DÖNÜŞÜM KATSAYILARININ VE SAYISAL YÜKSEKLİK MODELİNİN KONUM DOĞRULUĞUNUN ORTOGÖRÜNTÜLERİN KONUM DOĞRULUĞU ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN BELİRLENMESİ: IKONOS, QUICKBIRD, ORBVIEW-3 VE PLÉIADES-1A GÖRÜNTÜLERİ İLE ÖRNEK UYGULAMA

Hüseyin TOPAN

Yrd. Doç. Dr., Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, topan@beun.edu.tr

ÖZET

Uzaktan algılama ve fotogrametride ortogörüntü üretimi yaygın ve çoğu zaman da gerekli bir işlemdir. Ortogörüntünün konum doğruluğunu belirleyen iki önemli etken vardır. Bunlardan birisi dönüşüm parametrelerinin doğruluğu, diğeri ise sayısal yükseklik modelinin çözünürlüğü ve yükseklik doğruluğudur. Bu bildirinin amacı, yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri olan IKONOS, QuickBird, OrbView-3 ve Pléiades-1A'dan üretilen ortogörüntülerin konum doğruluğu üzerinde dönüşüm parametrelerinin (afin dönüşüm ve RFM gibi) ve sayısal yükseklik modelinin doğruluğunun etkisinin varyans-kovaryans yayılımı yöntemi ile belirlenmesidir. Bildiride sırasıyla, yöntemin ayrıntıları, kullanılan görüntülerin seviyelerine ve dönüşüm modeline göre gerçekleştirilmesi gereken öncül geometrik işlemler, test alanı ve sonuçlar sunulmaktadır. Elde edilen bulgular ışığında, yüksek konum doğruluğu için afin dönüşüm yerine algılayıcı bağımlı RFM kullanımının daha uygun olduğu, en yüksek doğruluğun piksel altı düzeyde yer kontrol noktalarının geometrik merkezinde elde edildiği ve yükseklik değişimine uygun olarak merkezden uzaklaştıkça doğruluğun azaldığı görülmektedir. Araştırma, dağlık ve engebeli bir topoğrafyaya sahip olan Zonguldak test alanında, yazar tarafından geliştirilen GeoEtrim yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: ortogörüntü, konum doğruluğu, afin dönüşüm, RFM, IKONOS, QuickBird, OrbView-3, Pléiades-1A, Zonguldak test alanı, GeoEtrim

ABSTRACT

ESTIMATION OF EFFICIENCY OF TRANSFORMATION PARAMETERS AND DEM ACCURACY ON THE GEOREFERENCING ACCURACY OF ORTHOIMAGE: A CASE STUY WITH IKONOS, QUICKBIRD, ORBVIEW-3 AND PLÉIADES-1A IMAGES

Generation of orthoimage is a common and sometimes mandatory issue. There are two components which define the georeferencing accuracy of orthoimage. They are the accuracy of transformation parameters, and the other one is the resolution and the accuracy of digital elevation model. The main motivation of this paper is to estimate the effect of transformation parameters (such as affine projection and the RFM), and the effect of digital elevation model using the variance-covariance propagation law in the case of IKONOS, QuickBrid, OrbView-3 and Pléiades-1A images. The organisation of the paper follows the details of the methodology, the pre-processes w.r.t. the transformation model and the images, test area and the results. It is concluded that usage the sensor-dependent RFM can be preferred instead of the affine projection, the best accuracy is available at the geometric centre of the GCPs as sub-pixel, the accuracy has been propagated according to the height difference, from centre to the outside. The research has been performed with the GeoEtrim tool in Matlab, and the test area is placed around Zonguldak city centre having an undulating and mountainous topography.

Keywords: *orthoimage, georeferencing accuracy, affine transformation, RFM, IKONOS, QuickBird, OrbView-3, Pléiades-1A, Zonguldak test area, GeoEtrim.*

1. GİRİŞ

Görüntüler, genellikle ortogörüntü haline getirilerek tek başlarına konuma bağlı uygulamalarda kullanılabilir (Poli ve Toutin, 2012). Böylece bir ortogörüntü, aynı özelliklere (örneğin aynı elipsoid ve projeksiyona) sahip konuma bağlı veri/bilgiler ile karşılaştırılabilir, çakıştırılabilir ve birleştirilebilir (Toutin, 2004). Günümüzde bindirmeli görüntü ile 3 boyutlu görüş elde edilmesi mümkün olsa da, kullanıcıların her zaman 3 boyutlu görüş ile çalışması mümkün olamamaktadır. Bunun yerine genellikle ortogörüntüler bir yükseklik profili üzerine kaplanarak 2.5 boyutlu görünüm elde edilmektedir.

Ortogörüntü, uygun bir koordinat dönüşüm modeli ve yer bilgisi ile üretilirler. Uzaktan algılamada, görüntü koordinat sistemi ile yer (nesne) koordinat sistemi arasındaki dönüşüm algılayıcıya bağımlı (fiziksel) veya algılayıcıdan bağımsız modeller ile gerçekleştirilir (Toutin, 2003). Algılayıcıya bağımlı modeller görüntü ve yer koordinat sistemleri arasındaki gerçek geometrik ilişkiyi yanısıtırken, algılayıcıdan bağımsız modeller bu ilişkiyi

dikkate almaz ve bu tür modellerde YKN (Yer Kontrol Noktası) sayısının, dağılımının ve doğruluğunun sonuç doğruluk üzerindeki etkisi algılayıcıya bağımlı modellere göre daha fazladır.

