TEMEL-DÜZEY PANKROMATİK QUİCKBİRD GÖRÜNTÜSÜNÜN FARKLI SENSÖR MODELLERİ KULLANILARAK ORTO-REKTİFİKASYONU

Ali Özgün Ok¹, Cem Güllüoğlu²,

¹Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri EABD, <u>oozgun@metu.edu.tr</u> ²Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri EABD, <u>cemgulluoglu@gmail.com</u>

ÖZET

Bu çalışmada, pankromatik Quickbird görüntülerinin ortorektifikasyonu için çeşitli sensör modelleme yaklaşımları test edilmiş ve ortorektifikasyon performansları karşılaştırılmıştır. Test edilen modeller arasında (i) yörünge ephemeris verilerini direk olarak kullanan Yörünge-Yönelim (orbit-attitude) modeli, (ii) çizgisel tarayıcıların çekim yapısına uygun olarak sensör modellenmesini gerçekleştiren Pozisyon-Dönüklük (position-rotation) modeli ve (iii) görüntü sağlayıcı firma tarafından görüntüye yardımcı veri olarak eklenen rasyonel polinom katsayıları (RPC) verisini kullanan Rasyonel Fonksiyon modeli bulunmaktadır. Test olarak kullanılan pankromatik Quickbird görüntüsü en az derecede işlenmiş ürün düzeyi olarak dağıtımı yapılan Basic1B olup, görüntünün sadece radyometrik, optik ve sensör içi hataları önceden düzeltilmiştir. Test edilen görüntü benzer çalışmalarda tercih edilen nadir bakış açısının aksine yatık bakış açısıyla (24.5°) çekilmiş olup, görüntü çekim açısının test edilen sensör modellerinin doğruluğuna etkisinin araştırılması için de önem arz etmektedir. Ortorektifikasyon için gerekli olan Yer Kontrol Noktaları (YKN), hava fotoğraflarından kıymetlendirilmesi yapılmış olan 1:1000-ölçekli sayısal vektör haritalardan toplanmıştır. Kullanılan referans veri setinin yatay ve düşey doğruluğunun ±20 cm civarında olduğu tahmin edilmektedir. Bu çalışmada, belirtilen referans veri setinden 158 adet nokta toplanmış ve farklı sayıda YKN ve Bağımsız Denetim Noktası (BDN) kombinasyonları ile test edilmiştir. 16 adet YKN ve 142 adet BDN ile gerçekleştirilen ortorektifikasyon sonuçlarına göre, Yörünge-Yönelim modeli BDN lerde toplam Karesel Ortalama Hata'da (KOH) 0.81 m. ile en doğru sonucu vermiştir. Aynı YKN ve BDN kombinasyonunda Pozisyon-Dönüklük modeli BDN'lerde 1.08 m. KOH üretmiştir. Fakat yapılan analizler sonucunda özellikle YKN sayısının az olduğu kombinasyonlarda doğru ortorektifikasyon sonuçlarına ulaşabilmek için Pozisyon-Dönüklük modelinin parametrelerinin dikkatlice analiz edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Rasyonel-Fonksiyon modeliyle elde edilen sonuçlarla, diğer iki modelin sonuçları arasında farklı bir eğilim gözlenmiştir. Rasyonel-Fonksiyon modelinin derecesinin 1 olduğu durum için elde edilen BDN KOH değeri 0.93 m. 'dir.

Anahtar Sözcükler: Ortorektifikasyon, Quickbird, Yörünge-Yönelim Modeli, Pozisyon-Dönüklük Modeli, Rasyonel Fonksiyonlar

ABSTRACT

ORTHORECTIFICATION OF BASIC-LEVEL QUICKBIRD PANCHROMATIC IMAGERY WITH DIFFERENT SENSOR MODELS

In this study, various sensor modeling approaches for the orthorectification of Quickbird panchromatic imagery were tested and the orthorectification performances were compared. The sensor models tested include Orbit-Attitude models that fully utilize orbital ephemeris information, Position-Rotation models that are collected along a scan line with each line having its own perspective center and rotation angles which are modeled by polynomial functions, and Rational-Function models that utilize the rational polynomial coefficients (RPCs) appended to the image metadata by the image provider. The Quickbird panchromatic image used in this study correspond to the least processed image product level - Basic1B, where only corrections for radiometric distortions and adjustments for internal sensor geometry, optical and sensor distortions have been performed. On the contrary to the similar previous studies, the tested image was acquired with a large off-nadir angle (24.5°); therefore, the effect of off-nadir angle to the final accuracies of the sensor models was also tested. 1:1000-scale digital vector maps that were created from aerial image surveys were used to collect the Ground Control Points (GCPs). The accuracy of the used reference dataset was estimated to be ± 20 cm both in planimetry and elevation. A total of 158 points were collected from the reference dataset, and different tests were carried out for different GCP and Independent Check Point (ICP) combinations. Based on the results computed using 16 GCPs and 142 ICPs, for the ICPs, the Orbit-Attitude model provided the highest accuracy with a total Root Mean Square (RMS) error of 0.81 meters. The Position-Rotation model provided 1.08 m accuracy for the same GCP-ICP combination; however, if the number of GCPs was relatively low, the model parameters must be carefully analyzed and tuned to achieve reliable results. A different trend was observed with the results obtained from the Rational-Function model and the results of the other two models. 0.93 m. ICP accuracy was computed for the Rational-Function model in a condition where the RPC adjustment order was defined as one.

