

**GÖKTÜRK-2 UYDUSUNUN RADYOMETRİK
KALİBRASYONU VE TOPLAM
BELİRSİZLİK BÜTÇESİNİN
BELİRLENMESİ
DOKTORA TEZİ**

Hüsne Seda DEVECİ

Eskişehir 2021

**GÖKTÜRK-2 UYDUSUNUN RADYOMETRİK KALİBRASYONU VE TOPLAM
BELİRSİZLİK BÜTÇESİNİN BELİRLENMESİ**

Hüsne Seda DEVECİ

Doktora Tezi

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Uğur AVDAN

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Eylül 2021

Bu tez çalışması BAP Komisyonu tarafından kabul edilen 1703F077 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir.

ÖZET

GÖKTÜRK-2 UYDUSUNUN RADYOMETRİK KALİBRASYONU VE TOPLAM BELİRSİZLİK BÜTÇESİNİN BELİRLENMESİ

Hüsne Seda DEVECİ

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eylül 2021

Danışman: Doç. Dr. Uğur AVDAN

Optik uzaktan algılama verilerinin radyometrik kalibrasyon parametrelerinin izlenmesi, verilerin daha fazla nicel olarak incelenmesini, devamlılığını ve güvenilirliğini sağlayan önemli bir ihtiyaçtır. Uydu verisi üreten kurumlar, algılayıcıya ait her bandın kalibrasyon katsayısını ölçüm belirsizliği yüzdesi ile birlikte son kullanıcıya sağlamalıdır. Radyometrik kalibrasyon çalışmalarında yüksek mekânsal homojenliğe sahip ve atmosferik koşullar olarak da kararlı olan test sahalarına ihtiyaç vardır. Ülkemizin en büyük ikinci gölü olan Tuz Gölü, kalibrasyon çalışmaları için dünyada uygun görülen sekiz kalibrasyon sahasından biridir. Ancak 1. Derece Doğal Sit Alanı olan Tuz Gölü'ndeki çalışmaların en kısa sürede ve optimum kaynak kullanımı ile tamamlanabilmesi için, uygun bir metodoloji ile ölçümlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, bahse konu kısıtlar dikkate alınarak, ilk yüksek çözünürlüklü uydumuz Göktürk-2'nin, 2017 ve 2018 yıllarında Tuz Gölü'nden toplanan yersel ve atmosferik veriler kullanılarak radyometrik kalibrasyonu ve belirsizlik analizi gerçekleştirilmiştir. Her bandın kalibrasyon katsayıları hesaplanmış ve kalibrasyon katsayısı kestiriminde belirsizliğe neden olan parametreler belirlenerek, her bant için belirsizlik analizi gerçekleştirilmiştir. Mutlak ve çapraz radyometrik kalibrasyon yöntemlerinin her ikisi için de belirsizlik kaynaklarının toplam belirsizlik bütçesine olan etkileri tartışılmıştır. Çalışmalar sonucunda mutlak radyometrik kalibrasyon yöntemi ile hesaplanan kalibrasyon katsayılarının ölçüm belirsizliği %4'ün altındadır. Çapraz radyometrik kalibrasyon ile kalibrasyon katsayılarının elde edilmesindeki ölçüm belirsizliği ise tüm bantlar için %2 civarındadır. Bu çalışma ile ilk kez Göktürk-2'nin kalibrasyon katsayılarının kestirimindeki ölçüm belirsizliği hesaplanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Göktürk-2, Mutlak/Çapraz radyometrik kalibrasyon, Belirsizlik.

ABSTRACT

RADIOMETRIC CALIBRATION AND TOTAL UNCERTAINTY BUDGET DETERMINATION OF GÖKTÜRK-2 SATELLITE

Hüsne Seda DEVECİ

Department of Remote Sensing and Geographic Information Systems

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, September 2021

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Uğur AVDAN

Monitoring radiometric calibration parameters of optical remote sensing data is a necessary requirement that provides a further quantitative examination of the data, continuity and reliability. Organizations producing satellite data should provide the end-user with the calibration coefficient of each sensor band along with the measurement uncertainty percentage. In radiometric calibration studies, test sites with high spatial homogeneity and stable atmospheric conditions are needed. Salt Lake, the second largest lake in Turkey, is one of the eight calibration fields in the world for calibration studies. However, to complete the site studies in Salt Lake, which is a 1st Degree Natural Protected Area, in the shortest time and with optimum resource use, measurements should be carried out with an appropriate methodology. In this study, considering the constraints mentioned above, radiometric calibration and uncertainty analysis of Turkey's first high-resolution satellite Göktürk-2 was carried out using terrestrial and atmospheric data collected from Salt Lake in 2017 and 2018. Calibration coefficients of each band were calculated and uncertainty analysis was performed for each band by determining the parameters that cause uncertainty in estimating of the calibration coefficient. Both for absolute and cross-radiometric calibration methods, the effects of uncertainty sources on the total uncertainty budget are discussed. As a result of the studies, the calibration coefficients' measurement uncertainty calculated with the absolute radiometric calibration method is below 4%. The measurement uncertainty in obtaining the calibration coefficients with cross-radiometric calibration method is around 2%. In this study, for the first time, the measurement uncertainty in estimating the calibration coefficients of Göktürk-2 was calculated.

Keywords: Göktürk-2, Absolute/Cross radiometric calibration, Uncertainty.

TEŞEKKÜR

Tez sürecim boyunca bilgi ve birikimlerini benimle paylaşan, her konuda ve koşulda desteklerini benden eksik etmeyen, tecrübe ve deneyimleri ile yol gösteren, motive eden, tez sürecimin verimli ve kusursuz bir şekilde ilerlemesini sağlayan tez danışmanım Doç. Dr. Uğur AVDAN'e, Tez İzleme Komitelerinde tez sürecinin sağlıklı bir şekilde ilerlemesinde ve tezimin şekillenmesinde tecrübe ve deneyimleri ile büyük katkılar sunan, tez önerisinden bitimine kadar geçen her aşamada mesleki bilgi birikimini benimle cömertçe paylaşan Doç. Dr. Uğur Murat LELOĞLU'na ve Prof. Dr. Aynur ŞENSOY ŞORMAN'a, tezimi inceleyip görüş ve önerilerini benimle paylaşan Prof. Dr. Füsun BALIK ŞANLI, Doç. Dr. Murat UYSAL ve Dr. Öğr. Üyesi Gordana KAPLAN'na, tez sürecim boyunca her türlü desteği veren, arazi çalışmalarımda benimle beraber büyük bir özveri ile çalışan TÜBİTAK UZAY personeli değerli arkadaşlarım İsmail Hakkı DEMİRHAN, Caner DEMİRPOLAT ve rahmetli Mustafa GÜLERYÜZ'e, Tuz Gölü arazi çalışmalarımda görüntü çekimleri için destek sağlayan Hava Kuvvetleri Komutalığı'na, zorlu arazi koşullarında verimli çalışabilmemiz için gerekli kolaylığı sağlayan MUTLUCAN TUZ A.Ş. personeline, GEOPORTAL Projesi kapsamında elde edilen verileri tezimde kullanmama müsaade eden TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü Yönetimi'ne ve projede beraber çalıştığım ekip arkadaşlarıma, beni her zaman cesaretlendiren eden sevgili arkadaşlarıma, hayatımın her aşamasında olduğu gibi tez sürecimde de en ufak tereddüt göstermeden her türlü maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, varlıkları ile bana güç veren başta annem ve babam olmak üzere sevgili aileme ve en büyük destekçim eşim Dr. Onur DEVECİ'ye ve aynı bedendeyken başladığım doktora öğrenciliğim süresince gerek kucağımda, gerek yanımda ve gerekse uzakta yaşından büyük anlayış gösteren canım oğlum Devin'ime en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Hüsne Seda DEVECİ

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Hüsne Seda DEVECİ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Önceki Çalışmaların Genel Değerlendirmesi	2
1.2. Problemin Tanımı ve Çalışmanın Amacı	10
1.3. Araştırma Soruları.....	13
1.4. Tezin İçeriği.....	13
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	15
2.1. Radyometrik Kalibrasyon Sahaları.....	16
2.1.1. Tuz Gölü'nün özellikleri	18
2.1.2. Tuz Gölü - kalibrasyon/doğrulama ekipmanlı test sahası	20
2.2. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon Yöntemi.....	22
2.3. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon Yöntemi.....	24
2.4. Tez Çalışmasında Kullanılan Uydu Görüntülerinin Özellikleri.....	27
2.5. Tez Çalışmasında Kullanılan Cihazlar	27
2.5.1. Spektroradyometre	27
2.5.2. Güneş fotometresi.....	28
2.6. Tez Çalışmasında Kullanılan Benzetim Modelinin Genel Özellikleri.....	29
2.6.1. Gözlem geometrisi	33

2.6.2. Atmosferik koşullar.....	35
2.6.3. Aerosol modeli	37
2.6.4. Aerosol optik derinliği.....	38
2.6.5. Yer yüksekliği	40
2.6.6. Algılayıcı yüksekliği	41
2.6.7. Dalgaboyu ve tayfsal tepki fonksiyonu	42
2.6.8. Yersel yansıtım/ağırlıklandırılmış yersel yansıtım ortalaması	43
3. ÇALIŞMA ALANI VERİLERİNİN ELDE EDİLMESİ VE ANALİZİ	45
3.1. Arazi Çalışması-1	45
3.1.1. Mutlak radyometrik kalibrasyon-1 (MRK-1), veri işleme çalışmaları	48
3.1.2. MRK-1, belirsizlik analizi.....	50
3.1.2.1. MRK-1, yersel yansıtım verilerinden kaynaklanan belirsizlik.....	51
3.1.2.2. MRK-1, cihazdan kaynaklanan belirsizlik.....	54
3.1.2.3. MRK-1, aerosol optik derinliği ölçümlerinden kaynaklanan belirsizlik	55
3.1.2.4. MRK-1, aerosol model seçiminden kaynaklanan belirsizlik.....	56
3.1.2.5. MRK-1, su buharı ölçümünden kaynaklanan belirsizlik.....	57
3.1.2.6. MRK-1, atmosferik koşul seçiminden kaynaklanan belirsizlik	57
3.1.2.7. MRK-1, gözlem geometrisinden kaynaklanan belirsizlik.....	59
3.1.2.8. MRK-1, kalibrasyonu yapılacak olan görüntünün benek değerinden kaynaklanan belirsizlik	61
3.1.2.9. MRK-1, toplam belirsizlik.....	61
3.1.3. MRK-1 iyileştirme, belirsizlik analizi.....	62
3.1.3.1. MRK-1 iyileştirme, yersel yansıtım verilerinden kaynaklanan belirsizlik	62
3.1.3.2. MRK-1 iyileştirme, cihazdan kaynaklanan belirsizlik	65
3.1.3.3. MRK-1 iyileştirme, aerosol optik derinliği ölçümlerinden kaynaklanan belirsizlik.....	65
3.1.3.4. MRK-1 iyileştirme, aerosol model seçiminden kaynaklanan belirsizlik	67

3.1.3.5. MRK-1 iyileştirme, su buharı ölçümünden kaynaklanan belirsizlik	67
3.1.3.6. MRK-1 iyileştirme, atmosferik koşul seçiminden kaynaklanan belirsizlik	68
3.1.3.7. MRK-1 iyileştirme, gözlem geometrisinden kaynaklanan belirsizlik	69
3.1.3.8. MRK-1 iyileştirme, toplam belirsizlik.....	69
3.1.3.9. MRK-1, bulgular.....	70
3.1.4. Çapraz radyometrik kalibrasyon-1 (ÇRK-1), veri işleme çalışmaları.....	72
3.1.5. ÇRK-1, belirsizlik analizi.....	74
3.1.5.1. ÇRK-1, yersel yansıtım verilerinden kaynaklanan belirsizlik.....	75
3.1.5.2. ÇRK-1, aerosol optik derinliği ölçümlerinden kaynaklanan belirsizlik	76
3.1.5.3. ÇRK-1, aerosol model seçiminden kaynaklanan belirsizlik.....	76
3.1.5.4. ÇRK-1, su buharı ölçümünden kaynaklanan belirsizlik.....	77
3.1.5.5. ÇRK-1, atmosferik koşul seçiminden kaynaklanan belirsizlik	78
3.1.5.6. ÇRK-1, gözlem geometrisinden kaynaklanan belirsizlik.....	79
3.1.5.7. ÇRK-1, kalibrasyonu yapılacak olan hedef görüntünün benek değeri.....	80
3.1.5.8. ÇRK-1, referans olarak kullanılan görüntünün benek değeri	81
3.1.5.9. ÇRK-1, toplam belirsizlik.....	81
3.1.6. ÇRK-1 iyileştirme, belirsizlik analizi.....	82
3.1.6.1. ÇRK-1 iyileştirme, toplam belirsizlik	87
3.1.6.2. ÇRK-1, bulgular.....	88
3.2. Arazi Çalışması-2	89
3.2.1. Mutlak radyometrik kalibrasyon-2 (MRK-2), veri işleme çalışmaları.....	90
3.2.2. MRK-2, belirsizlik analizi.....	91
3.2.2.1. MRK-2, yersel yansıtım verilerinden kaynaklanan belirsizlik.....	91
3.2.2.2. MRK-2, aerosol optik derinliği ölçümlerinden kaynaklanan belirsizlik	92
3.2.2.3. MRK-2, aerosol model seçiminden kaynaklanan belirsizlik.....	93

3.2.2.4. MRK-2, su buharı ölçümünden kaynaklanan belirsizlik.....	94
3.2.2.5. MRK-2, atmosferik koşul seçiminden kaynaklanan belirsizlik	94
3.2.2.6. MRK-2, gözlem geometrisinden kaynaklanan belirsizlik.....	94
3.2.2.7. MRK-2, kalibrasyonu yapılacak olan görüntünün benek değerinden kaynaklanan belirsizlik	95
3.2.2.8. MRK-2, toplam belirsizlik.....	96
3.2.2.9. MRK-2, bulgular.....	96
3.2.3. Çapraz radyometrik kalibrasyon-2 (ÇRK-2), veri işleme çalışmaları	97
3.2.4. ÇRK-2, belirsizlik analizi.....	99
3.2.4.1. ÇRK-2, yersel yansıtım verilerinden kaynaklanan belirsizlik.....	99
3.2.4.2. ÇRK-2, aerosol optik derinliği ölçümlerinden kaynaklanan belirsizlik	100
3.2.4.3. ÇRK-2, aerosol model seçiminden kaynaklanan belirsizlik.....	101
3.2.4.4. ÇRK-2, atmosferik koşul seçiminden kaynaklanan belirsizlik	101
3.2.4.5. ÇRK-2, gözlem geometrisinden kaynaklanan belirsizlik.....	102
3.2.4.6. ÇRK-2, su buharı ölçümünden kaynaklanan belirsizlik.....	103
3.2.4.7. ÇRK-2, kalibrasyonu yapılacak olan görüntünün benek değerinden kaynaklanan belirsizlik	104
3.2.4.8. ÇRK-2, toplam belirsizlik.....	105
3.2.4.9. ÇRK-2, bulgular.....	105
3.3. Arazi Çalışması-3	106
3.3.1. Mutlak radyometrik kalibrasyon-3 (MRK-3), veri işleme çalışmaları	106
3.3.1.1. MRK-3, belirsizlik analizi.....	108
3.3.1.2. MRK-3, bulgular.....	112
3.3.2. Çapraz radyometrik kalibrasyon-3 (ÇRK-3), veri işleme çalışmaları	113
3.3.2.1. ÇRK-3, belirsizlik analizi.....	115
3.3.2.2. ÇRK-3, bulgular.....	121
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	123
4.1. Çalışma Kapsamında Elde Edilen Sonuçlar.....	123

4.1.1. Mutlak radyometrik kalibrasyon.....	123
4.1.2. Çapraz radyometrik kalibrasyon.....	128
4.2. Çalışma Sonucundaki Öneriler.....	130
KAYNAKÇA.....	132
ÖZGEÇMİŞ	



TABLÖLER DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. CEOS referans test sahalarına ait detaylar.....	17
Tablo 2.2. Çapraz radyometrik kalibrasyon yöntemi ile hedef görüntünün atmosfer üstü yansıtım değerini hesaplama	26
Tablo 2.3. Göktürk-2, Landsat 8 ve Sentinel-2A uydularının tayfsal özellikleri.....	27
Tablo 2.4. Atmosferdeki sabit gazlar ve oranları	31
Tablo 2.5. Atmosferdeki değişebilir gazlar ve oranları.....	31
Tablo 2.6. Aerosol konsantrasyonunun tanımlanabileceği seçenekler	39
Tablo 3.1. Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen arazi çalışmaları.....	45
Tablo 3.2. Arazi Çalışması-1, uydu geçişleri ve yersel veri toplama ayrıntıları.....	46
Tablo 3.3. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1, Veri İşleme Çalışması kapsamında 6S Benzetim Modeli'nde (GK-2 Kırmızı Bant) oluşturulan “input” kartı ve açıklamaları	48
Tablo 3.4. Arazi Çalışması-1 kapsamında hesaplanan kalibrasyon ile ilgili parametreler	50
Tablo 3.5. Ağırlıklandırılmış yersel yansıtım ortalamasına dair örnek tablo	53
Tablo 3.6. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, yersel verilere yönelik hesaplamalar.....	53
Tablo 3.7. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, yersel yansıtımdan kaynaklanan belirsizlik.....	54
Tablo 3.8. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, cihazdan kaynaklanan belirsizlik	55
Tablo 3.9. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, AOD ölçümünden kaynaklanan belirsizlik.....	56
Tablo 3.10. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, aerosol modelden kaynaklanan belirsizlik.....	57
Tablo 3.11. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, su buharı (SB) ölçümünden kaynaklanan belirsizlik	57
Tablo 3.12. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, kullanılan atmosferik koşulların özellikleri	58
Tablo 3.13. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, atmosferik koşul seçiminden kaynaklanan belirsizlik.....	58

Tablo 3.14. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, geometrik koşullardan kaynaklanan belirsizlikler için tanımlanan değişkenler	60
Tablo 3.15. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, gözlem geometrisinden kaynaklanan belirsizlik.....	60
Tablo 3.16. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, benek değerlerinden kaynaklanan belirsizlik	61
Tablo 3.17. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1, toplam belirsizlik	62
Tablo 3.18. Arazi Çalışması-1 kapsamında hesaplanan kalibrasyon ile ilgili parametreler-iyileştirme	62
Tablo 3.19. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 İyileştirme Belirsizlik Analizi, yersel yansıtımdan kaynaklanan belirsizlik	65
Tablo 3.20. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 İyileştirme Belirsizlik Analizi, Seviye-2 AOD değerleri.....	66
Tablo 3.21. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 İyileştirme Belirsizlik Analizi, AOD ölçümünden kaynaklanan belirsizlik.....	67
Tablo 3.22. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 İyileştirme Belirsizlik Analizi, aerosol model seçiminden kaynaklanan belirsizlik.....	67
Tablo 3.23. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 İyileştirme Belirsizlik Analizi, Seviye-2 su buharı değerleri	68
Tablo 3.24. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 İyileştirme Belirsizlik Analizi, atmosferik koşul seçiminden kaynaklanan belirsizlik	69
Tablo 3.25. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 İyileştirme, toplam belirsizlik.....	70
Tablo 3.26. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 İyileştirme Belirsizlik Analizi ile iyileştirme yapılmadan önceki toplam belirsizlik yüzdesi arasındaki fark	70
Tablo 3.27. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1, Veri İşleme Çalışmaları kapsamında kullanılan yersel, atmosferik ve uydu verilerinin özellikleri	73
Tablo 3.28. Arazi Çalışması-1, Çapraz Radyometrik Kalibrasyon yöntemi ile kazanç katsayısının hesaplanması	74
Tablo 3.29. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, yersel yansıtımdan kaynaklanan belirsizlik.....	75
Tablo 3.30. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, AOD değerinden kaynaklanan belirsizlik.....	76

Tablo 3.31. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, aerosol modelden kaynaklanan belirsizlik.....	77
Tablo 3.32. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, su buharı ölçümünden kaynaklanan belirsizlik.....	78
Tablo 3.33. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, atmosferik koşul seçiminden kaynaklanan belirsizlik.....	79
Tablo 3.34. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, tanımlanan geometrik koşullar	80
Tablo 3.35. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, gözlem geometrisinden kaynaklanan belirsizlik.....	80
Tablo 3.36. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, hedef görüntünün benek değerlerinden kaynaklanan belirsizlik	81
Tablo 3.37. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, referans görüntünün benek değerlerinden kaynaklanan belirsizlik	81
Tablo 3.38. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1, toplam belirsizlik	82
Tablo 3.39. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 İyileştirme Belirsizlik Analizi, yersel yansıtımdan kaynaklanan belirsizlik	83
Tablo 3.40. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 İyileştirme Belirsizlik Analizi, AOD ölçümünden kaynaklanan belirsizlik.....	84
Tablo 3.41. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 İyileştirme Belirsizlik Analizi, aerosol modelden kaynaklanan belirsizlik	84
Tablo 3.42. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 İyileştirme Belirsizlik Analizi, su buharı ölçümünden kaynaklanan belirsizlik	85
Tablo 3.43. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 İyileştirme Belirsizlik Analizi, atmosferik koşul seçiminden kaynaklanan belirsizlik	86
Tablo 3.44. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 İyileştirme Belirsizlik Analizi, gözlem geometrisinden kaynaklanan belirsizlik.....	87
Tablo 3.45. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 İyileştirme, toplam belirsizlik.....	87
Tablo 3.46. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 İyileştirme Belirsizlik Analizi ile iyileştirme yapılmadan önceki toplam belirsizlik yüzdeleri arasındaki fark.....	88
Tablo 3.47. Arazi Çalışması-2, uydu geçişleri ve yersel veri toplama detayları.....	89

Tablo 3.48. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-2, Veri İşleme Çalışması kapsamında 6S Benzetim Modeli'nde (GK-2 Mavi Bant) kullanılan değerler ve açıklamaları	90
Tablo 3.49. Arazi Çalışması-2 kapsamında hesaplanan kalibrasyon ile ilgili parametreler	91
Tablo 3.50. Arazi Çalışması-2, yersel veriye ait özellikler	91
Tablo 3.51. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi, yersel yansıtım ölçümlerinden kaynaklanan belirsizlik.....	92
Tablo 3.52. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi, Seviye-2 AOD ölçümleri.....	93
Tablo 3.53. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi, AOD ölçümünden kaynaklanan belirsizlik.....	93
Tablo 3.54. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi, aerosol model seçiminden kaynaklanan belirsizlik	94
Tablo 3.55. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi, atmosferik koşul seçiminden kaynaklanan belirsizlik.....	94
Tablo 3.56. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi, geometrik koşullardan kaynaklanan belirsizlikler için tanımlanan değişkenler	95
Tablo 3.57. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi, geometrik koşullardan kaynaklanan belirsizlik.....	95
Tablo 3.58. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi, benek değerlerinden kaynaklanan belirsizlik	96
Tablo 3.59. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-2, toplam belirsizlik	96
Tablo 3.60. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-2, Veri İşleme Çalışmaları kapsamında kullanılan yersel, atmosferik ve uydu verilerinin özellikleri	98
Tablo 3.61. Arazi Çalışması-2, çapraz radyometrik kalibrasyon yöntemi ile kazanç katsayısının hesaplanması	99
Tablo 3.62. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi, yersel yansıtımdan kaynaklanan belirsizlik.....	100
Tablo 3.63. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi, AOD ölçümünden kaynaklanan belirsizlik.....	100
Tablo 3.64. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi, aerosol model seçiminden kaynaklanan belirsizlik	101

Tablo 3.65. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi, atmosferik koşul seçiminden kaynaklanan belirsizlik.....	102
Tablo 3.66. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi, tanımlanan geometrik koşullar	103
Tablo 3.67. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi, gözlem geometrisinden kaynaklanan belirsizlik.....	103
Tablo 3.68. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi, su buharı ölçümünden kaynaklanan belirsizlik.....	104
Tablo 3.69. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi, hedef görüntünün benek değerlerinden kaynaklanan belirsizlik	104
Tablo 3.70. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi, referans görüntünün benek değerlerinden kaynaklanan belirsizlik	105
Tablo 3.71. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-2, toplam belirsizlik	105
Tablo 3.72. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-3, Veri İşleme Çalışması kapsamında 6S Benzetim Modeli'nde (GK-2 Mavi Bant) kullanılan değerler ve açıklamaları	107
Tablo 3.73. Arazi Çalışması-3, uydu geçişleri ve toplanan yersel veri toplama.....	107
Tablo 3.74. Arazi çalışması-3, 13.09.2018 tarihinde gerçekleştirilen kampanyaya ait kalibrasyon ile ilgili parametreler	108
Tablo 3.75. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-3 Belirsizlik Analizi, yersel yansıtım ölçümlerinden kaynaklanan belirsizlik.....	109
Tablo 3.76. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-3 Belirsizlik Analizi, AOD ölçümlerinden kaynaklanan belirsizlik	109
Tablo 3.77. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-3 Belirsizlik Analizi, aerosol model seçiminden kaynaklanan belirsizlik	110
Tablo 3.78. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-3 Belirsizlik Analizi, atmosferik koşul seçiminden kaynaklanan belirsizlik.....	110
Tablo 3.79. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-3 Belirsizlik Analizi, gözlem geometrisinden kaynaklanan belirsizlikler için tanımlanan değişkenler ...	110
Tablo 3.80. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-3 Belirsizlik Analizi, gözlem geometrisinden kaynaklanan belirsizlik.....	111
Tablo 3.81. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-3 Belirsizlik Analizi, benek değerlerinden kaynaklanan belirsizlik	111

Tablo 3.82. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-3 Belirsizlik Analizi, Toplam	
Belirsizlik	112
Tablo 3.83. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-3 Veri İşleme Çalışmaları	
kapsamında kullanılan yersel, atmosferik ve uydu verilerinin	
özellikleri	113
Tablo 3.84. Arazi Çalışması-3, Çapraz Radyometrik Kalibrasyon yöntemi ile	
kazanç katsayısının hesaplanması	115
Tablo 3.85. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-3 Belirsizlik Analizi, yersel	
yansıtımdan kaynaklanan belirsizlik	116
Tablo 3.86. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-3 Belirsizlik Analizi, AOD	
ölçümünden kaynaklanan belirsizlik	117
Tablo 3.87. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-3 Belirsizlik Analizi, aerosol	
modelden seçiminden kaynaklanan belirsizlik	117
Tablo 3.88. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-3 Belirsizlik Analizi, su buharı	
ölçümünden kaynaklanan belirsizlik	118
Tablo 3.89. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-3 Belirsizlik Analizi, atmosferik	
koşul parametresinden kaynaklanan belirsizlik	119
Tablo 3.90. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-3 Belirsizlik Analizi, tanımlanan	
geometrik koşullar	119
Tablo 3.91. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-3 Belirsizlik Analizi, gözlem	
geometrisinden kaynaklanan belirsizlik	120
Tablo 3.92. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-3 Belirsizlik Analizi, referans	
görüntünün benek değerlerinden kaynaklanan belirsizlik	120
Tablo 3.93. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-3 Belirsizlik Analizi, hedef	
görüntünün benek değerlerinden kaynaklanan belirsizlik	121
Tablo 3.94. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-3, toplam belirsizlik	121
Tablo 4.1. Kırmızı, yeşil ve mavi bant için MRK yöntemiyle hesaplanan kazanç	
değerleri ve ölçüm belirsizliği (ÖB)	124
Tablo 4.2. Pankromatik ve yakın kızıl ötesi bant için MRK yöntemiyle	
hesaplanan kazanç değerleri ve ölçüm belirsizliği (ÖB)	125
Tablo 4.3. Arazi Çalışması-1, MRK ve ÇRK yöntemiyle hesaplanan kazanç	
değerleri ve ölçüm belirsizliği (ÖB)	128

Tablo 4.4. Arazi Çalışması-2, MRK ve ÇRK yöntemiyle hesaplanan kazanç değerleri ve ölçüm belirsizliği (ÖB)	128
Tablo 4.5. Arazi Çalışması-3, MRK ve ÇRK yöntemiyle hesaplanan kazanç değerleri ve ölçüm belirsizliği (ÖB)	129



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. MODIS uydu görüntüleri ile kalibrasyon için uygun alan seçimi.....	5
Şekil 1.2. Tuz Gölü – 2010 Yılı arazi çalışmaları kapsamında uygulanan ölçüm yöntemine ait görsel.....	8
Şekil 1.3. GRASS goniometresinin şematik gösterimi.....	9
Şekil 2.1. İrradyans kavramının şekil ile gösterimi	15
Şekil 2.2. Işınırılık kavramının şekil ile gösterimi	15
Şekil 2.3. Referans Test Sahaları - Kalibrasyon/Doğrulama Ekipmanlı Test Sahaları	16
Şekil 2.4. Tuz Gölü, Sentinel-2A uydu görüntüleri (NDWI)	21
Şekil 2.5. Kalibrasyon parametrelerinin hesaplanması için uygulanan işlem adımları	22
Şekil 2.6. Kalibrasyon parametrelerinin hesaplanması	23
Şekil 2.7. Çapraz radyometrik kalibrasyon çalışmaları	24
Şekil 2.8. Göktürk-2/DubaiSat algılayıcılarının bağlı tayfsal tepki fonksiyonları	25
Şekil 2.9. Landsat 8 OLI ve Sentinel-2A'nın algılayıcılarının bağlı tayfsal tepki farklılıkları	25
Şekil 2.10. Çapraz radyometrik kalibrasyon yönteminde uygulanan iş akışı.....	26
Şekil 2.11. ASD FieldSpec 3'ün arazide kullanımını gösteren bir kare.....	28
Şekil 2.12. Güneş fotometresi.....	29
Şekil 2.13. Tuz Gölü-6S hesaplamalarında kullanılan örnek "input" kartı	30
Şekil 2.14. MODIS ile ölçülen su buharı konsantrasyonunun küresel ölçekteki bir aylık (Haziran-2021) ortalaması	32
Şekil 2.15. Türkçeleştirilmiş ve değiştirilmiş 6S hesaplamalarının genel akış şeması.....	33
Şekil 2.16. Gözlem geometrisi seçeneklerinin ayrıntılı gösterimi.....	34
Şekil 2.17. Atmosferik koşulların detaylı akış şeması.....	35
Şekil 2.18. Atmosferik ölçümler - ozon değerinin tanımlanması	36
Şekil 2.19. Su buharı değerinin tanımlanması	37
Şekil 2.20. 6S'te aerosol modelinin tanımlanması	38
Şekil 2.21. Aerosol Optik Derinliği seçeneğinin tanımlanması	39
Şekil 2.22. Aerosol Optik Derinliği ölçümlerinin grafiksel gösterimi	40

Şekil 2.23. Hedefin deniz seviyesinden yükseklik değeri	41
Şekil 2.24. Algılayıcı yüksekliğinin tanımlanmasının akış şeması ile gösterimi	42
Şekil 2.25. Algılayıcının tayfsal özelliklerinin tanımlanmasının akış şeması ile gösterimi	43
Şekil 2.26. Yersel yansıtım ve hedefin yansıma özelliklerini gösteren akış şeması.....	44
Şekil 3.1. Yer belirteci olarak kullanılan tarpolinlerin (siyah muşamba) gösterimi.....	45
Şekil 3.2. Arazi Çalışması-1 için işaretlenen ölçüm noktalarının Göktürk-2 uydu görüntüsü (pankromatik bant piksel boyutu 2,5m) üzerinde gösterimi	46
Şekil 3.3. Arazi Çalışması-1, benek değerlerine göre renklendirilmiş uydu görüntüsü (Göktürk-2) ile çalışma alanına serili tarpolinlerin gösterimi.....	47
Şekil 3.4. Arazi Çalışması-1 kapsamında Set-1 olarak isimlendirilen ölçümlerim ölçüm rotasının Göktürk-2 uydu görüntüsü (kırmızı bant piksel boyutu 5 m) üzerinde gösterimi	47
Şekil 3.5. 6S Benzetim Modeli'nin çıktı dosyasından bir örnek	49
Şekil 3.6. Arazi Çalışması-1, GK-2 geçiş sonrası için toplanan yersel veriler.....	51
Şekil 3.7. Arazi çalışması-1, minimum-ortalama-maksimum yansıtım değerleri.....	52
Şekil 3.8. Spektralonun yansıtım katsayısını gösteren sonuç tablosu ve grafiği	55
Şekil 3.9. Aerosol model seçiminden kaynaklanan belirsizlik analizlerinde kullanılan “karasal” ve “çöl” aerosol model seçeneklerinin gösterimi.....	56
Şekil 3.10. Belirsizlik Analizlerinde kullanılan “kullanıcı tanımlı”, “Midlatitude Summer” ve “US62” atmosferik koşul seçeneklerinin gösterimi.....	58
Şekil 3.11. Güneşin Başucu Açısı (GBA), Güneşin Azimut Açısı (GAA), Uydunun Başucu Açısı (UBA), Uydunun Azimut Açısı (UAA) gösterimi	59
Şekil 3.12. Arazi Çalışması-1 kapsamında yersel veri toplama rotası	63
Şekil 3.13. Cihazın sürekli ölçüm ayarında yapılan ölçümlerin standart sapmalarının oluşturduğu eğilimin gösterimi	63
Şekil 3.14. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 İyileştirme Belirsizlik Analizi, normal dağılım grafiği	64
Şekil 3.15. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1, su buharı grafiği	68
Şekil 3.16. Arazi Çalışması-2 kapsamında bayraklama çalışması yapılarak işaretlenen ölçüm noktaların pankromatik bant üzerinde gösterimi (piksel boyutu 2,5 metredir).....	89

Şekil 4.1. Mutlak radyometrik kalibrasyon yönteminde belirsizliğe neden olan parametreler	125
---	-----



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AERONET	: Aerosol Robotik Network
AOD	: Aerosol Optik Derinliği (Aerosol Optical Depth)
AÜİ	: Atmosfer Üstü Işınlılık
AÜY	: Atmosfer Üstü Yansıtım
AYYO	: Ağırlıklandırılmış Yersel Yansıtım Ortalaması
BD	: Benek Değeri (Digital Number-DN)
BRDF	: Bidirectional Reflectance Distribution Function (Işığın İki Yönlü Yansıtma Dağılımı Fonksiyonu)
BRF	: Bidirectional Reflectance Factor (Işığın İki Yönlü Yansıtma Faktörü)
BSS	: Bağlı Standart Sapma
BTT	: Bağlı Tayfsal Tepki
CEOS	: Committee on Earth Observation Satellites (Dünya Gözlem Uyduları Komitesi)
EEZ	: Eşgüdümlü Evrensel Zaman
ESA	: European Space Agency (Avrupa Uzay Ajansı)
GAA	: Güneşin Azimut Açısı (Solar Azimuth Angle-SAZ)
GRASS	: Gonio Radiometric Spectrometer System (Gonio Radyometrik Spektrometre Sistemi)
GBA	: Güneşin Başucu Açısı (Solar Zenith Angle-SZA)
LEO	: Low Earth Orbit (Alçak Uydu Yörüngesi)
My	: Milyon yıl
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
nm	: Nanometre
NPL	: National Physical Laboratory (Ulusal Fizik Laboratuvarı)
RF	: Reflectance Factor (Yansıtım Faktörü)
RSR	: Relative Spectral Reaction (Bağlı Tayfsal Tepki)
RTC	: Radiative Transfer Code (Işınlım Transfer Kodu)
SS	: Standart Sapma
SB	: Su Buharı
SBAF	: Spectral Band Adjustment Factor (Tayfsal Bant Düzeltme Faktörü)

TÜBİTAK	:	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TOA	:	Top of Atmosphere (Atmosfer Üstü)
UAA	:	Uydunun Azimut Açısı (View Azimuth Angle-VAZ)
UBA	:	Uydunun Başucu Açısı (View Zenith Angle-VZA)
USGS	:	United States Geological Survey (Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu)
UTC	:	Coordinated Universal Time (Eşgüdümlü Evrensel Zaman)
WGCV	:	Working Group on Calibration and Validation of Infrared and Visible
IVOS	:	Optic Sensors (Kızılötesi ve Görünür Optik Sensörlerin Kalibrasyonu ve Doğrulanması Çalışma Grubu)
YKÖ	:	Yakın Kızıl Ötesi (Near Infrared-Yakın Kızılötesi)

1. GİRİŞ

Ülkemizde uzay alanında giderek daha fazla sayıda çalışma sürdürülmektedir. Uydu tasarımı ve üretimi de uzay çalışmalarının önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Ülkemizdeki uydu teknolojilerine yönelik çalışmalara 2001 yılında Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) bağlı olan Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü'nün öncülüğünde başlanmıştır. İngiliz firması SSTL ile iş birliği yapılarak teknoloji transferi yöntemiyle geliştirilen ilk yer gözlem uydumuz BİLSAT, 2003 yılında yörüngedeki yerini almıştır. BİLSAT Projesi ile uydu teknolojilerinin birçok farklı alanında edinilen tecrübe ve yetiştirilen insan kaynağı ile ilk milli yer gözlem uydumuz RASAT tasarlanmıştır. 17 Ağustos 2011 yılında fırlatılan RASAT Uydusu 7,5 metre pankromatik ve 15 metre Kırmızı, Yeşil ve Mavi (RGB-Red, Green and Blue) bantlarda görüntü alabilmektedir.

BİLSAT ve RASAT uydularının ardından Göktürk-2 Projesi kapsamında başta Türk Silahlı Kuvvetleri (TSK) olmak üzere, kamu kurum/kuruluşlarının yer gözlem ihtiyacını karşılamak amacıyla 2,5 metre pankromatik ve 5 metre multi-spektral (görünür bantlar ve yakın kızıl ötesi) görüntü alabilen bir uydu geliştirilmiştir. 2012 yılında fırlatılan Göktürk-2 uydusu Türkiye'nin ilk yüksek çözünürlüklü milli yer gözlem uydusu olma özelliğini taşımakta olup, 5 yıl olarak tasarlanan görev ömrünü halen başarıyla devam ettirmektedir.

BİLSAT, RASAT ve Göktürk-2 uyduları ile uzay tarihçesine sahip olunmuş ve ülkemizin uydu teknolojileri alanında farkındalığın artırılmasına önemli katkılar sağlanmıştır.

Yer gözlem uyduları yörüngelerine yerleştirildikten sonra temel problem uydu verilerinin kalitesi ve doğruluğunun sürekliliğidir. Uydu kamerasının (algılayıcısının) radyometrik ve geometrik performansının düzenli aralıklarla izlenmesi veri doğruluğunun ve kalitesinin korunmasını sağlamaktadır. Algılayıcıların aldığı görüntülerin tarım, ormancılık, su kirliliği gibi kullanıldığı pek çok farklı çalışmada elde edilen sonuçların gerçek fiziksel özelliklere uygunluğunun sağlanması ise kalibrasyon çalışmaları ile yapılabilmektedir (Chander, Markham, & Helder, 2009).

Uydu algılayıcılarında fırlatmaya ve ekipmanların zamanla eskimesine bağlı olarak fırlatma öncesi kazanç (gain) ve öteleme değerlerinde değişiklikler oluşabilir. Radyometrik kalibrasyon ile fırlatma sonrasında algılayıcının kalibrasyon parametreleri hesaplanır. Algılayıcıların uçuş sonrası kalibrasyonu için;

- Uydunun içerisindeki (eğer varsa) güneş difüzör paneli veya siyah gövde gibi kalibrasyon ekipmanları (on-board radyometrik kalibrasyon),
- Doğru kalibre edilmiş referans algılayıcıdan alınan ölçümler (çapraz radyometrik kalibrasyon),
- Yüzey parlaklığı ve yansıtım değerleri uygunsa Dünya üzerindeki doğal/yapay bir alan (mutlak radyometrik kalibrasyon),

kullanılabilir.

Mutlak radyometrik kalibrasyon, optik yer gözlem uydusu görüntülerindeki benek değerleri ile yüzey/yer yansıtım değeri arasında ilişki kurmayı sağlayan bir kalibrasyon yöntemidir.

Çapraz radyometrik kalibrasyon ise doğru kalibre edildiği bilinen referans bir algılayıcıdan alınan veriye göre kalibrasyonu olmayan hedef algılayıcının kalibre edilmesi işlemidir.

Mutlak ve çapraz radyometrik kalibrasyon çalışmaları özel koşulları sağlayan radyometrik kalibrasyon sahalarında yapılabilmektedir. 2008-2010 yılları arasında TÜBİTAK UZAY'ın girişimleriyle, Uluslararası Yer Gözlem Uyduları Komitesi (CEOS - Committee on Earth Observation Satellites) Tuz Gölü'nün kalibrasyon çalışmaları için kullanılabilecek sahalardan biri olarak değerlendirmiştir (Özen, ve diğerleri, 2012; Gürol, Özen, Leloğlu, & Tunalı, 2008).

1.1. Önceki Çalışmaların Genel Değerlendirmesi

Uydu görüntülerinin uydudan indirilerek kullanıcıya sunulmasına kadar geçen iyileştirme süreçleri çok büyük önem arz etmektedir. Kullanıcıya sunulmadan önce radyometrik ve geometrik kalibrasyon ön-işlem süreçlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Kalibrasyon çalışmalarında amaç; uydu görüntülerinin doğruluğunu ölçüp, sapmalarını belirleyip, uydunun ölçtüğü değer ile bilinen referans değer arasındaki ilişkiyi belirleyip görüntüleri düzelterek son kullanıcıya hazır hale getirmektir.

Geometrik doğruluk konumsal hassasiyetle ölçülmektedir. Uydudan elde edilen yörünge ve yönelim parametreleri ile yüksek hassasiyetle yer konumlaması yapılması her uydu için mümkün olmamaktadır. Örneğin milli yer gözlem uydumuz RASAT'ın yöneliminde 1 derecelik belirleme hatası yerde yaklaşık 12 km'ye karşılık gelmektedir. Bu nedenle uydu verileri ham veriden başlayarak (Seviye 0), yüksek doğrulukta referans

görüntü, kamera parametreleri ve arazinin yükseklik modeli kullanılarak görüntüler seviyelendirilmektedir. Bu işleme geometrik kalibrasyon denilmektedir.

Radyometrik kalibrasyon ise uzaktan algılama amaçlı çalışmalarda kullanılan algılayıcıların verilerinin güvenilirliğini ve devamlılığını sağlamak adına önemli bir işlemdir. Radyometrik kalibrasyonla; elde edilen veri (görüntü) standart ölçekte tanımlanarak diğer algılayıcılardan alınan görüntülerle karşılaştırılabilir seviyeye gelmektedir.

Bağıl radyometrik kalibrasyon; uydu kamerasının beneklerinden kaynaklı hataların düzeltilmesi için, görüntünün çekildiği kameranın her bir detektöründeki her bir benek değerinden bir referansa göre düzeltilmesi işlemidir. Diğer bir ifadeyle; süpürçek tarayıcının her beneği için yanıt (response) ve öteleme değerlerinin hesaplanması işlemidir (Teke, Demirkesen, Haliloğlu, & İmre, 2016). Bu işlem için çekilen uydu görüntüsünün genişliği boyunca homojen bir alana ihtiyaç vardır. Bu nedenle, bağıl radyometrik test alanı olarak genelde okyanus, buzul veya çöllerden görüntü alınmaktadır.

Radyometrik kalibrasyon çalışmasının bir diğeri olan “Mutlak Radyometrik Kalibrasyon” ise uydu kamerasının tüm detektörlerinin ortalamasının bir referansa göre düzeltilmesidir. Mutlak radyometrik kalibrasyon ile uydu görüntülerindeki atmosferik etki düzeltilerek görüntünün benek değerinden (DN-digital number) yansıtım ve ışınlılık değerleri elde edilir. Mutlak radyometrik kalibrasyon işlemiyle optik yer gözlem uydusu verilerindeki sayısal değerler ile yer yansıtım değeri ilişkilendirilir. Tayfsal bilgi gerektiren uygulamalarda kullanılan görüntülerin mutlak radyometrik kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmelidir. Mutlak radyometrik kalibrasyonu tamamlanmış görüntü ile yersel ölçümler karşılaştırılabilir veya doğrulama yapılabilir. Söz konusu yöntemde uydunun belirlenen hedefi çektiği zamandan yarım saat önce ve sonra yersel ölçümler alınır. Görüntülenen hedef alan, doğal veya yapay, belirli kriterleri sağlaması gerekmektedir. Işınım Benzetim Modeli’ne (Bknz: Bölüm 2.6) girdi sağlamak üzere atmosferden de veri toplanarak uydu üzerinde bulunan algılayıcıya giden ışınlılık değeri hesaplanır. Bu değer algılayıcıdan alınan değer ile karşılaştırılarak kalibrasyon parametreleri elde edilir.

Uzaktan algılama amaçlı çalışmalarda kullanılan algılayıcıların radyometrik kalibrasyonu; verilerin güvenilirliğini ve devamlılığını sağlamak adına önemli bir işlemdir. Uydu üzerinde bulunan kameraların kalibrasyonları genellikle fırlatma öncesinde gerçekleştirilir ancak görüntülerin kendi içlerinde tutarlı olabilmeleri için

yörüngedeyken de radyometrik kalibrasyon işleminin yapılması gerekmektedir çünkü kamera elektronığı, optiğı ve detektörler zaman içerisinde değişime/kaymalara uğrayabilmektedir.

Radyometrik kalibrasyonla; elde edilen veri (görüntü) standart ölçekte tanımlanarak diğer algılayıcılardan alınan görüntülerle karşılaştırılabilir seviyeye gelmektedir. 1972’de Landsat serisi uydulardan Landsat 1’in fırlatılmasıyla algılayıcıların radyometrik özelliklerini anlamaya yönelik çalışmalar yoğunlaşmıştır. Platforma entegre kalibrasyon istemlerinden bağımsız olarak yer-yansıtım temelli yaklaşımlar ilk olarak Landsat 4 ve 5 TM’de uygulanmıştır. Uçağa entegre kalibre edilmiş bir radyometreden referans alana ait ışınlılık değerleri kullanılmak suretiyle ışınlılık-temelli dolaylı radyometrik kalibrasyon çalışması gerçekleştirilmiştir (Slater, ve diğerleri, 1987). Söz konusu ışınlılık değerleri, benzetim modelleri kullanılarak algılayıcıya giden ışınlılık değerlerini hesaplamak için kullanılmıştır.

Bölüm 2.1’de yer alan referans test sahalarında, mutlak ve çapraz radyometrik kalibrasyon yöntemleriyle farklı uydulara yönelik kalibrasyon katsayıları hesaplanmıştır (Chander, Meyer, & Helder, 2004; Morain & Budge, 2004; Ahn, Shin, Kim, Seo, & Choi, 2016; Chander, ve diğerleri, 2012; Scott, Thome, & Brownlee, 1996; Teillet, Markham, & Irish, 2006). Söz konusu çalışmalarda yersel ve atmosferik veriler kullanılarak atmosfer üstü ışınlılık ve atmosfer üstü yansıtım (Bknz: Bölüm 2.2) değerleri hesaplanmıştır ancak herhangi bir belirsizlik analizi gerçekleştirilmemiştir.

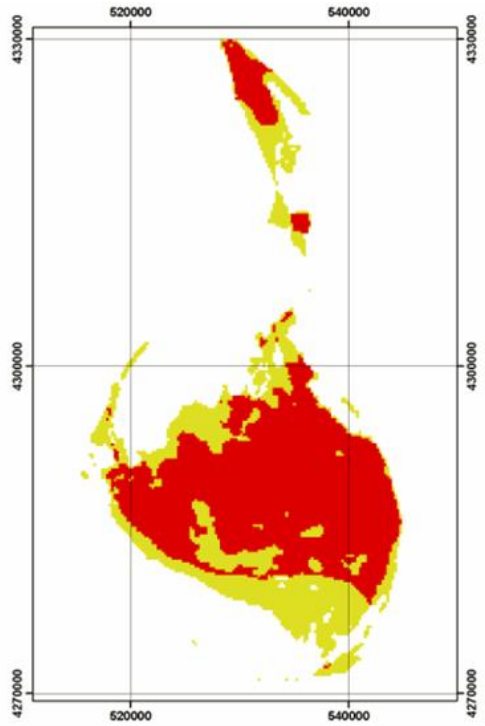
Aerosol Optik Derinliği (AOD) ve su buharı değeri başta olmak üzere atmosferik ölçümler, yersel ölçümler ve uydunun/Güneşin başucu açısından kaynaklanan belirsizliklerin kalibrasyon katsayısı üzerindeki etkisinin dikkate alındığı çalışmalar da bulunmaktadır (Gao, Gu, Yu, Sun, & Liu, 2016; Liu, ve diğerleri, 2018; Thome K. J., 2001; Markham, ve diğerleri, 2015; Thome, Crowther, & Biggar, 1997). Söz konusu çalışmalarda, atmosfer üstü yansıtım ve atmosfer üstü ışınlılık değerlerini hesaplamak için ışınlım benzetim modeline girdi sağlayan parametrelerden kaynaklanan belirsizlik hesaplamalarında tüm bantlarda aynı değer kullanılarak tahminleme yapıldığı ya da verilen toplam belirsizlik bütçesinin alt kırılımlarının hangi belirsizlik kaynakları ne ölçüde dikkate alınarak analizlerin gerçekleştirildiğı belirtilmemiştir.

Dünyada bu konuda gerçekleştirilen çalışmaların yanı sıra referans test sahaları arasında yer alan ve ülkemizde bulunan Tuz Gölü’ne yönelik de çeşitli araştırmalar ve saha çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

TÜBİTAK UZAY tarafından yapılan araştırmalar neticesinde Tuz Gölü'nün radyometrik kalibrasyon amaçlı kullanımı için büyük potansiyele sahip olduğu değerlendirilmiş ve NASA, ESA ve NPL (National Physical Laboratory) gibi kurumlarda bu alanda çalışan araştırmacılarla bir dizi ortak çalışma yürütülmüştür.

19-28 Ağustos 2008 tarihleri arasında, TÜBİTAK UZAY ve NPL bir haftalık bir arazi kampanyası gerçekleştirilmiştir (Özen, Gürol, Leloğlu, & Tunalı, 2009). Bu kampanyada yüzey yansıtım değerleri ve uydu görüntülerinden homojenlik analizi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında ayrıca BRF (Bidirectional Reflectance Factor, Işığın İki Yönlü Yansıtma Faktörü) örnekleri, meteorolojik veriler, aerosol optik özellikleri de ölçülmüştür.

