ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

UZAYDAKİ MULTİSPEKTRAL SENSÖRLERİN KALİBRASYONU

İsmail Hakkı DEMİRHAN

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2018

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

İsmail Hakkı DEMİRHAN tarafından hazırlanan **"Uzaydaki Multispektral Sensörlerin Kalibrasyonu"** adlı tez çalışması 24/10/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Ziya TELATAR İmzalıdır
Ankara Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri :

Başkan : Prof. Dr. Mehmet Tekin YÜRÜR
Hacettepe Üniversitesi Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Ziya TELATAR İmzalıdır
Ankara Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Dr. Öğretim Üyesi Fikret ARI
Ankara Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

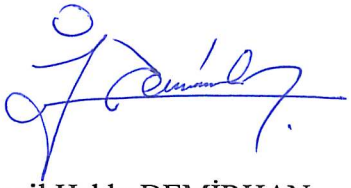
Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Atila YETİŞEMİYEN
Enstitü Müdürü

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

24.10.2018



İsmail Hakkı DEMİRHAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

UZAYDAKİ MULTİSPEKTRAL SENSÖRLERİN KALİBRASYONU

İsmail Hakkı DEMİRHAN

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ziya TELATAR

Bu çalışmanın amacı, milli uydularımızdan olan RASAT ve Göktürk-2'nin yıllık bazda düzenli olarak yapılması gereken radyometrik kalibrasyonu için yöntem önermektir. Bu kapsamda, 11.09.2015 ve 11.08.2016 tarihlerinde Tuz Gölü'nde düzenlenen çalışma ile elde edilen yersel ve atmosferik ölçüm verileri kullanılarak RASAT ve Göktürk-2 uydusunun iki yıla ait mutlak ve çapraz radyometrik kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir. İki uydunun mutlak ve çapraz radyometrik kalibrasyonu ilk defa bu çalışma kapsamında birleştirilmiş ve iki yıla ait kalibrasyon katsayıları karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Yeniden örnekleme yöntemlerinin kalibrasyon katsayılarına etkisi incelenmiş, hata ve belirsizlik analizleri yapılmıştır. Çalışma kapsamında iki yıla ait veriler kullanılarak yıllık bazda Tuz Gölü'nde gözlenen atmosfer üstü yansıma değişimi analizi yapılmış, bu durumun kalibrasyon katsayılarına etkisi incelenmiştir. Aynı zamanda, Göktürk-2'nin Landsat-8 ile çapraz radyometrik kalibrasyonu çalışmasında kullanılan Spektral Bant Ayarlama Faktörü (SBAF) yöntemi 2015 yılı verilerine uygulanmıştır.

Yapılan analizler sonucunda, Göktürk-2 ve RASAT'ın 2015 ve 2016 yılına ait mutlak ve çapraz kalibrasyon katsayıları çıkarılmıştır. 2015 yılına ait yersel ölçüm verileri kullanılan Göktürk-2'nin çapraz radyometrik kalibrasyonu çalışmasında hata payı %3 olarak elde edilmiştir. Mutlak radyometrik kalibrasyon katsayıları ile yeniden örnekleme yönteminin uygulanması sonucu elde edilen kalibrasyon katsayılarının ortalama % 1 fark gösterdiği anlaşılmıştır. Aynı zamanda, iki yılın atmosfer üstü yansıma değerlerine göre elde edilen kalibrasyon katsayıları % 4 fark taşımaktadır.

Kullanılan metotlar ve elde edilen bulgular, 2021 yılında dünyanın her yerinden görüntü alabilecek milli yer gözlem uydusu olan İMECE gibi hiperspektral uyduların radyometrik kalibrasyon çalışmaları için yol açıcı niteliktedir.

Ekim 2018, 109 sayfa

Anahtar Kelimeler: Göktürk-2, RASAT, sensör, radyometrik kalibrasyon

ABSTRACT

Master Thesis

CALIBRATION OF SPACEBORNE MULTISPECTRAL SENSORS
İsmail Hakkı DEMİRHAN

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ziya TELATAR

The purpose of this study is to propose a method for the radiometric calibration of our national satellites, RASAT and Göktürk-2, which should be regularly carried out on an annual basis. In this context, absolute and cross radiometric calibrations of RASAT and Göktürk-2 were carried out by using the local and atmospheric measurement data obtained by the study carried out in Tuz Gölü on 11.09.2015 and 11.08.2016. Absolute and cross radiometric calibrations of two satellites were combined for the first time in this study and the calibration coefficients of the two satellites were analyzed comparatively. The effect on calibration coefficients of the resampling methods was investigated and in addition error and uncertainty analyses were performed. In the scope of the study, top of atmosphere (TOA) reflectance change analysis observed in Tuz Gölü on annual basis using data of these two years was done and its effect on the calibration coefficients was investigated. At the same time, Spectral Band Adjustment Factor (SBAF) method used in the study of radiometric cross-calibration of Göktürk-2 with Landsat 8 was applied to 2015 year data.

As a result of the analyses, absolute and cross calibration coefficients of Göktürk-2 and RASAT were obtained for 2015 and 2016 years. In the cross-radiometric calibration study of Göktürk-2, which used ground measurement data for 2015, the error margin was 3%. It was understood that the calibration coefficients obtained by applying the absolute radiometric calibration coefficients and the resampling method showed a mean difference of 1%. At the same time, the calibration coefficients obtained according to the TOA reflectance values of two years had a difference of 4%.

The methods used and the findings obtained lead to radiometric calibration studies of hyperspectral satellites, such as İMECE, which is the national earth observation satellite which will take images from all around the world in 2021.

October 2018, 109 pages

Key Words: Göktürk-2, RASAT, sensor, radiometric calibration

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bilimsel destekteklerini esirgemeyen danışman hocam Ankara Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Ziya TELATAR'a, bu süreçte her türlü ilgisini, desteğini ve yardımlarını benden esirgemeyen TÜBİTAK UZAY'daki çalışma arkadaşlarım Doç. Dr. Ufuk Sakarya ve Hüsne Seda DEVECİ'ye, GEOPORTAL Projesi kapsamında elde edilen verileri tezimde kullanmama müsaade eden TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü yönetimine, varlığı ile desteğini hep yanımda hissettiğim sevgili arkadaşlarım İsmail KARSANTIK ve Alperen BOZDAĞ'a ve maddi-manevi her türlü desteklerini eksik etmeyen güzel aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İsmail Hakkı DEMİRHAN
Ankara, Ekim 2018

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI
ETİK i
ÖZET ii
ABSTRACT iii
TEŞEKKÜR iv
KISALTMALAR DİZİNİ vii
ŞEKİLLER DİZİNİ viii
ÇİZELGELER DİZİNİ x
1. GİRİŞ 1
2. LİTERATÜR ÖZETİ 3
3. UZAKTAN ALGILAMADA KULLANILAN TANIMLAR, SİSTEMLER VE ÖZELLİKLERİ 15
3.1 Uzaktan Algılama 15
3.2 Elektromanyetik Tayf ve Görüntülerin Özellikleri 15
3.3 Çok Bantlı Görüntüler 18
3.3.1 Pankromatik görüntüler 18
3.3.2 Multispektral görüntüler 19
3.4 Çözünürlük 20
3.4.1 Mekânsal çözünürlük 20
3.4.2 Spektral çözünürlük 21
3.4.3 Radyometrik çözünürlük 21
3.4.4 Zamansal çözünürlük 21
3.5 Sensör Sistemleri 22
3.5.1 Aktif sensörler 22
3.5.2 Pasif sensörler 23
3.6 Tarayıcı Sistemler 23
3.6.1 Çapraz tarama (Across-track) yapan tarayıcılar 24
3.6.2 Boyuna tarama (Along-track) yapan tarayıcılar 25
3.6.3 Dairesel tarama (Circular) yapan tarayıcılar 26
3.7 Uydu Yörüngeleri 27
3.8 Radyometrik ve Geometrik Kalibrasyon 28
3.8.1 Radyometrik düzeltme ve radyometrik kalibrasyon 28
3.8.1.1 Mutlak radyometrik kalibrasyon 31
3.8.1.2 Çapraz radyometrik kalibrasyon ve SBAF yöntemi 33
3.8.2 Geometrik bozulma ve geometrik kalibrasyon 36
3.8.2.1 Görüntülerde geometrik bozulma 36
3.8.2.2 Uydularda geometrik kalibrasyon 37
3.9 RASAT, Göktürk-2 ve Landsat 8 Uydularının Özellikleri 39
4. MATERYAL VE YÖNTEM 42
4.1 Materyal 42
4.1.1 Çalışma bölgesi 42
4.1.2 Göktürk-2, RASAT, Landsat 8 görüntüleri ve sensör karakteristiği değerleri 43
4.1.3 Ozon (O_3) 44
4.1.4 Su buharı ($H_2O_{(b)}$) 44

4.1.5 Aerosol optik derinlik (AOD) **46**
4.1.6 6S Atmosferik simülatörü **46**
4.1.7 GPS ve küresel uydu sistemi (GNSS) **50**
4.1.8 Spektroradyometre **51**
4.2 Yöntem **53**
4.2.1 Göktürk-2'nin mutlak radyometrik kalibrasyonu **53**
4.2.2 Göktürk-2'nin Landsat 8 ile doğrulaması **56**
4.2.3 RASAT'ın mutlak radyometrik kalibrasyonu **58**
4.2.4 RASAT'ın Landsat 8 ile doğrulaması **59**
4.2.5 Göktürk-2'nin SBAF yöntemi ile çapraz radyometrik kalibrasyonu **60**
4.2.6 Yeniden örnekleme yöntemlerinin kalibrasyon parametrelerine yansıması **61**
4.2.7 Tuz Gölü'nde gözlenen piksel tabanlı yansıma değişim analizi **62**
4.2.8 Göktürk-2'nin geometrik açıdan değerlendirmesi **62**
5. ARAŞTIRMA BULGULARI **64**
5.1 Göktürk-2'nin Kalibrasyon Katsayılarının Belirlenmesi **64**
5.2 Göktürk-2'nin Landsat 8 ile AÜ Yansıma Doğrulaması **66**
5.3 RASAT'ın Kalibrasyon Katsayılarının Belirlenmesi **68**
5.4 RASAT'ın Landsat 8 ile AÜ Yansıma Doğrulaması **70**
5.5 Çapraz Radyometrik Kalibrasyon Yönteminin Göktürk-2'ye Uygulanması **70**
5.6 Yeniden Örnekleme Yöntemlerinin Kalibrasyon Parametrelerine Etkisinin İncelenmesi **73**
5.7 Tuz Gölü'nde 2015 ve 2016 Yılında Gözlenen AÜ Yansıma Değişiminin Analiz Edilmesi **79**
5.8 Göktürk-2'nin Konumsal Hata Analizi **87**
6. TARTIŞMA **92**
7. SONUÇ **96**
KAYNAKLAR **97**
EKLER **102**
EK 1 RASAT Uydusunun Geçişi Öncesinde Kırmızı Banda Ait Simülatör Sonucu **103**
EK 2 Göktürk-2 Uydusunun Geçişi Öncesinde Kırmızı Banda Ait Simülatör Sonucu **106**
ÖZGEÇMİŞ **109**

KISALTMALAR DİZİNİ

AERONET	Aerosol Robotik Network
AOD	Aerosol Optical Depth
AÜ	Atmosfer Üstü
BRDF	Bidirectional Reflectance Distribution Function
CEOS	Committee on Earth Observation Satellites
CONTROLS	Comparisons to Maintain Traceability for Optical Sensors Cal/Val
DEM	Digital Elevation Model
DLT	Doğrusal Lineer Dönüşüm
DN	Digital Number
EYK	En Yakın Komşuluk
ESA	The European Space Agency
FWHM	Full Width at Half Maximum
GAA	Güneş Azimut Açısı
GEOPORTAL	Uydu Görüntü İşleme ve GeoPortal Kalkınma Projesi
GSD	Ground Sampling Distance
GUI	Graphical User Interface
GZA	Güneş Zenit Açısı
IFOV	Instantaneous Field of View
IVOS	Infrared and Visible Optical Sensors Group
MATLAB	Matrix Laboratory
MRK	Mutlak Radyometrik Kalibrasyon
MSS	Multispectral Scanner System
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
RSR	Relative Spectral Response
RPC	Rational Polynomial Coefficients
SAM	Sayısal Arazi Modeli
SBAF	Spectral Band Adjustment Factor
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
TOA	Top Of Atmosphere
TUSAŞ	Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş.
TÜBİTAK UZAY	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü
UAA	Uydu Azimut Açısı
USGS	The United States Geological Survey
UZA	Uydu Zenit Açısı
WGCV	Working Group on Calibration and Validation
YKN	Yer Kontrol Noktası

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Elektromanyetik tayf (http://www.zamandayolculuk.com 1998) 16
Şekil 3.2 Enerjinin yayılımı (https://www.nrcan.gc.ca 2002) 16
Şekil 3.3 Landsat 8 pankromatik görüntüsü (https://earthexplorer.usgs.gov 2018) 19
Şekil 3.4 Landsat 8 multispektral görüntüsü (https://earthexplorer.usgs.gov 2018) 20
Şekil 3.5 Aktif sensörler ile ışınımın yayılması (https://www.nrcan.gc.ca 2002) 22
Şekil 3.6 Pasif sensörler ile güneş enerjisinin algılanması (https://www.nrcan.gc.ca 2002) 23
Şekil 3.7 Çapraz tarama yapan tarayıcı (https://www.nrcan.gc.ca 2002) 24
Şekil 3.8 Boyuna tarama yapan tarayıcı (https://www.nrcan.gc.ca 2002) 25
Şekil 3.9 Dairesel tarama yapan tarayıcı (Meena 2013) 26
Şekil 3.10 Güneş'ten gelen ışınların dağılımı (http://gsp.humboldt.edu 2014) 29
Şekil 3.11 Radyometrik kalibrasyon test sahaları (https://lta.cr.usgs.gov 2015) 31
Şekil 3.12 Geometrik düzeltmesi yapılmış uydu görüntüsü 38
Şekil 3.13 Yer kontrol noktaları seçilmiş uydu görüntüsü 39
Şekil 4.1 Tuz Gölü test sahası (https://www.google.com.tr 2017) 42
Şekil 4.2.a. Landsat 8, b. Göktürk-2, c. RASAT Tuz Gölü görüntüleri 43
Şekil 4.3 Çalışmada kullanılan ozon değeri (ftp://toms.gsfc.nasa.gov 2016) 44
Şekil 4.4 Su buharı ve AOD ölçümü yapan güneş fotometresi ve meteoroloji istasyonu 45
Şekil 4.5 AERONET'ten temin edilen su buharı değeri (https://aeronet.gsfc.nasa.gov 2015) 45
Şekil 4.6 AERONET'ten temin edilen AOD değeri (https://aeronet.gsfc.nasa.gov 2015) 46
Şekil 4.7 Simülatör girdilerinin seri bir şekilde verilmesi için tasarlanan 6S kullanıcı arayüzü (Deveci ve Demirhan 2018) 47
Şekil 4.8 Tuz Gölü'ne ait AÜ seviyede elde edilen spektral ışıma eğrisi (Demirhan ve Sakarya 2016) 50
Şekil 4.9 GNSS alıcısı yardımıyla toplanan yersel spektral ölçümlere ait noktasal koordinatlar (https://www.google.com.tr 2017) 51
Şekil 4.10 ASD FieldSpec 3 spektroradyometre (Anonim 2013) 51
Şekil 4.11 2015 yılı yapılan radyometrik kalibrasyon çalışmasında Tuz Gölü'nden alınan yersel ölçümlere ait spektral imzalar 52
Şekil 4.12 2016 yılı yapılan radyometrik kalibrasyon çalışmasında Tuz Gölü'nden alınan yersel ölçümlere ait spektral imzalar 52
Şekil 4.13.a. 2015 yılında Tuz Gölü'nden yersel spektral imza toplanan alan (Göktürk-2), b. 2016 yılında Tuz Gölü'nden yersel spektral imza toplanan alan (Göktürk-2) 54
Şekil 4.14.a Doğrulama çalışmasının yapıldığı Landsat 8 görüntüsü, b. Doğrulama çalışmasının yapıldığı Göktürk-2 görüntüsü 57
Şekil 4.15 Tuz Gölü'nden örnek toplanan alan (RASAT) 59
Şekil 4.16.a Landsat 8 ile çekilen Tuz Gölü görüntüsü, b.Göktürk-2 ile çekilen Tuz Gölü görüntüsü 60
Şekil 5.1.a Göktürk-2'nin pankromatik bandına ait görüntülerindeki YKN dağılımı, b. Landsat 8'in pankromatik bandına ait görüntülerindeki YKN dağılımı 88

Şekil 5.2.a Göktürk-2'nin çok bantlı görüntülerindeki YKN dağılımı,
b. Landsat 8'in çok bantlı görüntülerindeki YKN dağılımı.....89
Şekil 5.3.a Göktürk-2'nin Landsat 8'e göre düşey konum hatası,
b. Göktürk-2'nin Landsat 8'e göre yatay konum hatası.....90

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Göktürk-2 spektral bilgileri 35
Çizelge 3.2 Landsat 8 spektral bilgileri 35
Çizelge 3.3 RASAT, Göktürk-2 ve Landsat 8 uydusunun teknik özellikleri 41
Çizelge 3.4 Göktürk-2, Landsat 8 ve RASAT'ın spektral bant aralıkları 41
Çizelge 3.5 RASAT ve Göktürk-2 görüntülerine ait seviye bilgileri 41
Çizelge 4.1 Göktürk-2 ve Landsat-8 uydularının dünya ve güneşe göre konumları 55
Çizelge 4.2 Göktürk-2'nin mutlak radyometrik kalibrasyon çalışmasına ait 6S simülatör girdileri 56
Çizelge 4.3 Göktürk-2 ve Landsat 8 uydularının teknik özellikleri 57
Çizelge 4.4 RASAT'ın mutlak radyometrik kalibrasyon çalışmasına ait simülatör girdileri 58
Çizelge 5.1 Göktürk-2 için kazanç faktörlerine denk gelen kazanç bilgileri (Teke vd. 2016) 64
Çizelge 5.2 Göktürk-2'nin mutlak radyometrik kalibrasyonu sonucu elde edilen tüm bantlara ait kazanç bilgileri 64
Çizelge 5.3 Göktürk-2'nin mutlak radyometrik kalibrasyonu sonucu elde edilen ortalama bant kazançları ve arasındaki yüzde fark 66
Çizelge 5.4 Göktürk-2'nin AÜ yansıma değerlerinin Landsat 8'e göre doğrulaması sonucu elde edilen RMSE değerleri 67
Çizelge 5.5 PCI ve ENVI'nin birbirine göre elde edilen yüzde ortalama AÜ yansıma farkı 67
Çizelge 5.6 PCI ve ENVI ile elde edilen Landsat 8 AÜ yansıma değerlerinin, Göktürk-2'nin 6S simülatör çıktılarına göre yüzde ortalama farkı 68
Çizelge 5.7 RASAT'ın mutlak radyometrik kalibrasyonu için kullanılan sayısal değerler ve AÜ yansıma/ışıma değerleri 69
Çizelge 5.8 RASAT için 2016 yılında yapılan mutlak radyometrik kalibrasyon sonucu elde edilen kazanç bilgileri 69
Çizelge 5.9 RASAT'ın AÜ yansıma değerlerinin Landsat 8'e göre doğrulaması sonucu elde edilen RMSE değerleri 70
Çizelge 5.10 2016 yılı verileri kullanılarak gerçekleştirilen Göktürk-2'nin çapraz radyometrik kalibrasyonu sonuçları (Demirhan vd. 2017) 71
Çizelge 5.11 2016 yılı verilerine SBAF yönteminin uygulanması ile elde edilen Göktürk-2'nin çapraz radyometrik kalibrasyonu sonuçları (Demirhan vd. 2017) 71
Çizelge 5.12 2015 yılı verileri kullanılarak uygulanan SBAF yöntemi sonrasında elde edilen çapraz radyometrik kalibrasyon sonuçları 72
Çizelge 5.13 Tüm bantlara uygulanan yeniden örnekleme yöntemlerine göre elde edilen sayısal değerleri 73
Çizelge 5.14 2016 yılına ait ve yeniden örnekleme yöntemleri kullanılarak uygulanan kalibrasyon katsayılarının karşılaştırılması 78
Çizelge 5.15 Göktürk-2'nin bir piksele düşen AÜ yansıma değerleri 79
Çizelge 5.16 2015-2016 yılları arasında Göktürk-2'nin geçişi öncesi ve sonrasında görülen tüm bantlara ait yüzde ortalama yansıma farkları 85

Çizelge 5.17 2015 ve 2016 yıllarına ait yersel ölçüm verileri kullanılarak yapılan Göktürk-2'nin mutlak radyometrik kalibrasyonu sonucu elde edilen kazanç bilgileri 86
Çizelge 5.18 Göktürk-2'nin piksel tabanlı ortalama yansıma analizi sonucu elde edilen kazanç bilgileri 86
Çizelge 5.19 Göktürk-2'nin mutlak radyometrik kalibrasyonu ve piksel tabanlı ortalama yansıma analizi sonucu elde edilen kazanç değerlerinin yüzde farkları 87
Çizelge 5.20 Göktürk-2'nin konum doğruluğu (RMSE (m)) 90
Çizelge 5.21 Toplam RMSE (m) 91

1. GİRİŞ

Uyduların sensöre ait belirli özellikleri, bulunduğu yörüngeye ve yörüngede geçirdiği süre boyunca değişebilmekte ve sensör kalibrasyonu zamanla bozulabilmektedir. Bunlar elektronik gürültü, titreşim, radyasyon gibi uzay şartlarının yansımasından olduğu gibi aynı zamanda fırlatma sırasındaki fiziksel durumdan da kaynaklı olabilmektedir. Bu bakımdan uyduların kalibrasyon yöntemlerinden olan geometrik ve radyometrik kalibrasyon düzenli olarak uygulanmalı ve uyduların değişen sensör karakteristiği analiz edilmelidir. Uzaktan algılama uygulamalarının tümünde, geometrik ve radyometrik doğruluk oldukça önemlidir. Radyometrik doğruluk hedeften gelen gerçek ışıma değeri ile görüntüdeki piksel değeri arasında ilişki kurararak bir ölçüme giderken, geometrik doğruluk konumsal hassasiyetle ölçülür (Teke vd. 2016).

Görüntünün sayısal verilerinden kaynaklı hataları azaltmak için radyometrik düzeltme yapılır. Bu süreç, uzaktan algılanan verilerin yorumlanabilirliğini ve kalitesini geliştirir. Radyometrik kalibrasyon ve düzeltme, veri setlerini çoklu zaman aralıklarında karşılaştırırken özellikle önemlidir. Uydulara ait sensörlerin kaydettiği enerji, yeryüzündeki bir yüzeyden yayılan ya da yansıtılan gerçek enerjiden farklı olabilir. Bu durum güneşin zenit/azimutu ve gözlemlenen enerjiyi etkileyebilecek atmosferik koşullardan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, zeminin gerçek yansımasını/ışımasını elde etmek için radyometrik hatalar düzeltilmelidir.

Uyduya ait sensörlerin radyometrik kalibrasyonunun yapılması, yeryüzünün yansıması/ışıması yanında sıcaklık, basınç, nem gibi yeryüzünün fiziksel özeliklerini uydu görüntülerinden tespit edebilmek için gereklidir. Bu doğrultuda, sensörlerin ölçtüğü sayısal veriler ile yeryüzünden gelen ışıma değeri arasında bağlantı kurularak uyduya ait gerekli olan sabit katsayılar, radyometrik kalibrasyon sonucunda elde edilir (Teke vd. 2016).

Uçuş öncesi yapılan radyometrik kalibrasyon, sensörlerin tasarım performansı ve özelliklerine uyduğunu gösterebilmeleri için önemlidir. Bununla birlikte, uydunun

çalışmaya başlamasıyla birlikte, bu performansın doğrulanması ve radyometrik doğruluğun test edilerek gerekirse düzeltilmesi önemlidir. Yer gözlem uyduları, yaygın bir şekilde kullanılmaya başlandığından beri, her uydu sensöründen gelen verilerin kısa ve uzun vadede kullanılabilmesi ve sensörler arasındaki olası tüm varyasyonların hesaplanması giderek daha da önem kazanmaktadır. Bu açıdan kalibrasyon, tüm uydu operatörleri tarafından kritik bir uygulama olarak tanınmaktadır. Kalibrasyonun uygulanması için çeşitli yöntemler mevcuttur. Ancak, en yaygın ve genel yaklaşımlardan biri, ayrılmış ve karakterize edilmiş bir "test sahası" kullanmaktır. Böyle bir yöntemde, benzer güneş aydınlatma açıları ve sensör görüş açısı kullanılarak yüzey yansıma/parlaklığına dayalı yer temelli ölçümler, bir atmosferik simülatör kullanarak atmosferi üstüne (AÜ) çıkarılır. En yüksek doğruluğa ulaşmak için yüzey ölçümleri, uydu geçişi öncesinde ve sonrasında birkaç dakika içinde yapılmalı ve bu sırada atmosfer özellikleri ölçülmelidir (Özen 2012).

Bu kapsamda CONTROLS Projesi ile başlayan RASAT uydusunun radyometrik ve geometrik kalibrasyon çalışmaları, Kalkınma Bakanlığı destekli GEOPORTAL Projesi kapsamında devam etmekte olup bu tez çalışması ile 2015 ve 2016 yılına ait radyometrik kalibrasyon çalışmalarından elde edilen bulgular çeşitli yöntemler ile desteklenmiştir. 2015 ve 2016 yılında Tuz Gölü'nde toplanan yersel ve atmosferik ölçüm verileri bu projenin çıktısı olarak kullanarak çeşitli radyometrik kalibrasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. 11.09.2015 ve 11.08.2016 tarihlerinde düzenlenen Tuz Gölü saha çalışmaları kapsamında toplanan veriler kullanılarak Göktürk-2 ve RASAT uydusunun iki yıla ait mutlak ve çapraz radyometrik kalibrasyonunun iyileştirilmesi üzerine yeni metotlar ortaya konulmuştur. 2016 yılı verileri ile Göktürk-2 uydusunun Landsat-8'e göre çapraz radyometrik kalibrasyonundan yola çıkılarak uygulanan Spektral Bant Ayarlama Faktörü (SBAF) (Chander vd. 2013) yöntemi, 2015 yılı verilerine uygulanmıştır. Yeniden örnekleme yöntemlerinin mutlak radyometrik kalibrasyona olan etkisi incelenmiştir. İki yıla ait veriler kullanılarak yıllık bazda Tuz Gölü'nde gözlenen yansıma değişim analizi yapılmış, bu durumun kalibrasyon parametrelerine etkisi incelenmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Çalışma kapsamında incelenen ve yararlanılan kaynakların özetleri tarih sırası ile aşağıda sunulmuştur.

Radyometrik kalibrasyon alanında ilk çalışmalardan biri Slater vd. (1987) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, Landsat 4 ve Landsat 5'in mutlak radyometrik kalibrasyonunda raporlanan değişiklikler gözden geçirilmiştir. Kısa dalga boylarında sensörler tepki düşüşü sergilerken kızılötesi dalga boylarında Landsat 5'te iç kalibrasyon sonuçlarına göre salınımlı varyasyonlar görülmüştür. 1984'ten 1985'e kadar olan iki yıllık dönemde White Sands'te Landsat 5'in yansıma temelli kalibrasyonu için sonuçlar sunulmuştur. Güneş yansıtıcı bant için sensör ±% 2,8 standart sapma göstermiştir. White Sands'teki ışıma ölçümlerine dayanan ikinci bir bağımsız kalibrasyon yönteminin analizi ve ön sonuçları, çalışmanın yansıma temelli yöntemdeki sonuçlarını doğrulamak için kullanılmıştır.

Slater vd. (1996) çalışmalarında, uzaktan algılama uydularının radyometrik kalibrasyonu için dolaylı (vicarious) kalibrasyon metotları üzerinde durmuştur. Uçuş sırasında yapılan radyometrik kalibrasyon ve multispektral görüntüleme sensörlerinin çapraz kalibrasyonu için dört yöntem tarif edilmiştir. Üç yöntemde atmosferik ölçümlerle bağlantılı yer-tabanlı yansıma, ışıma ve irradyans ölçümlerinden yararlanılmış, diğer yöntemde ise uçuş sırasında çapraz kalibrasyon ile sensörler arasında karşılaştırma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yansıma-tabanlı yöntemde % 4,9, ışıma-tabanlı yöntemde % 2,8 ve irradyans-tabanlı yöntemde % 3,5 toplam hata ortaya çıkmıştır. Doğrulama için SPOT ve Landsat TM sonuçları referans alınmıştır.

Dinguirard ve Slater (1999) çalışmalarında, güneş-yansıtıcı alanda uzaydaki multispektral görüntüleme sistemlerini kalibre etmek için kullanımda ya da geliştirme aşamasında olan çeşitli yöntemleri gözden geçirmişler ve mevcut yöntemler arasındaki farklılıkları açıklamışlardır. Çalışmada farklı radyometrik kalibrasyon türleri ile ilgili kısıtlamalar belirtilmiştir. Mutlak ve bağıl kalibrasyon arasında ayrım yapılarak sensör

modellerinin kullanımı kısaca tartışılmıştır. Yapılan dolaylı (vicarious) kalibrasyonda ışıma tabanlı metodun % 2,8 hata ile en yüksek doğruluğa sahip olduğu, yansıma tabanlı metodun % 4,9 ve irradyans tabanlı metodun % 3,5 hata içerdiği rapor edilmiştir. Aerosolun hatayı ciddi oranda artırdığı ifade edilmiştir. Ragleigh saçılım metodu ile %5 belirsizlik hatası ortaya çıkmıştır. Çöl görüntülerinde bu durum % 3'ten düşük seviyede iken ayda % 2 seviyelerinde olduğu tespit edilmiştir.

Uzaktan algılama uydularının radyometrik kalibrasyonunun yapıldığı ve dolaylı (vicarious) kalibrasyon teknikleri kullanıldığı bir çalışmada, yüzey yansıması ve atmosferik emilimi tanımlamak için kapsamlı modelleme teknikleri kullanılmıştır. IKONOS uydusu ile radyometrik olarak karakterize edilmiş yıldızlar üç ayrı şekilde bir yıllık aralıklarla görüntülenmiş ve veriler, görüntüdeki sensör sayımlarını teleskop açıklığındaki enerji ile ilişkilendiren radyometrik kalibrasyonu uygulamak için kullanılmıştır. Dolaylı (vicarious) kalibrasyon teknikleriyle uyumlu olmamasına rağmen yıldız verileri ile doğrusal değerler elde edilmiştir. Kullanılan yöntem uzun vadeli istikrar sağlamış ve gelecekteki mutlak radyometrik kalibrasyon çalışmalarına umut vermiştir (Bowen vd. 2002).

Gürol vd. (2008) çalışmalarında, kalibrasyon ve doğrulama gereksinimleri için Tuz Gölü test sahasının kullanılabilirliğini değerlendirmek ve en kullanışlı alanı belirlemek için bir kalibrasyon/geçerlilik testi ile sahip olması gereken özelliklerin bir listesini derlemişlerdir. 2004-2007 Temmuz ve Ağustos dönemlerinde, MODIS uydu görüntüleri üzerinde Getis İstatistikleri kullanarak homojenlik analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda, 324.026 km^2 yaklaşık kullanılabilir bir alan elde edilmiştir. Gölün düşük ve yüksek sayısal değerine sahip bölgeleri aynı şekilde analiz edilmiştir. Ayrıca bölgenin uzun süre su ile kaplandığı ve homojen yapısını koruduğu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla Tuz Gölü'nün beklenen şartların çoğunu yerine getirdiği ifade edilmiştir. Çalışmada Tuz Gölü'nün her yıl ziyaret edilerek saha çalışmaları yapılmasının gerekliliği üzerinde durulmuştur.

Railroad Valley sahasında mutlak ölçümlerin kullanıldığı bir çalışmada UK-DMC sensörü, Antarktika bölgesine ait kar görüntüleri kullanılarak kalibre edilmiş ve bağıl/ mutlak radyometrik kalibrasyon prosedürleri uygulanmıştır. Bağıl kalibrasyon için öteleme değerlerinde % 5'lik fark elde edilmiştir. Görüntünün bant radyometrisi artırılarak radyometrik hatalardan arındırılmıştır. BRDF'in sensör kalibrasyonu üzerindeki olası etkileri ele alınmış ve sensör davranışındaki uzun vadeli değişiklikler izlenmeye çalışılmıştır. İşlenmiş görüntülerde görülebilir temel bir mutlak kalibrasyon sağlanmış ve şeritleme kaldırılmıştır (Mackin 2008).

Chander vd. (2009) çalışmalarında kalibre edilmiş sayısal değerleri, sensörün spektral parlaklık, AÜ yansıma ve sensörün parlaklık/sıcaklığının mutlak birimlerine dönüştürmek için geçerli denklemlerini ve yeniden ölçekleme faktörlerini özetlemişlerdir. Çok spektrumlu tarayıcı (MSS) ile Landsat TM, Landsat ETM + ve EO-1 ALI sensörleri için gerekli sabitler ifade edilmiştir. Bu dönüşümler tek seferde farklı tarihlerde veya farklı sensörlerle edinilen görüntüler arasında standartlaştırılmış ve veri karşılaştırması için temel oluşturmuştur.

Naughton vd. (2011) çalışmalarında, RapidEye sensörünün yörüngedeki radyometrik doğruluğunu belirlemek için Nisan 2009 ve Mayıs 2010 tarihleri arasında Railroad Valley Playa ve Ivanpah Playa'da gerçekleştirilen yansıma temelli bir kalibrasyon kampanyasının gerekçesini, yöntemlerini ve sonuçlarını açıklamışlardır. Test sahalarının ölçüm bölgelerinde, yüzeylerin spektral yansıma ölçümleri yapılmış ve uydu geçişleri sırasında sahaların üzerindeki atmosferik koşulların değerlendirmesi alınmıştır. Yer verileri, her bir banda özgü AÜ spektral yansımanın hesaplanması için atmosferik simülatöre girdi olarak kullanılmıştır. Yapılan değerlendirmelere göre, RapidEye sensör tepkisine ait öngörülen değerin, % 8'in (mavi ve yeşil için % 4, kırmızı ve NIR için % 8) içinde olduğunu göstermiştir. Kampanyadan elde edilen sonuçlar, yer-temelli kalibrasyon parametrelerini güncellemek için kullanılmıştır. Doğrulama çalışmaları, RapidEye sensör tepkisinin dolaylı kalibrasyon yöntemine dayanan tahminlere göre % 4'e girebileceği yönünde olduğunu göstermiştir. Yansıma-temelli ve sensördeki spektral ışımaya ait dolaylı kalibrasyon belirsizlikleri ise % 2,5 içerisinde kalmıştır.

