

Göktürk-2 Uydu Görüntü Testleri (GOKTURK-2 Satellite Imagery Tests)

Veysel Okan ATA¹, Mustafa ERDOĞAN², Altan YILMAZ²

¹ Hava Kuvvetleri Komutanlığı İstihbarat Başkanlığı, Bakanlıklar, Ankara

² Harita Genel Komutanlığı, Dikimevi, Ankara
voatak@hvkk.tsk.tr

ÖZET

18 Aralık 2012 tarihinde uzaya fırlatılan GÖKTÜRK-2 uydu sistemi ile, Türk Silahlı Kuvvetleri (TSK) ve diğer tüm kamu kurum ve kuruluşlarının uydu görüntü ihtiyaçlarının milli imkân/kabiliyetlerle karşılanması ve uydu teknolojisi konusundaki bilgi birikiminin artırılması hedeflenmiştir.

GÖKTÜRK-2 uydu sistemi yörünge testleri kapsamında, görüntü özelliklerine yönelik bazı temel gereksinimler doğrulanmaya çalışılmış ve farklı birimler tarafından detaylı teknik raporlar hazırlanmıştır.

Bu çalışmada, GÖKTÜRK-2 uydu sisteminin yörünge testleri kapsamında gerçekleştirilen faaliyetler özetlenmiş ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Testler kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda, GÖKTÜRK-2 uydu görüntülerinin bir çok farklı haritacılık uygulaması ile ortofoto/sayısal yükseklik modeli (SYM) üretiminde kullanılabileceği, doğruluğu yüksek yer kontrol noktaları ve SYM kullanılarak iyi bir konumsal doğruluk (< 10 m) sağlanabileceği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: GÖKTÜRK-2, Test, Uydu Görüntüsü, Haritacılık, Konumsal Doğruluk.

ABSTRACT

GOKTURK-2 satellite system which is launched in December 18th, 2012, is aimed to meet the satellite imagey needs of the Turkish Armed Forces and Turkish government agencies and institutes with national capabilities as well as to raise the knowledge in satellite technology.

As part of GOKTURK-2 satellite system's orbit tests, it is studied to confirm some fundamental requirements for imagery specifications and several detailed technical reports were prepared by different units.

In this study, all the activities applied in orbit tests of GOKTURK-2 satellite system were summarized and obtained outcomes were submitted. As result of the test applications, it can be stated that GOKTURK-2 satellite imagey can be used in numerous mapping applications and in production of orthophoto and digital terrain elevation data (DTED). Besides that, from these imagey a good geospatial accuracy (< 10 m) can be provided in case of using proper ground control points and DTED.

Key Words: GOKTURK-2, Test, Satellite Imagery, Mapping, Geospatial Accuracy.

1. GİRİŞ

Uydu ve uzay teknolojileri konusunda bilgi birikimi ve tecrübe sahibi olmak, test ve üretim merkezleri kurmak, özgün tasarımlar gerçekleştirmek ve bunları hayata geçirebilmek dünyada çok az ülkenin sahip olduğu yeteneklerdir. Uydu ve uzay teknolojilerine son yıllarda büyük ağırlık veren ülkemiz; BİLSAT, RASAT, GÖKTÜRK-2 ve üretimi devam eden GÖKTÜRK-1 uyduları ile bu alanda büyük ve önemli adımlar atmıştır.

Bu kapsamda gerçekleştirilen GÖKTÜRK-2 uydu sistemi ile ilgili süreç, "2.5 m Çözünürlüklü Görüntüleme Amaçlı Bilimsel Araştırma ve Teknoloji Geliştirme Projesi" destekleme sözleşmesinin, Milli Savunma Bakanlığı, TÜBİTAK Başkanlığı, TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü ve Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. (TUSAŞ) Genel Müdürlüğü arasında 17 Nisan 2007 tarihinde imzalanması ile başlamıştır.

BİLSAT ve RASAT uydu sistemleri ile kazanılan tecrübe sonucunda geliştirilen ve yüksek çözünürlüklü ilk milli yer gözlem uydusu olan GÖKTÜRK-2, herhangi bir kısıt olmadan dünyanın her yerinden görüntü alabilme ve bunları yer istasyonuna indirebilme yeteneğine sahiptir.

GÖKTÜRK-2 projesi kapsamında uzay ve uydu sistemlerine yönelik teknoloji, uzman insan gücü ve alt yapı geliştirilmesi ile başta TSK olmak üzere tüm kamu kurum ve kuruluşlarının gözlem ve araştırma ihtiyaçlarının milli imkân ve kabiliyetlerle karşılanması hedeflenmiştir. Bu kapsamda, ülkemizin gelecekteki uydu projelerinde görev alacak uzman insan gücü yetiştirilmiş, uydu ve ekipmanlarla ilgili tasarım, analiz, üretim, montaj, entegrasyon ve test faaliyetlerine yönelik altyapı ve kabiliyetler kazanılmıştır (GÖKTÜRK-2, 2014).

TSK ve kamu kurum ve kuruluşlarının uydu görüntü ihtiyaçlarını karşılamak üzere tasarlanan GÖKTÜRK-2 uydusundan elde edilen/edilecek veriler, hem askeri gözlem ve istihbarat hem de tarımsal ürün analizi, yıllık rekolte tahmini, zirai

mücadele, çevre kirliliği, doğal afet hasarları ile çevre kirliliğinin değerlendirilmesi, kentsel gelişimin izlenmesi ve kaçak yapılaşmanın tespiti gibi amaçlar için kullanılabilecektir (Işıkyüzlü, 2013).

Bu çalışmanın amacı, yüksek çözünürlüklü ilk milli yer gözlem uydusu olan GÖKTÜRK-2 uydu sisteminin görüntü testleri kapsamında gerçekleştirilen faaliyetler hakkında bilgi sunmak ve elde edilen sonuçlar ile kazanılan tecrübeleri paylaşmaktır.

2. GÖKTÜRK-2 UYDUSUNUN ÖZELLİKLERİ

Türkiye'nin güneyinden kuzeyine uzanan 20 km x 640 km uzunluğunda bir alanı tek seferde şerit olarak görüntüleme ve sıkıştırarak depolama yeteneğine sahip olan GÖKTÜRK-2 uydu sisteminin teknik özellikleri Tablo 1'de sunulmuştur (Çınar, 2014).

Tablo 1. Göktürk-2 uydusunun teknik özellikleri

Yörünge	Güneş Eş Zamanlı ve 98,2° Eğimli Yörünge,
Yörünge Yüksekliği	~ 685 km
Periyodu	~ 98 dakika 20 saniye
Dünya Etrafındaki Günlük Tur Sayısı	14 - 15 Adet
Yükseliş Yerel Zamanı	10.30 (Yerel Zaman)
Günlük Yer İst Tamas Süresi	~ 60 dakika (gündüz+gece)
Uydu Kütlesi	< 409 kg.
Depolama Kapasitesi	8 GB
Mekansal Çözünürlük	Siyah – Beyaz : 2.5 m Renkli (RGB) : 5 m NIR : 5 m
Radyometrik Çözünürlük	11 Bit
Zamansal Çözünürlük	+/- 5 ⁰ çekim açısı 11 gün, +/- 30 ⁰ çekim açısı 2-3 gün,
Spektral Çözünürlük	Pan : 0,42-0,75 µm Red : 0,596-0,75 µm Green : 0,5-0,584 µm Blue : 0,422-0,512 µm NIR : 0,762-0,894 µm SWIR : 0,8-1,7 µm
Tasarlanan Görev Ömrü	5 yıl

GÖKTÜRK-2 uydu sisteminde her biri 2 GB kapasiteli üç adet veri depolama birimi mevcuttur. Bunlardan Bilge OBC ana uçuş bilgisayarı olarak, Bilge Router-0 ve Router-1 ise yedek uçuş bilgisayarı olarak kullanılmaktadır.

Bununla birlikte, GÖKTÜRK-2 uydusunda toplam iki set doğrusal CCD (charge-coupled device) algılayıcı kullanılmakta olup, görüntü (şerit) genişliği 20.4 km'dir. Tek bir parça (scene) görüntü 5 x 20 km boyutunda çekilmekte olup 20 x 20 km.lik (4 parça) ham bir kare görüntünün boyutu yaklaşık olarak 192 MB'tır. Kamera üzerinde PAN bandının R/G/B bantlarının her biri ile yaklaşık 0.1 mm.lik, NIR bandı ile de yaklaşık 15 mm'lik bir mesafe olması nedeniyle, bantlar konumsal bir fark ile görüntüleme yapmaktadırlar.

GÖKTÜRK-2 uydu sisteminde yer alan deneysel kamera (Kuzgun) ise 20 m mekansal çözünürlüğe sahip olup, Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR) bantta çekim yapmaktadır. Kuzgun, yerel hafızasında Türkiye'nin en güneyinden en kuzeyine kadar devam eden uzunlukta 15 km genişliğe sahip bir şerit görüntüyü depolayabilmektedir (Çınar, 2014).

GÖKTÜRK-2 sistemi ile göreve ilişkin tasarım, üretim/test süreçlerindeki tüm mühendislik faaliyetleri milli olarak gerçekleştirilmiş ve GÖKTÜRK-2 uydusu sevkiyat öncesi yer testleri TUSAŞ tesislerinde tamamlanmıştır. GÖKTÜRK-2 Uydusu 18 Aralık 2012 tarihinde Türkiye saati ile 18:13'te Çin'den uzaya fırlatılmış ve 12 dakika sonra görev yörüngesine yerleşen uydudan ilk sinyal TSİ 19:39'da Svalbard/Norveç Yer İstasyonu'ndan alınmıştır. Müteakiben uyduyu devreye alma süreci tamamlanmış ve GÖKTÜRK-2 uydusu tarafından çekilen görüntüler halen Hava Kuvvetleri Komutanlığı tarafından işletilen ve Ankara'da bulunan yer istasyonuna indirilmeye başlanmıştır.

Birinci yılın sonunda uydu, dünya etrafındaki kutupsal yörüngede toplam 5.344 tur atmıştır. Bu süre içinde Ankara'da bulunan yer istasyonundan 2.850 defa iletişim kurulmuş ve dünyanın dört bir tarafından 2.400 adet görüntü çekilerek üç milyon kilometrekarelik bir alan kapsanmıştır (GÖKTÜRK-2 Uydusu, 2014).

3. UYDU YÖRÜNGE TESTLERİ

Bir uydunun fırlatılması ile operasyonel hale gelmesi arasında önemli bir zaman dilimi söz konusudur. Görev yükünün planlandığı ve komuta edildiği gibi çalıştığı ve yer testlerinde elde edilen performansın sorunsuz bir şekilde

karşılandığının teyit edildiği bu süreç (Gatti, vd., 2008, Tansock, 2003), her bir uydu sistemi için farklılıklar arz etmekte olup aylarca sürebilmektedir.

