

IRS-1C DÜZEY 1B GÖRÜNTÜSÜNÜN GEOMETRİK ANALİZİNİN SENSÖR YÖNELTME MODELLERİYLE VE DEĞİŞİK REFERANS VERİLERİYLE İRDELENMESİ

H. Topan, G. Büyüksalih, M. G. Koçak

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Zonguldak,
htopan@yahoo.com, gbuyuksalih@yahoo.com, mgkxyz@yahoo.de

ÖZET

Bu çalışmada, Zonguldak ilinin büyük bir bölümünü kapsayan 5 m yer piksel büyüklüklü yörünge düzeltmesi getirilmiş IRS-1C pankromatik mono görüntüsünün sağladığı konum doğruluğu değişik yersel verilerle ve matematiksel modellerle incelenmiştir. Değerlendirme aşamasında gerekli olan yer kontrol noktaları (YKN) ve bağımsız denetim noktaları (BDN) 1:25000 ölçekli topoğrafik haritalardan; 1:1000, 1:2000, 1:4000 ve 1:5000 ölçekli haritalardan ve GPS gözlemlerinden oluşan üç ayrı küme olarak ele alınmıştır. Bu YKN-BDN kümeleri, parametrik olmayan üç model (afin, yükseklik düzeltmeli afin ve Dolaysız Doğrusal Transformasyon) ve parametrik modeller (Uydu Yörünge Modellemesi ve rekonstrüksiyon geometrisi) kullanılarak incelenmiştir. Kümelere elde edilen konum doğrulukları karşılaştırıldığında, 1:25000 ölçekli haritaların en düşük, GPS gözlemlerinin ise en yüksek konum doğruluğunu verdiği görülmektedir. GPS'den ve büyük ölçekli haritalardan oluşan iki kümenin YKN doğrulukları arasında belirgin bir farklılık yokken, BDN doğruluğunun GPS ölçüleriyle arttığı görülmektedir. Ancak kullanılan tüm değerlendirme yöntemleri ve nokta kümeleri ile alt piksel düzeyinde doğruluğa hem YKN'ler hem de BDN'ler için erişilememiş ve bunun nedenleri üzerinde durulmuştur. Çalışmada IRS-1C/1D görüntüsünün etkin piksel boyutu da irdelenmiş ve 5 m'lik yer piksel büyüklüğüne örneklenmesine rağmen görüntünün orijinal piksel büyüklüğü olan 5.8 m'lik yer piksel büyüklüğü değerini koruduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: IRS-1C Uydusu, Yörünge Düzeltmesi Getirilmiş Görüntü, Geometrik Doğruluk, Parametrik ve Parametrik Olmayan Modeller, Etkin Piksel Boyutu

ABSTRACT

ANALYSIS OF IRS-1C LEVEL 1B IMAGERY WITH RESPECT TO GEOMETRIC ACCURACY USING SENSOR ORIENTATION MODELS WITH DIFFERENT CONTROL POINTS

The geometric accuracy of IRS-1C panchromatic mono image which covers wide-part of Zonguldak has been determined using different mathematical approaches and also different ground coordinate sources. The GCPs (Ground Control Point) and ICPs (Independent Control Point) were formed as three individual sets collected from 1:25000 scale topographic maps (first GCP-ICP set); 1:1000, 1:2000, 1:4000 and 1:5000 scale topographic maps (second GCP-ICP set) and GPS observations (third GCP-ICP set). These sets were processed by the non-parametric (polynomial, terrain relief corrected affine and Direct Linear Transformation) and parametric (Satellite Orbital Modelling and reconstruction geometry) mathematical models. The accuracy generated using 1:25000 scale maps gives the worst rmse values while the one generated using GPS observations gives the best rmse results. In spite of the fact that there is no big differences between the accuracy results of GCPs using second and third sets, the accuracy results of ICPs using third set is better than the others. Nevertheless, it has not been possible to get the sub-pixel accuracy using all mathematical models and all GCP-ICP sets. In this paper, the causes of this condition has been criticized. The effective pixel size of the image has been determined and this shows that the image resampled from 5.8 m to 5.0 m ground pixel size keeps original ground pixel size.

Keywords: IRS-1C Satellite, Path Oriented Image, Geometric Accuracy, Parametric and Nonparametric Models, Effective Pixel Size

1. GİRİŞ

SPOT-1 (Système Pour l'Observation de la Terre) uydusuyla büyük bir ivme kazanan topoğrafik amaçlı uzaktan algılama çalışmalarına MOMS (Modular Optoelectronic Multispectral Scanner) ve IRS (Indian Remote Sensing Satellite) serisi uydular da 1990'lı yıllarda önemli katkıda bulunmuşlardır. Bu yıllarda kazanılan deneyim, günümüzde alt-metre çözünürlüklü görüntülerin elde edilmesini sağlamaktadır. Bu çalışmada görüntüsü ele alınan IRS-1C uydusu pankromatik bandda 5.8 m yer piksel çözünürlüğüne sahiptir. Bu uydu, ISRO (Indian Space Research Organisation) tarafından 28.12.1995 tarihinde Molniya-M roketi ile yörüngesine oturtulmuştur. Üzerinde, Pan (Pankromatik), LISS-III (Linear Imaging Self Scanner) ve WiFS (Wide Field Sensors) olmak üzere üç farklı algılayıcı taşımaktadır. IRS-1C/1D'nin yörünge bilgileri, taşıdığı algılayıcıların bazı özellikleri hakkında birtakım bilgiler Tablo 1'de verilmektedir (Rajangam, 1997; EUROMAP, 2004; Kasturirangan et. al., 1997).

| | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|------|-------|-------|
| Yörünge türü | Güneş uyumlu, daireye yakın | | | |
| Yörünge yüksekliği ve eğimi | 817 km, 98.69° | | | |
| Peryod ve devir sayısı | 101.35 dakika, 24 gün | | | |
| Ekvator geçiş zamanı | 10.30 (yerel saatle) | | | |
| Algılayıcı | PAN | LISS | | WiFS |
| | | WIR | SWIS | |
| Uzaysal çözünürlük (m) | 5.8 m | 23.5 | 70.5 | 188.3 |
| Genişlik (km) | 70 | 141 | 148 | 810 |
| Piksel boyutu (µm) | 7x7 | 10x7 | 30x30 | 13x13 |
| CCD Boyutu (piksel)) | 4096 | 6000 | 2100 | 2048 |
| Örnekleme aralığı (bit) | 6 | 7 | 7 | 7 |

Tablo 1: IRS-1C/1D'ye ait yörünge bilgileri ve algılayıcıların bazı teknik özellikleri