Keywords: Orthorectification, Quickbird, Orbit-Attitude Model, Position-Rotation Model, Rational Functions

1. GİRİŞ

Uzun yıllar boyunca "yüksek çözünürlüklü" uydu görüntülerine erişim yalnızca askeri amaçlarla sınırlı kalmıştır. 1991 yılında soğuk savaşın sona ermesiyle bu durum geçerliliğini yitirmeye başlamış; takip eden yıllarda "yüksek çözünürlüklü" uydu görüntüleri sivil haritacılık ve konumsal bilgi ihtiyaçlarının karşılanması için kolay erişilebilen ekonomik kaynaklar haline gelmiştir (Jacobsen, 2004). 1999 yılında fırlatılan IKONOS yer gözlem uydusu 1 m./piksel (görüntü merkezinde 82cm./piksel) yersel örnekleme aralığı sunabilen ilk sivil, ticari kullanıma açık "çok yüksek çözünürlüklü" elektro-optik yer gözlem uydusu olmuştur. Takip eden yıllarda operasyonel hale gelen benzer amaçlı yer gözlem uyduları üzerinden elde edilen görüntüler; 60 cm./piksel QuickBird (2001), 1 m./piksel OrbView-3 (2003), 70 cm./piksel EROS-B (2005), 1 m./piksel Resourcesat-DK1 (2006), 1 m./piksel Kompsat-2 (2006), 45 cm./piksel WorldView-1 (2007), "çok yüksek çözünürlüklü" uydu görüntüleri pazarına çeşitlilik getirmiştir. Bu çalışma kapsamında da çok yüksek çözünürlüklü QuickBird yer gözlem uydusundan elde edilen temel düzey pankromatik görüntü farklı sensör modelleri kullanılarak ortorektifiye edilmiş ve bunun sonuçları tartışılmıştır.

OuickBird elektro-optik ver gözlem uvdusu 18 Ekim 2001 tarihinde 450 km.'deki vörüngesine firlatıldığından bu yana sivil ve ticari amaçlı kullanıma sunulmuş, halen en yüksek yersel çözünürlüğe sahip çok bantlı görüntü sağlanabilen (yeniden örnekleme ile keskinleştirilmiş modda 60cm./piksel) operasyonel platformdur. Platform üzerinde bulunan pankromatik algılayıcı görüntü merkezinde 61 cm./piksel (±25° merkez dışı bakış ile 72cm./piksel); çok bantlı algılayıcı ise merkezde 2.44 m./piksel (±25° merkez dışı bakış ile 2.88m./piksel) çözünürlüğünde algılama yapabilmektedir. Her iki algılayıcı da 11bit (2048 kademe) radyometrik derinliğe sahiptir. Platformda bulunan algılayıcıların operasyonel olarak uçuş ekseni boyunca ve/veya dik ±25° (teknik üst limit ±45°) yönlendirilebilmesi ihtiyaç halinde aynı alanın ortalama 3,5 gün aralıkla tekrar görüntülenebilmesini sağlamaktadır. Platform üzerinde yer alan pankromatik algılayıcı her biri kendi içerisinde 32 dizili zaman gecikmesi ve bütünleştirmesi sistemine sahip 6 adet ardışık doğrusal algılayıcının aynı odak düzleminde bütünlestirilmesi ile olusan toplamda 27.568 (27.552 efektif) piksele sahiptir (Liedtke, 2002). Benzer sekilde platformdaki cok bantlı algılavıcı her biri kendi icerisinde 4 farklı spektral aralığa (Mavi, Yesil, Kırmızı ve Yakın Kızılötesi) duyarlı doğrusal algılayıcı paketi içeren 6 adet ardışık doğrusal algılayıcının bütünlestirilmesi ile olusmus toplamda 6.892 (6.888 efektif) piksele sahiptir (Liedtke, 2002). Bu algılayıcılar ile taranan yersel izdüşüm genişliği merkez bakış açısı ile 16.5 km. ile $\pm 25^{\circ}$ merkez dışı bakış açısı ile 19 km. arasında değişiklik göstermektedir. Yanı sıra QuickBird uydusundan uçuş ekseni doğrultusunda 165 km.'ye varan uzunluklarda görüntü şeritleri (strip) elde etmek mümkün olabilmektedir (Toutin and Cheng, 2002).