Yörünge testleri süreci; alt sistemler ve iletişimin kontrolü, cihazların başlatılması, veri işleme ile kalibrasyon ve yörüngeye yerleştirme faaliyetlerini kapsar (Rocchio, 2014). Tüm bu çalışmalar temel olarak Görev Operasyon, Yer Sistem ile Kalibrasyon ve Onay Timleri tarafından gerçekleştirilir (Kim ve Ahn, 2013).

Uydunun fırlatılması sonrasında yapılan ilk işlem, uydunun ömrü boyunca ihtiyaç duyacağı ve kullanacağı enerjinin kaynağı olan güneş panellerinin açılmasıdır. Güneş panellerinin açılmasından sonra; uydu sisteminin konumu, pil durumu vb. tüm uydu bilgilerini içeren bir rapor niteliği taşıması nedeniyle telemetri bağlantısı ve verilerinin kontrolü gerçekleştirilir (Rocchio, 2014).

Bu çalışmalarla birlikte, uydunun güneş ve ay gibi farklı boyutlardaki hedefleri görüntüleme ve farklı açılarda manevralar yapma kabiliyetleri de ayrıca kontrol edilir (Kim ve Ahn, 2013). Alt sistemler ve iletişimin kontrolü işlemleri en azından yaklaşık bir haftalık bir zaman içerisinde gerçekleştirilir (Rocchio, 2014).

Bu kontroller sonrasında uydu, ısıtıcı sistemler, destek iletişim sistemleri ve sayısız alt sistemin aktif hale getirilmesi için artık hazırdır. İtki gücü, bu aşamada uydunun en son aktif hale getirilen sistemidir. Uydu alt sistemlerinin başarılı bir şekilde aktive edilmesinden sonra görüntüleme cihazları ile soğutucular açılır.

Bu çalışmalar sonrasında uydunun görüntüleme işlemleri ile birlikte veri işleme çalışmalarına yönelik kontroller de başlar. Bu aşamada; komutların gönderilmesi ve telemetri bilgilerinin alınması S-Band, görüntü verilerinin alınması ise X-Band iletişimi vasıtası ile kontrol edilir. Elde edilen görüntüler veri işleme birimi tarafından incelenir, işlenir ve depolanır. Bu aşamada, uydunun ekvator, kutuplardan, ana meridyenden geçişini içeren özel durumlarda görüntü alması ve bu sayede enlem, boylam ve zaman boyutunda oluşabilecek kayıklıkların doğru olarak tespit edilmesi de sağlanır.

Görüntü işleme ve kalite kontrolü çalışmalarında sadece görüntü özellikleri değil, aynı zamanda sistem performans değerleri de kontrol edilir. Bu şekilde; konumlama bir kartoğrafik referans sistemi ile karşılaştırılır, her

bir dedektörden alınan sinyallerin benzerliği değerlendirilir, zamana bağlı olarak elde edilen geri dönüşlerin istikrarı ve her bir spektral modda elde edilen optimal programlama kazanımları incelenir (Spot-4, 2014).

Fırlatma öncesinde elde edilen kalibrasyon değerlerinin, uydunun depolanması ve yörüngesine oturtulması süreçlerindeki değişimler nedeniyle güncellenmesi gerekir (Fox, 2003). Bu kapsamda, kalibrasyon bilgilerinin revize edildiği bu bölümde uydu öncelikle optik algılama için güneşe, infrared algılama için derin ve karanlık uzaya, hedefleme doğruluğu için yıldızlara ve atmosferik etkilerden uzak bir arazi kaplaması için de ay gibi hali hazırda arazi yapısı çok iyi bir şekilde tanınan bazı ışık kaynaklarına yönlendirilir.

Kalibrasyon ölçülerinin artırılması amacıyla bu bölümde ayrıca; yapılan ölçülerle yansıma değerleri tespit edilmiş olan Fransa'daki La Crau ve Amerika'daki White Sands gibi çöl alanları ve önceden belirlenmiş/hazırlanmış yer kontrol noktaları (YKN) bulunan bölgelere ilişkin bir çok görüntü çekimi de gerçekleştirilir (Spot-4, 2014). Bu çalışmalar kapsamında uydunun son ve kalıcı yörüngesine yerleştirilmesi faaliyeti de, uydunun kendi itki sistemini kullanarak yaptığı manevralar ile gerçekleştirilir (Rocchio, 2014).

Kalibrasyon faaliyetlerinin uydunun ömrü boyunca tekrarlanması gereklidir ve bu işlemler arazi üzerinde ölçümlerin tekrarlanabilmesine imkan sağlayacak bazı ekipmana ihtiyaç duyarlar. Bu ekipmanlar; sabit / taşınabilir arazi ve uçak spektrometreleri, güneş fotometreleri ve okyanus şamandıralarıdır (Fox, 2003).

Uydu yörünge testlerinde son olarak, tüm bu işlemler sonunda elde edilen değerler, uydu uzaya fırlatılmadan önce gerçekleştirilen yer testlerinde gözlemlenen değerler ile karşılaştırılır ve uydu sisteminin fırlatma ile yörüngeye yerleştirme aşamalarından etkilenmediği teyit edilmeye çalışılır (Gatti, vd., 2008).

4. GÖKTÜRK-2 UYDU GÖRÜNTÜ TESTLERİ

GÖKTÜRK-2 uydusunun 18 Aralık 2012 tarihinde Çin Halk Cumhuriyeti'nden uzaya fırlatılmasından 30 Ocak 2014 tarihine kadar süren 13 aylık dönemde, uyduya ilişkin test ve kalibrasyon faaliyetleri ile nihai kabul çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Atak, 2014) (Tablo 2).

Tablo 2. Test/Kalibrasyon ve nihai kabul işlemleri

TARİH	FAALİYET
17.04.2013	Uydunun yörünge testi ve kalibrasyonu Nihai kabul faaliyetlerine başlanması
30.07.2013	Birinci aşamanın sonu ve TSK ihtiyaçları çerçevesinde kullanım
06.11.2013	İkinci aşama
20.01.2014	Şerit görüntüleme testi
30.01.2014	GÖKTÜRK-2 Uydu Sisteminin Kabulü ve Envantere Alma İşlemleri
19.02.2014	Kamu Kurum/Kuruluş Taleplerinin Karşılanamaya Başlanması

İlgili proje dokümanları ve sözleşmesel hususlar çerçevesinde yürütülen GÖKTÜRK-2 uydu sistemi yörünge testleri kapsamında, görüntü özelliklerine yönelik bazı temel gereksinimler doğrulanmaya çalışılmıştır. Bu çerçevede temel olarak; tekli/çoklu nokta ile şerit/stereo/geniş alan çekimleri, deneysel kamera özellikleri, görüntü sıkıştırma, Modülasyon Transfer Fonksiyonu (MTF) ve yönelim kontrol hassasiyetine yönelik hususlar test edilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Görüntü alımı testlerine ilişkin detaylar

TEST	GEREKSİNİMLER
Tekli Nokta Çekimi	+/- 30° yalpalama (roll) açısında görüntüleme, üç eksenle kontrol ve kayıplı 4 kat sıkıştırma
Çoklu Nokta Çekimi	+/- 5° yalpalama (roll) açısında görüntüleme, yer normali/güneş arası 40°'ye kadar olan açılarda parlak/gölgelenmiş bölgelerin görüntülenmesi
Şerit Çekimi	+/- 2° yalpalama (roll) açısında 600 km görüntüleme, görüntülerin işlenmesi (Seviye 0-1-2), metaveri dosyalarının üretilmesi, format dönüşümleri, çözünürlük değerlerinin incelenmesi
Stereo ve Geniş Alan Çekimi	+/- 30° yunuslama (pitch) açısında görüntüleme
Deneysel Kamera	+/- 2° yalpalama (roll) açısında görüntüleme ve çözünürlük değerlerinin incelenmesi

Test ve kabul faaliyetleri kapsamında her bir test konusuna yönelik TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü tarafından detaylı teknik raporlar hazırlanmış ve

Muayene ve Kabul Komisyonuna sunulmuştur. Bununla birlikte yörünge testleri içerisinde görüntülere ilişkin olarak yapılan incelemeler ve kontroller, Hava Kuvvetleri İstihbarat Başkanlığı ile MSB Harita Genel Komutanlığı (HGK) tarafından birlikte gerçekleştirilmiş ve teknik raporlar hazırlanmıştır.

5. GÖRÜNTÜLERİN İNCELENMESİ

Yörünge testleri kapsamında elde edilen görüntüler TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü tarafından milli olarak geliştirilen yer yazılımı ile işlenmiştir. İşlenen veriler, uydu görüntüsü tedarik eden tüm kamu kurum/kuruluşları ile üniversitelerin beklentileri göz önünde bulundurularak detaylı bir şekilde incelenmiştir. Erdas Imagine ve ENVI gibi farklı ticari yazılımların kullanıldığı bu inceleme çalışmalarında, dünya çapında kullanılan diğer ticari uyduların özellikleri de dikkate alınmış ve bu özellikler GÖKTÜRK-2 uydusu ile karşılaştırılmıştır.

Bu bölümde, görüntülerin incelendiği alanlar sırasıyla detaylı olarak açıklanacaktır.

a. Görüntülerin Sıkıştırılması

GÖKTÜRK-2 uydusu üzerindeki ana kamera tarafından üretilen görüntü verisi TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü tarafından milli olarak geliştirilen ve gerçek zamanlı çok bantlı görüntü sıkıştırma modülü olan GEZGİN-2 tarafından JPEG2000 algoritması kullanılarak sıkıştırılmaktadır. Görüntü sıkıştırma işlemi, temel olarak görüntünün içeriğinde kendini tekrarlayan bilgilerin (redundancy) azaltılması ile gerçekleştirilmektedir.

Kayıplı sıkıştırmalarda, sıkıştırma oranı ile görüntü kalitesi arasında ters orantı vardır. Sıkıştırma oranı arttıkça görüntüdeki bozunumlar artar ve görüntü kalitesi düşer. Bu nedenle görüntü sıkıştırma algoritmalarını gerçekleştirirken sıkıştırma oranı ile görüntü kalitesi arasında bir optimizasyon yapılması gerekmektedir. Kayıplı sıkıştırma için JPEG2000 algoritmasında iki farklı yöntem kullanılmaktadır: "Oran Bozunum Optimizasyonu (RD-Optimization)" ve "Nicemleme (Quantization)".

