

UZAKTAN ALGILAMADA RASAT: TÜRKİYE’DE ÜRETİLEN İLK YER GÖZLEM UYDUSU

Özgür KAHRAMAN, Hilal ÖZEN, Erşan DEMİRCİOĞLU, Dr.Ufuk SAKARYA,
Ramazan KÜPÇÜ, Bülent AVENOĞLU, Dr. Egemen İMRE, Dr. Emin BANK

TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü, ODTÜ Yerleşkesi, Ankara,

ozgur.kahraman@tubitak.gov.tr,

ozen.hilal@tubitak.gov.tr,

ersan.demircioglu@tubitak.gov.tr,

ufuk.sakarya@tubitak.gov.tr,

ramazan.kupcu@tubitak.gov.tr,

bulent.avenoglu@tubitak.gov.tr,

egemen.imre@tubitak.gov.tr,

emin.bank@tubitak.gov.tr

ÖZET

TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü’nde üretilen RASAT Araştırma Uydusu, Türkiye’de üretilen ilk yerli üretim yer gözlem uydusudur. Türk mühendislerince tasarlanıp geliştirilen yeni nesil modüllere sahip olan uydusu, Türkiye’nin uzay teknolojileri alanında geldiği yeri göstermektedir.

RASAT uydusu Güneş’e eş zamanlı dairesel yörüngede, 700 km irtifada uçmaktadır. 7.5 m pankromatik, 15 m çok bantlı uzamsal çözünürlükte süpürçek (pushbroom) kameraya sahiptir. Kullanım ömrü 3 yıl olarak tasarlanan RASAT, 3 ekseninde kontrol edilerek, uydudan 4 günlük yeniden ziyaret zamanı ve 30 km’lik şerit genişliği ile 960 km uzunluğunda şerit görüntülenebilmektedir. Yörünge özelliği sebebiyle Dünya’nın her yerinden görüntü alınabilmektedir. TÜBİTAK UZAY tesislerinde bulunan yer istasyonundan kontrol edilen uydusu, günde 4 kez Türkiye üzerinden geçmekte olup, günlük ortalama 42 dakikalık iletişim süresine sahiptir.

RASAT görüntüleriyle, haritacılık, afet izleme, çevre ve şehir planlama, değişiklikleri izleme gibi pek çok alanda uydusu görüntüsü ihtiyaçlarını karşılama amaçlanmaktadır. Bu kapsamda, 2012 yılı sonunda RASAT uydusundan alınacak görüntüler ile Türkiye mozaiki oluşturulması planlanmaktadır. Bu makalede, kullanıma sunulmadan önce, RASAT görüntülerinin üzerinde TÜBİTAK UZAY tarafından yapılacak olan ilk seviye radyometrik kalibrasyon (mutlak ve bağıl), bantlar arası korelasyonun hesaplanması ve geometrik kalibrasyon işlemlerine ilişkin çalışmalar tartışılacaktır.

Anahtar Sözcükler: geometrik kalibrasyon, görüntü eşleme, radyometrik kalibrasyon, RASAT, uzaktan algılama.

ABSTRACT

RASAT IN REMOTE SENSING: FIRST EARTH OBSERVATION SATELLITE BUILT IN TURKEY

RASAT research satellite, is the first native earth observation satellite built in Turkey, by TUBITAK UZAY Space Technologies Research Institute. The satellite illustrates Turkey’s place in space technologies, which has new generation modules, designed and built by Turkish engineers.

RASAT satellite is in sun-synchronous circular orbit over 700 km altitude. It has a push-broom camera with a the spatial resolution of 7.5 m in panchromatic and 15 m in multispectral bands. Designed to have a 3 years life-span, RASAT is controlled in 3 axes, has a 4 days revisiting time and 960 km long strip images with a swath width of 30 km, can be obtained. By the nature of the orbit, global coverage is possible. The satellite is controlled from the ground station located in TÜBİTAK UZAY facility and passes 4 times in a day over Turkey, has 42 minutes of daily communication duration.

RASAT imagery is aimed to meet satellite image requirements for many areas such as mapping, disaster monitoring, change detection, environment and city planning. To achieve this objective, preparation of a mosaic of whole Turkey by using RASAT imagery is being planned by the end of 2012. In the scope of this study, before serving images to end users, processes applied to RASAT imagery, namely, first level radiometric calibration (absolute and relative), calculation of correlation between bands and geometric calibration processes, by TUBİTAK UZAY, are discussed.

Keywords: geometric calibration, image registration, radiometric calibration, RASAT, remote sensing.

1. GİRİŞ: RASAT UYDUSU

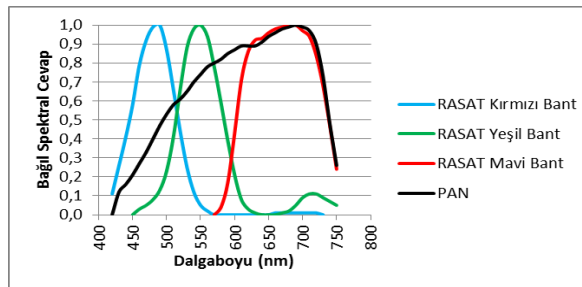
RASAT uydusunun 17 Ağustos 2011 tarihinde fırlatılmasından sonra, uydu görüntülerinin etkin şekilde kullanıma sunulması için, uydudan indirilen ham görüntülerin kalibrasyonu, uydu görüntülerinden Türkiye mozaığının oluşturulması, uydu görüntülerinden sayısal yükseklik modeli oluşturulmasının araştırılması ve uydu görüntülerinin bir geoportal üzerinden sunulması gereksinimleri ortaya çıkmıştır. Bu gereksinimleri TÜBİTAK UZAY bünyesinde karşılamak amacıyla, bir merkezin kurulması ve RASAT uydu görüntülerinin son kullanıcıya en uygun şekilde sunulması amaçlanmaktadır.

RASAT optik yer gözlem uydusu Güneş’e eş zamanlı dairesel yörüngeye sahip ve 700 km irtifada uçmaktadır. Uydu 7.5 m pankromatik, 15 m çok bantlı uzamsal çözünürlükte süpürçek kameraya sahiptir (Şekil 1). Spacewire veri yolu kullanan uçuş bilgisayarı BILGE, yüksek hızda çok bantlı görüntü sıkıştırma ve şifreleme yapabilen yeni nesil görüntü işleme kartı GEZGIN ve X-Bant verici, RASAT üzerinde tasarımı ve üretimi yerli olarak gerçekleştirilmiş modüllerdir (Durna vd., 2011; İsmailoğlu vd., 2011; İçöz vd., 2011).



