

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YEŞİLOVA OFİYOLİTİNİN (GÜNEYBATI TÜRKİYE) UZAKTAN
ALGILAMA TEKNOLOJİLERİ KULLANILARAK LİTOLOJİK
HARİTALAMASI

ALPER ŞEN

KOCAELİ 2024

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YEŞİLOVA OFİYOLİTİNİN (GÜNEYBATI TÜRKİYE) UZAKTAN
ALGILAMA TEKNOLOJİLERİ KULLANILARAK LİTOLOJİK
HARİTALAMASI**

ALPER ŞEN

Dr. Öğr. Üyesi Mutlu ÖZKAN
Danışman, Kocaeli Üniversitesi

.....

Prof. Dr. Ömer Faruk ÇELİK
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Ulaş İnan SEVİMLİ
Jüri Üyesi, Adıyaman Üniversitesi

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 06.02.2024

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmada,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

☒ Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

☐ Bu Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler tarafından no'lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Alper ŞEN

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki makale, kitap, tebliğ, lisans, patent gibi çalışmalarda kullanımı, danışmanımın isim hakkı saklı kalmak koşuluyla ve her iki tarafın bilgisi dâhilinde bana ait olacaktır.

Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan **“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.

☐ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.

☒ Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

Alper ŞEN

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmasında, Türkiye'nin güney batısında Toros kuşağı içerisinde yer alan ve Likya Naplarının bir bölümünü oluşturan Yeşilova ofiyoliti ve ofiyolitik melanjına ait birimlerinin, multispektral ASTER L1T uydu verileriyle litolojik haritalanması gerçekleştirilmiş ve elde edilen görüntülerin saha verileriyle tutarlı olduğu tespit edilmiştir. ASTER veri seti kullanılarak gerçekleştirilen uzaktan algılama çalışmalarının Toroslara benzer karmaşık jeolojik formasyonların haritalanması için etkili bir araç olduğu değerlendirilmiştir.

Tez çalışmam süresince deneyimi ve uzmanlığı ile yol göstericim olan, doğru konulara odaklanmam için sabırla teşvik eden gerek ofis gerekse arazi çalışmalarında paylaşımcı ve yardımsever yaklaşımıyla yolumu aydınlatan, ihtiyaç duyduğum her an kıymetli zamanını ayıran ve rehberim olan saygıdeğer hocam Dr. Öğr. Üyesi Mutlu ÖZKAN'a tüm emekleri ve desteği için minnettarım.

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca engin tecrübeleriyle jeolojiye yaklaşımına büyük katkılar sunan ve her daim rol modelim olan, saha çalışmalarının önemini ve uzaktan algılamanın sağladığı imkanları özümsememi sağlayan çok değerli hocalarım Prof. Dr. Ömer Faruk ÇELİK ve Doç Dr. Aziz ÖZYAVAŞ'a teşekkür ederim. Kıymetli katkıları ve yardımları için Dr. Rahmi Melih ÇÖRTÜK'e teşekkür ederim.

Akademik yaklaşım ve veri üretme konularında yönlendirmelerini benden esirgemeyen hem birlikte gerçekleştirdiğimiz bilimsel çalışmalarda hem de profesyonel hayatıma yaptığı dokunuşlarla her zaman destekçim olan Doç. Dr. Serpil GERDAN'a teşekkür ederim.

Birlikte çalıştığımız süre boyunca çalışmalarına mesai ayırabilmem için gerekli müsamahayı gösteren AFAD'ın sayın yöneticilerine ve iş yükümü hafifleten saygıdeğer mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bilgeliği, sonsuz sabrı ve sevgisiyle bugünlere gelmemi sağlayan babam Fahri ŞEN'e, şefkat ve merhametiyle her zaman yanımda olan annem Nejla ŞEN'e, yardıma ihtiyaç duyduğum zamanlarda en büyük güven kaynaklarım olan ablam Ahu Birsen ŞEN ve kardeşim Eylül Öykü ŞEN'e kalbi duygularla minnettarım.

Aldığım kararlardaki yegâne manevi destekçim, gündelik hayatın ağırlığını üzerimden alan, her daim yaşamımı kolaylaştıran eşim Gülcan ŞEN'e ve kendisi ile geçirebileceğim zamanı akademik çalışmalara ayırmama büyük bir olgunlukla rıza gösteren, en büyük motivasyon kaynağım ve varlık sebebim sevgili oğlum İkra Alper ŞEN'e şükranlarımı sunarım.

Ocak – 2024

Alper ŞEN

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
TABLolar DİZİNİ.....	viii
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Çalışma Alanının Coğrafik Konumu	3
2.2. Çalışma Alanının Jeolojik Konumu.....	7
2.3. Çalışma Yöntemi	9
2.4. Önceki Çalışmalar	12
2.5. Uzaktan Algılama ve Temel Kavramları	16
2.5.1. Uzaktan Algılama	16
2.5.2. Elektromanyetik Radyasyon.....	17
2.5.3. Elektromanyetik Spektrum	19
2.5.4. Uzaktan Algılamanın Temel Bileşenleri	20
3. GENEL JEOLojİ	26
4. GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİKLERİ	32
4.1. ASTER VNIR ve SWIR Bantları	32
4.1.1. Bant Oranlama.....	32
4.1.2. Temel Bileşen Analizi Yöntemi	33
4.2. ASTER TIR Bantları	33
5. TARTIŞMA	36
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	47
KAYNAKLAR	48
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	58
ÖZGEÇMİŞ.....	59

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	Yüksek lisans tez çalışma alanının konumunu gösterir yer bulduru haritası.....	2
Şekil 2.1	Çalışma alanının genel coğrafik konumu.....	4
Şekil 2.2	Çalışma alanının sayısal yükseklik modeli	5
Şekil 2.3.	(a) Çalışma alanını kuzey bölümlerinde ağırlıklı olarak çam ormanlarından oluşan bölgelerin Drone hava görüntülerinin genel görünümü. (b) Çalışma alanının güneydoğu bölümlerindeki kısmen makilik ve çoğunlukla bitki örtüsü açısından fakir alanların Drone hava görüntüsü.....	6
Şekil 2.4.	Türkiye ve yakın civarındaki ofiyolit ve ofiyolitik yığışım karmaşıklıklarının genel dağılımını ve kenet kuşaklarını gösterir harita Kısaltmalar: İAEK, İzmir-Ankara-Erzincan Kenedi; İTK, İç Toros Kenedi.....	8
Şekil 2.5.	Haritalama çalışması yapılan 1/25.000 ölçekli paftaların dağılımı.....	9
Şekil 2.6.	Yüksek lisans tez çalışmasında materyal olarak seçilen ASTER sahneleri ve çalışma alanına ait konumu sergileyen aldatıcı renkli kompozit görüntü (Kırmızı, B3; Yeşil, B2 ve Mavi, B1)	11
Şekil 2.7.	Elektromanyetik radyasyonun elektrik (E) ve manyetik (M) vektörleri.....	19
Şekil 2.8.	Elektromanyetik spektrum	19
Şekil 2.9.	Atmosferin gündüz ve günbatımındaki rengini belirleyen Rayleigh saçılımının etkisini.....	21
Şekil 2.10.	Elektromanyetik radyasyonun geçişine izin vermeyen temel absorbe edicileri ve etkiledikleri dalga boyunu gösteren atmosferik pencere diyagramı	22
Şekil 2.11.	Landsat, ASTER ve Sentinel uydu görüntülerine ait temel bilgiler	24
Şekil 3.1.	Çalışma alanının jeoloji haritası	27
Şekil 3.2.	Çalışma alanındaki ultramafik kayalara ait genel saha görüntüleri. (a) Çalışma alanının güneydoğu bölümünde gözlenen serpantinize peridotitlerin genel görüntüsü. (b) Kızıl renkli ayrışma yüzeylerine sahip serpantinize peridotitlerin genel görünümü. (c) Aynı alandaki peridotitlerin yakın görüntüsü. (d) Katmanlı yapıya sahip serpantinize peridotitler içerisinde gözlenen kromit bantlarının yakından görünümü (e) Serpantinize peridotitleri kesen dolerit dayklarının genel görüntüsü. (f) Serpantinitler içerisinde gözlenen deforme dolerit dayklarının görünümü	28
Şekil 3.3.	(a) Serpantinize peridotitlerle tektonik dokanaklı olarak gözlenen gabroyik kayaların görünümü. (b) Magmatik katmanlı yapı sunan kümülat gabroların görünümü. (c) Kümülat gabroları kesen plajiyogranit daykının görünümü. (d) Kahverengi renkli altere gabroyik kayaların görünümü.	29
Şekil 3.4.	(a) Yeşilova ofiyolitinin ofiyolitik melanji oluşturan alanların genel görünümü. (b) ofiyolitik melanj içerisinde gözlenen yastık yapılı bazaltların genel görüntüsü. (c) Aynı alandaki yastık yapılı bazaltların yakından görünümü. (d) Mangalı çörtlerin yakın görünümü.....	30

