2015 VE 2017 TUZ GÖLÜ KAMPANYA VERİLERİNİ KULLANARAK GÖKTÜRK-2 BANTLARINA AİT RADYOMETRİK KAZANÇLARIN KIYASLANMASI

Hüsne Seda DEVECİ¹, İsmail Hakkı DEMİRHAN¹

¹TÜBİTAK Uzak Teknolojileri Araştırma Enstitüsü, Uzaktan Algılama Grubu, ODTÜ Yerleşkesi, 06800, Çankaya, Ankara,
(seda.deveci, hakki.demirhan@tubitak.gov.tr)

ÖZET

Radyometrik kalibrasyon, uydu algılayıcısının gerçek fiziksel özelliklere uygunluğunu sağlamayı ve test etmeyi mümkün kılar. Radyometrik kalibrasyon çalışmaları belirli koşulları sağlayan geniş ve homojen sahalarda yapılabilmektedir. Mutlak radyometrik kalibrasyon uydu verisinin devamlılığı, güvenilirliği ve yaygın kullanımı için önemli bir ihtiyaçtır. Mutlak radyometrik kalibrasyon çalışmalarına Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumuna bağlı olan TÜBİTAK Uzak Teknolojileri Araştırma Enstitüsü öncülük etmektedir. TÜBİTAK UZAY'ın girişimleri ve araştırmaları sonucunda, CEOS (Committee on Earth Observation Satellites, Yer Gözlem Uyduları Komitesi) tarafından kalibrasyon çalışmaları için referans verilen 8 kalibrasyon sahasından biri hâline gelen Tuz Gölü, ülkemizde ve dünyada gerçekleştirilen radyometrik kalibrasyon alanında çalışan araştırmacılara ev sahipliği yapmaya devam etmektedir. TÜBİTAK UZAY, CONTROLS Projesi ile 2009 yılında başlattığı radyometrik kalibrasyon çalışmalarına, 2013 yılında başlayan Kalkınma Bakanlığı destekli Uydu Görüntü İşleme ve Geoportal Oluşturma Projesi (GEOPORTAL) ile devam etmektedir. GEOPORTAL Projesi kapsamında her sene ağustos ve/veya eylül aylarında millî yer gözlem uydularımız RASAT ve Göktürk-2'nin mutlak radyometrik kalibrasyonu için Tuz Gölü'nde saha çalışmaları gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışmada; Göktürk-2'nin mutlak radyometrik kalibrasyon prosedürü ve yersel/atmosferik verilerin açık kaynak kodlu Işınım Benzetim Simulatör'ü ile işlenmesi özetlenecektir. Tuz Gölü 2015 ve 2017 kampanya verileri ile hesaplanan Göktürk-2 bantlarına ait radyometrik kazançlar kıyaslanacaktır.

Anahtar Sözcükler: radyometrik kalibrasyon, 6S, atmosfer üstü yansıtım, kazanç, Göktürk-2

ABSTRACT

COMPARISON OF RADIOMETRIC GAINS OF GOKTURK-2 BANDS USING 2015 AND 2017 TUZ GOLU CAMPAING DATA

Radiometric calibration makes possible to provide and test appropriateness to actual physical properties of satellite sensor. Radiometric calibration studies should be performed in wide and homogeneous sites that provide certain conditions. Absolute radiometric calibration is an important requirement for the continuity, reliability and widespread use of satellite data. Space Technologies Research Institute (TÜBİTAK UZAY) managed by The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK) leads the researches of absolute radiometric calibration. With TÜBİTAK UZAY's initiatives and researches, Tuz Gölü, which has become one of the eight LANDNET sites that have been referred to by CEOS (Committee on Earth Observation Satellites) for its calibration studies. TÜBİTAK UZAY continues to host international and national researchers working in the field of radiometric calibration. TÜBİTAK UZAY continues its radiometric calibration studies started at 2009 with CONTROLS Project, with the Satellite Image Processing and Development of GEOPORTAL (GEOPORTAL) Project which started at 2013 with the fundation of Minisrty of Development. Within the GEOPORTAL project, field studies are carried out at Tuz Gölü for the absolute radiometric calibration researches of RASAT and Göktürk-2, national satellites of Turkey) each year in August and/or September.

In this study, absolute radiometric calibration prosedure of Göktürk-2 and ground/atmospheric data processing by an open source Radiative Transfer Simulator will be summarized. Estimated radiometric gains of Göktürk-2 bands will be compared by using 2015 and 2017 Tuz Gölü campaign data.