Şekil 1. Örnek RASAT görüntüsü: İstanbul PAN ve İstanbul RGB

RASAT uydusunun spektral özellikleri Şekil 2’deki gibidir. RASAT uydusu, 3 eksenle kontrol edilerek uydudan 4 günlük yeniden ziyaret zamanı ve 30 km’lik şerit genişliği ile 960 km uzunluğunda şerit görüntülenebilmektedir (Yavuzylmaz vd., 2011; Tüfekçi vd., 2011). Yörünge özelliği sebebiyle Dünya’nın her yerinden görüntü alınabilmektedir. TÜBİTAK UZAY tesislerinde bulunan yer istasyonundan kontrol edilen uydu, günde 4 kez Türkiye üzerinden geçmekte olup, günlük ortalama 42 dakikalık iletişim kapasitesine sahiptir; bunun dışında Kutup Kuşağı içinde yer alan Svalbard Adası’nda da uzaktan kontrol edilen bir yedek yer istasyonu bulunmaktadır. RASAT uydusu bu özellikleriyle ülkemizin, özellikle kamu kuruluşlarının ve üniversitelerin, uydu görüntüsü ihtiyacını karşılamayı hedeflemektedir. RASAT uydusu tarafından çekilen uydu görüntüleri ham (seviye 0) olarak yer istasyonunda indirilmektedir.



Şekil 2. RASAT uydusunun spektral bantları

2. RASAT GÖRÜNTÜ İŞLEME HEDEFLERİ

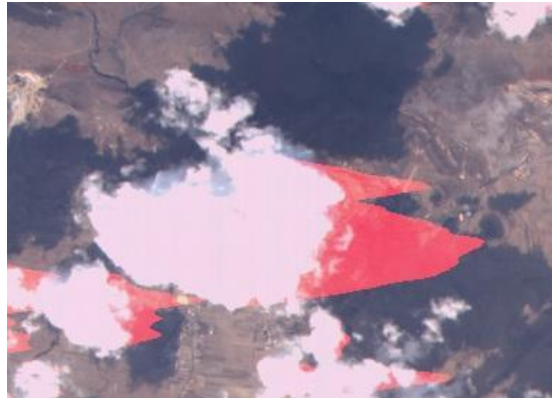
Yer istasyonuna ham (seviye 0) olarak indirilen RASAT görüntülerinin, radyometrik ve geometrik kalibrasyon işlemlerinin ardından seviye 2’ye getirilmesi hedeflenmekte olup, seviye 6’ya kadar görüntü işleme yapılabilmesi üzerinde çalışılmaktadır. Aşağıda verilen çizelgede ilgili görüntü işleme seviyeleri ve karşılık gelen görüntü türleri belirtilmiştir.

Çizelge 1. RASAT görüntü işleme seviyeleri

GÖRÜNTÜ İŞLEME SEVİYESİ	ELDE EDİLECEK GÖRÜNTÜ TÜRLERİ
Seviye 0 (L0)	Ham görüntü (sıkıştırma ve radyometrik çözümleme yapılmış)
Seviye 1 (L1)	Radyometrik düzeltilmiş görüntü (dedektör ve atmosferik hataları düzeltilmiş, gölge, gürültü ve bulanıklığı giderilmiş)
Seviye 2 (L2)	Geometrik düzeltilmiş görüntü
Seviye 3 (L3)	Ortorektifiye edilmiş görüntü
Seviye 4 (L4)	Pan ile keskinleştirilmiş görüntü
Seviye 5 (L5)	Mozaik görüntü
Seviye 6 (L6)	Sayısal yükseklik modeli görüntüsü

3. RASAT SEVİYE 0 GÖRÜNTÜ İŞLEME

Uydu üzerinde bulunan kameradaki Kırmızı bant, bulut ve çöl gibi yüksek parlaklığa sahip bölgelerde doygunluğa ulaşmakta ve bu doygunluk, alıcı üzerinde aynı satır üzerinde bölge bittikten sonra da bir süre devam etmektedir. Aşağıdaki örnek resimden de görülebildiği gibi bulut olan bölgede doygunluğa ulaşan Kırmızı bant, bulut üzerindeyken okunan yüksek parlaklık değerini bir süre daha korumaya devam etmektedir.



Şekil 3. Kırmızı bant sorunu olan ham RASAT görüntüsü

Hatanın sadece çok parlak alanlarda ortaya çıkması ve satır temelli devam etmesi nedeniyle hatanın otomatik olarak bulunması ve düzeltilmesi için aşağıdaki algoritma geliştirilerek uygulanmıştır:

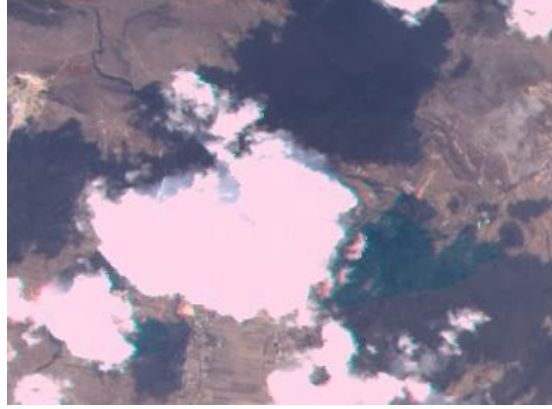
1. Pan bandın dalga boyunun, alıcının Kırmızı, Mavi ve Yeşil bantların dalga boylarını kapsamasından dolayı Pan bandı Kırmızı banda ait verileri de içermektedir (Şekil 2). Diğer bir deyişle Pan bandında okunan değer, diğer üç bandın toplam değerlerinin bir ağırlıklı ortalaması olarak modellenebilir.

$$Pan = (A * R * Yeşil) + (C * Mavi) + (B * Kırmızı) \quad (1)$$

Bu fonksiyonda yer alan A, B ve C katsayıları parlamanın olmadığı benekler kullanılarak hesaplanır.

2. Sayısal numara (DN) değeri belirli bir değerden yüksek benekler şüpheli benek olarak değerlendirilir.
3. Parlamanın olabileceği benekler için Kırmızı benegin değeri, Pan, Yeşil ve Mavi değerleri kullanılarak tekrar hesaplanır ve eğer bulunan değer ile Kırmızı benegin değeri arasındaki fark belirli bir sınırı geçmişse bu benegin Kırmızı kanalındaki verinin gerçek olmadığı kesinleşir ve diğer bantlardan hesaplanan değer Kırmızı benegin değeri olarak atanır.
4. Bu aşamadan sonra artık hatanın başladığı yer bulunmuş olur ve hatasız bir benek bulunana kadar bütün benekler için Adım 3 tekrarlanır.

İşlem sonucu aşağıdaki örnek üzerinde incelenirse hatalı beneğin doğru bir şekilde bulunmuş olduğu görülebilir. Ancak hesaplanan katsayılar göre algoritmanın hesapladığı kırmızı bandın kalitesi değişiklik göstermektedir. Aşağıdaki örnekte de açıkça görülebildiği gibi bulutun gölgesinin olduğu bölgede mavi-yeşil bir renklenme olurken bunun dışında kalan bölgede gerçekçi bir kırmızı hesaplanabilmiştir. Algoritmanın kritik parametreleri olan A, B ve C katsayılarının daha yüksek hassasiyette bulunabilmesi ve daha iyi modelleme için çalışmalar sürmektedir.



