RASAT VE GÖKTÜRK-2 GÖRÜNTÜLERİNİN ORTOREKTİFİKASYON BAŞARIMINA REFERANS VE SAYISAL YÜKSEKLİK MODELİ SEÇİMİNİN ETKİSİ

Ramazan KÜPCÜ [1,2], Mustafa TEKE [1], Alper ÇABUK [2]

1. TÜBİTAK UZAY, Görüntü İşleme Grubu, Ankara
{ramazan.kupcu, mustafa.teke}@tubitak.gov.tr

2. Anadolu Üniversitesi, Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir
{acabuk@anadolu.edu.tr}

ÖZET

Ülkemizin uzay teknolojileri yol haritasında yer gözlem uydularının geliştirilmesine önem verilmektedir. 2014 yılı itibari ile TÜBİTAK UZAY tarafından BİLSAT, RASAT ve Göktürk-2 uydu görevleri tamamlanmış olup bu uydulardan RASAT ve Göktürk-2 görevlerine devam etmektedirler.

Yer gözlem uydu görüntülerinin haritalama, çevre, şehircilik ve tarım gibi çok sayıda kullanım alanı mevcuttur. Uydu görüntüleri uygulama alanına bağlı olmak ile birlikte çeşitli seviyelerde son kullanıcılara ulaştırılmaktadır. En yaygın olarak ihtiyaç duyulan görüntü seviyesi bir sayısal yer kontrol noktalarına göre konumlandırılmış ve bir yükseklik modeline düzeltilmiş Seviye 3 görüntülerdir. Uydu görüntülerinden en yüksek fayda sağlanabilmesi için, uydu görüntülerinin en yüksek konumsal doğruluğa sahip olması büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada Türkiye'nin milli yer gözlem uyduları olan RASAT ve Göktürk-2'den görüntülerinin fiziksel kamera modelleri kullanılarak sistematik olmayan geometrik hataların uzaktan algılama yazılımları ile farklı referans ve yükseklik verileri kullanılarak geometrik düzeltmesi yapılacak ve sonuçları karşılaştırılacaktır. Geometrik düzeltmesi yapılacak RASAT ve Göktürk-2 görüntüleri farklı coğrafi özelliklere sahip alanlardan seçilen görüntülerden oluşmaktadır. Referans görüntü olarak Google Earth ve Landsat 8 görüntüleri kullanılmaktadır. Sayısal yükseklik modeli olarak SRTM, ASTER ve DTED verileri kullanılacaktır. Referans görüntülerden eşit aralıklar ile toplanılan 12, 25 ve 50 adet yer kontrol noktası ile orto düzeltmesi gerçekleştirilen görüntülerin konum hassasiyeti doğruluğu 9 adet bağımsız denetim noktası doğrulanacaktır.

Anahtar Sözcükler: RASAT, Göktürk-2, orto düzeltme, Landsat 8, SRTM.

ABSTRACT

COMPARISON OF EFFECT OF REFERENCE AND DEM SELECTION TO ORTHORECTIFICATION PERFORMANCE FOR RASAT AND GÖKTÜRK-2 IMAGES

Development of earth observation satellites has an important role in Turkey's space technologies road map. As of 2014, BİLSAT, RASAT and Göktürk-2 missions are completed by TÜBİTAK UZAY; RASAT and Göktürk-2 are active satellite missions.

Earth observation satellites imagery is used in numerous applications such as mapping, environmental, mapping and agricultural areas. Satellite imagery depending on application type is provided in different levels. Most commonly requested imagery level is Orthorectified satellite imagery (Level 3). Satellite images are required to have best positional accuracy to be beneficial to users.

In this paper, RASAT and Göktürk-2 images are orthorectified by using a physical camera model with different references, digital elevation maps (DEM) and different methods. RASAT and Göktürk-2 images are selected from regions which have different elevation characteristics. Reference images used in this study are Google Earth imagery and, Landsat 8. SRTM, ASTER and DTED are DEM sources. Images which orthorectified with 12, 25, and 50 GCP collected from reference image are validated for positional accuracy with 9 independent control point (ICP).