Tuz Gölü'nde söz konusu ölçümler için en uygun alan belirleme analizleri (Getis Statistics yöntemi ile) Temmuz ve Ağustos aylarına ait MODIS uydu görüntüleri (2004-2006) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 1.1 ile gösterildiği gibi kırmızı alanlar, Temmuz ve Ağustos ayları için uygun homojen alanları göstermektedir. Sarı ile gösterilen yerler ise, yine aynı aylar için, olası muhtemel kuru alanları göstermektedir. Alanın büyük olması sebebiyle, Tuz Gölü düşük ve yüksek çözünürlüklü bütün uyduların kalibrasyon/doğrulama çalışmaları için uygun olduğu değerlendirilmiştir.



Şekil 1.1. MODIS uydu görüntüleri ile kalibrasyon için uygun alan seçimi (Özen, Gürol, Leloğlu, & Tunalı, 2009)

2004-2006 yılları arasındaki Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) görüntülerinin analizi sonucu Tuz Gölü'nün radyometrik kalibrasyon amaçlı kullanımının en uygun zamanının Ağustos ayı olduğu belirlenmiştir. Ağustos ayında gölün neredeyse tamamen kuru ve hava koşullarının elverişli olduğu ifade edilmiştir.

25-28 Ağustos 2009 tarihleri arasında, CEOS WGCV pilot projesi CONTROLS (Comparison of techniques/instrumentation used for the vicarious calibration of land surface imaging through a ground reference standart test site) kapsamında ONERA (Fransa Ulusal Havacılık Araştırma Merkezi), DLR (Almanya Havacılık ve Uzay Merkezi), CNES (Fransa Ulusal Uzay Araştırmaları Merkezi) arazi ölçümlerine katılım sağlamışlardır. 2009 yılında düzenlenen kampanya, 2010'da düzenlenen kampanyaya göre daha küçük ölçekli bir kampanya olmuştur. Kampanyada aşağıdaki faaliyetler gerçekleştirilmiştir (Thome & Fox, 2011):

- 1) Arazi radyometreleri laboratuvar ortamında karşılaştırılmıştır.
- 2) Arazi radyometreleri arazide ortak referans panel kullanılarak karşılaştırılmıştır.
- 3) Laboratuvar ortamında, katılımcıların referans panellerinin karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir.
- 4) Arazi yüzey karakterizasyonu yapılmıştır.
- 5) Arazi BRDF karakterizasyonu yapılmıştır.
- 6) Atmosferik karakterizasyon gerçekleştirilmiştir.

2009 yılına ait sonuçlar yerinde ölçülen verilerin doğruluğuna ve hassasiyetine ilişkin bilgi vermiştir. 2009 yılında öğrenilen derslerden biri de bu tarz bir çalışma için, olumsuz hava şartları da göz önünde bulundurularak, dört günün yetmediği olmuştur. Bu nedenle 2010 yılında gerçekleştirilen kampanya iki hafta olarak planlanmıştır. Dokuz günü arazide geçerken, kalan günler laboratuvar çalışması yapılmıştır. Her grubun farklı formattaki verileri analizlerde gecikmelere neden olmuştur. 2010 kampanyasından önce örnek veriler sağlanmıştır.

13-27 Ağustos 2010 tarihleri arasında Tuz Gölü'nde gerçekleştirilen, CEOS Land Comparison 2010 çalışması hem laboratuvar ölçümlerinden hem de arazi ölçümlerinden oluşmaktadır (Özen, ve diğerleri, 2012). CEOS Land Comparison çalışmasının temel amacı test sahalarında optik uzaktan algılama algılayıcılarının radyometrik kalibrasyonunda; kullanılan cihazların kullanımındaki/kalibrasyonundaki farkları ve uygulanan teknikleri değerlendirmektir. Literatürde bahsedilen diğer amaçlar ise;

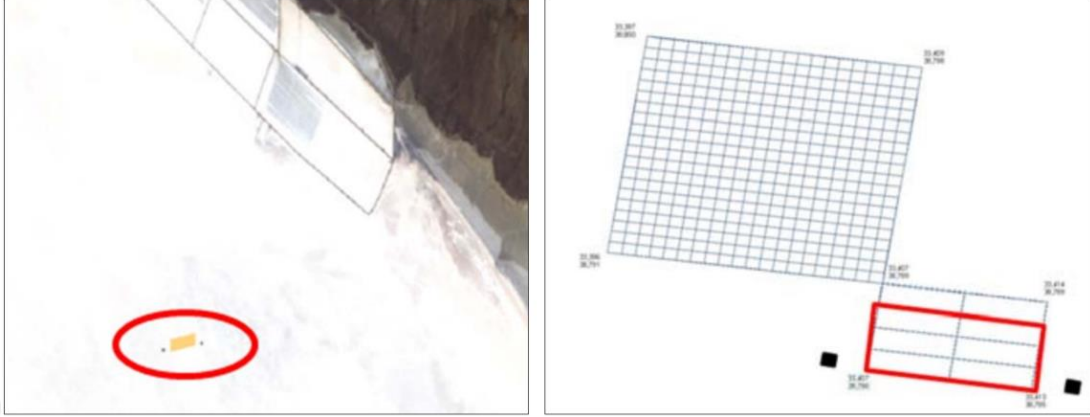
- Orta ölçekli (0,03 km²) ve büyük ölçekli (1 km²) alanlarda yapılan örnekleme metotlarının farklarının değerlendirilerek yansıtım değerleriyle ilişkisinin belirlenmesi
- Optik sensörlerin dolaylı (vicarious) kalibrasyonu için yansıtım temelli metotla ilişkili yansıtım belirsizlik değerlerinin değerlendirilmesi
- 2010 CEOS'a katılan tüm katılımcılar tarafından kullanılan "En İyi Uygulamalar"ın dokümente edilmesidir.

CEOS Land Comparison National Physical Laboratory (NPL) tarafından organize edilen karşılaştırma çalışması ESA tarafından finansal olarak desteklenmiştir. Yerel lojistik ve organizasyon TÜBİTAK UZAY tarafından gerçekleştirilmiştir. Arazi kampanyasına CEOS üzerinden duyuru yapılan tüm katılımcılar davet edilmiştir. Katılım sağlayan kurumlar aşağıda listelendiği gibidir.

- CMA (Chinese National Satellite Metrological Centre, China)
- CSIR (South Africa Council for Scientific and Industrial Research, South Africa)
- GISTDA (Thailand Geo-Informatics and Space Technology Development Agency, Thailand)
- INPE (Brazilian National Institute for Space Research, Brazil)
- KARI (Korean Aerospace Research Institute, South Korea)
- NPL (National Physical Laboratory, United Kingdom)
- ONERA (French Aerospace Laboratory, France)
- SDSU (South Dakota State University, United States)
- VITO (Flemish Institute for Technological Research, Belgium)
- NASA (National Aeronautics and Space Administration, United States)
- TÜBİTAK UZAY (Space Technologies Research Institute of The Scientific and Technological Research Council of Turkey).

TÜBİTAK UZAY, arazi öncesinde Tuz Gölü için en uygun ölçüm yapılacak alanı belirlemişlerdir. En uygun alanı seçerken; uydu görüntülerinden istifade ederek yüzey homojenliği analizi incelenerek, hedef alan ziyaret edilmiştir. Ayrıca, arazi ekibinin ulaşımı ve cihazların güvenli bir şekilde taşınması için göl üstündeki en uygun istikamet belirlenmiştir. 300m x 100m boyutlarında sekiz adet ve bu alanlara bitişik 1 km x 1 km ölçüm alanı kurulmuştur. Ölçüm alanı, yere 50m x 50m siyah muşamba (tarpolinler)

serilerek işaretlenmiştir (Şekil 1.2). Arazi kampanyası sonunda 3m x 50m’lik küçük bir alanda hızlı kısa-dönem karşılaştırma çalışması yapılmıştır.



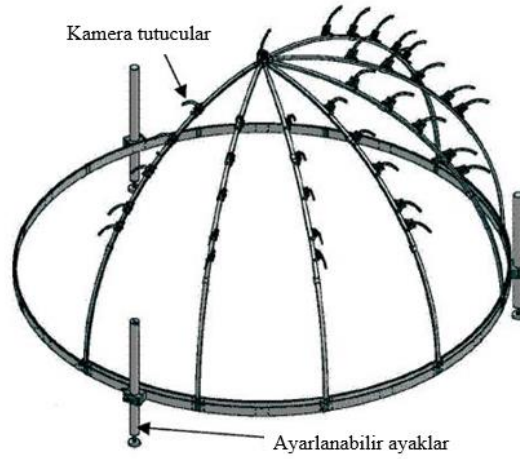
Şekil 1.2. Tuz Gölü – 2010 Yılı arazi çalışmaları kapsamında uygulanan ölçüm yöntemine ait görsel (Özen, ve diğerleri, 2012)

Yer ölçümleri; 17-25 Ağustos 2010 tarihleri arasında öğleden önce, uydu geçişlerine uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Yer-tabanlı olarak aşağıdaki ölçümler gerçekleştirilmiştir:

- 1) Yüzey yansıtımı
- 2) Gökyüzü ışınlılığı ve solar irradyansı
- 3) BRDF
- 4) Atmosfer ve Meteorolojik Ölçümler

Sekiz farklı çalışma grubu, farklı teknikler ve örnekleme stratejileri belirleyerek ölçümler gerçekleştirmişlerdir. Tayfsal ölçümler için sadece INPE, GER spektrometresi kullanmışlardır. Diğer bütün gruplar ASD spektroradyometresi kullanmışlardır.

NPL ise BRDF karakterizasyonu için ölçüm alanına yakın bir alanda Gonio Radiometric Spectrometer System (GRASS) cihazı ile ölçümler gerçekleştirmiştir. GRASS; yeryüzünden yansıtılan güneş ışığını 30° aralıkla yarım küreden (Şekil 1.3) oluşan bir platformla ölçen bir cihazdır (<http-3>).



Şekil 1.3. GRASS goniometresinin şematik gösterimi (<http-3>)

Arazi kampanyası sırasında, atmosferik ölçümler TÜBİTAK UZAY tarafından gerçekleştirilmiştir. Meteorolojik parametreler Vantage Pro2 Plus Weather Station cihazı kullanılarak toplanmıştır. Atmosferik geçirgenlik (atmospheric transmittance) ise AERONET (AERosol RObotik NETwork) kapsamında çalışan CIMEL otomatik güneş fotometresi ile ölçülmüştür.

2010 yılında gerçekleştirilen Tuz Gölü arazi kampanyası sırasında aşağıda ismi verilen uydular için radyometrik kalibrasyon çalışmaları yürütülmüştür:

- 1) FY3A VIRR
- 2) ENVISAT MERIS ve AATSR
- 3) Terra MODIS ve ASTER
- 4) SPOT4 ve SPOT5
- 5) ALOS AVNIR-1 ve AVNIR-2
- 6) RAPIDEYE Constellation
- 7) EO-1 Hyperion ve ALI
- 8) LANDSAT TM ve LANDSAT ETM,
- 9) Beijing1
- 10) UKDMC-2
- 11) Deimos1 ve THEOS

13-27 Ağustos 2010 tarihleri arasında Ankara'da laboratuvar çalışmaları, Tuz Gölü'nde ise arazi çalışmaları yürütülmüştür. Spektrometreleri ve ölçüm sırasında referans yüzey olarak kullanılan spektralonları (yansıtım panelleri) karşılaştırmak için

arazi öncesi ve sonrası laboratuvar çalışmaları yürütülmüştür ve SI biriminde izlenebilirlik seviyelerini değerlendirilmiştir.

2008 – 2012 yılları arasında yürütülen ve amaçlarından biri radyometrik kalibrasyonda kullanılan cihaz ve yöntemlerin karşılaştırılması olan CONTROLS Projesi ile milli uydularımızın (RASAT, Göktürk-1, Göktürk-2) radyometrik kalibrasyonu ve doğrulanması çalışmalarında yurtdışına bağlı kalmaksızın kullanılabilecek bir test sahası tanımlanmış ve kabul görmüştür.

17 Ağustos 2011 tarihinde RASAT uydusunun fırlatılmasından sonra indirilen ham uydu görüntülerinin son kullanıcıya ulaşabilmesi için Strateji ve Bütçe Başkanlığı tarafından fonlanan ve TÜBİTAK UZAY tarafından yürütülen radyometrik ve geometrik kalibrasyon işlemlerinin yapılması iş paketinin de olduğu bir proje başlatılmıştır. Uydu Görüntü İşleme ve Geoportal Oluşturma (GEOPORTAL) Projesi (Deveci, ve diğerleri, 2016) ile ilk yer gözlem uydumuz RASAT için radyometrik kalibrasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

18 Aralık 2012 yılında Göktürk-2 uydusunun fırlatılmasının ardından GEOPORTAL Projesi kapsamında Göktürk-2 uydusu için 2015-2018 yılları arasında deneysel radyometrik kalibrasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

2015 ve 2016 yıllarında gerçekleştirilen arazi çalışmalarında Tuz Gölü'nün doğusunda bulunan ve her sene tuz hasadı yapılan havuzlardan alınan örnekler ile analizler gerçekleştirilmiştir. 2017 yılında ise yersel ölçümler Tuz Gölü'nün içerisinden alınmıştır.

Söz konusu yıllarda gerçekleştirilen arazi çalışmalarından elde edilen verilerle Göktürk-2'nin mutlak radyometrik kalibrasyonuna ve Landsat 8 ile çapraz radyometrik kalibrasyonuna dair yapılan yayınlar mevcuttur (Demirhan, Deveci, & Sakarya, 2017; Deveci & Demirhan, 2018; Demirhan & Telatar, 2018). Ancak bu çalışmalarda da mutlak ve radyometrik kalibrasyon yöntemleri için ölçüm belirsizliği analizi yer almamaktadır.

1.2. Problemin Tanımı ve Çalışmanın Amacı

Uydu üzerindeki kamera elektroniği, optik ve detektörler zaman içerisinde değişime/kaymalara uğrayabilmektedir. Bu nedenle, uydu görüntülerinin doğruluğunu ve güvenilirliğini sağlamak amacıyla bir uydunun ömrü süresince radyometrik kalibrasyon çalışması yapılması ve kalibrasyon katsayılarının (kazanç) güncellenmesi gerekmektedir.

Kalibrasyon katsayılarının hesaplanmasına yönelik literatürde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan en çok kullanılanı, yansıtım temelli mutlak ve çapraz radyometrik kalibrasyon yöntemleridir. Bu yöntemlerle, yersel ölçümler ve atmosferik veriler kullanılarak atmosfer üstü ışınlılık ve atmosfer üstü yansıtım değerleri hesaplanmaktadır. Radyometrik kalibrasyon yöntemleri ile hesaplanan kalibrasyon katsayılarına etki eden çeşitli belirsizlik kaynakları (AOD ve su buharı değeri başta olmak üzere atmosferik ölçümler, yersel ölçümler ve uydunun/Güneşin başucu açısı vb.) bulunmaktadır. Ancak standart hesaplama yöntemlerinde bu belirsizlik kaynaklarına yönelik herhangi bir değerlendirme bulunmadığı için sonuç üzerindeki etki de tam olarak anlaşılamamaktadır.

Belirtilen belirsizlik kaynaklarının kalibrasyon katsayılarına etkisinin değerlendirilebilmesi ve toplam belirsizlik bütçesinin hesaplanması amacıyla, radyometrik kalibrasyon işlemi ile birlikte belirsizlik analizinin de yapılması önem arz etmektedir. Literatürdeki çalışmaların önemli bir kısmında mutlak ve çapraz radyometrik kalibrasyon yöntemleriyle kalibrasyon katsayısı hesaplanmakta ancak belirsizlik analizi yer almamakta dolayısıyla ölçüm toleransı belirtilmemektedir. Belirsizlik analizi gerçekleştirilen çalışmalarda ise, atmosfer üstü yansıtım ve atmosfer üstü ışınlılık değerlerini hesaplamak için ışınlım benzetim modeline girdi sağlayan parametrelerden kaynaklanan belirsizlik hesaplamalarında tüm bantlarda aynı değer kullanılarak tahminleme yapıldığı ya da verilen toplam belirsizlik bütçesinin alt kırılımlarına yönelik hangi belirsizlik kaynaklarının ne ölçüde dikkate alınarak analizlerin gerçekleştirildiği belirtilmemektedir. Bu durum, belirtilen belirsizlik kaynaklarının sonuç üzerindeki olası etkisinin değerlendirilmesine ve kalibrasyon katsayısı ölçüm toleransına yönelik doğru ve yeterli verinin elde edilmesini olumsuz etkilemektedir.

Ayrıca, radyometrik kalibrasyon işleminin gerçekleştirilebileceği dünyada sınırlı sayıda uygun CEOS referans test sahası bulunmaktadır (Tablo 2.1). Saha kısıtının yanı sıra, altyapı, atmosferik ve yersel ölçümler için gerekli yetişmiş insan kaynağı, işgücü, maliyet, sahanın kullanımı için gerekli izinler, yazılım lisansları, ölçüm cihazlarının kalibrasyonu ve ölçüm hataları gibi diğer kaynak kısıtları da dikkate alındığında baştan sona oldukça meşakkatli ve maliyetli olan radyometrik kalibrasyon sürecinin bütünüyle değerlendirildiğinde kaynak optimizasyonunu maksimize edecek şekilde belirlenecek bir yöntemle uygulanması büyük önem arz etmektedir.

Ülkemizde radyometrik kalibrasyon çalışmaları 2008 yılında başlamıştır ancak milli uydularımızın milli test sahamızda radyometrik kalibrasyonuna yönelik oldukça sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır.

BİLSAT ve RASAT uydularından sonra 2012 yılında fırlatılarak, ilk milli yüksek çözünürlüklü uydumuz olma özelliğine sahip olan Göktürk-2'nin radyometrik kalibrasyonunun araştırılması, milli yer gözlem uydularımıza ve test sahamız olan Tuz Gölü'ne zaman, maliyet ve başarımlı açısından en uygun yöntemin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu sayede, aynı zamanda dünya üzerindeki sınırlı sayıda test sahasından birine ev sahipliği yapan ülkemiz adına da diğer ülkelerle yapılacak işbirlikleri/hizmet anlaşmaları çerçevesinde diğer ülke uydularının radyometrik kalibrasyonlarının da ileriki dönemde Tuz Gölü'nde yapılmasına imkân sağlayacak maliyet ve zaman etkin bir çözüm optimizasyonu da gerçekleştirilmiş olacaktır.

Bu çalışmanın gerçekleştirildiği, radyometrik özellikleri homojen, atmosferik koşulları kararlı ve geniş bir bölgeye sahip olan Tuz Gölü; Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Özel Çevre Koruma Bölgesi 1. Derece Doğal Sit Alanı olarak koruma altındadır. Bu durum, güvenlik güçleri tarafından korunan Tuz Gölü'nde gerçekleştirilecek çalışmalar için önceden izin alınması ve çevreye herhangi bir zarar vermeden, kalıcı bir ekipman bırakmadan en kısa sürede söz konusu çalışmaların tamamlanmasını gerektirmektedir ve saha/veri işleme çalışmaları bu kısıtları kompanse edecek şekilde detayları ilerleyen başlıklarda belirtilen uygun yöntemler belirlenerek planlanmıştır. Ayrıca cihazlı referans test sahası bulunan ülkelerin bir kısmında (Dunhuang, Rail Road Valley, Ivanpah Playa vb.) radyometrik kalibrasyon işlemine özgü tesis/altyapı bulunmakta ve bu işlem için ayrıca kaynak aktarımı yapılmaktadır. Bu sayede yıl boyunca uygun hava koşullarında veriler toplanmakta, farklı ölçüm cihazları gerçek sahada karşılaştırılmakta ve en uygun cihaz verileriyle, ölçüm hatalarını da minimize ederek kalibrasyon çalışmaları iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Bu gibi tesis/altyapı kurulumları ve idamesine yönelik özel bir kaynak ayrılması gerektiği aşikârdır.

Bu çalışmada, literatürde az sayıda çalışmada bulunan belirsizlik analizi, bilimsel açıdan başka araştırmacılarca farklı platformlarda tekrarlanabilir olacak şekilde her bant için ayrıntılı açıklanarak gerçekleştirilmiş; Tuz Gölü'nün özel koruma bölgesi olması ve kaynak kısıtlarından dolayı milli yer gözlem uydularımız için milli test sahamızda mevcut duruma özgü bir yöntem uygulanması ve halihazırdaki kaynaklarımızın optimize edilerek

mümkün olduğu kadar az bir sürede ölçüm işlemlerinin tamamlanması, olası cihaz ölçüm hatalarının (sıcaklık, nem, kullanım hatası vb. nedenlerle) yöntem esasında veri işleme çalışmaları sırasında giderilmesi, açık kaynak kodlu yazılımlarla gerekli verilerin elde edilmesi gibi ihtiyaçlara yönelik bir radyometrik kalibrasyon süreci tanımlanmıştır. Söz konusu süreç Göktürk-2 uydusuna uygulanarak, ilk kez bir milli yer gözlem uydumuzun radyometrik kalibrasyon süreci ve belirsizlik analizi detaylı olarak açıklanmış ve radyometrik kalibrasyon katsayısı ölçüm toleransı hesaplanmıştır.

1.3. Araştırma Soruları

Bu bölümde tez çalışması kapsamında cevap aranacak sorular aşağıdaki şekilde özetlenmiştir:

- Literatürde geçen radyometrik kalibrasyon yöntemleri referans test sahaları içerisinde yapısal olarak diğer sahalardan farklı olan Tuz Gölü'ne transfer edilebilir mi?
- Göktürk-2'nin mutlak ve çapraz radyometrik kalibrasyon yöntemi ile hesaplanmış kalibrasyon katsayıları nedir?
- Yurtdışı menşeli görüntüler kullanılarak (Landsat 8 ve Sentinel-2A) gerçekleştirilen Göktürk-2'nin çapraz radyometrik kalibrasyon çalışmalarının sonuçları nasıldır?
- Göktürk-2'nin mutlak radyometrik kalibrasyon yöntemi ile hesaplanan kalibrasyon katsayılarının ölçüm belirsizliği yüzde kaçtır?
- Göktürk-2'nin çapraz radyometrik kalibrasyon yöntemi ile hesaplanan kalibrasyon katsayılarının ölçüm belirsizliği yüzde kaçtır?
- Çalışma kapsamında tanımlanan yöntemle göre elde edilen veriler ve bu veriler ışığında yansıtım temelli radyometrik kalibrasyon katsayı kestirimindeki ölçüm belirsizliği beklenen değere yakınsadı mı?
- Milli uydularımıza ve test sahamıza özgü; zaman, maliyet ve başarımlar açısından kaynakların optimum kullanımını sağlayacak bir yöntem uygulanabilir mi?

1.4. Tezin İçeriği

Tez çalışması kapsamında birinci bölümde radyometrik kalibrasyon konusunda geçmiş çalışmalar ile ilgili bilgiler verilerek problemin tanımı yapılmış ve tez çalışması

kapsamında cevap aranacak sorular özetlenmiştir. İkinci bölümde tez çalışması kapsamında konu ile ilgili temel kavramlar, uygulanan yöntemler ile ilgili ayrıntılar ve çalışma kapsamında kullanılan kalibrasyon sahasına, verilere ve Işınım Benzetim Modeline ilişkin bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde ise üç arazi çalışmasının mutlak/radyometrik kalibrasyonu ile kalibrasyon katsayılarının hesaplanması, katsayı kestiriminin belirsizlik analizi ve elde edilen bulgular anlatılmıştır. Dördüncü bölümde ise tüm araştırmalar kapsamında elde edilen sonuçlar ve sonuçların değerlendirilmesi doğrultusunda yapılan önerilere yer verilmiştir.

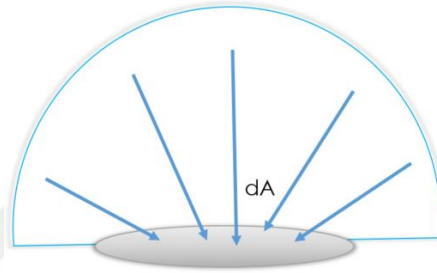


2. MATERYAL VE YÖNTEM

Tez kapsamında yer verilen bazı temel kavramların açıklamaları ve kullanılan yöntemler aşağıda verilmiştir.

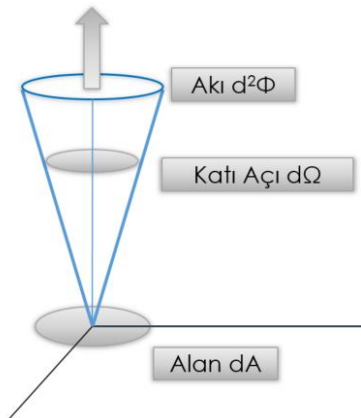
Radyometri: Elektromanyetik spektrumun tüm bölgelerinde ışığı ölçme bilimidir.

İrradyans (irradiance): Yarı uzayda (yarım kürede) birim alan üzerine düşen ışık miktarıdır (Şekil 2.1). Uluslararası Birimler Sistemi'ne göre irradyans birimi metrekare başına Watt ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)'tır.



Şekil 2.1. İrradyans kavramının şekil ile gösterimi

Işınrlık (Radiance): Bir yüzeyin bir birim alanından, bir birim katı açısından birim dalga boyunda yayılan, iletilen ya da alınan enerji miktarıdır (Şekil 2.2). Uluslararası Birimler Sistemi'ne göre radyans birimi metrekare başına steradyan başına Watt ($\text{W} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)'tır.



Şekil 2.2. Işınrlık kavramının şekil ile gösterimi

Tayfsal Işınırılık (Spectral Radiance): Frekans ya da dalga boyu biriminden bir yüzeyin radyansıdır. Dalga boyuna göre tayfsal ışınlılık birimi mikrometre başına metrekare başına steradyan başına Watt ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m$)’tır.

Tayfsal Yansıtım (Spectral Reflectance): Tayfsal yansıma, belirli dalga boylarında bir nesneden veya alandan ölçülen gelen radyan akının yansıyan radyan akıya oranıdır. Işınırılık ve irradyans değerlerinden farklı olarak, yansıtım bir nesnenin doğal bir özelliğidir. Yansıtım zamandan, konumdan, aydınlatma yoğunluğundan, atmosferik koşullardan ve hava koşullarından bağımsızdır. Yansıtım birimsizdir.

2.1. Radyometrik Kalibrasyon Sahaları

Dünya’da potansiyel olarak görünür ($0,4 - 0,7 \mu m$), yakın kızıl ötesi (YKÖ – $0,7 - 1,1 \mu m$) ve kısa dalga kızıl ötesi ($1,1 - 3,0 \mu m$) bölgelerinde, fırlatma sonrası (post-launch) radyometrik kalibrasyon çalışmalarını desteklemek için, yaklaşık 30 adet test sahası bulunmaktadır. CEOS Working Group on Calibration and Validation of Infrared and Visible Optic Sensors (WGCV IVOS) çeşitli kriterler belirleyerek düzenli ve cihazlı çalışmalar için uygun sekiz adet test sahası (Şekil 2.3) belirlemiştir (<http-1>). Bu sekiz alan ‘Referans Test Sahaları’ veya ‘Kalibrasyon/Doğrulama Cihazlı Test Sahaları’ (Tablo 2.1) olarak literatüre geçmiştir.



Şekil 2.3. Referans Test Sahaları - Kalibrasyon/Doğrulama Ekipmanlı Test Sahaları

TÜBİTAK UZAY'ın ilkin 2009 yılında gerçekleştirdiği araştırmalar Tuz Gölü'nün bu alanda büyük potansiyele sahip olduğunu ve coğrafi konumu itibarıyla diğer test sahalarından avantajlı olduğunu göstermiştir.

Tablo 2.1. CEOS referans test sahalarına ait detaylar

#	Saha Adı	Bulunduğu Ülke	Merkez Enlem	Merkez Boylam
Cihazlı Sahalar				
1	Ivanpah Playa	ABD	35,57°	-115,40°
2	Dome C	Antarktika	-74,50°	123,00°
3	Railroad Valley Playa	ABD	38,50°	-115,69°
4	Tuz Gölü	Türkiye	38,83°	33,33°
5	Lspec Frenchman Flat	ABD	36,81°	-115,93°
6	Negev	İsrail	30,11°	35,01°
7	La Crau	Fransa	43,56°	4,86°
8	Dunhuang	Çin Halk Cumhuriyeti	40,13°	94,34°
Potansiyel Test Sahaları				
1	Libya 4	Libya	28,55°	23,39°
2	Moritanya 1	Moritanya	19,40°	-9,30°
2	Moritanya 2	Moritanya	20,85°	-8,78°
3	Cezayir 3	Cezayir	30,32°	7,66°
4	Libya 1	Libya	24,42°	13,35°
5	Cezayir 5	Cezayir	31,02°	2,23°

Radyometrik Kalibrasyon amaçlı kullanılacak olan sahaların aşağıda belirlenen özellikleri taşıması gerekmektedir (Morain & Budge, 2004; Teillet, Fedosejevs, Thome, & Barker, 2007; Thome K. J., 2002; Scott, Thome, & Brownlee, 1996). Temel özellikler aşağıdaki gibi olmakla beraber bu liste detaylandırılabilir. Kalibrasyon sahasının temel özellikleri arasında:

- %30'dan büyük yüzey yansıtırlığa sahip olması
- Aerosol miktarının düşük olması amacıyla yüksek rakıma sahip olması,
- Yüksek mekânsal homojenliğe sahip olması
- Uygulanan radyometrik kalibrasyon prosedürünün farklı yıllarda da uygulanabilmesi için zamana bağlı değişimin az olması
- Ölçüm yüzeyinin yatay ve Lambertian yüzeye yakın olması
- Tayfsal homojenliğe ve düz spektruma sahip olması

- Cihazların ve araştırma ekibinin taşınabilmesi açısından sahanın rahat ulaşılabilir olması
- Bulutluluk oranının az olması
- Atmosferik su buharının etkilerini en aza indirmek amacıyla denizden ve okyanustan uzak olması
- Yoğun bitki örtüsünden, endüstriyel alanlardan ve yerleşim yerlerinden uzak olması

bulunmaktadır.

Bütün kriterleri sağlayan ideal bir test sahası bulabilmek mümkün değildir ancak çöller ve kuru tuz gölleri mutlak radyometrik kalibrasyon çalışmaları için kullanılan en ideal alanlardır.

2.1.1. Tuz Gölü'nün özellikleri

Tuz Gölü, Doğu Akdeniz bölgesinin en büyük tuz gölüdür (Gürbüz ve Kazancı, 2015). İçinde bulunduğu havza ise oluşumu Geç Kretase'ye uzanan kıtasal bir çöküntü olarak başlamıştır (Çemen, Göncüoğlu, & Dirik, 1999; Dirik & Erol, 2003). Bu havzanın temeli, Paleozoyik yaşlı metamorfikler ile Üst Kretase yaşlı ofiyolitik birimlerinden oluşur; bunların üzerine ise Senozoyik yaşlı karasal ve denizel çökellerden oluşan oldukça kalın bir sedimanter istif gelir. Günümüzdeki morfolojisini büyük ölçüde Neojen'de kazanan Tuz Gölü Havzası'nda bu dönemde yoğun miktarda buharlaşma ve sedimantasyon ile önemli bir iklimsel ve çevresel değişiklik kaydedilir (Dirik & Erol, 2003). İçinde bulunduğumuz son 2,5 My'lık dönemi temsil eden Kuvaterner'e geldiğimizde ise Tuz Gölü'nün doğu ve güneydoğu kesimlerinde yer alan volkanizmadan türeyen volkanoklastik birimler de diğer çökellerle birlikte havzada birikmeye başlamıştır (Gürbüz & Kazancı, 2014; Gürbüz & Kazancı, 2015). Geç Buzul Maksimum döneminde, iklim koşullarının katkısıyla Tuz Gölü oldukça genişlemiş ve yaklaşık 35-40 m derinliğinde acı bir göl haline gelmiştir (Özsayın, Gürbüz, Kuzucuoğlu, & Erdoğan, 2019).

Günümüzde doğu ve batı kesimlerinden yaklaşık KB-GD doğrultusunda iki normal fay (doğuda Tuz Gölü Fay Zonu, batıda İnönü-Eskişehir Fay Zonu) tarafından sınırlanan bir çöküntüde konumlanan Tuz Gölü, bu görüntüsü itibarıyla de tuz göllerinin dünyadaki önemli örneklerinden olan İran'daki Urmiye Gölü ve Kuzey Amerika'daki Great Salt Lake'e benzer bir coğrafya sunmaktadır (Özsayın, Gürbüz, Kuzucuoğlu, & Erdoğan,

2019). Öte yandan, Tuz Gölü hidrojeokimyasal olarak %32,9'luk tuzluluk oranıyla dünyanın en tuzlu göllerinin (%34,2 Ölü Deniz - Filistin, İsrail ve Ürdün; %35 Vanda Gölü – Antarktika; %34,8 Assal Gölü – Cibuti; Hammer, 1986) arasında gelmektedir (Özsayın, Gürbüz, Kuzucuoğlu, & Erdoğan, 2019).

Tuz Gölü'nün toplam drenaj alanı ~15.000 km² olup, bu alan Türkiye'nin %1,56'sına tekabül etmektedir (Özsayın, Gürbüz, Kuzucuoğlu, & Erdoğan, 2019). Göle ulaşan yüzey suyu girişi esas olarak batısından İnsuyu doğusundan ise Melendiz ve Peçeneközü dereleri ile sağlanmaktadır. Buharlaşma ve su girişiindeki mevsimsel ve yıllık değişimlere bağlı olarak toplam göl alanı 1500 km² ile 1665 km² arasında değişmektedir (Örmeci & Ekercin, 2007). Özellikle son yıllarda iklim değişikliği, göle ulaşan akarsular üzerindeki barajlar (örn. Melendiz barajı) nedeniyle göle gelen hidrolojik girdi önemli ölçüde azalmıştır (Örmeci & Ekercin, 2007). Tuz Gölü'ne su girdisi sağlayan en önemli ve kontrol edilebilir bileşen yeraltı suyu tarafından sağlanmaktadır, ancak resmi rakamlara göre, göl bütçesine katılan yıllık yeraltı suyu girişi miktarı da tarımsal amaçlı dikkatsiz kullanım neticesinde önemli ölçüde azalmıştır (Özsayın, Gürbüz, Kuzucuoğlu, & Erdoğan, 2019).

Karasal bir iklimin hâkim olduğu Tuz Gölü Havzası'nın bulunduğu Orta Anadolu bölgesi, kuzeyde Karadeniz Dağları'nın ve güneyde Toros Dağları'nın yükseltilerinin sebep olduğu yağış bariyerlerinden ötürü yıllık ortalama yağış miktarı 320-340 mm/yıl gibi oldukça düşüktür ve ülkemizin en kurak bölgesini temsil etmektedir (Gürbüz & Kazancı, 2015; Özsayın, Gürbüz, Kuzucuoğlu, & Erdoğan, 2019). Maksimum uzunluğu 85 km'ye, maksimum genişliği ise 50 km'ye ulaşan Tuz Gölü'nün çevresinde birçok tuz tarlası/havuzu bulunmaktadır. Günümüzde ülkemizin tuz ihtiyacının %63'lük kısmı Tuz Gölü'nden sağlanmaktadır. Bununla birlikte bölgeden elde edilen arkeolojik bulgular tuzun kullanımının Neolitik döneme kadar uzandığına işaret etmektedir (Özsayın, Gürbüz, Kuzucuoğlu, & Erdoğan, 2019).

Özel Çevre Koruma Kurumu Başkanlığı verilerine göre, Tuz Gölü'nün derinliği suyun en yüksek seviyesine ulaştığı Mart-Nisan döneminde 70-150 cm arasındadır. Mayıs ayından itibaren ise, yağışların düşmesi, akış girdisinin azalması ve sıcaklıkların artması nedeniyle göl suyunun çoğu buharlaşmaktadır. Yaz veya erken sonbaharda gölün sığ kısmı kurur ve kuru zemini 30 cm kalınlığındaki tuz kabuğu kaplar. Öte yandan, derin kısımlarda su yıl boyunca kalır. 1990'lı yılların başından itibaren göl, kuzey kesimde yer alan tuz havuzları için yeterli su seviyesini sağlamayı amaçlayan yapay bir su tutma ile

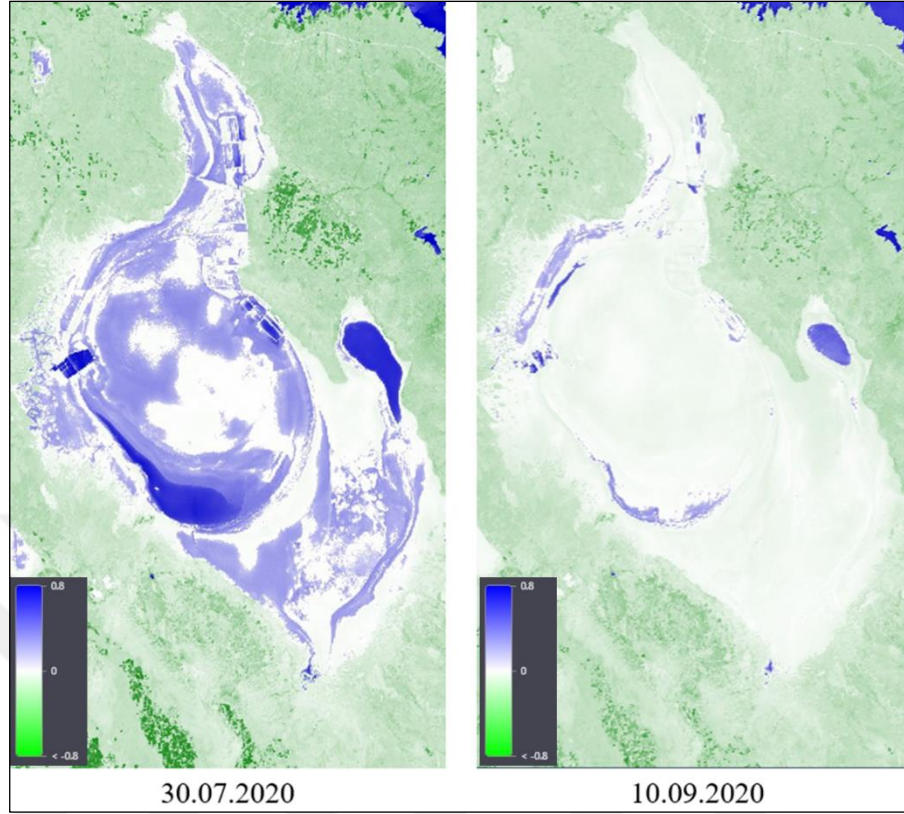
kuzey ve güney olarak ikiye bölünmüştür (Özsayın, Gürbüz, Kuzucuoğlu, & Erdoğan, 2019).

Kurak mevsimde Tuz Gölü'nde tuz yaklaşık 1200 km²'lik bir alanda çökelir ve yaklaşık 30 cm kalınlığa ulaşacak şekilde kalıcı bir halit kabuğu oluştururken, yağışlı dönemde çözünme nedeniyle bu kalınlık yarıya iner (Tekin, Ayyıldız, Gündoğan, & Orti, 2007). Bu ortamda, tuz tarlalarında/havuzlarında buharlaşmadan faydalanılarak halit üretilir. Bu yöntemle toplam tuz üretimi yaklaşık 2.500.000 t/yıl'dır (Uyanık, 2004). Kuzey kesimde, tuz kabuğunun mineralojisi halitin yanı sıra jips, aragonit ve kalsitten oluşmaktadır (Çamur & Mutlu, 1996). Kabuğun altında, konsolide olmayan çamurlu çökellerin (yaklaşık 25 cm kalınlığında) mineralojisi esas olarak jips, huntit ve manyezitten oluşur (Irion & Müller, 1968; Ergun, 1988). Gölün ana büyük güney kesiminde polihalit oluşurken, daha derin bölgelerde çökeller ince bir halit, jips ve aragonit tabakasından oluşur. Daha aşağıda ise, Mg-kalsit ve dolomitten oluşan karbonat çökelleri üzerinde ince bir halit tabakası yer almaktadır (Çamur & Mutlu, 1996).

2.1.2. Tuz Gölü - kalibrasyon/doğrulama ekipmanlı test sahası

Tuz Gölü, Bölüm 2.1'deki başlıkta belirtilen kriterleri büyük ölçüde karşılamaktadır. Kalibrasyon sahası olarak kullanılan tuz göllerinin yansıtım özellikleri yıllara bağlı olarak fazla değişmemektedir. Tuz Gölü'nün yansıtım oranı %65'lere kadar çıkabilmektedir. Ülkemizin neredeyse tam ortasında bulunan Tuz Gölü deniz seviyesinden 907 m yüksekliktedir. Bu durum aerosol miktarının ve su buharının miktarının az olmasını sağlamaktadır. Meteoroloji verilerine göre (http-2) kalibrasyon çalışmalarının yapıldığı Ağustos ve Eylül aylarında buharlaşma nispeten düşük (Temmuz: 281-320mm, Eylül 176-200mm) seviyelerde seyretmektedir.

Tuz Gölü'nün bilhassa kıyı kısımlarında yaklaşık 4-5 cm derinliğinde sulu alanlar bulunmaktadır. 15 Ağustos – 15 Eylül tarihleri aralığında göl kıyısından 200 m kadar gölün ortalarına doğru ilerlendiğinde ölçüm yapılabilecek homojen alanlara erişilebilmektedir. Temmuz ve Eylül aylarındaki göldeki su oranını göstermek amacıyla Sentinel-2A (S2A) görüntülerinden Normalleştirilmiş Fark Su İndeksi (Normalized Difference Water Index (NDWI)) analizi Şekil 2.4 ile gösterilmiştir. Mavi ile gösterilen alanlar (0,5'ten büyük indeks değerleri) su oranının fazla olduğu alanlardır. Yeşil ile gösterilen alanlar ise bitki örtüsü veya yerleşim yerlerine karşılık gelen indeks değerlerini ifade etmektedir.



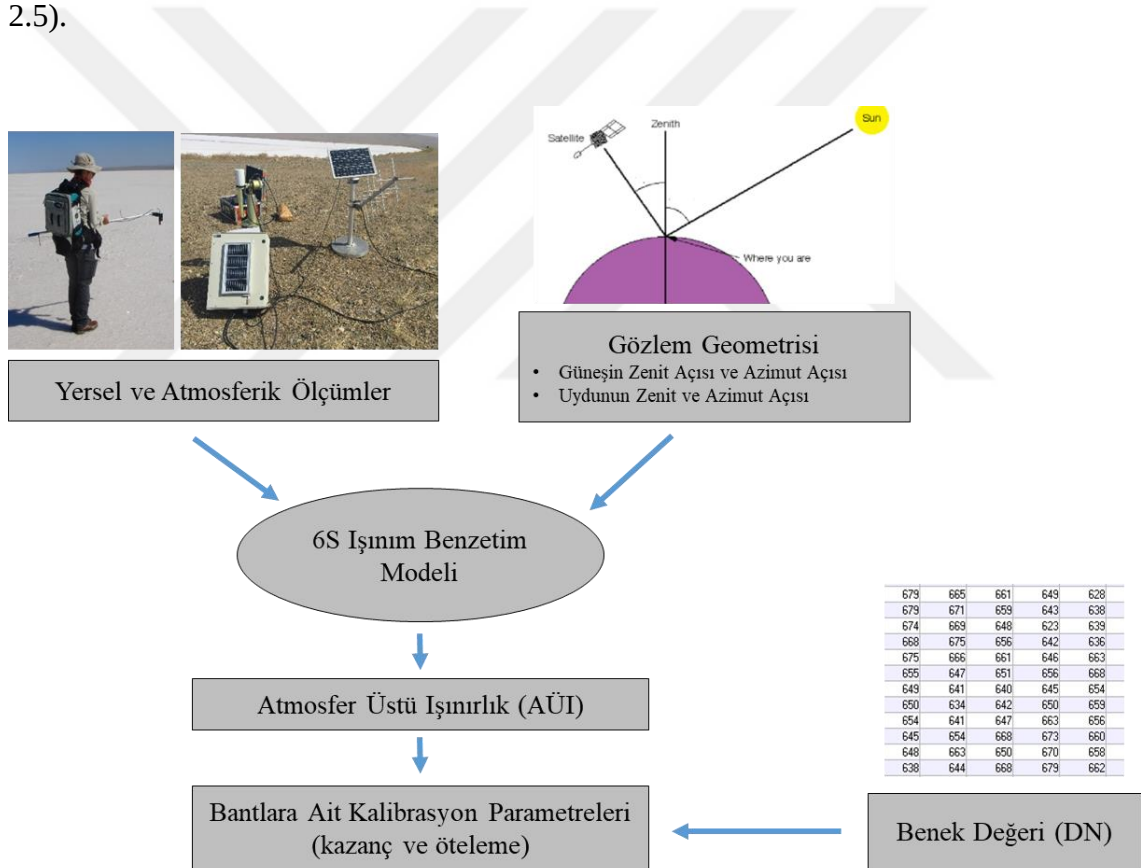
Şekil 2.4. Tuz Gölü, Sentinel-2A uydu görüntüleri (NDWI)

Tuz Gölü ve Lake Frome gibi tuz göllerinin BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function, Işığın İki Yönlü Yansıtma Dağılımı Fonksiyonu) değerlerinin kararlı olduğu bilinmektedir (Campbell, ve diğerleri, 2001).

Bununla beraber Tuz Gölü VNIR (Görünür-Yakın Kızıl Ötesi) bantlarda yüksek yansıtım değerleri vermektedir ve ilgili bantlar boyunca tayfsal homojenlik göstermektedir. Tuz Gölü ölçüm alanından Ankara Esenboğa Havaalanı yaklaşık 210 km kadardır. Ankara merkezden ise 167 km olup, yolculuk yaklaşık iki saat kadar sürmektedir. Tuz sevkiyatı yapan işletmeye ait tırların yola verdiği zayıta bağlı olarak seyahat süresi uzayabilmektedir. Tuz Gölü konum itibarıyla Ankara'dan günü birlik arazi çalışmalarının yapılabilmesi açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır. Civardaki en yoğun yerleşim yeri 33.310 nüfuslu (2020 verilerine göre) Şereflikoçhisar ise gölden ölçüm alanına yaklaşık 20 km kadar uzaklıktadır. Tuz Gölü şehir merkezinden ve endüstriyel alanlardan uzak olma kriterini de karşılamaktadır.

2.2. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon Yöntemi

Mutlak radyometrik kalibrasyon yöntemiyle optik yer gözlem uydusu verilerindeki sayısal değerler ile hedef alandan alınan yansıtım değeri ilişkilendirilir. Tayfsal bilgi gerektiren uygulamalarda kullanılan görüntülerin mutlak radyometrik kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmelidir. Mutlak radyometrik kalibrasyonu tamamlanmış görüntü ile yersel ölçümler karşılaştırılabilir veya doğrulama yapılabilir. Söz konusu yöntemde uydunun belirlenen hedefi çektiği zamandan en fazla yarım saat önce ve sonra yersel ölçümler alınır. Görüntülenen hedef alan, doğal veya yapay, belirli kriterleri sağlaması gerekmektedir. Işınım Benzetim Modeli'ne girdi sağlamak üzere atmosferden de veri toplanarak uydu üzerinde bulunan algılayıcıya giden ışınlılık değeri hesaplanır (Şekil 2.5).



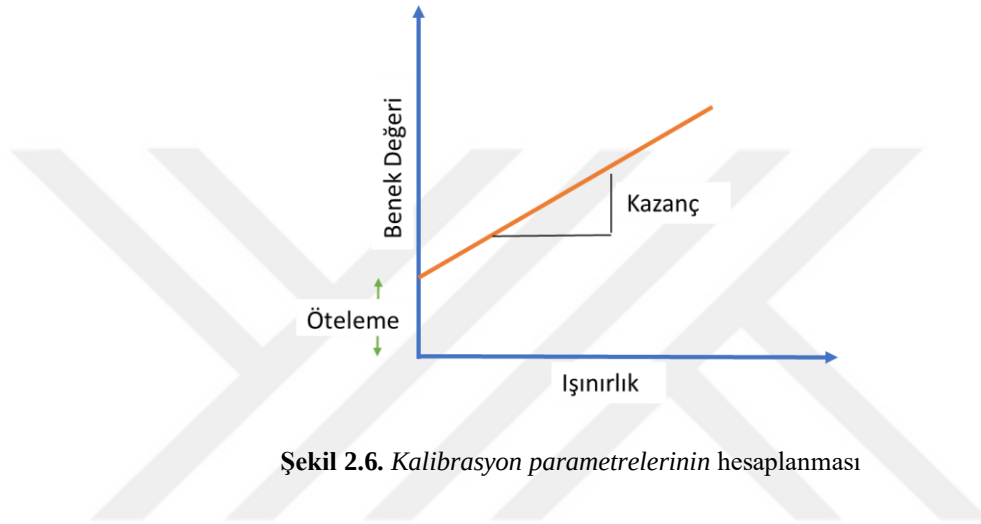
Şekil 2.5. Kalibrasyon parametrelerinin hesaplanması için uygulanan işlem adımları

Işınlılık değeri ve algılayıcıdan alınan benek değeri Eşitlik (2.1) kullanılarak kalibrasyon parametreleri elde edilir.