Şekil 4. Kırmızı bant düzeltme algoritması uygulanmış RASAT görüntüsü

4. RASAT SEVİYE 1 GÖRÜNTÜ İŞLEME: RADYOMETRİK KALİBRASYON

RASAT gibi bir yer gözlem uydusunun bilinen bir referansa göre doğruluğunun ölçülmesi, sapmalarının belirlenmesi, ölçtüğü değer ile bilinen değer arasındaki ilişkinin belirlenmesi ve düzeltilmesi gerekmektedir. Uydu kalibrasyonu olarak adlandırılan bu işlem iki aşamada yapılmaktadır. İlki, uydunun yörüngesi ve yöneliminden kaynaklı görüntüdeki sorunların giderilmesi ve uydunun yer konumlandırılmasının bir referansa göre **geometrik kalibrasyonudur**. Diğeri ise uydu kamerasının detektörlerinden kaynaklı hatalar ve/veya atmosferik etkilerin düzeltilmesini amaçlayan **radyometrik kalibrasyondur**. Kalibrasyon çalışmasında amaçlanan; RASAT uydu görüntülerinin doğruluğunu ölçüp, sapmalarını belirleyip, uydunun ölçtüğü değer ile bilinen bir referans değer arasındaki ilişkiyi belirleyip görüntüleri düzelterek son kullanıcıya sunmaktır.

RASAT ham uydu görüntülerinin geometrik kalibrasyonu tamamlandıktan sonra radyometrik kalibrasyon çalışması yapılması gerekmektedir. Diğer uydularda olduğu gibi RASAT ham uydu görüntülerinde de uydu kamerasının detektörlerinden kaynaklı hataların giderilmesi ve atmosferik etkilerin düzeltilmesi gerekmektedir. RASAT uydusunun kamerası pankromatik için 4096 benekten, çok bantlı için 2048 benekten oluşmaktadır. Uydu kamerasının beneklerinden kaynaklı hataları düzeltmek için, RASAT görüntüsünü oluşturan kameranın her bir detektöründeki her bir benek (pixel) değerinin bir referansa göre düzeltilmesi gerekmektedir. Bu düzeltme işlemine **bağıl radyometrik kalibrasyon** denilmektedir. Bağıl radyometrik kalibrasyon çalışmasında kullanılacak referansın, yine çoğu optik yer gözlem uydusunun referansı olan ve “Altın Standart” kabul edilen Amerikan uydusu LANDSAT 7 olması planlanmaktadır (Chander vd., 2008; Lee vd., 2004; Mackin ve Chander, 2010). Bağıl kalibrasyon dışında, kameradaki tüm detektörlerin ortalamasının bir referansa göre düzeltildiği **mutlak kalibrasyon** işlemi uygulanmaktadır.

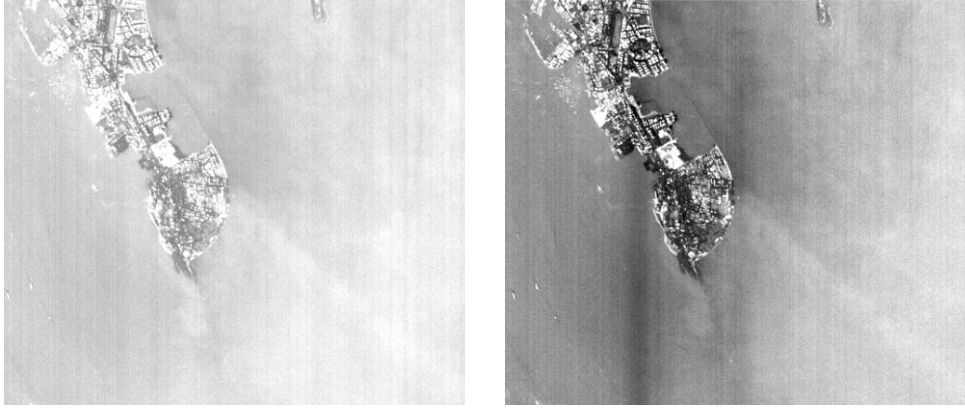
- 1
- 2
- 3
- 4

4.1 Bağıl Radyometrik Kalibrasyon

RASAT bağıl radyometrik kalibrasyonu, uydunun fırlatılmasından önce kamera üreticisi firma tarafından sağlanmış parametreler yardımıyla yapılmaktadır. Ancak kamera üreticisi firma tarafından sağlanan bu kalibrasyon parametreleri bazı görüntülerde yeterli olmamaktadır (Şekil 5). Bu sebeple fırlatma sonrasında da bağıl radyometrik kalibrasyon çalışması yapılmasına karar verilmiştir.

Fırlatma sonrası, bağıl radyometrik kalibrasyon için uydunun kamerasının tüm detektörlerini kapsayan ve uydunun şeridi büyüklüğünde bir test alanına ihtiyaç bulunmaktadır. RASAT uydusunun şerit genişliği 30 km olup bağıl radyometrik kalibrasyon test alanı için uydunun şerit büyüklüğünden geniş ve homojen bir alana ihtiyaç vardır (Shrestha, vd., 2010). Bağıl radyometrik kalibrasyon test alanları genelde okyanus, buzul veya çöllerdir (Teillet vd., 2007). Bu çalışmada RASAT uydusu bu test alanlarının görüntüsünü farklı dönem aralıklarıyla çekecek ve RASAT’ın

radıometrisinden kaynaklı sorunlar tespit edilecektir. Sonrasında ise RASAT uydusuna özel, çözüme yönelik yöntemler geliştirilebilir.

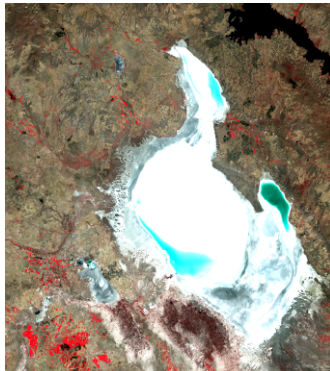


Şekil 5. RASAT ham (soldaki) ve bağıl radyometrik kalibrasyonu yapılmış görüntü (sağdaki)