Key Words: radiometric calibration, 6S, top of atmosphere reflectance, gain, Göktürk-2

1. GİRİŞ

Ülkemizde, uzay alanındaki bilimsel ve teknolojik çalışmalar her yıl artmaktadır. Uydu tasarımı ve üretimi bu çalışmaların bir kısmını oluştururken, uyduların aldığı verilerin anlamlandırıldığı uzaktan algılama teknolojileri ormancılık, tarım, çevre kirliliği gibi birçok alanda Türk bilimine katkı sağlamaktadır.

Radyometrik kalibrasyon, uyduların uzaktan algılama çalışmalarını gerçekleştirmek adına yapılan görüntülerin ön işleme aşamalarından biridir. Dünyada uzaktan algılama uydularının radyometrik kalibrasyonu üzerine yapılan araştırmalar 1980'lerde başlamış olup yapılan ilk çalışma Arizona Üniversitesinden (Slater vd.,1987) tarafından Landsat TM algılayıcısının radyometrik kalibrasyonunu gerçekleştirmek üzerine yürütülmüştür. Söz konusu çalışmada White Sands test bölgesi, araştırma alanı olarak seçilmiş; yansıtım, ışınlılık ve irradyans tabanlı yöntem olarak üç kalibrasyon yöntemi önerilmiştir. Mutlak radyometrik kalibrasyon için yansıtım tabanlı metot ile bağımsız bir metot olan ışınlılık tabanlı metodun iki yıla ait sonuçları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. White Sands dışında günümüze kadar Libya 4, Railroad Valley Playa, Dunhuang, Ivanah Playa ve La Crau bölgeleri radyometrik kalibrasyon çalışmaları kapsamında kullanılmıştır. Landsat TM, Landsat ETM+, Landsat 8, Kompsat-3A, IKONOS, RapidEye, ASTER, SPOT, MODIS ve Hyperion gibi çeşitli spektral çözünürlüklere sahip uydular için mutlak radyometrik kalibrasyon çalışması yapılmış ve ilgili uyduların kalibrasyon katsayıları başarılı bir şekilde elde edilmiştir.

Türkiye'de kalibrasyon konusundaki araştırma çalışmalarına 2009 yılında, Türkiye'deki tek radyometrik kalibrasyon test sahası olan Tuz Gölü kullanılarak başlanmıştır. Hiperspektral uydu kamerasının yerden mutlak radyometrik kalibrasyonu üzerine yapılan (Demirhan ve Sakarya, 2016) çalışması, Göktürk-2'nin bağıl ve mutlak çapraz radyometrik kalibrasyonu üzerine (Teke vd., 2016) çalışması ve NDVI perspektifinden Göktürk-2'nin mutlak radyometrik kalibrasyonu üzerine yapılan (Sakarya vd., 2016) çalışması, TÜBİTAK UZAY'da yürütülmüş/yürütülen radyometrik kalibrasyon çalışmalardan bir kısmı olup yapılan araştırma ve çalışmalar hâlen devam etmektedir.

Bu çalışmada, 2015 ve 2017 yıllarında Tuz Gölü test sahası alınan Göktürk-2 uydu görüntülerinin mutlak radyometrik kalibrasyonunun yapılması sonunda elde edilen kalibrasyon katsayılarının kıyaslanması amaçlanmaktadır.

2. TUZ GÖLÜ REFERANS TEST SAHASI

Fırlatma sonrasında uydu algılayıcılarının radyometrik kalibrasyonunun yapılabilmesi için çoğunlukla Yer Gözlem Uyduları Komitesi (CEOS)'nin belirlediği kriterleri sağlayan test sahaları kullanılmaktadır. Atmosferik parametrelerin ölçümü için gereken cihazların bulundurulduğu, tanımlanmış kriterleri sağlayan çalışma alanlarına LandNet (**Çizelge 1**) sahası denilmektedir. Yer Gözlem Uyduları Komitesi bünyesinde çalışan Kalibrasyon ve Doğrulama Çalışma Grubu (WGCV) kriterler ışığında LandNet Sahalarını ve/veya yalancı kalibrasyon sahalarını (Pseudo-Invariant) kalibrasyon sahalarının değerlendirmeleri gerçekleştirmektedir.

