

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**MİNERAL HARİTALANMASI İÇİN
YENİ BİR GÖRÜNTÜ KAYNAŞTIRMA YAKLAŞIMI**

Muhammed Enes ÖZGÜN

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS**

OCAK 2022

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**MİNERAL HARİTALANMASI İÇİN
YENİ BİR GÖRÜNTÜ KAYNAŞTIRMA YAKLAŞIMI**

Muhammed Enes ÖZGÜN

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS**

OCAK 2022

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİNERAL HARİTALANMASI İÇİN YENİ BİR GÖRÜNTÜ KAYNAŞTIRMA
YAKLAŞIMI

Muhammed Enes ÖZGÜN

UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS

Bu tez 26/01/2022 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Bekir Taner SAN

Prof. Dr. Namık Kemal SÖNMEZ

Doç. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU

ÖZET

MİNERAL HARİTALANMASI İÇİN YENİ BİR GÖRÜNTÜ KAYNAŞTIRMA YAKLAŞIMI

Muhammed Enes ÖZGÜN

Yüksek Lisans Tezi, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim
Dalı

Danışman: Prof. Dr. Bekir Taner SAN

Ocak 2022; 77 sayfa

Jeolojik uzaktan algılamada kısa dalga kızıl ötesi dışında termal kızılötesi (TIR) dalga boyuna ait veriler de önemli bir yere sahiptir. TIR verileri ile kuvars ve evaporit minerallerinin ayırt edilmesi mümkündür. Termal kızılötesi görüntü için en önemli veri kaynağı ASTER uydu sensörüdür. Ancak yapısı gereği TIR verilerinin mekânsal çözünürlükleri düşüktür. Bu nedenle detaylı mineral haritalamasında kullanım olanakları sınırlıdır. Bu çalışmanın amacı, jeolojik araştırmalarda sıkça kullanılan ASTER termal uydu görüntülerini (TIR), görünür yakın kızılötesi (VNIR) veriler ile kaynaştırmak için yeni bir yaklaşım sunmaktır.

Ankara'nın Bala ilçesinde yer alan jips minerallerince zengin bölgede test edilmiştir. Gerçekleşen çalışma da bölgeye ait jips mineralleri önerilen yöntem (FVT) ile haritalanmıştır. Ayrıca bölge de ki bitki örtüsü, su ve diğer litolojik birimlerde önerilen yaklaşım ile incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar istatistiksel ve mekânsal performanslar açısından karşılaştırılmıştır. Değerlendirmede orijinal termal kızılötesi verinin ve önerilen yaklaşımın görsel, spektral imza, spektral açısı ve sülfat indekslerinin farklılıkları incelenmiştir. TIR ve FVT verilerinin optimum eşik değeri alınmış ve özellikle jipsli bölgelerde önerilen yaklaşım minimum düzeyde fark göstermiştir. Haritalanan jipsli birimler arazi çalışmaları ile kontrol edilmiş ve bölgeden alınan İHA görüntüleri ve uydu görüntüleri karşılaştırılmış, önerilen yaklaşımın daha yüksek doğruluğa sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca bölgeden alınan jips numunelerinin kimyasal analizi yapılmış ve çalışmada jips olarak sınıflandırılan alanların %99.3 oranında jips içerdiği belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Füzyon, FVT, TIR, ASTER, Jips

JÜRİ: Prof. Dr. Bekir Taner SAN

Prof. Dr. Namık Kemal SÖNMEZ

Doç. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU

ABSTRACT

A NEW IMAGE FUSING APPROACH FOR MINERAL MAPPING

Muhammed Enes ÖZGÜN

MSc Thesis in Remote Sensing and Geographical Information Systems

Department

Supervisor: Prof. Dr. Bekir Taner SAN

January 2022; 77 pages

Except for the short-wave infrared data, thermal infrared (TIR) wavelengths have an important in geological remote sensing. It is possible to distinguish quartz and evaporate minerals using TIR data. The most important data source for thermal infrared imaging is the ASTER satellite sensor. However, due to its nature, the spatial resolution of TIR data is low. Therefore, its use in detailed mineral mapping is limited. The aim of this study is to present a new approach to fuse ASTER thermal satellite images (TIR), which are frequently used in geological surveys, with visible near infrared (VNIR) data.

For this purpose, the proposed approach was tested in the region rich in gypsum minerals in Bala district of Ankara. In the study carried out, gypsum minerals of the region were mapped with the proposed method (FVT). In addition, vegetation, water and other lithological units in the region were examined with the proposed approach. The results obtained were compared in terms of statistical and spatial performances. In the evaluation, the differences in the visual, spectral signature, spectral angle and sulphate indices of the original thermal data and the proposed approach were examined. The optimum threshold value of TIR and FVT data was taken and the proposed approach showed minimal difference, especially in regions with gypsum. The field studies of the mapped gypsum units were checked with the satellite images and UAV images taken from the region were compared, it was seen that the proposed approach had higher accuracy. In addition, chemical analysis of gypsum samples taken from the region was made and it was determined that the areas classified as gypsum in the study contained 99.3% gypsum.

KEYWORDS: Fusion, FVT, TIR, ASTER, Gypsum

COMMITTEE: Prof. Dr. Bekir Taner SAN

Prof. Dr. Namık Kemal SÖNMEZ

Assoc. Prof. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU

ÖNSÖZ

Ülkemizin madencilik alanındaki teknik ve planlama bilgisi yeterli değildir. Bu yetersizlik hem ülke ekonomisine hem de korunması gereken doğal alanlara zarar vermektedir. Topraklarımız çok çeşit madeni bir arada barındırmaktadır. Bu amaçla her bir madenin daha kapsamlı ve daha detaylı mineral haritaları üretilmeli ve özellikle doğaya zarar gelmeyecek alanlarda madencilik çalışmalarının yürütülmesi gerekmektedir. Ancak bu gibi verimli sonuçlar ciddi emek ve planlama istemektedir. Bu sebeple bu çalışmanın gelecekteki maden araştırmalarına ışık tutması hedeflenmiştir.

Lisans ve Yüksek Lisans sürecimde bilgi ve tecrübesi ile bana inanan ve destekçi olan saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Bekir Taner SAN'a ve sevgileriyle beni yetiştiren aileme teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
AKADEMİK BEYAN	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Kapsam.....	1
1.2. Çalışma Alanı	2
1.3 Kullanılan Veri Setleri.....	3
2. KAYNAK TARAMASI	6
2.1. Mineral Haritalama.....	6
2.2. Görüntü Kaynaştırma Yöntemleri	7
2.4.1 Brovey Yöntemi.....	8
2.4.2 Temel Bileşenler Analizi	8
2.4.3 Yoğunluk-Ton-Renkse Doygunluk (IHS) Dönüşümü.....	9
2.4.4 Yüksek Geçirgenli Filtre (HPF)	9
2.4.5 Ehlers Yöntemi	10
2.4.6 Gram-Schmidt Dönüşümü	10
2.5. İnterpolasyon Yöntemleri.....	11
2.5.1 Ters Mesafe Ağırlıklı İnterpolasyon (IDW)	11
2.5.2 Doğal Komşu İnterpolasyon Yöntemi	11
2.5.3 Kriging İnterpolasyon Yöntemi.....	13
3. MATERYAL VE METOT	14
3.3. Ön İşlemler	15
3.3.1 Radyometrik Düzeltme	15
3.3.2 Atmosferik Doğrulama	15
3.4. Renk Kompozit.....	16
3.5. TIR Görüntülerin Kriging Kestirimi	19
3.6. Temel Bileşenler Analizi ile Görüntü Kaynaştırma	22
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	24
4.1. Görsel Karşılaştırma.....	24
4.2. Jeolojik Veri ile Karşılaştırma.....	26
4.3. Spektral Açık Haritalama (SAM).....	30
4.4. Bant Oranlama.....	36
4.5. Spektral Yansıma Eğrileri	41
4.6. İstatistiksel Karşılaştırma	43
4.7. Arazi Çalışması	48
4.8. Kimyasal Analiz	55
6. SONUÇLAR	56
7. KAYNAKLAR	57
8. EKLER.....	61

ÖZGEÇMİŞ

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Mineral Haritalanması İçin Yeni Bir Görüntü Kaynaştırma Yaklaşımı” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

26/01/2022

Muhammed Enes ÖZGÜN



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

μm	: Mikrometre
nm	: Nanometre
σ	: Standart Sapma
μ	: Ortalama

Kısaltmalar

HPF	: Yüksek Geçirgenli Filtre
IDW	: Ters Mesafe Ağırlıklı İnterpolasyonu
IHS	: Yoğunluk-Ton-Renksel Doygunluk
LİDAR	: Işık Tespit ve Menzil
MNF	: En Küçük Gürültü Oranı
MTA	: Maden Tetkik ve Arama
PCA	: Temel Bileşenler Analizi
SAM	: Spektral Açılı Haritalayıcı
SI	: Sülfat İndeks
SWIR	: Kısa Dalga Kızılötesi
TIR	: Termal Kızılötesi
UTM	: Universal Transverse Mercator (Evrensel Yatık Eksenli Mercatör)
VNIR	: Görünür Yakın Kızılötesi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Çalışma alanın Bing uydu görüntüsü	2
Şekil 1.2. Çalışma alanının jeolojisi	3
Şekil 1.2. Terra uzay aracı üzerindeki ASTER sensörleri	5
Şekil 2.1. Temel bileşenler analizine ait vektörel gösterim	9
Şekil 2.2. IDW interpolasyon yönteminin bilinen değerler ile olan yakınlık ilişkisi	11
Şekil 2.3. İnterpole edilen verilerin değişimi	12
Şekil 2.4. Delauney üçgenlemesinin noktalar arasında kurduğu ilişki	12
Şekil 3.1. Uygulanacak yöntemlerin akış şeması	14
Şekil 3.2. Jips mineralinin yayılma (emissivity) değeri. John Hopkins Üniversitesi (JHU) spektral kütüphanesinden alınmıştır.....	16
Şekil 3.3. Jips mineralinin 2-15 mikron arasındaki yansıma değerleri gösterilmektedir. Farklı renklerdeki yansıma değerleri, jips mineralinin tane boylarına göre yansıma değerlerini göstermektedir	17
Şekil 3.4. ASTER Termal veri setinin jips mineralinin termal yayılma değeri üstündeki bant konumları.....	17
Şekil 3.5. Band 10-11-12’de jips mineralleri kendisini pembe renkte göstermektedir. Araştırma sahasına ait alan gösterilmiştir	18
Şekil 3.6. Jips bant indeks (Öztan ve Süzen, 2011 ile önerilen bant kompozitin karşılaştırılması. Beyaz pikseller ile pembe pikseller jipsi temsil etmektedir.....	18
Şekil 3.7. 90 ve 15m lik kaynaştırılmış iki verinin karşılaştırılması. Mekânsal çözünürlük farkının fazla olması sebebi ile piksel bozulmaları görülmektedir. Burada kastedilen gürültülü pikseller değildir	19
Şekil 3.8. 30 ve 15m’lik iki vektörel nokta verisi	20
Şekil 3.9. ASTER Termal uydu görüntüsünün verilerini kaydeden nokta verisi	21
Şekil 3.10. Kriging algoritmasının uygulanması	21
Şekil 3.11. Kriging algoritmasının her bir veri için uygulanması	22
Şekil 3.12. Kriging algoritması uygulanan görüntülerin ve ham uydu görüntüsünün raster formatındaki karşılaştırılması.....	22
Şekil 4.1. Kullanılan verilerin renk kompozit karşılaştırması	24
Şekil 4.2. Çalışma alanına ait jipsli birimlerin karşılaştırılması	25
Şekil 4.3. Jipsli birimlerin sınırları daha detaylı incelenmek istenmiştir.....	26

Şekil 4.4. Çalışma alanına ait jips haritası. Jips minerali bölgede, Jips, Kilitaşı-Jips, Konglomera-Kumtaşı-Jips şeklinde karışımına çıkmaktadır	27
Şekil 4.5. Çalışma alanına ait bant kompoziti. Jips minerali görüntüde pembe pikseller ile kendini göstermektedir. Jeolojik harita da işaretlenen jipsli birimler ile pembe pikseller uyumludur.....	28
Şekil 4.6. Jeolojik harita ile önerilen yöntemin karşılaştırılması. Jeolojik haritadaki kahve renkli birimler ile pembe pikseller uyum sağlamaktadır. Ancak jeolojik harita da jipsli birimler daha geniş alanlara yayılım göstermektedir	28
Şekil 4.7. Çalışma alanına ait tarım arazileri. Bitki örtüsü, bazı alanlarda mostra veren jipsleri kapatmaktadır	29
Şekil 4.8. Şekilde (a) jips bulunan birimler, (b) şeklinde ise konglomera-kumtaşı -jips karışımı görünmektedir. Her iki pikselde de jips minerali görünmektedir. Ancak (a) şeklinde daha yoğun bulunduğu önerilen yöntemle de fark edilmiştir	30
Şekil 4.9. Her bir bant için referans alınan spektral açılar gösterilmektedir.....	31
Şekil 4.10. Çalışma alanının SAM sınıflandırması gösterilmiştir. (a) görseli orijinal termal görüntü den üretilen SAM sınıflandırmasıdır. (b), (c) görselleri ise FVT30 ve FVT15 veri seti ile üretilmiştir	31
Şekil 4.11. FVT15 ile SAM verisinin jeoloji haritası ile karşılaştırılması görüntülenmiştir	32
Şekil 4.12. Kaynaştırılmış orijinal termal verinin, SAM sınıflandırması. Kırmızı renkli alanlar jips yayılma değerinin en çok görüldüğü alanlardır. Siyah pikseller ise jips yayılma değerinin en az görüldüğü alanlardır	33
Şekil 4.13. FVT30 verisinin, SAM sınıflandırması. Kırmızı renkli alanlar jips yayılma değerinin en çok görüldüğü alanlardır. Siyah pikseller ise jips yayılma değerinin en az görüldüğü alanlardır	34
Şekil 4.14. FVT15 verisinin, SAM sınıflandırması. Kırmızı renkli alanlar jips yayılma değerinin en çok görüldüğü alanlardır. Siyah pikseller ise jips yayılma değerinin en az görüldüğü alanlardır	35
Şekil 4.15. Görüntülerin bant oranlaması	37
Şekil 4.16. Kaynaştırılmış orijinal ASTER termal veri setinin SI bant oranlama sonucu. Kırmızı pikseller sülfat içeriği yüksek olan alanları göstermektedir.....	38
Şekil 4.17. FVT30 veri setinin SI bant oranlama sonucu. Kırmızı pikseller sülfat içeriği yüksek olan alanları göstermektedir	39
Şekil 4.18. FVT15 veri setinin SI bant oranlama sonucu. Kırmızı pikseller sülfat	

içeriği yüksek olan alanları göstermektedir	40
Şekil 4.19. FVT15 veri setinin renk kompozitidir. Şekilde 7 adet örnek nokta seçilmiştir. Bu noktaların spektral profilleri kullanılan tüm verilerce karşılaştırılacaktır. Şekildeki (a) ve (b) noktası kıltaşı-jips, (c) noktası konglomera-kumtaşı-jips, (d) noktası jips, (e) noktası bitki örtüsü, (f) noktası diğer kayaç türü, (g) noktası ise su içeren örnek noktalardır	41
Şekil 4.20. 7 farklı noktaya ait yayılma spektral profilleri	42
Şekil 4.21. Çalışmada kullanılan uydu görüntü ve analizlerinin, optimum eşik değeri karşılaştırmaları.....	47
Şekil 4.22. Arazi çalışmasının yapıldığı alan	48
Şekil 4.23. Arazi çalışmasının yapıldığı alana ait dört farklı referans görüntüsü gösterilmektedir. (a) görseli bölgenin jeoloji haritası, (b) görseli FVT30 verisinin SAM sınıflandırması, (c) FVT30 verisinin bant kompoziti, (d) FVT30 verisinin SI indeksine ait görüntü çalışması	49
Şekil 4.24. Arazi çalışmasının yapıldığı lokasyonlar FVT30 verisinin bant kompoziti ile gösterilmiştir	50
Şekil 4.25. Jips mineralinin görüldüğü lokasyon1	51
Şekil 4.26. Jips mineralinin görüldüğü lokasyon5	52
Şekil 4.27. Sahadan alınan jips numuneleri	53
Şekil 4.28. Jips sınırlarına ait İHA görüntüsü	54
Şekil 4.29. Jips mineralinin görüldüğü lokasyon 5'in İHA görüntüsü	54
Şekil 4.30. İHA - Jeolojik Harita - Ham veri, Önerilen yöntemin araştırma sahası için karşılaştırılması	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. ASTER uydu görüntülerinin özellikleri	4
Çizelge 4.1. Optimum eşik değeri istatistik sonuçları	44



1. GİRİŞ

1.1 Amaç ve Kapsam

Jips minerali birçok endüstriyel alanda kullanılan hammaddelerden birisidir. İnşaat, mimarlık, tekstil, diş hekimliği ve kimya endüstrilerindeki kullanımı itibariyle önemli bir değere sahiptir. Ekonomik değeri olan minerallerin özellikle haritalanması, söz konusu minerallerin ekonomiye kazandırılması için oldukça önemlidir. Bununla birlikte, jips minerali yeryüzünde geniş dağılımlar gösterebilen bir mineraldir. Bu da jipsin kısa zamanda düşük maliyetle haritalanmasını önemli kılmaktadır.

Doğal kaynak aramacılığı konusunda yapılan jeolojik uzaktan algılama çalışmalarında araştırılmak istenilen minerallerin haritalanması yapılmıştır. Hem jeolojik anlamda hem de maden çalışmaları kapsamında birçok çalışmada uzaktan algılama algılamanın sunduğu avantajlardan faydalanılmıştır (Mbianya ve diğ., 2021: Gomez ve diğ., 2021: Lamrani ve diğ., 2021: Öztan ve Süzen, 2011: Ninomiya, 2004).

Ancak her ne kadar uzaktan algılama verileri sunduğu avantajlar itibariyle değerli faydaları olsa da, bazı durumlarda araştırmanın sonucu kullanım amacı itibariyle yeterli gelmeyebilir. Nitekim uzaktan algılama sensörlerinden kaynaklı bazı faktörler vardır. Bunlardan birisi ise uydu görüntülerinin mekânsal çözünürlükleridir. Sensörlerin mekânsal çözünürlükleri uydu maliyetleri ile orantılı olarak artmaktadır. Sensör çözünürlüğü ne kadar yüksek olur ise, çalışma alanından o kadar detay geometrik bilgi, ve saha üzerindeki detay dağılım bilgisi toplayabilir.

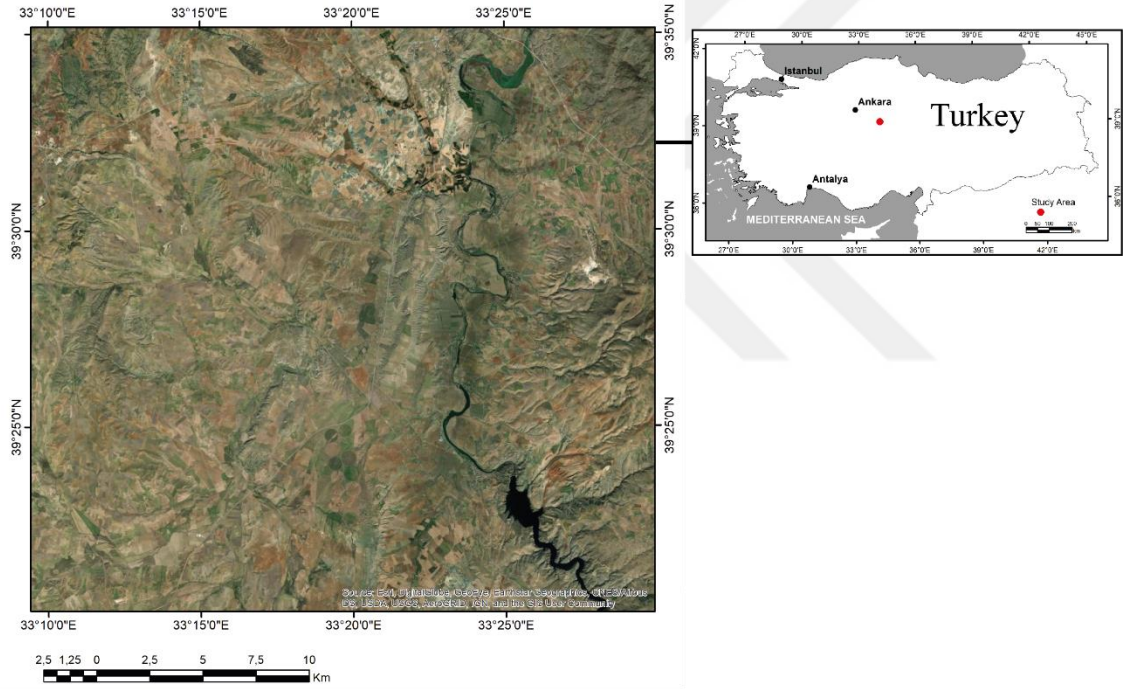
Jips minerali ve bazı mineraller literatürde ASTER Termal uydu görüntüsü ile haritalanabilmektedir. ASTER'in Termal Kızılötesi görüntüsü 90m'lik mekânsal çözünürlüğe sahiptir (Abrams ve Hook, 2000). Bu çözünürlük miktarı minerallerin genel haritalandırması için yeterli olsa da detay mineral haritalandırması için yeterli olmayabilir. Nitekim ASTER TIR veri setinin bir pikseli 8.100 m²'lik alanı temsil etmektedir (90mx90m, her bir piksel için). Termal (yayılma) değer ile temsil edilen bu alanın içerisinde de birçok farklı mineraller denk gelebilir. Normal olarak doğada bu kadar büyük bir alana karşılık gelen saf halde bir mineral dağılımı da mümkün görülmemektedir. Bu nedenle, termal ölçümü alınan birim alanın içerisinde, birden farklı yayılma değerinin kaydedileceğini gösterir. Farklı minerallerin oluşturduğu farklı termal değerler, söz konusu pikselin yayılma (emisivite) değerini karmaşık hale getirir ve minerallerin uydu görüntüleri ile tespit edilmesini zorlaştırır. Tüm bu sebepler nedeni ile, minerallerin veya kayaç gruplarının uzaktan algılama ile yüksek doğrulukta tespit edilip haritalandırılması için, mekânsal çözünürlük oldukça önemlidir. İşte bu sorunların aşılması için önerilen bu çalışmada ASTER TIR görüntülerinin mekânsal çözünürlüğü yine aynı uyduya ait olan ASTER VNIR (görünür-yakın kızılötesi) uydu görüntüsü ile artırılacaktır. Bu çalışmada mineral haritalama çalışmalarında sıkça tercih edilen termal verinin, Kriging interpolasyon yöntemi ve Temel Bileşenler Kaynaştırma yöntemleri kullanılarak mekânsal çözünürlüğünün artırılması önerilmiştir.

Görüntü kaynaştırma çalışmaları jips mineralinin tespitine yönelik test edilecektir. Jips mineralinin termal bölgede gösterdiği spektral yansıma değerleri, jipsin uzaktan algılama ile tespit edilmesi için olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada, sadece jips mineralini tespit edebilecek termal verinin geliştirilmesi değil, aynı zamanda jips

mineralinin haritalanmasında fayda sağlayacak bir bant kompozit yöntemi de önerilmiştir. Tüm önerilen bu yöntemler Ankara'nın Bala ilçesindeki jips mineralleri için kullanılacaktır. Çalışma sahasına ilişkin detaylar ilgili başlık altında verilmiştir.

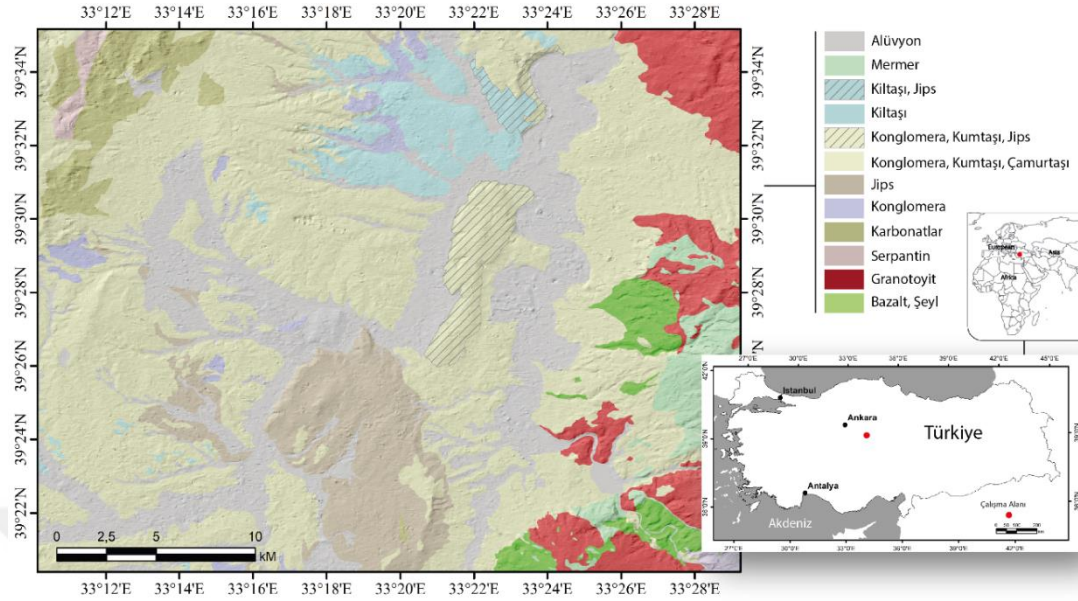
1.2. Çalışma Alanı ve Jeolojisi

Çalışma alanı, Ankara'nın Bala ilçesi civarındaki Tuz Gölü Havzasında yer almaktadır. Çalışma alanının sınırı, alçıtaşı içeren birimlerin coğrafyasına ve ASTER AST3A1_0507270844190603311230 görüntüye ait kapsama alanını içerisinden seçilmiştir. Çalışma alanı batıda Bala ilçesinden doğuda Hirfanlı Baraj Gölü'ne, kuzeyde Karakeçili ilçesinden güneyde Tuz Gölü'ne kadar olan alanı kapsamaktadır. Çalışma alanı, UTM zon 36 bölgesinde yer almakta olup, detaylı jeolojik haritaları Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından hazırlanmıştır (Dönmez ve diğ., 2007). Çalışma sahası 29 km doğu-batı yönünde, 27 km kuzey-güney yönünde bir alanı kapsamaktadır. 783 km²'lik bir alana sahiptir.



Şekil 1.1. Çalışma alanının görünür bant kompoziti uydu görünüşü (Bing verisinden elde edilmiştir, Bing 2021)

Bu çalışmada, Dönmez vd. (2007) tarafından hazırlanmış olan bölgeye ilişkin jeoloji haritası temel harita olarak kullanılmış ve referans alınmıştır. Bu harita, farklı araştırmacılar tarafından yıllar içerisinde gerçekleştirilen önceki çalışmaların bir derlemesi niteliğindedir. Jips içeren alanların tespiti için MTA arşivlerindeki tüm jeolojik haritalar taranmış ve nihai jipsin dağılımlarını gösterir haritası oluşturulmuştur.