Keywords: RASAT, Göktürk-2 orthorectification, Landsat 8, SRTM

1. GİRİŞ

RASAT Yer Gözlem Uydusu, TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü'nün (TÜBİTAK UZAY) BİLSAT Uydusu'ndan sonra tasarladığı ikinci uzaktan algılama uydusudur. TÜBİTAK UZAY tarafından Kalkınma Bakanlığı desteğiyle tasarlanıp üretilen RASAT, 27 Ağustos 2011 tarihinde Rusya'dan fırlatılmıştır. RASAT, görüntü çekme işlevini başarıyla sürdürmektedir. RASAT Uydusundan şuana kadar 6 milyon km^{2}'nin üzerinde görüntü çekimi yapılmıştır. 4 günlük zamansal çözünürlük ile 7,5 metre pankromatik ve 15 metre multispektral

(kırmızı, mavi, yeşil) bantlarda görüntü sağlayan RASAT, süpürgeç (pushbroom) kameraya sahiptir (Kahraman vd., 2012). RASAT Uydusundan çekilen görüntüler kamu kurumları ve üniversitelerimizle ücretsiz olarak paylaşılmaktadır (TÜBİTAK UZAY, 2014), (Yüksel vd., 2007).

Göktürk-2 İstihbarat ve Keşif Uydusu, TÜBİTAK desteği ile TÜBİTAK UZAY ile TUSAŞ işbirliği ile geliştirilmiş olup, 18 Aralık 2012 tarihinde Çin'deki Jiuguan Fırlatma Üssü'nden uzaya fırlatılmıştır. Göktürk-2 Uydusu ile Türk Silahlı Kuvvetleri ile diğer kamu kuruluşlarının yüksek çözünürlüklü görüntü ihtiyacının karşılanması amaçlanmaktadır. 4 günlük zamansal çözünürlük ile 2,5 metre pankromatik ve 5 metre multispektral (kırmızı, mavi, yeşil, yakın kızıl ötesi) bantlarda görüntü sağlayan Göktürk-2, süpürgeç (pushbroom) kameraya sahiptir. Göktürk-2 Uydusundan çekilen görüntülerin kamu kurumları ücretsiz paylaşımı planlanmaktadır.

Uydu görüntülerinin uzaktan algılama amaçlı kullanımında görüntülerin konuma bağlı geometrik doğruluğunun önemi gün geçtikçe artmaktadır. Uydu görüntüleri yer istasyonuna indirildiğinde hemen kullanılabilir durumda değildirler. Bu görüntüler genellikle bazı bozulmalara sahiptir ve bu nedenle konuma bağlı uygulamalarda doğrudan kullanılamazlar. Görüntülerden elde edilen konum bilgisinin doğruluğu arttıkça, bozulmalardan kaynaklanan hataların etkisi de artmaktadır (Toutin, 2003). Bu nedenle bu hataların giderilmesi gerekmektedir. Bu işleme geometrik düzeltme denilmektedir. Büyüksalih yapmış olduğu çalışmada, son teknoloji uydu görüntüleme sistemlerinde yoğunlukla kullanılan doğrusal dizin (pushbroom) tarayıcıları incelemiş ve bu sistemlerin harita yapım amaçlı kullanımlarında sağlayacakları doğruluk düzeylerini ortaya koymuştur. Doğrusal dizini oluşturan her bir dedektörün boyutunun, merceğin odak uzaklığı ile birlikte, tek bir piksele karşılık gelen her bir yer elemanının boyutunu belirlediğini söyleyen yazar, her bir tarama satırının kaydında dedektör elemanları arasında bulunan sabit ilişkiden dolayı, daha yüksek geometrik bütünlüğe sahip olduğunu belirtmiştir. (Büyüksalih, 2011). RASAT ve Göktürk-2 uyduların görüntüleme sistemlerinde doğrusal dizi algılayıcılar kullanılmıştır. Doğrusal dizi algılayıcılar, Yükten Bağlaşımlı Aygıt (CCD: Charge Coupled Device) elemanlarından oluşur. Yeryüzünü dik olarak görüntüleyecek şekilde uyduya konumlandırılan CCD dizi üzerine yeryüzündeki cisimlerden gelen her bir elektromanyetik enerjiye karşılık CCD elemanında bir elektrik yükü üretilir. Böylece görüntülenme işlemi gerçekleşmiş olur. Görüntüler, gerek algılayıcıdan kaynaklı, gerekse algılanan cismin bulunduğu ortamdan kaynaklanan birtakım geometrik hatalara sahiptir. Bu hataların konumsal uygulamalarda bilinmesi ve giderilmesi gerekmektedir. Geometrik hatalar sistematik hatalar ve sistematik olmayan hatalar olarak ikiye ayrılır. Sistematik hatalar uydu fırlatılmadan önce laboratuvar ortamında belirlenerek, görüntülerin dağıtımı yapılmadan önce düzeltme işlemleri gerçekleştirilir. Sistematik olmayan hataların düzeltilmesi için yeryüzüne ait bilgilere ihtiyaç vardır. Bu hatalar CCD elemanlarının boyutlarındaki değişim, satır ve sütun yönündeki kayıklıklar, birden çok band içeren görüntüleyici sistemlerde her bir bandın kendi arasındaki kayıklıklar, uydunun yüksekliğindeki ve hızındaki değişmeler, yeryüzünün eğikliği, dünyanın dönmesi, atmosferin etkisi gibi nedenlerle uzaydan çekilen görüntülerde oluşur.

