GÖKTÜRK-2'NİN MUTLAK VE ÇAPRAZ RADYOMETRİK KALİBRASYON KATSAYILARININ BELİRLENMESİ

İsmail Hakkı DEMİRHAN¹, Ziya TELATAR²

¹TÜBİTAK UZAY, ODTÜ Yerleşkesi, 06800, Ankara, hakki.demirhan@tubitak.gov.tr

²Prof. Dr., Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 06830, Ankara, Ziya.Telatar@ankara.edu.tr

ÖZET

Uydulardaki sensörlerin enerjileri, zemin yüzeyden yayılan veya yansıyan gerçek enerjiden farklı olabilir. Bu durum, enerjiye etki edebilecek olan yükseklik, atmosferik koşullar ve güneşin açısından kaynaklanır. Bu nedenle, yerin gerçek ışınlılığı veya yansıtımını elde etmek için, radyometrik hatalar düzeltilmektedir. Bir sensör, uydu görüntüsüne ait her bir piksel için elektromanyetik radyasyonun yoğunluğunu bir sayısal değer (DN) olarak kaydeder. Uydu görüntülerinin sayısal değerlerinden kaynaklı hataları azaltmak veya düzeltmek için radyometrik düzeltme uygulanır. Sayısal değerlerin ışınlılık veya yansıtım gibi daha anlamlı ve gerçek birimlere dönüştürülmesine ise radyometrik kalibrasyon denir. Radyometrik kalibrasyonla elde edilen görüntü standart ölçekte tanımlanarak diğer sensörlerden alınan görüntülerle karşılaştırılabilir seviyeye gelmektedir. Radyometrik kalibrasyon, uyduların sensörlerine ait bilgilere ulaşmak ve verilerin güvenilirliğini ve devamlılığını adına kritik öneme sahiptir. Bu bakımdan radyometrik kalibrasyon çalışmalarının bir uydunun ömrü boyunca düzenli olarak yapılması gerekmektedir.

Bu bildiride, 2015 ve 2016 yıllarında Tuz Gölü'nde gerçekleştirilen Göktürk-2'nin yansıtım temelli mutlak ve çapraz radyometrik kalibrasyonundan bahsedilmektedir. 2015 ve 2016 yılında Tuz Gölü'nde gerçekleştirilen kampanya ile Tuz Gölü'nün kıyısından spektroyadyometre ile toplanan spektral ölçümler kullanılmıştır. Yer koordinatları bilinen 50 noktadan toplanan spektral ölçümler, 6S ışınlım benzetim simülatörü ile atmosfer üstü (AÜ) spektral veriye dönüştürülmüştür. 2015 ve 2016 yılı verileri ile elde edilen atmosfer üstü spektral verilerden Göktürk-2 uydusunun tüm bantlarına ait kazanç değerleri analiz edilmiştir. Aynı zamanda 2015 yılı verileri ile Landsat 8 uydusuna göre yapılan çapraz radyometrik kalibrasyon çalışması, literatürdeki benzer bir çalışma ile karşılaştırılmış ve benzer bir başarımla yakalandığı gösterilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Göktürk-2, Landsat 8, mutlak ve çapraz radyometrik kalibrasyon

ABSTRACT

DETERMINATION OF ABSOLUTE AND CROSS RADIOMETRIC CALIBRATION COEFFICIENTS FOR GÖKTÜRK-2

The energies of the satellite sensors may differ from the actual energy emitted or reflected from the ground surface. This is caused by the altitude at which the energy can be effected, the atmospheric conditions and solar angle. For this reason, radiometric errors are corrected to obtain the true radiance or reflectance of the ground. A sensor records the intensity of the electromagnetic radiation for each pixel of the satellite image as a digital number (DN). Radiometric correction is applied to reduce or correct errors resulting from the digital numbers of satellite images. The conversion of digital numbers into more meaningful and real units such as radiance or reflectance is called radiometric calibration. The image obtained by radiometric calibration is defined at the standard scale and is comparable to the images from other sensors. The radiometric calibration has critical importance to get information about the sensors of the satellites and for the reliability and continuity of the satellite data. Therefore, radiometric calibration studies need to be done regularly throughout the lifetime of a satellite.