Şekil 1.2. Çalışma alanının jeolojisi (Dönmez, 2007)

Çalışmada evaporit minerallerini haritalamak ve analiz etmek için daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi, ASTER görüntüsü kullanılmıştır. ASTER, Aralık 1999'da NASA'nın Terra uzay aracından fırlatılan gelişmiş bir çok bantlı (multispektral) görüntüleyicidir (Abrams ve Hook, 2000). ASTER, görünür bölgeden, termal kızılötesine kadar 14 bantlı geniş bir spektral bölgeyi inceler. Buna ek olarak, geriye dönük yakın kızılötesi bant sayesinde, stereo görüntü alma imkânı sağlar (San ve Süzen, 2005). Bu sayede yükseklik verisi de üretilir (DEM). ASTER verisinde, mekânsal çözünürlük dalga boyuna göre değişir: görünür ve yakın kızılötesinde (VNIR) 15 m, kısa dalga kızılötesinde (SWIR) 30 m ve termal kızılötesinde (TIR) 90 m'lik mekânsal çözünürlüklere sahiptir (Tablo 4.1). Her ASTER görüntüsü yer yüzeyine yaklaşık 60 x 60 km'lik bir alanı kapsar. ASTER sensörlerinin üzerinde bulunduğu Terra uzay aracı, 705 km yükseklikte dairesel, kutuplara yakın bir yörüngede uçmaktadır (Yamaguchi vd, 1998). Yörünge, yerel saat 10:30'da ekvator geçişi ile güneş eşzamanlı olup, her 16 günde bir aynı yörüngeye dönmektedir. (ASTER Kullanıcı El Kitabı, Sürüm 2).

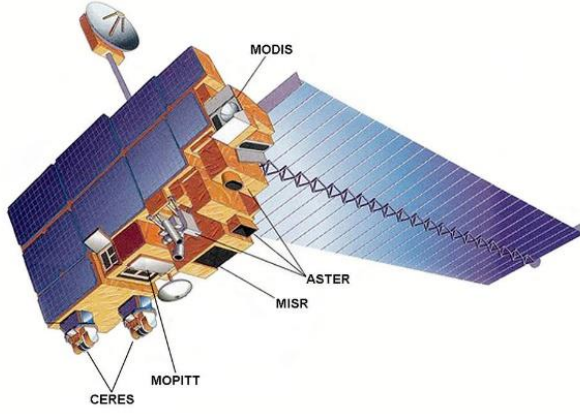
1.3. Kullanılan Veri Setleri

Çalışmada evaporit minerallerini haritalamak ve analiz etmek için daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi, ASTER görüntüsü kullanılmıştır. ASTER, Aralık 1999'da NASA'nın Terra uzay aracından fırlatılan gelişmiş bir multispektral görüntüleyicidir (Abrams ve Hook, 2000). ASTER, görünür bölgeden, termal kızılötesine kadar 14 bantlı geniş bir spektral bölgeyi inceler. Buna ek olarak, geriye dönük yakın kızılötesi bant sayesinde, stereo görüntü alma imkânı sağlar (San ve Süzen, 2005). Bu sayede yükseklik verisi de üretilir (DEM). Uzamsal çözünürlük dalga boyuna göre değişir: görünür ve yakın kızılötesinde (VNIR) 15 m, kısa dalga kızılötesinde (SWIR) 30 m ve termal kızılötesinde (TIR) 90 m'lik çözünürlüklere sahiptir (Tablo 4.1). Her ASTER görüntüsü 60 x 60 km'lik bir alanı kapsar. Terra uzay aracı, 705 km yükseklikte dairesel, kutuplara

yakın bir yörüngede uçmaktadır (Yamaguchi vd, 1998). Yörünge, yerel saat 10:30'da ekvator geçişi ile güneş eşzamanlı olup, her 16 günde bir aynı yörüngeye dönmektedir. (ASTER Kullanıcı El Kitabı, Sürüm 2).

Sistem	TERRA
Sensör	ASTER
Görüntü Genişliği	60 Km
Tekrarlama Aralığı (Zamansal Çözünürlük)	16 Gün
Spektral Bantlar (μm , mikrometre) (Görünür Yakın Kızılötesi, VNIR)	Bant 1 (0.52-0.60) Bant 2 (0.63-0.69) Bant 3N (0.78-0.86) Bant 3B (0.78-0.86)
Spektral Bantlar (Kısa Dalga Kızılötesi, SWIR)	Bant 4 (1.60-1.70) Bant 5 (2.145-2.185) Bant 6 (2.185-2.225) Bant 7 (2.235-2.285) Bant 8 (2.295-2.365) Bant 9 (2.360-2.430)
Spektral Bantlar (Termal Kızılötesi, TIR)	Bant 10 (8.125-8.475) Bant 11 (8.475-8.825) Bant 12 (8.925-9.275) Bant 13 (10.25-10.95) Bant 14 (10.95-11.65)
Piksel Boyutu (Metre) (Mekânsal Çözünürlük)	VNIR (15m), SWIR (30m), TIR (90m)
Radyometrik Çözünürlük (Bit)	VNIR (8bit), SWIR (8bit), TIR (12bit)

Çizelge 1.1. ASTER uydu görüntülerinin özellikleri (ASTER Kullanıcı El Kitabı, Sürüm 2)



Şekil 1.3. Terra uzay aracı üzerindeki ASTER sensörleri (NASA, 1999).

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Mineral Haritalama

Geçmişte uzaktan algılama yöntemleri üretilen birçok mineral haritalama çalışması yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları yöntem geliştirme üzerine, bazıları ise geliştirilen yöntemlerin farklı bölgelerde test edilmesi üzerinedir. Tez çalışmasının bu bölümünde konuya ilişkin yapılmış olan çalışmalar kısaca özetlenmiştir.

Mbianya vd. (2021) yılında doğu Kamerun'daki Kette altın sahasında uzaktan algılama ile yapısal değişim haritalaması yapmıştır. Tropik alanlarda yersel maden araştırma çalışmalarının zorluğu sebebi ile bölgede yapılacak olan uzaktan algılama çalışmasının değerli olacağı düşünülmüştür. Çalışmada Landsat-8 (OLI) ve Landsat-7 (ETM+) görüntülerinin görünür yakın kızılötesi (VNIR) ve kısa dalga kızılötesi (SWIR) bantları hidrotermal alterasyonun tespiti için kullanılmıştır. Alterasyon minerallerini haritalamak için PCA, MNF dönüşümü ve 4/2, 6/5 ve 6/7 bant oranı uygulanmıştır. Altın cevherinin oluşumları bölgedeki KB-GD (110-140 derece) arasında değişen çizgisellikler/faylar ile ilişkili görülmüştür. Yeni altın arama çalışmaları için olasılığı yüksek bölgeler ifade edilmiştir.

Gomez vd. (2021) yılında Yeni Zelanda Waiotapu jeotermal bölgesini uzaktan algılama ve yersel araştırma teknikleri kullanarak haritalamışlardır. Taupo volkanik bölgesindeki Waiotapu jeotermal sahası hiperspektral, termal, VNIR ve SWIR uydu görüntüleri ile incelenmiş, söz konusu uydu görüntüleri Spektral Açık Haritalayıcı (SAM) ve Destek Vektör Makine (SVM) sınıflandırma yöntemleri kullanılmıştır. Uzaktan algılama ile yapılan litolojik sınıflandırma çalışmaları SAM sınıflandırmasında %57.3, SVM sınıflandırmasında ise %87.5 doğruluk göstermiştir. Temel Bileşenler Analizi (PCA) yoluyla, Ag, Au, S ve Sb elementlerinin zenginleştiği bölgeler yüksek klorlu suların yüzeye ulaştığı Champagne Pool bölgesinde yer aldığı bulunmuştur.

Lamrani vd. (2021)'de ASTER uydu görüntülerini kullanarak bentonit kil minerallerinin haritalamasını Fas'ın Doğu Rif kuşağında hazırlamışlardır. Önemli ekonomik potansiyele sahip çok sayıda bentonit yatakları bu bölgede daha önce bulunmuştur. Bu araştırma ile yeni yataklar keşfedilmiş ve bölgeden alınan numuneler petrografik ve kimyasal analizler ile doğrulanmıştır. Zeghanghane bölgesinde oluşturulan bentonit haritası gelecekteki maden araştırmaları için ışık tutacaktır.

Tözün ve Özyavaş (2020) yılında ASTER verileri kullanarak hidrotermal alterasyona uğramış kayaçların haritalaması için yeni bir yöntem önermiştir. Yeni Mantıksal Operatör algoritmaları olarak adlandırılan yöntemde, çalışma alanına ait alunit, serisit, demir oksitler gibi mineral topluluklarının ve çeşitli silika formlarını içeren hidrotermal aliterasyon bölgeleri başarılı bir şekilde haritalanmıştır. Orta Anadolu da ki Hamurcu ve Başdere ilçelerinde yapılan bu çalışmada, önerilen yöntemin hızlı ve güvenilir bir şekilde aliterasyon minerallerini haritalayabileceği kanıtlanmıştır.

Ninomiya (2019) yılında Advanced Spaceborne Termal Emisyon ve Yansıma Radyometresine (ASTER)'nin özellikle termal bölge de ki uydu görüntülerinin çok iyi bir atmosferik pencereye sahip olduğunu ve termal bölgenin litolojik çalışmalar için oldukça avantajlı olabileceğini açıklamıştır.

San (2004) yılında ASTER uydu görüntülerini kullanarak Çanakkale Biga ilçesine ait alunit ve kaolinit minerallerini tespit etmiştir. Araştırma da iki farklı sınıflandırma tekniği karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada bant oranlama ile kaolinitin, spektral indeksler ile de alunitin daha iyi tespit edildiği sonucuna varılmıştır.

Cudahy vd. (2002) yılında ASTER ve Hiperspektral verileri kullanarak Yerington, Nevada'nın Mineral haritası üretilmiştir. Çalışmada birçok mineralin yansıma eğrisi incelenmiştir. Sikatlar, biotit, epidotit, garnet, demir oksit, karbonat, beyaz mika'nın yansıma eğrileri ile bölgenin mineralojik haritası oluşturulmuştur.

Alparone vd. (2015) ASTER termal görüntülerinin kaynaştırma çalışmaları üzerine araştırmalar yapmıştır. Araştırma da ASTER'in VNIR görüntüsü ile TIR veri seti kaynaştırılmıştır. Kaynaştırma sonucunda 15m mekansal çözünürlüğe sahip termal veri elde edilmiştir. Çalışmanın sonucunda ise, ASTER'in VNIR veri setine ait ikinci bantı, termal veri seti ile kaynaştırılması üzerine daha uygun bulunmuştur. Görüntü kalite indeksleri, bant 2'nin termal veriler ile daha iyi kaynaştığını göstermiştir.

Öztaş ve Süzen (2011) yılında evaporit minerallerinin haritalaması üzerinde Ankara'nın Bala ilçesinde çalışma yapmıştır. Bu çalışma da ASTER termal uydu görüntüleri kullanılarak, çalışma alanının evaporit mineral haritalaması yapılmıştır. Çalışma da Sülfat İndeks olarak adlandırılan yeni bir bant oranlama tekniği önerilmiştir. Bu teknikte ASTER termal uydu görüntüsünün 1, 2 ve 3. Bantları kullanılarak evaporit mineralleri haritalanmıştır.

Mekânsal kestirimin katkı sağladığı bazı alanlarda interpolasyonun kullanılması avantajlar yaratabilir. Ciolofan vd. (2017) yılında, su kirliliğine ait sınırların tahmin edilmesine yönelik interpolasyon çalışması önermiştir. Bu çalışmada çok boyutlu kübik spline interpolasyonunun su kirliliği açısından katkı sağlayan tahminlerde bulunduğu araştırma da gösterilmiştir.

Farklı veri türlerinin kaynaştırılması konusunda farklı bir yaklaşım daha sunulmaktadır. Elaksher (2008), hiperspektral görüntülerin ve LİDAR tabanlı dijital yükseklik modelinin, kıyı haritalamasında faydalı olabileceğini açıkladı.

İyi bir görsel yapının yanı sıra, yüksek mekânsal çözünürlüklü görüntü, askeri, tıbbi görüntüleme, tüketici elektroniği ve benzeri uygulamalarda görüntünün hassas bir şekilde analiz edilmesinde hayati olabilecek ek bilgiler sunar. Düşük çözünürlüklü veriden yüksek çözünürlüklü veri üretmek için yapılan uygulamalardan birisi de Patil ve Bormane'ye aittir (2007). Bu çalışmada çeşitli interpolasyon yöntemleri ve dalgacık yöntemi ile görüntü de ki kenar detaylarının daha iyi analiz edilebileceği sonucuna varılmıştır.

2.2. Görüntü Kaynaştırma Yöntemleri

Son yıllarda, çevrenin izlenmesi ve yönetimi, hassas tarım, güvenlik ve savunma gibi uygulamalarla birlikte uydu algılayıcılarının sürekli olarak geliştirilmesi damgasını vurdu. Bir yandan, arazi örtülerinin doğru bir sınıf ayrımı için yüksek spektral çözünürlüğe ihtiyaç duyması, Öte yandan, doku ve şekillerin doğru bir şekilde tanımlanması için yüksek uzamsal (mekânsal) çözünürlük gereklidir. Pratik olarak, her

tür görüntüleme algılayıcısı yalnızca belirli bir çalışma aralığına ve çevresel koşullara odaklanabilir, bir nesneyi algılamak veya bir görüntüyü sınıflandırmak için gerekli tüm bilgilerin tamamen alınması mümkün değildir. Bu nedenle, çok kaynaklı verilerin tam olarak kullanılması için gelişmiş analitik veya sayısal görüntü birleştirme teknikleri geliştirilmiştir (Ghassemian 2016; Hall ve Llinas 1997).

2.2.1. Brovey Yöntemi

Brovey kaynaştırma yöntemin mekânsal çözünürlüğü düşük olan çok bantlı görüntünün boyutları, Pankromatik görüntünün boyutları ile eşitlenir. Daha sonra bu bantlar kullanılarak yoğunluk değeri hesaplanır. Ağırlık katsayıları çok bantlı görüntü ile Pankromatik görüntü arasında gerçekleştirilen regresyon analizi ile belirlenir. Her bir bant bulunan yoğunluk bileşenine bölünür, ardından Pankromatik görüntüyle çarpılır. Böylece mekânsal çözünürlük bakımından detaylandırılmış yeni görüntü elde edilir. (Alparone vd., 2015).

$$Ti = (Bi/I) \times (Pan) \quad (2.1)$$

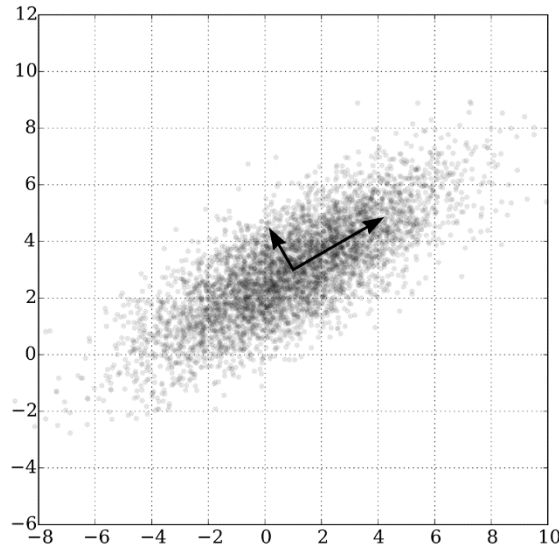
Burada Ti kaynaştırılmış görüntüyü, i bant sayısını, I yoğunluk bileşimini ve Pan ise Pankromatik görüntüyü ifade eder.

Brovey yöntemi piksellerin radyometrik değerlerinde değişiklikler yaptığından dolayı renk bozulmalarına sebep olabilir. Daha sağlıklı sonuç alınabilmesi için kaynaştırılacak görüntülerin aynı algılayıcıdan alınmış veya yakın tarihli görüntüler olması gerekmektedir. Kaynaştırılacak olan görüntülerin mekânsal çözünürlükleri arasındaki ilişki hangi kaynaştırma yönteminin daha başarılı olduğu konusunda bilgi vermektedir.

2.2.2. Temel Bileşenler Analizi

Temel bileşenler analizi ile kaynaştırma yöntemi istatistiksel bir yöntem olup fotogrametri ve uzaktan algılamada birçok amaç için kullanılmaktadır. Görüntü kaynaştırma, değişim analizleri, sınıflandırma ve jeolojik araştırmalarda sıklıkla kullanılır (Akça ve Doğan, 2002).

Bu teknik mekânsal çözünürlüğü düşük olan çok bantlı görüntünün boyutunu, kaynaştırmada kullanılacak olan mekânsal çözünürlüğü yüksek görüntünün boyutu ile eşitler ve temel bileşenler analizi uygulanır. Görüntüdeki değerlere “n boyutlu” doğrusal bir dönüşüm uygulanarak orijinal görüntü öz-vektör uzayına dönüştürülür. Oluşan bu yeni koordinat sisteminde bantlar arasındaki korelasyon ortadan kalkmış olur (Güngör, 2008). En fazla öz-vektör değerine sahip olan vektör birincil ana bileşeni ifade eder. Ana bileşen ise görüntüdeki bütün bantların sahip olduğu mekânsal veriyi barındırır (Pohl ve Van Genderen, 2017). Bu bileşenin görüntü kaynaştırmada kullanılacak olan pankromatik (tek bantlı) veri ile aynı olduğu varsayılır ve Pankromatik bant ile bu bileşen yer değiştirir. Ardından ters temel bileşenler dönüşümü uygulanır ve kaynaştırılmış görüntü elde edilir. Elde edilen görüntü mekânsal çözünürlük bakımından zenginleşmiş görüntüdür.



Şekil 2.1. Temel bileşenler analizine ait şematik gösterim (Vikipedi, 2016)

2.2.3. Yoğunluk-Ton-Renkse Doygunluk (IHS) Dönüşümü

IHS renk uzayında renkler I (yoğunluk), H (ton) ve S (renkse doyunluk) olmak üzere üç bileşenle ifade edilir. Bu bileşenler görecelidir ve kullanıcılar tarafından yorumlanmaya oldukça müsaittir. Bir renkten diğeri bir renge dönüşümün gerçekleşmesi bu renk uzayında oldukça basittir. Envi ve Erdas Imagine olmak üzere birçok görüntü işleme yazılımında bu renk uzayı kullanılmaktadır. Yoğunluk bileşeni rengin parlaklığını temsil eder. Görüntünün siyaha veya beyaza ne kadar yakın olduğunu gösterir (Alparone vd. 2015). Ton bileşeni ise gördüğümüz renklerdeki baskın olan dalga boyudur (Alparone vd. 2015). Renkse doyunluk ise bir renkteki ışığın yokluğudur (Pohl ve Van Genderen, 2017).

2.2.4. Yüksek Geçirgenli Filtre (HPF) Yöntemi

Yüksek geçirgenli filtre (HPF) yöntemi ilk defa Landsat görüntülerinin mekânsal çözünürlüklerini arttırmak amacıyla kullanılmıştır. Bu yöntemde öncelikle Pankromatik görüntünün mekânsal çözünürlüğü ile çok bantlı görüntünün mekânsal çözünürlüğünün oranı (R) hesaplanır. Hesaplanan R miktarına göre Pankromatik görüntüye uygulanacak yüksek geçirgenli filtrenin boyutları belirlenir. Daha sonra bu filtre kullanılarak Pankromatik görüntü filtrelenir ve böylece Pankromatik görüntüdeki mekânsal detaylar güçlendirilmiş olur. Çok bantlı görüntünün boyutları Pankromatik görüntünün boyutlarına eşitlenir. Filtrelenmiş görüntü çok bantlı görüntünün tüm bantlarına eklenir (Yıldırım ve Güngör, 2012). Ekleme işleminden önce çok bantlı görüntü için R oranı kullanılarak ağırlıklar (W) belirlenir. Son olarak elde edilen kaynaştırılmış görüntüye lineer bir germe işlemi uygulanır, standart sapma ve ortalama değerlerinin orijinal çok bantlı görüntüyle eşlenmesi sağlanır (Gangkofner vd., 2008). Bu yöntem farklı algılayıcılardan alınan uydu görüntülerinin ve farklı tarihlerde çekilen uydu görüntülerinin kaynaştırılmasında başarı göstermektedir (Klonus ve Ehlers, 2009).

2.2.5. Ehlers Yöntemi

Bu teknik IHS ve Fourier dönüşümünü birlikte kullanır. Öncelikle çok bantlı görüntünün boyutları Pankromatik görüntüye eşitlenir ve IHS dönüşümü uygulanır. Sonra Pankromatik görüntüye 2 boyutlu FFT (Fast Fourier Transformation: Hızlı Farier Dönüşümü) dönüşümü uygulanarak frekans ortamına geçilir ve yüksek geçirgen filtreleme yapılır. Daha sonra ters Fourier dönüşümü uygulanarak yersel koordinatlara geçiş sağlanır. Bu sayede pankromatik görüntüdeki konumsal detaylar artırılmış olur. Çok bantlı görüntüye IHS dönüşümü uygulanır ve yoğunluk (I) bileşeni yine 2 boyutlu FFT kullanılarak frekans ortamına geçirilir. Frekans ortamındaki yansıma şiddeti üzerinde alçak geçirgen filtreleme işlemi gerçekleştirildikten sonra yersel koordinatlara geri dönüş yapılır. Alçak ve yüksek filtre sonuçları toplanır ve ortaya çıkan görüntü yeni I bileşeni olur. Yeni üretilen yoğunluk (I) bileşeni ile orijinal ton (H) ve renk doygunluğu (S) bileşenlerine ters IHS dönüşümü uygulanarak kaynaştırılmış görüntü üretilmiş olur. Elde edilen görüntü mekânsal çözünürlük anlamında zenginleştirilmiş olup, aynı zamanda çok bantlı görüntünün spektral özellikleri korunmuş olur. Bu yöntemdeki filtreler Pankromatik görüntüden kaynaklanan piksel hatalarını en aza indirecek şekilde tasarlanmalıdır (Ehlers, 2004; 2010). Birçok popüler uzaktan algılama görüntü işleme yazılımında (PCI Geomatica, Erdas Imagine, ENVI, TNTmips vb.) söz konusu teknikler uygulanabilmektedir.

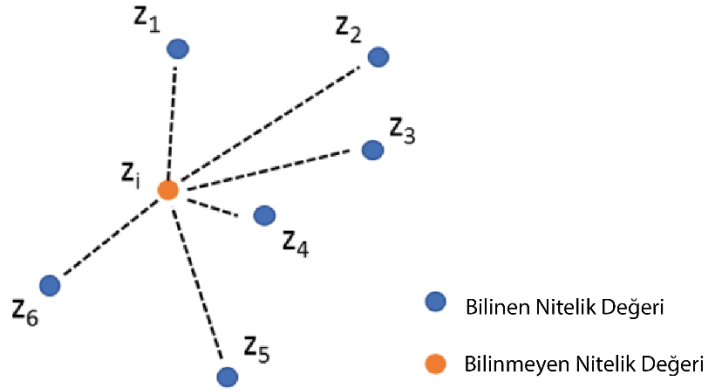
2.2.6. Gram-Schmidt Dönüşümü

Temel Bileşenler Analizi yöntemi gibi bu yöntem de görüntü dönüşümüne dayanmaktadır. Bu teknikte de düşük mekansal çözünürlüklü çok bantlı görüntünün boyutları Pankromatik görüntünün boyutlarına eşitlenir. Daha sonra çok bantlı görüntünün bantları kullanılarak bunlardan düşük çözünürlüklü Pankromatik görüntü (DÇP) elde edilir. Bu Pankromatik görüntü çok bantlı görüntünün ilk bandı olarak kullanılır ve bu görüntüyle birlikte çok bantlı görüntünün diğer bantlarına Gram--Schmidt dönüşümü uygulanır. Daha sonra yüksek mekansal çözünürlüklü Pankromatik görüntü ile dönüşüm sonucu elde edilen görüntünün ilk bandı yer değiştirilir. Son olarak elde edilen görüntüye ters Gram--Schmidt uygulanır ve birleştirilmiş görüntü elde edilir (Laben ve Brower, 2000). Bu yöntem aynı algılayıcılardan elde edilen görüntülerin birleştirilmesinde oldukça etkilidir.

2.3. İnterpolasyon Yöntemleri

2.3.1. Ters Mesafe Ağırlıklı İnterpolasyon (IDW)

Ters Mesafe Ağırlık interpolasyonu (IDW), her bir giriş noktasının, mesafe ile azalan yerel bir etkiye sahip olduğunu varsayar. İşlem hücrelerine daha yakın olan noktaları, uzaktakilerden daha fazla ağırlaştırır. Her bir konumun çıktı değerini belirlemek için belirli sayıda nokta veya belirli bir yarıçap içindeki tüm noktalar kullanılabilir. Bu yöntemin kullanımı, eşlenen değişkenin, örneklenen konumundan uzaklıkla etkisinin azaldığını varsayar. Waldo R.Tobler'in 1970 yılında öne sürdüğü bu prensip, toprak bilimleri, çevre kirliliği ve diğer birçok alanda kabul edilmiştir.



Şekil 2.2. IDW interpolasyon yönteminin bilinen değerler ile olan yakınlık ilişkisi (Aspexit, 2019).

$$x^* = \frac{w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3 + \dots + w_nx_n}{w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_n} \quad (2.2)$$

(2) Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW) interpolasyon yöntemi

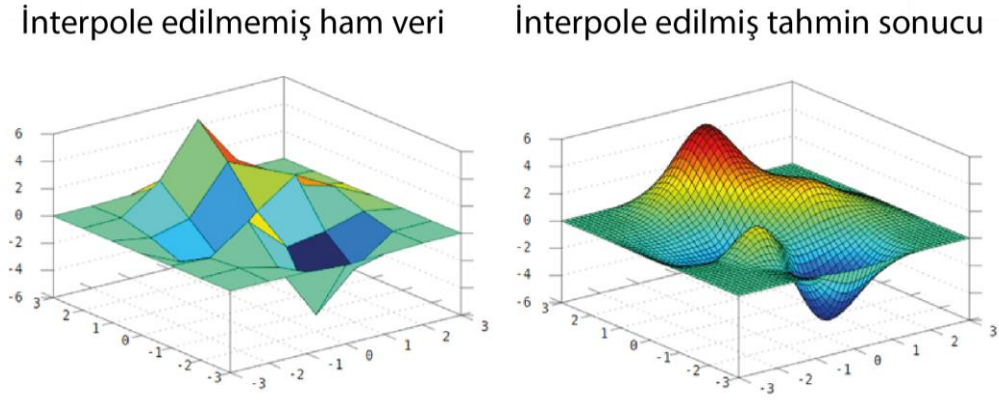
$$w_1 = \frac{1}{d_{ix}^p} \quad (3)$$

w_1 = Ağırlık formülü

IDW, doğrusal ağırlıklı bir kombinasyon ilişkisi kurar ve numune noktalar kümesini kullanarak hücre değerlerini belirler. Tahmin konumuna daha yakın olan noktaları, daha uzaktakilerden daha fazla ağırlıklandırır, dolayısıyla adı ters mesafe ağırlıklıdır.