Genellikle, algılayıcıya bağımlı bir modelin katsayılarına, katsayıların yaklaşık değerleri ve yüksek doğruluklu YKN'lar kullanılarak dengeleme işleminde düzeltme getirilir. Bu nedenle yaklaşık değerlerin hassasiyeti ve doğruluğu, ayrıca YKN'larının sayısı, dağılımı ve doğruluğu sonuç doğruluğu etkiler. Bu düzeltme işleminden sonra, eğer dönüşüm modeli 3. boyutu destekliyor ise, yükseklikten kaynaklanan yataydaki kayıklık, SYM (Sayısal yükseklik Modeli) gibi bir kaynaktan elde edilen yükseklik bilgisi yardımıyla giderilir. Bu işlem, optik görüntüler ile yapılan işlemlerde karşılaşılan ve 3 boyutlu nesne uzayının 2 boyutlu görüntü düzlemine merkezi izdüşümünden kaynaklanan bir durumdur. Varyans-kovaryans dağılımının yardımı bu noktada ortaya çıkmaktadır. Zira dengeleme ile düzeltilen dönüşüm elemanlarının ve SYM'nin doğruluğunun sonuç doğruluk üzerine ortak etkisi belirlenebilir. Matematiksel temelin ayrıntıları aşağıdaki bölümde verilmektedir.

2. KURAMSAL TEMEL

Uzaktan algılama görüntüleri, görüntüleme sisteminden, taşıyıcı sistemin hareketinden, Dünyanın küreselliğinden ve dönmesinden kaynaklanan etkiler nedeniyle geometrik hatalarla yüklü oldukları kabul edilir. Bu hatalardan bazıları sistematiktir ve görüntü sağlayan kurumlar tarafından düzeltilerek pazarlama yapılır. Ancak sistematik olmayan hatalar kullanıcılar tarafından düzeltilmelidir. Bu durumda, genellikle dolaylı ölçüler dengelemesine göre işlem yapılarak görüntü koordinatları ölçü olarak kabul edilir. Bu durumda, koordinatlandırmada kullanılan eşitlik aşağıdaki gibi olacaktır.

$$(r,c)_i = f\{P_j,(X,Y,Z)_i\} \tag{1}$$

Burada *r ve c* sırasıyla görüntü uzayında satır ve sütun koordinatlarını, *f* dönüşüm modelini, *P* dönüşüm katsayısını, *X, Y, Z* ise nesne uzayındaki koordinatları temsil etmektedir. *i* ve *j* ise sırasıyla YKN ve katsayılarla ilgili olan indislerdir. Fiziksel bir modelde *P* iç ve dış yöneltme elamanı, algılayıcı bağımlı bir RFM'de (Rasyonel Fonksiyon Modeli) görüntüyü dağıtan kurum tarafından belirlenen RPC'ler (Rational Polynomial Coefficients) veya algılayıcıdan bağımsız bir modelde YKN'ları yardımıyla belirlenen katsayılar olabilir. YKN'larının yer koordinatları hatasız (dengeli) kabul edilir ve 2 boyutlu bir dönüşüm modelinde *Z* koordinat bileşeni kullanılmaz. Dengeleme işleminde hem görüntü koordinatlarına (*r, c*) hem de katsayılara (*P*) getirilecek düzeltme değerleri EKK (En küçük Kareler) yöntemiyle döngüsel olarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\underline{\bar{l}} = \underline{l} + \underline{v} = \underline{l}\big|_0 + \underline{A}\cdot\underline{dP} \tag{2}$$

$$\underline{dP} = (\underline{A}^T\cdot\underline{A})^{-1}\cdot\underline{A}^T\cdot(\underline{l}-\underline{l}\big|_0) \tag{3}$$

$$\underline{\bar{P}} = \underline{P}\big|_0 + \underline{dP} \tag{4}$$

$$\underline{v} = \underline{l}\big|_0 - \underline{l} + \underline{A}\cdot\underline{dP} \tag{5}$$

$$m_0 = \pm\sqrt{\frac{\underline{v}^T\underline{v}}{f}} \tag{6}$$

Burada sıfır (0) katsayıların yaklaşık değerleri ile hesaplanan görüntü koordinatlarını, *dP* katsayılara getirilecek düzeltmeyi (dengeleme bilinmeyeni), *A* dengeleme bilinmeyenlerinin katsayılar matrisini, m_0 birim ağırlıklı ölçünün koh'unu, *v* ölçülere (görüntü koordinatlarına) getirilecek düzeltmeleri, *f* ise serbestlik derecesini ifade etmektedir. m_0'ın $\leq \pm 1$ piksel olması hedeflenir. Katsayılara ait varyans-kovaryans matrisi ise

$$K_{dPdP} = m_0^2\cdot(\underline{A}^T\cdot\underline{A})^{-1} \tag{7}$$

şeklinde hesaplanır.