IRS-1C uydusu, düşük radyometrik çözünürlüğe sahip olmasına rağmen 5.8 m yer piksel çözünürlüğüne ve 70 km görüntüleme genişliğine sahip olduğu için oldukça geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Pankromatik görüntüler, pazarlamacı şirketlerce 5 m piksel büyüklüğünde ve 8 bitlik örnekleme aralığında satılmaktadırlar. Pan kamera $\pm 26^\circ$ 'lik yan bakış açısına sahiptir ve bu sayede bindirmeli görüntü alabilmektedir. Ancak, Pan kameraların farklı yörüngelerden bindirmeli görüntü alabilmesi için, kameranın tümüyle hareket etmesi gerekmektedir ki bu da fazladan yakıt kullanımı demektir. Yakıt, uydunun yörüngesinde tutulması için oldukça gereklidir ve bu nedenle, yan bakış özelliğine rağmen, bu kamera ile stereo-görüntü alımı pek yaygın değildir. Pan kameraya ait CCD algılayıcı aralarında küçük bindirmeler bulunan üç adet doğrusal dizinden oluşan bir CCD dizinden oluşmaktadır. Ancak bu CCD'lerin birleşimi aynı düzlemde değildir ve aralarında bazı öteleme ve dönüklükler vardır. CCD'ler arası bu ayrılığın görüntülerin geometrik doğruluğuna olan etkisini araştırıldığında, bu etkinin 20° 'yi aşan yan bakış açısında 0.5 piksel (2.9 m) civarında olduğu belirtilmektedir (Jacobsen, 1999).

IRS-1C görüntüleri, pazarlamacı şirket tarafından, bazı radyometrik ve geometrik işlemlere tabi tutularak satılırlar. Bu görüntü çeşitleri, i) Radyometrik düzeltilmiş, ii) Yörünge düzeltmesi getirilmiş ve iii) Harita kuzeyine çevrilmiş olarak adlandırılmaktadırlar (EUROMAP, 2004). Ayrıca IRS-1C görüntüleri için iki çeşit görüntü formatından söz etmek olasıdır. Bunlar, EOSAT Fast Format Rev. C ve Super Structure Formattır. Super Structure Format, Fast Format'a göre daha karmaşık bir yapıya sahiptir; yörünge ve uydu durum bilgilerini içermektedir. Bu iki formattan fast format, yeterli yörünge bilgisi içermemektedir ve dolayısıyla daha fazla yörünge bilgisi içeren super structure format kullanımı önerilmektedir (Cheng and Toutin, 1999).

2. UZAKTAN ALGILAMA GÖRÜNTÜLERİNİN GEOMETRİK DÜZELTİLMESİ

Uzaktan algılama görüntüleri, çeşitli nedenlerle sistematik ve sistematik olmayan hatalar içerirler ve birtakım düzeltmelere tabi tutulmaları gerekmektedir. Konumsal bilgi edinme açısından bakıldığında, görüntülerin gerek orto-görüntü olarak, gerekse vektörleştirilerek CBS tabanlı çalışmalarda kullanılmalrı için, radyometrik ve geometrik hatalarından arındırılmaları ve yer koordinat bilgisi taşıyacak şekilde işlenmesi gerekmektedir. Bu sayede farklı tarihlerde ve değişik kaynaklardan elde edilen görüntüler, yine farklı kaynaklardan elde edilen konumsal bilgiler ile birlikte bir uyum içerisinde CBS tabanlı çalışmalarda rahatlıkla kullanılabilirler. Ham uzaktan algılama görüntülerindeki geometrik hatalar, sistematik (tekrarlı, düzenli) ve sistematik olmayan (rastgele, düzensiz) yapıya sahiptirler. Sistematik hatalar, bazı yörünge ve kalibrasyon bilgileri ile düzeltilebilirler ve çoğu zaman satışı yapılan görüntüler, pazarlamacı firma tarafından sistematik düzeltmesi yapılmış olarak satılırlar. Sistematik olmayan hatalar ise önceden kestirilemedikleri için ancak YKN ve SYM verilerinin kullanılması ile giderilebilirler. Sistematik olmayan geometrik hatalarının düzeltilebilmesinde pek çok matematiksel model mevcuttur. İki veya üç boyutlu bu yaklaşımlar, parametrik veya parametrik olmayan modeller olarak ikiye ayrılabilir. Parametrik olmayan yaklaşımlarda, algılayıcı sisteme ait parametreler mevcut değildir ve çözümde sistemin görüntüleme geometrisi dikkate alınmaz. İki boyutlu parametrik olmayan modellerde, yükseklikten kaynaklanan etki de giderilememektedir. Bu modeller kontrol noktalarının dağılımına ve duyarlılığına bağlı sonuçlar üretirler (Topan, 2004). Parametrik modeller ise, görüntüleme sisteminin geometrisi ile ilgili bilgileri içeren ve parametrik olmayan modellere oranla üst düzey modellerdir. Bu model, YKN verilerinin doğruluğuna bağlı iken dağılımına bağlı değildir ve parametrik olmayan odellerden daha az sayıda YKN'na gereksinim duyulur (Toutin, 2003). Aşağıda, sadece bu çalışma kapsamında kullanılan modeller hakkında kısaca bilgi verilecektir.

2.1 Parametrik Olmayan Matematiksel Modeller

Bu çalışmada kullanılan parametrik olmayan modellerden afin dönüşüm iki, ATRC (Affine Terrain Relief Corrected: yükseklik düzeltmeli afin) ve DLT (Direct Linear Transformation: Dolaysız Doğrusal Transformasyon)

yaklaşımları ise üç boyutlu YKN koordinatlarını kullanmaktadır. Bu yaklaşımlar hakkında temel bazı bilgiler aşağıdaki gibidir.

2.1.1 Afin Dönüşüm

Polinomal yaklaşımın birinci derece hali olan afin dönüşümün matematiksel yapısı aşağıda verilmektedir.

$$x_i = a_{00} + a_{10}X_i + a_{01}Y_i; \quad y_i = b_{00} + b_{10}X_i + b_{01}Y_i \quad (1)$$

Burada (a, b) : dönüşüm katsayıları, (x, y) : YKN'lerin görüntü koordinatları, (X, Y) : YKN'lerin yer koordinatlarıdır ($i:1(1)N$, N : YKN sayısı). Genellikle düşük geometrik çözünürlüğe sahip görüntüler için kullanılan, ancak IRS-1C ve SPOT gibi orta çözünürlükteki görüntüler için de kullanılabilen bu dönüşüm yöntemi, görüntünün her iki eksenindeki öteleme, dönüklük ve ölçekten kaynaklı etkiyi gidermektedir. YKN'larına ait yükseklik değeri dikkate alınmadığı için YKN'nın yüksekliğinden dolayı oluşan konum hatasını gidermek mümkün olmamaktadır. Bu etki, afin dönüşümün değiştirilmiş hali olan ATRC yaklaşımında giderilmektedir.