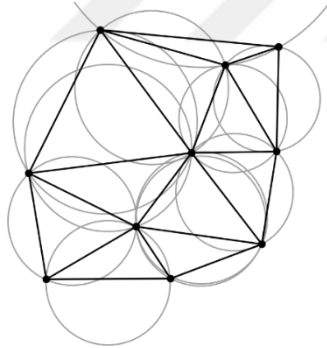
2.3.2. Doğal Komşu İnterpolasyon Yöntemi

Doğal komşu interpolasyonu birçok olumlu özelliğe sahiptir hem interpolasyon hem de ikstrapolasyon için kullanılabilir ve genellikle kümelenmiş dağılım noktalarıyla iyi çalışır. Başka bir ağırlıklı ortalama yöntemi olan doğal komşu interpolasyonunda kullanılan temel denklem, IDW interpolasyonunda kullanılanla aynıdır. Bu yöntem, büyük giriş noktası veri kümelerini verimli bir şekilde işleyebilir. Doğal Komşu yöntemini kullanırken, yerel koordinatlar, herhangi bir saçılma noktasının çıkış hücreleri üzerindeki etkisinin miktarını tanımlar. Doğal Komşu yöntemi, veri setindeki her nokta etrafında oluşturulan doğal komşuluk bölgelerini kullanan geometrik bir tahmin tekniğidir.



Şekil 2.3. İnterpolasyonu yapılmış verilerin değişimi (Sorin N Ciolofan ve diğ., 2017)

IDW gibi, bu interpolasyon yöntemi de ağırlıklı ortalama bir interpolasyon yöntemidir. Ancak, mesafelerine göre ağırlıklandırılmış tüm giriş noktalarını kullanarak interpolasyonlu bir noktanın değerini bulmak yerine, Doğal Komşular interpolasyonu, giriş noktalarının bir Delauney Üçgenlemesi oluşturur ve interpolasyon noktasının etrafında dışbükey bir gövde oluşturan en yakın düğümleri seçer, ardından değerlerini ağırlıklandırır. Orantılı alana göre bu yöntem, örnek veri noktalarının eşit olmayan yoğunlukta dağıtıldığı durumlarda en uygundur. İyi bir genel amaçlı interpolasyon tekniğidir ve yarıçap, komşu sayısı veya ağırlıklar gibi parametreleri belirtmek zorunda kalmamanız avantajına sahiptir.



Şekil 2.4. Delauney üçgenlemesinin noktalar arasında kurduğu ilişki (Vikipedi, 2013)

Bu teknik, nokta dosyasındaki yerel minimum ve maksimum değerleri dikkate almak üzere tasarlanmıştır ve yerel yüksek değerlerin aşımalarını ve yerel düşük değerlerin altında kalanları sınırlamak için ayarlanabilir. Böylece yöntem, uzaysal dağılımda çok seyrek dağıtılmış veya çok doğrusal olan veri kümelerinden doğru yüzey modellerinin oluşturulmasına izin verir. Avantajı ise çok sayıda numune noktasını verimli bir şekilde işlemektedir.

2.3.3. Kriging Yöntemi

Kriging interpolasyon yöntemi, bilinen yakın noktalardan alınan verileri kullanarak, diğer noktalardaki verilerin optimum değerlerini tahmin eden bir yöntemdir

(Bickel p, vd, 1999). Kriging interpolasyon yöntemini diğer yöntemlerden ayıran en önemli fark, tahmin edilmek istenilen her bir nokta veya alan için bir referans değer hesaplanabilmesidir (Başkan, 2004). Bu ise tahmin edilen değerlerin güven ölçüsüdür (Yaprak ve Arslan, 2008).

Kriging, numune noktaları arasındaki mesafenin veya yönün, yüzeydeki varyasyonu açıklamak için kullanılabilecek bir uzamsal korelasyonu yansıttığını varsayar. Kriging aracı her bir yer için çıkış değerini belirlemek için, bir nokta, belirtilen sayıda ya da belli bir mesafede tüm noktalara bir matematiksel fonksiyonu uyar. Kriging çok adımlı bir süreçtir; verilerin keşif amaçlı istatistiksel analizini, variogram modellemeyi, yüzey oluşturmayı ve (isteğe bağlı olarak) bir varyans yüzeyini keşfetmeyi içerir. Kriging, verilerde uzamsal olarak ilişkili bir mesafe veya yön sapması olduğunu bildiğiniz zaman en uygundur. Genellikle toprak bilimi ve jeolojide kullanılır.

$$Z(S_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(S_i) \quad (2.3)$$

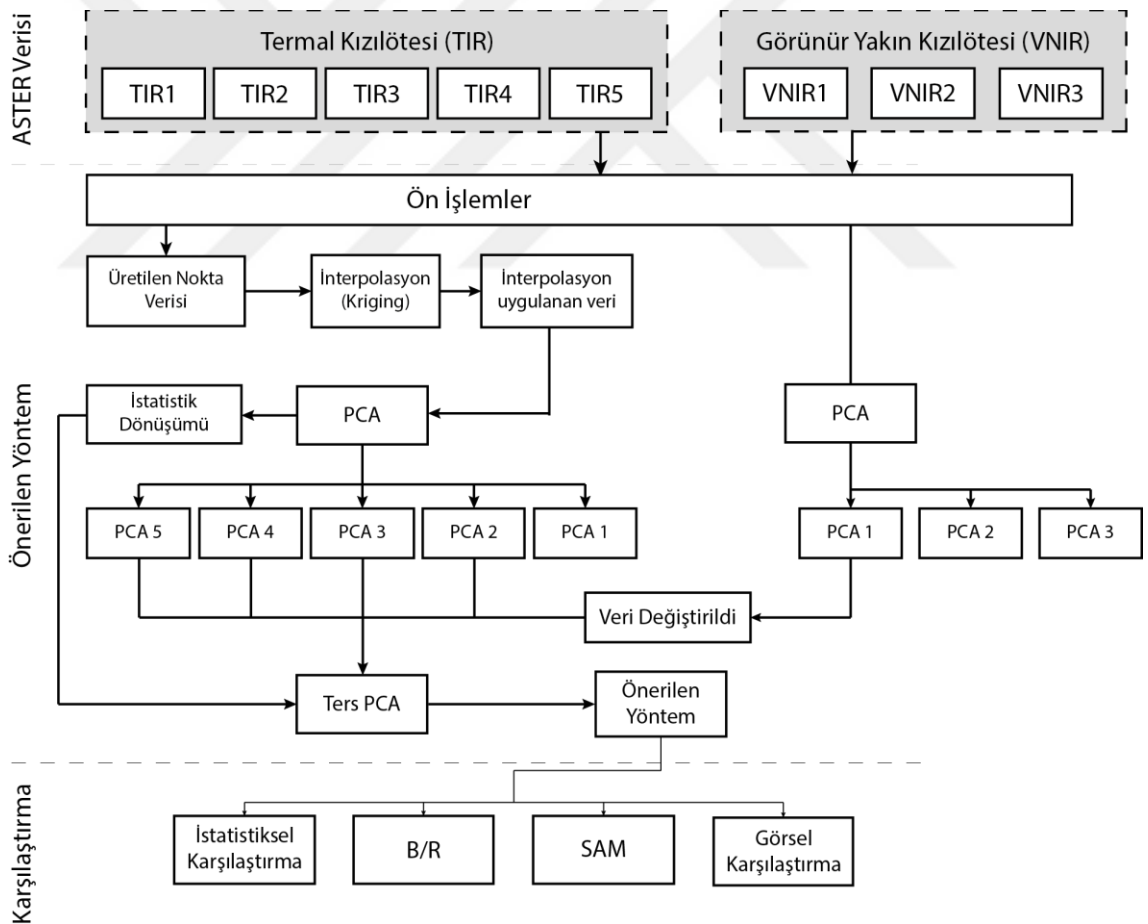
$Z(S_i)$ = i. konumda ölçülen değer, λ = i. konumda ölçülen değer için bilinmeyen bir ağırlık, (S_0) = tahmin konumu, N = ölçülen değerlerin sayısı

IDW'de ağırlık, sadece tahmin edilmek istenilen noktanın diğer örnekler ile olan mesafesine bağlıdır. Bununla birlikte, Kriging yöntemi ile ağırlıklar, yalnızca ölçülen noktalar ile tahmin konumu arasındaki mesafeye değil, aynı zamanda ölçülen noktaların genel uzamsal düzenlemesine de dayanmaktadır. Ağırlıklarda uzamsal düzenlemeyi kullanmak için, uzamsal oto korelasyonun incelenmesi gerekir. Böylece, Kriging interpolasyon yönteminde tahmin edilen ağırlık, ölçülen noktalara uygun bir modele, tahmin konumuna olan mesafeye ve tahmin konumu etrafındaki ölçülen değerler arasındaki uzamsal ilişkilere bağlıdır (Oliver M, Webster R, 1990).

3. MATERİYAL VE METOT

Çalışmada önerilen yöntem temelde dört kısma ayrılmaktadır. Öncelikle Termal (TIR) ve Yakın Kızılötesi (VNIR) görüntülerin radyometrik ve atmosferik düzeltmeleri yapılmıştır. Ardından Kriging interpolasyon yöntemi termal uydu görüntüsü üzerinde kullanılmış, Kriging kestirimi yapılan termal verinin ve orijinal VNIR görüntünün temel bileşenler analizi yapılmış ve son olarak da TIR ve VNIR veri setleri kaynaştırılmıştır.

Yöntem de ASTER TIR görüntüleri Kriging interpolasyon yöntemi ile 30 ve 15m'lik veri setlerine dönüştürülmüştür. Ardından ASTER VNIR veri seti, Kriging yöntemi ile üretilen veri seti ile kaynaştırılmıştır. Kaynaştırma sonucunda FVT30 ve FVT15 adında iki veri seti üretilmiştir. Üretilen sonuçlar ise sonraki aşamalarda, istatistiksel karşılaştırma, bant oranlama, SAM sınıflandırması ve görsel karşılaştırmalar bazında irdelenmiştir. Çalışmada mineral haritalama çalışmalarında sıkça tercih edilen termal verinin (Ninomiya ve Fu, 2019), Kriging interpolasyon yöntemi ve Temel Bileşenler Kaynaştırma yöntemleri kullanılarak mekânsal çözünürlüğünün artırılması önerilmiştir. İzlenen adımlar aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır.



Şekil 3.1. Uygulanacak yöntemlerin akış şeması

3.1. Ön İşlemler

Çalışmada kullanılacak olan uydu görüntüsü verilerinin, görüntü kaynaştırma çalışmalarına uygun hale getirilmesi gerekir. Çünkü ham uydu verileri beraberinde birçok veri problemlerini içerisinde barındırabilir. Özellikle radyometrik ve atmosferik problemler, spektral değerin önemli olduğu çalışmalarda çok dikkat edilmelidir. Buna uygun veri düzeltme çalışmalarının uygulanması gerekir.

3.1.1. Radyometrik Düzeltme

Bir cisim tarafından yayılan (emissivity) ya da yansıtılan (reflection) enerji uydu üzerinde ya da hava araçları üzerindeki sensörlere geldiğinde ilk yayımlandığı ya da yansıtıldığı zamanki haline göre değişkenlik gösterebilir. Bu durum görüntü üzerinde gürültü etkisi oluşturduğu anlamına gelir. Değişkenliğe sebep olan birçok gürültü sebebi olabilir. Örneğin gelen enerji sinyalinin, gelirken atmosferde karşılaştığı sis ya da atmosfer üzerindeki partiküller maddeler, güneşin azimut ve yükseklik değişiminin sebep olduğu cismin aydınlanmasındaki değişiklikler, algılayıcıların karakteristiği ya da görüntüleme geometrisi olabilir (Wyatt, 1978). Görüntü üzerindeki gürültü etkilerini gidermek için radyometrik düzeltme yapılması gerekmektedir.

3.1.2. Atmosferik Doğrulama

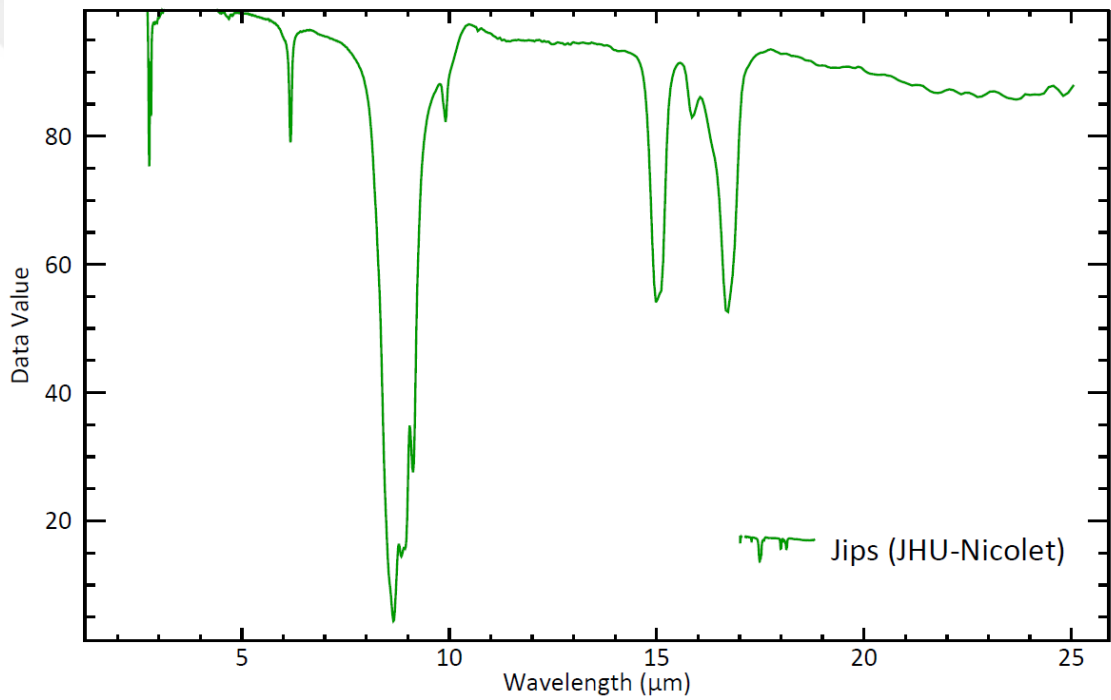
Uydulardan elde edilen görüntüler, yansıyan veya yayılan enerjinin dünya yüzeyi tarafından emilmesi, saçılması ya da atmosferik parçacıklara takılması nedeniyle etkilenmektedir. Diğer bir şekilde, atmosferik düzeltme, yüzey yansımalarının bahsi geçen dış etkenlerden arındırılması anlamına gelmektedir. Eğer çok bantlı bir görüntüde bantlara ait oran hesaplamak istiyorsak atmosferik düzeltme mutlaka yapılmalıdır. Çünkü özellikle Rayleigh saçılımı (ışığın veya diğer elektromanyetik radyasyonun, ışığın dalga boyundan daha küçük tanecikler tarafından saçılımını ifade eder) ışığın dalga boyu azaldıkça artacaktır. Bu da mavi bant çekilirken yeşil ve kırmızı banda oranla daha fazla saçılımın etkisi altında olacağı anlamına gelir. Bu nedenle oran görüntüdeki değerler gerçek değerinden belirli bir oranda yanlış olacaktır (San ve Süzen, 2010; Cooley vd. 2002; Öztan ve Süzen 2012; Palluconi 1999).

Bu çalışmada kullanılan VNIR ve TIR görüntülerin ayrı ayrı atmosferik düzeltmeleri yapılmıştır. Çalışmada atmosferik düzeltme işlemi için ENVI yazılımına ait FLAASH modülü kullanılmıştır (Atmospheric Correction Module: QUAC and FLAASH User's Guide, 2009). FLAASH modülü ortalama yükseklik verisi, uçuş zamanı ve günü, atmosferik model, erosal model gibi değerlere bakarak görüntüdeki DN (dijital değer) veya kayan nokta sensör değerlerini hem yansıma değerlerine çevirir hem de atmosferik düzeltme yapar. FLAASH, görüntülerin atmosferik su buharı, ozon, oksijen, metan, karbondioksit absorpsiyonu ve moleküler erosal dağılımını düzeltmek için MODTRAN radyasyon transfer kodunu kullanmaktadır (San ve Süzen, 2010).

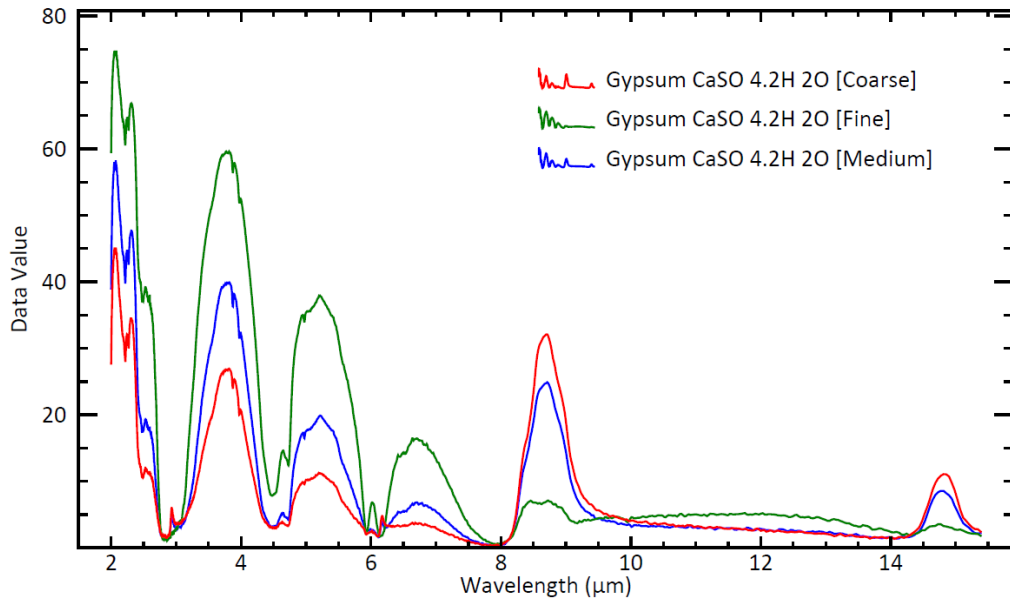
3.2. Renk Kompozit

Termal uydu görüntüleri, sadece yüzeysel sıcaklık çalışmalarında değil aynı zamanda mineral tespit çalışmalarında da kullanılan uydu verilerinden birisidir (Ninomiya, 2004). Özellikle ASTER uydusunun termal sensörü, sağladığı 5 bantlı spektral çözünürlüğü ile bu kapsamda en çok kullanılan uydu veri setlerinden birisidir. Bu sebeple birçok araştırmacı bu veri setini mineral haritalamada kullanmıştır (Ninomiya, 2019; Khan 2019).

Mineral haritalama çalışmalarında, araştırılmak istenilen verinin yansıma değeri çok önemlidir. Mineralin yansıma davranışları, hangi veri seti ile (VNIR, SWIR, TIR) mineralin bulunabileceğine imkân tanır (Pour ve Hashim, 2012). Jips mineralinin özellikle termal bölgede gösterdiği davranışlar (8-9.6 mikron) uzaktan algılama ile tespit edilmesine olanak sağlamıştır (Özcan ve Süzen, 2011).

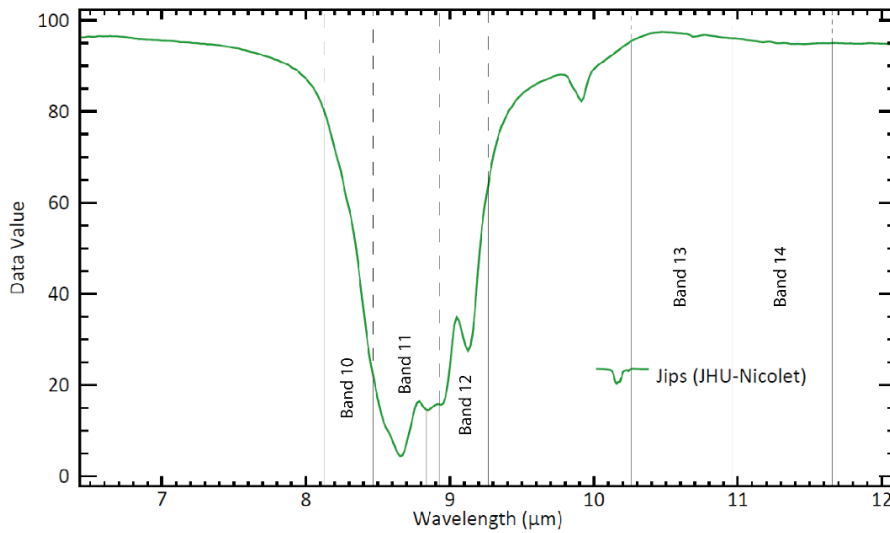


Şekil 3.2. Jips mineralinin yayılma (emissivity) değeri. John Hopkins Üniversitesi (JHU) spektral kütüphanesinden alınmıştır (1991)



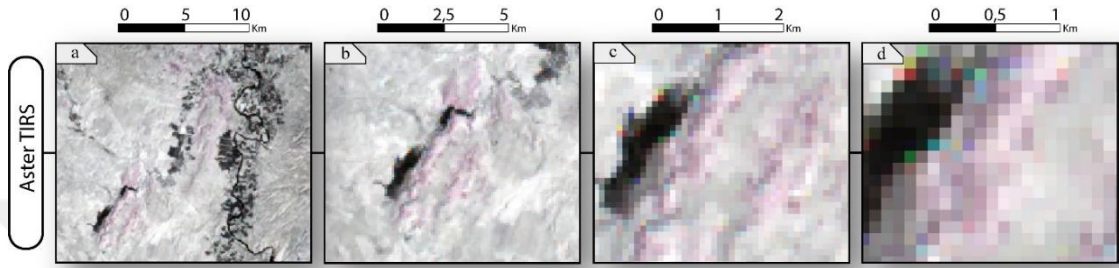
Şekil 3.3. Jips mineralinin 2-15 mikron arasındaki yansımaya değerleri gösterilmektedir. Farklı renklerdeki yansımaya değerleri, jips mineralinin tane boylarına göre yansımaya değerlerini göstermektedir

Jipsin yansımaya ve yayılma değerlerinde görüldüğü üzere, 8-9.6 mikron arasında yansımaya için pozitif, yayılma için negatif yönlü trend görülmektedir. Dalga boyları arasında görülen bu trendler, minerallerin uzaktan algılama ile tespitine olanak sağlamaktadır (van der Meer, 2004).



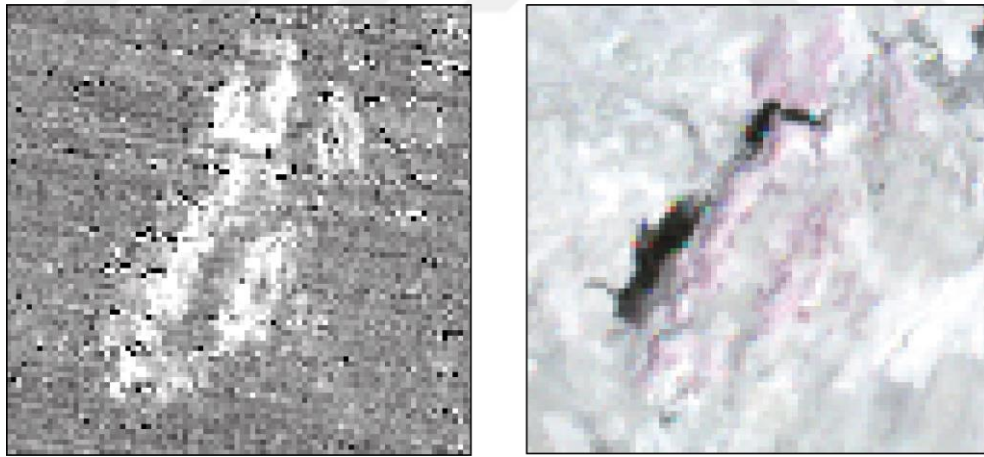
Şekil 3.4. ASTER Termal veri setinin jips mineralinin termal yayılma değeri üstündeki bant konumları (JHU kütüphanesi, Nicolet FTIR cihazı, 1991)

ASTER termal veri setinin bant 10-11-12 de gösterdiği yansıma açıları daha önce bahsedilen spektral eğilime bir örnektir. Jipsin bu doğal spektral imzası sayesinde, söz konusu eğilimin ilgili dalga boyu değerlerine sahip olan bantları kullanarak mineral haritalama çalışması yürütülmüştür. Daha önceki jips haritalama çalışmalarında, bu veriler kullanılarak jips tespit indeksi üretilmiştir (Öztan Süzen, 2011; Khan vd., 2019). Araştırmanın sonucunda, jipsin haritalandığı bölgeler saha da kontrol edilmiş ve jips numuneleri alınmıştır. Bu çalışmada jips indeksine ek olarak, jips haritalaması için uygun bir RGB bant kompoziti önerilmiştir. Önerilen kompozit sayesinde sadece jips minerali değil aynı zamanda farklı minerallerin daha detaylı görülmesi bu ön görülmüştür.



Şekil 3.5. ASTER Bant 10-11-12’de jips mineralleri kendisini pembe renkte göstermektedir. Araştırma sahasına ait alan gösterilmiştir

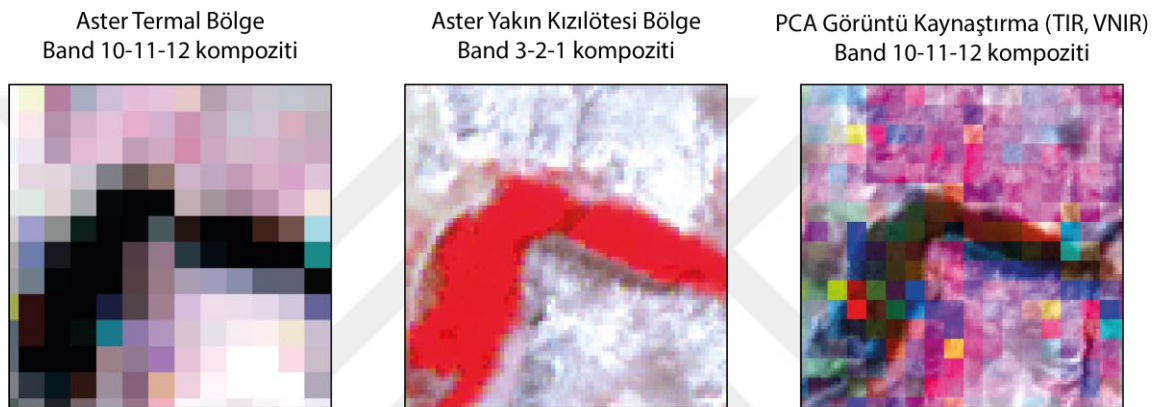
Önerilen bant kompoziti, daha önceki jips mineralinin haritalama çalışmaları ile karşılaştırılmış ve pembe renkli piksellerin jips indeksi ile uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 3.6. Jips bant indeksi (Öztan ve Süzen, 2011 ile önerilen bant kompozitin karşılaştırılması. Beyaz pikseller ile pembe pikseller jipsi temsil etmektedir

3.5. TIR Görüntülerinin Kriging Kestirimi

Mekânsal çözünürlüğü 90m ve 15m olan iki veri setini birleştirmenin de bazı zorluklar bulunmaktadır (Alparone vd., 2015). Bir adet ASTER Termal verisine (90m) piksele 36 adet ASTER VNIR (15m) piksel sığmaktadır. Çözünürlük farkı 36 kattır. Yani ASTER TIR veri setini ASTER VNIR veri seti ile birleştirmek verinin mekânsal çözünürlüğünü 36 kat artırmak demektir. Ancak bu çözünürlük farkından kaynaklı görüntü birleştirme çalışmalarında bazı piksel hataları gözlenebilir (Pohl ve van Genderen, 2017). Çünkü kaynaştırılmak istenilen iki veri türünün mekânsal çözünürlük farkı arttıkça, birleştirilen görüntülerin piksel uyumları bozulacaktır. Mekânsal ve spektral çözünürlüğü yüksek olan görüntülerin çözünürlük detayları, kaynaştırma işleminden sonra bozulmaya başlayacaktır (Pohl ve van Genderen, 2017).