Sistematik olmayan geometrik hataların düzeltilmesi yer istasyonuna indirilen her bir görüntüye ayrı ayrı uygulanması ile gerçekleştirilir. Geometrik hata içeren görüntülerin doğruluğu daha önceden bilinen yer koordinat sistemi ile ilişkilendirilmiş bir referans görüntüye göre düzeltilmesi gereklidir. Bu tür sistematik olmayan hatalar için görüntüde homojen olarak dağılmış, konumu belirgin bina köşeleri, yol kesişimleri, keskin görünen detaylardan yer kontrol noktaları (GCP) ile bu noktaların yer koordinatları referans görüntüden bağıntı kurularak giderilir. Uydu görüntülerinde meydana gelen sistematik olmayan x ve y yani yatay eksendeki hatalar için daha önceden geometrik düzeltmesi yapılmış referans görüntüler, z yani dikey eksendeki geometrik hataların düzeltilmesi için ise referans olarak sayısal yükseklik modelleri (DEM) kullanılarak geometrik hatalar düzeltilir. Uydu görüntülerindeki sistematik olmayan geometrik hataların yer koordinat sistemine ilişkilendirilmesi ile görüntülerden hassas konum bilgisinin elde edilmesi yöntemi; orto görüntü üretimi, georeferanslama, georektifikasyon, geokonumlama, ortorektifikasyon olarak adlandırılır.

Erdoğan vd. yapmış oldukları çalışmada, RASAT Uydusunun görüntülerinin geometrik doğruluğunu araştırmışlardır. Referans olarak çok yüksek çözünürlüklü ortofotolar ile farklı sayıda YKN'ler ile hata ölçümü yapmışlardır. YKN sayısı arttıkça konum doğruluğunun iyileştiği tespit edilmiştir (Erdogan, 2013a; Erdogan, 2013b). Küpçü vd. RASAT görüntülerinin farklı sayıda YKN, farklı referans ve farklı SYM konum hassasiyeti doğruluğunu ön araştırmasını gerçekleştirmişlerdir (Küpcü vd., 2014). Topan vd. SPOT-5 ve IRS-1C uydu görüntülerini GPS ile toplanmış YKN'ler ile yüksek konum doğruluğu elde etmişlerdir (Topan, 2007). Topan ve Maktav yapmış oldukları çalışmada, uydu görüntülerinden konum bilgisi elde edebilmek için, görüntü koordinat sistemi ile konum bilgisinin elde edildiği koordinat sistemi arasındaki geometrik ilişkinin sağlanması gerektiğini söylemişlerdir (Topan, 2010).