In this paper, the reflectance-based absolute and cross-radiometric calibration of Göktürk-2 carried out at Tuz Gölü in 2015 and 2016 is mentioned. With the campaign in 2015 and 2016, spectral measurements collected by spectroradiometer were used along the coast of Tuz Gölü. The spectral measurements collected from 50 points which has ground coordinates were converted to top of atmosphere (ToA) spectra with the 6S radiative transfer simulator. The gain values of all the bands of Göktürk-2 satellite were analyzed from the atmospheric spectral data obtained from 2015 and 2016 data. At the same time, the cross-radiometric calibration study in accordance with the Landsat 8 satellite using the SBAF method was compared with a similar study in the literature and it was shown that a similar success was attained.

Key words: Göktürk-2, Landsat 8, absolute and cross radiometric calibration

1. GİRİŞ

Göktürk-2, yerli imkânlarla tasarlanmış olan yüksek çözünürlüklü bir yer gözlem uydusudur. Göktürk-2 görüntüleri, kamu kurum/kuruluşları ile Türk Silahlı Kuvvetleri tarafından, yer gözlem ve inceleme/araştırma amaçlı kullanılmaktadır. 2012 yılında fırlatılan Göktürk-2 uydusu aktif olup görevini sürdürmektedir. Göktürk-2 ve RASAT uydularının radyometrik kalibrasyon faaliyetleri, TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü tarafından GEOPORTAL Projesi kapsamında çapraz, bağıl ve mutlak radyometrik kalibrasyon olmak üzere üç alanda devam etmektedir.

2. UYGULAMA

Çalışmada, 2015 ve 2016 yıllarında Tuz Gölü arazisi üzerinden geçen Göktürk-2 ve Landsat 8 uydularından eş zamanlı alınan görüntü çiftleri kullanılarak Göktürk-2 uydusunun iki yıla ait mutlak ve çapraz radyometrik kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. 11.09.2015 ve 11.08.2016 tarihinde ilgili bölgeden geçen Göktürk-2 uydusu ile 10.09.2015 ve 11.08.2016 tarihinde bölgeden geçen Landsat 8 uydusunun geçiş tarihleri yakın olduğu için kampanyaların düzenlenme ve görüntülerin çekim tarihi bu doğrultuda belirlenmiştir. Aynı zamanda Landsat 8 ve Göktürk-2 görüntü çiftleri kullanılarak 2015 yılında Tuz Gölü'nde gerçekleştirilen yansıtım temelli çapraz radyometrik kalibrasyon çalışması yapılmıştır. Çapraz radyometrik kalibrasyon uygulanırken Tuz Gölü'nden alınan yersel spektral ölçümler aracılığıyla, sensörler arasındaki bağıl spektral tepki (RSR) farklılıklarını gidermek için spektral bant ayarlama faktörü (SBAF) yöntemi uygulanmıştır.

2.1. Göktürk-2' nin Mutlak Radyometrik Kalibrasyon Katsayılarının Belirlenmesi

10-11 Eylül 2015 tarihinde, Tuz Gölü'nün kıyısından arazi çalışmasına uygun havuzun orta kısımlarına uzanan yersel ölçüm hattı belirlenmiştir. Göktürk-2 ve Landsat 8'e ait her iki uydu görüntüsü yerel olarak 10:53 ve 11:21 saatleri arasında yaklaşık 24 saatlik bir fark ile atmosferik/mevsimlik farklılıkları minimize edebilmek için Tuz Gölü test sahasını alacak şekilde çekilmiştir. Göktürk-2 ve Landsat-8 uydularının Dünya ve Güneş'e göre konumları **Çizelge 1** ile görülmektedir. Çalışmanın bir hafta öncesinde test alanına yakın bir yere kurulan güneş fotometresi ve meteoroloji istasyonu ile atmosferik parametrelerin ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 1. Göktürk-2 ve Landsat-8 uydularının Dünya ve Güneş'e göre konumları.