Digital Globe firması QuickBird platformundan elde edilen görüntüleri Temel, Standart ve Orto-Rektifiye olmak üzere 3 farklı ürün düzeyinde kullanıcılara sunmaktadır. Temel düzey görüntüler algılayıcıdan elde edilen ham veri setine en yakın nitelikte olup bu görüntülere yalnızca radyometrik, iç sensör geometrisi ve optik düzeltmeler uygulanmakta; geometrik düzeltme ise uygulanmamaktadır. Bu sebeple temel düzey ürünler görüntünün ortorektifiye edilmesi gerektiği durumlarda en iyi sonucu elde edebilmek için tercih edilmelidir (DigitalGlobe, 2007). Örneğin DigitalGlobe firması (DigitalGlobe, 2007 p.15) temel düzey görüntülerde yalnızca 1 adet metre altı hassasiyete sahip yer kontrol noktası ve iyi kalitede arazi modeli (DTED Düzey2 yaklaşık 30m./piksel) kullanılması durumunda rasyonel polinomlar metodu ile ±3 ile 6 metre karesel ortalama hata sağlanabileceğini öngörmüştür. Temel düzey pankromatik görüntüler 27.552 piksel genişliğinde olmakla birlikte çekim açısına göre görüntülenen alan 16.5 km. ile 19 km. arası genişlikte olabilmektedir. Merkez bakış açısı ile görüntülenen bir tam çerçeve pankromatik görüntü, 27.552 (G) x 27.424 (Y) piksel, 262 km² alan kaplamaktadır (Liedtke, 2002). Aynı görüntünün versel örnekleme aralığı ise 61 cm./piksel (nadir) ile 72 cm./piksel arasında değismektedir. Standart düzey görüntülerde ise, temel düzey görüntülerin aksine, kaba bir arazi modeli kullanılarak (GTOPO30 yaklasık 900m./piksel) görüntülenen alan ile referans elipsoit arasındaki topoğrafik farklılıklar indirgenmeye çalışılır. Standart düzey görüntüler coğrafi olarak bir elipsoit üzerinde referanslandırılmıştır; harita projeksiyonuna sahiptir. Ancak bu yöntemle normalleştirilmiş görüntü orto-rektifiye edilmiş görüntü olarak algılanmamalıdır (Cheng vd., 2003). Standart düzey görüntülere hem topoğrafik normalleştirme, hem de geometrik düzeltme uygulandığı için standart düzey ürünler orto-rektifiye edilecek görüntüler için önerilmemektedir (DigitalGlobe, 2007). Öte yandan standart düzey orto-hazır (orthoready) düzey görüntülerde topoğrafik normalleştirme kaba bir arazi modeli (GTOPO30) kullanılması yerine sabit ortalama bir yükseklik kullanılarak yapıldığı için, standart orto-hazır düzey ürünler orto-rektifikasyon yapılması gereken durumlarda kullanıcılara alternatif olarak sunulmaktadır. Tüm standart düzey görüntüler, temel düzey görüntülerin aksine, tam çerçeve (272 km²) yerine daha ekonomik bir çözüm olan ilgi alanı sınırı tanımlanarak (arsivden en az 25 km²) elde edilebilir. Sahip olma maliyeti açısından en üst seviyede yer alan orto-rektifiye düzey QuickBird ürünleri kullanıcıların ekstra bir işlem uygulamadan kullanmaya başlayabileceği, "CBS'e Hazır" olarak anılan görüntülerdir. Orto-rektifiye düzey ürünler çalışmada ihtiyaç duyulan metrik hassasiyete uygun kalite ve sayıda Yer Kontrol Noktası (YKN) ve sayısal arazi modeli yardımıyla geometrik olarak düzeltilir; kullanıcı tarafından talep edilen harita projeksiyon sisteminde, 60 veya 70 cm./piksel çözünürlüğe yeniden örneklenerek sunulur.

Yersel Örnekleme Aralığının (GSD) azalması çok yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin haritalama yeteneklerini arttırmış, bu görüntüleri 1:10.000 – 1:5.000 ölçekli orto-foto harita üretimi için elverişli kaynaklar haline gelmiştir (Amato vd., 2004). Ancak bilindiği üzere uydu görüntüleri, çekimleri süresince görüntüleme platformundan, gözlemlenen alan ve nesnelerden kaynaklı bir takım geometrik bozulmalara maruz kalırlar (Toutin vd. 2003). "Çok yüksek çözünürlüklü" uydu görüntülerinin metrik hassasiyet gerektirecek şekilde kullanılması (örn. Orto-foto harita üretimi, mevcut haritaların güncellenmesi vb.) söz konusu görüntülerin bir referans düzlemine göre orto-rektifiye edilmesi ihtiyacını gerektirmektedir (Brovellia vd. 2008). Bu çalışmada, literatürde metrik görüntü orto-rektifikasyonu için geliştirilmiş iki fiziksel model (Yörünge-Yönelim ve Pozisyon-Dönüklük) ve bu fiziksel modellerin bir tanesi (Yörünge-Yönelim) kullanılarak üretilmiş Rasyonel-Fonksiyon modeli kullanılarak QuickBird görüntüsü orto-rektifiye edilmiş ve bu modeller kullanılarak ulaşılabilecek düzlemsel (X, Y eksenlerinde) metrik hassasiyet test edilmiştir.

