

**UZAKTAN ALGILAMADA SPEKTRAL
AÇI HARİTALAYICI (SAM)
YÖNTEMİNİN PYTHON KODU
GELİŞTİRİLEREK ALTERASYON
ALANLARININ TESPİTİNDE
KULLANILMASI: BİNGÖL ADAKLI
HİDROKARBON SIZINTI ALANI**

Yüksek Lisans Tezi

Fatih ÖZKAN

ESKİŞEHİR 2020

**UZAKTAN ALGILAMADA SPEKTRAL AÇI HARİTALAYICI (SAM)
YÖNTEMİNİN PYTHON KODU GELİŞTİRİLEREK ALTERASYON
ALANLARININ TESPİTİNDE KULLANILMASI: BİNGÖL ADAKLI
HİDROKARBON SIZINTI ALANI**

Fatih ÖZKAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Uğur AVDAN

(İkinci Danışman: Doç. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU)

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Haziran 2020

ÖZET

UZAKTAN ALGILAMADA SPEKTRAL AÇI HARİTALAYICI (SAM) YÖNTEMİNİN PYTHON KODU GELİŞTİRİLEREK ALTERASYON ALANLARININ TESPİTİNDE KULLANILMASI: BİNGÖL ADAKLI HİDROKARBON SIZINTI ALANI

Fatih ÖZKAN

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisanüstü Eğitim Enstitüsü, Haziran 2020

Danışman: Doç. Dr. Uğur AVDAN

(İkinci Danışman: Doç. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU)

Yeryüzü ile ilgili değerli bilgilerin elde edilmesinde görüntü işleme yöntemleri etkin bir biçimde kullanılmaktadır. Uydu görüntüleri bu metodlar ile işlenebilmekte ve analizleri yapılabilmektedir. Bu görüntüler üzerinde hedef tespiti için yürütülen çalışmalar genelde iki sınıfta değerlendirilebilir. İlk sınıf olan anomali tespiti yöntemlerinde, hedefin görüntünün geri kalanından farklı olduğu bilgisi kullanılarak görüntü analizi yapılabilmektedir. İkinci sınıf ise daha önceden bilgisi edinilmiş hedefe ait spektral imza ile görüntüdeki her piksel arasındaki benzerlik bulunarak hedefin içeriği ve konumu tespit edilmektedir. Alterasyon mineralleri özelliği taşıyan spektrumların, gözlemsel görüntüsünün bir referans spektrumla (spektral kütüphane) karşılaştırılmasına dayanan hedef minerallerin benzerlik kriteri kullanılmıştır. Hedef minerallerinin sınıflandırılması, ENVI programı tarafından sunulan açık kaynak “EnviPyEngine” kütüphanesi, Python programlama dili platformunda yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, bölgeden alınan örnekler üzerinde Spektral, XRD analizleri ve Bant oranlama tekniği sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Model, literatürde yaygın olarak kullanılan referans spektra yöntemi olan Spectral Angle Mapper (SAM) algoritması temelinde geliştirilmiştir. Model, Python programlama dilini destekleyen CBS ve Uzaktan Algılama yazılımlarına entegre edilerek araştırmacıların alternatif bir yöntem olarak kullanılabilir.

Anahtar Sözcükler: Spectral açı haritalayıcı (SAM), Eğitimli sınıflandırma, Mineral sınıflandırma, Hidrokarbon alterasyon, Uzaktan algılama, Python

ABSTRACT

USING THE SPECTRAL ANGLE MAPPER (SAM) METHOD IN THE DETECTION OF ALTERATION AREAS BY DEVELOPING THE PYTHON CODE IN REMOTE SENSING: BINGOL ADAKLI HYDROCARBON LEAKAGE AREA

Fatih ÖZKAN

Department of Remote Sensing and Geographical Information Systems

Eskişehir Technical University, Graduate School of Sciences, June 2020

Supervisor: Assoc. Prof. Uğur AVDAN,

(Co-Supervisor: Assoc. Prof. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU)

Image processing methods are used effectively in obtaining valuable information about the earth surface. Satellite images can be processed and analyzed with these methods. Studies carried out for target determination on these images can generally be evaluated in two classes. In the first class anomaly detection methods, image analysis can be done using the information that the target is different from the rest of the image. In the second class, the similarity between the spectral signature of the previously acquired information of target and each pixel in the image is found and the content and location of the target are determined. In the study, the similarity criterion of target minerals based on comparing the observational image of the hydrocarbon appearing spectrum bearing spectrum with a reference spectrum (spectral library) was used. The classification of target minerals was made on the Python programming language platform, the open source “EnviPyEngine” library offered by the ENVI program. The results were compared with Spectral, XRD analysis and Band ratio technique results on the samples taken from the region. The model was developed on the basis of the Spectral Angle Mapper (SAM) algorithm, which is the reference spectra method widely used in the literature. The model can be integrated into GIS and Remote Sensing software that support the Python programming language and can be used as an alternative method for researchers.

Keywords: Spectral angle mapper (SAM), Supervised classification, Mineral classification, Hydrocarbon alteration, Remote sensing, Python

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında beni teşvik eden ve desteğini hiç bir zaman esirgemeyen tez danışmanlarım, değerli hocam Sayın Doç. Dr. Uğur AVDAN ve Sayın Doç. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU' na, tez çalışmalarındaki katkılarından dolayı Dr. Dilek KÜÇÜK MATCI ve yine çalışmalarım esnasında manevi destek olan anneme, babama ve kardeşime, ayrıca anlayışları ve manevi destekleri için eşim Ezgi Nilay ÖZKAN'a ve oğlum Ömer ÖZKAN' a çok teşekkür ederim.

Fatih ÖZKAN

Jeodezi ve Fotogrametri Müh.

22/06/2020

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 ilke 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.

Fatih ÖZKAN

22/06/2020

STATEMENT OF COMPLIANCE WITH ETHICAL PRINCIPLES AND RULES

I hereby truthfully declare that this thesis is an original work prepared by me; that I have behaved in accordance with the scientific ethical principles and rules throughout the stages of preparation, data collection, analysis and presentation of my work; that I have cited the sources of all the data and information that could be obtained within the scope of this study, and included these sources in the references section; and that this study has been scanned for plagiarism with “scientific plagiarism detection program” used by Eskişehir Technical University, and that “it does not have any plagiarism” whatsoever. I also declare that, if a case contrary to my declaration is detected in my work at any time, I hereby express my consent to all the ethical and legal consequences that are involved.

Fatih ÖZKAN

22/06/2020

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI.....	i
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	viii
TABLolar DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı	1
1.2. Literatür Taraması	2
1.3. Hipotez.....	4
2. TEMEL KAVRAMLAR VE MATERYAL	5
2.1. Alterasyon Mineralleri.....	5
2.2. Spektral Analiz (Spektroradyometri Ölçümleri)	6
2.3. X-Işını Difraktometresi (XRD) Analizi	8
2.4. Band Oranlama Yöntemi.....	8
2.5. Landsat 8 OLI Uydusu	11
2.6. Spectral Angle Mapper (SAM) Algoritması	12
2.7. ENVI Python Kütüphanesi.....	15
3. UYGULAMA	16
3.1. Çalışma Alanı.....	16

3.2. Arazi Çalışması.....	18
3.3. Analiz Uygulamaları	19
3.3.1. Spektral yansıma analiz uygulaması.....	19
3.3.2. X-Işınımı (XRD) analiz uygulaması	30
3.4. Band Oranlama Uygulaması	31
3.4.1. Katman istifleme	31
3.4.2. Atmosferik düzeltme	31
3.4.3. NDVI ve NDWI maske oluşturma.....	32
3.4.4. Band oranlama.....	36
3.5. Model Uygulaması.....	40
3.6. Uygulama Sonuçları Karşılaştırma ve Tartışma.....	49
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	56
KAYNAKÇA.....	59
EKLER	62
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Landsat 8 batları ile oluşturulan indeksler	10
Tablo 2.2. Landsat 8 uydu bantları	11
Tablo 3.1. Arazi çalışmasında istasyon noktalarının koordinatları	18
Tablo 3.2. 1 Nolu istasyon numune örneği spektral ölçümler	30
Tablo 3.3. TPAO Arge Merkezi XRD analiz sonuçları	31



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Spectravista SVC-HR 1024i spektrometri	7
Şekil 2.2. Landsat SWIR2 bantı (2.0-2.5 μm) aralığındaki anaomali minerallerinin laboratuvar spectrumları	9
Şekil 2.3. Farklı spektral çözünürlüklere sahip dört sensörden alunit spektrumlarının karşılaştırılması	13
Şekil 2.4. SAM geometrisi	14
Şekil 2.5. Landsat görüntüsünün spektral bantları ve USGS Spektra Kütüphanede hematit, olivin ile kaolinit minerallerinin spektralleri	15
Şekil 3.1. Uygulama akış şeması	16
Şekil 3.2. ESRI Base Map görüntüsü üzerinde çalışma alanı	17
Şekil 3.3. (a) İstasyon 3 demir oksitçe zengin kırmızı , (b) İstasyon 6 hidrokarbon alterasyon alanı	19
Şekil 3.4. Demir oksit ve kil mineralleri spektral yansıma eğrileri	21
Şekil 3.5. 1 Nolu istasyon dan alınan numune örneği farklı açılardan çekilmiş resimleri	23
Şekil 3.6. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen spektral ölçümler.....	24
Şekil 3.7. 1 Nolu istasyon numune örneği üzerinde 1. ölçüm spektral yansıması	25
Şekil 3.8. Test ölçüm ve Feldspat minerali 2.2-2.4 μm aralığında spektral yansıması	25
Şekil 3.9. Test ölçümünün Feldspat (microline) minerali ile benzerlik skoru	26
Şekil 3.10. Test ölçüm ve Demir oksit minerali (hematit, ilmenite, götit) 0.45-0.85 μm aralığında spektral yansıması	26
Şekil 3.11. Test ölçümünün hematit minerali ile benzerlik skoru	27
Şekil 3.12. Test ölçümünün ilmenit minerali ile benzerlik skoru.....	27
Şekil 3.13. Test ölçümünün götit minerali ile benzerlik skoru.....	27
Şekil 3.14. Test ölçüm ve Kil minerali (illit, simektit, kaolin) 1.4-2.2 μm aralığında spektral yansıması.....	28
Şekil 3.15. Test ölçümünün illit minerali ile benzerlik skoru	28

Şekil 3.16. Test ölçümünün simektit (montmorillonite) minerali ile benzerlik skoru	29
Şekil 3.17. Test ölçümünün kaolin minerali ile benzerlik skoru	29
Şekil 3.18. Orjinal spektra (solda) ve atmosferik düzeltme yapılmış spektra (sağda) (y eksen: reflektans, x eksen: dalga boyu).....	32
Şekil 3.19. NDVI görüntü zenginleştirme eşik değeri (konstrast)	33
Şekil 3.20. NDWI görüntü zenginleştirme eşik değeri (konstrast)	34
Şekil 3.21. NDVI ve NDWI maske görüntüsü	35
Şekil 3.22. Landsat 8 maske uygulanmış görüntü	36
Şekil 3.23. Demir oksit (kırmızı) anomali görüntüsü	37
Şekil 3.24. Demir oksit anomali görüntüsü için giriş ve çıkış histogramları	37
Şekil 3.25. Demir oksit yapay renk uygulaması için minimum ve maksimum eşik değerleri (konstrats)	38
Şekil 3.26. Kil mineralleri (kırmızı) anomali görüntüsü	39
Şekil 3.27. Kil mineralleri anomali görüntüsü için giriş ve çıkış histogramları.....	39
Şekil 3.28. Model uygulama çalışma prensibi.....	42
Şekil 3.29. Model uygulama şablonu	43
Şekil 3.30. Model uygulamasında kullanılan kütüphaneler ve parametreler	44
Şekil 3.31. Yenileme parametrelerinin yer aldığı kodlar	44
Şekil 3.32. Özellikler ve metadata çıkarın yer aldığı kodlar	45
Şekil 3.33. Kütüphaneden spektrum almanın yer aldığı kodlar	46
Şekil 3.34. Spectrum yeniden örneklemenin yer aldığı kodlar	47
Şekil 3.35. SAM sınıflandırma algoritmasının yer aldığı kodlar	48
Şekil 3.36. Çıktı ortamının yer aldığı kodlar	49
Şekil 3.37. 1 Nolu istasyon band oranlama kil sonuçları	51
Şekil 3.38. 1 Nolu istasyon band oranlama demir oksit sonuçları	52
Şekil 3.39. Model uygulama hematit minerali sonuçları.....	53
Şekil 3.40. Model uygulama götit minerali sonuçları	53
Şekil 3.41. Model uygulama illit minerali (mavi) sonuçları	54
Şekil 3.42. Model uygulama simektit minerali (yeşil) sonuçları.....	54
Şekil 3.43. Model uygulama kaolin minerali (yeşil) sonuçları	55

Şekil 4.1. İstasyon 7 (a) demir oksit (kırmızı), (b) kil mineralleri (mavi) model uygulama sonuçları.....	56
Şekil 4.2. İstasyon 9 (a) demir oksit (kırmızı), (b) kil mineralleri (mavi) model uygulama sonuçları.....	57
Şekil 4.3. İstasyon 12 (a) demir oksit (kırmızı), (b) kil mineralleri (mavi) model uygulama sonuçları.....	57



KISALTMALAR DİZİNİ

CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
DN	: Dijital Number
EM	: Elektromanyetik
IR	: Infrared
LDCM	: Landsat Data Continuity Mission
L1T	: Level 1 Terrain
NASA	: The National Aeronautics and Space Administration
NDVI	: Normalized Difference Vegetation Index
NDWI	: Normalized Difference Water Index
NIR	: Near Infrared
OLI	: Operational Land Imager
PC	: Personel Computer
RGB	: Red Green Blue
SAM	: Spektral Angle Mapper
SWIR	: Short Wave Infrared
TIR	: Thermal Infrared
TPAO	: Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
USGS	: United States Geological Survey
UTM	: Universal Transverse Mercator
WGS	: World Geodetic System

1. GİRİŞ

Hidrokarbonlar yeraltında maruz kaldıkları çeşitli tektonik hareketler ve basınç farklılıkları sonucu var oldukları rezervuarlardan mikro çatlakları takip ederek yeryüzüne doğru göç ederler. Yüzeye hareket eden hidrokarbon sızıntıları, kayaç ve toprakta farklı kimyasal ve mineralojik tepkimelere neden olurlar. Bu sızıntılar kayaç yapısında var olan demir oksit ile tepkimeye girerek kayaçların bozlaşmasına, kil grubu minerallerinin oluşmasına ve artmasına sebep olurlar (Polat, 2012). Uzaktan algılama teknikleri kullanılarak yüzey hidrokarbon varlığına işaret eden alterasyon alanları görüntü işleme teknikleri ile belirlenebilirler ve bunun sonucu hidrokarbon alterasyon alan tespiti yapılabilir.

Çalışma alanı olarak Bingöl ili Adaklı ilçesi çevresi seçilmiştir. Bu bölgenin seçilme amacı, çalışma sonuçları doğruluk tespit adımlarında kullanılacak 13 farklı istasyondan alınan numunelerin (kayaç örnekleri) bulunmasıdır. Bölgeye ait saha çalışmaları 25-28 Ekim 2019 tarihleri arasında gerçekleştirilmiş ve alınan numunelerin görselleri EK E’de verilmiştir. Bu kapsamda bu tez çalışması uzaktan algılamada kullanılan bazı görüntü işleme yöntemlerinin python tabanında seçili pilot bölgeye uygulayan bir çalışmadır. Konuyla ilgili literatür bilgileri ve uygulanan uygulamalar sırasıyla diğer bölümlerde verilmiştir.

1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu tez çalışması, yüzey hidrokarbon alterasyon mineralleri demir oksit ve kil grubu spektrumlarının referans spektrum yöntemi olan SAM algoritması temelinde Python kodları kullanılarak geliştirilen model uygulaması araştırmacılara alternatif bir yöntem olması amacıyla yapılmıştır.

Hidrokarbon alterasyonları, çok bantlı uydu görüntüleri (multispektral ve hiperspektral) üzerinde uzaktan algılama (UA) programlarının görüntü işleme teknik ve analiz uygulamaları sonucu tespit edilmektedir. Günümüzde birçok UA programı bulunmakta ve her birinin kendine özgü arayüz formları bulunup görüntü işleme amacıyla farklı araçlar sunmaktadır. UA programları arasında görüntü işleme üzerine en yaygın

olarak kullanılan ENVI programı kullanıcıların kendilerine özgü çalışmalar yapabilmesi adına Python kod tabanlı kütüphanelerini açık kaynak olarak sunmaktadır. Alterasyon alanları tespitinde UA programlarının sunduğu karmaşık işlemleri ENVI programının açık kaynak kod olarak sunduğu “EnviPyEngine” kütüphanesi kullanılarak konsol ortamında çalışan bir uygulama geliştirilmiştir. Geliştirilen model uygulaması spektral referans imzaları olarak USGS spektral kütüphanesini kullanarak görüntü üzerinde eşleştirmeler yapmaktadır.

Karmaşık işlemlere sahip olan görüntü işleme, ENVI programının sunduğu açık kaynakların kullanılması ile alterasyon tespiti amacıyla bir model uygulaması haline getirilmiş ve bu uygulamanın yapılacak bilimsel nitelikli araştırmalara önemli oranda katkılar sağlayacağı öngörülmektedir.

1.2. Literatür Taraması

UA biliminin uygulama tekniklerinden biri olan görüntü işleme alanı birçok araştırmaya konu olmuştur. Gelişen uydu teknolojileri ve UA programlarının sunduğu imkanlar ile görüntüler üzerinden bilgi edinme çalışmalarının önemi her geçen gün artarak devam etmektedir. Bu önem artışı beraberinde bir çok bilimsel çalışmayı beraberinde getirmektedir. Literatürde UA alanında SAM algoritması konulu sayısız araştırma mevcuttur.

Balıkesir Bigadiç ve Eskişehir Kırka bölgelerinde bor minerallerinin belirlenmesinde 2010 yılına ait Landsat 5 uydu görüntüleri üzerinde SAM ve Bant Oranı teknikleri ENVI programı kullanılarak bor minerallerince zengin olan bölgeler tespit edilmiştir (Uysal vd, 2017).

Python programlama dili ile bazı görüntü işleme algoritmaları ArcGIS yazılımına entegre edilmiş ve bu amaçla, literatürde yaygın olarak kullanılan görüntü kaynaştırma, sınıflandırma algoritmaları ve kalite ölçme metrikleri hem bir python görsel ara yüzü ile hem de ArcGIS eklentisi olarak oluşturulup CBS ve UA konularını çalışan araştırmacılara sunulmuştur (Saraloğlu vd, 2014).

Arab-Nubian Kalkanının (ANS) Sudan bölgesinde Kızıldeniz tepelerindeki yüksek potansiyelli altın mineralizasyonlu alanları tespit etmek için litolojik birimlerin ve alterasyonlu alanların haritalandırılmasında Landsat 8 verileri kullanıldı. Çalışmada jeolojik haritalama için renk kompozit, bant oranı, temel bileşen analizi, yönsel filtreleme, minimum gürültü oranı (MNF), spektral açı haritalayıcı (SAM), eşleştirilmiş filtreleme (MF) ve karışım ayarlı eşleştirilmiş filtreleme (MTMF) kullanılmıştır. Çalışma sonucu, litolojik birimlerin, hidrotermal alterasyon bölgelerinin ve gelecekte kullanılabilecek olan altın cevherleşmesi için yeni yüksek potansiyelli alanların haritalanmasında Landsat verilerinin kabiliyetini göstermiştir (Osman Ali, 2014).

Uzaktan algılama görüntüleri ve spektral ölçme verilerinin entegrasyonu ile hedefe yönelik sınıflandırmalar yapılabilmektedir. Sınıflandırma yöntemi olarak, NTRS (Nesne Tabanlı Referans Sınıflandırma) (Endmember) toplama analizi yapılmasına olanak veren Spectral Angle Mapper (SAM) yöntemi kullanılmıştır. Gölova bölgesi çalışma alanı olarak belirlenmiş ve ASTER uydu görüntüleri kullanılmıştır. Çalışma sonucuna göre SAM yönteminin uydu görüntüsü ve yersel spektral ölçme verilerinin entegrasyonunu sağlamada ve litolojik sınıflandırmada başarılı olduğu değerlendirilmiştir (Gürsoy vd, 2013).

Landsat 5 uydu görüntüleri kullanılarak ENVI 4.5 görüntü işleme işleme programındaki algoritmalar kullanılarak hidrokarbon sızıntılarının belirlenmesi için literatürdeki bazı yöntemler kullanılmış ve bu yöntemlerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan araştırmalarda, hidrokarbon sızıntılarının demir oksit ve kil mineralleri kuşaklarını etkilediğini, ancak mineral çeşidine ve dağılım biçimine göre değişkenlik gösterdiğini kanıtlamıştır (Polat, 2012).

Bu çalışmanın amacı, Fas'ın ortalarında yeralan Jebelit bölgesinin jeolojik haritalanması için Spektral Angle Mapper (SAM) doğrulamak ve sonuçları Quickbird ve Landsat TM gibi yüksek ve orta konumsal çözünürlüğe sahip görüntüler arasında karşılaştırmaktır. Sonuçlar gösteriyor ki TM datası SAM da bilinen yüzey jeoloji haritaları ile minerolojik haritaların olumlu şekilde karşılaştırılabileceğini göstermektedir. Quickbird TM ile karşılaştırıldığında yüksek bir uzamsal çözünürlüğe

sahip olsa bile verileri düşük spektral çözünürlük nedeniyle SAM için iyi sonuçlar vermedi (Girouard vd, 2004)

1.3. Hipotez

Literatürde yeralan SAM algoritması tez çalışması kapsamında geliştirilen model uygulaması için kullanılacaktır. Alterasyon mineralleri demir oksit ve kil grubu mineralleri tanımlanarak arazi çalışmaları sırasında belirlenen istasyonlarda bu minerallerin varlığı gözlenecektir. SAM algoritmasının çalışma prensibi Landsat 8 uydu görüntüsü üzerinde gösterilecektir. Araziden toplanan numuneler üzerinde Spektral ve XRD analizleri ve literatürde alterasyon mineralleri tespitinde yaygın olarak kullanılan bant oranlama metodu demir oksit mineralleri için SWIR1/SWIR2, kil grubu mineralleri için NIR/BLE bant oranlamaları sonuçları model uygulama sonuçlarını doğrulamak amacıyla kullanılacaktır. Geliştirilen model, hidrokarbon alterasyon mineralleri sınıflandırması dizayn adımları yapılarak sonuçları alınacaktır. Elde edilen tüm sonuçlar yorumlanarak ve analiz edilerek hidrokarbon alterasyon alanları tespiti belli gerçekleşme oranlarında tespit edilmiş olacaktır.

2. TEMEL KAVRAMLAR VE MATERYAL

Tez çalışması kapsamında hazırlanan bu çalışma, alterasyon alanları tespiti amacıyla geliştirilen model uygulaması farklı teknikler ve yöntemleri içinde barındırmaktadır. Kullanılan bu yöntemlerden Spektral ve XRD analizleri ve Bant Oranlama yöntemi model uygulama sonuçlarının doğrulanması amacıyla yapılmıştır. Doğrulama çalışmalarında kullanılmak üzere arazi çalışmaları yapılmış ve belirlenen 13 farklı istasyondan numuneler alınmıştır.

Model geliştirme çalışmalarında, Landsat 8 uydu verileri ve USGS spektral kütüphanesi kullanılmıştır. Modelin dizayn işlemleri Python konsol uygulaması olan Pycharm üzerinde yapılmıştır. Model uygulaması temel parçaları olan SAM algoritması ve EnviPyEngine kütüphanesi kavramları literatür ve web araştırmaları sonucu detaylı olarak açıklanmaktadır.

2.1. Alterasyon Mineralleri

Mineraller yerkabuğunda bulunan anorganik kimyasal maddeler olup hemem hemen aynı fiziksel ve kimyasal özellikleri gösterirler.

Kısa dalga kızılötesi (SWIR) bantlara sahip uydu görüntülerinin, görüntü işleme teknikleri ile kayaç mineral oluşumları ile ilgili altera olmuş kayaçların konumlarının ve karakter analizlerinin yapılması, uzaktan algılama teknikleri kullanılarak çok kısa sürede sağlanmaktadır. Çok bantlı yer gözlem uydu verileri belirli bir spektrum için elektromanyetik ışıınımı (radiance) dijital rakamlar şeklinde ölçerler. Elektromanyetik ışıınımlar yeryüzündeki maddelerin farklı yansıma (reflectance) değerlerine bağlı olarak haritalanması amacıyla kullanılmaktadır. Maddelerde var olan elektromanyetik enerji atomik ve moleküler etkileşimler sonucu o maddeye özgün değişik malzemelerin yansımaları olarak dalga boyu ile birlikte çeşitlilik gösterir (Hunt, 1977).

Kayaçlar içinde hareket eden akışkan yapılı maddelerin kimyasal tepkimleri sonucu kayaçlarda oluşan değişiklikler alterasyon olarak tanımlanabilir. Alterasyonlar maden yatakları veya rezervlerinin varlığının yüzeyde oluşturduğu en temel belirteçlerden biridir. Kayaçlarda meydana gelen kimyasal tepkimeler sonucu karakteristik alterasyon

mineral alanları oluşabilir. Hidrokarbon alterasyon mineralleri demiroksit, demirhidroksit (hematit, götit, demir hidrit), demir-aliminyum sülfat (jarosit, alünit), aliminyum-hidroksil silikat (kaolinit, simektit, illit, serisit) ve karbonatlar içerebilir. Hidrokarbona bağlı diğer olası minerolojik alterasyon değişiklikleri, illit, pirit, kaolinit, oluşumu ve karbonatların oluşumu hidrokarbon gösterge bileşenlerinin ortama girmesi ve sonrasında ortamdan kalıntı bırakarak taşınmasını kapsamaktadır. Kaolinit minerali, hidrokarbon alterasyon varlığının uzaktan algılamada, spektral yansıma olarak önemli alterasyon minerallerinden biridir (Dağ vd, 2011).

Yüzeye doğru çatlakları takip eden hidrokarbonlar geçtiği formasyonlar içindeki suların kimyasını değiştirmeye yetecek miktarda asidik ve indirgen olan H_2S ve CO_2 içerebilir (Segal, Merin ve Place, 1986). Kimyasal reaksiyonlar sonucu bazik ortamlarda kararlı olan feldspat ve kil mineralleri, büyük ölçüde kaolinit ve simektit gibi kil minerallerine dönüşürler (Lilburn ve Al-Shaieb, 1984).

2.2. Spektral Analiz (Spektroradyometri Ölçümleri)

Spektral özelliklerine göre malzemeleri tanımlamaya yardımcı olması için spektral analizler yapılır. Spektral Analiz, bilinmeyen bir spektrumun bir spektral kütüphanedeki meteryallerle eşleşmesini sıralamak için İkili Kodlama, SAM ve Spektral Özellikleri Uydurma gibi teknikler kullanılarak yapılabilir.

Kayaç ve minerallerin spektral özellikleri laboratuvar çalışmalarında, elektromanyetik spektrumun 0.4 ve 2.5 μm (mikrometre) aralığında olduğu gözlemlenmiştir. Gözlenen bu soğurma özellikleri altı olmuştur kayaçlardaki yaygın minerallerin belirlenmesinde ya da tanımlanmasında kullanılabileceğini göstermiştir (Dağ vd, 2011).

Spektral analizler, laboratuvar çekimleri ve bilgisayar ortamında eşleştirmeleri şeklinde gerçekleştirilmiştir. Spektral yansımalar için Spectravista markasının SVC-HR 1024i modeli kullanılmıştır (Şekil 2.1). Bilgisayar ortamında yansımaları eşleştirmek için ENVI Spectral Analyst aracı kullanılarak spektral analizler yapılmıştır.



SVC-HR 1024i

Şekil 2.1. *Spectravista SVC-HR 1024i spektoradyometri*

SVC-HR 1024i spektorametre özellikleri;

- Diğer alan spektorametrelilere oranla daha küçük ve hafiftir.
- Dahili dijital kamera hedef alanı kapsar.
- Dahili GPS, her veri dosyası için zaman ve konum koordinatları sağlar.
- QVGA güneş ışığında okunabilir dokunmatik ekran ve grafik very ekranı sağlar.
- Özel bluetooth, 16 kanallı isteğe bağlı sensor paketinden veri alır.
- Tam spektral bölgede çalışan alağanüstü yüksek spektral çözünürlük sağlar.
- %100 doğrusal dizi teknolojisi ve soğutulmuş InGaAs dedektörlerini içerir, böylece üstün dalga boyu ve radyometrik kararlılık sağlar.
- Tekniğin bilinen doğrusal dizileri 350 nm ile 2500 nm aralığında düşük gürültü sağlar.
- Sabit foreoptikler güvenilir bir optic yol sağlar.
- Kritik optic bileşenler spektorametre platformuna sert bir şekilde monte edilmiştir.
- Hareketli ızgaralar olmadan hızlı, tam spektral ölçümler sağlar.

- Dahili 32 bit CPU, harici bir bilgisayar olmadan ölçüm yapılmasına olanak tanır.
- Tam spektral ölçümler 1 saniyede elde edilebilir.
- Minimum kurulum ve ısınma süresi için tasarlanmıştır.
- Dahili bellek, tüm günün verilerini saklar.
- Kablosuz çalışma için sağlam PDA / Bluetooth ile birlikte verilir.
- Sahada değiştirilebilir fiber optic ışıık kılavuzu seçenekleri mevcuttur.
- Entegre, çıkarılabilir Lityum iyon pil, hareket kabiliyetini artırır (güç kablosu yok).

2.3. X-Işını Difraktometresi (XRD) Analizi

XRD optik mikroskopi yöntemleri ile belirlenemeyecek kadar küçük tane boyutuna sahip minerallerin kristal yapı özelliklerine göre tanımlanmasında kullanılan bir tekniktir. Bu teknikte incelenecek olan numune ideal tane boyutuna gelene kadar öğütülerek toz haline getirilmekte ve XRD analiz cihazları ile analiz edilmektedir. XRD analizleri ile tanımlanmaları mümkün olmayan kil grubu mineralleri için zenginleştirme işlemleri uygulanarak kalitatif XRD detay kil analizleri yapılabilmektedir.