13-27 Ağustos 2010 tarihleri arasında Tuz Gölü'nde yapılan bir çalışmada, CEOS test sahası karşılaştırması ile yapılan yersel spektral ölçümlerin eşzamanlı uydu görüntüsü edinimi ve çapraz karşılaştırmanın ön sonuçları çıkarılmıştır. Uluslararası 11 farklı yer ölçüm ekibinin katılımı ile ölçüm alanından eş zamanlı olarak uydu görüntüleri alınmıştır. Uydu görüntüleri, Tuz Gölü sahasında farklı tarihlerde farklı geçit süreleri ile farklı mekânsal ve spektral özellikleri olan birçok uydudan alınmıştır. Çalışmada, EO-1 ALI, ALOS AVNIR-2, ENVISAT MERIS, Landsat 7 ETM, Landsat 5 TM, Deimos-1 ve Theos uydu görüntüleri için hesaplanan AÜ yansıma yüzde farklılıkları özetlenmiştir. İlgili uydu görüntüleri ile Tuz Gölü test sahasında mavi, yeşil, kırmızı ve NIR bantları için yapılan ortalama AÜ yansıma yüzde farkı % 10 olarak kabul edilmiştir (Özen vd. 2012).

LANDNET sahalarının temel özelliklerini ve uygulama alanlarını belirtmek, araştırmacıları saha seçimi konusunda bilgilendirmek ve bu alandaki uluslararası farkındalığı ve iş birliğini arttırmak için Gürbüz vd. (2012) tarafından yapılan bir çalışmada, coğrafi özellikler ve mekânsal niteliklere göre uluslararası alanda araştırmacıların deney ve ölçümler yapması için fırsatlar sunabileceği Tuz Gölü test sahası hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiştir. Son dönemde Tuz Gölü'nde düzenlenen uluslararası saha kampanyaları ile kazanılan pratik, teknik ve lojistik deneyim ilgili çalışma ile ayrıntılı olarak paylaşılmıştır.

Helder vd. (2012) çalışmalarında, Landsat serisine ait beş sensör sisteminin hem çapraz hem de mutlak radyometrik kalibrasyonunu geliştirmeye odaklanmıştır. Multispektral sensörlerin çapraz kalibrasyonu, değişmez kalibrasyon sahalarının kullanımıyla gerçekleştirmiştir. Bu alanlar uzun süreler boyunca kararlı olduğundan dolayı multispektral sensörlerdeki değişikliklerin, sensörlerin kendi yapısından kaynaklandığı ortaya çıkmıştır. Ek olarak bazı multispektral sensör çiftleri için eşzamanlı veri toplama durumları mümkün olmuş ve bunlar da çapraz kalibrasyon için kullanılmıştır. Sonuçlar, cihazlar arasında % 16'ya varan büyük farklılıklar olduğunu göstermiş ve tüm multispektral sensörleri ve bantları arasındaki farklılıklar % 5 veya daha azına indirilmiştir. Aynı zamanda multispektral sensörler mutlak radyometrik kapsamda da değerlendirilmiştir. Kullanılan metodoloji, Landsat-5 multispektral ve TM sensörlerinin

eş zamanlı veri toplamalarına dayanmaktadır. Bir PICS konumundan görüntü verilerinin analizi ve iki cihaz arasındaki spektral farkların dengelenmesi yoluyla Landsat-5 multispektral sensörü, Landsat 5 TM sensörüne dayalı olarak mutlak bir radyometrik skalaya yerleştirilmiştir. Bu kalibrasyon ile ilgili belirsizlikler, % 5'ten az olarak kabul edilmiştir.

Sensörler arasında daha doğru çapraz kalibrasyon sağlamak için çoklu spektral sensörlerin spektral tepki farklılıklarının dengelenmesi, Chander vd. (2013) tarafından yapılan bir çalışmada gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, görünür ve yakın-kızılötesi spektral aralıkta Landsat 7 (ETM +) ve MODIS sensörlerinin çapraz radyometrik kalibrasyonu, Libya 4 kalibrasyon sahası üzerinden yakın eş zamanlı gözlemler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. ETM+ ve MODIS uydularının spektral bantlarının bağıl spektral tepki (RSR) farklılıkları, bu iki sensör arasındaki ölçüm farklılıklarını ölçme olanağı sağlamıştır. Çapraz kalibrasyon, iki sensör arasındaki AÜ yansımalar karşılaştırılarak gerçekleştirilmiştir. Yüzde ortalama farklar, -% 5 ile +% 6 arasında değişmiştir. RSR'ları denkleştirilen ETM+ AÜ yansıma ölçümleri ve hyperion hiperspektral verileri, SBAF'ler üretmek için kullanılmış ve tüm bantlar için MODIS AÜ yansıma oranları ile arasında % 5'lik uyum gösterdiği bulunmuştur. Daha sonra bu farklar SCIAMACHY görüntüleme spektrometresi kullanılarak tüm bantlar için (bant 2 hariç) % 1'e kadar azaltılmış ve SBAF'ler üretilmiştir.

Bir çalışmada, ABD Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST) standartlarına göre izlenebilir kalibrasyon kaynağının kullanılmasıyla Landsat 8 OLI'nin radyometrik kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir (Markham vd. 2014). NIST izlenebilir standartlara göre Landsat 8 fırlatılmadan önce karakterize edilen difüzörler kullanılarak yansıma açısından yörüngede kalibre edilmiştir. Işıma kalibrasyonu % 3'lük belirsizlik ortaya çıkarırken yansıma kalibrasyonu % 2'lik bir belirsizlik göstermiştir. Yörüngedeki çoklu kalibrasyon teknikleri, sensörün bugüne kadar %1'den az oranda bozulmuş olan en kısa dalga boyu bandı hariç % 0,3'ten daha kararlı olduğu gösterilmiştir. OLI'nin heliostat-ışıklı difüzörü kullanılarak gerçekleştirilen ve yörüngede yapılan çalışmada, bazı bantların yörüngeye geçişte % 5'e varan hassasiyette olduğu ve ~% 2,5 belirsizlik gösterdiği ortaya çıkmıştır.

Çapraz kalibrasyon teknikleri kullanılarak Landsat 8 OLI ve Landsat 7 ETM+ arasındaki radyometrik tutarlılık Mishra vd. (2014)'nin çalışmalarında değerlendirilmiştir. Çalışmada iki sensör arasındaki çapraz kalibrasyona dayanan iki yaklaşım kullanılmıştır. Biri 29-30 Mart 2013 tarihinde bir alt etkinlik sırasında edinilen eşzamanlı görüntü çiftlerinin kullanılmasına dayanırken diğer yaklaşım, Libya 4 kalibrasyon bölgesinde bu iki sensör tarafından elde edilen görüntü istatistiklerinin zaman serilerinin kullanılmasına dayanmaktadır. Elde edilen analizlere göre, OLI'nin yansıma kalibrasyonunun görülenden kısa dalga kızılötesi bölgelerine kadar tüm yansıtıcı bantlar için ETM+'e göre ±% 3'ün içerisinde kaldığını göstermiştir. Daha doğru bir yöntem olan ışıma kalibrasyonu da çalışmada gerçekleştirilmiştir. İki farklı fiziksel birimdeki (ışıma ve yansıma) sonuçlara göre tüm analog bantların ±% 2 içinde olduğu kabul edilmiştir. Bu sonuçlar, çok spektrumlu tarayıcı sistemli Landsat serisi sensörleri, Landsat 8 OLI ile tutarlı bir radyometrik skalada ilişkilendirmek için faydalı olmuştur.

2015 yılında Kore Havacılık ve Uzay Araştırmaları Enstitüsü (KARI) ve Pukyong Üniversitesi Uzaktan Algılama Grubu tarafından gerçekleştirilen KOMPSAT-3A'nın dolaylı (vicarious) radyometrik kalibrasyon yöntemi, Ahn vd. (2016) tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmada radyometrik olarak kalibre edilmiş hedef alanların belirlenmesi için Moğolistan ve Güney Kore'de bir saha kampanyası yapılmıştır. Kampanyada elde edilen yüzey yansıma verileri, sensörün parlaklığını gösteren bir atmosferik simülatöre girilmiştir. Bu işlem sayesinde kalibre edilmiş sayısal değerleri sensörün parlaklığına götüren AÜ yansıma gibi fiziksel bir birime dönüştürmek için KOMPSAT-3A sensörüne ait denklem ve parametreler türetilmiştir. KOMPSAT-3A sensörünün mutlak radyometrik kalibrasyon katsayılarını doğrulamak için altı sahadan biri (Libya 4) kullanılarak KOMPSAT-3A ve Landsat 8 AÜ yansıma değerleri karşılaştırılmış ve bu şekilde radyometrik doğrulama gerçekleştirilmiştir. Libya bölgesi üzerindeki kırmızı-yeşil-mavi (RGB) bölgedeki KOMPSAT-3A ve Landsat 8 görüntüleri arasındaki AÜ yansıma ortalama farkı % 3'ün altında iken NIR bandında KOMPSAT-3A'nın AÜ yansıması, iki sensörün bant geçişindeki fark nedeniyle Landsat 8'den daha düşük çıkmıştır. KOMPSAT-3A sensörü, su buharı tarafından güçlü bir şekilde absorbe edilebilen 940 nm yakınında düşük yansıma oranına sahip bir bant

geçişi içermektedir. Bunun üstesinden gelmek için Spektral Bant Ayarlama Faktörü (SBAF) gibi yeniden ölçekleme yöntemleri kullanılarak ayrıntılı bir analiz yapılması gerektiği ortaya konulmuştur.

Nevada, California, Arizona ve Güney Dakota test alanlarında yansıma temelli yaklaşım kullanılarak elde edilen Landsat 8 OLI'nin dolaylı kalibrasyon sonuçları, Czapla-Myers vd. (2015) tarafından sunulmuştur. Atmosfer üstündeki spektral ışıma için elde edilen sonuçlar, yer tabanlı ölçümlerin tümünün ortalamasına kıyasla OLI bantlarının ortalama farkının -% 2,7, -% 0,8, % 1,5, % 2,0, % 0,0, % 3,6, % 5,8 ve % 0,7 (bant 1-8) olduğunu göstermiştir. Atmosferin üstündeki spektral yansıma, yer tabanlı ölçümlerden % 1,6, % 1,3, % 2,0, % 1,9, % 0,9, % 2,1, % 3,1 ve % 2,1'lik bir ortalama fark göstermiştir. OLI'nin 7. bandı hariç spektral ışıma sonuçları, tasarım özelliklerinin ±%5'i içerisine, yansıma sonuçları ise tasarım özelliklerinin ±% 3'ü içerisine girmiştir. Landsat 7 ve Landsat 8 uçuşlarında toplanan verilerin sonuçları, ETM+ ve OLI'nin, atmosfer üstü spektral ışıma için benzer bantlarda birbirlerine ±% 2 içerisinde ve atmosferik üstü spektral yansıma için ise ±% 4 içerisinde olduğunu göstermiştir.

Shin vd. (2015) çalışmalarında, Landsat 8 OLI ile KOMPSAT-3'ün çapraz radyometrik kalibrasyonunu uygulanmışlardır. Eşzamanlı görüntü çiftleri kullanılarak, iki sensör arasında hesaplanan çapraz kalibrasyon, Libya 4 kalibrasyon sahasındaki bir uçuş sırasında gerçekleştirilmiştir. Hedefin spektral profili, uygulanan Spektral Bant Ayarlama Faktörü (SBAF) için EO-1 Hyperion verisinden sağlanmıştır. Sonuçlar, KOMPSAT-3 için AÜ yansıma ölçüm yönteminin Landsat 8 ile aynı olduğunu ve SBAF uygulamasından sonra % 5'in içinde olduğunu göstermiştir. Radyometrik katsayıyı doğrulamak için ABD'nin kuzeyinde (Virjinya) yürütülen AÜ yansıma değerleri kullanılmış ve AÜ yansımalardaki fark maksimum ±% 1,55 olarak hesaplanmıştır. SBAF uygulandıktan sonra standart sapma 0,1'den 0,01'e değişimi ile büyük bir iyileşme göstermiştir. Ortaya çıkan radyometrik katsayı, KOMPSAT-3'ün optik kalitesini korumak için iyi bir standartta olduğunu ortaya koymuştur.

Göktürk-2 görüntülerinin Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) performansını test etmek için Landsat 8 görüntüleri ile karşılaştırıldığı bir çalışmada (Kalkan vd. 2015) uydu görüntüleri, mevsimsel ve meteorolojik benzerlik elde etmek için bir günlük fark ile seçilmiştir. Her iki uydu görüntüsü kalibre edilerek bitki örtüsü alanları için NDVI değerleri karşılaştırılmıştır. Bunun için AÜ yansıma verileri hesaplanmış ve Göktürk-2 uydusunun kırmızı ve NIR bandına ait kazanç ve öteleme değerleri elde edilmiştir. Landsat 8 görüntüsünün Göktürk-2'ye göre NDVI değerlerini karşılaştırmak için bitki örtüsünden rastgele noktalar kullanılmıştır. Her iki görüntü için bitkisel alanlardan seçilen 140 rastgele nokta için ortalama % 6 fark ortaya çıkmıştır. Sonuçlar, her iki uydu görüntüsünün aynı mekânsal çözünürlük için NDVI'da benzer sonuçların elde edildiğini göstermiştir.

2012 ve 2014 yıllarında Kore Havacılık Araştırma Enstitüsü (KARI) ve Pukyong Ulusal Üniversitesi Uzaktan Algılama Grubu tarafından gerçekleştirilen radyometrik kalibrasyon çalışması, Kim vd. (2015) tarafından yapılmıştır. Moğolistan (Zuunmod) ve Güney Kore'de (Goheung) yapılan radyometrik kalibrasyon çalışmasında, KOMPSAT-3 sensörlerinin spektral bant tepkileri arasındaki korelasyonunun multispektral bantlar için önemli olduğu bulgusu ortaya çıkmıştır. 2012 yılında tahmin edilen tüm bantlar için çıkarılan KOMPSAT-3 kalibrasyon katsayıları, 2014 yılı kalibrasyon katsayıları ile % 1,5 fark ile uyumlu çıkmıştır. Libya 4 ve Railroad Valley Playa görüntüleri kullanılarak elde edilen analiz sonucuna göre, KOMPSAT-3 ve Landsat 8'e ait AÜ yansımalarda kırmızı-yeşil-mavi bantta ortalama fark % 3'ün altında iken, yakın kızılötesi bantta iki sensörün bant genişliğindeki farklılıktan dolayı KOMPSAT-3'ün AÜ yansıması, Landsat 8'den daha düşük bulunmuştur. Elde edilen bulgular, KOMPSAT-3 sensörünün su buharı tarafından güçlü bir şekilde absorbe edilebilen ve bu nedenle düşük yansıma gösteren yapıda olduğunu ortaya koymuştur.

Yerleşik lambalar, dahili solar difüzörler, ay ve belirgin kalibrasyon teknikleri kullanılarak izlenen Landsat 8 OLI'nin radyometrik kalibrasyonu, Markham vd. (2015) tarafından uygulanmıştır. Çalışma, ayın düzenli görüntülenmesi ile gerçekleşmiştir. Landsat 8, göreve başladığı süre zarfında % 1'e kadar değişim göstermiştir. Kıyı aerosol bandı (bant 1) dönem boyunca yaklaşık % 1 oranında en büyük değişikliği göstermiş,

diğer tüm bantlar belirgin bir değişim göstermemiştir. Landsat 8'in 1-4 bantları, yaklaşık yedi ay sonra (% 0,1'den % 0,2'ye kadar) küçük süreksizlikler göstermiştir. Gözlemlenen kazanç değişiklikleri için kalibrasyon parametre dosyaları güncellenmiştir. Tüm bulgular Landsat 8'in çok kararlı olduğunu göstermiştir.

Demirhan ve Sakarya (2016) çalışmalarında, pasif bir hiperspektral kameranın uzaya gönderilmesiyle gerçekleşebilecek olan yerden spektral ölçüm temelli mutlak radyometrik kalibrasyon konusundaki ön inceleme sonuçlarını sunmuşlardır. Çalışmada ölçüm verisi olarak 2015 yılında Tuz Gölü'nde düzenlenmiş kampanyada yerden spektroradyometre ile toplanmış olan spektral ölçümler kullanılmıştır. GNSS alıcı yardımı ile yer koordinatları okunarak 10 noktadan alınan hiperspektral ölçümler, atmosfer üstüne taşınmış ve hiperspektral AÜ yansıma verisine dönüştürülmüştür. Bununla birlikte Göktürk-2 uydusunun kırmızı ve NIR bandı, atmosfer üstü seviyede elde edilen veri taşıyan bir hiperspektral kameranın mutlak radyometrik kalibrasyonunu doğrulaması için kullanılmıştır.

Uydu görüntü işleme ve veri paylaşımına yönelik sürdürülebilir ekonomik kalkınma için koşullar yaratmaya çalışan ve ulusal olarak finanse edilen proje olan GEOPORTAL ile ilk Türk tasarımlı uydu olan RASAT'ın yer gözlem verilerini GEZGİN Portal'ı üzerinden açık ve ücretsiz olarak dağıtmak suretiyle kamu kurumlarının ihtiyaçlarını ve alan bazlı kaynaklarını tedarik edecek ulusal ölçekte bir çalışma Deveci vd. (2016) tarafından yapılmıştır.

Teke vd. (2016) çalışmalarında, Göktürk-2'nin bağıl ve mutlak çapraz radyometrik kalibrasyonunu ilk defa gerçekleştirmişlerdir. Göktürk-2'nin 2014 yılında kalibrasyon kampanyası kapsamında çekilen Tuz Gölü görüntüleri, çapraz radyometrik kalibrasyonu gerçekleştirilirken kullanılmıştır. Görüntülerin seviye 0 (L0)'dan seviye 1 (L1)'e olan radyometrik düzeltmesi ve pansharp keskinleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon yöntemi uygulanırken aynı gün içerisinde ve yakın zaman aralıklarına denk gelen Göktürk-2 ve Landsat 8 görüntüleri çakıştırılmıştır. Bu doğrultuda yapılan analiz sonucunda, hesaplanan kazanç ve öteleme değerleri farklı görüntüler kullanılarak

denenmiştir. Aynı zamanda farklı mevsimlere göre çekilmesi gereken kazanç modları da tespit edilmiştir. Göktürk-2'nin Landsat 8 uydusuna göre elde edilen çapraz kalibrasyon çalışması sonucunda % 2,2 fark bulunmuş ve Göktürk-2'nin kalibrasyon katsayıları hesaplanmıştır.

Göktürk-2 uydu sensörünün Tuz Gölü'nde gerçekleştirilen ilk yer-temelli mutlak radyometrik kalibrasyonu, Sakarya vd. (2016) tarafından uygulanmıştır. Mutlak radyometrik kalibrasyon sonunda elde edilen Göktürk-2 sensörünün kalibrasyon katsayıları kullanılarak 24 noktaya ait elde edilen NDVI değerleri ile Landsat 8 görüntüsüne göre hesaplanan ilgili noktalara ait NDVI sonuçları karşılaştırılmıştır. Deneysel karşılaştırma sonuçlarına göre tahmin edilen kırmızı ve NIR bantları için Göktürk-2 uydu sensörünün kalibrasyon katsayıları, çapraz kalibrasyon sonuçlarında tahmin edilen kalibrasyon katsayılarının % 2'si içerisinde kalmıştır.

Efendioğlu vd. (2016) çalışmalarında, Orantısal İşlev Modeli (RFM) kullanılarak Göktürk-2 uydusuna ait Zonguldak görüntüsünün coğrafi konum doğruluğunu tespit etmeyi amaçlamışlardır. Konum doğruluğu için polinom dönüşüm modeli kullanılmıştır. Coğrafi koordinatlar ve görüntü koordinatları arasında dönüşüm modeli düzenlenerek incelenen modele ait konum doğruluğu, Göktürk-2 görüntüsüne ait L2 (Seviye 2) görüntü işleme analizi sonuçları karşılaştırmalı ve detaylı olarak incelenmiştir. Analiz sonucunda, satırda 4.83 benek ve sütunda 8.51 benek ortalama karekök hata ortaya çıkmıştır. Aynı analiz uydu parametreleriyle üretilen model ile yapıldığında ise satırda 8.93 benek ve sütunda 13.88 benek ortalama karekök hata ortaya çıkmıştır.

Topan vd. (2016) çalışmalarını dağlık ve yeşil alanlı kentsel yerleşim yeri olan Zonguldak test alanı üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Göktürk-2'ye ait L1, L1R ve L2 seviyelerindeki pankromatik ve multispektral görüntülerin radyometrik ve geometrik açıdan incelenmesi yapılmıştır. Çalışmada iki çeşit geometrik değerlendirme yapılmıştır. İlk değerlendirme, etkin yer örnekleme aralığı değerini elde etmek için birinci seviyedeki görüntüler ile yapılmıştır. Tüm görüntüler için elde edilen değer,

ortalama olarak bir piksel seviyesinde çıkmıştır. İkinci değerlendirmede polinom, projektif, 2B afin, afin projeksiyon, benzerlik, doğrusal lineer dönüşüm modelleri ve rasyonel fonksiyon model aracılığıyla görüntülerin 2B konum doğruluğu yapılmıştır. 72 YKN kullanılarak L1, L1R ve L2 gibi farklı seviyelerde oluşturulan görüntüler ile ±2.25-156.04 arasında doğruluk saptanmıştır. Bu araştırma ile konumsal uygulama ve çalışmalarda, Göktürk-2 görüntülerinin temel ihtiyaçları gerçekleştirebileceği ön görülmüştür.

Göktürk-2'nin çapraz kalibrasyonu için SBAF yönteminin Göktürk-2 uydu verisine uygulanması önem arz etmiştir. Göktürk-2 sensörünün çapraz radyometrik kalibrasyonu Demirhan vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada kullanılmıştır. Sensöre ait kazanç/öteleme kullanılarak sayısal değerler ve sensördeki ışıma arasındaki ilişki hesaplanmış bu doğrultuda Göktürk-2'nin tüm bantlarının Landsat 8'e göre AÜ yansıma kıyaslaması yapılmıştır. SBAF yönteminin uygulanmasıyla KOMPSAT-3A'nın Landsat 8'e göre çapraz radyometrik kalibrasyonu sonucu elde edilen ±% 5'lik dilime ulaşılabilmiştir. İlgili dilime, KOMPSAT-3A uydusunun kullanıldığı çalışmada dahil olmayan pankromatik bandı da dahildir. Çalışmanın sonuçları, Göktürk-2 ve Landsat 8'in bant karakteristiklerinin birbirine benzer olduğunu ortaya koymuştur. Bu durum iki uydunun optik kalitesinin devamı için iyi bir aralıkta bulunduğunu göstermektedir.

25 Mart 2015'te fırlatılan KOMPSAT-3A'nın çoklu-spektral görüntüsünün yörüngede radyometrik karakterizasyonu ve nicel radyometrik bilgi sağlanması, Yeom vd. (2017) tarafından yürütülmüştür. Çalışmada KOMPSAT-3A'nın dolaylı (vicarious) kalibrasyonu için hata analizi yapılmış ve % 6,8'den daha düşük bir hata ortaya çıkmıştır. KOMPSAT-3A'nın mavi, yeşil, kırmızı ve NIR bantları için gözlemlenen ve simüle edilen enerjiye ait R^2 değerlerinin 0.998'den büyük olduğu ortaya çıkmıştır. Laboratuvar kaynaklı BRDF düzeltme ile yüksek görüş açısı geometrisi durumunda iyileştirme oranı mavi bant için % 1,3 ve yeşil için % 1,2 şeklinde gerçekleşmiştir. Çalışmada birinci ve ikinci kampanyalar arasındaki hesaplanan kazanç oranı, % 5'ten daha düşük bir tutarsızlık göstermiştir. Bu durum, KOMPSAT-3A'nın belirlenen radyometrik özelliklerinin çalışmalar için güvenilir ve faydalı olduğunu göstermiştir.

MODIS yüzey yansıma verisinin kullanıldığı ve Spektral Bant Ayarlama Faktörü (SBAF)'nün görünür bantlar üzerinde hesaplandığı bir çalışmada, MODIS'e ait 552 nm ve 645 nm dalgaboyları kullanılarak SBAF verilerinin üretilmesiyle hesaplanan oran indeksi ve sensör temelli kuadratik denklem kullanılmıştır. Hesaplanan SBAF'ler, alan ölçeğinde literatürde bildirilen verilerle birlikte göreceli hatanın % 1'in altında olduğunu ve Hyperion-türetilmiş verilerin toplam belirsizliğinin 0,001 civarında çıkarak yerel ölçekte iyi bir uyum içinde olduğunu göstermiştir. MODIS yüzey yansıma veri tutarlılığını önemli ölçüde geliştirmiştir. Hesaplama, bitki örtüsü üzerindeki atmosferik etkiler düşünülerek de gerçekleştirilmiştir. MODIS SBAF'leri genellikle yoğun vejetatif alanlara göre % 1'den daha büyük olup, MODIS farklılıklarının göstergesi olan çöller ve çorak arazilerde 0,96-0,98 gibi aşırı derecede düşük bulunmuştur. Önerilen yöntem ile günlük MODIS verileri aracılığıyla karşılaştırılabilir bir mekânsal ölçekte devam eden SBAF verilerinin üretilebileceği tespit edilmiştir (Fan ve Liu 2018).

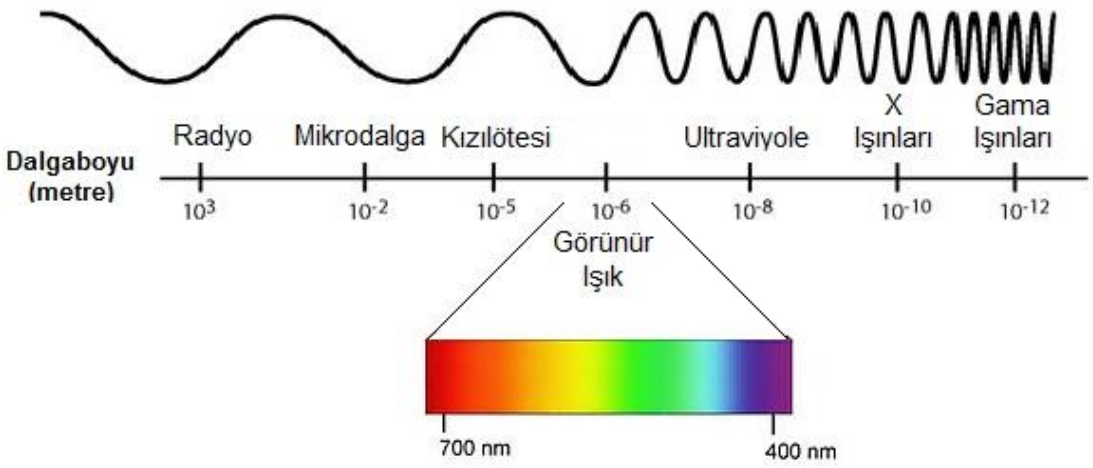
3. UZAKTAN ALGILAMADA KULLANILAN TANIMLAR, SİSTEMLER VE ÖZELLİKLERİ

3.1 Uzaktan Algılama

Uzaktan algılama, dünyanın yüzeyiyle ilgili fiziksel bir bağlantı olmadan yeryüzü ve yer kaynaklarının incelenmesine ve dünya hakkında bilgi edinilmesine olanak sağlayan bilimidir. Bu işlem yansıtılan veya yayılan enerjiyi algılayabilecek sensörler tarafından bu bilginin işlenerek analiz edilmesi ile gerçekleştirilir. Bu süreçte elde edilen tüm bilgiler, elektromanyetik tayfın birçok bölgesindeki elektromanyetik ışınım kullanılarak yansıyan/yayılan enerjinin algılanması ve analiz edilmesi ile sağlanır. Bir binanın yüksekliğinin veya bir denizin derinliğinin tespit edilmesi gibi, birçok durumda uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak ilgili ölçüm yapılabilmektedir. Bu bakımdan uzaktan algılamada kullanılan veriler, kamera ve sensörler ile donanımlı hava araçları, drone, uçak ve uydulardan elde edilir.

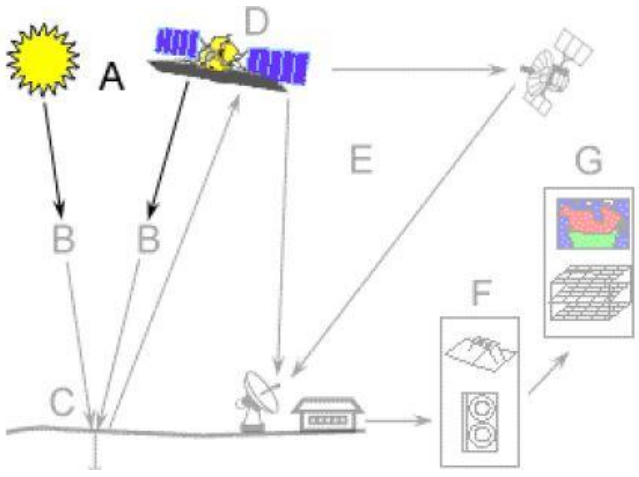
3.2 Elektromanyetik Tayf ve Görüntülerin Özellikleri

Elektromanyetik dalgaların kaydedilerek görüntüyü oluşturması, uzaktan algılama platformlarındaki sensörler aracılığıyla gerçekleştirilir. Elektromanyetik tayf, bu dalgaların kategorize edilmesi ile oluşmuştur. Elektromanyetik tayfın aralığı, x ve gama ışınlarını kapsayan kısa dalga boyu ile başlar, görünen ve kızılötesi ışık ile ilerleyerek mikrodalga ve TV/radyo dalgalarını içeren uzun dalgaboyu ile son bulur. Uzaktan algılamada, elektromanyetik tayf önem arz eden belirli bölgelere ayrılmıştır. Elektromanyetik tayfı kapsayan bölgeler; radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi (IR), görünür ışık (VL), morötesi (UV), X ışınları ve gama ışınlarından oluşmakta olup bölgelerin dalga boyu değerleri şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Elektromanyetik tayf (http://www.zamandayolculuk.com 1998)

Sensörler, hedeften yayılan enerjiyi analog sinyaller olarak kaydederler. Bu sürekli ve nümerik tarzdaki veri zamanla piksel olarak depolanan sayısal değerlere dönüşür. Uydu görüntüleri, algılayıcı teçhizat veya dalga boyu uzunluğuna bakılmaksızın, elektromanyetik enerjinin analog bir şekilde kaydedilerek sayısal hale dönüştürülmesi kapsamında oluşmakta ve bilgisayarlar yardımıyla gösterilebilmektedir (Şekil 3.2). Uydu görüntüsü, uzaktan algılama bakımından coğrafi bir sahayı ifade etmekte olup bilgisayarlar açısından iki boyutlu bir vektör dizisidir. Yani her görüntü, satır ya da sütunlardan oluşur.



Şekil 3.2 Enerjinin yayılımı (https://www.nrcan.gc.ca 2002)

Uzaktan algılamada kullanılan temel işlemler, enerji kaynağı ile hedef arasındaki ilişkiye bağlı olarak yedi başlık altında incelenebilmektedir (https://www.nrcan.gc.ca 2002).

1. Aydınlatma ve enerji kaynağı

Uzaktan algılamanın ilk şartı, ilgilenilen hedefi aydınlatan veya elektromanyetik enerji sağlayan bir enerji kaynağına sahip olmasıdır.

2. Atmosfer ve yayılım

Enerji kaynağı, kaynaktan hedefe doğru ilerlerken, atmosfere temas eder ve etkileşime girer. Bu etkileşim, enerji hedeften sensöre doğru ilerledikçe ikinci kez gerçekleşir.

3. Yer yüzeyi faktörü

Enerji, atmosferi kullanarak hedefe ulaştığında, hedefin ve radyasyonun özelliklerine bağlı olarak hedefle etkileşime geçer.

4. Sensörün elektromanyetik enerjiyi toplaması

Hedef tarafından dağılan ve yansıyan elektromanyetik enerjiyi toplamak ve kaydetmek için bir sensöre ihtiyaç vardır.

5. Enerji verisinin gönderilmesi, alınması ve işlenmesi

Sensör tarafından kaydedilen enerji, çoğunlukla elektronik biçimde görüntü haline getirilmek üzere bir yer istasyonuna iletilir.

6. Değerlendirme, kıymetlendirme ve analiz

Hedef hakkında bilgi elde etmek için işlenmiş görüntü elektronik, sayısal veya görsel olarak yorumlanır.

7. Uygulama

Uzaktan algılama sürecinin sonunda elde edilen bilgiler, çeşitli alanlarda veya özel problemlerin çözümünde kullanılacak hale getirilir.

3.3 Çok Bantlı Görüntüler

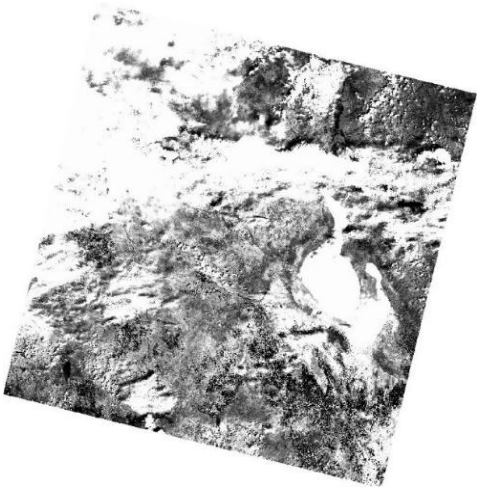
Günümüzde uydular birçok dalga boyunda enerjiyi ölçebilecek seviyededir. Farklı dalga boylarında çekilen görüntüler, her dalga boyu için görüntüyü kırmızı, yeşil veya mavi olarak görüntüleyerek kompozit görüntüler oluşturmak için birleştirilebilir. Bu kompozit görüntüler, yüzey özelliklerini tanımlamak için kullanılabilecek renk desenleri ile ifade edilir. Çok bantlı spektral görüntüleme ile kızılötesi gibi görünen ışık aralığının dışındaki frekanslardan gelen ışık yakalanabilir. Ayrıca insan gözünün (kırmızı, yeşil ve mavi için) reseptörler ile yakalayamadığı ek bilgilerin çıkarılmasına izin verilebilmektedir.

Bu tez çalışmasında, multispektral sensörlerin kalibrasyonu yapılacağından dolayı pankromatik ve multispektral görüntüler ele alınacaktır.

3.3.1 Pankromatik görüntüler

Tüm görüntüleme sensörleri, parlaklıktaki bir farkı algılamadan önce belli bir minimum ışık enerjisi miktarına ihtiyaç duyar. Görüntü sensörü, elektromanyetik spektrumun görünür kısmının büyük bir bölümünü kapsayan geniş bir dalga boyundaki ışığa duyarlı ise pankromatik görüntüler elde edilir.