2. SENSÖR MODELLERİ

2.1 Yörünge-Yönelim Modeli

Yer gözlem uyduları, genellikle, yörüngesel bir referans düzlemi boyunca kontrol edilirler (Radhadevi vd., 1998). Bir uydu zaman içerisinde önceden belirlenmiş yörüngesinde hareketine devam ederken bu referans düzlemi de geçen zamanla birlikte sürekli olarak değişmektedir. Herhangi bir an için uydunun yörünge düzlemindeki dış yöneltme elemanları iki farklı şekilde tanımlanabilmektedir (Poli, 2005): (i) uydu yörüngesinin şeklini tanımlayan ve toplam olarak altı parametreden (semi-major axis, inclination, argument of perigee, eccentricity, true anomaly, ve right ascension of the ascending node) oluşan Kepler elemanları, veya (ii) uyduya yüklenmiş çeşitli cihazların (star tracker vb.) ölçümlerinden elde edilen pozisyon, hız ve yönelim vektör elemanları. Bu iki yöntem arasındaki temel fark, Kepler elemanları kullanılarak yapılan pozisyon ve yönelim hesaplamalarında uydunun sadece yerçekimi kuvvetine maruz kaldığı ve başka herhangi bir etkiyle karşı karşıya kalmadığı farz edilmektedir.

Her yer gözlem uydusunun tasarımına özel yörüngesel bir referans düzlemi ve farklı yönelim açıları özellikleri bulunmaktadır. Bu nedenle her uydunun Yörünge-Yönelim (Y-Y) modelinin matematiksel yaklaşımları farklılık gösterebilmektedir. Kim ve Dowman (2006) bu farklı matematiksel modelleri genel basit bir matris denklemi ile genellemiştir:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ -f \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ y \\ -f \end{pmatrix} = \lambda [\mathbf{R}_{sensor}^{orbit}]^T [\mathbf{R}_{orbit}^{ground}]^T \begin{pmatrix} X - X_s \\ Y - Y_s \\ Z - Z_s \end{pmatrix}$$
(1)

(1) numaralı denklemde x ve y sensör koordinatlarını, f odak uzaklığını, λ ölçek katsayısını, $\mathbf{R}_{sensor}^{orbit}$, yönelim açıları ile tanımlanan sensör düzleminden yörünge referans düzlemine geçişi sağlayan dönüşüm matrisini, $\mathbf{R}_{orbit}^{ground}$ ise uydu pozisyon-hız ya da yörünge kepler parametreleri ile tanımlanan yörünge referans düzleminden yer referans düzlemine geçişi sağlayan dönüşüm matrisini, X, Y ve Z yer koordinatlarını ve X_5 , Y_5 ve Z_5 ise uydu pozisyonunu veya sensör düzlemi merkezini tanımlamaktadır. Burada kolayca tahmin edileceği üzere $\mathbf{R}_{sensor}^{orbit}$ ve $\mathbf{R}_{orbit}^{ground}$ farklı uydular ve sensörler için farklı matematiksel yaklaşımlar gerektirmektedir. $\mathbf{R}_{sensor}^{orbit}$ dönüşüm matrisi üç adet (roll, pitch yaw) yönelim açısını barındırmakta, $\mathbf{R}_{orbit}^{ground}$ dönüşüm matrisi ise uydu pozisyon ve hız bilgilerini kullanmaktadır. Modeldeki x koordinatlının 0 değeri alması sensörün çizgisel tarayıcı olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, yine çizgisel tarayıcı sensörün belirli bir zaman dilimi içerisinde bir görüntüyü oluşturmasından dolayı, dış yöneltme parametrelerinin (X_5 , Y_5 ve Z_5 , roll, pitch yaw) zamana bağlı olarak modellenmesi de zorunludur. Bu modelleme için genel olarak polinom modeli kullanmakta olup, zamana göre birinci derece modellemeler Salamonowicz (1986), Gugan (1987), Westin (1990), ve Novak (1992), ikinci derece modellemeler Gugan ve Dowman (1988), Kratky (1989), Chen ve Lee (1993), Zoej ve Petrie (1998), Fritsch ve Stallmann (2000) ve üçüncü derece modellemeler Radhadevi vd. (1998), Li vd. (2002) tarafından kullanılmıştır. Dış yöneltme parametrelerinin polinom modellerde ayrı ayrı derecelendirilerek kullanıldığı çalışmalar da bulunmaktadır (Priebbenow ve Clerici, 1988; Rodriguez vd., 1988; Orun and Natarajan, 1994; Kim ve Dowman, 2006).

2.2 Pozisyon-Dönüklük Modeli

Pozisyon-Dönüklük (P-D) modelinin de temeli aynı Y-Y modelinde olduğu gibi kolinear denklemlere dayanmaktadır (Kim ve Dowman; 2006):

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ -f \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ y \\ -f \end{pmatrix} = \lambda [\mathbf{R}]^T \begin{pmatrix} X - X_5 \\ Y - Y_5 \\ Z - Z_5 \end{pmatrix}$$
(2)

(1) numaralı formülde yapılan tanımlamalar (2) numaralı formül içinde geçerlidir. Formüller arasındaki tek fark, (1) numaralı formülde farklı uydular ve sensörler için farklı matematiksel yaklaşımlar gerektiren R_{sensor}^{orbit} ve R_{orbit}^{ground} dönüşüm matrisleri yerine toplamda sadece üç açıyla (omega, phi, kappa) tanımlanan tek bir Rdönüşüm matrisinin gelmiş olmasıdır. Bu üç açının oluşturduğu dokuz elemandan oluşan dönüşüm matrisi (R) sensör düzleminden direk olarak yer referans düzlemine geçişi sağlar. Bu sayede, Pozisyon-Dönüklük modelinde tek bir dönüşüm matris kullanılması, Yörünge-Yönelim modelinin gerektirdiği farklı uydular ve sensörler için farklı matematiksel yaklaşımlar zorunluluğunu ortadan kaldırmaktadır. Fakat yine çizgisel tarayıcı sensörün doğası gereği, dış yöneltme parametrelerinin (X_5, Y_5 ve Z_5 , omega, phi, kappa) zamana bağlı olarak modellenmesi gerekmektedir.