	Tarih	Zaman	Güneş Zenit	Güneş Azimut	Uydu Zenit	Uydu Azimut
GK-2	11.09.2015	10.53	42.4°	137,1°	4.8°	231,4°
L8	10.09.2015	11.21	38.2°	147.4°	Ayakucu	Tanımsız
GK-2	11.08.2016	10:46	36.2°	122°	4.2°	229.3°
L8	11.08.2016	11:21	30.3°	135.6°	Ayakucu	Tanımsız

İki arazi çalışmasının tarihi; zamana bağlı hataların en aza indirgenmesi amacıyla Göktürk-2 ve Landsat 8 uydularının ortak geçiş zamanlarına göre ayarlanmıştır. Aynı zamanda, ortak geçiş tarihi belirlenirken uyduların yükseklik (elevation) açısının olabildiğince 90°'ye yakın olanı tercih edilmiştir. Bu durum, uydunun zenit açısına yansıdığından ve ilgili parametre 6S ışınlam benzetim simülatörü tarafından kullanıldığından dolayı kalibrasyon katsayılarını doğrudan etkileyebilmektedir.

2015 ve 2016 yılında Tuz Gölü'nde Göktürk-2 uydusunun geçişi öncesinde ve sonrasında toplanan yersel spektral imzaların tümü, test ve analiz amacıyla çalışmada kullanılmıştır. Yerden toplanan spektral imzalar ve atmosferik ölçümler kullanılarak her spektral ölçümün atmosfer üstündeki (AÜ) yansıtım ve ışınlılık değerleri 6S ışınlam benzetim simülatörü çalıştırılarak hesaplanmıştır (6S Radiative Transfer Model). Hesaplanan AÜ ışınlılık değerleri kullanılarak (1) denkleminden Göktürk-2 uydusunun her bandının kazanç ve öteleme değerleri hesaplanmıştır. (Demirhan ve Sakarya, 2016) çalışmasında 6S ışınlam benzetim simülatörü aracılığıyla yersel spektral imzalardan elde edilen atmosfer üstü/altı imzalar gösterilmiştir. Göktürk-2'nin mutlak radyometrik kalibrasyon çalışmasına ait 6S simülatör girdileri **Çizelge 2** ile görülmektedir.

$$Işınrlılık = Kazanç * Sayısal Değer (DN) + Öteleme \quad (1)$$

Çizelge 2. Göktürk-2'nin mutlak radyometrik kalibrasyon çalışmasına ait 6S simülatör girdileri.

Çalışma Yılı	2015	2016		2015	2016
Ozon (cm.atm)	0.281	0.287	Hedef Yükseklik (m)	907	907
AOT (550 nm)	0.247	0.179	Sensör Yükseklik (km)	700	700
Su buharı (g/cm ²)	2.5	2.3	Yuvarlanma (Roll)	-3.91°	-3.37°
Sıcaklık (°C)	25.9	29.7	Yunuslama (Pitch)	-0.005°	-0.002°
Basınç (mmHg)	1015.2	1006.7	Sapma (Yaw)	0°	0°

Çalışma, Tuz Gölü test sahası üzerinden her iki uydunun geçişinin öncesinde ve sonrasında spektrometre ve GNSS alıcısı yardımıyla ölçüm noktalarına ait koordinatların ve spektral imzaların kaydedilerek verilerin toplanması ile başlamıştır. Çalışmada, Göktürk-2 geçişi öncesinde ve sonrasında spektrometre ile 350-2500 nm tayfsal aralığında toplam 50 noktadan yersel spektral ölçümler alınmıştır. İlgili verilerin toplanmasının sonrasında çekilen Göktürk-2'nin tüm bantlarına ait uydu görüntülerinin coğrafi referanslaması yapılarak konumsal düzenlemesi yapılmış ve Landsat 8 uydu görüntüsü ile aynı yersel koordinatlara taşınmıştır (**Şekil 1**). Ardından ölçüm noktalarının görüntü üzerinde denk geldiği piksel değerlerinin (sayısal değer-DN) okunması sağlanarak mutlak radyometrik kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

Şekil 1. 2015 (solda) ve 2016 (sağda) yıllarında Tuz Gölü'nden örnek toplanan alan (Göktürk-2).