Pankromatik görüntüler, siyah ve beyaz renkte tek bir banttan oluşur. Genel olarak birkaç yüz nanometre geniş bant aralığına sahiptir. Geniş bant aralığı, bu bandın gürültüye karşı yüksek bir sinyale sahip olmasına izin verir. Bu nedenle yüksek uzamsal çözünürlüğe sahip pankromatik görüntüler, uydu görüntülerinde sıklıkla kullanılır (Şekil 3.3).

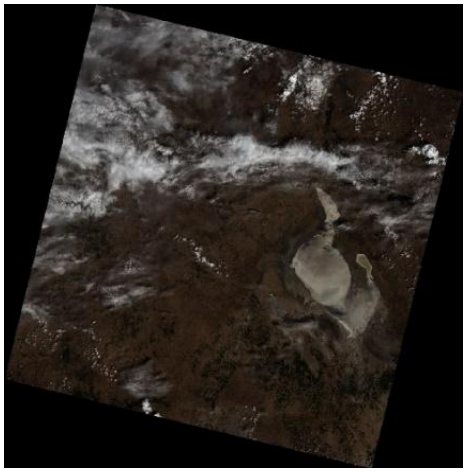


Şekil 3.3 Landsat 8 pankromatik görüntüsü (https://earthexplorer.usgs.gov 2018)

3.3.2 Multispektral görüntüler

Multispektral görüntüler, aynı sahnenin her birinin farklı bir sensörle çekildiği birkaç tek renkli görüntüden oluşurlar. Her görüntü bir bant olarak adlandırılır. Çoklu spektral veya çok bantlı bir görüntü, her biri farklı bir dalga boyuna duyarlı sensörle alınan kırmızı, yeşil ve mavi görüntüden oluşan RGB renkli bir görüntüdür. Uzaktan algılama uygulamalarının görüntü işleme safhasında multispektral görüntüler kullanılır (Fisher vd. 2003) (Şekil 3.4).

Multispektral bir görüntü, çeşitli veri gruplarından oluşur. Görüntünün her bir bandı tek seferde, bir bantlık gri skala görüntüsü olarak veya üç bandın kombinasyonu olan kompozit bir görüntü olarak halinde gösterilebilir. Kompozit bir görüntünün yorumlanması, ilgili hedeflerin spektral yansıma imza bilgisini gerektirmektedir. Bu durumda, görüntünün spektral bilgi içeriği yorumlamada kullanılmaktadır (Farooq 2018).



Şekil 3.4 Landsat 8 multispektral görüntüsü (https://earthexplorer.usgs.gov 2018)

3.4 Çözünürlük

Uzaktan algılanan uydu görüntülerini ifade ederken kullanılan çözünürlük kavramı, zamansal, radyometrik, spektral ve mekânsal olarak ayrılacak şekilde dört farklı çeşitte incelenir.

3.4.1 Mekânsal çözünürlük

Mekânsal çözünürlük, her bir pikselin yeryüzü üzerindeki bir sahayı veya sensörün en küçük hedefi ayırt etme yeteneğini temsil eden çözünürlük türüdür. Uydu görüntülerinde ayırt edilebilen en küçük nesnenin genişliği mekânsal çözünürlük ile ifade edilmektedir. Örneğin beş metrelik mekânsal çözünürlüğe sahip bir görüntü, tek bir pikselin yerdeki beş metre boyunca temsil ettiği bir alanı ölçmektedir. Dijital görüntü için görüntünün uzamsal çözünürlüğü, sensör özellikleri ve görüş alanı ile belirlenir (http://gsp.humboldt.edu 2014). Dolayısıyla sensörlerin sahip oldukları mekânsal çözünürlük, taşıdıkları ölçeğe ve anlık görüş sahasına bağlıdır.

3.4.2 Spektral çözünürlük

Uydu sensörlerinin elektromanyetik spektrumda belirli dalga boyu miktarı kapsamında gerçekleştirebildikleri kayıt, spektral çözünürlük olarak tarif edilmektedir. Başka bir deyişle spektral çözünürlük, her bir bant tarafından kapsanan dalga boyu aralığı olarak tanımlanır. Spektral çözünürlük bir sensörün kaç tane spektral bant kaydettiği bilgisini verir. Örneğin, Göktürk-2 uydusu toplam beş bant içermektedir. Uydu sensörleri ile toplanan enerjinin dalga boyu aralığı fazla ise spektral çözünürlük o derece düşük, az ise spektral çözünürlük o derece yüksektir. Örneğin Landsat 8, Göktürk-2'den daha yüksek bir spektral çözünürlüğe sahiptir.

3.4.3 Radyometrik çözünürlük

Radyometrik çözünürlük, bir uydu veya sensörün her bir bant için aldığı enerjiyi tanımlama kabiliyeti olarak ifade edilebilmektedir. Benzer şekilde uydu sensörlerinin parlaklık değişikliklerine olan hassasiyeti, radyometrik çözünürlük ile ifade edilmektedir. Radyometrik çözünürlük ne kadar büyükse sensörlerin ayırt edebileceği ve kaydedebileceği enerji yoğunlukları artar. Radyometrik çözünürlük, genel olarak her bir bant için bit sayısı olarak ifade edilir. Uzaktan algılamada sekiz bitlik veri (0 ile 255 arasında) yaygındır. Göktürk-2, 11 bit radyometrik çözünürlüğe sahip iken Landsat 8, 16 bit (seviye 1 ürünleri işlendiğinde) radyometrik çözünürlüğe sahiptir (http://gsp.humboldt.edu 2014).

3.4.4 Zamansal çözünürlük

Uydu görüntüleri, belirli zaman periyotlarında alınan anlık çekimlerden oluşur. Bir alanın çekimi için iki görüntünün edinimi arasında geçen süre zamansal çözünürlük olarak ifade edilmektedir. Bu, aynı zamanda dönüş zamanı ya da tekrar zamanı olarak da bilinir. Zamansal çözünürlük temel olarak uyduya bağlıdır. Uydular geri dönüş sürelerini kendileri belirler. Uydular için dönüş süresi yörüngesel karakteristiklere (düşük veya yüksek yörüngeye), eğim genişliğine ve sensör yapısına bağlıdır

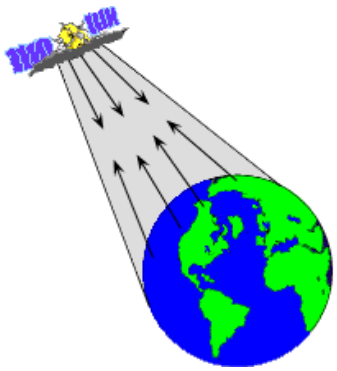
(http://gsp.humboldt.edu 2014). Her uydunun belirli hedef üzerinden geçiş zamanı farklıdır. Örneğin, Göktürk-2 ortalama 2,5 günlük geri dönüş süresine sahipken Landsat yaklaşık 16 günlük geri dönüş süresine sahiptir.

3.5 Sensör Sistemleri

Sensör sistemlerince kullanılan algılama esasları doğrultusunda, aktif ve pasif sensörler, işlevsel olarak kamera ve tarayıcı sistemler açısından çeşitlere ayrılırlar.

3.5.1 Aktif sensörler

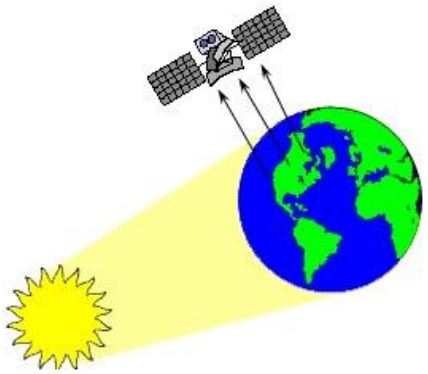
Aktif sensörler, aydınlatma için kendi enerji kaynaklarını sağlarlar. Bu sensörler, araştırılacak hedef doğrultusunda yönlendirilmiş ışınım yayarlar. Hedeften yansıyan ışınım, sensör tarafından algılanır ve ölçülür. Aktif sensörler için en büyük avantaj, günün veya mevsimin zamanına bakılmaksızın her zaman ölçüm alma yeteneğine sahip olmasıdır. Bu sensörler, güneş tarafından yeterince sağlanmamış dalga boylarını incelemek veya bir hedefin aydınlanma şeklini daha iyi kontrol etmek için kullanılabilirler. Bununla birlikte aktif sistemler, hedefleri yeterince aydınlatmak için oldukça büyük miktarda enerjinin üretilmesini gerektirir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Aktif sensörler ile ışınımın yayılması (https://www.nrcan.gc.ca 2002)

3.5.2 Pasif sensörler

Güneş, uzaktan algılama için çok uygun bir enerji kaynağı sağlar. Doğal olarak mevcut olan güneş enerjisini ölçen uzaktan algılama sistemleri, pasif sensörler olarak adlandırılır. Yansıtılan enerjinin tamamını algılama aşaması, gece güneşten yansıyan enerjinin bulunmamasından dolayı güneşin dünyayı aydınlattığı zaman gerçekleşebilir. Doğal olarak yayılan enerji, enerji miktarı kaydedilebilecek kadar büyük olduğu sürece gündüz veya gece algılanabilir (Şekil 3.6).



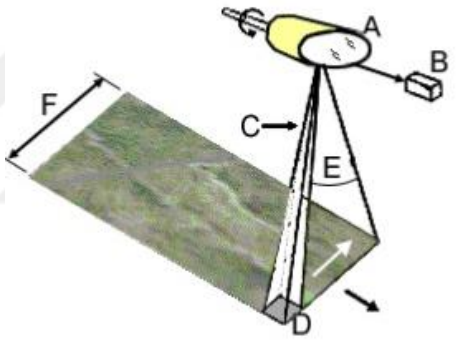
Şekil 3.6 Pasif sensörler ile güneş enerjisinin algılanması (https://www.nrcan.gc.ca 2002)

3.6 Tarayıcı Sistemler

Tarama sistemleri, uçak ve uydu platformlarında kullanılan benzer çalışma prensiplerine sahip sistemlerdir. Birçok elektronik uzaktan algılayıcı, yüzeyin iki boyutlu bir görüntüsünü oluşturmak için araziyi süpüren dar görüş alanlı bir sensörü kullanan tarama sistemleri ile veri alırlar. Çeşitli farklı dalga boyu aralıklarında veri toplamak için kullanılan tarama sistemine multispektral tarayıcı denir ve en sık kullanılan tarama sistemidir. Çalıştığı ve kullanıldığı yönteme göre ifade edilen tarayıcı sistemler; çapraz, boyuna ve dairesel tarama yapan tarayıcılar şeklinde ifade edilmektedir.

3.6.1 Çapraz tarama (Across-track) yapan tarayıcılar

Çapraz tarama yapan tarayıcılar dünyayı bir dizi satırda tararlar. Tarama çizgileri, sensör platformunun hareket yönüne dik olarak (şerit boyunca) yönlendirilir. Her bir çizgi, döner ayna (A) kullanılarak sensörün bir tarafından diğerine taranır. Platform, dünya üzerinde ilerledikçe ardışık taramalar dünya yüzeyinin iki boyutlu bir görüntüsünü oluşturur. Gelen, yansıtılan veya yayılan ışınım bağımsız olarak algılanan birkaç spektral bileşene ayrılır. Mor ötesi, görünür, yakın kızılötesi ve termal ışınım detektörü, kendini oluşturan dalga boylarına duyarlıdır. Her biri belli bir dalga boyu aralığına duyarlı bir iç sensör bloğu, her spektral bandın enerjisini algılayıp ölçerek bir elektrik sinyali olarak dijital verilere dönüştürür. Sonraki adımda dijital veriler bilgisayar işlemi için kaydedilir (Şekil 3.7).



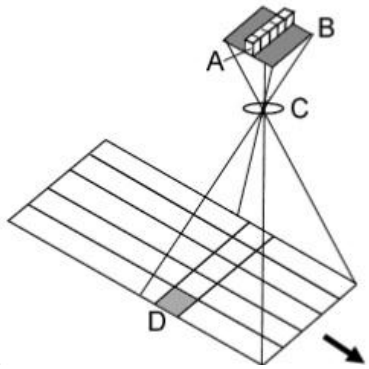
Şekil 3.7 Çapraz tarama yapan tarayıcı (https://www.nrcan.gc.ca 2002)

Sensörün IFOV (Instantaneous Field of View)'u ve platformun yüksekliği, görülen yerin çözünürlük hücresi ve dolayısıyla mekânsal çözünürlüğü belirlemektedir. Açısal görüş alanı, bir tarama çizgisini kaydetmek için kullanılan derece cinsinden ölçülen aynanın taramasıdır ve görüntüleme şeridi genişliğini belirlemektedir. Hava tarayıcıları genellikle yüksek açılardan geniş bir bölgeyi kapsamak için oldukça küçük açılardan (10-20º) süpürme ihtiyacı duyan uydular iken büyük açılarla (90º ila 120º arasında) süpürürler. Sensörden hedefe olan mesafe, kuşağın kenarlarına doğru arttığı için yerden çözünürlük hücreleri daha büyür ve görüntülere geometrik çarpıtmalar getirir. Ayrıca IFOV'un döner aynanın taradığı (yerleşik zaman adı verilen) bir zeminin çözünürlük

hücresini gördüğü süre genellikle oldukça kısadır ve sensörün mekânsal, spektral ve radyometrik çözünürlüğünün tasarımını etkilemektedir.

3.6.2 Boyuna tarama (Along-track) yapan tarayıcılar

Boyuna tarama yapan tarayıcılar, ardışık tarama çizgilerini kaydetmek ve uçuş yönüne dikey olarak iki boyutlu bir görüntü oluşturmak için platformun ileri hareketini kullanmaktadırlar. Bununla birlikte, tarama ayna yerine uçuş izi yönünde kullanılan itki lens sistemleri tarafından yapılır. Bu sistemler, oluşturulan görüntünün odak düzleminde bulunan bir doğrusal sensör dizisi kullanırlar. Sensör dizisinin hareketi, bir zemin boyunca itilen bir süpürgenin kıllarıyla benzer olduğu için bu sistemler aynı zamanda süpürçek tarayıcı olarak da adlandırılırlar. Her bir sensör, bir zemin çözünürlüklü hücrenin enerjisini ölçerek sensörlerin boyutu ve IFOV sisteminin mekânsal çözünürlüğü belirlenir. Her bir spektral bant veya kanalı ölçmek için ayrı bir doğrusal dizi gerekir. Her tarama hattı için her bir doğrusal dizinin her sensörü tarafından tespit edilen enerji elektronik olarak örneklenir ve sayısal olarak kaydedilir (Şekil 3.8).



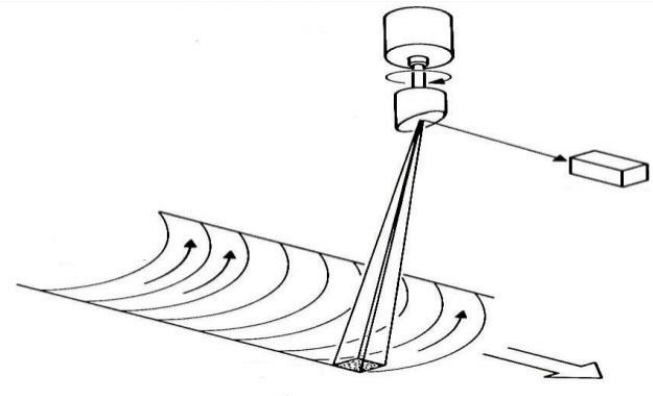
Şekil 3.8 Boyuna tarama yapan tarayıcı (https://www.nrcan.gc.ca 2002)

Doğrusal dizilere sahip tek yönlü tarayıcılar, yol boyunca aynalı tarayıcılara göre birçok avantaja sahiptir. Vurunum hareketi ile bir araya getirilen sensörler, her sensörün her çözünürlük hücresinden gelen enerjiyi daha uzun süre bekleme süresi ile ölçmesine izin verir. Bu durum, daha fazla enerjinin algılanmasını sağlayarak radyometrik

çözünürlüğün artırılmasını sağlar. Artan bekleme süresi, her sensör için daha küçük IFOV'ları ve daha dar bant genişliklerini elde etmeyi kolaylaştırır. Böylece, radyometrik çözünürlüğü etkilemeden daha hassas mekânsal ve spektral çözünürlük elde edilebilir. Genellikle sensörler katı halli mikroelektronik cihazlar olduklarından küçük, hafif, az güç gerektirirler aynı zamanda hareketli parçaları olmadığından daha güvenilirdirler. Öte yandan dizi boyunca tekdüze hassasiyet elde etmek için binlerce sensörün çapraz kalibre edilmesi gerekli ve karmaşık olmaktadır.

3.6.3 Dairesel tarama (Circular) yapan tarayıcılar

Dairesel tarama yapan tarayıcılar, yatay eksene dik bir entegre ayna ve motor aracılığı ile sahayı dairesel şekilde süpürerek görüntülenmesini sağlarlar. Bununla birlikte sistemin ön tarafındaki bilgiler kaydedilerek görüntüler hazırlanabilir. Saha ile arasındaki uzaklığa bağlı olarak şekillenen yerde belirli bölgelerde çözümlenen hücrelerin benzer boyutlarda olmasını sağlaması tarayıcının bir avantajı iken sensör sisteminin doğrusal veri yapısına göre tasarlanması nedeni ile görüntünün çıkış aşamasından öncesinde yenileme işlemini fazla sayıda gerektirmesi gibi dezavantajı da vardır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Dairesel tarama yapan tarayıcı (Meena 2013)

3.7 Uydu Yörüngeleri

Bir uydunun izlediği yola yörünge adı verilir. Uydu yörüngeleri, taşıdıkları sensörlerin kapasitesi ve hedefi ile belirlenir. Uyduların yörünge seçimi, dünya yüzeyinin yerden yüksekliğine göre rotasyon açısından farklılık gösterebilir. Çok yüksek rakımlarda bulunan dünyanın yüzeyinin aynı bölümünü her zaman gören uydular sabit yörüngelere sahiptir. Yaklaşık 36.000 km'lik yükseklikteki bu uydular dünyanın dönüşüne uyan ve dünyanın yüzeyine göre durağan hızlarda dönmektedir. Bu durum, uyduların belirli alanlar üzerinde sürekli olarak bilgi toplamasına imkân verir. Yer gözlem ve haberleşme uydularının bu tür yörüngeleri vardır. Yüksek irtifalarından dolayı bazı durgun hava uyduları, dünyanın bir yarımküresini kapsayan hava ve bulut modellerini izleyebilirler. Çoğu uzaktan algılama platformu, dünyanın rotasyonu (batı-doğu) ile bağlantılı olarak belirli bir süre boyunca dünyanın yüzeyinin çoğunu kapatabilmesini sağlayan bir yörüngeyi (temel olarak kuzey-güney) takip edecek şekilde tasarlanmıştır. Bunlar, kuzey ve güney arasında uzanan bir çizgiye göre yörüngede eğim olarak adlandırılan yakın kutupsal yörüngelerdir. Bu uydu yörüngelerinin birçoğu güneş senkronu olup yerel güneş saati diye adlandırılırlar ve yerel bir saatte dünyanın her bölgesini kaplarlar. Herhangi bir enlemde aynı anda geçen uyduya ait hava koşullarında olduğu gibi gökyüzündeki güneşin konumu da aynı sezonda aynı olacaktır. Bu durum, arka arkaya yıllar boyunca belirli bir sezonda veya bir dizi gün boyunca belirli bir alanda görüntü elde ederken tutarlı aydınlanma koşulları sağlar.

Günümüzde uzaktan algılanan uydu platformlarının çoğu yakın kutup yörüngelerinde bulunmaktadır. Bu durum uydunun dünyanın bir yarısında kuzeye doğru ve ardından yörüngesinin ikinci yarısında güney kutbuna doğru ilerlediği anlamına gelmektedir. Bunlara sırasıyla artan ve azalan geçişler denir. Aynı zamanda, yörünge senkronize değilse artan geçiş dünyanın gölgeli tarafında ve azalan geçiş ise güneş ışınlı taraftadır. Yansıyan güneş enerjisini kaydeden sensörler yalnızca güneş aydınlatması olduğunda inen bir geçişte yüzeyi görüntülerler. Kendi aydınlatmasını sağlayan aktif sensörler veya yayılan radyasyonu kaydeden pasif sensörler, yüzeyin artan geçişlerde de görüntülendiğini görebilirler.

Bir uydu, dünyanın etrafında dönerken sensör dünyanın yüzeyinin belirli bir bölümünü görür. Görüntülediği alan şerit olarak adlandırılır. Uzay kaynaklı sensörler için görüntüleme aralıkları genellikle onlarca ve yüzlerce kilometre arasında değişir. Uydu, yeryüzünü kutuptan kutba doğru tarayacak şekilde yörüngede döndüğünden dolayı doğu-batı konumu dünyanın dönmesi ile değişmez. Bununla birlikte dünyadan görüldüğü gibi uydu aşağıya doğru kaymaktadır. Bu belirgin hareket, uydu bitiş çizgisinin her ardışık geçişle yeni bir alanı kaplamasına olanak tanır. Uydu yörüngesi ve dünyanın dönüşü, kendi yörüngeleri doğrultusunda bir kez tamamlandıktan sonra dünyanın yüzeyinin tam olarak kapsamasına imkân verecek şekilde birlikte çalışır.

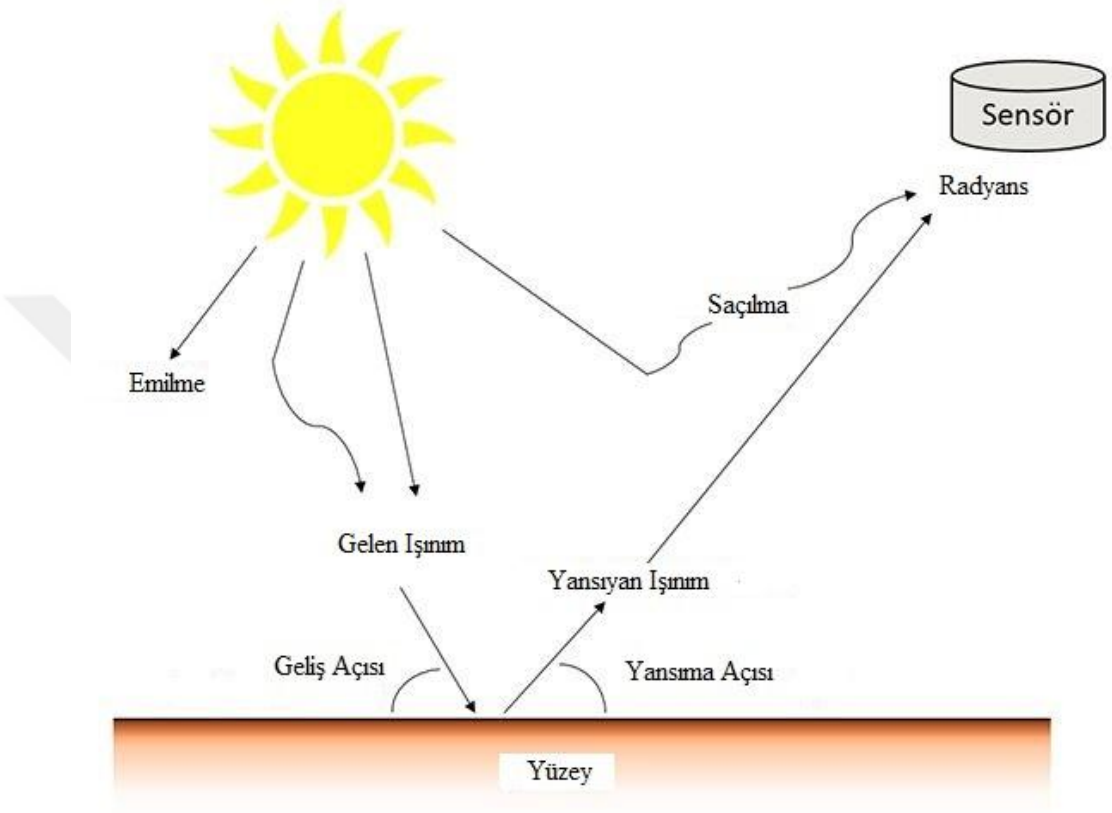
Bir uydunun yörüngesinde rastgele seçilmiş bir geçiş ile başlanır ise yoldan geçtiğinde yörünge döngüsü tamamlanır ve ikinci kez uydu yüzeyinin hemen altında dünya yüzeyindeki aynı noktanın üzerinden geçer. Yörünge çevriminin tam süresi her uyduya göre değişir. Uydunun yörünge çevrimini tamamlaması için gereken zaman aralığı tekrar ziyaret periyodu ile aynı değildir. Yeniden gözden geçirme süresi, özellikle sık görüntüleme gerektiren bir görüntü dizisi izleme uygulaması için önemli bir husustur. Yakın kutup yörüngelerinde ve yüksek enlemlerde olan alanlar, yörünge yolları kutupların yakınında birbirine yaklaştıkça bitişik kuşaklardaki artan çakışmaya bağlı olarak ekvatoral bölgeden daha sık görüntülenmektedir.

3.8 Radyometrik ve Geometrik Kalibrasyon

3.8.1 Radyometrik düzeltme ve radyometrik kalibrasyon

Bir sensör, uydu görüntüsüne ait her bir piksel için elektromanyetik radyasyonun yoğunluğunu bir sayısal değer olarak kaydeder. Uydu görüntülerinin sayısal değerlerinden kaynaklı hataları azaltmak veya düzeltmek için radyometrik düzeltme yapılır. Bu süreç uzaktan algılanan verilerin yorumlanabilirliğini ve kalitesini geliştirir. Bu sayısal değerlerin ışıma veya yansıma gibi daha anlamlı gerçek birimlere dönüştürülmesine radyometrik kalibrasyon denir. Kalibrasyonu gerçekleştirmek için sensöre ait özel bilgiler gerekmektedir. Radyometrik kalibrasyon ve düzeltme, veri

setlerini çoklu zaman periyotları ile karşılaştırırken özellikle önemlidir. Uydulardaki sensörlerin enerjileri, zemin yüzeyden yayılan veya yansıyan gerçek enerjiden farklı olabilir. Bu durum enerjiye etki edebilecek olan yükseklik, atmosferik koşullar ve güneşin güney açısından kaynaklanır. Bu nedenle yerin gerçek irradyansı veya yansımasını elde etmek için radyometrik hatalar düzeltilmelidir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 Güneş'ten gelen ışınların dağılımı (http://gsp.humboldt.edu 2014)

Sensör tarafından algılanan parlaklık, dünya yüzeyinden yansıyan radyasyonun yanısıra atmosferde dağılmış radyasyonu da içerir. Bu saçılma (Rayleigh saçılması), kısa dalga boylarında daha belirgindir. Uzaktan algılama amaçlı çalışmalarda kullanılan algılayıcıların radyometrik kalibrasyonu, verilerin güvenirliliğini ve devamlılığını sağlamak adına önemli bir işlemdir. Radyometrik kalibrasyon ile elde edilen görüntü, standart ölçekte tanımlanarak diğer algılayıcılardan alınan görüntülerle karşılaştırılabilir seviyeye gelmektedir.

Uydu üzerinde bulunan kameraların kalibrasyonları, genellikle fırlatma öncesinde (pre-flight) gerçekleştirilir ancak görüntülerin kendi içlerinde tutarlı olabilmeleri için

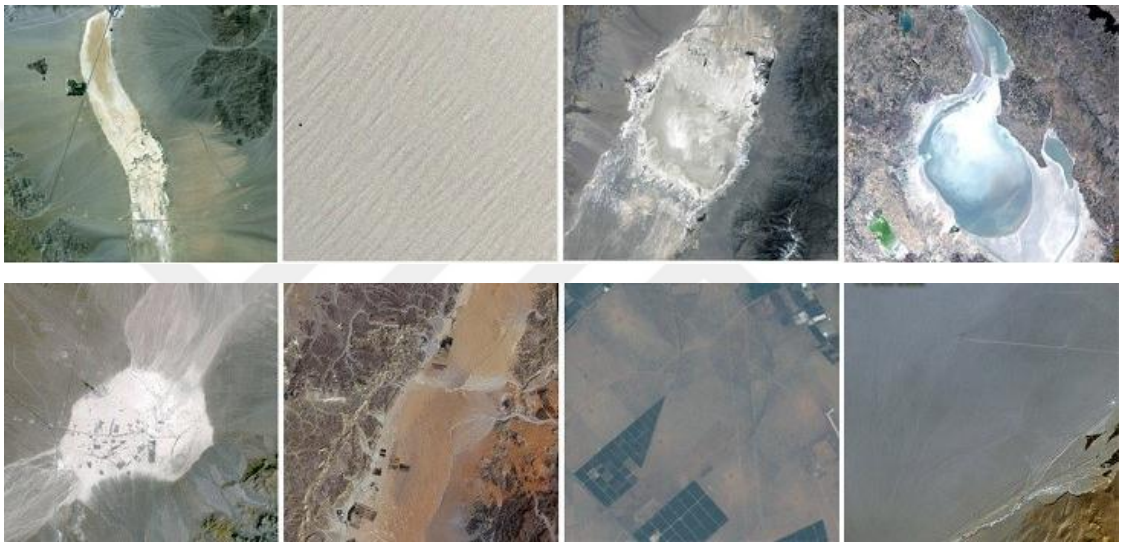
yörüngedeyken de (on-orbit) radyometrik kalibrasyon işleminin yapılması gerekmektedir. Çünkü kamera elektroniği, optiği ve sensörler zaman içerisinde değişime/kaymalara uğrayabilirler.

Kalibrasyon/doğrulama konusunda çalışan araştırmacıların radyometrik kalibrasyona uygun test alanlarının seçimi için belirlemiş oldukları ölçütler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Scott vd. 1996, Thome 2002, Morain ve Budge 2004, Teillet vd. 2007).

- Yüksek yansıma, yüksek sinyal gürültü oranına neden olur ve bütünde doğruluğu arttırır.
- Alanın büyük ve uzamsal homojenliğe sahip olması, yansıma değerlerinin ihtiyaç duyulan alana genelleştirilmesinde hata payını minimuma indirir.
- Alanının spektral homojenliği kalibrasyon işlemini kolaylaştırır.
- Zamansal homojenlik kalibrasyon işlemini kolaylaştırır.
- Alanda spektral ve zamansal homojenliğin korunması için bitki örtüsü olmamalı veya az olmalıdır.
- Yüksek rakımlı alan, aerosoldan kaynaklanan hataları azaltmaktadır.
- Alanın lambert yüzeye sahip olması, farklı güneş ve bakış açılarından kaynaklı hataları azaltmasından dolayı tercih sebebidir.
- Bulutsuz gün sayısının yüksek olma olasılığı, kalibrasyon çalışması için daha fazla zaman sağlamaktadır.
- Yoğun nüfuslu yerleşim yerlerinin ve endüstriyel tesislerin test alanından uzak mesafede olması, antropojenik aerosollerin etkisini azaltır.
- Denizden veya büyük su kütlelerinden uzak bir alanda atmosferik su buharının etkisi azalır.
- Test alanının geniş olması, çevreden gelebilecek istenmeyen saçılmaların etkisini azaltır.
- Alana ulaşımın kolay olması bir avantajdır.

Yer ölçümlerinin, ölçüm cihazları ile düzenli olarak yapıldığı ve uydu kalibrasyonunun gerçekleştirildiği kalibrasyon sahaları belirlenmiştir. Bu sahalar, LANDNET sahaları

olarak isimlendirilmiştir. LANDNET sahaları, CEOS (Committee on Earth Observation Satellites)'un referans test sahaları olarak değerlendirilmektedir. CEOS tarafından kabul görmüş radyometrik kalibrasyon sahaları şekil 3.11'de gösterilmektedir. Tuz Gölü, bu grupta yer almış ve ülkemizde yer alan tek radyometrik kalibrasyon test sahası olmuştur (Teke vd. 2016). Bu kapsamda, çeşitli uyduların radyometrik kalibrasyonu Tuz Gölü'nde ilk defa (ESA desteği ile) CONTROLS Projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir (Özen vd. 2010).



Şekil 3.11 Radyometrik kalibrasyon test sahaları (https://lta.cr.usgs.gov 2015)

3.8.1.1 Mutlak radyometrik kalibrasyon

Mutlak radyometrik kalibrasyon, uydu kamerasının tüm sensörlerin ortalamasının bir referansa göre düzeltilmesi işlemidir. Optik yer gözlem uydusu görüntülerindeki sayısal değerler ile yersel spektral ölçümler ile toplanan yer parlaklık değeri, mutlak radyometrik kalibrasyon işlemi ile ilişkilendirilir. Mutlak radyometrik kalibrasyon, her bir bant için pikseller arasında homojen olmayan piksel cevabını görüntülemek için uygulanır. Spektral bilgi gerektiren çalışmalarda uyduların mutlak radyometrik kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmelidir.

Ham uydu görüntüleri sayısal değerlerden (DN) oluşur. Uydu görüntülerine yansıyan atmosferik etki, mutlak radyometrik kalibrasyon ile değerlendirilerek görüntüden toplanan sayısal değerler ile ışıma değerleri ilişkilendirilir. Sayısal değerler kullanılarak gerçekleştirilen kalibrasyon işlemi ile bilimsel analiz için gerekli olan fiziksel değerler sağlanır. İlgili değerler ile algılayıcıda spektral ışıma kalibrasyonu yapılarak çoklu sensör ve platformlardaki görüntü verisi, ortak ve fiziksel olarak anlamlı bir radyometrik skalaya dönüştürülür. Yani, radyometrik kalibrasyon aracılığı ile sayısal değerler ve atmosfer üstü ışıma değerleri kullanılarak sensörün kalibrasyonu gerçekleştirilir.

Mutlak radyometrik kalibrasyon için uydunun istenilen bölgedeki hedefi çektiği zamanın önce ve sonrasında yersel spektral ölçümler alınır. Geometrik koşullar sınıfında olan uydu ve güneşin dünyaya göre bakış açıları (azimut ve zenit açıları), güneş ışınını modelleyen atmosferik simülatörde kullanılan parametrelerdendir. Atmosferik simülatöre girdi sağlamak üzere güneş fotometresinden ve meteoroloji istasyonundan toplanan veriler hesaba katılarak uydu üzerinde bulunan sensöre giden ışıma değeri hesaplanır. Bu değer, sensörden alınan sayısal değer ile karşılaştırılarak, (3.1) denklemi ile ifade edilen kalibrasyon katsayıları (kazanç ve öteleme) elde edilir (Demirhan 2016).

$$\text{Işıma} = \text{Sayısal Değer (DN)} * \text{Kazanç} + \text{Öteleme} \tag{3.1}$$

AÜ yansıma, görüntüler arası varyasyonları azaltmak için sensördeki spektral ışıma olarak bilinen ışıma kalibreli veriden dönüştürülür. Farklı sensörlerden gelen görüntüleri kıyaslarken sensördeki spektral ışıma yerine AÜ yansıma oranını kullanmanın çeşitli avantajları vardır (Haque vd. 2010). AÜ yansıma, zaman farkından dolayı güneşin farklı zenit açılarındaki kosinüs etkisini ortadan kaldırır, spektral bant farklılıklarından kaynaklanan atmosferik güneş irradyansının farklı değerlerini karşılar ve farklı veri edinim tarihleri gözetilerek dünya-güneş mesafesindeki değişime göre düzenlenir. Bu varyasyonlar coğrafi ve zamansal olarak önemlidir.