GEZGİN-2 modüllerinde 4 kat, 8 kat vb. sıkıştırma modları için kullanılan "Oran Bozunum Optimizasyonu" yönteminde, hedeflenen sıkıştırma oranına ulaşana kadar kodlama yapılır. Ancak kodlama yapılırken, görüntünün çok bilgi içeren kısımlarındaki (örneğin şehir görüntüleri)

detayları kaybetmemek için kodlama sırasında görüntüde oluşan kayıplar ölçülür. Oluşan kayıplara göre hedeflenen sıkıştırma oranı alandan alana değişir ve çok bilgi içeren kısımlar daha uzun kodlanırken asıl sıkıştırma az bilgi içeren kısımlarda yapılır. Yapılan incelemede, GEZGİN-2 tarafından “Oran Bozunum Optimizasyonu” ile sıkıştırılan _X4 ve _X8 uzantılı kayıplı görüntülerde beklentilere uygun şekilde deniz, bulut, boş arazi gibi kısımlarda daha çok bozunum olurken şehir detaylarının daha iyi korunduğu görülmüştür.

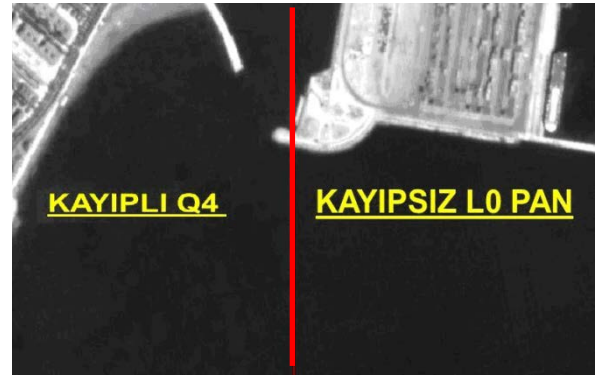
GEZGİN-2 modüllerinde _Q4, _Q5 vb. sıkıştırma modları için kullanılan “Nicemleme” yönteminde ise tüm görüntü karoları için aynı bit seviyesine ulaşıncaya kadar kodlama yapılır. Bu yapılırken görüntünün çok veya az bilgi içeren kısımları arasında bir ayırım gözetilmez. Bu yöntemle sıkıştırılan görüntülerde bozunumlar görüntünün her tarafına eşit olarak dağıldığı için daha yüksek sıkıştırma oranlarına ulaşılır, ancak detay kaybı diğer yöntemlere göre daha fazla olur (İsmailoğlu, 2014).

Yörünge testleri kapsamında alınmış olan 10.06.2013 tarihli Malaga/İspanya görüntüsü farklı kayıplı sıkıştırma yöntemleri ile ve farklı oranlarda sıkıştırılmıştır (Tablo 4).

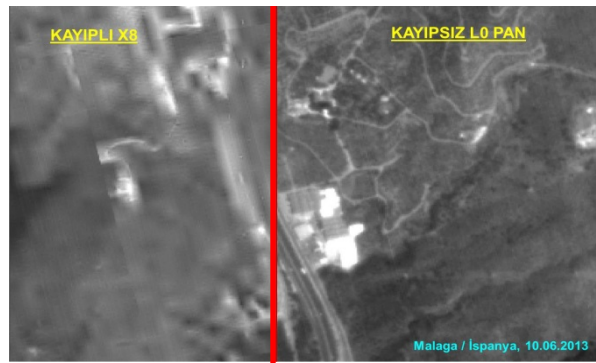
Tablo 4. Sıkıştırma yöntemleri ve oranları

Görüntü	Sıkıştırma Yöntemi	Sıkıştırma Oranı
Malaga_X4	Oran Bozunum Optimizasyonu	5.6 kat
Malaga_X8	Oran Bozunum Optimizasyonu	10,7 kat
Malaga_Q4	Nicemleme	8,3 kat
Malaga_Q5	Nicemleme	17 kat
Malaga_Q6	Nicemleme	38 kat

Sıkıştırma algoritmalarına ilişkin performansın değerlendirildiği bu çalışmalarda; kayıpsız veri ile “Nicemleme” algoritması kullanarak 8.3 kat kayıplı sıkıştırılmış veri karşılaştırılmış (Şekil 1), sıkışmış veride netliğin bozulduğu, görüntüde bulanıklık olduğu ve bazı karelajlar ile veri kayıplarının görüldüğü tespit edilmiştir. Aynı görüntünün “Oran Bozunum Optimizasyonu” algoritması kullanarak 5.6 kat kayıplı sıkıştırıldığı versiyonunda da bozulmaların daha az, 10.7 kat kayıplı sıkıştırıldığında ise (Şekil 2) netliğin çok daha fazla bozulduğu görülmüştür (Atak, 2014).



Şekil 1. Nicemleme algoritması

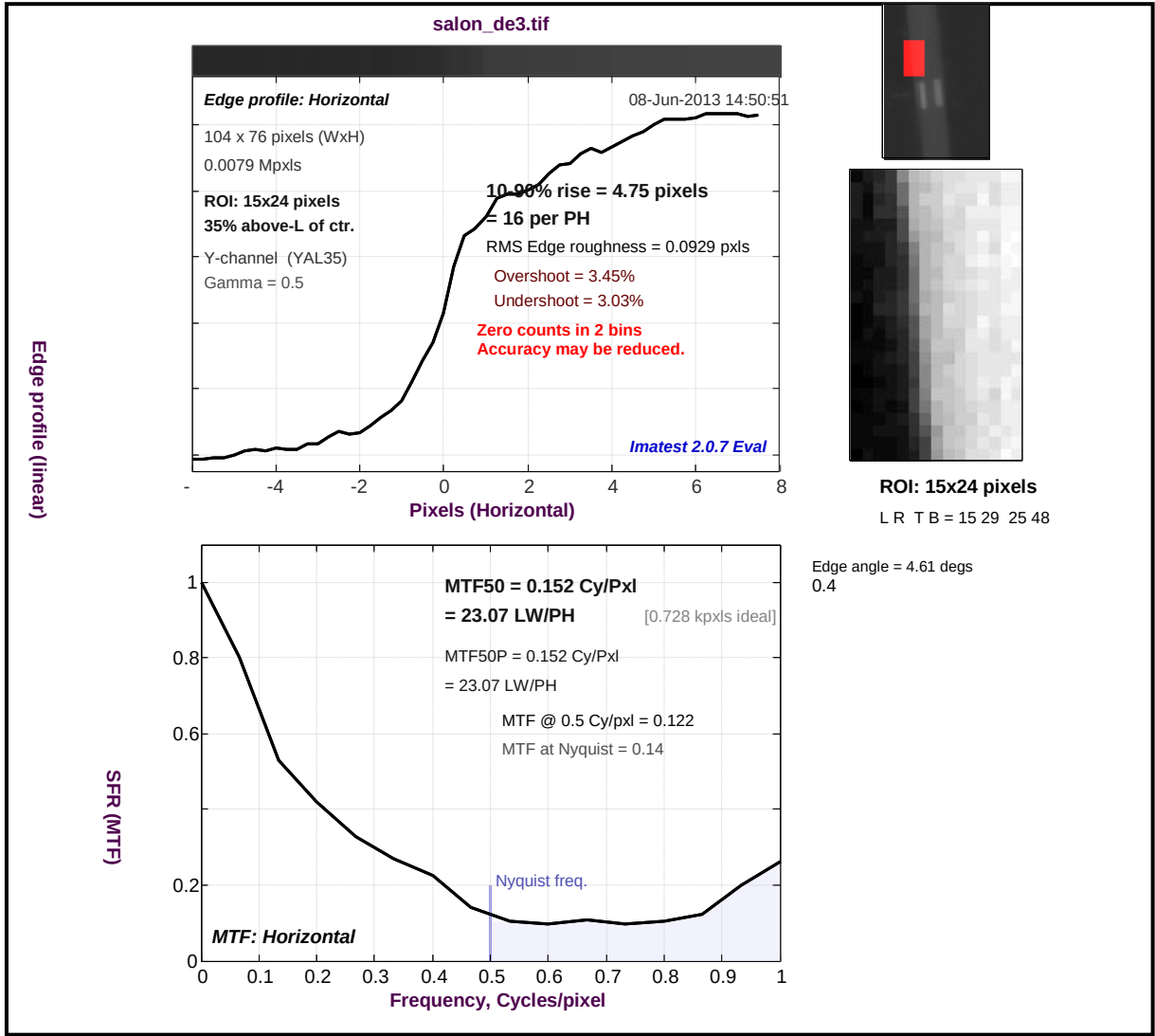


Şekil 2. Oran bozunum optimizasyonu algoritması

b. Modülasyon Transfer Fonksiyonu (MTF)

Görüntü kalitesi; “Gürültü Seviyesi” ile ifade edilen radyometrik çözünürlük ile “MTF” ile ifade edilen geometrik çözünürlük ve keskinlik parametreleri vasıtasıyla tanımlanır. Hedefin yansımaları ile pikselin gri değeri arasındaki ilişki doğru ise görüntünün radyometrisi tatmin edicidir. MTF özellikleri çoğunlukla uydu fırlatılmadan önce ölçülür ancak bunlar sarsılma ve diğer bazı nedenlerle zaman içinde değişebilir. Bu nedenle yörünge testleri kapsamında MTF değeri yeniden incelenmelidir.

MTF değerinin belirlenmesi için MTF değeri bilinen diğer görüntüler ile karşılaştırma ve periyodik hedeflerin görüntülenmesi gibi farklı yöntemler kullanılabilir. Bu yöntemlerin çoğunda, yeryüzündeki belirli hedefler kullanılarak Köşe ve Kenar Yayılma/Dağılma Fonksiyonu (Edge / Line Spread Function – ESF / LSF) ile MTF değeri belirlenmeye çalışılır (Crespi ve Vendictis, 2009). ESF yöntemi yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri için en uygun yöntemdir ancak tüm yöntemlerin ortak özelliği özel bir test alanına ihtiyaç duymalarıdır (Léger, vd., 2003).