YKN'larında elde edilen konum doğruluğu, görüntünün tüm bölgesi için geçerli olan doğruluğu yansıtmaz. Bunun yerine, YKN'ları dışındaki doğruluğun hesaplanması gerekmektedir. Bu işlem, genellikle BDN'larındaki (Bağımsız Denetim Noktası) doğruluğun tespiti ile yapılmaktadır ki bu yanlış bir uygulamadır. Bu uygulamanın eksiklikleri (Sertel, vd., 2007) tarafından açıklanmaktadır. Böyle bir doğruluk belirleme yöntemi yerine,

ortogörüntü üretiminde de kullanılan SYM gibi bir ek verinin varlığı durumunda ortogörüntü üretilebilir ve tüm görüntü için tek bir doğruluk değeri yerine bir doğruluk aralığı belirlenebilir. Burada kullanılabilecek yöntemin adı *şekil kuvveti*dir.

Uzaktan algılamada 2007'den bu yana uygulanan şekil kuvveti yöntemi, varyans-kovaryans yayılımı temeline dayanan bir yöntemdir ve jeodezide konvensiyonel nirengi ağlarının şekil kuvvetinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bir ağın şekli, onun ne kadar genişletilebileceğine dair bir eşik değerdir ve bu yaklaşım dengelemede *şekil kuvveti* olarak adlandırılır. Bir koordinat dönüşümünde şekil kuvveti dönüştürülmüş noktaların doğruluğu ile hesaplanır. Eğer ulaşılan doğruluk beklenenin altında kalırsa, dönüşüm katsayılarının doğruluğunun azaldığı sonucuna varılır (Kutoğlu, 2004). Bu yöntemde, dönüşüm modeline hata yayılım kuralı uygulanmalıdır. Öncelikle genel eşitliği (1)'de verilen dönüşüm modeli katsayılara (P) ve yer koordinatlarına (l_{gr}) göre diferansiyeli alınır:

$$\delta l = \underline{A} \cdot \underline{dP} + \underline{B} \cdot \delta l_{gr} \tag{8}$$

burada B dönüşüm katsayılarından oluşan katsayılar matrisidir (Topan, vd., 2013). Sonrasında diferansiyel eşitliğin karesi alındığında, düzeltilmiş görüntü koordinatlarının toplam doğruluğunu verir.

$$\underline{K}_{ll} = \underline{A}\underline{K}_{dPdP}\underline{A}^T + \underline{B}\underline{K}_{rr}\underline{B}^T \tag{9}$$

K_{ll}'nin köşegen elemanları (m_r^2 ve m_c^2) görüntü koordinatlarının varyans değerleridir. Böylece bir noktanın şekil kuvveti değeri aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$m_p = \pm\sqrt{m_r^2 + m_c^2} \tag{10}$$

Böylece, BDN'ları ile nokta bazlı olarak tek bir doğruluk değeri yerine, tüm görüntü için bir doğruluk aralığı hesaplanır. Bu yöntemle, dengeleme ile düzeltme getirilmiş dönüşüm katsayılarının varyans-kovaryansları (K_{dPdP}) ve SYM'nin doğruluğunu ifade eden K_{rr} varyans-kovaryans matrisi ile üretilecek olan bir ortogörüntünün konum doğruluğu (m_p) belirlenebilir. Bu yöntemin koordinat dönüşümüne ilk uygulaması (Kutoğlu, 2004) tarafından yapılmıştır (Sertel vd., 2007), (Topan ve Kutoğlu, 2009), (Topan vd., 2013) ve (Topan vd., 2014a) (Topan vd., 2013) tarafından yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerine uygulanmıştır.

2.1. Dönüşüm Bağıntıları

Özellikle yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri, kapladıkları alana oranla çok yüksekten algılandıklarından, nesneden gelen ışınlar birbirlerine paralel olarak kabul edilebilir (Okamoto, 1992). Bu nedenle merkezi izdüşüm yerine paralel izdüşüm temeline dayanan dönüşüm modelleri de kullanılabilir. Bu bildiride iki tür dönüşüm modeli, afin izdüşüm ve RFM'ye ait sonuçlar verilmiştir. Kullanılabilecek diğer dönüşümlerle ilgili ayrıntılı bilgi Topan (2005 ve 2009) yayınlarında bulunabilir.

Afin izdüşüm, 3 boyutlu nesne uzayının 2 boyutlu görüntü uzayına paralel bir izdüşümüdür ve eşitliği aşağıdaki gibidir

$$\begin{aligned} r_i &= a_{000} + a_{100} \cdot X_i + a_{010} \cdot Y_i + a_{001} \cdot Z_i \\ r_i &= b_{000} + b_{100} \cdot X_i + b_{010} \cdot Y_i + b_{001} \cdot Z_i \end{aligned} \tag{11}$$