Atmosfer üstü yansıma hesabı aşağıda belirtilen (3.2) formülü ile ifade edilmiştir.

$$\rho_\lambda = \frac{\pi * L_\lambda * d^2}{E_{SUN_\lambda} * \cos\theta} \quad (3.2)$$

E_{SUN_λ}: = Birim zamanda yer yüzeyinin birim alanına gelen enerji (Birim ışıma)
L_λ = Spektral ışıma
d: = Dünya güneş arası mesafe
θ: = Güneşin dikey ile yaptığı açı
ρ_λ: = Atmosfer üstündeki yansıma

2009 ve 2010 yıllarında Tuz Gölü'nde gerçekleştirilen bir çalışmada, yansıma tabanlı yöntemlerden olan algılayıcıların yer-tabanlı kalibrasyonu olarak da tanımlanan mutlak radyometrik kalibrasyon tekniği uygulanmıştır. Söz konusu bu teknikte, optik algılayıcıların AÜ ışımayı hesaplamak için uydunun geçiş anında spektroradyometre ile test alanınından ölçülen yüzey yansıma verileri ve atmosferik parametreler kullanılmıştır. Sensördeki AÜ ışıma, atmosferik simülatör kullanılarak hesaplanmıştır. Algılayıcıdan alınan sayısal değerler ve AÜ ışıma, radyometrik kalibrasyon parametreleri olan kazanç ve öteleme değerlerini hesaplamak için kullanılmıştır (Özen vd. 2012). Bu çalışma, ülkemizde bu alanda yapılan ilk çalışma olması nedeniyle önemlidir.

3.8.1.2 Çapraz radyometrik kalibrasyon ve SBAF yöntemi

Benzer atmosferik şartlar altında olan ve eş zamanlı çekilen uydu görüntülerinin kullanılması, fotonların yansıması sonucu meydana gelen farkı azaltır. Bant genişliği birbirine yakın olan uydu sensörlerinin yakın zaman aralığında ve düzenli periyotlar ile kendi aralarında gerçekleştirilen radyometrik kalibrasyon türüne çapraz radyometrik kalibrasyon denir. Kalibrasyonu yapılan ve doğrulama için kullanılan her iki uydu için atmosfer üstü yansıma değeri, çapraz radyometrik kalibrasyon için kullanılmakta olup (3.2) numaralı eşitlik ile bulunmaktadır. Landsat 8, düzenli olarak kalibrasyonu gerçekleştirilen ve yer gözlem çalışmaları için kullanılan bir uydu olduğundan, çapraz radyometrik kalibrasyon çalışmasında sıklıkla kullanılmaktadır (Chander vd. 2004).

Tuz Gölü'nün yansıması görüş açısından bağımsız olduğu için her iki uydunun AÜ yansımaları eşitlenerek (3.3) eşitliği ile elde edilir. İki yönlü yansıma dağılım fonksiyonunun (BRDF) etkileri ihmal edilmiştir (Teke vd. 2016).

$$\frac{L_{GK2}}{Esun_{GK2} * cosQ_{GK2}} = \frac{L_{L8}}{Esun_{L8} * cosQ_{L8}} \tag{3.3}$$

Göktürk-2 uydusunun sensördeki ışıma değerine ulaşmak için Landsat 8 uydusunun her bir bandına yönelik elde edilen ışıma değeri (3.4) kullanılır.

$$L_{GK2} = L_{L8} * \frac{cosQ_{GK2}}{cosQ_{L8}} * \frac{Esun_{GK2}}{Esun_{L8}} \tag{3.4}$$

Teke vd. (2016) çalışmalarında, Göktürk-2'nin sayısal değeri ile Landsat 8'in yüzey yansıma ve ışıma değerleri, Tuz Gölü'nün kıyısındaki havuz bölgesinden örnekleme alınarak yapılmış ve L_{GK2} değerini elde etmek amacıyla kullanılmıştır. Eşitlik (3.1)'de öteleme değeri sıfır alındığı taktirde kazanca ve sayısal değere ait ifadenin aşağıdaki formda (3.5) olduğu görülmüştür.

$$\text{Işıma} = \text{Sayısal Değer (DN)} * \text{Kazanç} \tag{3.5}$$

Eşitlik (3.5) aracılığıyla hesaplanan ifadenin kazanç değerini doğrulamak üzere AÜ yansıma eşitliği kullanılarak her banda ait orta dalga boyuna (FWHM) düşen güneşten gelen aydınlanma/ışınım değerleri (E_{SUN}) kullanılır. Göktürk-2 ve Landsat 8 uydusuna ait dalga boyu bilgileri, E_{SUN} ve FWHM değerleri çizelge 3.1-3.2'de verilmektedir (Teke vd. 2016).

Çizelge 3.1 Göktürk-2 spektral bilgileri

Bant	Dalgaboyu (nm)	Merkez Dalgaboyu	FWHM (nm)	E_{SUN}
Pankromatik	0.450 - 0.900	675	300	1499
Mavi	0.450 – 0.520	485	74	1979
Yeşil	0.520 – 0.600	560	73	1857
Kırmızı	0.630 – 0.690	660	133	1558
NIR	0.760 – 0.900	830	117	1056

Çizelge 3.2 Landsat 8 spektral bilgileri

Bant	Dalgaboyu (nm)	Merkez Dalgaboyu	FWHM (nm)	E_{SUN}
Pankromatik	0.500 - 0.680	592	180	1794
Mavi	0.450 – 0.515	482	60	2043
Yeşil	0.525 – 0.600	561	57	1863
Kırmızı	0.630 – 0.680	654	37	1543
NIR	0.845 – 0.885	864	28	980

Uydular için en temel yaklaşım görünür bantları gözlemlemek olmasına rağmen, sensör aktivitesi ile sensörün aynı bandındaki filtre geçirgenlikleri tüm uydular için farklıdır. Bu nedenle uyduların sensörlerine ait bağıl spektral tepkisinden (RSR) kaynaklanan farklılıklar düzeltilmelidir. SBAF yöntemi ile bu farklar azaltılır ve çapraz radyometrik kalibrasyon gerçekleştirilir.

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. SBAF yöntemi ile kalibrasyonu yapılan uyduların sensör yapısı birbirleri ile dengelenir. Her iki uydunun sensöründeki bantlara ait spektral aralıklar dikkate alınarak bantlar arası farklılıktan kaynaklı bozulma ve etkiler giderilir.

Bir çalışmada, sensörler arasında daha doğru çapraz kalibrasyonu sağlamak için multispektral sensörlerin spektral yapı farklılıklarını düzenleme ihtiyacından bahsedilmiştir. Çalışmada, 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 gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda SBAF yöntemi uygulanmıştır (Chander vd. 2013). SBAF, (3.6) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

$$\overline{\rho_\lambda} = \frac{\int \rho_\lambda \times RSR_\lambda d\lambda}{\int RSR_\lambda d\lambda}$$

$$SBAF = \frac{\overline{\rho_\lambda}(A)}{\overline{\rho_\lambda}(B)} \qquad (3.6)$$

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

RSR_λ = Sensörün bağıl spektral tepkisi
ρ_λ = Hiperspektral AÜ yansıma imzası
$\overline{\rho_\lambda}(A)$ = A sensörü için simüle edilmiş AÜ yansıma
$\overline{\rho_\lambda}(B)$ = B sensörü için simüle edilmiş AÜ yansıma
$\overline{\rho_\lambda}(A^*)$ = SBAF kullanarak A sensörü için kompanse edilmiş AÜ yansıma

3.8.2 Geometrik bozulma ve geometrik kalibrasyon

3.8.2.1 Görüntülerde geometrik bozulma

Uzaktan algılama görüntüsü, bir uydudaki sensör kombinasyonunun multispektral tarama ile edinilip edinilmediğine bakılmaksızın çeşitli geometrik bozulmalara sahiptir. Bu problem, uzaktan algılamaya özgüdür ve dünyanın üç boyutlu yüzeyinin iki boyutlu bir görüntü olarak doğru bir şekilde temsil etmeye çalışılmasından kaynaklanmaktadır. Tüm uzaktan algılama görüntüleri, verilerin alındığı şekle bağlı olacak bir şekilde geometrik bozulmalara maruz kalırlar. Bu hatalar çeşitli faktörlere bağlıdır (https://www.nrcan.gc.ca 2002).

- Sensör optiğinin bakış açısı
- Arazi yüzeyi değişimi
- Tarayıcı sistemin hareketi
- Dünyanın eğriliği ve dönüşü
- Uydunun yörüngedeki hareketi ve istikrarı
- Uydunun yerden yüksekliği, davranışı ve hızı

Düşey hava fotoğraflarındaki birincil geometrik bozulma, arazi yüzey değişiminden kaynaklanmaktadır. Kamera merceğinin altındaki nesnelerin yalnızca üstleri görünür olurken diğer tüm nesneler fotoğrafın merkezinden uzanarak görünür. Nesnelerin boyu yüksekse veya fotoğrafın merkezinden uzak ise bozulma ve konum hatası daha büyük olur.

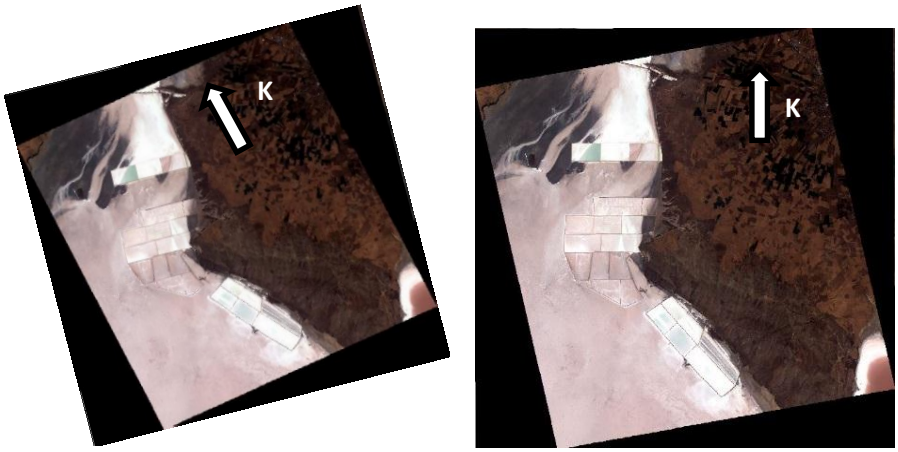
Dört yollu tarayıcı görüntüsünün geometrisi, her tarayıcı hattı doğrultusunda çekilen bir hava fotoğrafı ile benzer olup her detektör aslında her bir çözünürlük hücresinin anlık görüntüsünü almaktadır. Çizgiler arasındaki geometrik değişiklikler, platform irtifasındaki rastgele değişikliklerden ve uçuş yönündeki yaklaşımdan kaynaklanır. Uydular yörüngesinde dönerken dünyanın doğudan batıya doğru dönüşü, her bir önceki taramanın ufak bir alanını kapsayacak şekilde tarama sistemlerine göre süpürmesine neden olur. Bu eğrilik bozulması olarak bilinir ve multispektral tarayıcılardan elde edilen görüntülerde yaygın görülür. Geometrik bozulma ve konumsal hata kaynakları, her duruma göre değişir ancak uzaktan algılama görüntülerinin birçoğunda mevcuttur. Çeşitli yöntemler ile bu hatalar ortadan kaldırabilir veya azaltılabilir.

3.8.2.2 Uydularda geometrik kalibrasyon

Uyduların geometrik kalibrasyonu, uydu görüntülerinde oluşan konumsal belirsizlikleri ve hataları gidererek görüntüden daha hassas koordinat bilgisi elde etmek amacıyla gerçekleştirilir. Uydu görüntülerinin geometrik açıdan değerlendirilmesi, görüntülerden konuma bağlı bilgi üretilmesi amacıyla yapılmaktadır. Görüntülerden konuma bağlı olarak üretilebilecek bilgiler şu şekildedir.

1. Görüntülerdeki sistematik geometrik hataların giderilmesi,
2. Görüntülerin, bir yer/harita koordinat sistemi ile ilişkilendirilerek konum doğruluğunun belirlenmesi,
3. Stereo görüntülerden 3B konum bilgisi üretilmesi,
4. SYM (Sayısal yükseklik modeli) üretilmesi,
5. Ortogörüntü üretimi ve doğruluğunun belirlenmesi,
6. Pansharp görüntü üretimi ve kalitesinin belirlenmesi,
7. Görüntülerin gerçek geometrik çözünürlüğünün belirlenmesi,
8. Görüntülerden nesne tanıma ve tanımlama başarımı,
9. Görüntülerin farklı koordinat bilgisi taşıyan altlıklarla (sayısal harita gibi) birleştirilmesi vb. konularını kapsar.

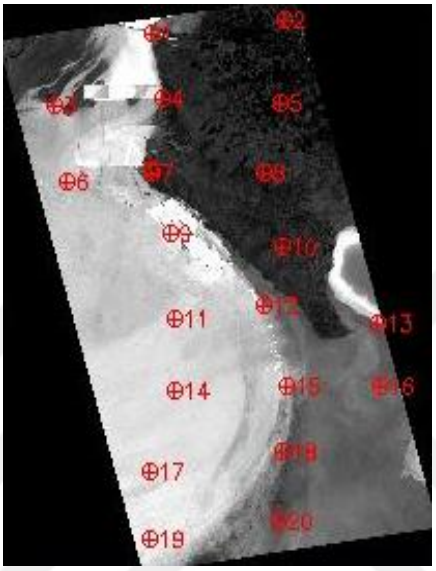
Görüntülerin geometrik açıdan analizinin doğru bir şekilde yapılabilmesi için öncelikle görüntünün geometrik özelliklerinin bilinmesi gerekir. Bu ilk aşama, kameranın dönüklük açıları gibi parametrelerin yanında görüntüleme geometrisini bilmeyi gerektirmektedir. Bu açıdan görüntünün geometrisine uygun yöntemler seçilerek elde edilecek olan başarı en üst seviyeye çıkarılabilmektedir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 Geometrik düzeltmesi yapılmış uydu görüntüsü

Uzaktan algılamada hava fotoğraflarının çekiminden önce araziye çıkılarak fotoğraflarda görülebilecek şekilde işaretler belirtilir. Bu işaretlerin fotogrametrik harita yapımında kullanılması ve işaretlere ait koordinatların yer ölçme yöntemleri ile elde

edilmesiyle oluşturulan temel dayanak noktalarına yer kontrol noktaları (YKN) denir. Yer kontrol noktaları, zamansal değişime en az maruz kalan arazi ve görüntüde rahat bulunabilen, ulaşımı rahat ve görüntüye uygun dağılmış noktalardan seçilmektedir. Her bir noktaya ait zamansal/mevsimsel değişime karşı yedek nokta ölçümüne sahip olmalıdır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 Yer kontrol noktaları seçilmiş uydu görüntüsü

3.9 RASAT, Göktürk-2 ve Landsat 8 Uydularının Özellikleri

Güneşe eş zamanlı dairesel yörüngede bulunan ve 17 Ağustos 2011'de Rusya'dan fırlatılan RASAT uydusu, 700 kilometre irtifada bulunmaktadır. Yörünge sistemi sayesinde RASAT ile dünyanın her yerinden görüntü alabilmektedir. 15 metre çok bantlı ve 7,5 metre siyah-beyaz uzamsal çözünürlükte süpürçek kameraya sahiptir. Yörüngesinden geçmiş olduğu bir yerin yeniden ziyaret zamanı ortalama dört gün olan RASAT uydusu, üç eksen ile kontrol edilebilmektedir. 30 km x 30 km olan her bir çerçeve görüntüsünün boyutları ile 960 km uzunluğunda şerit görüntü alınabilmektedir. 17 Ağustos 2017 tarihi itibariye yörüngesindeki altıncı yılını dolduran RASAT'ın tasarım ömrü üç yıldır. Altı yıl boyunca yörüngesinde 32035 tur atmış olup toplamda 2080 görüntüleme görevi tamamlamış ve bu sürede 12.724.200 km^2 lik alanı görüntüleme imkanına sahip olmuştur. RASAT uydusunun görüntüleri, 2014 yılından

beri paylaşım sağlamaya imkân tanıyan GEZGİN Portal'ı (https://gezgin.gov.tr 2012) aracılığı ile görüntü paylaşımına devam etmektedir. İndirilen ham görüntüler (L0), veri işleme (Vi) yazılımı kullanılarak görüntülerin geometrik ve radyometrik düzeltmeleri yapıldıktan sonra GEZGİN Portalı'na aktarılmaktadır (http://uzay.tubitak.gov.tr 2013).

Göktürk-2 uydusu, TÜBİTAK UZAY ve TUSAŞ tarafından tasarlanıp üretilmiştir. Türkiye'nin RASAT uydusundan sonra, milli imkanlarla üretilen yer gözlem, keşif ve gözetleme uydusudur. Çin'deki Jiuquan fırlatma üssünden 18 Aralık 2012 tarihinde uzaya fırlatılmış ve güneşe eş zamanlı dairesel yörüngede 686 km irtifada uçmaktadır. Beş yaşını doldurmuş olup bu süreçte, yörüngesinde 15.000'in üzerinde tur yapmıştır. Uzamsal çözünürlüğü, pankromatik için 2,5 m ve çok bant için 5 m süpürçek kameraya sahip olan Göktürk-2'nin kullanım ömrü beş yıl olarak tasarlanmıştır. Uydu, veri işleme (Vi) yazılımı ile üç eksende (roll, pitch, yaw-yuvarlanma, yunuslama, sapma) kontrol edilebilmektedir. Yaklaşık 2,5 günlük (maks. 5) yeniden ziyaret zamanına sahiptir. 20 km genişliğinde ve 640 km uzunluğunda şerit oluşturabilmektedir. Yörüngesi tüm dünyayı kapsayacak şekilde olması sebebiyle, dünyanın her yerinden görüntü çekilebilmektedir. Türkiye üzerinden günde dört defa geçmektedir. 42 dakikalık günlük ortalama haberleşme ve iletişim zamanı taşımaktadır (https://www.tai.com.tr 2017).

Göktürk-2 uydusu, Hava Kuvvetleri Komutanlığı'nın yetkisinde olup çekilen görüntüler Ankara Ahlatlıbel Hava Radar Mevzi Komutanlığı'nda bulunan yer istasyonuna iletilmektedir. Göktürk-2 görüntüleri kullanılarak keşif, gözetleme, haritacılık, istihbarat, tarım, doğal afet, çevresel planlama, bölgesel farklılıkları gözleme açısından temel anlamda gereksinim içerisinde olunan birçok sahada uydu görüntü ihtiyaçları karşılanabilmektedir. Göktürk-2, Landsat 8 ve RASAT uydusuna ait teknik özellikler ve spektral bant aralıkları çizelge 3.3-3.4 ile verilmektedir.

Çizelge 3.3 RASAT, Göktürk-2 ve Landsat 8 uydusunun teknik özellikleri

	RASAT	Göktürk-2	Landsat 8
Yörünge	685 km irtifa Güneş eşzamanlı	685 km irtifa Güneş eşzamanlı	705 km irtifa Güneş eşzamanlı
Yörünge Süresi	98,8 dk.	98,2 dk.	98,9 dk.
Görüntüleme Bantları	Pankromatik, kırmızı, yeşil, mavi	Pankromatik, kırmızı, yeşil, mavi, yakın kızılötesi	Pankromatik, kırmızı, yeşil, mavi, yakın kızılötesi, kısa dalga kızılötesi, sirrus, aerosol, termal
Pankromatik Çözünürlük	7,5 m	2,5 m	15 m
Multispektral Çözünürlük	15 m	5 m	30 m
Görüntü Genişliği	30 x 30 km	20 x 20 km	185 x 185 km
Radyometrik Çözünürlük	8 bit	11 bit	12 bit

Çizelge 3.4 Göktürk-2, Landsat 8 ve RASAT'ın spektral bant aralıkları

	Göktürk-2	Landsat 8	RASAT
Pankromatik Bant	0.43 – 0.78 μm	0.488 - 0.692 μm	0.42 – 0.75 μm
Mavi Bant	0.43 – 0.57 μm	0.436 - 0.528 μm	0.42 – 0.73 μm
Yeşil Bant	0.47 – 0.75 μm	0.512 - 0.610 μm	0.45 – 0.75 μm
Kırmızı Bant	0.57 – 0.77 μm	0.625 - 0.691 μm	0.57 – 0.75 μm
Yakın Kızılötesi Bant	0.72 - 0.92 μm	0.829 - 0.900 μm	-

RASAT ve Göktürk-2 görüntüleri, veri işleme (Vi) yazılımı ile çeşitli seviyelere kadar işlenebilmektedir. Bu tez çalışmasında, radyometrik kalibrasyon çalışmalarında ham (L0) olarak temin edilen Tuz Gölü'ne ait RASAT ve Göktürk-2 görüntüleri, L1R ve L2 seviyelerine kadar işlenmiştir. Geometrik düzeltme aşamasında ise L1 ve L2 olan her iki seviyede görüntü kullanılmıştır. RASAT ve Göktürk-2'nin görüntülerine ait seviye bilgileri çizelge 3.5'te görülmektedir.

Çizelge 3.5 RASAT ve Göktürk-2 görüntülerine ait seviye bilgileri

Seviye	Açıklama
L0	Ham uydu görüntüsü
L1	Radyometrik düzeltmesi yapılmış uydu görüntüsü
L1R	Bant çakıştırılması yapılmış uydu görüntüsü
L2	Geometrik düzeltmesi yapılmış uydu görüntüsü
L3	Ortorektifikasyon yapılmış uydu görüntüsü

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1 Materyal

4.1.1 Çalışma bölgesi

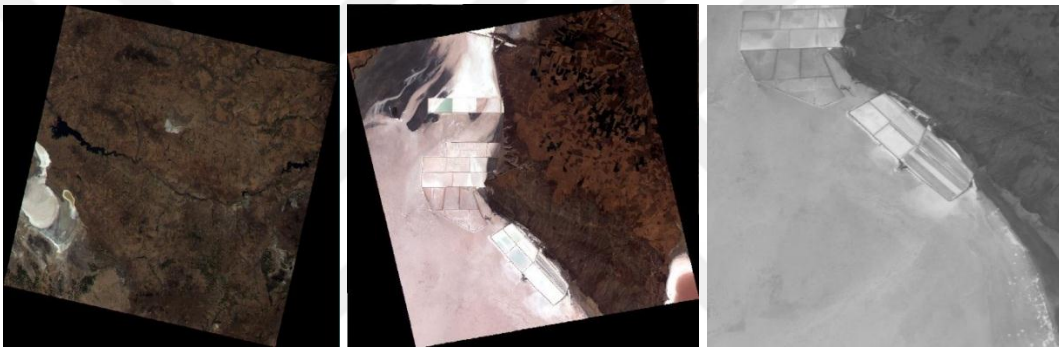
Çalışmada test sahası olarak Tuz Gölü (Şekil 4.1) kullanılmıştır. Tuz Gölü kapalı havzası, bir LANDNET sahasıdır. Optik uydu sensörlerinin radyometrik kalibrasyonu için standart referans noktası olarak CEOS tarafından onaylanmıştır. Tuz Gölü Ankara'nın yaklaşık 150 km güneydoğusunda (38.50° N, 33.20° E) bulunmakta ve Orta Anadolu'daki kurak bir platoda yer almaktadır. Bitki örtüsünden arınmış, parlak, doğal, 1.964 km^2 alana sahiptir. Deniz seviyesinden 907 m yüksektedir. Son derece tuzludur. Yaz boyunca göldeki suyun % 95'i kurur ve ortalama 30-80 cm kalınlıkta bir tuz tabakası ortaya çıkar. Düşük aerosol içeriğine sahip seyrek nüfuslu bir bölgededir (Özen 2012) (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Tuz Gölü test sahası (https://www.google.com.tr 2017)

4.1.2 Göktürk-2, RASAT, Landsat 8 görüntüleri ve sensör karakteristiği değerleri

Çalışmada kullanılan 2015 ve 2016 yıllarına ait Göktürk-2 uydusunun Tuz Gölü görüntüleri, Hava Kuvvetleri Komutanlığın'ndan temin edilmiştir. İlgili görüntüler, ham seviyede alınmış ve veri işleme yazılımı ile L1, L1R ve L2 seviyelerine işlenmiştir. RASAT uydusunun iki yıla ait görüntüleri ise TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü tarafından sağlanmıştır. Aynı zamanda RASAT görüntüleri, GEZGİN Portal'ından ücretsiz olarak erişime açık olduğundan dolayı çalışmanın yapıldığı yakın tarihlerdeki uydu görüntüleri de incelenmiştir. Şekil 4.2'de çalışmada kullanılan 2015 ve 2016 yıllarına ait Landsat 8, Göktürk-2 ve RASAT görüntüleri görülmektedir.



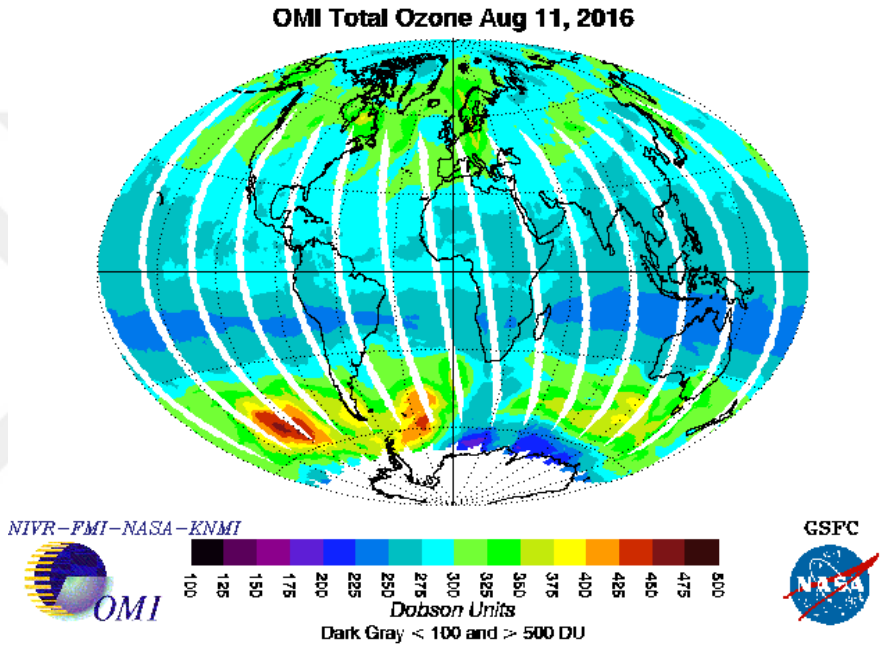
(a) (b) (c)

Şekil 4.2.a. Landsat 8, b. Göktürk-2, c. RASAT Tuz Gölü görüntüleri

Uyduların sensör yapılarına ait bilgi içeren bağıl spektral tepki (RSR) bilgileri atmosferik simülatörler tarafından kullanılmaktadır. 6S atmosferik simülatörüne girdi olarak kullanılan Göktürk-2 ve RASAT uydusunun tüm bantlarına ait RSR bilgisi, uydu görüntülerinin alındığı Hava Kuvvetleri Komutanlığı ve Tübitak Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsünden temin edilmiştir. Landsat 8 uydusunun RSR bilgisine ise USGS'in sitesinden (https://landsat.usgs.gov 2018) ulaşılmıştır.

4.1.3 Ozon (O_3)

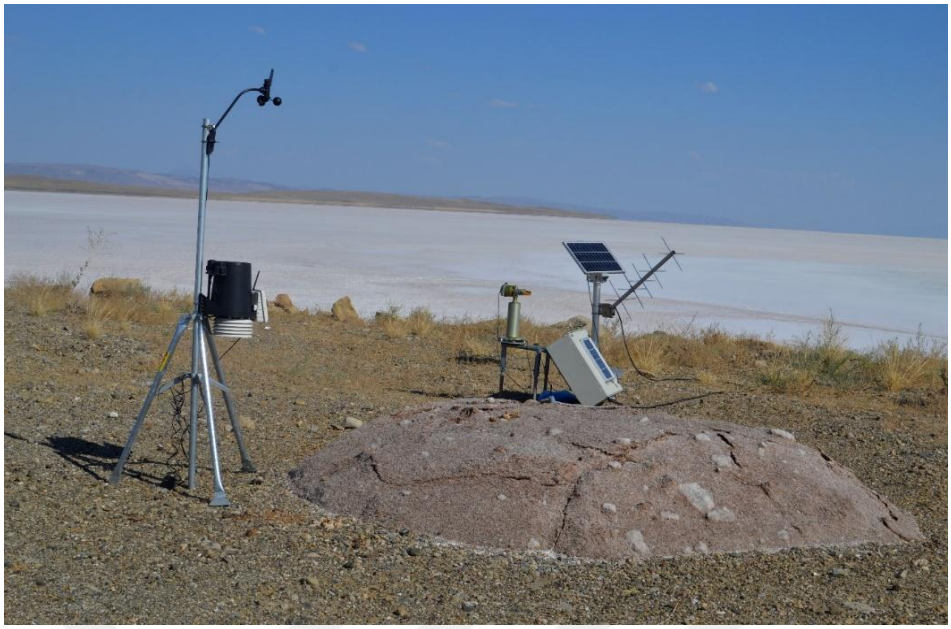
Ozon değeri, 6S atmosferik simülatörüne girdi olarak kullanılan parametrelerdendir. Tuz Gölü üzerindeki kalibrasyon çalışmasının yapıldığı tarihe ait ozon değeri, cm.atm cinsinden NASA'nın Ozone & Air Quality sitesinden (ftp://toms.gsfc.nasa.gov 2016) temin edilmiştir. Çalışmanın yapıldığı tarihte dünyadaki ozon seviyesi şekil 4.3'te görülmektedir.



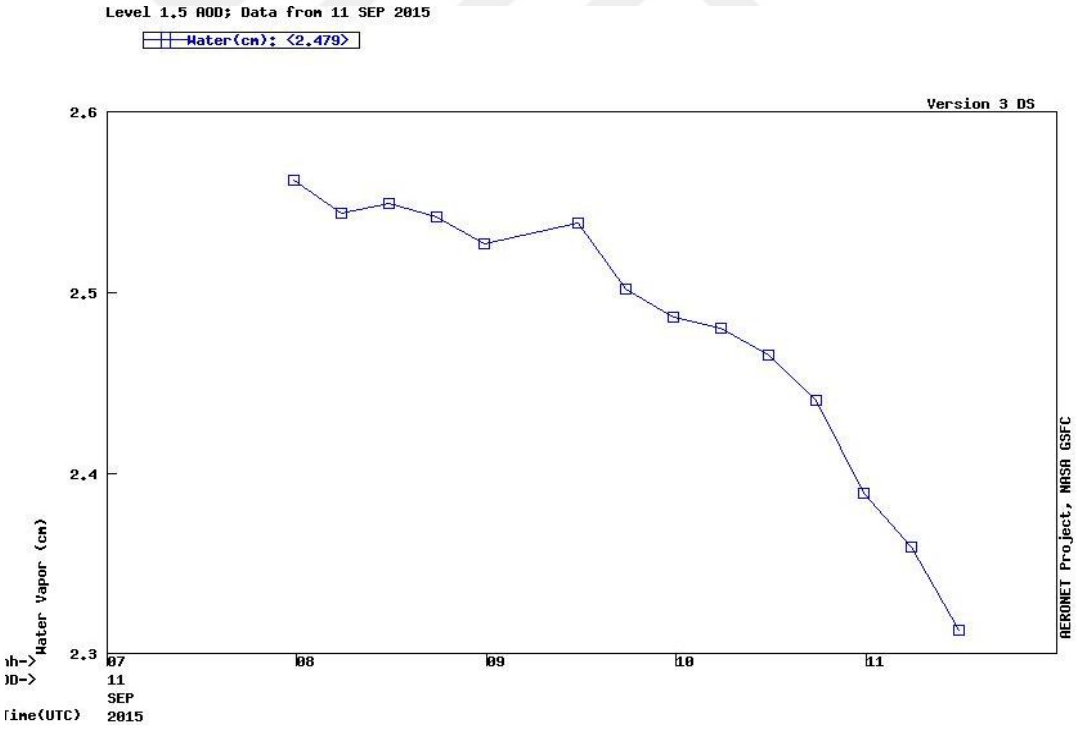
Şekil 4.3 Çalışmada kullanılan ozon değeri (ftp://toms.gsfc.nasa.gov 2016)

4.1.4 Su buharı ($H_2O_{(b)}$)

Su buharı, gün içerisinde atmosferik ölçüm yapabilen güneş fotometresi (Şekil 4.4) aracılığı ile alınmaktadır. İlgili değere, NASA'nın AERONET (Aerosol Robotik Network) isimli sitesinden (https://aeronet.gsfc.nasa.gov 2015) ulaşılabilmektedir. Girdi olarak, uydunun Tuz Gölü üzerinden geçtiği saate denk gelen su buharı değeri g/cm^2 cinsinden alınmaktadır. 11 Eylül 2015 tarihli çalışmaya ait Tuz Gölü'ndeki su buharı miktarı şekil 4.5'te görülmektedir.