2.3 Rasyonel Fonksiyon Modeli

Rasyonel Fonksiyon (R-F) modeli *sensör düzlemi* ve *yer referans düzlemi* arasındaki ilişkiyi üç boyutlu polinomların bölümü şeklinde gerçekleştirirler. R-F modelinin genel yapısı aşağıdaki şekildedir (Toutin, 2004):

$$R_{3D}(x,y) = \frac{\sum_{i=0}^{m} \sum_{j=0}^{n} \sum_{k=0}^{p} a_{ijk} x^{i_{Y}j} z^{k}}{\sum_{i=0}^{m} \sum_{j=0}^{n} \sum_{k=0}^{p} b_{ijk} x^{i_{Y}j} z^{k}}$$
(3)

Burada a_{ijk} R-F modelinin polinom katsayılarını oluşturmaktadır. Bu modeldeki birinci derece katsayıları izdüşüm hatalarını, ikinci derece katsayıları Dünya'nın eğikliğinden oluşabilecek, atmosferik kırılma ve lens kaynaklı hataları ve üçüncü derece katsayıları ise varsa bilinmeyen veya kaza sonucu oluşan hataları ele alır (Tao ve Hu, 2001).

R-F katsayıları temel olarak iki şekilde hesaplanabilir. Birinci yöntem, katsayıların araziden bağımsız şekilde hesaplanmasıdır. Bunun için öncelikle yukarıda bahsedilen Y-Y modeli kullanılmaktadır. Görüntü sağlayıcı firmalar, ellerinde bulundurdukları Y-Y modeli ile görüntüyü geometrik olarak düzelttikten sonra ham görüntü ve rektifiye görüntü arasındaki ilişkiyi R-F modeli ile kurmakta ve son kullanıcılara sadece ürettikleri R-F modeli katsayılarını vermektedirler. Böylece, son kullanıcılar ellerinde herhangi bir uydu parametre bilgisi bulunmasa bile sadece bu katsayıları ve R-F modelini kullanarak görüntüyü düzeltebilmektedirler. Aynı zamanda son kullanıcıların elinde hassas YKN('ler) var ise, bu YKN('ler) kullanılarak görüntü düzeltme işlemi iyileştirilebilmektedir. İkinci yöntem ise katsayıların tamamen araziye bağımlı olarak hesaplanması yöntemidir. Bu durumda, katsayılar tamamıyla araziden toplanan YKN'ler yardımıyla tahmin edilmektedir. Fakat bu çözüm, çok sayıda hassas YKN gerektirmesinin yanı sıra katsayılar arasında oluşabilecek korelasyonlar nedeniyle parametre tahmini işleminde çeşitli sıkıntılar ve düzensizlikler oluşturabilmektedir.

3. VERİ SETİ

Bu çalışma kapsamında farklı sensör modelleri kullanılarak orto-rektifikasyon işlemi sonucunda ulaşılan düzlemsel (X, Y eksenlerinde) metrik hassasiyetin test edilmesi amaçlandığı için temel düzey pankromatik QuickBird görüntüsü tercih edilmiştir. Temel düzey QuickBird ürünlerinin herhangi bir geometrik düzeltme olmadan tam çerçeve olarak temin edilebilmesi sıklıkla uygulanan Y-Y ve R-F modellerinin yanı sıra P-D modelinin de test edilebilmesine olanak sağlamaktadır. Her üç modele de destek veren ERDAS© Imagine yazılımı 9.1 sürümü bu çalışmada kullanılmıştır. Bu çalışmada 7 Ekim 2007 tarihinde, 24.5° derece merkez dışı yönelim açısı ile görüntülenmiş, 24.552(G) x 24.176(Y) piksel tam çerçeve, Kuzeybatı Ankara temel düzey (Düzey 1B) 11bit spektral çözümlemeli pankromatik QuickBird görüntüsü kullanılmıştır (Şekil 1a). Yer kontrol ve bağımsız denetim noktalarının seçimi için Ağustos – Eylül 1995 tarihli hava fotoğraflarından fotogrametrik kıymetlendirme yöntemiyle üretilen ve Eylül – Ekim 1999 tarihli hava fotoğrafları ile güncelleştirilen 1:1.000 ölçekli vektörel hâlihazır haritalar referans alınmıştır (Şekil 1c). Söz konusu referans veri setinin düzlemsel koordinat hassasiyetinin ± 20 cm. olduğu bilinmektedir. Bunun yanı sıra aynı hâlihazır haritaların eş yükselti eğrileri ve yüzey şekilleri (yol, dere yatağı, şev vb.) kullanılarak doğrusal değer biçim (interpolasyon) metodu ile

üretilen, düşeyde yaklaşık 40 cm. hassasiyete sahip, 1 m./piksel çözünürlüklü sayısal arazi modeli referans alınmıştır (Şekil 1b). Çalışma alanı (ort.) deniz seviyesinden ortalama 895 m. yüksekte olup en alçak noktası 782 m., en yüksek noktası 1244 m.'dir. Dolayısıyla çalışma alanının düşey eksende 462 m. profil gösterdiği söylenebilir (Şekil 1b).



