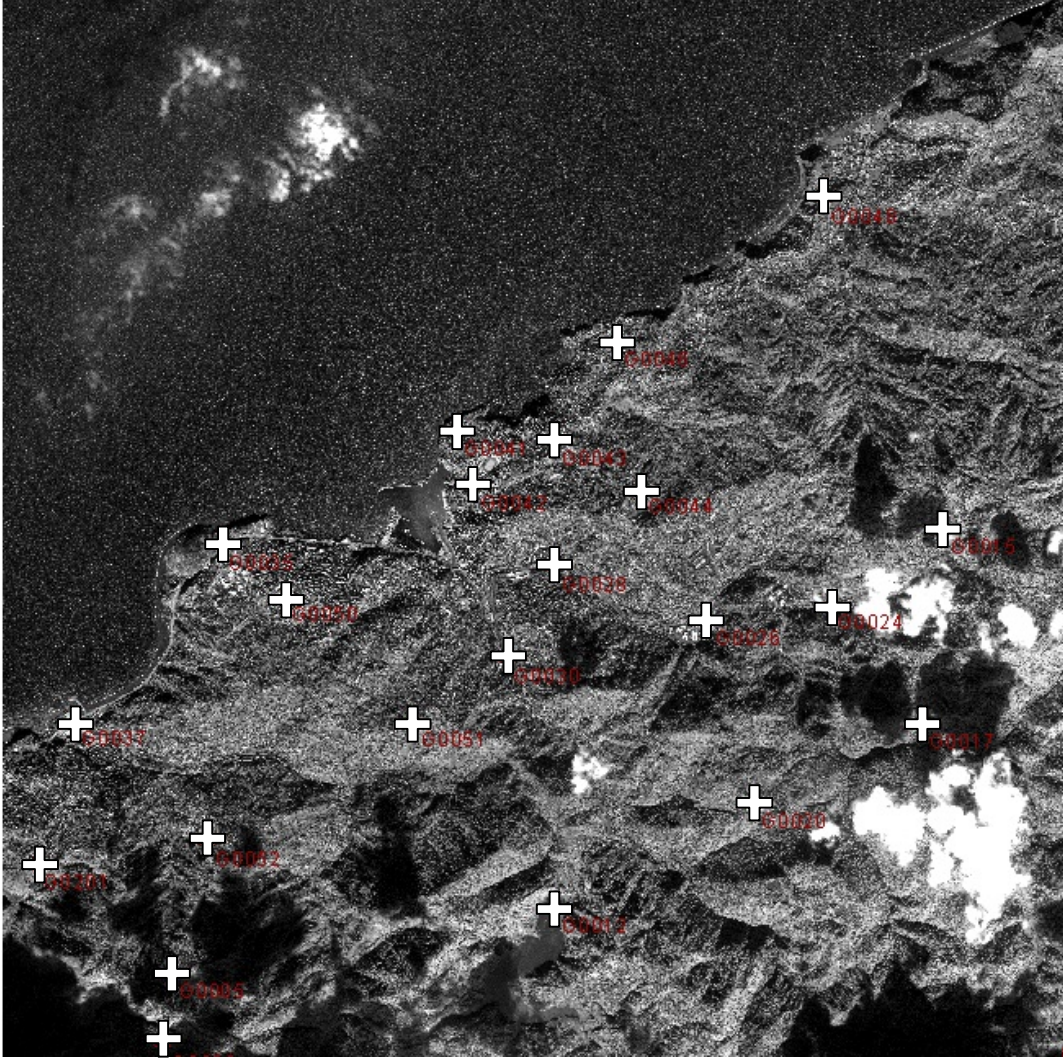
Şekil 2. Akış şeması.

3. UYGULAMA

3.1. Kullanılan Görüntü ve Test Alanı

Uygulama, Zonguldak il merkezini kapsayan 09.10.2002 tarihli IKONOS pankromatik mono görüntüsü ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Görüntü 11004 piksel \times 11004 piksel boyutunda ve yer örnekleme aralığı 1 m'dir. Zonguldak test alanı olarak adlandırılan, Batı Karadeniz Bölgesinde Zonguldak ilinin tamamını ve Bartın, Bolu,

Düzce ve Karabük illerini de kısmen kapsayan bu test alanı, özellikle dağlık ve engebeli yapısı, denize kıyısı olması, iç bölgelerde yoğun orman, tarım arazileri ve akarsuları barındırması ile önemli bir test alanıdır. Bu alanda çoğu uzaktan algılama algılayıcısına ait farklı görüntüler başta konuma bağlı uygulamalar olmak üzere pek çok araştırmaya konu olmuştur (FUKAL, 2012). GNSS aracılığıyla toplam 22 YKN toplanmıştır ve burada Topan vd. (2007) tarafından ortaya konulan YKN'lerinin arazide seçilmesinde dikkat edilmesi gereken kurallara titizlikle uyulmuştur. YKN'lerinin doğruluğu hem yatayda hem de düşeyde ± 3 cm'dir.