Radyometrik kalibrasyon amaçlı kullanılacak sahalarda istenilen temel kriterler aşağıdaki gibidir:

- 1) Homojen bir alan olmalıdır.
- 2) Alan geniş yayılımı sahip olmalıdır.
- 3) Aerosol oranının az olması sebebiyle yüksek rakımda olması hata oranını düşürür.
- 4) Alana kolay ulaşım sağlanabilmelidir.
- 5) Zamana bağlı olarak yersel özelliklerin değişmemesi beklenir.
- 6) Alanın Lambert yüzeyi olması tercih sebebidir.
- 7) Alana kolay ulaşım sağlanabilmelidir.
- 8) Alanın hava kirliliğinin yoğun olduğu alanlardan uzak olması istenir.

Çizelge 1 Yer Gözlem Uyduları Komitesi (CEOS)'nin seçtiği kalibrasyon sahaları ve özellikleri.

Kalibrasyon Sahası (LandNet)	Boylam	Enlem	İlgili Kurum
Tuz Gölü, Türkiye	33.33	38.83	TÜBİTAK UZAY
Railroad Valley Playa, USA	-115.69	38.5	NASA/GSFC
Negev, İsrail	35.01	30.11	Ben Gurion University
La Crau, Fransa	4.86	43.56	CNES
Ivanpah Playa, USA	-115.40	35.57	NASA/GSFC
Frenchman Flat	-115.93	36.81	NASA/JPL
Dunhuang, Çin	94.34	40.13	NSMC/CMA
DOMÉ-C, Antarktika	123	-74.5	University of Washington

3. MUTLAK RADYOMETRİK KALİBRASYON ANA PROSEDÜRÜ

Uzaktan algılama amaçlı çalışmalarda kullanılan algılayıcıların radyometrik kalibrasyonu; verilerin güvenilirliğini ve devamlılığını sağlamak adına önemli bir işlemdir. Radyometrik kalibrasyonu gerçekleştirilen veri (görüntü) standart ölçekte tanımlanarak diğer algılayıcılardan alınan görüntülerle karşılaştırılabilir seviyeye gelmektedir.

Uydu üzerinde bulunan kameraların kalibrasyonları genellikle fırlatma öncesinde gerçekleştirilmektedir. Fırlatma sırasındaki sıcaklığa ve basınca bağlı bozulmalar, uydu yörüngesindeyken kamera optiğinde, elektroniğinde oluşabilen değişimle/kaymalar nedeniyle radyometrik kalibrasyon işleminin yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada; mutlak radyometrik kalibrasyon tekniği uygulanmıştır (**Şekil 1**). Söz konusu bu teknikte; optik algılayıcıların atmosfer üstü (AÜ) yansıtım (top-of-atmosfer/apparent reflectance – ToA reflectance) hesaplamak için, Göktürk-2 geçişinin öncesinde ve sonrasında Tuz Gölü kalibrasyon sahasından ölçülen yersel yansıtım değerleri ve atmosferik ölçümler kullanılmaktadır. Uydu ve Güneş'in Dünya'ya göre bakış geometrileri olan azimut ve zenit açıları da atmosfer üstü değerleri elde etmek için kullanılan diğer parametrelerdir. Algılayıcıdaki AÜ ışınlılık ve yansıtım, Işınlım Benzetim Simulatörü (Radiative transfer Code-RTC) kullanılarak hesaplanır. Bu çalışmada; Işınlım Benzetim Simulatörü olarak 6S (Second Simulation of a Satellite Signal in the Solar Spectrum – (6S Model)) kullanılmıştır.

Şekil 1. Mutlak radyometrik kalibrasyon için uygulanan işlem adımları.

Göktürk-2'nin L1R olarak isimlendirilen seviyelendirilmiş görüntüsünden alınan benek değerleri (Digital Number-DN) ve AÜ ışınlılık değerleri, radyometrik kalibrasyon parametreleri olan kazanç (gain) ve öteleme (offset) değerlerini hesaplamak için kullanılır (1).

$$Işınlılık = Benek Değeri * Kazanç + Öteleme \quad (1)$$

3.1. Göktürk-2 Uydu Görüntüsü

Millî Yer Gözlem Uydu'muz Göktürk-2, TÜBİTAK UZAY ve TUSAŞ iş birliği ile Türk Hava Kuvvetleri için millî imkânlarla tasarlanarak, 18 Aralık 2012 tarihinde yörüngesine başarıyla yerleştirilmiştir. Göktürk-2 uydusu görünür ve yakın-infrared bölgede 5 metre konumsal çözünürlüğe sahip 4 adet bantı bulunmaktadır. Pankromatik bandın konumsal çözünürlüğü ise 2.5 metredir. Göktürk-2 uydusunun teknik özelliklerinden ait daha fazla bilgiye (Atak vd., 2015) yayınından ulaşılabilir.