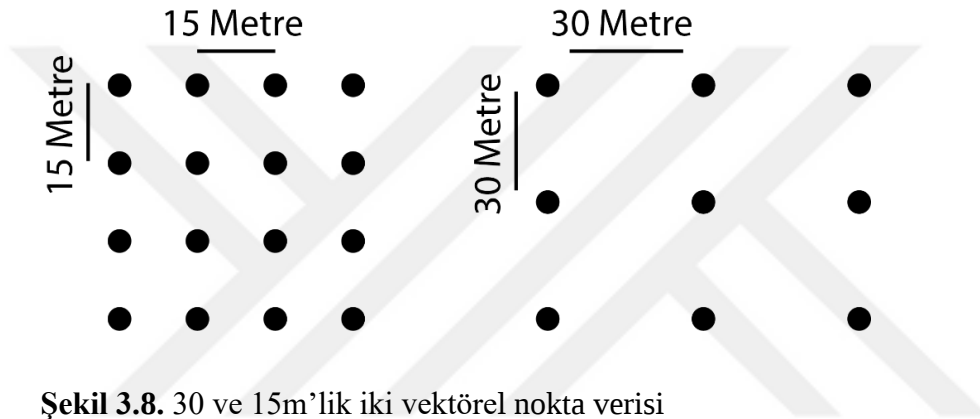


Şekil 3.7. 90 ve 15m lik kaynaştırılmış iki verinin karşılaştırılması. Mekânsal çözünürlük farkının fazla olması sebebi ile piksel bozulmaları görülmektedir

Bu çalışmada önerilen ise, jeolojik araştırmalar için oldukça değerli olan termal veri setinin, görüntü kaynaştırma çalışmasından sonra daha başarılı sonuçlar verebilmesi için piksel değerlerini Kriging interpolasyon yöntemi ile indirmektedir.

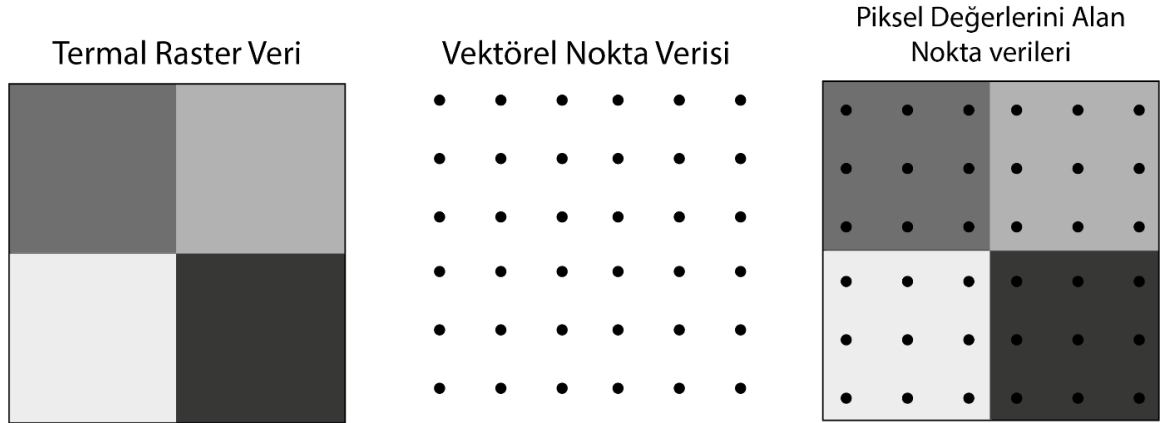
Kriging interpolasyon yöntemi, mekânsal kestirim çalışmalarında sıkça kullanılan interpolasyon yöntemlerinden birisidir (Teng vd., 2014; Marinoni, 2003; Badel vd. 2011; Bargaoui ve Chebbi 2009; Taboada vd. 2008). Kriging yöntemdeki tahmin hesaplamalarında, noktaların mesafelere göre davranışları diğer yöntemlere göre daha detaylı ilişkilendirildiği için, tahmin etme başarısı olumlu görülmüştür (Bickel vd., 1999; Bastante 2008; Oliver ve Webster, 1990). Sadece piksellerin mekânsal çözünürlüğünü yükseltmek değil, aynı zamanda literatürde “miksel” olarak adlandırılan (Jenicka, 2021) ve farklı yansıma değerlerinin karıştığı pikselleri azaltmak hedeflenmiştir.

Kriging interpolasyon yönteminin, raster görüntülerde uygulanabilmesi için, raster görüntünün nokta formatına dönüştürülmesi gerekir. Burada ham olan ASTER Termal görüntü veri setinin, nasıl nokta formatına dönüştürüleceği oldukça önemlidir. Çünkü noktalar arası mesafenin algoritmanın bütününe etkilemesi sebebi ile, noktalar arası mesafenin doğru seçilmesi gerekmektedir. Ayrıca sadece Kriging interpolasyon yönteminin kullanılması önemli değildir, aynı zamanda önerilen yöntemin, ASTER Termal veri setindeki ham uydu görüntülerinin spektral değerlerini bozmaması gerekir. Çünkü spektral değeri bozulmuş uydu görüntüsünün mekânsal çözünürlüğü artsa da sonuçtaki spektral imza tespitinin imkânı da kaybolur. Bu sebep ile çalışma da 30 ve 15m aralıklarla alınmış iki nokta verisi oluşturulmuştur. Araştırma da noktalar arası mesafenin değişmesi durumunda tahmin algoritmasının nasıl sonuç göstereceği, hangi nokta mesafesinin ham veriyi daha az bozduğu ve jeolojik araştırmalar için hangi verinin daha avantajlı olabileceği tartışılacaktır. Bu sebep ile iki tip nokta mesafesi tercih edilmiştir.



Şekil 3.8. 30 ve 15m'lik iki vektörel nokta verisi

Ardından üretilen nokta verileri, görüntü işleme çalışmasının yapılmak istendiği ASTER Termal veri setinin üzerine konumlandırılır. Nokta verileri eşit ölçüde görüntü üzerinde coğrafi olarak konumlanır. Noktaların, raster görüntüler ile coğrafi olarak eşleşmesinden sonra, noktanın altında kalan piksel değeri, nokta verisine aktarılır. Aktarım işleminden sonra, raster görüntüsüne ait olan coğrafi ve spektral piksel değerleri, nokta verisinin özniteliğine kaydedilmiş olur. Sonuçta raster görüntüsünün öznitelik değerlerine sahip ve mesafesi 30 ve 15 m'den oluşan iki nokta veri seti üretilir. Bu uygulama ASTER Termal veri setindeki her bir bant için tekrar tekrar uygulanır.

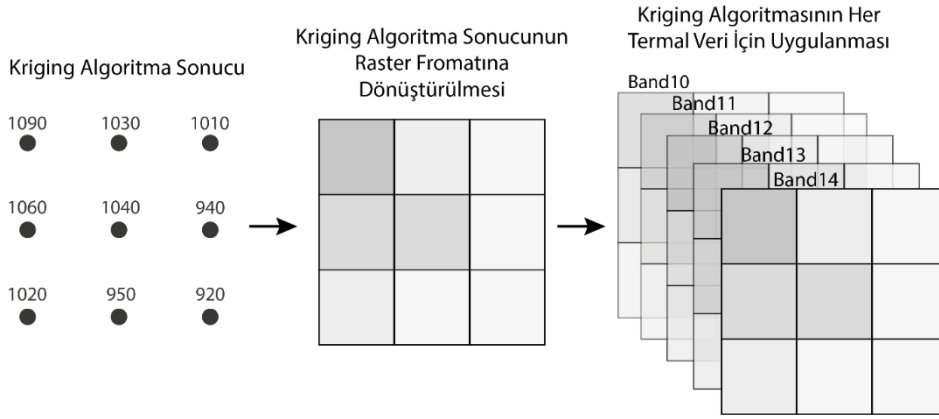


Şekil 3.9. ASTER Termal uydu görüntüsünün verilerini kaydeden nokta verisi

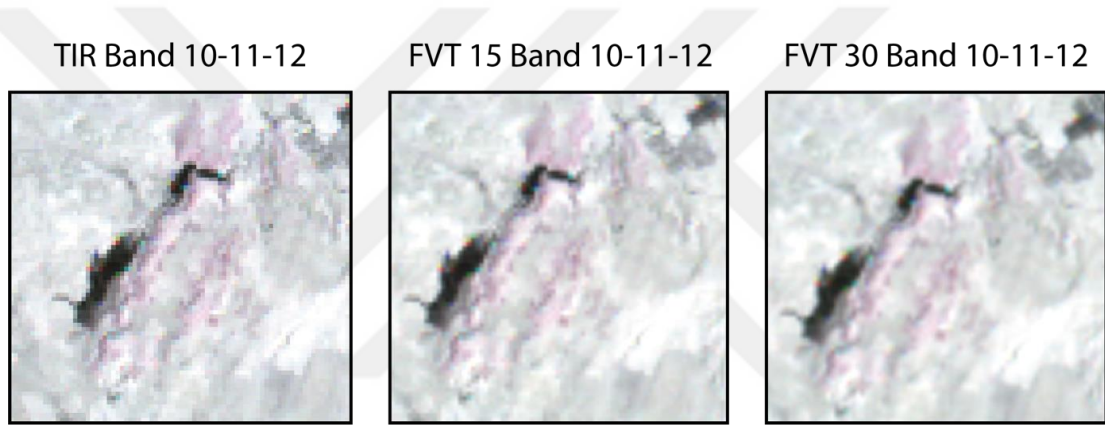


Şekil 3.10. Kriging algoritmasının uygulanması

Kriging algoritması, 15 ve 30m lik veri setleri ile hazırlanan nokta gridleri için ayrı ayrı kullanılır. Kriging algoritmasının işlemleri tamamlandıktan sonra, 15 ve 30m’lik nokta gridlerden üretilen iki tahmini veri seti oluşacaktır. Bu nokta veri setlerinin tekrar “Raster” görüntü şekline dönüştürülmesi gerekir. Çünkü çalışmadaki görüntü işleme çalışmalarının uygulanabilmesi için (bant kompozit, bant indeks), görüntünün raster formatında olması gerekir.



Şekil 3.11. Kriging algoritmasının her bir veri için uygulanması



Şekil 3.12. Kriging algoritması uygulanan görüntülerin ve ham uydu görüntüsünün raster formatındaki karşılaştırılması

ASTER Termal veri setine (5 bant) ait bantlar, kriging interpolasyon yöntemi ile 15 ve 30m mekânsal çözünürlüklere sahip iki farklı veri setine dönüştürülmüştür. Elde edilen raster görüntüler FVT 15 (15m’lik nokta gridinden (ızgaralarından) üretilen raster görüntüsü) ve FVT 30 (30m’lik nokta gridinden üretilen raster görüntüsü) olarak adlandırılmıştır. FVT 15 ve FVT 30 termal veri setleri üretildikten sonra sahip oldukları mekânsal çözünürlük sebebiyle, yine 15m mekânsal çözünürlüğe sahip olan ASTER VNIR görüntüsü ile birleştirilebilir.

3.6. Temel Bileşenler Analizi ile Görüntü Kaynaştırma

Görüntü birleştirme çalışmalarını temelinde iki veri seti yatmaktadır. Yüksek çözünürlüklü veri ve düşük çözünürlüklü veri setleridir. Burada yüksek çözünürlüklü verinin mekânsal detayları, düşük çözünürlüklü verinin spektral bilgisi birleştirilir. Az önceki aşamalarda, spektral çözünürlüğü yüksek ancak mekânsal çözünürlüğü düşük veri setini görüntü kaynaştırma çalışması için hazırlanmıştır. Bundan sonraki aşamada ise ASTER VNIR uydu görüntüsü kaynaştırılacaktır.

Uydu görüntülerindeki görüntü kaynaştırma metotları dışında (örn; Brovey, PCA), görüntü kaynaştırma elemanlarının ne olduğu da oldukça önemlidir (VNIR, SWIR, TIR) (Alparone vd., 2015). Hangi verinin mekânsal içeriğinin hangi veri ile zenginleştirileceği, sonucu doğrudan etkileyecektir. Görüntü kaynaştırma tekniklerinin karşılaştırıldığı kriterlerden birisi de budur (Laben ve Brower, 2000). Örneğin, ASTER TIR veri setlerinde yapılan kaynaştırma çalışmalarında, VNIR veri setinin görüntü kalite indeksleri geçmiş çalışmalarda araştırılmıştır. Bu yapılan çalışmalarda VNIR veri setinin ikinci bandının (0.63-0.69 Mikron), diğer bantlara göre daha yüksek skorlar gösterdiğinden bahsedilmiştir (Alparone, 2015). Ancak temel bileşenler analizinin uygulanması için bütün VNIR bantlarının kullanılması gerekmektedir.

Spektral çözünürlüğü yüksek ancak mekânsal çözünürlüğü düşük termal veri setinin Kriging interpolasyon yöntemi ile 15 ve 30m'lik tahmin görüntülerinin üretilmesi ile beraber VNIR veri seti üretilen termal veri ile kaynaştırılacaktır. Bu çalışmada, görüntü kaynaştırma tekniği olarak Temel Bileşenler Analiz yöntemi ile yapılan kaynaştırma tekniği önerilmiştir. Temel bileşenler Analiz tekniği (PCA), hem kaynaştırma teknikleri içerisinde (Pohl ve van Genderen, 2017), hem de mineralojik haritalama çalışmalarında sıkça kullanılan analiz yöntemlerinden birisidir (Loughlin, 1991) (Bedell vd., 2009). Bu doğrultuda, interpolasyon edilen termal veriler ile VNIR band2'nin temel bileşenleranalizi ile görüntü kaynaştırma işlemi yapılmıştır.

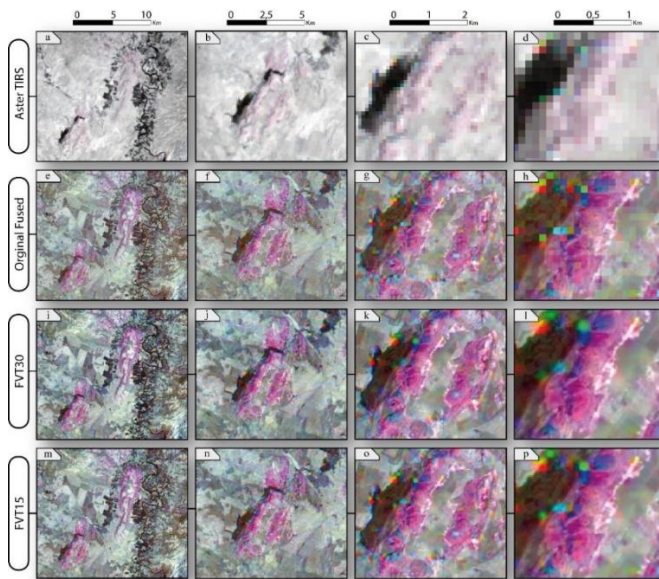
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde 7 farklı karşılaştırma yöntemi ile bulgular tartışılmıştır. Öncelikle kullanılan uydu görüntüleri ile önerilen yöntemin renk kompozitleri karşılaştırılmıştır. Ardından gelen görsel sonuçlar ek olarak bölgenin jeolojik haritası üzerinde irdelenmiştir. Kullanılan verilerin SAM sınıflandırması, bant oranlama ile sülfat tespiti, istatistiksel karşılaştırması, spektral profil karşılaştırmaları, arazi çalışması ve son olarak da numunelerin kimyasal analizi bulgular kısmına eklenmiş ve sonuçları tartışılmıştır.

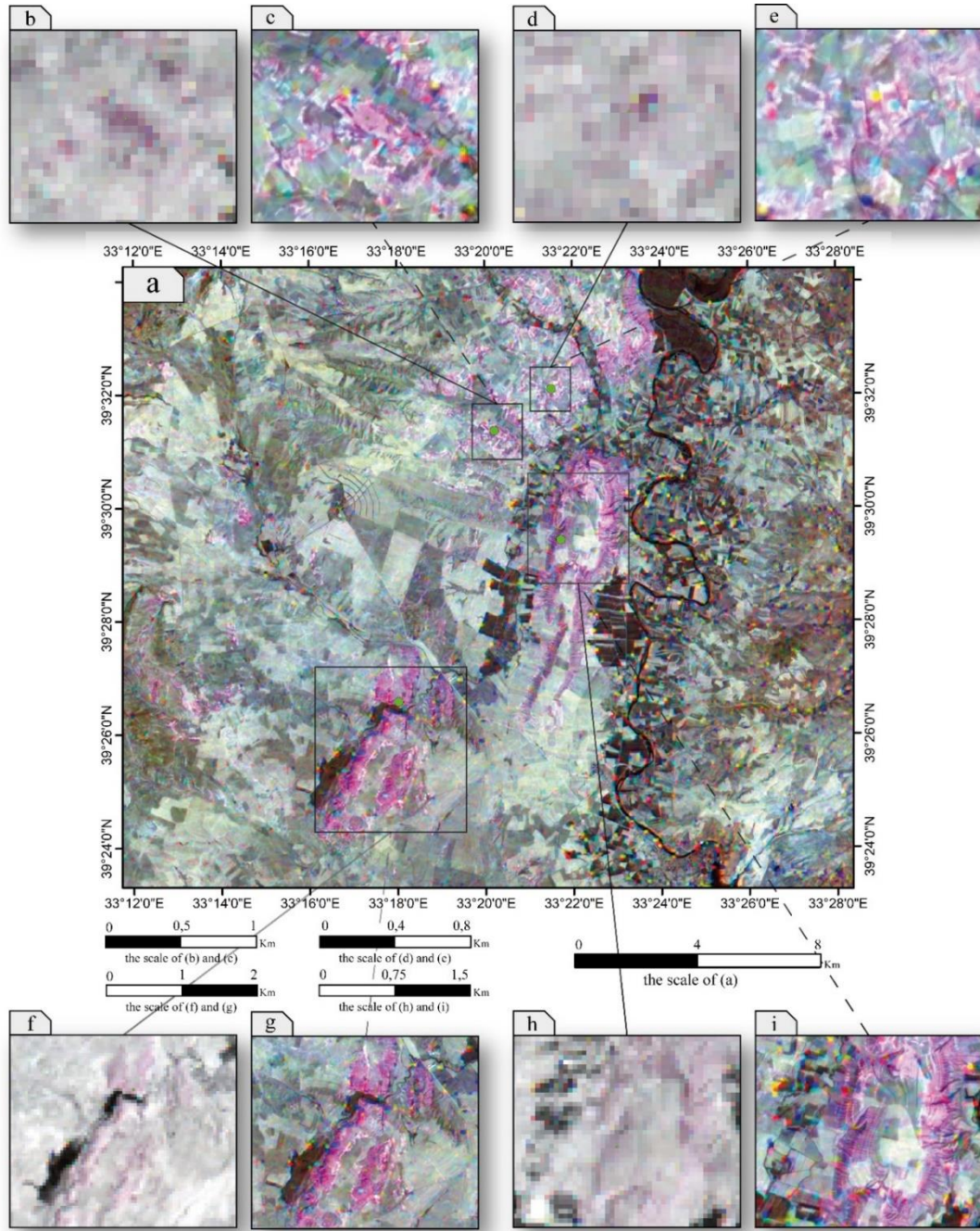
4.1. Görsel Karşılaştırma

Klonus ve Ehlers (2009), birçok görüntü kaynaştırma yönteminin olduğunu ve bu yöntemlerin performans analizlerinin yapılması için çeşitli istatistiksel yöntemler geliştirildiğinden bahsetmiştir. Ancak araştırmanın sonucunda her ne kadar kaynaştırılan görüntüler başarılı değerler gösterse de görsel karşılaştırmada söz konusu yöntemlerin başarısız görünebileceği sonucuna varılmıştır. Bu bölümde de, kaynaştırılan görüntülerin sadece istatistiksel olarak karşılaştırılmaması gerektiği savunulmaktadır. Görsel karşılaştırmaların en yalın bir şekilde yapılabileceği yöntemlerden birisi olan RGB bant kompoziti ile önerilen yöntem değerlendirilecektir.

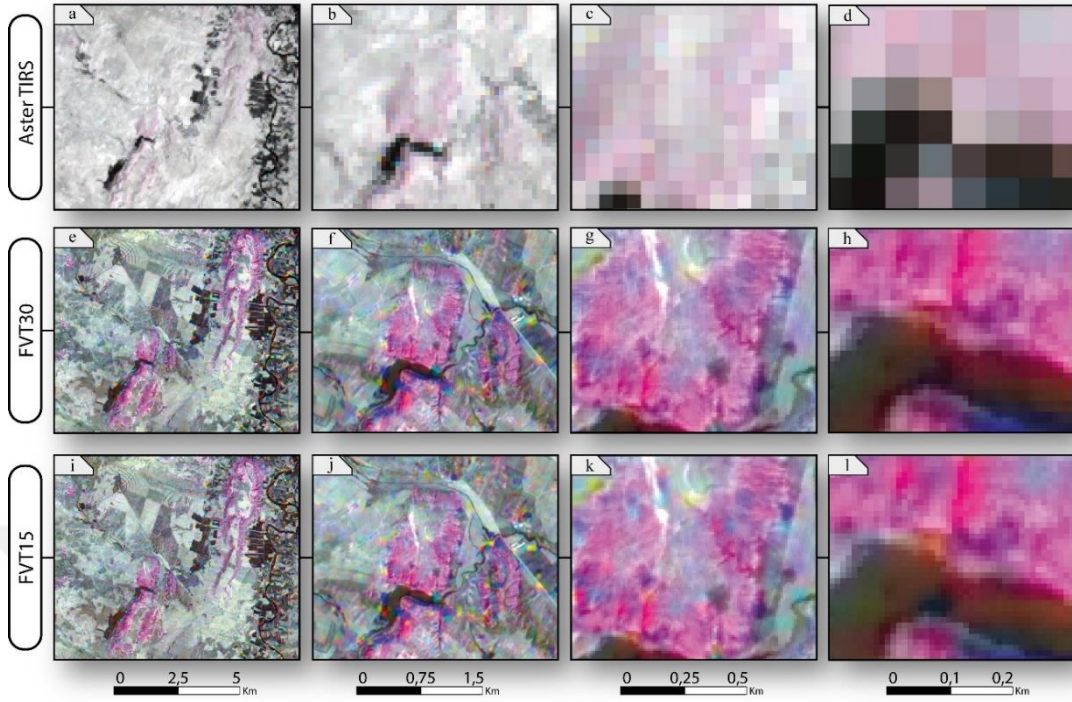
Şekil 4.1’de görüldüğü üzere, a-b-c-d görüntüleri orijinal ASTER termal görüntülere aittir. e-f-g-h görselleri ise ham ASTER görüntülerinin temel bileşenler yöntemi ile kaynaştırılmış halidir. i-j-k-l görselleri FVT30, m-n-o-p görselleri ise FVT15 yöntemlerine ait sonuçlardır. Özellikle ham veri ile üretilen kaynaştırma verisinde, gürültülü pikseller daha belirgin görülmektedir. FVT yöntemi ise gürültülü pikselleri bulanıklaştırarak belirginliğini azaltmıştır. Özellikle h,l ve p görsellerinde gürültülü piksellerin görüntü üzerinde ki belirginliği net bir şekilde görülmektedir. Görüntü üzerindeki gürültülerin giderilmesi için interpolasyon yöntemlerinin kullanıldığı ve olumlu sonuçların alındığı başka çalışmalarda literatürde bulunmaktadır (Jing ve Wu, 2012).



Şekil 4.1. Kullanılan verilerin renk kompozit karşılaştırması



Şekil 4.2.'de ise çalışma alanına ait jipsli birimlerin karşılaştırılması, orijinal termal görüntü ile FVT15 arasında yapılmıştır. Burada, (a), (c), (e), (g), (i) görselleri FVT15 yöntemine aittir. (b), (d), (f), (h) görselleri ise orijinal ASTER termal görüntüsüne aittir. Jipsli alanlar jeolojik haritalardan faydalanılarak seçilmiştir



Şekil 4.3.'te ise, jipsli birimlerin sınırları daha detaylı incelenmek istenmiştir. (a), (b), (c), (d) görselleri orijinal ASTER görüntüsüdür. e-f-g-h görselleri FVT30, i-j-k-l görselleri ise FVT15 yöntemlerine aittir. Mekânsal çözünürlüğün arttırılması ile jipsli birimler daha net ortaya çıkmıştır

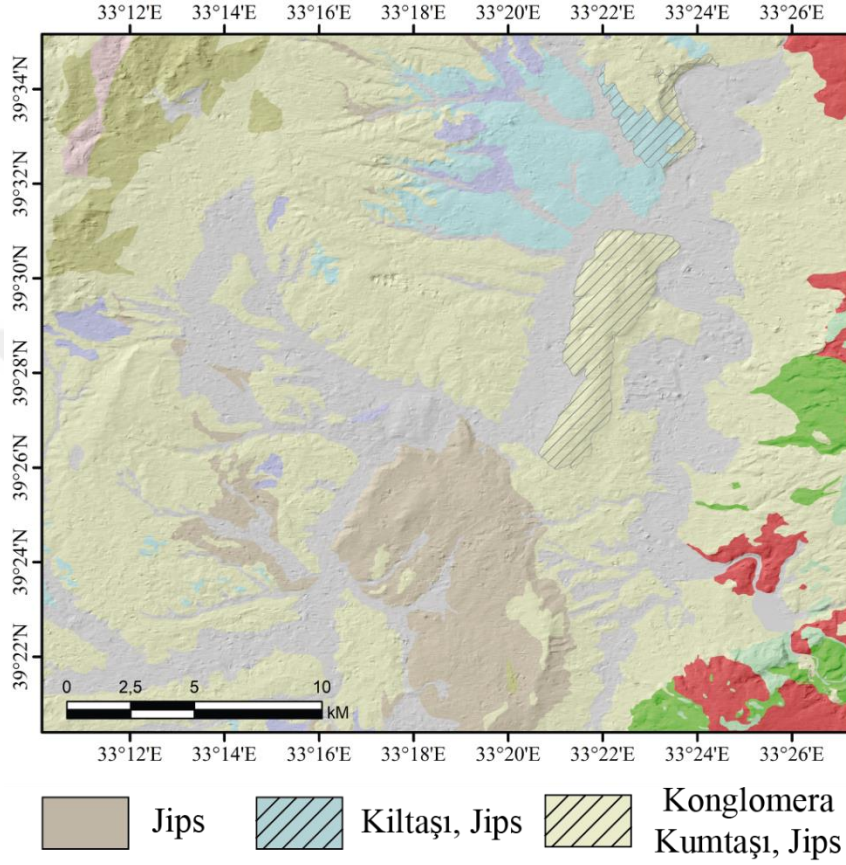
4.2. Jeolojik Veri ile Karşılaştırma

Uydu görüntüleri üzerinde yapılan bant kompozitler, uzaktan algılama da kullanılan en temel analizlerden birisidir. Özellikle jeolojik araştırmalarda bu konu daha büyük önem taşır. Çünkü jeolojide minerallerin ve kayaçların haritalanması, bölgenin jeolojisini anlamak için oldukça önemlidir. Aslında uydu görüntülerinde hazırlanan bant kompozitler, jeolojik haritalar gibi geniş bir bakış açısı sunmaktadır. Bölgesel olarak geniş alanlara yayılan litolojik birimlerin, bu veriler ile irdelenmesi bu sebeple oldukça faydalıdır.