Kalibrasyon parametreleri (kazanç ve öteleme) Eşitlik (2.1) ile elde edilir.

$$Işınırlık (AÜI) = Benek Değeri (BD) * Kazanç (G) + Öteleme \quad (2.1)$$

Başka bir deyişle, kalibrasyonu yapılmamış bir görüntüden ışınlılık değeri elde etmek için benek değerlerine kazanç ve öteleme parametreleri uygulanmalıdır. Mutlak radyometrik kalibrasyon yöntemi ile görüntünün meta verilerinden veya veri sağlayıcıdan alınan kazanç değeri hesaplanmaktadır. Şekil 2.6 ile benek değeri ile ışınlılık arasındaki ilişki gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Kalibrasyon parametrelerinin hesaplanması

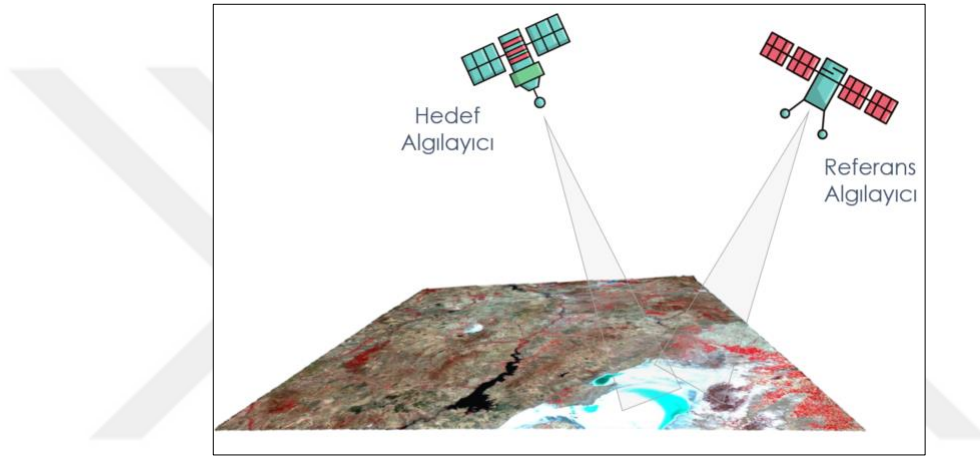
Atmosfer Üstü Yansıtım (Top of Atmosphere Reflectance), görüntüler arası varyasyonları azaltmak için öneme sahip olan algılayıcıdaki (sensör) tayfsal ışınlılık olarak da bilinen ışınlılık, değerinden dönüştürülür. Atmosfer Üstü Yansıtım algılayıcıdaki tayfsal ışınlılığa kıyasla üç büyük avantaja sahiptir. Bu avantajlardan birincisi, yansıtım dönüşümü ile güneşin farklı başucu açılarının kosinüs etkisini elemektir. İkincisi, tayfsal bant varyasyonlarına sebep olan güneş irradyansındaki farklılıklar, atmosfer üstü yansıtım tarafından eşitlenir. Son olarak, çeşitli tarihlerde toplanan veriler için Güneş-Dünya mesafesindeki değişiklikler AÜY yansıtım tarafından kullanılır. Atmosfer Üstü Yansıtım hesabı Eşitlik (2.2)'ye göre düzenlenmiştir.

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi * L_{\lambda} * d^2}{E_{SUN_{\lambda}} * \cos \theta} \quad (2.2)$$

Burada; $E_{SUN_{\lambda}}$ Güneş'ten gelen aydınlanma/ışınım (irradyans), L_{λ} tayfsal ışınlılık (AÜI), d Dünya-Güneş arası mesafe, θ Güneş'in dikey ile yaptığı açı ve ρ_{λ} Atmosfer Üstü Yansıtım (AÜY)'dir.

2.3. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon Yöntemi

Çapraz radyometrik kalibrasyon yönteminde hedef algılayıcı (Göktürk-2) referans bir algılayıcıya göre kalibre edilmektedir (Şekil 2.7). Algılayıcının bağıl tayfsal tepkisi (Relative Spectral Response, RSR) esas alınarak her bir bant için algılayıcılar arasındaki katsayı hesabı (Spectral Band Adjustment Factor, SBAF) yapılır (Chander, ve diğerleri, 2012). Bu katsayı kullanılarak, referans algılayıcıdan toplanan atmosfer üstü yansıtım ve/veya ışınlılık değerleri hedef algılayıcının atmosfer üstü yansıtım ve/veya ışınlılık değerleri hesaplanır.

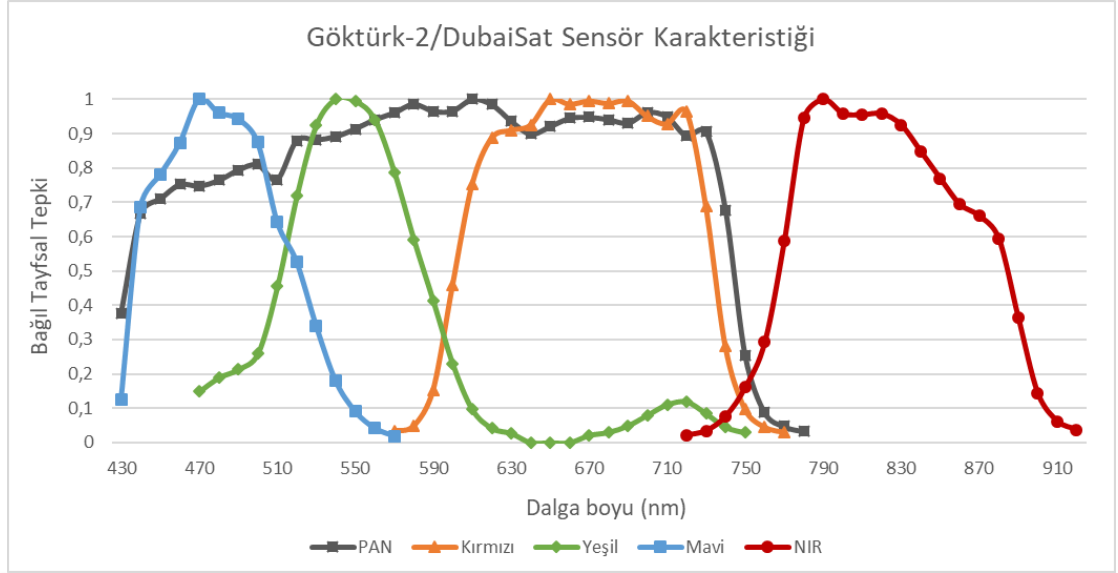


Şekil 2.7. Çapraz radyometrik kalibrasyon çalışmaları

Uyduların aynı atmosferik koşullar altında eş zamanlı çekilen görüntülerinin kullanılması ışığın yansıma farkından kaynaklı etkiyi azaltır. Benzer bant genişliğine sahip uydu algılayıcıları için çapraz kalibrasyon yöntemi kullanılır. Farklı algılayıcıların aynı banttaki bağıl tayfsal tepki (BTT) fonksiyonları ve filtre geçirgenlikleri aynı değildir.

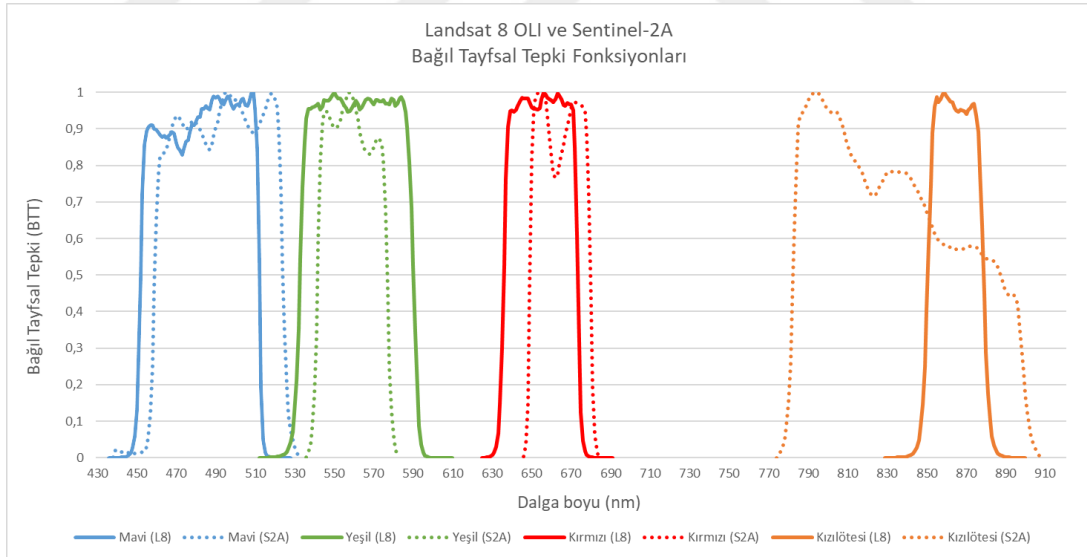
Referans ve hedef görüntünün her bir bandı için SBAF hesabı yapılarak, bantların bağıl tayfsal tepki farklılıklarına bağlı etkiler düzeltilir. Bu tez çalışmasında hedef görüntü olarak Göktürk-2 (GK2), referans görüntü olarak ise Landsat 8 OLI (L8) ve Sentinel-2A görüntüleri kullanılmıştır.

Göktürk-2 uydusuna ait algılayıcı sisteminin aynısı DubaiSat ve RazakSAT uydularında da kullanılmıştır (http-4). DubaiSat ve Göktürk-2 bantlarına ait bağıl tayfsal tepki fonksiyonu Şekil 2.8 ile verilmiştir (Teke, Demirkese, Haliloğlu, & İmre, 2016; Choi, Harmoul, Kang, Al-Dhafri, & Kim, 2009).



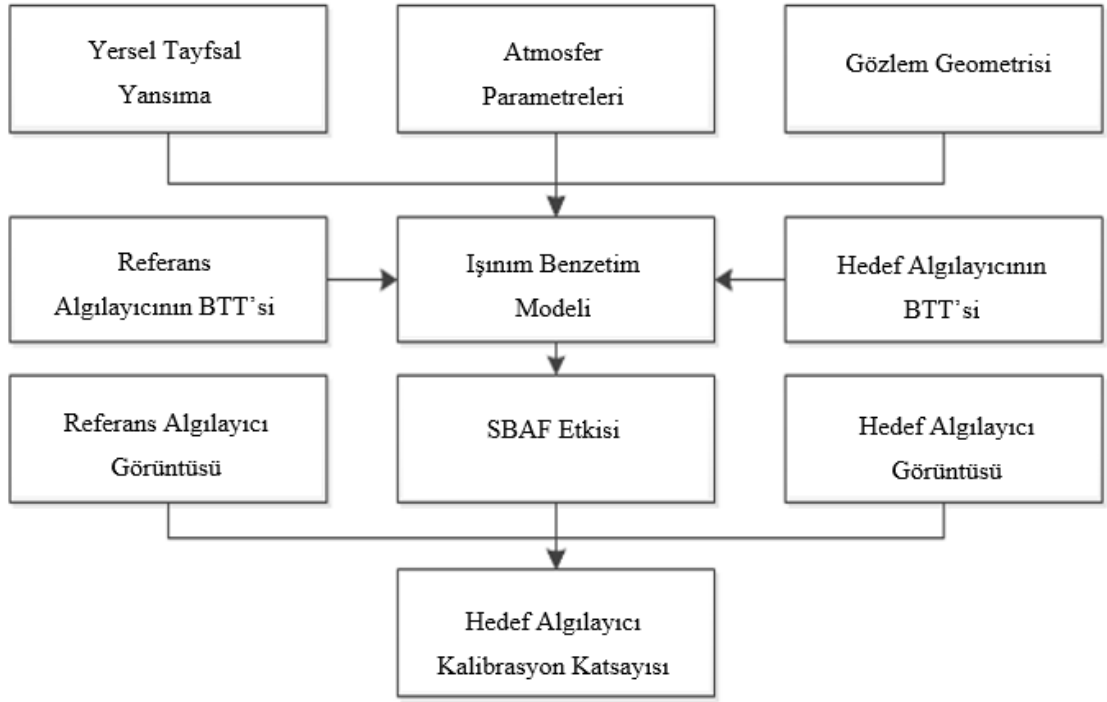
Şekil 2.8. Göktürk-2/DubaiSat algılayıcılarının bağıl tayfsal tepki fonksiyonları

Çapraz radyometrik kalibrasyon çalışmalarında referans olarak kullanılan Landsat 8 ve Sentinel-2A bağıl tayfsal tepkileri fonksiyonları ise Şekil 2.9 ile gösterildiği gibidir.



Şekil 2.9. Landsat 8 OLI ve Sentinel-2A'nın algılayıcılarının bağıl tayfsal tepki farklılıkları

Çapraz radyometrik kalibrasyon için kullanılan yöntemde Şekil 2.10 ile gösterilen akış şeması ile uygulanmıştır ve Tablo 2.2'de belirtilen eşitliklerle atmosfer üstü yansıtım değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 2.10. Çapraz radyometrik kalibrasyon yönteminde uygulanan iş akışı

Tablo 2.2. Çapraz radyometrik kalibrasyon yöntemi ile hedef görüntünün atmosfer üstü yansıtım değerini hesaplama

$SBAF_{GK2/L8} = \rho_{GK2}^{6S} / \rho_{L8}^{6S}$	
ρ_{GK2}^{6S}	Göktürk-2 için 6S ile üretilen Atmosfer Üstü Yansıtım
ρ_{L8}^{6S}	Landsat 8 için 6S ile üretilen Atmosfer Üstü Yansıtım
$\rho_{GK2}^* = \rho_{L8}^* * SBAF_{GK2/L8}$	
ρ_{L8}^*	Referans görüntü olarak kullanılan Landsat 8 görüntüsüne ait Atmosfer Üstü Yansıtım
ρ_{GK2}^*	Hedef görüntü Göktürk-2 için üretilmiş Atmosfer Üstü Yansıtım
$L_{GK2}^* = \frac{\rho_{GK2}^* ESUN_{GK2} \cos \theta_{GK2}}{\pi d^2}$	

2.4. Tez Çalışmasında Kullanılan Uydu Görüntülerinin Özellikleri

Tez çalışmasında kullanılan Göktürk-2, Landsat 8 ve Sentinel-2A uydularının görüntülerinin tayfsal özellikleri Tablo 2.3 ile verilmiştir.

Tablo 2.3. Göktürk-2, Landsat 8 ve Sentinel-2A uydularının tayfsal özellikleri

	Göktürk-2	Landsat 8	Sentinel-2A
Çözünürlük (Pan/MS)	2,5 m / 5 m	15 m / 30 m	10 m
Mavi Bant	0,430 – 0,570 μm	0,436 – 0,528 μm	0,447 – 0,545 μm
Yeşil Bant	0,470 – 0,750 μm	0,512 – 0,610 μm	0,537 – 0,582 μm
Kırmızı Bant	0,570 – 0,770 μm	0,625 – 0,691 μm	0,645 – 0,683 μm
Yakın Kızıl Ötesi Bant	0,720 – 0,920 μm	0,829 – 0,900 μm	0,762 – 0,907 μm
Pankromatik Bant	0,430 – 0,780 μm	0,503 – 0,676 μm	-

Göktürk-2'nin görüntü alacağı yerin aydınlanma durumuna bağlı olarak farklı çekim şartları (kazanç modu) oluşturulabilmektedir. Göktürk-2'nin -2, 0, 2, 4, 6, 8, 10 olmak üzere yedi farklı kazanç modu bulunmaktadır.

2.5. Tez Çalışmasında Kullanılan Cihazlar

2.5.1. Spektrometre

Çalışma kapsamında, yersel ölçümleri gerçekleştirmek için spektrometre diğer bir deyişle tayfölçer kullanılmıştır. Tayfölçer, tayfsal özellikleri belirlenmek istenen materyalin elektromanyetik spektrumun belirli bir bölümü üzerinde ışığın özelliklerini ölçer. Farklı dalga boyundaki elektromanyetik dalgalarla aydınlatılmış bir malzeme için yansıyan, yutulan veya iletilen ışınım miktarları dalga boyuna bağlı olarak değişir. Söz konusu değişikliğin grafiksel gösterimine tayfsal imza denilmektedir. Bu önemli özellik sayesinde farklı nesneler/malzemeler birbirinden ayırt edilebilir.

ASD FieldSpec3 spektrometre, tam kapsamlı (350-2500 nm) görünür ve kızıl ötesi alanlarda ölçüm yapabilen, 100 milisaniye/spektrum hızda veri toplayan kolay kullanımlı, portatif, hassas bir cihazdır. FieldSpec3; kablolu bağlantı ile kontrol ünitesine (dizüstü bilgisayar) bağlanır ve sırt çantası sayesinde portatif olma özelliğine sahiptir.

ASD FieldSpec3 spektrometre üç detektörden oluşmaktadır. Bunlar (http-5):

- VNIR: 350-1000 nm tayfsal bölge için 512 elemanlı silikon foto-diyot dizi.

- SWIR1: 1000-1830 nm tayfsal bölge için dereceli indeks, TE-soğutulmuş, InGaAs, foto-diyot.
- SWIR2: 1830-2500 nm tayfsal bölge için dereceli indeks, TE-soğutulmuş, InGaAs, foto-diyot.

Spektrometre ile gerçekleştirilen ölçümler esnasında belli aralıklarla spektralon adı verilen beyaz yüzeyden referans ölçümler alınır. Spektralonlar, yüksek oranda lambert davranışı sergileyen ve %99'dan fazla yansıtım özeliği gösteren kalibrasyon hedefleridir.

Spektroradyometre ile toplanan tayfsal imzalar, ASD ViewSpec Pro yazılımına aktarılarak tayfsal analizler gerçekleştirilebilir. Bu çalışmada gerçekleştirilen analizler için tayfsal imzaların ölçüm formatı olan “.asd” formatından “.txt” formatına dönüşüm yapılarak, veriler MS Office Excel formatına aktarılmıştır.



Şekil 2.11. ASD FieldSpec 3'ün arazide kullanımını gösteren bir kare

2.5.2. Güneş fotometresi

Çalışma kapsamında, Aerosol Optik Derinliği ve su buharı (SB) parametrelerinin ölçümleri CIMEL güneş fotometresi ile ölçülmüştür. Cihazın kurulumu yaklaşık üç saat sürmektedir. Optik kafa dahili piller ile çalışırken, gövde ve uydu vericisi kısmı ise güneş panelleri vasıtasıyla şarj edilebilen harici piller ile çalışmaktadır.



Şekil 2.12. Güneş fotometresi

2.6. Tez Çalışmasında Kullanılan Benzetim Modelinin Genel Özellikleri

Bu bölümde, araştırmada yersel ve atmosferik verilerin girdi olarak verildiği benzetim modelinin genel özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir.

6S-Second Simulation of a Satellite Signal in the Solar Spectrum; optik elektromanyetik sinyalin ışıyım yayılımını atmosfer boyunca simule eden bilgisayar kodudur. Fransa’da bulunan Laboratoire d’Optique Atmospherique (<http-6>) tarafından geliştirilen benzetim modeli, 5S kodunun geliştirilmiş versiyonudur.

6S; Nadir’e yakın bir açıyla çekim yapan uydu ve hava platformlarının hedef yüksekliği, yüzey özellikleri ve enerjiyi soğuran gaz türlerini (O_2 , O_3 , H_2O , CH_4 , N_2O , CO) girdi olarak kullanıp hesaplamalar yapmaktadır.

6S Benzetim Modeli için hazırlanan örnek bir girdi kartı Şekil 2.13 ile verilmiştir. Girdi kartı “.txt” formatında hazırlandığında ve sadece “input” olarak adlandırıldığında 6S Benzetim Modeli’nin “.exe” dosyası çalıştırılabilmektedir. Girdi kartına toplan dokuz adımda girdiler tanımlanabilmektedir.

1. Gözlem Geometrisi
2. Atmosferik Koşullar
3. Aerosol Model
4. Aerosol Optik Derinliği
5. Hedef Yüksekliği

6. Algılayıcı Yüksekliği
7. Dalga boyu ve Bağlı Tayfsal Tepki Fonksiyonu
8. Ağırlıklandırılmış Yersel Yansıtım Ortalaması
9. Atmosferik Düzeltme Modeli

input_örnek - Not Defteri	
Dosya_Düzen_Biçim_Görünüm_Yardım	
0 (Geometrik koşullar kullanıcı tarafından sağlanacaktır.) 40.14 130.23 12.01 259.69 8 30 (GBA,GAA,UBA,UAA,ay,gün)	1
8 (Atmosferik koşul parametreleri kullanıcı tarafından tanımlanacaktır.) 1.9 (Su buharı değeri, g/cm2) 0.29 (Ozon değeri, cm-atm)	2
1 (Karasal)	3
0 (Aerosol Optik Derinlik parametresi kullanıcı tarafından tanımlanacaktır.) 0.2194 (Aeorosol Optik Derinlik değeri)	4
-0.907 (Hedefin denizden yüksekliği,km cinsinden "-" değer olarak verilecektir.)	5
-1000 (Algılayıcı uydu platformu üzerinde ise -1000 olarak girdi sağlanır.)	6
1 (Bağlı Tayfsal Tepki 2.5 nm aralıklarla tanımlanacaktır.) 0.430 0.570 (Göktürk-2 mavi bantın dalgaboyu aralığı tanımlanmıştır.) GK2_blue.dat (Göktürk-2 mavi bant Bağlı Tayfsal Tepki dosyası)	7
0 (Hedef homojen olma özelliği göstermektedir.) 0 (BRDF etkisi görülmemektedir.) 0 (Ağırlıklandırılmış Yersel Yansıtım Ortalaması kullanıcı tarafından tanımlanacaktır.) 0.5937 (Ağırlıklandırılmış Yersel Yansıtım Ortalaması,AYYO değeri)	8
-1.0 (Atmosferik düzeltme yapılmayacaktır.)	9

Şekil 2.13. Tuz Gölü-6S hesaplamalarında kullanılan örnek "input" kartı

Atmosferde oranı her zaman değişmeyen ve oranı konuma/zamana bağlı olarak bağlı olarak değişen gazlar vardır (Tablo 2.4).

Atmosferde devamlı bulunan ve çoğunlukla miktarları değişmeyen azot (nitrojen) ve oksijen atmosferdeki gazların %99'unu oluşturur. Bu gazlar hava olaylarını çok az seviyede etkilerler. Azot, yağmur gibi hava olaylarıyla yeryüzüne iner. Bu formuna nitrik asit adı verilir. Nitrik asit bakteriler tarafından tekrar azot ve nitrat formuna dönüştürülür. Bu şekilde azot döngüsü sürekli gerçekleştirilir. Güneş ışınları azot moleküllerini kolayca parçalayamaz ve dolayısıyla atmosferik tepkimeler oluşturulmaz.

Atmosferdeki miktarı en fazla olan ikinci sabit gaz ise oksijendir. Oksijen güneş ışınları tarafından azota göre daha kolay parçalanır (http-7).

Tablo 2.4. Atmosferdeki sabit gazlar ve oranları (http-7)

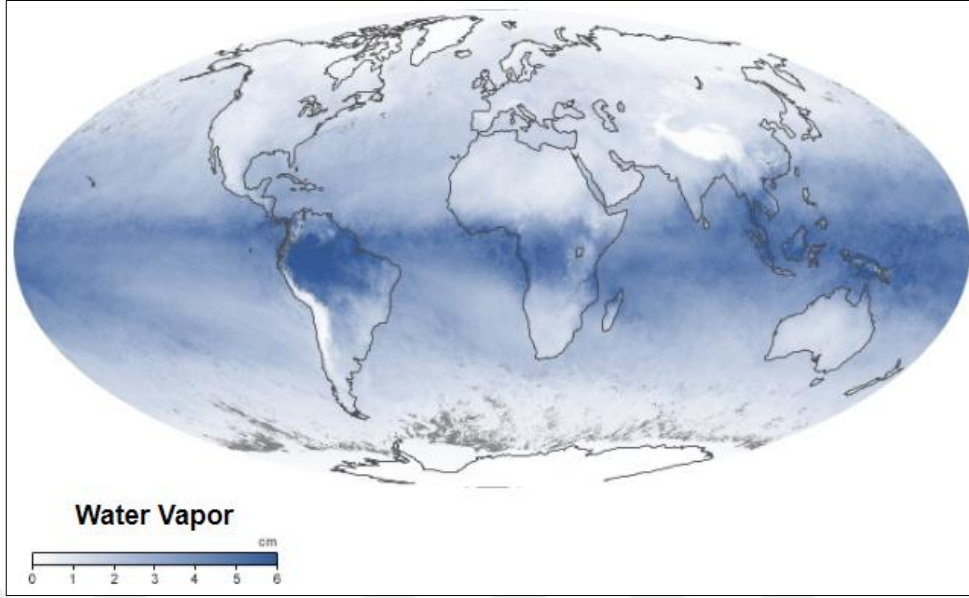
Sabit Gazlar	Sembol	Kuru Havada Oran (%)
Azot/Nitrojen	N ₂	78,08
Oksijen	O ₂	20,95
Argon	Ar	0,93
Neon	Ne	0,0018
Helyum	He	0,0005
Hidrojen	H ₂	0,00006
Xenon	Xe	0,000009

Atmosferde devamlı bulunan ve miktarları azalıp çoğalan gazlar ise karbondioksit, su buharı, ozon gazları ve aerosollerdir (Tablo 2.5).

Tablo 2.5. Atmosferdeki değişebilir gazlar ve oranları (http-7)

Değişebilir Gazlar	Sembol	Kuru Havada Oran (%)
Su Buharı	H ₂ O	0 - 4
Karbondioksit	CO ₂	0,037
Metan	CH ₄	0,00017
Nitrus Oksit	N ₂ O	0,00003
Ozon	O ₃	0,000004
Partiküller/Aerosoller (Duman, kurum vb)		0,000001
Kloroflorokarbon	CFCs	0,00000002

Su buharının atmosferdeki oranı yüksekliğe, mevsime, zamana ve enleme göre değişmektedir. Su buharının en önemli kaynağı su kütleleridir (okyanuslar, denizler vb.). Atmosferik su buharı yağışların kaynağıdır ve güneşten aldığı ışınları absorbe ederek havanın ısınmasını sağlar. Aynı zamanda, Dünya yüzeyinden yayılan ısı da su buharları tarafında emilir ve sera gazı etkisi oluşur. Bir nevi güneşten sonra ikinci sıcaklık kaynağıdır. NASA, Aqua ve Terra uydularındaki MODIS algılayıcısıyla ölçülen su buharı verilerini birleştirilmiş uydu görüntüleri ile sunmaktadır. En düşük su buharı miktarı (0 santimetre) beyaz renk ve en yüksek miktarlar (6 santimetre) koyu mavi renk olarak renklendirilmiştir (Şekil 2.14). Ekvatorun kuzeyi ve güneyi nemden dolayı daha koyu mavi renkte görülmektedir. Kış mevsiminin yaşandığı ve ekvatorundan uzak alanlarda su buharı konsantrasyonu düşüktür.



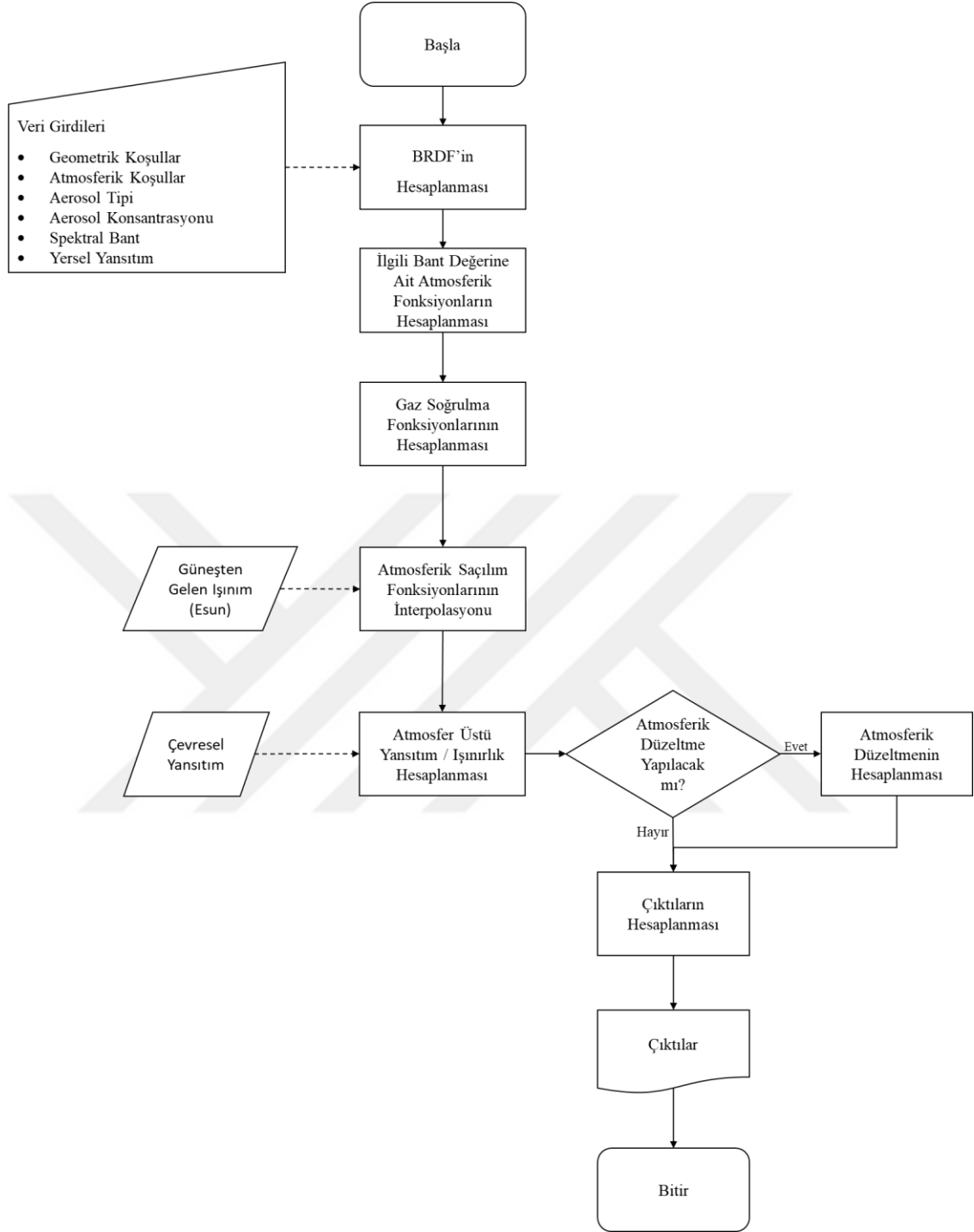
Şekil 2.14. MODIS ile ölçülen su buharı konsantrasyonunun küresel ölçekteki bir aylık (Haziran-2021) ortalaması (<http-8>)

Atmosferik ozon üç tane oksijen atomunun birleşiminden oluşmaktadır. Hava içerisindeki O_2 atomları ile oksijen atomlarının birleşmesiyle atmosferin stratosfer katında ozon tabakası oluşturur. Bu tabaka güneşin zararlı ışınımını absorbe eder. Ultraviyole-B (UV-B) ışınlarının tamamına yakını ozon tabakası tarafından emilmektedir. Ozon tabakasının incilmesi, daha fazla UV-B ışınlarının yer yüzeyine ulaşması anlamına gelmektedir.

Ozon için ölçü birimi Dobson Birimi (DU)'dir. "Dobson Birimi" 0,001 atm-cm olarak da tanımlanabilir. Örneğin 0,29 atm-cm, 290 DU olarak çevrilmektedir.

Kalibrasyon parametrelerini hesaplamak ve belirsizlik analizi gerçekleştirmek için 6S'in ürettiği "output" dosyasından atmosfer üstü yansıtım ve atmosfer üstü ışınlılık değerleri tezin sonraki bölümlerinde yer alan analizlerde kullanılmıştır.

6S girdileri, aşağıdaki akış şemasında belirtildiği üzere toplam 9 adımdan oluşmaktadır (Şekil 2.15).



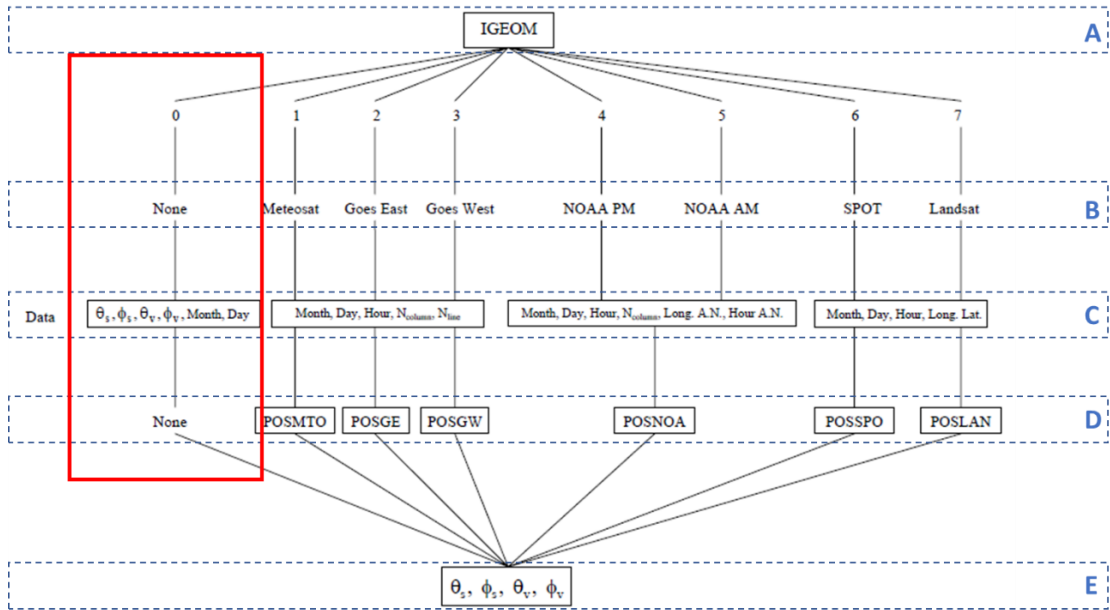
Şekil 2.15. Türkçeleştirilmiş ve değiştirilmiş 6S hesaplamalarının genel akış şeması (http-9)

2.6.1. Gözlem geometrisi

6S Benzetim Modelinde ilk adım algılayıcı türünü “.txt” dosyasına girdi olarak sağlamaktır. Şekil 2.16 ile gösterildiği üzere, modelde Göktürk-2 tanımlı algılayıcılar

arasında değildir. Bu nedenle gözlem geometrisi (başka bir deyişle geometrik koşul) seçeneklerinden kırmızı kutucuk içerisinde yer alan “0” seçeneği seçilmektedir. Sırasıyla;

- Güneşin Başucu Açısı
- Güneşin Azimut Açısı
- Uydunun Başucu Açısı
- Uydunun Azimut Açısı
- Ay
- Gün bilgileri tanımlanmaktadır.



Şekil 2.16. Gözlem geometrisi seçeneklerinin ayrıntılı gösterimi (<http-9>)

A: Geometrik koşulların/gözlem geometrisinin tanımlandığı fonksiyonun adı

B: Algılayıcı seçenekleri

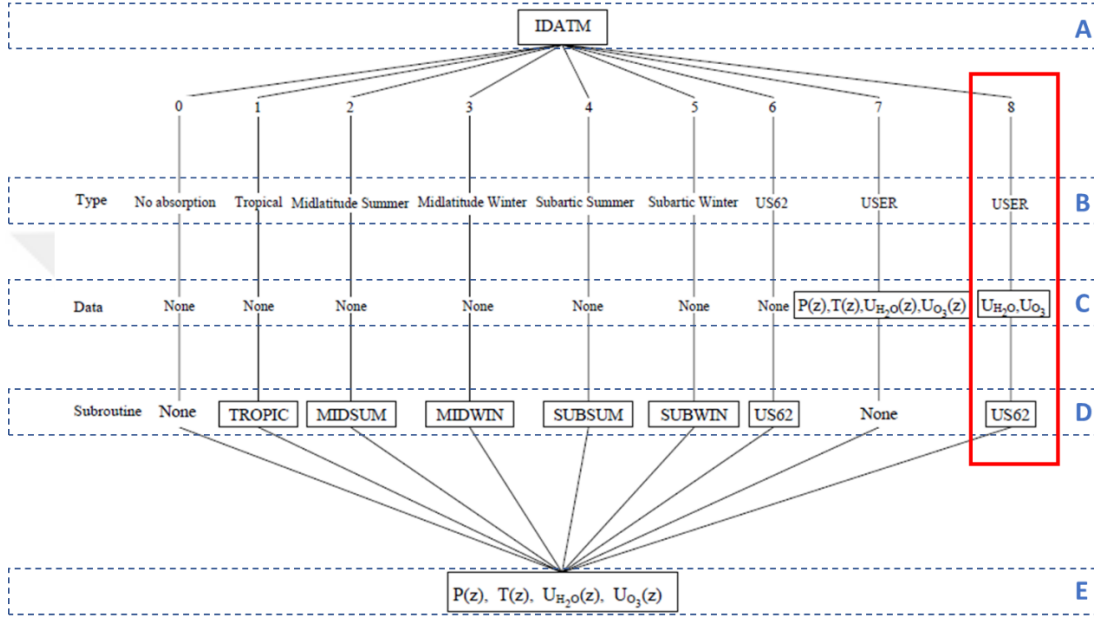
C: Algılayıcı tanımlandıktan sonra girdi olarak sağlanması gereken veriler

D: “C” katmanında sağlanan girdilerin kullanıldığı algoritmalar

E: Hesaplamalar sonrasında oluşturulan “Output” dosyasında yer alan parametreler (Güneşin Başucu Açısı, Güneşin Azimut Açısı, Uydunun Başucu Açısı, Uydunun Azimut Açısı)

2.6.2. Atmosferik koşullar

6S Benzetim Modeli'nin ikinci adımında ise atmosferik koşullar girdi olarak verilir. İki kullanıcı tanımlı olmak üzere toplam dokuz adet (No absorption, Tropical, Midlatitude Summer, Midlatitude Winter, Subarctic Summer, Subarctic Winter, US62) seçenek bulunmaktadır (Şekil 2.17).



Şekil 2.17. Atmosferik koşulların detaylı akış şeması (http-9)

A: Atmosferik koşulların tanımlandığı fonksiyonun adı

B: Atmosferik koşul seçenekleri

0-6 arasında tanımlanan seçeneklerin tanımları şu şekildedir:

- 0 no gaseous absorption
- 1 tropical
- 2 midlatitude summer
- 3 midlatitude winter
- 4 subarctic
- 5 subarctic winter
- 6 us standard 62

C: Atmosferik koşul tanımlandıktan sonra girdi olarak sağlanması gereken veriler

Kullanıcı tanımlı olan “7” numaralı seçeneğin (idatm=7) tanımlanması durumunda basınç $P(z)$, sıcaklık $T(z)$, su buharı ($U_{H_2O}(z)$), ozon ($U_{O_3}(z)$) değerlerinin girdi olarak sağlanması gereklidir.

Eğer kullanıcı tanımlı olan “8” numaralı seçim (idatm=8) yapılırsa su buharı ve ozon değerleri kullanıcı tarafından tanımlanır.

D: “C” katmanında sağlanan girdilerin kullanıldığı algoritmalar

E: Hesaplamalar sonrasında oluşturulan “Output” dosyasında yer alan parametreler

- Basınç (mb)
- Sıcaklık
- Su Buharı (g/cm^2)
- O_3 (cm-atm)

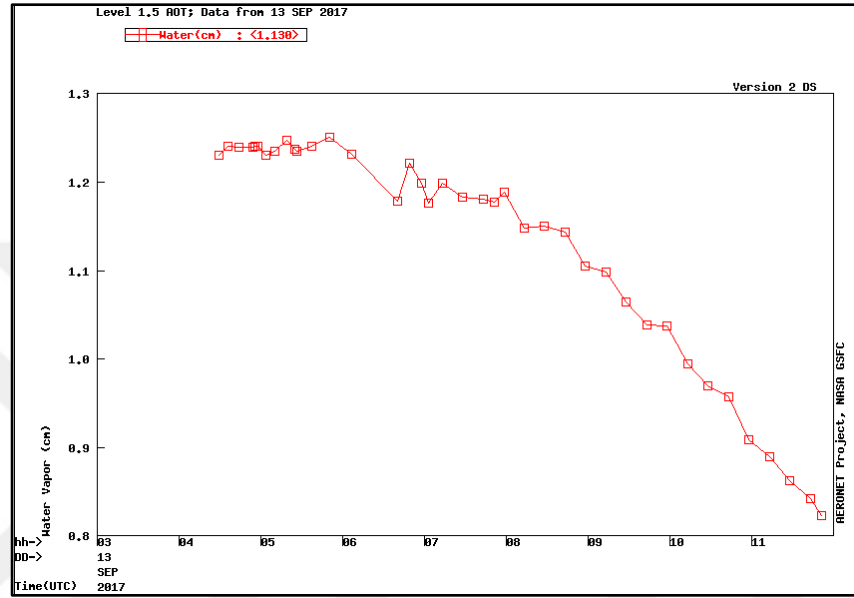
Uydu geçişi ile eş zamanlı olarak ölçülen su buharı ve ozon değeri ölçüldüğü için, tez çalışması kapsamında model olarak “idatm=8” seçilmiştir. Çalışma alanı ve tarih bilgileri girilerek NASA’ya ait WorldView Portalı’ndan ozon değerine ulaşıldığı gibi güneş fotometresinin verilerinin alındığı AERONET’in internet sayfasından da ulaşılabilmektedir (Şekil 2.18).



Şekil 2.18. Atmosferik ölçümler - ozon değerinin tanımlanması (http-10)

Güneş fotometresi ile ölçülen su buharı değerine NASA’nın AERONET (Aerosol Robotik Network) isimli sitesinden ulaşılmaktadır. Uydunun Tuz Gölü üzerinden geçtiği saate denk gelen değer alınmaktadır. Şekil 2.19 ile su buharı değerinin gün boyunca

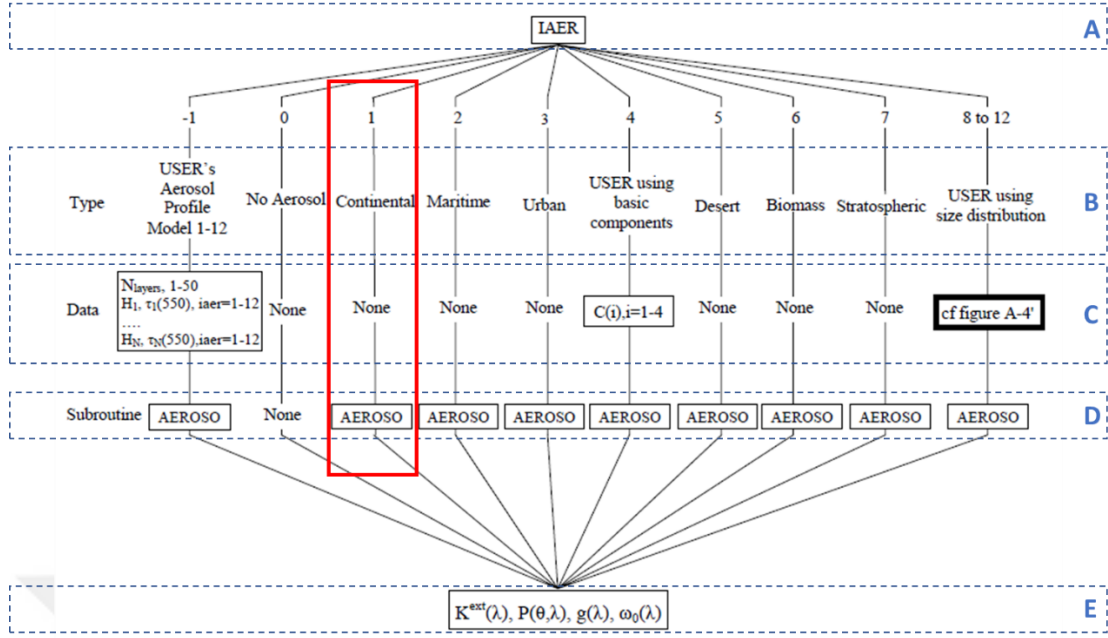
ölçülen değerleri gösterilmektedir. Grafik üzerinden yaklaşık bir değer okunabilmektedir. Hesaplamalar için kritik olan ise uydu geçişine en yakın su buharı değerinin benzetim modeline girdi olarak sağlanmasıdır. Daha sonraki bölümlerde de aktarılacağı gibi cihazdan alınan değerler 3 ila 10 dk. arasında değişecek şekilde ayrıntılı olarak kaydedilmektedir.



Şekil 2.19. Su buharı değerinin tanımlanması

2.6.3. Aerosol modeli

Simulasyonun üçüncü adımında ise çalışma alanının bulunduğu yere göre aerosol model tanımlamak gerekmektedir. Tez çalışmalarının gerçekleştirildiği Tuz Gölü'nün bulunduğu konum itibarıyla “iaer=1” yani karasal (continental) model seçilmiştir (Şekil 2.20).



Şekil 2.20. 6S'te aerosol modelinin tanımlanması(http-9)

- A:** Aerosol modelin tanımlandığı fonksiyonun adı
- B:** Aerosol model seçenekleri
- C:** Aerosol model tanımlandıktan sonra girdi olarak sağlanması gereken veriler
- D:** “C” katmanında sağlanan girdilerin kullanıldığı algoritmalar
- E:** Hesaplamalar sonrasında oluşturulan “Output” dosyasında yer alan parametreler

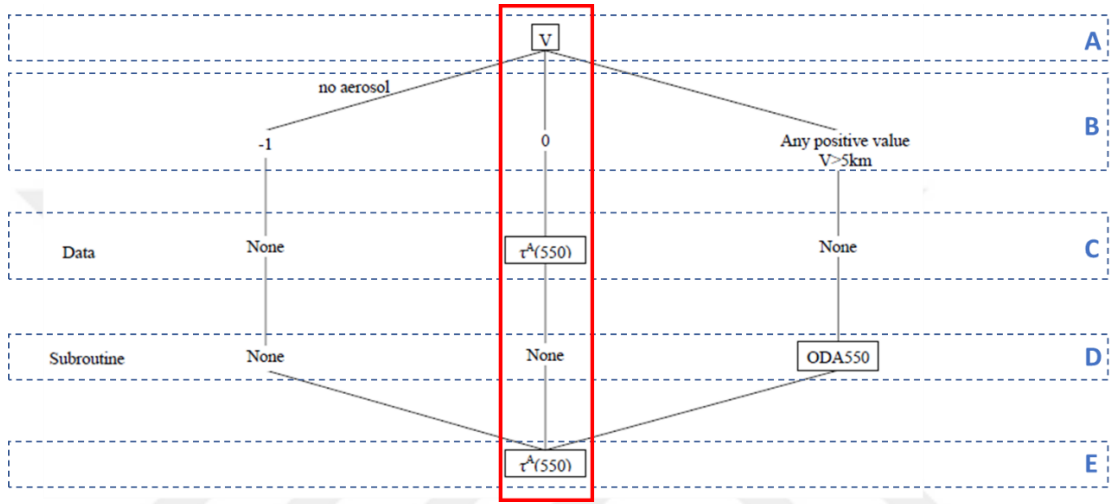
2.6.4. Aerosol optik derinliği

Atmosfer, gazlara ve bulutlara ek olarak aerosol adı verilen küçük sıvı ve katı parçacıklar da içerir. Aerosoller arasında rüzgâr ile savrulan deniz tuzu, toz, fabrikalardan kaynaklanan kirlilik ve fosil yakıt parçacıkları da bulunur. Aerosollerin hava durumu, iklim ve insan sağlığı üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Aerosoller güneşten gelen ışıını yansıtarak veya soğurarak, bulutların nerede ve ne zaman oluştuğunu değiştirerek iklimi etkileyebilirler.

Aerosol Optik Derinliği (AOD), güneş ışınının toz, pus ve diğer parçacıklar tarafından soğurulmasının bir ölçüsüdür. Diğer bir deyişle atmosferdeki partiküller (toz, duman, kirlilik) ışığı emerek veya saçarak güneşten gelen ışıını engelleyebilir. AOD, bu aerosol parçacıklarının doğrudan güneş ışıının yere ulaşmasını ne kadar

engellediğini gösteren bir parametredir. 0,01 değeri son derece temiz bir atmosfere karşılık gelirken, 0,4 değeri çok puslu bir duruma karşılık gelir.

AOD parametresinde üç seçenek bulunmaktadır. Tuz Gölü çalışmaları kapsamında $v = 0$ seçilerek 6S Benzetim Modeline girdi sağlamak üzere 550 nm'deki Aerosol Optik Derinliği değeri girdi olarak kullanılır (Şekil 2.21). Bu değer kilometre cinsinden görünürlük (visibility) olarak da tanımlanabilir.



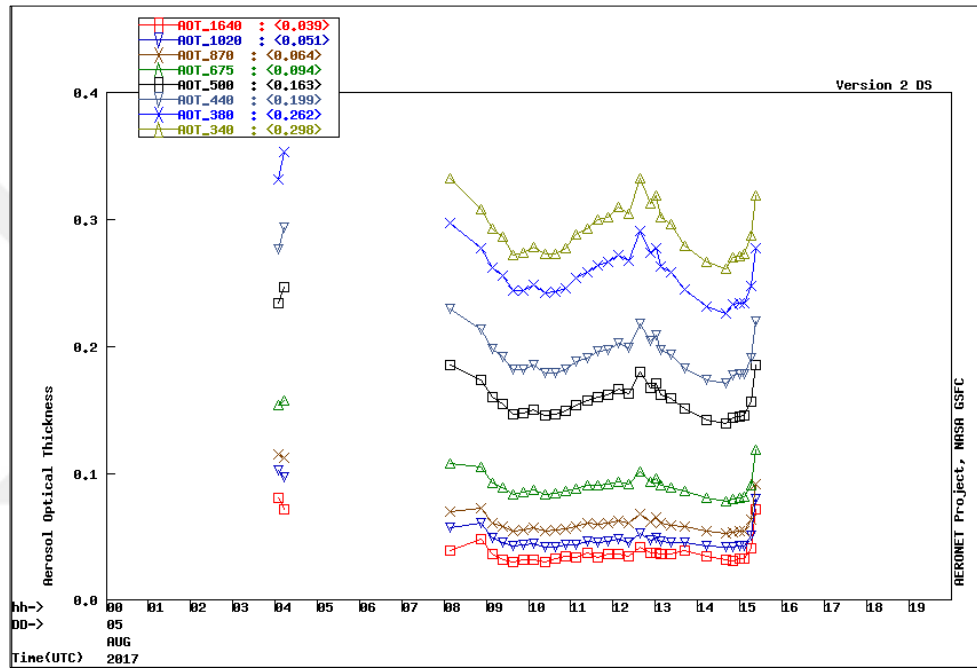
Şekil 2.21. Aerosol Optik Derinliği seçeneğinin tanımlanması (http-9)

- A:** Aerosol Optik Derinliği veya görünürlüğün tanımlandığı fonksiyonun adı
- B:** Aerosol konsantrasyonunun tanımlanabileceği seçenekler (Tablo 2.6)
- C:** Aerosol konsantrasyon tanımlandıktan sonra girdi olarak sağlanması gereken veriler
- D:** “C” katmanında sağlanan girdilerin kullanıldığı algoritmalar
- E:** Hesaplamalar sonrasında oluşturulan “Output” dosyasında yer alan parametreler (550 nm'deki AOD değeri)

Tablo 2.6. Aerosol konsantrasyonunun tanımlanabileceği seçenekler

$v = \text{pozitif değer}$	Eğer görünürlük (the visibility, v) ölçümü varsa kilometre cinsinden girilir. “ v ” değeri model tarafından Aerosol Optik Derinliği parametresine dönüştürülür.
$v = 0$	Eğer; 550 nm'deki Aerosol Optik Derinliği parametresi ölçüldüyse “ $v = 0$ ” olarak tanımlanarak ardından Aerosol Optik Derinliği değeri girdi olarak verilir.
$v = -1$	Eğer; atmosferde aerosol bulunmuyorsa “ $v = -1$ ” olarak tanımlanır.