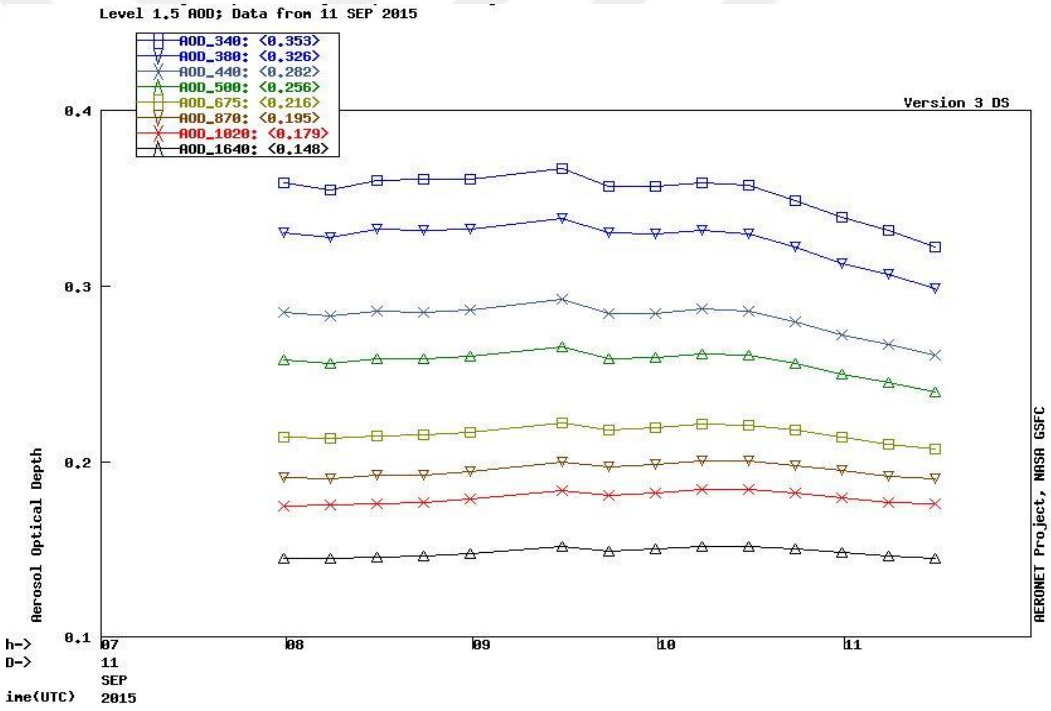
Şekil 4.4 Su buharı ve AOD ölçümü yapan güneş fotometresi ve meteoroloji istasyonu



Şekil 4.5 AERONET'ten temin edilen su buharı değeri (https://aeronet.gsfc.nasa.gov 2015)

4.1.5 Aerosol optik derinlik (AOD)

Atmosferik ölçümleri gerçekleştiren güneş fotometresi, 340-1640 nm aralığındaki (340, 380, 440, 500, 675, 870, 1020, 1640 nm'ye denk gelen) AOD değerlerini verebilmektedir. Simülatöre girdi olarak, 550 nm'deki AOD değeri kullanılmakta olup güneş fotometresi ile alınan atmosferik ölçüm değerinin 550 nm'ye karşılık gelen (uydu geçişi sırasındaki) karşılığı kullanılmaktadır. Doğrusal aradeğerleme ile hesaplanan ve 550 nm'ye denk gelen değerin atmosferik görünürlük (visibility) itibariyle karşılığı simülatör yardımıyla hesaplanmıştır. 11 Eylül 2015 tarihli çalışmaya ait Tuz Gölü'ndeki AOD miktarı şekil 4.6'da görülmektedir.

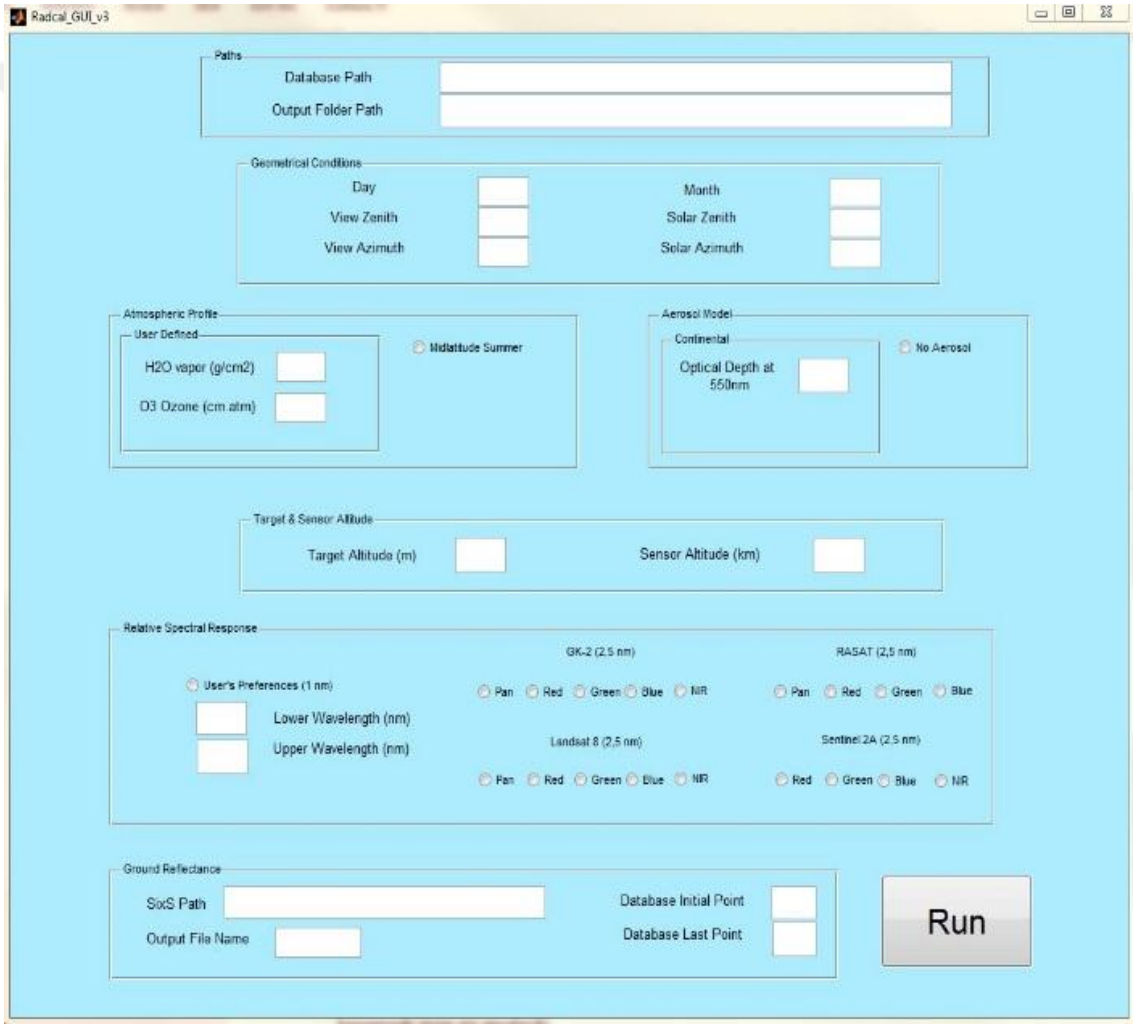


Şekil 4.6 AERONET'ten temin edilen AOD değeri (https://aeronet.gsfc.nasa.gov 2015)

4.1.6 6S Atmosferik simülatörü

Çalışmada atmosferik simülatör olarak 6S yazılımı kullanılmıştır. 6S atmosferik simülatörü, güneş ışınlarının anizotropik ve lambert yüzeylerden yansıması ile uydu sensörüne giden (AÜ) ışıma/yansıma değerlerinin elde edilmesini aynı zamanda

atmosferik gaz emiliminin hesaplanmasını sağlar. GEOPORTAL Projesi kapsamında simülatörün tüm parametreleri çözülerek (çıktılardaki ışıma/yansıtım, güneş irradyans ve BRDF parametreleri dahil) girdilerin rahat ve seri bir şekilde verilmesi için MATLAB programı ile grafiksel kullanıcı arayüzü (GUI) tasarlanmıştır. Girdilerin çeşitli varyasyonları gözetilerek atmosferik ve spektral ölçüm parametrelerine ait opsiyonlar artırılmış ve veri girdisi sağlamanın zaman gerektirdiği yarı-otomatik sistem yerine sözkonusu simülatör seri çalışacak bir formata taşınmıştır. Proje kapsamında tasarlanan arayüz şekil 4.7'de gösterilmektedir.



Şekil 4.7 Simülatör girdilerinin seri bir şekilde verilmesi için tasarlanan 6S kullanıcı arayüzü (Deveci ve Demirhan 2018)

Simülatör, fortran dosyaları derlenerek oluşturulumuş ve .exe formatına dönüştürülmüştür. Atmosferik ve spektral ölçüm parametrelerinin simülatöre ait girdi formatı, yaklaşık bir yıl süreyle yapılan araştırma ve testler sonucunda tespit edilmiştir. Örnek bir simülatör girdi formatı aşağıda verilmektedir.

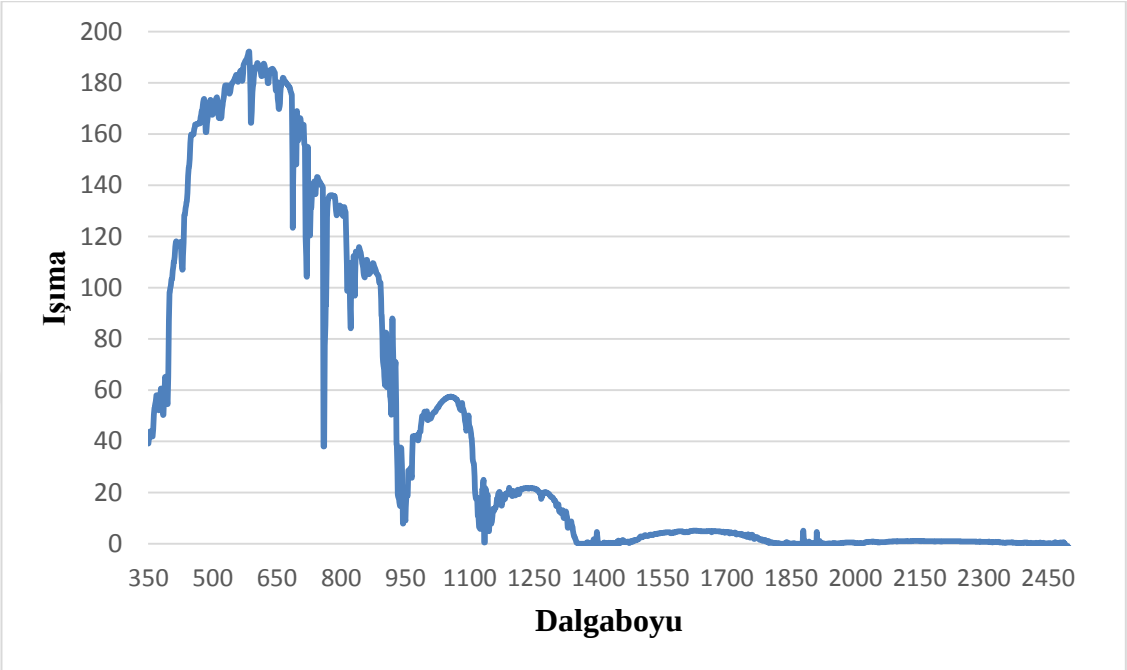
0 (Kullanıcı tanımlı geometrik koşullar)
42.4668 137.0562 12.1470 187.7209 9 11 (GZA, GAA, UZA, UAA, ay, gün)
8 (Kullanıcı tanımlı atmosfer modeli)
3.0 3.5 (Su buharı (g/cm^2) ve 0_3 (cm.atm) içeriği)
0 (Aerosol modeli)
30 (Görünürlük yerine aerosol optik derinlik girişi)
0.5 (550 nm'deki aerosol optik derinlik)
-0.9 (Hedefin km cinsinden deniz seviyesinden yüksekliği)
-700 (Uydunun km cinsinden yerden yüksekliği)
-2 (Kullanıcı tanımlı spektral bant aralığı tercihi)
0.630 0.690 (Spektral bant aralığı)
0 (Homojen yüzey)
0 (Yön etkileri yok)
-1 (2.5nm'ye göre aradeğerleme yapılan spektral veriler)
0.630 0.690
.526 .527 .527 .527 .528 .528 .528 .529 .529 .529 .529 .529 .530 .530 .530 .530 .530 .53
0 .530 .531 .531 .531 .531 .531 .532 .532 .532 .532 .532 .532 .532 .532 .532 .532 .532 .
532 .532 .532 .532 .532 .532 .532 .532 .532 .532 .532 .532 .532 .533 .532 .533 .533 .533 .53
3 .533 .533 .534 .534 .534 .535 .535 .536
-1 (Atmosferik düzeltme seçimi)

Simülatör, sonuçlarını bir .txt dosyasına aktarmaktadır. Çalışmada, çıktı dosyasından alınan "apparent radiance" ve "apparent reflectance" olarak ifade edilen değerler sensörde okunan ışıma ve yansıma değerleri olarak kullanılmıştır. Göktürk-2 uydusunun geçişinden önce yersel spektral ölçüm verileri ile hesaplanan örnek bir çıktı dosyası aşağıda gösterilmektedir.

```
*************************************************************************
*                                                                       *
*                       integrated values of  :                         *
*                       -----------------------                         *
*                                                                       *
*      apparent reflectance  0.5624412   appar. rad.(w/m2/sr/mic)  199.288 *
*                  total gaseous transmittance  0.922                   *
*                                                                       *
*************************************************************************
*                                                                       *
*                       coupling aerosol -wv  :                         *
*                       -----------------------                         *
*          wv above aerosol :   0.562     wv mixed with aerosol :   0.562 *
*                     wv under aerosol :   0.563                        *
*************************************************************************
*                                                                       *
*                       integrated values of  :                         *
*                       -----------------------                         *
*                                                                       *
*       app. polarized refl.  0.0044    app. pol. rad. (w/m2/sr/mic)    0.208 *
*            direction of the plane of polarization  9.68               *
*                  total polarization ratio     0.008                   *
*                                                                       *
*************************************************************************
*                                                                       *
*                       int. normalized  values  of  :                  *
*                       ------------------------------                  *
*                    % of irradiance at ground level                    *
*     % of direct  irr.    % of diffuse irr.    % of enviro. irr        *
*              0.749               0.195               0.056            *
*                     reflectance at satellite level                    *
*     atm. intrin. ref.   background  ref.  pixel  reflectance          *
*              0.028               0.088               0.447            *
*                                                                       *
*                       int. absolute values of                         *
*                       -----------------------                         *
*                    irr. at ground level (w/m2/mic)                    *
*     direct solar irr.    atm. diffuse irr.    environment  irr         *
*             759.381             198.217              56.750           *
*                    rad at satel. level (w/m2/sr/mic)                  *
*     atm. intrin. rad.    background  rad.    pixel  radiance          *
*              9.959               31.025             158.304           *
*                                                                       *
*                                                                       *
*          int. funct filter (in mic)              int. sol. spect (in w/m2) *
*             0.1308913                                 197.526         *
*                                                                       *
*************************************************************************
```

Bir çalışmada, Tuz Gölü'nden toplanan 350-2500 nm aralığındaki bir spektral ölçümün 6S simülatöründen geçirilmiş sensör seviyesindeki ışıma eğrisi çıkarılmıştır (Demirhan

ve Sakarya 2016). 2151 kez çalıştırılan simülatörden elde edilen spektral eğri şekil 4.8'de gösterilmektedir.



Şekil 4.8 Tuz Gölü'ne ait AÜ seviyede elde edilen spektral ışıma eğrisi (Demirhan ve Sakarya 2016)

4.1.7 GPS ve küresel uydu sistemi (GNSS)

Çalışmamızda, SATLAB SL600 GNSS alıcı yardımı ile koordinat tespiti yapılmış ve Tuz Gölü test sahası üzerindeki yersel ölçüm noktalarına ait koordinat bilgileri alınmıştır (Şekil 4.9). Uydu geçişinin öncesi ve sonrasında olmak üzere iki kez koordinat bilgilerinden faydalanılmıştır. İlgili koordinat bilgileri, vektör dosyası olarak kaydedilerek uydu görüntüleri üzerine düşen noktalardaki piksellere ait sayısal değerler toplanmıştır.



Şekil 4.9 GNSS alıcısı yardımıyla toplanan yersel spektral ölçümlere ait noktasal koordinatlar (https://www.google.com.tr 2017)

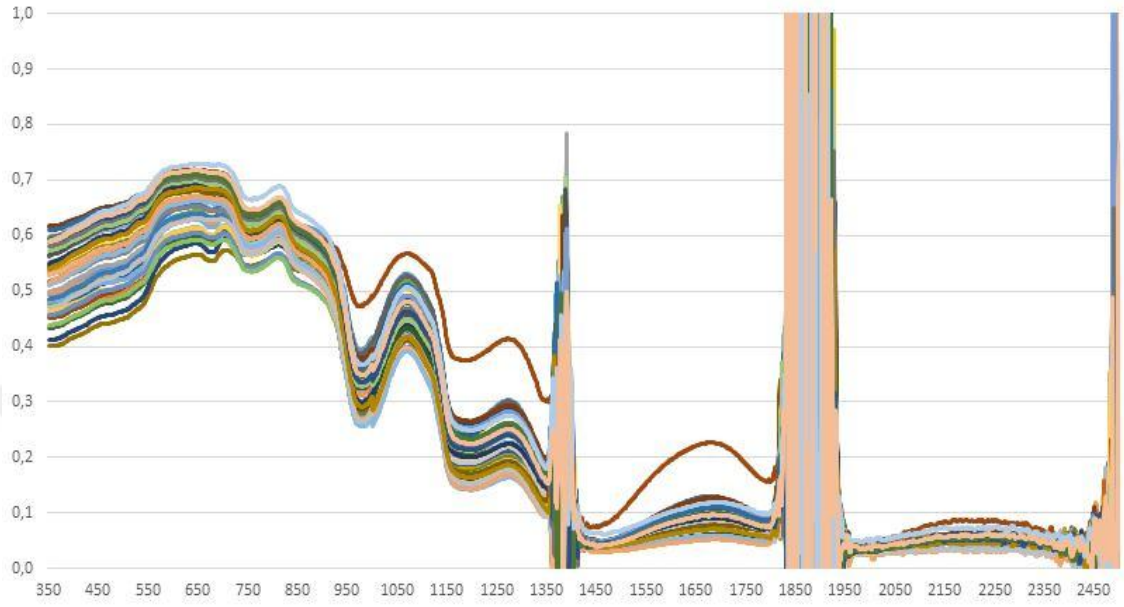
4.1.8 Spektroradyometre

Çalışmamızda ASD FieldSpec 3 spektroradyometresi (Şekil 4.10) ile Tuz Gölü test sahası üzerinden uydu geçişinin öncesi ve sonrasında 50 yersel ölçüm spektrası toplanmıştır. Gölün lambert yüzey yapısı üzerinden toplanan spektral ölçümler ile göle ait 350–2500 nm'deki yansıma değerleri elde edilmiştir. Toplanan tüm spektral ölçümler, uydu geçişinin öncesi ve sonrasında birkaç dakikalık fark ile ölçülmüştür.

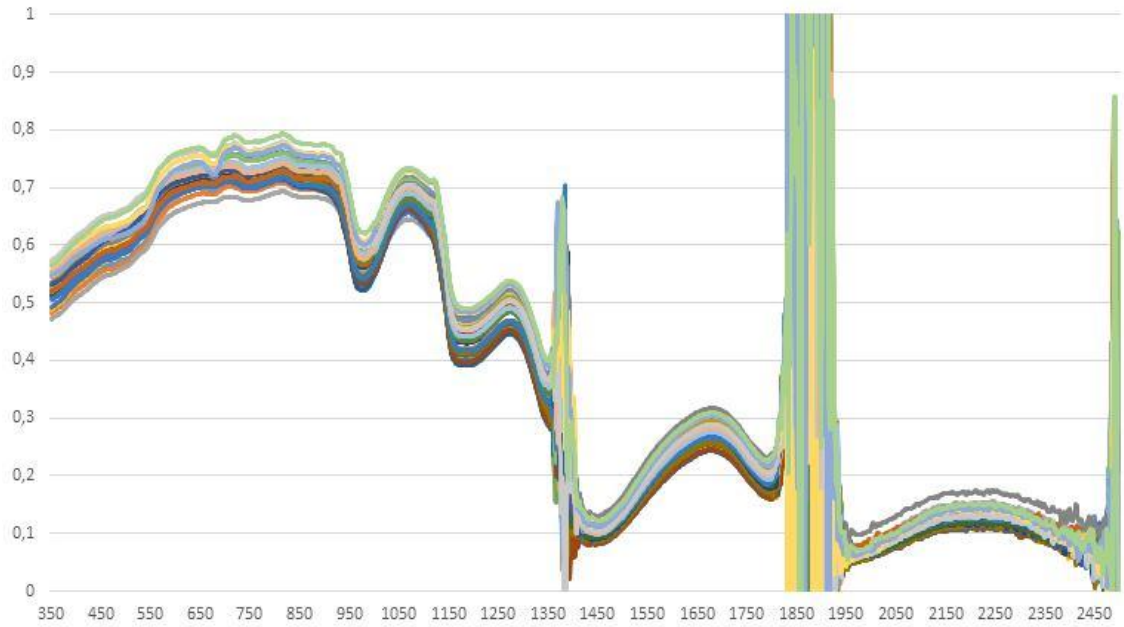


Şekil 4.10 ASD FieldSpec 3 spektroradyometre (Anonim 2013)

2015 ve 2016 yıllarına ait radyometrik kalibrasyon çalışmasında Tuz Gölü'nden toplanan yersel spektral ölçümlere ait imzalar şekil 4.11-4.12 ile görülmektedir.



Şekil 4.11 2015 yılı yapılan radyometrik kalibrasyon çalışmasında Tuz Gölü'nden alınan yersel ölçümlere ait spektral imzalar



Şekil 4.12 2016 yılı yapılan radyometrik kalibrasyon çalışmasında Tuz Gölü'nden alınan yersel ölçümlere ait spektral imzalar

4.2 Yöntem

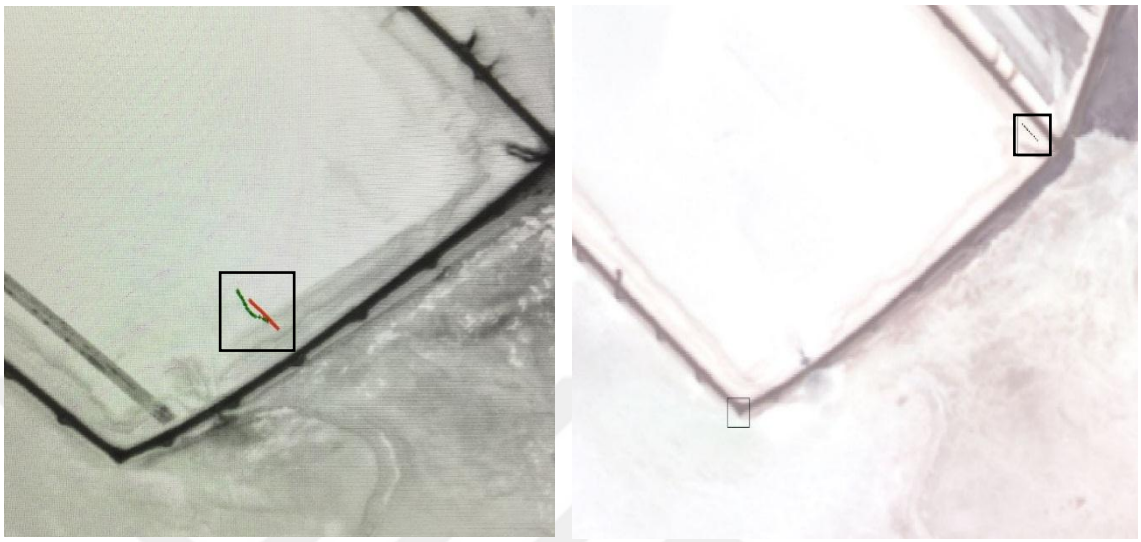
4.2.1 Göktürk-2'nin mutlak radyometrik kalibrasyonu

2015 ve 2016 yıllarında, Tuz Gölü arazisi üzerinden geçen Göktürk-2 ve Landsat 8 uydularından eşzamanlı alınan görüntü çiftleri kullanılarak Göktürk-2 uydusunun iki yıla ait mutlak radyometrik kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. 11.09.2015 ve 11.08.2016 tarihlerinde, ilgili bölgeden geçen Göktürk-2 uydusu ile 10.09.2015 ve 11.08.2016 tarihlerinde bölgeden geçen Landsat 8 uydusunun geçiş tarihleri yakın olduğu için kampanyaların düzenlenme ve görüntülerin çekim tarihi bu doğrultuda belirlenmiştir.

10-11 Eylül 2015 tarihlerinde, Tuz Gölü'nün kıyısından arazi çalışmasına uygun bir bölge ve havuzun orta kısımlarına uzanan yersel ölçüm hattı belirlenmiştir. Göktürk-2 ve Landsat 8'e ait her iki uydu görüntüsü yerel olarak 10:53 (GMT+3) ve 11:21 (GMT+3) saaatleri arasında yaklaşık 24,5 saatlik bir fark ile atmosferik/mevsimlik farklılıkları minimize edebilmek için Tuz Gölü test sahasını alacak şekilde çekilmiştir. Çalışmanın bir hafta öncesinde test alanına yakın bir yere kurulan güneş fotometresi ve meteoroloji istasyonu ile atmosferik parametrelerin ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, Göktürk-2 geçişi öncesi ve sonrasında spektroradyometre ile 350-2500 nm spektral aralığında toplam 50 noktadan yersel ölçümler alınmıştır (Demirhan 2017).

11 Ağustos 2016 tarihinde, Tuz Gölü'nün homojen olduğu tespit edilen göl kıyısından ulaşımı kolay bir alanda arazi çalışması gerçekleştirilmiştir. 9 Ağustos 2016 tarihinde, çalışma alanına yakın bir yere kurulan güneş fotometresi ve meteoroloji istasyonu ile atmosferik parametrelerin ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Her iki uydu görüntüsü, yerel olarak 10.46 (GMT+3) ve 11.21 (GMT+3) saatleri arasında, 2015 yılına ait kampanyadaki gibi yaklaşık yarım saatlik bir fark ile Tuz Gölü test sahasını alacak şekilde çekilmiştir. Çalışma göl kıyısına serilen rulo halindeki beyaz bezlerin (tyvek) serilmesiyle başlanmıştır. Ardından, uydu geçişi öncesi ve sonrasında spektroradyometre ile 350-2500 nm spektral aralığında toplam 50 noktadan yersel

ölçümler alınmıştır (Şekil 4.13). Test amaçlı kullanılmak üzere Tuz Gölü ile birlikte beyaz bezlerin (tyvek) üzerinden de spektral ölçümler alınmıştır (Demirhan 2017).



(a) (b)

Şekil 4.13.a. 2015 yılında Tuz Gölü'nden yersel spektral imza toplanan alan (Göktürk-2), b. 2016 yılında Tuz Gölü'nden yersel spektral imza toplanan alan (Göktürk-2)

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, uydu zenit açısına yansıdığından ve ilgili parametre 6S atmosferik simülatörü tarafından kullanıldığından dolayı kalibrasyon katsayılarını doğrudan etkileyebilmektedir.

Çalışma Tuz Gölü test sahası üzerinden her iki uydunun geçişinin öncesi ve sonrasında spektroradyometre ve GNSS alıcısı yardımıyla ölçüm noktalarına ait koordinatların ve spektral imzaların kaydedilerek verilerin toplanması ile başlamıştır. İlgili verilerin toplanmasının sonrasında çekilen Göktürk-2 uydu görüntüsünün tüm bantları ortofotoya göre jeoreferanslandırılarak konumsal düzenlemesi yapılmış ve Landsat 8 uydu görüntüsü ile aynı yersel koordinatlara taşınmıştır. Bu aşamada Göktürk-2'nin konumsal hatası da analiz edilmiştir. Ardından ölçüm noktalarının görüntü üzerinde denk geldiği

piksel değerlerinin ENVI ticari programı aracılığıyla okunması sağlanarak mutlak radyometrik kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.1'de iki yıla ait görüntüsü alınan uyduların ve güneşin dünyaya göre konumları verilmektedir.

Çizelge 4.1 Göktürk-2 ve Landsat-8 uydularının dünya ve güneşe 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°	Nadir	Nadir

	Tarih	Zaman	Güneş Zenit	Güneş Azimut	Uydu Zenit	Uydu Azimut
GK-2	11.08.2016	10:46	36.2°	122°	4.2°	229.3°
L8	11.08.2016	11:21	30.3°	135.6°	Nadir	Nadir

2015 yılında Tuz Gölü'nde 50 noktadan toplanan yersel spektral imzalardan, Göktürk-2 uydusunun geçişi öncesinde ve sonrasında tüm noktalara ait spektral imzalar çalışmada kullanılmıştır. Fakat uydu geçişi öncesi havuz kenarından toplanan ilk ölçümlerden sekizi, havuzun ortasından toplanan ölçümlere göre daha düşük seviyeli yansıma verdiği için bu durumun kalibrasyon katsayılarına yansıyarak sistematik bir hataya yol açacağı açıktır.

2016 yılında ise toplam 50 noktadan alınan yersel spektral verilerden uydu geçişi öncesinde ve sonrasında tüm noktalara ait imzalar çalışmada kullanılmıştır. Test verisi olarak kullanılan uydu geçiş öncesi 20 ve uydu geçişi sonrası 30 ölçüme ait yerden toplanan spektral imzalar ve atmosferik ölçümler kullanılarak her spektral ölçümün atmosfer üstündeki yansıma ve ışıma değerleri, 6S atmosferik simülatörü çalıştırılarak hesaplanmıştır. Göktürk-2'nin mutlak radyometrik kalibrasyon çalışmasına ait 6S simülatör girdileri çizelge 4.2'de görülmektedir. Hesaplanan AÜ ışıma değerleri

kullanılarak (3.2) denkleminden Göktürk-2 uydusunun her bandının kazanç ve öteleme değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 4.2 Göktürk-2'nin mutlak radyometrik kalibrasyon çalışmasına ait 6S simülatör girdileri

	Göktürk-2		
Görüntü çekim tarihi	11.09.2015 07:53 (UTC)		
Ozon (cm.atm)	0.281	Hedef Yükseklik (m)	907
AOD (550 nm)	0.247	Sensör Yükseklik (km)	700
Su buharı (g/cm^2)	2.5	Yuvarlanma (Roll)	-3.91°
Sıcaklık (°C)	25.9	Yunuslama (Pitch)	-0.005°
Basınç (mmHg)	1015.2	Sapma (Yaw)	0°

	Göktürk-2		
Görüntü çekim tarihi	11.08.2016 07:46 (UTC)		
Ozon (cm.atm)	0.287	Hedef Yükseklik (m)	907
AOD (550 nm)	0.179	Sensör Yükseklik (km)	700
Su buharı (g/cm^2)	2.3	Yuvarlanma (Roll)	-3.37°
Sıcaklık (°C)	29.7	Yunuslama (Pitch)	-0.002°
Basınç (mmHg)	1006.7	Sapma (Yaw)	0°

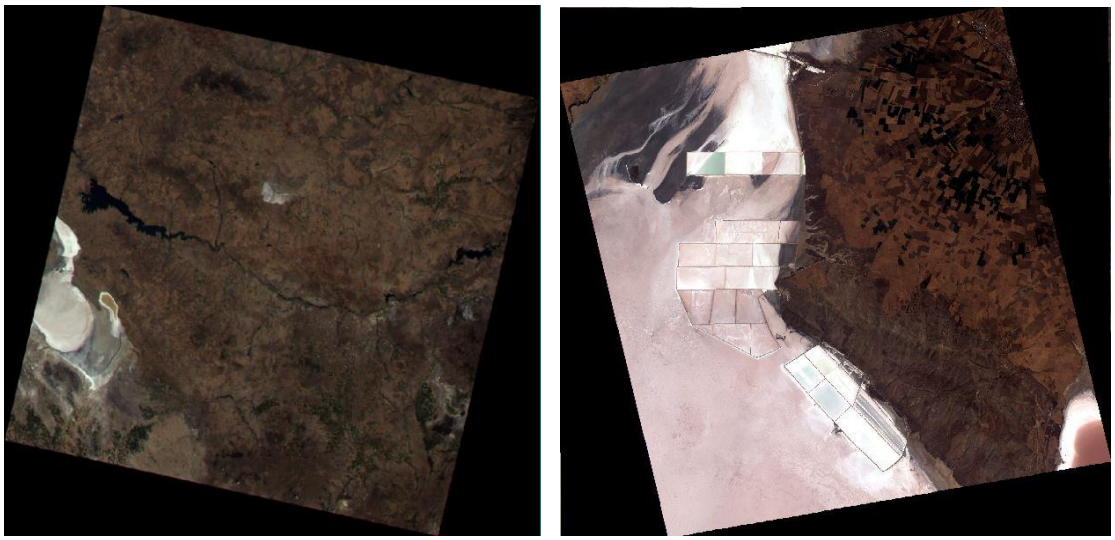
4.2.2 Göktürk-2'nin Landsat 8 ile doğrulaması

Göktürk-2 uydusunun doğrulaması için Landsat 8 uydusundan faydalanılmıştır. 2,5 m pankromatik ve 5 m multispektral yer örnekleme mesafesine sahip Göktürk-2 görüntüsü, 15 m pankromatik ve 30 m multispektral yer örnekleme mesafesine sahip Landsat 8 görüntüsü ile kıyaslanmıştır. Doğrulama işlemi 11.08.2016 tarihli veriseti ile Göktürk-2 geçişinden önce 15, geçişinden sonra ise 15 yersel ölçüm verisi kullanılarak yapılmıştır. 11.08.2016 tarihli görüntü çekimi yapılan Göktürk-2 ve Landsat 8 uydularının çekim açıları ve bant aralıklarına dair teknik özellikler çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3 Göktürk-2 ve Landsat 8 uydularının teknik özellikleri

	Göktürk-2	Landsat 8
Görüntü çekim tarihi	11.08.2016 07:46:04 (UTC)	11.08.2016 08:21:20 (UTC)
Uydu zenit açısı	4.2°	Nadir
Uydu azimut açısı	229.3°	Nadir
Güneş zenit açısı	36.2°	30.39°
Güneş azimut açısı	122°	135.6°
Pankromatik Bant	0.43 – 0.78 µm	0.488 - 0.692 µm
Mavi Bant	0.43 – 0.57 µm	0.436 - 0.528 µm
Yeşil Bant	0.47 – 0.75 µm	0.512 - 0.610 µm
Kırmızı Bant	0.57 – 0.77 µm	0.625 - 0.691 µm
Yakın Kızılötesi Bant	0.72 - 0.92 µm	0.829 - 0.900 µm

Göktürk-2'nin AÜ yansıma ve ışıma değerlerinin, 6S simülatörü kullanılarak çıktı dosyaları alınmış ve PCI ile ENVI ticari programları ile doğrulaması yapılarak verisetine aktarılmıştır. Şekil 4.14'te doğrulama çalışmasının yapıldığı iki uyduya ait görüntüler görülmektedir.



(a) (b)

Şekil 4.14.a Doğrulama çalışmasının yapıldığı Landsat 8 görüntüsü, b. Doğrulama çalışmasının yapıldığı Göktürk-2 görüntüsü

Göktürk-2'nin AÜ yansıma ve ışıma doğrulaması için ENVI'nin radyometrik kalibrasyon aracı ve PCI'ın AÜ aracı kullanılmıştır. AÜ yansıma ve ışıma değerlerinin doğrulaması için Landsat 8 görüntüsünden alınan sayısal değerleri, metadatadan alınan kazanç ve öteleme değerleri kullanılarak (3.1) denklemi aracılığı ile sensör seviyesindeki ışıma değerleri bulunmuş ve (3.2) denklemi aracılığı ile AÜ yansıma değerlerine geçilmiştir. Tüm bantlar için elde edilen yansıma değerleri, ENVI'nin radyometrik kalibrasyon ve PCI'ın AÜ aracı ile elde edilen AÜ yansıma değerleri ile kıyaslanmıştır.