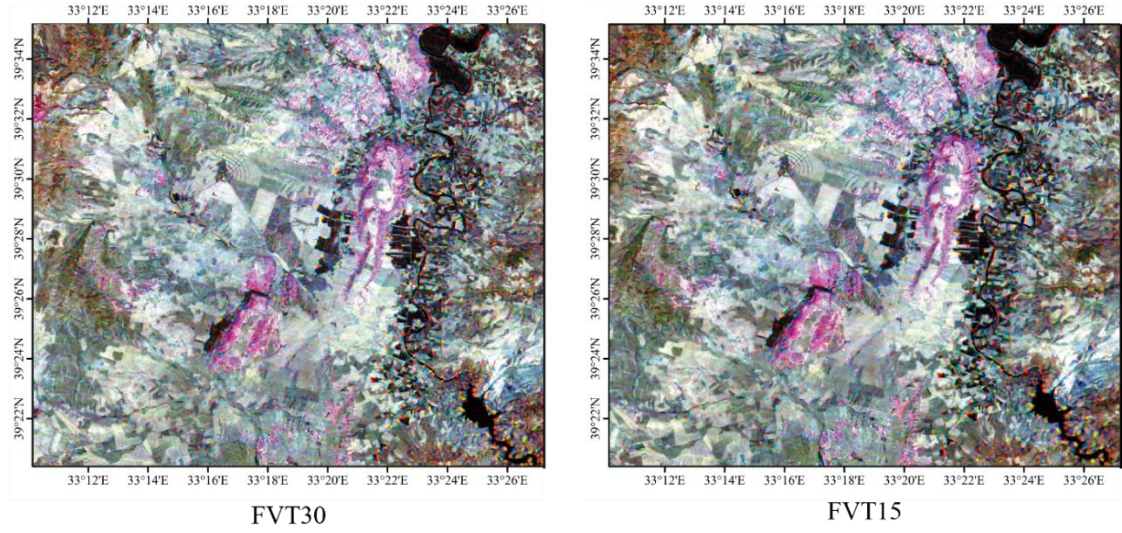
Önerilen çalışmadaki jipsli birimler ile geçmişteki jeolojik araştırmalar karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmanın yapılması için ise, jips tespiti için uygulanan jips bant kompoziti ve bölgenin jeolojik haritası kullanılmıştır.

Bölge de jipsli birimler üç şekilde karşımıza çıkmaktadır. Bunlar jipsli birimler, kilaşı ile karışık jipsli birimler ve konglomera ile karışık jipsli birimlerdir (Dönmez, 2007). Sadece jips içeren birimlerin, bu yöntemler ile daha detaylı görünmesi beklenir. Çünkü önerilen yöntemler jips mineralinin yansıma eğrisine göre çıkarıldığı için, diğer kayaçlar ile karışmış birimlerin, spektral yayılma eğrilerinde bulunan jips mineraline ait yayılma değerleri değişecektir. Diğer kayaçların yayılma değerleri jipsin yayılma değeri ile karışacaktır. Bu sebeple tamamen jipsten oluşan birimler, görüntü işleme çalışmalarında daha belirgin olacaktır.

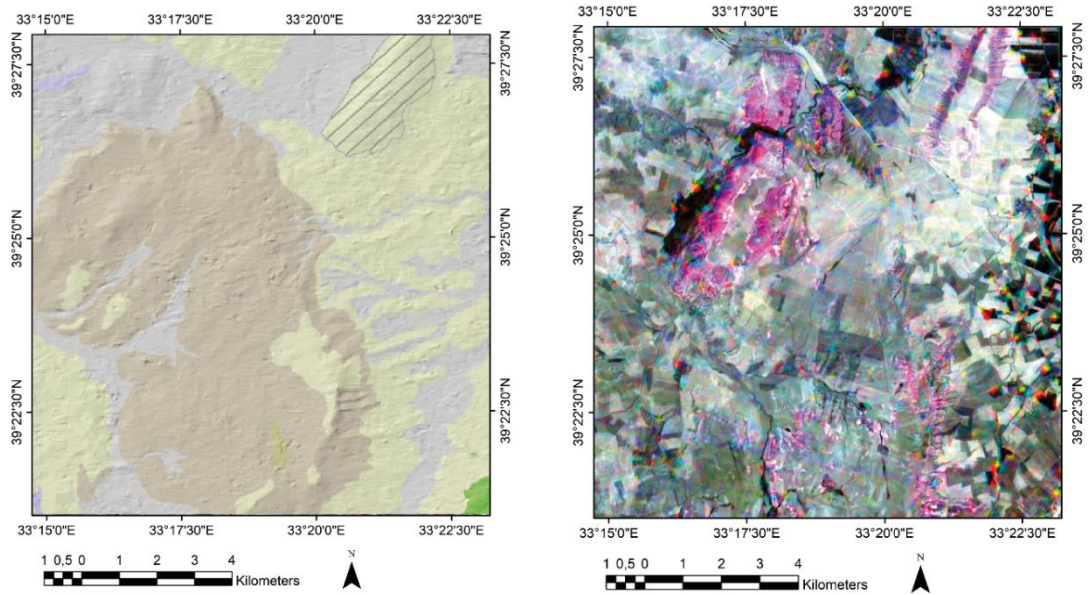
Çalışma alanına ait jeolojik harita ile FVT30 ve FVT15 verileri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma için ilk olarak, hazırlanan termal veriler bant 10-11-12 kompoziti ile irdelenmiştir. Değerlendirme de jips içeren jeolojik birimlerin, önerilen FVT veri setleri ile uyum sağladığı görülmüştür. Harita üzerindeki jips, kıltaşı-jips, konglomera-jips birimleri, termal görüntüdeki pembe pikseller ile örtüşmektedir.



Şekil 4.4. Çalışma alanına ait jips haritası. Jips minerali bölgede, Jips, Kiltası-Jips, Konglomera-Kumtaşı-Jips şeklinde karşımıza çıkmaktadır

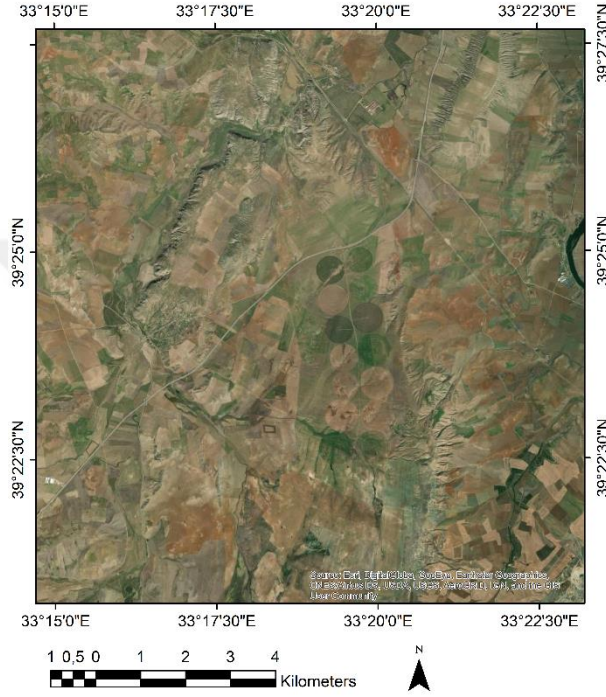


Şekil 4.5. Çalışma alanına ait bant kompoziti. Jips minerali görüntüde pembe pikseller ile kendini göstermektedir. Jeolojik harita da işaretlenen jipsli birimler ile pembe pikseller uyumludur



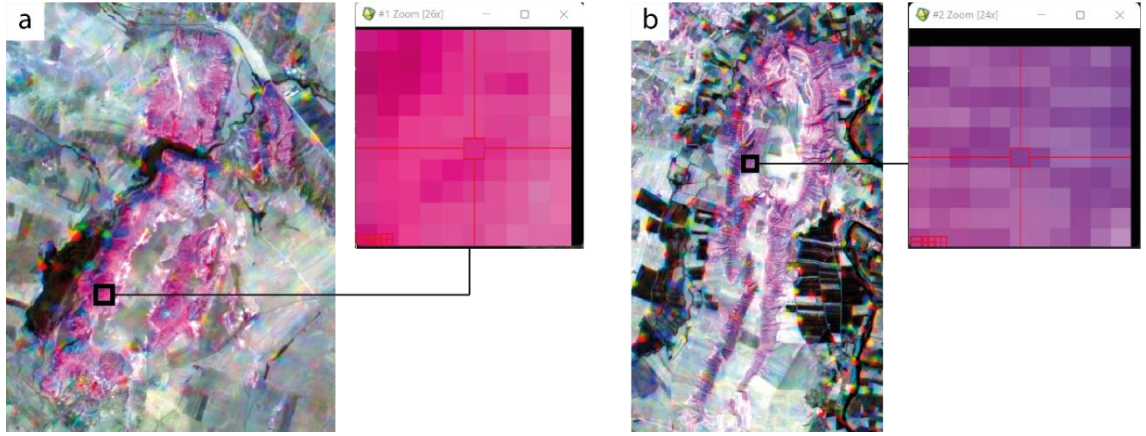
Şekil 4.6. Jeolojik harita ile önerilen yöntemin karşılaştırılması. Jeolojik haritadaki kahve renkli birimler ile pembe pikseller uyum sağlamaktadır. Ancak jeolojik harita da jipsli birimler daha geniş alanlara yayılım göstermektedir

Optik ve termal sensörler ile çalışan ASTER veri setleri, zeminin yüzey kısmından gelen yansıma ve yayılma değerlerini kaydettiği için araştırılan minerallerin yüzeyde mostra vermesi gerekmektedir. Ancak çalışma sahası olarak seçilen bu alanda, tarım arazileri de bulunmaktadır. Tarım arazileri üzerindeki zirai çalışmalar, yetiştirilen çeşitli bitkiler, kısacası mostra veren mineralleri veya kayaçları örtecek objeler, o bölge de ki minerallerin yansıma ve yayılma eğrilerini değiştirir. Bu sebeple uygulanan uzaktan algılama yöntemlerinden ziyade, fiziksel şartların sağlanmamasından dolayı mineraller tespit edilemeyebilir.



Şekil 4.7. Çalışma alanına ait tarım arazileri. Bitki örtüsü, bazı alanlarda mostra veren jipsleri kapatmaktadır (Bing görüntüsü, 2021)

Dikkat edilmesi gereken bir başka bulgu ise jeolojik haritadaki, başka kayaçlar ile karışık olmayan ve sadece jipsin ifade edildiği alanların, önerilen yöntemde daha koyu pembe pikseller ile karşımıza çıkmasıdır. Konglomera ve kilaşı ile karışık bir şekilde bulunan jipsli bölgeler, nispeten daha açık renkli pembe tonlarına sahiptir. Jipsin birim alandaki yoğunluğunun azalması, ona ait olan yayılma değerlerinin termal sensöre daha az ulaşmasına sebebiyet verecektir. Kısacası jipsli alanları bulmanın yanında, jipsin daha yoğun görüldüğü alanlarda tespit edilebilir.



Şekil 4.8. Şekilde (a) jips bulunan birimler, (b) şeklinde ise konglomera-kumtaşı-jips karşımı görünmektedir. Her iki pikselde de jips minerali görünmektedir. Ancak a şeklinde daha yoğun bulunduğu önerilen yöntemle de fark edilmiştir

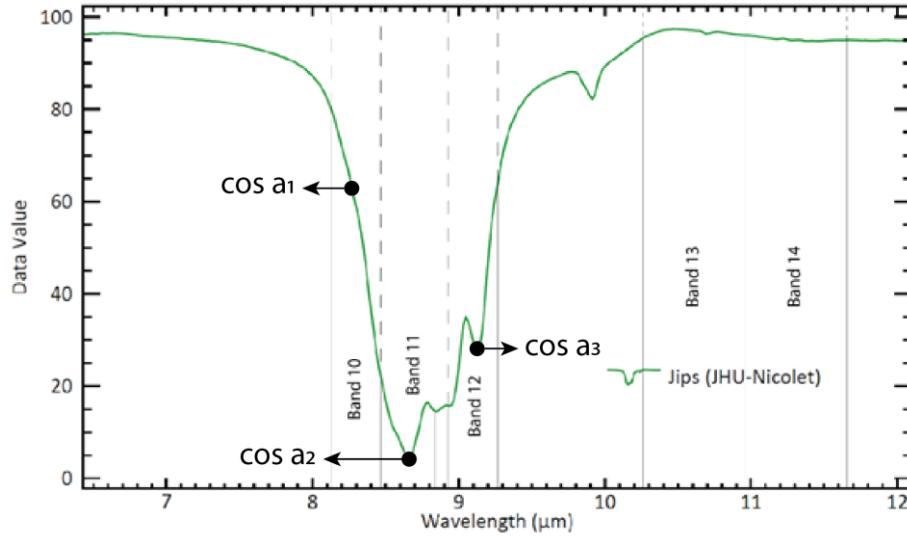
4.3. Spektral Açı Haritalama (SAM)

Spektral Açı Haritalaması (SAM), özellikle mineral haritalama için kullanılan denetimli sınıflandırmalardan birisidir (Shahriari vd., 2015). SAM sınıflandırmasında, referans spektrumu ve hedef spektrumun spektral benzerliği bu spektrumlar arasındaki açı kullanılarak karşılaştırılır (Pour ve Hashim, 2012). SAM iki spektral vektör arasındaki açının mutlak değerini hesaplayan bir metriktir. Her iki spektral vektör arasındaki açı sıfır ise bu görüntüler arasında spektral fark yoktur.

$$\cos \alpha = \frac{\sum_{i=1}^N A_i B_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^N A_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N B_i^2}} \quad (4.1)$$

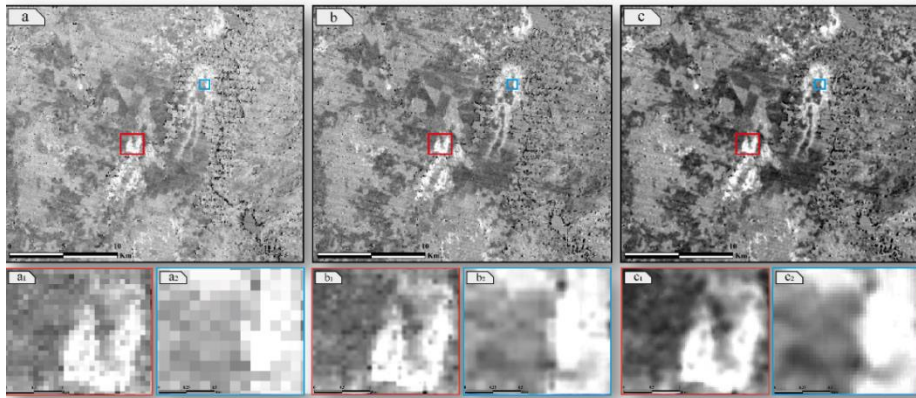
Bu formüldeki N toplam bant sayısını, $A=(A_1,A_2,A_3,...,A_N)$ ve $B=(A_1,A_2,A_3,...,A_N)$ sırasıyla çok bantlı görüntü ve kaynaştırılmış görüntüde ki iki spektral vektörü göstermektedir. α ise belirli bir pikseldeki spektral açığı ifade etmektedir. Bütün görüntüdeki SAM değerini hesaplamak için bütün α değerlerinin ortalaması alınır. Kaynaştırılmış görüntü ve orijinal çok bantlı görüntüdeki iki spektral vektör birbirlerine paralel olabilir ancak eğer bu vektörlerin büyüklükleri farklı ise radyometrik bozulma meydana gelir. SAM yönteminin dezavantajı kaynaştırılmış görüntülerdeki radyometrik bozulmayı tespit edememesidir (Saroğlu vd., 2004).

Bu sınıflandırma ENVI görüntü işleme yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte, JHU spektral kütüphanesine ait olan jips mineralinin spektral profili (Gypsum/Nicolet) referans profil olarak seçilmiştir. Daha sonra, kullanılacak uydu görüntüsü ile referans değerin spektral aralıkları karşılaştırılır. Uydu görüntüsünün bant aralıkları hangi spektral bölgede ise o aralığa ait referans değerin açısı sınıflandırmaya dahil edilir.



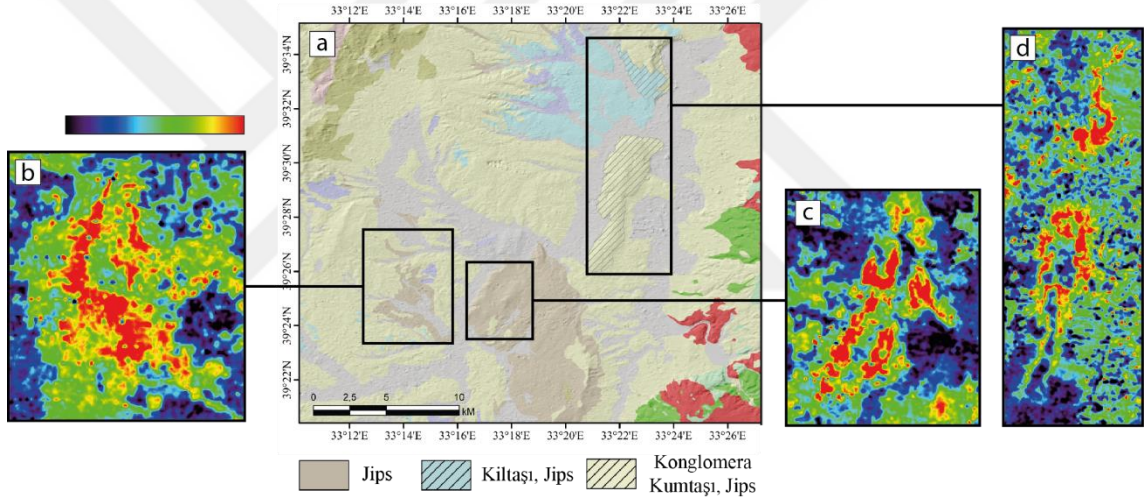
Şekil 4.9. Her bir bant için referans alınan spektral açılar gösterilmektedir (JHU, Nicolet FTIR cihazı, 1991)

ENVI yazılımı bu işlemin sonunda, açı uyumlarına göre hesaplanan jips olasılık verisi üretir. Jips olasılığı yüksek olan pikseller, yüksek piksel değerleri gösterir. Bu sayede jips içeriği yüksek olan alanlarda belli olur. SAM sınıflandırması hem orijinal ASTER TIR görüntüsü hem de kaynaşmış görüntüler (FVT15 ve FVT30) için ayrı ayrı uygulanmıştır. Şekil 4.10. de 3 sonuç verisi gösterilmiştir. Şekildeki a görseli orijinal termal görüntü, b görseli FVT15 ve c görseli de FVT30 verileri ile üretilmiş SAM sınıflandırmasıdır. (a)-(b)-(c) görsellerinde beyaz renkli olan pikseller jips içeriği yüksek olan piksellerdir. (a1), (a2), (b1), (b2), (c1) ve (c2) görselleri ise, jips varlığı bilinen iki hedef noktanın yakınlaştırılmış görüntüleridir. Önerilen yöntemin SAM sınıflandırması, orijinal termal veri ile uyum sağlamaktadır. Sınıflandırmanın sonucunda karşımıza çıkan yoğunluk haritası, bölgenin jeolojik haritası ile de uyuşmaktadır. Ayrıca orijinal görüntüye ait olan pikseller açıkça bloklu bir doku göstermektedir. FVT15 ve FVT30 verilerinin SAM sonuçlarında jips mineralinin sınırları daha pürüzsüz ve doğal sonuçlar ifade eder.

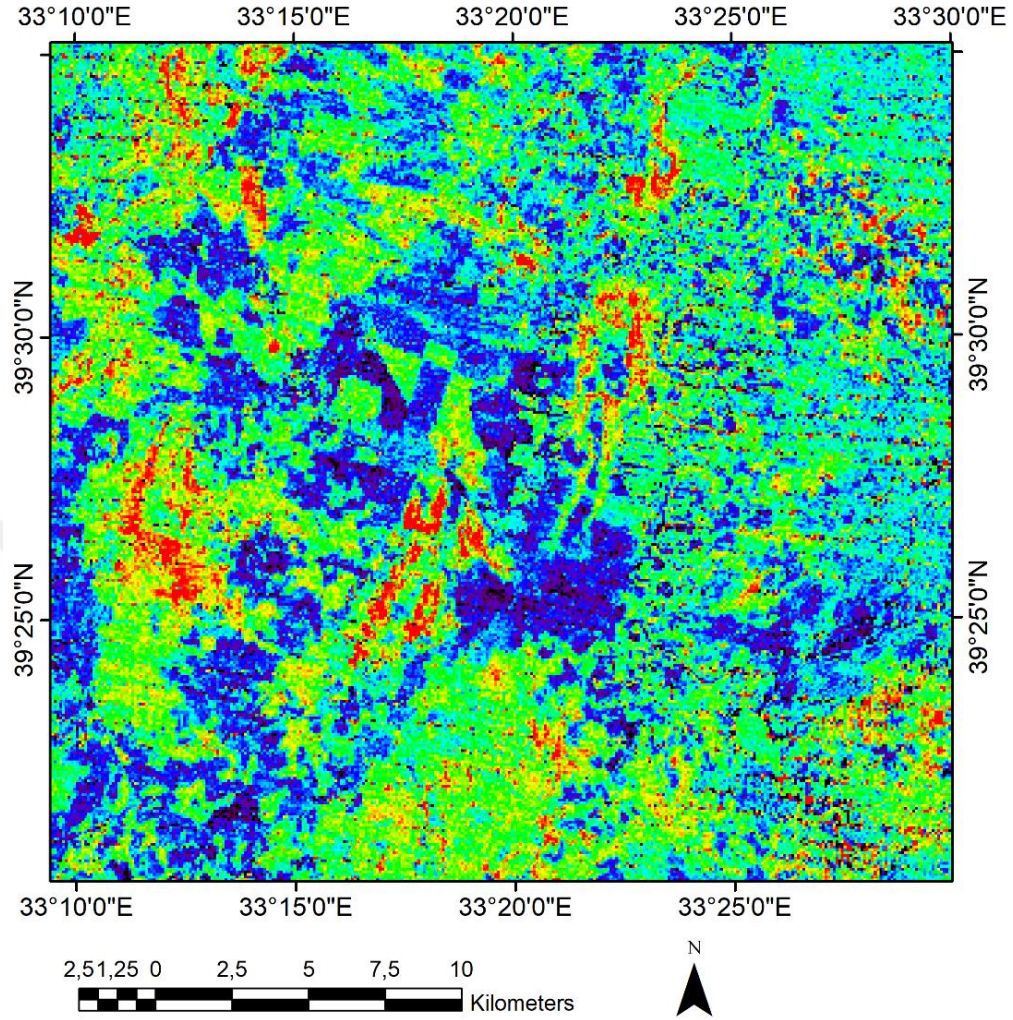


Şekil 4.10. Çalışma alanının SAM sınıflandırması gösterilmiştir. (a) görseli orijinal termal görüntü den üretilen SAM sınıflandırmasıdır. (b), (c) görselleri ise FVT30 ve FVT15 veri seti ile üretilmiştir

Şekil 4.11.'de jeolojik harita ile FVT15 verisi karşılaştırılmıştır. Jips, jips-kiltaşı, konglomera-kumtaşı-jips içeren birimler ayrı ayrı incelenmiştir. Şekilde ki (c) görselinde jipsin görüldüğü yerler ile jeolojik haritada (a) ki jipsli birimler aynı koordinatlarda uyum sağlamaktadır. Jeolojik harita da ki jipsli birimler daha geniş alanları kapsamaktadır. Bunun sebeplerinden birisinin bölge de ki tarım üretiminden kaynaklandığı daha önce bahsedilmiştir. (b) görseli de yine (a) görseli ile uyum sağlamaktadır. Ancak konumsal olarak benzerlik gösterse de, bazı bölgelerde jeolojik haritada ifade edilmeyen jips birimlerine de (b) görselinde rastlanılmıştır. (b) görselinin jips sınırlarını daha doğru işaretlediği düşünülmektedir. (d) görselinde ise, güneyde konglomera-kumtaşı-jips ve kuzeyde kiltaşı-jips birimleri kırmızı pikseller ile görüntülenmektedir. Görselde de görüldüğü gibi, diğer kayaçlar ile birlikte bulunan jips mineralleri sınıflamada kendisini belli etmektedir. Buna ek olarak, jips'in yayılma değeri ile yüksek miktarda eşleşen alanlarda jips yoğunluğunun da arttığı düşünülebilir. Kısacası (d) görselinde her ne kadar jips, başka kayaçlar ile beraber bulunsun da, sahada jips yopunluğunun arttığı ve diğer kayaçların daha az görüldüğü lokasyonların kırmızı piksellerin bulunduğu alanlar olduğu düşünülmektedir.