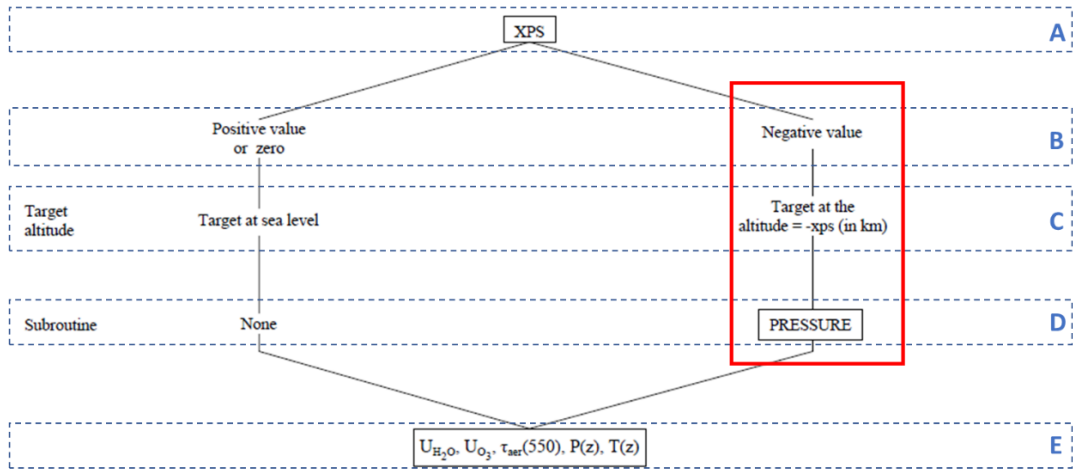
Tuz Gölü çalışmaları kapsamında, geçişin ve yersel ölçümlerin yapıldığı saatler gözetilerek AERONET’ten alınan grafikler üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. 550 nm’ye denk gelen gelen AOT_550 eğrisi grafikler üzerinde yer almamaktadır (Şekil 2.22). Mevcut değerler aradeğerlenerek 550nm’ye gelen görünürlük hesaplanmıştır. Su buharı değerinde olduğu gibi AOD değerinde de tablo genel anlamda bir fikir vermektedir ancak bu tez çalışmasında ayrıntılı analizlerin yürütülmesi sebebiyle güneş fotometrelerinin ölçümlerinin kaydedildiği liste kullanılmıştır.



Şekil 2.22. Aerosol Optik Derinliği ölçümlerinin grafiksel gösterimi

2.6.5. Yer yüksekliği

6S modelinde “xps” olarak ifade edilen parametre çalışma alanının/hedefin deniz seviyesinden olan yüksekliğini tanımlamak için kullanılır. Tuz Gölü’nün deniz seviyesinden yüksekliğinin 907 km olması sebebiyle “xps=-0,907” olarak tanımlanmıştır (Şekil 2.23).

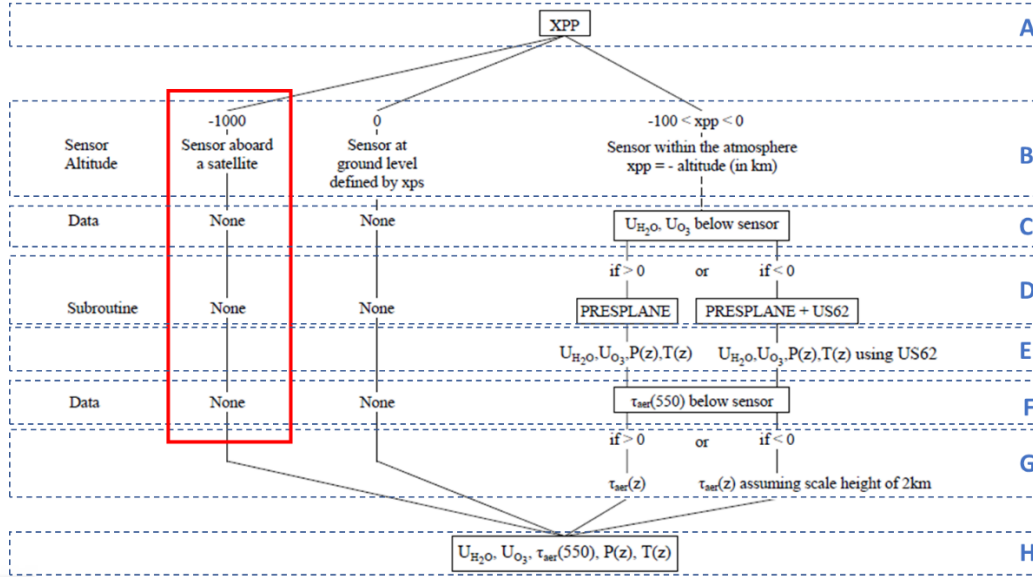


Şekil 2.23. Hedefin deniz seviyesinden yükseklik değeri (http-9)

- A:** Hedefin deniz seviyesinden yüksekliğinin tanımlandığı fonksiyonun adı
- B:** Deniz seviyesinde veya deniz seviyesinden yüksekte olma durumunun tanımlanması
- D:** “C” katmanında sağlanan girdilerin kullanıldığı algoritmalar
- E:** Tanımlanan girdilerin “Output” dosyasında etki ettiği parametreler

2.6.6. Algılayıcı yüksekliği

Yer yüksekliği ile ilgili parametre tanımlandıktan sonra, “Algılayıcı” yüksekliği tanımlanmaktadır. Algılayıcının uydu platformu üzerinde olması nedeniyle “XPP = -1000” olarak tanımlanır. Uydu platformu üzerindeki algılayıcıların tam olarak kaç km irtifada olduğuna bakılmaksızın “XPP = -1000” olarak kaydedilir (Şekil 2.24).



Şekil 2.24. Algılayıcı yüksekliğinin tanımlanmasının akış şeması ile gösterimi (<http-9>)

A: Algılayıcı yüksekliğinin tanımlandığı fonksiyonun adı

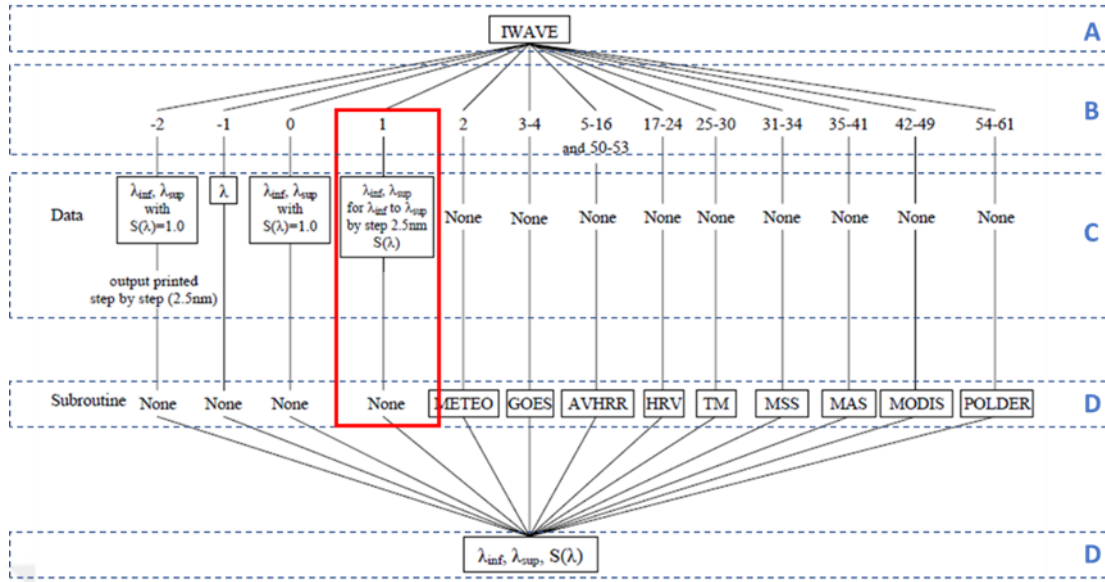
B: Algılayıcı yüksekliğinin (uydu, uçak ve yer seviyesi) tanımlanması

C, D, E, F, G: “B” katmanında yapılan seçime bağlı gerekli olan girdilerin tanımlanması.
- Uçak ve yer seviyesi için ilave girdi gerekmemektedir.

H: Tanımlanan girdilerin “Output” dosyasında etki ettiği parametreler

2.6.7. Dalgaboyu ve tayfsal tepki fonksiyonu

6S Modeli’nde tanımlı olmayan uydu algılayıcılarının tayfsal/bantsal özellikleri, $iwave=1$ olarak tanımlanarak (Şekil 2.25) kodun 2,5 nm aralıklarla hesaplama yapılması sağlanmaktadır. Hesaplaması yapılacak olan bandın aralığı mikrometre cinsinden tanımlanır. Örneğin; Göktürk-2’nin kırmızı bant aralığı “0,57-0,77” olarak tanımlanarak, “input” dosyasına kaydedilir. Bir sonraki girdi ise; Bağlı Tayfsal Tepki (Spectral Response Function - BTT)’dir. Hesaplaması yapılacak olan bandın her 2,5 nm’de karşılık gelen tayfsal tepki fonksiyonu “.txt” dosyası olarak hazırlanarak, girdilerin yazılı olduğu “.txt” dosyasına hazırlanan dosyanın adı yazılır.

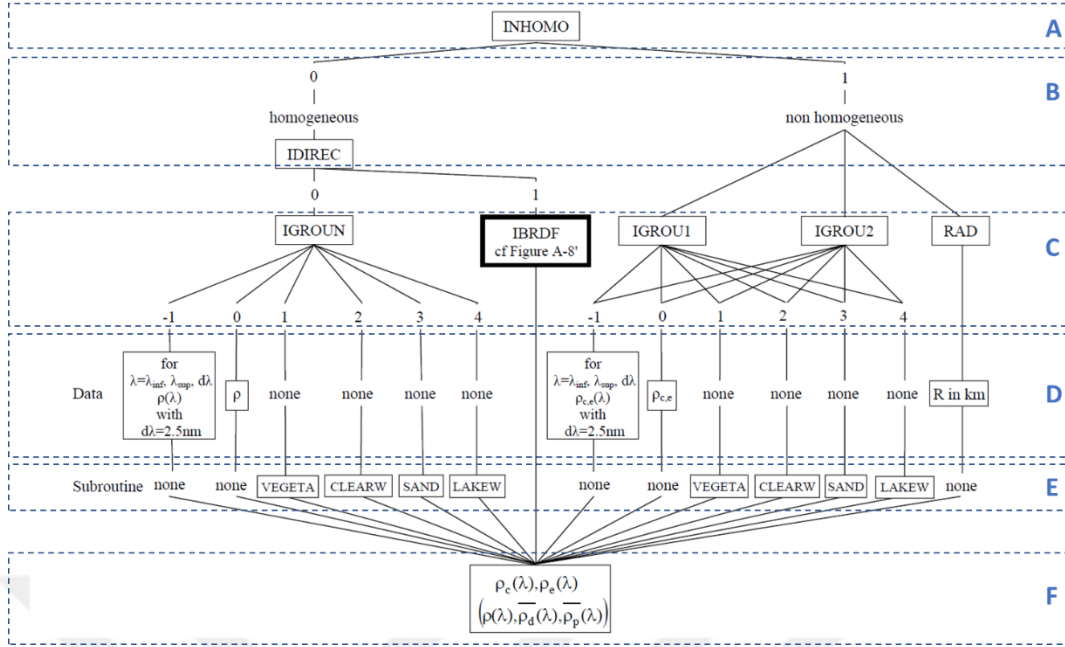


Şekil 2.25. Algılayıcının tayfsal özelliklerinin tanımlanmasının akış şeması ile gösterimi(http-9)

- A:** Algılayıcının tayfsal özelliklerinin tanımlandığı fonksiyonun adı
- B:** Uygun olan algılayıcının seçenekler arasından seçilmesi, seçenekler arasında bulunmuyorsa -2,-1,0, 1 seçeneklerinden uygun olanın seçilmesi
- C:** “B” katmanında tanımlanan seçeneğe bağlı olarak gereken girdilerin sağlanması
- D:** “C” katmanında sağlanan girdilerin kullanıldığı algoritmalar
- E:** Tanımlanan girdilerin “Output” dosyasında etki ettiği parametreler

2.6.8. Yersel yansıtım/ağırlıklandırılmış yersel yansıtım ortalaması

Tuz Gölü arazisi homojen alan olarak kabul edilerek “inhomo=0” olarak tanımlanır (Şekil 2.26). Benzetim modeli için gerekli olan yersel yansıtım verisi ile BTT’nin ağırlıklı ortalamasından elde edilen Ağırlıklandırılmış Yersel Yansıtım Ortalaması (AYYO) hakkında bilgi ilerleyen bölümlerde verilecektir.



Şekil 2.26. Yersel yansıtım ve hedefin yansıma özelliklerini gösteren akış şeması (http-9)

A: Hedefin yersel yansıtım özelliklerinin tanımlandığı fonksiyonun adı

B: Hedefin homojen olup/olmama özelliğinin tanımlanması

C: Yersel yansıtım verilerinin alındığı hedef alanın türünün (tanımlı olmayan, bitki örtüsü, temiz su, toprak vb.) seçilmesi

D: “C” katmanında tanımlanan seçeneğe bağlı girdilerin sağlanması

E: “C” ve “D” katmanında tanımlanan seçeneklere bağlı olarak kullanılan algoritmalar

F: Kullanılan algoritmaların sonucu olarak “Output” dosyasında yer alan yeni parametreler

3. ÇALIŞMA ALANI VERİLERİNİN ELDE EDİLMESİ VE ANALİZİ

Tez çalışması kapsamında 2017 yılında iki arazi çalışması, 2018 yılında bir arazi çalışması olmak suretiyle toplamda üç adet arazi çalışması gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmalar tarih bilgileri ve tez içerisinde kullanılan isimleriyle birlikte aşağıda verilen Tablo 3.1 ile özetlenmiştir.

Tablo 3.1. Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen arazi çalışmaları

Arazi Çalışmasının Tarihi	Tez Çalışması Kapsamında Verilen Adı
30 Ağustos 2017	Arazi Çalışması-1
13 Eylül 2017	Arazi Çalışması-2
13 Eylül 2018	Arazi Çalışması-3

Tez çalışmasının bu bölümünde; ilgili çalışmaların yersel, atmosferik ve uydu verileri analiz edilerek mutlak ve çapraz radyometrik kalibrasyon çalışmalarına ait analizler ile birlikte söz konusu çalışmaların belirsizlik analizi çalışmaları da verilmiştir.

3.1. Arazi Çalışması-1

30 Ağustos 2017 tarihinde düzenlenen arazi çalışmasında, çalışmadan önce en yakın tarihli uydu görüntüleri incelenerek, homojen olduğu tespit edilen ve göl kıyısından batı istikametine doğru 5 km ileride bulunan alanda yersel veriler toplanmıştır. Ölçüm yapılacak alana 25m x 5,2m boyutlarında yer belirteci olarak kullanmak üzere tarpolinler (siyah muşamba) serilmiştir. Siyah renkteki tarpolinlerin (Şekil 3.1), spektrometre ile alınacak yersel ölçümleri etkilememesi adına ölçüm alanı ile tarpolinlerin serildiği alan arasında mesafe bırakılmıştır.



Şekil 3.1. Yer belirteci olarak kullanılan tarpolinlerin (siyah muşamba) gösterimi

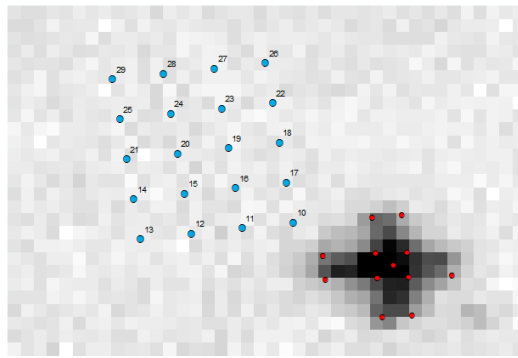
Ölçümlerin yapılacağı noktalar 10 metre aralıklarla çıtalı bayraklarla göle çakılarak işaretlenmiş ve GNSS alıcısı ile koordinatları ölçülmüştür. Çalışma kapsamında, referans görüntü olarak kullanılan Landsat 8'in renkli bantlarının en az bir pikselinin konumsal çözünürlüğünü (30*30 m) kapsayacak şekilde bayraklama çalışması yapılmıştır.

Arazi Çalışması-1'de Göktürk-2 geçişinin öncesinde ve sonrasında spektrometre ile 350-2500 nm tayfsal aralığında yersel ölçümler alınmıştır. Göktürk-2'nin geçişinden önce Set-1 ve Set-2 olmak üzere toplam 2 set ölçüm alınmıştır (Tablo 3.2).

Tablo 3.2. Arazi Çalışması-1, uydu geçişleri ve yersel veri toplama ayrıntıları

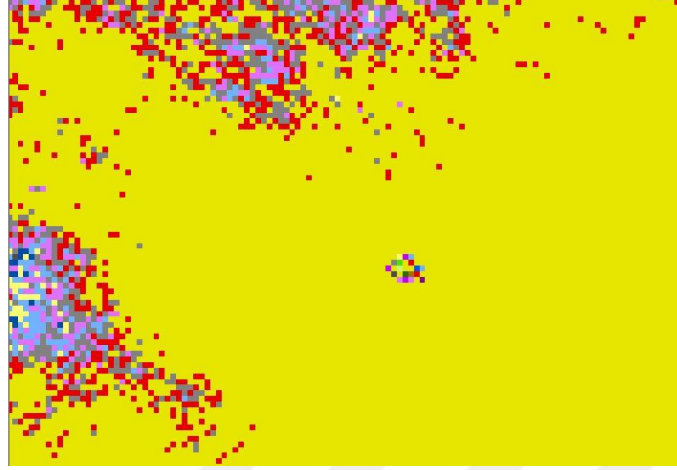
30.08.2017 Arazi Çalışması-1	Zaman	Yersel Veri Sayısı	Ölçüm Sıklığı
Geçiş Öncesi-Yersel Veri Toplama, Set-1	10:30-10:39	39	Her beş metrede bir
Geçiş Öncesi-Yersel Veri Toplama, Set-2	10:40-10:46	20	Her on metrede bir
Göktürk-2 Geçiş	10:47	-	-
Geçiş Sonrası-Yersel Veri Toplama	10:48-10:53	332	Sürekli

Set-1 ölçümlerine geçişten 17 dakika önce başlanmıştır ve her 5 metrede bir spektrometre ile ölçüm alınmıştır. Her 5 metrede bir ölçüm alabilmek için, bayraklanan her iki noktanın ortasından yersel veri toplamak gerekmiştir. Geçişten 7 dakika önce başlanan Set-2 ölçümlerinde ise her 10 metrede bir, sadece bayraklanan noktalardan (Şekil 3.2) ölçüm yapılmıştır. Set-1 ve Set-2 ölçümlerinde her 5 ölçümden sonra beyaz panel (spektralon) kalibrasyonu yapılmıştır. Geçiş sonrasında ise ölçümler; bayraklarla işaretlenmiş noktaları takip ederek otomatik sürekli ölçüm ayarıyla gerçekleştirilmiştir.



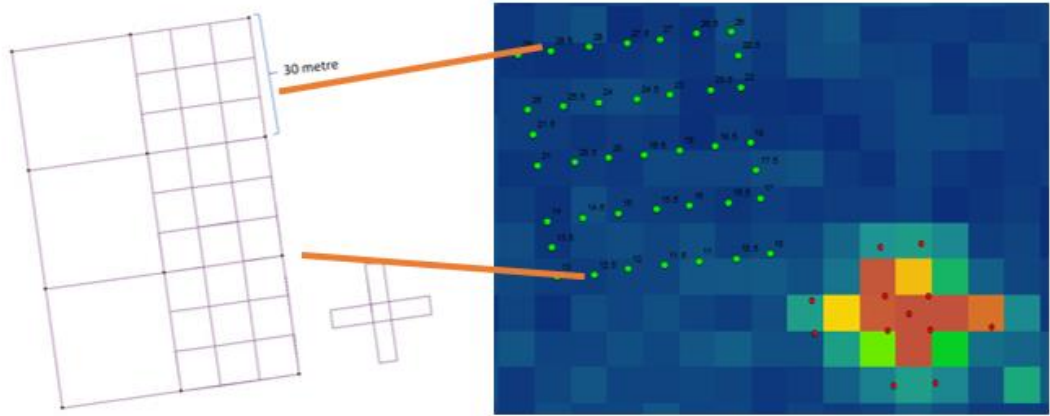
Şekil 3.2. Arazi Çalışması-1 için işaretlenen ölçüm noktalarının Göktürk-2 uydu görüntüsü (pankromatik bant piksel boyutu 2,5m) üzerinde gösterimi

Şekil 3.3 ile homojen ölçüm yüzeyine artı şeklinde serili tarpolinler belirgin olarak görülmektedir.



Şekil 3.3. Arazi Çalışması-1, benek değerlerine göre renklendirilmiş uydu görüntüsü (Göktürk-2) ile çalışma alanına serili tarpolinlerin gösterimi

Arazi Çalışması-1'in mutlak ve çapraz radyometrik kalibrasyon hesaplamalarında Göktürk-2 uydu geçişinin sonrasında gerçekleştirilen ölçümler kullanılmıştır. Geçiş sonrasındaki ölçümler; bayraklarla işaretlenmiş noktaları (Şekil 3.4) takip ederek otomatik sürekli ölçüm ayarıyla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4. Arazi Çalışması-1 kapsamında Set-1 olarak isimlendirilen ölçümlerim ölçüm rotasının Göktürk-2 uydu görüntüsü (kırmızı bant piksel boyutu 5 m) üzerinde gösterimi

3.1.1. Mutlak radyometrik kalibrasyon-1 (MRK-1), veri işleme çalışmaları

Kısım 3.4'te anlatıldığı üzere uydu ile eş zamanlı elde edilen yersel ve atmosferik veriler ile algılayıcıdan sağlanan veriler 6S Benzetim Modeli'nde girdi olarak kullanılarak Atmosfer Üstü Yansıtım (AÜY) ve Atmosfer Üstü Işınlılık (AÜİ) değerleri hesaplanmaktadır. Söz konusu veriler “input” olarak isimlendirilen “.txt” dosyasına Tablo 3.3 ile gösterilen sıra ve notasyon ile kaydedilir, aksi durumda benzetim modeli hesaplama yapmamaktadır.

Tablo 3.3. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1, Veri İşleme Çalışması kapsamında 6S Benzetim Modeli'nde (GK-2 Kırmızı Bant) oluşturulan “input” kartı ve açıklamaları

Kullanılan Değer	Açıklama
0	Gözlem Geometrisi (Tanımlı olmayan-Diğer)
40,14 (°)	Güneşin Lokal Başucu Açısı
130,23 (°)	Güneşin Lokal Azimut Açısı
12,01 (°)	Uydunun Başucu Açısı
259,69 (°)	Uydunun Azimut Açısı
30	Gün
8	Ay
1,9	Su Buharı Değeri (gr/cm ²)
0,29	Ozon Değeri (cm-atm)
1	Aerosol Model - Karasal Model Opsiyonu
0	Aerosol Optik Derinliği Opsiyonu
0,2194	Aerosol Optik Derinliği Değeri
-0,907 (-km)	Hedefin Deniz Seviyesinden Yüksekliği (-km)
-1000 (-km)	Uydudaki Algılayıcı > 100 km
1	2,5 nm Aralıklarla Hesaplama Opsiyonu
0,570 0,770	Göktürk-2 Kırmızı Bant Aralığı
GK2_red.dat	Kırmızı Bant Bağlı Tayfsal Tepki (BTT)
0	Homojen Kalibrasyon Alanı
0	BRDF Etkisi
0	Yersel Veri Opsiyonu
0,6458	Ağırlıklandırılmış Yersel Yansıtım Ortalaması
-1,0	Atmosferik Düzeltme Opsiyonu

Hesaplama sonuçlarına benzetim modelinin otomatik olarak ürettiği “sixs” isimli çıktı dosyasından ulaşılır. Şekil 3.5 ile gösterilen çıktı dosyasında girdi olarak verilen değerlerle beraber açıklamaları da raporlanmaktadır. Tez çalışması kapsamında AÜY ve AÜİ olarak ifade edilen sırasıyla Atmosfer Üstü Yansıtım ve Atmosfer Üstü Işınlılık değerleri çıktı dosyasında yine sırasıyla “apparent reflectance” ve “apparent radiance” değerlerine karşılık gelmektedir.

```

***** 6s version 4.1 *****
*
*          geometrical conditions identity
*          -----
*          user defined conditions
*
* month: 8 day : 30
* solar zenith angle: 40.14 deg solar azimuthal angle: 130.23 deg
* view zenith angle: 12.01 deg view azimuthal angle: 259.69 deg
* scattering angle: 131.49 deg azimuthal angle difference: 129.46 deg
*
*          atmospheric model description
*          -----
*          atmospheric model identity :
*          user defined water content : uh2o= 1.900 g/cm2
*          user defined ozone content : uo3 = .290 cm-atm
*          aerosols type identity :
*          Continental aerosols model
*          optical condition identity :
*          visibility : 23.81 km opt. thick. 550nm : .2194
*
*          spectral condition
*          -----
*          user s
*          value of filter function :
*          wl inf= .570 mic wl sup= .770 mic
*
*          target type
*          -----
*          homogeneous ground
*          constant reflectance over the spectra .646
*
*          target elevation description
*          -----
*          ground pressure [mb] 908.67
*          ground altitude [km] .907
*          gaseous content at target level:
*          uh2o= 1.900 g/cm2 uo3= .290 cm-atm
*
*****

*****
*
*          integrated values of :
*
*          apparent reflectance .5697 appar. rad.(w/m2/sr/mic) 207.958
*          total gaseous transmittance .927
*
*****

```

Şekil 3.5. 6S Benzetim Modeli'nin çıktı dosyasından bir örnek

Çıktı dosyasından elde edilen AÜİ değerleri kullanılarak Eşitlik (4.1) ile Göktürk-2 uydusunun her bandının kazanç değerleri hesaplanmıştır. Öteleme “0” olarak kabul edilmiştir.

$$A\ddot{U}I_i^{GK2} = BD_i^{GK2} + G_i^{GK2} \quad (4.1)$$

Burada; $A\ddot{U}I_i^{GK2}$ Atmosfer Üstü Işınlılık (Göktürk-2), BD_i^{GK2} Benek Değeri (Göktürk-2) ve G_i^{GK2} Kazanç Değeri (Göktürk-2)'dir.

Aşağıda verilen Tablo 3.4'te Arazi Çalışması-1'de 6S Benzetim Modeli ile hesaplanan atmosfer üstü yansıtım ve ışınlılık değerleri ile Göktürk-2'nin L1R görüntüsünden alınan benek değerleri (DN) yer almaktadır. Ayrıca benek değerleri ve ışınlılık değerleri kullanılarak hesaplanan kazanç değerleri de yer almaktadır. Bütün bantlar "0" kazanç modu ile çekilmiştir.

Tablo 3.4. Arazi Çalışması-1 kapsamında hesaplanan kalibrasyon ile ilgili parametreler

Göktürk-2 Tayfsal Bantları	Ortalama Benek Değeri	Ortalama AÜI	Kazanç Modu	Kazanç
Pankromatik Bant	831	227,894	0	0,2742
Kırmızı Bant	1293	208,780	0	0,1615
Yeşil Bant	793	240,706	0	0,3035
Mavi Bant	1025	253,096	0	0,2469
Yakın Kızıl Ötesi Bant	1091	147,512	0	0,1352

3.1.2. MRK-1, belirsizlik analizi

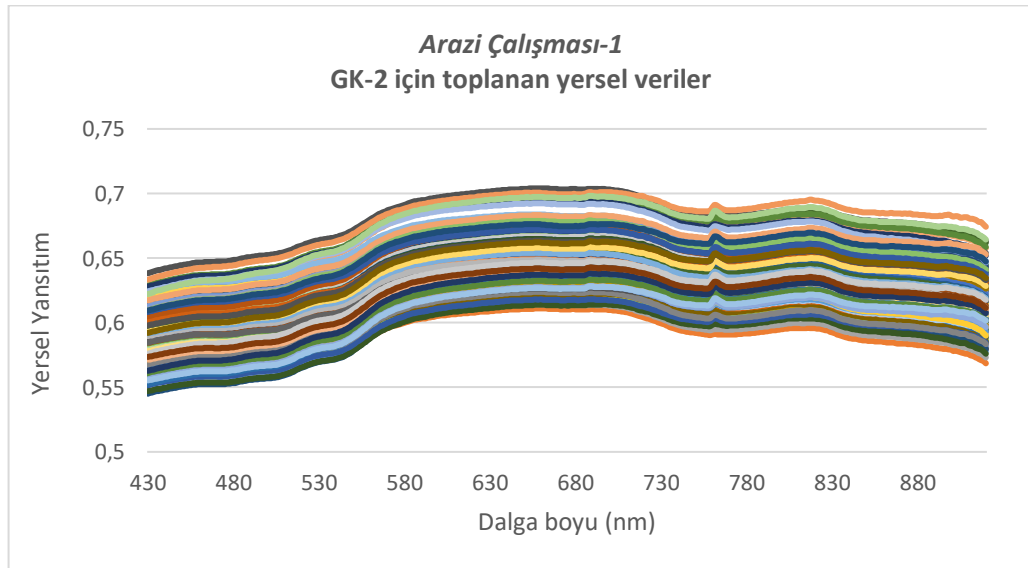
Gerçekleştirilen bu çalışmada "Yansıtım Temelli Mutlak Radyometrik Kalibrasyon" (Reflectance-based Vicarious Radiometric Calibration) yöntemi uygulanarak Göktürk-2'nin tüm bantlar için "0" kazanç modundaki kazanç (gain) değerleri hesaplanmıştır. Belirsizliğe neden olabilecek en temel altı belirsizlik kaynağının toplam hata bütçesine etkisi analiz edilmiştir.

- Tuz Gölü'nden spektrometre ile toplanan yersel imzalar başka bir ifade ile yersel yansıtım eğrilerinden kaynaklanan belirsizlik
- Cihazdan kaynaklanan belirsizlik
- Atmosferik parametrelerden kaynaklanan belirsizlik
- Gözlem geometrisinden kaynaklanan belirsizlik
- Kullanılan Işınım Benzetim Modeli'nden kaynaklanan belirsizlik
- Kalibrasyonu yapılacak olan görüntünün benek değerinden kaynaklanan belirsizlik

3.1.2.1. MRK-1, yersel yansıtım verilerinden kaynaklanan belirsizlik

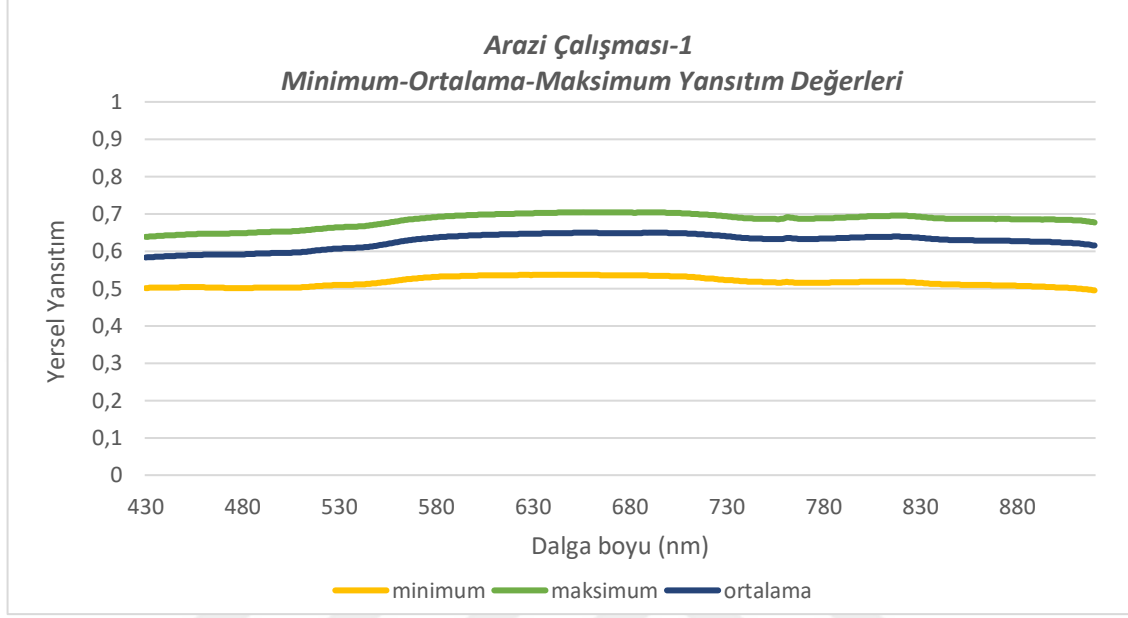
Arazi Çalışması-1 kapsamında elde edilen yersel veri setlerinden uydu geçişinin sonrasında toplanan yersel verilerin, miktar ve geçiş saati açısından değerlendirildiğinde hesaplamalar için daha uygun olduğu tespit edilmiştir. Uydu geçişi sonrasında toplanan 300 adet tayfsal imza Excel ortamında grafikleştirildiğinde aralarında yansıtım oranları anlamında farklılıklar gözlenmektedir (Şekil 3.6). Tayfsal eğriler eğilim olarak birbirleri ile uyumlu olmakla beraber yansıtım oranlarının %25 civarında farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. 6S Benzetim Modeli ile atmosfer üstü ışınlılık ve atmosfer üstü yansıtım hesaplamaları yapılmadan evvel kullanılacak olan veri seti incelenerek, anomali gösteren imzalar ayıklanmıştır. Bu imzalar Tuz Gölü'nü temsil etmeyen başka bir yüzeyden alınan (ölçüm yapan personelin kıyafetini veya boşluğu ölçmesi gibi) imzalardır. İmzalar arasında en yüksek yansıtım ile en düşük yansıtım arasında bant aralığına göre sınıflandırıldığında aşağıdaki oranlarda fark hesaplanmaktadır.

- 430-471 nm arasında %22
- 472-622 nm arasında %23
- 623-724 nm arasında %24
- 725-814 nm arasında %25
- 815-920 nm arasında %27



Şekil 3.6. Arazi Çalışması-1, GK-2 geçiş sonrası için toplanan yersel veriler

Veri seti içerisinde minimum ve maksimum yansıtırlık özelliği gösteren yersel imza ile veri serine ait bütün imzaların ortalamasını temsil eden yersel imza Şekil 3.7 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Arazi çalışması-1, minimum-ortalama-maksimum yansıtım değerleri

Yersel imzalardan kaynaklanan belirsizlik aşağıdaki adımlar gerçekleştirilerek hesaplanmıştır (Eşitlik (4.2)).

- Göktürk-2 uydusunun her bir bandına ait bağıl tayfsal tepki ($BTT(\lambda)$) eğrileri 1nm aralıklarla listelenir.
- BTT ile aynı dalga boyuna denk gelen yersel imzadan alınan yansıtım değeri de ($\rho(\lambda)$) ayrı bir sütunda tutulur.
- Aynı dalga boyuna ait bu iki değer çarpılır, tüm bant aralığı için bu işlem gerçekleştirilir. İlgili bant için (örn: mavi bant: 430 – 440 nm) aşağıdaki formül ile hesaplanan Ağırlıklandırılmış Yersel Yansıtım Ortalaması (AYYO-homogeneous ground reflectance from average signature) hesaplanır.

$$\rho_{AYYO} = \frac{\int \rho(\lambda) BTT(\lambda) d\lambda}{\int BTT(\lambda) d\lambda} \quad (4.2)$$

Söz konusu değer, her banda özel hesaplanmaktadır ve hesaplanan bu değer ilgili bant için 6S'e girdi olarak tanımlanmaktadır. Ağırlıklandırılmış Yersel Yansıtım Ortalaması'nın hesaplanmasına ilişkin örnek Tablo 3.5 ile gösterildiği gibidir.

Tablo 3.5. Ağırlıklandırılmış yersel yansıtım ortalamasına dair örnek tablo

Dalgaboyu (nm)	Yersel İmza Ortalama (b)	Mavi Bant-BTT (a)	b*a
430	0,5506	0,126	0,0694
431	0,5511	0,1821	0,1004
432	0,5516	0,2382	0,1314
433	0,5520	0,2943	0,1624
434	0,5524	0,3504	0,1936
435	0,5528	0,4065	0,2247
436	0,5532	0,4626	0,2559
437	0,5536	0,5187	0,2871
438	0,5539	0,5748	0,3184
439	0,5542	0,6309	0,3497
440	0,5546	0,687	0,3810
Toplam		4,4715	2,4739
Mavi-AYYO: $\sum (b*a) / \sum (a) : 0,5533$			

AYYO değerlerinin hesaplandığı yöntemle her bant için standart sapma değerleri de hesaplanmıştır. Tablo 3.6 ile Göktürk-2'nin bantlarına ait bilgiler, her bant için hesaplanan AYYO, standart sapma (SS) ve bağıl standart sapma değerleri gösterilmektedir.

Tablo 3.6. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, yersel verilere yönelik hesaplamalar

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ	PAN
Merkez Dalgaboyu (nm)	668,779	556,856	482,979	822,282	596,372
Bant Aralığı (nm)	570 - 770	470 - 750	430 - 570	720 - 920	430 - 780
Ağırlıklandırılmış Yersel Yansıtım Ortalaması (AYYO)	0,646	0,618	0,594	0,633	0,627
Standart Sapma (SS)	0,020	0,020	0,019	0,020	0,020
Bağıl Standart Sapma (BSS) (BSS = SS/AYYO)	0,031	0,032	0,032	0,032	0,031

AYYO değeri mevcut yersel imzalardan üretilen ham değerdir ancak imzalar arasında farklılık olması sebebiyle ikinci maddede hesaplanan SS değerinin ham değerden çıkarılması (min.) ve ham değere eklenmesi (maks.) gerekmektedir. Böylece oluşturulan iki yeni değer (min ve maks.) 6S Benzetim Modeli'ne girdi olarak verilerek yeni atmosfer üstü ışınlılık değerleri üretilecektir.

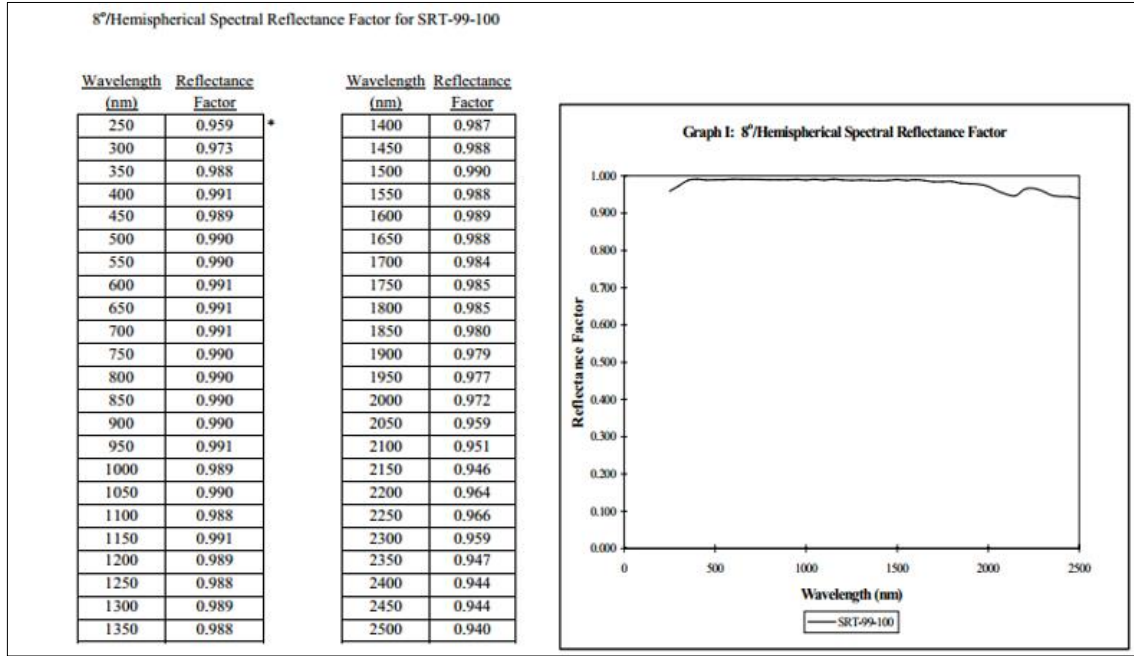
Ham AYYO değerleri girdi olarak verilerek üretilen AÜI değerleri ile AYYO-min ve AYYO-maks ile üretilen AÜI değerlerinin yüzde farkları bulunup, yersel yansıtım değerlerinden kaynaklanan belirsizlik her bir bant için hesaplanmıştır (Tablo 3.7).

Tablo 3.7. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, yersel yansıtımdan kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ	PAN
Ağırlıklandırılmış Yersel Yansıtım Ortalaması (AYYO)	0,6464	0,6183	0,5940	0,6332	0,6272
SS (Standart Sapma)	0,0200	0,0197	0,0192	0,0203	0,0197
AYYO-Min (AYYO+SS)	0,6264	0,5986	0,5748	0,6129	0,6075
AYYO-Maks (AYYO-SS)	0,6665	0,6381	0,6132	0,6536	0,6470
AYYO, AÜI	208,780	240,706	253,096	147,512	227,894
AÜI-min	202,275	233,132	245,339	142,744	220,794
AÜI-maks	215,340	248,357	260,987	152,314	235,031
Belirsizlik-1 $K1 = [1-(AÜI-min) / (AÜI)]$	0,031	0,031	0,031	0,032	0,031
Belirsizlik-2 $K2 = [1-(AÜI-maks) / (AÜI)]$	0,031	0,032	0,031	0,033	0,031
Ölçüm Belirsizliği $K = [(K1 + K2) / 2]$	%3,13	%3,16	%3,09	%3,24	%3,12

3.1.2.2. MRK-1, cihazdan kaynaklanan belirsizlik

Yersel ölçümlerde kullanılan spektrometre düzenli olarak cihaz kalibrasyonu için yurtdışında bulunan yetkili firmaya (Labsphere, Reflectance Calibration Laboratory) gönderilmektedir. Yersel yansıtım ölçümlerine başlamadan önce ve her beş ölçümde bir beyaz yüzey olarak da bilinen spektralon ölçümü yapılmaktadır. Spektralonun kalibrasyon testleri neticesinde yetkili firma tarafından hesaplanan Yansıtım Katsayısı (Reflectance Factor) değerleri (Şekil 3.8), toplanan imzalar ile çarpılarak, 6S Benzetim Modeli'ne girdi sağlamak üzere AYYO değerleri hesaplanmıştır. Söz konusu değerlerle Tablo 3.8 ile gösterilen yeni AÜI değerleri (AÜI-2) hesaplanmıştır.



Şekil 3.8. Spektralonun yansıtım katsayısını gösteren sonuç tablosu ve grafiği

Tablo 3.8. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, cihazdan kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ	PAN
AYYO-1	0,6464	0,6183	0,5940	0,6332	0,6272
AYYO-2 (AYYO*0,99)	0,6400	0,6122	0,5881	0,6269	0,6210
AÜI-1	208,780	240,706	253,096	147,512	227,894
AÜI-2	206,696	238,357	250,734	146,031	225,615
Belirsizlik $K = [1 - (AÜI-2) / (AÜI-1)]$	%1,00	%0,98	%0,93	%1,00	%1,00

3.1.2.3. MRK-1, aerosol optik derinliği ölçümlerinden kaynaklanan belirsizlik

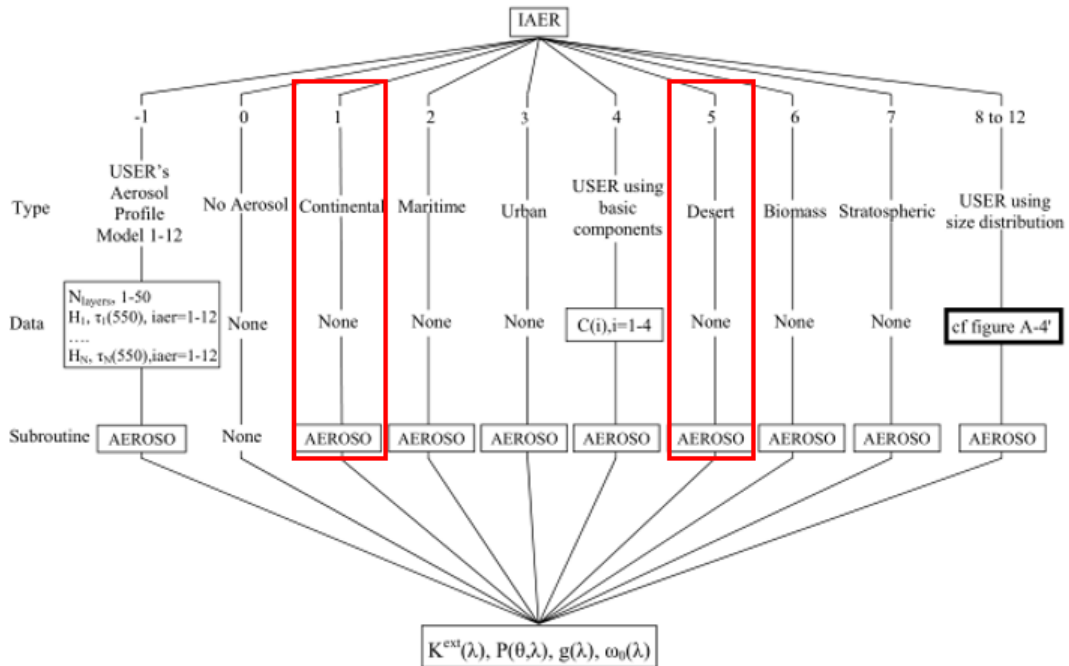
Güneş fotometresinin ölçtüğü bir değer olan AOD değeri Veri İşleme Çalışmaları-1 kapsamında gerçekleştirilen ilk hesaplamalarda “0,2074” olarak 6S Benzetim Modeli’ne girdi olarak sağlanmıştır. Bu değerın görünürlük değeri 25,55 km’ye tekabül etmektedir. Ölçülen AOD değerinden kaynaklanabilecek belirsizlikleri analiz etmek için, NASA’nın WorldView Portalı’ndan görüntülenebilen hem Terra hem de Aqua uydularında bulunan MODIS algılayıcısının sağladığı veriler kullanılmıştır. Ölçülen değerden yüksek ve düşük olmak suretiyle 0,1 (görünürlük: 63,66 km) ve 0,3 (görünürlük: 16,10 km) değerleri 6S’e girdi olarak verilmiştir. Tanımlanan AOD değerlerinden kaynaklı oluşabilecek belirsizlik Tablo 3.9 ile verilmiştir.

Tablo 3.9. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, AOD ölçümünden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ	PAN
AÜİ-1 (AOD1: 0,2074)	208,780	240,706	253,096	147,512	227,894
AÜİ-2 (AOD2: 0,1)	214,240	248,377	262,083	151,091	234,842
AÜİ-3 (AOD3: 0,3)	203,891	234,032	245,467	144,312	221,823
Belirsizlik-1 $K1 = [1 - (AÜİ-2)/(AÜİ-1)]$	0,026	0,032	0,036	0,024	0,030
Belirsizlik-2 $K2 = [1 - (AÜİ-3)/(AÜİ-1)]$	0,023	0,028	0,030	0,022	0,027
Ölçüm Belirsizliği $K = [(K1 + K2) / 2]$	%2,48	%2,98	%3,28	%2,30	%2,86

3.1.2.4. MRK-1, aerosol model seçiminden kaynaklanan belirsizlik

6S Benzetim Modeli'ne girdi olarak verilen Aerosol Model zamana bağlı olarak değişen bir parametre değildir. Şekil 3.9 ile açıklanan seçeneklerden karasal (iaer=1, continental) seçeneği Tuz Gölü için tanımlanmıştır. Ancak aerosol modelden kaynaklanan belirsizliği belirlemek adına en uygun seçenek olarak değerlendirilen Tuz Gölü için “çöl” (iaer=5) seçeneği benzetim modeline girdi olacak şekilde hesaplamalar gerçekleştirilmiştir (Tablo 3.10).



Şekil 3.9. Aerosol model seçiminden kaynaklanan belirsizlik analizlerinde kullanılan “karasal” ve “çöl” aerosol model seçeneklerinin gösterimi

Tablo 3.10. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, aerosol modelden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ	PAN
AÜI-1 (Continental)	208,780	240,706	253,096	147,512	227,894
AÜI-2 (Desertic)	212,488	245,602	258,826	150,755	232,453
Ölçüm Belirsizliği $K = [1-(AÜI-2)/(AÜI-1)]$	%1,78	%2,03	%2,26	%2,20	%2,00

3.1.2.5. MRK-1, su buharı ölçümünden kaynaklanan belirsizlik

Güneş fotometresi ile ölçülen su buharı değerine NASA'nın AERONET (Aerosol Robotik Network) isimli siteden ulaşılmaktadır. AÜI hesaplamaları için uydunun Tuz Gölü üzerinden geçtiği zamana denk gelen değer alınmaktadır. Söz konusu çalışma için uydu geçişi anında güneş fotometresinden edinilen su buharı değeri 1.9 gr/cm²'dir. Terra ve Aqua uydularında bulunan ve 2,330 km'lik bir görüntüleme şeridi ile veri alabilen MODIS'in sağladığı veriler kullanılarak belirsizlik analizi gerçekleştirilmiştir. Su buharı değerinden kaynaklanan belirsizliği hesaplamak için ölçülen değerden düşük (0,5 gr/cm²) ve yüksek (3,0 gr/cm²) değerler verilerek hesaplamalar gerçekleştirilmiştir (Tablo 3.11).