Şekil 3. MTF belirleme çalışmaları

Tablo 5. Görüntü işleme seviyeleri (Filiz, 2014)

Gör. İşleme Seviyesi	Elde edilecek görüntü türleri
Seviye 0 (L0)	Sıkıştırma ve radyometrik çözümleme yapılmış görüntü
Seviye 1 (L1)	Radyometrik düzeltilmiş görüntü (dedektör ve atmosferik hataları düzeltilmiş, gölge, gürültü ve bulanıklığı giderilmiş)
Seviye 2 (L2)	Geometrik olarak düzeltilmiş görüntü
Seviye 3 (L3)	Ortorektifiye edilmiş görüntü
Seviye 4 (L4)	Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)
Seviye 5 (L5)	Mozaik görüntü
Seviye 6 (L6)	Tematik Harita (Sınıflandırma/Analiz)

GÖKTÜRK-2 yörünge testleri kapsamında yapılan MTF belirleme çalışmalarında "Imatest" isimli yazılım kullanılmıştır. Bu amaçla keskin kenar özelliğine sahip bir havaalanı yolu ile bu yol yanındaki toprak bölge incelenmiş ve Nyquist frekansındaki (@0.5 cycles/pixel) MTF değeri %12.2 olarak elde edilmiştir (Şekil 3).

c. Görüntülerin İşlenmesi (Seviye 0-2)

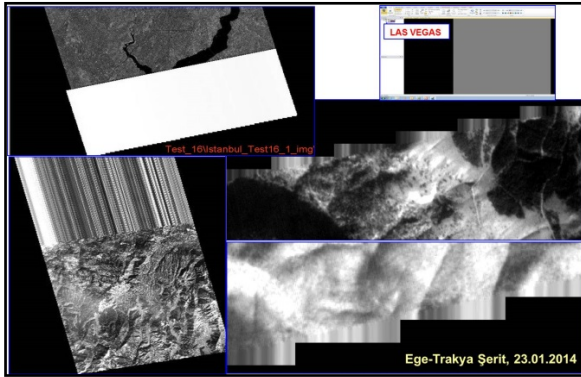
GÖKTÜRK-2 uydu sisteminde;

- Yer istasyonuna indirilen ham görüntüler, yer istasyonunda işlenen Seviye 0-2 (L0-L2) görüntüler ve bu görüntülere ilişkin metaveriler "**Temel Ürünler**",

- Seviye 2 (L2) üzerinde işlenerek elde edilen diğer ürünler ise "**Katma Değerli Ürünler**" olarak tanımlanmıştır (Tablo 5).

Test süreci içerisinde GÖKTÜRK-2 veri işleme yazılımı ile işlenen görüntüler üzerinde yapılan çalışmalarda, hem görüntünün nefaseti ile sahip olması beklenen görsel özellikler hem de veri işleme süreleri incelenmiştir. Bu inceleme çalışmalarında;

- Görüntü alımı başlangıcında boş alanlar ile veri kayıplarının olduğu ancak test süreci sonunda bu hataların giderildiği, görüntünün sağında ve solunda görüntü boyunca uzanan ve birer piksel genişliğindeki bozuk şerit alanlarının ise gözlenmeye devam edildiği (Şekil 4),

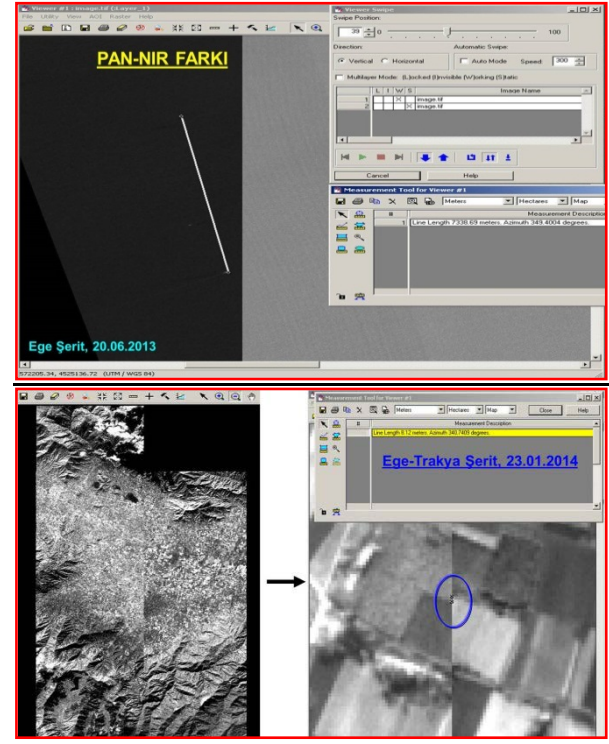


Şekil 4. Veri kayıpları

- L1 görüntülerin sahip olduğu konumsal bilgilerin uygun bir yapıda olmadıkları ve görüntülerin bölünmesi aşamasında bazı farklılıklar içerdikleri,

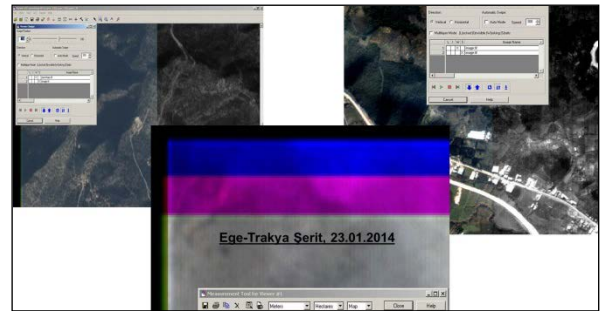
- Testlerin ilk aşamasında L2 Pan bandı ile diğer bantlar arasında görülen önemli miktardaki kayıklıkların (özellikle Pan-NIR bandı arasında 7-

10 km), yapılan düzenlemeler ile testlerin son aşamasında NIR bandı (< 20 m) dışında ihmal edilebilir seviyelere indiği (Şekil 5),



Şekil 5. Pan-NIR bandı arasındaki kayıklıklar
(Üstte İlk Aşama / Altta İkinci Aşama)

- L2 Pan ile L2 NIR bantlarının aynı alanı kapsayacak şekilde veri işleme yazılımı tarafından işlenmedikleri, bu nedenle birleştirilmiş görüntülerin kenarlarında her bir bant parçasının ayrı ayrı şeritler halinde görüldüğü, ancak bu farklılıkların konumsal bir kayıklığa yol açmadığı (Şekil 6),



Şekil 6. Birleştirilmiş görüntüler

- Testlerin ilk aşamasında görülen görüntü işleme sürelerinin, yapılan çalışmalar ile çok önemli oranda azaltıldığı (Tablo 6),

• Verilerin farklı formatlara (Tiff, Img, NITF vb.) ve projeksiyonlara / koordinat sistemlerine başarılı bir şekilde dönüştürülebildiği,

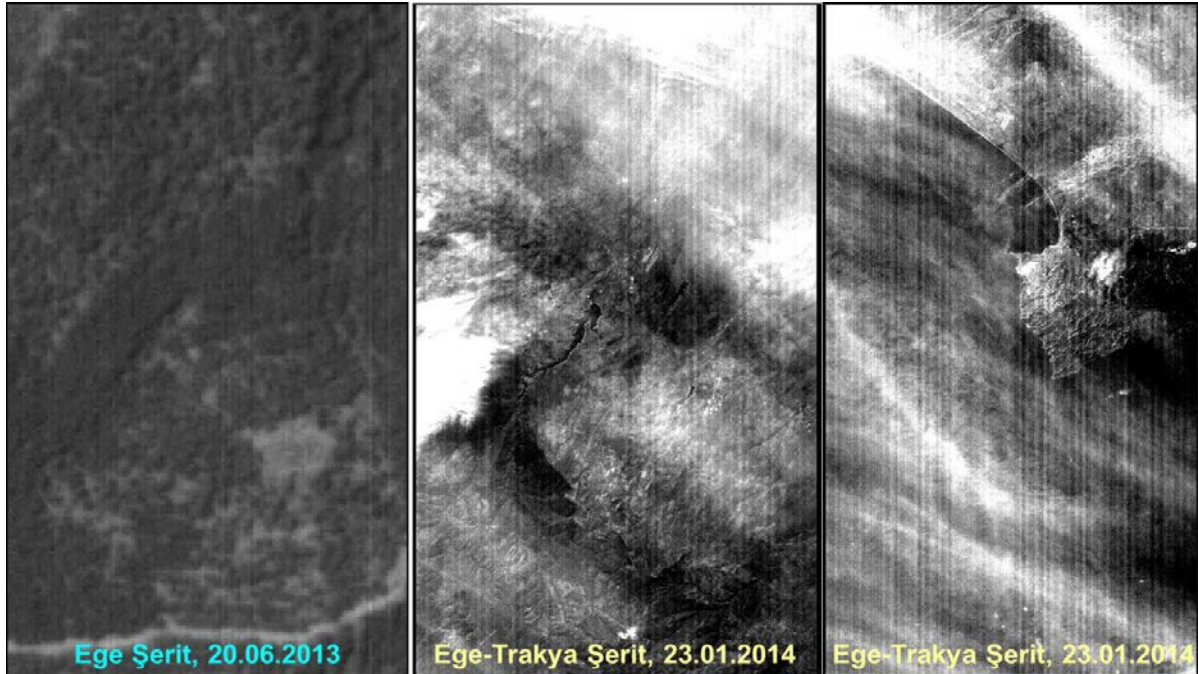
• Görüntüler üzerinde, arazi detaylarını ve ileri seviye görüntü işleme uygulamalarını engelleyebilecek tarzda dikey çizgiler oluştuğu, bu çizgilerin özellikle tarla vb. gibi düz alanlarda daha belirgin hale geldiği (Şekil 7), (CCD'lerin rölatif algılama farklılıklarından kaynaklanan bu çizgilerin radyometrik kalibrasyon ile giderilebileceği tespit edilmiş ve Eylül 2014

ayında Tuz Gölü/Türkiye bölgesinde bir kampanya gerçekleştirilmiştir)

• Dünyanın farklı bölgelerinden alınan bazı görüntülerin veri işleme yazılımında işlenirken özellikle NIR bandında büyük bozulmalara maruz kaldığı/format dönüşümlerine olumlu yanıt vermediği, ancak bu aksaklıkların test sürecinde yapılan ilave çalışmalar ile giderildiği tespit edilmiştir (Atak, 2014) (Şekil 8).