4.2 Mutlak Radyometrik Kalibrasyon

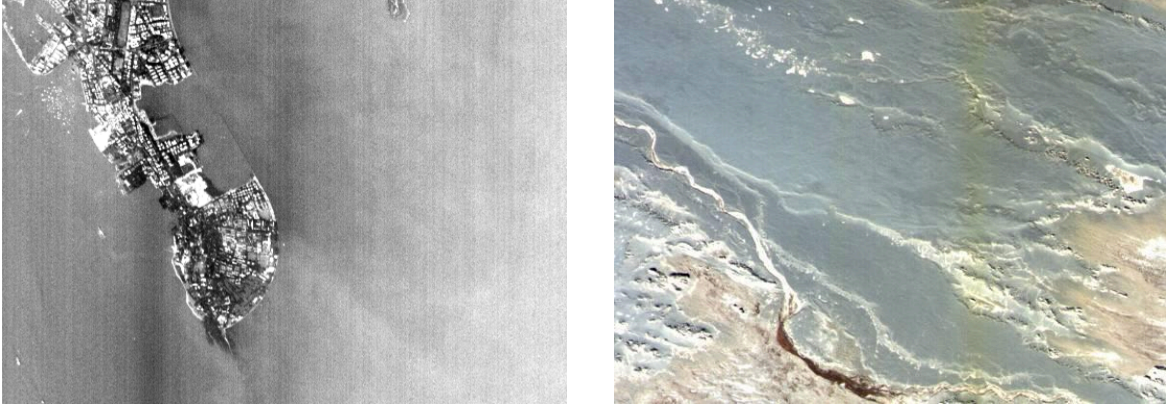
Bir diğer radyometrik kalibrasyon çalışması ise mutlak radyometrik kalibrasyondur ve bağıl radyometrik kalibrasyon işleminden sonra yapılması gerekmektedir. Mutlak radyometrik kalibrasyon çalışması, RASAT uydusunun kamerasının tüm detektörlerinin ortalamasının bir referansa göre düzeltilmesini içermektedir (Slater vd. 1996; Thome vd., 1998 & 2005 & 2008; Thome, 2001). Bu kalibrasyon yöntemi ile uydu görüntülerindeki atmosferik etki düzeltildiği gibi görüntülerden okunan DN benek değerlerinden yansıma ve radyans değerleri de elde edilir. Radyometrik verileri kullanan uygulamalar, uydu görüntüleri ile çalışırken DN benek değerlerinden ziyade yansıma ve radyans değerlerine ihtiyaç duyarlar. Mutlak radyometrik kalibrasyonu tamamlanan ve seviye 2’ye getirilen uydu görüntüleri kullanılarak değişim analizi, arazi örtüsü/arazi kullanımı, sınıflandırma, çevresel kirlilik (su, toprak, hava kirliliği) tespiti vb. çalışmalar yapılabilir ve yersel ölçümlerle karşılaştırma veya doğrulama yapılabilir.

Mutlak radyometrik kalibrasyon yansıma odaklı bir kalibrasyon yöntemidir. Bu yöntemde uydunun hedef bölgeyi gördüğü zamandan yarım saat öncesinde ve sonrasında belirli kriterleri sağlayan, doğal veya yapay, bir alanda yersel ölçümler gerçekleştirilir. Aynı zamanda atmosferden de veri toplanarak tüm bu verilerden ışınım transfer modeli yardımıyla uydu üzerinde bulunan algılayıcıya giden radyans değeri hesaplanır. Bu değer algılayıcıdan alınan değer ile karşılaştırılarak gerekli olan kalibrasyon parametreleri elde edilir. Mutlak radyometrik kalibrasyon çalışması, TÜBİTAK UZAY’ın çalışmalarıyla CEOS, IVOS tarafından uluslararası bir “Landnet site” (Teillet ve Chander, 2010) kalibrasyon test sahası olarak tanımlanan, Tuz gölünde (Gürol vd. 2008 & 2010; Leloğlu vd. 2010; Özen vd. 2009) yapılacaktır (Şekil 6). Göl yüzeyinin kuru olduğu Ağustos ya da Eylül ayında arazide ölçüm kampanyaları düzenlenecektir. RASAT uydusu Tuz gölü yüzeyinde önceden belirlenmiş hedef bölgeyi gördüğü zamandan yarım saat öncesi ve sonrası spektrometre ile yersel spektral ölçümler gerçekleştirilecektir (Boucher vd. 2011; Leigh vd. 2011; Özen vd. 2011). Aynı zamanda atmosferden de spektrometre ile irradyans ve güneş fotometresi ile veriler toplanacaktır. Tüm bu verilerden ve uyduya ait verilerden ışınım transfer modeli yardımıyla uydu üzerinde bulunan algılayıcıya giden radyans değeri hesaplanacaktır. Bu değer, algılayıcıdan alınan değer ile karşılaştırılarak gerekli olan kalibrasyon parametreleri elde edilecektir. Bu çalışmaların ilki Eylül 2012’de gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6. Tuz gölü mutlak radyometrik kalibrasyon test sahası, UK-DMC 17 Ağustos 2010 görüntüsü (Kaynak: DMC Imaging)

Kalibrasyon çalışmalarının RASAT uydusunun yörünge ve görüntüleme sistemi parametrelerinde veya görüntü kalitesinde bir değişiklik olması durumunda yenilenmesi gerekmektedir. Ayrıca, RASAT uydusunun kalibrasyonunun performansının kontrol edilmesi ve doğrulanması gerekmektedir. Bu sebeple hem geometrik hem de radyometrik çalışmaların uydunun ömrü süresince yapılması bir gerekliliktir (Chander ve Markham, 2003; Chander vd., 2004b & 2010a & 2010b; Helder, 2008; Saunier, 2006). Radyometrik kalibrasyon çalışması sonrasında RASAT uydusu için % 5-10 radyometrik doğruluk hedeflenmektedir.

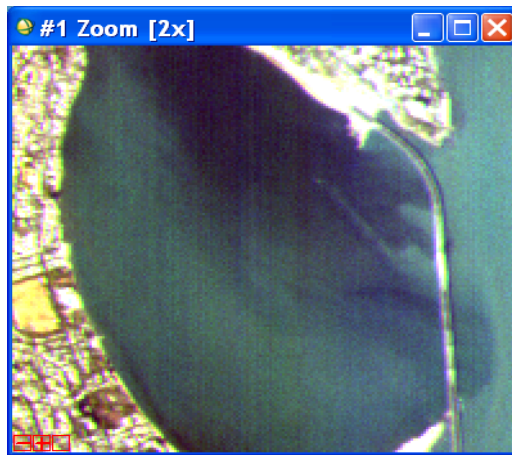


Şekil 7. RASAT uydu görüntüsünde detektör kaynaklı hatalara örnekler

5. RASAT SEVİYE 2 GÖRÜNTÜ İŞLEME: GEOMETRİK KALİBRASYON

Tüm uydularda olduğu gibi, RASAT’ın ham görüntülerinde, uydunun planlanan ve gerçekleşen yörüngesi ve yönelimi arasındaki farklar ve uydu kamerasının fırlatma sonrasında baktığı yönün hassas bir şekilde bilinmemesi gibi nedenlerden kaynaklanan sorunlar bulunmaktadır. Geometrik kalibrasyon çalışması ile bu hata kaynaklarının düzeltilmesinin sağlanması ve uydu görüntülerinin yer konumlandırılmasının hassas bir şekilde yapılması amaçlanmaktadır. Çalışmada kullanılacak kalibrasyon referansı LANDSAT 7 uydusu (Mackin ve Chander, 2010) ve USGS’in kullandığı geometrik kalibrasyon test alanları olacaktır.

RASAT uydusu çok bantlı bir uydu olduğu için bantların da kendi içinde birbirine göre konumlandırılması gerekmektedir (Şekil 8). Bu çalışmalar kapsamında USGS’in geometrik kalibrasyon için kullandığı yöntemler tüm RASAT uydu görüntülerine uygulanması planlanmaktadır. Son kullanıcıya yönelik geometrik kalibrasyonu yapılan görüntülerde bantlar arasındaki konumlandırma için <0.5 piksel (< 7.5 m) doğruluk, görüntülerin yersel konumlandırmalarında ise 1-2 piksel (15-30 m) doğruluk hedeflenmektedir.