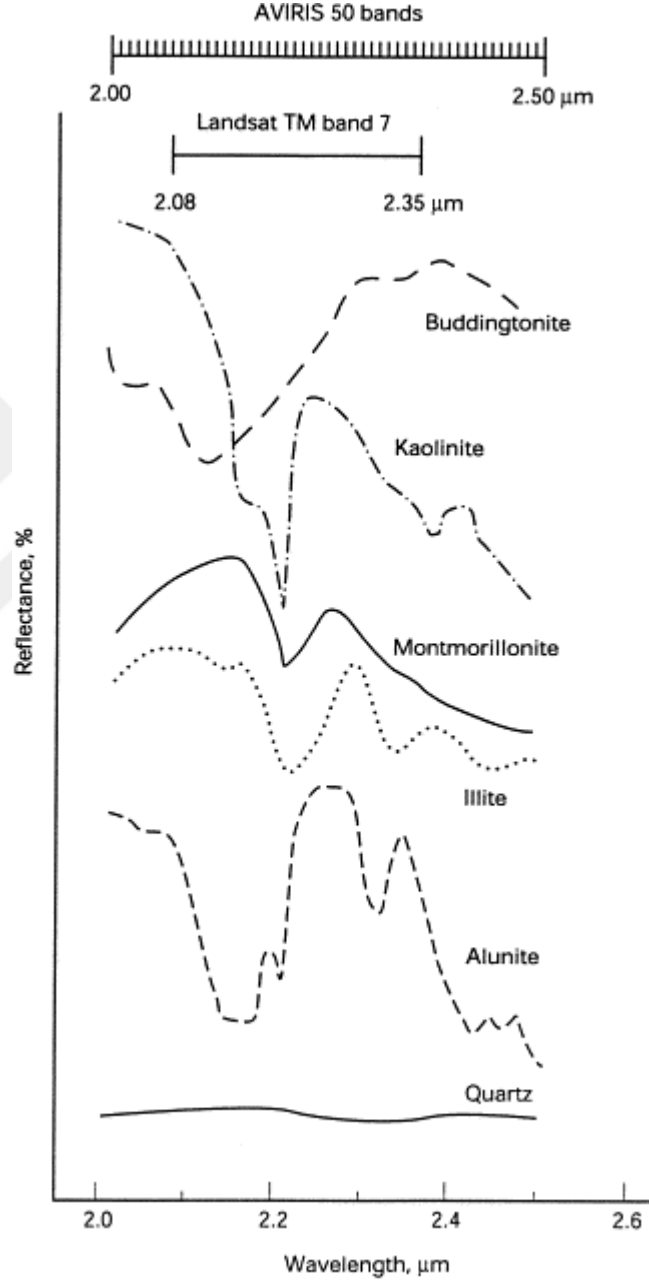
Arazi çalışması sonucu toplanan numunelerin analizler TPAO ARGE Merkezi Sedimentoloji ve Rezervuar Jeoloji Müdürlüğüne ait laboratuvarlarda Rigaku marka cihaz kullanılarak yapılmıştır.

2.4. Band Oranlama Yöntemi

Uzaktan algılama çalışmalarında band oranlaması özellikle cevher varlığına işaret eden anomali hatlarının ve ikincil demir oluşumlarının tespitinde sık kullanılan bir yöntemdir. Topografik değişimleri, yüzey tanecik boyutunda yansıma ve parlaktıktaki genel değişimleri, yüzey ile ilişkili olmayan gölge alanları vs. gibi etkileri minimuma indirmek için kullanılır (Ambrams vd, 1983; Sarı N. , 2005; Polat, 2012).

Kayaçların ve içerisinde yer alan minerallerin belirli bir yansıma değeri vardır. Bu yansıma değerleri ilgili mineralin ya da kayacın spektral (tayfsal) imzası olarak tanımlanır. Kayaç ya da mineral, belli dalga boylarındaki elektromanyetik enerjiyi soğurur ya da yansıtır. Bu yansıma madenin spektral özelliğine göre görüntü bantları seçimi

yapılır ve tanımı yapılan madenin yoğunlaştığı yerler tespit edilmeye çalışılır (Esat, 2009; Polat, 2012). Şekil 2.2’ de Landsat görüntü SWIR2 bantı üzerinde yansımaları karşılaştırılan bazı anomali mineralleri yer almaktadır.



Şekil 2.2. Landsat SWIR2 bantı (2.0-2.5 μm) aralığındaki anaomali minerallerinin laboratuvar spectruları (Sabins, 1999)

Band oranlaması yöntemi ile yeni bir görüntü oluşturulurken aşağıdaki denklem kullanılır.

$$SD_{BantY_{ij}} = \frac{SD_{BantA_{ij}}}{SD_{BantB_{ij}}} \cdot \frac{255}{a}$$

(2.1.)

SD; görüntü içerisindeki i, j koordinatındaki her bir pikselin sayısal değerini, Bant Y; oluşturulan yeni bandı, Bant A, B; orjinal Landsat 8 bantlarını, a; $\frac{SD_{BantA_{ij}}}{SD_{BantB_{ij}}}$ 'nın maksimum değerini göstermektedir (Ambrams vd, 1983; Sarı N. , 2005; Polat, 2012).

Landsat 8 veri setinde yer alan bantlar çeşitli kombinasyon oranlamasıyla elde edilen bazı indeksler Tablo 2.1' de verilmiştir.

Tablo 2.1. Landsat 8 batları ile oluşturulan indeksler (Sarı, 2007)

İndeksler	İşlemler
Bitki İndeksi	B5-B4
Normalize Fark Bitki İndeksi	B5-B3 / B5+B3
Demir Oksit	B4 / B2
Kil Mineralleri	B6 / B7
Demirli Mineraller	B6 / B5

Bant oranlama sonrası en önemli konu eşik değer tespitidir. Anamoli olarak kabul edilecek piksel sayısal değerlerinin sınırının ne olması gerektiğini bulmak için jeokimyasal eşik değer belirleme veya görüntülerde eşik değer belirleme yöntemleri gibi ileri istatistiksel yöntemler denenebilir (Sahoo vd., 1988; Sinclair, 1991; Cheng, 1999; Sarı, 2007; Polat, 2012).

2.5. Landsat 8 OLI Uydusu

Landsat 8 (önceki Landsat veri devam görevi veya LDCM) NASA' nın bu serideki sekizinci uydusu olup, yiyecek, su ve ormanlar gibi insan geçim kaynakların düzenlenmesi, izlenmesi ve anlaşılmasında Landsat programının en önemli rolünün devam etmesi sağlanmıştır. Landsat 8, Landsat 7' nin yörüngesine katılmış olup çektiği göz kamaştırıcı görüntülerin yanında bilimsel verilerde sağlamaktadır. Landsat 8 uydusu, görünür, yakın-infrared, kısa dalga infrared ve termal infrared aralıklarında görüntü almakta olup, spektral aralığa bağlı olarak 15 ile 100 metre arasında bir orta uzamsal çözünürlüğe sahiptir.

Landsat 8 OLI sensörü daha önceki Landsat sensörlerinden geliştirilerek NASA, Ball Aerospace tarafından yapılan kontrat doğrultusunda üretilmiştir. OLI sensörü, NASA' nın deneysel uydusu EO-1' de bulunan ALI (Advanced Land Imager) sensörünün teknik olarak geliştirilmiş halidir. OLI, dokuz adet spektral band olarak veri toplamaktadır. Bu dokuz bandın yedisi önceki Landsat 5 TM ve Landsat 7 ETM sensörlerinde bulunan aralıklarına sahiptir ki böylece eski Landsat verileri ile uyumlu olması sağlanmıştır.

Tablo 2.2. Landsat 8 uydu bantları (*http-1, 2019*)

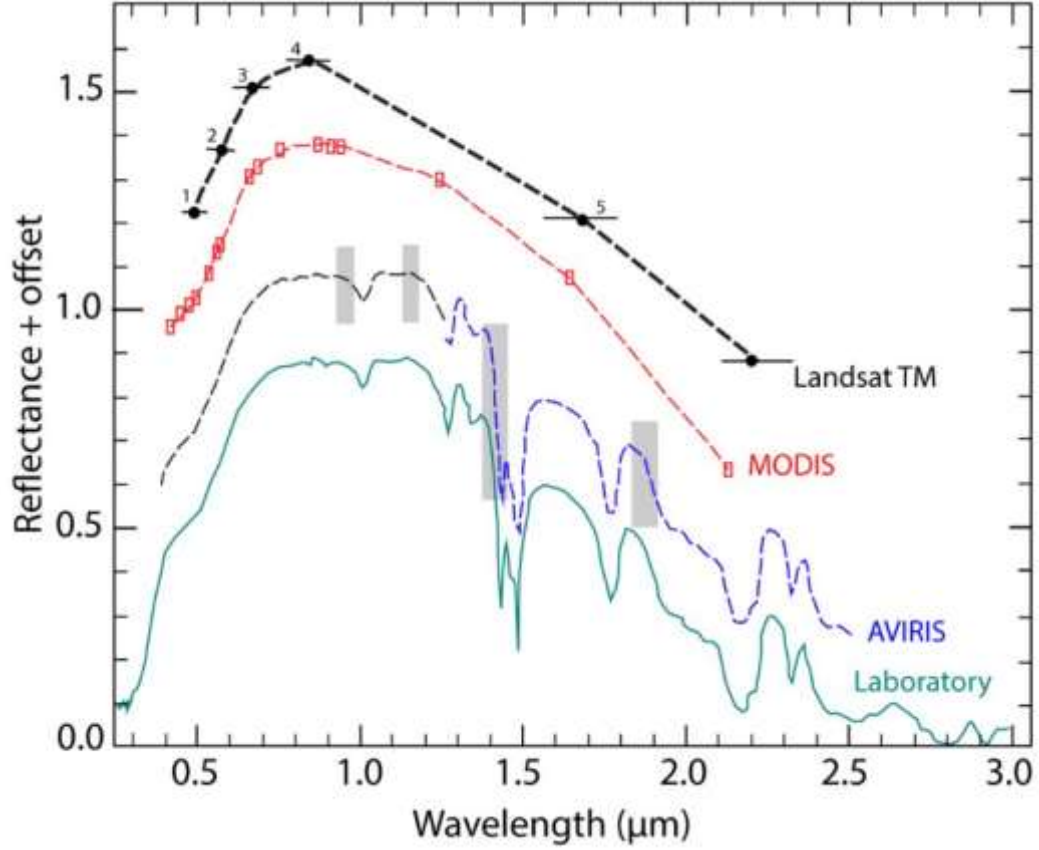
Spektral Aralık	Dalgaboyu	Çözünürlük
Band 1 – Kıyı / Aerosol	0.433 – 0.453 μm	30 m
Band 2 – Mavi	0.450 – 0.515 μm	30 m
Band 3 – Yeşil	0.525 – 0.600 μm	30 m
Band 4 - Kırmızı	0.630 – 0.680 μm	30 m
Band 5 – Yakın Infrared	0.845 – 0.885 μm	30 m
Band 6 – Kısa Dalga Infrared	1.560 – 1.660 μm	30 m
Band 7 – Kısa Dalga Infrared	2.100 – 2.300 μm	30 m
Band 8 – Pankromatik	0.500 – 0.680 μm	15 m
Band 9 - SIRRUS	1.360 – 1.390 μm	30 m

2.6. Spectral Angle Mapper (SAM) Algoritması

Spectral Angle Mapper (SAM), spektrumlara referans vermek için pikselleri eşleştirmede n -D açısı kullanan fiziksel tabanlı bir spektral sınıflandırmadır. Algoritma, spektrumlar arasındaki açıyı hesaplayarak ve bant sayısına eşit bir boyutta bir uzayda vektörel olarak ele alarak iki spektrum arasındaki spektral benzerliği belirler. Bu teknik, kalibre edilmiş yansıtma verileri üzerinde kullanıldığında, aydınlatma ve albedo etkilerine nispeten duyarsızdır. SAM tarafından kullanılan son sınıf spektrumları ASCII dosyalarından veya spektral kütüphanelerden gelebilir veya bunları doğrudan bir görüntüden çıkarabiliriz (ROI ortalama spektrumları olarak). SAM sonlu üye (endmember) spektrum vektörü ve her bir piksel vektörü arasındaki n -D açısını karşılaştırır. Daha küçük açılar referans spektrumunda daha yakın eşleşmeleri temsil eder. Radyan cinsinde belirtilen maksimum açı eşiğinden daha uzak pikseller sınıflandırılmaz. SAM sınıflandırması yansıtma verilerini varsayar, ancak parlaklık verisi kullanırsanız, başlangıç noktası sıfıra yakın olduğu için hata genellikle önemli değildir (Kruse vd, 1993).

SAM yönteminde, referans olarak kullanılan spektral yansıtım verilerine göre oluşturulan referans vektörü ile uydu görüntüsü piksel değerlerinden meydana gelen, sınıf bilinmeyen piksel değerleri ile oluşturulan vektör arasındaki açı hesaplanmaktadır. Hesaplanan açı değeri, daha önceden referans spektral sınıfı için belirlenen benzerlik değerinden küçük veya eşitse, sınıfı bilinmeyen piksel, ilgili referans spektral sınıfına atanmaktadır. İki spektrum arasındaki küçük açılar yüksek benzerliği, yüksek açılar düşük benzerliği gösterir.

Şekil 2.3' de laboratuvar ortamında spektral yansıtma alınmış alunit mineralinin farklı spektral çözünürlüklere sahip dört sensöre ait karşılaştırması yer almaktadır.



Şekil 2.3. Farklı spektral çözünürlüklere sahip dört sensörden alunit spektrumlarının karşılaştırılması (http-2, 2019)

Kısacası SAM yöntemini, görüntü spektrumlarını bireysel spektrumlara veya spektral bir kütüphane ile karşılaştıran otomatik bir yöntemdir (Kruse vd, 1993).

SAM algoritması, bilinmeyen bir piksel spektrumunu referans spektrumları ile karşılaştırılan ortak bir mesafe metriğidir, K referanslarının her biri için $i = 1, \dots, K$ dır ve en küçük mesafeye sahip malzemeye t atar. Sonuç, aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanan spektral açının radyanını gösterir.

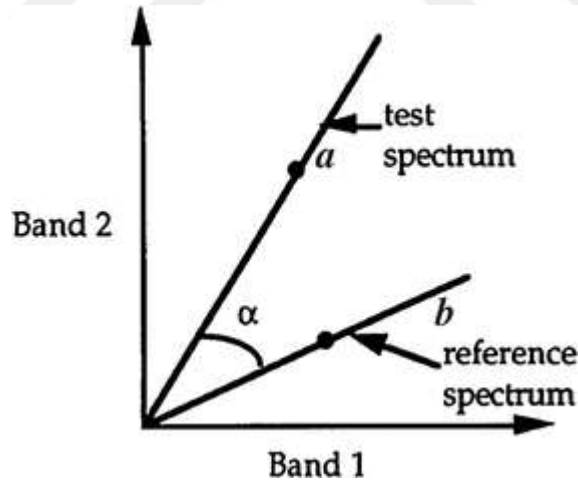
$$\alpha = \cos^{-1} \left[\frac{V_1^T \cdot V_2}{\|V_1\| \cdot \|V_2\|} \right] = \cos^{-1} \left[\frac{\sum_{i=1}^m T_i \cdot d_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^m T_i^2 \cdot \sum_{i=1}^m d_i^2}} \right] \quad (2.2)$$

Burada m = bant sayısı; $T_i = (tx_i, ty_i)$ i-piksel spektrumudur; d_i = eğitilmiş verilerdeki referans spektrum ve α = spektral açının radyanıdır.

Uyguladığımız spektral açı sınıflandırıcıları spektral “açısal mesafelere” dayanırken, geleneksel sınıflandırıcı maksimum olasılığı spektral mesafe kavramına dayanmaktadır.

$$\text{Eğer } A_i = \min(\alpha_{j,k}) \text{ ise } x_i \hat{=} x_{j,k} \text{ olur} \quad (2.3)$$

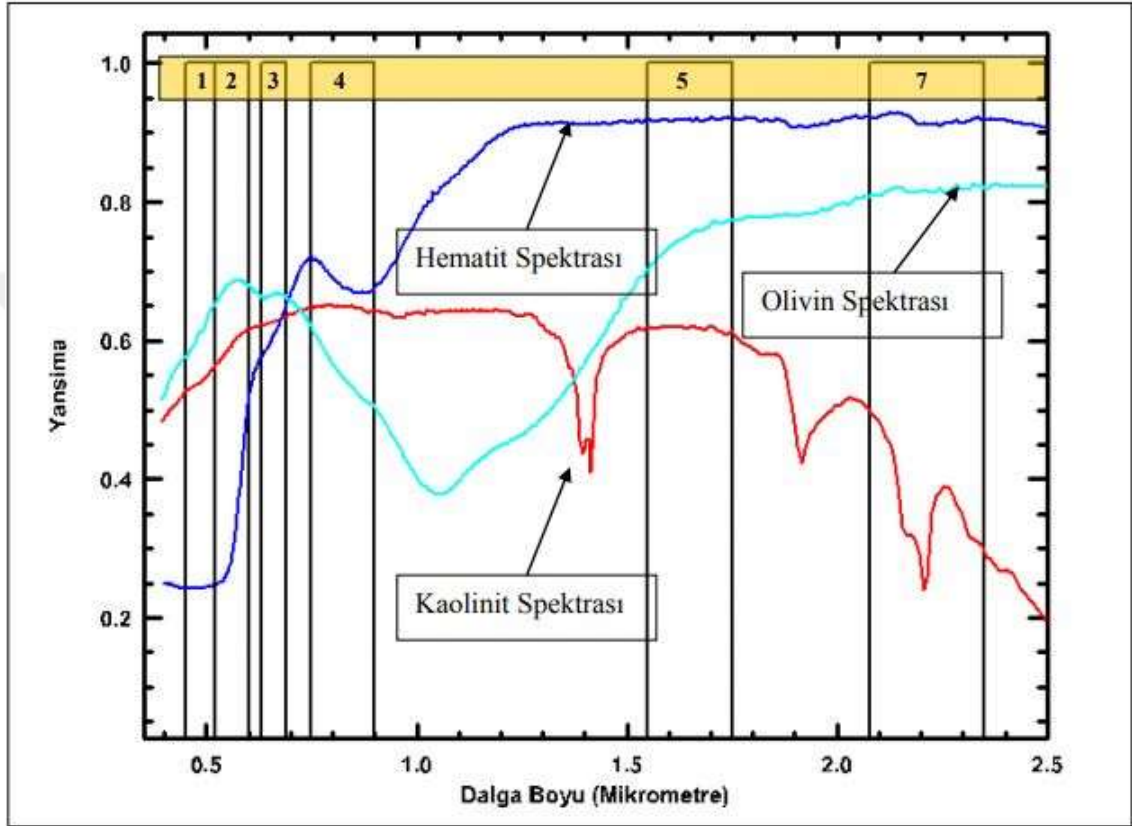
Burada test setindeki x pikselinin spektral açısı x_i , eğitilmiş set k sınıfı x pikselinin spektral açısı $x_{j,k}$ ’dir.



Şekil 2.4. SAM geometrisi (Uysal vd, 2017)

Şekil 2.4’ de gösterilen a, test spektrumu görüntü üzerindeki iki farklı banttan okunan değerler iken, b, referans spektrum ise laboratuvarında veya arazide ölçülen değerlerdir. Arazide ölçüm genelde taze kaya yüzeyinden alınan örnekleme ile yapılır. Kaya çekiç ile kırılarak ya da elmas matkap (diamond drill) yardımı ile temiz ve düz bir geometrik yüzey elde edilir. Çekiç ile kırılan yüzeyin pürüzlü olmamasına özen gösterilmez.

Şekil 2.5’ de USGS spektral kütüphanesinde yer alan hematit, olivine ve kaolinit minerallerinin Landsat görüntüsü üzerinde hangi bant aralıklarında karşılıklarının olduğu yer almaktadır.



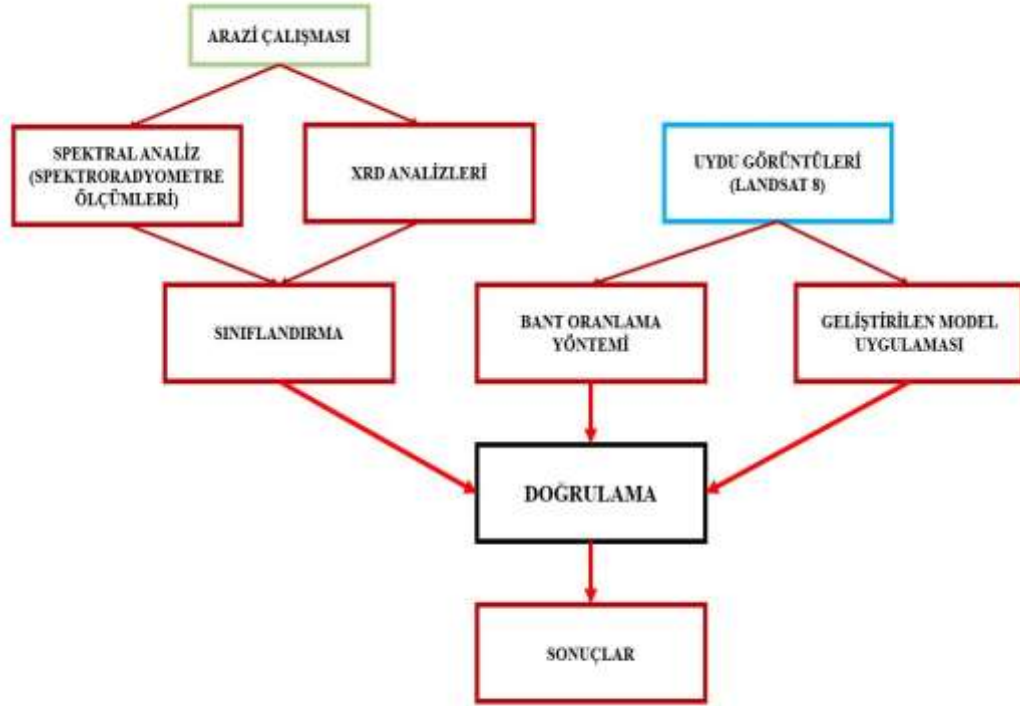
Şekil 2.5. Landsat görüntüsünün spektral bantları ve USGS Spektra Kütüphanesinde hematit, olivin ile kaolinit minerallerinin spektralleri (Kayadibi, 2008)

2.7. ENVI Python Kütüphanesi

ENVI Py Engine, ENVI programı tarafından sağlanan ENVI analizlerini çalıştırmak için envipyengine adlı bir Python paketi sağlar. Python paketi, kullanılabilir görevleri sorgulama, görev bilgilerini alma ve masaüstünde görevleri yürütme yeteneği sağlar. ArcMap ve ArcGIS Pro aracılığıyla ENVI analizlerini yürütme yeteneği sağlamak için envipyarc adlı ek bir Python paketi bulunmaktadır.

3. UYGULAMA

İlk iki bölümde açıklanan literatürdeki çalışmalar ve temel kavramlar bu tez çalışması kapsamında Bingöl bölgesi alterasyon alanları tespiti için geliştirilen model uygulama sonuçları test edilmiştir. Uygulama arazi ve ofis çalışmaları olarak iki etap halinde yapılmıştır. Şekil 3.1’ de uygulama çalışmalarının nasıl gerçekleştiğine ait bir şema yer almaktadır.



Şekil 3.1. Uygulama akış şeması

3.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı, Bingöl ili Adaklı ilçesi çevresinde yaklaşık 8.5 km² lik bölge seçilmiştir. Uzaktan algılama teknikleri kullanılarak hidrokarbon alterasyon alanları tespiti için 13 adet istasyon noktası belirlenmiş ve ilgili istasyonlardan yumruk büyüklüğünde örnekler (kayaç numunesi) alınmıştır. Bu örnekler, model uygulama sonuçları doğruluk testi amacı ile kullanılmıştır. Çalışmada kullanılmak üzere Landsat 8

OLI path172, raw033 çerçevesi görüntüsü kullanılmıştır. Çalışma görüntüsü teknik verileri:

Landsat ürün kodu : LC08_L1TP_172033_20190808_20190820_01_T1

Landsat scane kodu : LC81720332019220LGN00

Görüntü çekim tarihi : 2019/08/08

Yörünge (path / row) : 172 / 033

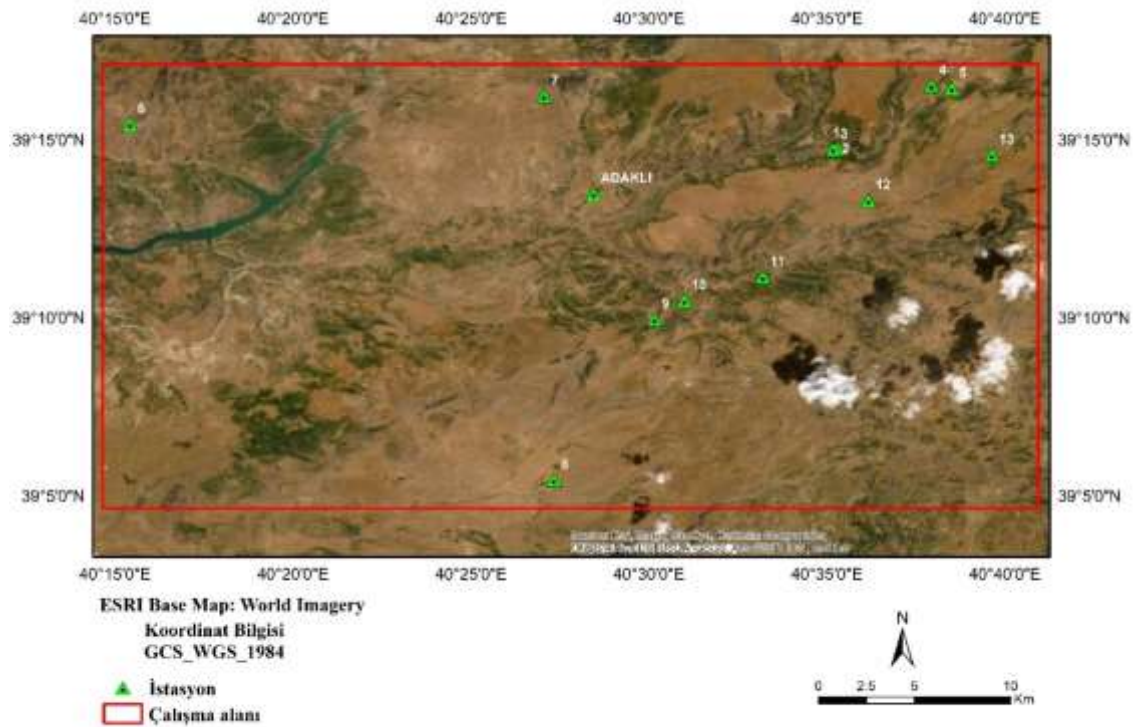
Data tipi : L1T (Level 1 Terrain- Radyometrik ve Geometrik düzeltmesi yapılmış seviye)

Bulutluluk oranı : %0

Datum : WGS84

Projeksiyon : UTM (Universal Transverse Mercator)

Çerçeve alanı : 170 x 183 km



Şekil 3.2. ESRI Base Map görüntüsü üzerinde çalışma alanı

3.2. Arazi Çalışması

25-28 Ekim 2019 tarihleri arasında yapılan Bingöl ili Adaklı ilçesi bölgesi arazi çalışmaları kapsamında Tablo 3.1’ de koordinatları verilen 13 istasyonda kayaç tespiti yapılmış ve hidrokarbon alterasyon emaresi olan bu noktalardan numune örnekleri alınmıştır.

Tablo 3.1. Arazi çalışmasında istasyon noktaların koordinatları (GCS_WGS_1984)

SAHADAN ALINAN EL NUMUNELERİ		
NUMUNE NO	ENLEM	BOYLAM
1	39.245723	40.588300
2	39.245438	40.587048
3	39.245366	40.586280
4	39.275221	40.632475
5	39.273859	40.641911
6	39.257137	40.257137
7	39.270265	40.450884
8	39.090671	40.455533
9	39.165767	40.502608
10	39.174561	40.516578
11	39.185564	40.553422
12	39.221491	40.602723
13	39.242754	40.660620

Bu tez çalışmasında Tablo 3.1’ de koordinatları verilen noktalardan toplanan numunelerin laboratuvar ortamında spektrometrik ölçümleri alınıp ENVI Spectral Analyst aracı ile analizleri yapılmıştır. XRD analizleri için de numunelerden ceviz büyüklüğünde parçalar alınarak TPAO ARGE Merkezinde analizleri yaptırılmıştır.

Arazi çalışmasına ilişkin bazı kesitler ve alterasyon alanlarına örnek olması açısından arazi çalışması esnasında elde edilen bulgular Şekil 3.3’ de gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.3. (a) İstasyon 3 demir oksitçe zengin kayaç, (b) İstasyon 6 hidrokarbon alterasyon alanı

3.3. Analiz Uygulamaları

Arazi çalışmaları sonucu belirlenen 13 istasyondan alınan numuneler üzerinde Spektral ve XRD analizleri yapılmıştır. Bu analizlerden ilki olan Spektral Yansıma Analizleri, numuneler laboratuvar ortamında spektrometri ile ölçülmüş ve ENVI Spektral Analyst aracı ile mineral tanımları yapılmıştır. İkinci analiz çalışması olan XRD Analizleri, TPAO ARGE Merkezi laboratuvarlarında yapılmıştır. Bu analizler model uygulama sonuçlarının arazi çalışmaları ile doğrulanması amacı ile yapılmıştır.

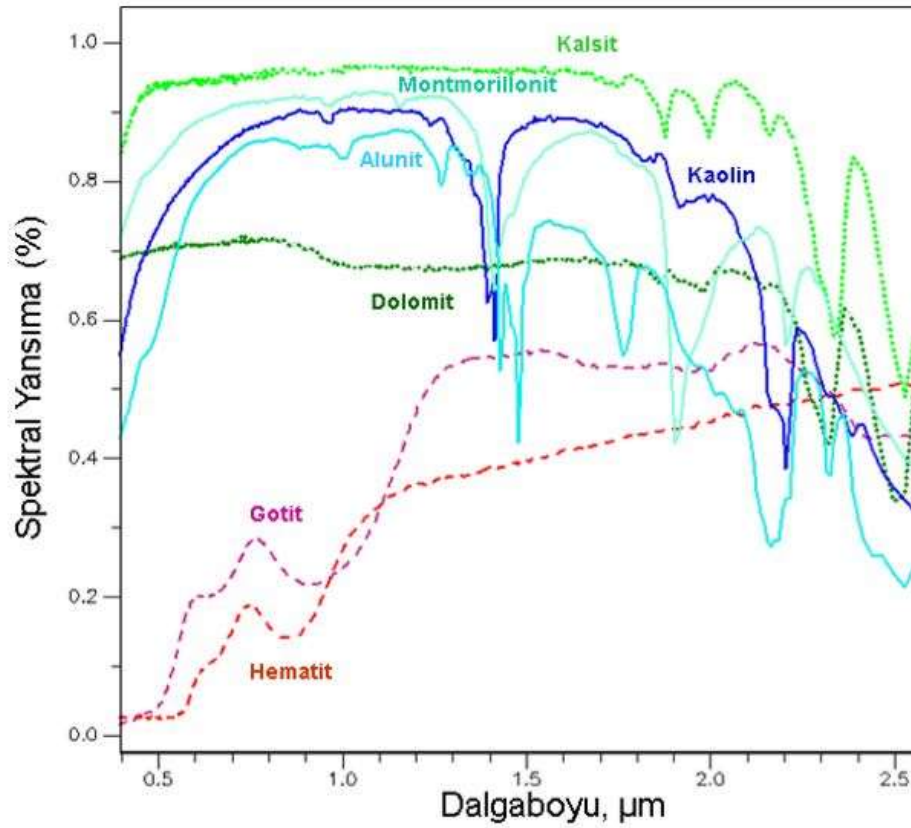
3.3.1. Spektral yansıma analiz uygulaması

Spektral analizlerin, başarılı işlemesi için özel gereksinimleri olan spektral eşleştirme teknikleri kullanılmalıdır. Birçok malzeme bir dalga boyu aralığında benzerlik gösterebilirken başka bir dalga boyu aralığında çok farklılık gösterebilmektedir. Her bireysel mineralin kendine özgü bir spektral eğrisi ve farklı dalga boyları aralıklarında emilim özellikleri vardır. En iyi sonuçlar için teşhis emilim özelliklerini içeren dalga boyu

aralıkları kullanılmalıdır. Bu konular hakkında yapılan çalışmalar gösteriyor ki, jeolojik uygulamalarda, VNIR bantlar, ferrik oksidasyon (hematit, götit, limonit) alterasyon minerallerini; SWIR bantlar, arjillik (illit, smektit), ileri arjillik (alunit, kaolenit), fillik (serisit) ve propillitik (klorit, epidot, kalsit) alterasyon minerallerini; TIR bantlar, silisleşme (kuvars) ve karbonatlaşma (kalsit) alterasyonu minerallerinin belirlenmesinde kullanılır (Moghtaderi vd, 2007; Pour ve Hashim, 2012).