Şekil 3.5.	Ofiyolit tabanı metamorfitlerine ait saha görüntüleri. (a) Ofiyolitik melanj içerisinde gözlenen ofiyolit tabanı metamorfitlerinin genel saha görünümü. (c) Bantlı ve masif yapıli amfibolitlerin görünümü. (c) Amfibolitler içerisinde kalınlıkları birkaç metreye kadar ulaşan kuvarsitlerin görünümü. (d) Amfibolitik kayaçlarda gözlenen kıvrımlı yapıların görünümü	31
Şekil 5.1.	a-d) ASTER veri setinin VNIR ve SWIR bantlarına uygulanan bant oranların kombinasyonundan oluşan KYM aldatıcı renkli kompozit görüntüler. Şekildeki ince beyaz çizgiler, Şekil 3.1'deki litoloji sınırlarıyla aynıdır. Kısaltmalar: a, amfibolit; g, gabro; kk, karbonatlı kayaçlar; om, ofiyolitik melanj; rç, radyolaryalı çört ve çamurtaşları; u, ultramafik kayaçlar	37
Şekil 5.2.	(a-d) ASTER veri setinin VNIR ve SWIR bantlarına uygulanan PCA bantlarının kombinasyonundan oluşan KYM aldatıcı renkli kompozit görüntüler. Şekildeki ince beyaz çizgiler, Şekil 3.1'deki litoloji sınırlarıyla aynıdır. Kısaltmalar: a, amfibolit; g, gabro; kk, karbonatlı kayaçlar; om, ofiyolitik melanj; rç, radyolaryalı çört ve çamurtaşları; u, ultramafik kayaçlar	39
Şekil 5.3.	ASTER veri setinin TIR bantlarına uygulanan mineral ve kayaç indekslerinin sonuç görüntüleri. (a) Ninomiya ve diğ. (2005)'in kalsit indeksi. (b) Ninomiya ve diğ. (2005)'in kuvars indeksi. (c) Nair ve Mathew (2012)'in kuvars indeksi. (d) Rockwell ve Hofstra (2008)'in kuvars indeksi. Şekildeki ince kırmızı çizgiler, Şekil 3.1'deki litoloji sınırlarıyla aynıdır. Kısaltmalar: a, amfibolit; g, gabro; kk, karbonatlı kayaçlar; om, ofiyolitik melanj; rç, radyolaryalı çört ve çamurtaşları; u, ultramafik kayaçlar	40
Şekil 5.4.	ASTER veri setinin TIR bantlarına uygulanan mafik indekslerinin sonuç görüntüleri. (a) Ninomiya ve diğ. (2005)'in mafik indeksi. (b) Ninomiya ve Fu (2010)'nun mafik indeksi. (c) Ding ve diğ. (2014)'ün mafik indeksi. (b) Nair ve Mathew (2012)'in mafik indeksi. Şekildeki ince kırmızı çizgiler, Şekil 3.1'deki litoloji sınırlarıyla aynıdır. Kısaltmalar: a, amfibolit; g, gabro; kk, karbonatlı kayaçlar; om, ofiyolitik melanj; rç, radyolaryalı çört ve çamurtaşları; u, ultramafik kayaçlar	42
Şekil 5.5.	Ninomiya ve Fu (2010)'un mafik indeksi, Ninomiya ve diğ. (2005)'in kalsit indeksi ve Rockwell ve Hofstra (2008)'in kuvars indeksinden oluşan KYM aldatıcı renkli kompozit görüntü. İnce siyah çizgiler, Şekil 3.1'deki litoloji sınırlarıyla aynıdır. Kısaltmalar: a, amfibolit; g, gabro; kk, karbonatlı kayaçlar; om, ofiyolitik melanj; rç, radyolaryalı çört ve çamurtaşları; u, ultramafik kayaçlar	44
Şekil 5.6.	Sırasıyla Nair ve Mathew (2012), Ninomiya ve Fu (2010) ve Ding ve diğ. (2014)'ün mafik indekslerinden oluşan KYM aldatıcı renkli kompozit görüntü. Şekildeki ince siyah çizgiler, Şekil 3.1'deki litoloji sınırlarıyla aynıdır. Kısaltmalar: a, amfibolit; g, gabro; kk, karbonatlı kayaçlar; om, ofiyolitik melanj; rç, radyolaryalı çört ve çamurtaşları; u, ultramafik kayaçlar	45

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. ASTER veri setinin VNIR, SWIR ve TIR bantlarına ait spektral, mekânsal ve radyometrik çözünürlükleri.....	10
Tablo 2.2. Bazı ülkelere ait aktif gözlem uyduları ile ilgili temel bilgiler.....	18
Tablo 4.1. ASTER termal kızılötesi veri setine uygulanan mineral ve kayaç indeksleri.....	35



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

°C	: Santigrat
%	: Yüzde
µm	: Mikrometre
Ar	: Argon
Hz	: Hertz
km	: Kilometre
m	: Metre

Kısaltmalar

ASTER	: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (Gelişmiş Uzaydan Termal Emisyon ve Yansıma Radyometresi)
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
DEM	: Digital Elevation Model (Sayısal Yükseklik Modeli)
ENVI	: Environment for Visualizing Images (Görüntüleri Görselleştirme Ortamı)
EOS	: Earth Observing System (Dünya Gözlem Sistemi)
ESA	: European Space Agency (Avrupa Uzay Ajansı)
ETM	: Enhanced Thematic Mapper (Geliştirilmiş Tematik Harita Oluşturucu)
EU	: European Union (Avrupa Birliği)
FLAASH	: Fast Line-of-sight Atmosphere Analysis of Spectral Hypercubes (Hızlı Görünüş Hattı Spektral Hiperküplerin Atmosfer Analizi)
IR	: Infrared (Kızılötesi)
İAE	: İzmir-Ankara-Erzincan
KYM	: Kırmızı Yeşil Mavi
LANDSAT	: Land Remote-Sensing Satellite (Arazi Uzaktan Algılama Uydusu)
LPDAAC	: Land Processes Distributed Active Archive Center (Arazi İşlemleri Dağıtılmış Etkin Arşiv Merkezi)
MNF	: Minimum Noise Fraction (Minimum Gürültü Faktörü)
My	: Milyon yıl
NASA	: National Aeronautics and Space Administration (Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi)
NIR	: Near Infrared (Yakın Kızılötesi)
OLI	: Operational Land Imager (Operasyonel Arazi Görüntüleyici)
PCA	: Principal Component Analysis (Temel Bileşen Analizi)
RBD	: Relative Band Depth (Göreceli Bant Derinliği)
SWIR	: Short Wave Infrared (Kısa Dalga Kızılötesi)
TES	: Temperature Emissivity Separation (Sıcaklık Yayınım Ayrımı)
TIR	: Thermal Infrared (Termal Kızılötesi)
TIRS	: Thermal Infrared Sensor (Termal Kızılötesi Algılayıcı)
TM	: Thematic Mapper (Tematik Harita Oluşturucu)
USGS	: United States Geological Survey (Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu)
VIS	: Visible (Görünür)
VNIR	: Visible and Near-Infrared (Görünür ve Yakın Kızılötesi)

YEŞİLOVA OFİYOLİTİNİN (GÜNEYBATI TÜRKİYE) UZAKTAN ALGILAMA TEKNOLOJİLERİ KULLANILARAK LİTOLOJİK HARİTALAMASI

ÖZET

Bu çalışmada, Batı Toroslar'da bulunan Yeşilova ofiyoliti ve ofiyolitik melanjına ait litolojik birimlerin tanımlanması ve haritalanması için ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) multispektral uydu verileri kullanılmıştır. Yeşilova ofiyolitine ait litolojik birimleri belirlemek için ASTER L1T veri setinin görünür-yakın kızılötesi (VNIR) ve kısa dalga kızılötesi (SWIR) bantlarına bant oranlama ve Temel Bileşen Analizi (PCA) yöntemleri uygulanmıştır. VNIR-SWIR spektral bantlarında uygulanan bant oranları (B1/B2, B3/B4, B4/B5, B4/B8, B5/B3 ve (B6+B9)/(B7+B8)) ve PCA yönteminin seçili temel bileşenlerinin (PC1, PC2, PC3, PC4 ve PC5) aldatıcı renkli kompozit görüntüleri, çalışma alanındaki ana litolojik birimlerin (peridotit, gabro, radyolaryalı çört, amfibolit ve karbonatlı kayalar) haritalanmasında ve ofiyolitik kayaların tanımlanmasında etkili sonuçlar sağlamıştır. ASTER'in kızılötesi termal (TIR) bantlarına uygulanan mafik kayaç indeksi, kalsit indeksi ve kuvars indeksi gibi indeksleri de Yeşilova ofiyolitine ait mafik-ultramafik litolojilerinin bölgesel ölçekte belirlenmesinde başarılı sonuçlar sunmuştur. Sonuç görüntülerinin doğrulanması saha çalışmalarıyla gerçekleştirilmiş ve saha verileriyle tutarlı olduğu görülmüştür. Bu bağlamda, sunulan uzaktan algılama tekniklerinin çalışma alanındaki ofiyolit ve ofiyolitik melanjlara ait litolojik birimlerin haritalanmasında etkili ve yararlı bir yaklaşım olduğuna dair kanıtlar sunulmuştur. Sonuç olarak, ASTER veri setinin Toroslar gibi karmaşık jeolojik yapıya sahip bölgelerde litolojik haritalama çalışmaları için önemli bir araç olduğu değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: ASTER, Likya Napları, Melanj, Ofiyolit, Uzaktan Algılama.

LITHOLOGICAL MAPPING OF YEŞİLOVA OPHIOLITE (SOUTHWESTERN TURKEY) USING REMOTE SENSING TECHNOLOGIES

ABSTARCT

This study presents the use of ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) multispectral satellite data for the identification and mapping of lithological units from the Yeşilova ophiolite and ophiolitic mélange in the Western Taurides, Turkey. To delineate the lithological units of the Yeşilova ophiolite, band rationing and Principal Component Analysis (PCA) techniques were applied to the visible-near infrared (VNIR) and shortwave infrared (SWIR) bands of the ASTER L1T data set. The band ratios calculated from VNIR-SWIR spectral bands (B1/B2, B3/B4, B4/B5, B4/B8, B5/B3, and (B6+B9)/(B7+B8)) and the selected principal components (PC1, PC2, PC3, PC4, and PC5) of the PCA method, along with their false-color composite images, yielded effective results in mapping the main lithological units (peridotite, gabbro, radiolarian chert, amphibolite, and carbonate rocks) and identifying the ophiolitic rocks within the study area. Additionally, mafic rock index, calcite index, and quartz index, applied to the thermal infrared (TIR) bands of ASTER, provided successful results in delineating the mafic-ultramafic lithologies of the Yeşilova ophiolite at a regional scale. The validation of the resultant images was carried out through field studies, and they were found to be highly consistent with the field data. In this context, the presented remote sensing techniques provide evidence that they are an effective and useful approach for mapping the lithological units of ophiolites and ophiolitic mélanges in the study area. Consequently, the ASTER data set is considered to be a valuable tool for lithological mapping studies in geologically complex regions such as the Taurides.