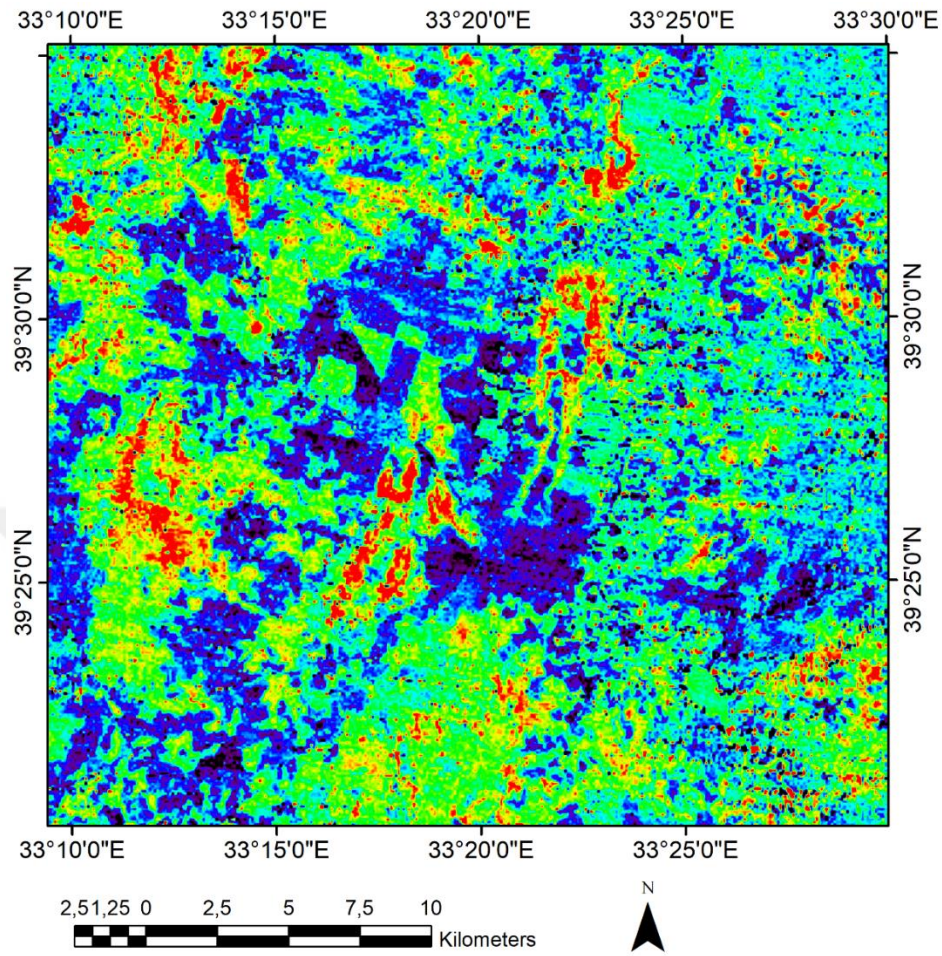


Şekil 4.11. FVT15 ile SAM verisinin jeoloji haritası ile karşılaştırılması görüntülenmiştir

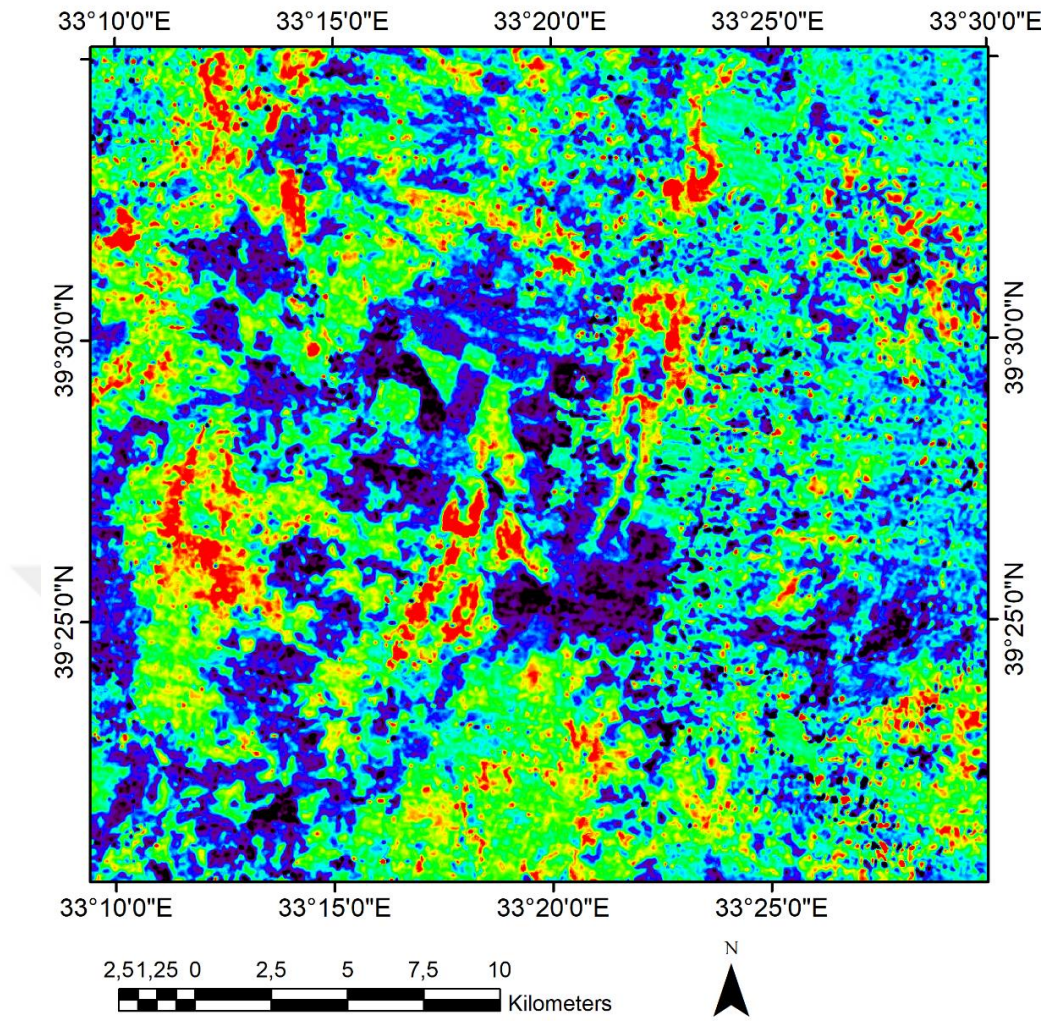


Şekil 4.12. Kaynaştırılmış orijinal termal verinin, SAM sınıflandırması. Kırmızı renkli alanlar jips yayılma değerinin en çok görüldüğü alanlardır. Siyah pikseller ise jips yayılma değerinin en az görüldüğü alanlardır

Orijinal termal verinin SAM analizinde kırmızı alanlar jipsli birimleri temsil etmektedir. Kırmızı piksellerin konumları jeolojik haritadaki jipsli sınırlar ile uyum sağlamaktadır. Ancak SAM analizinde de görüldüğü üzere, blok şeklinde görünen piksellere burada da rastlanılmaktadır. Görüntünün bazı bölgelerinde çizgisel yapı gösteren piksel geçişleri görülmektedir. Bu tarz görüntü bozuklukları, jeolojik yorumlama için olumlu değildir. Ancak FVT30 ve FVT15 veri setleri kullanılarak üretilen SAM analizinde, bloklu yapı gösteren piksellere daha az rastlanmıştır. Ayrıca görüntünün bazı bölgelerinde görünen çizgisel yapılarda azalmıştır.



Şekil 4.13. FVT30 verisinin, SAM sınıflandırması. Kırmızı renkli alanlar jips yayılma değerinin en çok görüldüğü alanlardır. Siyah pikseller ise jips yayılma değerinin en az görüldüğü alanlardır



Şekil 4.14. FVT15 verisinin, SAM sınıflandırması. Kırmızı renkli alanlar jips yayılma değerinin en çok görüldüğü alanlardır. Siyah pikseller ise jips yayılma değerinin en az görüldüğü alanlardır

4.4. Bant Oranlama

Uzaktan algılama ile yapılan jeolojik araştırmalardan bazıları ise, uydu görüntülerine ait bantların oranlaması ile yapılmaktadır (Ninomiya 2004; Gomez vd., 2005; Amer, 2010; Rajendran ve Nasir 2019; Langford 2015). Aslında bu durumda yine SAM analizinde olduğu gibi araştırılan cismin yansıma değerine bağlıdır. Bant oranlamada belli bir minerali tespit etmek için tercih edilen bantlar, o mineralin yansıma eğrilerine göre belirlenir.

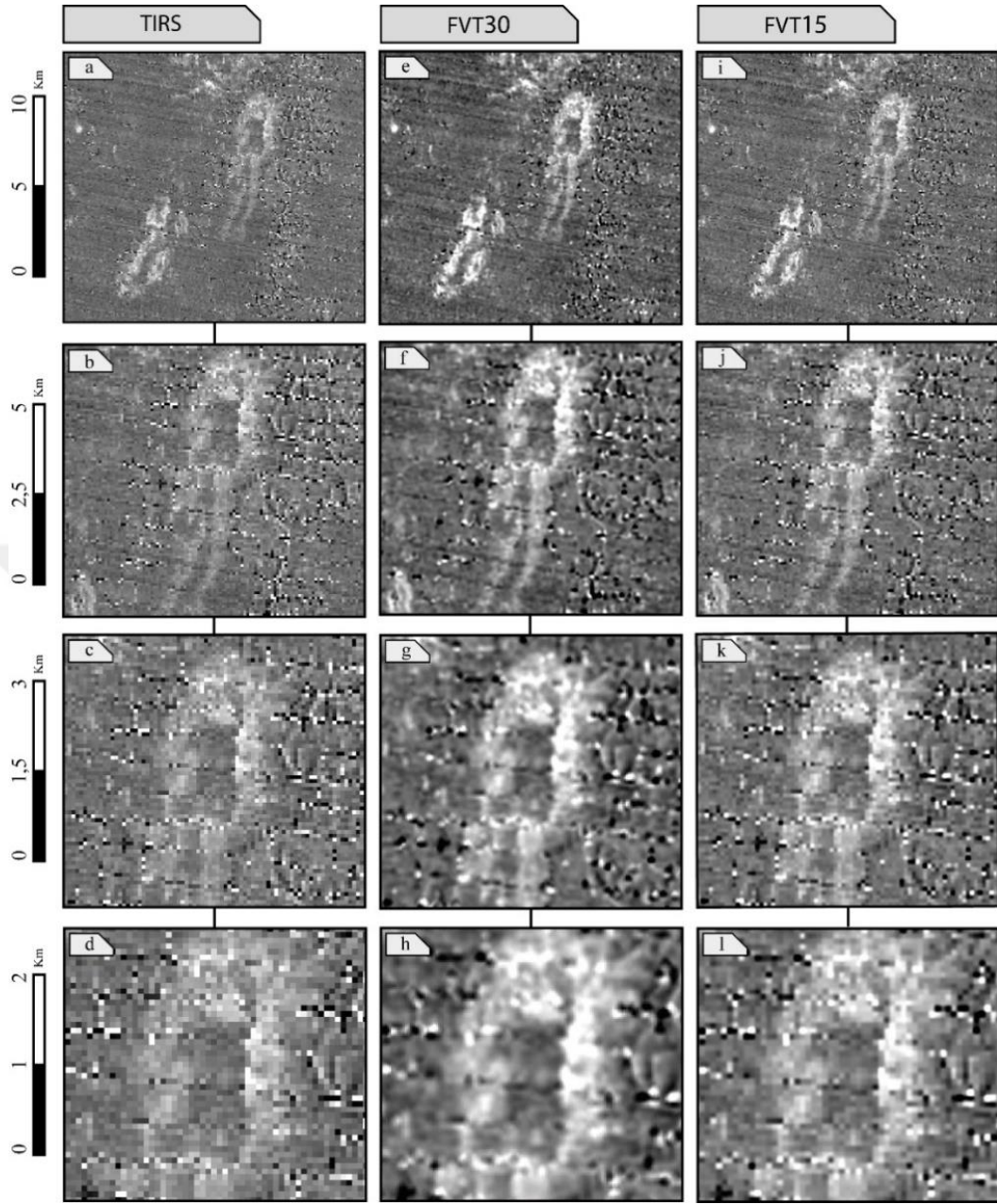
Literatürde de jips tespiti için geliştirilen bant oranlama çalışmaları bulunmaktadır (Öztan ve Süzen, 2011). Bir sülfat minerali olan jips, sülfat indeksi ile görüntülenmektedir. Bu bant oranlama algoritmasında da tıpkı bu çalışmada tavsiye edilen renk kompozit sıralamasında olduğu gibi ASTER veri setinin 10-11-12'nci bantları kullanılmaktadır. Formül şu şekildedir (Öztan ve Süzen, 2011),

$$SI = \frac{Bant10}{Bant11} \times \frac{Bant12}{Bant11} \quad (4.2)$$

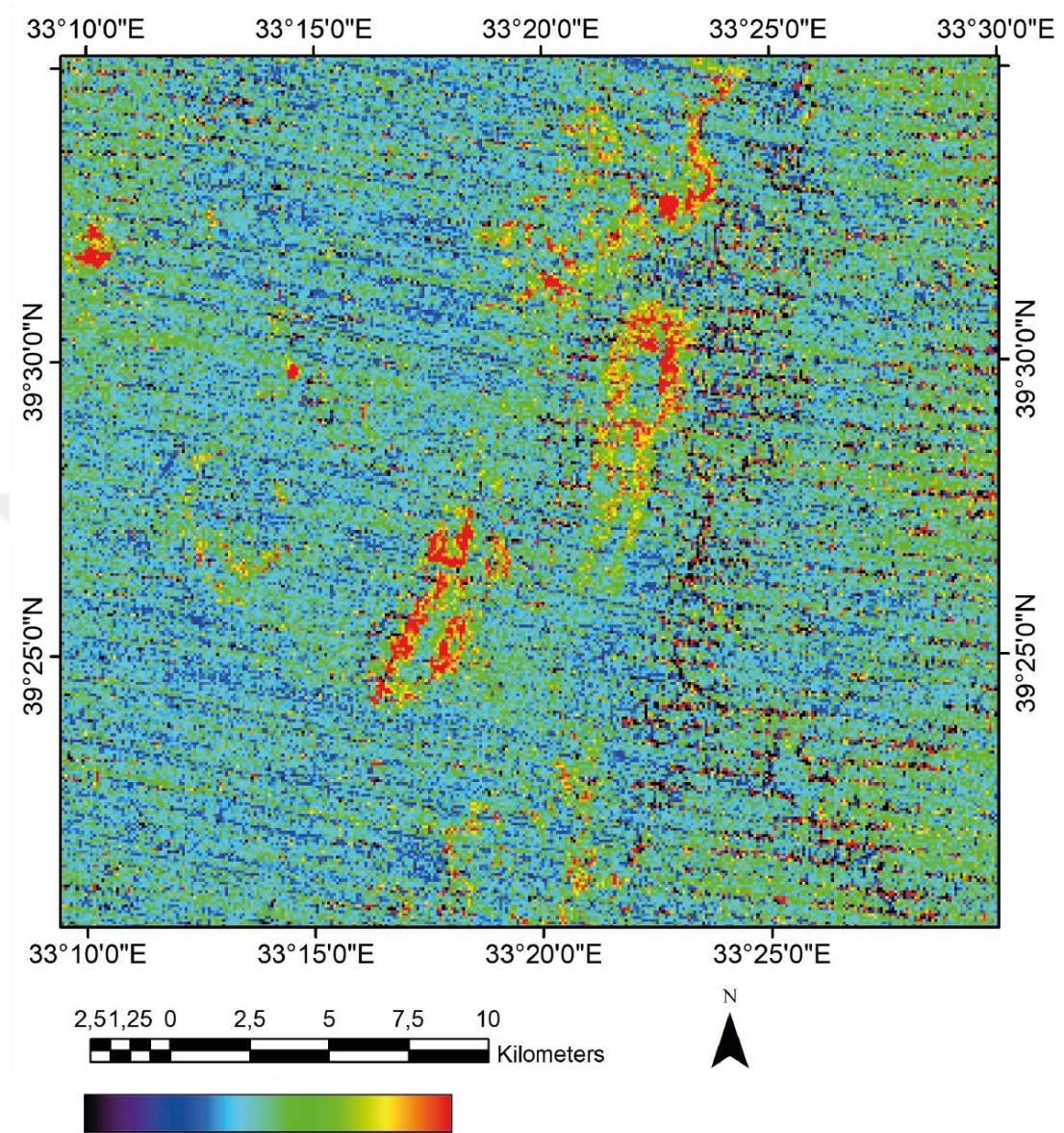
SI= Sülfat İndeksi, Bant = ASTER veri setinin bantları

SAM analizinde olduğu gibi, kaynaştırılmış termal, FVT30 ve FVT15 veri setlerine “SI indeksi”i tek tek uygulanmıştır. Uygulama sonucunda toplamda üç sonuç üretilmiştir. Raster formatında üretilen bu sonuçlar her bir veri setinin sülfat içeriğini temsil etmektedir.

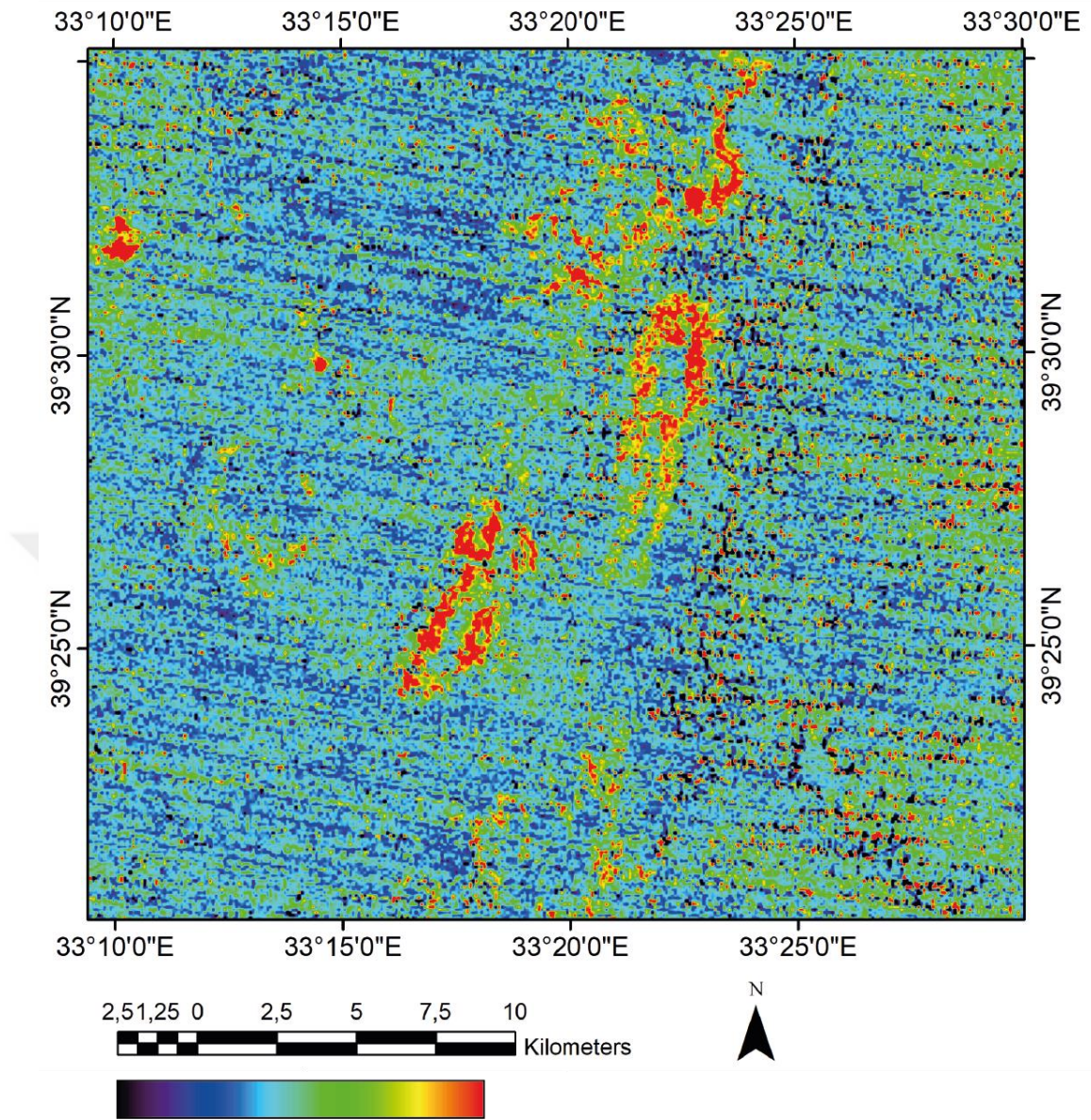
Şekil 4.15. de 3 veri setine ait toplamda 12 görsel bulunmaktadır. (a)(c)(i) görselleri, çalışma alanının tamamını kapsamaktadır. Diğer görseller ise konglomera-kumtaşı-jips içeren birimleri görüntülemektedir. Şekilde beyaz pikseller ile temsil edilen konumlar algoritmaya göre sülfat içeriğinin yüksek olan alanlardır. SI bant oranlamasında da SAM analizine benzer sonuçlar görülmektedir. SAM analizinde olduğu gibi, burada da sülfat minerali olarak ifade edilen alanlar jeolojik harita ile uyum sağlamaktadır. Bunlara ek olarak şekilde bulunan (d)(h)(l) görselleri jips sınırlarının daha net görüldüğü görsellerdir. (d) görselindeki sülfat minerali sınırları, (h) ve (l) görsellerine göre daha belirsizdir. FVT30 ve FVT15 verilerinde sülfat sınırları daha keskin ve detaylı görünmektedir.



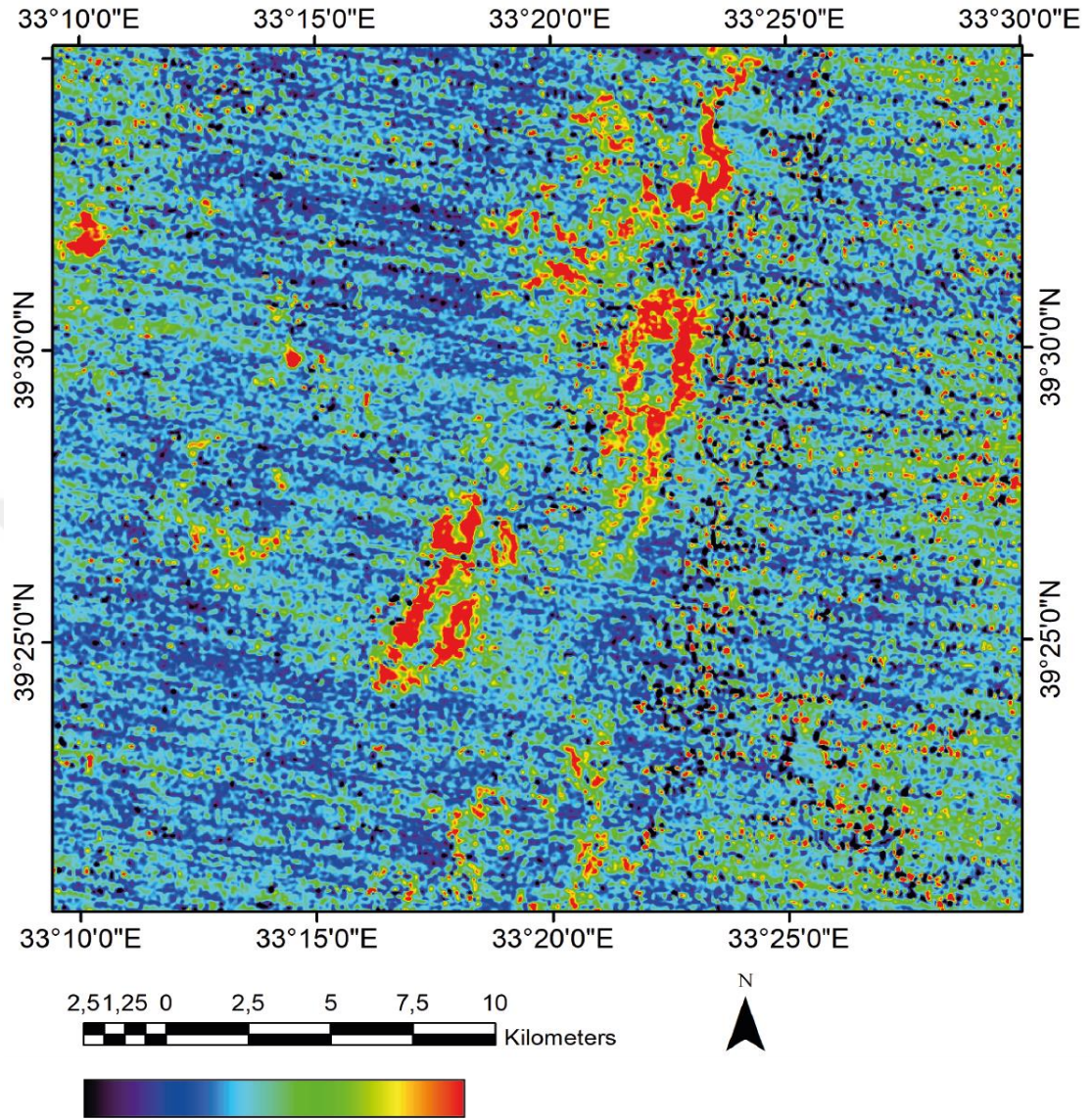
Şekil 4.15. Görüntülerin 'SI' bant oranlaması



Şekil 4.16. Kaynaştırılmış orijinal ASTER termal veri setinin SI bant oranlama sonucu. Kırmızı pikseller sülfat içeriği yüksek olan alanları göstermektedir



Şekil 4.17. FVT30 veri setinin SI bant oranlama sonucu. Kırmızı pikseller sülfat içeriği yüksek olan alanları göstermektedir

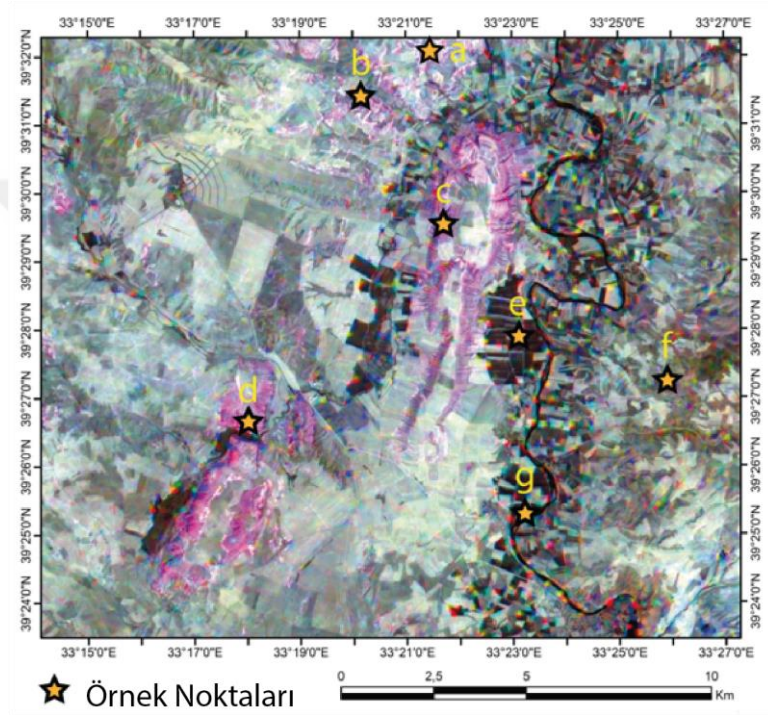


Şekil 4.18. FVT15 veri setinin SI bant oranlama sonucu. Kırmızı pikseller sülfat içeriği yüksek olan alanları göstermektedir

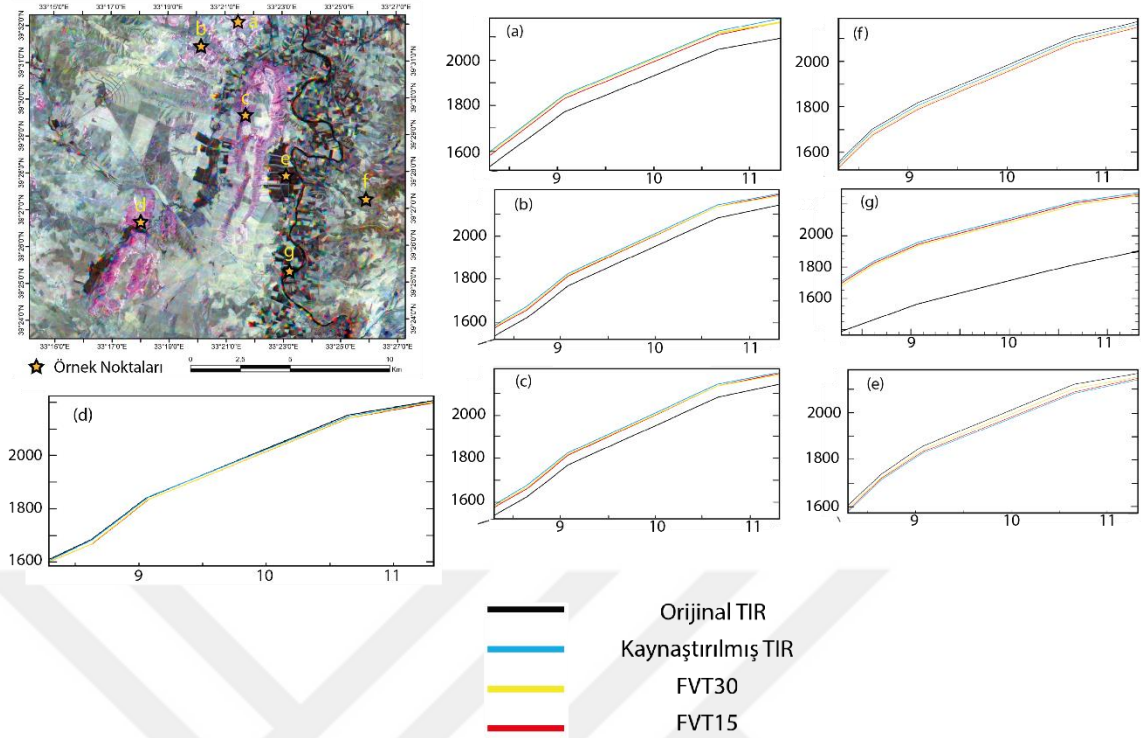
SI bant oranlamasında görüldüğü gibi FVT yöntemi, sülfat içeriği yüksek olan ana kayalar daha belirgin hale getirmektedir. Kriging algoritmasının oluşturduğu yoğunluk tahmini bunu etkilemektedir. Ancak ana kaya etrafında bulunan sülfat içeriği bulunan kırıntılılar, başka kayalar ile karışmış sülfat mineralleri ve geniş alanlarda mostra göstermeyen sülfat noktaları FVT yöntemi ile daha görünmez hale gelmektedir. Anlaşıldığı üzere FVT yöntemi bir ortamda daha çok bulunan yansıma değerini baskın hale getirmektedir. Eğer incelenen alanda jips minerali yoğun ise, onu diğer piksellerden daha fazla ayırarak belirginleştirmektedir. Bu durum düşük miktarda jips içeren veya geniş yayılım göstermeyen jips sınırlarını tespit etmekte dezavantajdır. Ancak geniş yayılımlar gösteren jips mineralinin görünmesi ve sınırlarının daha iyi algılanması için avantajdır.