2.1.2 ATRC Yaklaşımı

Yükseklikten kaynaklanan etki X ve Y koordinatlarında:

$$\Delta X = \frac{-(Z - Z_0) \sin a}{\tan e}; \quad \Delta Y = \frac{-(Z - Z_0) \cos a}{\tan e} \quad (2)$$

ile ifade edilebilen bir etkiye yol açmaktadır. Burada Z : YKN'nin yüksekliği, Z_0 : referans yükseklik, a : algılama sistemini azimutu, e : algılayıcı yükseklik açısı ve $(\Delta X, \Delta Y)$: planimetrik değişimdir. Yükseklikte kaynaklanan bu etki ile afin dönüşüm aşağıdaki gibi tek bir eşitlikte birleştirilebilir (Büyüksalih et. al., 2003):

$$x_i = a_1 + a_2X_i + a_3Y_i + a_4Z_i; \quad y_i = b_1 + b_2X_i + b_3Y_i + b_4Z \quad (3)$$

ATRC, afin dönüşüm gibi doğrusal bir yapıya sahiptir ve sekiz parametrelidir (Büyüksalih et. al., 2003). Bu yöntem, üç boyutlu afin dönüşüm olarak da adlandırılmaktadır. Ancak burada bu adlandırma yerine "yükseklik düzeltmeli" afin dönüşüm ifadesi kullanılmaktadır. Bunun nedeni, üç boyutlu afin dönüşümün üç boyutlu iki koordinat sistemi arasında kullanılmasıdır. Oysa burada kullanılan koordinat sistemlerinden görüntü koordinat sistemi iki boyutludur ve dolayısıyla afin dönüşüm, YKN'lere ait yükseklik değerini kullanarak üç boyutlu yer ve iki boyutlu görüntü koordinat sistemi arasında dönüşüm yapmaktadır (Topan, 2004).

2.1.3 DLT Yaklaşımı

Bu yöntem, fotogrametride sıkça kullanılan kolinearite bağıntılarının metrik olmayan fotogrametrik çalışmalar için değiştirilmiş halidir. Metrik olmayan sistemlerle yapılan fotogrametri uygulamalarında, kameranın iç ve dış dönüklük elemanları bilinmemektedir ve bu nedenle DLT yöntemi, bu ve benzeri çalışmalar için kullanılabilir. Benzer olarak bu yöntem, uzaktan algılamada da bu amaçla kullanılabilir (Abdel-Aziz and Karara, 1971). DLT yönteminin genel eşitliği,

$$x_i = \frac{L_1X_i + L_2Y_i + L_3Z_i + L_4}{L_9X_i + L_{10}Y_i + L_{11}Z_i + 1}; \quad y_i = \frac{L_5X_i + L_6Y_i + L_7Z_i + L_8}{L_9X_i + L_{10}Y_i + L_{11}Z_i + 1} \quad (4)$$

şeklinindedir. Burada L : modelin katsayılarıdır.

2.2 Parametrik Matematiksel Modeller

Daha önce de değinildiği gibi, parametrik matematiksel modeller, görüntü alım geometrisini dikkate alan modellerdir. Bu modellerden bu çalışmada kullanılan PCI Geomatica OrthoEngine V 9.1.4'de işletilen SOM (Satellite Orbital Modeling) ve Hannover Üniversitesi BLUH yazılımında yer alan CORIKON yaklaşımından bahsedilecektir. Ancak bu yöntemlerin özellikleri genel hatlarıyla bilinmekte, matematiksel modelleri ise verilmemektedir. Bu çalışmada sadece bu matematiksel modellere ait yazılımların yürütümü gerçekleştirilebilmiştir.

SOM, CCRS (Canadian Center for Remote Sensing)'den Dr. Therry Toutin tarafından, doğrusal dizi sistemler için geliştirilmiştir. Bu yaklaşım, uydu yörünge ve parametrelerini belirler. Ayrıca, i) Görüntüleme sistemini taşıyan uydunun konum, hız ve dönüklük değişimleri, ii) Görüntüleme süresindeki değişimler, bakış açısı ve IFOV'dan kaynaklı etkiler, iii) Yerin küreselliği, iv) Harita projeksiyonundan kaynaklanan etkiler dikkate alınmaktadır. Bu

IRS-1C/1D DÜZEY 1B GÖRÜNTÜSÜNÜN GEOMETRİK ANALİZİNİN SENSÖR YÖNELTME MODELLERİYLE VE DEĞİŞİK REFERANS VERİLERİYLE İRDELENMESİ

model, görünür ve kızılötesi (Landsat 5 ve 7, SPOT, IRS, ASTER ve KOMPSAT gibi) ve RADAR (örn: ERS, JERS, SIR-C ve RADARSAT) görüntüleri için kullanılabilir. Bu yöntem, yatayda ve düşeyde YKN dağılımına duyarlı değildir (Toutin, 2003).

Hannover Üniversitesi öğretim üyesi Dr. Ing. Karsten Jacobsen tarafından geliştirilen CORIKON yazılımında ise sensörlerden yeryüzüne olan bakış açısı belirlenmekte ve böylece her bir yüzey noktasıyla görüntü noktası arasındaki ilişki kurulmaktadır.

3. KULLANILAN VERİLER VE UYGULAMA SONUÇLARI

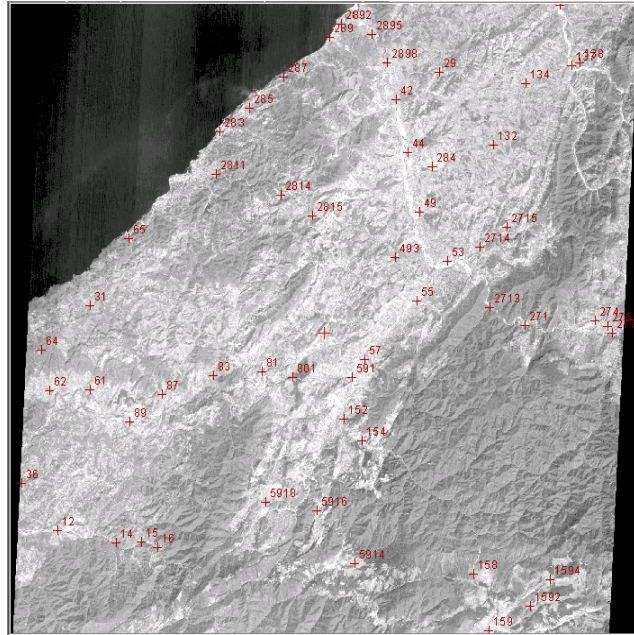
Uygulama, Zonguldak, Bartın, Düzce ve Bolu illerinin bazı kısımlarını kapsayan bir test alanında yürütülmüştür. Zonguldak il sınırları çalışma alanının büyük bir kısmını örtmektedir. Uygulamada IRS-1C'ye ait yörünge düzeltilmiş (düzey 1B) pankromatik mono görüntüsü ve üç farklı set olarak hazırlanan YKN-BDN verileri kullanılmıştır. IRS-1C uydu görüntüsüne ait teknik özellikler Tablo 2'de, YKN-BDN kümelerine ait özellikler ise Tablo 3'de verilmektedir. Şekil 1 ise YKN dağılımına örnek olması açısından GPS nokta dağılımını göstermektedir.