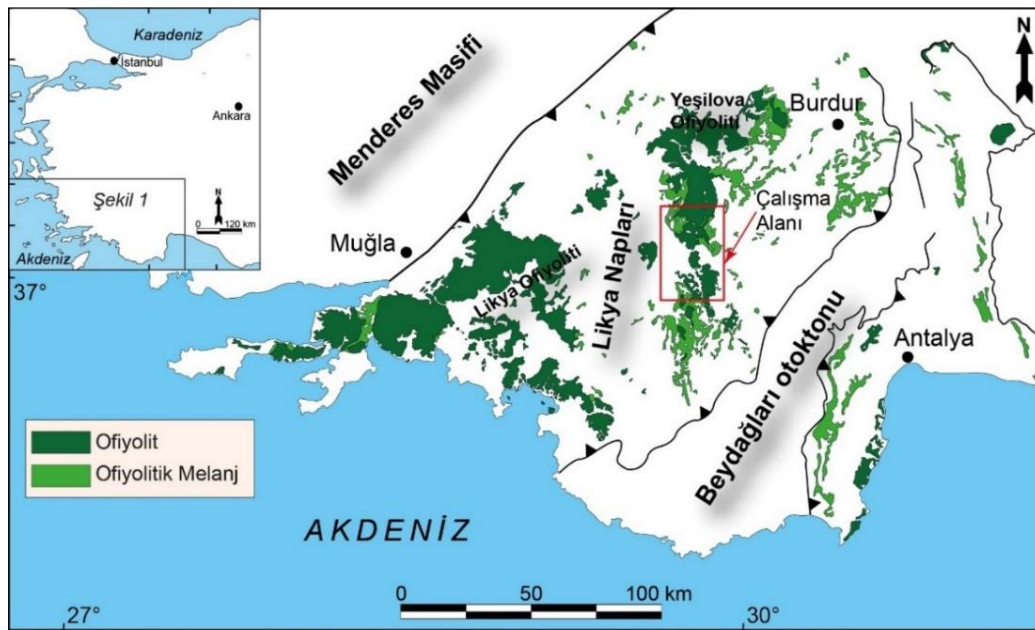
Keywords: ASTER, Lycian Nappes, Mélange, Ophiolite, Remote Sensing.

1. GİRİŞ

Son dönemlerde, hiperspektral/multispektral veri setlerini temel alan uzaktan algılama teknikleri maden yataklarının tespiti, mineralojik ve litolojik haritaların hazırlanması, yapısal analizler ve jeotermal sahaların keşfi gibi uygulama alanlarında gitgide yaygınlaşmakta, ayrıca veri kaynaklarında ve görüntü analiz yöntemlerinde de (ör. makine öğrenmesi) birçok gelişme meydana gelmektedir (ör. van der Meer ve diğ., 2012, 2018; Langford, 2015; Bachri ve diğ., 2019; Gürbüz ve Gürbüz, 2022; Manap ve San, 2022; Turan ve Diker, 2022; Shirmard ve diğ., 2022). Bu bakışla, uzaktan algılama yöntemlerinde yaşanan gelişmeler ve veri işlemede yeni alternatifler hem potansiyel maden alanlarının tespiti ve arama sahalarının sınırlarının belirlenmesinde hem de bölgesel jeoloji haritalarının hazırlanmasında alışlagelmiş saha çalışmalarına nazaran büyük ölçüde zaman ve maliyet tasarrufuna imkân tanımaktadır (ör. Kavak ve diğ., 2009; Özkan ve diğ., 2018; Çörtük ve diğ., 2020; Tözün ve Özyavaş, 2020; Zabcı, 2021; Khalifa ve diğ., 2021; Traore ve diğ., 2022; Canbaz, 2023). Ücretsiz olarak erişime sunulan Sentinel, Landsat ve ASTER gibi multispektral uydu veri setlerinin kullanımı, bölgesel bazda maden alanlarının belirlenmesi ve jeolojik haritalama çalışmalarında önemli sonuçlar sağlamakta ve birçok durumda hiperspektral veri kaynaklarına karşı önemli bir alternatif haline gelmektedir (ör. Cloutis, 1996; Sabins, 1999; Mars ve Rowan, 2010; van der Meer ve diğ., 2012; Adiri ve diğ., 2020; Zabcı, 2021; Traore ve diğ., 2020a; Qasim ve diğ., 2022; Yang ve diğ., 2023). Özellikle, Ulusal Havacılık ve Uzay Ajansının (NASA, National Aeronautics and Space Administration) Dünya Gözlem Sistemi (EOS, Earth Observing System) Terra platformuna dahil olarak 1999 yılında yörüngeye yerleştirilen ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) sensörüne ait veriler yerbilimlerinde faydalanan en gözde uydu verilerinden biridir. Mineral/litoloji haritalamaları ve halihazırda kullanılmakta olan jeoloji haritalarının iyileştirilmesinde başarılı sonuçlar vermektedir (ör. Yamaguchi ve Naito, 2003; Ninomiya ve diğ., 2005; Mars ve Rowan, 2011; Pour ve Hashim, 2011; Rajendran ve Nasir, 2013; Özyavaş, 2016; Gürbüz, 2019; Çörtük ve diğ., 2020). ASTER uydusunda yer alan multispektral sensörler, yansımakta olan radyasyonu 0.52 ile 2.43 μm aralığındaki 9 bant ile 15 m- 30 m mekânsal çözünürlükte ölçmektedir (Fujisada, 1995; Abrams, 2000). Bunun yanı sıra, termal bant olarak veri sağlayan 5 farklı bant ile jeoloji uygulamalarında büyük faydalar sağlamaktadır (ör. Ninomiya, 2002; Ninomiya ve diğ., 2005; Ding ve diğ., 2014; Guha ve Kumar, 2016).

Belirtilen elektromanyetik bant aralıkları çeşitli maden yataklarının ve litolojilerinin incelenmesinde kullanılabilecek spektral emilim ve yansıma özelliklerini kapsamaktadır (ör. Crósta ve diğ., 2003; Pour ve Hashim, 2012; Abrams ve Yamaguchi, 2019; Özyavaş, 2020).

Ofiyolitler, gerek bölgesel jeoloji içerisinde jeolojik oluşum süreçlerinin anlaşılmasında gerekse barındırdığı metalik maden yatakları açısından araştırmacıların dikkatini çekmekte olup bu amaçla günümüze değin uzaktan algılama teknikleri kullanılarak farklı çalışmalar üretilmiştir. ASTER uydusunun sağladığı multispektral veriler sayesinde, ofiyolitler ve bunlarla ilişkili bölgelerin haritalanması ve muhtemel maden yataklarının yerlerinin belirlenebilmesini konu alan çokça başarılı çalışma yapılmış olup yeni yöntem ve yaklaşımlar geliştirilmektedir (ör. Khan ve diğ., 2007; Rajendran ve Nasir, 2015; Özkan ve diğ., 2018; Zhang ve Zeng, 2018; Gürsoy, 2019; Çörtük ve diğ., 2020; Traore ve diğ., 2020a; Manap ve San, 2022; Ekici, 2023). Bu yüksek lisans tez çalışmasında, Güneybatı Türkiye’de yer alan Batı Torosların bir bölümünü temsil eden Yeşilova ofiyoliti ve ofiyolitik melanjinin (Şekil 1.1) ASTER multispektral verileri vasıtasıyla gerek mevcut literatürde önerilen gerekse yeni geliştirilen yöntemlerle litolojik haritasının oluşturulması ve mevcut haritaların güncellenmesine katkı sunmak amaçlanmıştır.



Şekil 1.1. Yüksek lisans tez çalışma alanının konumunu gösterir yer bulduru haritası (Harita, Konak (2002)'den sadeleştirilerek alınmıştır)

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Çalışma Alanının Coğrafik Konumu

Yüksek lisans tez çalışma alanı güneybatı Türkiye’de Burdur, Denizli, Muğla ve Antalya illerinin sınırlarına dahil olan büyük çoğunluğu Burdur İline bağlı Gölhisar, Çavdır ve Tefenni ilçeleri civarındadır. Akdeniz bölgesinin kuzey batı sınırını oluşturan Burdur ili, bölgenin Ege ve İç Anadolu bölgelerine bağlantı güzergahında yer almaktadır. Burdur ili Ağlasun, Bucak, Çavdır, Gölhisar, Karamanlı, Tefenni, Yeşilova başta olmak üzere 11 ilçe, 3 belde ve 193 köyden oluşmakta olup ilinin nüfusu 273.716 kişidir (URL-1). Yüksek lisans tezinde çalışılma alanı olarak seçilen alan Gölhisar ilçesi ile buranın doğusunda yer alan Çavdır ve kuzey batısında bulunan Tefenni sınırlarında bulunmaktadır. Gölhisar ilçesi Burdur’un en büyük ikinci ilçesidir. İl merkezine uzaklığı 107 km’dir. Batı Torosların eteklerinde bulunan ilçenin yüz ölçümü 576 km²’dir. Çavdır ilçesi ise Burdur merkeze 90 km mesafededir. İlçenin yüz ölçümü 485 km²’dir. Tefenni ilçesi Burdur merkeze 70 km uzaklıkta yer almakta olup yüzölçümü 623 km²’dir.