4.2.3 RASAT'ın mutlak radyometrik kalibrasyonu

11 Ağustos 2016 tarihinde Göktürk-2 uydusu ile yapılan mutlak radyometrik kalibrasyon çalışması, 19 Eylül 2016 tarihinde RASAT uydusu için de gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Tuz Gölü'nde toplanan 50 yersel ölçüm spektrasından 10'u değerlendirmeye alınmıştır. 10 noktadan alınan yersel spektral ölçümler, 6S atmosferik simülatöründen geçirilmiştir. Simülatöre girdi olarak kullanılacak uydunun zenit/azimut açısı ile güneşin zenit/azimut açıları, RASAT'ın geçişinden önce ve sonrasında aynı kabul edilmiştir. RASAT'ın 6S simülatör girdileri çizelge 4.4'te görülmektedir. Atmosfer üstü seviyede elde edilen ve sensörde okunan ışıma değerleri kullanılarak (3.1) eşitliği aracılığı ile kalibrasyon katsayılarına geçilmiştir. Tuz Gölü'nden örnek toplanan alan şekil 4.15'te görülmektedir.

Çizelge 4.4 RASAT'ın mutlak radyometrik kalibrasyon çalışmasına ait simülatör girdileri

	RASAT		
Görüntü çekim tarihi	19.09.2016 09:44 (UTC)		
Güneş zenit açısı	37.55°	Uydu zenit açısı	6.7°
Güneş azimut açısı	181.97°	Uydu azimut açısı	46.95°
Ozon (cm.atm)	0.286	Hedef yükseklik (m)	907
AOD (550 nm)	0.134	Sensör yükseklik (km)	700
Su buharı (g/cm^2)	1.85	Yuvarlanma (Roll)	-4.276°
Sıcaklık (°C)	27.4	Yunuslama (Pitch)	-2.726°
Basınç (mmHg)	1010.2	Sapma (Yaw)	180°



Şekil 4.15 Tuz Gölü'nden örnek toplanan alan (RASAT)

Çalışmada RASAT uydusunun Tuz Gölü görüntüsünün kırmızı bandı saturasyona uğradığından dolayı sensörün kırmızı bandı mutlak kalibrasyon çalışmasına dahil edilmemiştir.

4.2.4 RASAT'ın Landsat 8 ile doğrulaması

Göktürk-2 için yapılan doğrulama çalışması, RASAT uydusu için de gerçekleştirilmiş ve yansıma tabanlı doğrulama yapılmıştır. 10 noktaya ait AÜ yansıma değerleri, 6S atmosferik simülatörü kullanılarak RASAT için de analiz edilmiştir. Simülatöre girdi olarak kullanılacak uydunun zenit/azimut açısı ile güneşin zenit/azimut açıları, RASAT'ın geçişinden öncesi ve sonrası aynı kabul edilmiştir. Aynı zamanda simülatöre girdi olarak RASAT'ın RSR bilgisinin 10 nm'ye göre aradeğerlemesi ile elde edilen değerler verilmiştir. PCI ve ENVI programları kullanılarak, Landsat 8 görüntüsünden ölçüm noktalarına ait AÜ yansımalar toplanmış ve RASAT'ın simülatör çıktılarından elde edilen AÜ yansıma sonuçları ile doğrulama yapılarak verisetine aktarılmıştır. Elde edilen tüm bantlara ait AÜ yansıma sonuçlarına göre RMSE'ler çıkarılmıştır.

4.2.5 Göktürk-2'nin SBAF yöntemi ile çapraz radyometrik kalibrasyonu

Çalışmada Landsat 8 ve Göktürk-2 görüntüleri kullanılarak 2015 ve 2016 yıllarında Tuz Gölü'nde yansıma temelli çapraz radyometrik kalibrasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda, Tuz Gölü'nden toplanan yersel spektral ölçümler aracılığı ile sensörler arasındaki bağıl spektral tepki (RSR) farklılıkları gidermek için Spektral Bant Ayarlama Faktörü (SBAF) yöntemi uygulanmıştır. SBAF değerleri, Göktürk-2 ve Landsat 8 görüntülerine ait bağıl spektral tepkiler (RSR) kullanılarak (3.6) denklemi aracılığı ile hesaplanmıştır. Çapraz radyometrik kalibrasyon için AÜ yansıma değerleri, spektral ölçüm noktalarının Landsat 8 görüntüsü üzerine denk gelen sayısal değerleri ve kalibrasyon katsayıları (kazanç ve öteleme) kullanılarak hesaplanmıştır. Aynı bölgenin sensör seviyesinde elde edilen ışımalarına göre AÜ yansımalarına geçilmiş ve tüm kıyaslamalar yansıma temelli yapılmıştır. Çalışmada aynı gün içerisinde geçen Göktürk-2 ve Landsat 8 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Şekil 4.16'da ölçümün yapıldığı ilgili görüntüler görülmektedir (Demirhan 2017).



(a) (b)

Şekil 4.16.a Landsat 8 ile çekilen Tuz Gölü görüntüsü, b.Göktürk-2 ile çekilen Tuz Gölü görüntüsü

Yapılan çalışmada Göktürk-2 görüntüleri, Landsat 8 görüntülerine göre jeoreferanslandırılarak ölçüm noktalarına ait sayısal değerleri (DN) toplanmıştır. Göktürk-2 geçişinin öncesi ve sonrasında Tuz Gölü üzerinde 20 noktadan toplanan

spektral ölçümler, 6S atmosferik simülatöründen geçirilerek AÜ yansımaları hesaplanmıştır.

Çapraz kalibrasyon, Tuz Gölü üzerinden spektroradyometre ile alınan 20 noktanın ortalama AÜ yansıma değerlerine göre SBAF değerleri gözetilerek hesaplanmıştır. Göktürk-2 ve Landsat 8 uydularının beş bandının spektral aralığındaki dalgaboyuna göre elde edilen her 1 nm'deki spektral karşılığı ile atmosferik etkileri hesaplayan 6S atmosferik simülatörü yazılımından geçirilen ve her 1 nm'de elde edilen AÜ yansıma sonuçları çarpılmış ve tüm bantların spektral tepki değerlerinin (RSR) toplamına bölünmüştür. Tüm bantlara göre alınan simüle edilmiş Göktürk-2 ve Landsat 8 AÜ yansıma değerleri, (3.6) eşitliğinde belirtildiği gibi kendi içerisinde oranlanarak beş banda ait SBAF değerleri elde edilmiştir (Demirhan 2017).

Landsat 8'in AÜ yansıma değerleri için metadatasında bulunan kalibrasyon parametreleri ve Landsat 8 görüntüsünden toplanan sayısal değerler kullanılarak (3.1) eşitliği aracılığı ile sensöre giden spektral ışıma değerleri elde edilmiş ve (3.2) eşitliği kullanılarak AÜ yansıma değerlerine geçilmiştir. Her iki uydu görüntüsünden elde edilen AÜ yansıma değerleri kullanılarak yansıma temelli çapraz radyometrik kalibrasyon gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, (3.6) eşitliğindeki hiperspektral AÜ yansıma değeri yerine Tuz Gölü'nde toplanan yersel yansıma ölçümlerinin 6S atmosferik simülatörü aracılığı ile atmosfer üstüne taşınan AÜ yansıma değerleri kullanılmıştır. Aynı zamanda ilgili eşitlikte her 1 nm'deki RSR ve AÜ yansıma değeri kullanılmıştır.

4.2.6 Yeniden örnekleme yöntemlerinin kalibrasyon parametrelerine yansıması

2016 yılında Tuz Gölü'nde yapılan mutlak radyometrik kalibrasyon çalışmasında, uydu görüntülerindeki piksel değerlerinin sensördeki tariflendirmesi olan Göktürk-2 görüntüsünün sayısal değerlerinden kaynaklı hataları minimize etmek ve hassas ölçüm gerçekleştirerek belirsizlikleri yok etmek için görüntüler yeniden örneklenmiştir. Multispektral Göktürk-2 görüntüsü, en yakın komşuluk, kübik ve bilineer metotlar ile

yeniden örneklenerek Landsat 8 görüntüsü ile aynı piksel büyüklüğüne (30 m) taşınmıştır. Toplam alınan 50 yersel ölçüm verisinden 20'si değerlendirilerek ilgili sayısal değerlerin kalibrasyon katsayılarına yansıma analizi gerçekleştirilmiştir. Tüm yeniden örnekleme işlemleri, ERDAS Imagine 2014 GIS programı aracılığı ile yapılmıştır.

4.2.7 Tuz Gölü'nde gözlenen piksel tabanlı yansıma değişim analizi

2015 ve 2016 yılına ait olan yersel yansıma ölçümleri kullanılarak her bir piksele düşen yansıma değerlerinin ortalamasından yıllık bazdaki ortalama yansıma değerlerine geçilmiştir. Göktürk-2 uydusunun her bandı için 50 yersel ölçüm verisi kullanılarak çıkarılan yıllık AÜ yansıma değerleri, kendi içerisinde kıyaslanarak Tuz Gölü'nün yüzeysel yansıma değişim analizi yapılmıştır. 2015 ve 2016 yıllarına ait mutlak radyometrik kalibrasyon kapsamında yapılan analizler, piksellere düşen yansımaların ortalama değerlerinin alınmasıyla birlikte AÜ ışıma değerlerinin doğrusal regresyon analizinde eğri uydururken oluşturmuş olduğu hatayı azaltmak için tekrarlanmıştır. Yani piksel bazlı elde edilen ortalama yansıma değerleri kullanılarak mutlak radyometrik kalibrasyon işlemi tekrarlanmıştır. Elde edilen yersel spektral ölçümler, 6S atmosferik simülatörü yardımı ile atmosfer üstüne taşınmış ve doğrusal regresyon analizi tekrarlanmıştır.

4.2.8 Göktürk-2'nin geometrik açıdan değerlendirmesi

Geometrik düzeltme, konuma bağlı uygulamalarda ve çalışmalarda uydu görüntülerinin kullanılabilmesi için şarttır. Uydu görüntülerinin yersel olarak konumlandırılmasının çekilen görüntünün kullanımına göre ve içerdiği konuma göre gerçekleştirilmesi oldukça önemlidir. Her açıdan bakıldığında elde edilen verinin konumsal hassasiyeti ve doğruluğu, uydunun uzamsal çözünürlüğü açısından düşünüldüğünde büyük öneme sahiptir. Bir uydu görüntüsüne ait geometrik doğruluğa yani hassas yer konumlama doğruluğuna etkisi olabilecek iki önemli etken vardır. Bunlar, ön işleme safhasında kullanılan verilerin doğru olması ve kullanılan dönüşüm modelidir. Koordinat sistemleri arasındaki dönüşümlerin yapılması ve dönüşümleri sağlayan parametrelerin hassassiyeti

ve yersel konumlama işleminin doğruluğu bağlantılıdır. Aynı zamanda kullanılan donanımların hassasiyetine ve uydu tasarımına göre tüm işlemsel verilerin doğruluğu belirlenebilmektedir. Çalışmada Göktürk-2'nin Tuz Gölü'ne ait stereo görüntüler mevcut olmadığından dolayı konum doğruluğu için Landsat 8 görüntüleri kullanılmıştır. Landsat 8'e göre konum doğruluğunu analiz etmek için Göktürk-2'nin L1 ve L2 seviyesindeki görüntüleri kullanılmıştır.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1 Göktürk-2'nin Kalibrasyon Katsayılarının Belirlenmesi

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. Bu mod, Göktürk-2 uydusunun yaz dönemi çekim modu olduğundan dolayı tercih edilmiştir. 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. Çizelge 5.1'de her kazanç faktörüne karşılık gelen kazanç katsayıları verilmektedir.

Çizelge 5.1 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 ışıma değerleri kullanılarak tüm bantlara ait kazanç değerleri hesaplanmış ve kazanç değerleri ile kazanç katsayıları çarpılarak her bir banda ait bant kazançları analiz edilmiştir. Çizelge 5.2'de Göktürk-2'nin mutlak radyometrik kalibrasyonu sonucu elde edilen kazanç değerleri ve bant kazançları verilmektedir.

Çizelge 5.2 Göktürk-2'nin mutlak radyometrik kalibrasyonu sonucu elde edilen tüm bantlara ait kazanç bilgileri

			Pankromatik						
			DN Ort.	Yans. Ort.	Işıma Ort.	Kazanç Faktörü	Kazanç	Bant Kazancı	Öteleme
2015	11.09.2015	G.Öncesi	1310	0,576	227,641	4	0,1737	0,4342	0
	11.09.2015	G.Sonrası	1315	0,580	228,993	4	0,1741	0,4352	0
2016	11.08.2016	G.Öncesi	947	0,653	278,292	0	0,2938	0,4348	0
	11.08.2016	G.Sonrası	943	0,616	262,380	0	0,2782	0,4117	0

Çizelge 5.2 Göktürk-2'nin mutlak radyometrik kalibrasyonu sonucu elde edilen tüm bantlara ait kazanç bilgileri (devam)

			Kırmızı						
			DN Ort.	Yans. Ort.	Işıma Ort.	Kazanç Faktörü	Kazanç	Bant Kazancı	Öteleme
2015	11.09.2015	G.Öncesi	1750	0,594	210,676	2	0,1203	0,2406	0
	11.09.2015	G.Sonrası	1754	0,595	211,082	2	0,1203	0,2406	0
2016	11.08.2016	G.Öncesi	1471	0,681	260,306	0	0,1769	0,2618	0
	11.08.2016	G.Sonrası	1487	0,647	247,486	0	0,1664	0,2462	0

			Yeşil						
			DN Ort.	Yans. Ort.	Işıma Ort.	Kazanç Faktörü	Kazanç	Bant Kazancı	Öteleme
2015	11.09.2015	G.Öncesi	1459	0,568	240,981	8	0,1651	0,5778	0
	11.09.2015	G.Sonrası	1467	0,572	242,892	8	0,1655	0,5792	0
2016	11.08.2016	G.Öncesi	781	0,640	292,686	0	0,3226	0,5553	0
	11.08.2016	G.Sonrası	752	0,600	274,667	0	0,3051	0,5420	0

			Mavi						
			DN Ort.	Yans. Ort.	Işıma Ort.	Kazanç Faktörü	Kazanç	Bant Kazancı	Öteleme
2015	11.09.2015	G.Öncesi	2038	0,557	250,542	6	0,1229	0,3687	0
	11.09.2015	G.Sonrası	2038	0,563	253,335	6	0,1243	0,3729	0
2016	11.08.2016	G.Öncesi	1124	0,620	300,784	0	0,2676	0,3960	0
	11.08.2016	G.Sonrası	1091	0,578	280,322	0	0,2569	0,3802	0

			NIR						
			DN Ort.	Yans. Ort.	Işıma Ort.	Kazanç Faktörü	Kazanç	Bant Kazancı	Öteleme
2015	11.09.2015	G.Öncesi	1251	0,537	135,360	2	0,1082	0,2164	0
	11.09.2015	G.Sonrası	1260	0,539	135,831	2	0,1078	0,2156	0
2016	11.08.2016	G.Öncesi	1300	0,680	184,769	0	0,1421	0,2103	0
	11.08.2016	G.Sonrası	1289	0,662	179,851	0	0,1395	0,2064	0

Göktürk-2'nin 2015 ve 2016 yılına ait mutlak radyometrik kalibrasyon analizi sonucunda ortalama bant kazançları elde edilmiş ve iki yıla ait sonuçlar kıyaslanarak aralarındaki farkın % 5'in içerisinde olduğu tespit edilmiştir. Göktürk-2 geçişi öncesinde ve sonrasında hesaplanan 2015 ve 2016 yılına ait bant kazançlarının ortalaması ve iki yıla ait elde edilen ortalama bant kazançları arasındaki yüzde fark çizelge 5.3'te gösterilmektedir.

Çizelge 5.3 Göktürk-2'nin mutlak radyometrik kalibrasyonu sonucu elde edilen ortalama bant kazançları ve arasındaki yüzde fark

	Pankromatik	Kırmızı	Yeşil	Mavi	NIR
2015 Ortalama Bant Kazancı	0,4347	0,2406	0,5785	0,3708	0,216
2016 Ortalama Bant Kazancı	0,4232	0,2540	0,5476	0,3881	0,2083
Yüzde Fark	2,70	5,29	5,65	4,46	3,65

Yapılan bu analiz, Göktürk-2'nin sensörüne ait kazanç faktörlerinin doğruluğunu belirten bir doğrulama çalışması olmasının yanında iki yıla ait elde edilen ortalama bant kazançlarının (5.1) denklemi ile elde edildiğini ortaya koyması açısından oldukça önemlidir.

$$\text{Bant Kazancı} = \text{Kazanç Katsayısı} * \text{Kazanç} \tag{5.1}$$

5.2 Göktürk-2'nin Landsat 8 ile AÜ Yansıma Doğrulaması

Göktürk-2'nin doğrulaması için Landsat 8 uydusundan faydanılmıştır. ENVI ve PCI Geomatica ticari programları aracılığı ile elde edilen 2016 yılına ait Landsat 8 AÜ yansıma değerleri, Göktürk-2'nin 6S yazılım çıktılarıyla kıyaslanarak her banda ait RMSE ve ortalama yüzde fark hatası çıkarılmıştır. Çizelge 5.4'te analiz sonuçları sunulmaktadır.

Çizelge 5.4 Göktürk-2'nin AÜ yansıma değerlerinin Landsat 8'e göre doğrulaması sonucu elde edilen RMSE değerleri

	Pan		Kırmızı		Yeşil		Mavi		NIR	
	PCI	ENVI	PCI	ENVI	PCI	ENVI	PCI	ENVI	PCI	ENVI
RMSE (G.Ö.)	0,092	0,078	0,115	0,103	0,145	0,127	0,159	0,144	0,057	0,049
RMSE (G.S.)	0,080	0,036	0,039	0,033	0,062	0,047	0,071	0,058	0,033	0,040

Analiz sonuçları, uydu geçişi önceki verilerine göre RMSE değerlerinin tüm bantlarda 0,15'in içerisinde iken uydu geçişi sonrası verilerinin kullanılmasıyla tüm bantlarda 0,08'in altına düştüğünü göstermektedir. Elde edilen RMSE değerlerinin uydu geçişi öncesinde, geçiş sonrasına göre yaklaşık iki kat arttığı görülmektedir. Uydu geçişi öncesi ve sonrasında elde edilen AÜ yansıma sonuçları, birbirine yakın seyreden PCI ve ENVI sonuçları ile 0,033 ve 0,159 arasında yansıma farkı taşımaktadır. PCI ve ENVI'nin kendi içerisinde yüzdelik AÜ yansıma farkları çizelge 5.5 ile görülmektedir. Landsat 8 uydusu için elde edilen AÜ yansıma değerlerinin 6S yazılımı çıktılarına göre elde edilen yüzde ortalama fark tablosu ise çizelge 5.6'da verilmektedir.

Çizelge 5.5 PCI ve ENVI'nin birbirine göre elde edilen yüzde ortalama AÜ yansıma farkı

%	Pankromatik	Kırmızı	Yeşil	Mavi	NIR
Y. Fark (G. Öncesi)	2,57	2,35	3,72	3,31	1,62
Y. Fark (G. Sonrası)	2,66	2,26	3,68	3,13	1,65

Kullanılan iki program arasında tüm bantlarda % 1 ile % 3 AÜ yansıma farkı elde edildiğinden dolayı sonuçların kendi içerisinde tutarlı olduğu söylenebilir. Yapılan bu analiz ve elde edilen tutarlı sonuçlar, iki programın AÜ yansıma doğrulamasında kullanılması için uygun olduğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 5.6 PCI ve ENVI ile elde edilen Landsat 8 AÜ yansıma değerlerinin Göktürk-2'nin 6S simülatör çıktılarına göre yüzde ortalama farkı

%	Pankromatik		Kırmızı		Yeşil		Mavi		NIR	
	PCI & 6S	ENVI & 6S	PCI & 6S	ENVI & 6S	PCI & 6S	ENVI & 6S	PCI & 6S	ENVI & 6S	PCI & 6S	ENVI & 6S
G. Ö.	14,2	12,02	16,5	14,53	22,51	19,63	25,53	23,06	7,37	5,87
G. S.	7,9	5,45	3,57	1,39	8,79	5,44	11,06	8,28	2,83	4,53

Elde edilen doğrulama sonuçları, Göktürk-2 geçişi sonrasında iki uydu arasındaki AÜ yansıma farkının % 11'in içerisinde olduğunu ve kırmızı bantta % 1'e kadar düştüğünü göstermektedir. Uydu geçiş öncesi ve geçiş sonrası ölçümleri arasında yaklaşık 10 dakika fark olmasına rağmen her bantta uydu geçişi öncesinde (sonrasına göre) görülen yaklaşık iki katlık hata oranı farkının, geçiş öncesinde Tuz Gölü'nün kıyısından alınan spektral ölçümlerin toplanması sırasında, spektroradyometrenin düzenli kalibrasyon yapılmamasından kaynaklı sistematik bir hatadan neden olduğu düşünülmektedir.

5.3 RASAT'ın Kalibrasyon Katsayılarının Belirlenmesi

2016 yılına ait RASAT Tuz Gölü görüntüsü, tüm bantlar için '0' kazanç faktörü gözetilerek çekilmiştir. Kırmızı bantlı görüntü sature olduğundan dolayı çalışmada kullanılamamıştır. Tuz Gölü sahasından toplanan 50 spektral ölçümden birbirine en yakın ve standart sapma oranı en düşük olan 10'u analiz edilmiştir. 10 noktadan toplanan yersel spektral ölçümler, çizelge 4.4 ile verilen 6S atmosferik simülatör girdileri ile atmosfer üstüne taşınmıştır. RASAT'ın mutlak radyometrik kalibrasyonu için gereken AÜ ışıma ve DN değerleri, simülatör çıktıları olarak elde edilmiştir. İlgili noktalara ait elde edilen değerler çizelge 5.7'de verilmektedir.

Çizelge 5.7 RASAT'ın mutlak radyometrik kalibrasyonu için kullanılan sayısal değerler ve AÜ yansıma/ışıma değerleri

AÜ	Pankromatik			Yeşil			Mavi		
	Yansıma	Işıma	DN	Yansıma	Işıma	DN	Yansıma	Işıma	DN
RST1	0,615	257,111	64	0,605	276,480	216	0,591	285,552	210
RST2	0,606	253,256	63	0,597	272,526	214	0,585	282,784	208
RST3	0,587	245,397	64	0,576	262,924	214	0,56	270,605	208
RST4	0,59	246,524	64	0,581	265,562	214	0,574	277,232	210
RST5	0,613	256,108	63	0,603	275,295	213	0,589	284,797	208
RST6	0,579	242,193	63	0,566	258,579	214	0,549	265,180	210
RST7	0,606	253,207	64	0,596	272,027	214	0,582	281,416	210
RST8	0,605	252,960	65	0,595	271,695	218	0,581	280,822	210
RST9	0,62	259,162	65	0,609	278,039	217	0,595	287,629	213
RST10	0,636	266,038	60	0,626	285,817	195	0,613	296,220	204

10 noktaya ait AÜ ışıma ve sayısal değerlerin (3.1) denklemine göre doğrusal fit edilmesi ile elde edilen normalize edilmemiş kalibrasyon katsayıları (kazanç ve öteleme) çizelge 5.8'de görülmektedir.

Çizelge 5.8 RASAT için 2016 yılında yapılan mutlak radyometrik kalibrasyon sonucu elde edilen kazanç bilgileri

	Pankromatik	Kırmızı	Yeşil	Mavi
Kazanç (G. Öncesi)	3,985	Sature	1,276	1,345
Kazanç (G. Sonrası)	3,825	Sature	1,225	1,286
Öteleme	0	0	0	0

RASAT'ın mutlak radyometrik kalibrasyonunun gerçekleştirilmesiyle elde edilen kazanç değerlerine bakılacak olursa Göktürk-2 ile elde edilen kazanç değerlerinden oldukça yüksek olduğu gözlenmektedir. Kazanç değerleri arasındaki bu farkın nedeni araştırılmalı ve bağıl radyometrik kalibrasyon gibi alternatif radyometrik kalibrasyon yöntemleri ile doğrulaması yapılmalıdır.

5.4 RASAT'ın Landsat 8 ile AÜ Yansıma Doğrulaması

Göktürk-2 uydusunun 2016 yılına ait AÜ yansıma değerleri kullanılarak gerçekleştirilen RMSE analizi, RASAT uydusu için de gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.7'de belirtilen değerler kullanılarak PCI ve ENVI programları aracılığı ile Landsat 8'in AÜ yansıma değerlerine göre doğrulaması yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları çizelge 5.9'da verilmektedir.

Çizelge 5.9 RASAT'ın AÜ yansıma değerlerinin Landsat 8'e göre doğrulaması sonucu elde edilen RMSE değerleri

	Pankromatik		Kırmızı		Yeşil		Mavi	
	PCI	ENVI	PCI	ENVI	PCI	ENVI	PCI	ENVI
RMSE (G. Öncesi)	0,056	0,051	Sature	Sature	0,066	0,039	0,076	0,047
RMSE (G. Sonrası)	0,018	0,014	Sature	Sature	0,044	0,045	0,052	0,030

RASAT'ın Landsat 8'e göre yapılan doğrulama çalışması için elde edilen RMSE sonuçları gözlendiğinde uydu geçişi sonrasında (öncesine göre) görülen ortalama iki kat hata farkı, Göktürk-2'deki gibi sistematik bir hatanın olduğunu ortaya koyması açısından önemlidir.

5.5 Çapraz Radyometrik Kalibrasyon Yönteminin Göktürk-2'ye Uygulanması

Tuz Gölü'ne ait 2016 yılı veriseti kullanılarak gerçekleştirilen Göktürk-2'nin çapraz radyometrik kalibrasyon çalışmasında kullanılan SBAF yöntemi, Demirhan vd. (2017) tarafından uygulanmıştır. 20 noktanın ortalama değeri ile elde edilen AÜ yansıma değerleri ve çapraz kalibrasyon katsayıları çizelge 5.10-5.11 ile verilmiştir. Bu çalışmada aynı metot 2015 yılı verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.10 2016 yılı verileri kullanılarak gerçekleştirilen Göktürk-2'nin çapraz radyometrik kalibrasyonu sonuçları (Demirhan vd. 2017)

Bant	GK-2 AÜ Yansıma (a)	L8 AÜ Yansıma (b)	Çapraz Kalibrasyon Katsayısı (a/b)	GK2 & L8 AÜ Yansıma Farkı (a-b)	GK2 & L8 AÜ Yansıma Yüzde Farkı (a-b)/b
Pankromatik	0.514	0.558	0.9224	-0.043	-8.40
Mavi	0.432	0.456	0.9455	-0.024	-5.76
Yeşil	0.495	0.490	1.0087	0.005	0.86
Kırmızı	0.574	0.563	1.0201	0.011	1.97
NIR	0.606	0.624	0.9705	-0.018	-3.03

Çizelge 5.11 2016 yılı verilerine SBAF yönteminin uygulanması ile elde edilen Göktürk-2'nin çapraz radyometrik kalibrasyonu sonuçları (Demirhan vd. 2017)

Bant	SBAF	SBAF Sonrası GK-2 AÜ Yansıma	SBAF Öncesi Yüzde Fark	SBAF Sonrası Yüzde Fark
Pankromatik	0.976	0.526	-8.40	-5.56
Mavi	0.998	0.432	-5.76	-5.28
Yeşil	0.982	0.503	0.86	2.64
Kırmızı	1.018	0.564	1.97	0.19
NIR	0.937	0.646	-3.03	3.49

2015 yılı gerçekleştirilen SBAF çalışması için Göktürk-2 uydusunun geçişinden sonra toplanan yersel spektral imzalardan çapraz radyometrik kalibrasyonun katsayısının en yüksek hesaplandığı piksele düşen spektral imza değerlendirmeye alınmıştır. Yapılan analiz nokta bazlı kalmamıştır. Tek bir nokta için yapılan ölçüm, Tuz Gölü üzerindeki farklı noktalardan toplanan spektral imzalar için de denenmiştir. Toplanan tüm spektraların ortalama AÜ yansıma değerleri hesaplanmış, SBAF yöntemi ile test

edilmiştir. Diğer analiz sonuçlarının da istatistiksel olarak tek noktadan toplanan spektral bulgulara oldukça yakın olduğu gözlemlenmiştir. Göktürk-2'nin çapraz radyometrik kalibrasyonuna SBAF yönteminin uygulanması sonucu elde edilen AÜ yansıma değerleri ve SBAF yöntemi öncesi/sonrası elde edilen yüzde farklar çizelge 5.12'de görülmektedir.

Çizelge 5.12 2015 yılı verileri kullanılarak uygulanan SBAF yöntemi sonrasında elde edilen çapraz radyometrik kalibrasyon sonuçları

Bant	GK-2 AÜ Yansıma	L8 AÜ Yansıma	GK-2 Simüle Edilmiş AÜ Yansıma	L8 Simüle Edilmiş AÜ Yansıma	SBAF	Düzeltilmiş GK-2 AÜ Yansıma	SBAF Öncesi AÜ Yansıma Yüzde Fark	SBAF Sonrası AÜ Yansıma Yüzde Fark
Pankromatik	0,543	0,5	0,545	0,557	0,978	0,515	0,73	2,934
Mavi	0,438	0,443	0,508	0,51	0,995	0,439	-1,291	-0,872
Yeşil	0,458	0,478	0,527	0,537	0,98	0,467	-4,429	-2,351
Kırmızı	0,556	0,547	0,572	0,556	1,028	0,54	1,463	-1,299
NIR	0,551	0,557	0,56	0,588	0,952	0,578	-1,205	-3,71

2015 yılı araştırma bulgularına göre SBAF yönteminin uygulanmadan önceki durumunun AÜ yansıma ait yüzde farkın tüm bantlar için % 5'in içerisinde kaldığı ve SBAF yöntemi uygulanması sonucu beş bant (pankromatik, kırmızı, yeşil, mavi ve NIR) için % 3'ün altına düştüğü görülmektedir. 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 SBAF yönteminin uygulanmasının sonuçlara başarılı olarak yansıdığı görülebilmektedir. Çapraz kalibrasyon katsayıları arasındaki standart sapma yaklaşık % 2 olmuştur. Bu durum 2016 verilerine ait sonuçlarda % 3 şeklindedir. Kırmızı, yeşil ve mavi bantta gözlenen AÜ yansıma farkı, iki uydu sensörünün bağıl spektral tepkilerinin (RSR) birbiri ile yakın bir bant genişliğinde olduğunu göstermektedir. NIR ve pankromatik bandı ile görülen yüzde farkta oluşan sapma ise iki uydunun ilgili iki bandına ait bağıl spektral tepkilerindeki (RSR) farklılığı göstermesi açısından önemlidir.

5.6 Yeniden Örnekleme Yöntemlerinin Kalibrasyon Parametrelerine Etkisinin İncelenmesi

Yeniden örnekleme yöntemlerinin kalibrasyon parametrelerine etkisinin analiz sonuçları gözlemlendiğinde tüm bantlar için gerçekleştirilen yeniden örnekleme işlemleri sonucunda 2016 yılında elde edilen kalibrasyon katsayılarına oldukça yakın sonuçlar alınmıştır. Bu bulgular, radyometrik kalibrasyon çalışmalarında kalibrasyonu yapılan uydu görüntülerinin piksel bazlı olarak eşleştirilememesinden kaynaklı ortaya çıkan sistematik hataları giderme açısından önemlidir. Pankromatik banda uygulanan yeniden örnekleme yöntemleri sonucu elde edilen sayısal değerler ve AÜ yansıma/ışıma sonuçları çizelge 5.13'te görülmektedir.