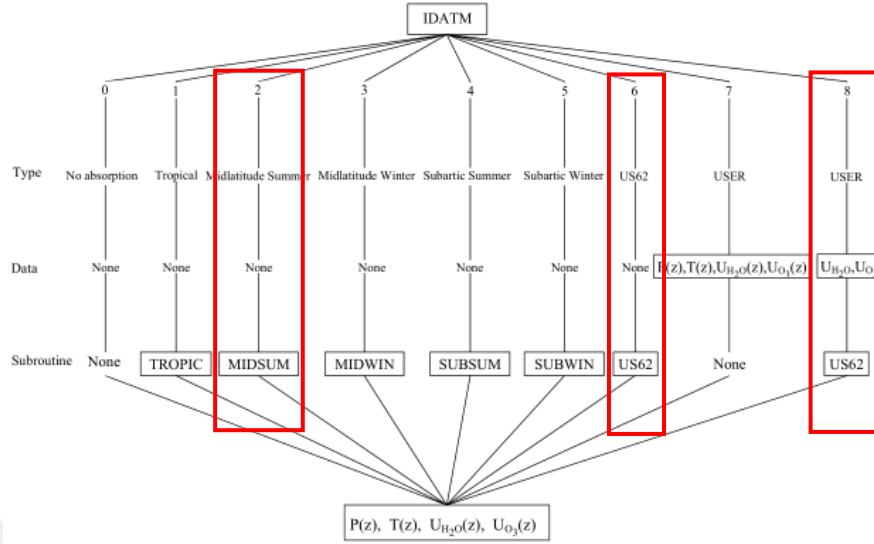
Tablo 3.11. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, su buharı (SB) ölçümünden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ	PAN
AÜI-1 (SB1: 1,9)	208,780	240,706	253,096	147,512	227,894
AÜI-2 (SB2: 0,5)	212,441	241,713	253,096	151,832	229,941
AÜI-3 (SB3: 3,0)	206,701	240,094	253,095	145,226	226,698
Belirsizlik-1 $K1 = [1-(AÜI-2)/(AÜI-1)]$	0,018	0,004	0,000	0,029	0,009
Belirsizlik-2 $K2 = [1-(AÜI-3)/(AÜI-1)]$	0,010	0,003	0,000	0,015	0,005
Ölçüm Belirsizliği $K = [(K1 + K2) / 2]$	%1,37	%0,34	%0,00	%2,24	%0,71

3.1.2.6. MRK-1, atmosferik koşul seçiminden kaynaklanan belirsizlik

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen arazi çalışmalarında su buharı değerleri ölçülebildiği için model olarak "idatm=8" seçilerek, hem su buharı değeri hem de ozon değeri tanımlanabilmektedir (Şekil 3.10). Ozon içeriğine ise, çalışma alanı ve tarih bilgileri girilerek NASA'ya ait Earth Explorer Portalı'ndan ulaşılmaktadır.

idatm=8 olarak tanımlandığında; H₂O-buharı (g/cm²) ve O₃ (cm-atm) içeriği girdi olarak sağlanır.



Şekil 3.10. Belirsizlik Analizlerinde kullanılan “kullanıcı tanımlı”, “Midlatitude Summer” ve “US62” atmosferik koşul seçeneklerinin gösterimi

Tanımlanan atmosferik koşuldan User (idatm=8) kaynaklanan belirsizliği hesaplamak için su buharı ve ozon değerleri sisteme otomatik olarak aktarılan (Tablo 3.12) Midlatitude Summer ve US62 seçenekleri kullanılarak hesaplamalar tekrar yapılmıştır (Tablo 3.13).

Tablo 3.12. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, kullanılan atmosferik koşulların özellikleri

6S Benzetim Modeli’nde Tanımlı Atmosferik Koşulun Adı	H ₂ O (g/cm ²)	O ₃ (cm-atm)
User (idatm:8), kullanıcı tanımlı	1,9	0,29
Midlatitude Summer (idatm:2), otomatik	2,93	0,319
US Standart 1962, US62, (idatm:6), otomatik	1,42	0,344

Tablo 3.13. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, atmosferik koşul seçiminden kaynaklanan belirsizlik

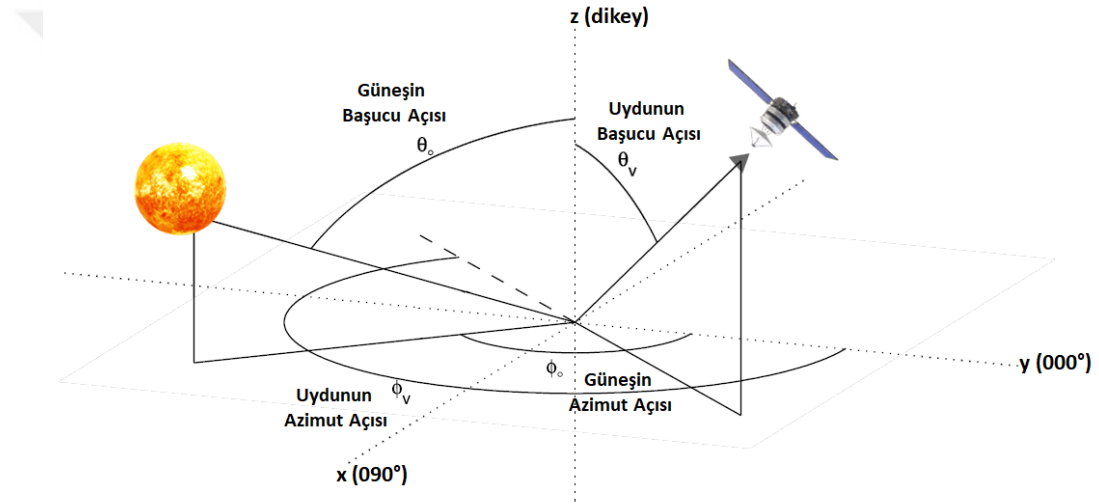
	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ	PAN
AÜİ-1 (User)	208,780	240,706	253,096	147,512	227,894
AÜİ-2 (Midlatitude Summer)	206,150	239,000	252,734	145,475	225,999
AÜİ-3 (US62)	208,310	238,767	252,431	148,676	226,890
Belirsizlik-1 K1= [1- (AÜİ-2)/(AÜİ-1)]	0,013	0,007	0,001	0,014	0,008
Belirsizlik-2 K2= [1- (AÜİ-3)/(AÜİ-1)]	0,002	0,008	0,003	0,008	0,004
Ölçüm Belirsizliği K = [(K1 + K2) /2]	%0,74	%0,76	%0,20	%1,08	%0,64

3.1.2.7. MRK-1, gözlem geometrisinden kaynaklanan belirsizlik

6S Benzetim Modeli'nde ilk adım algılayıcı türünü seçmektir. 6S Benzetim Modeli'nde Göktürk-2 tanımlı algılayıcılar arasında değildir. Bu nedenle “0” seçeneği seçilmektedir ve sırasıyla derece cinsinden:

- Güneşin Başucu Açısı (GBA - Solar zenith angle)
- Güneşin Azimut Açısı (GAA - Solar azimuth angle)
- Uydunun Başucu Açısı (UBA - View zenith angle)
- Uydunun Azimut Açısı (UAA - View azimuth angle)

Geçişin olduğu ay ve gün bilgileri tanımlanmaktadır.



Şekil 3.11. Güneşin Başucu Açısı (GBA), Güneşin Azimut Açısı (GAA), Uydunun Başucu Açısı (UBA), Uydunun Azimut Açısı (UAA) gösterimi

Yaklaşık 680 km yüksekliğe sahip LEO (Low Earth Orbit-Alçak Uydu Yörüngesi) yörüngede olan Göktürk-2 uydusunun yörüngesi genellikle SpaceTrack ya da n2y0 gibi açık kaynaklı internet sitelerinden Two Line Element (TLE) formatında yayınlanmaktadır. Uydunun konumlama sisteminden alınan TLE verileri sadece görüntü sağlayıcı kurum tarafından bilinmektedir.

Göktürk-2'nin yer istasyonundan geçişi bahse konu internet sitelerinden alınan TLE kullanarak hesaplandığında, uydunun konum belirsizliğinin en büyük bileşeni uydu hız vektörü doğrultusunda yaklaşık olarak 2-3 km olarak gerçekleşmektedir. Uydu hız vektörü doğrultusundaki belirsizliğin uydunun başucu açısına olan etkisini, belirsizlik istasyon yerel (local) xyz koordinatlarına çevrildiğinde, z (zenit-başucu) doğrultusundaki

bileşeni belirlemektedir. Bu bileşenin değeri uydu geçiş geometrisine bağlı olup, uydu başucu açısına göre tam bir formülasyon verilememekle beraber, 2,5° ile 15° derecelik uydunun başucu açıları için belirsizlik yaklaşık olarak minimum 0,05° maksimum 0,20° arasında gerçekleşmektedir. Tez çalışması kapsamında güvenli aralıkta kalmak adına maksimum değer olan 0,20 ° belirsizlik ölçümünde kullanılmıştır.

Uydu, çalışma alanı üzerinden saat 10:47’de görüntü almıştır. Geçişten sonra alınan en son yersel ölçümün alındığında ise saat 10:53’tür. Belirsizlik analizi için saat 10:47 ve 10:53’teki Güneşin başucu açıları kullanılmıştır. Saat 10:53’teki Güneşin başucu açısı 39,50°’dir.

Uydunun geçişi esnasında güneşin ve uydunun (algılayıcının) başucu ve azimut açılarından kaynaklanabilecek belirsizliğin analizi için Tablo 3.14 ile gösterilen C1, C2 ve C3 senaryoları tanımlanarak, ilgili açısal değerler 6S Benzetim Modeli’nde tanımlanmıştır.

Tablo 3.14. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, geometrik koşullardan kaynaklanan belirsizlikler için tanımlanan değişkenler

	Güneşin Başucu Açısı	Güneşin Azimut Açısı	Uydunun Başucu Açısı	Uydunun Azimut Açısı
C1	40,14	130,23	12,01	259,69
C2	39,50	130,23	12,01	259,69
C3	40,14	130,23	12,21	259,69

Bahsi geçen senaryolara göre AÜİ değerleri yeniden hesaplanmıştır (Tablo 3.15). Güneşin başucu açısındaki 0,64° değişikliğin ve algılayıcının Nadir’den görüntü alması durumunun %1’den daha az bir belirsizliğe neden olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3.15. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, gözlem geometrisinden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ	PAN
AÜİ-1 (C1)	208,780	240,706	253,096	147,512	227,894
AÜİ-2 (C2)	210,957	243,249	255,742	149,006	230,286
AÜİ-3 (C3)	208,763	240,677	253,060	147,504	227,869
Belirsizlik-1 $K1=[1-(AÜİ-2)/(AÜİ-1)]$	0,010	0,011	0,010	0,010	0,010
Belirsizlik-2 $K2= [1-(AÜİ-3)/(AÜİ-1)]$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ölçüm Belirsizliği $K = [(K1 + K2) /2]$	%0,53	%0,53	%0,53	%0,51	%0,53

3.1.2.8. MRK-1, kalibrasyonu yapılacak olan görüntünün benek değerinden kaynaklanan belirsizlik

Çalışmada kullanılan 30 Ağustos 2017 tarihli Göktürk-2 görüntüsünün L1R seviye görüntüsü kullanılmıştır. Çalışma alanına ait benek değerleri (BD) aşağıda verilen tablonun BD1 isimli satırında tanımlanmıştır. Olası 1-2 beneklik hata için BD2 ve BD3 senaryoları ile hesaplamalara etraftaki benekler de dahil edilmiştir (Tablo 3.16). Alanın homojen olması sebebiyle üç ayrı senaryo için toplanan benek değerleri birbirlerine oldukça yakındır. Kalibrasyonu yapılan görüntünün bütün bantlar için ölçüm belirsizliği %0,5'ten daha azdır.

Tablo 3.16. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, benek değerlerinden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ	PAN
BD1	1293	793	1025	1091	831
BD2	1295	795	1028	1093	834
BD3	1290	791	1023	1086	829
K1 = [1-BD2/BD1]	%0,15	%0,25	%0,29	%0,18	%0,36
K2 = [1-BD3/BD1]	%0,23	%0,25	%0,20	%0,46	%0,24
Ölçüm Belirsizliği $K = (K1^2 + K2^2)^{1/2}$	%0,28	%0,36	%0,35	%0,49	%0,43

3.1.2.9. MRK-1, toplam belirsizlik

Mutlak radyometrik kalibrasyon çalışması için belirsizliğe neden olabilecek toplam dokuz adet madde incelenmiştir. Önceki bölümlerde yer alan belirsizlik kaynaklarına ek olarak 6S Benzetim Modeli'nden kaynaklanan belirsizlik de toplam belirsizlik listesine eklenmiştir. Toplam belirsizlik Eşitlik (4.3) ile hesaplanmıştır:

$$\varepsilon_{toplam} = \sqrt{\varepsilon_{yetsel}^2 + \varepsilon_{aod}^2 + \varepsilon_{atm}^2 + \varepsilon_{aerosol}^2 + \varepsilon_{h2o}^2 + \varepsilon_{geo}^2 + \varepsilon_{6s}^2 + \varepsilon_{benek}^2} \quad (4.3)$$

Tablo 3.17 ile Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 çalışmaları kapsamında ölçüm belirsizliğine neden olan belirsizlik kaynakları, toplam belirsizliğe yüzde olarak etkileri ve toplam belirsizlik gösterilmiştir.

Tablo 3.17. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1, toplam belirsizlik

Belirsizlik Kaynağı	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ	PAN
<i>Yersel Ölçümler</i>	%3,13	%3,16	%3,09	%3,24	%3,12
<i>Cihaz Kaynaklı Belirsizlik</i>	%1,00	%0,98	%0,93	%1,00	%1,00
<i>Aerosol Optik Derinliği</i>	%2,48	%2,98	%3,28	%2,30	%2,86
<i>Atmosferik Koşul</i>	%0,74	%0,76	%0,20	%1,08	%0,64
<i>Aerosol Model</i>	%1,78	%2,03	%2,26	%2,20	%2,00
<i>Su Buharı</i>	%1,37	%0,34	%0,00	%2,24	%0,71
<i>Gözlem Geometrisi</i>	%0,53	%0,53	%0,53	%0,51	%0,53
<i>6S Benzetim Modeli</i>	%1,00	%1,00	%1,00	%1,00	%1,00
<i>Benek Değeri</i>	%0,28	%0,36	%0,35	%0,49	%0,43
Toplam Belirsizlik	%4,89	%5,11	%5,27	%5,42	%5,03

3.1.3. MRK-1 iyileştirme, belirsizlik analizi

Arazi Çalışması-1'e ait hesaplamalar ve analizler tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen ilk deneysel çalışmalardır. Elde edilen sonuçların iyileştirmesine yönelik gerçekleştirilen çalışmalar bu bölümde aktarılacaktır.

İyileştirme sonuçlarına göre hesaplanan kalibrasyon parametreleri Tablo 3.18 ile gösterilmiştir. İlk hesaplamalar ile iyileştirme çalışmaları sonucunda çıkan kazanç değerleri arasındaki yüzde fark pan, kırmızı, yeşil, mavi ve yakın kızıl ötesi için sırasıyla 0,43, 0,40, 0,44, 0,43 ve 0,39 olarak hesaplanmıştır.

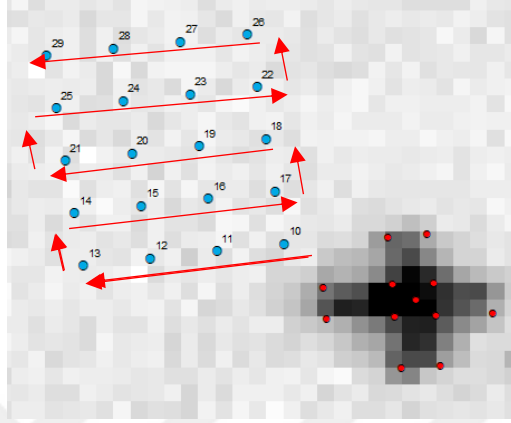
Tablo 3.18. Arazi Çalışması-1 kapsamında hesaplanan kalibrasyon ile ilgili parametreler-iyileştirme

Göktürk-2 Tayfsal Bantları	Ortalama Benek Değeri	Ortalama AÜİ	Kazanç Modu	Kazanç
Pankromatik Bant	831	226,913	0	0,2731
Kırmızı Bant	1293	207,958	0	0,1608
Yeşil Bant	793	239,649	0	0,3022
Mavi Bant	1025	252,017	0	0,2459
Yakın Kızıl Ötesi Bant	1091	146,936	0	0,1347

3.1.3.1. MRK-1 iyileştirme, yersel yansıtım verilerinden kaynaklanan belirsizlik

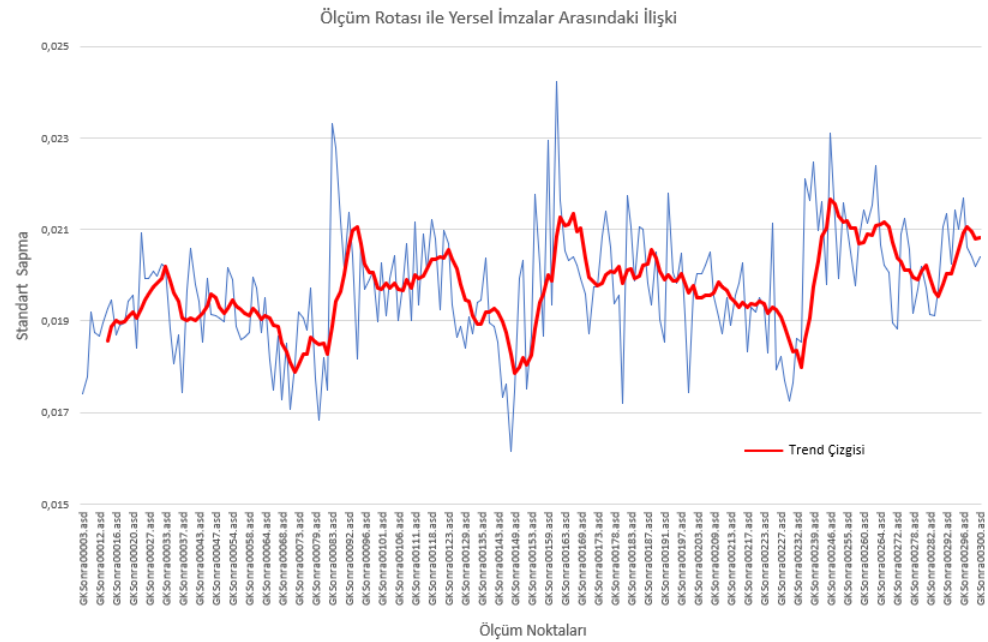
Mutlak Radyometrik Kalibrasyon Çalışmasına toplam belirsizlik bütçesine ait tablo incelendiğinde en fazla belirsizliğin yersel ölçümlerden kaynaklandığı görülmektedir. 30m x 40m bir alanda en yüksek yansıtım ile en düşük yansıtım arasında yaklaşık %25 oranında fark bulunmaktadır. Bu durumun;

- Pürüzlü yüzeye sahip tuz tepeciklerinden,
- İçerisinde az miktarda su bulunan hafif çukurlu yapılardan,
- Özellikle sürekli ölçüm yapılırken dönüş yapılan yerlerde (Şekil 3.12) güneşten gelen ışığın açısının değişmesinden kaynaklandığı değerlendirilmektedir.



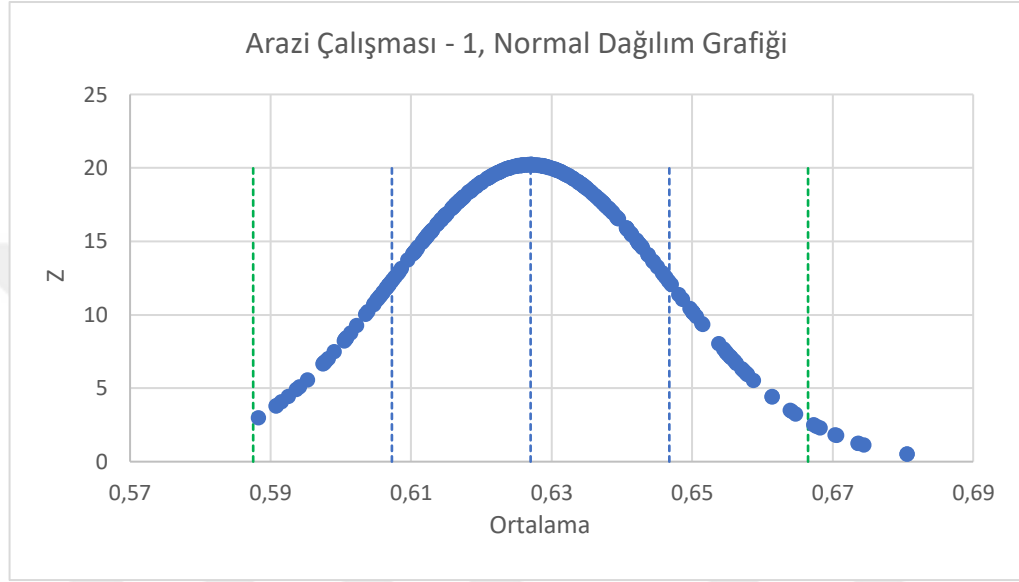
Şekil 3.12. Arazi Çalışması-1 kapsamında yersel veri toplama rotası

Bu durum, Şekil 3.13 ile gösterilen grafikte cihazın sürekli ölçüm ayarı kullanılarak yapılan ölçümlerde dönüş yapılırken alınan ölçümlerin diğer ölçümlere kıyasla daha az yansıtım değeri verdiği görülebilmektedir.



Şekil 3.13. Cihazın sürekli ölçüm ayarında yapılan ölçümlerin standart sapmalarının oluşturduğu eğilimin gösterimi

Ölçümler arasındaki standart sapma farklarının giderilmesi için ölçümlerin 1-sigma ve 2-sigma seviyelerinde hesaplamalar gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.14). 1-sigma ve 2-sigma seviyesindeki değerler çıkarılarak, ortalamaya en yakın yersel imzalar kullanılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Netice olarak 300 adet ölçümden 217 ölçüm yeni hesaplamalar için kullanılmıştır.



Şekil 3.14. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 İyileştirme Belirsizlik Analizi, normal dağılım grafiği

Yeniden hesaplanan standart sapma (SS) değerleri ile hesaplanan Ağırlıklandırılmış Yersel Yansıtım Ortalaması (AYYO) 6S Benzetim Modeli'ne girdi olarak verilmiş ve yeniden atmosfer üstü yansıtım ve ışınlılık değerleri hesaplanmıştır. Yersel yansıtımdan kaynaklanan belirsizliğin belirgin olarak düştüğü görülmektedir (Tablo 3.19).

Tablo 3.19. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 İyileştirme Belirsizlik Analizi, yersel yansıtımdan kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ	PAN
Ağırlıklandırılmış Yersel Yansıtım Ortalaması (AYYO)	0,6458	0,6178	0,5937	0,6325	0,6267
SS - İyileştirme (217 Ölçüm)	0,010	0,010	0,011	0,010	0,010
AYYO-Min (AYYO-SS)	0,6358	0,6075	0,5831	0,6225	0,6165
AYYO-Maks (AYYO+SS)	0,6558	0,6282	0,6043	0,6426	0,6370
AÜI	207,958	239,649	252,017	146,936	226,913
AÜI-min	204,713	235,702	247,730	144,593	223,256
AÜI-maks	211,209	243,645	256,320	149,306	230,614
Belirsizlik-1 $K1 = [1 - (AÜI-min) / (AÜI)]$	0,016	0,016	0,017	0,016	0,016
Belirsizlik-2 $K2 = [1 - (AÜI-maks) / (AÜI)]$	0,016	0,017	0,017	0,016	0,016
Ölçüm Belirsizliği (217 Ölçüm) $K = [(K1 + K2) / 2]$	%1,56	%1,66	%1,71	%1,60	%1,62
Ölçüm Belirsizliği (300 Ölçüm)	%3,13	%3,16	%3,09	%3,24	%3,12

3.1.3.2. MRK-1 iyileştirme, cihazdan kaynaklanan belirsizlik

Cihazın ölçüm öncesinde kalibrasyonu gerçekleştirildiği için ve spektralonun kalibrasyon kartında yazılı olan değerlerden farklı bir değer kullanılarak iyileştirme çalışmaları kapsamında tekrardan belirsizlik analizi gerçekleştirilmemiştir.

3.1.3.3. MRK-1 iyileştirme, aerosol optik derinliği ölçümlerinden kaynaklanan belirsizlik

Uydunun geçişi esnasındaki AOD değeri 3.1.2.3 bölümünde 0,2074 olarak belirtilmiştir ve hesaplamalar bu değer kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyonu yapılmış güneş fotometresi ile ölçülen AOD değerinden kaynaklanabilecek hataları analiz etmek için gerçekleştirilen ilk ölçümlerde, cihazın ölçtüğü değerden yüksek ve düşük olmak suretiyle 0,1 (vis-63,66 km) ve 0,3 (vis-16,10 km) değerleri 6S'e girdi olarak sağlanmıştır. Bahse konu değerler kalibrasyonu yapılmış bir cihaz için oluşabilecek en olumsuz senaryo için hesaplanmıştır. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon Belirsizlik Analizi İyileştirme – 1 çalışmaları kapsamında verilerin sağlandığı internet sitesinde yayınlanan (Mayıs-2020) Seviye-2 veriler ile AÜI değerleri yeniden hesaplanmıştır.

NASA–AERONET’in internet sitesinden ([http-11](http://11)) Excel dosyası olarak indirilebilen veriler için Seviye-2 veriler için “*Level 2.0 - pre- and post-field calibration applied, cloud-screened, and quality-assured data*” ifadesi yer almaktadır. Kalibrasyonu yapıldığı ve garanti verildiği ifade edilen Seviye-2 dosyasında AOD değerinin yanısıra su buharı ve ozon değeri de yer almaktadır.

Benzetim Modeli için 550 nm’deki AOD değeri gerekmektedir. Cihazın 550 nm’de ölçümü bulunmaması nedeniyle aradeğerleme yöntemiyle bu değer elde edilmiştir. Arazi Çalışması-1 kapsamında görüntüleri kullanılan Göktürk-2 uydusu saat 10:47 (UTC+3)’de çalışma alanının görüntüsünü almıştır. Tablo 3.20 ile gösterilen değerlerden saat dilimi en yakın olan saat 07:48:09 (UTC) ’da ölçülen AOD değeri kullanılmıştır.

Tablo 3.20. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 İyileştirme Belirsizlik Analizi, Seviye-2 AOD değerleri

Tarih	30.08.2017			
Saat (UTC)	07:18:08	07:33:08	07:48:09	08:03:09
Yılın Günü	242	242	242	242
AOD_1640nm	0,0816	0,0763	0,0783	0,0785
AOD_1020nm	0,0982	0,0892	0,0893	0,0899
AOD_870nm	0,1196	0,1100	0,1095	0,1111
AOD_675nm	0,1687	0,1538	0,1525	0,1549
AOD_550nm	0,2419	0,2217	0,2194	0,2225
AOD_500nm	0,2711	0,2489	0,2462	0,2496
AOD_440nm	0,3243	0,2981	0,2951	0,2989
AOD_380nm	0,4014	0,3733	0,3702	0,3747
AOD_340nm	0,4499	0,4176	0,4134	0,4183
Su Buharı (gr/cm ²)	1,894	1,864	1,878	1,857
Ozon (Dobson)	290	290	290	290

Aşağıda verilen tabloda cihazın ölçtüğü değer AOD1 olarak isimlendirilirken, AOD2 ve AOD3’ün yeni değerleri 07:48:09’dan üç dakika önceki ve üç dakika sonraki ölçüm değerleri olan 0,2217 ve 0,2225 olarak belirlenmiştir. İlk hesaplamalara göre AOD ölçümünden kaynaklanan belirsizlik yüzdesinde belirgin oranda düşüş gözlenmiştir (Tablo 3.21).

Tablo 3.21. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 İyileştirme Belirsizlik Analizi, AOD ölçümünden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ	PAN
AÜI-1 (AOD1: 0,2194)	207,958	239,649	252,017	146,936	226,913
AÜI-2 (AOD2: 0,2217)	207,838	239,483	251,828	146,858	226,763
AÜI-3 (AOD3: 0,2225)	207,796	239,426	251,761	146,830	226,710
Belirsizlik-1 $K1 = [1 - (AÜI-2)/(AÜI-1)]$	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Belirsizlik-2 $K2 = [1 - (AÜI-3)/(AÜI-1)]$	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Ölçüm Belirsizliği $[(K1 + K2) / 2]$	%0,07	%0,08	%0,09	%0,06	%0,08

3.1.3.4. MRK-1 iyileştirme, aerosol model seçiminden kaynaklanan belirsizlik

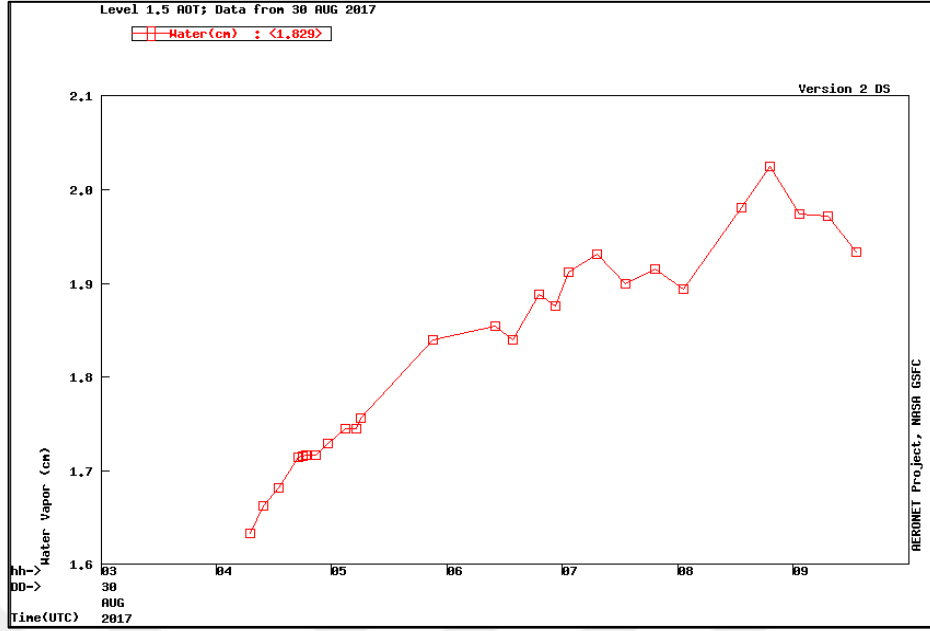
Aerosol Model seçiminden kaynaklanan belirsizliği tespit etmek adına 6S Benzetim Modeli'nde tanımlı karasal (iaer=1, continental) ve çöl (iaer=5, desert) seçenekleri kullanılmıştır. Hesaplanan belirsizliği iyileştirmeye yönelik yeniden hesaplama çalışmalarında söz konusu iki seçenekten başka bir seçeneğin uygun olmadığı değerlendirilmiştir. AOD değerinin güncellenmesi ile AÜI değerlerinde de değişiklikler dolayısıyla her bantın ölçüm belirsizliği oranlarında bu parametre için yükselme görülmüştür (Tablo 3.22).

Tablo 3.22. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 İyileştirme Belirsizlik Analizi, aerosol model seçiminden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ	PAN
AÜI-1 (Continental)	207,958	239,649	252,017	146,936	226,913
AÜI-2 (Desertic)	211,869	244,822	258,068	150,348	231,725
Ölçüm Belirsizliği $K = [1 - (AÜI-2)/(AÜI-1)]$	%1,88	%2,16	%2,40	%2,32	%2,12

3.1.3.5. MRK-1 iyileştirme, su buharı ölçümünden kaynaklanan belirsizlik

Göktürk-2 uydusunun görüntü aldığı saat olan 10:47'de (UTC+3) su buharı değeri Tablo 3.23'te ve Şekil 3.15'te görüldüğü gibi "1,9 cm" civarındadır. İlk değerlendirmelerde su buharı parametresinden kaynaklanan belirsizliği hesaplarken grafik sınırları dışında kalan 0,5 cm ve 3 cm değerleri kullanılmıştır.



Şekil 3.15. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1, su buharı grafiği

AOD'den kaynaklanan belirsizlik hesabı yaklaşımındaki gibi uydu geçişine en yakın SB değerleri 6S'e girdi olarak verilmek üzere NASA-AERONET'in sayfasından alınmıştır. Tablo 3.23 ile gösterildiği gibi 105 dk. boyunca su buharı değeri değişmemiştir. Belirtilen süre içerisinde farklı bir değer elde edilmemesi sebebiyle su buharından kaynaklanan belirsizlik hesaplanamamıştır.

Tablo 3.23. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 İyileştirme Belirsizlik Analizi, Seviye-2 su buharı değerleri

Tarih	30.08.2017				
Saat (UTC)	07:18:08	07:33:08	07:48:09	08:03:09	08:33:09
Su Buharı (gr/cm ²)	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90

3.1.3.6. MRK-1 iyileştirme, atmosferik koşul seçiminden kaynaklanan belirsizlik

Gerçekleştirilen arazi çalışmalarında güneş fotometresi ile su buharı değerleri ölçülerek, kullanıcının tanımlayabildiği model seçilebilmiştir ("idatm=8"). Bu modeli kullanabilmek için su buharı ve ozon değerinin bilinmesi gerekmektedir. Belirsizlik analizi çalışmaları kapsamında çalışma alanının bulunduğu konum için seçilebilecek en uygun iki model "idatm=2" ve "idatm=6"'dir. Bu nedenle belirsizlik iyileştirme çalışmaları kapsamında alternatif bir model üzerinde çalışılmamıştır.

AOD değerinin güncellenmesi nedeniyle yeniden karasal ve çöl modelleri için yeniden hesaplanmıştır. AÜI değerlerinin değişmesi nedeniyle sadece kırmızı banttaki ölçüm belirsizliği %0,74'ten %0,55'e düşmüştür, diğer bantlardaki belirsizlik oranı aynı kalmıştır (Tablo 3.24).

Tablo 3.24. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 İyileştirme Belirsizlik Analizi, atmosferik koşul seçiminden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ	PAN
AÜI-1 (User)	207,958	239,649	252,017	146,936	226,913
AÜI-2 (Midlatitude Summer)	206,150	237,950	251,657	144,906	225,024
AÜI-3 (US62)	207,488	237,718	251,355	148,094	225,912
Belirsizlik-1 $K1 = [1 - (AÜI-2)/(AÜI-1)]$	0,009	0,007	0,001	0,014	0,008
Belirsizlik-2 $K2 = [1 - (AÜI-3)/(AÜI-1)]$	0,002	0,008	0,003	0,008	0,004
Ölçüm Belirsizliği $K = [(K1 + K2)/2]$	%0,55	%0,76	%0,20	%1,08	%0,64

3.1.3.7. MRK-1 iyileştirme, gözlem geometrisinden kaynaklanan belirsizlik

İyileştirme çalışmaları kapsamında gözlem geometrisinden kaynaklanan belirsizlik oranlarında bir değişiklik olmamıştır. Bütün bantlar için bu parametredeki ölçüm belirsizliği %0,6'nın altındadır. Güncellenen AOD değeri belirsizlik yüzdesini etkilememiştir.

3.1.3.8. MRK-1 iyileştirme, toplam belirsizlik

Mutlak radyometrik kalibrasyon çalışması için toplam dokuz adet belirsizliğe neden olabilecek madde incelenmiştir. Toplam belirsizliği azaltmak üzere yeniden hesaplamalar gerçekleştirilerek; Yersel Ölçümler, Aerosol Optik Derinliği ve Su Buharı maddelerinde iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir. Yeniden değerlendirilen toplam belirsizlik aşağıdaki tabloda (Tablo 3.25) verilmiştir.

Tablo 3.25. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 İyileştirme, toplam belirsizlik

Belirsizlik Kaynağı	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ	PAN
<i>Yersel Ölçümler</i>	%1,56 (↓)	%1,66 (↓)	%1,71 (↓)	%1,60 (↓)	%1,62 (↓)
<i>Cihaz Kaynaklı Belirsizlik</i>	%1,00	%0,98	%0,93	%1,00	%1,00
<i>Aerosol Optik Derinliği</i>	%0,07 (↓)	%0,08 (↓)	%0,09 (↓)	%0,06 (↓)	%0,08 (↓)
<i>Atmosferik Koşul</i>	%0,55 (↓)	%0,76	%0,20	%1,08	%0,64
<i>Aerosol Model</i>	%1,88 (↑)	%2,16 (↑)	%2,40 (↑)	%2,32 (↑)	%2,12 (↑)
<i>Su buharı</i>	%0,00 (↓)	%0,00 (↓)	%0,00 (↓)	%0,00 (↓)	%0,00 (↓)
<i>Gözlem Geometrisi</i>	%0,53	%0,54	%0,53	%0,51	%0,53
<i>6S Benzetim Modeli</i>	%1,00	%1,00	%1,00	%1,00	%1,00
<i>Benek Değeri</i>	%0,28	%0,36	%0,35	%0,49	%0,43
Toplam Belirsizlik	%2,94 (↓)	%3,22 (↓)	%3,32 (↓)	%3,41 (↓)	%3,16 (↓)

Yeniden hesaplamalar neticesince iyileştirme çalışmaları kapsamında hesaplanan belirsizlik ile önceki çalışmalarda belirlenen belirsizlik arasındaki yüzde farkın tüm bantlar için %40 civarında olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3.26).

Tablo 3.26. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 İyileştirme Belirsizlik Analizi ile iyileştirme yapılmadan önceki toplam belirsizlik yüzdesi arasındaki fark

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ	PAN
Toplam Belirsizlik (U)	%4,89	%5,11	%5,27	%5,42	%5,03
İyileştirilmiş Toplam Belirsizlik (X)	%2,94	%3,22	%3,32	%3,41	%3,16
Yüzde Fark (1-X/U)	39,88	36,99	37,00	37,08	37,18

3.1.3.9. MRK-1, bulgular

Arazi Çalışması-1 kapsamında gerçekleştirilen ilk belirsizlik analizinde toplam belirsizlik oranının tüm bantlar için %5 civarında hesaplanması nedeniyle veri seti yeniden incelenerek hesaplamalar tekrarlanmıştır.

Yersel ölçümlerde kaynaklanan belirsizlikler, ilk analizlerde tüm bantlar için %3 civarında hesaplanmıştır. Uydunun çekim saatine mümkün olan en yakın esnada alınmaya çalışılan yersel ölçümler, ölçülen alanın 3-4 cm yüksekliğindeki tuz tepeciklerine denk gelmesi, kurumuş tuz kanallarının içine kum birikmesi, tuzların kristal yapıdan farklı bir yapıda oluşması veya oluşan yapının rüzgârın etkisiyle bozulması gibi nedenlerle birbirinden farklılıklar gösterebilmektedir. Ek olarak, ölçümü başlatmadan evvel cihaza gerçekleştirilecek ölçüm sayısının (Arazi Çalışması-1 için 300 ölçüm)

girilmesi araziden kısa sürede fazla sayıda ölçüm alınmasını sağlamakla beraber ölçüm rotası boyunca ölçüm yapılan alanı temsil etmeyen alanlardan da ölçüm alınması gibi durumlara da sebep olmaktadır. Önceki bölümlerde uydu görüntüleri üzerinde gösterildiği gibi ölçüm rotası düz bir şekilde ilerlememektedir. Bir beneğe düşen ölçüm sayısını arttırmak adına basamak şeklinde ilerlemektedir. En önemlisi ise; sürekli ölçüm modunda, düz bir hat boyunca ilerleyip bir üst sıraya geçildiğinde cihaza bağlı pistonun yerden yüksekliği ve yere bakış açısı değişebilmektedir. Ölçümü yapan kişi sehven gölgesini ölçebilmektedir. Tek tek yapılan ölçümlerde bahsedilen durumların önüne geçilebilmektedir.

Yukarda bahsi geçen konular göz önünde tutularak, tayfsal imzalar elenmiştir ve analizler “İyileştirme” çalışmaları kapsamında 300 imza yerine 217 imza üzerinden gerçekleştirilmiştir. Ortalamaya yakın imzalardan oluşan imzalar ile yapılan hesaplamalarda yersel imzalardan kaynaklanan belirsizlik tüm bantlar için hesaplanan %3 oranından %1,5 civarına düşmüştür.

Aerosol Optik Derinliği parametresinden kaynaklanan belirsizlikler ise %2-3 aralığında değişmektedir. Arazi Çalışması-1 kapsamında, in-situ olarak ölçülen değer 16,55 km görünürlüğe tekabül eden 0,2’dir. Belirsizlik analizi gerçekleştirilirken 16,10 km ve 63,66 km değerleri olası değerler olarak kabul edilerek belirsizlik analizi gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle de ortalama belirsizlik %2-3 seviyesine çıkmıştır.

Belirsizlik analizi için verilen değerler “İyileştirme” çalışmaları kapsamında değiştirilerek, AOD’dan kaynaklanan belirsizlik azaltılmıştır. Göktürk-2 uydusunun geçiş saatinden 1 dk. sonra alınan AOD değeri esas ölçüm kabul edilerek, geçişten 6 dk. önce ve 6 dk. sonra alınan AOD ölçümleri belirsizlik analizi hesaplamaları için kullanılmıştır. AOD’dan kaynaklanan belirsizlik; kırmızı, yeşil, mavi, yakın kızıl ötesi ve pan bantlarında sırasıyla %2,48, %2,98, %3,28, %2,30 ve %2,86 oranlarından %0,07, %0,08, %0,09, %0,06 ve %0,08 oranlarına düşmüştür.

Aerosol model seçiminden kaynaklanan belirsizlik ise tüm bantlar için %2 civarındadır.

Atmosferik koşul olarak Kullanıcı tanımlı (user), Midlatitude Summer ve US62 seçenekleri kullanılmıştır. Bu seçeneklerde girdi olarak su buharı ve ozon değeri tanımlanmaktadır (user) veya tanımlı olarak benzetim modeli sağlamaktadır. Atmosferik koşul seçiminden kaynaklanan belirsizlik oranı ise en fazla yakın kızıl ötesi bant için %1,08 olarak hesaplanmıştır. Diğer bantlar için %1’den az belirsizlik göstermektedir.

İyileştirme çalışmaları kapsamında kullanılan tayfsal imzaların azaltılması ve AOD değerinin güncellenmesi kırmızı bant dışında diğer bantlarda değişikliğe neden olmamıştır. Kırmızı bantta ise bu parametre için belirsizlik %0,74'ten %0,55'e düşmüştür.

Gözlem geometrisinden kaynaklanan belirsizlik tüm bantlar için %0,5 civarındadır bu nedenle "İyileştirme" çalışmaları kapsamında girdi olarak verilen gözlem geometrisi değerlerinde bir güncelleme yapılmamıştır.

Kalibrasyonu yapılacak olan görüntünün benek değerlerinden kaynaklanan belirsizlik ise bütün bantlar için %0,50'nin altındadır. Yer belirteci olarak kullanılan tarpolinler ölçüm alanının tam olarak nerede olduğunu göstermektedir. Belirsizlik analizi için hesaplanan benek değerlerinin belirsizlik analizi için kullanılabilecek en optimum değerler olduğu değerlendirilmektedir.

Son olarak, Arazi Çalışması-1 kapsamında yapılan Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi çalışmalarında 9 tane belirsizlik kaynağı üzerinde hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Sadece aerosol model seçiminden kaynaklanan belirsizlik yüzdesinde AOD ve yeni yersel imza veri setinden dolayı %0,5 civarında bir artış gerçekleşmiştir. Örneğin kırmızı bant için ilk çalışmalarda %1,78 olarak hesaplanan değer %1,88 olarak güncellenmiştir. Yersel ölçümlerden, AOD ölçümlerinden, su buharı ölçümlerinden kaynaklanan belirsizliklerin üzerinde yeniden çalışılmasıyla toplam belirsizlik oranı %5 civarından %60 kadar bir iyileştirme ile tüm bantlar için toplam belirsizlik %3 civarına çekilebilmiştir.

3.1.4. Çapraz radyometrik kalibrasyon-1 (ÇRK-1), veri işleme çalışmaları

Arazi Çalışması-1 olarak bahsi geçen ve 30 Ağustos 2017 tarihinde gerçekleştirilen arazi çalışmasının tarihi Göktürk-2 ve Landsat 8 OLI (L8) geçişlerinin ortak geçişine göre belirlenmiştir. 6S Benzetim Modeli'ne girdi olarak verilen parametreler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Raporun bu kısmında Arazi Çalışması-1, 2 ve 3 kapsamında uygulanan çapraz radyometrik kalibrasyon prosedürü ve belirsizlik analizi ayrıntılı olarak anlatılacaktır. Göktürk-2'nin çapraz radyometrik kalibrasyonunu gerçekleştirmek için kullanılan verilerin özelliklerine dair bilgiler içeren tablo (Tablo 3.27) aşağıda verilmektedir.

Tablo 3.27. *Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1, Veri İşleme Çalışmaları kapsamında kullanılan yersel, atmosferik ve uydu verilerinin özellikleri*

Algılayıcı	GK-2	L8
Tarih	30.08.2017	30.08.2017
Saat	10:47 (UTC+3)	11:21 (UTC+3)
Güneşin Lokal Başucu Açısı (°)	40,14	35,58
Güneşin Lokal Azimut Açısı (°)	130,23	114,57
Uydunun Başucu Açısı (°)	12,01	8
Uydunun Azimut Açısı (°)	259,69	102,846
Su Buharı (g/cm ²)	1,9	
Ozon (g/cm ³)	0,29	
Aerosol Model	Karasal Model	
AOD	0,2194	0,2231
Rakım (km)	0,907	

İlk olarak, hedef ve referans uydu için ilgili güne (eğer mümkünse) ait yersel, atmosferik veriler kullanılarak 6S Benzetim Modeli ile her bant için atmosfer üstü yansıtım değerleri hesaplanır. Elde edilen yansıtım değerlerinin birbirine olan oranı, bantlar arasındaki farkı kompanse etmek için kullanılacak olan SBAF (Spectral Band Adjustments Factor) katsayısını (SBAF_k) vermektedir.

Radyometrik kalibrasyonunun yapıldığı bilinen referans görüntünün arazi çalışmasının yapıldığı/hedef görüntünün çekildiği gün ile aynı gün çekilmiş olması belirsizliği azaltan faktörlerdendir. Bu çalışmada Göktürk-2 ve Landsat 8 görüntülerinin her ikisi de 30 Ağustos 2017 tarihinde çekilmiştir. Referans görüntünün benek değerleri (BD) atmosfer üstü yansıtıma dönüştürüldükten sonra hedef görüntüden yersel çalışmanın yapıldığı alana ait benek değerleri her bir bant için alınır. Landsat 8'den toplanan AÜY değeri hesaplanan SBAF (SBAF_k) ile çarpılarak Göktürk-2'nin yansıtım değerine (GK2_SBAF_AÜY) dönüştürülür. Landsat 8'den üretilmiş yeni Göktürk-2 atmosfer üstü yansıtım değeri, Esun ve Güneş'in başucu açısı kullanılarak atmosfer üstü ışınlırlığa dönüştürülür (GK2_SBAF_AÜİ). Kalibrasyonu yapılacak olan görüntüden de arazi çalışmasının yapıldığı alana ait benek değerleri alınarak kazanç hesabı (GK2_Kazanç1) gerçekleştirilir.

Göktürk-2 için çapraz radyometrik kalibrasyon prosedürü uygulanarak hesaplanan kazanç değerleri ile mutlak radyometrik kalibrasyon prosedürü uygulanarak hesaplanan kazanç değerleri arasında %7'den az fark görülmektedir (Tablo 3.28).

Tablo 3.28. Arazi Çalışması-1, Çapraz Radyometrik Kalibrasyon yöntemi ile kazanç katsayısının hesaplanması

	KIRMIZI	MAVİ	YEŞİL	YKÖ
L8_AÜY (c) (Landsat 8'in atmosfer üstü yansıtım görüntüsünden alınan değer)	0,5500	0,5080	0,5070	0,5870
GK2_6S_AÜY (a) (Göktürk-2 için 6S Benzetim Modeli ile hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5645	0,5436	0,5391	0,5615
L8_6S_AÜY (b) (Landsat 8 için 6S Benzetim Modeli ile hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5885	0,5518	0,5516	0,5964
SBAF_k (x) ($x=a/b$)	0,9592	0,9851	0,9773	0,9415
GK2_SBAF_AÜY ($c*x$)	0,5276	0,5005	0,4955	0,5527
GK2_Esun	1514	1809	1959	1069
Göktürk-2, Güneşin Başucu Açısı	40,140	40,140	40,140	40,140
GK2_SBAF_AÜİ	194,365	220,298	236,210	143,760
GK2_BD (Göktürk-2 Benek Değeri)	1293	793	1025	1091
GK2_Kazanç1 ($GK2_Kazanç1 = GK2_SBAF_AÜİ / GK2_BD$) (Çapraz Kalibrasyon ile elde edilen kazanç)	0,1503	0,2778	0,2304	0,1318
GK2_Kazanç2 (Mutlak Kalibrasyon ile elde edilen kazanç)	0,1608	0,3022	0,2459	0,1347
Kazanç1 ve Kazanç2 Karşılaştırması (Yüzde Fark)	6,54	8,07	6,27	2,16

3.1.5. ÇRK-1, belirsizlik analizi

Gerçekleştirilen bu çalışmada Yansıtım Temelli Mutlak Radyometrik Kalibrasyon (Reflectance-based Vicarious Radiometric Calibration) Yöntemi'nin yanı sıra Çapraz Radyometrik Kalibrasyon yöntemi de uygulanarak kazanç (gain) değeri hesaplanmıştır. Kazanç değeri hesaplanırken belirsizliğe neden olabilecek en temel altı parametrenin toplam hata bütçesine etkisi analiz edilmiştir.

- Tuz Gölü'nden spektrometre ile toplanan yersel imzalar başka bir ifade ile yersel yansıtım eğrileri
- Atmosferik parametreler
- Gözlem geometrisi
- Kullanılan ışınım benzetim modeli
- Kalibrasyonu yapılacak olan hedef görüntünün benek değeri
- Referans/Hedef olarak kullanılan görüntünün benek değeri

3.1.5.1. ÇRK-1, yersel yansıtım verilerinden kaynaklanan belirsizlik

Göktürk-2 uydusunun ve referans olarak kullanılan Landsat 8 uydusunun her bir bandına ait BTT eğrileri ile, ilgili bandın tayfsal aralığına denk gelen, spektrometre ile toplanan yersel yansıtım verilerinden hesaplanan AYYO değerine ulaşılmıştır. Spektrometre ile ölçüm alınırken referans yüzey olarak kullanılan spektralonun kalibrasyon dosyasında bulunan “Reflectance Factor” değerleriyle yani ortalama 0,99 ile çarpılarak yeni AYYO değerleri ile 6S’e girdi oluşturulmuştur.

Bu değer, her banda özel hesaplanmaktadır ve hesaplanan bu değer ilgili bant için 6S’e girdi olarak tanımlanmaktadır.