| | |
|---------------------------|--|
| Uydu | IRS-1C |
| Çekim Tarihi | 04.09.2000 |
| Boyutları (sütun/satır) | 14848 / 14170 (piksel) |
| Çekim saati (yerel) | 08:52:06:777 |
| Düzeği | Yörünge düzeltilmiş |
| Projeksiyonu ve Elipsoidi | SOM, Uluslararası 1909 |
| Yan Bakış Açısı | 2.04° |
| Yer piksel çözünürlüğü | 5.8 m (görün.sırasında) 5.0 m (pazarlanırken) |
| Firma | EUROMAP |
| Kaplanan Alan | 70x70 km ² |
| Format | EOSAT Fast Format |

Tablo 2: Kullanılan görüntünün özellikleri

| YKN BDN Kümesi | Küme I | Küme II | Küme III |
|----------------|---------------------------|--|--------------------------------|
| Kaynak | 1:25000 ölçekli haritalar | 1:1000, 1:2000, 1:4000 ölçekli haritalar | GPS Bağlı Konumlama Gözlemleri |
| Üretici | HGK | TCK, HGK, TKGM | ZKÜ JFM Böl. |
| Σ Nokta | 71 | 90 | 54 |
| Altlık | Kağıt | Kağıt | Sayısal |

Tablo 3: Kullanılan YKN-BDN kümeleri



Şekil 1: IRS-1C/1D pankromatik görüntüsü üzerinde GPS noktalarının dağılımı

Küme I'i, 1:25000 ölçekli haritalardan sayısallaştırılan ve genellikle yol kavşakları ve köprüler üzerinde seçilen noktalar oluşturmaktadır. HGK (Harita Genel Komutanlığı)'nın internet sitesinde ilgili haritaların ortalama yatay konum doğruluğu 5 m olarak verilmektedir (HGK, 2004). Bu değer, teorik bir değer olarak kabul edilebilir. Ancak, gerçekte yatay doğruluğun bundan daha da kötü olduğu söylenebilir. Bununla beraber, bu kestirime nokta sayısallaştırma doğruluğunun etkisini katmak gerekir. Bu tür haritalardan sayısallaştırılan YKN'ler, IRS-1C görüntüsünün geometrik analizi amaçlı daha önceki çalışmalarda kullanılmıştır. Toutin et. al. (1998), ve Zoj (1999)'da 70x70 km²'lik, Türker ve Gacamer (2004)'de 25x25 km²'lik IRS-1C görüntülerinin değerlendirilmesi, bu tür YKN ile gerçekleştirilmiştir. İlk çalışmada alt-piksel düzeyinde bir geometrik doğruluğa ulaşıırken, diğer iki çalışmada doğruluk, 1 piksel düzeyinde kalmıştır.

İkinci YKN-BDN kümesi, 1:1000, 1:2000, 1:4000 ve 1:5000 ölçekli çizgisel haritalardan sayısallaştırılan noktalardan oluşmaktadır. Bu kümede noktalar, yolların genellikle vadileri izlemesi ve yerleşim yerlerinden geçmesi nedeniyle arzu edilen şekilde uygun dağıtılmıştır. Özellikle yüksekliğin 1600 m düzeyinde olduğu dağlık bölümlerde yerleşim olmaması ve dolayısıyla bu bölgelere ait 1:5000 ölçekli haritaların yokluğu nedeniyle buralarda nokta elde edilememiştir. Kullanılan bu harita altlıklarının doğruluğunun 1 m ve altında olduğu düşünülmektedir.

GPS gözlemleri ile oluşturulan Küme III, GPS gözlemlerinin sağladığı doğruluk açısından en hassas kümeyi oluşturmaktadır. Bu kümede de noktalar genellikle yol güzergahlarında alınmış ve dolayısıyla vadiler takip edilmiştir. Bu kümenin diğerlerine oranla önemli bir özelliği, görüntü ile arazi arasında doğrudan ilişki kurularak noktaların derlenmesidir. Diğerlerinde ise haritalar kullanılmış ve dolayısıyla gerçek arazi ile değil, onun genelleştirilmiş ve bazen de abartılarak sunulmuş halinden yararlanılmıştır. Bu tür kontrol noktaları, 25x25 km'lik IRS-1C görüntü parçasının rektifikasyonunda kullanılmış ve yaklaşık 0.5 piksel düzeyinde bir doğruluk değeri elde edilmiştir (Türker ve Gacamer, 2004). Nokta dağılımına bir örnek olarak, GPS gözlemlerine ait YKN dağılımı, Şekil 1'de gösterilmektedir.

Çalışmada, tüm YKN-BDN'lerin görüntü koordinatları, PCI Geomatica OrthoEngine V 9.1.4 ticari bir yazılımı kullanılarak elde edilmiştir ve bu yazılım Dr. Toutin'e ait olan SOM yöntemiyle geometrik doğruluğunun incelenmesi için de kullanılmıştır. Yazılımla, BDN'ler için de doğruluklar belirlenebilmektedir. YKN'lerin görüntü koordinatları, en iyi görüşün sağlandığı 4 kat büyütme ile okunmuştur. Hannover Üniversitesi BLUH yazılımının bir alt programı olan CORIKON yazılımının, YKN-BDN testi yapacak özelliği bulunmadığından doğruluk sonuçları sadece YKN'ler için verilmiştir.

Her bir matematiksel model, tüm kümeler için kullanılmış ve CORIKON dışındaki diğer yazılımlarla BDN testi de yapılmıştır. Testlere ilişkin doğruluk sonuçları tablolarla ve grafiklerle verilmiş; ancak hata vektörlerinin dağılımı metinde gösterilememiştir.

YKN Kümesi I (1:25000), en uygun nokta dağılımına sahip kümedir. En iyi düzeyde doğruluk değerleri DLT yöntemiyle yaklaşık 1.8 piksel (≈ 9 m) düzeyinde elde edilmiştir (Tablo 4). Diğer modellerle 2 piksel düzeyinin altına düşülemediği. Bu durum, YKN'lerin sayısallaştırıldığı 1:25000 ölçekli haritaların konum doğruluğunun kısıtlayıcı etken olduğunu göstermektedir. Afin dönüşüm ile ATRC modeli arasında herhangi büyük bir fark olmadığı görülmektedir. DLT modeli, her iki eksen doğrultusundaki doğruluk değerlerini dengeye getirmekte, ancak değişik YKN-BDN konfigürasyonlarında özellikle YKN sayısı azaldıkça doğruluğun giderek azaldığı görülmektedir. Bu durum Şekil 2'de rahatlıkla görülmektedir. Yörünge modellemesi algoritmasına dayanan SOM ve CORIKON modelleri birbirine oldukça yakın değerler üretmektedirler. SOM için 7 adet uygun dağılımdaki YKN ile makul sonuçlar elde edildiği, bundan daha az sayıdaki kontrol noktasıyla yazılımın kaba doğruluk değerleri ürettiği görülmektedir. Bütün bu sonuçlar, 1:25000 ölçekli haritalardan üretilen YKN'lerle IRS-1C yörünge düzeltmeli uydu görüntüsünün geometrik doğruluğunun test sonuçlarının haritaların kendi doğruluk düzeylerinden ayıramayacağını göstermektedir. Bu küme için elde edilen hata vektörlerine bakıldığında bütün modellerin hemen hemen birbirine benzer vektör paterni verdiği görülmektedir. Genel olarak, rastgele bir vektör yapısı ortaya çıksa da, lokal anlamda bazı sistematikliğin olduğu görülmektedir.