2015 ve 2016 yılında toplam 50 noktadan alınan yersel verilerden, uydu geçişi öncesinde ve sonrasında tüm noktalara ait spektral imzalar çalışmada kullanılmıştır. 2015 yılına ait 50 spektral veriden uydu geçişi öncesi 25 ve uydu geçişi sonrası için 25'i test verisi olarak kullanılırken 2016 yılında uydu geçiş öncesi 20 ve uydu geçiş sonrası için 30 ölçüme ait spektral imzalar değerlendirmeye alınmıştır. Tüm atmosfer üstündeki yansıtım ve ışınırılık değerleri, 6S ışınım benzetim simülatörü çalıştırılarak hesaplanmıştır.

2015 ve 2016 yıllarına ait radyometrik kalibrasyon çalışmasında Tuz Gölü'nden alınan yersel spektral imzalar **Şekil 2** ve **Şekil 3** ile görülmektedir.

Şekil 2. 2015 yılına ait Tuz Gölü'ndeki yersel ölçümlere ait spektral imzalar.

Şekil 3. 2016 yılına ait Tuz Gölü'ndeki yersel ölçümlere ait spektral imzalar.

Göktürk-2'nin 2015 yılına ait pan, kırmızı, yeşil, mavi ve NIR bantlarına ait görüntüler sırasıyla, 2-8-6-2-4 kazanç faktörleri ile çekilmiştir. 2016 yılına ait Göktürk-2 görüntüsü ise kazanç faktörlerinin kazanç katsayısına olan korelasyonunu analiz etmek için 0-0-0-0-0 kazanç faktörü gözetilerek çekim yapılmıştır. Bu modlar, Göktürk-2 uydusunun yaz dönemi çekim modu olduğundan dolayı tercih edilmiştir. Göktürk-2'nin kazanç faktörlerine karşılık gelen kazanç katsayıları Çizelge 3 ile verilmiştir.

Çizelge 3. Göktürk-2 için kazanç faktörlerine denk gelen kazanç bilgileri (Teke vd. 2016).

Kazanç Faktörü	-2	0	2	4	6	8	10
Kazanç Katsayısı	0,99	1,48	2	2,5	3	3,5	4

Göktürk-2'nin mutlak radyometrik kalibrasyonunu gerçekleştirmek üzere, 2015 ve 2016 yıllarına sayısal değerler (DN) ile AÜ ışınlılık değerleri kullanılıp öteleme değeri sıfır alınarak tüm bantlara ait kazanç değerleri hesaplanmış ve kazanç değerleri, kazanç katsayıları ile normalize edilerek her bir banda ait bant kazançları analiz edilmiştir (2), (Teke vd. 2016). Öteleme değerlerinin sıfır alınmasındaki amaç, doğrusal regresyon analizi uygulayarak tek bilinmeyen olarak kazanç değerlerini elde etmek ve daha önceki yıllarda sıfır öteleme alınarak analiz edilen kazanç değerleri ile karşılaştırmaktır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4 ile görülmektedir.

$$Bant\ Kazancı = \frac{Kazanç}{Kazanç\ Katsayısı} \quad (2)$$

Çizelge 4. 2015 ve 2016 yılı verileri ile yapılan Göktürk-2'nin mutlak radyometrik kalibrasyonu sonucu elde edilen tüm bantlara ait kazanç bilgileri.