2. YÖNTEM

Uzaydan veya havadan çekilen görüntülerin uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemlerinde kullanılabilmesi için öncelikle yeryüzünde nereye ait olduğunun bilinmesi gerekir. Görüntülerin yeryüzü üzerinde nereye ait olduğunun bulunması için yapılan işlemler geometrik düzeltmenin bir parçasıdır. Özellikle uydularda yıldız kamerası ve GPS gibi yönelimi bildiren alt sistem parçaları geometrik olarak yeryüzü üzerinde hangi noktaya hangi açı ile bakıldığı bilgisini sağlamaktadır. Görüntünün geometrik olarak doğruluğunun hassasiyetini arttırmak için yapılan işlemlerden birisi de görüntü üzerinde bazı noktaların elle seçilerek bu noktaların gerçek koordinat bilgilerinin bir referans görüntüden uzaktan algılama programları aracılığı ile tanıtılmasıdır. Referans görüntülerden yer kontrol noktası toplayarak sadece yatay düzlemde meydana gelen geometrik kayıklıkların düzeltilmesi işlemine geo-rektifikasyon denilirken, özellikle yeryüzü yükseklik şekillerinden kaynaklanan düşey hataların da düzeltilmesi için sayısal yükseklik modeli SYM (Digital Elevation Model - DEM) adı verilen yüzey yükseklik matrisinin kullanılarak yapılan geometrik düzeltme işlemine de ortorektifikasyon denilmektedir. Ortorektifikasyon işleminden geçmiş görüntü artık belli bir harita koordinat sisteminde tanımlanmış olur ve coğrafi bilgi sistemlerinde yapılacak çalışmalarda kullanılmaya hazır hale gelir. Yer Kontrol Noktaları (YKN) gerek hava fotograflarının ve uydu görütünlerinin rektifikasyonunda görüntü koordinat sistemi ile yer koordinat sistemi arasındaki ilişkiyi matametiksel dönüşüm modelleri ile kurarak, geometrik düzeltmesi yapılmamış görüntünün ortogörüntüye dönüştürülmesini sağlar. Görüntü ile yer koordinat sistemine sahip referans görüntüden toplanan yer kontrol noktalarının seçimi, sayısı, dağılımı ve doğruluğu önemlidir. Hava fotograflarının ortogörüntüye dönüştürülmesi işleminde yer kontrol noktaları yere tesis edilirken, uzaktan algılama amaçlı kullanılacak uydu görüntülerinde yer kontrol noktaları doğal veya yapay nesnelerden seçilir. Genelde yol kesişimleri, limanlar, köprüler, dereler, kıyılar, bina köşeleri, bina bacaları yer kontrol noktası olarak seçilir. Uzaktan algılama çalışmalarında ise YKN'larının niteliği, görüntünün geometrik ve radyometrik çözünürlüğüne ve yöneltme için kullanılan matematiksel modele bağlıdır. Bu çalışma kapsamında, YKN'larının seçiminin, sayısının, dağılımının ve doğruluğunun ortogörüntü doğruluğuna etkisi, RASAT ve Göktürk-2 görüntüleri üzerinde araştırılacaktır. Görüntülerin rektifikasyonunda kullanılan yer kontrol noktaları referans görüntü ile matamatiksel dönüşüme girdiğinden dolayı koordinat doğruluğuna yakın sonuçlar verir. Görüntülerin doğru rektifikasyon sonuçlarını hesaplamak için için görüntü üzerinde yeterince homojen dağılmış yeterli sayıda BDN bulunur ve ortogörüntü ile arasındaki farklar hesaplanır. Bağımsız denetim noktalarının hem görüntü koordinatı hemde yer koordinatı bilinir.

Bu çalışmada Türkiye'nin milli yer gözlem uyduları olan RASAT ve Göktürk-2'den çekilen görüntülerin sistematik olmayan geometrik hataların düzeltilmesi için uyduların fiziksel kamera modelleri kullanılmıştır. RASAT ve Göktürk-2 uydularının fiziksel kamera model parametreleri aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir.