Çizelge 5.13 Tüm bantlara uygulanan yeniden örnekleme yöntemlerine göre elde edilen sayısal değerleri

Pankromatik	Yansıma	Işıma	EYK DN	Kübik DN	Bilineer DN	Gerçek DN
GK1	0,645	274,761	926	928	927	920
GK2	0,63	268,527	926	928	927	929
GK3	0,637	271,195	926	928	927	918
GK4	0,642	273,449	926	928	927	904
GK5	0,63	268,467	926	928	927	905
GK6	0,658	280,348	923	921	919	905
GK7	0,639	272,065	921	922	922	928
GK8	0,655	278,993	921	922	922	904
GK9	0,658	280,228	921	922	922	925
GK10	0,653	278,365	921	922	922	922
GK11	0,667	283,957	921	922	922	936
GK12	0,655	279,014	921	922	922	923
GK13	0,645	274,954	914	919	918	923
GK14	0,656	279,385	914	919	918	911

Çizelge 5.13 Tüm bantlara uygulanan yeniden örnekleme yöntemlerine göre elde edilen sayısal değerleri (devam)

GK15	0,649	276,59	914	919	918	907
GK16	0,661	281,548	926	927	927	931
GK17	0,671	285,683	926	927	927	943
GK18	0,673	286,919	926	927	927	938
GK19	0,671	286,009	922	923	922	931
GK20	0,67	285,386	902	903	905	945
Ortalama	0,653	278,292	921,1	922,8	922,4	922,4

Kırmızı	Yansıma	Işıma	EYK DN	Kübik DN	Bilineer DN	Gerçek DN
GK1	0,669	255,974	1334	1336	1335	1323
GK2	0,656	250,700	1334	1336	1335	1323
GK3	0,661	252,831	1320	1320	1321	1323
GK4	0,67	256,205	1320	1320	1321	1325
GK5	0,656	250,857	1320	1320	1321	1325
GK6	0,684	261,442	1320	1320	1321	1323
GK7	0,665	254,232	1320	1320	1321	1323
GK8	0,684	261,698	1320	1320	1321	1317
GK9	0,687	262,577	1320	1320	1321	1318
GK10	0,682	260,850	1320	1320	1321	1318
GK11	0,693	264,793	1320	1320	1321	1326
GK12	0,684	261,502	1320	1320	1321	1326
GK13	0,675	258,108	1320	1320	1321	1324
GK14	0,685	262,021	1320	1320	1321	1327
GK15	0,683	261,189	1320	1320	1321	1323
GK16	0,687	262,666	1335	1350	1336	1333
GK17	0,697	266,495	1335	1350	1336	1333
GK18	0,698	267,055	1335	1350	1336	1333

Çizelge 5.13 Tüm bantlara uygulanan yeniden örnekleme yöntemlerine göre elde edilen sayısal değerleri (devam)

GK19	0,697	266,512	1335	1350	1336	1341
GK20	0,702	268,406	1335	1350	1336	1341
Ortalama	0,680	260,305	1325,1	1329,1	1326,1	1326,2

Yeşil	Yansıma	Işıma	EYK DN	Kübik DN	Bilineer DN	Gerçek DN
GK1	0,634	289,936	884	884	883	876
GK2	0,618	282,897	864	863	865	868
GK3	0,625	286,133	864	863	865	868
GK4	0,629	287,893	864	863	865	868
GK5	0,618	282,663	864	863	865	868
GK6	0,646	295,638	864	863	865	871
GK7	0,626	286,68	864	863	865	871
GK8	0,64	292,984	864	863	865	866
GK9	0,643	294,41	864	863	865	866
GK10	0,639	292,401	864	863	865	869
GK11	0,654	299,276	864	863	865	865
GK12	0,64	292,913	864	863	865	875
GK13	0,63	288,271	864	863	865	875
GK14	0,641	293,368	864	863	865	875
GK15	0,631	288,625	864	863	865	870
GK16	0,648	296,369	707	748	726	878
GK17	0,657	300,744	875	893	875	895
GK18	0,661	302,61	875	893	875	887
GK19	0,658	301,265	875	893	875	889
GK20	0,653	298,637	875	893	875	885
Ortalama	0,639	292,685	859,3	864,3	860,9	874,2

Çizelge 5.13 Tüm bantlara uygulanan yeniden örnekleme yöntemlerine göre elde edilen sayısal değerleri (devam)

Mavi	Yansıma	Işıma	EYK DN	Kübik DN	Bilineer DN	Gerçek DN
GK1	0,615	298,571	1061	1058	1055	1050
GK2	0,6	291,165	1061	1058	1055	1050
GK3	0,607	294,413	1047	1031	1038	1042
GK4	0,607	294,643	1047	1031	1038	1042
GK5	0,599	290,75	1047	1031	1038	1036
GK6	0,627	304,124	1047	1031	1038	1036
GK7	0,607	294,424	1047	1031	1038	1036
GK8	0,619	300,294	1047	1031	1038	1038
GK9	0,623	302,114	1047	1031	1038	1038
GK10	0,618	299,952	1047	1031	1038	1033
GK11	0,635	308,05	1047	1031	1038	1033
GK12	0,62	300,775	1047	1031	1038	1046
GK13	0,609	295,628	1047	1031	1038	1047
GK14	0,62	300,802	1047	1031	1038	1047
GK15	0,608	295,098	1047	1031	1038	1052
GK16	0,63	305,501	965	892	883	1064
GK17	0,639	310,12	1043	977	980	1064
GK18	0,641	312,354	1043	977	980	1069
GK19	0,64	310,761	1043	977	980	1069
GK20	0,631	306,146	1043	977	980	1055
Ortalama	0,619	300,78	1043,5	1015,9	1020,3	1047,3

NIR	Yansıma	Işıma	EYK DN	Kübik DN	Bilineer DN	Gerçek DN
GK1	0,662	179,928	1210	1202	1202	1195
GK2	0,653	177,475	1210	1202	1202	1194

Çizelge 5.13 Tüm bantlara uygulanan yeniden örnekleme yöntemlerine göre elde edilen sayısal değerleri (devam)

GK3	0,657	178,542	1210	1202	1202	1194
GK4	0,672	182,579	1179	1182	1187	1182
GK5	0,655	178,059	1179	1182	1187	1182
GK6	0,684	185,7	1179	1182	1187	1185
GK7	0,666	180,943	1179	1182	1187	1185
GK8	0,685	186,13	1179	1182	1187	1183
GK9	0,684	185,694	1179	1182	1187	1183
GK10	0,686	186,71	1179	1182	1187	1183
GK11	0,69	187,318	1179	1182	1187	1183
GK12	0,685	186,103	1179	1182	1187	1183
GK13	0,676	183,65	1179	1182	1187	1204
GK14	0,687	186,547	1179	1182	1187	1204
GK15	0,694	188,393	1179	1182	1187	1190
GK16	0,683	185,574	1179	1182	1187	1204
GK17	0,695	188,823	1135	948	953	1223
GK18	0,694	188,444	1147	1091	1102	1223
GK19	0,691	187,745	1147	1091	1102	1211
GK20	0,703	191,021	1147	1091	1102	1211
Ortalama	0,680	184,768	1176,6	1159,6	1164,8	1195,1

Her bir banda uygulanan aradeğerleme metotları sonucu elde edilen ortalama sayısal değerlerin sonuçları, pankromatik banttaki gibi elde edilen sonuçlara benzerlik göstermekte ve ortalama değerlere yakın sonuçlar vermektedir. Uygulanan metotlar doğrultusunda her bir piksele düşen sayısal değerler değişmiştir. Yapılan analiz sonucunda elde edilen kazanç değerleri çizelge 5.14'te gösterilmektedir.

Çizelge 5.14 2016 yılına ait ve yeniden örnekleme yöntemleri kullanılarak uygulanan kalibrasyon katsayılarının karşılaştırılması

	Pankromatik		
	E.Y.K.	Kübik	Bilineer
İnterpolasyon yöntemleri ile elde edilen kazanç değerleri	0,3021	0,3015	0,3017
Mutlak radyometrik sonucu elde edilen kazanç değeri	0,3017		

	Yeşil		
	E.Y.K.	Kübik	Bilineer
İnterpolasyon yöntemleri ile elde edilen kazanç değerleri	0,34	0,3383	0,3395
Mutlak radyometrik sonucu elde edilen kazanç değeri	0,3348		

	Mavi		
	E.Y.K.	Kübik	Bilineer
İnterpolasyon yöntemleri ile elde edilen kazanç değerleri	0,2881	0,2955	0,2942
Mutlak radyometrik sonucu elde edilen kazanç değeri	0,2872		

	Kırmızı		
	E.Y.K.	Kübik	Bilineer
İnterpolasyon yöntemleri ile elde edilen kazanç değerleri	0,1964	0,1959	0,1963
Mutlak radyometrik sonucu elde edilen kazanç değeri	0,1963		

	NIR		
	E.Y.K.	Kübik	Bilineer
İnterpolasyon yöntemleri ile elde edilen kazanç değerleri	0,1569	0,1588	0,1581
Mutlak radyometrik sonucu elde edilen kazanç değeri	0,1546		

Uygulanan aradeğerleme yöntemleri sonucu kırmızı, yeşil ve mavi bantlarına ait elde edilen kalibrasyon katsayılarının birbirine oldukça yakın sonuçlar verdiği gözlenmektedir. En büyük fark, 5 m mekânsal çözünürlüğe sahip olan mavi bandın yeniden örneklenmesinde gözlenmektedir. Elde edilen tüm sonuçlar, ERDAS Imagine programının kullanmış olduğu algoritma ile elde edilmiştir. İnterpolasyon yapıldıktan

sonra görüntünün sayısal değerlerindeki değişimler kalibrasyon katsayılarına yansımış ve görüntünün öz piksel değerleri ±% 1 değişmiştir.

5.7 Tuz Gölü'nde 2015 ve 2016 Yılında Gözlenen AÜ Yansıma Değişiminin Analiz Edilmesi

Göktürk-2'nin geçişi öncesi ve sonrasında 2015 ve 2016 yılına ait 50 yersel ölçüm verisi kullanılarak yapılan analiz sonuçlarına göre bir piksele düşen ve her banda ait olarak elde edilen AÜ yansıma sonuçları çizelge 5.15'te verilmiştir.

Çizelge 5.15 Göktürk-2'nin bir piksele düşen AÜ yansıma değerleri

<table>
<tr><th>2015 GK-2 Geçiş Öncesi</th><th>Pankromatik</th><th>Kırmızı</th><th>Yeşil</th><th>Mavi</th><th>NIR</th></tr>
<tr><td>GK1</td><td rowspan="2">0,6159</td><td rowspan="2">0,642</td><td rowspan="2">0,5809</td><td rowspan="2">0,6271</td><td rowspan="2">0,5744</td></tr>
<tr><td>GK2</td></tr>
<tr><td>GK3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>GK4</td><td></td><td rowspan="5">0,663</td><td rowspan="5">0,6092</td><td rowspan="5">0,6511</td><td rowspan="5">0,5889</td></tr>
<tr><td>GK5</td><td></td></tr>
<tr><td>GK6</td><td rowspan="3">0,6388</td></tr>
<tr><td>GK7</td></tr>
<tr><td>GK8</td></tr>
<tr><td>GK9</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>GK10</td><td rowspan="3">0,6445</td><td rowspan="3">0,667</td><td rowspan="3">0,6152</td><td rowspan="3">0,6555</td><td rowspan="3">0,5956</td></tr>
<tr><td>GK11</td></tr>
<tr><td>GK12</td></tr>
<tr><td>GK13</td><td rowspan="2">0,6652</td><td rowspan="2">0,686</td><td rowspan="2">0,6381</td><td rowspan="2">0,6756</td><td rowspan="2">0,6193</td></tr>
<tr><td>GK14</td></tr>
<tr><td>GK15</td><td></td><td rowspan="2">0,6901</td><td rowspan="2">0,646</td><td rowspan="2">0,6809</td><td rowspan="2">0,624</td></tr>
<tr><td>GK16</td><td></td></tr>
</table>

Çizelge 5.15 Göktürk-2'nin bir piksele düşen AÜ yansıma değerleri (devam)

GK17					
GK18	0,6451				
GK19					
GK20					
GK21	0,6516				
GK22					
GK23		0,6788	0,6257	0,6664	0,6129
GK24					
GK25					
GK26	0,6558	0,6815	0,6211	0,6667	0,6166
GK27					
GK28					
GK29	0,642	0,6721	0,6075	0,6559	0,6086
GK30					
GK31					
GK32	0,649				
GK33					
GK34	0,6829	0,7048	0,6541	0,6931	0,6397
GK35					
GK36	0,6821	0,6989	0,6437	0,6854	0,6358
GK37					
GK38					
GK39	0,6849	0,7087	0,6532	0,6955	0,6428
GK40					
GK41		0,6849	0,6357	0,6696	0,6168
GK42	0,6621				
GK43					
GK44	0,6505	0,6831	0,6467	0,6665	0,6213

Çizelge 5.15 Göktürk-2'nin bir piksele düşen AÜ yansıma değerleri (devam)

GK45					
GK46	0,6608				
GK47					
GK48	0,6537	0,6808	0,6166	0,6643	0,6202
GK49					
GK50					
Ortalama	0,6553	0,6815	0,6281	0,6681	0,6154

2016 GK-2 Geçiş Öncesi	Pankromatik	Kırmızı	Yeşil	Mavi	NIR
GK1		0,7334	0,6548		
GK2				0,7072	0,7208
GK3			0,6545		
GK4		0,735			0,73
GK5	0,7096		0,6584		
GK6		0,7475		0,7222	0,742
GK7					
GK8			0,6694	0,7315	0,7541
GK9		0,7589			
GK10			0,6753	0,7352	
GK11		0,763			
GK12	0,717			0,7269	
GK13			0,6628		0,7494
GK14					
GK15					
GK16		0,7688	0,6832		
GK17					0,7631
GK18			0,6915		

Çizelge 5.15 Göktürk-2'nin bir piksele düşen AÜ yansıma değerleri (devam)

GK19		0,7751			0,7662
GK20					
Ortalama	0,7133	0,7545	0,6687	0,7246	0,7465

2015 GK-2 Geçiş Sonrası	Pankromatik	Kırmızı	Yeşil	Mavi	NIR
GK1		0,6332	0,5424	0,6049	0,6126
GK2					
GK3					
GK4	0,5962	0,6334	0,5417	0,6052	0,6107
GK5					
GK6		0,619	0,5296	0,5912	0,6046
GK7					
GK8					
GK9	0,5565	0,5932	0,5023	0,5648	0,5769
GK10					
GK11	0,5436	0,5831	0,4851	0,5521	0,5687
GK12					
GK13					
GK14					
GK15		0,59	0,5135	0,5683	0,545
GK16	0,5614				
GK17					
GK18					
GK19	0,6124	0,6389	0,5763	0,6229	0,5778
GK20					
GK21	0,6162	0,6389	0,5866	0,6273	0,5665
GK22					

Çizelge 5.15 Göktürk-2'nin bir piksele düşen AÜ yansıma değerleri (devam)

GK23	0,6284	0,6506	0,5995	0,6395	0,5763
GK24					
GK25		0,6501	0,6025	0,6402	0,5738
GK26	0,6286				
GK27					
GK28	0,6409	0,6618	0,6139	0,6517	0,5873
GK29					
GK30	0,667	0,6824	0,648	0,6765	0,6124
GK31					
GK32		0,6771	0,6333	0,6681	0,6089
GK33					
GK34					
GK35	0,6347	0,6595	0,6014	0,6455	0,5937
GK36					
GK37		0,6465	0,5864	0,6318	0,5812
GK38					
GK39	0,6221				
GK40					
GK41	0,6673	0,691	0,6479	0,6821	0,6235
GK42					
GK43	0,6755				
GK44					
GK45					
GK46	0,6559	0,6895	0,641	0,6785	0,6251
GK47					
GK48	0,6811				
GK49					
GK50					
Ortalama	0,6242	0,6434	0,5794	0,6265	0,5908

Çizelge 5.15 Göktürk-2'nin bir piksele düşen AÜ yansıma değerleri (devam)

2016 GK-2 Geçiş Sonrası	Pankromatik	Kırmızı	Yeşil	Mavi	NIR
GK1					
GK2		0,6786		0,6448	0,6904
GK3	0,6451		0,5875		
GK4		0,7038		0,666	0,7084
GK5					
GK6	0,6714		0,6143	0,678	
GK7		0,7045			0,7057
GK8					
GK9		0,7117	0,6227	0,6836	
GK10	0,6808				0,7202
GK11					
GK12		0,7193	0,628	0,6905	
GK13					0,7275
GK14		0,7291	0,6347	0,6976	
GK15					0,7429
GK16	0,69		0,6239	0,6984	
GK17		0,7359			0,7492
GK18					
GK19		0,7028			0,7117
GK20	0,675		0,6213	0,685	
GK21		0,7195			0,7293
GK22					
GK23	0,6888		0,6403	0,696	
GK24		0,7275			
GK25					0,7345
GK26			0,6558	0,7173	
GK27	0,7119	0,7572			0,7626

Çizelge 5.15 Göktürk-2'nin bir piksele düşen AÜ yansıma değerleri (devam)

GK28					
GK29			0,648	0,7196	
GK30					
Ortalama	0,6804	0,7172	0,6276	0,6888	0,7256

2015 ve 2016 yıllarında Göktürk-2'nin geçişi öncesinde yapılan yansıma farkının ortalaması % 9 iken uydu geçişi sonrası yapılan yersel yansıma değerleri arasındaki farkın ortalaması % 10 olmaktadır. Tüm bantlar kapsamında yapılan analize ait yüzde ortalama yansıma farkları çizelge 5.16 ile görülmektedir.

Çizelge 5.16 2015-2016 yılları arasında Göktürk-2'nin geçişi öncesi ve sonrasında görülen tüm bantlara ait yüzde ortalama yansıma farkları

%	Pankromatik	Kırmızı	Mavi	Yeşil	NIR	Ortalama
GK-2 (G. Öncesi)	8,13	9,67	6,07	7,79	17,55	9,84
GK-2 (G. Sonrası)	8,25	10,29	7,67	9,04	18,57	10,76

Elde edilen bulgular, Tuz Gölü'nde eylül ayı içerisinde atmosferik şartların zorlaşması ve yağmurun başlamasıyla birlikte yansımasının % 18'e kadar değiştiği gözlenmektedir. Bu fark, 11 Eylül 2015 ve 11 Ağustos 2016 tarihlerinde düzenlenen ve Tuz Gölü'nün kıyısından yapılan kampanyaların bir aylık süredeki değişimini göstermektedir. Bu durum radyometrik kalibrasyon kampanyalarının düzenlenmesi için en uygun ayın ağustos ayı olduğunu göstermektedir. Tuz Gölü'ndeki büyük yansıma değerlerine gölün kuru, çevresi geniş, farklı cisimlerinden gelen yansımalardan uzak, havanın bulutsuz ve sissiz olması halinde ulaşılabileceği sonucu ortaya çıkmıştır.

Çizelge 5.17 2015 ve 2016 yıllarına ait yersel ölçüm verileri kullanılarak yapılan Göktürk-2'nin mutlak radyometrik kalibrasyonu sonucu elde edilen kazanç bilgileri

2015	Pankromatik (4)	Kırmızı (2)	Yeşil (8)	Mavi (6)	NIR (2)
Kazanç (G.Öncesi)	0,1737	0,1203	0,1651	0,1229	0,1082
Kazanç (G.Sonrası)	0,1741	0,1203	0,1655	0,1243	0,1078
Öteleme	0	0	0	0	0

2016	Pankromatik (0)	Kırmızı (0)	Yeşil (0)	Mavi (0)	NIR (0)
Kazanç (G.Öncesi)	0,2938	0,1769	0,3747	0,2676	0,1421
Kazanç (G.Sonrası)	0,2782	0,1664	0,3652	0,2569	0,1395
Öteleme	0	0	0	0	0

2015 ve 2016 yıllarında mutlak radyometrik kalibrasyon kapsamında yapılan analizler, piksellere düşen yansımaların ortalama değerlerinin alınmasıyla birlikte AÜ ışıma değerlerinin doğrusal regresyon analizinde eğri uydururken oluşturmuş olduğu hatayı azaltmak için tekrarlanmıştır. Yani piksel bazlı elde edilen ortalama yansıma değerleri kullanılarak mutlak radyometrik kalibrasyon işlemi tekrarlanmıştır. Elde edilen yersel spektral ölçümler, 6S atmosferik simülatörü yardımı ile atmosfer üstüne taşınmış ve doğrusal regresyon analizi yapılmıştır. Bu doğrultuda elde edilen kazanç değerleri çizelge 5.18'de verilmektedir.

Çizelge 5.18 Göktürk-2'nin piksel tabanlı ortalama yansıma analizi sonucu elde edilen kazanç bilgileri

2015	Pankromatik (4)	Kırmızı (2)	Yeşil (8)	Mavi (6)	NIR (2)
Kazanç (G.Sonrası)	0,1723	0,1171	0,1628	Sature	0,1054
Öteleme	0	0	0	0	0

Çizelge 5.18 Göktürk-2'nin piksel tabanlı ortalama yansıma analizi sonucu elde edilen kazanç bilgileri (devam)

2016	Pankromatik (0)	Kırmızı (0)	Yeşil (0)	Mavi (0)	NIR (0)
Kazanç (G.Öncesi)	0,2934	0,1758	0,3625	0,2621	0,1413
Kazanç (G.Sonrası)	0,2760	0,1655	0,3490	0,2498	0,1386
Öteleme	0	0	0	0	0

İki analiz sonucu elde edilen kazanç değerleri arasındaki yüzde fark çizelge 5.19 ile görülmektedir.

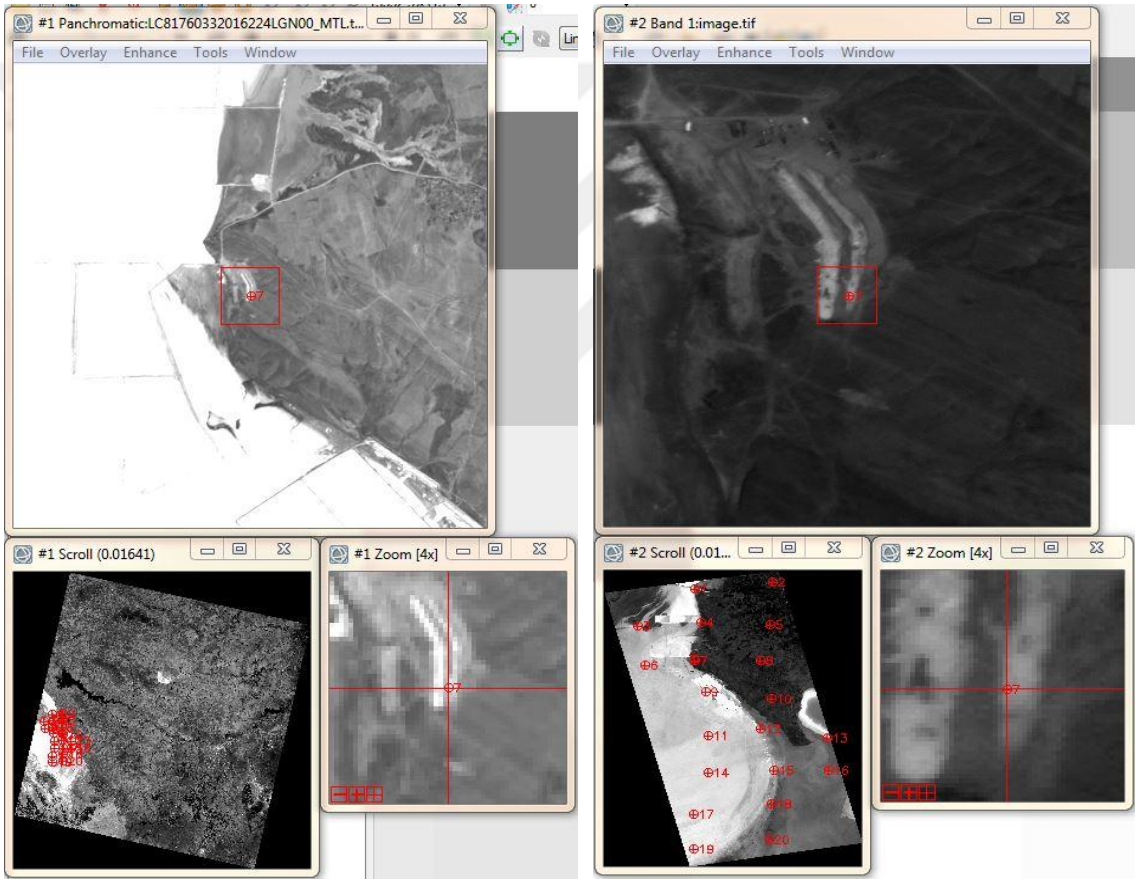
Çizelge 5.19 Göktürk-2'nin mutlak radyometrik kalibrasyonu ve piksel tabanlı ortalama yansıma analizi sonucu elde edilen kazanç değerlerinin yüzde farkları

%	Pankromatik	Kırmızı	Yeşil	Mavi	NIR
2015 Kazanç (G.Sonrası)	1,02	2,58	1,63	Sature	2,20
2016 Kazanç (G.Öncesi)	0,12	0,61	3,25	2,05	0,51
2016 Kazanç (G.Sonrası)	0,79	0,51	4,42	2,73	0,59

5.8 Göktürk-2'nin Konumsal Hata Analizi

Göktürk-2'ye ait seviye 1 (L1) görüntüsü, farklı yöntemler ile coğrafi koordinatlarına göre dönüşüm uygulanarak konumlandırılabilir. Yapılan analizde Göktürk-2 görüntüsü, 5m çözünürlüklü Tuz Gölü'ne ait SRTM DEM kullanılarak ENVI'nin "image to image registration" aracı ile yeniden konumlanmıştır. Bu açıdan polinom model aracılığı ile Landsat 8'e göre yeniden konumlanan görüntüler, konumsal değerlendirmeye tabi tutulabilecek seviyeye getirilmiştir. Çalışmada Göktürk-2 ve Landsat 8 görüntüsüne ait 22 adet yer kontrol noktası (YKN), şekil 5.1-5.2'deki gibi yatay ve düşey doğrultuda,

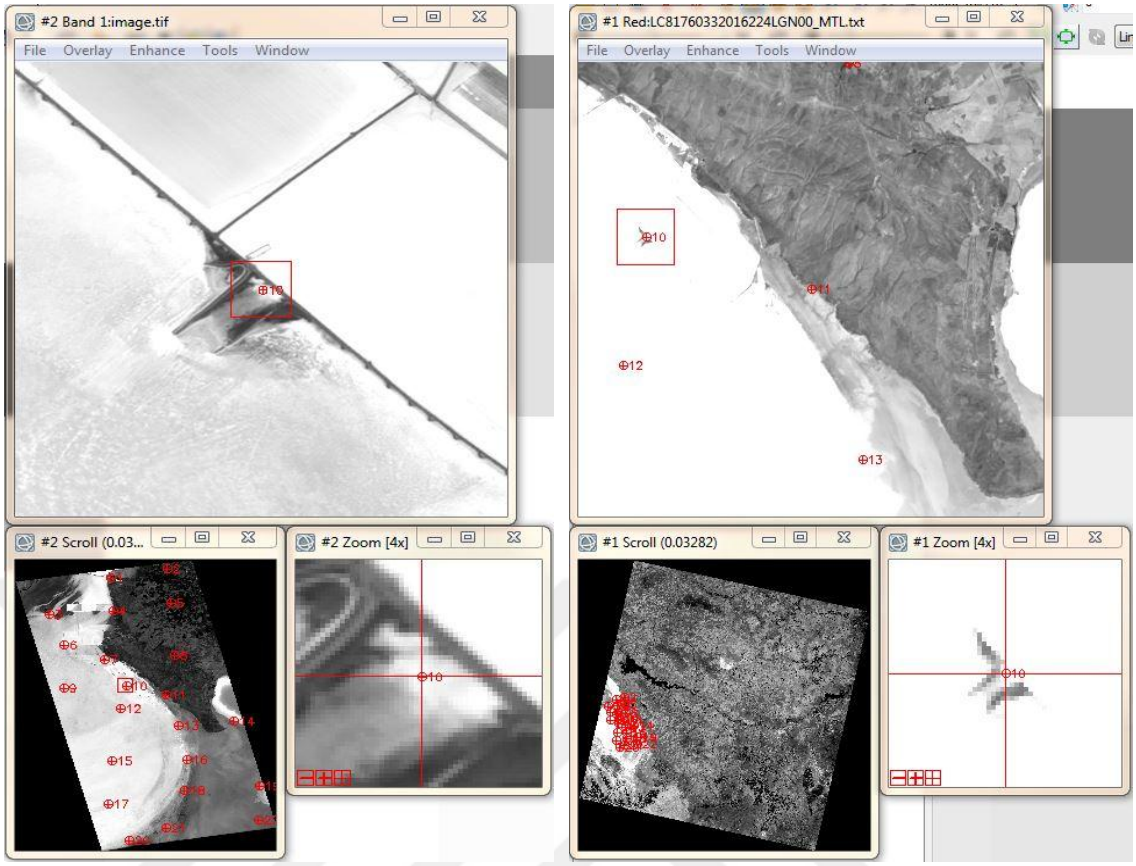
uygun bir şekilde dağıtılmıştır. Görüntüde Tuz Gölü bölgesindeki YKN seçimi, çevredeki tarım alanlarına oranla daha fazla olmuştur. Görüntüdeki YKN sayısı ve dağılımı tüm görüntüyü kapsayacak şekilde rastgele belirlenmiştir. YKN'ler aynı sayıdadır fakat farklı bant (pankromatik ve multispektral) ve seviyelerde (L1 ve L2) aynı noktalardan toplanmadığı için sonuçlar üzerindeki yansıması kaçınılmazdır. Göktürk-2 görüntüleri için algılayıcı yöneltme parametreleri veya RPC mevcut olmadığından dolayı konum doğruluğu belirleme işlemi çeşitli algılayıcı bağımsız dönüşüm modeli olan polinom modeli yardımıyla gerçekleştirilmiştir.



(a) (b)

Şekil 5.1.a Göktürk-2'nin pankromatik bandına ait görüntülerindeki YKN dağılımı, b. Landsat 8'in pankromatik bandına ait görüntülerindeki YKN dağılımı

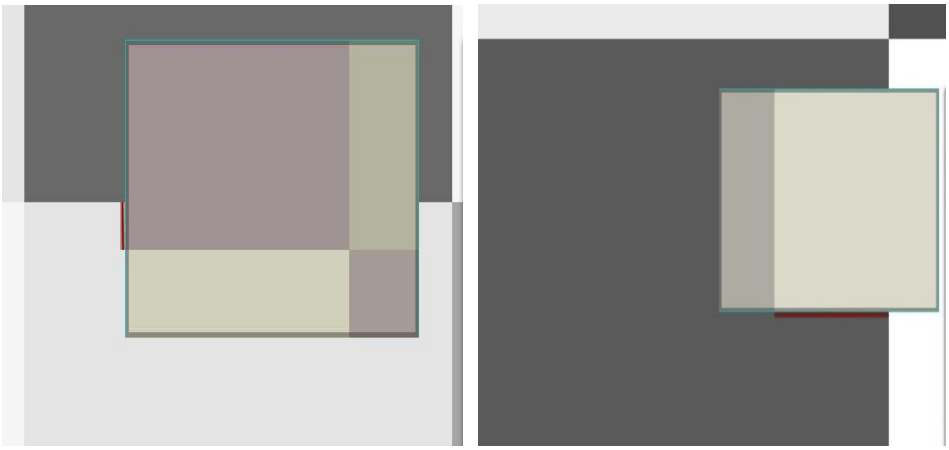
Şekil 5.2'de YKN ile üretilen algılayıcı bağımsız dönüşüm modeli olan polinom modeline göre konumlanmış görüntü görülmektedir.



(a) (b)

Şekil 5.2.a Göktürk-2'nin çok bantlı görüntülerindeki YKN dağılımı, b. Landsat 8'in çok bantlı görüntülerindeki YKN dağılımı

Göktürk-2'ye ait 2. seviye görüntüsü (L2), Landsat 8 görüntüsü ile karşılaştırıldığında her iki görüntü arasındaki düşeyde 2.84 m ve yatayda 6.86 m sistematik öteleme hatası şekil 5.3 ile görülmektedir.



(a) (b)

Şekil 5.3.a Göktürk-2'nin Landsat 8'e göre düşey konum hatası, b. Göktürk-2'nin Landsat 8'e göre yatay konum hatası

Yapılan konumsal analiz sonuçlarına göre görüntülerin konum doğruluğu, farklı algılayıcı bağımsız dönüşüm modeli (1. 2. ve 3. dereceden polinom) yardımıyla gerçekleştirilmiştir. L1 ve L2 seviyelerinde üretilen multispektral görüntüler ile en az 17 YKN kullanılarak ±2.19-333 m arasında doğruluk elde edilmiştir. Göktürk-2'nin multispektral L2 görüntüsü ve 2. dereceden polinomun kullanıldığı çalışmada en yüksek doğruluğa (2.19 m) ulaşılmıştır. Hata oranı bir pikselden az olduğu için ilgili görüntülerde geometrik çözünürlük kaybının olmadığı söylenebilir. Beklenildiği üzere çalışmada kullanılan polinom derecesinin artırılmasının ve daha yüksek dereceli polinom dönüşüm modelinin kullanılmasının sonuçlarda iyileştirici bir etki göstermediği açıktır. En kötü sonuç, 1. seviye (L1) pankromatik görüntülerde mevcuttur. İkinci seviyedeki (L2) görüntüler, geometrik düzeltmesi yapılmış olarak ve YKN kullanılarak kullanıcıya sunulduğu için sonuçları daha iyidir. Göktürk-2'nin L1 ve L2 seviyelerinde pankromatik ve multispektral görüntülerine ait konumsal hataları çizelge 5.20-5.21'de görülmektedir.

Çizelge 5.20 Göktürk-2'nin konum doğruluğu (RMSE (m))

	Pankromatik						Multispektral					
	L1			L2			L1			L2		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3

Çizelge 5.20 Göktürk-2'nin konum doğruluğu (RMSE (m)) (devam)

1	8,7	1,27	10172	3,84	0,56	4977	2,71	0,92	409	7,62	1,39	2,63
2	2,51	0,08	6338	13,4	2,33	6603	2,76	1,98	324	6,78	0,8	7,61
3	4,71	1,2	10594	4,91	1,32	3973	6,62	3,5	438	1,47	1	6,94
4	4,52	2	15666	1,01	1,61	5389	4,96	4,99	396	1,83	2,56	6,56
5	5,57	0,21	7306	3,34	3,64	7034	2,82	3,6	234	2,49	1,64	11,6
6	0,77	3,33	11818	2,08	3,71	4363	14,1	13	431	2,31	1,58	5,75
7	3,5	3,22	15780	4	1,41	5553	4,98	4,09	378	3,9	2,74	2,98
8	6,36	2,47	12153	7,56	2,49	7233	4,48	2,31	243	5,18	2,39	11,4
9	6,91	3,34	17463	9,9	4,02	6086	8,24	8,39	428	0,58	2,04	5,19
10	4,82	2,37	13199	6,31	2,09	7970	2,7	2,03	221	6,46	3,43	4,89
11	5,36	3,51	17191	4,51	1,99	6571	3,77	1,07	291	4,45	0,33	14,8
12	2,91	2,22	13810	13,3	4,85	7988	5,01	3,18	298	3,21	3,94	6,57
13	2,64	4,08	19172	4,86	2,82	1010	0,92	1,11	181	7,29	3,96	19,4
14	3,8	1,7	14330	4,86	5,88	6877	3,93	4,18	337	0,93	0,67	31,3
15	3,68	1,41	19673	4,53	1,71	8881	2,81	0,69	201	1,88	2,76	8,55
16	4,27	0,09	25372	8,22	0,82	10659	2,21	2,14	247	4,57	0,88	21,3
17	5,27	2,15	20262	6,12	3,21	6760	4,04	0,92	409	4,04	0,76	7,62

Çizelge 5.21 Toplam RMSE (m)

	Pankromatik						Multispektral					
	L1			L2			L1			L2		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
RMSE	4,83	2,36	15474	6,73	2,94	7367	5,39	4,57	333	4,21	2,19	20,6

6. TARTIŞMA

Göktürk-2'nin mutlak radyometrik kalibrasyon sonuçlarına göre 2015 ve 2016 yılına ait Göktürk-2'nin geçişi öncesi ve sonrasında elde edilen multispektral sensörün bant kazançlarının % 5'in içerisinde kaldığı görülmüştür. Yapılan bu analiz, kazanç faktörlerinin doğruluğunu belirten bir doğrulama çalışması olmasının yanında iki yıla ait elde edilen ortalama bant kazançlarının elde edilme yöntemini ortaya koyması açısından ciddi öneme sahiptir. Teke vd. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada belirtilen bant kazançlarının eldesi için kazanç ve kazanç katsayı ile normalizasyon yapılması gerektiği ortaya konmuştur. Fakat iki yıla ait elde edilen analiz sonuçları, kazanç katsayılarının sabit bir çarpan olarak kullanılması gerektiğini ortaya çıkarmaktadır. Önümüzdeki yıllarda yapılacak olan mutlak radyometrik kalibrasyon çalışmaları, Göktürk-2'nin tüm bantlarına ait radyometrik kalibrasyon katsayısını doğrulamak adına büyük öneme sahiptir.