		DN	Yansıtım	İşinrlık	Kazanç Faktörü	Kazanç	Bant Kazancı	Öteleme
Pan	2015	1313	0,578	228,317	4	0,1739	0,06956	0
	2016	945	0,635	270,336	0	0,2860	0,19324	0
Kırmızı	2015	1752	0,595	210,879	2	0,1203	0,06015	0
	2016	1479	0,664	253,896	0	0,1716	0,11594	0
Yeşil	2015	1463	0,570	241,936	8	0,1653	0,04722	0
	2016	777	0,620	283,676	0	0,3700	0,25000	0
Mavi	2015	2038	0,560	251,939	6	0,1236	0,04120	0
	2016	1108	0,599	290,553	0	0,2622	0,17716	0
NIR	2015	1255	0,538	135,596	2	0,1080	0,05400	0
	2016	1295	0,671	182,310	0	0,1408	0,09513	0

2015 ve 2016 yılına ait Göktürk-2'nin geçişi öncesi ve sonrasında elde edilen multispektral sensörün bant kazançlarına ait iki yıllık veriler baz alındığında yapılan bu analiz, 0-2-4-6-8 kazanç faktörleri ile elde edilen ortalama bant kazançlarını ortaya koyması açısından önemlidir. Farklı kazanç faktörleri ile çekilen görüntülerden elde edilen bant kazançlarının kendi içerisinde korelasyonu olup olmadığı konusu tartışmaya açıktır. Bu alanda yapılan çalışmalar sürdürülerek elde edilen bant kazançlarının yıllara göre doğrulamasının yapılması ve bant kazançlarının tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Dolayısıyla önümüzdeki yıllarda yapılacak olan mutlak radyometrik kalibrasyon çalışmaları, Göktürk-2'nin tüm bantlarına ait kazanç değerlerini ve bant kazançlarını doğrulamak adına büyük öneme sahiptir.

2.2. Göktürk-2'nin Landsat 8'e Göre Çapraz Radyometrik Kalibrasyon Analizi

Tüm uyduların sensör yapısı ve çalışma prensibi ile sensörün aynı bandındaki filtre geçirgenlikleri farklıdır. Uydularda kalibrasyon işlemi yapılırken, bantların spektral yapılarının farklı olması, kalibrasyon işleminde meydana gelebilecek sabit ve sistematik hatayı beraberinde getirir. Oluşan bu durum, uydu sensörünün kalibrasyon kalitesine yansımakta ve kalibrasyonu yapılan uydunun sensör kalitesini düşürmektedir. Bu yüzden, uyduların sensörlerine özel olan ve sensöre bağlı, bağlı spektral tepkiden (RSR) kaynaklanan farklılıklar düzeltilmelidir.

Yapılan bir çalışmada; sensörler arasında daha doğru çapraz kalibrasyonu sağlamak için multispektral sensörlerin spektral yapı farklılıklarını düzenleme ihtiyacından bahsedilmiştir. Görünür ve yakın-kızılötesi spektral bantlarda Landsat 7 (ETM+) ve MODIS sensörlerinin çapraz radyometrik kalibrasyonu, Libya 4 kalibrasyon sahası üzerinden yakın eş zamanlı gözlemler kullanılarak gerçekleştirilmiş ve SBAF yöntemi uygulanmıştır (Chander vd. 2013). SBAF yöntemi ile kalibrasyonu yapılan uyduların bağlı spektral tepkileri birbirleri ile dengelenir. Her iki uydunun sensörünün her bir bandına ait spektral aralıklar dikkate alınarak, sensörün bantları arasındaki farklılıktan kaynaklı bozulma ve yan etkiler giderilir. SBAF, (3b) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

$$\overline{\rho_{\lambda}} = \frac{\int \rho_{\lambda} \times RSR_{\lambda} d\lambda}{\int RSR_{\lambda} d\lambda} \quad (3a)$$

$$SBAF = \frac{\overline{\rho_{\lambda}}(A)}{\overline{\rho_{\lambda}}(B)} \quad (3b)$$

$$\overline{\rho_{\lambda}}(A^*) = \frac{\overline{\rho_{\lambda}}(A)}{SBAF} \quad (3c)$$