4.5. Spektral Yansıma Eğrileri

Geçmiş karşılaştırma çalışmaları önerilen yöntemin raster formatındaki sonuçlarını göstermiştir. Ayrıca görsellerin tamamı jips üzerinden değerlendirilmiştir. Ancak üretilen veri setinin jips tespiti dışındaki sonuçları da geçmiş çalışmalar için önem taşıyabilir. Bu sebeple kullanılan bütün verilerin spektral değerleri, spektral profiller bazında karşılaştırılmak istenmiştir. Bu karşılaştırılmanın bir amacı da üretilen FVT veri setlerinin orijinal termal veri setine göre spektral bakımdan ne kadar değiştiğini anlamaktır (Rowan vd., 2005). Bu sebeple önerilen yöntem, orijinal termal veri seti referans olarak değerlendirilecektir.



Şekil 4.19. FVT15 veri setinin renk kompozitidir. Şekilde 7 adet örnek nokta seçilmiştir. Bu noktaların spektral profilleri kullanılan tüm verilerce karşılaştırılacaktır. Şekildeki (a) ve (b) noktası kilaşı-jips, (c) noktası konglomera-kumtaşı-jips, (d) noktası jips, (e) noktası bitki örtüsü, (f) noktası diğer kayaç türü, (g) noktası ise su içeren örnek noktalardır



Şekil 4.20. 7 farklı noktaya ait yayılma spektral profilleri

Şekil 4.20.'de 7 farklı noktaya ait 4 farklı veri setinin spektral profilleri görülmektedir. (a) ve (b) profilleri kilaşı-jips birimlerinin olduğu alanlara aittir. iki profil de benzer özellikler göstermektedir. (a) ve (b) profillerinde ham uydu görüntüsüne en yakın olan spektral değerler sırası ile FVT15, FVT30 ve Orijinal veri ile kaynaştırılmış görüntüdür. Bu kilaşı-jips görülen alanlarda önerilen yöntemin, doğal kaynaştırılmış yöntemle göre daha olumlu sonuçlar göstermesi demektir. Kısacası kilaşı-jips barındıran alanlarda, önerilen yöntem ham verinin değerlerini daha iyi korumuştur. (c) profili ise konglomera-kumtaşı-jips içeren birimlere ait alandan alınmış spektral profilin sonucudur. Burada da tıpkı (a) ve (b) de görüldüğü gibi önerilen yöntem daha iyi skorlar üretmiştir. (d) profilinde ise, tüm veri setleri benzer yansıma eğrileri göstermektedir. Sadece jipsin görüldüğü bu alanda, veri setleri arasında spektral farklılık gözlenmemiştir. (e) profili ise bitki örtüsünün bulunduğu alandan seçilmiştir. Önerilen yöntemin bitki örtüsü üzerinde nasıl sonuçlar verdiği bu sayede tartışılabilir. (e) profilinde FVT30 veri seti ham veri setine en yakın sonuçları vermiştir. Ardından FVT15 ve kaynaştırılmış termal görüntü gelmektedir. (f) profili diğer kayaların görüldüğü bölgeye aittir. Jeolojik haritada konglomera-kumtaşı olarak ifade edilen bölgeden seçilmiştir. Burada ise orijinal kaynaştırılmış veri seti ham veri setine yakın değerler göstermektedir. Ardından FVT30 ve FVT15 veri setleri yakınlık göstermektedir. (g) profili ise su barındıran piksele ait yayılma değeridir. Aslında ham uydu görüntüsü ile en fazla farkın görüldüğü madde sudur. Çünkü işletilen bütün veri setleri suyun olduğu bölgelerde fark göstermektedir. Termal veriler ile yapılan kaynaştırma görüntüleri su barındıran zeminlerde ciddi bozulmalara maruz kalmaktadır. Kısacası önerilen yöntemin su için yapılan çalışmalarda başarı göstermeyeceği düşünülmektedir.

4.6. İstatistiksel Karşılaştırma

Literatürde, kaynaşmış görüntü işleme çalışmaları için birçok görüntü kalite indeksi bulunmaktadır. Bunlardan en çok kullanılanlar, ortalama kare hatası (MSE), kök ortalama kare hatası (RMSE), korelasyon katsayısı (CC), üniversal görüntü kalite indeksi (UIQI), göreceli ortalama spektral hata (RASE), göreceli boyutsuz global hata (ERGAS) gibi istatistiksel çalışmalardır (Alparone vd., 2015; Dammavalam 2012). Bu kalite indeksleri görüntü kaynaştırma çalışmalarında ortaya çıkan problemleri istatistiksel olarak özetler. Bu yöntemlerden bazıları, kaynaştırılmış görüntü ile ham görüntü arasındaki radyometrik bozulmaları, bazıları da spektral bozulmaları irdeler. Bu kalite indeksleri görüntü kaynaştırma çalışmalarında çok değerli olsa da, belirli bir amaca yönelik çalışmaları ifade etmek için yeterli olmayabilir. Nitekim her görüntü işleme çalışması, birden fazla amaç için kullanılmak zorunda değildir. Fakat bahsedilen kalite indeksleri, karşılaştırmaları amaca yönelik değil, ham veride ki istatistiksel değişimleri anlamaya yönelik kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise amaç minerallerin daha yüksek çözünürlükte tespit edilmesine yöneliktir. Bu çalışmada üretilen verilerin kullanım amacı mineralleri tespit etmeye yönelik olduğu için, görüntü içerisindeki diğer objelerin veya piksel değerlerinin görüntünün tamamı bazında değerlendirilmesi doğru değildir. Az önce bahsedilen kalite indeksleri, görüntüyü bütün olarak ele aldığı için, çalışmanın kapsamını aşacağından dolayı önerilmemiştir. Bu çalışmada önerilen istatistiksel yöntem, çalışmanın amacını etkileyecek şekilde sınırları ifade eden bir yöntem olmalıdır.

Bu çalışmada optimum eşik değeri ile istatistiksel karşılaştırma yapılmıştır. Bu yöntemin temel mantığı, karşılaştırmak istenilen iki verinin farklarını standart sapma miktarına göre ayırmaktır (Minu ve Shetty, 2015; San, 2002). Orijinal ve kaynaşmış görüntüler arasındaki farkın mutlak değeri çok yüksekse (yani yüksek pozitif veya yüksek negatif fark), o zaman fark görüntüsünün karşılık gelen pikseli, füzyon algoritmasının bu pikselde başarısız olduğunu gösterir. Bu, önerilen füzyon algoritmasının orijinal verilerin değerlerini değiştirebileceği ve ayrıca işlenen sonuçların değişeceği anlamına gelir. Fark düşük ise önerilen algoritma ilgili piksel üzerinde başarılıdır.

Farklılıklar		Negatif farkın yüzdesi ($\mu-\sigma$ 'nin altında kalan değerler)	Önemli olmayan farkın yüzdesi ($\mu-\sigma$ ve $\mu+\sigma$ arasında olan değerler)	Pozitif farkın yüzdesi ($\mu+\sigma$ 'nın üzerinde olan değerler)
TIR1 _{orijinal}	—	11.350	78.285	10.365
TIR1 _{PCA_Kaynaştırma}				
TIR2 _{orijinal}	— TIR2 _{PCA_Kaynaştırma}	11.350	78.285	10.365
TIR3 _{orijinal}	— TIR3 _{PCA_Kaynaştırma}	11.350	78.285	10.365
TIR4 _{orijinal}	— TIR4 _{PCA_Kaynaştırma}	11.350	78.285	10.365
TIR5 _{orijinal}	— TIR5 _{PCA_Kaynaştırma}	11.350	78.285	10.365
TIR1 _{orijinal}	— TIR1 _{FVT30}	11.021	78.250	10.228
TIR2 _{orijinal}	— TIR2 _{FVT30}	11.116	78.572	10.312
TIR3 _{orijinal}	— TIR3 _{FVT30}	11.154	78.599	10.246
TIR4 _{orijinal}	— TIR4 _{FVT30}	11.276	78.712	10.012
TIR5 _{orijinal}	— TIR5 _{FVT30}	11.432	78.395	10.173
TIR1 _{orijinal}	— TIR1 _{FVT15}	11.021	78.728	10.250
TIR2 _{orijinal}	— TIR2 _{FVT15}	11.147	78.518	10.334
TIR3 _{orijinal}	— TIR3 _{FVT15}	11.157	78.615	10.228
TIR4 _{orijinal}	— TIR4 _{FVT15}	11.267	78.691	10.042
TIR5 _{orijinal}	— TIR5 _{FVT15}	11.412	78.415	10.173
SI _{orijinal}	— SI _{PCA_Kaynaştırma}	5.418	86.060	8,522
SI _{orijinal}	— SI _{FVT30}	5.736	87.091	7,174
SI _{orijinal}	— SI _{FVT15}	6.587	85.895	7,518
SAM _{orijinal}	— SAM _{PCA_Kaynaştırma}	6.268	89.205	4.527
SAM _{orijinal}	— SAM _{FVT30}	4.002	90.372	5.626
SAM _{orijinal}	— SAM _{FVT15}	4.141	89.408	6.451

Çizelge 4.1. Optimum eşik değeri istatistik sonuçları

Çizelge 4.1. de görüldüğü gibi önemli olmayan farkın yüzdesi bütün veri setlerinde %78-79 arasındadır. Buradaki yüzdenin artması çalışmanın başarısı için olumludur. SI indeksi ve SAM sınıflandırmasındaki önemli olmayan fark ise toplam verinin %85'inden yüksektir. Bir başka önemli detay ise, önerilen FVT veri setlerinin, orijinal kaynaştırılmış görüntüye göre ham veri farkının daha az olmasıdır. Fark miktarı önemli olmayan yüzdesel alanın FVT veri setlerinde daha yüksek görülmüştür. Özellikle FVT15 veri seti ham veriye en yakın istatistiksel değerler gösteren veri setidir. Bu FVT15 yönteminin, FVT30 veri setine göre daha başarılı olduğunu gösterir.

Fark değeri sıfır ise, orijinal ve kaynaştırılmış görüntüler arasında teorik olarak mükemmel eşleşmenin olduğu anlamına gelir. Ancak bu durumda sıfır fark elde etmek her zaman mümkün değildir, çünkü füzyon algoritmaları verilerden gelen bilgileri yüksek uzaysal çözünürlük ve yüksek spektral çözünürlük ile birleştirir. Hangi füzyon işlemi

başarıyla uygulanmış olursa olsun, piksel değerleri füzyon algoritması tarafından az ya da çok değiştirilebilir. Bunun bir sonucu olarak, düşük farklar, anlamlı bir fark olmadığı için kabul edilebilir.

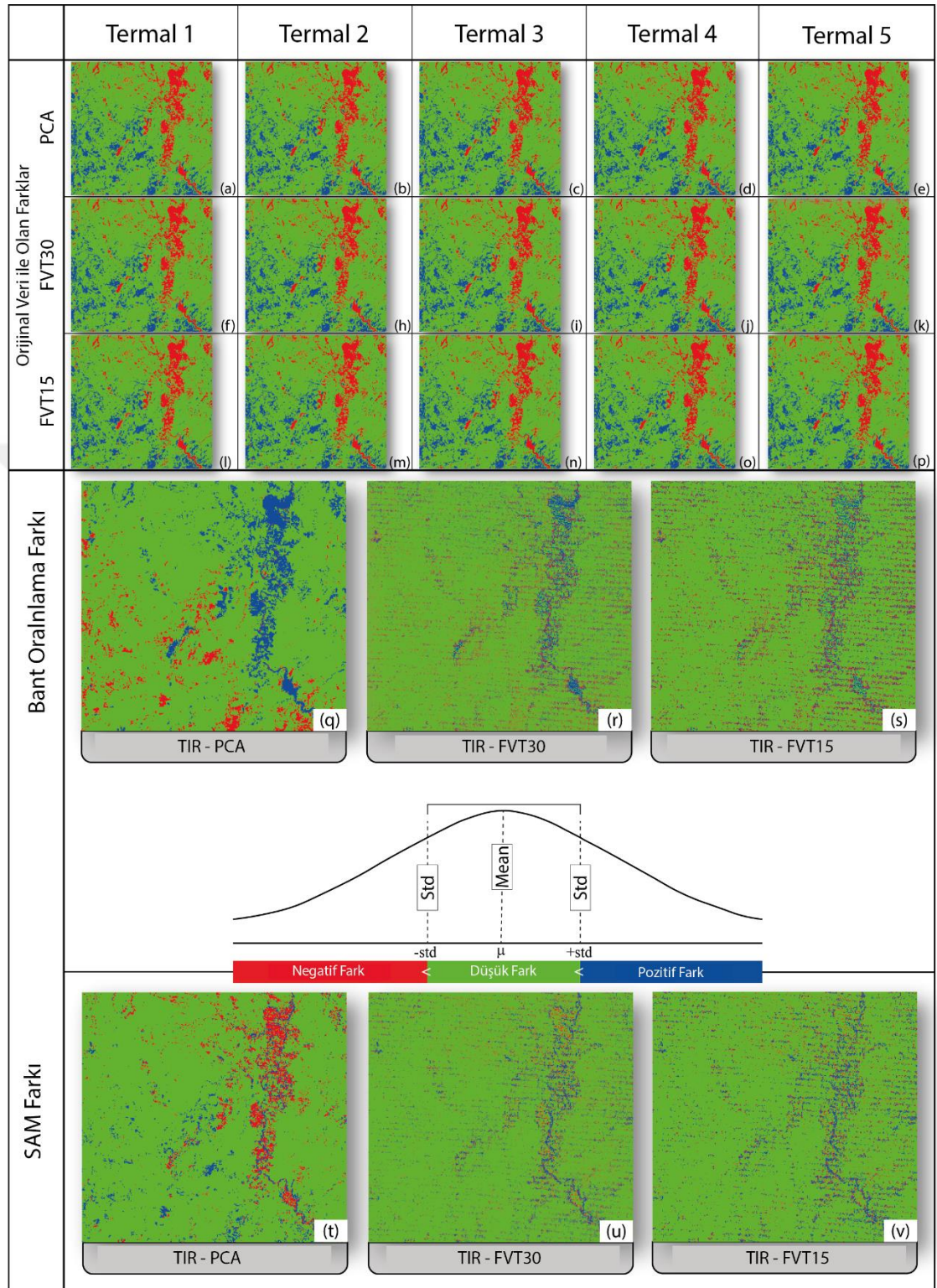
Her bir veri seti (orijinal kaynaştırılmış görüntü, FVT30, FVT15), ham uydu görüntüsünden çıkartılmıştır. Sadece kaynaştırılan görüntüler değil, aynı zamanda bant oranlama ve SAM sınıflandırmasında üretilen sonuçlar da ham verinin bant oranlama ve SAM sınıflandırma sonucu ile çıkartılmıştır. Kısacası çalışma da kullanılan bütün raster görüntülerin istatistiksel karşılaştırması bu kısma eklenmiştir.

Bundan sonraki aşamada, değişimin özellikle hangi cisimlerde görüldüğü, termal ve yakın kızılötesi görüntüleri kaynaştırmanın özellikle hangi çalışmalar için uygun olup olmayacağı irdelenecektir (şekil 4.21). Bunun için, az önce gösterilen tablo istatistiği raster görüntü formatında incelenmiştir ve böylelikle optimum eşik değerinin raster sınıflandırması yapılmıştır. Şekil 4.21. de çalışmada kullanılan bütün veri setleri ve analizler (Bant oranlama, SAM sınıflandırma) optimum eşik değeri kapsamında ham ASTER TIR verisi ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma da kırmızı ile gösterilen alanlar, standart sapma değerinin altında kalan pikselleri temsil etmektedir. Mavi renkler ise, standart sapma değerinin üstünde kalan pikselleri ifade etmektedir. Yeşil alanlar ise, farkın yüksek görülmediği ve fark miktarının standart sapma değerini geçmediği alanlara aittir. Yeşil renk ile ifade edilen alanlar önemlidir. Çünkü yeşil renkle ifade edilen objeler, önerilen yöntemin o objeler için uygun olabileceğini gösterir. Nitekim çalışmanın amacı da jips mineralini önerilen yöntem ile bulunması olduğundan, jipsli alanların yeşil renk ile, yani görüntü farkı az olan istatistiksel sınıflamaya girmesi gerekir. Önerilen yöntemlerin ham veri ile olan farklarından görüldüğü üzere, jips, konglomera-kumtaşı-jips ve kıltaşı-jips birimleri yeşil olarak ifade edilen alana girmektedir. Kısacası jeolojik amaca göre yapılan bu istatistiksel değerlendirmede, ham görüntülerin önerilen yöntem ile fark miktarı kabul edilebilir düzeydedir. Bir diğer olumlu sonuç ise önerilen yöntemin her bir bantta benzer farklılıklar göstermesidir. Bu verilerin tutarlılığı için olumludur. (a), (b), (c), (d), (e) görsellerinde ve diğer görüntülerde de görüldüğü gibi kırmızı, mavi ve yeşil alanlar benzerlik göstermektedir. Orijinal kaynaştırılmış görüntü, FVT30 ve FVT15'i detaylı incelediğimizde, çalışma alanına ait olan su ve sulak bölgeler sınıflandırmadaki kırmızı alana denk gelmektedir. Önerilen yöntemlerdeki su içeren pikseller, orijinal termal görüntüye göre negatif fark göstermektedir. Yine aynı karşılaştırma da bitki örtüsünün yoğun olduğu alanlarda, sınıflandırma piksel değerini mavi renk ile göstermektedir. Bitki örtüsünün yoğun olduğu alanlarda, pozitif yönlü fark oluşmaktadır. Ancak özellikle kayaların ve toprağın görüldüğü bölgelerde sınıflandırma kendisini yeşil renk ile ifade etmektedir.

Optimum eşik değerinin bant oranlama ve SAM sınıflandırmasındaki sonuçları da incelenmiştir. Ham uydu görüntüsü ile üretilmiş sülfat indeksinin sonucu ile önerilen yöntemler ile üretilmiş sülfat indeks sonuçları çıkartılmıştır. Çıkarma işleminin standart sapma eşiklerinin sınıflandırması yapıldıktan sonra görülmüştür ki, jips ve jips içeren birimler kendisini yeşil renkte göstermektedir. Fakat bu sınıflandırma sonucunda su içeren bölgeler mavi, bitki örtüsünün olduğu alanlar ise kırmızı renkte görünmektedir. Bir başka detay ise bu karşılaştırma da FVT30 yönteminin diğer yöntemlere göre daha az görüntü farkı göstermesidir.

Aynı uygulama SAM analizi içinde yapılmıştır. SAM analizinin optimum eşik sınıflandırmasında fark oluşturan piksellerin sayısı genel itibariyle azalmıştır. Burada da jips ve jips içeren birimler yeşil renk ile görünmektedir. Su içeren alanlar kırmızı ve bitki örtüsünün olduğu alanlar ise mavi renk ile sınıflanmıştır. Optimum eşik değeri ile yapılan istatistiksel çalışmada FVT15 yöntemi ham veri bazında daha yüksek benzerlik göstermiştir. FVT30 veri seti ise, bant oranlama ve SAM sınıflandırmasında daha yüksek benzerlik göstermiştir.

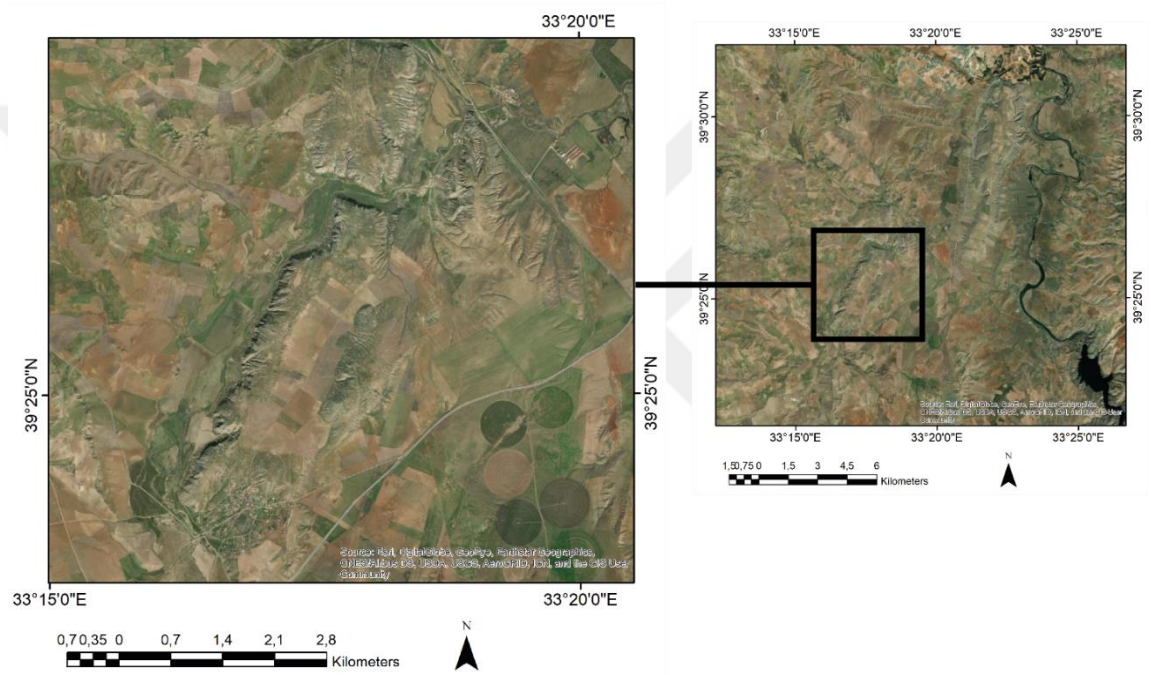




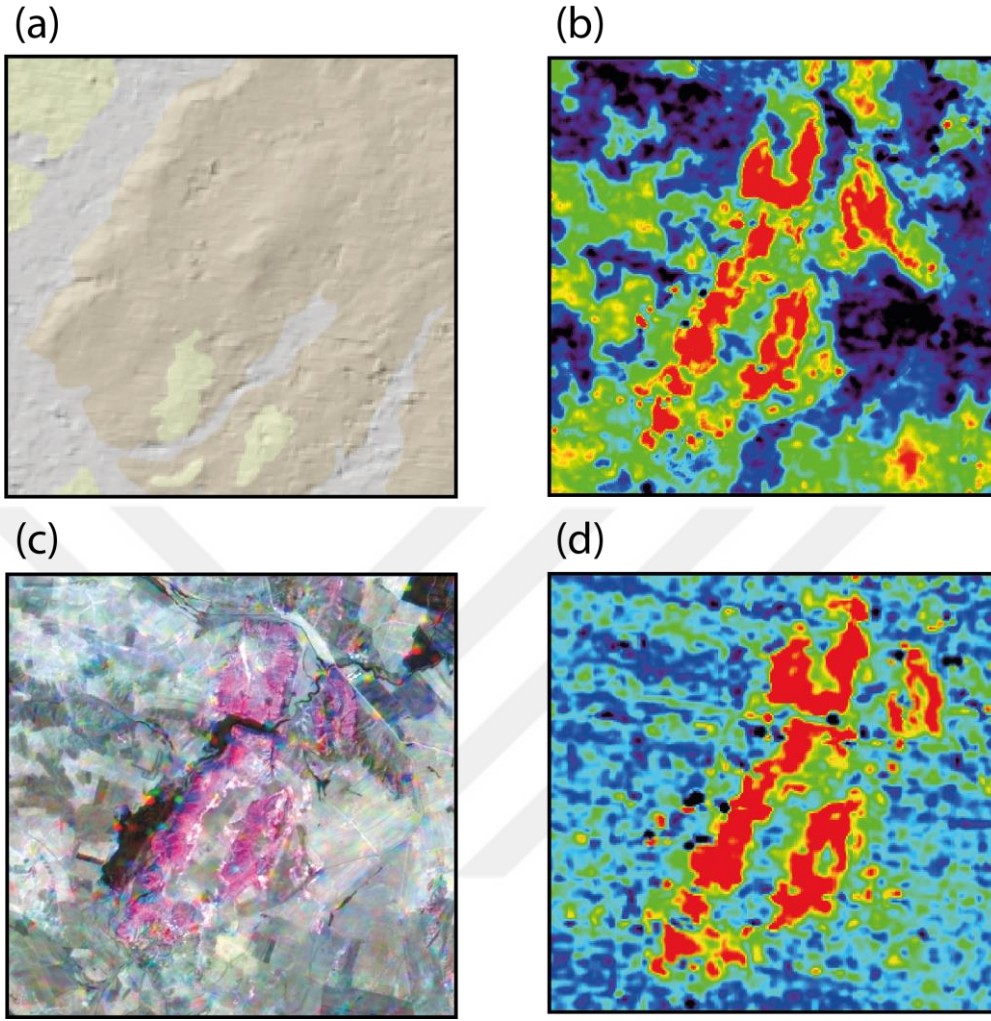
Şekil 4.21. Çalışmada kullanılan uydu görüntü ve analizlerinin, optimum eşik değeri karşılaştırmaları

4.7. Arazi Çalışması

Görüntü işleme ile çalışmalarının yapıldığı jeolojik araştırmalar, çalışma alanı kapsamında jeolojik olarak incelenmelidir. Bu çalışmada önerilen görüntü işleme yönteminin özellikle mineral haritalama kapsamında gösterdiği başarı sahada irdelenmiştir. Jeolojik harita da ve görüntü işleme çalışmalarında jips olarak görünen birimler sahada kontrol edilmiştir. Şekil 4.22 de görünen bölge, detaylı saha araştırmasının yapılacağı alan olarak seçilmiştir. Arazi bölgesinde araştırılan jips mineraline şekil 4.22.'de rastlanılmıştır. Özellikle jeolojik harita da ki sınırlar ile önerilen yöntemin sınırları şekil 4.22.'de irdelenmiştir. İrdelemenin sonucunda, jeolojik haritada çizilen jips minerali sınırları, sahada görülen jips sınırını aşmaktadır. Önerilen yöntemin görüntülediği jips sınırları gerçek saha sınırlarına daha uygun olduğu gözlenmiştir.