Yeryüzündeki her madde farklı kimyasal özelliklere sahip olduğundan dolayı, elektromanyetik (EM) spektrumun VNIR ve SWIR bölgelerinde belli dalga boyu aralığında emilim yapar. Örneğin, Al-OH yapısından dolayı kil mineralleri (muskovit, illit gibi) 1.4 ve 2.2 μm dalga boylarında kuvvetli emilim yapmaktadır (Pour ve Hashim, 2012). Bu yaklaşım her bireysel mineralin parmak izi niteliğinde kendine özgü bir spektral eğrisi olacağı anlamına gelmektedir (Şekil 3.4), fakat mineral fazlarının atom yapılarındaki kimyasal farklılıkların aynı minerallerde farklı spektralleri yansıtabileceği unutulmamalıdır. Bu doğrultuda bir spektrum görüntülendiğinde spektral açıdan analiz edilen maddeye karşılık gelen örnekte gösterilen aralığın üzerinde çalışma yapılmalıdır.

Şekil 3.4’ de alterasyon minerallerine ait laboratuvar ortamında çekilmiş spektral yansıma grafikleri yer almaktadır.



Şekil 3.4. Demir oksit ve kil mineralleri spektral yansımaya eğrileri (Dağ vd, 2011)

Minerallerin kendine özgü karakterisitik yapısı olduğu ve farklı bant aralıklarında en belirgin yansımaya değerlerini verdiği savı, sınıflandırma yapılırken mineral türleri tespitinde aşağıdaki dalga boyları ile belirlenmiştir.

Feldspat grubu (2.2-2.4 μm)

Feldispatlar kayaç oluşturan minerallerin en çok bulunanı olup yer kabuğunun %60'ını oluştururlar. Genel formülleri $XAl_{(1-2)}Si_{3-2}O_8$ olup X duruma göre sodyum, potasyum veya kalsiyum olabilmektedir. K_2O değeri %10'dan büyük olanlar K-feldispat veya potas feldispat, Na_2O oranı %7'den büyük olanlar Na-feldispat olarak tanımlanmaktadır. Feldispatlar silikatlar grubuna dahildirler ve alümina-silikatlar olarak da tanımlanırlar. Başka bir deyişle feldispat; bir mineral grubunun genel adıdır. (http-3, 2019).

Demir grubu (0.45-0.85 μm)

Demir cevherleri doğada Manyetit (Fe_3O_4), Hematit (Fe_2O_3), Limonit ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), Götüt ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), Siderit (FeCO_3) ve Pirit (FeS_2) mineralleri şeklinde bulunmaktadır. (http-3, 2019).

Kil grubu (1.4-2.2 μm)

İçinde kil mineralleri de bulunan kurutulduğunda ve pişirildiğinde sertleşen plastik doğal malzeme genel olarak “kil” hammaddesi olarak kabul edilmektedir. Genellikle magmatik ve metamorfik kayaların atmosferik, hidrotermal veya her iki etkenle bozulması ile çoğunlukla feldspat minerallerinden itibaren kil mineralleri olan kaolinit, illit, klorit, smektitler, kuvars, feldspat, kalsit ve diğer kil dışı minerallerden oluşan kil hammaddeleri oluşur. Bu bozunma sonucu bozunmanın fizikokimyasal koşulları, ilk kayaç mineralleri ve bozunma ürünlerinin yerinde kalması veya taşınması ve depolandığı yerlerin koşullarının farklılığı ile farklı yataklar ve farklı özellikte hammaddeler oluşmaktadır (http-3, 2019).

Spektral analiz uygulamaları, istasyonlardan alınan numunelerin laboratuvar ortamında spektrometri cihazı ile spektral yansıma değerleri ölçülmüş ve bu ölçümler ENVI programında yeralan Spectral Analyst aracı ile yine ENVI programında kayıtlı olan USGS spektral kütüphaneleri kullanılarak tanımlama ve analiz işlemleri yapılmıştır. 1 numaralı istasyondan alınan numune üzerinde yapılan spektral analiz çalışmalarının aşağıda yer almaktadır.



Şekil 3.5. 1 Nolu istasyon dan alınan numune örneği farklı açılardan çekilmiş resimleri

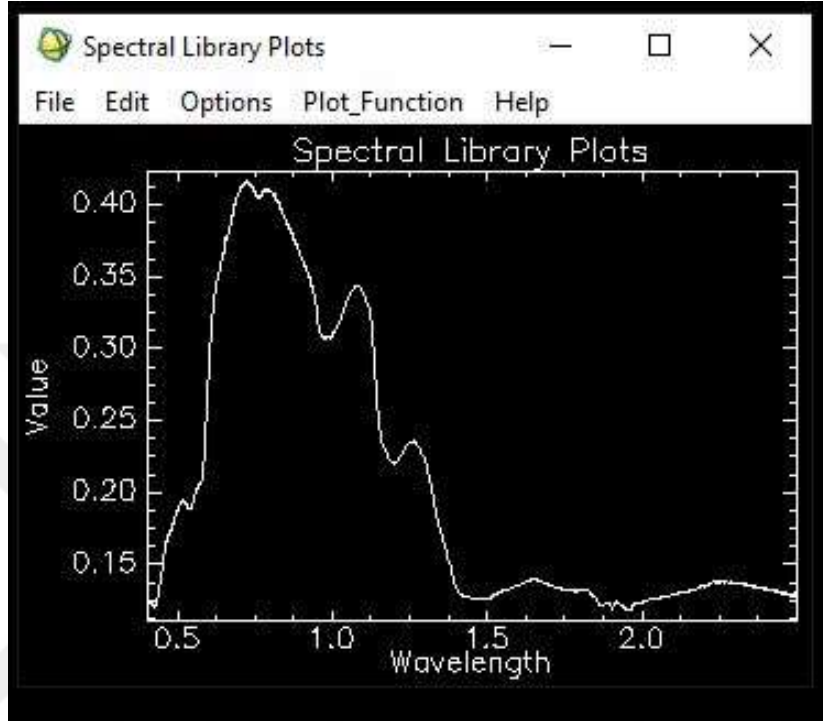
Yukarıda 1 nolu istasyondan alınan numune örneğine ait 4 farklı açıdan çekilmiş fotoğrafları yer almaktadır. Görsellerden de anlaşılacağı üzere numune üzerinde farklı tonda renklerin olduğu gözükmemektedir. Bu farklı renkler numunenin homojen bir yapı olmayıp miks (çoklu ve karışık) yapıya sahip olduğu bilgisini vermektedir. Spektral ölçümler yapılırken bu renk tonları mineral karakteristiğini belirlemede büyük önem arz etmektedir. Her farklı renk farklı bir mineral yapısına işaret edebilmektedir. Bu nedenle spektral ölçümler birden fazla olarak gerçekleştirilmiştir. 1 Nolu istasyon örneği üzerinde sekiz spektral ölçüm yapılmıştır.



Şekil 3.6. *Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen spektral ölçümler*

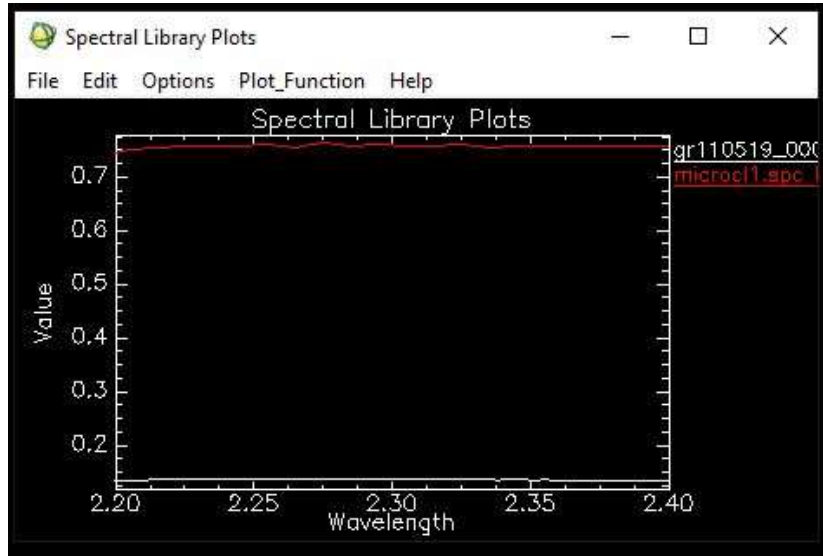
Spektral ölçümler her numune için renk tonları ile orantılı olarak birden fazla olacak şekilde yapılmıştır. Yapılan ölçümler değerlendirilmek ve mineral kimlik tanımı yapabilmek için ENVI programı kullanılmıştır. ENVI programı, USGS spektral kütüphanesini kullanarak test ölçümlerini benzerlik oranı temelinde algoritmik işleme sokarak test ölçümlerinin benzerlik skorlarını vermektedir. Bu işlemler ENVI programı tarafından kullanıcılara önerilen default (varsayılan) ayarları kullanılarak yapılmıştır. ENVI program yapıcısı Harris Geospatial şirketi benzerlik yöntemi için bir ağırlık katsayısının girilmesini istemektedir. Bu ağırlık katsayısı ENVI programı tarafından Spectral Feature Fitting ağırlığı olarak adlandırmış ve 1.0 değerinde girilmesini önermiştir. ENVI program yapıcısı Harris Geospatial internet sitesinde Spectral Analyst kullanım ayarları klavuzu yer almaktadır (<http-4>, 2019).

Aşağıda 1 nolu istasyondan alınan örnek üzerinde yapılmış olan spektral ölçümlerden ilkinde ait grafikler ve benzerlik skor puanı listesi yer almaktadır.

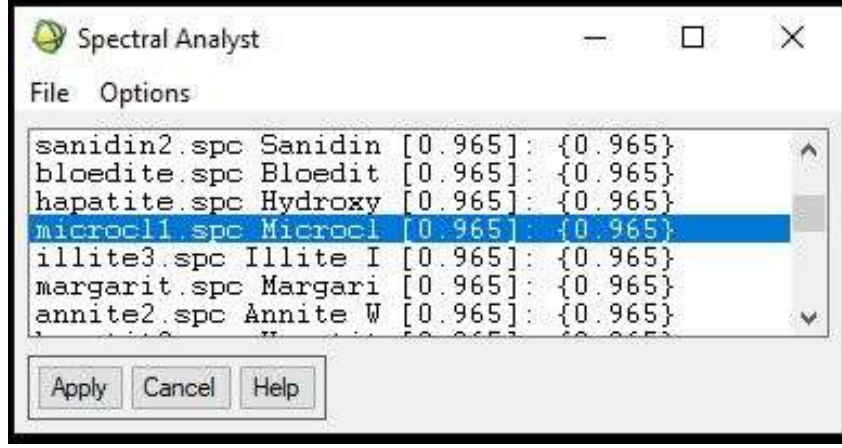


Şekil 3.7. 1 Nolu istasyon numune örneği üzerinde 1. ölçüm spektral yansımaları

Feldspat mineralleri için, 2.2 – 2.4 μm dalga boyları aralığında spektral benzerlik uygulanmıştır.

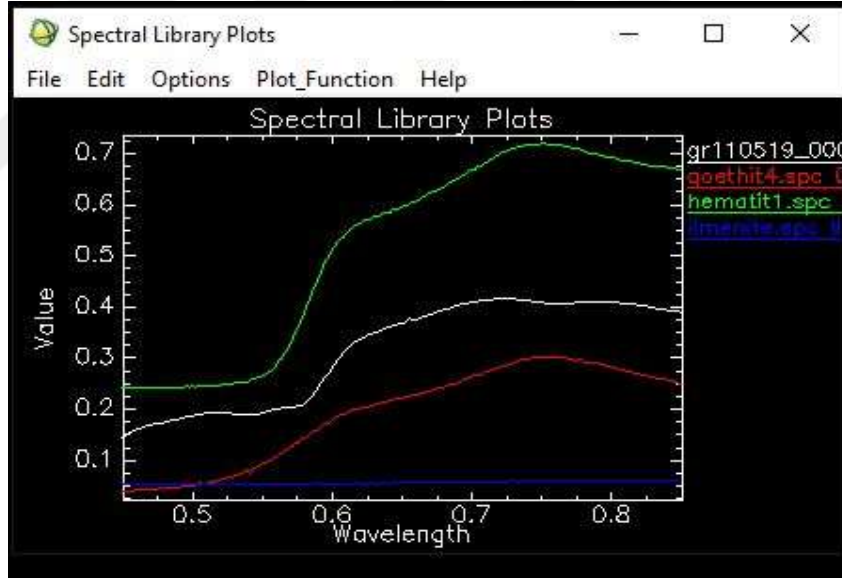


Şekil 3.8. Test ölçüm ve Feldspat minerali 2.2-2.4 μm aralığında spektral yansımaları

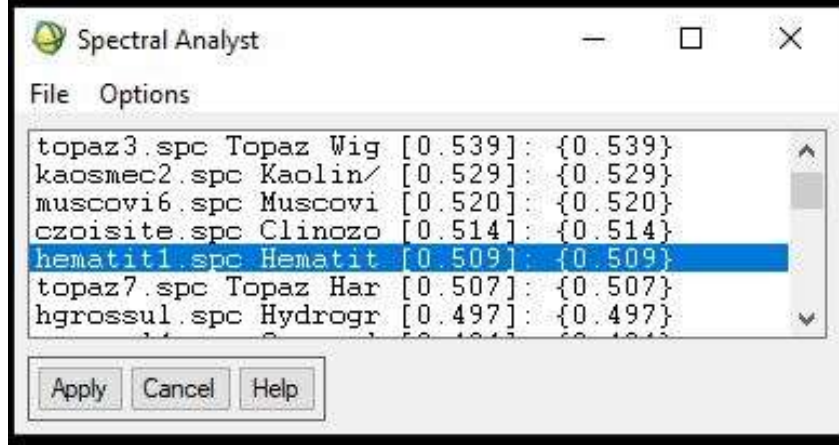


Şekil 3.9. Test ölçümünün Feldspat (microcline) minerali ile benzerlik skoru

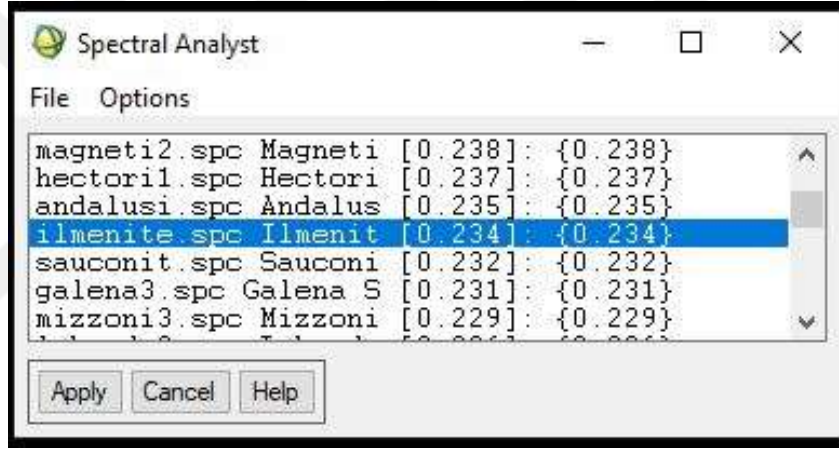
Demir mineralleri (hematit, ilmenite, götit) için, 0.45 – 0.85 μm dalga boyları aralığında spektral benzerlik uygulanmıştır.



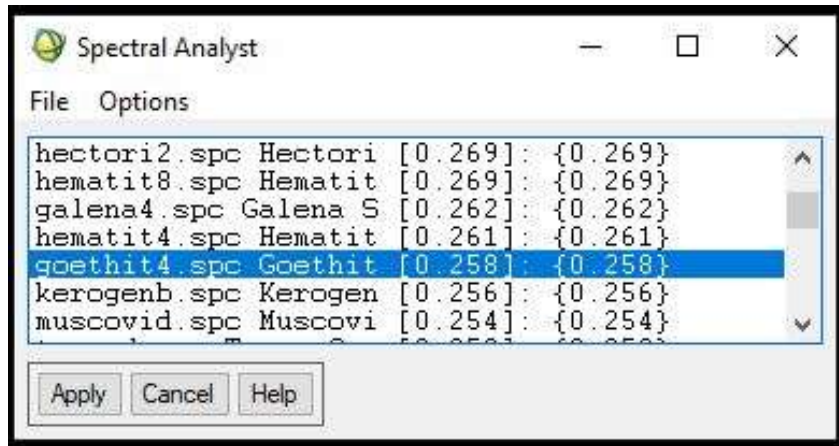
Şekil 3.10. Test ölçüm ve Demir oksit minerali (hematit, ilmenite, götit) 0.45-0.85 μm aralığında spektral yansımaları



Şekil 3.11. Test ölçümünün hematit minerali ile benzerlik skoru

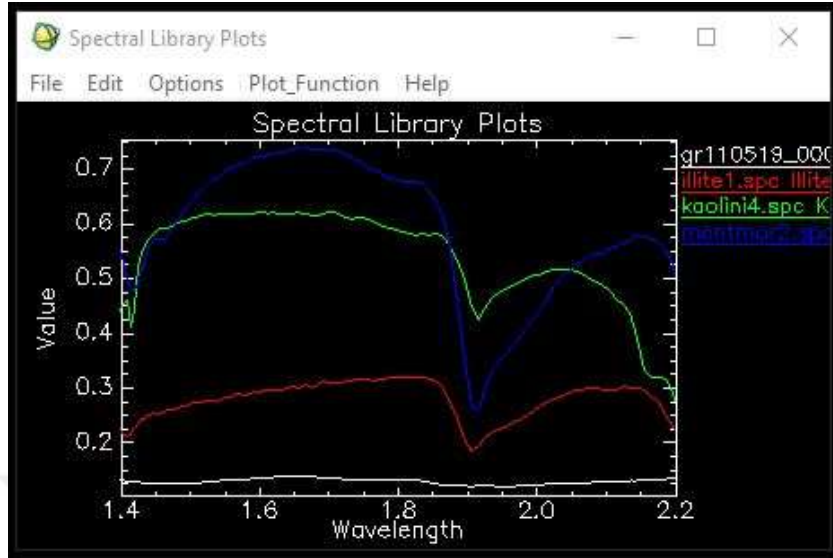


Şekil 3.12. Test ölçümünün ilmenit minerali ile benzerlik skoru

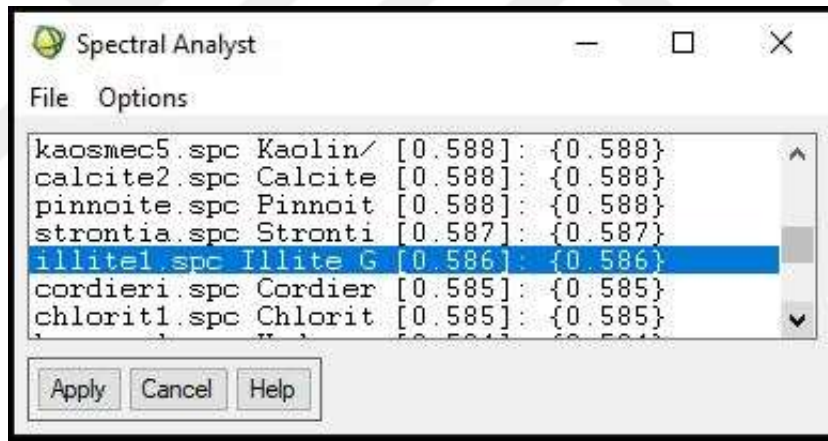


Şekil 3.13. Test ölçümünün götüt minerali ile benzerlik skoru

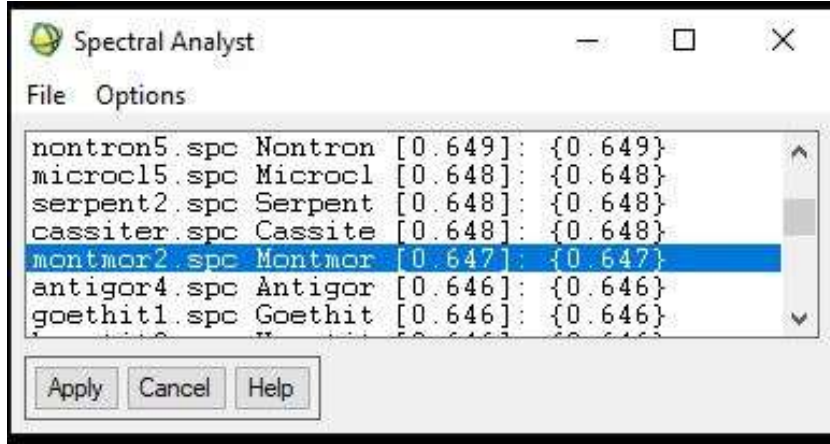
Kil mineralleri (illit, simektit, kaolin) için, 1.4 – 2.4 μm dalga boyları aralığında spektral benzerlik uygulanmıştır.



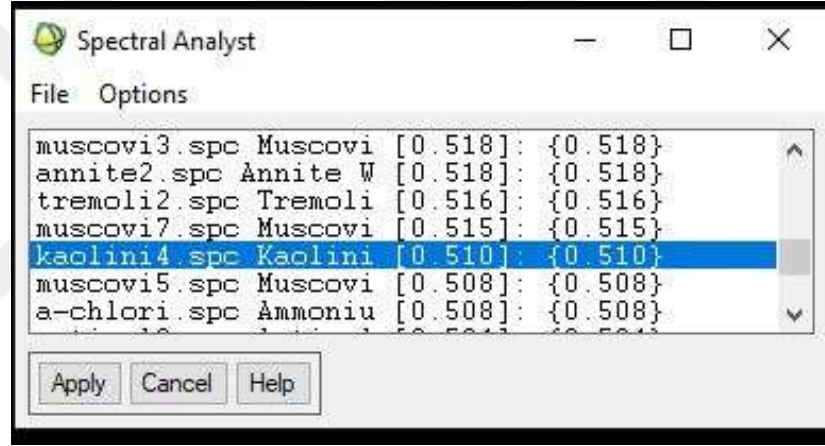
Şekil 3.14. Test ölçüm ve Kil minerali (illit, simektit, kaolin) 1.4-2.2 μm aralığında spektral yansımaları



Şekil 3.15. Test ölçümünün illit minerali ile benzerlik skoru



Şekil 3.16. Test ölçümünün simektit (montmorillonite) minerali ile benzerlik skoru



Şekil 3.17. Test ölçümünün kaolin minerali ile benzerlik skoru

Yukarıda görselleri verilen 1 nolu istasyon numune örneği üzerinde yapılan 1.ölçüm değerleri gibi diğer istasyonlardan alınan numune örnekleri içinde aynı işlemler yapılmıştır. Aşağıda 1 nolu istasyon numune örneği üzerinde yapılan sekiz ölçüm sonuçları Tablo 3.2’ de verilmiştir. Diğer ölçüm sonuçları EK F’ de yer almaktadır.

Tablo 3.2. 1 Nolu istasyon numune örneği spektral ölçümler

Spectral Yansım Analizleri								
Örnek	Ölçüm	(2.2µm-2.4µm)	Demir Grubu (0.45µm-0.85µm)			Kil Mineralleri (1.4µm-2.2µm)		
		Feldspat (Microcline)	Hematit (Hematite)	İlmenit (Ilmenite)	Götit (Goethite)	İllit (Illite)	Smektit (Montmorillonite)	Kaolinit (Kaolinite)
		Score	Score	Score	Score	Score	Score	Score
1	1	0.965	0.509	0.234	0.258	0.586	0.647	0.510
1	2	0.977	0.022	0.000	0.000	0.904	0.902	0.883
1	3	0.975	0.860	0.677	0.934	0.857	0.860	0.846
1	4	0.973	0.814	0.630	0.908	0.907	0.905	0.895
1	5	0.973	0.904	0.706	0.927	0.927	0.920	0.913
1	6	0.976	0.328	0.233	0.000	0.852	0.848	0.816
1	7	0.882	0.428	0.082	0.000	0.482	0.612	0.295
1	8	0.892	0.788	0.620	0.644	0.830	0.883	0.741
Ortalama		0.9516	0.5816	0.3978	0.4589	0.7931	0.8221	0.7374

İstasyonlardan alınan numune örnekleri üzerinde toplam 69 ölçüm yapılmış ve 483 skor değeri hesaplanmıştır. Bu analiz sonuçları model uygulaması sonuçları doğrulanması amacı ile kullanılmıştır.

3.3.2. X-Işınımı (XRD) analiz uygulaması

Arazi çalışmaları ile belirlenen istasyonlardan alınan numune örnekleri uç kısımlarından ceviz büyüklüğünde parçalar şeklinde TPAO ARGE Merkezi Sedimentoloji ve Rezervuar Jeoloji Müdürlüğüne verilmiş ve Tablo 3.3.' deki sonuçlar alınmıştır. Teslim edilen örneklerdeki minerallerin miktarsal oranları (kantitatif XRD analizi) Rietveld metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Bu yöntem, yüksek çözünürlüklü piksel tabanlı dedektörden alınan difraktogramlar üzerinde, kristal yapı dosyalarını içeren veri setleri kullanılarak gerekli pik düzeltmeleri (Rietveld Refinement) yapılmakta ve standart sapma oranları ile birlikte minerallerin % oranları verilmektedir.

Tablo 3.3' de yer alan XRD analiz sonuçları, örnekler üzerindeki mineral oranlarını göstermektedir. Bu oranlar ve mineraller TPAO Arge Merkezi tarafından belirlenmiş olup çalışmada kullanılacak mineral türlerini kapsamaktadır. XRD analizleri yaptırılmasının amacı, spektral analizlerde olduğu gibi model uygulama sonuçlarını doğrulamak için olmuştur.

Tablo 3.3. TPAO Arge Merkezi XRD analiz sonuçları

Örnek Kodu	Örnek No.	XRD Tümüye Mineral Bileşimi (ağ%)										XRD Kil Mineral Bileşimi (ağ%)					Toplam %
		Kuvars	Kristobalit	Feldspat	Hematit	İlmenit	Götüt	Piroksen	Kalsit	Ankerit	Toplam Kil+Mika	İllit-Mika	Smektit	Kaolinit	Klorit	Serpantin	
VII. Bölge Saha Örnekleri	01	-	15	75	-	-	-	3	-	-	7	6	1	-	-	eser	100
	02	-	-	78	7	-	-	10	-	-	5	1	3	-	-	1	100
	03	-	-	69	12	2	-	-	-	-	17	1	15	-	-	1	100
	04	-	-	69	20	-	-	6	1	-	4	2	2	-	-	-	100
	05	-	26	65	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
	06	1	13	66	-	1	1	13	-	-	5	eser	5	-	-	-	100
	07	-	-	61	16	1	-	13	-	-	9	4	5	-	-	-	100
	08	-	-	83	13	1	-	-	-	-	3	3	-	-	-	-	100
	09	-	-	83	14	-	-	-	-	-	3	1	2	-	-	-	100
	10	2	18	68	6	-	3	-	-	-	3	-	3	-	-	-	100
	11	-	21	74	-	-	-	-	-	-	5	3	2	-	-	-	100
	12	-	12	62	12	4	2	-	-	-	8	5	3	-	-	-	100
	13	-	10	73	10	2	-	-	-	1	4	1	3	-	-	eser	100

3.4. Band Oranlama Uygulaması

Bu bölümde band oranlama uygulaması hidrokarbon alterasyon alanları tespitinde model uygulama sonuçları doğrulama amacıyla çalışma alanının tümü için uygulanmıştır. Band oranlama ve model uygulamalarında aynı görüntü veri seti kullanılmaktadır. Her iki uygulama için aynı görüntü işleme adımları yapılmaktadır. Bu görüntü işleme uygulamaları aşağıda anlatılmıştır.

3.4.1. Katman istifleme

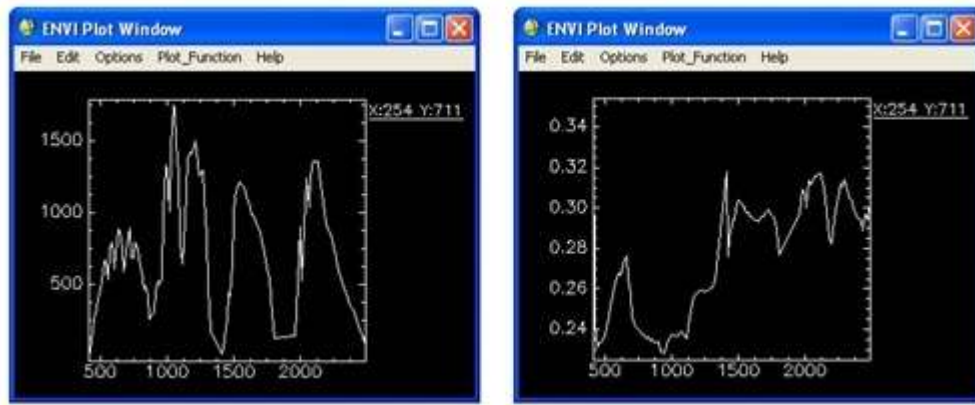
Bu işlem, çeşitli piksel boyutları, uzantılar ve prejeksiyona sahip coğrafi referanslı görüntülerden yeni bir çok bantlı dosya oluşturmak için kullanılır. Kullanılan Landsat 8 OLI uydu görüntüleri onbir adet banta sahiptir. Minerolojik analizlerde kullanılmak üzere bu onbir banttan, altı tanesi olan B2 (blue), B3 (green), B4 (red), B5 (NIR), B6 (SWIR1) ve B7 (SWIR2) bantları ENVI “Layer Stacking” modülü kullanılarak farklı bant gruplarını tek bir dosyada birleştirmiştir.

3.4.2. Atmosferik düzeltme

Bu işlem ENVI programında Log Residual algoritması kullanılarak güneş ışınımını, atmosferik geçirgenliği, veri kazancını, topografik etkiler ve parlaklık verilerinden albedo etkilerini kaldırmak için yapılmaktadır. Bu dönüşüm, mineraller ile ilgili emilim özelliklerini analiz etmek için yararlı olan sahte bir yansıma görüntüsü oluşturur. Görüntü kümesi logaritmik kalıntıları, giriş spektrumunun spektral geometrik ortalama

bölünmesi, ardından uzamsal geometrik ortalamaya bölünmesi olarak tanımlanır. Geometrik ortalama, geçirgenlik ve diğer etkileri çoğaltıcı olarak kabuledilir ve veri değerlerinin logaritmaları kullanılarak hesaplanır. Spektral ortalama, her piksel için tüm bantların ortalamasıdır ve topografik etkileri kaldırır. Mekansal ortalama, her bant için tüm piksellerin ortalamasıdır ve güneş ışınımı, atmosferik geçirgenlik ve cihaz kazancını açıklar (Green ve Craig, 1985).