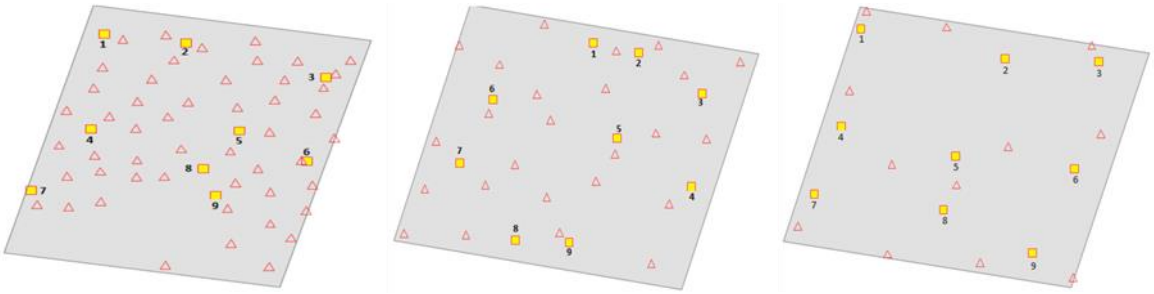
Çizelge 1. RASAT Uydusunun Kamera Parametreleri

Kanallar	**PAN**	**Kırmızı**	**Yeşil**	**Mavi**
Efektif Odak Uzaklığı (mm)	470.76	472.33	469.80	469.97
Benek boyutu X & Y (mm)	0.005	0.010	0.010	0.010
Algılayıcı sütünları (benek)	4096	2048	2048	2048
Yersel Çözünürlük (m)	7.434	14.826	14.903	14.896

Çizelge 2. Göktürk-2 Uydusunun Kamera Parametreleri

Kanallar	**PAN**	**Kırmızı**	**Yeşil**	**Mavi**	**NIR**
Efektif Odak Uzaklığı (mm)	1416.24	1414.06	1413.14	1413.21	1422.07
Principal Point xo (mm)	0.00	0.0066	0.0098	0.0028	-0.5998
Principal Point yo (mm)	90.4011	90.4270	90.4283	90.5420	90.3618
Benek boyutu X & Y (mm)	0.005	0.010	0.010	0.010	0.010
Algılayıcı sütünları (benek)	8192	4096	4096	4096	4096
Yersel Çözünürlük (m)	2.42	4.95	4.95	4.95	4.95

RASAT ve Göktürk-2 uydu görüntülerinin ortorektifikasyon işlemleri ERDAS Imagine yazılımının Image Photogrammetry (LPS) modülü ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada RASAT uydusundan çekilen Ankara, İstanbul ve Osmancık görüntüleri ile Göktürk-2 uydusundan çekilmiş İstanbul ve Ankara görüntüleri test edilmiştir. Yatay eksen düzeltmesi için yer kontrol noktaları Landsat8 uydusunun 15 metre yersel çözünürlüğe sahip pankromatik bandı ve yüksek çözünürlüklü google earth görüntülerinden toplanmıştır. Dikey eksen düzeltmesi için ASTER, SRTM ve DTED sayısal yükseklik modelleri (SYM) kullanılmıştır. RASAT ve Göktürk-2 görüntüleri üzerinde referans görüntüler kullanılarak homojen olarak dağıtılan 12, 25 ve 50 adet yer kontrol noktası (YKN) ile 9 adet bağımsız denetim noktası (BDN) belirlenmiştir (Şekil 1). Her bir YKN göre görüntüler 3 farklı SYM ile ortorektifiye edilmiş, sonrasında bağımsız denetim noktalarındaki yatay ve düşey eksendeki kaymaların karakök ortalama hataların (RMSE) değerleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 1. İstanbul 50 YKN (Sol), Ankara 25 YKN (Orta), Osmancık 12 YKN (Sağ) görüntüleri için YKN ve BDN dağılımı. (BDN'ler sarı ile işaretlenmiştir)

3. TESTLER

Testler'de 3 adet RASAT görüntüsü(Şekil 2) ve 2 adet Göktürk-2 görüntüsü(Şekil 3) kullanılmıştır. Test görüntüleri çekim tarihleri ve bakış açıları Çizelge 3 ile gösterilmektedir.