Yersel yansıtımdan kaynaklanan belirsizliği hesaplamak için arazi çalışmasında toplanan tayfsal imzalardan minimum ve maksimum yansıtım özelliğini gösteren imzalar bahse konu 0,99 değeri ile çarpılarak AYYO değerleri her iki uydu içinde atmosfer üstü yansıtım değerleri hesaplanır. Hesaplanan değerlerin birbirine oranı algılayıcı karakteristiğinden kaynaklanan farklılığı kompanse etmek için kullanılan SBAF değerlerini (SBAF1 ve SBAF2) katsayısını vermektedir. Yersel yansıtım verilerinden kaynaklanan belirsizlik bütün bantlarda %0,50’nin altındadır (Tablo 3.29).

Tablo 3.29. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, yersel yansıtımdan kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
GK2 –AÜYmin (Göktürk-2 için tayfsal imzalardan en az yansıtım özelliği gösteren imza ile hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,4673	0,4584	0,4637	0,4568
GK2–AÜYmaks (Göktürk-2 için tayfsal imzalardan en fazla yansıtım özelliği gösteren imza ile hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,6144	0,5947	0,5909	0,6137
L8-AÜYmin (Landsat 8 için tayfsal imzalardan en az yansıtım özelliği gösteren imza ile hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,4887	0,4652	0,4753	0,4845
L8-AÜYmaks (Landsat 8 için tayfsal imzalardan en fazla yansıtım özelliği gösteren imza ile hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,6411	0,6033	0,6052	0,6541
SBAF1 (GK2 –AÜYmin / L8-AÜYmin)	0,9562	0,9854	0,9756	0,9428
SBAF2 (GK2–AÜYmaks / L8-AÜYmaks)	0,9584	0,9857	0,9764	0,9382
Ölçüm Belirsizliği $K = [(1-SBAF2/SBAF1)]$	%0,22	%0,04	%0,08	%0,49

3.1.5.2. ÇRK-1, aerosol optik derinliği ölçümlerinden kaynaklanan belirsizlik

Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi çalışmalarının ilk hesaplamalarında uydunun geçişi esnasındaki AOD değeri 0,2074 (AOD1) olarak tanımlanmıştır. Geçiş saatlerinin yakın olması sebebiyle Landsat 8 geçişi içinde aynı değer kullanılmıştır. Ölçülen AOD değerinden kaynaklanabilecek hataları analiz etmek için ölçülen değerden yüksek 0,3 (vis-16,10 km, AOD2) değeri 6S'e girdi olarak sağlanmıştır. TOA yansıtım değerleri hesaplanarak, SBAF katsayısına etkisi analiz edilmiştir, hesaplanan belirsizlik Tablo 3.30'da verilmiştir.

Tablo 3.30. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, AOD değerinden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
GK2, AÜY-1 (Göktürk-2 için AOD1 = 0,2074 ile hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5662	0,5456	0,5412	0,5631
L8, AÜY-2 (Landsat 8 için AOD1 = 0,2074 ile hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5906	0,5542	0,5543	0,5984
L8, AÜY-3 (Landsat 8 için AOD2 = 0,3 ile hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5780	0,5402	0,5388	0,5867
SBAF1 (AÜY-1/AÜY-2)	0,9587	0,9845	0,9764	0,9410
SBAF2 (AÜY-1/AÜY-3)	0,9796	1,0100	1,0045	0,9598
Ölçüm Belirsizliği (K) $K = [(1 - SBAF2/SBAF1)]$	%2,18	%2,59	%2,88	%1,99

3.1.5.3. ÇRK-1, aerosol model seçiminden kaynaklanan belirsizlik

Aerosol modelden kaynaklanan belirsizliği belirlemek adına Tuz Gölü için “continental” ve “desert” seçeneği her iki uydu içinde tanımlanarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Karasal ve çöl seçeneklerinin seçilmesiyle hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değerlerinin oranlanmasıyla SBAF1 ve SBAF2 değerleri hesaplanmıştır. Bulunan SBAF değerlerinin oluşturdukları ölçüm belirsizliği Tablo 3.31'de gösterilmiştir.

Tablo 3.31. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, aerosol modelden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
GK2, AÜY-1 (Göktürk-2 için Aerosol Model = continental olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,566	0,546	0,541	0,563
GK- AÜY-2 (Göktürk-2 için Aerosol Model = desert olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,576	0,557	0,553	0,575
L8, AÜY-3 (Landsat 8 için Aerosol Model = continental olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,591	0,554	0,554	0,598
L8, AÜY-4 (Landsat 8 için Aerosol Model = desert olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,603	0,567	0,568	0,615
SBAF1 (AÜY-1/AÜY-3)	0,959	0,984	0,976	0,941
SBAF2 (AÜY-2/AÜY-4)	0,956	0,981	0,974	0,936
Ölçüm Belirsizliği (K) $K = [(1 - SBAF2/SBAF1)]$	%0,33	%0,36	%0,25	%0,49

3.1.5.4. ÇRK-1, su buharı ölçümünden kaynaklanan belirsizlik

Söz konusu çalışma için uydu geçişleri esnasında edinilen su buharı değeri 1,9 gr/cm²'dir. Belirsizlik analizi çalışmalarının ilk analizlerimde, söz konusu su buharı değerinden kaynaklanan belirsizliği hesaplamak için ölçülen değerden düşük (0,5 gr/cm²) ve yüksek (3,0 gr/cm²) değerler verilerek hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Her iki uydu içinde TOA yansıtım değerleri oranlanarak yeni SBAF katsayıları ve su buharı ölçümünden kaynaklanan belirsizlik hesaplanmıştır (Tablo 3.32).

Tablo 3.32. *Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, su buharı ölçümünden kaynaklanan belirsizlik*

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
GK2, AÜY-1 (Göktürk-2 için Su Buharı = 1,9 olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,566	0,546	0,541	0,563
GK2, AÜY-2 (Göktürk-2 için Su Buharı = 0,5 olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,576	0,548	0,541	0,580
GK2, AÜY-3 (Göktürk-2 için Su Buharı = 3,0 olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,561	0,544	0,541	0,554
L8, AÜY-4 (Landsat 8 için Su Buharı = 1,9 olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,591	0,554	0,554	0,598
L8, AÜY-5 (Landsat 8 için Su Buharı = 0,5 olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,594	0,556	0,554	0,599
L8, AÜY-6 (Landsat 8 için Su Buharı = 3,0 olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,588	0,553	0,554	0,598
SBAF1 (AÜY-1/ AÜY-4)	0,959	0,984	0,976	0,941
SBAF2 (AÜY-2/ AÜY-5)	0,970	0,985	0,976	0,967
SBAF3 (AÜY-3/ AÜY-6)	0,953	0,984	0,976	0,927
Belirsizlik-1 $K1 = [1-SBAF2/SBAF1]$	%1,18	%0,10	%0,00	%2,78
Belirsizlik-2 $K2 = [1-SBAF3/SBAF1]$	%0,60	%0,04	%0,00	%1,46
Ölçüm Belirsizliği $[(K1 + K2) / 2]$	%0,89	%0,07	%0,00	%2,12

3.1.5.5. ÇRK-1, atmosferik koşul seçiminden kaynaklanan belirsizlik

Tanımlanan atmosferik koşuldan “User” (idatm=8) seçeneğinin SBAF hesabında oluşturduğu belirsizliği hesaplamak için, su buharı ve ozon değerleri otomatik olarak sisteme aktarılan Midlatitude Summer ve US62 seçenekleri kullanılarak atmosfer üstü yansıtım hesaplamaları yapılmıştır (Tablo 3.33).

Tablo 3.33. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, atmosferik koşul seçiminden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
GK2, AÜY-1 (Göktürk-2 için “Atmosferik Koşul = user” olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5662	0,5456	0,5412	0,5631
GK2, AÜY-2 (Göktürk-2 için “Atmosferik Koşul = Midlatitude Summer” olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5591	0,5417	0,5404	0,5553
GK2, AÜY-3 (Göktürk-2 için “Atmosferik Koşul = US62” olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5650	0,5412	0,5398	0,5675
L8, AÜY-4 (Landsat 8 için “Atmosferik Koşul = user” olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5906	0,5542	0,5543	0,5984
L8, AÜY-5 (Landsat 8 için “Atmosferik Koşul = Midlatitude Summer” olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5863	0,5498	0,5536	0,5979
L8, AÜY-6 (Landsat 8 için “Atmosferik Koşul = US62” olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5874	0,5483	0,5530	0,5987
SBAF1 (AÜY-1/ AÜY-4)	0,9587	0,9845	0,9764	0,9410
SBAF2 (AÜY-2/ AÜY-5)	0,9536	0,9853	0,9762	0,9288
SBAF3 (AÜY-3/ AÜY-6)	0,9619	0,9871	0,9761	0,9479
Belirsizlik-1 $K1 = [1-SBAF2/SBAF1]$	%0,53	%0,08	%0,02	%1,30
Belirsizlik-2 $K2 = [1-SBAF3/SBAF1]$	%0,33	%0,26	%0,02	%0,73
Ölçüm Belirsizliği $K = [(K1 + K2) / 2]$	%0,78	%0,16	%0,02	%0,36

3.1.5.6. ÇRK-1, gözlem geometrisinden kaynaklanan belirsizlik

6S Benzetim Modelinde ilk adım algılayıcı türünü seçmektir. Şekilde gösterildiği üzere, modelde Göktürk-2 ve Landsat 8 tanımlı algılayıcılar arasında değildir. Bu nedenle “0” seçeneği seçilmektedir, ay ve gün bilgisi girilerek, derece cinsinden:

- Güneşin Başucu Açısı
- Güneşin Azimut Açısı
- Uydunun Başucu Açısı
- Uydunun Azimut Açısı

Uydunun geçişi esnasında Güneşin ve uydunun başucu ve azimut açılarından kaynaklanabilecek belirsizliğin analizi için C1 ve C2 senaryoları tanımlanarak (Tablo 3.34), ilgili açısal değerler 6S Benzetim Modeli’nde tanımlanmıştır. C2 senaryosunda Güneşin başucu açısının değerleri yaklaşık 1° değiştirilmiştir ve uydunun başucu açısı

değerleri de 0,20° değiştirilerek atmosfer üstü yansıtım değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen değerler kullanılarak SBAF katsayıları ve gözlem geometrisinden kaynaklanan belirsizlik hesaplanmıştır (Tablo 3.35).

Tablo 3.34. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, tanımlanan geometrik koşullar

	Güneşin Başucu Açısı	Güneşin Azimut Açısı	Uydunun Başucu Açısı	Uydunun Azimut Açısı	Algılayıcı
C1	40,14	130,23	12,01	259,69	GK2
	35,58	114,57	8,00	102,846	L8
C2	39 (↓)	130,23	12,21 (↑)	259,69	GK2
	34 (↓)	114,57	8,20 (↑)	102,846	L8

Tablo 3.35. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, gözlem geometrisinden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
AÜI-1 (Göktürk-2 için "Geometrik Koşul = C1" olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5662	0,5456	0,5412	0,5631
AÜI-2 (Göktürk-2 için "Geometrik Koşul = C2" olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5672	0,5466	0,5422	0,5638
AÜY-3 (Landsat 8 için "Geometrik Koşul = C1" olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5906	0,5542	0,5543	0,5984
AÜY-4 (Landsat 8 için "Geometrik Koşul = C2" olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5918	0,5556	0,5555	0,5991
SBAF1 (AÜY-1/AÜY-3)	0,9587	0,9845	0,9764	0,9410
SBAF2 (AÜY-2/AÜY-4)	0,9583	0,9840	0,9766	0,9411
Ölçüm Belirsizliği (K) $K = [(1 - SBAF2/SBAF1)]$	%0,03	%0,07	%0,03	%0,01

3.1.5.7. ÇRK-1, kalibrasyonu yapılacak olan hedef görüntünün benek değeri

Çalışmada kullanılan 30 Ağustos 2017 tarihli Göktürk-2 görüntüsünün L1R seviyesi kullanılmıştır. Çalışma alanına ait benek değerleri aşağıda verilen tablonun (Tablo 3.36) BD1 isimli satırında tanımlanmıştır. Olası 1-2 beneklik hata için BD2 ve BD3 senaryoları ile hesaplamalara etraftaki benekler de dahil edilmiştir. Alanın homojen olması sebebiyle üç ayrı senaryo için toplanan benek değerleri birbirlerine oldukça yakındır. Kalibrasyonu yapılan hedef görüntünün bütün bantlar için ölçüm belirsizliği %0,5'ten daha azdır.

Tablo 3.36. *Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, hedef görüntünün benek değerlerinden kaynaklanan belirsizlik*

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
BD1	1293	793	1025	1091
BD2	1295	795	1028	1093
BD3	1290	791	1023	1086
$K1 = [1-BD2/ BD1]$	0,002	0,003	0,003	0,002
$K2 = [1- BD3/ BD1]$	0,002	0,003	0,002	0,005
Ölçüm Belirsizliği $K = (K1^2 + K2^2)^{1/2}$	%0,28	%0,36	%0,35	%0,49

3.1.5.8. ÇRK-1, referans olarak kullanılan görüntünün benek değeri

Referans görüntü olarak kullanılan Landsat 8 uydusundan ölçümün yapıldığı alan olma özelliğini taşıyabilecek üç farklı alana ait benek değerleri (Tablo 3.37) kullanılmıştır.

Tablo 3.37. *Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi, referans görüntünün benek değerlerinden kaynaklanan belirsizlik*

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
BD1	0,5500	0,5080	0,5070	0,5870
BD2	0,5480	0,5060	0,5050	0,5840
BD3	0,5530	0,5100	0,5100	0,5890
$K1 = [1-BD2/ BD1]$	0,5500	0,5080	0,5070	0,5870
$K2 = [1- BD3/ BD1]$	0,5480	0,5060	0,5050	0,5840
Ölçüm Belirsizliği $K = (K1^2 + K2^2)^{1/2}$	%0,66	%0,56	%0,71	%0,61

3.1.5.9. ÇRK-1, toplam belirsizlik

Landsat 8 uydu görüntüsü kullanılarak gerçekleştirilen çapraz radyometrik kalibrasyon çalışmasının toplam belirsizlik bütçesi aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 3.38 incelendiğinde, Aerosol Optik Derinliği'nden kaynaklanan belirsizlik en temel hata kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Su buharındaki değişkenlik en fazla (%2,12) YKÖ bandı etkilemektedir. Landsat 8'in yakın kızıl ötesi bandının açıklığı Göktürk-2'nin yakın kızıl ötesi bandına göre daha dardır ve bu nedenle su buharı değeri değiştirilse de yaklaşık aynı değerleri vermektedir. Göktürk-2'nin YKÖ bandında ise bandın karakteristiğinden dolayı su buharı değerindeki değişiklik atmosfer üstü yansıtım ve ışınlılık değerlerinde farka neden olmaktadır.

Aerosol Optik Derinliği ve YKÖ banttaki belirsizlik dışındaki hesaplanan bütün belirsizlik değerleri %1 ve altındadır. Toplam belirsizlik ise %3,5'in altındadır.

Tablo 3.38. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1, toplam belirsizlik

Belirsizlik Kaynağı	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
<i>Yersel Ölçümler</i>	%0,22	%0,04	%0,08	%0,49
<i>Esun Kaynaklı belirsizlik</i>	%1,00	%1,00	%1,00	%1,00
<i>Aerosol Optik Derinliği</i>	%2,18	%2,59	%2,88	%1,99
<i>Atmosferik Koşul</i>	%0,78	%0,16	%0,02	%0,36
<i>Aerosol Model</i>	%0,33	%0,36	%0,25	%0,49
<i>Su buharı (g/cm²)</i>	%0,89	%0,07	%0,00	%2,12
<i>Gözlem Geometrisi</i>	%0,03	%0,07	%0,03	%0,01
<i>6S Benzetim Modeli</i>	%1,00	%1,00	%1,00	%1,00
<i>Benek Değeri - GK2</i>	%0,28	%0,36	%0,35	%0,49
<i>Benek Değeri - L8</i>	%0,66	%0,56	%0,71	%0,61
Toplam Belirsizlik	%2,97	%3,05	%3,31	%3,42

3.1.6. ÇRK-1 iyileştirme, belirsizlik analizi

Çapraz radyometrik çalışmaları kapsamında hesaplanan belirsizliği azaltma çalışmaları kapsamında yeniden değerlendirmeler gerçekleştirilerek aşağıdaki hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Bölüm 3.1.3.1'de açıklanan işlemler gerçekleştirilerek kullanılan yersel yansıtım verilerinde elemeler yapılmıştır. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon Belirsizlik Analizi İyileştirme-1 çalışmaları kapsamında yersel yansıtımdan kaynaklanan belirsizlik yeniden hesaplanmıştır. İlk hesaplamalarda 0,4 civarında olan minimum AYYO değerleri ve 0,6 civarında olan maksimum AYYO değerleri yeniden hesaplamalarla 0,5 civarında hesaplanarak 6S'e girdi olarak verilmiştir. Her iki algılayıcı için aynı yansıtım değerlerinden oluşan veri setinin kullanılıyor olması SBAF katsayısında iyileştirme çalışmaları kapsamında ilk hesaplamalara göre fark oluşturmamıştır (Tablo 3.39).

Tablo 3.39. *Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 İyileştirme Belirsizlik Analizi, yersel yansıtımdan kaynaklanan belirsizlik*

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
GK2 –AÜYmin (Göktürk-2 için tayfsal imzalardan en az yansıtım özelliği gösteren imza ile hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5455	0,5251	0,5187	0,5416
GK2–AÜYmaks (Göktürk-2 için tayfsal imzalardan en fazla yansıtım özelliği gösteren imza ile hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5825	0,5622	0,5579	0,5807
L8-AÜYmin (Landsat 8 için tayfsal imzalardan en az yansıtım özelliği gösteren imza ile hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5689	0,5338	0,5307	0,5749
L8-AÜYmaks (Landsat 8 için tayfsal imzalardan en fazla yansıtım özelliği gösteren imza ile hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,6075	0,5703	0,5710	0,6175
SBAF1 (GK2 –AÜYmin / L8-AÜYmin)	0,959	0,984	0,977	0,942
SBAF2 (GK2–AÜYmaks / L8-AÜYmaks)	0,959	0,986	0,977	0,940
Ölçüm Belirsizliği $K = [(1- SBAF2/SBAF1)]$	%0,00	%0,21	%0,03	%0,18

Arazi Çalışması-1 kapsamında daha önce değinildiği gibi ilk hesaplamalarda AOD veri sağlayıcısından sadece grafik olarak veri elde edilebilmekteydi. Grafikteki ölçeklendirmenin geniş olması nedeniyle uydunun geçiş zamanına denk gelen AOD değerini okumakta güçlük oluşturmuyordu. İyileştirme çalışmaları kapsamında salise seviyesinde detay veren ham veriye erişilebilmiştir. Bölüm 3.1.3.3’te tablosu verilen söz konusu veri setinden 08:21 (UTC)’de geçen Landsat 8’e ait AOD verisi için 08:33:09’de alınan 0,2231 değeri kullanılmıştır. AOD’dan kaynaklanan belirsizlik hesaplamaları için 07:18 – 08:33 (UTC) zaman dilimi aralığındaki ortalamadan en uzak değer olan “0,2194” kullanılmıştır (Tablo 3.40).

Tablo 3.40. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 İyileştirme Belirsizlik Analizi, AOD ölçümünden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
GK2, AÜY-1 (Göktürk-2 için AOD1= 0,2194 ile hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5645	0,5436	0,5391	0,5615
L8, AÜY-2 (Landsat 8 için AOD1 = 0,2194 ile hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5885	0,5518	0,5516	0,5964
L8, AÜY-3 (Landsat 8 için AOD2 = 0,2231 ile hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5890	0,5527	0,5523	0,5969
SBAF1 (AÜY-1/AÜY-2)	0,959	0,985	0,977	0,941
SBAF2 (AÜY-1/AÜY-3)	0,958	0,984	0,976	0,941
Ölçüm Belirsizliği (K) $K = [(1 - SBAF2/SBAF1)]$	%0,08	%0,16	%0,13	%0,08

Aerosol modelden kaynaklanan belirsizlik oranını iyileştirme çalışmaları kapsamında hesaplamalarda girdi olarak kullanılan “karasal” ve “çöl” seçenekleri değiştirilmiştir. Ancak AOD değerinin güncellenmesi nedeniyle atmosfer üstü yansıtım değerleri, SBAF değerleri ve ölçüm belirsizliği yeniden hesaplanmıştır. Tüm bantlar için %0,05 ila %0,07 oranında artış gözlenmiştir (Tablo 3.41).

Tablo 3.41. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 İyileştirme Belirsizlik Analizi, aerosol modelden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
GK2, AÜY-1 (Göktürk-2 için Aerosol Model = continental olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5645	0,5436	0,5391	0,5615
GK- AÜY-2 (Göktürk-2 için Aerosol Model = desert olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5751	0,5553	0,5520	0,5745
L8, AÜY-3 (Landsat 8 için Aerosol Model = continental olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5885	0,5518	0,5516	0,5964
L8, AÜY-4 (Landsat 8 için Aerosol Model = desert olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,6019	0,5661	0,5666	0,6136
SBAF1 (AÜY-1/AÜY-3)	0,9592	0,9851	0,9773	0,9415
SBAF2 (AÜY-2/AÜY-4)	0,9555	0,9809	0,9742	0,9363
Ölçüm Belirsizliği (K) $K = [(1 - SBAF2/SBAF1)]$	%0,39	%0,43	%0,32	%0,55

Su buharından kaynaklanan belirsizlik belirsizliği tespit edebilmek için ilk değerlendirmelerde alt ve üst limit aralığı ($0,5 \text{ g/cm}^2$ ve $3,0 \text{ g/cm}^2$) geniş tutulmuştur. NASA'nın sağladığı kalibreli veriler temin edildikten sonra bu limitler değiştirilmiştir ve arazi çalışmasının gerçekleştirildiği gün boyunca kaydedilen en düşük ve en yüksek değerler belirsizlik hesaplamalarında kullanılmıştır. En düşük 1,8 ve en yüksek 2,0 değerleri 6S'e girdi olarak verildiğinde oldukça düşük bir belirsizlik oranı elde edilmektedir (Tablo 3.42).

Tablo 3.42. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 İyileştirme Belirsizlik Analizi, su buharı ölçümünden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
GK2, AÜY-1 (Göktürk-2 için Su Buharı = 1,9 olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5662	0,5456	0,5412	0,5631
GK2, AÜY-2 (Göktürk-2 için Su Buharı = 1,8 olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5668	0,5457	0,5412	0,5640
GK2, AÜY-3 (Göktürk-2 için Su Buharı = 2,0 olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5657	0,5457	0,5412	0,5622
L8, AÜY-4 (Landsat 8 için Su Buharı = 1,9 olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5906	0,5542	0,5543	0,5984
L8, AÜY-5 (Landsat 8 için Su Buharı = 1,8 olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5909	0,5543	0,5543	0,5985
L8, AÜY-6 (Landsat 8 için Su Buharı = 2,0 olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5904	0,5541	0,5543	0,5984
SBAF1 (AÜY-1/ AÜY-4)	0,9587	0,9845	0,9764	0,9410
SBAF2 (AÜY-2/ AÜY-5)	0,9592	0,9845	0,9764	0,9424
SBAF3 (AÜY-3/ AÜY-6)	0,9582	0,9848	0,9764	0,9395
Belirsizlik-1 $K1 = [1 - \text{SBAF2/SBAF1}]$	%0,06	%0,00	%0,00	%0,14
Belirsizlik-2 $K2 = [1 - \text{SBAF3/SBAF1}]$	%0,05	%0,04	%0,00	%0,16
Ölçüm Belirsizliği $[(K1 + K2) / 2]$	%0,05	%0,02	%0,00	%0,15

Atmosferik koşul seçiminden kaynaklanan belirsizlik analizinde kullanılan seçenekler değiştirilmemiştir. Diğer tüm hesaplamalarda olduğu gibi güncellenen AOD değeri ile “Atmosferik Koşul” seçenekleri değiştirilerek belirsizlik hesaplamaları

gerçekleştirilmiştir. AOD değerinde yapılan güncelleme AÜY ve SBAF değerlerini değiştirmesine rağmen belirsizlik oranı sabit kalmıştır (Tablo 3.43).

Tablo 3.43. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 İyileştirme Belirsizlik Analizi, atmosferik koşul seçiminden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
GK2, AÜY-1 (Göktürk-2 için “Atmosferik Koşul = user” olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5645	0,5436	0,5391	0,5615
GK2, AÜY-2 (Göktürk-2 için “Atmosferik Koşul = Midlatitude Summer” olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5574	0,5397	0,5383	0,5537
GK2, AÜY-3 (Göktürk-2 için “Atmosferik Koşul = US62” olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5632	0,5392	0,5377	0,5659
L8, AÜY-4 (Landsat 8 için “Atmosferik Koşul = user” olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5885	0,5518	0,5516	0,5964
L8, AÜY-5 (Landsat için “Atmosferik Koşul = Midlatitude Summer” olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5843	0,5475	0,5510	0,5959
L8, AÜY-6 (Landsat için “Atmosferik Koşul = US62” olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5853	0,5459	0,5504	0,5967
SBAF1 (AÜY-1/ AÜY-4)	0,959	0,985	0,977	0,941
SBAF2 (AÜY-2/ AÜY-5)	0,954	0,986	0,977	0,929
SBAF3 (AÜY-3/ AÜY-6)	0,962	0,988	0,977	0,948
Belirsizlik-1 $K1 = [1-SBAF2/SBAF1]$	0,005	0,001	0,000	0,013
Belirsizlik-2 $K2 = [1-SBAF3/SBAF1]$	0,003	0,003	0,000	0,007
Ölçüm Belirsizliği $K = [(K1 + K2) / 2]$	%0,78	%0,16	%0,02	%0,36

Uydunun ve Güneşin başucu ve azimut açılarından kaynaklanan belirsizliği hesaplamak için iyileştirme çalışmaları kapsamında C1 ve C2 senaryoları değiştirilmemiştir ancak AOD değeri değiştirilerek yeniden hesaplama yapılmıştır. Yeni AOD değerleri ile hesaplamalar yapıldığında kırmızı bandın belirsizlik oranında %0,04’ten %0,03’e bir düşüş gözlenirken, yeşil bantta ise %0,05’ten %0,07’ye bir artış olmuştur (Tablo 3.44).

Tablo 3.44. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 İyileştirme Belirsizlik Analizi, gözlem geometrisinden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
AÜI-1 (Göktürk-2 için “Geometrik Koşul = C1” olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5645	0,5436	0,5391	0,5615
AÜI-2 (Göktürk-2 için “Geometrik Koşul = C2” olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5654	0,5444	0,5397	0,5621
AÜY-3 (Landsat 8 için “Geometrik Koşul = C1” olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5885	0,5518	0,5516	0,5964
AÜY-4 (Landsat 8 için “Geometrik Koşul = C2” olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5896	0,5530	0,5523	0,5971
SBAF1 (AÜY-1/AÜY-3)	0,9592	0,9851	0,9773	0,9415
SBAF2 (AÜY-2/AÜY-4)	0,9590	0,9844	0,9772	0,9414
Ölçüm Belirsizliği $K = (1 - SBAF2/SBAF1)$	%0,03	%0,07	%0,02	%0,01

3.1.6.1. ÇRK-1 iyileştirme, toplam belirsizlik

Çapraz radyometrik kalibrasyon çalışması için toplam 10 adet belirsizliğe neden olabilecek madde incelenmiştir. Toplam belirsizliği azaltmak üzere yeniden hesaplamalar yapılarak; Yersel Ölçümler, Aerosol Optik Derinliği ve Su Buharı maddelerinde iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir. Yeniden değerlendirilen toplam belirsizlik aşağıdaki tabloda (Tablo 3.45) verilmiştir.

Tablo 3.45. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 İyileştirme, toplam belirsizlik

Belirsizlik Kaynağı	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
Yersel Ölçümler	%0,00 ↓	%0,21 ↓	%0,03 ↓	%0,18 ↓
Esun kaynaklı belirsizlik	%1,00	%1,00	%1,00	%1,00
Aerosol Optik Derinliği	%0,08 ↓	%0,16 ↓	%0,13 ↓	%0,08 ↓
Atmosferik Model	%0,78	%0,16	%0,02	%0,36
Aerosol Type	%0,33	%0,36	%0,25	%0,49
Su buharı	%0,05↓	%0,02↓	%0,00	%0,15↓
Gözlem Geometrisi	%0,03	%0,07	%0,02↓	%0,01
6S Benzetim Modeli	%1,00	%1,00	%1,00	%1,00
Benek Değeri - GK2	%0,28	%0,36	%0,35	%0,49
Benek Değeri - L8	%0,66	%0,56	%0,71	%0,61
Toplam Belirsizlik	%2,04	%2,00	%2,09	%1,97

İyileştirme çalışmaları ile tüm bantlar için hesaplanan toplam belirsizlik oranı ile iyileştirme yapılmadan evvelki oranlar incelendiğinde yüzde farkın 30-40 aralığında olduğu görülmektedir (Tablo 3.46).

Tablo 3.46. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 İyileştirme Belirsizlik Analizi ile iyileştirme yapılmadan önceki toplam belirsizlik yüzdeleri arasındaki fark

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
Toplam Belirsizlik (U)	%2,97	%3,05	%3,31	%3,42
İyileştirilmiş Toplam Belirsizlik (X)	%2,04	%2,00	%2,09	%1,97
Yüzde Fark (1-X/U)	31,31	34,43	36,86	42,40

3.1.6.2. ÇRK-1, bulgular

Arazi Çalışması-1, çapraz radyometrik kalibrasyon çalışmaları kapsamında yersel yansıtımdan kaynaklanan belirsizliği belirleyebilmek için en düşük ve en yüksek yansıtım özelliği gösteren tayfsal imzalar kullanılmıştır. Kullanılan söz konusu imzaların, referans ve kalibrasyonu yapılacak olan uyduların tayfsal bantlarının arasındaki farklılıkları kompanse edebilmek için hesaplanan SBAF üzerindeki etkileri hesaplanmıştır. Yersel yansıtımlardan kaynaklanan belirsizlik tüm bantlar için %0,50'nin altındadır. İyileştirme çalışmalarının ardından yapılan çalışmalarda ise bu oran tüm bantlar için %0,20'nin altında yüzdeler hesaplanmıştır.

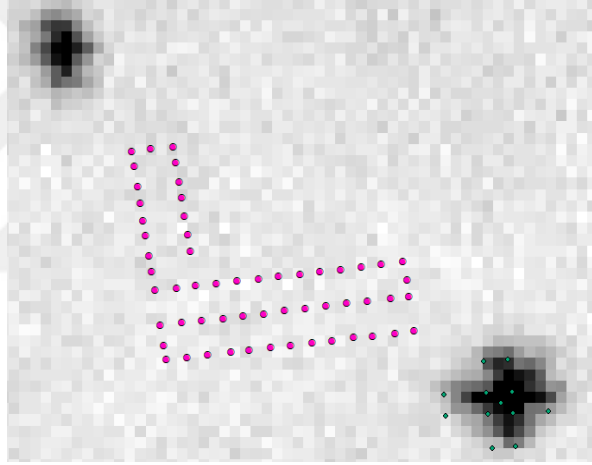
Aerosol Optik Derinliğinden kaynaklanan belirsizlik oranları ilk çalışmalar kapsamında bütün bantlar için %3'ün altında hesaplanmıştır. AOD verilerinin, web sitesinden "kalite garantili" olarak ifade edilen dosyasının indirilmesinin akabinde iyileştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Göktürk-2 ve Landsat 8 uydusunun geçiş sürelerinin birbirlerine yakın olması sebebiyle, AOD için toplam belirsizlik tüm bantlarda %0,20'nin altında hesaplanmıştır. En fazla belirsizliği %0,20 oranıyla ile yeşil bant göstermektedir.

Atmosferik koşul parametresinden kaynaklanan belirsizlik tüm bantlar için %1'in altındadır. AOD değerlerinin değiştirilmesi ile yeniden hesaplanan atmosferik koşullardan kaynaklanan belirsizlik oranı tüm bantlar için sonucu değiştirmemiştir.

Gözlem geometrisinden kaynaklanan belirsizliğin SBAF üzerindeki etkisini değerlendirmek için yapılan hesaplamalarda Güneşin ve uydunun başucu açılarının verilen aralıklarda değiştirilmesinin ölçüm belirsizliğini etkilemediği görülmüştür.

3.2. Arazi Çalışması-2

13 Eylül 2017 tarihinde gerçekleştirilen arazi çalışmasında da 30 Ağustos 2017 tarihinde kullanılan ölçüm alanı seçilmiştir. Ölçüm alanının sağ alt tarafına 30 Ağustos 2017 tarihinde serilen yer belirteçlerine ek olarak, ölçüm alanının sol üst kısmına da yer belirteçleri serilmiştir. Zaman kısıtı ve yer belirteçlerinin ölçüm alanına taşınmasında yaşanan zorluklar nedeniyle, sonradan serilen yer belirteci ilk serilen yer belirteci göre en ve boy olarak ilk belirtecin yaklaşık yarısı olacak şekilde serilebilmiştir. Arazi Çalışması-2 kapsamında Göktürk-2 uydu geçişinin öncesinde ve sonrasında ölçüm alanından 57’şer adet yersel imza toplanmıştır. Rüzgârın etkisiyle kum taneciklerinin tuz oyuklarına dolması sebebiyle bazı yerlerin ölçüm yapmaya müsait olmaması sebebiyle “L” şeklinde bir ölçüm rotası oluşturulmuştur (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Arazi Çalışması-2 kapsamında bayraklama çalışması yapılarak işaretlenen ölçüm noktalarının pankromatik bant üzerinde gösterimi (piksel boyutu 2,5 metredir)

Uydu geçişi öncesinde gerçekleştirilen ölçümler saat 10:30’da başlamıştır ve 8 dk. içerisinde 57 adet ölçüm alınarak uydu geçişi esnasında alanda bulunmamak adına yer belirteçlerinin yanına gidilmiştir (Tablo 3.47).

Tablo 3.47. Arazi Çalışması-2, uydu geçişleri ve yersel veri toplama detayları

13.09.2017 – Arazi Kampanyası	Zaman	Yersel Veri Sayısı	Sıklık
Geçiş Öncesi-Yersel Veri Toplama	10:30-10:38	57	Her 5 metrede 1
Göktürk-2 Geçiş	10:42	-	
Geçiş Sonrası-Yersel Veri Toplama	10:53-11:04	57	Her 5 metrede 1

Uydu geçişi sonrasındaki yersel veri toplanmasına teknik problemler nedeniyle geçişten hemen sonra başlanılamamıştır. Bu nedenle geçişe en yakın zamanda alınan ölçüm seti olan geçiş öncesi toplanan imzalardan oluşan veri seti kullanılmıştır. Ölçümler alınırken her noktada yaklaşık 5 sn. kadar beklenmiştir ve her 5 ölçümde bir spektralondan (beyaz referans yüzey) ölçüm alınarak kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

3.2.1. Mutlak radyometrik kalibrasyon-2 (MRK-2), veri işleme çalışmaları

Tuz Gölü’nden toplanan yersel ve atmosferik veriler ile gözlem geometrisine ait veriler her bant için Tablo 3.48’deki gibi “input” kartları oluşturulmak üzere kullanılmıştır. Arazi Çalışması-1 kapsamında ayrıntılı olarak anlatıldığı gibi belirsizlik analizi için, belirsizliğe sebep olan ilgili parametre diğer parametreler sabit tutulmak suretiyle değiştirilmektedir.

Tablo 3.48. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-2, Veri İşleme Çalışması kapsamında 6S Benzetim Modeli’nde (GK-2 Mavi Bant) kullanılan değerler ve açıklamaları

Kullanılan Değer	Açıklama
0	Gözlem Geometrisi (Tanımlı olmayan-Diğer)
44,37 (°)	Güneşin Lokal Başucu Açısı
134,73 (°)	Güneşin Lokal Azimut Açısı
2,39 (°)	Uydunun Başucu Açısı
122,85 (°)	Uydunun Azimut Açısı
13	Gün
9	Ay
1,15	Su Buharı Değeri (gr/cm ²)
0,29	Ozon Değeri (cm-atm)
1	Aerosol Model - Karasal Model Opsiyonu
0	Aerosol Optik Derinliği Opsiyonu
0,1913	Aerosol Optik Derinliği Değeri
-0,907 (-km)	Hedefin Deniz Seviyesinden Yüksekliği (-km)
-1000 (-km)	Uydudaki Algılayıcı > 100 km
1	2,5 nm Aralıklılarla Hesaplama Opsiyonu
0,430 0,570	Göktürk-2 Kırmızı Bant Aralığı
GK2_blue.dat	Kırmızı Bant Bağlı Tayfsal Tepki (BTT)
0	Homojen Kalibrasyon Alanı
0	BRDF Etkisi
0	Yersel Veri Opsiyonu
0,5641	Ağırlıklandırılmış Yersel Yansıtım Ortalaması
-1,0	Atmosferik Düzeltme Opsiyonu

Tablo 3.49 ile Göktürk-2 uydusunun Arazi Çalışması-2 kapsamında mutlak radyometrik kalibrasyon ile hesaplanmış kazanç değerleri verilmiştir. Arazi Çalışması-1'den farklı olarak bu çalışmada kazanç değerleri Türkiye için yaz aylarında kullanılan bant kombinasyonu olan kazanç modu ile çekilmiştir. Pankromatik, kırmızı, yeşil, mavi ve yakın kızıl ötesi bantlar sırasıyla 4, 2, 8, 6, 2 kazanç modu ile çekilmiştir.

Tablo 3.49. Arazi Çalışması-2 kapsamında hesaplanan kalibrasyon ile ilgili parametreler

Göktürk-2 Tayfsal Bantları	Ortalama Benek Değeri	Ortalama AÜİ	Kazanç Modu	Kazanç
Pankromatik Bant	1213	207,495	4	0,1711
Kırmızı Bant	1517	191,743	2	0,1264
Yeşil Bant	1467	218,077	8	0,1487
Mavi Bant	2038	227,925	6	0,1118
Yakın Kızıl Ötesi Bant	1295	136,828	2	0,1057

3.2.2. MRK-2, belirsizlik analizi

30 Ağustos 2017 tarihinde gerçekleştirilen Arazi Çalışması-1 kapsamında ayrıntılı olarak aktarılan belirsizlik analizi için yapılan hesaplamalar bu kısımda Arazi Çalışması-2 için de uygulanacaktır.

3.2.2.1. MRK-2, yersel yansıtım verilerinden kaynaklanan belirsizlik

Arazi Çalışması-2 kapsamında 57 adet yersel imza toplanmıştır ancak minimum yansıtım özelliği gösteren imza ile maksimum yansıtım özelliği gösteren imza arasında %25 oranında fark olması sebebiyle yersel veri setinde elemeler yapılmıştır. Ortalama tayfsal imzaya en yakın imzalar standart sapma hesabı yapılarak ölçüm alanının karakteristiğini yansıtacak 32 tayfsal imza ile analizler gerçekleştirilmiştir. Tablo 3.50 ile yersel veri ile ilgili istatistiki bilgiler yer almaktadır.

Tablo 3.50. Arazi Çalışması-2, yersel veriye ait özellikler

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ	PAN
Merkez Dalgaboyu (nm)	668,779	556,856	482,979	822,282	596,372
Bant Aralığı (nm)	570 - 770	470 - 750	430 - 570	720 - 920	430 - 780
Homojen Ağırlıklandırılmış Yersel Yansıtım Ortalaması (AYYO)	0,6251	0,5926	0,5641	0,6154	0,6029
Standart Sapma (SS)	0,0144	0,0142	0,0139	0,0148	0,0142
Bağıl Standart Sapma (BSS) (BSS = SS/AYYO)	0,023	0,024	0,025	0,024	0,024

Belirsizlik kaynaklarından en önemlisi olan yersel yansıtım ölçümlerinden kaynaklanan belirsizlik hesaplamalarında kullanılan veriler Tablo 3.51’de verildiği gibidir. Kazanç değerini hesaplamak için gerekli olan AÜİ değeri maksimum ve minimum AYYO değerleri verilerek hesaplanmıştır. Elde edilen AÜİ-maks ve AÜİ-min değerlerinden kaynaklanan belirsizliğin ortalaması alınarak yersel yansıtım ölçümlerinden kaynaklanan toplam ölçüm belirsizliği elde edilmiştir.

Tablo 3.51. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi, yersel yansıtım ölçümlerinden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ	PAN
Ağırlıklandırılmış Yersel Yansıtım Ortalaması (AYYO)	0,6251	0,5926	0,5641	0,6154	0,6029
SS (Standart Sapma)	0,0144	0,0142	0,0139	0,0148	0,0142
AYYO-Min (AYYO+SS)	0,6106	0,5783	0,5502	0,6006	0,5886
AYYO-Maks (AYYO-SS)	0,6395	0,6068	0,5780	0,6302	0,6171
AYYO, AÜİ	191,743	218,077	227,925	136,828	207,495
AÜİ-min	187,147	212,938	222,676	133,521	202,674
AÜİ-maks	196,027	223,197	233,199	140,141	212,299
Belirsizlik-1 $K1 = [1 - (AÜİ-min) / (AÜİ)]$	0,024	0,024	0,023	0,024	0,023
Belirsizlik-2 $K2 = [1 - (AÜİ-maks) / (AÜİ)]$	0,022	0,023	0,023	0,024	0,023
Ölçüm Belirsizliği $K = [(K1 + K2) / 2]$	%2,32	%2,35	%2,31	%2,42	%2,32

3.2.2.2. MRK-2, aerosol optik derinliği ölçümlerinden kaynaklanan belirsizlik

Arazi Çalışması-2’nin yapıldığı gün Göktürk-2 uydusu çalışma alanının üzerinden saat 10:42’de (UTC+3) geçmiştir. Güneş fotometresi de aynı gün 7 ila 10 dk. aralıklarla çalışma için gerekli olan AOD, su buharı ve ozon değerlerinin ölçümlerini almıştır. Uydu geçişine en yakın saat olan 07:43’teki (UTC) AOD değerleri kazanç değerini hesaplamak için kullanılırken geçiş en yakın saatte (07:28 (UTC), 07:51 (UTC)) alınan ölçümler ise belirsizlik analizi için kullanılmıştır. Tablo 3.52 ile geçiş saatine en yakın zamanda alınan ölçümlerin listesi verilmiştir.

Tablo 3.52. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi, Seviye-2 AOD ölçümleri

Tarih	13.09.2017		
Saat (UTC)	07:28:29	07:43:30	07:51:53
Yılın Günü	242	242	242
AOD_1640nm	0,1366	0,1336	0,1346
AOD_1020nm	0,1492	0,1468	0,1462
AOD_870nm	0,1602	0,1592	0,1582
AOD_675nm	0,1737	0,1717	0,1708
AOD_550nm	0,1938	0,1913	0,1903
AOD_500nm	0,2018	0,1991	0,1981
AOD_440nm	0,2156	0,2124	0,2113
AOD_380nm	0,2407	0,2383	0,2370
AOD_340nm	0,2442	0,2416	0,2397
Su Buharı (gr/cm ²)	1,15	1,15	1,15
Ozon (Dobson)	290	290	290

6S Benzetim Modeli'ne girdi olarak sağlanan AOD değeri dışındaki tüm değerler sabit tutularak, AOD'nin atmosfer üstü ışınlılık hesaplamalarındaki etkileri Tablo 3.53 ile verilmiştir.

Tablo 3.53. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi, AOD ölçümünden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ	PAN
AÜI-1 (AOD1: 0,1913)	191,743	218,077	227,925	136,828	207,495
AÜI-2 (AOD2: 0,1938)	191,471	217,907	227,734	136,745	207,340
AÜI-3 (AOD3: 0,1903)	191,647	218,144	228,001	136,862	207,557
Belirsizlik-1 $K1 = [1 - (AÜI-2)/(AÜI-1)]$	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Belirsizlik-2 $K2 = [1 - (AÜI-3)/(AÜI-1)]$	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Ölçüm Belirsizliği $K = [(K1 + K2) / 2]$	%0,10	%0,05	%0,06	%0,04	%0,05

3.2.2.3. MRK-2, aerosol model seçiminden kaynaklanan belirsizlik

Aerosol model seçiminden kaynaklanan belirsizliği hesaplamak için mevcut modeller arasından Tuz Gölü için “karasal” model tanımlanmıştır. Belirsizlik analizi içinse “çöl” modeli seçilerek her bant için atmosfer üstü ışınlılık değerleri hesaplanmıştır (Tablo 3.54).

Tablo 3.54. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi, aerosol model seçiminden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ	PAN
AÜI-1 (Continental)	191,743	218,077	227,925	136,828	207,495
AÜI-2 (Desertic)	194,79	222,267	232,759	140	211,403
Ölçüm Belirsizliği (K) $K = [1 - (AÜI-2)/(AÜI-1)]$	%1,59	%1,92	%2,12	%2,03	%1,88

3.2.2.4. MRK-2, su buharı ölçümünden kaynaklanan belirsizlik

Aerosol Optik Derinliği değerinde olduğu gibi su buharı değeri de 7 ila 10 dk arasında değişen aralıklarla ölçülmektedir. Ölçülen ardışık su buharı değerlerinin arasındaki fark %2'den daha azdır. 6S Benzetim Modeli'ne girdi olarak verildiğinde her bant için atmosfer üstü yansıtım değerlerinde artış/azalış gözlenmemiştir. Bu nedenle ölçüm belirsizliği “0” olarak kabul edilecektir.

3.2.2.5. MRK-2, atmosferik koşul seçiminden kaynaklanan belirsizlik

Atmosferik koşul seçiminden kaynaklanan belirsizlikte su buharı ve ozon değerlerinin “Midlatitude” ve “US62” seçimine bağlı olarak sabit olarak atanan değerler neticesinde her banda ait AÜI değerleri ölçülmüştür. “User” koşulunun seçilmesiyle hesaplanan AÜI ile yüzde farkları alınarak ölçüm belirsizliği hesaplanmıştır (Tablo 3.55).

Tablo 3.55. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi, atmosferik koşul seçiminden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ	PAN
AÜI-1 (User)	191,743	218,077	227,925	136,828	207,495
AÜI-2 (Midlatitude Summer)	188,475	216,048	227,599	133,089	205,738
AÜI-3 (US62)	190,471	215,816	227,309	136,060	206,547
Belirsizlik-1 (K1) $K1 = [1 - (AÜI-2)/(AÜI-1)]$	0,017	0,009	0,001	0,027	0,008
Belirsizlik-2 (K2) $K2 = [1 - (AÜI-3)/(AÜI-1)]$	0,011	0,001	0,001	0,022	0,004
Ölçüm Belirsizliği $K = [(K1 + K2) / 2]$	%1,38	%0,52	%0,14	%2,48	%0,62

3.2.2.6. MRK-2, gözlem geometrisinden kaynaklanan belirsizlik

Göktürk-2 uydusunun geçişi esnasındaki gözlem geometrisi Tablo 3.56'da yer alan “C1” satırında verildiği gibidir. Azimut açılarında yapılan değişiklikler AÜI sonuçlarını

etkilemediği için başucu açısı değerlerinde değişiklikler yapılarak, ölçüm belirsizliği hesaplanmıştır. Bu çalışma kapsamında uydu geçişine daha yakın bir zamanda alınmış olması nedeniyle uydu geçişi öncesinde alınan veriler bu çalışma kapsamında kullanılmıştır. Saat 10:42'deki uydu geçişinden 12 dakika önce veri toplanmaya başlanmıştır. Bu nedenle belirsizlik analizi yapılırken C2 senaryosu için analiz yapılırken saat 10:30'daki Güneşin başucu açısı kullanılmıştır (Tablo 3.57).

Tablo 3.56. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi, geometrik koşullardan kaynaklanan belirsizlikler için tanımlanan değişkenler

	Güneşin Başucu Açısı	Güneşin Azimut Açısı	Uydunun Başucu Açısı	Uydunun Azimut Açısı
C1	44,37	134,73	2,93	257,58
C2	46	134,73	2,93	257,58
C3	44,37	134,73	3,13	257,58

Tablo 3.57. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi, geometrik koşullardan kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ	PAN
AÜI-1 (C1)	191,743	218,077	227,925	136,828	207,495
AÜI-2 (C2)	185,576	211,144	220,791	132,655	200,945
AÜI-3 (C3)	191,558	218,059	227,898	136,825	207,480
Belirsizlik-1 $K1 = [1 - (AÜI-2)/(AÜI-1)]$	0,032	0,032	0,031	0,030	0,032
Belirsizlik-2 $K2 = [1 - (AÜI-3)/(AÜI-1)]$	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001
Ölçüm Belirsizliği $K = [(K1 + K2) / 2]$	%1,66	%1,59	%1,57	%1,53	%1,58

3.2.2.7. MRK-2, kalibrasyonu yapılacak olan görüntünün benek değerinden kaynaklanan belirsizlik

Kazanç değeri hesaplanacak olan ilgili bandın benek değeri tarpolinlerin serili olması sebebiyle kolaylıkla tespit edilebilmiştir. Ölçüm belirsizliği ise ölçüm alanının içerisinde kalan benek değerleri dahil edilerek BD2 ve BD3 ihtimalleri ile hesaplanmıştır (Tablo 3.58).

Tablo 3.58. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi, benek değerlerinden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ	PAN
BD1	1517	1467	2038	1295	1213
BD2	1514	1464	2035	1293	1210
BD3	1519	1469	2040	1298	1216
$K1 = [1-BD2/BD1]$	0,0020	0,0020	0,0015	0,0015	0,0025
$K2 = [1-BD3/BD1]$	0,0013	0,0014	0,0010	0,0023	0,0025
Ölçüm Belirsizliği $K = (K1^2 + K2^2)^{1/2}$	%0,24	%0,25	%0,18	%0,28	%0,35

3.2.2.8. MRK-2, toplam belirsizlik

Arazi Çalışmaları-2 kapsamında hesaplanan toplam belirsizlik Tablo 3.59 ile verilmiştir. Toplam belirsizlik kırmızı, yeşil, mavi ve yakın kızıl ötesi için %4'ün altındayken, yakın kızıl ötesi için %4,50 civarındadır.