RSR_{λ} = Sensörün bağlı spektral tepkisi

ρ_{λ} = Hiperspektral AÜ yansıtım imzası

$\overline{\rho_{\lambda}}(A)$ = A sensörü için simüle edilmiş AÜ yansıtım

$\overline{\rho_{\lambda}}(B)$ = B sensörü için simüle edilmiş AÜ yansıtım

$\overline{\rho_{\lambda}}(A^*)$ = SBAF kullanarak A sensörü için kompanse edilmiş AÜ yansıtım

Bu çalışmada, 10.09.2015 ve 11.09.2015 tarihlerinde bir gün arayla çekilen Göktürk-2 ve Landsat 8 (USGS) uydu görüntüleri kullanılmıştır. Göktürk-2 görüntüsünün Landsat 8 görüntüsüne göre coğrafi referanslaması yapılarak ölçüm noktalarına ait sayısal değerleri toplanmıştır. Göktürk-2 geçişinin öncesinde ve sonrasında Tuz Gölü üzerinde 50 noktadan toplanan spektral ölçümler, 6S ışınım benzetim simülatöründen geçirilerek AÜ yansıtımları hesaplanmıştır. Spektral ölçüm noktalarının Landsat 8 görüntüleri üzerinde denk gelen sayısal değerleri ve Landsat 8 kalibrasyon katsayıları kullanılarak çapraz radyometrik kalibrasyon gerçekleştirmek için kullanılan AÜ yansıtım değerleri hesaplanmıştır. Çalışmada iki uyduya ait tüm kıyaslamalar yansıtım temelli yapılmış olup aynı bölgenin sensör seviyesinde elde edilen ışınlıklarına göre AÜ yansıtımlarına geçilmiştir.

Landsat 8'in metadatasında bulunan kalibrasyon parametreleri ve Landsat 8 görüntüsünden toplanan sayısal değerler kullanılarak (1) eşitliği aracılığı ile sensöre giden spektral ışınlık değerleri elde edilmiş, (4) eşitliği kullanılarak AÜ yansıtım değerlerine geçilmiştir. Her iki uydu görüntüsünden elde edilen AÜ yansıtım değerleri kullanılarak, yansıtım temelli çapraz radyometrik kalibrasyon gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, (3a) eşitliğindeki hiperspektral AÜ yansıtım değeri yerine, Tuz Gölü'nde toplanan yersel yansıtım ölçümlerinin, 6S ışınım benzetim simülatörü aracılığı ile atmosfer üstüne taşınan AÜ yansıtım değerleri kullanılmıştır. Aynı zamanda, ilgili eşitlikte RSR ve AÜ yansıtım değeri olarak, ilgili spektral aralıktaki değerin her 1'nm deki karşılığı kullanılmıştır.

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi * L_{\lambda} * d^2}{E_{SUN_{\lambda}} * \cos \theta} \quad (4)$$

$E_{SUN_{\lambda}}$: Birim zamanda yer yüzeyinin birim alanına gelen enerji (Birim ışınlık)

L_{λ} : Spektral ışınlık

d : Dünya güneş arası mesafe

θ : Güneşin dikey ile yaptığı açı

ρ_{λ} : Atmosfer üstündeki yansıtım (birimsiz)