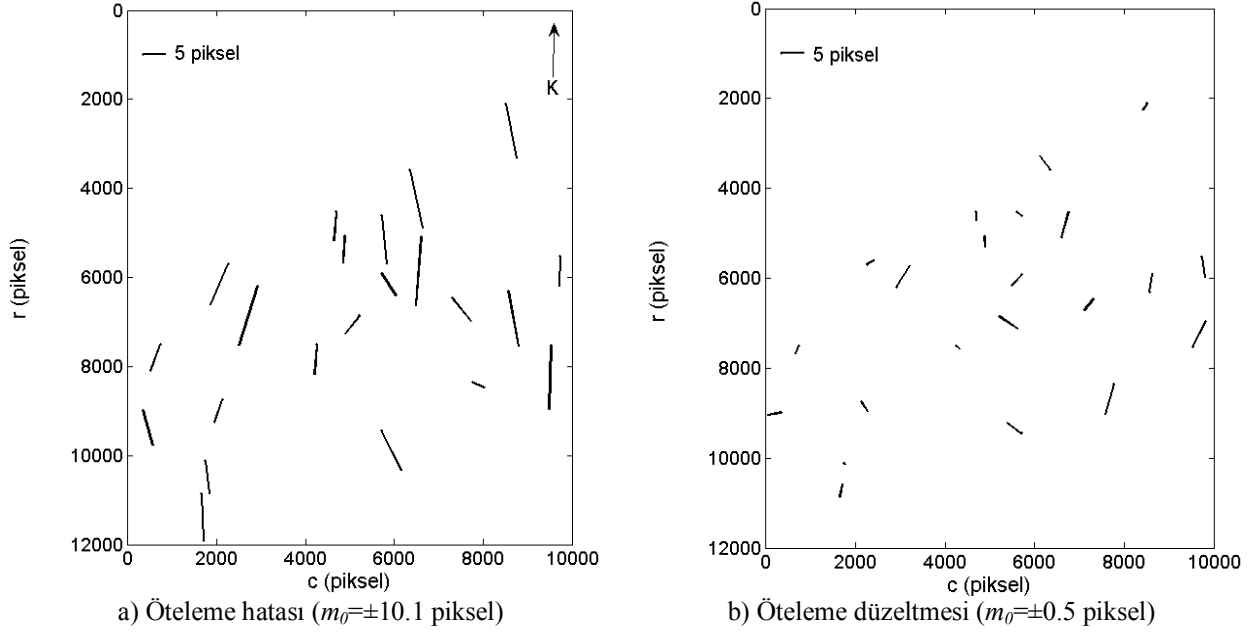
Şekil 3. Kullanılan IKONOS görüntüsü ve YKN dağılımı.

3.2. Elde Edilen Sonuçlar

Uygulama ile Çizelge 1'deki ve Şekil 3'deki sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde, öteleme düzeltmesi uygulanmadığında, ± 10.1 piksellik bir standart sapmanın varlığı ortaya çıkmaktadır. Öteleme hatası, Şekil 3.a'da görülebilmektedir. Burada hata sistematiktir ve yönü kuzeyden güneye doğrudur. Bu durumda YKN'lerinde elde edilen doğruluk ise $m_0 = \pm 3.1$ pikseldir. Bu hata, benzerlik ya da afin dönüşümle düzelttiğinde ise standart sapma ± 0.5 piksel olarak bulunmuştur. KOH ise ± 0.6 pikseldir.

Çizelge 1. 1. Derece RFM İçin YKN'lerinde Elde Edilen Doğruluk Sonuçları (\pm piksel)

Öteleme Düzeltmesi	Yok	Benzerlik	Afin
Standart Sapma	10.1	0.5	
Karesel Ortalama Hata	m_r	2.7	0.5
	m_c	1.6	0.4
	m_o	3.1	0.6



Şekil 4. Kullanılan IKONOS görüntüsü ve YKN dağılımı.

Öteleme düzeltmesi getirildikten sonra hata vektörleri çizdirildiğinde Şekil 3.b'deki gibi sistematik olmayan bir yapı ortaya çıkmaktadır. 1. derece RFM için YKN'larında elde edilen hata vektörleri de hemen hemen aynı yönde ve büyüklükte olduğundan burada gösterilmesine gerek duyulmamıştır.