Şekil 8. RASAT uydu görüntüsünde bantların kendi içinde hatalı konumlandırılması örneği

1
2
3
4
5

5.1 Bantlar Arası Çakıştırma

Çok bantlı uydu görüntülerinin çakıştırılması için literatürde birçok yöntem mevcuttur (Dawn v.d. 2010), (Teke ve Temizel 2010). RASAT uydu görüntüsü Kırmızı, Yeşil, Mavi ve Pan olmak üzere 4 banttan oluşmaktadır. Bu bantlar arasında görüntü düzlemindeki x ve y koordinatlarında belirli bir kayma oluşmaktadır. Bu bantların benek seviyesinde aynı yeri gösterecek şekilde, çakıştırılması gerekmektedir. Aynı süpürmeli geçişte çekilen bu dört bantın birbirleri ile çakıştırılması için kullanılan yöntem şu şekilde özetlenebilir: Kırmızı, Yeşil ve Mavi eşit ölçekte olduğu için kendi içlerinde öncelikle çakıştırılmıştır. Bunun için Kırmızı bandı referans olarak seçilerek diğer bantların Kırmızı bandına göre göreceli kayma değerleri elde edilmiştir. Kırmızı bandı üst örneklenerek Pan bandı ile olan göreceli kayma değerleri bulunmuştur. Uygulanan yöntem 3 ana basamaktan oluşmaktadır:

- **Kırmızı bandı içerisinde uygun bir NxN boyutunda çerçeve seçimi:** Çakıştırma işlemini bütün bir resim üzerinde yapmak yerine, işlem karmaşıklığını azaltmak için; Kırmızı bandı üzerinde uygun bir çerçeve seçilerek bu bölge üzerinde hesap yapılır. Çerçeve seçimi iki aşamada yapılmaktadır: İlk aşamada Kırmızı bandındaki çerçeve içerisindeki beyaz değerli (belirli bir değer üzerindeki değerler beyaz olarak kabul edilmektedir) benek sayısının çerçevedeki toplam benek sayısına olan oranı bulunur. Bu oran eğer belirli bir eşik değerinin altında ise ikinci aşamada kullanılacak çerçeveler listesine eklenir. Bu ilk aşama, “3. RASAT SEVİYE 0 GÖRÜNTÜ İŞLEME” içerisinde anlatılan problemin bant çakıştırmasındaki olası etkilerini en aza indirmek için yapılmaktadır. İkinci aşamada, seçilen her bir çerçeve Sobel operatörü (Gonzalez ve Woods 2002) kullanılarak süzgeçlenir. Süzgeçlenmiş çerçeve içerisindeki tüm benek değerlerinin ortalaması alınır. Ortalama değeri en yüksek olan çerçeve seçilir.
- **Süzgeçleme:** Birinci basamakta Kırmızı bandında seçilen çerçevenin, çakışma olasılığı bulunan aralıktaki diğer bant çerçeveleri belirlenir. Belirlenen bütün çerçeveler Sobel operatörü (Gonzalez ve Woods 2002) kullanılarak süzgeçlenir.
- **İlinti analizi:** Süzgeçlenmiş çerçeveler üzerinde düzgelenmiş çapraz ilinti (Normalized Cross Correlation - NCC) (Bertsekas ve Tsitsiklis 2008) yöntemi kullanılarak en çok benzeştiği, x ve y yönündeki kayma değerleri belirlenir.

6. RASAT SEVİYE 3 GÖRÜNTÜ İŞLEME: ORTOREKTİFİKASYON

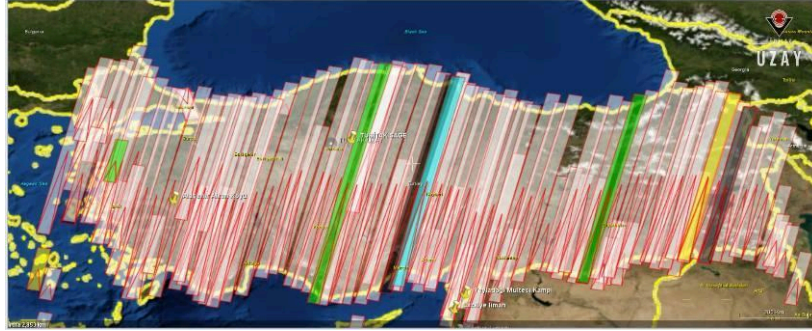
Uydunun yöneliminde sadece 0.1 derecelik belirlleme hatasının yerde 1.2 km’ye karşılık geldiği düşünüldüğünde, uydudan elde edilen yörünge ve yönelim verilerini kullanarak yüksek hassasiyette yer konumlaması yapmak mümkün olmamaktadır. Gerekli doğrulukta referans uydu verisi, kamera parametreleri ve arazinin sayısal yükseklik modeli kullanılarak RASAT görüntülerinin ortorektifikasyonu işlemlerine başlanmıştır. Bu işlem sayesinde görüntüdeki eğiklik, dönüklük ve yükseklik farkından dolayı meydana gelen hataların düzeltilmesi hedeflenmektedir. Ortorektifikasyon işleminde kullanılan kamera parametreleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 2. RASAT kamerasına ait parametre tablosu

KANALLAR	PAN	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ
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 sütunları (benek)	4096	2048	2048	2048
Yersel çözünürlük (m)	7,434	14,826	14,903	14,896
Uydu bakış açısı	±30°	±30°	±30°	±30°

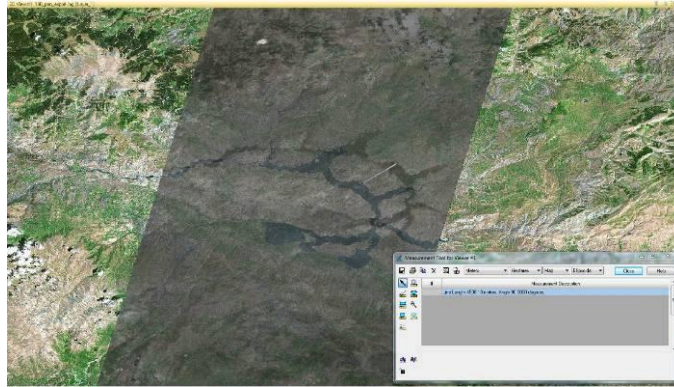
Uydunun yönelim bilgilerini içeren Omega, Phi ve Kappa açıları normal şartla altında uydu üzerinde bulunan yıldız kamerasından sağlanmaktadır. RASAT uydusuna ait yıldız kamerasındaki sorun nedeniyle ortorektifikasyon işlemi bu bilgiler olmadan yapılmaktadır. Bu bilgiler için, kullanılan programın varsayılan değerleri kullanılmaktadır.

Ortorektifikasyon işleminde referans görüntü olarak LANSAT TM, sayısal yükseklik modeli olarak da SRTM verileri kullanılmaktadır. RASAT görüntüleri şeritler halinde çekilmektedir. Bu şeritler 30 km eninde olup, boyları 700 km.’ye kadar çıkabilmektedir. Eylül 2012 sonu itibariyle, Türkiye’yi kapsama hedefinin tutturulmuş olacağı öngörülerek toplam şerit sayısının 70’e ulaşması beklenmektedir.