Çapraz radyometrik kalibrasyon, Tuz Gölü üzerinden spektrometre ile toplanan 50 noktanın 6S ışınım benzetim simülatöründen geçirilmiş AÜ yansıtım değerlerine göre uygulanmıştır. Göktürk-2 ve Landsat 8 uydularının 5 bandının dalgaboyu aralığına göre elde edilen 1 nm'deki bağıl spektral tepki değerleri ile 6S ışınım benzetim simülatöründen geçirilen ve her bir 1 nm'de elde edilen AÜ yansıtım sonuçları çarpılmış ve tüm bantların bağıl spektral tepkilerinin (RSR) toplamına bölünmüştür (3a). Tüm bantlara göre; alınan simüle edilmiş Göktürk-2 ve Landsat 8 AÜ yansıtım değerleri, (3b) eşitliğinde belirtildiği gibi kendi içerisinde oranlanarak 5 banda ait SBAF değerleri elde edilmiştir. İki uydunun AÜ yansıtım değerlerine göre elde edilen SBAF değerleri gözetilerek, SBAF yöntemi uygulanmadan önce ve uygulandıktan sonra elde edilen AÜ yansıtım farkları analiz edilmiştir.

2015 yılı araştırma bulgularına göre; SBAF yönteminin uygulanması sonrasında, AÜ yansıtım yüzde farkın 5 bant (pan, kırmızı, yeşil, mavi ve NIR) için %3'lük dilim içerisine girdiği görülmüştür. Bu durum diğer çalışmamızda, %5 olarak elde edilmiştir (Demirhan vd. 2017). 2015 yılı verilerine SBAF yönteminin uygulanması sonucu, en yüksek optimizasyon %4,4 ten %2,3'e düşen yeşil bantta görülmüştür. Mavi ve kırmızı bantlar için de SBAF yönteminin uygulanmasının sonuçlara başarılı olarak yansıdığı görülebilmektedir. Analiz sonuçlarına göre, çapraz kalibrasyon katsayıları arasındaki standart sapma yaklaşık %2 olmuştur. Bu durum, 2016 verilerine ait sonuçlarda %3 şeklindedir (Çizelge 5).

Çizelge 5. Göktürk-2'nin Landsat 8'e göre çapraz radyometrik kalibrasyonu sonuçları.

Bant	GK-2 AÜ Yansıtım	L8 AÜ Yansıtım	GK-2 Simüle Edilmiş AÜ Yansıtım	L8 Simüle Edilmiş AÜ Yansıtım	SBAF	SBAF Sonrası Düzeltilmiş GK-2 AÜ Yansıtım	SBAF Öncesi AÜ Yansıtım Yüzde Fark	SBAF Sonrası AÜ Yansıtım Yüzde Fark
Pan	0,543	0,500	0,545	0,557	0,978	0,515	0,730	2,934
Mavi	0,438	0,443	0,508	0,510	0,995	0,439	-1,291	-0,872
Yeşil	0,458	0,478	0,527	0,537	0,980	0,467	-4,429	-2,351
Kırmızı	0,556	0,547	0,572	0,556	1,028	0,540	1,463	-1,299
NIR	0,551	0,557	0,560	0,588	0,952	0,578	-1,205	-3,710

2015 yılında yapılan çapraz radyometrik kalibrasyon çalışması kapsamında elde edilen yüzde fark oranının 2016 yılında elde edilen değerlerden daha düşük bir yüzdelik dilime girdiği görülmektedir. SBAF yönteminin uygulanmadan önceki durumunda, AÜ yansıtımına ait yüzde farkın tüm bantlar için %4'ün içerisinde kaldığı ve SBAF yöntemi uygulanması sonucu mavi bantta %1'in altına düştüğü görülmektedir. Kırmızı, yeşil ve mavi bantta gözlenen AÜ yansıtım farkı, iki uydu sensörünün bağıl spektral tepkilerinin (RSR) birbiri ile yakın bir bant genişliğinde olduğunu göstermektedir. NIR ve pan bandı ile görülen yüzde farkta oluşan sapma ise iki uydunun ilgili iki bandına ait bağıl spektral tepkilerindeki (RSR) farklılığı göstermesi açısından önemlidir.