4. SONUÇLAR

Bu bildiriye, yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin koordinatlandırılmasında sıklıkla kullanılan RFM hakkında genel bilgiler verilerek, Zonguldak test alanına ait 1 m yer örnekleme aralığına sahip pankromatik bir mono IKONOS görüntüsü kullanılarak örnek bir uygulamanın sonuçları verilmiştir.

Elde edilen sonuçlardan da görülebileceği gibi öteleme hatası sistematik ve önemli bir etkidir, giderilmesi gerekir. Bunun için benzerlik veya afin dönüşüm gibi basit bir matematik model yeterlidir. Bu etki giderildikten sonra 1. derece RFM ile düzeltme işlemi yapılsın veya yapılsın, ± 1 pikselden daha yüksek doğruluğa ulaşılabacaktır.

Bu bildiriye bağımsız denetim noktalarında (BDN) doğruluk incelemesi bilerek yapılmamıştır. Zira BDN ile yapılan doğruluk incelemelerinin eksiklikleri Sertel vd. (2007) ve Topan ve Kutoğlu (2009) tarafından ortaya konulmuştur. Haliyle, burada şekil kuvveti yöntemi ile bir inceleme yapılması gerekmektedir ki bu konu henüz araştırma/geliştirme aşamasındadır. Bu konudaki sonuçlar ilerleyen süreçte ivedilikle kamuoyu ile paylaşılacaktır.

RFM, uzaktan algılama görüntülerini işleyen pekçok ticari paket yazılım tarafından kullanılmaktadır. Ancak kullanıcılar, bu bildiriye ve pekçok kaynakta verilen bağıntılar yardımıyla, yazarın GeoEtrim'in bir parçası olan GeoFigcon'da yaptığı gibi kendi yazılımlarını (veya hesaplama paketlerini) kendileri geliştirebilir ve elde ettikleri sonuçlara daha çok güvenebilirler.

TEŞEKKÜR

Yazar, görüntünün temini konusundaki desteğinden dolayı TÜBİTAK'a, arazi çalışmaları konusundaki desteğinden dolayı Uzm. Murat ORUÇ ve Yrd. Doç. Dr. Umut Güneş SEFERCİK'e, ayrıca Matlab konusundaki yardımlarından dolayı Yrd. Doç. Dr. M. Güven KOÇAK'a teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Dowman, I., Dolloff, J. T., 2000, An Evaluation of Rational Functions for Photogrammetric Restitution, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXIII, Part B3.

Jacobsen, K., 2006, Pros and Cons of the Orientation of Very High Resolution Optical Space Images, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVI, Part 1, Com. I.

- Grodecki, J., Dial, G.**, 2001, IKONOS Geometric Accuracy, *Proceedings of Joint Workshop of ISPRS Working Groups I/2, I/5 and IV/7 on High Resolution Mapping from Space 2001*, University of Hanover.
- Fraser, C. S., Dial, G., Grodecki, J.**, 2006, Sensor Orientation via RPCs, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 60(3), 182-194.
- FUKAL**, 2012, Fotogrametri-Uzaktan Algılama ve Konumsal Analiz Laboratuvarı, Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, <http://jeodezi.karaelmas.edu.tr/fukal> (01.09.2012).
- Hu, Y., Tao, V.**, 2002, Updating Solutions of the Rational Function Model Using Additional Control Information, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68(7), 715-723.
- OGC (Open Geospatial Consortium)**, 1999. The OpenGIS Abstract Specification-topic 7: Earth Imagery. http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=892 (01.09.2012).
- Riazanoff, S.**, 2004, SPOT 123-4-5 Geometry Handbook, Reference GAEL-P135-DOC-001, Issue 1, Revision 4, Date 20.08.2004.
- Sertel, E., Kutoglu, Ş. H., Kaya, Ş.**, 2007, Geometric Correction Accuracy of Different Satellite Sensor Images: Application of Figure Condition, *International Journal of Remote Sensing*, 28(20), 4685–4692.
- Teo, T.**, 2011, Bias Compensation in a Rigorous Sensor Model and Rational Function Model, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 77(12), 1211–1220.
- Topan, H.**, 2004, Yörünge Düzeltmeli IRS-1C/1D Pankromatik Mono Görüntüsünün Geometrik Doğruluk ve Bilgi İçeriği Açısından İncelenmesi, *Yüksek lisans tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak.
- Topan, H., Oruç, M., Koçak, M. G.**, 2007, Ortogörüntü Üretiminde Yer Kontrol Noktası Seçimi ve Sonuçlara Etkisi, *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara.
- Topan, H.**, 2009, Geometric Analysis of High Resolution Space Images Using Parametric Approaches Considering Satellite Orbital Parameters, *Doktora tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Topan, H., Kutoğlu, Ş. H.**, 2009, Georeferencing Accuracy Assessment of High-Resolution Satellite Images Using Figure Condition Method, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(4), 1256-1261.