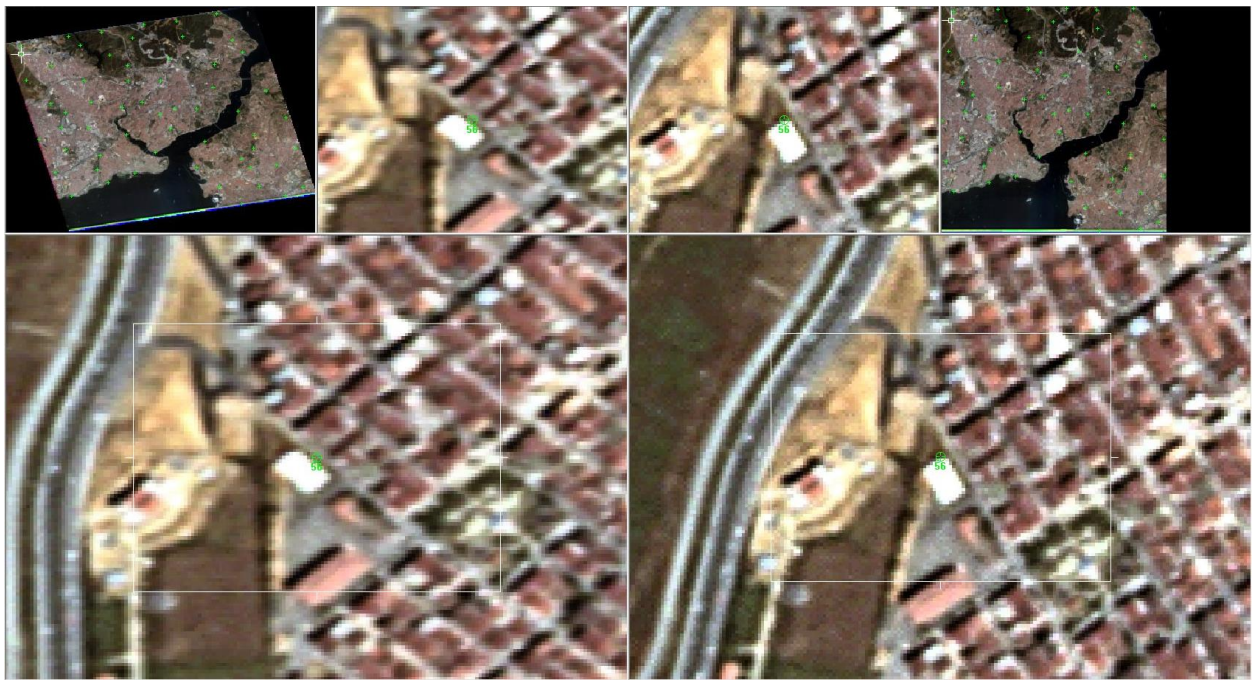
Çizelge 3. Test görüntülerinin özellikeri

Uydu	Görüntü İsmi	Tarih	Bakış Açısı	Satır	Sütun
RASAT	Ankara	05.02.2014	2.7256°	4096	4096
RASAT	İstanbul	29.07.2013	-1.1703°	6144	4096
RASAT	Osmancık	06.10.2012	-0.484°	4096	4096
Göktürk-2	Ankara	25.06.2013	-1.9275°	8192	8192
Göktürk-2	İstanbul	17.06.2013	8.9481°	8192	8192

Şekil 2. Testlerde kullanılan RASAT görüntüleri

Şekil 3. Testlerde kullanılan Göktürk-2 görüntüleri

Testler de RASAT ve Göktürk-2 uyduları için farklı referans ve SYM kullanılarak gerçekleştirilen ortorektifikasyon işleminin performans analizi yapılmıştır. Performans ölçümleri için karekök ortalama hata (RMSE) değerleri karşılaştırılmıştır. Ölçüm değerleri metre cinsindendir. Yatay – X, Y ve dikey – Z eksenlerindeki konumsal RMSE değerleri tablolar ile sunulmaktadır. Konumsal hatayı ölçmek için BDN noktaları ortorektifikasyonu yapılmış görüntüde tespit edilerek konum farkı ölçülmüştür (Şekil 4)



Şekil 4. Aynı BDN için ortorektifikasyonu yapılmış görüntü ve asıl görüntü konumu gösterilmesi.

SYM etkisinin YKN ile ilişkisinin incelendiği testlerde referans görüntü olarak yüksek çözünürlüklü Google Earth (0.5 metre) kullanılmıştır.

Referans görüntünün çözünürlüğe etkisinin araştırıldığı testlerde ise SYM olarak SRTM kullanılmıştır.