RFM ise, OGC (Open Geospatial Consortium) tarafından genel dönüşüm modeli olarak kabul edilmiş bir modeldir ve aşağıdaki gibi eşitliği aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$r_n = \frac{\sum_{i=0}^{m_i}\sum_{j=0}^{m_j}\sum_{k=0}^{m_k} a_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k}{\sum_{i=0}^{m_i}\sum_{j=0}^{m_j}\sum_{k=0}^{m_k} b_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k}, c_n = \frac{\sum_{i=0}^{m_i}\sum_{j=0}^{m_j}\sum_{k=0}^{m_k} c_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k}{\sum_{i=0}^{m_i}\sum_{j=0}^{m_j}\sum_{k=0}^{m_k} d_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k} \tag{12}$$

$$r_n = \frac{r - r_0}{S_r}, c_n = \frac{c - c_0}{S_c} \tag{13}$$

$$X_n = \frac{X - X_0}{S_X}, Y_n = \frac{Y - Y_0}{S_Y}, X_n = \frac{Z - Z_0}{S_Z} \tag{14}$$

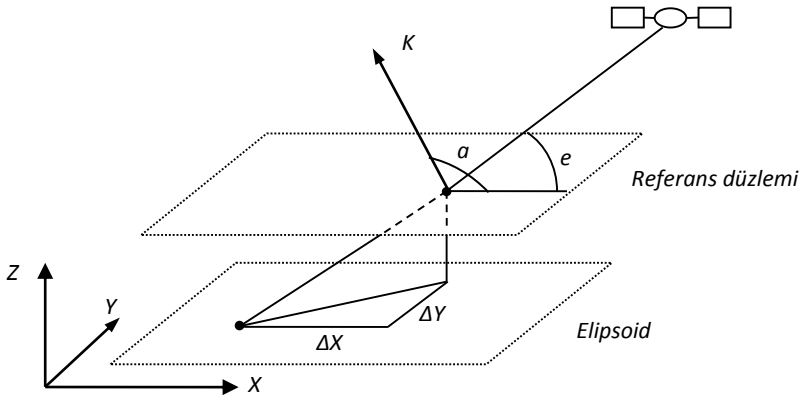
burada *n* normalleştirme, 0 (sıfır) öteleme, *S* ölçek, *a, b, c* ve *d* RPC'leri, *m* RPC derecesinin üst sınırını ifade etmektedir. RPC'lerin dereceleri $i + j + k \leq 3$ kuralına göre belirlenir. RFM kullanıldığında bazı hususlara dikkate edilmelidir. Bu konuda ayrıntılı bilgi (Topan, 2012; Topan vd., 2013) yayınlarında bulunabilir.

2.2. Koordinat Düzeltmesi

Konum doğruluğu ile ilgili işlemlerde görüntülerin işlem seviyeleri dikkate alınmalıdır. IKONOS Geo ve QuickBird OrthoReady Standard gibi ürünler, genellikle görüntülenen alanın ortalama yüksekliğine sahip bir düzleme yeniden örneklenirler. Bu durumda, yükseklik değeri jeoide göre belirlenen YKN'sının görüntünün yeniden örneklendiği düzlemdeki karşılığının belirlenmesi ve bu şekilde dönüşüm eşitliğinde kullanılması gerekir (**Şekil 1**) (Fraser vd., 2002). Koordinatlara getirilecek düzeltme

$$\begin{aligned} \Delta X &= -(Z_i^{gr} - Z_0) \cdot \sin a / \tan e \\ \Delta Y &= -(Z_i^{gr} - Z_0) \cdot \cos a / \tan e \end{aligned} \tag{15}$$

Burada *a* ve *e* sırasıyla algılayıcının azimutunu ve yükseklik açısını, Z_0 ise yeniden örnekleme yapılan düzlemin deniz seviyesinden (yerel jeoid) olan yüksekliğini göstermektedir.



Şekil 1. Sabit bir yüksekliğe göre oluşturulmuş görüntü için *X* ve *Y* eksenlerindeki

3. UYGULAMA

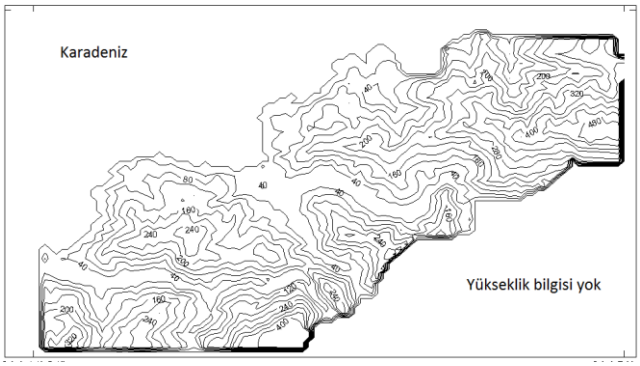
3.1. Kullanılan Veriler ve Çalışma Alanı

Uygulamada kullanılan yüksek çözünürlüklü pankromatik görüntülerin özellikleri ve YKN sayıları **Çizelge 1**'de verilmektedir. YKN'larının görüntüler üzerindeki dağılımı **Şekil 2**'de görülebilir. YKN, GPS gözlemleri ile ±3 cm doğrulukla elde edilmiştir ve hem yatay hem de düşey dağılımlarının olabildiğince uygun olmasına çalışılmıştır. Çalışma alanı, engebeli ve dağlık bir topoğrafyaya sahip olan Zonguldak test alanıdır. Burası, yer yer yoğun yapılaşmanın görüldüğü şehir merkezi, yeraltı madencilik faaliyetleri ve buna bağlı yerüstü tesisleri, termik santralleri ve demir çelik fabrikaları, iç bölgelere doğru geniş yapraklı yoğun ormanlık alanları ile uzaktan algılama görüntülerinin geometrik ve semantik analizi için oldukça uygun bir test alanıdır. Bu test alanında gerçekleştirilen çalışmaların listesine (Topan vd., 2014) yardımıyla ulaşılabilir.