Tablo 6. Görüntü işleme süreleri (L0-L2)

İşlem	40 Scene için Süre (Şubat 14)	44 Scene için Süre (Haziran 14)
L0	23'	21'25"
L1	6'	2'59"
Görüntü Bölme	6' (6 parçaya bölme)	3'43" (4 scene'lik bindirmeli 14 parçaya bölme)
Bant Eşleme (L1R)	36'	13'18"
PanSharpen	36'	2'48"
Kontrast iyileştirme	234'	1'10"
Keskinleştirme		42"
L2		50'24"
Toplam	341 dk	96 dk 29 sn

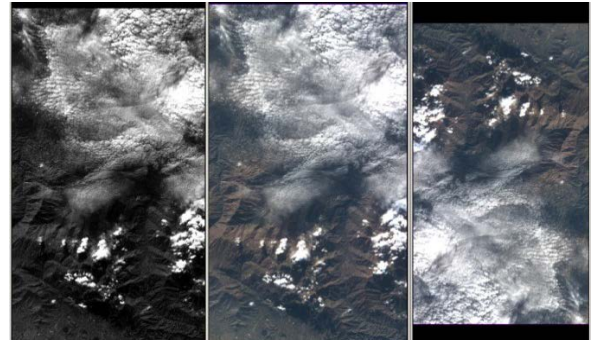


Şekil 7. Görüntüde yer alan dikey çizgiler

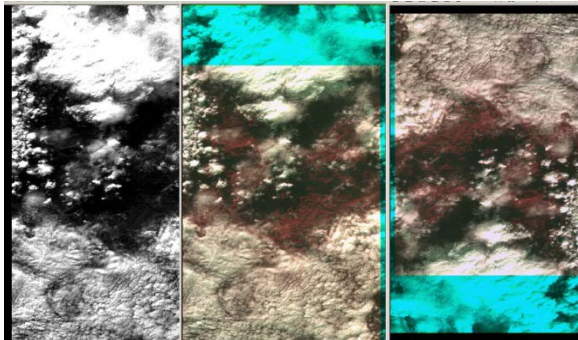
GÖRÜNTÜ İSMİ	LEVEL	HATA (Bantlar)				
		0	1	2	3	4
ADELAIDE	L1	Yok	Yok	Yok	Yok	S-1
BOSTON	L2	Yok	Yok	Yok	Yok	S-2
DENVER	L2	Yok	Yok	Yok	Yok	S-3
DOHA	L1	Yok	S-4	S-5	Yok	Yok
	L2	Yok	Yok	Yok	Yok	S-6
DUBAI	L2	Yok	Yok	Yok	Yok	S-7
IRKUTSK	L2	Yok	Yok	Yok	Yok	S-8
KARACHI	L1	S-9	Yok	Yok	Yok	S-10
	L2	Yok	Yok	Yok	Yok	S-11
LAS VEGAS	L1	Yok	S-12	S-13	S-14	S-15
	L2	Yok	Yok	Yok	Yok	S-16
LYON	L1	Yok	S-17	S-18	S-19	S-20
	L2	S-21	Yok	Yok	Yok	S-22
ROMA	L2	Yok	Yok	Yok	Yok	S-23
SAN ANTONIO	L1	Yok	Yok	Yok	Yok	S-24
	L2	Yok	Yok	Yok	Yok	S-25
SAN FRANCISCO	L2	Yok	Yok	Yok	Yok	S-27
SARAY BOSNA	L1	S-26	Yok	Yok	Yok	Yok
	L2	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok

Şekil 8. Görüntülerin bant bazında incelenmesi (Yok; Hatasız, S; Hatalı)

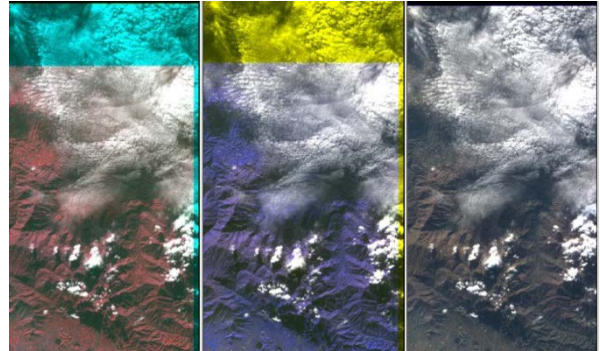
Bu aşamada, L1→L1R şeklinde işlenmiş görüntüler kullanılarak hem veri işleme yazılımı ile hem de Erdas Imagine yazılımı ile renklendirilmiş (PANS) görüntüler üretilmiş ve bu görüntüler birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan incelemelerde, bantların farklı kapsama alanlarına sahip olması nedeniyle 4-3-2 bant sıralamasında görüntüler arasında farklı renk bilgisine sahip bölümler olduğu ve L1 görüntülerin farklı konum bilgileri içerdiği görülmüştür. Gerçek arazi renklerinin kullanıldığı 1-2-3 bant sıralamasında ise renk farklılıklarının yok olduğu belirlenmiştir (Şekil 9, 10 ve 11).



Şekil 10. L1 görüntülerden PANS üretimi (1-2-3)



Şekil 9. L1 Görüntülerden PANS üretimi (4-3-2)

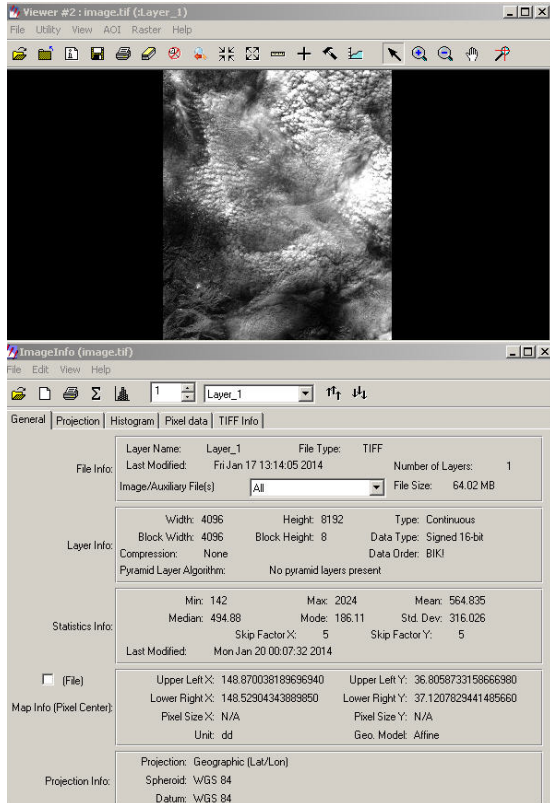


Şekil 11. Farklı bant kombinasyonlarında PANS üretimi (4-3-2, 1-2-4, 1-2-3)

ç. Çözünürlük Değeri ve Metaveri Bilgileri

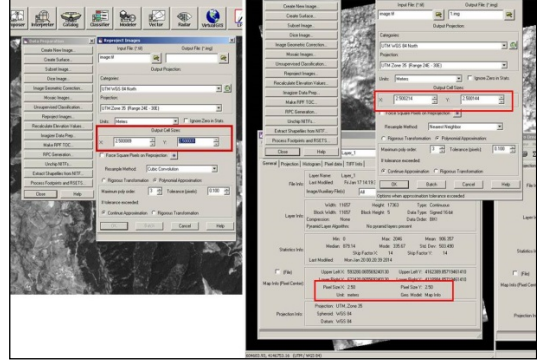
Testler kapsamında görüntülerin radyometrik çözünürlük değerleri hem metaveri bilgileri hem de piksellerin yansıma değerleri üzerinden incelenmiştir. Bu incelemelerde, L1 görüntülerin bilgilerinden veri tipi, bir satırdaki piksel sayısı ile istatistik değerleri kontrol edilmiştir.

Bu testte kontrol edilen örnek görüntüde veri tipi olarak "Signed 16 Bit" bilgisi, bir satırdaki piksel sayısı (width) olarak PAN bandı için "8192", diğer bantlar için de "4096" değeri, gri değeri (gray scale) olarak da "140-2000" aralığında yer alan değerler tespit edilmiştir. Bu değerler ayrıca histogram bölümünden de teyit edilmiştir. Öte yandan metaveri bilgilerinde Unsigned 11 bit için "0-2047", Unsigned 16 bit için de "0-65535" değerlerinin okunması gerektiği göz önüne alınarak, görüntünün 11 bit anlamlı 16 bitlik bir veri yapısına sahip olduğu değerlendirilmiştir. Görüntünün ortalama ve standart sapma değerleri de gözlenmiş (min: 142, max: 2014, ortalama: 564, standart sapma: 316) ve verinin radyometrik olarak zengin bir yapıda olduğu belirlenmiş, görüntü kapsama alanının metaveri bilgileri ile kesişmesi kontrol edilerek alanların aynı bölgeleri kapsadığı görülmüştür (Şekil 12).



Şekil 12. Görüntü bilgilerinin incelenmesi

Görüntülerin sahip olduğu 2.5 m.lik mekansal çözünürlük değeri de, piksel boyutunun hem görüntü üzerinde ölçülmesi hem de görüntünün (*reproject vb.*) farklı işlemlere tabi tutulduğunda sistem tarafından sunulan otomatik piksel boyutu incelenerek doğrulanmıştır (Şekil 13).



Şekil 13. Mekansal çözünürlük değerinin incelenmesi

GÖKTÜRK-2 uydusu 700 km irtifada 2.5 m (PAN) / 5.0 m (RGB-NIR) çözünürlükte görüntü alacak şekilde tasarlanmış olup, bu husus göz önünde bulundurularak yapılan test çalışmalarında kullanılan Bandırma havaalanı bilgileri hem Wikipedia veri tabanında incelenmiş hem de HGK tarafından geliştirilen Coğrafi Analiz Sistemi – CAS veri tabanında ölçülmüştür. Buradan elde edilen 3007 m.lik uzunluk bilgisi, GÖKTÜRK-2 görüntüleri üzerinden hesaplanan piksel sayısına bölünerek GÖKTÜRK-2 uydu görüntülerinin çözünürlüğü tespit edilmiştir. Bu hesaplama sonucunda PAN bandı için 2.45 m (3007 m/1225 piksel), renkli bantlar için ise 4.90 m (3007 m/612 piksel) değeri elde edilmiştir. Test görüntüsünde irtifaya bağlı olarak elde edilen söz konusu çözünürlük değerlerinin tatmin edici olduğu değerlendirilmiştir (Atak, 2014).