RASAT ve Göktürk-2 için yüksek sayıda YKN ile kullanılan SYM'nin etkisi azalmakta, daha az sayıda YKN ile ortorektifikasyon işleminin gerçekleştirilmesi halinde ise DTED SYM ile dikey doğrultuda daha hassas konum doğruluğu sağlanabilmektedir (Çizelge 4 ve Çizelge 5).

Çizelge 4. RASAT ortorektifikasyon başarımına SYM seçimi ve YKN sayısının etkisi

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
SYM	**Yatay**	**Dikey**	**Yatay**	**Dikey**	**Yatay**	**Dikey**
SRTM	21.70	1.13	24.19	1.65	25.94	2.04
DTED	22.46	1.05	24.10	1.08	27.40	1.40
ASTER	22.64	1.94	23.49	2.04	27.66	2.40

Çizelge 5. Göktürk-2 ortorektifikasyon başarımına SYM seçimi ve YKN sayısının etkisi

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
SYM	**Yatay**	**Dikey**	**Yatay**	**Dikey**	**Yatay**	**Dikey**
SRTM	8.84	2.29	10.31	2.51	11.81	2.94
DTED	8.86	1.19	10.17	1.57	11.75	1.69
ASTER	8.92	1.99	10.24	2.10	11.78	2.62

Orta çözünürlüğe sahip RASAT görüntülerinin ortorektifikasyonu için kullanılan referansın yatay konum doğruluğuna etkisi 50 ve 25 nokta için belirleyici olmamak ile birlikte, kullanılan nokta sayısı arttıkça yatay konum doğruluğu azalmaktadır (Çizelge 6). Yüksek çözünürlüklü Google Earth referansı ile 25 ve 12 nokta ile benzer sonuçlar alınmaktadır. Göktürk-2 görüntülerinin ortorektifikasyonu yüksek çözünürlüklü Google Earth referansı ile orta çözünürlüklü Landsat 8 referansına göre daha yüksek konum hassasiyeti sağlanmaktadır (Çizelge 7).

Çizelge 6. RASAT ortorektifikasyon başarımına Referans seçimi ve YKN sayısının etkisi

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
Referans	**Yatay**	**Dikey**	**Yatay**	**Dikey**	**Yatay**	**Dikey**
Google Earth	21.70	1.13	24.19	1.65	25.94	2.04
Landsat 8	22.66	1.42	25.70	0.57	29.17	1.95

Çizelge 7. Göktürk-2 ortorektifikasyon başarımına Referans seçimi ve YKN sayısının etkisi

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
Referans	**Yatay**	**Dikey**	**Yatay**	**Dikey**	**Yatay**	**Dikey**
Google Earth	8.84	2.29	10.31	2.51	11.81	2.94
Landsat 8	12.37	2.85	15.37	3.10	17.01	3.30

Dikey konum doğruluk değerleri, yatay konumsal hata ve YKN etrafındaki yer şekillerinin yükseklik farklarına göre değişebilmektedir. YKN sayısı azaldıkça yatay doğruluk azalmakta, dolayısı ile dikey doğrulukta azalabilmektedir.

Çizelge 8 ile testlerde kullanılan görüntülerin YKN verilerinin rapor sonuçları verilmektedir. RMSE(model) ile YKN noktalarının 2. derece polinom model'e göre hatası verilmekte, RMSE (piksel) değeri ise piksellerin bu modele göre yeniden örneklenmesi sonucu elde edilen hata piksel boyutu cinsinden verilmektedir. Görüntülerde piksel boyutları kare olmadığı için değerler metre cinsinden hesaplanarak verilmiştir. YKN hata değerlerinin BDN hata değerlerine göre daha düşük çıkması beklenmektedir. Buna rağmen BDN hata değerleri ERDAS LPS YKN hata değerlerine göre Göktürk-2 için daha düşük çıkmaktadır. RASAT için BDN hata değerleri YKN değerlerine göre daha yüksek olmaktadır.