Çizelge 1. Uygulamada Kullanılan Pankromatik Görüntülerin Özellikleri ve YKN Sayıları

Uydu	Ürün	YÖA (metre)	# YKN
IKONOS	Geo	1.0	22
QuickBird	OrthoReady Standard	0.6	27
OrbView-3	Basic	1.0	30
Pléiades-1A	Primary	0.5	22

Şekil kuvveti analizi için gerekli olan 3 boyutlu noktalar, 1:2000 ölçekli haritalardan elde edilen bir SYM'dir (**Şekil 3**). SYM'nin yatay konum doğruluğu 40 cm, düşey konum doğruluğu ise 50 cm'dir.



Şekil 3. Çalışmada kullanılan SYM.

3.2. Elde Edilen Sonuçlar

YKN'larında ve Şekil Kuvveti Noktalarında (ŞKN) elde edilen doğruluk değerleri **Çizelge 2**'de, YKN'larındaki hata vektörleri **Şekil 4**'de ve şekil kuvveti aralıkları da **Şekil 5**'de gösterilmektedir.

Çizelge 2. Elde edilen doğruluklar (±piksel)

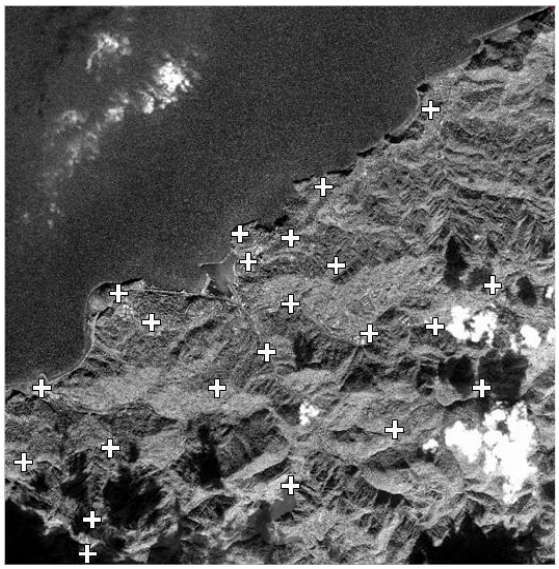
	Afin izdüşüm		RFM	
Uydu	m_0	m_p (en küçük-en büyük)	m_0	m_p (en küçük-en büyük)
IKONOS	1.8	0.8-3.2	0.6	0.2-1.5
QuickBird	3.1	1.3-4.1	0.7	0.3-1.8
OrbView-3	25.6	7.2-28.4	1.9	0.6-3.5
Pléiades-1A	3.2	1.5-6.3	0.8	0.3-2.7

Çizelge 2 incelendiğinde, RFM'nin afin izdüşüm modeline kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. En yüksek doğruluk IKONOS görüntüleri için elde edilmiştir. Ancak en kötü doğruluk değeri OrbView-3 ile elde edilmiştir. Bunun nedeni, OrbView-3'ün görüntüleme geometrisindeki hatalardır (Büyüksalih vd., 2006). **Şekil 3** incelendiğinde, hata vektörlerinde herhangi bir sistematik etkinin olmadığı görülebilmektedir.

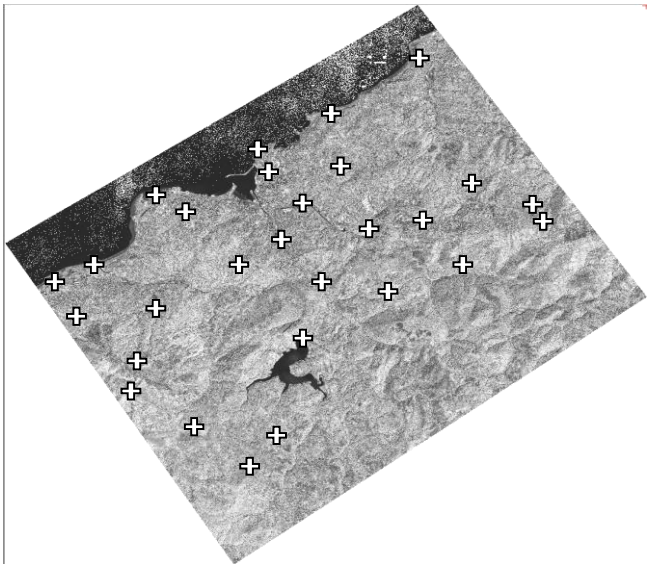
Şekil kuvveti sonuçlarına bakıldığında ise, yine yukarıdaki sonuçlara uygun olarak RFM daha yüksek doğruluk sunmaktadır. Sertel vd. (2007), Topan ve Kutoğlu (2009), Topan vd (2013) ve Topan vd. (2014) tarafından bulunan sonuçlara uygun olarak, en yüksek şekil kuvveti değeri YKN'ların geometrik olarak ortasında en yüksek değerine sahiptir ve bu noktadan dışarıya doğruluk düşmektedir. Aynı zamanda şekil kuvvetinin yükseklik değişimine bağlı olduğu da söylemek gerekir.