2015 yılındaki arazi çalışması 11.09.2015 tarihinde Tuz Gölü'nün zorlu arazi koşulları nedeniyle gölün doğusunda bulunan tuz havuzlarından en kuru ve homojen olanı seçilmek suretiyle ölçümler gerçekleştirilmiştir (**Şekil 2**). Geçiş öncesinde ve sonrasında toplam 50 adet yersel imza toplanmıştır.

Şekil 2. Çalışmada kullanılan 11.09.2015 tarihli Göktürk-2 uydu görüntüsü.

2017 yılındaki arazi çalışması ise 13.09.2017 tarihinde Tuz Gölü'nün orta kısımlarında (havuzdan yaklaşık 5 km batı istikametinde) gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, Göktürk-2 geçişinin öncesi ve sonrasında ilgili bölgeden toplanan 57 yersel imza kullanılmıştır (**Çizelge 2**). Gerçekleştirilen arazi çalışmasında hedef alanı yer kestirimini yapabilmek amacıyla, ölçüm yapılan alanının güney doğusuna ve kuzey batısına yer belirteçleri (tarpolin adı verilen siyah kumaşlar) serilmiştir (**Şekil 3**). Lojistik problemlerinden kaynaklanan zaman kısıtı nedeniyle, serilen ikinci tarpolin en ve boy olarak ilk serilen tarpolinin yaklaşık yarısı olacak şekilde serilebilmiştir.

Şekil 3. Çalışmada kullanılan 13.09.2017 tarihli Göktürk-2 uydu görüntüsü.

Çizelge 2. 2015 ve 2017 arazi çalışmaları kapsamında toplanan yersel veri sayısı ve tarihleri.

Arazi Çalışmalarının Tarihi	Uydu Geçiş Durumu	Yersel Veri Sayısı
11.09.2015	Geçiş Öncesi	25
	Geçiş Sonrası	25
13.09.2017	Geçiş Öncesi	57
	Geçiş Sonrası	57

3.2. Yersel Yansıtım Ölçümleri

6S Simulatörüne girdi sağlanmak üzere yersel imzaların toplanması gerekmektedir. Yersel imzalar, 350-2500 nm spektral aralıkta veri sağlayan ASD FieldSpec3 ile toplanmıştır. Her beş ölçümde bir defa cihazın kalibrasyonu için % 95 yansıtırlık özelliğe sahip beyaz referans yüzeyden (spektralon) ölçüm alınmıştır. Çalışmada Tuz Gölü yüzeyinin Lambert özelliği dikkate alınarak spektral ölçümlerden Göktürk-2'nin tayfsal çözünürlük karakteristiği nedeniyle görünür ve yakın-infrared bölge aralığındaki yansıtım değerleri kullanılmıştır (**Şekil 4**).

Şekil 4. Tuz Gölü'nde yersel imza ölçümlerinin gerçekleştirilmesi (13.09.2017).

Radyometrik kalibrasyon çalışmaları kapsamında yersel imzaların şartlar elverdiği sürece gölün içerisinden alınması tercih edilmektedir. Gölün batısında yer alan havuzlar tuz işletmesi tarafından işlem görmektedir ve yüzeydeki yaklaşık 10 cm'lik tuz tabakası her sene hasat edilmektedir. 2015 yılında tuz havuzundan alınmak durumunda kalınan imzalar, 2017 yılında gölün iç kısımlarından alınan imzalar ile kıyaslandığında daha yüksek yansıtım özelliği göstermektedir. Gölün iç kısımlarına kıyasla daha yeni kristalleşmiş tuz özelliği gösteren havuzdaki tuzların daha beyaz olma özelliği spektral imzalara yansımaları **Şekil 5**'te verildiği gibidir.

Şekil 5. Tuz Gölü'nde toplanan 2015 ve 2017 yıllarına ait yersel spektral imzaların ortalamalarının karşılaştırılması.