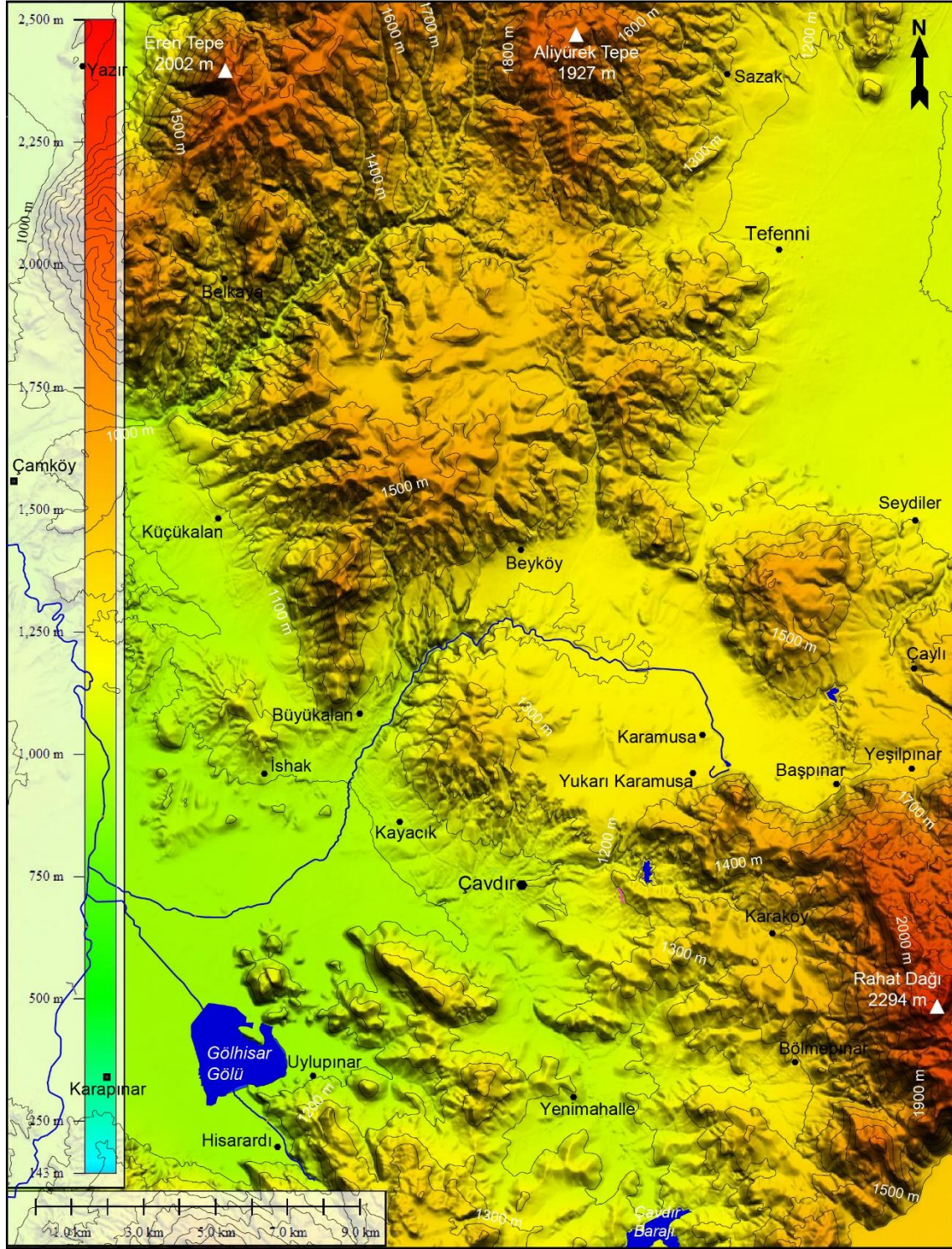
7.176 km² yüzölçümü ile ülkemizin alansal olarak yaklaşık %1’lik kısmına tekabül eden Burdur ilinin ortalama yükseltisi ise 950 metre civarındadır. Arazi genelinin %60.6’sını dağlık alanlar, %2.7’sini yaylalar, %19’unu ovalar oluşturmakta olup %17.6’sı ise genel olarak engebeli alanlar olarak tanımlanmaktadır. Kapalı havzalarda oluşan Karataş, Salda, Yarışlı, Gölhisar ve Burdur Gölleri sebebiyle bu yöre Göller Bölgesi olarak da bilinmektedir (Şekil 2.1.). Çalışma alanının üzerinde yer aldığı bölge genel itibariyle su kaynakları açısından oldukça zengindir. Bunlar, hem oluşumu ve kimyası gereği özel bir konuma sahip olan Salda Gölü çalışma alanının yaklaşık 50 km kuzeyinde yer almaktadır (Şekil 2.1.). Bununla birlikte çalışma alanının kabaca güneydoğusunda bulunan Gölhisar Gölü bölgedeki önemli sulak alanlardan birini temsil etmektedir. Bunların haricinde baraj ve göletler de çalışma alanının farklı kesimlerinde gözlenmektedir. Gölhisar gölü, tektonik sebeplerle oluşmuş çöküntü alanının önünün Dalaman Çayının biriktirdiği alüvyonlarla kapanması sonucu oluşmuştur. En derin noktası yaklaşık 6 m civarındadır, sıgı olarak tabir edilebilecek bir göldür. Böğrüdelik yaylasının batısında Kocayayla gölü yer almaktadır. Kurak yaz dönemlerinde suları çekilebilmektedir. Ayrıca ilçe sınırları içerisinde 1991 yılında yapılmış 110 bin m³ kapasiteli Yapraklı baraj göleti bulunmaktadır. Çavdır ilçesinin başlıca göl ve göletleri ise Yazır gölü, Çavdır ve Kozağaç barajları ayrıca Çavdır

ve Söğüt göletleridir. Dalaman çayı çalışma alanı sınırlarında doğmaktadır. Horzum, Bayır, Arslanlı çayları birleşerek Dalaman çayının en büyük kollarını oluşturmaktadırlar. Kendine has kükürt ve bromür kokusu ile meşhur Barutlusu kaynağı da çalışma alanı sınırlarında yer almaktadır. Çalışma alanındaki başlıca yüksek dağ zirvelerinden Rahat Dağı 2294 m, Eren Tepe 2002 m ve Aliyürek Tepe 1927 m yüksekliğe sahip başlıca yükseltileri oluşturmaktadır (Şekil 2.2). Bölgenin en önemli ovaları Gölhisar ve Tefenni ovalarıdır. Ayrıca bölgede halkın kullanımına açık çok sayıda yayla bulunmaktadır.



Şekil 2.1. Çalışma alanının genel coğrafik konumu

Burdur ili genelinde karasal iklim hakimdir. Kış mevsimi sert iklim koşullarında, yaz mevsimi ise sıcak ve kurak geçmektedir. Hâkim bitki örtüsü bölge geneliyle uyumlu şekilde makilik alanlardan oluşmakta, yüksek kesimler ise çam ormanlarıyla temsil edilmektedir. Gölhisar ve çevresi Akdeniz iklim kuşağı özelliklerini barındırır da Akdeniz iklimi ile karasal iklim arasında bir geçiş iklimi görülmektedir. Çam ve ardıç ağaçlarının belirli rakım üzerinde bir arada bulunurlar (Şekil 2.3a). Yazlar tam anlamıyla Akdeniz iklimi kadar yüksek sıcaklıklarda geçmez, aynı şekilde kışlar da karasal iklim kadar soğuk değildir. Otsu bitkiler olarak çemen, kekik, adaçayı, kazayağı ve çayır otları, genel bitki örtüsü ise maki çalılırları ve yüksek kesimlerdeki ormanlık alanlardır (Şekil 2.3a,b). Benzer şekilde Çavdır ve Tefenni ilçeleri de Akdeniz-Ege geçiş iklimi ile karakterize olup yazlar sıcak ve kurak, kışlar kısmen soğuk ve az yağışlı geçmektedir. Yağışlar çoğunlukla Kasım ve Aralık ayları ile Nisan ve Mayıs aylarında görülür.



Şekil 2.2. Çalışma alanının sayısal yükseklik modeli

Burdur ilinin ekonomisi büyük oranda süt üretimi amaçlı büyükbaş besiciliği ve bu amaçla yetiştirilen endüstriyel tarım ürünlerine dayalıdır. Burdur ili günlük süt üretiminde ülke genelinde 10. sıradadır. Örtü altı yetiştiriciliği ve sera varlığı da her geçen gün

artmaktadır. Çavdır ilçesine bağlı Söğüt Beldesi ilin tüm sera kapasitesinin yarısına sahip durumdadır. Burdur genelinde 127 mermer ocağı ve 117 mermer işleme tesisi bulunmaktadır (URL-2). Çıkarılan mermerler gerek hammadde gerekse işlenmiş mamul olarak birçok ülkeye ihraç edilmektedir.