YKN Kümesi II (Yol) ile, özellikle y doğrultusunda 1 piksellik doğruluk düzeyine ulaşıldığı görülmektedir (Tablo 5 ve Şekil 3). YKN'lerin uygun olmayan dağılımı ve kağıt altlıklardan sayısallaştırılmasından kaynaklı faktörlerin sonuç doğruluğa etkisi ayırt edilememektedir. ATRC modeli, bu durumda da afin dönüşüme göre doğrulukta bir düzeltme sağlamamaktadır. SOM ve CORIKON modeli özellikle y doğrultusunda eşit doğruluk değeri üretirken, SOM ile ATRC'nin birbirine çok yakın doğruluk değerleri ürettiği görülmektedir. Hata vektörlerinin özellikle seçilen yol güzergahları boyunca sistematik dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. Büyük vektörlerin kenarda oluştuğu tespitinin yanısıra az hatalı vektörlerin test alanının ortalarında yer aldığı gözlenmiştir. Lokal sistematik etki, noktalar gruplar halinde değerlendirildiğinde görülmektedir.

Küme III sonuçlarına bakıldığında (Tablo 6), Küme II'ye benzer bir trend hemen görülmektedir. Yine DLT modeli en yüksek düzeyli doğruluk değerlerini üretirken, bu modelin x ve y yönündeki doğruluk değerleri dengelediği ve azalan kontrol noktası sayısı ile kaba doğruluk değerleri ürettiği görülmektedir (Şekil 4). ATRC modeli, bu nokta kümesiyle afin dönüşüme göre, daha iyi doğruluk değerleri üretmiştir. Bu durum, özellikle x eksen doğrultusunda görülmektedir. Bu normaldir, çünkü bu model yükseklikten kaynaklanan nokta kaymasının etkisini gidermektedir. Bu etki de özellikle x yönünde doğruluğu etkilemektedir. ATRC modeliyle x yönünde afin dönüşüme göre yaklaşık 0.7 m'lik doğruluk artışı yaşanmıştır. SOM'un 7 adet kontrol noktasıyla birlikte makul sonuçlar üretebildiği saptanmıştır. Hata vektörlerine bakıldığında, tüm matematiksel modellerin benzer vektör paterni ürettiği, özellikle ATRC modelinin x yönünde etkiyi azalttığı, lokal sistematik etkinin görüldüğü ve büyük vektörlerin test alanının uçlarında yer aldığı gözlenmektedir.

Çalışma kapsamında görüntünün etkin piksel boyu 1.2 piksel (6 piksel) olarak belirlenmiştir. Bu durumda görüntünün orijinal piksel büyüklüğünü (5.8 m) koruduğu görülmektedir.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada görüldüğü üzere, orta çözünürlüklü görüntülerin geometrik analizinde, kullanılan görüntünün teknik özellikleri, kullanılan verilerin niteliği ve matematiksel modeller önem taşımaktadır. Bu çalışmada ele alınan görüntünün formatı fast formattır ve bu nedenle ayrıntılı yörünge bilgileri taşımamaktadır. Bu, özellikle parametrik

IRS-1C/1D DÜZEY 1B GÖRÜNTÜSÜNÜN GEOMETRİK ANALİZİNİN SENSÖR YÖNELTME MODELLERİYLE VE DEĞİŞİK REFERANS VERİLERİYLE İRDELENMESİ

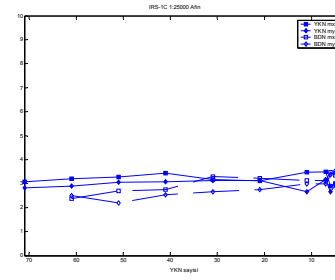
modeller için olumsuz bir durumdur. Kullanılan YKN-BDN'lerin, görüntünün yer piksel büyüklüğü de göz önüne alınarak, uygun bir duyarlılığa sahip olmaları gerekmektedir. Çalışmada her ne kadar piksel altı düzeyde doğruluğa ulaşılmadıysa da GPS gözlemleriyle yapılan değerlendirmelerin, özellikle 1:25000 ölçekli haritalarla yapılan değerlendirmelere göre çok daha iyi sonuçlar ürettiği ortadadır. Tüm değerlendirmelerde, YKN ve BDN dağılımı olabildiğince iyi yapılmaya çalışılmıştır. Bu nedenle, YKN sayısı düştükçe, BDN doğruluğunda bariz bir değişimin olmadığı söylenebilir. Genel bir değerlendirme yapıldığında, DLT yaklaşımı, nokta sayısına duyarlı olmasına rağmen, en iyi doğruluk değerlerini üreten model olarak ön plana çıkmaktadır. Ancak SOM da özellikle ikinci ve üçüncü kümelerde oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Görüntünün 1.2 piksellik etkin piksel boyu, görüntü üzerinde YKN-BDN toplanmasını da etkilediği için, elde edilen sonuçlar üzerinde olumsuz etkisi vardır.

TEŞEKKÜR

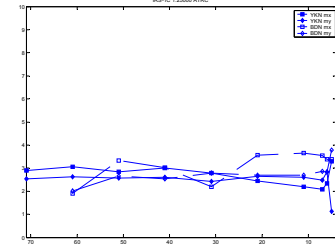
Yazarlar, bu çalışmanın yürütülmesindeki desteklerinden dolayı, Sn. Yük. Müh. Murat Oruç'a, Sn. Dr. Ing. Karsten Jacobsen'e, TÜBİTAK'a ve Jülich Research Centre'a (Almanya) teşekkür eder.