Orjinal görüntü spektrasıyla atmosferik düzeltme yapılmış (log residual yapılmış görüntü) spektra Şekil 3.18’ deki gibi karşılaştırılmıştır (http-5, 2019).



Şekil 3.18. Orjinal spektra (solda) ve atmosferik düzeltme yapılmış spektra (sağda) (y eksen: reflektans, x eksen: dalga boyu)

3.4.3. NDVI ve NDWI maske oluşturma

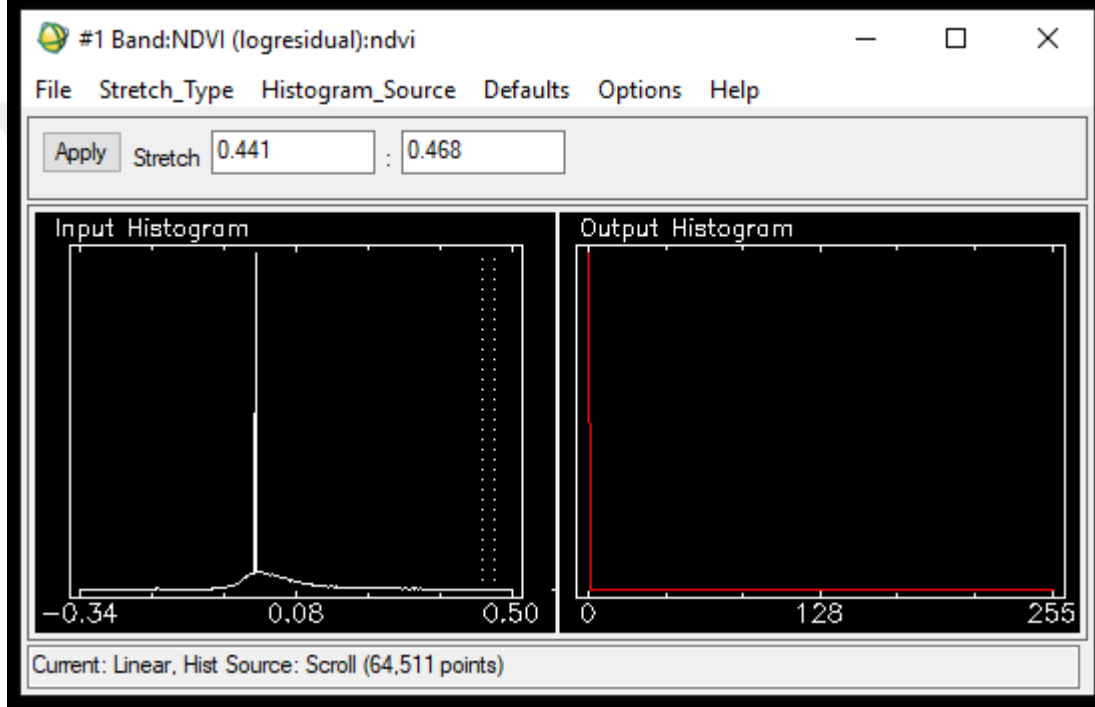
Hedef amaçlı çalışmalarda görüntü analizleri yapılırken, hedef alanlarının dışında kalan bölgeler oluşturulan indeksler ile görüntüden kırılıp çıkarılırlar. Bu amaçla üzerinde çalışılan Landsat 8 OLI uydu görüntüsü üzerinde bitki örtüsü ve su alanları hedef tespitinde anlamlı alanlar olarak değerlendirilmeyip görüntülerden çıkarılmıştır.

NDVI görüntüsü oluşturmak için Landsat veri setinde yeralan NIR ve RED bantları kullanılır. Bu bantlar aşağıdaki formülde uygulanarak NDVI görüntüsü elde edilir.

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} = \frac{(B5 - B4)}{(B5 + B4)} \quad (3.1.)$$

NDVI formülündeki bantlar, Landsat 8 OLI uydu verilerinde NIR bandı B5, Red bandı B4'e karşılık gelmektedir.

NDVI görüntüsünde görüntü zenginleştirme giriş histogramının maksimum eşik değeri 0.468, minimum eşik değeri 0.441 olarak saptanmış (Şekil 3.19) ve bitki örtüleri için beyaz renk sınıf (DN=1), diğer tüm alanlar için siyah renk sınıf (DN=0) oluşturulmuştur.



Şekil 3.19. NDVI görüntü zenginleştirme eşik değeri (konstrast)

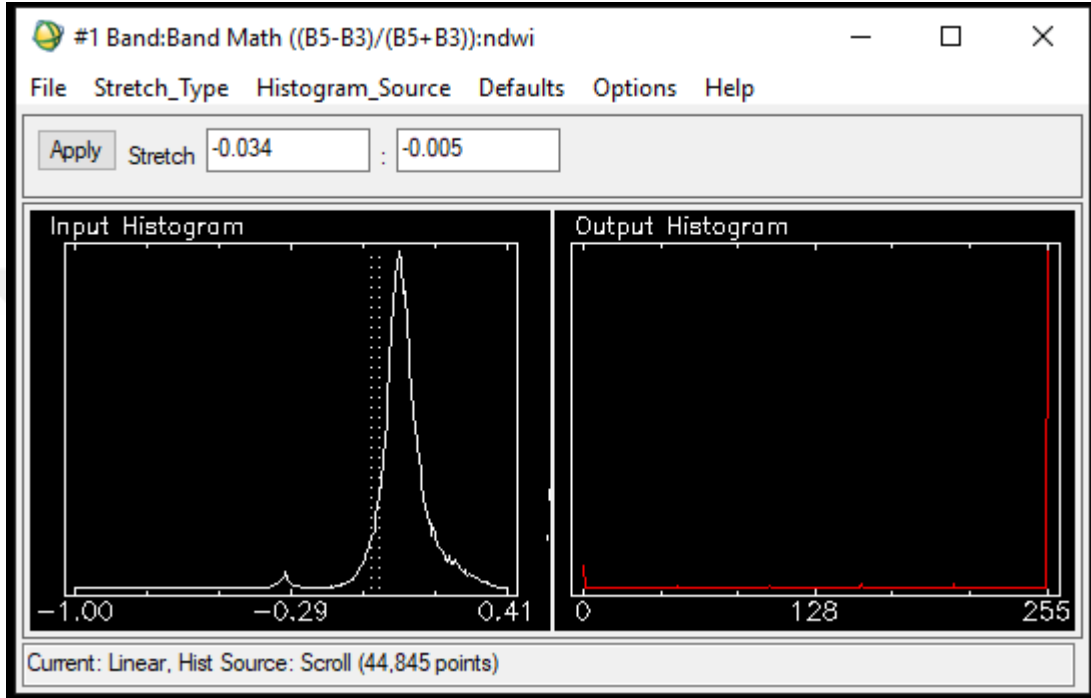
NDWI görüntüsü oluşturmak için Landsat veri setinde yeralan NIR ve GREEN bantları kullanılır. Bu bantlar aşağıdaki formülde uygulanarak NDWI görüntüsü elde edilir.

$$NDWI = \frac{NIR - G}{NIR + G} = \frac{B5 - B3}{B5 + B3}$$

(3.2.)

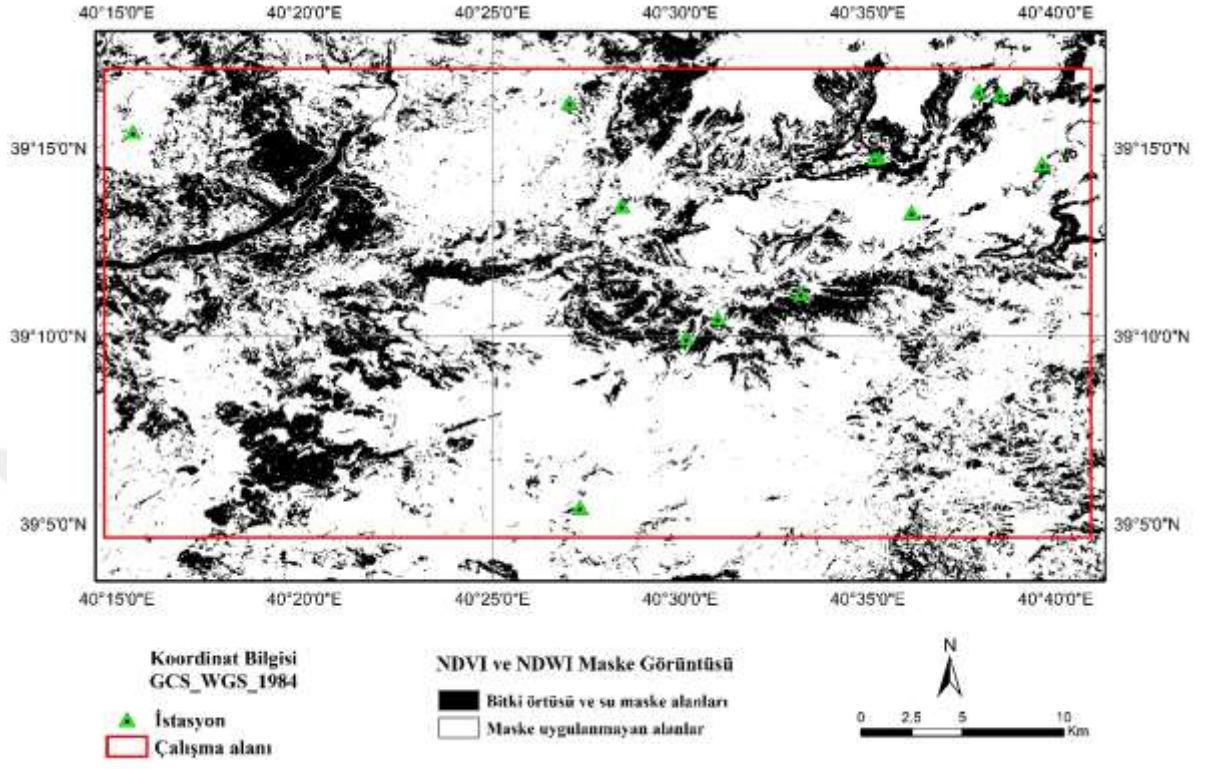
NDWI görüntüsünde görüntü zenginleştirme giriş histogramının maksimum eşik değeri -0.005, minimum eşik değeri -0.034 olarak saptanmış (Şekil 3.20) ve su alanlar

için beyaz renk sınıf (DN=1), diğer tüm alanlar için siyah renk sınıf (DN=0) oluşturulmuştur.

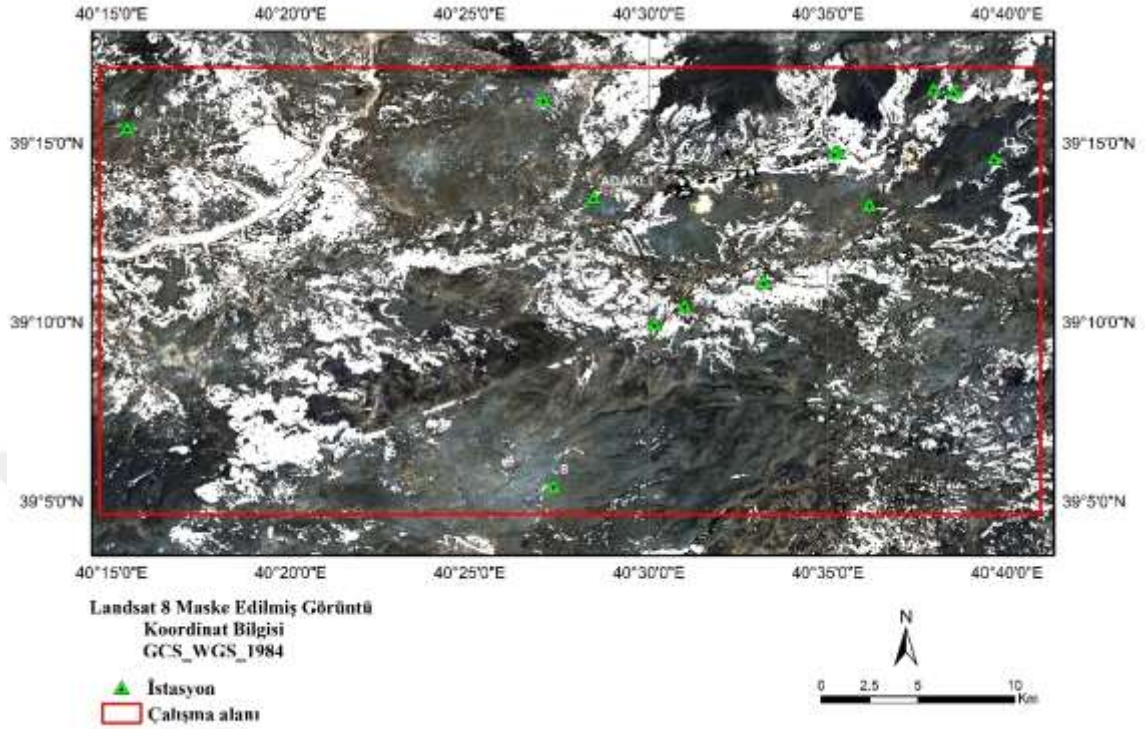


Şekil 3.20. NDWI görüntü zenginleştirme eşik değeri (konstrast)

NDVI ve NDWI görüntüleri ENVI programı Mask Builder aracı kullanılarak maske görüntüleri oluşturulmuştur. Maske görüntüde bitki örtüsü ve su alanları siyah renk (DN=0), diğer alanlar beyaz renk (DN=1) ile sembolize edilmiştir.



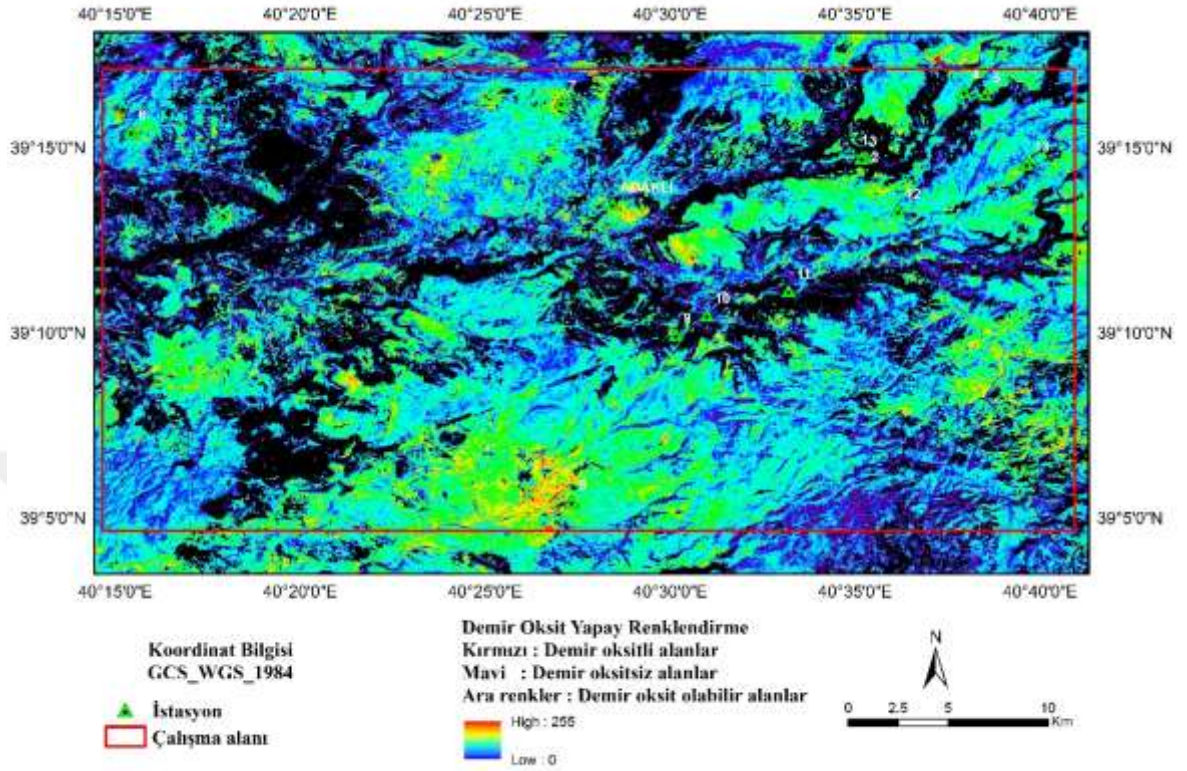
Şekil 3.21. NDVI ve NDWI maske görüntüsü



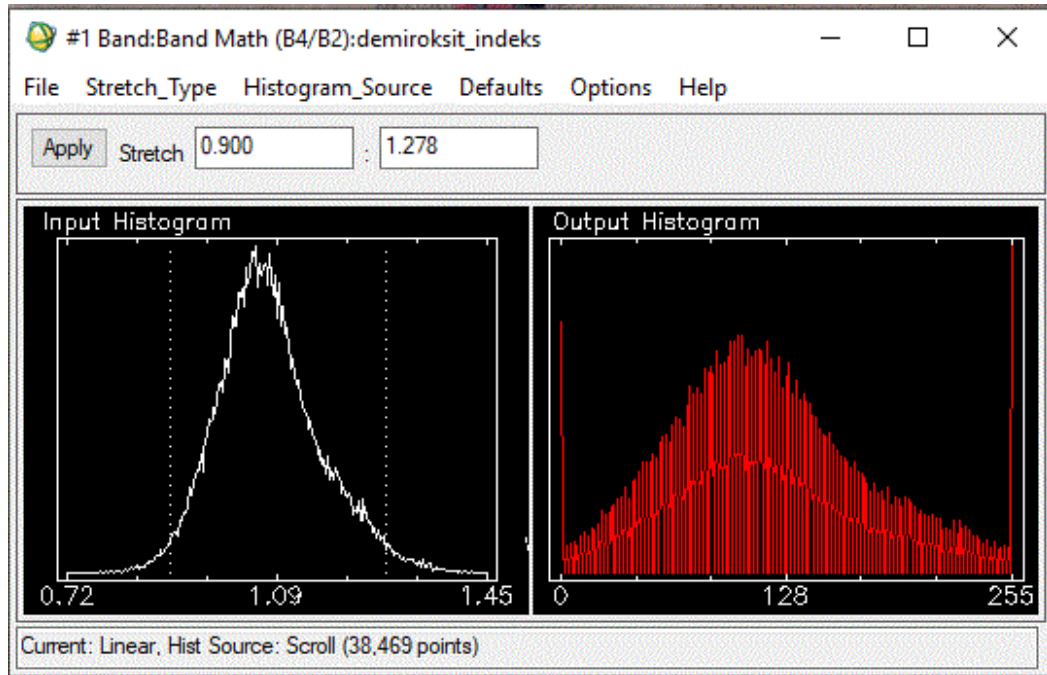
Şekil 3.22. Landsat 8 maske uygulanmış görüntü

3.4.4. Band oranlama

Bu yöntemde, demir oksit anomali görüntüsü için band 4 (0.64-0.67 μm) / band 2 (0.45-0.51 μm) oranı kullanılmaktadır. B4/B2 oranlaması sonucu oluşan görüntü Şekil 3.23.' de, bu görüntüye ait görüntü zenginleştirme giriş ve çıkış histogramları ise Şekil 3.24' de verilmiştir. Giriş histogramının minimum eşik değeri eğirinin rampaladığı 0.900 değerine ayarlanmıştır. Maksimum eşik değeri olarak 1.278 değeri alınmıştır.

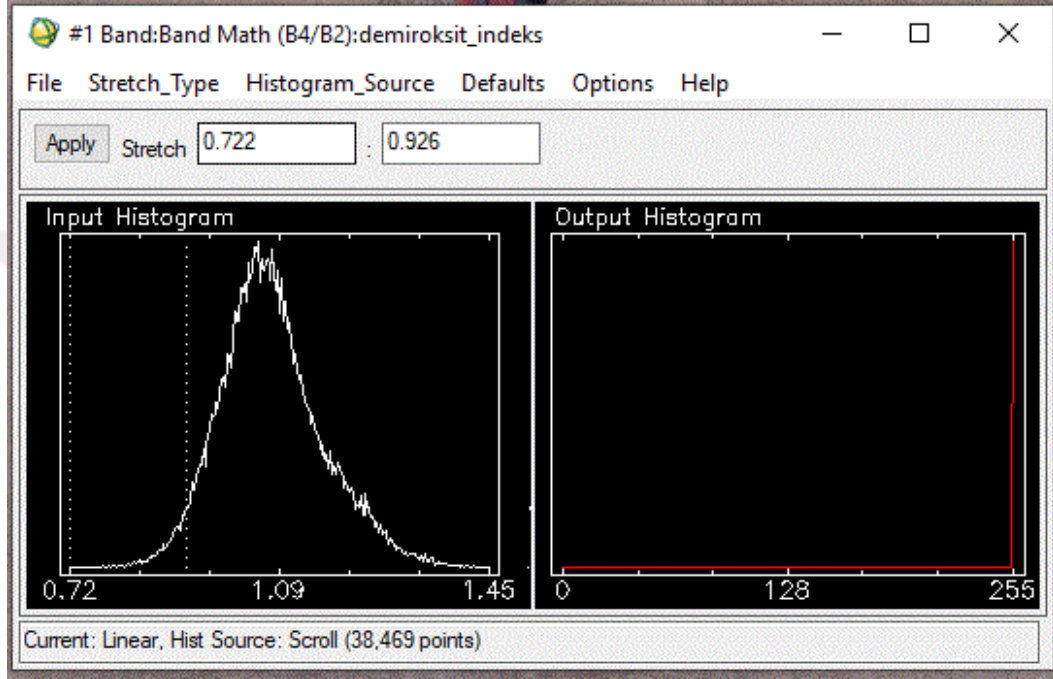


Şekil 3.23. Demir oksit (kırmızı) anomali görüntüsü



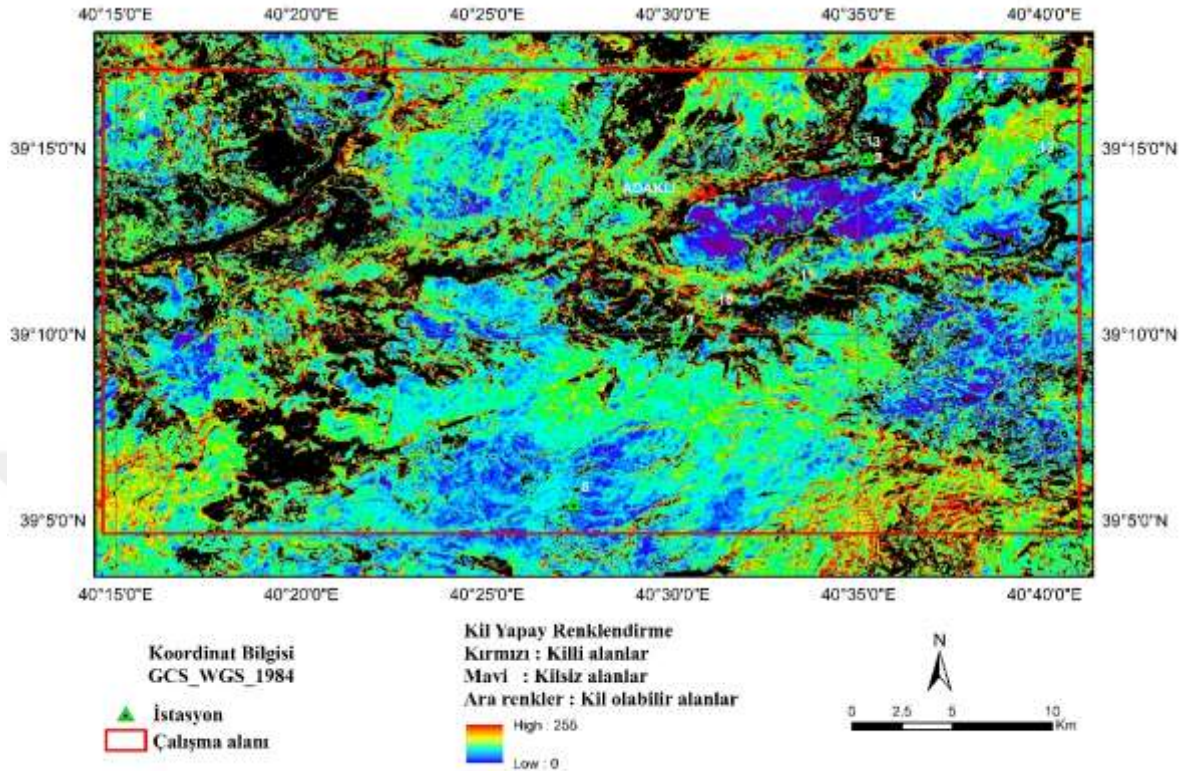
Şekil 3.24. Demir oksit anomali görüntüsü için giriş ve çıkış histogramları

Çok renki görüntüyü sadeleştirmek ve sadece demir oksit anomalisine odaklanmak için yapay renk uygulaması yapılmıştır. Yapay renk uygulamasında, Şekil 3.23' deki kırmızı alanlara (demir oksit) en yakın görüntüyü vermesi için giriş histogram maksimum eşik değeri 0.926, minimum eşik değeri 0.722 yapılmıştır.

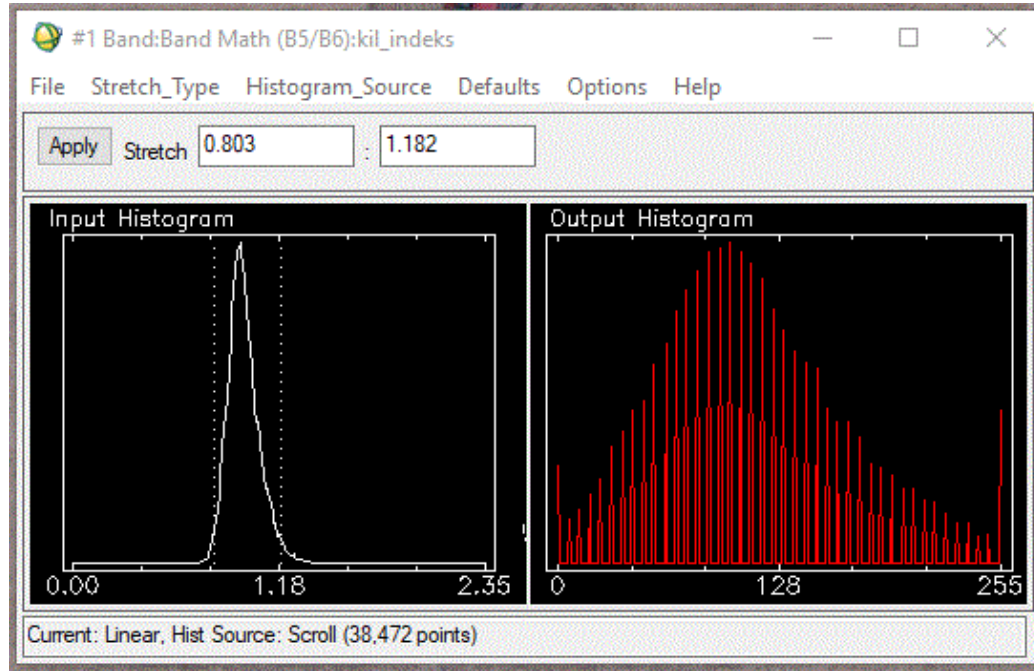


Şekil 3.25. Demir oksit yapay renk uygulaması için minimum ve maksimum eşik değerleri (konstrats)

Kil mineralleri anaomali görüntüsü için band 6 (1.56-1.66 μm) / band 7 (2.10-2.30 μm) oranı kullanılmaktadır. B6/B7 oranlaması sonucu oluşan görüntüye ait görüntü zenginleştirme giriş ve çıkış histogramları Şekil 3.26' ta, anomali görüntüsü ise Şekil 3.27' de verilmiştir.



Şekil 3.26. Kil mineralleri (kırmızı) anomali görüntüsü



Şekil 3.27. Kil mineralleri anomali görüntüsü için giriş ve çıkış histogramları

Giriş histogramının minimum eşik değeri 0.803, maksimum eşik değeri 1.182 ayarlanmıştır (Şekil 3.27). Tüm maske uygulanmış demir oksit ve kil mineralleri anomali görüntülerinde kırmızı alanlar demir oksit ve kil mineralli, ara tonlar geçiş katmanı, mavi tonlar ise diğer maddelerin varlığını göstermektedir. Band oranlama uygulaması, Spektral ve XRD analizlerinde olduğu gibi model uygulama sonuçlarının doğruluğu amacıyla kullanılmıştır.

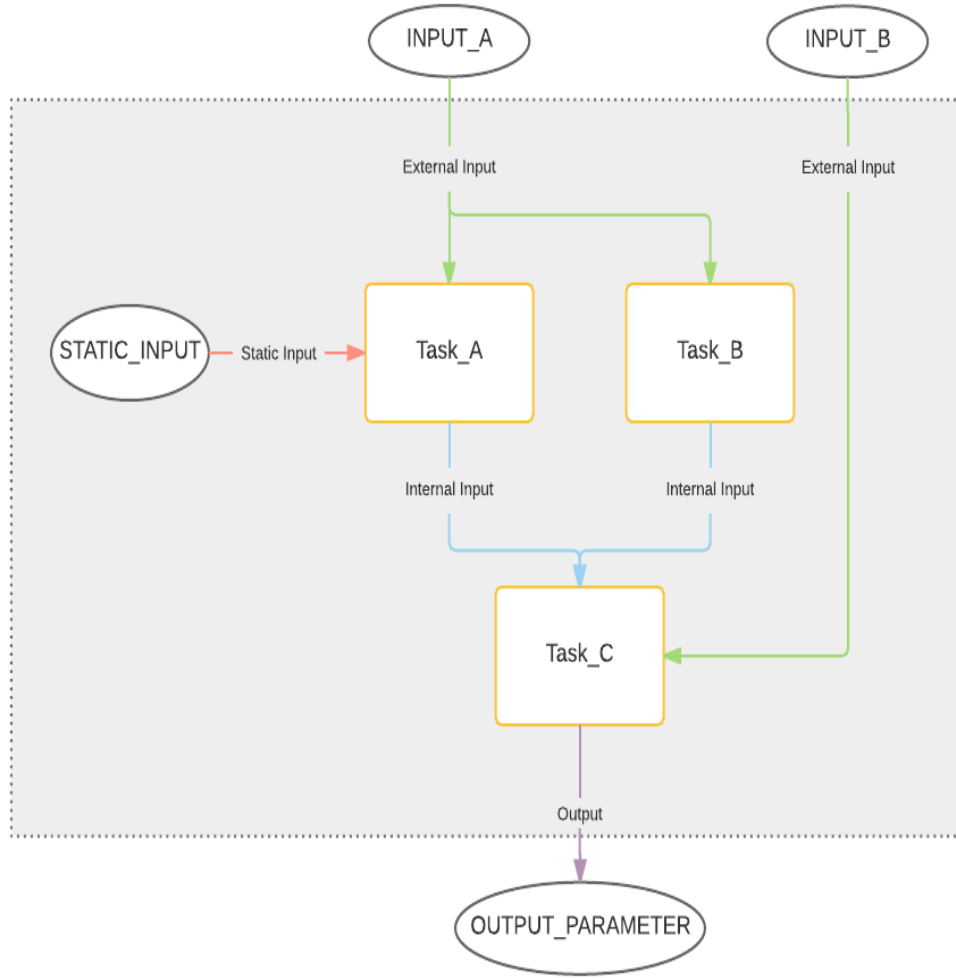
3.5. Model Uygulaması

Model ve band oranlama uygulamalarında kullanılan Landsat 8 uydu veri seti üzerinde band oranlama uygulamalarında anlatılan görüntü işleme adımları model uygulaması içinde aynı şekilde yapılarak sınıflandırma çalışmaları yapılmıştır. Sınıflandırma, uzaktan algılamada bir görüntü işleme tekniğidir. Bu teknikte amaç, görüntü piksellerinin arazi de karşılık geldikleri sınıflara otomatik olarak eşleştirmek, atamak veya yerleştirmektir. Görüntü sınıflandırmalarında iki genel yaklaşım olan denetimli (eğitilmiş) ve denetimsiz (eğitimsiz) sınıflandırma metodları yaygın olarak kullanılır (Ayhan vd, 2003). Çalışmada denetimli (eğitilmiş) sınıflandırma yöntemlerinden biri olan Spectral Angle Mapper (SAM) algoritması kullanılmıştır. Denetimli sınıflandırmalar istatistiksel kavramlara dayalı yöntemleri ve yapay zeka tabanlı yöntemleri içerir.