Şekil 1. Kuzeybatı Ankara temel düzey pankromatik QuickBird uydu görüntüsü ve referans veri seti.

4. TARTIŞMA

Bu çalışmada, ilk olarak, toplanan 158 noktadan 16 adet iyi dağılmış nokta YKN olarak seçilmiş ve geri kalan 142 nokta Bağımsız Denetim Noktası (BDN) olarak tanımlanmıştır. Devamında, tüm noktalar YKN olarak tanımlanarak modellerin ulaşabileceği en iyi sonuç değerleri test edilmiştir. Üç farklı model için üç farklı polinom model dereceleri (0, 1 ve 2) için testler tekrarlanmıştır. Bu polinom dereceleri, Y-Y ve P-D modellerinde dış yöneltme parametrelerinin zamana bağlı olarak modellenmesi sonucu hesaplanan katsayılarının, R-F modelinde ise görüntü ile sağlanan rasyonel fonksiyon katsayıları ile hesaplanan modele getirilen polinom düzeltmenin katsayılarının sayısını belirlemektedir.

Tablo 1'de Y-Y modeli için hesaplanan hata sonuç değerleri verilmiştir. Y-Y modelinde dış yöneltme parametrelerinin zamana bağlı olarak modellenmemesi durumunda (model derecesi 0), 16 adet YKN kullanılarak yapılan çözümde, YKN'ler ve BDN'ler için Karesel Ortalama Hata'lar (KOH) sırasıyla 1.20 ve 0.96 m. olarak hesaplanmıştır. Yine aynı model derecesinde YKN'ler için hesaplanan En Büyük Hata (EBH) değeri 6.53 m. iken bu değer BDN'lerde 2.71 m. olarak bulunmuştur. Y-Y modeli görüntü çekim anındaki pozisyon-hız ve dönüklük bilgisini model hesaplamasında direk olarak kullandığından dış yöneltme parametrelerinin zamana

göre modellenmemesi YKN ve BDN'lerde çok büyük hataların oluşmasını engellemiştir. Bu model için en iyi sonuç, modelin derecesinin 2 olduğu durum için hesaplanmış olup, 142 BDN noktası için hesaplanan KOH değeri 0.81 m.'dir. Tüm noktalar YKN olarak tanımlandığında ise Y-Y modeli için elde edilen en iyi KOH değeri 0.62 m. olarak bulunmuştur. Tüm derecelerde elde edilen BDN KOH ve EBH değerleri Y-Y modelinin sağlamlığını ispat etmektedir.

Model	Derecesi	Toplam Sayı		YKN		BDN	
		YKN	BDN	KOH (m.)	EBH (m.)	KOH (m.)	EBH (m.)
Yörünge- Yönelim	0	158	-	0.96	3.17	-	-
		16	142	1.20	6.53	0.96	2.71
	1	158	-	0.64	1.56	-	-
		16	142	0.68	1.91	0.84	2.81
	2	158	-	0.62	1.53	-	-
		16	142	0.62	1.72	0.81	2.46

Tablo 1. Yörünge-Yönelim modeli için hesaplanan hata değerleri

Tablo 2'de P-D modeli için hesaplanan hata sonuç değerleri verilmiştir. Polinom modelin derecesinin 0 olduğu durum için hesaplanan hata değerleri, Tablo 2'den de görülebileceği üzere çok fazla kaba hata içermektedir. Benzer bir durum, aynı düzeyde olmasa bile Y-Y modelinin polinom derecesinin 0 olduğu durum için de gözlenmektedir (Tablo 1). Bunun nedeni ise yine Y-Y modelinde olduğu gibi dış yöneltme parametrelerinin zamana göre modellenmemiş olmasından kaynaklanmaktadır. Fakat Y-Y modelinden farklı olarak P-D modeli uydudan sağlanan herhangi bir veri kullanmadığından dolayı BDN KOH düzeyi Y-Y modeline göre yaklaşık 12 kat, EBH düzeyi ise 15 kat kötüdür. P-D modelinin dış yöneltme parametrelerinin polinom derecesinin artırılması ile sonuçlar her derecede ciddi düzelme gözlenmiş olmasına rağmen Y-Y modeli sonuçları ile karşılaştırıldığında P-D modelinin sonuçlarının istenilen düzeye ulaşamadığı görülmektedir. P-D modeli için elde edilen en iyi KOH değeri 0.86 m. olarak bulunmuştur.