| Model | YKN | BDN | YKN (piksel) | | | BDN (piksel) | | |
|---------|-----|-------|--------------|-------|-------|--------------|-------|-------|
| | | | mx | my | ms | mx | my | ms |
| Afin | 71 | 0 | 3.07 | 2.83 | 4.18 | - | - | - |
| | 61 | 10 | 3.21 | 2.90 | 4.32 | 2.37 | 2.50 | 3.44 |
| | 51 | 20 | 3.27 | 3.06 | 4.48 | 2.69 | 2.19 | 3.47 |
| | 41 | 30 | 3.44 | 3.07 | 4.61 | 2.76 | 2.54 | 3.75 |
| | 31 | 40 | 3.17 | 3.13 | 4.46 | 3.30 | 2.67 | 4.24 |
| | 21 | 50 | 3.11 | 3.14 | 4.42 | 3.23 | 2.76 | 4.25 |
| | 11 | 60 | 3.48 | 2.66 | 4.38 | 3.14 | 2.98 | 4.33 |
| | 7 | 64 | 3.49 | 3.16 | 4.71 | 3.14 | 2.99 | 4.34 |
| | 6 | 65 | 2.90 | 2.67 | 3.94 | 3.48 | 3.36 | 4.84 |
| | 5 | 66 | 3.00 | 2.91 | 4.18 | 3.35 | 3.53 | 4.87 |
| 4 | 67 | 1.22 | 0.05 | 1.22 | 3.26 | 3.32 | 4.65 | |
| ATRC | 71 | 0 | 2.90 | 2.54 | 3.86 | - | - | - |
| | 61 | 10 | 3.06 | 2.63 | 4.03 | 1.90 | 2.01 | 2.77 |
| | 51 | 20 | 2.85 | 2.57 | 3.84 | 3.33 | 2.66 | 4.26 |
| | 41 | 30 | 3.01 | 2.60 | 3.98 | 3.03 | 2.54 | 3.95 |
| | 31 | 40 | 2.78 | 2.42 | 3.69 | 2.19 | 2.78 | 3.54 |
| | 21 | 50 | 2.45 | 2.64 | 3.60 | 3.57 | 2.70 | 4.48 |
| | 11 | 60 | 2.19 | 2.60 | 3.40 | 3.66 | 2.70 | 4.55 |
| | 7 | 64 | 2.08 | 2.48 | 3.24 | 3.54 | 2.86 | 4.55 |
| | 6 | 65 | 2.34 | 2.84 | 3.68 | 3.38 | 2.83 | 4.41 |
| | 5 | 66 | 3.30 | 1.12 | 3.48 | 3.38 | 3.79 | 5.08 |
| DLT | 71 | 0 | 1.86 | 1.77 | 3.17 | - | - | - |
| | 61 | 10 | 2.83 | 2.64 | 3.87 | 0.83 | 1.65 | 1.85 |
| | 51 | 20 | 2.65 | 2.66 | 3.75 | 2.99 | 2.20 | 3.71 |
| | 41 | 30 | 2.79 | 2.75 | 3.92 | 2.79 | 2.24 | 3.58 |
| | 31 | 40 | 2.62 | 2.55 | 3.66 | 2.99 | 2.62 | 3.97 |
| | 21 | 50 | 2.28 | 2.60 | 3.46 | 3.37 | 2.77 | 4.36 |
| | 11 | 60 | 2.28 | 2.56 | 3.43 | 3.44 | 2.69 | 4.37 |
| | 7 | 64 | 0.29 | 2.40 | 2.42 | 3.45 | 3.08 | 4.63 |
| | 6 | 65 | 0.81 | 3.88 | 3.96 | 3.71 | 3.41 | 5.04 |
| | 5 | 66 | 2.76 | 2.48 | 3.71 | - | - | - |
| SOM | 71 | 0 | 2.76 | 2.48 | 3.71 | - | - | - |
| | 61 | 10 | 2.94 | 2.56 | 3.90 | 1.35 | 2.10 | 2.50 |
| | 51 | 20 | 3.00 | 2.49 | 3.90 | 2.31 | 2.76 | 3.60 |
| | 41 | 30 | 3.05 | 2.48 | 3.94 | 2.75 | 2.63 | 3.81 |
| | 31 | 40 | 2.94 | 2.26 | 3.70 | 3.03 | 2.87 | 4.17 |
| | 21 | 50 | 2.71 | 2.28 | 3.54 | 2.93 | 3.00 | 4.19 |
| | 11 | 60 | 2.61 | 1.96 | 3.26 | 3.40 | 2.99 | 4.53 |
| | 7 | 64 | 1.25 | 1.23 | 1.75 | 5.02 | 3.32 | 6.02 |
| | 6 | 65 | 0.00 | 1.28 | 1.28 | 3.85 | 3.19 | 5.00 |
| | 5 | 66 | 26.39 | 31.95 | 41.44 | 21.06 | 26.24 | 33.64 |
| 4 | 67 | 30.95 | 17.40 | 35.51 | 49.75 | 48.26 | 69.31 | |
| 2 | 69 | 45.52 | 20.13 | 49.77 | 55.97 | 49.69 | 74.84 | |
| CORIKON | 71 | 0 | 2.59 | 2.56 | 3.64 | - | - | - |

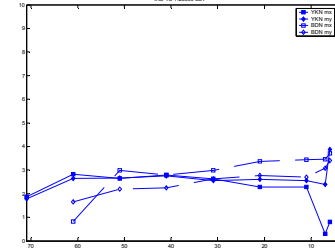
Tablo 4: Küme I için doğruluk değerleri



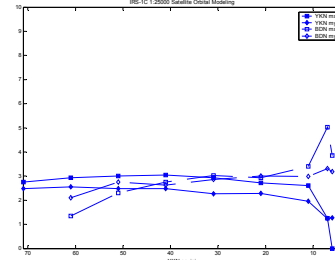
Afin



ATRC



DLT

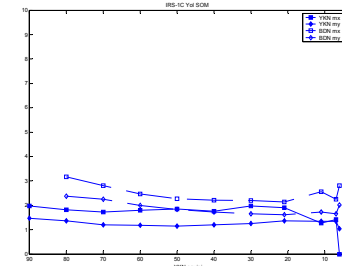
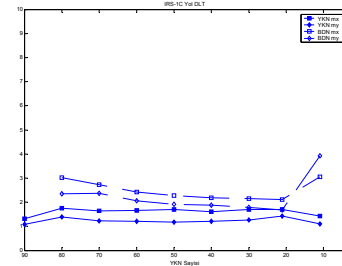
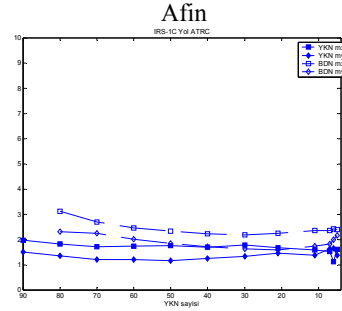
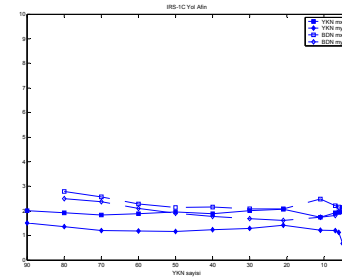