Geliştirilen model uygulaması, Python uygulama platformu Pycharm programı kullanılarak yapılmıştır. Pycharm görüntü işleme üzerine bir çok modül ve etkin kod yazma altyapısı sunmaktadır. ENVI program yapıcılarının kullanıcıların çalışmalarında kullanabilmesi üzerine kendi algoritmalarını açık kaynak olarak paylaşmaktadır. Bu algoritmalar python kütüphaneleri olarak elde edilebilmektedir. Model uygulaması EnviPyEngine kütüphanesi temeli üzerinde çalışmaktadır. EnviPyEngine, ENVI programı tarafından sağlanan ENVI analizlerini çalıştırmak için bağımsız bir Python API sağlar. Bu kütüphane kullanımı ile ENVI programının sağladığı algoritmalara erişim sağlanmaktadır. Kısacası EnviPyEngine kütüphanesi model uygulaması ile ENVI programı arasında bir köprü kurmaktadır.

Model uygulama çalışma prensibi, üç temel öge üzerinde gerçekleşmektedir. Bu ögeler external (harici) input, internal (dahili) input ve static (sabit) input adlandırılmaktadır. External input, uygulama şablonunda harici olarak ayarlanacak bir parametredir. Uygulama şablonunda bir giriş parametresine karşılık gelmektedir. İnternal input, uygulama şablonunda bir işlem sonucu bir parametreden türetilen başka bir parametredir. Static input, uygulama şablonu için varsayılan bir değer tanımlamak için kullanılır. Uygulama şablonu için üretilen arayüzde değiştirilemez sadece kodlama kısmında değiştirilebilir.

Şekil 3.28’ de uygulamada kullanılan veriler INPUT_A ve INPUT_B şeklinde gösterilmiştir. Bu veriler model uygulamasında Landast 8 uydu görüntü veri seti ile USGS spektral kütüphanesi olarak tanımlanmıştır. Task_A, Task_B, uygulama şablonunda girdi verileri üzerinde yapılan farklı işlem adımlarını temsil etmektedir. Task_C, girdi verilerine yapılan işlemler sonucu oluşan yeni veriler üzerinde yapılacak işlemleri gösterir. STATIC_INPUT, uygulama çalışmadan önce yapılan parametre ayarlarını ve bu ayarların uygulama bitimine kadar sabit kaldığını ifade eder. OUTPUT_PARAMETER, uygulama sonucu elde edilen yeni veriler üzerinde yeni parametreler tanımlanarak model uygulaması sonuçlarını temsil eder.

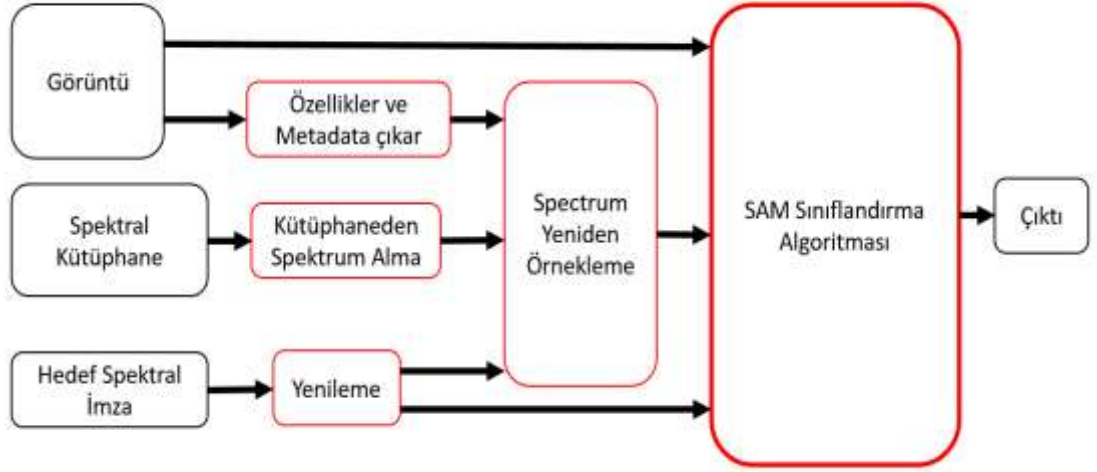


Şekil 3.28. Model uygulama çalışma prensibi

Uygulama şablonlarının kırılmadan ve senkronize şekilde çalışabilmeleri DAG (Directed Acyclic Graph) Türkçe anlamı ile Yönlendirilmiş Ağaç Grafik modeli ile sağlanmaktadır. DAG, bilgisayar bilimlerinde veri modellemelerde kullanılan Düz ağaçların (acyclic graph), yani içinde herhangi bir döngü (daire) bulunmayan ağaçların, yani bir noktadan birden fazla geçme imkanı bulunmayan ağaçların, yön almış halleridir. Şekil 3.28’ de yer alan görev şablonları (Task A gibi) DAG (yönlendirilmiş ağaç grafiği) modeli doğrultusunda her görev DAG modelinde bir anahtara karşılık gelmektedir. Bu anahtarlar tek yönlü açılıp sonraki görev veya görevler için parametreler oluşturmaktadır.

Uygulama formatını tanımlamak için JSON (JavaScript Object Notation) modülü kullanılmaktadır. Bu modülün kullanılması JSON formatının basitliği ve okunabilirliği, IDL kullanıcıları için XML gibi benzer formatlardan daha tercih edilir olmasıdır. Ek olarak JSON'un iyi tanımlanmış yapısı, onu düz metinden daha çok yönlü hale getirir.

Şekil 3.29' da geliştirilen model uygulama çalışma şablonu yer almaktadır. Şablon da yer alan işlemler kod metinleri ile beraber aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 3.29. Model uygulama şablonu

Görüntü (ön işlem görmüş), uygulamada kullanılan Landsat 8 veri seti üzerinde görüntü ön işlemlerinin yapıp uygulamaya girdi parametresi olarak eklenmesidir.

Model uygulamasında kullanılan kütüphaneler ve konfigürasyon parametreleri Şekil 3.30' da gösterilmiştir.

```
-----  
import envipyengine  
import json  
envipyengine.config.set('engine', "taskengine.exe")  
engine = envipyengine.config.get('engine')  
from envipyengine import Engine  
envi_engine = Engine('ENVI')  
-----
```

Şekil 3.30. Model uygulamasında kullanılan kütüphaneler ve parametreleri

Spektral kütüphane (eşleştirme veri seti), uygulamada uydu görüntüleri üzerinden alınan spektral yansımaların eşleştirilmesi için çin kullanılacak veri setidir. Spektral yansıma eşleştirme veri seti olarak USGS Spektral Kütüphanesi kullanılmıştır.

Hedef spektral imza, uygulamada alterasyon minerallerin tespiti için belirlenen minerallerin spektral imzalarının kod adlarını içerir. Bu kod adları kullanılacak eşleştirme kütüphanesindeki kod adları ile aynı olmak zorundadır.

Yenileme, hedef spektrumları için raster veri kümesi üzerinde yenilemeler sağlayan ortamdır. Başka bir deyişle yenileme static input olarak adlandırılabilir.

```
-----  
"static_input": {  
  "iterate_values": ["chromite.spc Chromite HS281.3B", "hematit3.spc Hematite GDS69.a  
150-250u", "magnetit1.spc Magnetite HS195.3B", "illite2.spc Illite IMt-1.a"],  
  -----
```

Şekil 3.31. Yenileme parametrelerinin yer aldığı kodlar

Özellikler ve Metadata çıkar, uygulamada girdi olarak kullanmak üzere bir ögeden belirli özellikleri ayıklamak için kullanılan ortamdır. Örneğin, SAM algoritması için uzamsal referans girişi olarak kullanmak üzere rasterden uzamsal referansı ayıklayabilirsiniz.

```

"base_class": "ENVIEXTRACTOBJECTPROPERTYTASK",
    "schema": "envitask_3.2",
    "revision": "1.0.0",
    "commute_on_downsample": "Unknown",
    "commute_on_subset": "Unknown",
    "parameters": [
        { "name": "Input_Object",
          "display_name": "Input Object",
          "type": "OBJREF",
          "direction": "INPUT",
          "required": true,
          "description": "Specify the object from which to extract properties "
          "hidden": false,
          "allow_null": false          }
    ],
    "external_input": {          },
    "internal_input": {          },
    "static_input": {
        "input_object": {
            "url": "logresidual",
            "factory": "URLRaster",
            "auxiliary_url": [
                "logresidual.hdr",
                "logresidual.enp"
            ]
        }
    }

```

Şekil 3.32. Özellikler ve metadata çıkarın yer aldığı kodlar

Kütüphaneden spektrum alma, uygulama ENVI standart spektral kütüphane (SLI) dosyalarından belirtilen bir spektrumun ayrıntıları döndürmek için kullanılan ortamdır.

```
"task_1": { "“girdi spektral kütüphanesini kullanmak için”"
    "name": "GetSpectrumFromLibrary",
    "external_input": {
        "spectrum_name": "ITERATE_VALUES"
    },
    "internal_input": { },
    "static_input": {
        "input_spectral_library": {
            "url": "usgs_min.sli",
            "factory": "URLSpectralLibrary",
            "auxiliary_url": "usgs_min.hdr"
        }
    },
    "output": { }
```

Şekil 3.33. Kütüphaneden spektrum almanın yer aldığı kodlar

Spectrum yeniden örnekleme, uygulamada bilinen bir spektral kütüphanesinden eşleştirmek üzere spektral veri dosyalarını yeniden örnekleme için kullanılan ortamdır.

"task_2": {"" spektral kütüphaneden gelen hedef spektrale göre yeniden spectrum örneklemek için""

```
"name": "ResampleSpectrum",
"external_input": {
  "resample_wavelengths": "EXTERNAL_PARAMETER_0"
},
"internal_input": {
  "input_spectrum": "task_1.spectrum",
  "input_wavelengths": "task_1.wavelengths"
},
"static_input": {
  "resample_wavelength_units": "Micrometers"
},
"output": { }
```

Şekil 3.34. *Spectrum yeniden örneklemenin yer aldığı kodlar*

SAM sınıflandırma algoritması, uygulamada alterasyon minerallerinin bilinen referans spektrumlarını görüntü pikseli spektrumlarıyla karşılaştırmak için kullanılan algoritma ortamıdır.

```

"task_3": {"" sam algortiması parametrelerini belirlemek için""
    "name": "SpectralAngleMapperClassification",
    "external_input": {
        "class_names": "ITERATE_VALUES"
    },
    "internal_input": {
        "mean": "task_2.output_spectrum"
    },
    "static_input": {
        "input_raster": {
            "url": "logresidual",
            "factory": "URLRaster",
            "auxiliary_url": [
                "logresidual.hdr",
                "logresidual.enp"
            ]
        },
        "class_colors": [255, 0, 0],
        "threshold_angle": [0.10000000149011612],
        "output_rule_raster_uri": "!"
    },
    "output": {

```

Şekil 3.35. SAM sınıflandırma algoritmasının yer aldığı kodlar

Çıktı, uygulamada işlemler sonucu oluşan yeni parametrelili verilerin raster formatında dışa aktararak kaydedildiği ortamdır.

```
"task_4": { "“sonuç haritalarının tiff formatında oluşturulması için”"
  "name": "ExportRasterToTIFF",
  "external_input": {
    "output_raster_uri": "ITERATE_VALUES"
  },
  "internal_input": {
    "input_raster": "task_3.output_raster"
  },
  "static_input": {
  },
  "output": { }
```

Şekil 3.36. Çıktı ortamının yer aldığı kodlar

Model uygulama sonuç haritaları EK A, B, C ve D’ de yer almaktadır.

3.6. Uygulama Sonuçları Karşılaştırma ve Tartışma

Geliştirilen model uygulama sonuçları arazi çalışmaları, spektral analizler, XRD analizleri ve band oranlama yöntemi kullanılarak doğrulama karşılaştırmaları yapılmıştır. Önceki bölümlerde detaylı olarak anlatılan spektral analiz, XRD analizi ve band oranlama yöntemlerinin yapılma amacı model uygulama sonuçları ile karşılaştırılarak doğruluk analizi yapılmasıdır. Doğrulama için yapılan çalışmalar yöntem ve kullanılan teknikler olarak birbirlerinden bağımsız uygulamalar olarak tanımlanabilir. Her çalışma sonucu farklı birimlerde sonuçlar vermekte ve farklı temeller üzerinde kendine özgü çıkarımlar sağlamaktadır. Model uygulama sonuçları ve diğer uygulamaların sonuçları farklı birimlerde sonuçlar verdiği anlayışı ile yapılacak olan doğrulama çalışması, her çalışma için kendi içinde bağımsız değerlendirilip çıkan sonuçların birlikte yorumlanması ile sağlanacaktır. Doğrulama için, her uygulama çalışması dahilinde yeralan ortak bir nokta referans olarak belirlenmiştir. Bu referans noktası 1 nolu istasyon seçilmiştir. Sırasıyla

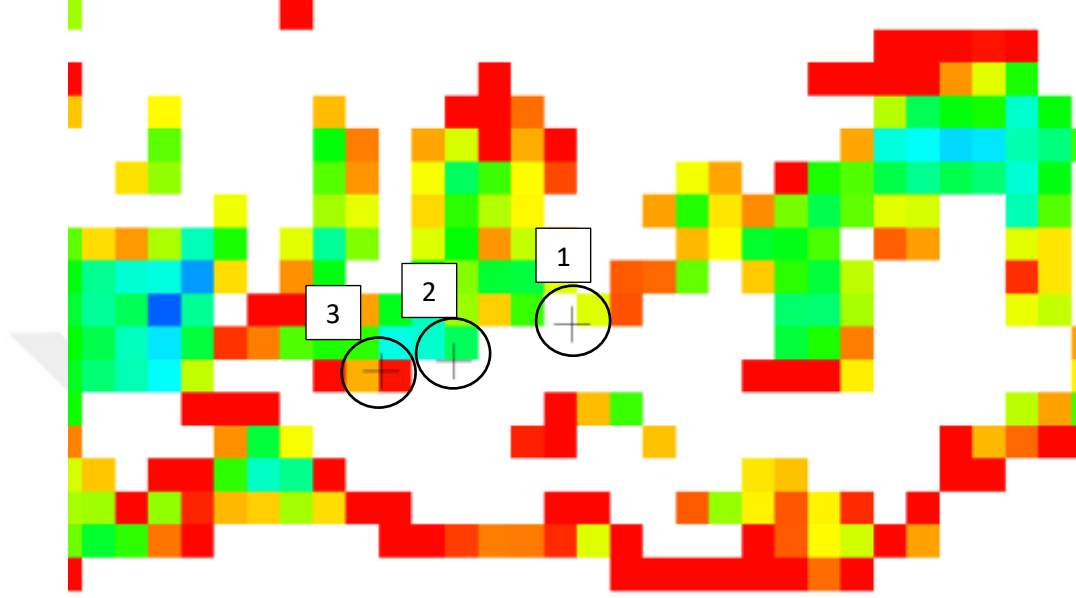
spektral analiz, XRD analiz, band oranlama ve son olarak model uygulama sonuçları 1 nolu istasyon için değerlendirilip sonuçlar yorumlanmıştır.

1 Nolu istasyon için spektral analiz uygulama sonuçları Tablo 3.2' de verilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde örnek numune üzerinde sekiz ölçüm gerçekleşmiş ve benzerlik skorlarının aritmetik ortalaması alınarak mineral tanımlaması yapılmıştır. Bu tanımlama, örnek numune üzerinden alınan spektral yansıma ölçümleri sonucu hesaplanan benzerlik skorları yorumlanması ile minerallerin muhtemel kimlikleri belirlenmiştir. Buradan 1 nolu istasyon örneği içerisinde feldspat ve kil mineralleri varlığından söz edilebileceğini, demir oksit varlığından anlamlı değerde söz edilemeyeceği sonucu çıkarılmıştır.

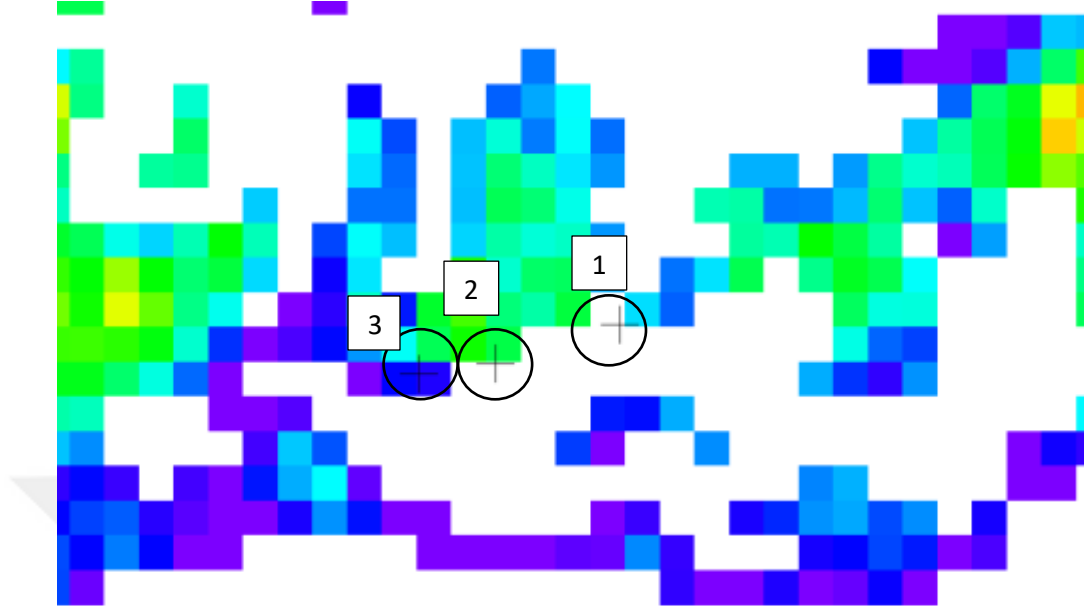
1 Nolu istasyon için XRD analiz uygulama sonuçları Tablo 3.3' de verilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde, XRD analizi yapılması için verilen ceviz büyüklüğündeki örnek parçalar TPAO Arge Merkezinde uygulaması yapılarak örnek parçayı oluşturan minerallerin % (yüzde) olarak değerlerini vermiştir. Tablo okuması yapıldığında örnek parçanın %75' inin feldspat, %15' inin kristobalit, %7' sinin kil mineralleri ve %3' ünün piroksen olduğu tespit edilmiştir. Bu değerler 1 nolu istasyondan alınan örnek numunenin ceviz büyüklüğündeki parçasının feldspat ve kil mineralleri içerdiğini göstermektedir. Bu örnek parça tüm numune için referans tabanı oluşturabilmektedir.

1 Nolu istasyon için band oranlama uygulaması sonuç haritaları önceki bölümlerde yer almaktadır. 1 Nolu istasyon band oranlama uygulama sonuçları için demir oksit ve kil haritalarında, kırmızı renk tonlarına sahip alanlar demir oksit ve kil minerallerince zengin, sarı renkten yeşil renke doğru olan renk sıkalısına sahip alanlar bu minerallerin varlığından söz edilebileceği, mavi renk tonlarına sahip alanlarda ise bu minerallerin varlığından söz edilemeyeceği alanlar olarak tanımlanmaktadır. 1 Nolu istasyon için band oranlama uygulama sonuçları Şekil 3.37 ile Şekil 3.38' de gösterilmiştir. Şekiller de 1, 2 ve 3 nolu istasyon noktaları gözükmektedir. Sonuçlar 1 nolu istasyon çevresinde kil mineralleri varlığının

gözlemlendiğini, demir oksit mineralleri varlığının gözlenemediğini göstermektedir.

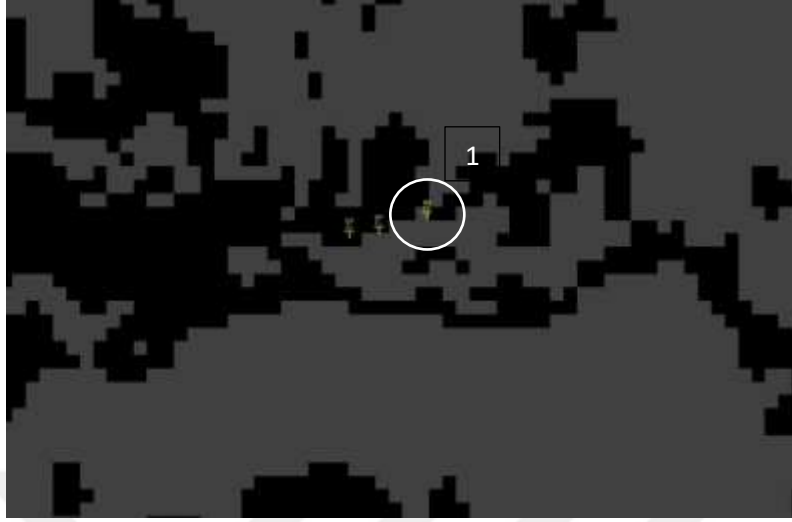


Şekil 3.37. 1 Nolu istasyon band oranlama kil sonuçları



Şekil 3.38. 1 Nolu istasyon band oranlama demir oksit sonuçları

1 Nolu istasyon için model uygulama sonuçları, alterasyon mineralleri olan demir oksit ve kil mineralleri için anlamlı çıkarımlar yapılmasını sağlamıştır. Demir oksitler olarak hematit ve götit mineralleri uygulaması, kil mineralleri olarak illit, simektit ve kaolin mineralleri uygulaması yapılmıştır. Model uygulama sonuç çıktılarında siyah renkli alanlar bitki örtüsü ve su alanları olarak maskelenmiş alanlar, gri renkli alanlar model uygulaması tarafından sınıflandırılma yapılmamış alanlar olarak tanımlanmaktadır. Hematit ve götit mineralleri için model uygulama sonuçları bir sınıflandırma yapılmadığını göstermektedir. Buradan anlaşılan 1 nolu istasyon ve civarında hematit ve götit minerallerinin varlığından söz edilemeyeceğidir.



Şekil 3.39. *Model uygulama hematit minerali sonuçları*



Şekil 3.40. *Model uygulama götüt minerali sonuçları*

İllit, simektit ve kaolin mineralleri için model uygulama sonuçları sınıflandırma işlemleri gerçekleştirmiştir. Bu sınıflandırma işlemleri model uygulamsının ana parçası olan SAM algoritması kullanılarak yapılmaktadır. 1 Nolu istasyon için model uygulama sonuçları band oranlama uygulama sonuçları gibi yoruma açık bulgular yerine sonuç odaklı net sınıflandırmalar yapmıştır. Uygulama sonuçları 1 nolu istasyon etrafında kil mineralleri varlığından söz edilebileceğini ortaya koymaktadır.



Şekil 3.41. Model uygulama illit minerali (mavi) sonuçları



Şekil 3.42. Model uygulama simektit minerali (yeşil) sonuçları



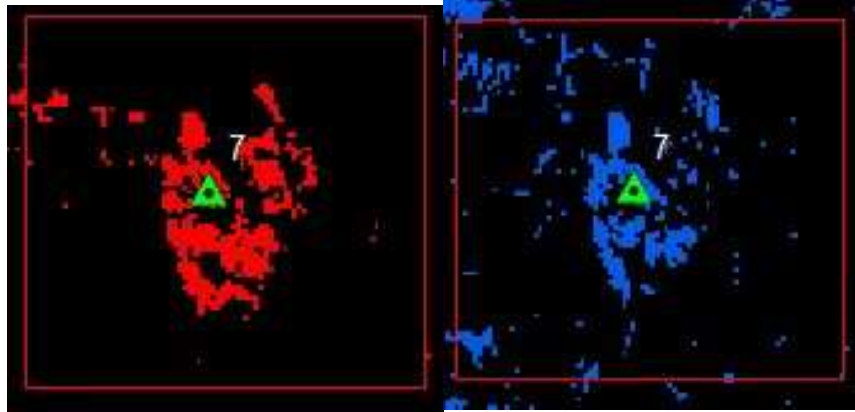
Şekil 3.43. Model uygulama kaolin minerali (yeşil) sonuçları

Alterasyon mineralleri olan demir oksit ve kil grubu mineralleri arazi ve dört farklı uygulama çalışması yapılarak sonuçlar elde edilmiş ve birbirleriyle hangi ölçüde ilişki verdikleri saptanmıştır. Alterasyon mineralleri varlığı hidrokarbon aramacılığında önemli bir göstergeye sahip olması bu minerallerin en doğru şekilde konumlarının tespit edilmesinin önemini daha da artırmaktadır. Alterasyon alanlarının tespitinde alternatif bir uygulama olarak yapılan bu model uygulama çalışması sonuçlarının spektral analiz, XRD analiz ve band oranlama uygulama sonuçları 1 nolu istasyon ölçeğinde karşılaştırılarak doğruluk analizi yapılmıştır. Bu karşılaştırmalar model uygulama ve diğer uygulama sonuçlarının paralel sonuçlar verdiği göstermiştir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Alterasyon varlığı bölgede cevherleşme olabileceğini göstermektedir. Yeryüzeyini oluşturan kayaç yapıtaşları olan mineraller fiziksel ve kimyasal etkilerle kompozisyonları zamanla değişime uğrar ve bozulur. Hidrokarbon sızıntıları yüzeydeki kayalarda demir oksit ve kil mineralleri anomalisi meydana getirerek hidrokarbon alteraston alanlarının oluştururlar (Sabins, 1999; Sarı N. , 2005; Kargı ve Sarı, 2006; Polat, 2012).

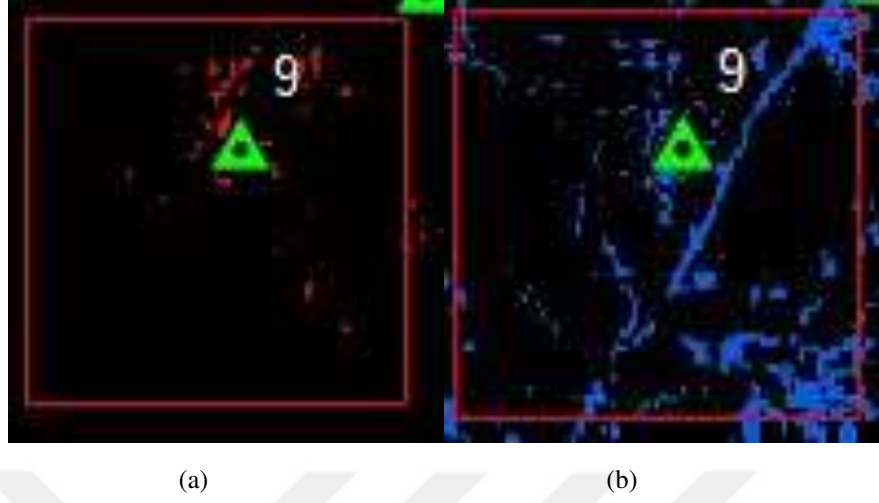
Bu tez kapsamında model uygulama sonuçlarını doğrulamak amacıyla arazi çalışması, spektral analiz, XRD analiz ve band oranlama yöntemi uygulamaları yapılmıştır. Arazi çalışmalarında tespiti yapılan 13 adet inceleme istasyonu için hidrokarbon alterasyon alan tespit çalışması tüm istasyonlara uygulanmıştır. Landsat 8 uydu görüntü setlerinin görüntü aldığı dalga boyları dikkate alındığında gerek kil mineralleri gerekse demir oksitler başarılı bir şekilde model uygulaması tarafından sınıflandırılmıştır. Uydu görüntüleri ile hidrokarbon alterasyon alanlarını tespit etmek amacıyla geliştirilen model uygulaması, 13 adet istasyonun yer aldığı çalışma alanı üzerinde hidrokarbon alterasyon alanları olarak istasyon 7, 9, 12' nin olduğu sonucuna varılmasını sağlamıştır.



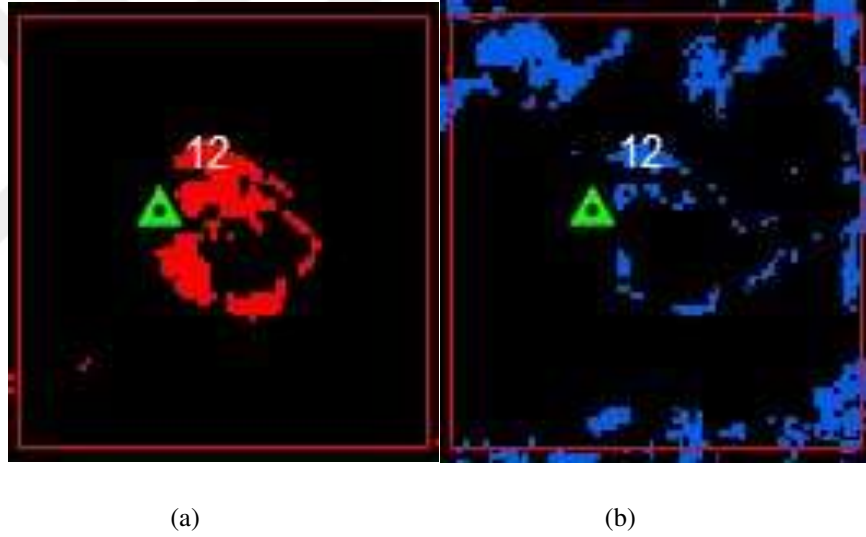
(a)

(b)

Şekil 4.1. İstasyon 7 (a) demir oksit (kırmızı), (b) kil mineralleri (mavi) model uygulama sonuçları



Şekil 4.2. İstasyon 9 (a) demir oksit (kırmızı), (b) kil mineralleri (mavi) model uygulama sonuçları



Şekil 4.3. İstasyon 12 (a) demir oksit (kırmızı), (b) kil mineralleri (mavi) model uygulama sonuçları

Yapılan araştırmalar, hidrokarbon alterasyon alanlarında, arazi yüzeyinde yansıyan bir takım anomaliler oluştuğunu göstermektedir. Bu anomalilerin temelde alterasyon mineralleri demir oksit ve kil grubuna sahip olduğu söylenebilir. Alterasyon mineralleri SAM algoritması temelinde geliştirilen model uygulaması kullanılarak hidrokarbon alterasyon alan yerlerinin tespit edilmesi ve ayırt edilmesi konusunda bilgiler sağlamıştır. Fakat, ne demir oksit anomalisi ne de kil mineralleri anomalileri veya her ikisinin birlikte var olması, o bölgede hidrokarbon alterasyonlarının kesin var olduğunu göstermediği unutulmamalıdır. Geliştirilen model uygulaması hidrokarbon aramacılığında ön araştırma olup saha jeolosini ve jeokimsayal araştırmaları destekleyici nitelikte hızlı bilgiler

sunmaktadır. Ayrıca model alterasyon mineralleri dışında diğer maden cevherleri araştırmaları için de modifiye edilerek ön çalışma şeklinde de kullanılabilir.