Şekil 9. Eylül 2012 itibariyle Türkiye için tamamlanan RASAT görüntü şeritleri

Örnek olarak, 12 Temmuz 2012 tarihinde çekilmiş RASAT görüntüsü incelenmiş ve yer istasyonunda yapılan geometrik düzeltmeler neticesinde 4,5 km’lik bir koordinat farkı tespit edilmiştir. Ancak istenen yönelim değeri ve görüntülerden hesaplanan, “gerçekleşen” yönelim değerleri kullanarak uydunun yönelim belirleme algılayıcılarının kalibrasyonu sürekli gözden geçirilmekte ve istenilen bölgenin görüntüsü yüksek bir doğrulukta elde edilebilmektedir. Bu anlamda, bahsi geçen koordinat farkı bir geometrik kalibrasyon ürünüdür.



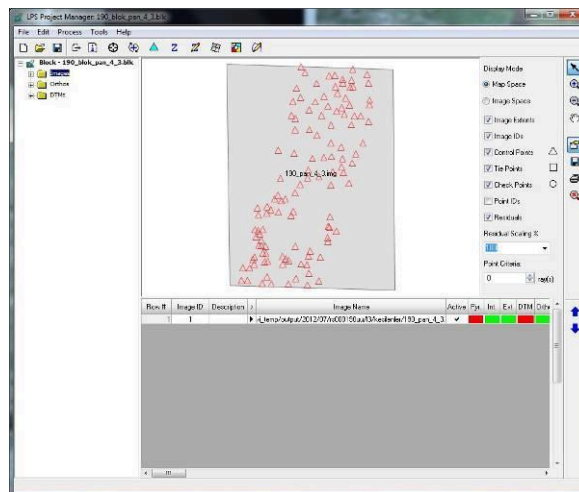
Şekil 10. LANDSAT görüntüsü üzerine bindirilmiş RASAT görüntüsü

Kuzeyden güneye uzanan şeritlerin ortorektifikasyonun tek seferde yapılması, arazi şekillerinin değişkenliği sebebiyle oluşacak bozulma yüzünden uygun görülmemiş ve görüntü 4 parçaya bölünerek (150-180 km’lik parçalar) her parçanın ayrı ayrı ortorektifikasyonu yapılmıştır.



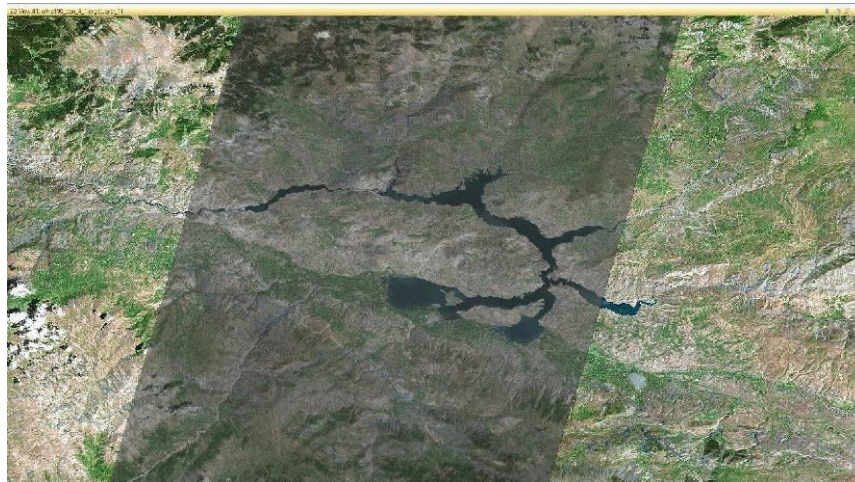
Şekil 11. RASAT şerit görüntüsünün 4 parçaya bölünmesi

Ortorektifikasyonu yapılan görüntüler için yaklaşık 100 adet yer kontrol noktası, referans LANDSAT görüntüsünde bulunarak seçilmiştir.

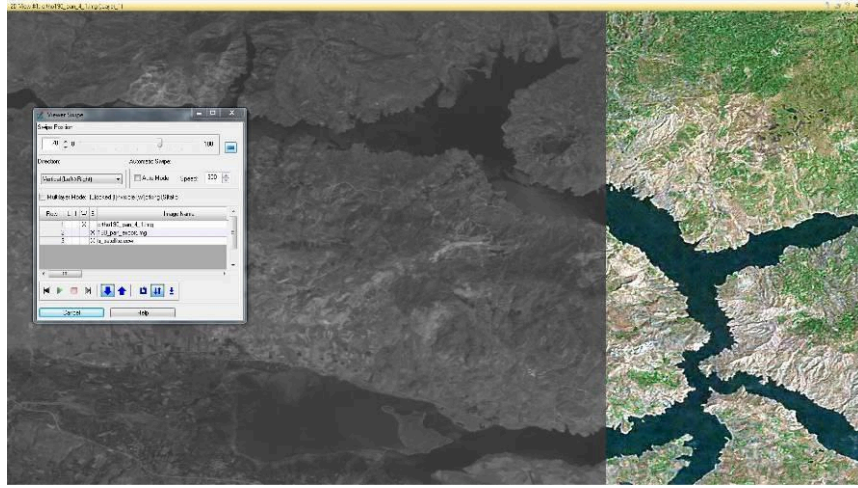


Şekil 12. Seçilen yer kontrol noktaları

Ortorektifikasyon işleminin sonuçları aşağıdaki görüntülerde gösterilmektedir.



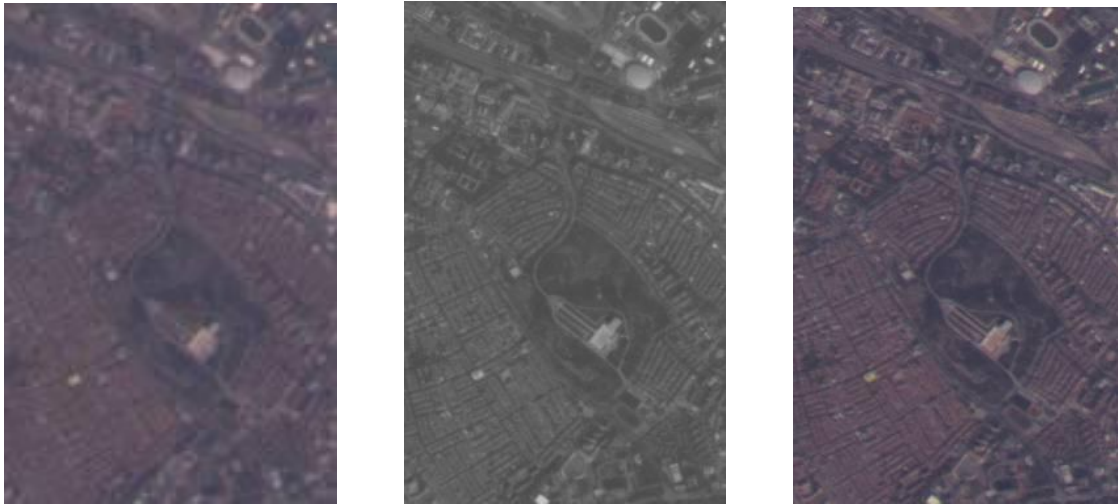
Şekil 13. Ortorektifiye edilmiş RASAT görüntüsü-1