SOM

Şekil 2: Küme I için YKN-BDN doğruluk testi sonuçları

| Model | YKN | BDN | YKN (piksel) | | | BDN (piksel) | | | |
|-------|---------|-----|--------------|------|------|--------------|-------|-------|------|
| | | | mx | my | ms | mx | my | ms | |
| Afin | 90 | 0 | 2.01 | 1.51 | 2.51 | - | - | - | |
| | 80 | 10 | 1.92 | 1.37 | 2.36 | 2.78 | 2.50 | 3.74 | |
| | 70 | 20 | 1.84 | 1.20 | 2.20 | 2.58 | 2.37 | 3.50 | |
| | 60 | 30 | 1.89 | 1.18 | 2.23 | 2.28 | 2.10 | 3.10 | |
| | 50 | 40 | 1.95 | 1.16 | 2.27 | 2.13 | 1.91 | 2.86 | |
| | 40 | 50 | 1.89 | 1.24 | 2.26 | 2.15 | 1.77 | 2.78 | |
| | 30 | 60 | 2.01 | 1.29 | 2.39 | 2.09 | 1.68 | 2.68 | |
| | 21 | 69 | 2.06 | 1.41 | 2.50 | 2.08 | 1.62 | 2.64 | |
| | 11 | 79 | 1.75 | 1.22 | 2.13 | 2.48 | 1.74 | 3.03 | |
| | 7 | 83 | 1.92 | 1.20 | 2.26 | 2.22 | 1.81 | 2.86 | |
| | 6 | 84 | 1.94 | 1.13 | 2.24 | 2.15 | 1.97 | 2.92 | |
| | 5 | 85 | 1.96 | 0.68 | 2.07 | 2.13 | 2.16 | 3.03 | |
| | 4 | 86 | 0.06 | 0.74 | 0.74 | 2.45 | 2.19 | 3.29 | |
| ATRC | 90 | 0 | 1.97 | 1.50 | 2.48 | - | - | - | |
| | 80 | 10 | 1.81 | 1.36 | 2.26 | 3.11 | 2.30 | 3.87 | |
| | 70 | 20 | 1.72 | 1.21 | 2.10 | 2.70 | 2.25 | 3.51 | |
| | 60 | 30 | 1.73 | 1.20 | 2.10 | 2.46 | 2.01 | 3.18 | |
| | 50 | 40 | 1.75 | 1.17 | 2.11 | 2.33 | 1.85 | 2.97 | |
| | 40 | 50 | 1.70 | 1.25 | 2.11 | 2.22 | 1.72 | 2.81 | |
| | 30 | 60 | 1.78 | 1.33 | 2.22 | 2.18 | 1.63 | 2.72 | |
| | 21 | 69 | 1.66 | 1.46 | 2.05 | 2.24 | 1.58 | 2.47 | |
| | 11 | 79 | 1.58 | 1.37 | 2.09 | 2.36 | 1.73 | 2.93 | |
| | 7 | 83 | 1.53 | 1.63 | 2.24 | 2.35 | 1.81 | 2.97 | |
| | 6 | 84 | 1.12 | 1.65 | 1.99 | 2.41 | 2.00 | 3.13 | |
| | 5 | 85 | 1.60 | 1.37 | 2.11 | 2.40 | 2.15 | 3.22 | |
| | DLT | 90 | 0 | 1.31 | 1.07 | 1.69 | - | - | - |
| 80 | | 10 | 1.74 | 1.39 | 2.22 | 3.02 | 2.35 | 3.83 | |
| 70 | | 20 | 1.64 | 1.23 | 2.05 | 2.72 | 2.36 | 3.60 | |
| 60 | | 30 | 1.66 | 1.20 | 2.05 | 2.42 | 2.05 | 3.17 | |
| 50 | | 40 | 1.69 | 1.17 | 2.05 | 2.28 | 1.92 | 2.98 | |
| 40 | | 50 | 1.61 | 1.21 | 2.02 | 2.18 | 1.87 | 2.87 | |
| 30 | | 60 | 1.70 | 1.26 | 2.11 | 2.14 | 1.79 | 2.79 | |
| 21 | | 69 | 1.69 | 1.43 | 2.22 | 2.11 | 1.67 | 2.69 | |
| 11 | | 79 | 1.42 | 1.10 | 1.80 | 3.06 | 3.92 | 4.97 | |
| 7 | | 83 | 2.23 | 6.82 | 7.17 | 11.42 | 13.04 | 17.33 | |
| 6 | | 84 | 2.62 | 6.09 | 6.63 | 13.06 | 15.60 | 20.35 | |
| SOM | | 90 | 0 | 1.97 | 1.48 | 2.47 | - | - | - |
| | | 80 | 10 | 1.82 | 1.37 | 2.28 | 3.16 | 2.37 | 3.95 |
| | 70 | 20 | 1.72 | 1.20 | 2.09 | 2.81 | 2.24 | 3.59 | |
| | 60 | 30 | 1.79 | 1.19 | 2.14 | 2.47 | 1.99 | 3.17 | |
| | 50 | 40 | 1.85 | 1.14 | 2.17 | 2.26 | 1.83 | 2.91 | |
| | 40 | 50 | 1.76 | 1.20 | 2.13 | 2.21 | 1.73 | 2.81 | |
| | 30 | 60 | 1.98 | 1.25 | 2.34 | 2.20 | 1.65 | 2.75 | |
| | 21 | 69 | 1.91 | 1.37 | 2.35 | 2.13 | 1.61 | 2.67 | |
| | 11 | 79 | 1.27 | 1.35 | 1.85 | 2.55 | 1.73 | 3.08 | |
| | 7 | 83 | 1.42 | 1.34 | 1.95 | 2.25 | 1.66 | 2.80 | |
| | 6 | 84 | 0.00 | 1.03 | 1.03 | 2.81 | 2.01 | 3.45 | |
| | CORIKON | 88 | 0 | 1.72 | 1.44 | 2.24 | - | - | - |

Tablo 5: Küme II için doğruluk değerleri



Şekil 3: Küme II için YKN/BDN doğruluk testi sonuçları

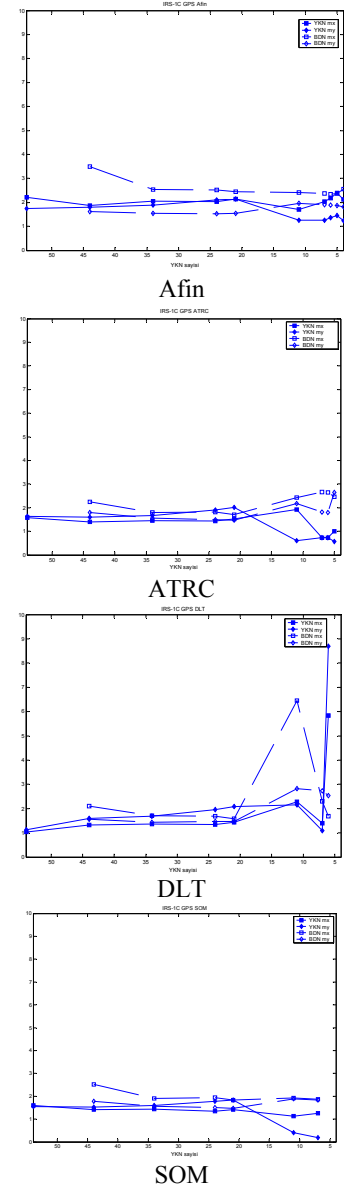
KAYNAKLAR

- Abdel-Aziz, Y. I. and Karara, M., 1971. *Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry*, American Society of Photogrammetry Symposium on Close-Range Photogrammetry, pp. 420-475.
- Büyüksalih, G., Oruç, M. and Koçak, M. G., 2003. *Geometric accuracy testing of Ikonos geo-product mono imagery using different sensor orientation models*, Turkish Journal of Engineering Environmental Science, Vol. 27, 347-360 pp.
- Cheng, P. and Toutin, T., 2004. *Unlocking the Potential for IRS-IC Data Geometric Correction and Data Fusion Processes Offer the Key to New Applications and Users*, Earth Observation Magazine, <http://www.eomonline.com/Common/Archives/March%20098/cheng.htm>.
- EUROMAP, EUROMAP A GAF Company, IRS-IC, http://www.euromap.de/docs/doc_002.html, 01 Nisan 2004