KAYNAKÇA

- Ambrams, M. J., Brown, D., Lepley and L., Sadowski, R. (1983). Remote Sensing for Porphyry Copper Deposits in Southern Arizona. *Economic Geology*, 78, 591-604.
- Ayhan, E., Karşlı, F. and Tunç, E. (2003). Uzaktan Algılanmış Görüntülerde Sınıflandırma ve Analiz. *Harita Dergisi*, 32-33.
- Cheng, Q. (1999). Spatial and Scaling Modeling for Geochemical Anomaly Separation. *Journal of Geochemical Exploration* 65, 175-194.
- Dağ, Ç., Koyuncu, H., Toprak, V., Tokatlı, K. and Demiröz, Ö.F. (2011). Hidrokarbon Alterasyonun Uzaktan Algılanması: Adıyaman Petrol Sahaları Test Uygulaması. *TPAO Arşiv*, 17-18.
- Esat, K. (2009). Madeni Uzaktan Algılamak. *Madencilik Türkiye*, 20-22.
- Girouard, G., Bannari, A., El Harti, A. and Desrochers, A. (2004). Validated Spectral Angle Mapper Algorithm for Geological Mapping: Comparative Study between Quickbird and Landsat TM. *Geo-Imagery Bridging Continents Istanbul*, 599-604.
- Green, A. A. and Craig, M. D. (1985). Analysis of aircraft spectrometer data, with logarithmic residuals. *Proceedings of the Airborne Imaging Spectrometer Data Analysis Workshop*, pp. 111-119.
- Gürsoy, Ö., Kaya, Ş. and Çakır, Z. (2013). Uydu Görüntüleri ile Yersel Spektral Ölçme Verilerinin Entegrasyonu. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 45-51.
- Hunt, G. (1977). Spectral Signatures of Particulate Minerals in the Visible and Near Infrared. *Geophysics*, 47, 501-503.
- Kargı, H. and Sarı, N. (2006). Landsat TM Görüntülerinde Alterasyon Zonlarının Belirlenmesi - Bir Maden Arama Çalışması. 4. *Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri*.
- Kayadibi, Ö. (2008). Mineral Haritalamada Bant Oranlama ve Crosta Metotları ile Elde Edilen Sonuçların Jeostatiksel Olarak Karşılaştırılması. 2. *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu UZAL-CBS 2008, Kayseri*
- Kruse, F. A., Lefkoff, A. B., Boardman, J. W., Heidebrecht, K. B., Shapiro, A. T., Barloon, P. J. and Goetz, A. F. H. (1993). The Spectral Image Processing System (SIPS) - Interactive Visualization and Analysis of Imaging spectrometer Data: Remote Sensing of Environment. *Special issue on AVIRIS*, 44, 145-163.
- Lilburn, R. A. and Al-Shaieb, Z. (1984). Geochemistry and isotopic composition of hydrocarbon-induced diagenetic aureole (HIDA). *Part I: Shale Shaker*, 34, 40-46.

- Moghtader, A., Moore, F. and Mohammadzadeh, A. (2007). The application of advanced space-borne thermal emission and reflection (ASTER) radiometer data in the detection of alteration in the Chadormalu paleocrater, Bafg region, Central Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 238-252.
- Osman Ali, A. (2014). Detection of High Potential Gold Mineralization Areas Using Landsat 8 Data in Northeastern Sudan. *Masters thesis, Universiti Teknologi Malaysia, Faculty of Geoinformation and Real Estate*.
- Polat, A. (2012). Adıyaman Civarındaki Hidrokarbon Sızıntılarının Landsat TM Uydu Görüntüleriyle Belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, İzmir: İstanbul Teknik Üniversitesi FBE*.
- Pour, A. B. and Hashim, M. (2012). The application of ASTER remote sensing data to porphyry copper and epithermal gold deposit. *Ore Geology Reviews*, 1-9.
- Sabins, F. (1999). Remote Sensing for Mineral Exploration. *Ore Geology Sciences*, 157-183.
- Sahoo, P. K., Soltani, S., Wong, A. K. C. and Chen, Y. C. (1988). A Survey of Thresholding techniques. *Compute Vision, Graphics and Image Processing 41*, 233-260.
- Saralioğlu, E., Güngör, O. ve Yıldırım, D. (2014). Uzaktan Algılama Araştırmacılarına Yönelik Python Ara Yüzü ve ArcGIS Yazılımı Eklentisi. *UZAL-CBS 2014*.
- Sarı, R. (2007). Altınlı Hidrotermal Alterasyonların Geliştirilmiş Landsat Tematik Haritalayıcıları ve Aster Görüntüleriyle Tayini. *Yüksek Lisans Tezi, İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi FBE*.
- Sarı, N. (2005). Denizli ve Civarının Jeolojik Özelliklerinin Uzaktan Algılama Yöntemi ile İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Denizli: Pamukkale Üniversitesi FBE*.
- Segal, D. B., Merin I. S., and Place, A. (1986). Use of digitally processed laboratory reflectance spectra for definition of probable microseepage-induced mineralogic variations, Lisbon Valley. *Fifth Thermatic Conference* (pp. 667-676). Nevada: Proceedings: Ann Arbor, Environmental Research Institute of Michigan.
- Sinclair, A. (1991). A Fundamental Approach to Threshold Estimation in Exploration Geochemistry; Probability Plots Revisited. *Journal of Geochemical Exploration 41*, 1-22.
- Uysal, M., Turgut, B., Polat, N., Dereli, M. A. and Yalçın, M. (2017). Uzaktan Algılama Teknikleri ile Açık Maden Ocaklarında Bor Minerallerinin Tespiti. *AKÜ FEMÜBİD 17*, 270-276.
- Yuhas, R., Goetz, A. and Boardman, J. (1992). Discrimination among semi-arid landscape endmembers using the spectral angle mapper (SAM) algorithm. *Summaries of the 3rd annu. Summaries of the 3rd annu. Workshop, 1*, 147-149.

- http-1. (2019). <https://landsat.usgs.gov/landsat-8> (Erişim tarihi: 09.09.2019)
- http-2. (2019).https://www.usgs.gov/energy-and-minerals/mineral-resources-program/science/usgs-high-resolution-spectral-library?qt-science_center_objects=0 (Erişim tarihi: 09.10.2019)
- http-3. (2019). <http://www.mta.gov.tr/> (Erişim tarihi: 12.11.2019)
- http-4. (2020). <https://www.harrisgeospatial.com/docs/SpectralAnalyst.html> (Erişim tarihi: 12.02.2020)
- http-5. (2020). <https://www.harrisgeospatial.com/docs/AtmosphericCorrection.html> (Erişim tarihi: 15.02.2020)



EKLER

EK A : Demir oksit haritası

EK B : Kil mineraleri haritası

EK C : Model uygulama hematit, götit, kromit haritaları

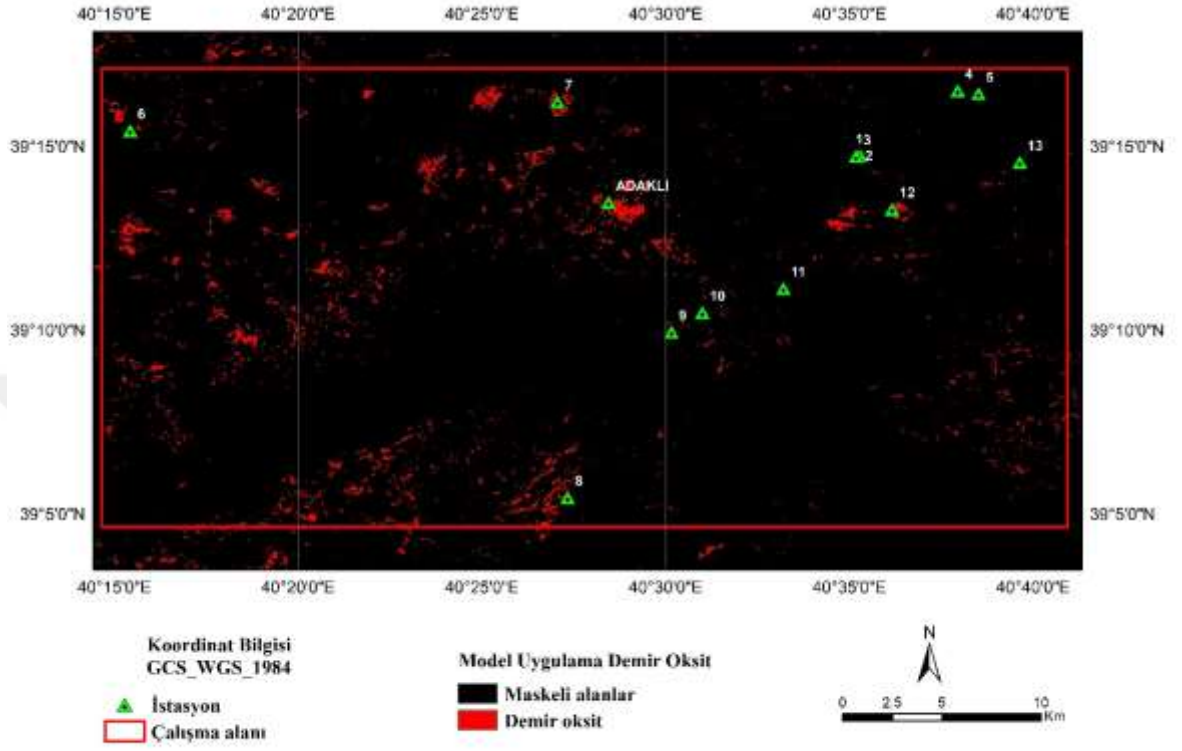
EK D : Model uygulama illit, simektit, kaolin haritaları

EK E : Spektral analiz sonuçları

EK F : İstasyon numune örnekleri

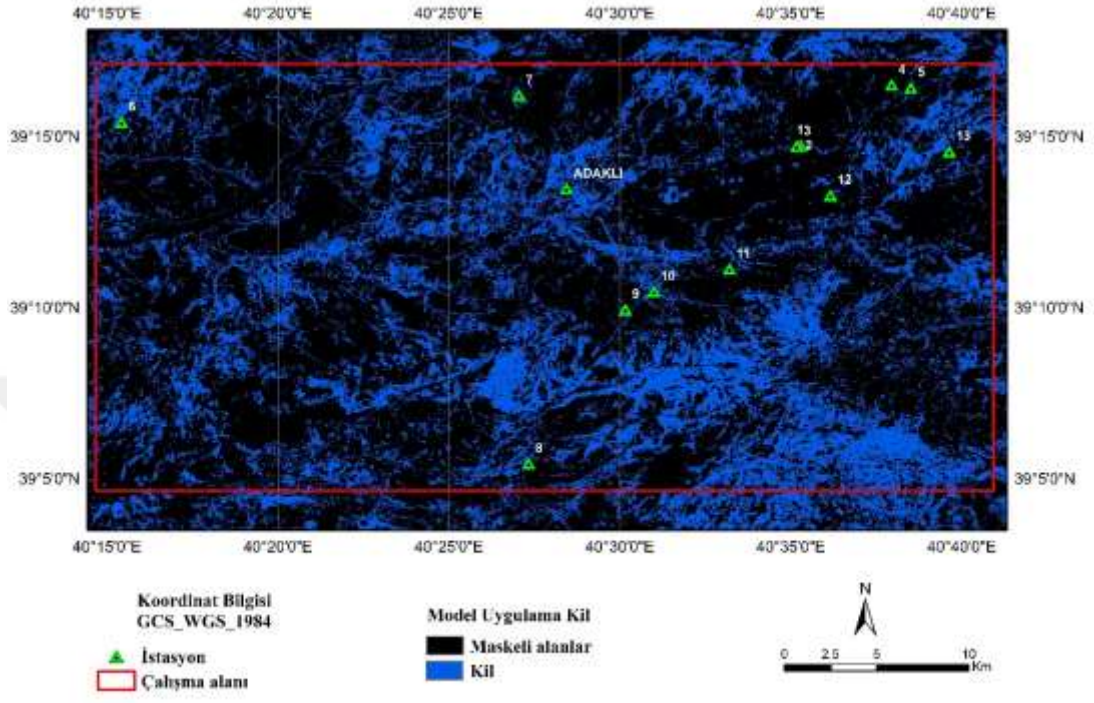
EK G : İstasyon numune örnekleri için karakteristik bazı spektral yansıma örnekleri

EK A



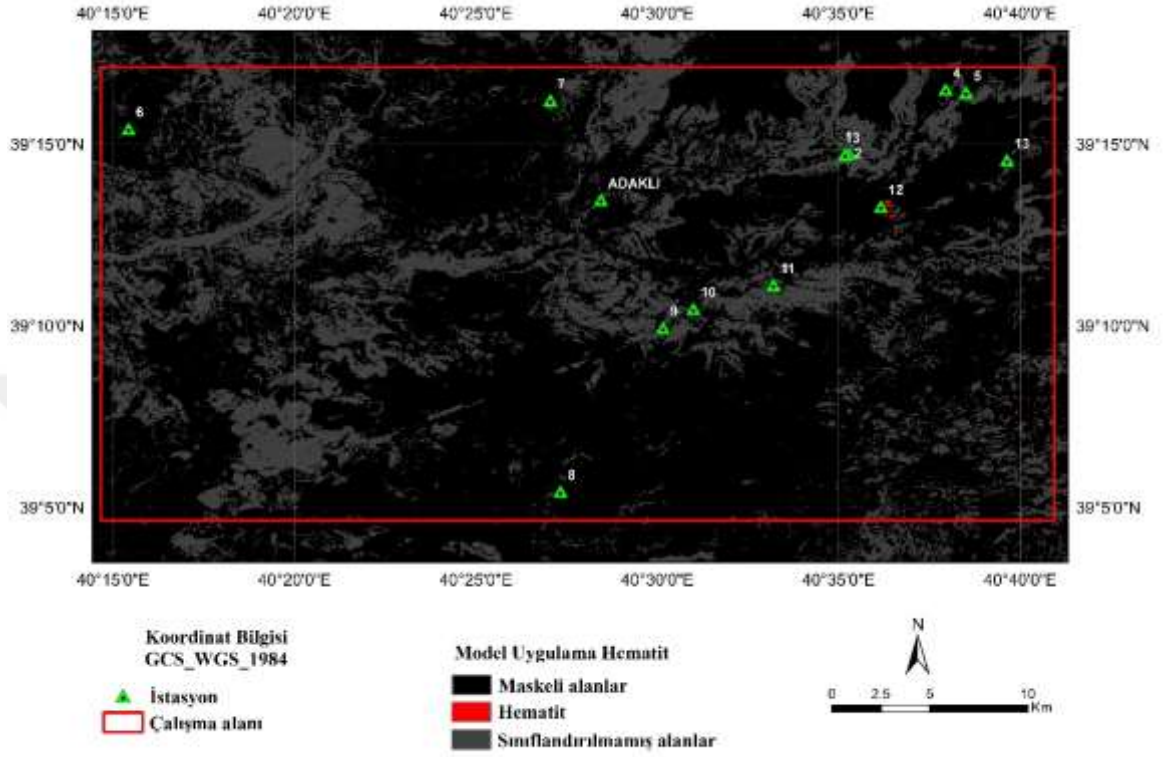
Şekil A.1. Model uygulama demir oksit (kırmızı) haritası

EK B

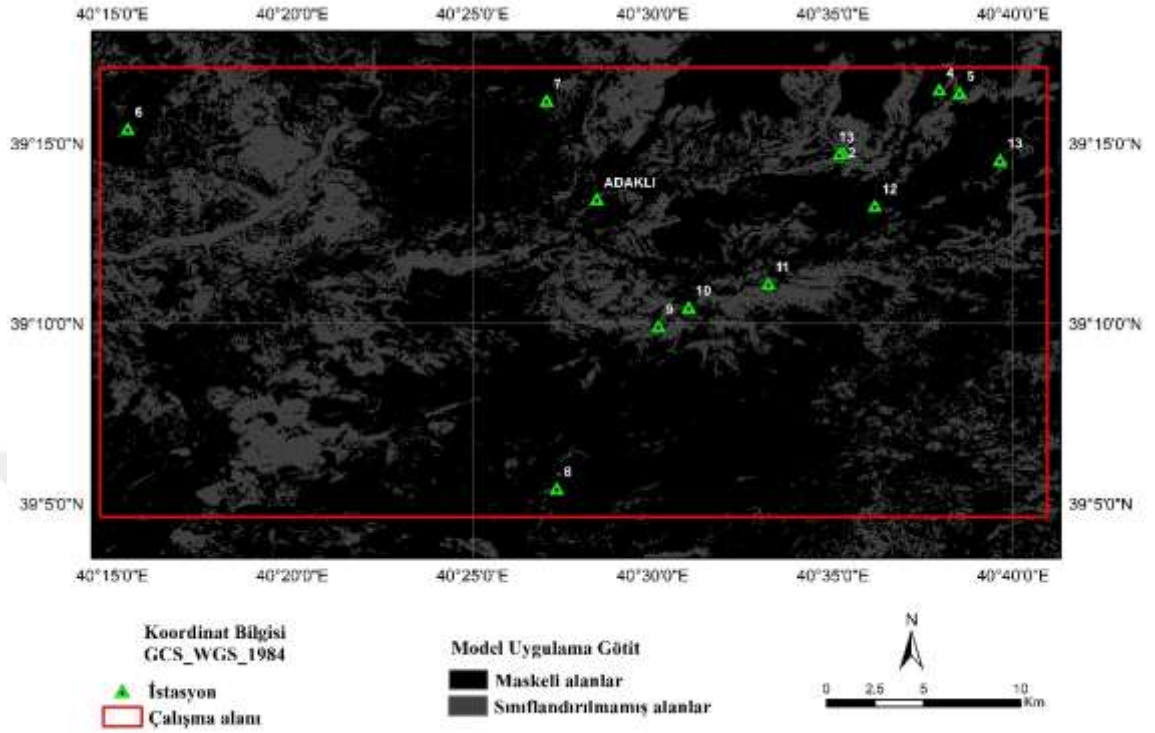


Şekil B.1. Model uygulama kil (mavi) haritası

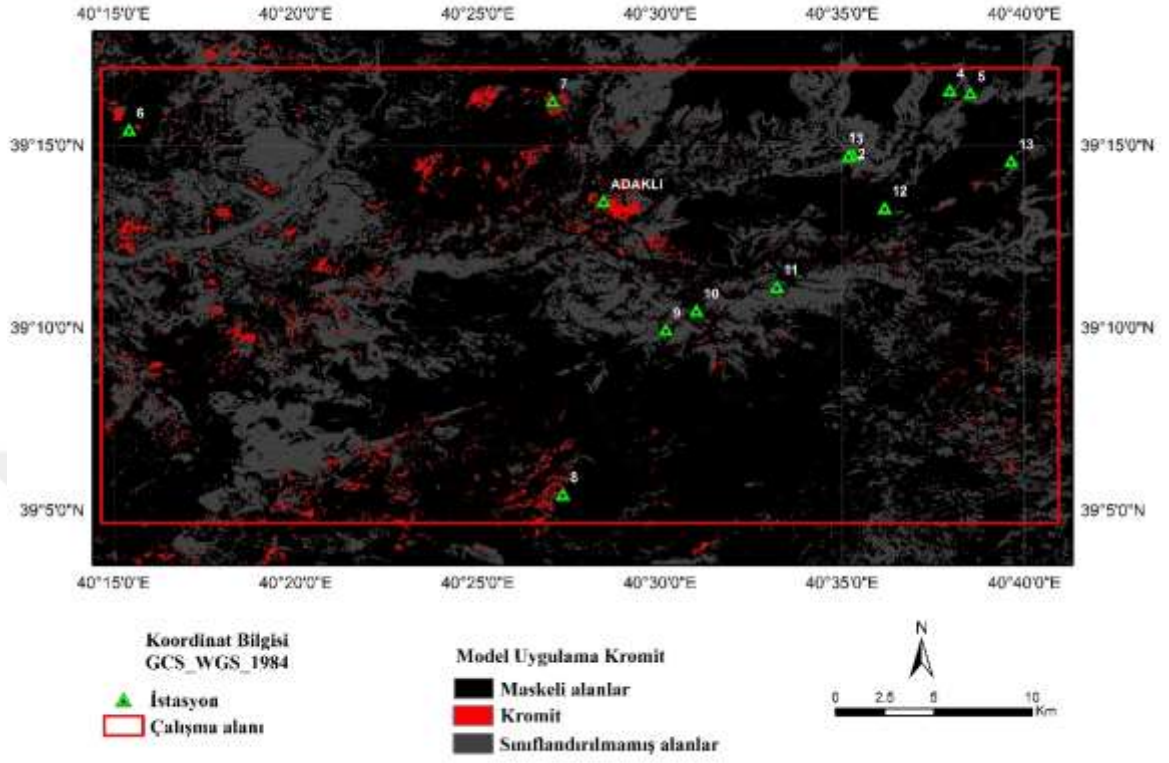
EK C



Şekil C.1. Model uygulama hematit (kırmızı) haritası

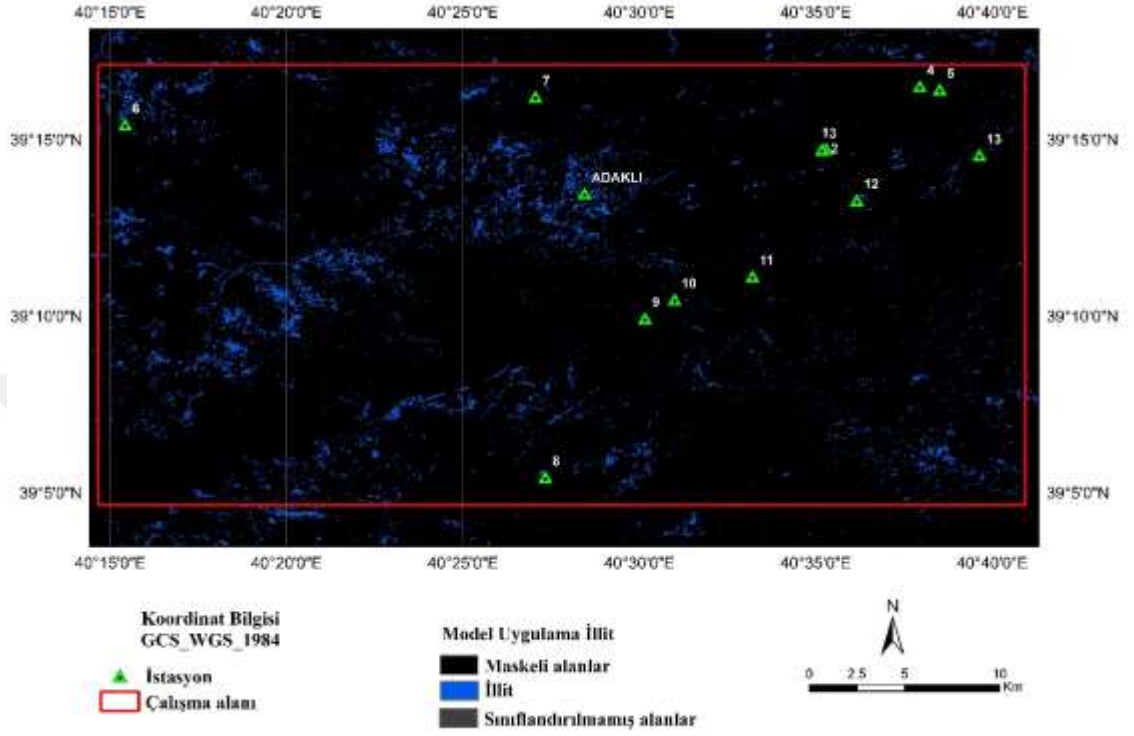


Şekil C.2. Model uygulama götüt haritası

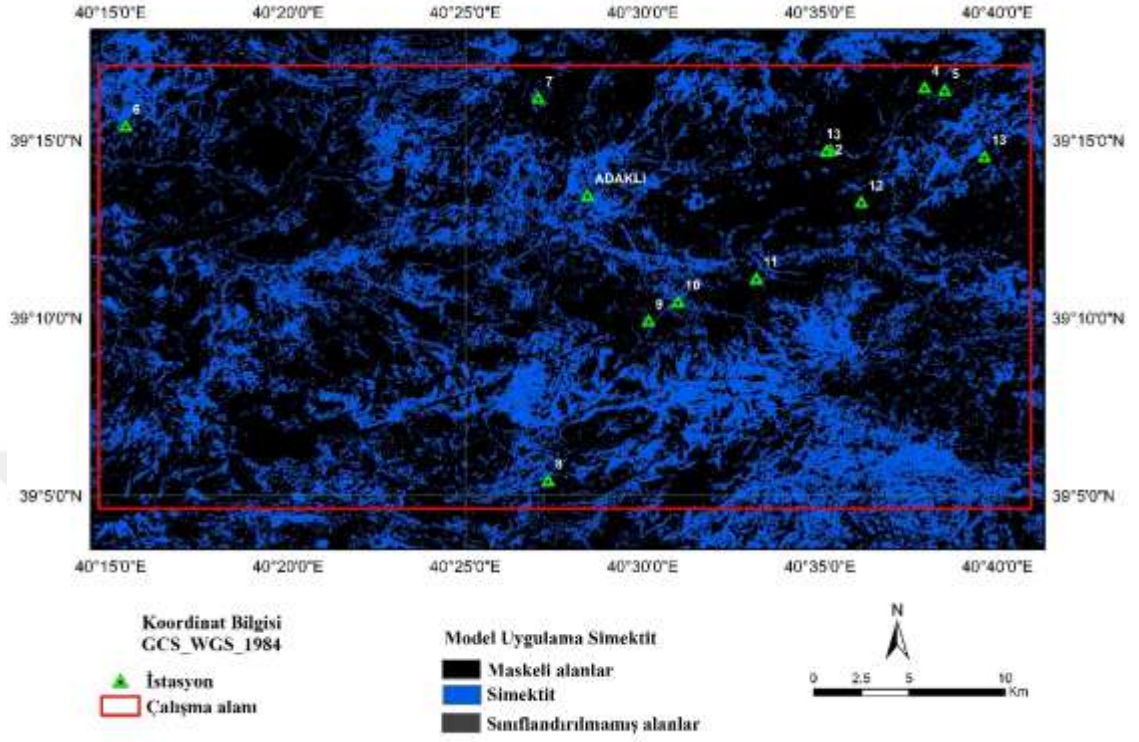


Şekil C.3. Model uygulama kromit (kırmızı) haritası

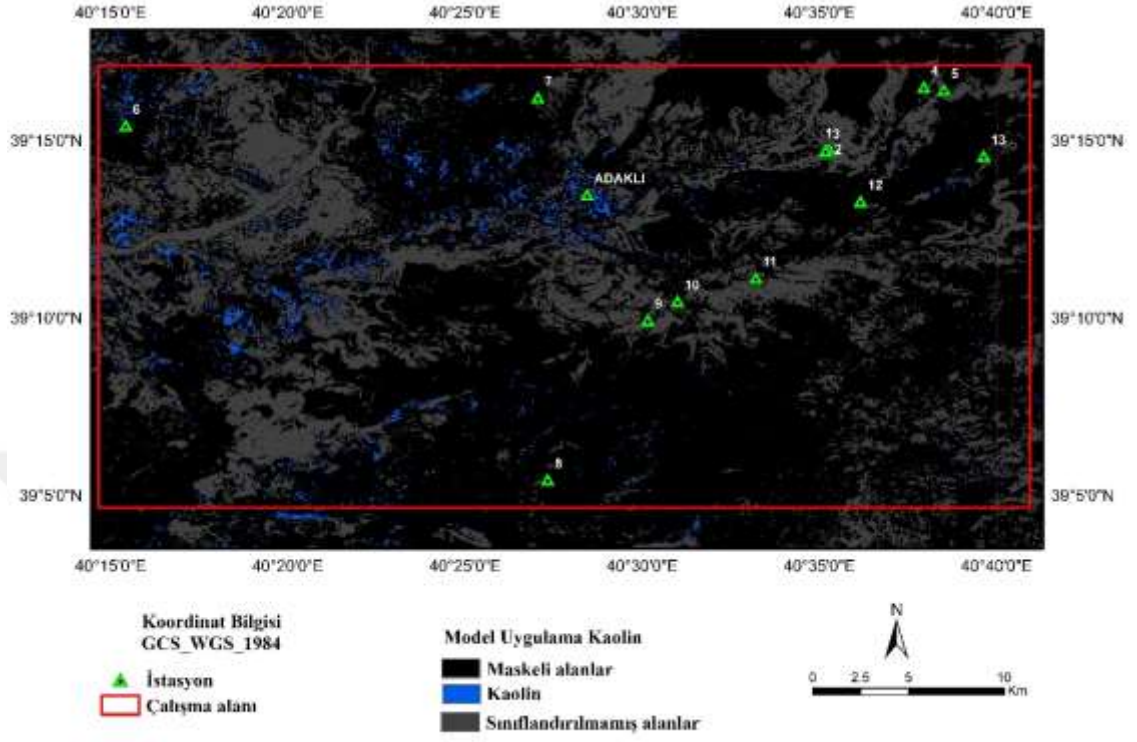
EK D



Şekil D.1. Model uygulama illit (mavi) haritası



Şekil D.2. Model uygulama simektit (mavi) haritası



Şekil D.3. Model uygulama kaolin (mavi) haritası

EK E

Spectral Yansıma Analizleri								
Örnek	Ölçüm	(2.2µm-2.4µm)	Demir Grubu (0.45µm-0.85µm)				Kil Mineralleri (1.4µm-2.2µm)	
		Feldspat (Microline)	Hematit (Hematite)	İlmenit (Ilmenite)	Götit (Goethite)	İllit (Illite)	Smektit (Montmorillonite)	Kaolinit (Kaolinite)
		Score	Score	Score	Score	Score	Score	Score
1	1	0.965	0.509	0.234	0.258	0.586	0.647	0.510
1	2	0.977	0.022	0.000	0.000	0.904	0.902	0.883
1	3	0.975	0.860	0.677	0.934	0.857	0.860	0.846
1	4	0.973	0.814	0.630	0.908	0.907	0.905	0.895
1	5	0.973	0.904	0.706	0.927	0.927	0.920	0.913
1	6	0.976	0.328	0.233	0.000	0.852	0.848	0.816
1	7	0.882	0.428	0.082	0.000	0.482	0.612	0.295
1	8	0.892	0.788	0.620	0.644	0.830	0.883	0.741
Ortalama		0.9516	0.5816	0.3978	0.4589	0.7931	0.8221	0.7374
Örnek	Ölçüm	(2.2µm-2.4µm)	Demir Grubu (0.45µm-0.85µm)				Kil Mineralleri (1.4µm-2.2µm)	
		Feldspat (Microline)	Hematit (Hematite)	İlmenit (Ilmenite)	Götit (Goethite)	İllit (Illite)	Smektit (Montmorillonite)	Kaolinit (Kaolinite)
		Score	Score	Score	Score	Score	Score	Score
2	1	0.875	0.773	0.621	0.610	0.582	0.691	0.437
2	2	0.805	0.303	0.023	0.000	0.170	0.330	0.000
2	3	0.702	0.706	0.564	0.347	0.287	0.346	0.253
2	4	0.776	0.795	0.642	0.408	0.518	0.542	0.498
2	5	0.881	0.887	0.553	0.887	0.834	0.858	0.745
Ortalama		0.8078	0.6928	0.4806	0.4504	0.4782	0.5534	0.3866
Örnek	Ölçüm	(2.2µm-2.4µm)	Demir Grubu (0.45µm-0.85µm)				Kil Mineralleri (1.4µm-2.2µm)	
		Feldspat (Microline)	Hematit (Hematite)	İlmenit (Ilmenite)	Götit (Goethite)	İllit (Illite)	Smektit (Montmorillonite)	Kaolinit (Kaolinite)
		Score	Score	Score	Score	Score	Score	Score
3	1	0.911	0.900	0.807	0.765	0.717	0.718	0.634
3	2	0.950	0.514	0.230	0.074	0.533	0.577	0.356
3	3	0.956	0.958	0.822	0.904	0.795	0.777	0.712
3	4	0.940	0.834	0.433	0.621	0.879	0.884	0.660
3	5	0.915	0.287	0.000	0.000	0.000	0.094	0.000
3	6	0.756	0.877	0.797	0.563	0.382	0.417	0.364
3	7	0.834	0.742	0.783	0.231	0.536	0.566	0.513
Ortalama		0.8946	0.7303	0.5531	0.4511	0.5489	0.5761	0.4627