4. SONUÇ

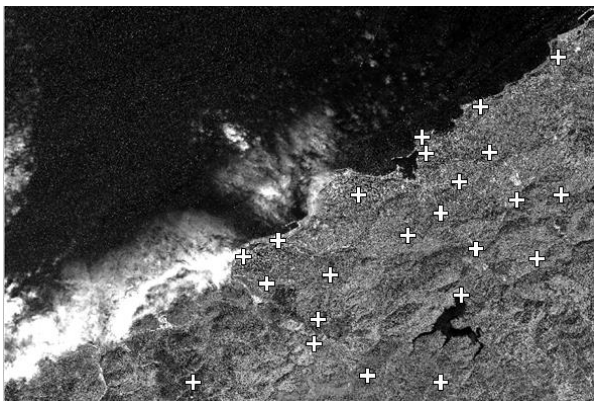
Bu bildiride, günümüzde yaygınlıkla kullanılan yüksek geometrik çözünürlüklü uzaktan algılama görüntülerinden elde edilecek ortogörüntülerin konum doğruluğuna dönüşüm katsayılarının ve SYM'nin etkisi araştırılmıştır. Karşılaştırmada afin izdüşüm ve RFM yöntemleri kullanılmıştır. RFM, yüksek çözünürlüklü görüntüler için önerildiğinden ve algılayıcıya ait değerler yardımıyla RPC'ler üretildiğinden, afin izdüşüme göre daha iyi sonuçlar sunmaktadır. Varyans-kovaryans yayılımı ilkesine dayanan şekil kuvveti yöntemi ile bir görüntünün tüm bölgesi için tek bir doğruluk değeri yerine bir doğruluk aralığı belirlenebilmektedir. Bu yöntem, uydu görüntülerinin koordinatlandırılmasında kullanılan herhangi bir yönteme uygulanabilmesi bakımından geniş bir kullanım alanına sahiptir.



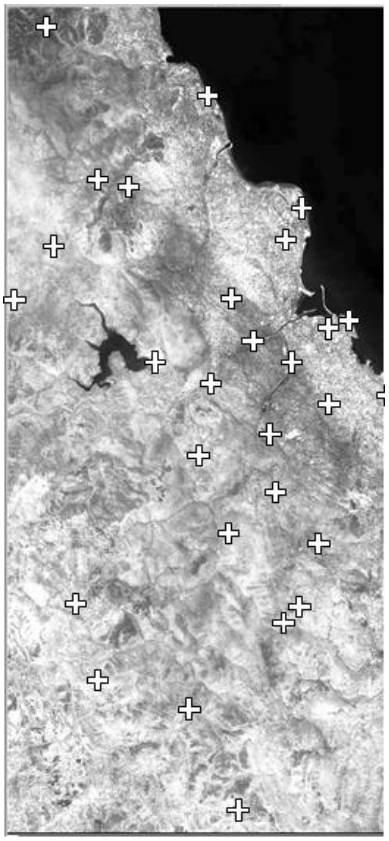
a) IKONOS Geo (22 YKN)



b) QuickBird OrthoRerady Standard (27 YKN)



c) Pléiades-1A (22 YKN)

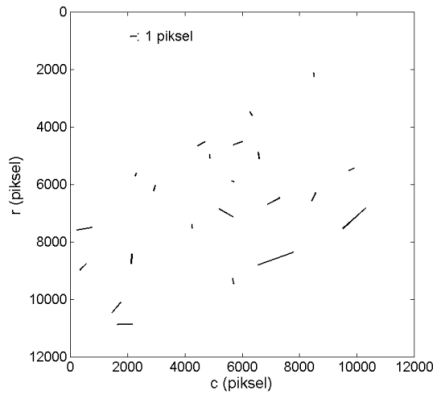


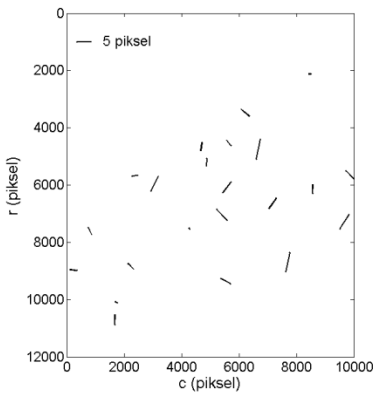
d) OrbView-3 Basic (30 YKN)

Şekil 2. YKN'dağılımları.