3. SONUÇ

Bu bildiride, 2015 ve 2016 yıllarında Tuz Gölü kampanyası kapsamında gerçekleştirilen Göktürk-2'nin mutlak ve çapraz radyometrik kalibrasyonuna ait sonuçlar sunulmaktadır. Elde edilen sonuçlar, iki yıla ait farklı kazanç faktörü ile çekilen Göktürk-2'nin mutlak radyometrik kalibrasyon yöntemi ile belirlenmiş kazanç değerlerinin sunulması açısından önemlidir. İki yıl için elde edilen bant kazancı değerleri, ileriki yıllara ait mutlak radyometrik kalibrasyon çalışmalarından elde edilecek kazanç değerleriyle doğrulanacak ve, kazanç faktörleri ile bant kazançları arasındaki ilişki çözülmeye çalışılacaktır. Benzer şekilde aynı kazanç faktörü ile çekilmiş Göktürk-2 görüntüleri kullanılarak elde edilen kalibrasyon katsayıları; kazanç faktörleri ile kazanç değerleri arasındaki korelasyonu ortaya koymak adına kritik öneme sahiptir.

2015 yılı verileri kullanılarak gerçekleştirilen Göktürk-2'nin çapraz radyometrik kalibrasyon çalışması, literatürde olan ve 2016 yılı verileri ile gerçekleştirilen Göktürk-2'nin çapraz radyometrik kalibrasyon çalışmasını doğrulaması adına yapılmıştır. 2015 yılına ait veriler kullanılarak gerçekleştirilen çapraz radyometrik kalibrasyon çalışmasında elde edilen Göktürk-2 AÜ yansıtım sonuçlarının, Landsat 8 uydusunun AÜ yansıtım değerlerine yakın olması (%3), Göktürk-2 uydusunun sensör başarısını ortaya koyması açısından önemlidir. Elde edilen sonuçlar ile iki uydunun her bir bandına ait bağıl spektral tepki (RSR) eğrilerindeki farkı gözetildiğinde, kendi içerisinde tutarlı olduğu ve RSR eğrileri arasındaki farkın, yüzde farka istatistiksel olarak yansıdığı ortaya çıkmıştır. 2015-2016 yıllarına ait Tuz Gölü verileri kullanılarak gerçekleştirilen SBAF yönteminin çapraz radyometrik kalibrasyon çalışmalarında uydunun kalibrasyon kalitesini etkileyen önemli bir metot olduğu yapılan bu çalışmayla bir kez daha anlaşılmıştır.

TEŞEKKÜR

Uydu Görüntü İşleme ve Geoportal Oluşturma Projesi (GEOPORTAL) kapsamında 2015 ve 2016 yılında düzenlenen Tuz Gölü kampanyasına ait yersel ve atmosferik verileri sağladıkları için TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü'ne ve Göktürk-2 görüntülerini çeken Hava Kuvvetleri Komutanlığı personeline teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

6S Radiative Transfer Model, [Online] <http://6s.ltdri.org/pages/run6SV.html>, [04.10.2017].

USGS, <https://earthexplorer.usgs.gov/>, Erişim Tarihi: 24.09.2017.

Chander, G., Mishra, N., Helder, D. L., Aaron, D. B., Angal, A., Choi, T., Xiong, X., Doelling, D. R., 2013, Applications of Spectral Band Adjustment Factors (SBAF) for Cross-Calibration. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 3, 51, 1267-1281.

Demirhan, İ. H., Sakarya, U., 2016, Hiperspektral Uydu Kamerasının Yerden Mutlak Radyometrik Kalibrasyonu İçin Ön Araştırma Sonuçları. UZAL-CBS, Adana.

Demirhan, İ. H., Deveci, H. S., Sakarya, U., 2017, Radiometric Cross-calibration of Göktürk-2 with Landsat 8. Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2017 25th, (s. 1-4).

Teke, M., Demirkesen, C., Haliloğlu, O., İmre, E., 2016, Göktürk-2 Uydusunun Bağlı ve Mutlak Çapraz Radyometrik Kalibrasyonu. *Harita Dergisi*, 155.