Şekil 14. Ortorektifiye edilmiş RASAT görüntüsü-2

7. RASAT SEVİYE 4 GÖRÜNTÜ İŞLEME: PAN İLE KESKİNLEŞTİRME

Pan ile keskinleştirme için literatürde birçok yöntem mevcuttur (Tu et al., 2004), (Amro et al., 2011). RASAT görüntüleri için yeşinlik-renk-doygunluk (IHS - intensity–hue–saturation) temelli bir yöntem uygulanmıştır. RGB verisi IHS verisine dönüştürüldükten sonra I bandı yerine Pan verisi kullanılarak IHS alanından RGB alanına ters dönüşüm yapılır. Böylece Pan ile keskinleştirilmiş RGB verisi elde edilmiş olur. Şekil 15’de Pan ile keskinleştirilmiş RASAT görüntüsü görülmektedir. Görüntülere keskinleştirme veya kontrast artırma gibi işlemler uygulanmamıştır.



a) RGB görüntüsü (L1)

b) Pan görüntüsü (L1)

c) Pan ile keskinleştirilmiş görüntü

Şekil 15. RASAT görüntüsünün Pan ile keskinleştirilmesi

8. RASAT SEVİYE 5 GÖRÜNTÜ İŞLEME: MOZAİK

RASAT uydu görüntüleri kullanılarak mozaik görüntüler elde edilmesi ve bu görüntülerin TÜBİTAK UZAY bünyesinde sağlanacak geoportal servisi ile kullanıma sunulması hedeflenmektedir.

9. RASAT SEVİYE 6 GÖRÜNTÜ İŞLEME: SAYISAL YÜKSEKLİK MODELİ

RASAT uydusu sahip olduğu manevra yeteneği ve yörünge özelliği ile stereo görüntüleme yapılmasına imkan tanımaktadır. Stereo görüntü çiftleri kullanılarak görüntülerden sayısal yükseklik modeli (SYM) elde edilmesi konusunda araştırmalar devam etmektedir. Türkiye’ye ait SYM çeşitli kaynaklardan yüksek hassasiyet ve doğrulukta temin edilebilmekle beraber Dünya’nın diğer bölgelerine ait modeller gizlilik sebebiyle bilinmemektedir. Özellikle SYM verisine ihtiyaç duyan silah sistemleri için bu çalışmanın yapılması kaçınılmazdır.

RASAT uydusundan tek geçişte ve iki farklı geçişte olmak üzere iki şekilde Stereo görüntü elde edilebilmektedir. Tek geçişte stereo görüntüleme, uydunun sahip olduğu manevra yeteneği sayesinde yapılabilmekte olup uydu yunuslama ekseninde manevra yaptırılarak iki farklı açıdan görüntüleme ile stereo görüntü çiftleri oluşturulmaktadır. İki farklı geçişte stereo görüntüleme de ise görüntü çiftleri farklı zamanlarda çekilmiş görüntülerden oluşturulmaktadır. Bu görüntüler farklı yalpa açıları ile çekilmektedir. Her iki yöntemin kendine ait avantajları ve zorlukları olmakla beraber elde edilen görüntü çiftlerinin benzer ışık koşullarına sahip olması sebebiyle tek geçişte görüntüleme tercih edilmektedir.

Yapılan örnek çalışmada Kıbrıs bölgesinden alınan görüntüler ile Beşparmak Dağlarının 3 boyutlu görüntüsü oluşturulmuştur. Çalışmalar halen devam etmekte olup, Türkiye’nin mozaik görüntüleme çalışmasının bitmesini takiben temin edilecek stereo görüntü çiftleri ile elde edilen SYM ve doğruluğu konusundaki çalışmalar devam edecektir. Bu çalışma ile amaçlanan Güneş’e eş zamanlı yer gözlem uydularından çekilen görüntülerden SYM elde edilmesi için gerekli yöntemin oluşturulmasıdır. Gelecekte, daha yüksek çözünürlükteki uydulardan yüksek hassasiyet ve doğrulukta SYM elde edilmesi için gerekli altyapının kurulması amaçlanmaktadır.

10. SONUÇ

Türkiye’nin yerli imkanlarla tasarlanan ve geliştirilen ilk yer gözlem uydusu RASAT bir yılı aşkın süredir görevini yerine getirmekte, Türkiye ve Dünya’dan görüntüler elde etmektedir. Bu çalışmanın doğal sonucu olarak elde edilen görüntülerin geometrik ve radyometrik kalibrasyonlarının yapılması ve görüntülerdeki çeşitli sorunların giderilebilmesine dair çalışmalar bu bildiride özetlenmiştir.

Ortorektifikasyonu yapılan görüntülerden Türkiye mozağı oluşturulacaktır. TÜBİTAK UZAY, RASAT görüntülerini, Kamu Kurum Kuruluşlarının, Üniversitelerin ve Türk Silahlı Kuvvetlerinin, mekansal iş ve işlemlerinde altlık olarak kullanabilmelerine katkı sağlamak amacı ile bir geoportal oluşturmak için çalışma başlatmıştır. Kullanıcılar için bir arayüz sağlanması planlanmakta olup bu arayüz ile RASAT görüntülerinin sorgulanabilmesine ve istenilen yere ait görüntülerin indirilebilmesine imkan sağlanabilecektir.

KAYNAKLAR

- Amro, I., Mateos, J., Vega, M., Molina, R., Katsaggelos, A.K.,** 2011, A survey of classical methods and new trends in pansharpening of multispectral images, EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2011:79.
- Bertsekas, D.P., Tsitsiklis, J.N.,** 2008, Introduction to probability, Second Edition, Athena Scientific.
- Boucher, Y., Viallefont, F., Behnert, I., Fox, N., Griffith, D., Harris, P., Helder, D., Knaeps, E., Leigh, L., Li, Y., Özen, H., Ponzoni F., Sterckx, S.,** 2011, Spectral reflectance measurement methodologies for Tuz Gölü field campaign, IGARSS 2011, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Vancouver, Kanada, 24-29 Temmuz 2011.
- Chander G., Coan, M. J., Scaramuzza, P. L.,** 2008, Evaluation and Comparison of the IRS-P6 and the Landsat Sensors. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 46, No. 1, January 2008.
- Dawn, S., Saxena, V., Sharma, B.,** 2010, Remote sensing image registration techniques: a survey, In Proceedings of the 4th international conference on Image and signal processing (ICISP’10), A.Elmoataz, O. Lezoray, F. Nouboud, D.Mammass, J. Meunier (Eds.), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, pp. 103-112.
- Durna, M., Atar, O., Ceylan, M., Çakmakçı, Y., Demirci, M., Kozal, A.Ö., Oturak, M., Özdemir, A., Turhan, O.,** 2011, On Board Data Handling Subsystem Featuring BILGE. Proceedings of RAST2011, 5th International Conference on Recent Advances in Space Technologies, pp. 932-937, İstanbul, Haziran 2011.