Görüntülerin metaveri dosyaları ve bilgileri incelendiğinde ise;

- L2 görüntülerin metaveri bilgileri içerisinde yer alan kapsama alanı sınırlarının sadece belirli bir çerçevede koordinat bilgisi içerdiği ve ekranın tamamında koordinat bilgisinin okunamadığı,
- Okunan koordinatların metaveri içinde yer alan köşe koordinatları ile uyumsuz olabildikleri,
- L2 görüntülerin UTM koordinat sisteminde üretildiği ve tüm dünya üzerinde görüntü alımı göz önüne alındığında bu durumun kullanıcıyı bazı hatalara sürükleyebileceği, Testlerin ilk aşamasında henüz üretilmemiş olan Rasyonel Polinomal Katsayılar (Rational Polynomial

Coefficients – RPC) dosyalarının yenilenen testlerde her bir bant için ayrı ayrı üretildiği (rpc.txt),

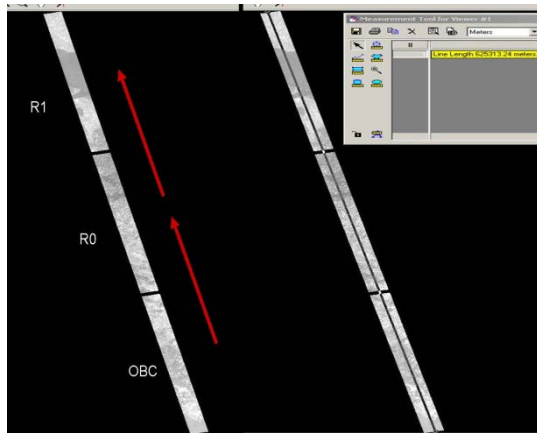
- Çözünürlük farklılığı nedeniyle PAN dışındaki diğer tüm bantların RPC dosyalarının aynı olduğu ancak konumlamaya yönelik yeterli bilgileri içeren (Spot DIMAP gibi) bir görüntü bilgi / efemeris dosyasının bulunmadığı,

- Kullanılan ticari yazılımların çoğunun (ENVI yazılımının 5.1 versiyonu hariç) henüz GÖKTÜRK-2 uydu görüntülerinin metaveri bilgilerini tanımadığı ve bu verilere yönelik eklentileri oluşturamamış/yayınlanamamış oldukları tespit edilmiş, bu hususta yapılan girişimlerin ise kısa sürede sonuçlanmasının beklendiği bilgisi alınmıştır.

d. Nokta/Şerit/Alan/Stereo Görüntü Alımı

Test çalışmaları kapsamında GÖKTÜRK-2 uydusu ile nokta, şerit, geniş alan ve stereo görüntü çekimleri yapılmıştır. Bu görüntüler üzerinde yapılan inceleme çalışmalarında elde edilen bilgiler aşağıda sunulmuştur.

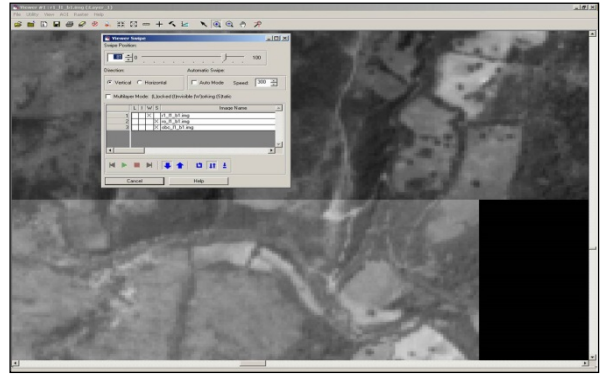
Nokta ve şerit modunda görüntülerin istenilen boyutta/uzunlukta olup olmadıkları ölçülmüş ve farklı veri depolama birimlerine kaydedilen görüntüler arasında herhangi bir açıklık kalıp kalmadığı araştırılmıştır. 20.06.2013 tarihinde saat 08.11'de (Coordinated Universal Time - UTC) 120 parça (scene) olarak elde edilen Ege bölgesi şerit çekiminde, görüntülerin üst üste binmediği, L2'de projeksiyona oturtulma sonucunda şerit parçalarını oluşturan görüntüler arasında 4500 m civarında açıklıklar olduğu ve farklı veri depolama birimlerine kaydedilen alanların kapsama bilgilerinin aynı olduğu tespit edilmiştir (Şekil 14).



Şekil 14. Görüntüler arasındaki açıklıklar

Kapsama alanı bilgilerinin aynı olması ve L1 görüntülerin doğru şekilde üst üste bindirilerek açılabilmesi nedeniyle, görüntülerin veri depolama birimlerine paylaştırılması sırasında herhangi bir veri kaybı olup olmadığını tespit etmek amacıyla, geometrik model ile projeksiyon bilgileri silinmiş ve piksel koordinat sisteminde yeniden konumlandırılmışlardır.

Piksel koordinat sisteminde yapılan konumlandırma sonrasında görüntüler üst üste aynı ekranda açılabilmiş ve kontrollerde herhangi bir veri kaybına rastlanmamıştır. Kapsama alanı bilgilerinin aynı olması hatası test sürecinde giderilmiş olup, 15.01.2014 tarihinde saat 08.12'de (UTC) 120 parça (scene) olarak elde edilen Muğla-Edirne bölgesi şerit çekiminde 613 km.lik görüntünün tek parça şeklinde kesintisiz ve sorunsuz olarak alınabildiği teyit edilmiştir (Şekil 15).

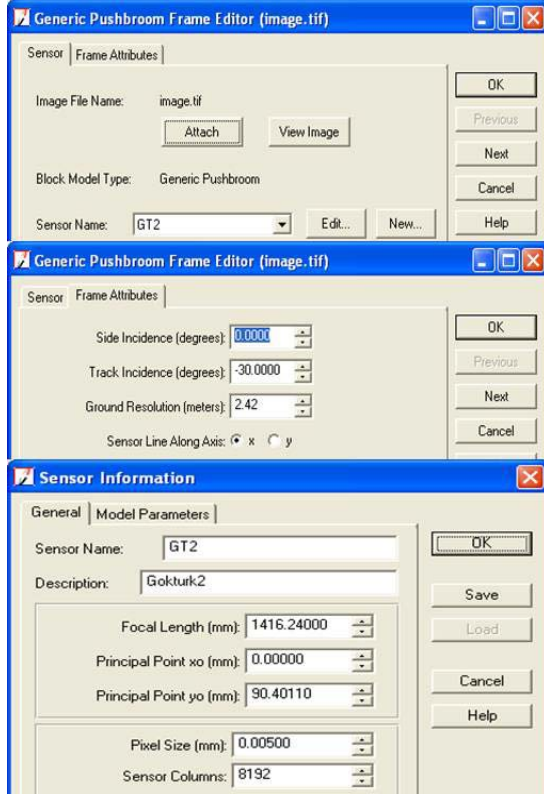


Şekil 15. Görüntülerin birleşimi

Stereo görüntü alımı çalışmalarında ise hem yurtdışı hem de yurtiçi alanlara yönelik görüntüler alınmış, bu verilerden Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) üretimleri gerçekleştirilmiş ve bu modeller HGK arşivlerinde mevcut SYM'ler ile karşılaştırılmışlardır.

Testlerin ilk aşamasında kullanılan veri işleme yazılımı, alınan veriler ile birlikte RPC dosyası oluşturmadığından RPC verileri ile bir çalışma yapılamamıştır. Bununla birlikte, daha önceden de ifade edildiği gibi, görüntülere yönelik işlemlerin gerçekleştirilebilmesi amacıyla testler esnasında TÜBİTAK Uzay Teknoloji Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nden elde edilen bazı bilgiler ile oluşturulan yaklaşık kamera modeli kullanılmıştır. Bu amaçla, Erdoğan vd. (2013) tarafından RASAT uydu modeli için uygulanan yöntem tercih edilmiştir. Bu yöntemde uydu modeli olarak modelin elle tanımlanabildiği "generic pushbroom" modeli seçilmiş, GÖKTÜRK-2 uydusu için GT2 adında bir

algılayıcı tanımlanmış ve GÖKTÜRK-2 algılayıcısına ait odak uzaklığı, piksel boyutu gibi parametreler tanımlanmıştır. Bu model ile, tarayıcı sistemle çalışan sistemlerle elde edilen görüntülerin dış yöneltme elemanları polinomlar ile hesaplanabilmektedir (Şekil 16).



Şekil 16. GÖKTÜRK-2 fiziksel kamera modeli

6. STEREO GÖRÜNTÜ VE SYM ÜRETİMİ

Stereo görüntü alımı çalışmaları kapsamında ilk olarak 10.06.2013 tarihinde saat 08.45'de (UTC) her biri 20 parça (scene) olarak Kalamata/Yunanistan bölgesine ilişkin stereo görüntü çifti alımı gerçekleştirilmiştir. Bu görüntüler L2 aşamasına kadar işlenmiş, ilgili kamera parametreleri ile Google Earth (GE) yazılımı kaynaklı 11 adet yer kontrol, 2 adet düşey kontrol ve 60 adet bağlama noktası kullanılarak stereo görüntü oluşumu sağlanmıştır. Erdas Imagine yazılımı ile bu stereo görüntüden 90 metre çözünürlüklü bir Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) otomatik olarak oluşturulmuş ve bu model ilgili SRTM1 Versiyon-2 (V2) verisi ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda 10.51 m'lik bir ortalama hata ve 56.446 m'lik bir standart sapma değeri elde edilmiştir. Burada elde edilen 10 m civarındaki doğruluk değeri;

- Google Earth (GE) yazılımı kaynaklı yer kontrol noktalarının (YKN) iyi bir doğruluğa sahip olduğunu ve stereo görüntüde büyük bir hata kaynağı oluşturmadıklarını,

- Stereo görüntü elde etme amacıyla oluşturulan kamera modelinin tutarlı bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

Elde edilen stereo görüntü incelendiğinde; görüntü üzerinde bazı noktalarda özellikle z yönünde konumsal kayıklıklar ile standart yapıda olmayan bozulmalar olduğu tespit edilmiştir. Yapılan değerlendirmelerde bu bozulmaların;

- Görüntünün uzun bir şerit olarak çekilmesi nedeniyle dengeleme hassasiyetinin düşmesi,

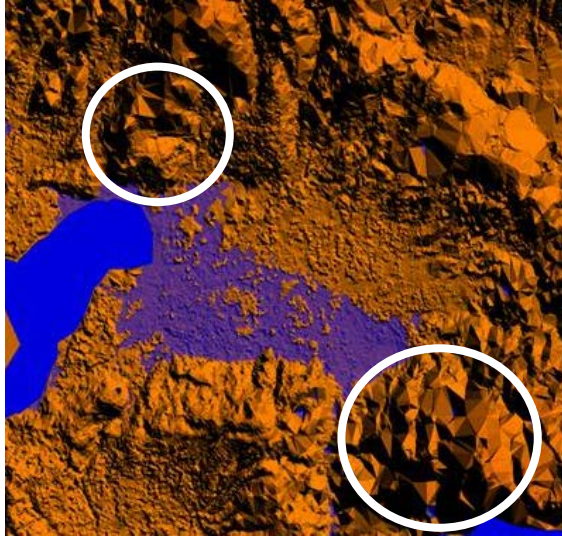
- Çalışmanın herhangi bir projeksiyon düzlemine oturtulmamış L1 veriler yerine L2 verilerle yapılmış olması,

- Çekim yapılan bölgede YKN'lerin çok iyi doğruluğa sahip olmaması,

- Kamera modelinin yeterli doğruluğu sağlayamaması kaynaklı olduğu öngörülmüştür.