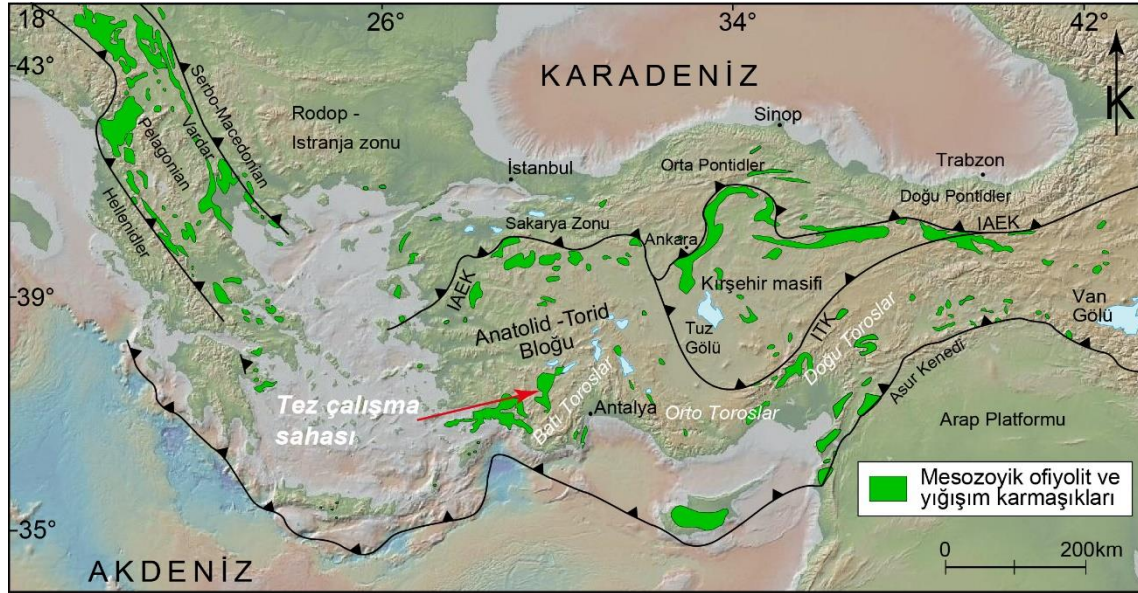
Şekil 2.3. (a) Çalışma alanını kuzey bölümlerinde ağırlıklı olarak çam ormanlarından oluşan bölgelerin Drone hava görüntülerinin genel görünümü. (b) Çalışma alanının güneydoğu bölümlerindeki kısmen makilik ve çoğunlukla bitki örtüsü açısından fakir alanların Drone hava görüntüsü

2.2. Çalışma Alanının Jeolojik Konumu

Alp-Himalaya dağ kuşağı üzerinde yer alan Türkiye, Tetis okyanusunun farklı jeolojik dönemler içerisindeki oluşum ve kapanma süreçlerine dair jeolojik kayıtların gözlenebildiği ve bu süreçlerle ilişkili olarak gelişen kenet kuşakları ve ofiyolitik kayaçların yaygın olarak yüzlek verdiği bir coğrafyadır (ör. Şengör ve Yılmaz, 1981; Okay ve Tüysüz 1999). Şekil 2.4'te Türkiye'de yüzlek veren ofiyolitlerin ve yığışım karmaşıklıklarının dağılımları gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere ofiyolitler ve yığışım karmaşıklıklarının ağırlıklı olarak kenet kuşakları olarak tanımlanan bölgelerde yer aldıkları görülmektedir. Ofiyolitik kayaçlar ve yığışım karmaşıklıklarının yüzlek verdiği alanlar daha çok kenet kuşakları ile ilişkilendirilmektedir. Pontidler ile Anatolid-Torid bloğu ve Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı İzmir-Ankara-Erzincan (İAE) kenet kuşağı (Şekil 2.4) ile ayrılmakta olup bu kenet kuşağı boyunca Triyas, Jura ve Kretase yaşlı ofiyolitik kayaçlar yüzlek vermektedir (ör. Çelik ve diğ., 2011, 2016; 2019; Çörtük ve diğ., 2016; Özkan ve diğ., 2020, 2022). Yüksek lisans tez çalışma sahasındaki Kretase yaşlı Yeşilova ofiyolitini de içerisine alan Likya naplarındaki ofiyolitlerin ve yığışım karmaşıklıklarının (Şekil 2.4) İAE kenet kuşağı ofiyolitlerine benzer şekilde Tetis okyanusunun kuzey kolundan türediği ve kenet kuşağı oluşumu ve sonrasındaki süreçlerde güneydeki Anatolid-Torid bloğu üzerine yerleştikleri önerilmektedir (ör. Collins ve Robertson, 1998, 1999; Plunder ve diğ., 2016).

Yüksek lisans tez çalışma sahası Türkiye'nin güney batısında, Toros kuşağı batısında bulunmaktadır (Şekil 2.4). Toros kuşağı Özgül (1976) tarafından Batı Toroslar, Orta Toroslar ve Doğu Toroslar olmak üzere kabaca üç ana bölgeye ayrılmıştır. Çalışma sahasının içerisinde yer almış olduğu Batı Toroslar; Bodrum napı, Gülbahar napı, Domuzdağ napı, Tavas napı ve Marmaris ofiyolit napı olarak tanımlanan gibi yaygın nap sistemlerinin geliştiği ve Likya Napları olarak tanımlanan karmaşık bir jeolojik yapıya sahiptir (ör. Özgül, 1976; Collins ve Robertson, 1999; Şenel, 2004). Dolayısıyla, bölgedeki kayaç birliklerinin allohton birimler şeklinde yerleştikleri önerilmiştir. Bölgedeki otokton birimleri "Beydağı otoktonu" ile temsil edilmektedir (ör. Collins ve Robertson, 1999; Şenel, 2004). Bey Dağları otoktonu ve Menderes Masifi'nin arasındaki bölgede, yaşları çoğunlukla Mesozoyik yaşlı olarak bilinen karbonatlı kayaç istifleriyle birlikte Toros Kuşağındaki ofiyolitlerin bir kısmını meydana getiren Üst Kretase yaşlı

ofiyolit ve ofiyolitik melanj alanları yayılım göstermektedir (ör. Sarp, 1976; Monod, 1977; Collins ve Robertson, 1999; Çelik ve Delaloye, 2003; Çelik ve diğ., 2006; Çelik ve Chiaradia, 2008; Uysal ve diğ., 2012; Şekil 2.4).

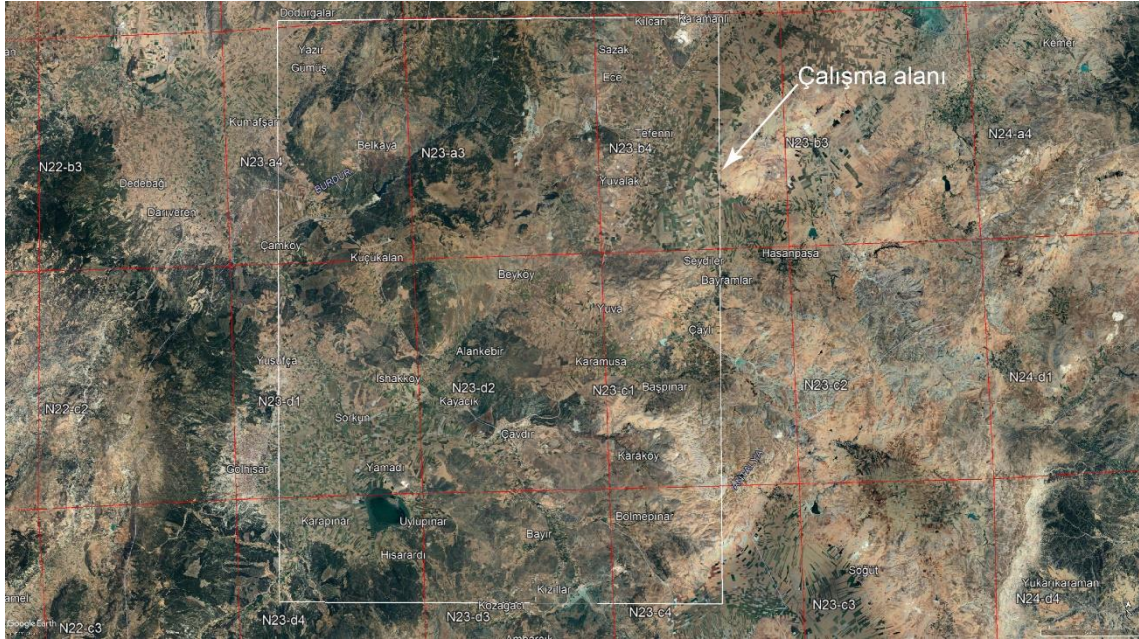


Şekil 2.4. Türkiye ve yakın civarındaki ofiyolit ve ofiyolitik yığılma karmaşıklıklarının genel dağılımını ve kenet kuşaklarını gösterir haritası (Harita, Çelik ve diğ. 2011'den değiştirilerek alınmıştır). Küresel yükseklik altlık haritası GeoMapApp uygulamasından (www.geomapapp.org) alınmıştır. Kısaltmalar: İAEK, İzmir-Ankara-Erzincen Kenedi; İTK, İç Toros Kenedi

Bölgedeki ofiyolitler çoğunlukla “Marmaris Ofiyoliti Napı” (Şenel, 1997), “Likya Ofiyoliti” (Çelik ve Delaloye, 2003; Şenel, 2004), ve burada sunulan yüksek lisans tez çalışmasına konu olan Yeşilova Ofiyoliti (Sarp, 1976) adlandırmaları ile betimlenmiştir. Ağırlıklı olarak serpantinize peridotitler ve daha az oranda piroksenit, podiform kromit, gabro ve bu kayalar kesen dolerit dayklarından oluşan ofiyolitik kayalar yitim zonu üstü ortam koşullarını karakterize eden jeokimyasal özelliklere sahiptirler (ör. Çelik ve Delaloye, 2003; Çelik ve Chiaradia, 2008; Aldanmaz ve diğ., 2012; Uysal ve diğ., 2012). Bununla birlikte, Likya ofiyolitlerinin tektonik olarak tabanında yer alan ofiyolit tabanı metamorfik kayaları, Likya ofiyolitlerini oluşturan bir diğer önemli kayaç grubunu temsil etmektedir (ör. Çelik ve Delaloye, 2003; Çelik ve Chiaradia, 2008). Bölgede yer alan ofiyolitlerdeki (ör. Yeşilova ve Köyceğiz ofiyolitleri), ofiyolit tabanına ait metamorfik kayalarından $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ tarihlendirme yöntemiyle alınan hassas yaş sonuçları göre 90-94 My başkalaşım yaşları elde edilmiştir (Çelik ve diğ., 2006).