Gonzalez, R., Woods, R., 2002, Digital image processing, Prentice Hall.

Gürol, S., Özen, H., Leloğlu, U. M., Tunali, E., 2008, Tuz Gölü: new absolute radiometric calibration test site, XXIIst International Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) Congress, Commission I, WG I/1, Vol. XXVII, Part B1, Beijing, Çin, 03-11 Temmuz 2008.

Gürol S., Behnert, I., Özen, H., Deadman, A., Fox N., Leloğlu, U. M., 2010, Tuz Gölü: new CEOS reference standard test site for infrared visible optical sensors, Canadian Remote Sensing Journal, Vol. 36, No. 5, pp. 553-565, Ekim 2010.

İçöz, D., Kahyaoğlu, N. D., Bölücek, M., Öncü, E., Kırılmaz, T., Dudak, C., Sunay, H., Akan, V., Şen, Ö., 2011, Communication Subsystem of RASAT, Proceedings of RAST2011, 5th International Conference on Recent Advances in Space Technologies, pp. 950-955, İstanbul, Haziran 2011.

İsmailoğlu, N., Karakuş, K., Kapucu, K., Yılmaz, O., Mert, Y. M., Kazak, H. E., Oktem, R., 2011, A Dual-Core ASIC Architecture for High-Speed On-Board Image Compression with JPEG2000, Proceedings of RAST2011, 5th International Conference on Recent Advances in Space Technologies, pp. 475-479, İstanbul, Haziran 2011.

Lee, D. S., Storey, J. C., Choate, M. J., Hayes, R. W., 2004, Four years of Landsat-7 on-orbit geometric calibration and performance. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 42, no. 12, pp: 2786–2795.

Leigh, L., Helder, D., Behnert, I., Deadman, A., Fox, N., Leloğlu, U. M., Özen, H., Griffith, D., 2011, Tuz Gölü site characteristics, IGARSS 2011, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Vancouver, Kanada, 24-29 Temmuz 2011.

Leloğlu, U. M., Gürbüz, S. Z., Özen, H., Gürol, S., 2010, Characterization of the Spatial Uniformity of the Tuz Gölü Calibration Test Site, ISPRS 2010, International Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Istanbul, Turkey, 11-13 Ekim 2010.

Mackin S., Crowley, D., 2010, Radiometric and Data Quality characteristics of the 2nd. Generation Disaster Monitoring Constellation (DMC) satellites, JACIE (Joint Agency Commercial Imagery Evaluation) Civil Commercial Imagery Evaluation Workshop, March 16-18, 2010, Virginia, USA.

Mackin S., Chander, G., 2010, Comparison of the radiometry of Landsat 7 and the Disaster Monitoring Constellation (DMC) satellites over the Dome-C Calibration site in Antarctica, JACIE (Joint Agency Commercial Imagery Evaluation) Civil Commercial Imagery Evaluation Workshop, March 16-18, 2010, Virginia, USA.

Özen, H., 2011, Sensor to sensor comparison via Tuz Gölü salt lake, Ankara, Turkey, Committee on Earth Observation Satellites (CEOS), Working Group on Calibration and Validation (WGCV), Infrared and Visible Optical Sensors Group (IVOS), IVOS-23 Workshop, Toulouse, Fransa, 13-15 Nisan 2011.

Özen, H., Gürol, S., Leloğlu U. M., Tunali, E., 2009, Uydu görüntüleri ve yersel verilerden Tuz Gölü’nün homojenlik analizi, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Sempozyumu (TUFUAB 2009), MTA, Ankara, Türkiye, 04-06 Şubat 2009.

Shrestha, A. K., Helder, D., Anderson, C., 2010, Relative Gain Characterization and Correction for Pushbroom Sensors Based on Lifetime Image Statistics, JACIE (Joint Agency Commercial Imagery Evaluation) Civil Commercial Imagery Evaluation Workshop, March 16-18, 2010, Virginia, USA.

Slater, P. N., Biggar, S. F., Thome, K., Gellman, D., Spyak, P. R., 1996, Vicarious Radiometric Calibrations of Sensors, J. Atmos. Oceanic Technol., 13, 349–359.

Teillet, P. M., Barsi, J. A., Chander G., Thome, K., 2007, Prime candidate earth targets for the post-launch radiometric calibration of space-based optical imaging instruments, Proceedings of SPIE, vol. 6677, 66770S.

Teillet P. M., Chander, G., 2010, Terrestrial reference standard sites for postlaunch sensor calibration, Canadian Journal of Remote Sensing, Vol. 36, No. 5, pp. 437–450, 2010.

Teke, M., Temizel, A., 2010, Çoklu bant uydu görüntülerinin ölçek sınırlandırılmış SURF kullanılarak çakıştırılması, IEEE 18. Sinyal İşleme, İletişim ve Uygulamaları Kurultayı (SIU 2010).

- Thome K., Schiller, S., Conel, I., Arai, K., Tsuchida, S.,** 1998, Results of the 1996 Earth observing system vicarious calibration joint campaign to Lunar Lake Playa, Nevada (USA), *Metrologia*, 35, 631–638, 1998.
- Thome, K.,** 2001, Absolute Radiometric Calibration of Landsat 7 ETM+ Using the Reflectance-Based Method, *Remote Sensing of Environment*, 78(1–2), 27–38.
- Thome, K., Cattrall, C., D’Amico, J., Geis, J.,** 2005, Ground-reference calibration results for Landsat-7 ETM+. *Proc, SPIE Conference*, Vol. 4049, pp. 134-142.
- Thome, K., Arai, K., Tsuchida, S., Biggar, S. F.,** 2008, Vicarious Calibration of ASTER via the Reflectance-Based Approach, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote. Sensing*, 46, 3285–3295.
- Tu, T.-M., Huang, P.S., Hung, C.-L., Chang, C.-P.,** 2004, A fast intensity-hue-saturation fusion technique with spectral adjustment for IKONOS imagery, *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, vol. 1, no. 4, pp. 309–312.
- Tüfekçi, C.S., Ertongur, N., Yavuzylmaz, Ç., Gulmammadov, F., Kahraman, Ö., Subaşı, Y.,** 2011, Attitude Performance Requirements and Budgeting for RASAT Satellite, *Proceedings of RAST2011, 5th International Conference on Recent Advances in Space Technologies*, pp. 968-973, İstanbul, Haziran 2011.
- Yavuzylmaz, Ç., Akbaş, M., Acar, Y., Gulmammadov, F., Kahraman, Ö., Subaşı, Y., Tüfekçi, C.S.,** 2011, ADCS Flight Software Testing with Dynamic Attitude Simulator Environment, *Proceedings of RAST2011, 5th International Conference on Recent Advances in Space Technologies*, pp. 974-977, İstanbul, Haziran 2011.