Örnek	Ölçüm	(2.2µm-2.4µm)	Demir Grubu (0.45µm-0.85µm)				Kil Mineralleri (1.4µm-2.2µm)		
		Feldspat (Microline)	Hematit (Hematite)	İlmenit(İlmenite)	Götit(Goethite)	İllit(İllite)	Smektit(Montmorillonite)	Kaolinit(Kaolinite)	
		Score	Score	Score	Score	Score	Score	Score	
4	1	0.709	0.872	0.872	0.573	0.341	0.371	0.327	
4	2	0.729	0.866	0.819	0.558	0.339	0.375	0.324	
4	3	0.745	0.866	0.811	0.575	0.351	0.390	0.332	
Ortalama		0.7277	0.8680	0.8340	0.5687	0.3437	0.3787	0.3277	
Örnek	Ölçüm	(2.2µm-2.4µm)	Demir Grubu (0.45µm-0.85µm)				Kil Mineralleri (1.4µm-2.2µm)		
		Feldspat (Microline)	Hematit (Hematite)	İlmenit(İlmenite)	Götit(Goethite)	İllit(İllite)	Smektit(Montmorillonite)	Kaolinit(Kaolinite)	
		Score	Score	Score	Score	Score	Score	Score	
5	1	0.746	0.888	0.807	0.660	0.315	0.351	0.296	
5	2	0.712	0.865	0.814	0.555	0.338	0.366	0.328	
5	3	0.722	0.862	0.812	0.540	0.328	0.364	0.312	
5	4	0.758	0.877	0.812	0.681	0.335	0.365	0.310	
5	5	0.712	0.870	0.813	0.578	0.313	0.353	0.293	
Ortalama		0.7300	0.8724	0.8116	0.6028	0.3258	0.3598	0.3078	
Örnek	Ölçüm	(2.2µm-2.4µm)	Demir Grubu (0.45µm-0.85µm)				Kil Mineralleri (1.4µm-2.2µm)		
		Feldspat (Microline)	Hematit (Hematite)	İlmenit(İlmenite)	Götit(Goethite)	İllit(İllite)	Smektit(Montmorillonite)	Kaolinit(Kaolinite)	
		Score	Score	Score	Score	Score	Score	Score	
6	1	0.934	0.775	0.801	0.726	0.570	0.670	0.459	
6	2	0.937	0.787	0.568	0.903	0.796	0.835	0.657	
6	3	0.720	0.860	0.826	0.534	0.324	0.356	0.308	
6	4	0.730	0.888	0.802	0.654	0.308	0.349	0.288	
6	5	0.712	0.856	0.800	0.523	0.338	0.368	0.326	
Ortalama		0.8066	0.8332	0.7594	0.6680	0.4672	0.5156	0.4076	
Örnek	Ölçüm	(2.2µm-2.4µm)	Demir Grubu (0.45µm-0.85µm)				Kil Mineralleri (1.4µm-2.2µm)		
		Feldspat (Microline)	Hematit (Hematite)	İlmenit(İlmenite)	Götit(Goethite)	İllit(İllite)	Smektit(Montmorillonite)	Kaolinit(Kaolinite)	
		Score	Score	Score	Score	Score	Score	Score	
7	1	0.761	0.872	0.785	0.611	0.412	0.440	0.395	
7	2	0.833	0.907	0.845	0.811	0.568	0.582	0.550	
7	3	0.959	0.866	0.715	0.939	0.828	0.846	0.715	
7	4	0.701	0.801	0.790	0.442	0.216	0.269	0.187	
7	5	0.841	0.294	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	
Ortalama		0.819	0.7480	0.6310	0.5606	0.4048	0.4274	0.3694	

Örnek	Ölçüm	(2.2µm-2.4µm)	Demir Grubu (0.45µm-0.85µm)				Kil Mineralleri (1.4µm-2.2µm)		
		Feldspat (Microline)	Hematit (Hematite)	İlmenit (İlmenite)	Götit (Goethite)	İllit (Illite)	Smektit (Montmorillonite)	Kaolinit (Kaolinite)	
		Score	Score	Score	Score	Score	Score	Score	
8	1	0.961	0.548	0.273	0.302	0.728	0.767	0.618	
8	2	0.957	0.608	0.337	0.268	0.816	0.838	0.748	
8	3	0.900	0.674	0.661	0.772	0.776	0.802	0.719	
8	4	0.880	0.660	0.666	0.670	0.768	0.788	0.715	
8	5	0.791	0.914	0.773	0.773	0.428	0.451	0.407	
8	6	0.866	0.820	0.747	0.627	0.521	0.574	0.488	
Ortalama		0.8925	0.7040	0.5762	0.5687	0.6728	0.7033	0.6158	
Örnek	Ölçüm	(2.2µm-2.4µm)	Demir Grubu (0.45µm-0.85µm)				Kil Mineralleri (1.4µm-2.2µm)		
		Feldspat (Microline)	Hematit (Hematite)	İlmenit (İlmenite)	Götit (Goethite)	İllit (Illite)	Smektit (Montmorillonite)	Kaolinit (Kaolinite)	
		Score	Score	Score	Score	Score	Score	Score	
9	1	0.829	0.274	0.000	0.000	0.000	0.047	0.000	
9	2	0.742	0.888	0.853	0.571	0.342	0.391	0.314	
9	3	0.730	0.874	0.835	0.558	0.332	0.374	0.310	
9	4	0.719	0.874	0.822	0.583	0.310	0.350	0.290	
9	5	0.733	0.864	0.542	0.549	0.330	0.367	0.316	
Ortalama		0.7506	0.7548	0.6104	0.4522	0.2628	0.3058	0.2460	
Örnek	Ölçüm	(2.2µm-2.4µm)	Demir Grubu (0.45µm-0.85µm)				Kil Mineralleri (1.4µm-2.2µm)		
		Feldspat (Microline)	Hematit (Hematite)	İlmenit (İlmenite)	Götit (Goethite)	İllit (Illite)	Smektit (Montmorillonite)	Kaolinit (Kaolinite)	
		Score	Score	Score	Score	Score	Score	Score	
10	1	0.951	0.862	0.594	0.886	0.852	0.866	0.822	
10	2	0.922	0.736	0.462	0.487	0.730	0.763	0.674	
10	3	0.896	0.819	0.738	0.781	0.770	0.836	0.687	
10	4	0.794	0.892	0.813	0.788	0.353	0.379	0.315	
10	5	0.964	0.892	0.782	0.941	0.855	0.863	0.820	
10	6	0.924	0.503	0.168	0.172	0.415	0.513	0.259	
Ortalama		0.9085	0.7840	0.5928	0.6758	0.6625	0.7033	0.5962	
Örnek	Ölçüm	(2.2µm-2.4µm)	Demir Grubu (0.45µm-0.85µm)				Kil Mineralleri (1.4µm-2.2µm)		
		Feldspat (Microline)	Hematit (Hematite)	İlmenit (İlmenite)	Götit (Goethite)	İllit (Illite)	Smektit (Montmorillonite)	Kaolinit (Kaolinite)	
		Score	Score	Score	Score	Score	Score	Score	
11	1	0.788	0.924	0.803	0.770	0.466	0.491	0.450	
11	2	0.789	0.905	0.778	0.766	0.475	0.500	0.460	
11	3	0.770	0.896	0.813	0.714	0.429	0.457	0.414	
11	4	0.848	0.921	0.855	0.870	0.562	0.578	0.540	
11	5	0.945	0.671	0.397	0.453	0.866	0.890	0.746	
Ortalama		0.8280	0.8634	0.7292	0.7146	0.5596	0.5832	0.5220	

Örnek	Ölçüm	(2.2µm-2.4µm)	Demir Grubu (0.45µm-0.85µm)				Kil Mineralleri (1.4µm-2.2µm)		
		Feldspat (Microline)	Hematit (Hematite)	İlmenit (Ilmenite)	Götüt (Goethite)	İllit (Illite)	Smektit (Montmorillonite)	Kaolinit (Kaolinite)	
		Score	Score	Score	Score	Score	Score	Score	
12	1	0.711	0.777	0.763	0.685	0.190	0.261	0.121	
12	2	0.961	0.502	0.133	0.184	0.734	0.765	0.625	
12	3	0.766	0.811	0.653	0.507	0.352	0.386	0.337	
12	4	0.950	0.829	0.626	0.834	0.871	0.887	0.836	
12	5	0.810	0.309	0.043	0.000	0.000	0.000	0.000	
Ortalama		0.8396	0.6456	0.4436	0.4420	0.4294	0.4598	0.3838	
Örnek	Ölçüm	(2.2µm-2.4µm)	Demir Grubu (0.45µm-0.85µm)				Kil Mineralleri (1.4µm-2.2µm)		
		Feldspat (Microline)	Hematit (Hematite)	İlmenit (Ilmenite)	Götüt (Goethite)	İllit (Illite)	Smektit (Montmorillonite)	Kaolinit (Kaolinite)	
		Score	Score	Score	Score	Score	Score	Score	
13	1	0.906	0.919	0.834	0.841	0.694	0.716	0.650	
13	2	0.918	0.373	0.138	0.114	0.000	0.104	0.000	
13	3	0.774	0.820	0.637	0.972	0.401	0.439	0.381	
13	4	0.738	0.856	0.809	0.513	0.359	0.388	0.346	
Ortalama		0.8340	0.7420	0.6045	0.6100	0.3635	0.4118	0.3443	

Şekil E.1. Spektral analiz sonuçları

EK F



Şekil F.1. 1 Nolu istasyon numune örneği



Şekil F.2. 2 Nolu istasyon numune örneği



Şekil F.3. 3 Nolu istasyon numune örneği



Şekil F.4. 4 Nolu istasyon numune örneği



Şekil F.5. 5 Nolu istasyon numune örneği



Şekil F.6. 6 Nolu istasyon numune örneği



Şekil F.7. 7 Nolu istasyon numune örneği



Şekil F.8. 8 Nolu istasyon numune örneği



Şekil F.9. 9 Nolu istasyon numune örneği



Şekil F.10. 10 Nolu istasyon numune örneği



Şekil F.11. 11 Nolu istasyon numune örneği

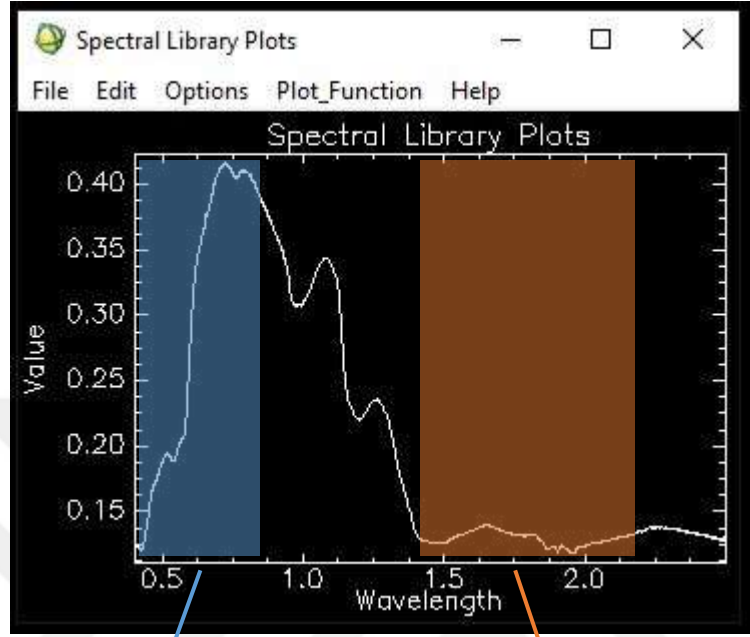


Şekil F.12. 12 Nolu istasyon numune örneği

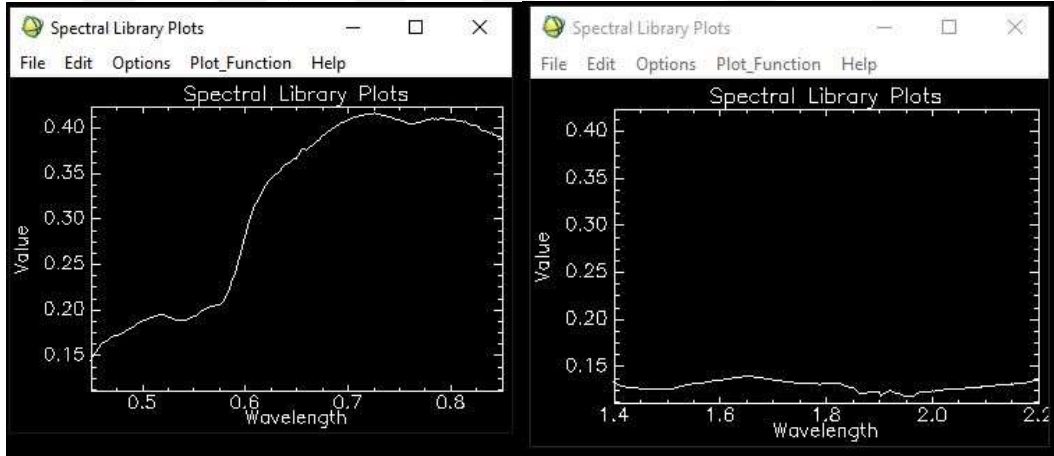


Şekil F.13. 13 Nolu istasyon numune örneği

EK G



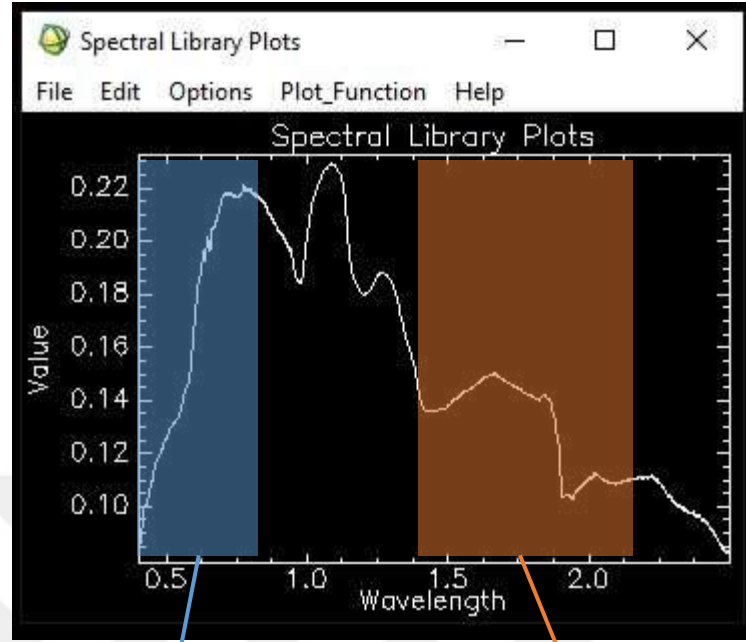
(a)



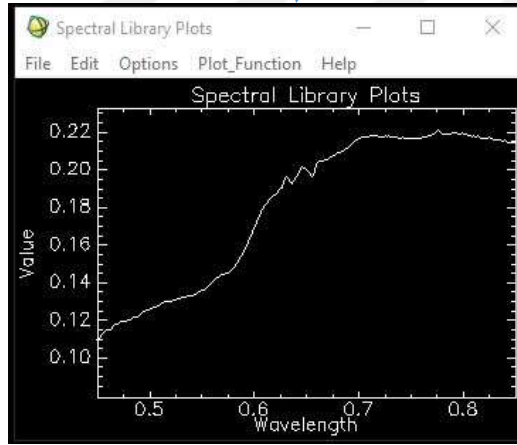
(a)

(c)

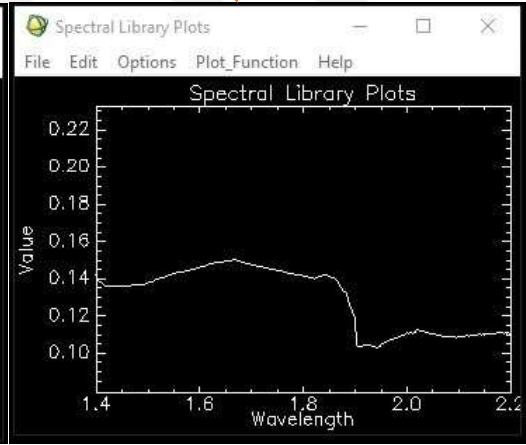
Şekil G.1. (a) 1 Nolu istasyon karakteristik spektral ölçüm grafiği (0.4-2.4 μm), (b) Demir oksit yansımaya aralığı (0.45-0.85 μm), (c) Kil mineralleri yansımaya aralığı (1.4-2.2 μm)



(a)

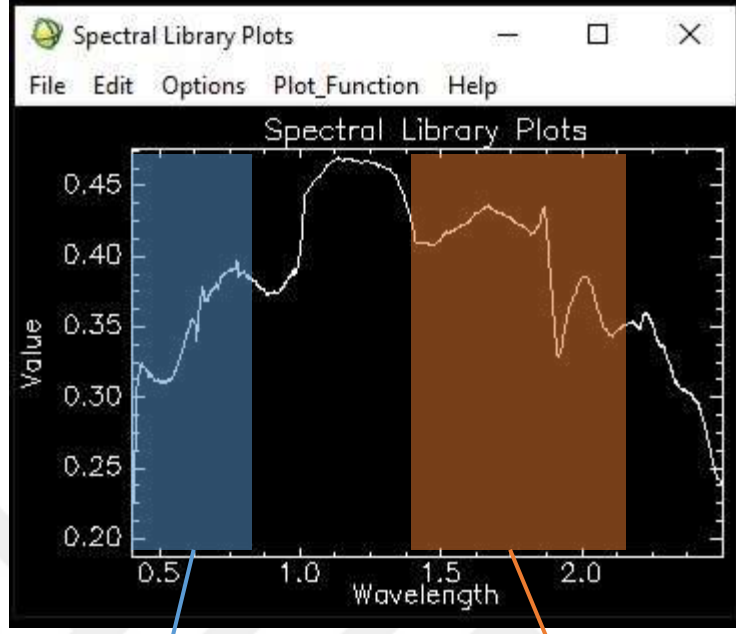


(b)

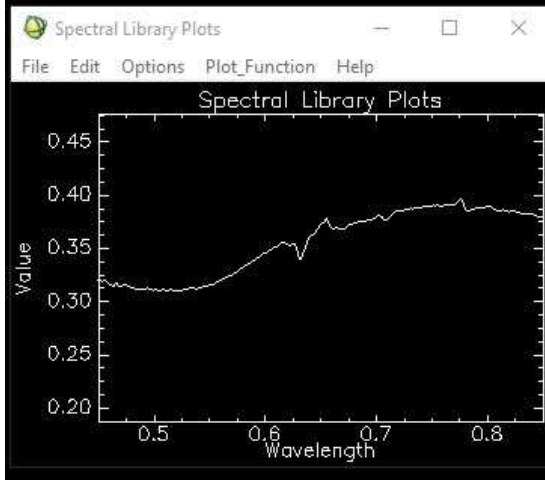


(c)

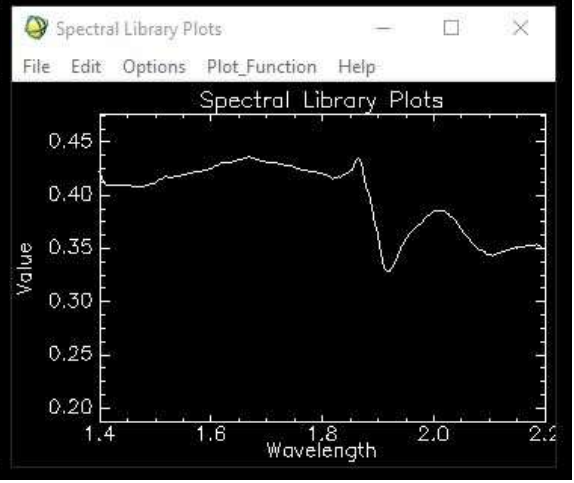
Şekil G.2. (a) 2 Nolu istasyon karakteristik spektral ölçüm grafiği (0.4-2.4 μm), (b) Demir oksit yansıma aralığı (0.45-0.85 μm), (c) Kil mineralleri yansıma aralığı (1.4-2.2 μm)



(a)

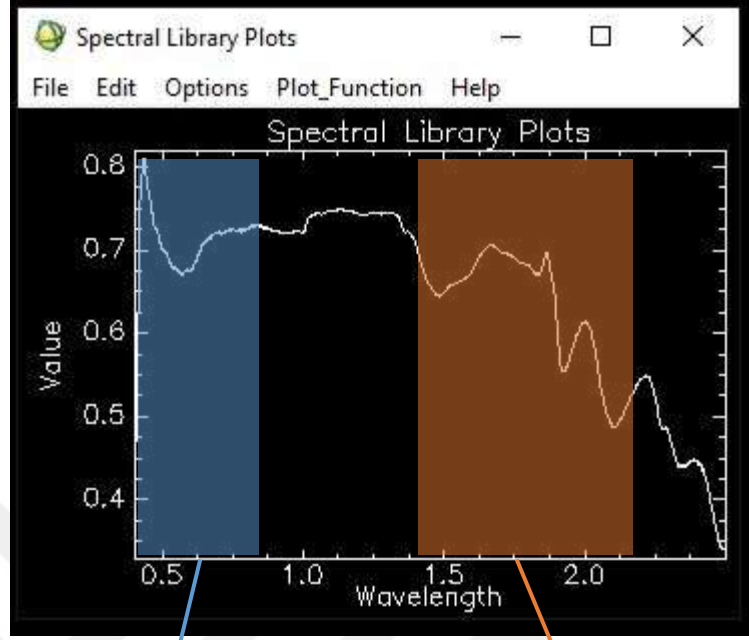


(b)

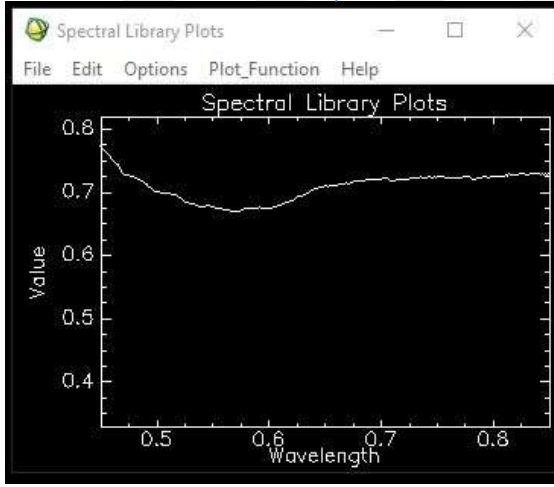


(c)

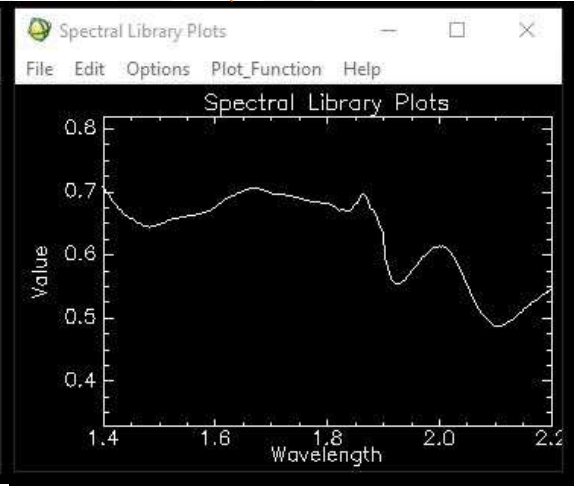
Şekil G.3. (a) 3 Nolu istasyon karakteristik spektral ölçüm grafiği (0.4-2.4 μm), (b) Demir oksit yansıma aralığı (0.45-0.85 μm), (c) Kil mineralleri yansıma aralığı (1.4-2.2 μm)



(a)

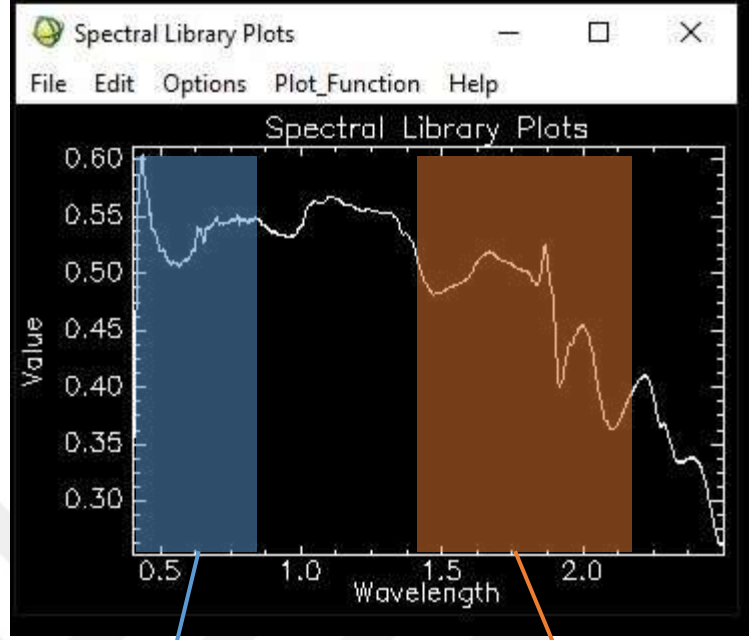


(b)

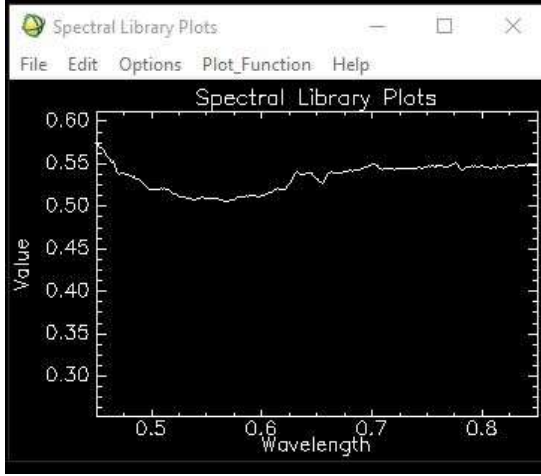


(c)

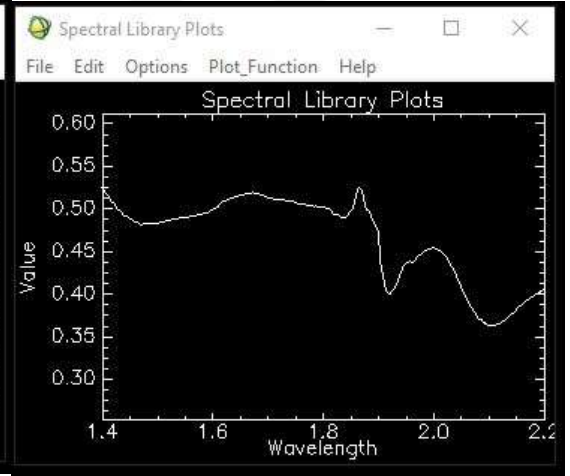
Şekil G.4. (a) 4 Nolu istasyon karakteristik spektral ölçüm grafiği (0.4-2.4 μm), (b) Demir oksit yansıma aralığı (0.45-0.85 μm), (c) Kil mineralleri yansıma aralığı (1.4-2.2 μm)



(a)

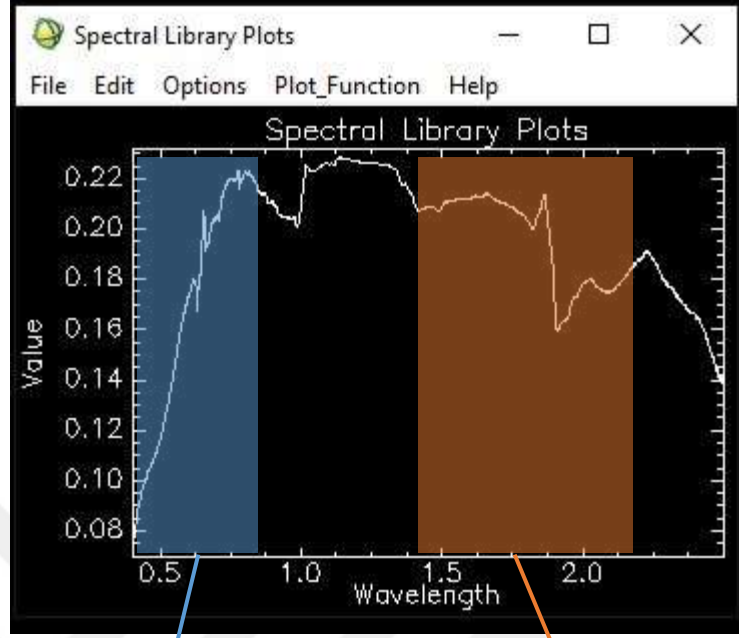


(b)