2.3. Çalışma Yöntemi

Yüksek lisans tezinin hazırlama aşamaları sırasıyla öncül ofis çalışmaları, saha çalışmaları ve nihai ofis çalışmaları şeklinde uygulanmıştır. Öncül ofis çalışmaları kapsamında yüksek lisans tez çalışma alanının jeolojik özelliklerinin belirlenmesine yönelik literatür taramalarından ve farklı uzaktan algılama teknikleri kullanılarak elde edilen sonuç görüntülerin deneme ve test aşamalarından oluşmuştur. Saha çalışmaları aşamasında belirlenen günlük rotalar dahilinde örnekler toplanmış, yüzeyleyen birimlere ait yapısal unsurlar kaydedilmiş olup drone hava aracı ile uygun lokasyonlardan fotoğraflar alınmıştır. Haritalama çalışmalarında kullanılan 1/25.000 ölçekli topografik haritalara ait pafta bilgileri şekil 2.5'te sunulmuştur. Yapısal öğelerin ölçümlerinde Brunton marka Transit 5006LM model jeolog pusulası kullanılmıştır. Hava fotoğraflarının elde edilmesi amacıyla üç eksenli gimble, sabit irtifa, otomatik rota takip özellikli, saatte 65 km hıza ulaşabilen ve 7 km menzili 4K görüntü kalitesi sunan DJI Mavic Pro drone hava aracından faydalanılmıştır.



Şekil 2.5. Haritalama çalışması yapılan 1/25.000 ölçekli paftaların dağılımı

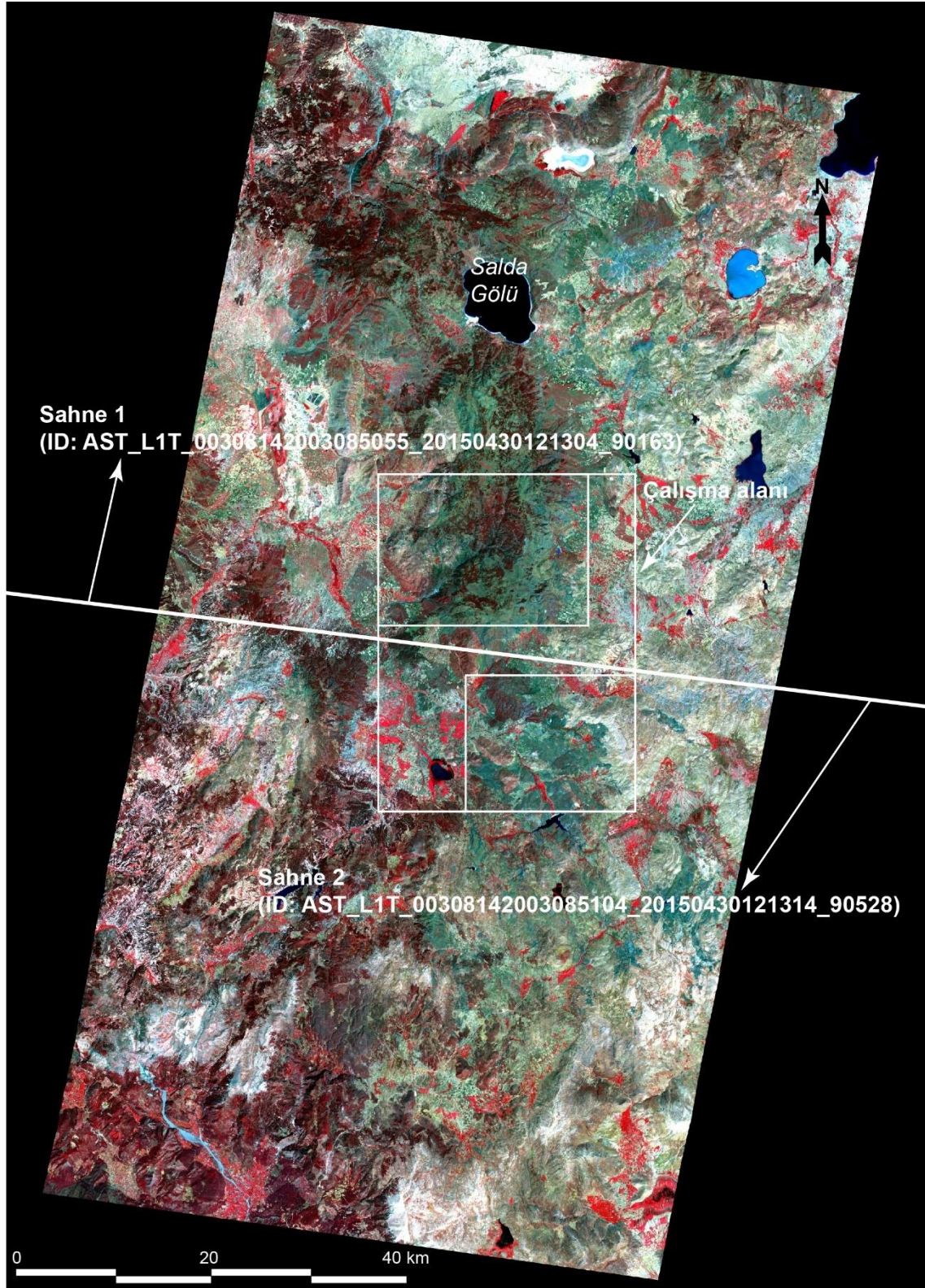
Nihai ofis çalışmalarında, Terra ASTER L1T multispektral verileri temel materyal olarak seçilmiştir. ASTER L1T veri seti 14 banttan oluşmakta olup bunlardan ilk üçü 15 m mekânsal çözünürlük sunan görünür-yakın kızılötesi (VNIR), devamındaki altısı 30 m mekânsal çözünürlük sunan kısa dalga kızılötesi (SWIR) ve son beş bant ise 90 m

mekânsal çözünürlük sunan termal kızılötesi (TIR) bantlarına karşılık gelmektedir (Fujisada, 1995). Ayrıca, ASTER verilerinin mekânsal, spektral ve radyometrik çözünürlükleri özet halinde Tablo 2.1'de verilmiştir.

ASTER sahnelerinin her biri 60 x 60 km²'lik bir alana tekabül etmektedir. ASTER L1T verilerine NASA'nın internet sitesindeki Land Processes Distributed Active Archive Center'dan (LPDAAC; <https://earthexplorer.usgs.gov/>) üzerinden ücretsiz olarak erişilebilmektedir. Kullanılan ASTER L1T veri setinin yüzey yansıtma ve crosstalk düzeltmeleri halihazırda yapılmış durumdadır. Çalışma alanındaki Yeşilova ofiyolitini kapsayan ve bulutluluğun oransal olarak düşük olduğu 14 Ağustos 2003 tarihine ait olan iki adet ASTER sahnesi tercih edilmiştir (Şekil 2.6). Bu çalışma için, uydu görüntülerinin işlenmesinde ve sonuç görüntülerinin hazırlanmasında ENVI ve Global Mapper yazılımlarından faydalanılmıştır.

Tablo 2.1. ASTER veri setinin VNIR, SWIR ve TIR bantlarına ait spektral, mekânsal ve radyometrik çözünürlükleri

Alt Sistem	Bant No	Spektral (µm) Çözünürlük	Mekânsal (m) Çözünürlük	Radyometrik (bit) Çözünürlük
VNIR	1	0.520-0.600	15	8 (0-255)
	2	0.630-0.690	15	8 (0-255)
	3N	0.760-0.860	15	8 (0-255)
SWIR	4	1.600-1.700	30	8 (0-255)
	5	2.145-2.185	30	8 (0-255)
	6	2.185-2.225	30	8 (0-255)
	7	2.235-2.285	30	8 (0-255)
	8	2.295-2.365	30	8 (0-255)
	9	2.360-2.430	30	8 (0-255)
TIR	10	8.125-8.475	90	12 (0-4095)
	11	8.475-8.825	90	12 (0-4095)
	12	8.925-9.275	90	12 (0-4095)
	13	10.250-10.950	90	12 (0-4095)
	14	10.950-11.650	90	12 (0-4095)



Şekil 2.6. Yüksek lisans tez çalışmasında materyal olarak seçilen ASTER sahneleri ve çalışma alanına ait konumu sergileyen aldatıcı renkli kompozit görüntü (Kırmızı, B3; Yeşil, B2 ve Mavi, B1)

ASTER uydusunun VNIR-SWIR bantlarına ait verilerin atmosferik düzeltilmesi ve radyometrik kalibrasyonu için, spektral hiperküp FLAASH (Fast Line-of-sight Atmosphere Analysis of Spectral Hypercubes) algoritmasının hızlı görüş hattı atmosferik analizi kullanılmıştır. Radyometrik düzeltmeler (sensör kalibrasyonu dijital numaraların radyansa dönüştürülmesi) akabinde, ASTER L1T verilerinden 30 metre çözünürlüğe sahip kısa dalga kızılötesi bantlar ve görünür-yakın kızılötesi bantlarının mekânsal çözünürlüğüyle tutarlılık gösteren en yakın komşu yeniden örnekleme yöntemiyle 15 m için tekrardan örneklenmiştir. ENVI yazılımı içerisinde sunulan FLAASH modülüyle ASTER multispektral verileri için atmosferik düzeltmeler yapılmıştır. (Cooley ve diğ., 2002; Gad ve Kusky, 2007). ASTER L1T verilerinin termal kızılötesi bantları (8.125-11.65 μm) radyometrik ve atmosferik olarak düzeltildikten sonra termal kızılötesi sensörleri ile tespit edilen parlaklık verileri; emisivite (yayınım) ve sıcaklık verilerini ayırt etmek için Gillespie ve diğ. (1998)'nin geliştirdiği sıcaklık-yayınım ayrımı (TES) algoritma ile bantlara ait veriler yayınım değerleriyle denk gelmek üzere kalibre edilmiştir.