Tablo 3.59. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-2, toplam belirsizlik

Belirsizlik Kaynağı	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ	PAN
<i>Yersel Ölçümler</i>	%2,32	%2,35	%2,31	%2,42	%2,32
<i>Cihaz Kaynaklı Belirsizlik</i>	%1,00	%0,98	%0,93	%1,00	%1,00
<i>Aerosol Optik Derinliği</i>	%0,10	%0,05	%0,06	%0,04	%0,05
<i>Atmosferik Koşul</i>	%1,38	%0,52	%0,14	%2,48	%0,62
<i>Aerosol Model</i>	%1,59	%1,92	%2,12	%2,03	%1,88
<i>Su Buharı</i>	%0,00	%0,00	%0,00	%0,00	%0,00
<i>Gözlem Geometrisi</i>	%1,66	%1,59	%1,57	%1,53	%1,58
<i>6S Benzetim Modeli</i>	%1,00	%1,00	%1,00	%1,00	%1,00
<i>Benek Değeri</i>	%0,24	%0,25	%0,18	%0,28	%0,35
Toplam Belirsizlik	%3,82	%3,75	%3,79	%4,53	%3,73

3.2.2.9. MRK-2, bulgular

Arazi Çalışması-2 kapsamında gerçekleştirilen belirsizlik analizi çalışmalarında toplam belirsizlik yüzdesine en fazla katkısı olan parametrenin yersel ölçümlerden kaynaklanan belirsizlik olduğu görülmektedir. Bütün bantlar için yersel ölçümlerden kaynaklanan belirsizlik %2,30 civarındadır. Bu durumdan, alanın Arazi Çalışması-1'deki yüzey özelliklerinin daha az homojen olma özelliği gösterdiği değerlendirilebilir.

Cihazdan kaynaklanan belirsizlik Arazi Çalışması-1 kapsamında hesaplandığı için bu bölümde tekrar yer verilmemiştir ve %1 olarak kabul edilmiştir.

Uydu geçişinin öncesinde ve sonrasında alınan ölçümler belirsizlik analizinde kullanılmıştır. 23 dakika içerisinde alınan üç AOD ölçümünden kaynaklanan belirsizlik tüm bantlar için %0,1'in altındadır.

Aerosol Modeli seçiminden kaynaklanan belirsizlik ise toplam belirsizlik bütçesine etki eden ikinci en yüksek yüzdelere sahiptir. Karasal model ile çöl modeli seçimi yapılarak hesaplanan AÜİ değerleri arasındaki fark tüm bantlar için %2 civarında belirsizliğe neden olmaktadır.

Atmosferik koşul seçiminden kaynaklanan belirsizlik ise en düşük mavi bantta en yüksek yakın kızıl ötesi bantta etki gösterdiği tespit edilmiştir. Ölçülen su buharı 1,15 iken “Midlatitude Summer” seçilmesiyle otomatik olarak gelen değer 2,93 iken US62'nin seçilmesiyle otomatik olarak gelen değer 1,42'dir. Özellikle “Midlatitude Summer” ile atanan su buharı değeri ölçülen değer iki katı kadardır. Bu nedenle su soğurma bantlarına yakın olan yakın kızıl ötesi bant en fazla belirsizlik oranını verdiği değerlendirilmektedir.

Güneşin ve uydunun bakış açısından kaynaklanan belirsizlikler hesaplandığında ise tüm bantlar için toplam ölçüm belirsizliği %1,6 civarındadır. Bu duruma uydunun geçiş saatindeki Güneşin başucu açısıyla ölçümün yapıldığı saatteki Güneşin başucu açısındaki fark neden olmaktadır.

Benek değerinden kaynaklanan belirsizlik oranı ise her bant için %0,35'in altındadır. Mavi ve yeşil bantlarda olduğu gibi yüksek kazanç modu ile çekilen görüntülerin benek değerleri Tuz Gölü yansıtım değeri yüksek alanlarda saturasyona uğrayarak sabit bir değer verebilmektedir. Bu çalışmada bu bantların sature olmadığı değerlendirilmektedir.

3.2.3. Çapraz radyometrik kalibrasyon-2 (ÇRK-2), veri işleme çalışmaları

Arazi Çalışması-2 kapsamında, Göktürk-2'nin çapraz radyometrik kalibrasyonunu gerçekleştirmek için Sentinel-2A kullanılmıştır. Arazi Çalışması-1'den farklı olarak hedef uydu ve referans uydu aynı tarihte görüntü alamamıştır. Bu nedenle Sentinel-2A'nın aldığı en yakın tarihli (14 Eylül 2017) görüntü kullanılmıştır (Tablo 3.60).

Tablo 3.60. *Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-2, Veri İşleme Çalışmaları kapsamında kullanılan yersel, atmosferik ve uydu verilerinin özellikleri*

Algılayıcı	GK-2	S2A
Tarih	13.09.2017	14.09.2017
GBA (°)	44,37	37
GAA (°)	134,73	158
UBA (°)	2,93	7,5
UAA (°)	257,58	284,723
Su Buharı (g/cm ²)	1,15	
Ozon (cm-atm)	0,29	
Aerosol Model	Karasal Model	
AOD	0,1913	0,1854
Rakım (km)	0,907	

Referans olarak kullanılan Sentinel-2A Uydusu'nun görüntüleri ile hedef uydu olan Göktürk-2 Uydusu'nun çapraz radyometrik kalibrasyonundan izlenen yöntem Bölüm 3.1.4 ile ayrıntılı olarak verilmiştir. Özetlemek gerekirse 6S Benzetim Modeli ile her iki algılayıcı için atmosfer üstü yansıtım değerleri hesaplanmaktadır. Elde edilen bu yansıtım değerlerinden bantlar arasındaki BTT'yi gidermek için SBAF katsayısı çıkarılmaktadır. Kalibrasyonundan emin olunan referans algılayıcının ölçtüğü (uydu seviyesinden) atmosfer üstü yansıtım değeri ile SBAF çarpılarak hedef algılayıcının tahmin edilen atmosfer üstü yansıtım değeri bulunur. Atmosfer üstü yansıtım değerini atmosfer üstü ışınlılık değerine dönüştüren eşitlik ile hedef algılayıcının tahmin edilen atmosfer üstü ışınlılık değeri bulunur. Bu eşitliği kullanabilmek için güneşten gelen aydınlanma/ışınım (Esun) değerinin ve güneşin dikey ile yaptığı açının bilinmesi gerekmektedir. Çapraz radyometrik kalibrasyon yöntemi ile hesaplanan kazanç değerleri ve bu değerleri mutlak radyometrik kalibrasyon yöntemi ile hesaplanan kazanç değerleri ile karşılaştırılması Tablo 3.61 ile gösterilmiştir.

Tablo 3.61. Arazi Çalışması-2, çapraz radyometrik kalibrasyon yöntemi ile kazanç katsayısının hesaplanması

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
S2A_AÜY (c) (Sentinel-2A'nın atmosfer üstü yansıtım görüntüsünden alınan değer)	0,5559	0,4956	0,4831	0,5495
GK2_6S_AÜY (a) (Göktürk-2 için 6S Benzetim Modeli ile hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5518	0,5248	0,5175	0,5546
S2A_6S_AÜY (b) (Sentinel 2A-için 6S Benzetim Modeli ile hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5757	0,5311	0,5249	0,5602
SBAF_k (x) ($x=a/b$)	0,9585	0,9881	0,9859	0,9900
GK2_SBAF_AÜY (c*x)	0,5328	0,4897	0,4763	0,5440
GK2_Esun	1514	1809	1959	1069
Göktürk-2, Güneşin Başucu Açısı	44,37	44,37	44,37	44,37
GK2_SBAF_AÜI	183,56	201,58	212,31	132,32
GK2_BD (Göktürk-2 Benek Değeri)	1517	1467	2038	1295
GK2_Kazanç1 ($GK2_Kazanç1 = GK2_SBAF_AÜI / GK2_BD$) (Çapraz Kalibrasyon ile elde edilen kazanç)	0,1210	0,1374	0,1042	0,1022
GK2_Kazanç2 (Mutlak Kalibrasyon ile elde edilen kazanç)	0,1264	0,1487	0,1118	0,1057
Kazanç1 ve Kazanç2 Karşılaştırması	%4,27	%7,57	%6,85	%3,29

3.2.4. ÇRK-2, belirsizlik analizi

Çalışmanın bu bölümünde çapraz radyometrik çalışması ile hesaplanan kazanç değerinin ölçüm belirsizliğine neden olabilecek kaynaklar tablolar aracılığıyla anlatılmaktadır.

3.2.4.1. ÇRK-2, yersel yansıtım verilerinden kaynaklanan belirsizlik

Çapraz Radyometrik Kalibrasyon Belirsizlik Analizi – 1 başlığı altında kapsamlı bir şekilde anlatılan yersel yansıtımdan kaynaklı belirsizlik analizinde minimum ve maksimum AYYO değerleri kullanılarak atmosfer üstü yansıtım değerleri hesaplanmıştır. Her iki uydu için elde edilen elde edilen AÜY değerlerinden ilgili bantlar arasındaki farklılığı kompanse edebilmek için SBAF1 ve SBAF2 katsayıları elde edilmiştir. Tablo 3.62'de gösterildiği gibi hesaplanan katsayılardan yersel yansıtım verilerinden kaynaklanan belirsizlik oranı bulunmuştur.

Tablo 3.62. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi, yersel yansıtımdan kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
GK2 –AÜYmin (Göktürk-2 için tayfsal imzalardan en az yansıtım özelliği gösteren imza ile hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5290	0,5015	0,4944	0,5321
GK2–AÜYmaks (Göktürk-2 için tayfsal imzalardan en fazla yansıtım özelliği gösteren imza ile hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5784	0,5491	0,5407	0,5832
S2A-AÜYmin (Sentinel-2A için tayfsal imzalardan en az yansıtım özelliği gösteren imza ile hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5514	0,5071	0,5008	0,5372
S2A-AÜYmaks (Sentinel-2A için tayfsal imzalardan en fazla yansıtım özelliği gösteren imza ile hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,6034	0,5554	0,5490	0,5892
SBAF1 (GK2 –AÜYmin / L8-AÜYmin)	0,9594	0,9890	0,9872	0,9905
SBAF2 (GK2–AÜYmaks / L8-AÜYmaks)	0,9586	0,9887	0,9849	0,9898
Ölçüm Belirsizliği $K = [(1- SBAF2/SBAF1)]$	%0,08	%0,03	%0,24	%0,07

3.2.4.2. ÇRK-2, aerosol optik derinliği ölçümlerinden kaynaklanan belirsizlik

Sentinel-2A'nın geçtiği tarihte cihaz Tuz Gölü arazisinde bulunmadığı için ilgili tarihte AOD ölçümü alınamamıştır. AÜY-2 hesaplamak için gerekli olan AOD değeri için bir gün önce aynı saatte ölçülmüş AOD değeri kullanılmıştır. Yani 13 Eylül 2017'de saat 08:48'deki (UTC) AOD değeri kullanılarak AÜY-2 hesaplanmıştır. AÜY-3'ü hesaplamak için aynı tarihteki AOD listesindeki en düşük değer 6S Benzetim Modeli'ne girdi olarak sağlanmıştır (Tablo 3.63).

Tablo 3.63. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi, AOD ölçümünden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
GK2, AÜY-1 (Göktürk-2 için AOD1= 0,1913 ile hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5518	0,5248	0,5175	0,5546
S2A, AÜY-2 (Sentinel-2A için AOD1 = 0,1854 ile hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5757	0,5311	0,5249	0,5602
S2A, AÜY-3 (Sentinel-2A için AOD2 = 0,1424 ile hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5813	0,5375	0,5317	0,5653
SBAF1 (AÜY-1/AÜY-2)	0,9585	0,9881	0,9859	0,9900
SBAF2 (AÜY-1/AÜY-3)	0,9493	0,9764	0,9733	0,9811
Ölçüm Belirsizliği (K) $K = [1- SBAF2/SBAF1]$	%0,96	%1,19	%1,28	%0,90

3.2.4.3. ÇRK-2, aerosol model seçiminden kaynaklanan belirsizlik

Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi kapsamında aerosol modelden kaynaklanan belirsizliği belirlemek adına diğer hesaplamalarda da olduğu gibi “karasal” ve “çöl” seçenekleri kullanılarak, bu seçeneklerin SBAF üzerindeki belirsizliği elde edilmiştir (Tablo 3.64).

Tablo 3.64. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi, aerosol model seçiminden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
GK2, AÜY-1 (Göktürk-2 için Aerosol Model = continental olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5518	0,5248	0,5175	0,5546
GK-2, AÜY-2 (Göktürk-2 için Aerosol Model = desert olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5609	0,5349	0,5284	0,5658
S2A, AÜY-3 (Sentinel-2A için Aerosol Model = continental olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5757	0,5311	0,5249	0,5602
S2A, AÜY-4 (Sentinel-2A için Aerosol Model = desert olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5846	0,5408	0,5347	0,5718
SBAF1 (AÜY-1/AÜY-3)	0,9585	0,9881	0,9859	0,9900
SBAF2 (AÜY-2/AÜY-4)	0,9595	0,9891	0,9882	0,9895
Ölçüm Belirsizliği (K) K= [1- SBAF2/SBAF1]	%0,10	%0,10	%0,23	%0,05

3.2.4.4. ÇRK-2, atmosferik koşul seçiminden kaynaklanan belirsizlik

Atmosferik Koşuldan kaynaklanan belirsizliği hesaplama adına üç seçenek üzerinde durularak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Tablo 3.65 ile gösterildiği gibi güneş fotometresinden alınan AOD ve SB değerlerinin girdi olarak verilebildiği “user” seçeneği ve çalışma için kullanılması en uygun diğer iki seçenek olan Midlatitude Summer ve US62 seçenekleri tanımlanarak ölçüm belirsizliğine olan oranı hesaplanmıştır.

Tablo 3.65. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi, atmosferik koşul seçiminden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
GK2, AÜY-1 (Göktürk-2 için “Atmosferik Koşul = user” olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5518	0,5248	0,5175	0,5546
GK2, AÜY-2 (Göktürk-2 için “Atmosferik Koşul = Midlatitude Summer” olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5401	0,5199	0,5168	0,5394
GK2, AÜY-3 (Göktürk-2 için “Atmosferik Koşul = US62” olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5458	0,5194	0,5161	0,5515
S2A, AÜY-4 (Sentinel-2A için “Atmosferik Koşul = user” olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5757	0,5311	0,5249	0,5602
S2A, AÜY-5 (Sentinel-2A için “Atmosferik Koşul = Midlatitude Summer” olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5704	0,5272	0,5241	0,5417
S2A, AÜY-6 (Sentinel-2A için “Atmosferik Koşul = US62” olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5715	0,5249	0,5233	0,5563
SBAF1 (AÜY-1/ AÜY-4)	0,9585	0,9881	0,9859	0,9900
SBAF2 (AÜY-2/ AÜY-5)	0,9469	0,9862	0,9861	0,9958
SBAF3 (AÜY-3/ AÜY-6)	0,9550	0,9895	0,9862	0,9914
Belirsizlik-1 $K1 = [1-SBAF2/SBAF1]$	%1,21	%0,20	%0,02	%0,58
Belirsizlik-2 $K2 = [1-SBAF3/SBAF1]$	%0,36	%0,14	%0,03	%0,14
Ölçüm Belirsizliği $K = [(K1 + K2) / 2]$	%0,79	%0,17	%0,03	%0,36

3.2.4.5. ÇRK-2, gözlem geometrisinden kaynaklanan belirsizlik

Referans ve hedef uydunun bakış açılarından ile Güneşin başucu ve azimut açılarından kaynaklanan belirsizliğin oranı Tablo 3.66 ve Tablo 3.67 ile gösterildiği gibi hesaplanmıştır. Azimut değerlerinin değiştirilmesi atmosfer üstü yansıtım ve atmosfer üstü ışınlılık değerlerini değiştirmemektedir, bu nedenle C1 ve C2 koşulları oluşturulurken azimut değerleri aynı tutulmuştur. Gözlem geometrisinden kaynaklanan belirsizliği hesaplamak için C1 ve C2 olmak üzere iki duruma yönelik girdiler sağlanmıştır. C1 durumunda mevcut verilerden yola çıkılarak hesaplama yapılırken, C2 durumunda ise S2A’nın ve GK2’nin geçişi esnasındaki Güneşin başucu açıları 1° ve her iki uydunun başucu açıları ise 0,20° arttırılarak hesaplama yapılmıştır.

Tablo 3.66. *Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi, tanımlanan geometrik koşullar*

	Güneşin Başucu Açısı	Güneşin Azimut Açısı	Uydunun Başucu Açısı	Uydunun Azimut Açısı	Algılayıcı
C1	44,37	134,73	2,93	257,58	GK2
	37	158	7,50	284,723	S2A
C2	45,37	134,73	3,13	257,58	GK2
	38	158	7,70	284,723	S2A

Uyduların başucu açısından ve Güneşin başucu açısından kaynaklanan belirsizlik tüm bantlar için %0,1'in altındadır.

Tablo 3.67. *Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi, gözlem geometrisinden kaynaklanan belirsizlik*

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
AÜİ-1 (Göktürk-2 için "Geometrik Koşul = C1" olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5518	0,5248	0,5175	0,5546
AÜİ-2 (Göktürk-2 için "Geometrik Koşul = C2" olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5506	0,5236	0,5165	0,5538
AÜY-3 (Sentinel-2A için "Geometrik Koşul = C1" olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5757	0,5311	0,5249	0,5602
AÜY-4 (Sentinel-2A için "Geometrik Koşul = C2" olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5749	0,5302	0,5240	0,5596
SBAF1 (AÜY-1/AÜY-3)	0,958	0,988	0,986	0,990
SBAF2 (AÜY-2/AÜY-4)	0,958	0,988	0,986	0,990
Ölçüm Belirsizliği $K = [1 - SBAF2/SBAF1]$	%0,08	%0,06	%0,02	%0,03

3.2.4.6. ÇRK-2, su buharı ölçümünden kaynaklanan belirsizlik

Aerosol Optik Derinliği ölçümünde olduğu gibi Sentinel-2A için su buharı değeri de alınmamıştır. Bu nedenle bir gün önceki su buharı veri setinden geçiş saatine yakın bir saatte alınan su buharı değeri kullanılmıştır. Belirsizlik analizi için ise 13 Eylül 2017 tarihinde elde edilen su buharı değerlerinden en düşük ve en yüksek su buharı değerleri 6S'e girdi olarak sağlanarak belirsizlik oranı hesaplanmıştır (Tablo 3.68).

Tablo 3.68. *Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi, su buharı ölçümünden kaynaklanan belirsizlik*

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
GK-2 (SB: 1,15) (A)	0,5518	0,5248	0,5175	0,5546
GK-2 (SB: 1,00) (B)	0,5528	0,5251	0,5175	0,5564
GK-2 (SB: 1,22) (C)	0,5513	0,5247	0,5175	0,5538
S2A (SB: 1,15) (A')	0,5757	0,5311	0,5249	0,5602
S2A (SB: 1,00) (B')	0,5760	0,5312	0,5249	0,5624
S2A (SB: 1,22) (C')	0,5755	0,5311	0,5249	0,5591
SBAF1 (A/A')	0,9585	0,9881	0,9859	0,9900
SBAF2 (B/B')	0,9597	0,9885	0,9859	0,9893
SBAF3 (C/C')	0,9579	0,9879	0,9859	0,9905
Belirsizlik-1 $K1 = [1-SBAF2/SBAF1]$	0,0013	0,0004	0,0000	0,0007
Belirsizlik-2 $K2 = [1-SBAF3/SBAF1]$	0,0006	0,0002	0,0000	0,0005
Ölçüm Belirsizliği $K = [(K1 + K2) / 2]$	%0,09	%0,03	%0,00	%0,06

3.2.4.7. ÇRK-2, kalibrasyonu yapılacak olan görüntünün benek değerinden kaynaklanan belirsizlik

Göktürk-2'nin L1R görüntüsünden ölçüm alanına ait benek değerleri ve referans görüntüden alınan atmosfer üstü değerlerin belirsizlik üzerindeki etkileri Tablo 3.69 ve Tablo 3.70 ile gösterildiği gibidir.

Tablo 3.69. *Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi, hedef görüntünün benek değerlerinden kaynaklanan belirsizlik*

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
BD1	1517	1467	2038	1295
BD2	1515	1464	2036	1292
BD3	1519	1468	2039	1298
$K1 = [1-DN2/DN1]$	0,0013	0,0020	0,0010	0,0023
$K2 = [1-DN3/DN1]$	0,0013	0,0007	0,0005	0,0023
Ölçüm Belirsizliği	%0,19	%0,22	%0,11	%0,33

Referans görüntüden alınan benek değerleri orijinal dosyasından gelen atmosfer üstü yansıtım değerleridir, 6S Benzetim Modeli ile hesaplanan değerler değildir.

Tablo 3.70. *Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi, referans görüntünün benek değerlerinden kaynaklanan belirsizlik*

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
BD1	0,5559	0,4956	0,4831	0,5495
BD2	0,5500	0,4900	0,4770	0,5400
BD3	0,5600	0,5000	0,4900	0,5500
$K1 = [1 - BD2 / BD1]$	0,0106	0,0113	0,0126	0,0173
$K2 = [1 - BD3 / BD1]$	0,0074	0,0089	0,0143	0,0009
Ölçüm Belirsizliği	%1,29	%1,44	%1,91	%1,73

3.2.4.8. ÇRK-2, toplam belirsizlik

Tablo 3.71 ile Arazi Çalışması-2 kapsamında gerçekleştirilen çapraz radyometrik çalışması ile hesaplanan kazanç değerinin hesaplanmasındaki toplam ölçüm belirsizliği gösterilmektedir.

Tablo 3.71. *Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-2, toplam belirsizlik*

Belirsizlik Kaynağı	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
Yersel Ölçümler	%0,08	%0,03	%0,24	%0,07
Esun kaynaklı belirsizlik	%1,00	%1,00	%1,00	%1,00
Aerosol Optik Derinliği	%0,96	%1,19	%1,28	%0,90
Atmosferik Koşul	%0,79	%0,17	%0,03	%0,36
Aerosol Model	%0,10	%0,10	%0,23	%0,05
Su buharı	%0,09	%0,03	%0,00	%0,06
Gözlem Geometrisi	%0,08	%0,06	%0,02	%0,03
6S Benzetim Modeli	%1,00	%1,00	%1,00	%1,00
Benek Değeri - GK2	%0,19	%0,22	%0,11	%0,33
Benek Değeri - S2A	%1,29	%1,44	%1,91	%1,73
Toplam Belirsizlik	%2,34	%2,37	%2,73	%2,47

3.2.4.9. ÇRK-2, bulgular

Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi çalışmaları kapsamında yersel imzalardan kaynaklanan belirsizliğin hesaplanabilmesi için Göktürk-2 geçişinin öncesinde toplanan 32 yersel veriden minimum ve maksimum yansıtım özelliği gösteren tayfsal imzalar kullanılmıştır. Tüm bantlar için belirsizlik oranı %0,25'in altındadır. Hesaplanan en fazla belirsizlik oranı mavi bant için %0,24'tür.

Aerosol Optik Derinliği değerinden kaynaklanan belirsizliği hesaplarırken hedef uydú Göktürk-2'nin hem mutlak hem çapraz radyometrik kalibrasyonu için güneş fotometresinin ölçtüğü değerler kullanılabilmıştir. Ancak, Göktürk-2 geçişinden 4 saat sonra kadar cihazın alandan kaldırılması nedeniyle bir gün sonraki AOD verileri alınamamıştır. Bu nedenle 13 Eylül 2017 tarihinde ölçülen en düşük AOD değer (AOD₂= 0,1424) belirsizlik hesaplamalarında kullanılmıştır. Bütün bantlar için %1,5'in altında belirsizlik oranı elde edilmiştir.

Su buharı ölçümlerinden kaynaklanan belirsizlik hesaplandığında ise, su buharı değerinin fazla değişmemesi nedeniyle, tüm bantlar için belirsizlik oranı %0,1'in altındadır.

Aerosol model seçiminden kaynaklanan belirsizlik oranları tüm bantlar için %0,25'in altında iken atmosferik koşul parametresinden kaynaklanan belirsizlik tüm bantlar için %1'in altındadır.

Gözlem geometrisinden kaynaklanan belirsizliği hesaplamak için uyduların ve uyduların geçiş anındaki Güneşin başucu açısının değiştirilmıştir ve tüm bantlar için ihmal edilebilecek bir belirsizlik oranı hesaplanmıştır.

Benek değerinden kaynaklanan belirsizlik hem referans görüntü hem de hedef görüntü için hesaplanmıştır. Referans görüntüden alınan değerler ile hesaplanan belirsizlik %0,5'in altında iken, Sentinel-2A'nın benek değerlerinden hesaplanan benek değer %1 ila %2 arasında değişmektedir.

3.3. Arazi alışması-3

3.3.1. Mutlak radyometrik kalibrasyon-3 (MRK-3), veri işleme alışmaları

Arazi alışması-3 faaliyetleri 13 Eylül 2018 tarihinde gerekleştirilmıştir. Her sırada 6 bayrak olacak şekilde toplamda 7 sıra bayraklama çalışması yapılmıştır. Her bayrağın arasında 10 m mesafe bırakılmıştır. Mesafeler alışma kapsamında kullanılan Göktürk-2 ve Landsat 8 uydularının konumsal çözünürlüğüne göre ayarlanmıştır (Tablo 3.72).

Tablo 3.72. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-3, Veri İşleme Çalışması kapsamında 6S Benzetim Modeli'nde (GK-2 Mavi Bant) kullanılan değerler ve açıklamaları

Kullanılan Değer	Açıklama
0	Gözlem Geometrisi (Tanımlı olmayan-Diğer)
46 (°)	Güneşin Lokal Başucu Açısı
131,23 (°)	Güneşin Lokal Azimut Açısı
4,5 (°)	Uydunun Başucu Açısı
76,498 (°)	Uydunun Azimut Açısı
13	Gün
9	Ay
1,75	Su Buharı Değeri (g/cm ²)
0,29	Ozon Değeri (g/cm ³)
1	Aerosol Model - Karasal Model Opsiyonu
0	Aerosol Optik Derinliği Opsiyonu
0,171	Aerosol Optik Derinliği Değeri
-0,907 (-km)	Hedefin Deniz Seviyesinden Yüksekliği (-km)
-1000 (-km)	Uydudaki Algılayıcı > 100 km
1	2,5 nm Aralıklarla Hesaplama Opsiyonu
0,720 0,920	Göktürk-2 Kırmızı Bant Aralığı
GK2_nir.dat	Kırmızı Bant Bağlı Tayfsal Tepki (BTT)
0	Homojen Kalibrasyon Alanı
0	BRDF Etkisi
0	Yersel Veri Opsiyonu
0,6149	Ağırlıklandırılmış Yersel Yansıtım Ortalaması
-1,0	Atmosferik Düzeltme Opsiyonu

Arazi Çalışması-1 ve Arazi Çalışması-2'de olduğu gibi bu çalışma kapsamında da Göktürk-2 Uydusu'nun arazi üzerinden geçişinin öncesinde ve sonrasında ölçüm alanından yersel imzalar alınmıştır. Uydu geçişi öncesinde Set-1 ve Set-2 olmak üzere toplam 2 Set ölçüm gerçekleştirilmiştir. Set-1 ölçümlerinde spektrometrenin sürekli ölçüm modu kullanılarak toplam 149 ölçüm gerçekleştirilmiştir. Set-1 ölçümleri uydu geçişinden 7 dk. önce bitmesi sebebiyle, Set-2 ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Set-2 ölçümleri gerçekleştirilirken ölçüm alanının içerisinde kalmak suretiyle rastgele seçilmiş farklı yerlerden beş adet ölçüm alınmıştır. Geçiş sonrasında ise bayraklanan her noktadan birer adet ölçüm, her altı ölçümde bir de spektralondan ölçüm alınmıştır (Tablo 3.73).

Tablo 3.73. Arazi Çalışması-3, uydu geçişleri ve toplanan yersel veri toplama

13.09.2018 Arazi Kampanyası	Zaman	Yersel Veri Sayısı
Geçiş Öncesi, Set-1, Yersel Veri Toplama	10:18-10:23	149
Geçiş Öncesi, Set-2, Yersel Veri Toplama	10:24-10:26	5
Göktürk-2 Geçiş	10:31	-
Geçiş Sonrası-Yersel Veri Toplama	10:32-10:42	42

Arazi Çalışması-3 kapsamında uydu geçişi sonrasında ölçüm alanından toplanan tayfsal imzalar toplanmıştır. Set-2 ölçümlerinin az olması, geçiş sonrası alınan ölçümlerinin Set-2 ölçümlerine göre geçişe daha yakın bir zamanda alınmış olması nedeniyle geçiş sonrası ölçümler bu çalışma kapsamına değerlendirilmiştir.

Tablo 3.74. Arazi çalışması-3, 13.09.2018 tarihinde gerçekleştirilen kampanyaya ait kalibrasyon ile ilgili parametreler

Göktürk-2 Tayfsal Bantları	Ortalama Piksel Değeri	Ortalama AÜI	Kazanç Modu	Kazanç
Pankromatik Bant	1140	202,424	4	0,1776
Kırmızı Bant	1469	189,865	2	0,1292
Yeşil Bant	1063	211,239	4	0,1987
Mavi Bant	1321	215,727	4	0,1633
Yakın Kızıl Ötesi Bant	1208	130,132	2	0,1077

3.3.1.1. MRK-3, belirsizlik analizi

Arazi Çalışmaları-3 için gerçekleştirilen belirsizlik analizi kapsamında hazırlanan tablolar aşağıdaki gibidir. Önceki bölümlerde belirsizliğe neden olan her bir belirsizlik kaynağı için açıklamalı bir anlatım yapıldığı için bu kısımda alt başlık oluşturulmamıştır.

Tablo 3.75 ile yersel yansıtım ölçümlerinden kaynaklanan belirsizlik analizine dair hesaplamalar gösterilmiştir. Bu çalışma kapsamında kullanılan 42 ölçümlük veri setinden 12 tanesi elenerek 30 ölçüm üzerinden değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Ölçüm belirsizliğini hesaplamak için üç farklı AYYO değeri kullanılarak AÜI, AÜI-min ve AÜI-maks olmak üzere her bant için toplam üç tane atmosfer üstü ışınlılık değeri hesaplanmıştır.

Tablo 3.75. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-3 Belirsizlik Analizi, yersel yansıtım ölçümlerinden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ	PAN
Dalgaboyu Merkezi	668,779	556,856	482,979	822,282	596,372
Ağırlıklandırılmış Yersel Yansıtım Ortalaması (AYYO)	0,6424	0,5914	0,5466	0,6095	0,6073
SS	0,0140	0,0143	0,0146	0,0160	0,0142
AYYO-Min (AYYO+SS)	0,6284	0,5771	0,5320	0,5934	0,5931
AYYO-Maks (AYYO-SS)	0,6564	0,6057	0,5612	0,6255	0,6215
AYYO, AÜİ	189,865	211,239	215,727	130,132	202,424
AÜİ-min	185,721	206,276	210,425	126,685	197,802
AÜİ-maks	194,018	216,219	221,056	133,564	207,062
Belirsizlik-1 $K1 = [1 - (AÜİ-2) / (AÜİ-1)]$	0,022	0,023	0,025	0,026	0,023
Belirsizlik-2 $K2 = [1 - (AÜİ-2) / (AÜİ-1)]$	0,022	0,024	0,025	0,026	0,023
Ölçüm Belirsizliği $K = [(K1 + K2) / 2]$	%2,18	%2,35	%2,46	%2,64	%2,29

Saat 10:31’de ölçüm alanından geçen Göktürk-2 Uydusu’nun mutlak radyometrik kalibrasyonu için güneş fotometresinin saat 10:28’de aldığı AOD değeri kullanılmıştır. Belirsizlik analizi içinse saat 10:13’te ve 10:43’te alınan AOD değerleri ile girdi olarak sağlanarak AÜİ-1, AÜİ-2 ve AÜİ-3 değerleri hesaplanmıştır (Tablo 3.76).

Tablo 3.76. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-3 Belirsizlik Analizi, AOD ölçümlerinden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ	PAN
AÜİ-1 (AOD1: 0,1870)	189,865	211,239	215,727	130,132	202,42
AÜİ-2 (AOD2: 0,1819)	190,127	213,429	216,097	130,299	202,74
AÜİ-3 (AOD3: 0,1793)	190,259	213,606	216,286	130,384	202,90
Belirsizlik-1 $K1 = [1 - (AÜİ-2)/(AÜİ-1)]$	0,001	0,010	0,002	0,001	0,002
Belirsizlik-2 $K2 = [1 - (AÜİ-3)/(AÜİ-1)]$	0,002	0,011	0,003	0,002	0,002
Ölçüm Belirsizliği $K = [(K1 + K2) / 2]$	%0,17	%1,08	%0,22	%0,16	%0,20

Önceki bölümlerde anlatıldığı gibi aerosol model seçimi olarak üç arazi çalışması içinde karasal ve çöl seçenekleri kullanılarak belirsizlik analizi gerçekleştirilmiştir (Tablo 3.77).

Tablo 3.77. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-3 Belirsizlik Analizi, aerosol model seçiminden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ	PAN
AÜI-1 (Continental)	189,865	211,239	215,727	130,132	202,424
AÜI-2 (Desertic)	193,062	215,321	220,254	132,764	206,263
Ölçüm Belirsizliği $K = [1 - (AÜI-2)/(AÜI-1)]$	%1,68	%1,93	%2,10	%2,02	%1,90

Arazi Çalışması-1 ve Arazi Çalışması-2’de olduğu gibi “User” seçeneği seçilerek AOD ve SB değerleri girdi olarak verilmiştir. AÜ-2 ve AÜI-3’ün hesaplandığı seçeneklerde, 6S Benzetim Modeli otomatik olarak bahse konu değerleri otomatik olarak vermektedir (Tablo 3.78).

Tablo 3.78. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-3 Belirsizlik Analizi, atmosferik koşul seçiminden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ	PAN
AÜI-1 (User)	189,865	211,239	215,727	130,132	202,424
AÜI-2 (Midlatitude Summer)	187,103	209,607	215,421	127,975	200,527
AÜI-3 (US62)	189,097	209,369	215,136	130,855	201,314
Belirsizlik-1 $K1 = 1 - (AÜI-2)/(AÜI-1)$	0,015	0,008	0,001	0,017	0,009
Belirsizlik-2 $K1 = [1 - (AÜI-3)/(AÜI-1)]$	0,004	0,009	0,003	0,006	0,005
Ölçüm Belirsizliği $K = [(K1 + K2) / 2]$	%0,93	%0,83	%0,21	%1,11	%0,74

Tablo 3.79 ile gözlem geometrisinden kaynaklanan belirsizliği tespit edebilmek adına için GBA ve UBA açıları değiştirilerek hesaplamalar gerçekleştirilmiştir (Tablo 3.80).

Tablo 3.79. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-3 Belirsizlik Analizi, gözlem geometrisinden kaynaklanan belirsizlikler için tanımlanan değişkenler

	Güneşin Başucu Açısı	Güneşin Azimut Açısı	Uydunun Başucu Açısı	Uydunun Azimut Açısı
C1	46	131,23	4,50	76,498
C2	45	131,23	4,50	76,498
C3	46	131,23	4,70	76,498

Tablo 3.80. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-3 Belirsizlik Analizi, gözlem geometrisinden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ	PAN
AÜI-1 (C1)	189,865	211,239	215,727	130,132	202,424
AÜI-2 (C2)	193,673	215,511	220,001	132,664	206,494
AÜI-3 (C3)	189,869	211,253	215,755	130,134	202,436
Belirsizlik-1 $K1 = [1 - (AÜI-2)/(AÜI-1)]$	0,020	0,020	0,020	0,019	0,020
Belirsizlik-2 $K2 = [1 - (AÜI-3)/(AÜI-1)]$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Ölçüm Belirsizliği $K = [(K1 + K2) / 2]$	%1,00	%1,01	%1,00	%0,97	%1,01

Göktürk-2 uydusuna ait L1R'den alınan ölçüm alanına ait benek değerleri ve belirsizliği etkileyecek olan komşu beneklerin (BD2 ve BD3) değerleri kullanılarak belirsizlik analizi gerçekleştirilmiştir (Tablo 3.81).

Tablo 3.81. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-3 Belirsizlik Analizi, benek değerlerinden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ	PAN
BD1	1469	1063	1321	1208	1140
BD2	1464	1056	1318	1205	1138
BD3	1472	1064	1323	1212	1143
$K1 = [1 - BD2/BD1]$	0,003	0,007	0,002	0,002	0,002
$K2 = [1 - BD3/BD1]$	0,002	0,001	0,002	0,003	0,003
Ölçüm Belirsizliği $K = [(K1 + K2) / 2]$	%0,40	%0,67	%0,27	0,41%	%0,32

Arazi Çalışmaları-3 kapsamında hesaplanan toplam belirsizlik Tablo 3.82 ile verilmiştir. Toplam belirsizlik kırmızı ve pankromatik bant için %3,50 civarındayken, yeşil, mavi ve yakın kızıl ötesi için sırasıyla %3,82, %3,69 ve %3,92 oranlarıyla %4,00'ın belirsizlik yüzdesi hesaplanmıştır (Tablo 3.82).

Tablo 3.82. Mutlak Radyometrik Kalibrasyon-3 Belirsizlik Analizi, Toplam Belirsizlik

<i>Belirsizlik Kaynağı</i>	<i>KIRMIZI</i>	<i>YEŞİL</i>	<i>MAVİ</i>	<i>YKÖ</i>	<i>PAN</i>
<i>Yersel Ölçümler</i>	%2,18	%2,35	%2,46	%2,64	%2,29
<i>Cihaz Kaynaklı Belirsizlik</i>	%1,00	%1,00	%1,00	%1,00	%1,00
<i>Aerosol Optik Derinliği</i>	%0,17	%1,08	%0,22	%0,16	%0,20
<i>Atmosferik Koşul</i>	%0,93	%0,83	%0,21	%1,11	%0,74
<i>Aerosol Model</i>	%1,68	%1,93	%2,10	%2,02	%1,90
<i>Su buharı</i>	%0,00	%0,00	%0,00	%0,00	%0,00
<i>Gözlem Geometrisi</i>	%1,00	%1,01	%1,00	%0,97	%1,01
<i>6S Benzetim Modeli</i>	%1,00	%1,00	%1,00	%1,00	%1,00
<i>Benek Değeri</i>	%0,40	%0,67	%0,27	%0,30	%0,32
<i>Toplam Belirsizlik</i>	%3,42	%3,82	%3,69	%3,92	%3,54

3.3.1.2. MRK-3, bulgular

Arazi Çalışması-1 ve Arazi Çalışması-2’de olduğu gibi Arazi Çalışması-3 için de toplam belirsizliğe en fazla yersel yansıtım ölçümlerinden kaynaklanan belirsizlik etki etmektedir. En fazla belirsizlik oranı yakın kızıl ötesi bant için hesaplanmıştır. Diğer bantlar için belirsizlik oranları %2 ila %2,50 arasında değişmektedir. Bu çalışma kapsamında da Arazi Çalışması-2’de olduğu gibi bayraklanan her nokta 5-6 sn. beklenerek ölçüm alındığı için sınırlı sayıda ölçüm alınmıştır.

Cihazdan kaynaklanan belirsizlik Arazi Çalışması-1 kapsamında olarak %1 hesaplandığı için bu bölümde tekrar yer verilmemiştir.

Belirsizlik analizi için uydu geçişinin 3 dk. öncesinde ölçülen AOD değeri kullanılmıştır. Söz konusu ölçüme en yakın diğer 2 ölçümde belirsizlik hesaplamaları için kullanıldığında yeşil bant dışındaki tüm bantlar için %0,25’in altında belirsizlik hesaplanırken, yeşil bant için %1,08’lik bir belirsizlik oranı hesaplanmıştır.

Bu çalışma için de Aerosol Model seçiminden kaynaklanan belirsizlik toplam belirsizlik bütçesine etki eden ikinci en yüksek yüzdeye sahiptir. Karasal model ile çöl modeli seçimi yapılarak hesaplanan AÜİ değerleri arasındaki fark tüm bantlar için kırmızı bant dışında %2 civarında belirsizliğe neden olmaktadır. Kırmızı bantta ise belirsizlik oranı %1,68 olarak hesaplanmıştır.

Atmosferik Koşul seçiminden kaynaklanan belirsizlik ise mavi bant dışında diğer bantlar için %1’e yakın bir orandadır. Mavi bant için hesaplanan değer ise %0,21’dir.

Güneşin ve uydunun başucu açılarından kaynaklanan belirsizlikler hesaplandığında ise yeşil bant hariç tüm bantlar için toplam ölçüm belirsizliği %0,50'nin altında olduğu görülmektedir. Yeşil bant için ise ölçüm belirsizliği %0,67'dir.

3.3.2. Çapraz radyometrik kalibrasyon-3 (ÇRK-3), veri işleme çalışmaları

Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-3 çalışmaları kapsamında veri işleme çalışmalarının ardından belirsizlik analizi ile ilgili hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. 13 Eylül 2018 tarihinde gerçekleştirilen arazi çalışmalarında daha önceki bölümlerde ifade edildiği gibi Göktürk-2'nin geçişi ile eş zamanlı olacak şekilde yersel ve atmosferik veriler toplanmıştır. Çapraz radyometrik kalibrasyon çalışmaları için söz konusu geçiş en yakın tarihli Landsat 8 OLI'nin en yakın tarihli görüntüsü olan 18 Eylül 2018 tarihli görüntüsü kullanılmıştır. Göktürk-2 geçişinin ardından güneş fotometresi alandan alınması gerektiği için 18 Eylül 2018 tarihinde atmosferik veri alınamamıştır. Bu nedenle 13 Eylül 2018 tarihindeki yersel ve atmosferik veriler referans alınarak çapraz radyometrik kalibrasyon ve çapraz radyometrik kalibrasyonun belirsizlik analizi gerçekleştirilmiştir. Tablo 3.83 ile 6S Benzetim modeline girdi olarak verilen değerler gösterilmiştir. Landsat 8'in atmosfer üstü yansıtım ve ışınlılık değerlerini hesaplamak için 13 Eylül 2018'de Landsat 8'in geçiş saatine karşılık gelen su buharı ve AOD değerleri kullanılmıştır.

Tablo 3.83. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-3 Veri İşleme Çalışmaları kapsamında kullanılan yersel, atmosferik ve uydu verilerinin özellikleri

Algılayıcı	GK-2	L8
Tarih	13.09.2018	18.09.2018
GBA (°)	46,00	40,9
GAA (°)	131,23	150,3
UBA (°)	4,50	7,6
UAA (°)	76,50	102,9
Su Buharı (g/cm ²)	1,75	
Ozon (g/cm ³)	0,29	
Aerosol Model	Karasal Model	
AOD	0,1870	0,171
Rakım (km)	0,907	

Çapraz radyometrik kalibrasyonda izlenen yönteme ilişkin işlem adımları önceki bölümlerde detaylı olarak verilmiştir ancak Arazi Çalışması-3 için özetlemek gerekirse;

- Landsat 8'in atmosfer üstü yansıtıma çevrilmiş görüntüsü indirilir, ölçüm alanına ait ortalama yansıtım değeri her bant için bulunur.
- Farklı uyduların aynı isimdeki bantlarının bağıl tayfsal tepkileri arasındaki farkları kompanse edebilmek için bir katsayı (SBAF) bulunması gerekir. Bu katsayı;
 - Her iki uydu için aynı yersel imza verilerek 6S Benzetim Modeli ile AÜY değerleri bulunur.
 - Bu çalışma için AÜY kullanılmıştır. AÜI kullanılarak da SBAF bulunabilir.
 - AÜY değerleri oranlanarak her bant için SBAF katsayısı elde edilir.
- Elde edilen SBAF ile ilk maddede bulunan değerler çarpılarak Göktürk-2'nin çapraz radyometrik kalibrasyonu ile elde edilen atmosfer üstü yansıtım değerleri bulunur.
- Esun, güneş açısı, yılın günü değerleri de kullanılarak çapraz radyometrik kalibrasyon ile elde edilen atmosfer üstü yansıtım değeri atmosfer üstü ışınlılık değerine dönüştürülür.
- Atmosfer üstü ışınlılık değeri Göktürk-2'nin ölçüm alanından toplanan benek değerlerine bölünerek kazanç değerleri elde edilir.

Arazi Çalışması-3 kapsamında çapraz radyometrik kalibrasyon yöntemi ile hesaplanan kazanç değerlerinin ve mutlak radyometrik kalibrasyon yöntemiyle hesaplanan kazanç değerleri ile karşılaştırılması Tablo 3.84 ile gösterilmektedir.

Tablo 3.84. Arazi Çalışması-3, Çapraz Radyometrik Kalibrasyon yöntemi ile kazanç katsayısının hesaplanması

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
L8_AÜY (c) (Landsat 8'in atmosfer üstü yansıtım görüntüsünden alınmış değer)	0,5827	0,5050	0,4889	0,5800
GK2_6S_AÜY (a) (Göktürk-2 için 6S Benzetim Modeli ile hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5627	0,5232	0,5042	0,5428
L8_6S_AÜY (b) (Landsat 8 için 6S Benzetim Modeli ile hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5887	0,5347	0,5123	0,5648
SBAF_k (x) ($x=a/b$)	0,9558	0,9785	0,9842	0,9610
GK2_SBAF_AÜY ($c \cdot x$)	0,5570	0,4941	0,4812	0,5574
GK2_Esun	1514	1809	1959	1069
Göktürk-2, Güneşin Başucu Açısı	46	46	46	46
GK2_SBAF_AÜI	186,46	197,66	208,43	131,76
GK2_BD (Göktürk-2 Benek Değeri)	1469	1063	1321	1208
GK2_Kazanç1 ($GK2_Kazanç1 = GK2_SBAF_AÜI / GK2_BD$) (Çapraz Kalibrasyon ile elde edilen)	0,1269	0,1859	0,1578	0,1091
GK2_Kazanç2 (Mutlak Kalibrasyon ile elde edilen)	0,1292	0,1987	0,1633	0,1077
Kazanç1 ve Kazanç2 Karşılaştırması	%1,80	%6,43	%3,38	%-1,25

3.3.2.1. ÇRK-3, belirsizlik analizi

Çapraz radyometrik kalibrasyon yöntemi ile kazanç değeri hesaplanırken belirsizliğe neden olabilecek en temel altı belirsizlik kaynağının toplam hata bütçesine etkisi analiz edilerek aşağıdaki tablolar ile verilmiştir. Bahse konu belirsizlik kaynakları aşağıda listelendiği gibidir:

- Yersel yansıtımdan kaynaklanan belirsizlik
- AOD ölçümünden kaynaklanan belirsizlik
- Aerosol modelden kaynaklanan belirsizlik
- Su buharı ölçümünden kaynaklanan belirsizlik
- Atmosferik koşul parametresinden kaynaklanan belirsizlik
- Gözlem geometrisinden kaynaklanan belirsizlik
- Referans olarak kullanılan görüntünün benek değerinden kaynaklanan belirsizlik

- Hedef görüntünün benek değerlerinden kaynaklanan belirsizlik

Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-1 Belirsizlik Analizi ve Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-2 Belirsizlik Analizi çalışmaları kapsamında detaylı olarak belirsizliklere dair bilgi verildiği için bu kısımda tablolara dair kısa bilgiler yer verilmektedir.

Tablo 3.85 ile gösterildiği gibi en düşük ve en yüksek yansıtım değerlerine sahip yersel imzalar 6S Benzetim Modeli'ne girdi olarak verilerek SBAF hesaplamaları gerçekleştirilerek yersel yansıtımdan kaynaklanan belirsizlik hesaplanmıştır.

Tablo 3.85. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-3 Belirsizlik Analizi, yersel yansıtımdan kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
GK2 –AÜYmin (Göktürk-2 için tayfsal imzalardan en az yansıtım özelliği gösteren imza ile hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5450	0,5045	0,4835	0,5232
GK2–AÜYmaks (Göktürk-2 için tayfsal imzalardan en fazla yansıtım özelliği gösteren imza ile hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5843	0,5499	0,5328	0,5710
L8-AÜYmin (Landsat 8 için tayfsal imzalardan en az yansıtım özelliği gösteren imza ile hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5710	0,5167	0,4907	0,5437
L8-AÜYmaks (Landsat 8 için tayfsal imzalardan en fazla yansıtım özelliği gösteren imza ile hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,6109	0,5612	0,5434	0,5973
SBAF1 (GK2 –AÜYmin / L8-AÜYmin)	0,9545	0,9764	0,9853	0,9623
SBAF2 (GK2–AÜYmaks / L8-AÜYmaks)	0,9565	0,9799	0,9805	0,9560
Ölçüm Belirsizliği $K = [(1- SBAF2/SBAF1)]$	%0,21	%0,35	%0,49	%0,66

Göktürk-2 uydusunun görüntü aldığı gün, saat 10:13 – 14:28 arasında güneş fotometresi 19 adet ölçüm almıştır. 5 gün sonra ölçüm alanı üzerinden geçen Landsat 8 için, yakın tarihler olması sebebiyle, bahse konu 19 ölçümden Landsat 8'in geçişine tekabül eden AOD değeri kullanılmıştır, AOD'den kaynaklanan belirsizliği hesaplamak için ölçümler arasındaki en yüksek değer kullanılarak 6S Benzetim Modeli'ne girdi olarak verilmiştir (Tablo 3.86).

Tablo 3.86. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-3 Belirsizlik Analizi, AOD ölçümünden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
GK2, AÜY-1 (Göktürk-2 için AOD1 = 0,1870 ile hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5627	0,5232	0,5042	0,5428
L8, AÜY-2 (Landsat 8 için AOD1 = 0,171 ile hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5887	0,5347	0,5123	0,5648
L8, AÜY-3 (Landsat 8 için AOD2 = 0,2 ile hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5846	0,5302	0,5077	0,5611
SBAF1 (AÜY-1/AÜY-2)	0,9558	0,9785	0,9842	0,9610
SBAF2 (AÜY-1/AÜY-3)	0,9625	0,9868	0,9931	0,9674
Ölçüm Belirsizliği (K) $K = [(1 - SBAF2/SBAF1)]$	%0,70	%0,85	%0,91	%0,66

Aerosol model seçiminden kaynaklanan belirsizliği tespit edebilmek için tanımlı modellerden karasal ve çöl modeli kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir (Tablo 3.87).