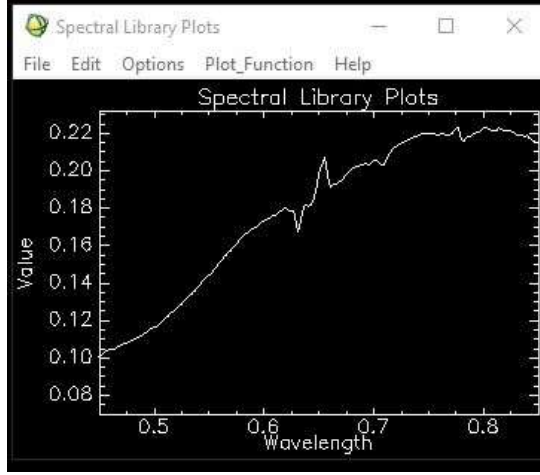


(c)

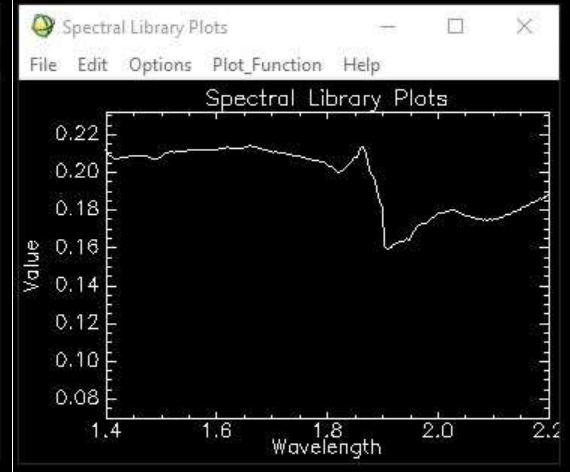
Şekil G.5. (a) 5 Nolu istasyon karakteristik spektral ölçüm grafiği (0.4-2.4 μm), (b) Demir oksit yansıma aralığı (0.45-0.85 μm), (c) Kil mineralleri yansıma aralığı (1.4-2.2 μm)



(a)

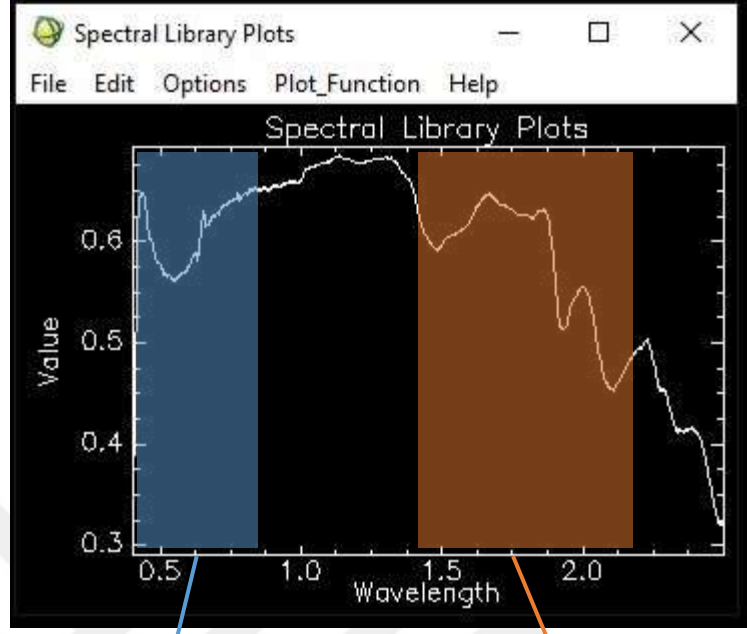


(b)

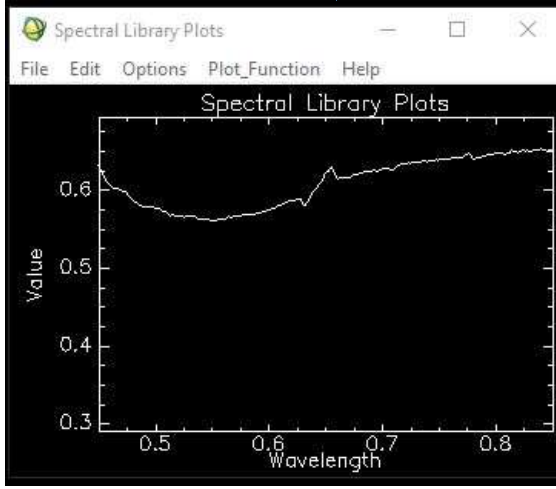


(c)

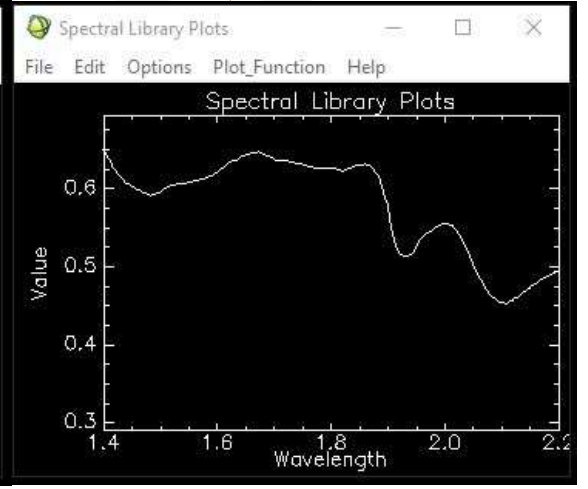
Şekil G.6. (a) 6 Nolu istasyon karakteristik spektral ölçüm grafiği (0.4-2.4 μm), (b) Demir oksit yansımaları aralığı (0.45-0.85 μm), (c) Kil mineralleri yansımaları aralığı (1.4-2.2 μm)



(a)

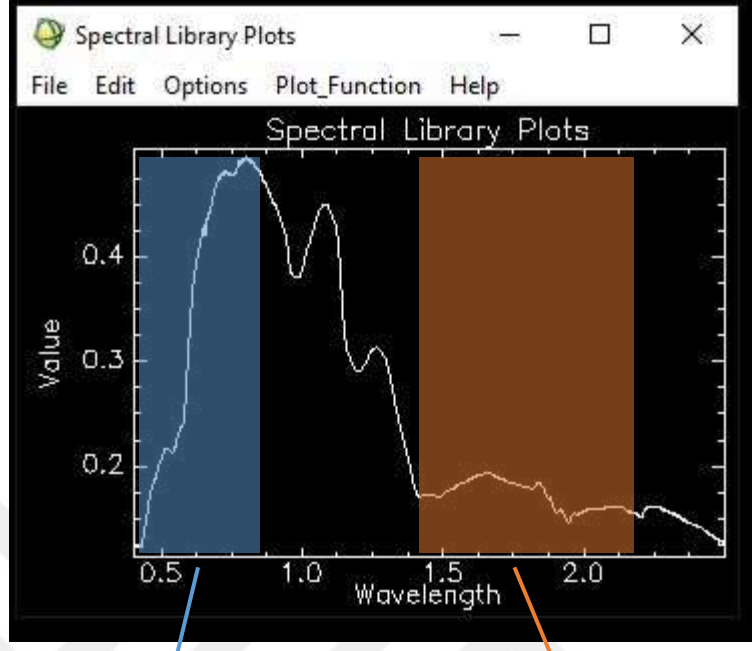


(b)

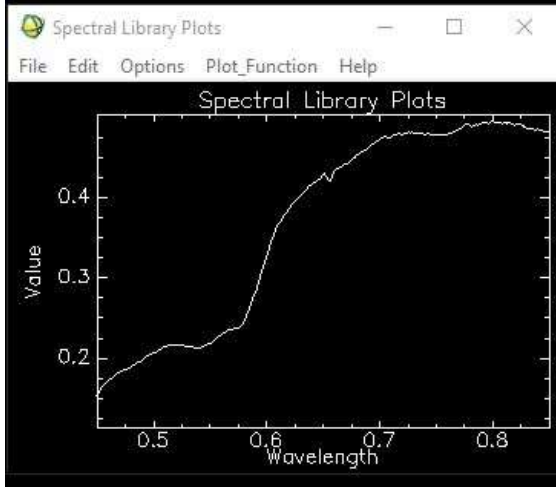


(c)

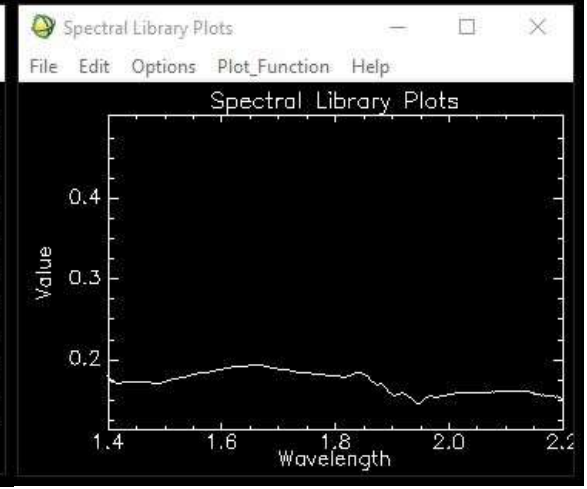
Şekil G.7. (a) 7 Nolu istasyon karakteristik spektral ölçüm grafiği (0.4-2.4 μm), (b) Demir oksit yansımaya aralığı (0.45-0.85 μm), (c) Kil mineralleri yansımaya aralığı (1.4-2.2 μm)



(a)

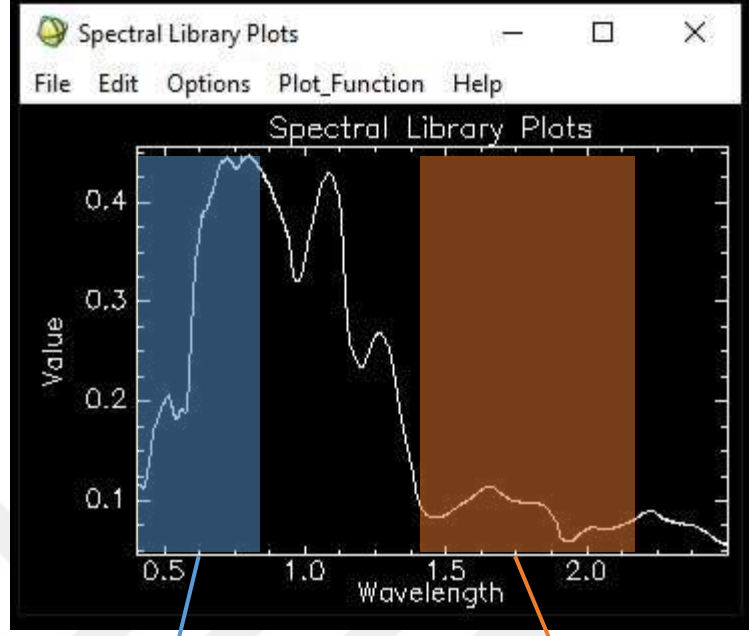


(b)

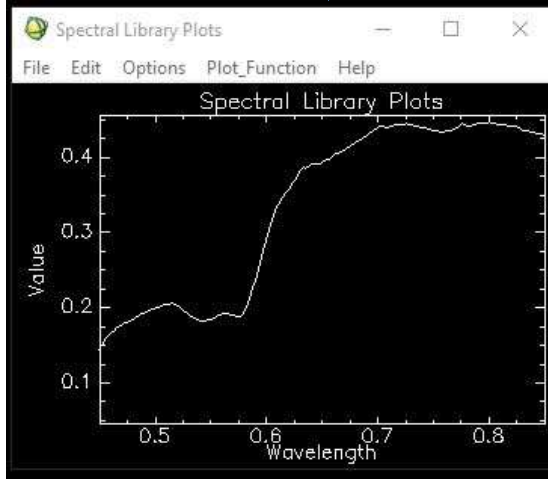


(c)

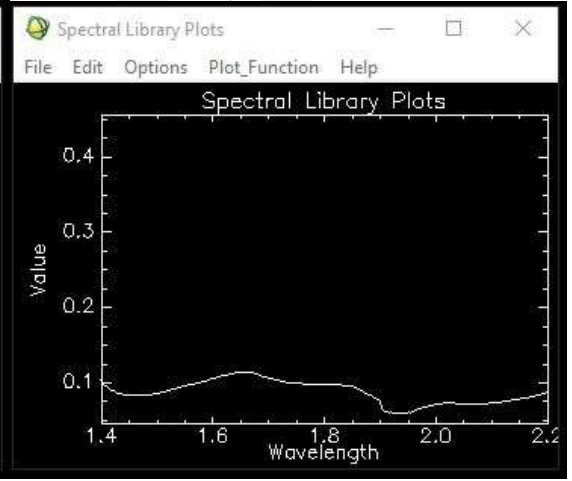
Şekil G.8. (a) 8 Nolu istasyon karakteristik spektral ölçüm grafiği (0.4-2.4 μm), (b) Demir oksit yansımaya aralığı (0.45-0.85 μm), (c) Kil mineralleri yansımaya aralığı (1.4-2.2 μm)



(a)

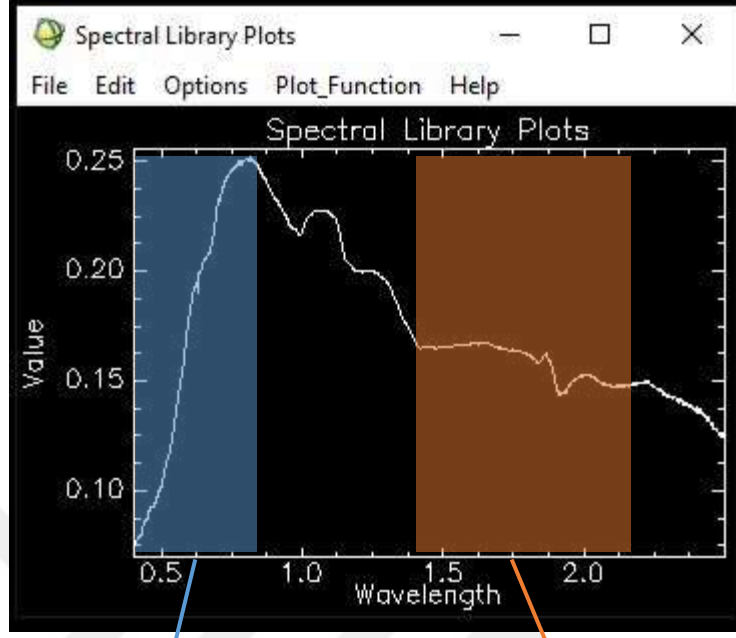


(b)

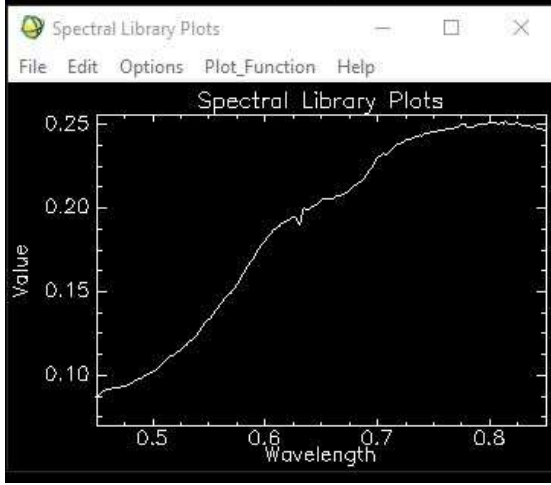


(c)

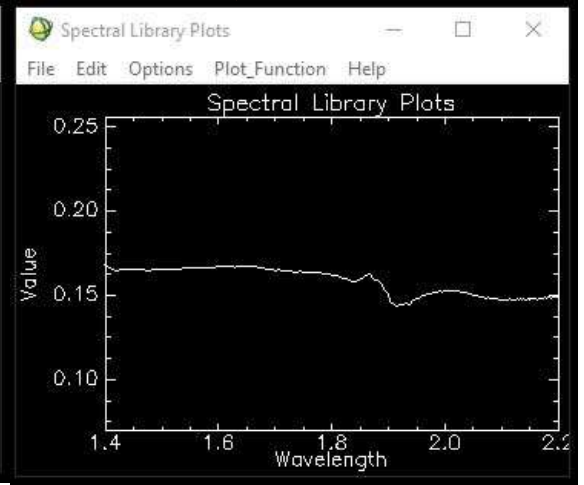
Şekil G.9. (a) 9 Nolu istasyon karakteristik spektral ölçüm grafiği (0.4-2.4 μm), (b) Demir oksit yansıma aralığı (0.45-0.85 μm), (c) Kil mineralleri yansıma aralığı (1.4-2.2 μm)



(a)

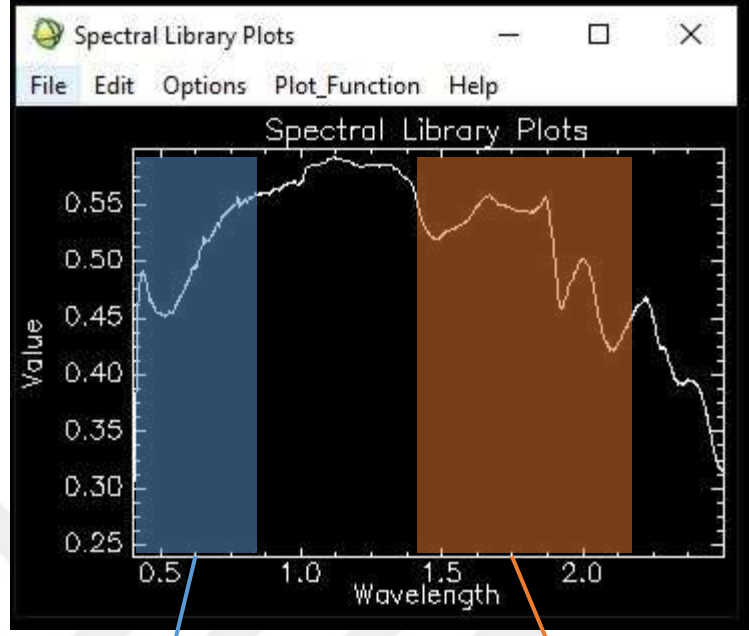


(b)

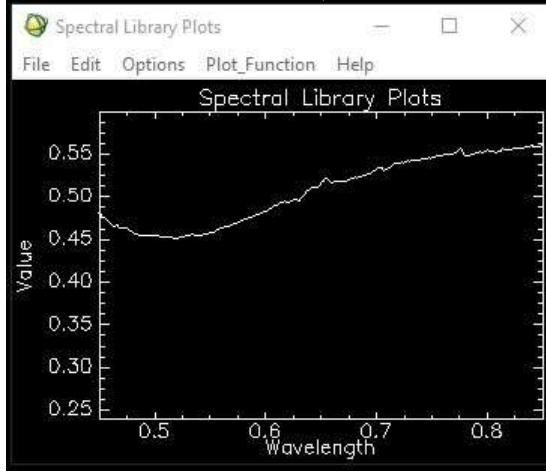


(c)

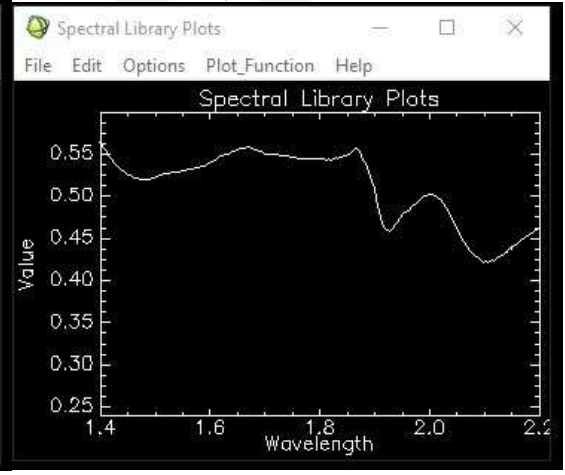
Şekil G.10. (a) 10 Nolu istasyon karakteristik spektral ölçüm grafiği (0.4-2.4 μm), (b) Demir oksit yansımaya aralığı (0.45-0.85 μm), (c) Kil mineralleri yansımaya aralığı (1.4-2.2 μm)



(a)

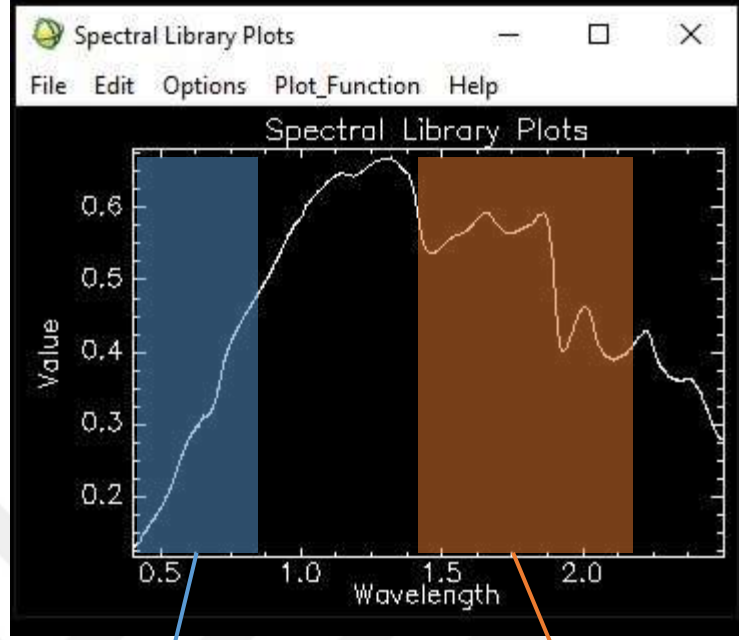


(b)

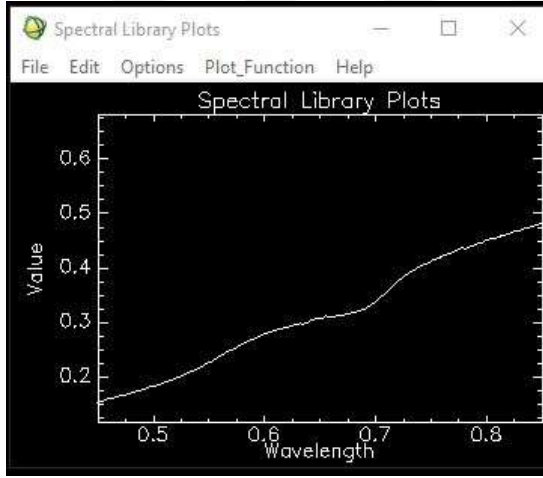


(c)

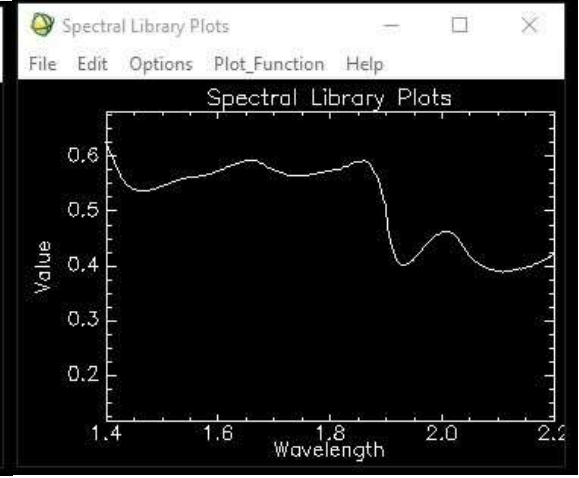
Şekil G.11. (a) 11 Nolu istasyon karakteristik spektral ölçüm grafiği (0.4-2.4 μm), (b) Demir oksit yansıma aralığı (0.45-0.85 μm), (c) Kil mineralleri yansıma aralığı (1.4-2.2 μm)



(a)

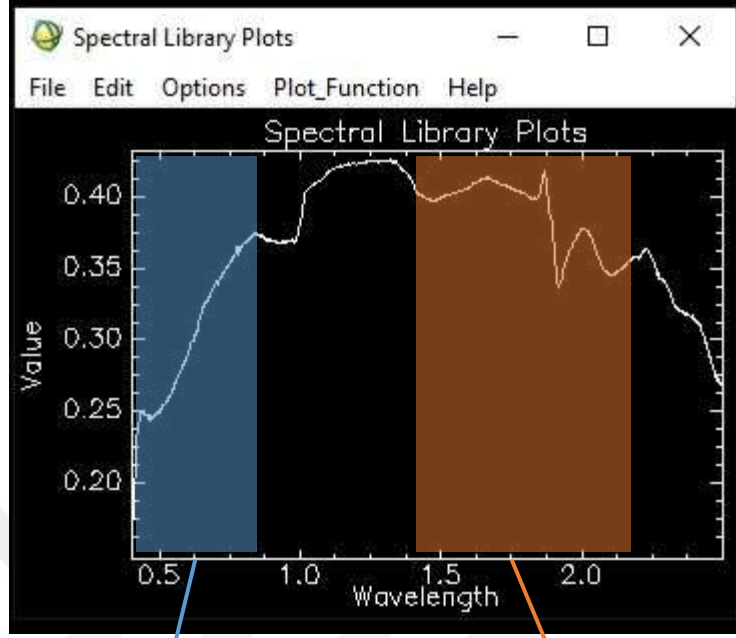


(b)

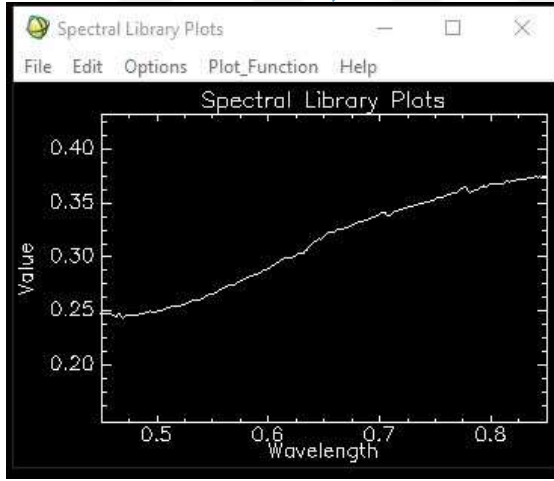


(c)

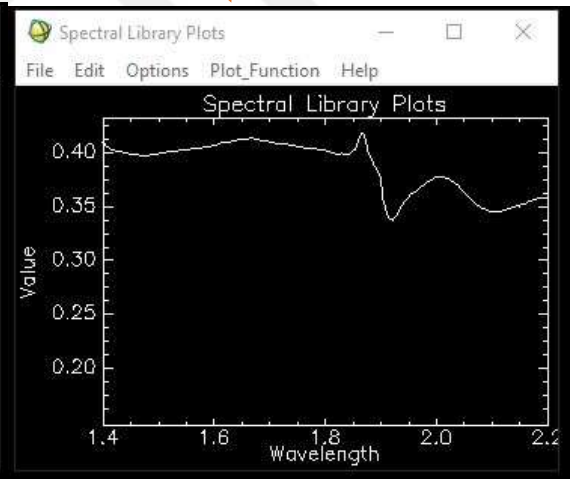
Şekil G.12. (a) 12 Nolu istasyon karakteristik spektral ölçüm grafiği (0.4-2.4 μm), (b) Demir oksit yansımaya aralığı (0.45-0.85 μm), (c) Kil mineralleri yansımaya aralığı (1.4-2.2 μm)



(a)



(b)



(c)

Şekil G.13. (a) 13 Nolu istasyon karakteristik spektral ölçüm grafiği (0.4-2.4 μm), (b) Demir oksit yansıma aralığı (0.45-0.85 μm), (c) Kil mineralleri yansıma aralığı (1.4-2.2 μm)

	Evet	Hayır
Tez, “Tez Yazım Kılavuzu”na uygun olarak yazıldı.	☐	☐
Dış kapak ve iç kapak sayfası eklerde belirtilen şekilde düzenlendi.	☐	☐
Ön sayfalar i, ii, iii şeklinde Romen rakamları ile numaralandırıldı.	☐	☐
Dizinler, “Tez Yazım Kılavuzu”na göre sıralandı ve metin içindeki yerleşime göre sayfa numaraları verildi.	☐	☐
Özet ve Abstract hazırlandı.	☐	☐
Onay sayfası “Tez Yazım Kılavuzu”na uygun olarak hazırlandı ve imzalatıldı.	☐	☐
Etik İlke ve Kurallara Uygunluk Beyannamesi sayfası imzalandı.	☐	☐
Simgeler, kısaltmalar, tablolar ve şekillerin tamamı kontrol edilerek ilgili dizinde gösterildi.	☐	☐
Ana metinde harf karakteri, harf büyüklüğü ve satır aralıkları “Tez Yazım Kılavuzu”na uygun olacak şekilde düzenlendi.	☐	☐
Görsel öğeler, tablolar (çizelgeler), şekiller ve denklemler metin içine “Tez Yazım Kılavuzu”na uygun şekilde yerleştirildi.	☐	☐
Kaynakça “Tez Yazım Kılavuzu”na göre düzenlendi.	☐	☐
Kaynakların tamamına tez içerisinde atıfta bulunularak kaynakça bölümünde yer verildi.	☐	☐
Etik Kurul onayları gerekli ise dönem projesine eklendi (Etik Kurul onayı gerekmiyorsa yandaki “HAYIR” kutucuğunun altına “YOK” yazılacak).	☐	☐
Anket, görüşme veya veri formları kullanıldı ise ilgili kurumlardan alınan izin yazıları ve formlar dönem projesine eklendi (Bu formlar kullanılmadıysa yandaki “HAYIR” kutucuğunun altına “YOK” yazılacak).	☐	☐
Ekler “Tez Yazım Kılavuzu”nda belirtildiği şekilde sunuldu. (Ek kullanılmadıysa yandaki “HAYIR” kutucuğunun altına “YOK” yazılacak).	☐	☐
Tezin tamamı tek bir dosyada WORD ve PDF formatında kaydedilerek bir CD/DVD içinde Enstitüye teslim edildi.	☐	☐
“Tez Yazım Kılavuzu” kontrol listesi imzalanarak tez ile birlikte enstitüye teslim edildi.	☐	☐

“Uzaktan Algılamada Spektral Açık Haritalayıcı (SAM) Yönteminin Python Kodu Geliştirilerek Alterasyon Alanlarının Tespitinde Kullanılması: Bingöl Adaklı Hidrokarbon Sızıntı Alanı” başlıklı Tez, yukarıdaki listede yer alan konularla ilgili olarak tarafımızca kontrol edilmiş ve gerekleri yerine getirilmiştir.

.....

(İmza)

.....

Fatih ÖZKAN

.../.../.....

.....

(İmza)

.....

Doç.Dr.Uğur AVDAN

.....

(İmza)

.....

Prof. Dr. Murat TANIŞLI

ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0000-0003-3158-5083

Adı Soyadı : Fatih ÖZKAN
Yabancı Dil : İngilizce
Doğum Yeri ve Yılı : Trabzon/1986
E-Posta : fozkan1927@gmail.com

Eğitim:

- İTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Müh.

Mesleki Geçmişi:

- 2011-2014 TCDD Altyapı Müh.
- 2014-..... TPAO Harita Mühendis