3.3. Atmosferik ve Geometrik Verilerin Sağlanması

2015-2017 yıllarının her ikisinde de çalışma alanına yakın bir yere kurulan güneş fotometresi ve meteoroloji istasyonu ile atmosferik parametrelerin ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 6). Su buharı ve aerosol optik derinlik değeri, CIMEL Güneş fotometresi ile ölçülerek NASA'nın sitesinden (AERONET) temin edilmektedir (Şekil 7). Aerosol model olarak 'continental model' tercih edilmiş, programın çalışma mantığına uygun güneş fotometresi ile ölçülmüş olan 550 nm'deki optik derinliğe karşılık gelen AOD (Aerosol Optical Depth - Aerosol Optik Derinlik) değeri kullanılarak aerosol miktarı tanımlanmıştır. Uydunun Tuz Gölü üzerinden geçtiği zamana denk gelen değer, simülatora girdi olarak alınmaktadır. 6S arayüzünde kullanılan bir diğer atmosferik parametre ise ozon değeridir. Söz konusu değer, ilgili gün belirtilerek NASA'nın sitesinden (Ozoneaq) alınmıştır.

Şekil 6. Atmosferik ölçümleri gerçekleştiren güneş fotometresi ve meteoroloji istasyonu.

Şekil 7. Simülatora girdi olarak kullanılan AOD ve su buharı değerleri (11.09.2015).

Kullanılan Göktürk-2 görüntüsüne ait telemetri verilerinden uydunun zenit ve azimut bilgileri elde edilmiştir. Çekimin gerçekleştiği saat, ay-gün-yıl bilgilerinden ise güneşin zenit/azimut bilgileri hesaplanarak ilgili veriler 6S Işınım Benzetim Simülatorüne girdi olarak verilmiştir.

3.4. Işınım Benzetim Simülatörü

Çalışmada açık kaynak kodlu ışınım benzetim simülatörü olarak 6S Işınım Benzetim Simülatörü kullanılmıştır. 6S; optik elektromanyetik sinyalin ışınım yayılımını atmosfer boyunca simule eden bilgisayar kodudur. Laboratoire d'Optique Atmosphérique tarafından geliştirilen simülasyon modeli, 5S kodunun geliştirilmiş versiyonudur. 6S girdileri, toplam 9 adımdan oluşmaktadır.

1. Gözlem geometrisi
2. Atmosferik koşullar
3. Aerosol modeli
4. Aerosol optik derinlik
5. Yer ve algılayıcı yüksekliği
6. Dalgaboyu ve spektral tepki fonksiyonu
7. Yersel yansıtma
8. BRDF model
9. Atmosferik düzeltme modeli

Laboratoire d'Optique Atmospherique'in ücretsiz olarak kullanıcılara sunmuş olduğu 6S Işınım Benzetim Modeli, bütün parametrelerin .txt formatına aktarılması suretiyle sonuç üretebilmektedir. Her bir ölçüm için söz konusu parametrelerin sıralı olarak yazılması ve bazı girdilerin başka bir ortamda hesaplanmasını gerektirmektedir. Bu işlem özellikle bu çalışmada gerçekleştirildiği gibi çoklu veri alınması durumunda emek yoğun bir çalışma gerektirmektedir ve operatör kaynaklı hata oranını arttırmaktadır. Yapılan mutlak radyometrik kalibrasyon çalışmaları kapsamında; 6S Işınım Benzetim Simülâtörünün çalıştırılabildiği kullanıcı dostu bir arayüz tasarlanarak, 6S yazılımına seri ve kolay girdi sağlanacak bir altyapı oluşturulmuştur (Şekil 8).

Şekil 8. 6S Işınım Benzetim Simülâtörü Arayüzü.