Çapraz radyometik kalibrasyon için önemli bir analizde, Göktürk-2 ile Landsat 8'in AÜ yansıma değerlerinin karşılaştırılması ile geçiş öncesi değerleri % 25'lik dilimde iken geçiş sonrası % 11'lik dilimde kalmıştır. Belirli bantlarda görülen geçiş öncesi değerler, geçiş sonrasına göre 14 kata varan farklılık göstermiştir. Bu durum geçiş öncesi spektral ölçüm değerlerinin doğruluğunu tartışmaya açmıştır. Geçiş öncesi değerlerde spektroradyometrenin kalibrasyonu ile ilgili ve/veya spektral ölçüm kaynaklı sistematik bir hatanın olabileceği düşünülmektedir. Her iki program sonucu elde edilen doğrulama sonuçları incelendiğinde uydu geçişi öncesinde % 0,9 AÜ yansıma farkına kadar düşen bir durum gözlenmektedir. Ticari program olarak PCI sonuçlarının ENVI sonuçlarına göre % 1 - % 4 oranında daha yakın olduğu gözlemlenmektedir. Analiz sonuçlarımıza bakıldığında uydu geçişi öncesinde ve sonrasında elde edilen kazanç değerlerinin birbirine yakın olduğu ve uydu görüntüsünün çekiminden kaynaklı kazanç değerleri ile kazanç katsayıları arasında bir korelasyon olduğu görülebilmektedir.

RASAT'ın Landsat 8 uydusuna göre doğrulaması sonucu elde edilen RMSE hata değerleri uydu geçişi öncesinde daha yüksektir. Aynı durum Göktürk-2 uydusunda da mevcuttur. Uydu geçişi öncesinde gözlenen yüksek hata oranı, geçiş öncesi alınan

yersel spektral imzaların toplanması sırasında spektroradyometrenin düzenli kalibrasyon yapılmamasından kaynaklı sistematik bir hatanın olabileceğini göstermektedir.

2015 yılı sonuçları dikkate alındığında Göktürk-2'nin Landsat 8'e göre AÜ yansıma farkının 2016 yılına göre oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, 2016 yılı AÜ yansıma sonuçlarının yersel/atmosferik ölçümlerinden veya uydu geometrisinden kaynaklı sistematik bir hatanın olabileceğini göstermektedir.

2015 yılında yapılan SBAF çalışmasında elde edilen AÜ yansıma sonuçlarının Landsat 8 uydusunun AÜ yansıma değerlerine yakın olması SBAF yönteminin başarısını ortaya koymaktadır. Göktürk-2'nin bant aralığı, Landsat 8 bant aralığından daha geniş bir şekilde tasarlanmıştır. Bu durum Göktürk-2 uydusunun Landsat 8 uydusundan daha fazla dalgaboyundan ışık topladığını göstermektedir. Atmosferik emilim özelliklerinden kaçınmak için Landsat 8'in bant kenarları olabildiğince dar olarak tasarlanmıştır. Bu farklılıklar, her iki uydu sensörünün aynı anda ve elektromanyetik spektrumun aynı bölgesini gözlüyor olduğunda hedefin spektral imzasına dayanan farklı ışıma değerlerini sunabileceğini göstermiştir (Demirhan 2017). İki uydunun RSR eğrilerindeki fark gözetildiğinde, elde edilen sonuçlar ile tutarlı olduğu ve RSR eğrileri arasındaki farkın yüzde farka istatistiksel olarak yansıdığı ortaya çıkmıştır. 2015-2016 yıllarında gerçekleştirilen SBAF yönteminin ileriki yıllarda da incelenmesi metodolojinin tutarlılığını göstermesi açısından faydalı olacaktır.

Yeniden örnekleme yöntemlerinin kalibrasyon parametrelerine etkisinin analizi ile elde edilen sonuçlar, 3 yeniden örnekleme metodunun da kalibrasyon katsayılarına etkisinin beklendiğinden düşük olduğunu göstermektedir. En yakın komşuluk (EYK) regresyon analizi kullanılarak elde edilen kazanç değerleri ile Göktürk-2 görüntüsü jeoreferanslandırılarak herhangi bir yeniden örnekleme yapılmadan elde edilen kazanç değerleri en yakın değerleri almıştır. Bu durum, EYK'nın Göktürk-2 görüntüsünün orijinal sayısal değerlerini diğer yöntemlere göre daha az miktarda değiştirmesinden kaynaklıdır. Uydu görüntülerinin orijinal sayısal değerleri korunduğu ölçüde başarılı bir ön işleme safhasından geçildiği söylenebilir. Bu bakımdan, radyometrik kalibrasyon

sürecinin ön işleme safhasında kullanılan yeniden örnekleme yöntemlerinden EYK'nın diğer regresyon analiz yöntemlerine göre daha başarılı olduğu söylenebilir. Ayrıca yeniden örnekleme yöntemleri, özellikle EYK regresyon analizindeki hata değerleri ile ilgili varsayımların olmadığı durumlarda birer düzeltme yöntemi olarak da uygulanmaktadır. Çalışma, ERDAS Imagine programının kullandığı algoritma dışında farklı algoritma veya diğer ticari GIS programları ile de test edilebilir.

Piksel tabanlı ortalama yansıma değeri analizi sonucunda elde edilen kazanç değerleri, mutlak radyometrik kalibrasyonun doğruluğunu ortaya koyması açısından önemlidir. İki yıla ait olarak elde edilen değerler, mutlak radyometrik kalibrasyon çalışması sonucu elde edilen kazanç değerlerinin yıllık bazda değişimini göstermektedir. Elde edilen sonuçlara göre, tüm bantlarda kazanç değerleri arasında % 0,1 ile % 5 oranında fark bulunduğu gözlenmektedir. Bu durum, bir pikselden okunan ve birden fazla ölçüm değeri ile gerçekleştirilen doğrusal aradeğerlemeden gelen belirsizlik ve hataların beklendiğinden yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Uygulanan yöntem ile belirsizlik ve hataların azaltılarak daha doğru bir mutlak radyometrik kalibrasyon yapılabildiği düşünülmektedir. Girdiler, ileriki yıllarda kontrollü deneylerle test edilerek sistematikleştirilmeli ve sabit hatalardan arındırılmalıdır.

Göktürk-2 görüntülerinin geometrik düzeltmesini gerçekleştirmek için YKN'lerin sayısının, dağılımının ve konum doğruluğunun önemli olduğu ortaya çıkmıştır. Göktürk-2 görüntülerine ait YKN koordinatlarının, Landsat 8 görüntülerinden alınan koordinat bilgilerinin yanında yüksek çözünürlüklü YKN koordinat bilgileri ile desteklenmesi geometrik doğruluğu iyileştirebilir. Örneğin, Tuz Gölü ve çevresinden YKN'lerin toplanması halinde çalışmada elde edilen bulgulardan daha iyi konum doğruluğu elde edilebilir. Tuz Gölü'nde YKN'lerin havuz bölgesinin köşe noktalarından ve çevresindeki yükseklik farklılığı olan tarım alanlarından toplanması durumunda daha yüksek konum doğruluğuna ulaşılabilir. Polinom dışında farklı algılayıcı bağımsız modeller (benzerlik, afin projeksiyon, projektif, DLT) ve algılayıcı bağımlı yöneltme modelleri konum doğruluğunun daha iyileştirilmesi için uygulanabilir. Ayrıca görüntülerle birlikte iyi tanımlanmış bir RPC formatı kullanılarak başarı oranı

yükseltilebilir ya da konumsal doğruluğu daha iyi olan Sentinel-2 uydusuna göre konum doğrulaması yapılabilir.

Analiz sonucuna göre polinom algılayıcı bağımsız modeli ile L2 seviyesindeki çok bantlı Göktürk-2 görüntülerinin Landsat 8 görüntüsüne göre konumsal hatasının beklendiğinden az olduğu (~1 piksel) ve radyometrik kalibrasyon çalışmasının ön işleme aşamasında coğrafi koordinatlı Landsat 8 görüntülerinden faydalanılabileceği tespit edilmiştir.

7. SONUÇ

Günümüzde uydu görüntüleri keşif, madencilik, jeoloji, tarım, haritacılık, istihbarat, askeri, kalibrasyon, orman ve doğal afetlerin izlenmesi vb. gibi birçok amaçla kullanılmaktadır. Ülkemiz, uydu teknolojisine ilk adımını yer gözlem ve uzaktan algılama uydusu BİLSAT ile atmıştır. Daha sonra, ülkemizde tasarlanıp milli olarak üretilen RASAT uydusu ile 7.5m-15m uzamsal çözünürlüklü görüntüleri elde edilmiştir. Donanımının % 80'i ve yazılımının % 100'ü Türk mühendislerce yapılan ve yörüngede 4.yılını dolduran Göktürk-2 ile 2.5m-5m uzamsal ve yüksek çözünürlüklü görüntüler temin edilebilmektedir. 5 Aralık 2016 tarihinde fırlatılan Göktürk-1 uydusu ile 0.5m-2m uzamsal ve çok yüksek çözünürlüklü görüntü üretilebilmektedir. Göktürk-2 ile elde edilen tecrübelerin, Göktürk-1 ve İMECE gibi uydulara katkı sağladığı şüphesizdir. Uydu görüntülerinin oldukça yaygın kullanım alanına sahip olduğu düşünüldüğünde, üretilen milli uydularımız ile dışa bağımlılığın ortadan kalkacağına inanılmaktadır.

Gelişen uydu teknolojisi, milli uydularımızın kalibrasyon çalışmalarını da beraberinde getirmiştir. Sayılı ülkeler tarafından yapılan sensör kalibrasyonuna ait çalışmalar artık ülkemizde de yapılabilir seviyeye gelmiştir. Bu tez çalışması bu alanda yapılan sayılı örneklerden biri olması açısından önemlidir. 2015 ve 2016 yıllarında gerçekleştirilen RASAT uydusunun radyometrik ve geometrik kalibrasyon çalışmaları, Kalkınma Bakanlığı destekli GEOPORTAL Projesi kapsamında devam etmekte olup bu tez çalışması ile 2015 ve 2016 yıllarına ait radyometrik kalibrasyon çalışmalarından elde edilen bulgular, çeşitli yöntemler ile desteklenmiştir. 2015 ve 2016 yıllarına ait çalışmalarda 6S atmosferik simülatörüne sağlanan spektral ve atmosferik girdilerin tutarlılığı, atmosfer üstü seviyede elde edilen yansıma değerine olumlu yansımıştır. Yıllık bazda yapılan belirsizlik ve hata analizleri, bundan sonraki yıllarda yapılacak olan çapraz ve mutlak radyometrik kalibrasyon çalışmalarına katkı sağlaması açısından önemlidir. Bu çalışmadan elde edilen bulgular ve analizler, yapımı devam eden İMECE gibi hiperspektral uyduların mutlak ve çapraz radyometrik kalibrasyon çalışmalarında da kullanılabilecektir.

KAYNAKLAR

Ahn, H.Y., Shin, D.Y., Kim, J.S., Seo, D.C. and Choi, C.U. 2016. Absolute Radiometric Calibration of KOMPSAT-3A. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 41.

Anonim. 2012. Web Sitesi: https://gezgin.gov.tr/ Erişim Tarihi: 15.05.2017.

Anonim. 2013a. RASAT 6 yaşında. Tübitak Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü. Web Sitesi: http://uzay.tubitak.gov.tr/tr/haber/rasat-6-yasinda. Erişim Tarihi: 15.05.2016.

Anonim. 2013b. Uydu Görüntü İşleme ve Geoportal Oluşturma Projesi (GEOPORTAL). TÜBİTAK Proje No: 7P130200.

Anonim. 2017. Göktürk-2. Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. (TAI). Web Sitesi: https://www.tai.com.tr/urun/gokturk-2. Erşim Tarihi: 21.05.2017.

Anonymous. 2002. Fundamentals of Remote Sensing. CCRS. WebSitesi:https:// www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/resource/tutor/ fundam/pdf/fundamentals_e.pdf. Erişim Tarihi: 03.06.2017.

Anonymous. 2014a. Radiometric Corrections. Humboldt State University. Web Sitesi: http://gsp.humboldt.edu/olm_2015/Courses/GSP_216_Online/lesson4-1/radiometric.html Erişim Tarihi: 25.02.2016.

Anonymous. 2014b. Resolution. Humboldt State University. Web Sitesi: http:// gsp.humboldt.edu/OLM/Courses/GSP_216_Online/lesson3-1/resolution.html. Erişim Tarihi: 04.11.2018.

Anonymous. 2015a. AOD Level 1.5 and water vapor data from SEP 11 of 2015. NASA. Web sitesi: https://aeronet.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/data_display_aod_ v3?site= Tuz_Golu_3&nachal=0&year=2015&month=9&day=11&aero_water=1&level =2&if_day=0&if_err=0&place_code=10&year_or_month=0. Erişim Tarihi: 26.11.2017.

Anonymous. 2015b. Calibration/Validation Test Sites. U.S. Geological Survey (USGS). Web Sitesi: https://lta.cr.usgs.gov/Calibration_Validation_Test_Sites. Erişim Tarihi: 08.03.2016.

Anonymous. 2016. OMI Total Ozone. NASA. Web Sitesi: ftp://toms.gsfc.nasa.gov /pub/omi/images/global/Y2016/IM_ozgbl_omi_20160811.png. Erişim Tarihi: 03.09.2017.

Anonymous. 2017. Google Earth. Web Sitesi: https://www.google.com.tr/intl/tr/earth/ Erişim Tarihi: 23.05.2018.

Anonymous. 2018. Using the USGS Spectral Viewer. U.S. Geological Survey (USGS). Web Sitesi: https://landsat.usgs.gov/using-usgs-spectral-viewer. Erişim Tarihi: 12.01.2018.

Atak, V.O., Erdoğan, M. ve Yılmaz, A. 2015. Göktürk-2 Uydu Görüntü Testleri. Harita Dergisi, 18-33.

Bal, Ç. 1998. Elektromanyetik Spektrum. Web Sitesi: http://www.zamandayolculuk.com/html-3/em_spektrum.htm. Erişim Tarihi: 29.10.2018.

Bowen, H.S. 2002. Absolute radiometric calibration of the IKONOS sensor using radiometrically characterized stellar sources. International archives of photogrammetry remote sensing and spatial information sciences, 34, 7-13.

Chander, G., Markham, B.L. and Helder, D.L. 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. Remote sensing of environment, 113(5), 893-903.

Chander, G., Haque, M.O., Sampath, A., Brunn, A., Trosset, G., Hoffmann, D., Roloff, S., Thiele, M. and Anderson, C. 2013. Radiometric and geometric assessment of the data from the RapidEye constellation of satellites. International Journal of Remote Sensing, 34, 16, 5905-5925.

Chander, G., Mishra, N., Helder, D.L., Aaron, D.B., Angal, A., Choi, T., Xiong, X. and 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.

Czapla-Myers, J., McCorkel, J., Anderson, N., Thome, K., Biggar, S., Helder, D., Aaron, D., Leigh, L. and Mishra, N. 2015. The ground-based absolute radiometric calibration of Landsat 8 OLI. Remote Sensing, 7, 600-626.

Demirhan, İ.H. ve Sakarya, U. 2016. Hiperspektral Uydu Kamerasının Yerden Mutlak Radyometrik Kalibrasyonu İçin Ön Araştırma Sonuçları. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, 5-7 Ekim. 699-705. Adana.

Demirhan, İ.H., Deveci, H.S. ve Sakarya, U. 2017. Göktürk-2'nin Landsat 8 ile Çapraz Radyometrik Kalibrasyonu. IEEE 25. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, 15-18 Mayıs. Antalya.

Demirhan, İ.H. ve Telatar, Z. 2018. Göktürk-2'nin Mutlak ve Çapraz Radyometrik Kalibrasyon Katsayılarının Belirlenmesi. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, 18-21 Eylül. Eskişehir.

Deveci, H.S., Koru, A., Sakarya, U., Tevrizoğlu, İ., Teke, M., Küpçü, R., Avenoğlu, B., Demirkesen, C., Gürbüz, S.Z., Öztoprak, A.F., Açıkgöz, İ.S., Demirhan, İ.H., Kozal, A.Ö., Efendioğlu, M., Berke, E., Şimşek, F.F., Atıl, İ., Kaya, D., Uçmak, P., Ersöz, E. and Özen, H. 2016. The Benefits and Challenges of

Having AN Open and Free Basis Satellite Data Sharing Platform in Turkey: GEZGİN. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (ISPRS), 6, 1341-1347.

Deveci, H.S. ve Demirhan, İ.H. 2018. 2015 ve 2017 Tuz Gölü Kampanya Verilerini Kullanarak Göktürk-2 Bantlarına ait Radyometrik Kazançların Kıyaslanması. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, 18-21 Eylül. Eskişehir.

Dinguirard, M. ve Slater, P.N. 1999. Calibration of Space-Multispectral Imaging Sensors: A Review. Remote Sensing of Environment, 68, 194-205.

Efendioğlu, M., Teke, M., Topan, H., İmre, S.E. ve Cam, A. 2016. Göktürk-2 Uydu Görüntülerinin Orantısal İşlev Modeli Kullanılarak Konum Doğruluğunun Değerlendirilmesi. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, 16-19 Mayıs. Zonguldak.

Fan, X. and Liu, Y. 2018. Using a MODIS Index to Quantify MODIS-AVHRRs Spectral Differences in the Visible Band. Remote Sensing, 10, 61.

Farooq, S. 2018. Multispectral Images. Department of Geology, Aligarh Muslim University. Web Sitesi: http://www.geol-amu.org/notes/m1r-1-9.htm. Erişim Tarihi: 29.10.2018.

Fisher, R., Perkins, S., Walker, A. and Wolfart, E. 2003. Multispectral Images. Web Sitesi: https://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/mulimage.htm. Erişim Tarihi: 3.11.2018.

Gürbüz, S.Z., Özen, H. and Chander, G. 2012. A survey of LANDNET sites focusing on Tuz Gölü salt lake, Turkey. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (ISPRS), XXXIX-B1, 115-120. Melbourne, Australia.

Gürol, S., Özen, H., Leloğlu, U. M. and Tunalı, E. 2008. Tuz Gölü: New absolute radiometric calibration test site. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (ISPRS). 3-11. Beijing.

He, T., Liang, S., Wang, D., Cao, Y., Gao, F., Yu, Y. and Feng, M. 2018. Evaluating land surface albedo estimation from Landsat MSS, TM, ETM+, and OLI data based on the unified direct estimation approach. Remote Sensing of Environment, 204, 181-196.

Helder, D.L., Karki, S., Bhatt, R., Micijevic, E., Aaron, D. and Jasinski, B. 2012. Radiometric calibration of the Landsat MSS sensor series. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 50, 2380-2399.

Kalkan, K., Filiz, B.G., Özer, O. and Teke, M. 2015. Vegetation discrimination analysis from Göktürk-2 imagery. IEEE Recent Advances in Space Technologies, 16-19 June. 329-332. Istanbul.

Kim, J., Jin, C., Choi, C. and Ahn, H. 2015. Radiometric characterization and validation for the KOMPSAT-3 sensor. Remote Sensing Letters, 6, 529-538.

Mackin, S. 2008. Post-launch Calibration of the UK-DMC Satellite Sensor. Surrey Space Centre. University of Surrey Guildford. UK.

Markham, B., Barsi, J., Kvaran, G., Ong, L., Kaita, E., Biggar, S., Czapla-Myers, J., Mishra, N. and Helder, D. 2014. Landsat-8 Operational Land Imager Radiometric Calibration and Stability. Remote Sensing, 6, 12275-12308.

Markham, B.L., Barsi, J.A., Kaita, E., Ong, L., Morfitt, R. and Haque, M.O. 2015. Radiometric calibration and stability of the Landsat-8 Operational Land Imager (OLI). Earth Observing Systems XX. International Society for Optics and Photonics, 96070N.

Meena, D. 2013. Circular Scanner. WebSitesi: https://www.slideshare.net/dharmendera/multispectral-remote-sensing. Erişim Tarihi: 04.02.2016.

Mishra, N., Haque, M.O., Leigh, L., Aaron, D., Helder, D. and Markham, B. 2014. Radiometric Cross Calibration of Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+). Remote Sensing, 6, 12619-12638.

Morain, S.A. and Budge, A.M. 2004. Post-launch calibration of satellite sensors: proceedings of the International Workshop on Radiometric and Geometric Calibration, 2-5 December 2003, Mississippi, USA. CRC Press.

Naughton, D., Brunn, A., Czapla-Myers, Jeff, Douglass, S., Thiele, M., Weichelt, H. and Oxfort, M. 2011. Absolute radiometric calibration of the RapidEye multispectral imager using the reflectance-based vicarious calibration method. Journal of Applied Remote Sensing, 5, 5 – 24.

Özen, H., Fox, N., Gürbüz, S. Z., Deadman, A., Behnert, I., Harris, P., Yua, L., Griffith, D., Kaewmanee, M., Prakobya, A., Musana, C., Ponzoni, F., Lee, D., Lee, Y., Boucher, Y., Viallefont, F., Rolland, P., Helder, D., Leigh, L., Thome, K., Sterckx, S., Knaeps, E., Raeymaekers. D. and Henry, P. 2012. Preliminary Results of the Comparison of Satellite Imagers Usıng Tuz Gölü as a Reference Standard. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (ISPRS), XXXIX-B1, 145-148.

Sakarya, U., Demirhan, İ.H., Deveci, H.S., Teke, M., Demirkesen, C., Küpçü, R., Feray Öztoprak, A., Efendioğlu, M., Şimşek, F.F., Berke, E. and Gürbüz, S.Z. 2016. Absolute Radiometric Calibration of the Göktürk-2 Satellite Sensor Using Tuz Gölü (Landnet Site) from NDVI Perspective. International Archives of the

Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, 12-19 July. 6, 373-377.

Scott, K.P., Thome, K.J. and Brownlee, M.R. 1996. Evaluation of Railroad Valley playa for use in vicarious calibration. Multispectral Imaging for Terrestrial Applications. International Society for Optics and Photonics, 158-167.

Shin, D., Jin, C., Ahn, H. and Choi, C. 2015. Radiometric cross-calibration of KOMPSAT-3 with Landsat-8. Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications VI, Proc. SPIE, 96441T.

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

Slater, P.N., Biggar, S.F., Thome, K.J., Gellman, D.I. and Spyak, P.R. 1996. Vicarious Radiometric Calibrations of EOS Sensors. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 13, 349-359.

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

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

Thome, K.J. 2002. Ground-look radiometric calibration approaches for remote sensing images in the solar reflective. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (ISPRS), 34, 255-260.

Topan, H., Çam, A., Oruç, M. ve Teke, M. 2016. Göktürk-2 Görüntülerinin Geometrik Ve Radyometrik Açıdan Değerlendirilmesi. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, 5-7 Ekim. Adana.

Yeom, J., Hwang, J., Jung, J., Lee, K. and Lee, C. 2017. Initial Radiometric Characteristics of KOMPSAT-3A Multispectral Imagery Using the 6S Radiative Transfer Model, Well-Known Radiometric Tarps, and MFRSR Measurements. Remote Sensing, 9, 130.

EKLER

EK 1 RASAT Uydusunun Geçişi Öncesinde Kırmızı Banda Ait Simülatör Sonucu

EK 2 Göktürk-2 Uydusunun Geçişi Öncesinde Kırmızı Banda Ait Simülatör Sonucu

EK 1 RASAT Uydusunun Geçişi Öncesinde Kırmızı Banda Ait Simülatör Sonucu

```
********************************* 6SV version 1.1 *********************************
*                                                                                  *
*                       geometrical conditions identity                            *
*                       -------------------------------                            *
*                       user defined conditions                                    *
*                                                                                  *
*   month:  9 day :  19                                                            *
*   solar zenith angle:   37.56 deg  solar azimuthal angle:      181.97 deg        *
*   view zenith angle:     6.70 deg  view azimuthal angle:        46.95 deg        *
*   scattering angle:    137.48 deg  azimuthal angle difference: 135.02 deg        *
*                                                                                  *
*                       atmospheric model description                              *
*                       -----------------------------                              *
*           atmospheric model identity :                                           *
*             user defined water content : uh2o= 1.850 g/cm2                       *
*             user defined ozone content : uo3 = 0.286 cm-atm                      *
*           aerosols type identity :                                               *
*               Continental aerosol model                                          *
*           optical condition identity :                                           *
*               visibility : 66.40 km  opt. thick. 550 nm :  0.1340                *
*                                                                                  *
*                       spectral condition                                         *
*                       ------------------                                         *
*           user s                                                                 *
*               value of filter function :                                         *
*                wl inf= 0.420 mic   wl sup= 0.730 mic                             *
*                                                                                  *
*                       Surface polarization parameters                            *
*                       -----------------------------------                        *
*                                                                                  *
*                                                                                  *
* Surface Polarization Q,U,Rop,Chi    0.00000  0.00000  0.00000    -1.#J          *
*                                                                                  *
*                                                                                  *
*                       target type                                                *
*                       -----------                                                *
*           homogeneous ground                                                     *
*             user defined spectral reflectance      0.608                       *
*                                                                                  *
*                       target elevation description                               *
*                       ----------------------------                               *
*           ground pressure  [mb]  908.67                                          *
*           ground altitude  [km] 0.907                                            *
*                gaseous content at target level:                                  *
*                uh2o= 1.850 g/cm2        uo3= 0.286 cm-atm                        *
*                                                                                  *
************************************************************************************
```

EK 1 RASAT Uydusunun Geçişi Öncesinde Kırmızı Banda Ait Simülatör Sonucu (devam)

```
*****************************************************************************
*                                                                           *
*                          integrated values of  :                          *
*                          ----------------------                           *
*                                                                           *
*       apparent reflectance  0.5812889  appar. rad.(w/m2/sr/mic)  280.655  *
*                    total gaseous transmittance  0.987                     *
*                                                                           *
*****************************************************************************
*                                                                           *
*                          coupling aerosol -wv  :                          *
*                          ----------------------                           *
*           wv above aerosol :   0.581     wv mixed with aerosol :   0.581  *
*                          wv under aerosol :   0.581                       *
*****************************************************************************
*                                                                           *
*                          integrated values of  :                          *
*                          ----------------------                           *
*                                                                           *
*       app. polarized refl.  0.0146    app. pol. rad. (w/m2/sr/mic)    0.528 *
*             direction of the plane of polarization-50.56                  *
*                    total polarization ratio     0.025                     *
*                                                                           *
*****************************************************************************
*                                                                           *
*                          int. normalized  values  of  :                   *
*                          ------------------------------                   *
*                       % of irradiance at ground level                     *
*     % of direct  irr.    % of diffuse irr.    % of enviro. irr            *
*               0.712               0.200               0.088               *
*                        reflectance at satellite level                     *
*     atm. intrin. ref.   background  ref.  pixel  reflectance              *
*               0.067               0.093               0.421               *
*                                                                           *
*                          int. absolute values of                          *
*                          -----------------------                          *
*                       irr. at ground level (w/m2/mic)                     *
*     direct solar irr.    atm. diffuse irr.    environment  irr             *
*            1023.084             287.648             126.433               *
*                       rad at satel. level (w/m2/sr/mic)                   *
*     atm. intrin. rad.    background  rad.    pixel  radiance               *
*               32.254              44.952              203.449             *
*                                                                           *
*                                                                           *
*           int. funct filter (in mic)             int. sol. spect (in w/m2)  *
*              0.0748499                                143.213             *
*                                                                           *
*****************************************************************************
```

EK 1 RASAT Uydusunun Geçişi Öncesinde Kırmızı Banda Ait Simülatör Sonucu (devam)

integrated values of :

	downward	upward	total
global gas. trans. :	0.99252	0.99401	0.98670
water " " :	0.99984	0.99987	0.99976
ozone " " :	0.99276	0.99421	0.98705
co2 " " :	1.00000	1.00000	1.00000
oxyg " " :	0.99992	0.99993	0.99989
no2 " " :	1.00000	1.00000	1.00000
ch4 " " :	1.00000	1.00000	1.00000
co " " :	1.00000	1.00000	1.00000
rayl. sca. trans. :	0.91125	0.92777	0.84543
aeros. sca. " :	0.95740	0.96997	0.92864
total sca. " :	0.87079	0.89767	0.78168

	rayleigh	aerosols	total
spherical albedo :	0.12054	0.04729	0.14534
optical depth total:	0.15452	0.15275	0.30727
optical depth plane:	0.15452	0.15275	0.30727
reflectance I :	0.05837	0.00843	0.06754
reflectance Q :	-0.00298	0.00014	-0.00285
reflectance U :	-0.01508	0.00000	-0.01449
polarized reflect. :	0.01537	0.00014	0.01476
degree of polar. :	26.33	1.63	21.86
dir. plane polar. :	-50.59	0.00	-50.56
phase function I :	1.15092	0.16794	0.66225
phase function Q :	-0.32845	0.02198	-0.15424
phase function U :	-1.05992	-0.01943	-0.54265
primary deg. of pol:	-0.28538	0.13090	-0.23290
sing. scat. albedo :	1.00000	0.89904	0.94981

EK 2 Göktürk-2 Uydusunun Geçişi Öncesinde Kırmızı Banda Ait Simülatör Sonucu

```
****************************** 6SV version 1.1 ******************************
*                                                                           *
*                      geometrical conditions identity                      *
*                      -------------------------------                      *
*                      user defined conditions                              *
*                                                                           *
*   month:  9 day :  11                                                     *
*   solar zenith angle:   42.47 deg  solar azimuthal angle:      137.06 deg  *
*   view zenith angle:     4.83 deg  view azimuthal angle:       231.42 deg  *
*   scattering angle:    136.94 deg  azimuthal angle difference:  94.36 deg  *
*                                                                           *
*                      atmospheric model description                        *
*                      -----------------------------                        *
*          atmospheric model identity :                                     *
*            user defined water content : uh2o= 2.500 g/cm2                 *
*            user defined ozone content : uo3 = 0.281 cm-atm                *
*          aerosols type identity :                                         *
*              Continental aerosol model                                    *
*          optical condition identity :                                     *
*              visibility : 21.29 km  opt. thick. 550 nm :  0.2470          *
*                                                                           *
*                      spectral condition                                   *
*                      ------------------                                   *
*          user s                                                           *
*              value of filter function :                                   *
*               wl inf= 0.570 mic   wl sup= 0.770 mic                       *
*                                                                           *
*                      Surface polarization parameters                      *
*                      -----------------------------------                  *
*                                                                           *
*                                                                           *
* Surface Polarization Q,U,Rop,Chi    0.00000  0.00000  0.00000    -1.#J     *
*                                                                           *
*                                                                           *
*                      target type                                          *
*                      -----------                                          *
*          homogeneous ground                                               *
*            user defined spectral reflectance      0.645                  *
*                                                                           *
*                      target elevation description                         *
*                      ----------------------------                         *
*          ground pressure  [mb]  908.67                                    *
*          ground altitude  [km] 0.907                                      *
*               gaseous content at target level:                            *
*               uh2o= 2.500 g/cm2        uo3= 0.281 cm-atm                  *
*                                                                           *
*****************************************************************************
```

EK 2 Göktürk-2 Uydusunun Geçişi Öncesinde Kırmızı Banda Ait Simülatör Sonucu (devam)

```
*****************************************************************************
*                                                                           *
*                        integrated values of  :                            *
*                        --------------------                               *
*                                                                           *
*       apparent reflectance  0.5624412  appar. rad.(w/m2/sr/mic)  199.288  *
*                  total gaseous transmittance  0.922                       *
*                                                                           *
*****************************************************************************
*                                                                           *
*                        coupling aerosol -wv  :                            *
*                        --------------------                               *
*           wv above aerosol :   0.562     wv mixed with aerosol :   0.562  *
*                        wv under aerosol :   0.563                         *
*****************************************************************************
*                                                                           *
*                        integrated values of  :                            *
*                        --------------------                               *
*                                                                           *
*       app. polarized refl.  0.0044    app. pol. rad. (w/m2/sr/mic)    0.208 *
*             direction of the plane of polarization  9.68                  *
*                   total polarization ratio     0.008                      *
*                                                                           *
*****************************************************************************
*                                                                           *
*                        int. normalized  values  of  :                     *
*                        ----------------------------                       *
*                      % of irradiance at ground level                      *
*     % of direct  irr.    % of diffuse irr.    % of enviro. irr            *
*               0.749              0.195              0.056                 *
*                      reflectance at satellite level                       *
*     atm. intrin. ref.   background  ref.  pixel  reflectance              *
*               0.028              0.088              0.447                 *
*                                                                           *
*                        int. absolute values of                            *
*                        -----------------------                            *
*                     irr. at ground level (w/m2/mic)                       *
*     direct solar irr.    atm. diffuse irr.    environment  irr             *
*             759.381            198.217             56.750                 *
*                     rad at satel. level (w/m2/sr/mic)                     *
*     atm. intrin. rad.    background  rad.    pixel  radiance              *
*               9.959              31.025             158.304               *
*                                                                           *
*                                                                           *
*          int. funct filter (in mic)             int. sol. spect (in w/m2) *
*             0.1308913                                197.526              *
*                                                                           *
*****************************************************************************
```

EK 2 Göktürk-2 Uydusunun Geçişi Öncesinde Kırmızı Banda Ait Simülatör Sonucu (devam)

integrated values of :

	downward	upward	total
global gas. trans. :	0.94985	0.96066	0.92220
water " " :	0.97816	0.98255	0.96775
ozone " " :	0.97853	0.98404	0.96305
co2 " " :	1.00000	1.00000	1.00000
oxyg " " :	0.99287	0.99389	0.99064
no2 " " :	1.00000	1.00000	1.00000
ch4 " " :	1.00000	1.00000	1.00000
co " " :	1.00000	1.00000	1.00000
rayl. sca. trans. :	0.97216	0.97923	0.95197
aeros. sca. " :	0.93226	0.95672	0.89191
total sca. " :	0.90580	0.93590	0.84774

	rayleigh	aerosols	total
spherical albedo :	0.03830	0.05896	0.08648
optical depth total:	0.04206	0.20219	0.24424
optical depth plane:	0.04206	0.20219	0.24424
reflectance I :	0.01672	0.01250	0.02980
reflectance Q :	0.00448	-0.00010	0.00446
reflectance U :	0.00158	0.00000	0.00157
polarized reflect. :	0.00475	0.00010	0.00472
degree of polar. :	28.40	0.78	15.85
dir. plane polar. :	9.69	90.00	9.68
phase function I :	1.14422	0.17292	0.34017
phase function Q :	-0.33515	0.00755	-0.05146
phase function U :	-1.05079	-0.04583	-0.21887
primary deg. of pol:	-0.29290	0.04366	-0.15128
sing. scat. albedo :	1.00000	0.88482	0.90465

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : İsmail Hakkı DEMİRHAN

Doğum Yeri : Adana

Doğum Tarihi : 21/02/1987

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce, Almanca

Eğitim Durumu

Lise : Ayşe Atıl A.Ö.L (2005)

Lisans : Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü (2012)

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı (Eylül 2014 –Ekim 2018)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar

TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü (Eylül 2014 - Halen)