Çizelge 8. ERDAS LPS ile Görüntülerin Ortorektifikasyon raporları (Referans:Google Earth, YKN:50, SYM: SRTM)

Görüntü	RMSE (model)	X	Y	RMSE (piksel)	RMSE (metre)
GK2 İstanbul	0.51	4.47	2.42	5.08	13.09
GK2 Ankara	0.25	3.62	3.08	4.75	12.58
RASAT İstanbul	0.01	1.38	1.22	1.84	13.80
RASAT Ankara	0.15	2.42	1.56	2.88	21.61
RASAT Osmancık	0.08	1.46	1.29	1.95	14.61

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada RASAT ve Göktürk-2 görüntülerinin operatör yardımı ile ERDAS LPS yazılımı ile farklı sayıda YKN, farklı SYM ve farklı referanslar ile ortorektifikasyon başarımı sunulmuştur. Yatay eksen konum doğruluğu SYM'den bağımsız olmak ile birlikte yüksek çözünürlüklü SYM ile dikey eksende daha yüksek konum doğruluğu sağlanabilmektedir.

RASAT görüntüleri için orta ve yüksek çözünürlüklü referans görüntüleri ile benzer konumsal doğruluk değerleri elde edilirken, Göktürk-2 görüntüler ile yüksek çözünürlüklü Google Earth referans görüntüsü ile daha yüksek konumsal doğruluk sağlanabilmektedir.

Göktürk-2 gibi yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin mümkün olduğunca ortofoto gibi yüksek konumsal doğruluğa sahip referans verileri kullanılarak başarım arttırılabilir. Kullanılan referans, SYM ve YKN yanında kullanılan örnekleme yönteminin (2.derece/3. Derece polinom vs.) ortorektifikasyon performansı araştırılmalıdır. Ayrıca farklı yazılımların ortorektifikasyon başarımlarının karşılaştırılması yapılması planlanmaktadır.

Operatörler tarafından el ile yapılan ortorektifikasyon emek gerektirdiği ve dikkat istediği için otomatik görüntü georeferanslama yöntemleri araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

Büyüksalih, G., 2011, Doğrusal Dizin (PUSHBROOM) Görüntüleme Sistemleri, *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 6(2-3).

Cheng, P. ; Toutin, T., 2001, Ortho Rectification and DEM Generation from High Resolution Satellite Data,*22nd Asian Conference on Remote Sensing*, 5, s. 9.

Erdoğan, M.; Eker, O.; Yılmaz, A. ,2013, Rasat Uydu Goruntulerinin Duzeltilmesi Icin En Uygun Model Parametrelerinin Belirlenmesi, *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birligi VII. Teknik Sempozyumu (TUFUAB'2013),* 23-25.

Erdoğan, M.; Eker, O. ; Yilmaz, A., 2013, Yer Kontrol Noktası Sayı ve Dağılımına Göre Rasat Uydu Görüntülerinin Geometrik Düzeltme Doğruluğunun Araştırılması, *Harita Dergisi*, Temmuz 2013 Sayı 150.

Kahraman, Ö.; Özen, H.; Demircioğlu, E.; Sakarya, U.; Küpcü, R.; Avenoğlu, B; İmre, E.; Bank, E., 2012, Uzaktan Algılamada RASAT: Türkiye'de Üretilen İlk Yer Gözlem Uydusu, *IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2012)*, Zonguldak.

Küpcü, R.; Teke, M.; Çabuk, A., 2014,. RASAT Uydu Görüntülerinin Ortorektifikasyonunda Farklı Referans ve DEM Verileri ile Sonuçların Karşılaştırılması, *3. Jeoloji Uzaktan Algılama Sempozyumu JEOUZAL*, Antalya.

Topan, H.;Oruç, M; Koçak, M.G., 2007, Ortogörüntü Üretiminde Yer Kontrol Noktası Seçimi ve Sonuçlara Etkisi, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara.

Topan, H.; Maktav, D., 2010, GEOSPOT: Doğrusal Dizi Uydu Görüntülerinin Uydu Yörünge Parametreleri İle Demet Dengelenmesi, *III. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*, Gebze – Kocaeli.

Toutin, T., 2003, Error tracking in IKONOS geometric processing using a 3D parametric model, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69(1), 43-52.

TÜBİTAK UZAY, ,2014, GEZGİN RASAT Görüntü Portalı: www.gezgin.gov.tr (01.09.2014)

Yüksel, G.; Okan, A.; Leloğlu, U. M., 2007, First LEO Satellite Built in Turkey: RASAT, *RAST'07 3rd International Conference on Recent Advances in Space Technologies*, (s. 78-82).