Spektroradyometre ile sürekli ölçüm yapılarak elde edilen yüzlerce (>350) veri tek bir seferde girdi olarak veri tabanından simülâtöre aktarılabilmektedir. Her bir ölçüme ait, AÜ yansıtım ve AÜ ışınlılık sonuçlarının da yer aldığı simülâtör çıktıları hız bir şekilde üretilmektedir. Çalışmada, 2.5 nm'ye göre intepole edilen Göktürk-2'nin bağıl spektral tepki (RSR) değerleri simülâtöre girdi olarak verilmiştir. Simülâtörün çıktı dosyasından, radyometrik kalibrasyon için gerekli olan AÜ yansıtım ve AÜ ışınlılık değerleri olarak kullanılmıştır. Arayüz kodlaması ve tasarımı kapsamında, Göktürk-2 ile birlikte RASAT, Landsat 8, Sentinel 2'nin spektral tepki değerleri de koda entegre edilmiş böylelikle millî uydularımız olan Göktürk-2 ve RASAT'ın dışında Landsat 8 ve Sentinel-2A uydusunun da AÜ yansıtım ve AÜ ışınlılık değerleri elde edilerek doğrulama (validasyon) çalışmaları kapsamında kullanılabilmiştir. Radyometrik Kalibrasyon İş Paketi kapsamında tasarlanan arayüz, GEOPORTAL Projesi'ne kazandırılmış olup İMECE gibi Göktürk-2'den sonra gönderilecek birçok yeni nesil millî yer gözlem uydularımızın radyometrik kalibrasyon çalışması için de kullanımına olanak verecek niteliktedir. Işınım Benzetim Simülâtörüne sağlanan Göktürk-2 uydusuna ait örnek 6S girdileri aşağıda verilmiştir.

4. ANALİZ

Bu bildiride 2015 ve 2017 yılında aynı kazanç modu ile çekilen Göktürk-2 görüntüleri kullanılarak mutlak radyometrik kalibrasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Algılayıcıya ait kazanç, AÜ yansıtım ve AÜ ışınlılık değerlerinin yıllara bağlı değişimi/değişmezliği analiz edilmiştir (Çizelge 3). Analizi yapılan tüm değerlerin %10'un içerisinde olduğu ve kazanç değerinin NIR bandında %0'a kadar düştüğü gözlenmektedir (Çizelge 4).

2015 yılındaki hedef alan ile 2017 yılındaki hedef alan, yüzey özellikleri açısından farklılık göstermektedir. Çalışmanın gerçekleştirildiği 2015 ve 2017 yıllarının her ikisinde de görüntüler her bir bant için aynı modda çekilmiştir. Aynı banda ait kazanç katsayılarındaki farkın, ölçüm alanlarındaki yersel yansıtım değerlerindeki farktan kaynaklandığı değerlendirilmektedir. 2015 yılında havuzlardan alınan yersel ölçümlerin, 2017 yılında gölün içerisinden alınan ölçümlere göre daha yüksek yansıtım veriyor olması, AÜ yansıtım ve AÜ ışınlılık sonuçlarının da daha yüksek olmasına neden olmuştur. 2015 yılı verilerine göre hesaplanan kazanç katsayılarının; pan, yeşil, mavi bantları için sırasıyla yüzde 0.57, 9.27, 8.77 fazla olduğu hesaplanmıştır. Kırmızı bant için hesaplanan kazanç katsayısında ise yüzde 6.25 bir azalma gerçekleşmiştir. NIR bandın da ise herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir. Her iki senede gerçekleştirilen çalışmada mavi banttan aynı benek değeri alınmıştır. Bu durumun algılayıcıdan kaynaklandığı değerlendirilmektedir. AÜ ışınlılık değişkenlik gösterirken benek değerinin sabit kalıyor olması, algılayıcının yüksek parlaklığa sahip bölgelerde doygunluğa ulaştığını ve bu doygunluğun, çekilen bölge aynı yüzey özellikleri gösterdiği sürece devam ettiğini göstermektedir.

Çizelge 3. 2015 ve 2017 yılında aynı kazanç faktörü ile çekilen Göktürk-2' nin mutlak radyometrik kalibrasyonu sonucu elde edilen tüm bantlara ait kazanç değerleri.

	Tarih	AÜ Yansıtım	AÜ Işımlılık	Benek Değeri (DN)	Kazanç Modu	Kazanç	Öteleme
Pan	11.09.2015	0,578	228,317	1313	4	0,174	0
	13.09.2017	0,544	210,106	1213	4	0,173	0
Kırmızı	11.09.2015	0,595	210,879	1752	2	0,120	0
	13.09.2017	0,565	194,374	1517	2	0,128	0
Yeşil	11.09.2015	0,570	241,936	1463	8	0,165	0
	13.09.2017	0,537	221,120	1467	8	0,151	0
Mavi	11.09.2015	0,560	251,939	2038	6	0,124	0
	13.09.2017	0,533	232,512	2038	6	0,114	0
NIR	11.09.2015	0,538	135,596	1255	2	0,108	0
	13.09.2017	0,569	138,927	1295	2	0,108	0

Çizelge 4. 2015 ve 2017 yılına ait elde edilen kazanç değerleri arasındaki yüzde farklar.