IRS-1C/1D DÜZEY 1B GÖRÜNTÜSÜNÜN GEOMETRİK ANALİZİNİN SENSÖR YÖNELTME MODELLERİYLE VE DEĞİŞİK REFERANS VERİLERİYLE İRDELENMESİ

| Model | YKN | BDN | YKN (piksel) | | | BDN (piksel) | | |
|---------|-----|-----|--------------|--------|--------|--------------|--------|--------|
| | | | mx | my | ms | mx | my | ms |
| Afin | 54 | 0 | 2.22 | 1.75 | 2.82 | - | - | - |
| | 44 | 10 | 1.87 | 1.80 | 2.60 | 3.50 | 1.62 | 3.86 |
| | 34 | 20 | 2.05 | 1.88 | 2.79 | 2.54 | 1.55 | 2.98 |
| | 24 | 30 | 2.03 | 2.11 | 2.92 | 2.51 | 1.53 | 2.94 |
| | 21 | 33 | 2.14 | 2.14 | 3.03 | 2.44 | 1.55 | 2.89 |
| | 11 | 43 | 1.71 | 1.26 | 2.12 | 2.41 | 1.95 | 3.10 |
| | 7 | 47 | 2.03 | 1.26 | 2.39 | 2.37 | 1.91 | 3.04 |
| | 6 | 48 | 2.18 | 1.37 | 2.57 | 2.34 | 1.89 | 3.01 |
| ATRC | 54 | 0 | 1.58 | 1.63 | 2.27 | - | - | - |
| | 44 | 10 | 1.39 | 1.59 | 2.11 | 2.25 | 1.80 | 2.88 |
| | 34 | 20 | 1.45 | 1.67 | 2.21 | 1.79 | 1.57 | 2.38 |
| | 24 | 30 | 1.43 | 1.90 | 2.38 | 1.82 | 1.49 | 2.35 |
| | 21 | 33 | 1.53 | 2.01 | 2.53 | 1.71 | 1.47 | 2.25 |
| | 11 | 43 | 1.93 | 0.61 | 2.02 | 2.43 | 2.18 | 3.26 |
| | 7 | 47 | 0.73 | 0.73 | 1.03 | 2.67 | 1.81 | 3.22 |
| | 6 | 48 | 0.73 | 0.73 | 1.03 | 2.65 | 1.80 | 3.20 |
| DLT | 54 | 0 | 1.04 | 1.13 | 1.54 | - | - | - |
| | 44 | 10 | 1.33 | 1.60 | 2.09 | 2.10 | 1.57 | 2.63 |
| | 34 | 20 | 1.36 | 1.69 | 2.17 | 1.70 | 1.44 | 2.23 |
| | 24 | 30 | 1.35 | 1.95 | 2.37 | 1.69 | 1.47 | 2.24 |
| | 21 | 33 | 1.43 | 2.09 | 2.53 | 1.58 | 1.47 | 2.16 |
| | 11 | 43 | 2.29 | 2.16 | 3.15 | 6.46 | 2.82 | 7.05 |
| | 7 | 47 | 1.40 | 1.09 | 1.77 | 2.31 | 2.73 | 3.58 |
| | 6 | 48 | 5.84 | 8.70 | 10.47 | 1.68 | 2.54 | 3.04 |
| SOM | 54 | 0 | 1.60 | 1.55 | 2.23 | - | - | - |
| | 44 | 10 | 1.41 | 1.53 | 2.08 | 2.51 | 1.78 | 3.08 |
| | 34 | 20 | 1.44 | 1.59 | 2.15 | 1.91 | 1.56 | 2.47 |
| | 24 | 30 | 1.34 | 1.77 | 2.22 | 1.94 | 1.50 | 2.45 |
| | 21 | 33 | 1.41 | 1.83 | 2.31 | 1.83 | 1.48 | 2.35 |
| | 11 | 43 | 1.13 | 0.41 | 1.20 | 1.93 | 1.88 | 2.69 |
| | 7 | 47 | 1.25 | 0.19 | 1.26 | 1.86 | 1.83 | 2.61 |
| | 6 | 48 | 0.05 | 0.21 | 0.21 | 66.51 | 1.81 | 66.53 |
| | 5 | 49 | 15.37 | 170.35 | 171.04 | 15.28 | 182.77 | 183.41 |
| | 4 | 50 | 16.21 | 194.44 | 195.11 | 15.90 | 192.39 | 193.05 |
| CORIKON | 2 | 52 | 26.28 | 276.44 | 277.69 | 24.57 | 254.90 | 256.08 |
| | 1 | 53 | 1.07 | 281.42 | 281.42 | 51.52 | 276.73 | 281.48 |

Tablo 6: Küme III için doğruluk değerleri



Şekil 4: Küme III için YKN/BDN doğruluk testi sonuçları

HGK, Harita Genel Komutanlığı, <http://www.hgk.mil.tr>, 25 Mayıs 2004

Jacobsen, K., 1999. *Geometric and information potential of IRSIC PAN-images*, International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Hamburg, Germany.

Kasturirangan, K., Aravamudan, R., Deekshatulu, B. L., Jodeph, G. and Chandrasekhar, M. G., 1997. *Indian Remote Sensing Satellite (IRS)-1C-The beginning of new era*, NNRMS Bulletin (B)-21, Bangalore, India.

Rajangam, R.K., 1997. *Indian Remote Sensing Satellite*, NNRMS Bulletin, Bangalore, India, Vol. 21.

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.

Toutin, T, Cheng, T. And Seidel, K., 1998. *Indian Remote Sensing Satellite: Geocoding and DEM extraction*, Proceedings of the 20th Canadian Remote Sensing Symposium, Calgary, Canada.

Toutin, T., 2003. *Error tracking in Ikonos geometric processing using a 3D parametric model*, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 69, pp. 43-51.

Türker, M. and Gacemer, A. O., 2004. *Geometric correction accuracy of IRS-1D PAN imagery using topographic map versus GPS control points*, International Journal of Remote Sensing, Vol. 25, No. 6, pp. 1095-1104.