2.4. Önceki Çalışmalar

Çalışma alanı ve civarındaki bölgelerde gerek bölgesel jeolojik oluşum süreçlerinin belirlenmesine yönelik genel jeolojik ve petrolojik araştırmalar, gerekse maden ve petrol (hidrokarbon) arama çalışmaları kapsamında jeokimyasal ve derin sondaj çalışmaları için birçok araştırmacı tarafından incelemeler gerçekleştirilmiştir (ör. Özgül, 1976; Demirel ve diğ., 2002; Şenel 2004; Çelik ve diğ., 2006; Çelik ve Chiaradia 2008; Özkaptan ve diğ., 2018). Çalışma alanı ve civarındaki ofiyolitik kayaçlar hakkındaki kapsamlı öncül çalışmalar Sarp (1976), Poisson (1977), Özpınar (1987) ve Döyen (1995) tarafından gerçekleştirilmiştir. Literatürde, Yeşilova ofiyoliti adlandırılması ilk olarak Sarp (1976)'da kullanılmıştır. Bununla birlikte bu öncül çalışmalarda, Yeşilova ofiyolitinin Geç Jura – Erken Kretase, melanjin ise Geç Senoniye yaşlı olduğu önerilmiştir. Poisson (1977), bölgedeki melanjin birimlerinin ofiyolitik kayaçlar üzerinde tektonik olarak yer aldığını ve çamurtaşı, radyolarit ve serpantin içindeki kireçtaşı ve ofiyolitik kayaç olistolitlerini tanımlamış olup Kızılcaadağ melanjin oluşum yaşının Geç Senoniye olduğunu ifade etmiştir. Koralay (2000), Yeşilova ofiyolitinin manto tektonitleri, mafik-ultramafik kümülatlar, izotropik gabrolar, plajiyogranit ve dolerit daykları ve bazaltlardan

meydana geldiğini buna karşın ofiyolitik istifte levha dayk ve yastık lavları bulunmadığı için eksikli bir ofiyolitik istif olduğu önerilmiştir. Ayrıca, Kızılcaadağ ofiyolitik melanjinin tektonik olarak yataya yakın bir dokanakla Yeşilova ofiyolitinin üzerinde yer aldığı ifade edilmiştir. Çelik ve diğ. (2006) Toros kuşağı ofiyolitlerine ait ofiyolit tabanı metamorfik kayaçlarının Ar-Ar tarihlendirme yöntemiyle tarihlendirilmesi çalışmaları yapmıştır. Bu çalışmada 90-94 My arasında başkalaşım yaşları tespit edilmiştir. Çalışma alanının kuzeyinde (Salda Gölü ve civarında) Çelik ve Chiaradia (2008) tarafından manto peridotitlerini ve ofiyolit tabanı metamorfik kayaçlarını kesen doleritik kayaçların kökensel özellikleri incelenmiştir. Araştırmacılar, başkalaşıma maruz kalmış olan daykların, ofiyolit tabanı metamorfik kayaçlarının oluşumundan önce manto kayalarını kestikleri ifade edilmiş olup, başkalaşım göstermeyen daykların ise ofiyolit tabanı metamorfik kayaçlarının oluşumundan sonra geliştikleri saha ve analitik verilerle tespit edilmiştir. Her iki dayk grubunun da benzer jeokimyasal özellikler sunduğu ve yitimle ilişkili kökene sahip oldukları ifade edilmiştir.

Literatürde ofiyolitik kayaçların uydu verileri yardımıyla mineralojik/litolojik haritalama çalışmaları üzerine kabaca 1980’li yıllardan günümüze değin birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Örneğin, Sultan ve diğ. (1986) Landsat Thematic Mapper verileri kullanarak ofiyolitik kayaçların litolojik haritalama konusundaki ilk çalışmalardan birisini gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar, bu çalışmalarında Mısır’da yer alan serpantinitlerin ve bununla ilişkili kayaçların bant oranlama yöntemi ile haritalandırılmasını sağlamışlardır. Dolayısıyla, bant oranlama tekniğin Landsat görüntüsünün bölgedeki litolojik kayaları ayırt etmek için uygun olduğunu ve elde edilen sonuçların arazi çalışmalarıyla uyumlu olduğu vurgulanmıştır. Bu çalışmanın daha sonrasında Landsat uydu verileri kullanılarak gerçekleştirilen çalışmaların hem sayısında önemli bir artış görülmüş olup hem de gelişen Landsat uydu teknolojileri ile birlikte üretilen çalışmalarda uygulanan görüntü işleme tekniklerinde de gelişmeler yaşanmıştır. Landsat uydu verilerine bir alternatif olarak 2000’li yılların başından itibaren ASTER uydu verileri de ofiyolitik kayaçların mineralojik/litolojik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle ASTER uydu verilerinin TIR bölgesini temsil eden bantlarının varlığı mineralojik ve litolojik haritalama çalışmalarında önemli bir avantaj sağlamıştır (ör. Ninomiya, 2002; Rowan ve Mars, 2003; Rowan vd., 2005; Öztan ve Süzen, 2011; Ninomiya ve Fu, 2016; Özkan ve diğ., 2018; Ninomiya ve Fu, 2019; Çörtük

ve diğ., 2020). ASTER'in sağlamış olduğu bu avantajlardan dolayı Türkiye'deki kenet kuşaklarında yüzlek veren ofiyolitik kayaçların litolojik ve mineralojik haritalarının oluşturulması amacıyla çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. Örneğin, Gürçay (2007)'de İzmir-Ankara-Erzincan kenet kuşağı üzerinde yer alan Çankırı bölgesindeki ofiyolitik kayaçların ASTER uydu görüntüleri ile haritalanması üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada daha çok ultramafik kayaçların termal spektral özellikleri dikkate alınarak geliştirilen algoritmalar sayesinde diğer litolojilerden ayırt edilmesi hedeflenmiştir. Elde edilen görüntü analizleri neticesinde önceki çalışmalarda melanj olarak haritalanan alanlardaki olivin içeriği fazla olan peridotitlerin ayırt edilebildiği önerilmiştir.

Kayadibi ve diğ. (2008) çalışmalarında, Gürçay (2007)'de olduğu gibi İzmir-Ankara-Erzincan kenet kuşağı üzerinde yer alan Çankırı bölgesindeki Eldivan ofiyolitinin ASTER uydu verileri ile litoloji haritalarının hazırlanması hedeflenmiştir. Araştırmacılar, ASTER multispektral verilerine ait VNIR ve SWIR spektral bantları ile bölgede yüzeyleyen Eldivan ofiyolitik istifin neredeyse tüm birimlerini kapsayan litolojik birimlerle birlikte sedimanter ve volkanosedimanter birimlerin bant oranlama, temel bileşen analizi / Crosta, de-korelasyon gemesi ve sınıflandırma gibi multispektral yöntemler aracılığıyla haritalandırılması üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Gül ve diğ. (2011)'de Kahramanmaraş havzasında yüzeyleyen kireçtaşları, metamorfitle ve ofiyolitik kayaçlar üzerinde Landsat TM sensörleri ile elde edilen görüntüler aracılığıyla çalışmışlardır. Kilitaşı ve kireçtaşlarının ayırdında 751 (KYM) aldaticı renkli görüntülerden faydalanılmıştır. Bununla, birlikte PCA 145 renkli kompozit görüntüsü çalışma alanındaki killi ve demir oksitli mineralleri içeren kayaç birimlerinin ayırt edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Sedimanter birimlerdeki fasiyeslerin ayrıntılı bir şekilde ayırt edilebilmesi için Landsat TM görüntülerinin 30m mekânsal çözünürlüğün yetersiz geldiğine dikkat çekilmiştir.

Özkan ve diğ. (2018) Sivas kuzeyindeki Tekelidağ karmaşığı içerisindeki ofiyolitik kayaçların ASTER uydu görüntülerini kullanarak litolojik haritalama çalışmaları yürütmüşlerdir. Bu çalışma kapsamında ofiyolitik kayaçların haritalanması için ASTER'in SWIR ve VNIR bantlarından iki yeni bant kombinasyonu önerilmiştir. Ayrıca,

ASTER termal bantları ile mafik, silis ve karbonat indekslerini kullanarak ultramafik kayaların çevre kayalardan ayırt edilebildiği vurgulanmıştır.

Çalınak (2019)'da Sivas İlinin kuzeyinde bulunan İzmir-Ankara-Erzincan kenet zonu içerisinde kalan bölgenin ASTER ve Sentinel-2A uydu görüntüleriyle haritalanması ve kayaç spektralarının toplanması amaçlamıştır.

Çörtük ve diğ. (2020)'de Toros kuşağı ofiyolitlerinin bir bölümünü oluşturan Pınarbaşı ofiyolitinin ASTER ve LANDSAT 8 uydu görüntüleri kullanılarak haritalanmıştır. Araştırmacılar, ASTER'in SWIR ve VNIR bantlarına bant oranlama, PCA teknikleri uygulamışlardır. Kromit içeren potansiyel alanların belirlenmesinde önemli bir role sahip olduğu dikkat çekilmiştir.

Sevimli ve diğ. (2021)'de Doğu Toros dağ kuşağının Yazıhan-Hekimhan (Malatya) bölgesindeki ofiyolitik kayaların litolojik haritalanması ve kromit yataklarının belirlenmesine yönelik Landsat-8 ve ASTER veri setinin NVIR-SWIR bantlarına uygulamış oldukları bant oranlama, temel bileşen analizi ve de-korelasyon gemesi yöntemlerini kullanmışlardır. Uygulanan bu yöntemler neticesinde Landsat-8 OLI ve ASTER verilerinin bölgesel ölçekte ofiyolitik kayaların ayırdında ve yüksek potansiyelli krom cevheri içeren alanları tespit etme veya tanımlama konusunda uygun olduğu sunulmuştur.