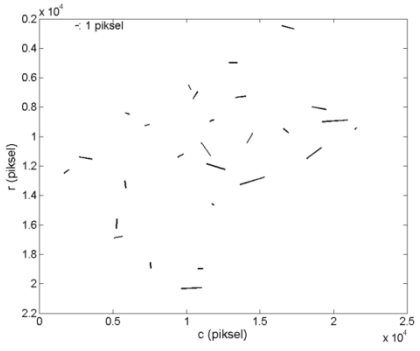
Afin

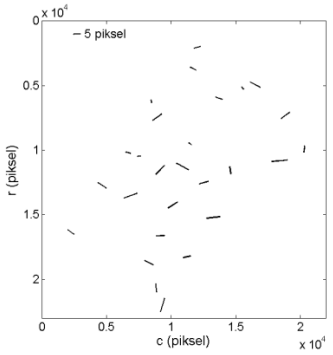
RFM 1. derece



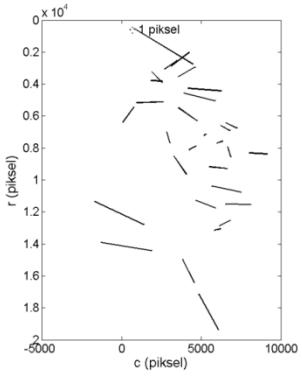


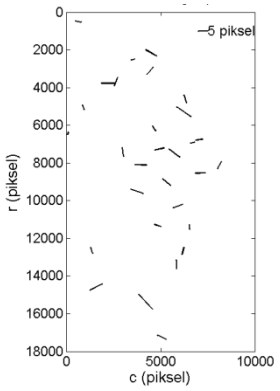
IKONOS



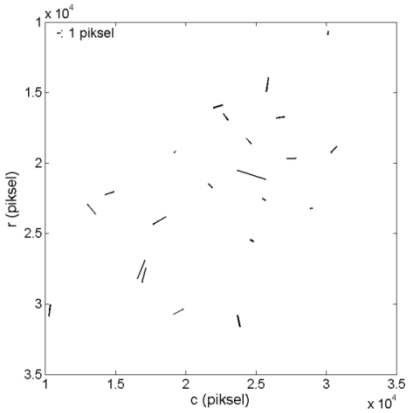


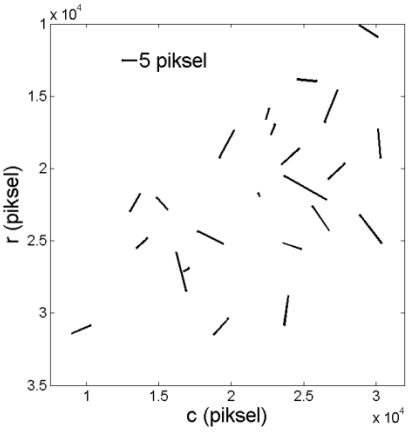
QuickBird





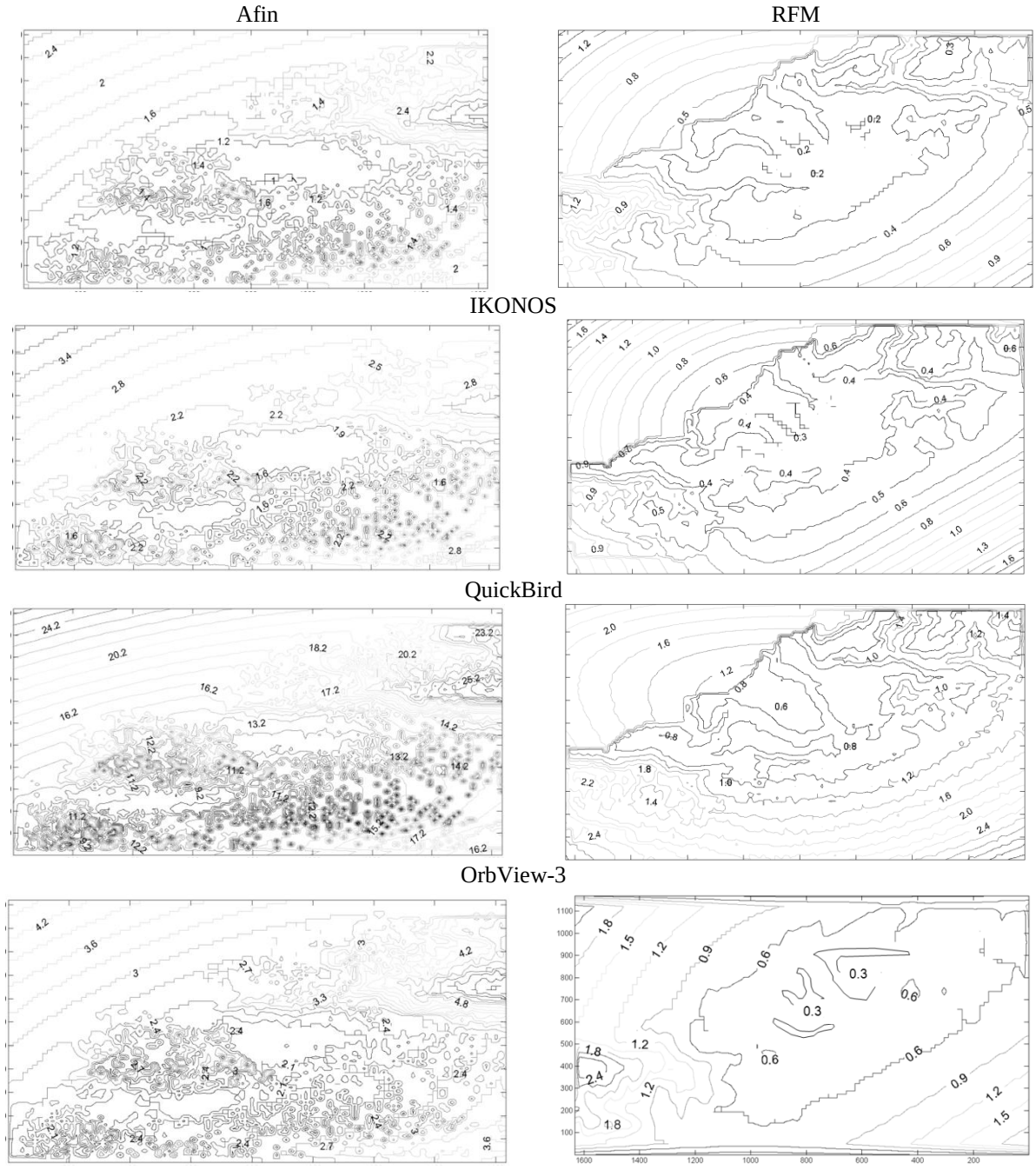
OrbView-3





Pléiades-1A

Şekil 4. Afin ve RFM (1. derece) dönüşümle YKN'larında elde edilen hata vektörleri.



Şekil 5. Afin ve RFM (1. derece) için şekil kuvveti dağılımı.

KAYNAKLAR

Büyüksalih, G., Akcin, H., Jacobsen, K., 2006**.** Geometry of OrbView-3 Images, *ISPRS Topographic Mapping From Space* (with Special Emphasis on Small Satellites), Ankara, Turkey.

Fraser, C.S., Baltsavias, E., Gruen, A., 2002. Processing of Ikonos imagery for submetre 3D positioning and building extraction. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 56, 177-194.

Kutoğlu, H., 2004. Figure Condition in Datum Transformation. *Journal of Surveying Engineering* 130, 138-141.

Okamoto, A., 1992. Ultra-Precise Measurement Using Affine Transformation, in: Fritz, L.W., Lucas, J.R. (Eds.), *International Archieves of Photogrammetry*, Remote Sensing and Spatial Information Sciencies, Washington, D. C., pp. 318-322.

Poli, D., Toutin, T., 2012. Review of developments in geometric modelling for high resolution satellite pushbroom sensors. *The Photogrammetric Record* 27, 58-73.

Sertel, E., Kutoglu, S.H., Kaya, S., 2007. Geometric correction accuracy of different satellite sensor images: application of figure condition. Int J Remote Sens 28, 4685-4692.

Topan, H., 2004. Yörünge Düzeltmeli IRS-1C/1D Pankromatik Mono Görüntüsünün Geometrik Doğruluk ve Bilgi İçeriği Açısından İncelenmesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi.