Bu nedenlerle, çalışmanın kontrol noktası ve SYM doğruluğunun yüksek olduğu yurt içi bir bölgede, spot olarak alınmış ve L1 olarak işlenmiş yeni bir görüntü çifti üzerinde tekrarlanmasına karar verilmiştir. 23.06.2013 tarihinde yapılan İzmir bölgesi stereo görüntü çekiminde alınan görüntüler L1 aşamasına kadar işlenmiş ve Erdas Imagine yazılımı LPS modülü ile stereo model oluşturulmuştur. Bu aşamada, HGK tarafından hava fotoğraflarından üretilen 45 cm çözünürlüklü ortofoto görüntüler üzerinde 39 adet yer kontrol, 6 adet bağımsız kontrol ve 52 adet bağlama noktası ölçülmüştür. Yapılan dengeleme sonucunda yaklaşık 5 m.lik bir iç doğruluğa ulaşılmış, bağımsız denetleme (kontrol) noktalarında ise 11.31 m yatay, 5 m düşey konumsal doğruluk değeri elde edilmiştir.

Stereo çiftten farklı parametrelerle 2 adet SYM üretilmiş (SYM1 ve SYM2), üretilen SYM'lerde özellikle (tarla vb.) tekdüze bölgelerde görüntü eşlemenin iyi gerçekleştirilemediği ve büyük hatalar olduğu görülmüştür. Bu hataların, görüntü üzerinde yer alan çizgilerin görüntü eşleme esnasında yazılım tarafından arazi detayı gibi kabul edilerek yanlış eşleme yapılmasından veya eşleme yapılamamasından kaynaklanabileceği değerlendirilmiştir (Şekil 17).



Şekil 17. SYM oluşumu

Üretilen SYM'lerden 13 km x 16 km'lik bir alan HGK arşivlerinde mevcut SYM ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen farklar ile standart sapma değerlerinin beklentilerin çok üzerinde olduğu görülmüştür. Üretilen SYM'lerde daha iyi görüntü eşleme yapılan ve kaba hataların bulunmadığı yaklaşık 7 km x 7 km'lik bir alan kesilerek bu bölge daha detaylı olarak ayrıca incelenmiştir. Bu küçük alanda yapılan incelemede maksimum farklar, ortalama farklar ve standart sapmanın makul seviyelerde gerçekleştiği görülmüştür (Tablo 7).

Tablo 7. Elde edilen farklar

	SYM	Min./Max. Değerler (m)	Ortalama Fark (m)	StandartS apma (m)
13x16 km.lik alan	SYM1	-1883/23599	1,996	116,192
	SYM2	-1545/7264	4,818	146,823
7x7 km.lik alan	SYM1	-309/131	16,589	22,673
	SYM2	-51/93	7,221	6,741

Son olarak, üretilen stereo modelde görsel olarak 3 boyutlu ölçüm ve kontroller de yapılmıştır. Bölgede yer alan 5 adet zirve noktasının yüksekliği stereo modelden okunmuş ve 1:25.000 ölçekli haritalardaki gerçek yükseklikler ile karşılaştırılmıştır. Yapılan kontrolde farkların 1-5 m aralığında olduğu görülmüştür (Atak, 2014).

Elde edilen sonuçlar, uydunun geometrik olarak yüksek doğruluklu SYM üretimine uygun olduğunu ancak görüntüdeki radyometrik bozulmaların otomatik eşleme ile SYM üretiminde doğruluğu düşürdüğünü göstermektedir.

7. ORTOFOTO ÜRETİMİ VE ELDE EDİLEN KONUMSAL DOĞRULUKLAR

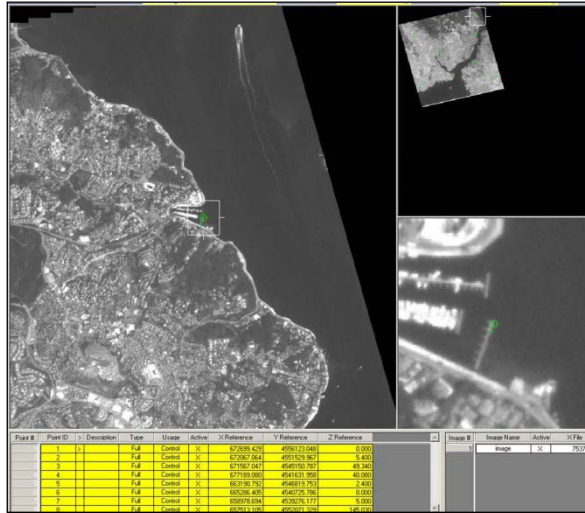
Konumsal doğruluk yetenekleri, test çalışmaları kapsamında çekilen ve şehirsel alanlara ait olan görüntülerde incelenmiştir. Bu çalışmalarda veri işleme yazılımı ile L2 olarak işlenen görüntüler Erdas Imagine yazılımı LPS (Leica Photogrammetric Suite) modülü kullanılarak ortofoto haline dönüştürülmüş ve doğruluğu araştırılmıştır.

L2 olarak işlenmiş görüntülerin konumsal doğruluğu temel olarak HGK tarafından geliştirilen Coğrafi Analiz Sistemi - CAS yazılımında yer alan 30 cm / 45 cm çözünürlüklü hava fotoğraflarından üretilen ortofoto görüntülerden ölçülen rastgele noktalar vasıtası ile incelenmiştir. Testin ilk aşamasında gerçekleştirilen incelemelerde; görüntüler üzerinde yaklaşık 4000 m civarında kayıklıklar olduğu ve bu kayıklıkların görüntü alım istikametine ters yönde olmak üzere aşağıya doğru gidildikçe arttığı gözlenmiştir. İlk değerlendirmelerden sonra uydu yer yazılımında yapılan düzenlemelerle testin ikinci aşamasında söz konusu kayıklıkların 250 – 450 m civarına düştüğü gözlenmiştir. Ancak bu değerlerin farklı bölgelerde daha iyi veya daha kötü sonuçlar vermesi de beklenmelidir.

Ortofoto veri üretimi kapsamında ise ilk olarak 20.06.2013 tarihinde saat 04.57'de (UTC) 4 parça (scene) olarak elde edilen Almata/Kazakistan bölgesine ait görüntü kullanılmıştır. RPC dosyaları olmadığı için, görüntünün konumlandırılması amacıyla 9 adet YKN'ye ilişkin koordinat bilgileri GE uygulamasından elde edilmiştir. Sayısal yükseklik verisi olarak ise Aster DEM modeli kullanılmıştır.

Ortofoto üretimi çalışmalarında ikinci olarak, 17.06.2013 tarihinde saat 08.03'te (UTC) 4 parça (scene) olarak İstanbul bölgesine ait alınan görüntü kullanılmıştır. Koordinat farklarını bir başka kaynak ile karşılaştırabilmek amacıyla, 10 adet YKN'ye ilişkin koordinat okumaları yine GE uygulamasından gerçekleştirilmiştir. Sayısal yükseklik verisi olarak doğruluğu yüksek HGK DTED2 modeli kullanılmıştır (Şekil 18).

Dengelemeler sonucunda elde edilen iç doğruluklar (4-5 m) işlemlerin yeterli hassasiyette gerçekleştirilmiş olduğunu teyit eder niteliktedir (Tablo 8).



Şekil 18. İstanbul görüntüsü ortofoto üretimi

Tablo 8. Dengeleme iç doğrulukları

	GCP Sayısı	x (m)	y (m)	Toplam (m)
Almata	9	3.2865	2.2285	3.9709
İstanbul	10	2.2408	4.9791	5.4601

Ortofoto üretimi sonrasında elde edilen görüntüler, halihazır sistemlerde kullanılan arşiv görüntüleri ile karşılaştırılarak planimetrik konumsal doğruluk farkları tespit edilmiştir.

Yurt dışı görüntüde (Almata) bu işlemin çok sağlıklı olduğu söylenemez, çünkü elde doğruluğu yüksek bir referans veri mevcut değildir. Veriler GE ve Aster DEM verisi ile ortofoto haline getirilmiş, konumsal farklar YKN'lerden farklı olarak seçilen ancak yine GE veritabanında yer alan noktalar kullanılarak belirlenmiştir. Yurt içinde ise (İstanbul) elde doğruluğu yüksek bir referans veri mevcut olduğundan bu işlemin daha sağlıklı olduğu söylenebilir. Veriler GE ve HGK DTED2 verisi ile ortofoto haline getirilmiş, konumsal farklar HGK CAS veri tabanında yer alan noktalar kullanılarak belirlenmiştir (Atak, 2014).

Tablo 9. Göktürk-2 ortofoto üretimi ve doğruluk araştırmasında kullanılan kaynak veriler

Kaynak Veri	SYM	GE Kaynaklı YKN	Okunan Nokta (Check)	Kontrol Verisi
Almata Ortofoto	Aster DEM	9 Adet	29 Adet	GE
İstanbul Ortofoto	HGK DTED2	10 Adet	30 Adet	HGK CAS

Tablo 10. Ortofotoların ortalama hataları

Kaynak Veri	Ortofoto Üretiminde Kullanılan Veri	Kontrol Verisi	Ortalama Hata (m)		
			X	Y	Yatay
Almata Ortofoto	Aster DEM + GE YKN	GE	8,18	7,61	12,17
İstanbul Ortofoto	HGK DTED2 + GE YKN	HGK CAS	10,00	12,00	16,70

Tablo 11. Ortofotoların karesel ortalama hataları

Kaynak Veri	Ortofoto Üretiminde Kullanılan Veri	Kontrol Verisi	Karesel Ort. Hata (m)		
			X	Y	Yatay
Almata Ortofoto	Aster DEM + GE YKN	GE	10,38	10,03	14,43
İstanbul Ortofoto	HGK DTED2 + GE YKN	HGK CAS	12,91	14,06	19,09

Ortofoto üretimi ve doğruluk araştırmasında kullanılan kaynak veriler Tablo 9'da, üretilen ortofotoların ortalama hataları Tablo 10 ve karesel ortalama hataları Tablo 11'de sunulmuştur.

Son olarak, testin ikinci aşamasında veri işleme yazılımı tarafından oluşturulan RPC dosyaları kullanılarak ortofoto görüntüler üretilebilmiştir. Bu kapsamda, ENVI yazılımının 5.1 versiyonu ile NITF formatlı L1 görüntüler ve ilgili metaveri dosyaları (package.xml ve rpc.txt) kullanılarak YKN olmaksızın L3 ortofoto görüntüler elde edilmiştir. Ancak, günümüz itibarı ile bu imkan sadece ENVI yazılımında söz konusudur.