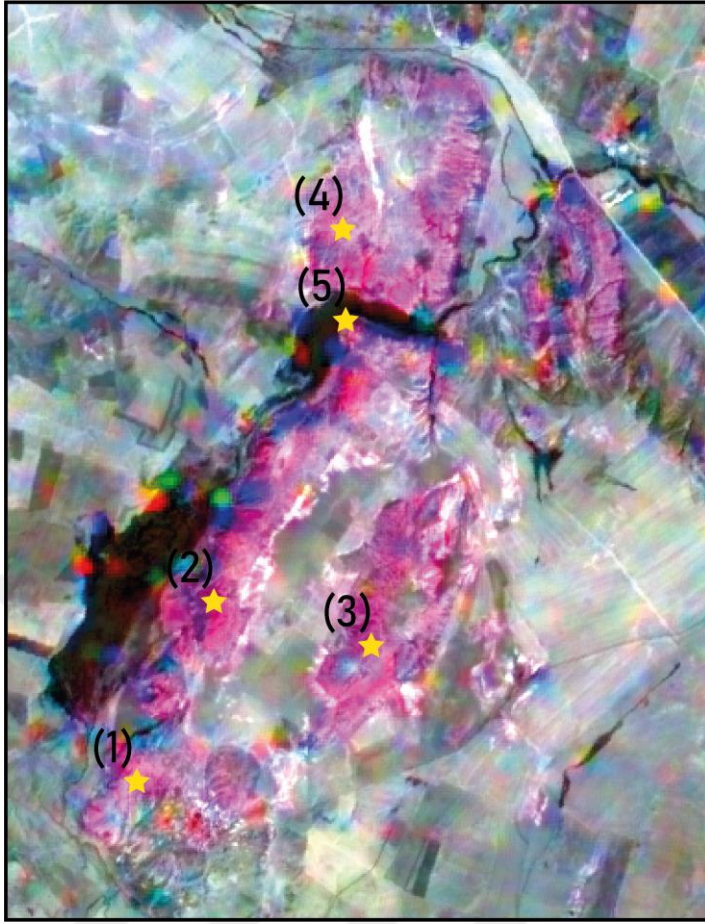


Şekil 4.22. Arazi çalışmasının yapıldığı alan (Bing verisinden elde edilmiştir, Bing 2021)



Şekil 4.23. Arazi çalışmasının yapıldığı alana ait dört farklı referans görüntüsü gösterilmektedir. **(a)** görseli bölgenin jeoloji haritası, **(b)** görseli FVT30 verisinin SAM sınıflandırması, **(c)** FVT30 verisinin bant kompoziti, **(d)** FVT30 verisinin SI indeksine ait görüntü çalışması

Jeolojik harita, SAM ve SI sınıflandırması ve bant kompozitin jips olarak ifade ettiği alanlar kontrol edilmiştir. Toplamda 5 farklı lokasyon ziyaret edilmiş ve 5 farklı bölgede de jips mineraline rastlanılmıştır. Bölgeden 10 kg kadar jips numunesi alınmıştır. Numuneler Çanakkale Üniversitesi merkezi laboratuvarına kimyasal analiz (XRF) için gönderilmiştir.



şekil 4.24. Arazi çalışmasının yapıldığı lokasyonlar FVT30 verisinin bant kompoziti ile gösterilmiştir



şekil 4.25. Jips mineralinin görüldüğü lokasyon1



şekil 4.26. Jips mineralinin görüldüğü lokasyon5



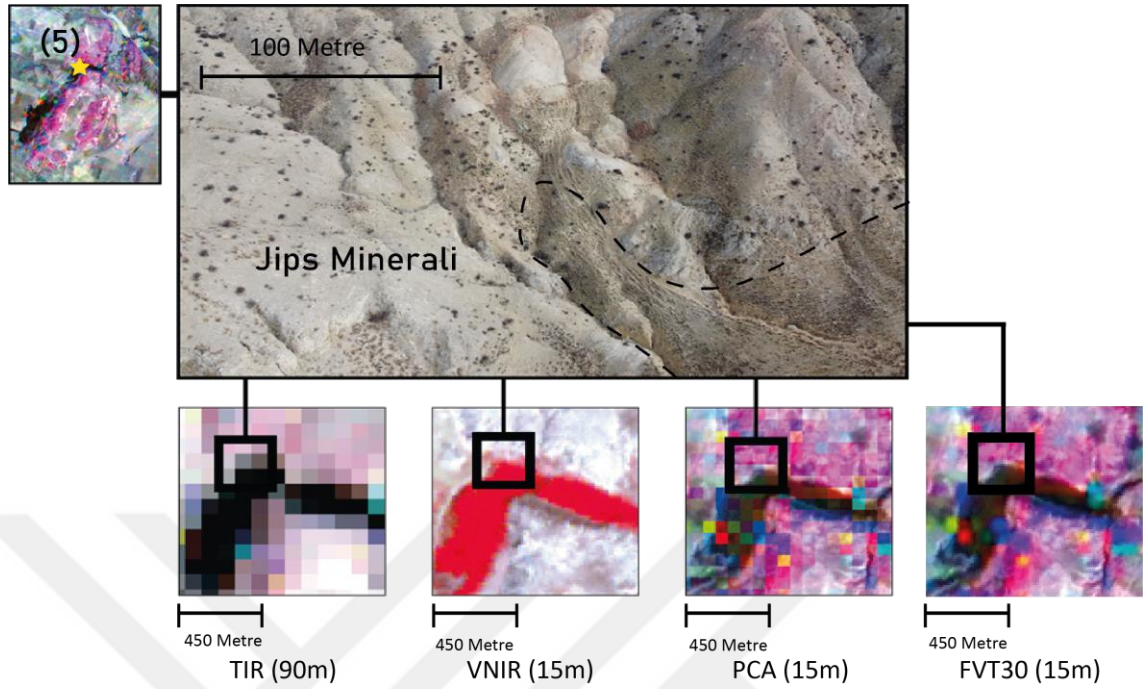
şekil 4.27. Sahadan alınan jips numuneleri



şekil 4.28. Jips sınırlarına ait İHA görüntüsü



şekil-4.29. Jips mineralinin görüldüğü lokasyon 5'in İHA görüntüsü alınmıştır. Lokasyon 5' jips mineralinin bölge de ki sınır lokasyonlarından birisidir. İHA görüntüsü ile karşılaştırılarak, önerilen yöntem karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda önerilen yöntemin çizdiği jips sınırları, gerçek arazi koşullarına en uygun sonucu göstermektedir



Şekil 4.30. İHA-Ham veri-Önerilen yöntemin araştırma sahası için karşılaştırılması

4.8. Kimyasal Analiz

Araştırma sahasından alınan numunelerden 3 tanesinin kimyasal analizi Çanakkale Onsekiz Mart üniversitesi laboratuvarında taşınabilir XRF cihazı ile yapılmıştır. Analizin sonucunda özellikle incelenmesi gereken değerler, SO₃ (kükürt trioksit) ve CaO (kalsiyum oksit) bileşikleridir (Jips, CaSO₄ 2H₂O). Analiz sonucunda SO₃ içeriği ilk numunede %69.6, ikinci numunede %79 ve üçüncü numunede %78.7 yüzdesi göstermiştir. Üç numunenin ortalama SO₃ değeri %75.6'dır. CaO yüzdesi ilk numunede %22.1, ikinci numunede %24.4, üçüncü numunede ise %24.6'dır. Üç numunenin ortalama CaO yüzdesi %23.7'dir. numune içerisinde ki toplam SO₃+CaO yüzdesi ise % 99.3'dür. Önerilen çalışma ile tespit edilen ve analizi yapılan jips numunesi son derece saf olarak gözlenmiştir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada ASTER uydusunun termal ve görünür yakın kızılötesi görüntüleri ile daha yüksek mekânsal çözünürlükte jips haritalaması yapılması için bir kaynaştırma yöntemi önerilmesi amaçlanmıştır. Kaynaştırma çalışmasında çıkabilecek görüntü hatalarının giderilmesi için Kriging interpolasyon yönteminin kullanılması önerilmiş ve FVT30 ve FVT15 olmak üzere iki veri seti üretilmiştir. Kriging interpolasyon yöntemi ile termal ve VNIR görüntülerin birleştirilmesi dışında, görsel olarak jips mineralinin sunulması için çalışma da bir RGB bant kombinasyonu önerilmiştir. Bu kombinasyon ile jips mineralinin bant oranlama yapılmadan da tespit edilebileceği belirlenmiştir.

Üretilen veri setleri ile orijinal ve önerilen yöntemle ait kaynaştırılmış görüntüler karşılaştırılmıştır. Sonrasında elde edilen sonuçlar ile arazi çalışması yapılmış ve alınan numunelerin kimyasal analizi yapılmıştır.

Görsel karşılaştırmalar da önerilen RGB bant kombinasyonu ASTER TIR veri setinin 1,2 ve 3. bantları kapsamında kullanılmış ve FVT veri setlerinin konvansiyonel kaynaştırılmış (PCA) TIR görüntülerine göre daha az piksel hataları gösterdiği ve Kriging ile iki farklı veri setinin (TIR ve VNIR) daha iyi kaynaştığı anlaşılmıştır. Ek olarak bu karşılaştırma da RGB kompoziti (pembe renkli birimlerin) kaynaştırılmış görüntülerde çok daha net görüldüğü ve sınırların daha detaylı ayırt edildiği belirlenmiştir.

Jeolojik karşılaştırma da ise Jeolojik haritadaki jipsli birimlerin, önerilen RGB bant kombinasyonu yöntemdeki ilgili piksellere (pembe) karşılık geldiği ve önerilen FVT veri setlerinin ifade ettiği jips sınırları, jeolojik harita ile daha iyi uyum sağladığı görülmüştür.

Çalışmada kullanılan veri setlerine (TIR, orijinal kaynaştırılmış görüntü, FVT30, FVT15) SAM sınıflandırması ve bant oranlama çalışması yapılmıştır. Jips tespit analizlerinden olan bu yöntemlerin sonuçları arazide karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucuna göre, önerilen FVT veri setlerinin arazideki jips sınırlarını daha iyi gösterdiği gözlemlenmiştir.

Kaynaştırılmış görüntülerin spektral ve radyometrik farklılıkları spektral eğri ve optimum eşik değeri ile istatistiksel karşılaştırılmış ve incelenmiştir. Araştırma sonucunda, önerilen yöntemlerin radyometrik değerlerin ve spektral eğrilerin kayaç ve topraklarda değişmediği, önerilen yöntemlerin jeolojik araştırmalar için etkin bir araç olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.

Önerilen yöntemler ile tespit edilen jips sınırları arazide kontrol edilmiş ve bu sınırlar içerisinde numuneler alınmıştır. Alınan numunelerin kimyasal analizleri yapılmış ve numunelerin jips içeriğinin %99,3 olduğu görülmüştür. Bu örneklerin elde edilen sayısal görüntü analizleriyle de uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Bu çalışmada önerilen ve test edilen yöntemlerin, özellikle ekonomik değeri olan minerallerde kullanılması, bu minerallerin daha yüksek mekânsal çözünürlükte haritalanması için oldukça faydalı olacaktır. İleriki çalışmalarda önerilen yaklaşım dalga boyu kullanılan farklı mineral grupları için de uygulanabilir nitelikte olacaktır.

7. KAYNAKLAR

- Abrams, M., Hook, S. 2000. "ASTER Users Handbook ASTER User Handbook Version 2".
- Akça, M. D. ve D. S. 2002. "Sayısal Görüntülerde Ana Bileşenler Dönüşümü (The Principal Components Transformation On Digital Images)". Retrieved from <http://www.omu.edu.tr/akad/fklt/muh/>
- Amer, R., Kusky, T., Ghulam, A. 2010. "Lithological mapping in the Central Eastern Desert of Egypt using ASTER data". *Journal of African Earth Sciences*, 56(2–3), 75–82.
- Aspexit, 2019, <https://www.aspexit.com/spatial-data-interpolation-tin-idw-kriging-block-kriging-co-kriging-what-are-the-differences/>
- Badel, M., Angorani, S., Shariat Panahi, M. 2011. "The application of median indicator kriging and neural network in modeling mixed population in an iron ore deposit". *Computers and Geosciences*, 37(4), 530–540.
- Bastante, F. G., Ordóñez, C., Taboada, J., Matías, J. M. 2008. "Comparison of indicator kriging, conditional indicator simulation and multiple-point statistics used to model slate deposits". *Engineering Geology*, 98(1–2), 50–59.
- Bedell, R., Crósta, A. P., Grunsky, E. 2020. "Mineral Exploration for Epithermal Gold in Northern Patagonia, Argentina". In *Remote Sensing and Spectral Geology* (pp. 97–108). Society of Economic Geologists.
- Bickel, P., Diggle, P., Fienberg, S., Krickeberg, K., Wermuth, N., Zeger, S. 1999. "Interpolation of Spatial Data Some Theory for Kriging".
- Bilgin, Z.R.; Akarsu, B.; Erbaş, A.; Elibal, E.; Yaşar, T.; Esentürk, K.; Güner, E. ve Kara, H., 1986, Kırıkkale - Kesikköprü - Çiçekdağı alanının jeolojisi: MTA Rap., 7876, (yayımlanmamış), Ankara.
- Ciolofan, S. N., Mocanu, M., Cristea, V. 2017. "Cloud based large scale multidimensional cubic spline interpolation for water quality estimation". *U.P.B. Sci. Bull., Series C*, 79(2). Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/319653273>
- Cooley vd., Canadian Symposium on Remote Sensing (24th : 2002 : Toronto, Ont.). 2002. "FLAASH, A MODTRAN4-Based Atmospheric Correction Algorithm, Its Application And Validation". Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Dammavalam, S. R. 2012. "Quality Assessment of Pixel-Level ImageFusion Using Fuzzy Logic". *International Journal on Soft Computing*, 3(1), 11–23.
- Dönmez M., Bilgin Z.R., Akçay, A.E., Kara, H., Yergök, A.F., Esentürk, K., 2007,Türkiye Jeoloji Haritaları No:46 Kırşehir- İ30 Paftası, M.T.A (unpublished).

- e G. Gangkofner, P. S. P. and D. W. H. 2008. "Optimizing the High-Pass Filter Addition Technique for Image Fusion".
- E. Saroğlu vd. 2004. "Fusion of Multisensor Remote Sensing Data Assessing The Quality of Resulting Image". Pearson Academic.
- Ehlers, M. 2004. "Beyond Pansharpening: Advances In Data Fusion For Very High Resolution Remote Sensing Data". Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/228647802>
- Ehlersa, M., Klonusa, S., Åstrandb, P. J., Rossoa, P. 2010. "Multi-sensor image fusion for pansharpening in remote sensing". *International Journal of Image and Data Fusion*, 1(1), 25–45.
- Elaksher, A. n.d. "*Fusion Of Hyperspectral Images And Lıdar-Based Dems For Coastal Mapping*".
- Ghassemian, H. 2016, November 1. "A review of remote sensing image fusion methods". *Information Fusion*. Elsevier B.V.
- Gomez, C., Delacourt, C., Allemand, P., Ledru, P., Wackerle, R. 2005. "Using ASTER remote sensing data set for geological mapping, in Namibia". *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 30(1–3), 97–108.
- Gupta, R. P. 2018. "*Remote Sensing Geology Third Edition*".
- Hall, D. L., Llinas, J. 1997. "*An Introduction to Multisensor Data Fusion*".
- Jenicka. 2021. *Land Cover Classification of Remotely Sensed Images: A Textural Approach*
- Jing. M., Wu. J., 2012, Fast image interpolation using directional inverse distance weighting for real-time applications, *Optics Communications*, 286 (2013) 111–116
- Kebaili Bargaoui, Z., Chebbi, A. 2009. "Comparison of two kriging interpolation methods applied to spatiotemporal rainfall". *Journal of Hydrology*, 365(1–2), 56–73.
- Khan, A., Faisal, S., Shafique, M., Khan, S., Bacha, A. S. 2019. "ASTER-based remote sensing investigation of gypsum in the Kohat Plateau, north Pakistan". *Carbonates and Evaporites*, 35(1).
- Klonus S, E. M. 2009. "*Performance of evaluation methods in image fusion*". [IEEE].
- Laben, C. A. and B. B. v. 2000. "Process for enhancing the spatial resolution of multispectral imagery using pan-sharpening".
- Langford, R. L. 2015. "Temporal merging of remote sensing data to enhance spectral regolith, lithological and alteration patterns for regional mineral exploration". *Ore Geology Reviews*, 68, 14–29.
- Loughlint, W. P. n.d. "*Principal Component Analysis for Alteration Mapping**".
- Luciano Alparone, B. A. S. B. A. G. 2015. "*Remote Sensing Image Fusion*".

- Marinoni, O. 2003. "Improving geological models using a combined ordinary-indicator kriging approach". *Engineering Geology*, 69(1-2), 37-45.
- Minu, S., Shetty, A. 2015. "A Comparative Study of Image Change Detection Algorithms in MATLAB". *Aquatic Procedia*, 4, 1366-1373.
- NASA, 1999, https://www.nasa.gov/mission_pages/terra/spacecraft/index.html
- Ngassam Mbianya, G., Ngnotue, T., Takodjou Wambo, J. D., Ganno, S., Pour, A. B., Ayonta Kenne, P., ... Wolf, I. D. 2021. "Remote sensing satellite-based structural/alteration mapping for gold exploration in the Ketté goldfield, Eastern Cameroon". *Journal of African Earth Sciences*, 184, 104386.
- Ninomiya, Y. 2004. "Lithologic mapping with multispectral ASTER TIR and SWIR data". In *Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites VII* (Vol. 5234, p. 180). SPIE.
- Ninomiya, Y., Fu, B. 2019. "Thermal infrared multispectral remote sensing of lithology and mineralogy based on spectral properties of materials". *Ore Geology Reviews*, 108, 54-72.
- O. Güngör. 2008. "Kriter Tabanlı Görüntü Kaynaştırma Yöntemi". Retrieved from <http://www.uzalcbs2008.org433>
- O. BAŞKAN. 2004. "Gölbaşı Yöresi Topraklarının Mühendislik-Fiziksel Özellik İlişkilerinde Jeostatistik Uygulaması".
- Oliver, M. A., Webster, R. 1990. "Kriging: A method of interpolation for geographical information systems". *International Journal of Geographical Information Systems*, 4(3), 313-332.
- Öztan, N. S., Süzen, M. L. 2011. "Mapping evaporate minerals by ASTER". *International Journal of Remote Sensing*, 32(6), 1651-1673.
- Palluconi, F. 1999. "An Atmospheric Correction Method for ASTER Thermal Radiometry Over Land".
- Patil. V. H., Bormane. D. S., 2007, Interpolation for Super Resolution Imaging ,Innovations and Advanced Techniques in Computer and Information Sciences and Engineering, 483-489.
- Rajendran, S., Nasir, S. 2019, May 1. "ASTER capability in mapping of mineral resources of arid region: A review on mapping of mineral resources of the Sultanate of Oman". *Ore Geology Reviews*. Elsevier B.V.
- Rowan, L. C., Mars, J. C., Simpson, C. J. 2005. "Lithologic mapping of the Mordor, NT, Australia ultramafic complex by using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)". *Remote Sensing of Environment*, 99(1-2), 105-126.

- San, B. T., Sumer, E. O., Gurcay, B. 2004. "Comparison Of Band Ratioing And Spectral Indices Methods For Detecting Alunite And Kaolinite Minerals Using Aster Data In Bıga Region, Turkey".
- San, B. T., Suzen, M. L. 2010. "Evaluation Of Different Atmospheric Correction Algorithms For Eo-1 Hyperion Imagery".
- San, B. T., Süzen, M. L. 2005. "Digital elevation model (DEM) generation and accuracy assessment from ASTER stereo data". International Journal of Remote Sensing, 26(22), 5013–5027.
- Shahriari, H., Honarmand, M., Ranjbar, H. 2015. "Comparison of multi-temporal ASTER images for hydrothermal alteration mapping using a fractal-aided SAM method". International Journal of Remote Sensing, 36(5), 1271–1289.
- Steven M. de Jong, F. D. van der M. 2005. "Remote Sensing and Digital Image Processing".
- Teng, H., Shi, Z., Ma, Z., Li, Y. 2014. "Estimating spatially downscaled rainfall by regression kriging using TRMM precipitation and elevation in Zhejiang Province, southeast China". International Journal of Remote Sensing, 35(22), 7775–7794.
- Thomas M. Lillesand, R. W. K. J. C. 2015. "Remote Sensing And Image Interpretation Seventh Edition".
- van der Meer, F. 2004. "Analysis of spectral absorption features in hyperspectral imagery". International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 5(1), 55–68.
- Wyatt, C. L. 1978. "Radiometric calibration : theory and methods". Academic Press.
- Vikipedi, 2016, Temel Bileşenler Analizi, Wikipedia Özgür Ansiklopedi, İnternet adresi: https://tr.wikipedia.org/wiki/Temel_bile%C5%9Fen_analizi, Erişim tarihi: 15/12/2021
- Vikipedi, 2013, Delauney Üçgenleme, Wikipedia Özgür Ansiklopedi, İnternet adresi: https://tr.wikipedia.org/wiki/Delaunay_%C3%BC%C3%A7genleme, Erişim tarihi: 15/12/2021
- Yamaguchi, Y., Kahle, A. B., Tsu, H., Kawakami, T., Pniel, M., Kahle, A. B., Pniel, M. 1998. "Overview of Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)". Ieee Transactions On Geoscience And Remote Sensing (Vol. 36).
- Yaprak, S., Arslan, E. 2008. "Kriging Yöntemi ve Geoit Yüksekliklerinin İnterpolasyonu". Retrieved from www.hkmo.org.tr
- Yıldırım, D., Güngör, O. 2012. "IKONOS uydu görüntüleri ile yeni bir görüntü kaynaştırma yöntemi". Retrieved from www.hkmodergi.org

8. EKLER

Ekler 1. Jips numunesinin kimyasal analiz sonuçları

Ekler 2. Jips numunesinin kimyasal analiz sonuçları

Ekler 3. Jips numunesinin kimyasal analiz sonuçları

Ekler 4. Jips numunesinin kimyasal analiz sonuçları



	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	K ₂ O	CaO	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	MnO
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	<2,05	<0,16	<0,06	0,3	69,6	<0,007	<0,005	22,1	0,032	<0,011	<0,015	<0,004
2	<3,15	<0,21	<0,07	0,2	79,0	<0,007	<0,005	24,4	<0,032	<0,013	<0,015	<0,004
3	<2,61	<0,20	<0,07	0,3	78,7	<0,008	<0,005	24,6	<0,031	<0,013	<0,015	<0,004
Rep	<2,60	<0,19	<0,07	0,3	75,6	<0,007	<0,005	23,7	<0,031	<0,012	<0,015	<0,004

Ekler 1. Jips numunesinin kimyasal analiz sonuçları

	Fe ₂ O ₃	CoO	NiO	CuO	ZnO	As ₂ O ₃	Br	Rb ₂ O	SrO	Y	ZrO ₂
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0,02	<0,001	0,008	<0,001	0,002	<0,0007	<0,0005	<0,0005	0,07	0,002	<0,0007
2	0,02	<0,001	0,012	<0,001	0,002	<0,0007	<0,0005	<0,0005	0,07	0,002	<0,0007
3	0,01	<0,001	0,008	<0,001	0,004	<0,0007	<0,0005	<0,0005	0,07	0,001	<0,0007
Rep	0,02	<0,001	0,008	<0,001	0,003	<0,0007	<0,0005	<0,0005	0,07	0,002	<0,0007

Ekler 2. Jips numunesinin kimyasal analiz sonuçları

	Nb2O5	MoO2	Ag	CdO	In	Te	I	Cs	BaO	La
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	<0,0007	<0,0007	<0,003	<0,002	<0,001	<0,0005	<0,004	<0,006	<0,010	<0,011
2	0,001	<0,0008	<0,003	<0,002	<0,002	<0,0005	<0,005	<0,007	<0,017	<0,016
3	<0,0008	<0,0008	<0,003	<0,002	<0,002	<0,0005	<0,005	<0,007	<0,014	<0,014
Rep	<0,0008	<0,0008	<0,003	<0,002	<0,002	<0,0005	<0,005	<0,007	<0,014	<0,013

Ekler 3. Gips numunesinin kimyasal analiz sonuçları

	CeO2	Pr	Nd	Ta2O5	Hg	Bi	Th	U
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0,032	<0,015	0,020	<0,002	<0,0005	<0,0005	<0,0007	0,001
2	<0,026	<0,023	<0,031	<0,002	<0,0005	<0,0005	0,002	0,002
3	0,077	<0,020	0,030	0,003	<0,0005	<0,0005	0,000	<0,0008
Rep	0,0495	<0,019	<0,031	<0,002	<0,0005	<0,0005	0,002	0,002

Ekler 4. Gips numunesinin kimyasal analiz sonuçları

ÖZGEÇMİŞ

Muhammed Enes ÖZGÜN

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2018-2022	Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri, Antalya
Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2012-2016	Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği, Antalya

ESERLER

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

1- ÖZGÜN M. E., SAN B. T. (2019). Mapping Evaporite Minerals Using Aster TIR Image in Beyazari, Ankara (Turkey). 9th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, Antalya, Türkiye, 7 - 11 Mayıs 2018, cilt.1, ss.241-242.