Topan, H., 2012. Yüksek Çözünürlüklü Uydu Görüntülerinin Koordinatlandırılmasında RFM Kullanımı, *IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu* (UZAL-CBS 2012), Zonguldak.

Topan, H., 2013a. First Experience with Figure Condition Analysis Aided Bias Compensated Rational Function Model for Georeferencing of High Resolution Satellite Images. J Indian Soc Remot 41, 807-818.

Topan, H., 2013b. Yüksek Çözünürlüklü Uydu Görüntülerinin Koordinatlandırılmasında RFM Kullanımı. Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi 6, 81-86.

Topan, H., Büyüksalih, G., Koçak, G., 2005. IRS-1C Düzey 1B Görüntüsünün Geometrik Analizinin Sensör Yöneltme Modelleriyle ve Değişik Referans Verileriyle İrdelenmesi, 10. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara.

Topan, H., Kutoglu, H. S., 2009. Georeferencing Accuracy Assessment of High-Resolution Satellite Images Using Figure Condition Method. *Ieee T Geosci Remote* 47, 1256-1261.

Topan, H., Oruç, M., Özendi, M., Cam, A., 2014a. Optik Uydu Görüntülerinden Konuma Bağlı Bilgi Üretimi ve Doğruluk Değerlendirmesi, Yer Gözlem Uydu Teknolojileri ve Veri Kıymetlendirme Çalıştayı, Ankara.

Topan, H., Oruç, M., Taşkanat, T., Cam, A., 2014b. Combined Efficiency of RPC and DEM Accuracy on Georeferencing Accuracy of Orthoimage: Case Study With Pléiades Panchromatic Mono Image. *Ieee Geosci Remote* S 11, 1148-1152.

Topan, H., Taşkanat, T., Cam, A., 2013. Georeferencing Accuracy Assessment of Pléiades 1A Images Using Rational Function Model, International Archives of the Photogrammetry, *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, pp. 251-256.

Toutin, T., 2003. Geometric Correction of Remotely Sensed Images, in: Franklin, M.A.W.a.S.E. (Ed.), *Remote Sensing of Forest Environments*: Concepts and Case Studies. Kluwer Academic Publishers, pp. 143-180.

Toutin, T., 2004. Review article: Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods. *Int J Remote Sens* 25, 1893-1924.