Yüzde Fark (%)	Pan	Kırmızı	Yeşil	Mavi	NIR
Kazanç	0.57	-6.25	9.27	8.77	0.00
AÜ yansıtım	6.25	5.30	6.14	5.00	-5.44
AÜ ışımlılık	8.66	8.49	9.41	8.00	-2.39

Analizler, AÜ yansıtım ve AÜ ışımlılık değerlerinin 2 yıl 2 gün içerisinde yüzde % 9'luk dilim içerisinde kaldığını göstermektedir. Bu durum Tuz Gölü arazisinin yüzey yansıtım özelliklerinin yıllar içerisinde korunduğunu gösterir niteliktedir.

5. SONUÇ

Radyometrik kazançların hesaplanması, karşılaştırılabilir atmosfer üstü yansıtım değerine dönüşümlerde; değişim analizi, arazi örtüsü/arazi kullanımı, sınıflandırma, çevresel kirlilik tespiti vb. gibi çalışmalar kapsamında önem arz etmektedir.

2015 ve 2017 yıllarına ait radyometrik kalibrasyon çalışmaları kapsamında; millî yer gözlem uydumuz Göktürk-2'nin mutlak radyometrik kalibrasyon sonucu elde edilen katsayıları ilk kez paylaşılmaktadır. NIR ve pan bandına ait kazanç katsayılarında iki yıl içerisinde bir değişiklik gözlenmemiş olup, diğer bantlarda % 9'luk dilim içerisinde kaldığı analiz edilmiştir. Çalışmada, aydınlanma durumuna göre kullanılan bant modlarına göre analizler gerçekleştirilmiştir. Bant modları değiştirilerek de talepte bulunulabilmektedir. Çalışmanın gerçekleştirildiği 2015 ve 2017 yıllarının her ikisinde de görüntüler Yaz Modu'nda çekilmiştir. 2018 yılında gerçekleştirilecek olan mutlak radyometrik kalibrasyon çalışması kapsamında, Göktürk-2 uydusunun yeşil ve mavi bantların daha düşük bant modları ile çekilerek %9'luk farkın düşebileceği değerlendirilmektedir.

TEŞEKKÜR

Uydu Görüntü İşleme ve Geoportal Oluşturma Projesi (GEOPORTAL)'ni fonlayan kurum olan T.C. Kalkınma Bakanlığına maddi desteklerinden ötürü teşekkürü borç biliriz. Göktürk-2 görüntülerinin çekilmesini sağladıkları için Hava Kuvvetleri Komutanlığı personeline desteklerinden dolayı teşekkür ederiz. Çalışmada emeği geçen GEOPORTAL Projesi Personeline ve arazi çalışmasındaki yardımlarından ötürü Fatih Fehmi Şimşek'e, Mustafa Güleriyüz'e ve ayrıca Kayacık Tuzlası Mutlucan Tuz İşletmesi personeline şükranlarımızı sunarız.

KAYNAKLAR

6S Model. <http://6s.ltdri.org/>. [04.03.2016].

AERONET. <https://aeronet.gsfc.nasa.gov/>. [13.05.2017].

Atak, V. O., Erdoğan, M., & Yılmaz, A. (2015). Göktürk-2 Uydu Görüntü Testleri. *Harita Dergisi*, 81(2), 18-33.

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

LANDNET SITES (CEOS Reference Sites). <http://calvalportal.ceos.org/ceos-landnet-sites>. [13.05.2017].

Sakarya. U., Demirhan. İ.H., Deveci. H.S., Teke. M., Demirkesen. C., Küpçü. R., Öztoprak. A.F., Efendioğlu. M., Şimşek. F.F., Berke. E., Gürbüz. S.Z. 2016. Absolute Radiometric Calibration of the GÖKTÜRK-2 Satellite Sensor Using Tuz GÖLÜ (landnet Site) from Ndzi Perspective. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 373-377.

Slater. P. N., Biggar. S. F., Holm. R. G., Jackson. R. D., Mao. Y., Moran. M. S., Palmer. J. M., Yuan. B. 1987. Reflectance- and radiance-based methods for the in-flight absolute calibration of multispectral sensors. *Remote Sensing of Environment*. Volume 22. Issue 1. pp. 11-37.

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

Ozoneaq. Ozone & Air Quality. [Online] <https://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/data/ozone/>. [17.12.2015]