Tablo 2. Pozisyon-Dönüklük modeli için hesaplanan hata değerleri

Model	Derecesi	Toplam Sayı		YKN		BDN	
		YKN	BDN	KOH (m.)	EBH (m.)	KOH (m.)	EBH (m.)
Pozisyon- Dönüklük	0	158	-	9.04	23.81	-	-
		16	142	10.49	16.68	11.38	41.46
	1	158	-	1.05	3.10	-	-
		16	142	2.00	3.10	2.29	6.18
	2	158	-	0.86	2.34	-	-
		16	142	1.23	2.26	1.08	3.06

R-F modeli için hesaplanan hata değerleri Tablo 3'te verilmiştir. 16 YKN ve modelin derecesinin 0 olduğu durum için elde edilen YKN ve BDN KOH değerleri sırasıyla 2.18 m. ve 1.86 m.'dir. 1. ve 2. derece sonuçları dikkate alındığında ise R-F modeliyle elde edilen hata değerlerinde, diğer iki modelin sonuçları arasında farklı bir eğilim gözlenmektedir. R-F modelin derecesi arttıkça orijinal modele getirilen düzeltme için kullanılan polinom YKN'lere daha iyi uyum sağlamaktadır ki bu da doğal bir durumdur. Fakat bu uyum polinom modelin yükselen derecelerinde BDN'lerde (görüntüde YKN'lerin bulunmadığı ya da az bulunduğu bölgelerde) problem yaratmaktadır. Böyle bir sorunla karşılaşmamak için görüntüden çok sayıda YKN toplanması gerekmektedir ki YKN sayısının 158 olduğu durum için 2. Derece R-F modelinin Y-Y modeline çok yakın sonuçlar üretebildiği gözlenmiştir (Tablo 3).

Model	Derecesi	Toplam Sayı		YKN		BDN	
		YKN	BDN	KOH (m.)	EBH (m.)	KOH (m.)	EBH (m.)
Rasyonel Fonksiyon	0	158	-	1.86	4.29	-	-
		16	142	2.18	3.79	1.86	3.66
	1	158	-	0.93	2.77	-	-
		16	142	1.15	2.52	0.93	2.07
	2	158	-	0.67	1.87	-	-
		16	142	0.65	1.73	0.94	3.30

Tablo 3. Rasyonel-Fonksiyon modeli için hesaplanan hata değerleri

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, üç farklı fiziksel sensör modeli kullanılarak QuickBird görüntüsü orto-rektifiye edilmiş ve bu modeller kullanılarak ulaşılabilecek orto-rektifikasyon doğrulukları belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. YKN ve BDN'lerin seçimi için hava fotoğraflarından kıymetlendirmesi yapılan 1:1.000 ölçekli vektörel hâlihazır haritalar referans alınmış ve toplamda 158 adet nokta toplanmıştır. Bu noktaların yükseklik bilgileri ise, yine aynı vektörel haritadan üretilmiş olan hücre tabanlı sayısal arazi modelinden elde edilmiştir. Toplanan 158 noktadan 16 adet iyi dağılmış nokta YKN olarak seçilmiş ve geri kalan 142 nokta BDN olarak tanımlanmıştır. Devamında, tüm noktalar YKN olarak tanımlanarak modellerin ulaşabileceği en iyi sonuç değerleri test edilmiştir. Test edilen üç farklı model için üç farklı polinom model dereceleri (0, 1 ve 2) belirlenmiş ve doğruluk analizleri tekrarlanmıştır.

Yapılan analizler sonucunda Yörünge-Yönelim modeli dış yöneltme parametrelerinin zamana göre modellenmediği durum hariç BDN toplam KOH ve EBH değerleri dikkate alındığında en doğru sonuçları üretmiştir. Yörünge-Yönelim modeli görüntü çekim anındaki pozisyon-hız ve dönüklük bilgisini model hesaplamasında direk olarak kullandığından dış yöneltme parametrelerinin zamana göre modellenmediği durumda bile YKN ve BDN'lerde çok büyük hataların oluşmasını engellemiştir. Aynı durumda, Pozisyon-Dönüklük modeli, uydudan sağlanan herhangi bir veriyi kullanmadığından dolayı fazla kaba hata üretmiş, fakat yöneltme parametrelerinin zamana göre modellemesi yapıldığında doğruluk sonuçlarının ciddi oranda iyileştiği görülmüştür. Ayrıca, YKN sayısının az olduğu kombinasyonlarda doğru orto-rektifikasyon sonuçlarına ulaşabilmek için Pozisyon-Dönüklük modelinin parametrelerinin dikkatlice analiz edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Rasyonel-Fonksiyon modeliyle elde edilen sonuçlarla, diğer iki modelin sonuçları arasında farklı bir eğilim gözlenmiştir. Diğer iki modelde derece artırımı ile KOH'larda ciddi iyileşmeler gözlenmiştir. Rasyonel-Fonksiyon modelinde ise derece arttıkça orijinal modele getirilen düzeltme için kullanılan polinom YKN'lere daha iyi uyum sağlamıştır ve bu sonuç elde edilen YKN KOH değerlerinden anlaşılmaktadır. Fakat bu uyum polinom modelin yükselen derecelerinde BDN KOH değerlerinde hatalara neden olmuştur. Dolayısıyla, Rasyonel-Fonksiyon modelinin 2. ve muhtemelen daha üstü dereceleri ile üretilen Quickbird orto-görüntülerinin YKN'lerin bulunmadığı ya da az bulunduğu bölgelerde ciddi pozisyon hataları içerebileceği sonucuna varılmıştır. Yeterli sayıda YKN sağlanması durumunda ise 2. Derece Rasyonel-Fonksiyon modelinin Yörünge-Yönelim modeline çok yakın sonuçlar üretebildiği de gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

AMATO, R., DARDANELLI, V., EMMOLO, D., FRANCO, V., LO BRUTTO, M., MIDULLA, P., ORLANDO, P., VILLA, B., (2004), Digital orthophotos at a scale of 1:5000 from high resolution satellite images, International Archives of Photogrammetry, *Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 35 (B4), pp. 593-598.