Tablo 3.87. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-3 Belirsizlik Analizi, aerosol modelden seçiminden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
GK2, AÜY-1 (Göktürk-2 için Aerosol Model = continental olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5627	0,5232	0,5042	0,5428
GK- AÜY-2 (Göktürk-2 için Aerosol Model = desert olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5722	0,5333	0,5148	0,5538
L8, AÜY-3 (Landsat 8 için Aerosol Model = continental olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5887	0,5347	0,5123	0,5648
L8, AÜY-4 (Landsat 8 için Aerosol Model = desert olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5979	0,5442	0,5219	0,5761
SBAF1 (AÜY-1/AÜY-3)	0,9558	0,9785	0,9842	0,9610
SBAF2 (AÜY-2/AÜY-4)	0,9570	0,9800	0,9864	0,9613
Ölçüm Belirsizliği (K) $K = [(1 - SBAF2/SBAF1)]$	%0,12	%0,15	%0,22	%0,03

AOD ölçümlerinde olduğu gibi su buharı ölçümlerinde de Landsat 8'in geçtiği güne dair su buharı ölçümü bulunmamaktadır. Göktürk-2'nin geçişine en yakın 6 ölçüm 1,75 civarındadır. Landsat 8'in geçiş saatine 13 Eylül 2018 tarihinde denk gelen ölçüm kullanılarak AÜY-2 değeri hesaplanmıştır. Su buharı ölçümünden kaynaklanan

belirsizliği hesaplamak içinse ölçüm listesindeki en yüksek değer kullanılmıştır (Tablo 3.88).

Tablo 3.88. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-3 Belirsizlik Analizi, su buharı ölçümünden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
GK2, AÜY-1 (Göktürk-2 için Su Buharı = 1,75 olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5627	0,5232	0,5042	0,5428
L8, AÜY-2 (Landsat 8 için Su Buharı = 1,75 olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5887	0,5347	0,5123	0,5648
L8, AÜY-3 (Landsat 8 için Su Buharı = 1,90 olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5884	0,5345	0,5123	0,5647
SBAF1 (AÜY-1/AÜY-2)	0,9558	0,9785	0,9842	0,9610
SBAF2 (AÜY-1/AÜY-3)	0,9563	0,9789	0,9842	0,9612
Ölçüm Belirsizliği (K) $K = [1 - SBAF2/SBAF1]$	%0,05	%0,04	%0,00	%0,02

Mutlak radyometrik kalibrasyon ve diğer çapraz radyometrik kalibrasyon çalışmalarının belirsizlik analizlerinde olduğu gibi atmosferik koşul parametresinden kaynaklanan belirsizliği hesaplamak için “Midlatitude” ve “US62” seçenekleri kullanılmıştır (Tablo 3.89).

Güneşin ve uydunun bakış açısından kaynaklanan belirsizliği belirlemek için Tablo 3.90 ile gösterilen iki durum benzetim modeline girdi olarak verilmiştir.

Tablo 3.89. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-3 Belirsizlik Analizi, atmosferik koşul parametresinden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
GK2, AÜY-1 (Göktürk-2 için “Atmosferik Koşul = user” olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5627	0,5232	0,5042	0,5428
GK2, AÜY-2 (Göktürk-2 için “Atmosferik Koşul = Midlatitude Summer” olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5545	0,5192	0,5035	0,5338
GK2, AÜY-3 (Göktürk-2 için “Atmosferik Koşul = US62” olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5604	0,5186	0,5028	0,5458
L8, AÜY-4 (Landsat 8 için “Atmosferik Koşul = user” olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5887	0,5347	0,5123	0,5648
L8, AÜY-5 (Landsat 8 için “Atmosferik Koşul = Midlatitude Summer” olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5840	0,5302	0,5117	0,5642
L8, AÜY-6 (Landsat için “Atmosferik Koşul = US62” olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5850	0,5285	0,5111	0,5650
SBAF1 (AÜY-1/AÜY-4)	0,9558	0,9785	0,9842	0,9610
SBAF2 (AÜY-2/AÜY-5)	0,9495	0,9793	0,9826	0,9461
SBAF3 (AÜY-3/AÜY-6)	0,9579	0,9813	0,9838	0,9660
Belirsizlik-1 $K1 = [1-SBAF2/SBAF1]$	%0,66	%0,08	%0,16	%1,55
Belirsizlik-2 $K2 = [1-SBAF3/SBAF1]$	%0,22	%0,28	%0,04	%0,52
Ölçüm Belirsizliği $K = [(K1 + K2) / 2]$	%0,44	%0,18	%0,10	%1,04

Tablo 3.90. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-3 Belirsizlik Analizi, tanımlanan geometrik koşullar

	Güneşin Başucu Açısı	Güneşin Azimut Açısı	Uydunun Başucu Açısı	Uydunun Azimut Açısı	Algılayıcı
C1	46	131,23	4,50	76,498	GK2
	40,9	150,3	7,60	102,9	L8
C2	47	131,23	4,70	76,498	GK2
	41,9	150,3	7,80	102,9	L8

Tablo 3.91 ile gösterildiği gibi C1 ve C2 durumlarından kaynaklanan belirsizlikler hesaplanmıştır.

Tablo 3.91. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-3 Belirsizlik Analizi, gözlem geometrisinden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
AÜI-1 (Göktürk-2 için “Geometrik Koşul = C1” olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5627	0,5232	0,5042	0,5428
AÜI-2 (Göktürk-2 için “Geometrik Koşul = C2” olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5615	0,5220	0,5033	0,5420
AÜY-3 (Landsat 8 için “Geometrik Koşul = C1” olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5887	0,5347	0,5123	0,5648
AÜY-4 (Landsat 8 için “Geometrik Koşul = C2” olarak hesaplanan atmosfer üstü yansıtım değeri)	0,5878	0,5337	0,5116	0,5644
SBAF1 (AÜY-1/AÜY-3)	0,9558	0,9785	0,9842	0,9610
SBAF2 (AÜY-2/AÜY-4)	0,9553	0,9783	0,9838	0,9603
Ölçüm Belirsizliği $K = [(1 - SBAF2/SBAF1)]$	%0,06	%0,04	%0,04	%0,08

Referans görüntü olarak kullanılan Landsat 8’in ham görüntü dosyasından her bandın ölçüm alanına ait benek değerleri toplanarak benek değerinden kaynaklanan belirsizlik hesaplanmıştır (Tablo 3.92).

Tablo 3.92. Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-3 Belirsizlik Analizi, referans görüntünün benek değerlerinden kaynaklanan belirsizlik

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
BD1	27178	24599	23695	27137
BD2	27112	24629	23621	27050
BD3	27141	24575	23595	27024
$K1 = [1 - DN2/DN1]$	0,002	0,001	0,003	0,003
$K2 = [1 - DN3/DN1]$	0,001	0,001	0,004	0,004
Ölçüm Belirsizliği	%0,28	%0,16	%0,53	%0,53

Kalibrasyonu yapılacak olan hedef görüntü için de ölçüm alanından her banda ait benek değeri alınarak belirsizlik hesabı gerçekleştirilmiştir (Tablo 3.93).

Tablo 3.93. *Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-3 Belirsizlik Analizi, hedef görüntünün benek değerlerinden kaynaklanan belirsizlik*

	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
BD1	1469	1063	1321	1199
BD2	1466	1060	1319	1197
BD3	1472	1066	1323	1203
K1 = [1-DN2/DN1]	0,0020	0,0028	0,0015	0,0017
K2 = [1-DN3/DN1]	0,0020	0,0028	0,0015	0,0033
Ölçüm Belirsizliği	%0,29	%0,40	%0,21	%0,37

Arazi Çalışmaları-2 kapsamında hesaplanan toplam belirsizlik Tablo 3.94 ile verilmiştir. Toplam belirsizlik tüm bantlar için %2 civarındadır.

Tablo 3.94. *Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-3, toplam belirsizlik*

Belirsizlik Kaynağı	KIRMIZI	YEŞİL	MAVİ	YKÖ
<i>Yersel Ölçümler</i>	%0,21	%0,35	%0,49	%0,66
<i>Esun kaynaklı belirsizlik</i>	%1,00	%1,00	%1,00	%1,00
<i>Cihaz Kaynaklı Belirsizlik</i>	%1,00	%1,00	%1,00	%1,00
<i>Aerosol Optik Derinliği</i>	%0,70	%0,85	%0,91	%0,66
<i>Atmosferik Koşul</i>	%0,44	%0,18	%0,10	%1,04
<i>Aerosol Model</i>	%0,12	%0,15	%0,22	%0,03
<i>Su Buharı (g/cm²)</i>	%0,05	%0,04	%0,00	%0,02
<i>Gözlem Geometrisi</i>	%0,06	%0,04	%0,04	%0,08
<i>6S Benzetim Modeli</i>	%1,00	%1,00	%1,00	%1,00
<i>Benek Değeri - GK2</i>	%0,29	%0,40	%0,21	%0,37
<i>Benek Değeri - L8</i>	%0,28	%0,16	%0,53	%0,53
Toplam Belirsizlik	%1,98	%2,02	%2,11	%2,32

3.3.2.2. ÇRK-3, bulgular

Çapraz Radyometrik Kalibrasyon-3 Belirsizlik Analizi çalışmaları kapsamında yersel imzalardan kaynaklanan belirsizliğin hesaplandığında tüm bantlar için belirsizlik oranının %0,70'ten az olduğu görülmektedir. Hesaplanan en fazla belirsizlik oranı %0,66 ile YKÖ için hesaplanmıştır.

Landsat 8 geçişinin olduğu gün AOD değeri ölçülemediği için belirsizlik hesaplamalarında 6S Benzetim Modeli'ne ölçülen en yüksek AOD değerleri girdi olarak verilmiştir. Bu nedenle AOD'den kaynaklanan belirsizlik nispeten yüksek bir belirsizlik

oranı vermiştir. En yüksek oran mavi bantta olmak üzere diğer bantlar da %0,66 ila %0,85 arasında değişmektedir.

Aerosol model seçiminden kaynaklanan belirsizlik oranları tüm bantlar için %0,25'in altında iken atmosferik koşul parametresinden kaynaklanan belirsizlik tüm bantlar için %1'in altındadır.

Gözlem geometrisinden kaynaklanan belirsizliği hesaplamak için uyduların ve uyduların geçiş anındaki Güneşin başucu açısı değiştirilmiştir. Belirsizlik oranı tüm bantlar için %0,04 ila %0,08 arasında değişmektedir.

Benek değerinden kaynaklanan belirsizlik hem referans görüntü hem de hedef görüntü için hesaplanmıştır. Referans uydunun tüm bantları için belirsizlik oranı %0,1'in altındadır. Hedef uydunun tüm bantları için belirsizlik oranı ise %0,50'nin altında hesaplanmıştır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Çalışma Kapsamında Elde Edilen Sonuçlar

Bu tez çalışması kapsamında mutlak ve radyometrik kalibrasyon yöntemleri ile Göktürk-2 algılayıcısının tüm bantlarına ait kalibrasyon katsayıları (kazanç değerleri) hesaplanarak, katsayıların kestirimindeki belirsizliğe etki eden belirsizlik kaynakları araştırılmıştır.

Ölçüm belirsizliği hesaplamaları ile yapılan ölçümlerin güvenilirliği analiz edilir. Ölçüm belirsizliği hesaplandığında ölçümün içinde kalacağı sınırlar belirlenmiş olur. Alt ve üst limitlerin belirlenmesi ile ölçülen değeri içine alan sınırlar tanımlanmış olur. Ölçüm belirsizliği yapılan ölçüm ile raporlanmadığında ölçüm sonuçlarının ne kadar doğru olup olmadığı şüphesi oluşabilir. Yapılan ölçümler hata içerebilir ancak girdi olarak sağlanan parametrelerin tümü aynı anda gerçekleşmeyeceği gibi ölçüm üzerindeki etkilerinin de ağırlığı birbirinden farklı olacaktır. Gerçek değeri etkileyen girdi değişkenlerinde olabilecek muhtemel bozulmalar veya kaymalar gerçek değerden sapmalara neden olabilir. Ortam şartlarının (sıcaklık, nem vs.) cihazı etkilemesi, ölçümü gerçekleştiren personelin tecrübesizliği/dikkatsizliği gibi etmenler ölçme sonucunu etkileyebilir.

Ölçme işlemi çok bileşen içerebilir. Ölçme işlemi tamamlandıktan sonra model fonksiyona girdi olarak verilen parametreler sınıflandırılır, bir parametre dışında diğer değişkenler sabit tutularak belirsizlik analizi gerçekleştirilir. Ölçüm belirsizliğinin hesaplanması ile ölçülen büyüklüğün güvenilirlik derecesi arttırılmış olur.

4.1.1. Mutlak radyometrik kalibrasyon

Tez çalışması kapsamında 2017 ve 2018 yıllarında toplam üç tane arazi çalışması gerçekleştirilmiştir. Arazi Çalışması-1 kapsamında yapılan hem mutlak radyometrik kalibrasyon hem de çapraz radyometrik kalibrasyon veri işleme çalışmaları iki kez gerçekleştirilmiş ve çalışmanın ilk aşamalarındaki sonuçların iyileştirilmesinin belirsizlik bütçesine etkisi tespit edilmiştir. Arazi Çalışması-1 kapsamında elde edilen veriler ve deneyimler ışığında Arazi Çalışması-2 ve Arazi Çalışması-3'ün radyometrik kalibrasyon işlemleri iyileştirmeye gerek kalmaksızın gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4.1 ve Tablo 4.2 ile tez çalışması kapsamında mutlak radyometrik kalibrasyon çalışmaları neticesinde elde edilen kazanç katsayıları ve hesaplanan belirsizlik yüzdesi verilmiştir. Algılayıcının “0” kazanç modu ile çektiği kırmızı bant

görüntüsünün kazanç katsayısı 0,1615 olarak hesaplanmıştır. İyileştirme çalışmaları kapsamında yersel verilerin elenerek ve AOD değerinin 0,2074 iken 0,2194 olarak güncellenmesi kazanç değerini %0,40 azaltmıştır. Diğer bantların kazanç katsayılarında benzer oranlarda azalma gözlenmektedir.

Arazi Çalışması-1 kapsamında gerçekleştirilen iyileştirme çalışmaları neticesinde ölçüm belirsizliği tüm bantlar için %35 civarında düşüş göstermiştir ve tüm bantlar için ölçüm belirsizliği %3,5'in altındadır. Arazi Çalışması-1 kapsamında alınan görüntüler "0" kazanç modu ile alınmıştır. Diğer görüntüler farklı kazanç modu ile alındığı için bu çalışma kapsamında "0" kazanç modu ile karşılaştırılabilecek bir veri seti bulunmaktadır. Arazi Çalışması-2 ve Arazi Çalışması-3 kapsamında gerçekleştirilen mutlak kalibrasyona ilişkin belirsizlik analizinde ise YKÖ bandı dışında tüm bantlar için %4'ün altında ölçüm belirsizliği elde edilmiştir. Arazi Çalışması-2 ve Arazi Çalışması-3 için alınan görüntülerin kırmızı, pan ve yakın kızıl ötesi bantları aynı kazanç modu ile çekilmiştir. Arazi Çalışması-2 kapsamında 6 ve 8 gibi yüksek kazanç modu ile çekilen görüntülerde görüntünün sature olarak sürekli aynı değeri verme riskine karşın kazanç modları azaltılmıştır.

Kazanç modu 2 ile çekilen kırmızı bandın kazanç değerinde %2,2 artış tespit edilmiştir.

Tablo 4.1. Kırmızı, yeşil ve mavi bant için MRK yöntemiyle hesaplanan kazanç değerleri ve ölçüm belirsizliği (ÖB)

	Kırmızı Bant			Yeşil Bant			Mavi Bant		
	Kazanç Modu	Kazanç	ÖB (%)	Kazanç Modu	Kazanç	ÖB (%)	Kazanç Modu	Kazanç	ÖB (%)
MRK-1	0	0,1615	±4,89	0	0,3035	±5,11	0	0,2469	±5,27
MRK-1 İyileştirme	0	0,1608	±2,94	0	0,3022	±3,22	0	0,2459	±3,32
MRK-2	2	0,1264	±3,82	8	0,1487	±3,75	6	0,1118	±3,79
MRK-3	2	0,1292	±3,42	4	0,1987	±3,82	4	0,1633	±3,69

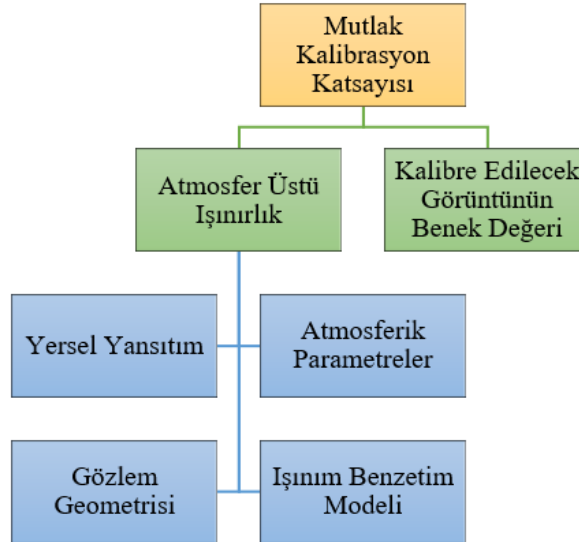
Kazanç modu 4 ile çekilen pankromatik bandın kazanç değerinde %3,66'lık ve kazanç modu 2 ile çekilen yakın kızıl ötesi bandın kazanç değerinde ise %1,92'lik artış hesaplanmıştır.

Tablo 4.2. Pankromatik ve yakın kızıl ötesi bant için MRK yöntemiyle hesaplanan kazanç değerleri ve ölçüm belirsizliği (ÖB)

	Pankromatik Bant			Yakın Kızıl Ötesi Bant		
	Kazanç Modu	Kazanç	ÖB (%)	Kazanç Modu	Kazanç	ÖB (%)
MRK-1	0	0,2742	±5,03	0	0,1352	±5,42
MRK-1 İyileştirme	0	0,2731	±3,16	0	0,1347	±3,41
MRK-2	4	0,1711	±3,73	2	0,1057	±4,53
MRK-3	4	0,1776	±3,54	2	0,1077	±3,92

Tez çalışması kapsamında her arazi çalışmasının ölçüm belirsizliğine dair bulgulara ilgili bölümlerde yer verilmiştir. Bu kısımda ise karşılaştırmalı olarak değerlendirme sonuçlarına yer verilecektir.

Mutlak Radyometrik Kalibrasyon ile hesaplanan kalibrasyon katsayılarının (kazanç) ölçüm belirsizliği hesaplanırken temel olarak Şekil 4.1’de listelenen belirsizlik kaynakları değerlendirilmiştir.



Şekil 4.1. Mutlak radyometrik kalibrasyon yönteminde belirsizliğe neden olan parametreler

Yersel yansıtımdan kaynaklanan belirsizlikler tüm çalışmalar için toplam ölçüm belirsizliğine en fazla etki eden belirsizlik kaynağı olmuştur. Arazi Çalışması-1 kapsamında sürekli veri alınması birçok avantaj sağladığı gibi güneş ışığının tersi yönünde dönülmesi durumunda veya gölgenin ölçülmesi durumunda farklı tayfsal imzaların toplanmasına neden olmaktadır. Cihazı kullanan kişinin dikkatsizliğine bağlı

olarak, pistonun açılı tutulması, kendi vücuduna yakın tutması, zaman kısıtından dolayı her zaman aynı hızda yürümemesi gibi farklı yansıtırlıkta ölçümler alındığı durumlar olmaktadır. Tüm veri seti kullanılarak yani 300 adet ölçüm kullanılarak yapılan hesaplamalarda %3 civarında belirsizlik oranı elde edilirken, ortalamaya yakın değerlerde yersel imzalar kullanıldığında bu oranın %1,5 civarına düştüğü görülmüştür.

30 adet yersel veri kullanılarak ölçüm belirsizliği hesaplanan Arazi-2 ve Arazi-3 çalışmalarında yersel yansıtım değerlerinden kaynaklanan belirsizlik oranı ise %2-2,5 civarındadır.

Kalibrasyonu düzenli olarak gerçekleştirilen cihazın kalibrasyon kartında %0,99 oranında yansıtırlığı olduğu bilgisi yer almaktadır. Cihazdan kaynaklanan belirsizlik ilk çalışma kapsamında %1 olarak hesaplanmıştır ve diğer çalışmaların toplam belirsizlik bütçesine de aynı oran eklenmiştir.

Çalışmalarının hepsinde 6S Benzetim Modeli için gerekli olan atmosferik parametreler güneş fotometresi kullanılarak elde edilmiştir. Aerosol Optik Derinliği, su buharı ve ozon değeri söz konusu cihazdan alınmıştır. Bu değerler çeşitli uyduların sağladığı büyük ölçekli veri tabanından alınabilmektedir ki bu da ölçüm belirsizlik oranını arttırmaktadır. AOD ölçümünden kaynaklanan belirsizliği hesaplarken veri setindeki uydu geçiş saatine en yakın zamanda alınan değerler belirsizlik analizi için kullanılmıştır. Tüm çalışmalar için AOD ölçümünden kaynaklanan belirsizlik %0,2'nin altındadır.

Atmosferik parametreler kapsamında değerlendirilmesi gereken diğer belirsizlik kaynağı ise su buharı ölçümüdür. Su buharı değeri ölçüm saatini kapsayacak şekilde yaklaşık 100 dakika boyunca aynı (virgülden sonra iki hane) kalmaktadır. Dolayısıyla belirsizlik analizi için farklı bir ölçüm değeri yani virgülden sonra 3 hane olacak şekilde 6S'e girdi olarak verildiğinde atmosfer üstü ışınlılık değerinde değişiklik olmadığı tespit edilmiştir.

Atmosferik koşul seçiminden kaynaklanan belirsizlikler de belirsizlik bütçesine etki eden önemli bir belirsizlik parametresidir. Bu parametreden kaynaklanan belirsizliği hesaplamak için 6S Işınım Benzetim Modelinde hali hazırda olan ve Tuz Gölü için kullanılabilecek farklı iki koşul seçilmiştir. Midlatitude Summer seçiminin sağladığı su buharı değeri (2,93 g/cm²) ve US Standart 1962 seçiminin sağladığı (1,42 g/cm²) tüm bantlar için %1'den düşük belirsizlik oranı verirken, tüm çalışmalarda en yüksek

belirsizlik oranı yakın kızıl ötesi bantta hesaplanmıştır. Bu durumun yakın kızıl ötesi bandın su soğurma bandına yakın olmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

Aerosol Model seçiminden kaynaklanan belirsizliği tespit edebilmek için kısıtlı sayıda seçenek bulunmaktadır. “No Aerosol, Maritime, Urban, Biomas ve Stratospheric” seçenekleri Tuz Gölü için uygun olmayan seçeneklerdir. Tez kapsamındaki bütün çalışmalar için “karasal” ve “çöl” modelleri kullanılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Bu parametreden kaynaklanan belirsizlik oranı tüm bantlar için %1,78 ile %2,40 arasında bir değer olarak hesaplanmıştır.

Geometrik koşullardan kaynaklanan belirsizlikler de atmosferik parametreler kapsamında değerlendirilmektedir. Özellikle Güneşin başucu açısı atmosfer üstü ışınlılık hesaplamaları açısından oldukça kritiktir. Uydu geçişini gerçekleştirirken alan boş bırakılmaktadır. Geçiş öncesinde ve sonrasında ölçüm alınan saatin geçişe yakın olması önemlidir zira 10 dakika önce/sonra ölçüm alınması Güneşin başucu açısını yaklaşık 1° kadar değiştirmektedir. Bu tez çalışması kapsamında uydu geçiş saatine en uzak olan yersel ölçüm saati belirsizlik analizi için kullanılmıştır. Bu parametre için ölçüm belirsizliği Arazi Çalışması-1 ve Arazi Çalışması-3 için %1 civarındadır. Arazi Çalışması-2 içinse uydunun geçiş saatiyle ölçüm saatinin arasında zaman farkının diğer çalışmalara göre fazla olması sebebiyle %1,5 ila %2 arasında değişmektedir.

Atmosfer üstü ışınlılık değerini etkileyen diğer belirsizlik kaynağı ise 6S Benzetim Modeli’nin kullandığı fonksiyondan kaynaklanan belirsizliktir. Literatürde olduğu gibi bu tez çalışması kapsamındaki ölçüm belirsizliği hesaplamalarında bu parametreden kaynaklanan belirsizlik %1 olarak kabul edilmiştir.

Kazanç katsayısına etki eden benek değerinden kaynaklanan belirsizlik tüm çalışmalar için %1’in altındadır. Çalışmalarda yer belirteci (tarpolin) kullanıyor olmak ölçüm yapılan alanın/komşu piksellerin doğru tespit edilmesinde ve ölçüm belirsizliği hesaplamalarında büyük kolaylık sağlamaktadır.

Tez çalışması kapsamında uygulanan mutlak radyometrik kalibrasyon yöntemiyle kalibrasyon katsayısının kestirimine yönelik elde edilen ölçüm belirsizliği tüm çalışmalar (Arazi Çalışması-1, 2 ve 3) için literatürde kabul gören oran olarak belirtilen %5’in altında kalmaktadır (Thome, Crowther, & Biggar, 1997; Helder, ve diğerleri, 2012; Dinguirard & Slater, 1999). Arazi Çalışması-1 için %3,50’un, Arazi Çalışması-2 için YKÖ bandı dışında %4’ün (YKÖ-4,53), Arazi Çalışması-3’te %4’ün altında ölçüm belirsizliği elde edilmiştir.

4.1.2. Çapraz radyometrik kalibrasyon

Tez çalışması kapsamında Göktürk-2'nin Landsat 8 ve Sentinel-2A ile çapraz radyometrik kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir. Arazi Çalışması-1'de belirsizlik analizi için iki kez hesaplama yapılarak sonuçlar iyileştirilmiştir ve çapraz radyometrik kalibrasyon için Landsat 8 kullanılmıştır. Arazi Çalışması-1 kapsamında gerçekleştirilen çapraz radyometrik kalibrasyon yöntemi ile elde edilen kalibrasyon katsayıları tüm bantlar için mutlak radyometrik kalibrasyon ile elde edilen katsayılardan düşüktür. İki yöntem arasındaki en yüksek fark yeşil bantta görülürken en az fark YKÖ bantta görülmektedir. Çapraz radyometrik kalibrasyon ile kalibrasyon katsayısı kestirimi için hesaplanan ölçüm belirsizliği tüm bantlar için %2 civarındadır (Tablo 4.3).

Tablo 4.3. Arazi Çalışması-1, MRK ve ÇRK yöntemiyle hesaplanan kazanç değerleri ve ölçüm belirsizliği (ÖB)

	Kırmızı Bant		Yeşil Bant		Mavi Bant		Yakın Kızıl Ötesi Bant	
	Kazanç	ÖB (%)	Kazanç	ÖB (%)	Kazanç	ÖB (%)	Kazanç	ÖB (%)
MRK-1 İyileştirme (a)	0,1608	±2,94	0,3022	±3,22	0,2459	±3,32	0,1347	±3,41
ÇRK-1 İyileştirme (b)	0,1503	±2,04	0,2778	±2,00	0,2304	±2,09	0,1318	±1,97
Yüzde Fark (1-b/a)	6,55	30,61	8,08	37,88	6,29	37,04	2,14	42,22

Arazi Çalışması-2 kapsamında her iki yöntemle elde edilen veriler Tablo 4.4 ile gösterilmiştir. Çapraz radyometrik kalibrasyon yöntemi ile elde edilen tüm kalibrasyon katsayıları daha düşük değerler vermektedir. Yeşil bant ve mavi bantların hesaplanan katsayıları arasındaki yüzde farklar diğer bantlara göre daha fazladır. En düşük yüzde fark ise 3,29 ile YKÖ bant ile hesaplanmıştır. Çapraz radyometrik kalibrasyon yöntemine bağlı ölçüm belirsizliği tüm bantlar için %2,5 civarındadır. Belirsizlik analizinde ise en yüksek yüzde fark YKÖ için elde edilmiştir.

Tablo 4.4. Arazi Çalışması-2, MRK ve ÇRK yöntemiyle hesaplanan kazanç değerleri ve ölçüm belirsizliği (ÖB)

	Kırmızı Bant		Yeşil Bant		Mavi Bant		Yakın Kızıl Ötesi Bant	
	Kazanç	ÖB (%)	Kazanç	ÖB (%)	Kazanç	ÖB (%)	Kazanç	ÖB (%)
ÇRK-2 (b)	0,1210	±2,34%	0,1374	±2,37%	0,1042	±2,73%	0,1022	±2,47%
MRK-2 (a)	0,1264	±3,82%	0,1487	±3,75%	0,1118	±3,79%	0,1057	±4,53%
Yüzde Fark (1-b/a)	4,27	38,74	7,57	36,80	6,85	27,96	3,29	45,47

Arazi Çalışması-3 kapsamında her iki yöntem ile hesaplanan kazanç değerleri incelendiğinde diğer arazi çalışmalarında olduğu gibi en yüksek fark yeşil bantta görülmektedir. YKÖ bant dışındaki tüm bantların mutlak radyometrik kalibrasyonla hesaplanan kazanç değeri diğer yöntemle hesaplanmış kazançlara göre daha yüksektir. Önceki bölümlerde aktarıldığı gibi çapraz radyometrik kalibrasyon yönteminde bantlar arasındaki farkı kompanse etmek için SBAF katsayısı hesaplanır. Bu tez çalışmasında referans algılayıcı olarak kullanılan Landsat 8 ve Sentinel-2A'nın bağıl tayfsal tepkileri birbirlerine büyük oranda benzerken, Göktürk-2'nin sensör karakteristiği bu iki algılayıcıdan oldukça farklıdır. Landsat 8 ve Sentinel-2A'nın BTT eğrilerinin trendi geometrik iken Göktürk-2'nin BTT eğrileri çan yapısındadır ve kapsadığı bant aralığı daha geniştir. Özellikle yeşil bantta BTT eğrişinin iki tane tepe noktası bulunmaktadır. Kazanç değerlerindeki farklılıkların algılayıcıların bant açıklığındaki ve BTT eğrilerindeki farklılıklarından kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

Tablo 4.5. Arazi Çalışması-3, MRK ve ÇRK yöntemiyle hesaplanan kazanç değerleri ve ölçüm belirsizliği (ÖB)

	Kırmızı Bant		Yeşil Bant		Mavi Bant		Yakın Kızıl Ötesi Bant	
	Kazanç	ÖB (%)	Kazanç	ÖB (%)	Kazanç	ÖB (%)	Kazanç	ÖB (%)
ÇRK-3 (b)	0,1269	1,98%	0,1859	2,02%	0,1578	2,11%	0,1091	2,32%
MRK-3 (a)	0,1292	3,42%	0,1987	3,82%	0,1633	3,69%	0,1077	3,92%
Yüzde Fark (1-b/a)	1,80	42,10	6,43	47,12	3,38	42,82	-1,25	40,81

Bu çalışmanın belirsizlik analizi incelendiğinde tüm bantlar için %2 civarında hesaplandığı görülmektedir.

Çapraz radyometrik kalibrasyon yöntemi ile kazanç katsayısı kestiriminde oluşan toplam ölçüm belirsizliğinin tüm çalışmalar için %2 civarında olduğu görülmektedir.

Tüm çalışmalar karşılaştırdığında yersel yansımadan kaynaklanan belirsizlik %0,70'ten azdır. Aynı veri seti ile hem hedef hem de referans algılayıcı için oransal bir değer olan SBAF hesaplandığı için verideki heterojenlik (varsa) sonuçlara yansımamaktadır.

Hedef algılayıcının görüntü aldığı günler güneş fotometresi ile atmosferik ölçümler alınabilmiştir. Ancak tez çalışması kapsamında Arazi Çalışması-2 ve Arazi Çalışması-3 için kullanılan referans algılayıcıların geçiş saatlerinde atmosferik veri alınamamıştır. Bu nedenle AOD'den kaynaklanan belirsizliği hesaplamak için girdi olarak verilen AOD

değerler geçiş tarihine en yakın ve olabilecek en minimum ve maksimum değerlerdir. Bu durum bu parametre için ölçüm belirsizliğinin artmasına neden olmuştur.

Su buharından kaynaklanan belirsizlik için de AOD değerinden kaynaklanan belirsizliğe benzer durum söz konusudur. Atmosferik verinin alınamadığı çalışmalarda tahminleme aralığı geniş tutulmuştur ve atmosferik ölçüm yapılan çalışmaya göre daha yüksek bir ölçüm belirsizliği elde edilmiştir.

Tez çalışması kapsamında uygulanan çapraz radyometrik kalibrasyon yöntemiyle kalibrasyon katsayısının kestirimine yönelik elde edilen ölçüm belirsizliği tüm çalışmalar (Arazi Çalışması-1, 2 ve 3) için literatürde kabul gören oran olarak belirtilen %5'in altında kalmaktadır (Thome, Crowther, & Biggar, 1997; Helder, ve diğerleri, 2012; Dingirard & Slater, 1999). Arazi Çalışması-1 için %2 civarındadır, Arazi Çalışması-2 için mavi bant hariç %2,5'in (Mavi-2,73), Arazi Çalışması-3'te %2,5'in altında ölçüm belirsizliği elde edilmiştir.

Milli yer gözlem uydularımız için milli test sahamızda özel izinle gerçekleştirilebilen çalışmaların kısa sürede ve az işgücü ile 1. Derece Doğal Sit Alanı olan gölün yapısına herhangi bir zarar vermeden yapılabilmesine yönelik; kolay monte/demonte edilebilir tarpolinler kullanılmış, Göktürk-2 uydusunun Nadir'den geçişine uygun, tuz yapısının bozulmamış/homojen olduğu bir arazi seçilmiş ve günübirlik çalışmalarla atmosferik ve yersel verilerin toplanması sağlanabilmiştir. Bu kapsamda mevcut kaynaklardan optimum bir seviyede istifade edilebilmiştir.

4.2. Çalışma Sonucundaki Öneriler

Çalışma kapsamında yersel, atmosferik ve uydu görüntülerinin alındığı Tuz Gölü, belirli otoritelerce kalibrasyon sahası olarak bilime kazandırılmıştır. Tuz Gölü, uydu seviyesinden yekpare ve homojen bir yüzey alanı görünmesine rağmen yersel imzalar arasında farklılıklar oluşmaktadır. Yaklaşık 1 metre yükseklikten 8° FOV foreoptik algılayıcı ile alınan ölçümler yaklaşık 14 cm çaplı kısıtlı bir alanı temsil etmektedir. Yersel yansıtım verilerinden kaynaklanan belirsizliği azaltmak amacıyla çalışmanın yapay bir alanda veya çölde tekrarlanması faydalı olacaktır.

Bu çalışmada, literatürde 'Thomes Strip' olarak anılan dikey şerit ölçümler yapılmaktadır. Yersel ölçüm cihazı sayısını artırarak (en az iki adet spektrometre ile) yatay olarak ilerlenebilecek bir ölçüm rotası üzerinde örnekleme yapılabilir. Bu sayede sürekli ölçüm modunda çalışan spektrometrenin güneşin geliş açısına bağlı değişimlerin

yersel imzalar üzerindeki etkileri minimize edilmiş olacaktır. Daha fazla sayıda cihazla çalışılıyor olması, ölçüm saatine yakın zaman diliminde daha fazla yersel imza alınmasını sağlayarak Güneşin başucu açısından kaynaklanan belirsizlikleri azaltacaktır.

Tuz Gölü'nde özel izinle gerçekleştirilen çalışmaların en kısa sürede ve en az işgücü ile tamamlanması ihtiyacından dolayı, veri işleme aşamasında gerçekleştirilen yoğun analiz, değerlendirme ve iyileştirmelerin kullanılan açık kaynak kodların da entegre edileceği bir yazılım otomasyonu tarafından gerçekleştirilmesi işlemleri oldukça hızlandıracak ve veri işleme sürecindeki olası insan kaynaklı hataları engelleyecektir.

Tuz Gölü'ndeki ulusal ve uluslararası radyometrik kalibrasyon çalışmalarını koordine edip, yönlendirecek bir devlet kurumu resmi olarak görevlendirilebilir ve ihtiyaç duyan kurum/kuruluşlar bu kurum üzerinden faaliyetlerini organize edebilir, kurumun sağlayacağı hizmetlerden ücretli/ücretsiz faydalanabilirler. Ayrıca yine bu şekilde konuyu sahiplenen ve yöneten kurum, diğer ülkelerle işbirliği çalışmaları gerçekleştirip yurtiçindeki bilimsel çalışmaları/panelleri yönlendirerek yetişmiş insan kaynağı ve bilimsel faaliyetlerin artırılması konusunda da önemli katkılar sağlayabilir.

KAYNAKÇA

- Ahn, H. Y., Shin, D. Y., Kim, J. S., Seo, D. C., & Choi, C. U. (2016). Absolute Radiometric Calibration of KOMPSAT-3A. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 41(B1), 271-274.
- Campbell, S., Lovell, J., Jupp, D. L., Graetz, R. D., King, E. A., & Byrne, G. (2001). The Lake Frome field campaign in support of Hyperion instrument calibration and validation. *Proceedings of IEEE 2001 International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 6, s. 2593–2595.
- Chander, G., Markham, B., & Helder, D. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote sensing of environment*, 113, 893-903.
- Chander, G., Meyer, D. J., & Helder, D. L. (2004). Cross calibration of the Landsat-7 ETM+ and EO-1 ALI sensor. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42, 2821-2831.
- Chander, G., Mishra, N., Helder, D. L., Aaron, D. B., Angal, A., Choi, T., . . . Doelling, D. R. (2012). Applications of spectral band adjustment factors (SBAF) for cross-calibration. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 51, 1267–1281.
- Choi, Y. W., Harmoul, A., Kang, M., Al-Dhafri, S., & Kim, E. E. (2009). DubaiSat-1 Camera: Pre-launch Performance Characterization. *Proceedings of the 60th IAC (International Astronautical Congress)*.
- Çamur, M. Z., & Mutlu, H. (1996). Major-ion geochemistry and mineralogy of the Salt Lake (Tuz Gölü) basin, Turkey. *Chemical Geology*, 127(4), 313-329.
- Çemen, İ., Göncüoğlu, M., & Dirik, K. (1999). Structural evolution of the Tuzgölü basin in Central Anatolia. *Journal of Geology*, 107(6), 693–706.
- Demirhan, İ. H., & Telatar, Z. (2018). Göktürk-2'nin Mutlak ve Çapraz Radyometrik Kalibrasyon Katsayılarının Belirlenmesi. *VII. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2018)*. Eskişehir.

- Demirhan, İ. H., Deveci, H. S., & Sakarya, U. (2017). Radiometric cross-calibration of Göktürk-2 with Landsat 8. *2017 25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, (s. 1-4).
- Deveci, H. S., & Demirhan, İ. H. (2018). 2015 ve 2017 Tuz Gölü Kampanya Verilerini Kullanarak Göktürk-2 Bantlarına Ait Radyometrik Kazançların Kıyaslanması. *VII. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2018)*. Eskişehir.
- Deveci, H. S., Koru, A., Sakarya, U., Tevrizoglu, I., Teke, M., Kupcu, R., . . . others. (2016). The benefits and challenges of having an open and free basis satellite data sharing platform in Turkey: Gezgin. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 41(B8), 1341-1347.
- Dingirard, M., & Slater, P. N. (1999). Calibration of Space-Multispectral Imaging: A Review. *Remote Sensing of Environment*, 68(3), 194-205.
- Dirik, K., & Erol, O. (2003). Tectonomorphologic evolution of Tuzgölü and surrounding area, central Anatolia-Turkey. *Turkish Association of Petroleum Geologists Special Publication*, 5, 27-46.
- Ergun, O. (1988). Şereflikoçhisar çevresi Tuz Gölü güncel evaporit çökellerinin sedimantolojik incelemesi. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yayınları*, 33, 1-73.
- Gao, H., Gu, X., Yu, T., Sun, Y., & Liu, Q. (2016). Cross-calibration of GF-1 PMS sensor with Landsat 8 OLI and Terra MODIS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 54(8), 4847-4854.
- Gürbüz, A., & Kazancı, N. (2014). Facies Characteristics and Control Mechanisms of Quaternary Deposits in the Lake Tuz Basin. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 149, 1-18.
- Gürbüz, A., & Kazancı, N. (2015). Genetic framework of Neogene-Quaternary basin closure process in central Turkey. *Lithosphere*, 7(4), 421-426.
- Gürol, S., Özen, H., Leloğlu, U. M., & Tunalı, E. (2008). Tuz Gölü: New absolute radiometric calibration test site. *The International Archives of the*

- Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(B1), 35-40.
- Helder, D. L., Karki, S., Rajendra, B., Micijevic, E., Aaron, D., & Jasinski, B. (2012). Radiometric Calibration of the Landsat MSS Sensor Series. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 50(6), 2380-2399.
- Irion, G., & Müller, G. (1968). Huntite, magnesite, and polyhalite of recent age from Tuz Gölü, Turkey. *Nature*, 220, 1309-1310.
- Liu, L., Gao, H., Pan, Z., Gu, X., Han, Q., & Zhang, X. (2018). Cross calibration of GF-1 satellite wide field of view sensor with Landsat OLI and HJ-1A HSI. *Journal of Applied Remote Sensing*, 12(1), 1-16.
- Markham, B. L., Barsi, J. A., Kaita, E., Ong, L., Morfitt, R. A., & Haque, M. O. (2015). Radiometric calibration and stability of the Landsat-8 Operational Land Imager (OLI). *Remote Sensing*, 6(12), 12275-12308.
- Morain, S. A., & Budge, A. M. (2004). *Post-Launch Calibration of Satellite Sensors* (Cilt 2). London: Taylor & Francis.
- Örmeci, C., & Ekercin, S. (2007). An assessment of water reserve changes in Salt Lake, Turkey, through multi-temporal Landsat imagery and real-time ground surveys. *Hydrological Processes*, 21(11), 1424-1435.
- Özen, H., Fox, N., Gürbüz, S. Z., Deadman, A., Behnert, I., Harris, P., . . . others. (2012). Preliminary Results of the Comparison of Satellite Imagers Using Tuz Gölü as a Reference Standard. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 39, B1.
- Özen, H., Gürol, S., Leloğlu, U. M., & Tunalı, E. (2009). Uydu görüntüleri ve yersel verilerden Tuz Gölü'nün homojenlik analizi. *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Sempozyumu (TUFUAB 2009)*. Ankara.
- Özsayın, E., Gürbüz, A., Kuzucuoğlu, C., & Erdoğan, B. (2019). *Salted Landscapes in the Tuz Gölü (Central Anatolia): The End Stage of a Tertiary Basin*. Springer, Cham.

- Scott, K. P., Thome, K. J., & Brownlee, M. R. (1996). Evaluation of Railroad Valley Playa for use in vicarious calibration. *Multispectral Imaging for Terrestrial Applications*, 2818, s. 158–166.
- Slater, P. N., Biggar, S. F., Holm, R. G., Jackson, R. D., Mao, Y., Moran, M. S., . . . Yuan, B. (1987). Reflectance- and radiance-based methods for the in-flight absolute calibration of multispectral sensors. *Remote Sensing of Environment*, 22, 11–37.
- Teillet, P. M., Fedosejevs, G., Thome, K. J., & Barker, J. L. (2007). Impacts of spectral band difference effects on radiometric cross-calibration between satellite sensors in the solar-reflective spectral domain. *Remote Sensing of Environment*, 110, 393–409.
- Teillet, P. M., Markham, B. L., & Irish, R. R. (2006). Landsat cross-calibration based on near simultaneous imaging of common ground targets. *Remote Sensing of Environment*, 102, 264–270.
- Teke, M., Demirkesen, C., Haliloğlu, O., & İmre, E. (2016). Göktürk-2 Uydusunun Bağlı ve Mutlak Çapraz Radyometrik Kalibrasyonu. *Harita Dergisi*, 155, 1–22.
- Tekin, E., Ayyıldız, T., Gündoğan, İ., & Orti, F. (2007). Modern halolites (halite oolites) in the Tuz Gölü, Turkey. *Sedimentary Geology*, 195(3-4), 101–112.
- Thome, K. J. (2001). Absolute radiometric calibration of Landsat 7 ETM+ using the reflectance-based method. *Remote Sensing of Environment*, 78, 27–38.
- Thome, K. J. (2002). Ground-look radiometric calibration approaches for remote sensing images in the solar reflective. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 34, 255–260.
- Thome, K. J., Crowther, B. G., & Biggar, S. F. (1997). Reflectance- and Irradiance-Based Calibration of Landsat-5 Thematic Mapper. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 23, 309–317.
- Thome, K., & Fox, N. (2011). 2010 CEOS field reflectance intercomparisons lessons learned. *2011 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, (s. 3879–3882).

Uyanık, E. (2004). Tuz Gölü tuzlalarında ham tuz üretimi. *JMO Odası Yayınları*, 191–219.

Yürekli, A. (2019). Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu. *Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, 1-12.

http-1: Calibration/Validation Instrumented test sites to obtain radiometric i,
<https://www.usgs.gov/media/images/calibrationvalidation-instrumented-test-sites-obtain-radiometric-i> (Erişim Tarihi: 22.08.2021)

http-2: Buharlaştırma, <https://www.mgm.gov.tr/arastirma/buharlasma.aspx?s=2020>
(Erişim Tarihi: 12.09.2021)

http-3: GRASS (Gonio Radiometric Spectrometer System,
<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/airborne-sensors/grass> (Erişim Tarihi: 23.08.2021)

http-4: Göktürk-2, https://space.skyrocket.de/doc_sdat/gokturk-2.htm (Erişim Tarihi: 23.09.2021)

http-5: Spectroradiometers - FieldSpec® 3, <http://www.samwoosc.co.kr/fieldspec3.html>
(Erişim Tarihi: 23.08.2021)

http-6: Laboratoire d'Optique Atmosphérique, <https://www-loa.univ-lille1.fr> (Erişim Tarihi: 20.09.2021)

http-7: Atmosfer, <https://www.mgm.gov.tr/genel/sss.aspx?s=atmosfer> (Erişim Tarihi: 24.08.2021)

http-8: Water Vapor, https://earthobservatory.nasa.gov/global-maps/MYDAL2_M_SKY_WV (Erişim Tarihi: 23.08.2021)

http-9: Second Simulation of a Satellite Signal in the Solar Spectrum vector code,
<https://salsa.umd.edu/6spage.html> (Erişim Tarihi: 23.08.2021)

http-10: NASA Worldview interactive interface for browsing full-resolution, global, daily satellite images, <https://worldview.earthdata.nasa.gov/> (Erişim Tarihi: 23.08.2021)

http-11: Aerosol Optical Depth - Direct Sun Measurements,

https://aeronet.gsfc.nasa.gov/new_web/aerosols.html (Erişim Tarihi:
23.08.2021)



ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı : Hüsne Seda DEVECİ

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2006, Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü / Lisans
- 2011, Dundee Üniversitesi, Uzaktan Algılama Ana Bilim Dalı, Uzaktan Algılama ve Programlama/ Yüksek Lisans
- 2012-2019, Proje Yöneticisi & Araştırmacı, Uzaktan Algılama Grubu, TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü
- 2019-2020, Proje Yöneticisi, Proje ve Program Yönetimi Grubu, TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü
- 2020-Halen, Grup Lideri & Proje Yöneticisi, Stratejik Yönetim, Ölçme ve Değerlendirme Grubu, TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü

Yayınları ve Bilimsel Faaliyetleri:

- Teke, M., Mutlu, N., Türker, U., Çullu, M. A., Küpcü, R., Bozgeyik, F., Demirpolat, C., Öztoprak, A.F., Deveci, H.S., & Demirhan, İ.H. (2019). Widespread Application of Sustainable Precision Agriculture Practices in Southeastern Anatolia GAP Region, Hassas Project. International Conference on Computer Technologies and Applications in Food and Agriculture (ICCTAFA-2019), Konya, Türkiye.
- Deveci, H.S. & Demirhan, İ.H. (2018). 2015 ve 2017 Tuz Gölü Kampanya Verilerini Kullanarak Göktürk-2 Bantlarına Ait Radyometrik Kazançların

Kıyaslanması. VII. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, Eskişehir, Türkiye (UZAL-CBS 2018).

- Demirhan, İ.H., Deveci, H.S., & Sakarya, U. (2017). Radiometric Cross-calibration of Göktürk-2 with Landsat 8. IEEE 25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 1-4.
- Teke, M., Deveci, H. S., Öztoprak, A.F., Efendioğlu, M., Küpçü, R., Demirkese, C., Şimşek, F.F., Bağcı, B., Uysal, E., Türker, U., Yıldırım, E., Bayramın, İ., Kalkan, K., and Demirpolat, C. (2016). Akıllı Tarım Fizibilite Projesi: Hassas Tarım Uygulamaları İçin Havadan ve Yerden Veri Toplanması, İşlenmesi ve Analizi. 6. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu, Adana, Türkiye. 463-473.
- Sakarya, U., Demirhan, İ.H., Deveci, H.S., Teke, M., Demirkese, C., Küpçü, R., Öztoprak, A.F., 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. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLI-B1, 373-377.
- Deveci, H.S., Kuru, A., Sakarya, U., Tevrişoğlu, I., Teke, M., Kupcu, R., ... & Ersoz, E. (2016). The Benefits and Challenges of Having an Open and Free Basis Satellite Data Sharing Platform in Turkey: Gezgin. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLI-B8, 1341-1347.
- Sakarya, U., Teke, M., Demirkese, C., Haliloğlu, O., Kozal, A. Ö., Deveci, H.S., ... & Gürbüz, S. Z. (2015). A Short Survey of Hyperspectral Remote Sensing and Hyperspectral Remote Sensing Research at Tübitak Uzay. IEEE 7th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST), 187-192.
- Sakarya, U., Teke, M., Demirkese, C., Haliloğlu, O., Kozal, A. Ö., Deveci, H.S., ... & Gürbüz, S.Z. (2015). TÜBİTAK Uzay'da Hiperspektral Görüntü İşleme Araştırmaları: 2012-2014. 15. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, Türkiye, 19(20).
- Sakarya, U., Gürbüz, S.Z., Demirkese, C., Deveci, H.S., Tankız, S., Öztoprak, A.F., ... & Teke, M. (2014). Afet Yönetiminde Görüntü İşleme Uygulamalarının Kısa Bir İncelemesi ve Rasat ile Örnek Uygulamalar. V. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, İstanbul, Türkiye (UZAL-CBS 2014), 8(10).

- Demirkese, C., Gürbüz, S. Z., Sakarya, U., Deveci, H.S., Tankız, S., ztoprak, F., ... & Teke, M. (2014). Afet Yönetiminde Algılayıcı Teknolojilerinin Kullanımı. V. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, İstanbul, Türkiye (UZAL-CBS 2014).
- Teke, M., Deveci, H. S., Haliloğlu, O., Gürbüz, S. Z., & Sakarya, U. (2013). A Short Survey of Hyperspectral Remote Sensing Applications in Agriculture. IEEE 6th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST), 171-176.

Mesleki Birlik/Dernek/Kuruluş yelikleri:

2006, Jeoloji Mhendisleri Odası