Yapılan konumsal doğruluk çalışmaları; GÖKTÜRK-2 uydu bilgilerini içeren yaklaşık kamera modeli ile doğruluğu çok yüksek olmayan 9-10 adet YKN kullanılarak yapılan ortofoto üretimleri sonucunda, YKN ağı içerisinde ve kaba hata ayıklaması yapılmaksızın 20 m'nin altında bir konumsal doğruluğa erişmenin mümkün olduğunu göstermiştir.

8. SONUÇ VE TEKLİFLER

17 Nisan 2007 tarihinde başlayan süreçte, GÖKTÜRK-2 uydusu 18 Aralık 2012 tarihinde uzaya fırlatılmış ve uyduya yönelik test ve kalibrasyon faaliyetleri 30 Ocak 2014 tarihinde başarılı bir şekilde tamamlanmıştır.

GÖKTÜRK-2 projesi ile uzay/uydu sistemlerine yönelik teknoloji ve uzman insan

gücü ile başta TSK olmak üzere tüm kamu kurum ve kuruluşlarının dışa bağımlı uydu görüntü ihtiyaçlarının milli imkân kabiliyetlerle karşılanması hedeflenmiştir.

İlgili proje dokümanları ve sözleşmesel hususlar çerçevesinde yürütülen GÖKTÜRK-2 uydu sistemi yörünge testleri kapsamında, görüntü özelliklerine yönelik bazı temel gereksinimler doğrulanmaya çalışılmış, her bir test konusuna yönelik hem TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü hem de Hava Kuvvetleri Komutanlığı ve MSB Harita Genel Komutanlığı tarafından detaylı teknik raporlar hazırlanmıştır.

Türk Silahlı Kuvvetleri envanterine giren GÖKTÜRK-2 uydusunun komuta ve kontrolü Hava Kuvvetleri Komutanlığı personeli tarafından başarılı bir şekilde gerçekleştirilmekte, uydu görüntüleri talep sahipleri ile koordine edilerek uygun seviyelerde işlenmekte/sunulmakta ve geleceğe yönelik planlanan milli uydu sistemleri için bir uzay tarihçesi oluşturulmaktadır. Öte yandan, projenin ARGE niteliği dikkate alınarak, TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü tarafından Hava Kuvvetleri Komutanlığı ile koordineli olarak yer yazılımlarının iyileştirmesi çalışmalarına devam edilmektedir.

Bu çalışma ile, GÖKTÜRK-2 uydu sisteminin yörünge testleri kapsamında gerçekleştirilen faaliyetler hakkında bilgi sunmak ve elde edilen sonuçlar ile kazanılan tecrübelerin paylaşılması hedeflenmiştir. Testler sonucunda GÖKTÜRK-2 uydu görüntülerinin;

- Kamu kurum ve kuruluşlarının yüksek çözünürlüklü uydu görüntü ihtiyaçlarını önemli oranda karşılayabileceği,
- Kullanıcı destekli çalışmalar ile birçok farklı haritacılık uygulamasında ve uydu yörünge/yönelme bilgilerinin iyileştirilmesi sonrası ortofoto/SYM verilerinin üretiminde kullanılabileceği,
- Yaklaşık kamera modeli ile doğruluğu yüksek YKN ve SYM kullanılarak iyi bir konumsal doğruluk (< 10m) sağlayabileceği tespit edilmiştir.

Bununla birlikte, test çalışmalarında elde edilen tecrübeler ışığında, TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilecek iyileştirme faaliyetleri kapsamında;

- L1 ve L2 görüntülerin sahip olduğu koordinat bilgilerinin düzenlenmesinin,
 - Görüntülerdeki çizgisellik hatalarının ve veri kayıplarının giderilerek farklı bant kombinasyonlarına sahip görüntülerin iyileştirilmesinin,
 - Tuz Gölü bölgesinde gerçekleştirilen radyometrik kalibrasyon işlemlerinin sonuçlarının detaylı bir şekilde araştırılmasının,
 - L2 PAN ile L2 NIR bantları görüntüleri arasında var olan kayıklıkların tamamen giderilmesinin,
 - L2 RGB ve L2 PANS görüntülerin otomatik olarak üretilebilmesinin,
 - İleri seviye haritacılık ve görüntü işleme çalışmalarında kullanılmak üzere fiziksel kamera modelinin tüm kamera özelliklerini ve bilgilerini içerecek şekilde iyileştirilmesinin yararlı olacağı değerlendirilmiştir.
- Önümüzdeki yıllarda tamamlanması planlanan milli uydu sistemlerinin testlerinde daha sağlıklı sonuçlar elde edilebilmesi amacıyla;
- Test çalışmaları öncesinde kalibrasyon işlemlerine yönelik çalışmaların planlanması ve bu çalışmaların uydunun ömrü boyunca tekrarlanabilmesi yönünde tedbirler alınması,
 - Test aşamasında yansıma değerleri/konum bilgileri önceden tespit edilmiş/ölçülmüş farklı amaçlara hizmet edebilecek test alanları ile YKN'lerin kullanılması,
 - Test alanlarının iyi hava koşullarına, farklı coğrafi detaylara ve yüksek kontrastlığı olan yeterli sayıda YKN'lere sahip olması,
 - İlgili uluslararası standartların takip edilmesi ve özellikle metaveri bilgi dosyalarının bu standartlara uygun biçimde oluşturulması,
 - Son kullanıcıların uydu görüntüleri ile etkin bir şekilde çalışabilmesi amacıyla, geliştirilen uydu sistemine ilişkin kamera/görüntü metaveri bilgilerinin yeterli süre öncesinden ilgili ticari yazılım firmalarına sağlanması uygun olacaktır.
- Sonuç olarak; GÖKTÜRK-2 projesi kapsamında elde edilen milli başarı ve kazanılan tecrübenin, ülkemizde yürütülen/yürütülecek olan tüm uydu ve uzay projelerine önemli katkılar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan GÖKTÜRK-2 uydu test görüntüleri ile görüntü işleme yazılım ve donanımları sağlayan Hava Kuvvetleri Komutanlığına, MSB Harita Genel Komutanlığına ve TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğüne teşekkür ederiz.

Ayrıca, bu makalenin yazılmasına verdikleri destek nedeniyle; Hv.İsth.Bnb.Hüseyin KİREMİTÇİ, Hv.Uçk.Bkm.Yzb.Emrah ÇINAR ve Hv.Kont.Yzb.Ersan BATUR başta olmak üzere tüm Keşif Uydu Tabur Komutanlığı ile Hava ve Uzay Şube Müdürlüğü personeline, Hv.İsth.Bnb.Fatih Güven GÜLTEKİN'e ve De.Me.Yusuf Orhan'a da teşekkürü bir borç biliriz.

KAYNAKLAR

Atak, V.O., **GÖKTÜRK-2 Uydu Sistemi Görüntü Testleri** (Sözlü Sunum), Yer Gözlem Uydu Teknolojileri ve Veri Kıymetlendirme Çalıştayı, 19-20 Mart 2014, Ankara.

Crespi, M. ve Vendictis, L.D., **A Procedure for High Resolution Satellite Imagery Quality Assessment**, Sensors, 2009, 9, 3289-3313; doi:10.3390/s90503289, www.mdpi.com/journal/sensors, [Erişim 09 Nisan 2014].

Çınar, E., **GÖKTÜRK-2 Uydu Sisteminin Operasyonel Kabiliyetleri** (Sözlü Sunum), Yer Gözlem Uydu Teknolojileri ve Veri Kıymetlendirme Çalıştayı, 19-20 Mart 2014, Ankara.

Erdoğan, M., Yılmaz, A., Eker, O., **RASAT Uydu Görüntülerinin Geometrik Doğruluğu**, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 14. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 14-17 Mayıs 2013, Ankara.

Filiz, B.G., **GÖKTÜRK-2 Uydu Görüntülerinin Elde Edilmesi ve Dağıtımı** (Sözlü Sunum), Yer Gözlem Uydu Teknolojileri ve Veri Kıymetlendirme Çalıştayı, 19-20 Mart 2014, Ankara.

Fox, N.P., **Validated Data and Removal of Bias Through Traceability to SI Units**, Proceedings of the International Workshop on Radiometric and Geometric Calibration, pp. 31-42, 2-5 December 2003, Gulfport, Mississippi, USA.

Gatti, G., Falcone, M., Alpe, W., Malik, M., Burger, T., Rapisarda, M., Rooney, E., **Giove-B Chibolton In-Orbit Test, Initial Results from the Second Galileo Satellite**, InsideGNSS, pp. 30-35, September/October 2008, www.insidegnss.com / [Erişim 09 Nisan 2014].

Işıküzlü, E., **Milli Askeri Gözlem Uydusu Geliştirme Projesi: GÖKTÜRK-2**, Günışığı, Sayı 57, Mart 2013, İstanbul.

İsmailoğlu, N., **Gezgin-2 Kayıplı Sıkıştırma Bilgi Notu**, TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, 25.06.2013, Ankara.

Kim, D., Ahn, M.H., **Introduction to the In Orbit Test And Its Performance of The First Meteorological Imager of the Communication, Ocean, and Meteorological Satellite**, Atmospheric Measurement Techniques Journal, 6, 10889-10920, doi:10.5194/amtd-6-10889-2013, 2013.

Léger, D., Viallefont, F., Déliot, P., **On-orbit MTF Assessment of Satellite Cameras**, Proceedings of the International Workshop on Radiometric and Geometric Calibration, pp. 67-76, 2-5 December 2003, Gulfport, Mississippi, USA.

Rocchio, L.E.P., **Commissioning the Landsat Continuity Mission**, http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=4844, [Erişim 11 Nisan 2014].

Tansock, J., Thurgood, A., Larsen, M., **System-Level Approach to Characterization and Radiometric Calibration of a Space-Based Electro-Optical Sensor**, Proceedings of the International Workshop on Radiometric and Geometric Calibration, pp. 59-65, 2-5 December 2003, Gulfport, Mississippi, USA.

URL-1: GÖKTÜRK-2, 2014, www.tai.com.tr/tr/proje/gokturk-2 [Erişim 03 Ağustos 2014].

URL-2: GÖKTÜRK-2 Uydusu, 2014, http://uzay.tubitak.gov.tr/tr/haber/gokturk-2-uydusu-yorungede-1-yilini-tamamladi, [Erişim 18 Nisan 2014].

URL-3: Spot-4, 2014, http://spot4.cnes.fr/spot4_gb/recette.htm [Erişim 03 Ağustos 2014].