BROVELLIA M.A., CRESPIB M., FRATARCANGELIB F., GIANNONEB F., REALINIA E., (2008), Accuracy assessment of high resolution satellite imagery orientation by leave-one-out method, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 63, pp. 427–440.

CHEN, L. C., LEE, L. H., (1993), Rigorous Generation of Digital Orthophotos from SPOT Images, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 59, No. 5, pp. 655-661.

CHENG P., TOUTIN T., ZHANG Y., WOOD M., (2003), QuickBird – Geometric Correction, Path and Block Processing and Data Fusion, *Earth Observation Magazine* May 2003.

DIGITALGLOBE, (2007), QuickBird Imagery Products - Product Guide Rev 4.7.3 2007, p.22.

FRITSCH, D., STALLMANN, D., (2000), Rigorous Photogrammetric Processing of High Resolution Satellite Imagery, *Vol. XXXIII*, ISPRS Congress.

GUGAN, D. J., (1987), Practical Aspects of Topographic Mapping from SPOT Imagery, *Photogrammetric Record*, 12(69), pp. 349-355.

GUGAN D. J., DOWMAN, I. J., (1988), Topographic Mapping from SPOT Imagery, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 54, No. 10, pp. 1409-1414.

JACOBSEN K., (2003), Geometric Potential of IKONOS and QuickBird Images, Photogrammetrische *Woche* 2003, pp. 101-110.

KIM T., DOWMAN I., (2006) Comparison of Two Physical Sensor Models for Satellite Images: Position-Rotation Model and Orbit-Attitude Model, *The Photogrammetric Record*, vol. 21, no. 114, pp. 110-123.

KRATKY, V., (1989), Rigorous Photogrammetric Processing of SPOT Images at CCM Canada, *ISPRS Journal* of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 44, pp. 53-71.

LI, R., ZHOU, G., SCHMIDT, N. J., FOWLER, C., TUELL, G., (2002), Photogrammetric Processing of High-Resolution Airborne and Satellite Linear Array Stereo Images for Mapping Applciations, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 23, No. 20, pp. 4451-4473.

LIEDTKE J., (2002), Quickbird-2 system description and product overview, *Jacie Workshop 2002* Washington DC.

NOVAK, K., (1992), Rectification of Digital Imagery, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 58, No. 3, pp. 339-344.

ORUN, A. B., NATARAJAN, K., (1994), A Modified Bundle Adjustment Software for SPOT Imagery and Photography: Tradeoff, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 60, No. 12, pp. 1431-1437.

POLI D., (2005) Modeling of Spaceborne Linear Array Sensors, *Ph.D. thesis*, Institute of Geodesy and Photogrammetry, Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Zurich.

PRIEBBENOW, R., CLERICI, E., (1988), Cartographic Applications of SPOT Imagery, *Colleque International SPOT-1: Utilisation des images, bilan, resultats*, Paris, France, pp. 1189-1194.

RADHADEVI, P. V., RAMACHANDRAN, R., MOHAN, A. S. R. K. V. M., (1998), Restitution of IRS-1C PAN Data using an Orbit Attitude Model and Minimum Control, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 53, pp. 262-271.

RODRIGUEZ, V., GIGORD, P., GAUJAC, A. C., MUNIER, P., (1988), Evaluation of the Stereoscopic Accuracy of the SPOT Satellite, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 54, No. 2, pp. 217-221.

TAO, C. V., HU, Y., (2001), A Comprehensive Study of the Rational Function Model for Photogrammetric Processing, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 67, No. 12, pp. 1347-1357.

TOUTIN T., CHENG P., (2002), QuickBird - A Milestone for High-Resolution Mapping, *Earth Observation Magazine* April 2002.

TOUTIN, T., CHENIER, R., CARBONNEAU, Y., (2003), 3D models for high resolution images: Examples with QuickBird, IKONOS and EROS, *Proc. ISPRS Commission IV Symposium, Joint International Symposium on Geospatial Theory*, Processing and Applications, Ottawa, 8–12 July, pp. 547-551.

TOUTIN, T., (2004), Review Article: Geometric Processing of Remote Sensing Images: Models, Algorithms and Methods, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 25, No. 10, pp. 1893-1924.

WESTIN, T., (1990), Precision Rectification of SPOT Imagery, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 56, No. 2, pp. 247-253.

ZOEJ, M. J. V., AND PETRIE, G., (1998), Mathematical Modelling and Accuracy Testing of SPOT Level 1B Stereopairs, *Photogrammetric Record*, 16(91), pp. 67-82.