Traore (2021), Traore ve diğ. (2021)'de Anatolid-Torid bloğunda yüzeyleyen ofiyolitik kayaların ve bunlarla birlikte bulunan demiroksit, kurşun-çinko ve krom cevher zonlarının Landsat-8 OLI, ASTER ve Sentinel-2A görüntüleri kullanılarak litolojik haritalama ve mineral araştırmaları için uygun olduğu belirlenmiştir.

Canbaz (2023)'te Divriği ofiyolitine ait litolojik birimlerin ve kromit yataklarının ASTER verileri ile tespitine yönelik uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Başlıca, bant oranlama, MNF ve MF (matched filtering) yöntemleri uygulanmış olup bant oranlama ile ofiyolit sınırları sediment ve magmatik kayaların bölgesel ölçekte ayırt edilebilmiş, MNF yöntemi ise krom yataklarının yerlerini kısmen ayırt etse de sınırların belirlenmesinde yetersiz kalmıştır. Ancak, MF spektral sınıflandırmanın ofiyolit komplekslerinde krom içeren kayaların belirlenmesinde yüksek performans gösterebileceği önerilmiştir.

Ekici (2023)'te Sivas havzasının güneyindeki Divriği ofiyolitine ait ultramafik ve mafik kayaçların ve bu kayaçlarla ilişkili kromit oluşumlarının ASTER uydu verileri ile litolojik ve mineralojik haritalanması hakkında çalışmalar yapmıştır. Araştırmacı bu çalışmada, ASTER görüntülerini bant oranlama, spektral indeks, dekorelasyon gemesi ve temel bileşen analizi yöntemleri kullanarak ultramafik kayaçları ayırt edilmesinde kullanılmıştır. Bunlardan, PCA görüntülerinde 321 kombinasyonunu serpantinize peridotitleri ayırt etmede olumlu sonuçlar sağladığı rapor edilmiştir.

2.5. Uzaktan Algılama ve Temel Kavramları

Bu bölümde çalışma konusuyla ilişkili olarak uzaktan algılama veri kaynakları ve teknikleri hakkında genel bilgiler sunulmuştur.

2.5.1. Uzaktan Algılama

Uzaktan algılama, yer yüzeyindeki tüm nesneler hakkında gerek hava araçlarının sağladığı veriler gerekse dünya yörüngesinde yer alan uydularda bulunan sensörler vasıtasıyla mekânsal ve zamansal olarak ışık spektrumunun büyük bir bölümü kullanılarak veri elde edilmesi ve yorumlanması şeklinde tanımlanmaktadır. Benzer şekilde, uzaktan algılama kavramı incelenen alandaki herhangi bir nesneye fiziksel temasta bulunmadan, algılayıcı tarafından nesne hakkında çeşitli bilgilerin toplanması ve çözülmesi ile veri elde etme bilimi ve sanatı olarak da tarif edilmektedir (ör. Abrams, 2000; Lillesand ve diğ., 2004; Gad ve Kusky, 2007; Lillesand ve diğ., 2015).

Uzaktan algılama yöntemleri ile yeryüzünün ve ilgilenilen çalışma alanlarının genelini herhangi bir fiziksel bir temasa ihtiyaç olmadan incelenebilmesi sayesinde hem güncel saha verilerine ulaşım hem de zamansal ve ekonomik açıdan sağladığı avantajlar sebebiyle coğrafi bilgi sistemleri için önemli bir veri kaynağı olmuştur. Nüfus artışının kişi başına düşen doğal kaynakları azaltması, hızlı gelişen şehirleşme nedeniyle ekosistemde bozulmalar, tüm dünya ülkeleri gibi ülkemizin de içinde yer aldığı gelişmekte olan ülkeler için; uzaktan algılama tekniklerinin kullanımı şehir planlama, arazilerin etkin kullanımı, hasar tespit, doğal afetlerin etkilerinin izlenmesi ve doğal kaynakların etkin yönetimi için vazgeçilmez bir araç olmuştur (ör. Gezici ve diğ., 2012)

Uzaktan algılama kavramının en temel veri kaynaklarından biri olan hava fotoğraflarının bilinen en eski örneği 1858 yılında Gaspard Felix Tournachon'un NADAR ismini verdiği hava balonuyla yaklaşık 213 m (700 feet) yükseklikten çekmiş olduğu Fransa'nın Paris şehrine aittir. 1903 yılına gelindiğinde ise Julius Neubronner posta güvercinlerinin üzerine monte ettiği sadece 70 gram ağırlıktaki kameralar ile 30 saniye aralıklarla fotoğraflar çekmiş ve bu sistemin patentini almıştır. 1908'de Wilbur Wright ve uçağında yolcu olarak bulunan L.P. Bonvillain ilk bir uçaktan hava fotoğrafı çekmişlerdir (URL-3).

Günümüzdeki anlamda uzaktan algılama kavramı ise ilk kez 1960 yılında, Evelyn L. Pruitt tarafından kullanılmış ve uzaktan algılama uygulamaları devam eden yıllarda bilim çevrelerinin dikkatini çekmiştir. II. Dünya savaşı sonrasında, gelişen hava araçları teknolojisi ve fotoğrafçılıkta yaşanan ilerlemeler uzaktan algılama konusunda kullanımı muhtemel verilerin miktarında önemli bir artışa neden olmuştur (ör. Tatar, 2011). Bununla birlikte, 1960'larda uzaktan algılama teknolojisinin özellikle casusluk faaliyetleri amacıyla kullanılmıştır. 1970'li yıllara gelindiğinde ise Amerika Birleşik Devletleri tarafından geliştirilen Landsat uyduları sivil amaçlara hizmet etmeye başlamıştır. Devam eden yıllarda bir teknolojik gelişmeler ışığında birçok ülke kendi uydularını geliştirip kullanmaya başlamış (ör. Kavzoğlu ve Çölkesen 2011) olup iyi bilinen ve uzakta algılama çalışmalarında veri kaynağı olarak kullanılan uydulara ait temel bilgiler Tablo 2.2'de sunulmuştur.

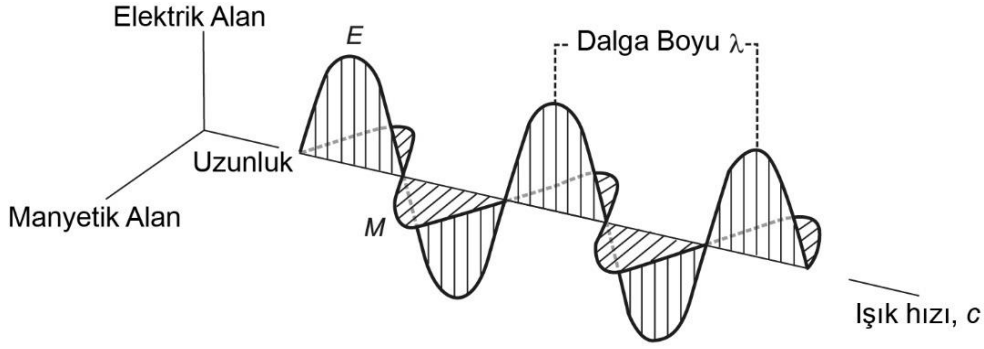
2.5.2. Elektromanyetik Radyasyon

Uzaktan algılamanın kullanımına imkân tanıyan en önemli unsur elektromanyetik enerjidir. Bu tür enerji dalga teorisine uygun bir şekilde ortamda hava olup olmadığından bağımsız olarak yayılabilmektedir. Yerkürenin en temel enerji kaynağı olan Güneş, bünyesinde barındırdığı hidrojen atomlarının birleşerek helyuma dönüşmesi yani füzyon tepkimesi neticesinde ışık hızıyla ortamda dalga şeklinde yayılan düşey eksen için sinüs eğrisine paralel bir elektrik alan ve buna dikey şekilde oluşan manyetik alan üretir. Yayılan bu enerjinin madde ile etkileşimi Max Plank tarafından tanımlanan parçacık teorisi ile açıklanmaktadır. Işıyan her bir tanecik foton olarak adlandırılır ve bu parçacıklar kütsesiz olsalar da enerji taşımaktadırlar (Lillesand ve diğ., 2015).

Elektromanyetik radyasyon, frekans ve dalga boyu olmak üzere iki temel bileşene sahiptir (Şekil 2.7). Bu konu özelinde frekans her bir saniye başına belirli bir noktadan geçen dalga sayısını, dalga boyu ise bu dalgaların birbirini takip eden dalgaların en yüksek genliğe ulaştıkları iki nokta arasındaki mesafedir. Frekans hertz birimi ile gösterilir ve sembolü Hz (1/s)'dir. Dalga boyu ise bir uzunluk ölçüsü olmasına rağmen elektromanyetik radyasyona konu olan parçacıkların dalga boylarının çok küçük olması sebebiyle mikrometre (μm) veya nanometre (nm) ile tanımlanır (Şekil 2.7). Frekans ve dalga boyunun çarpımı bize ışık hızını verecektir. Işık hızı bilinen en temel evrensel sabitlerden biridir. Literatürde c sembolü ile gösterilen ve değişmeyen bu değer yaklaşık 3×10^8 m/s'dir. Işık hızının sabit olmasından yola çıkarsak frekans ve dalga boyu arasında ters korelasyon olduğu sonucunu elde edilmektedir. Dolayısıyla, frekans değeri azalırken dalga boyu artacaktır ve bunun tam tersi de geçerlidir.

Tablo 2.2 Bazı ülkelere ait aktif gözlem uyduları ile ilgili temel bilgiler Uçar (2022)

UYDU	YIL	ÜLKE	BANT SAYISI	ÇÖZÜNÜRLÜK(m)
SPOT 1	1986	Fransa	4	10
IRS 1A	1988	Hindistan	8	36
RESURS F	1988	Rusya/CIS	5	4
SPOT 2	1990	Fransa	4	10
IRS 1B	1991	Hindistan	8	36
RESURS F3	1993	Rusya	1	2
IRS P3	1996	Hindistan	18	5.2
PIRODA/MİR	1996	Rusya/CIS	11	6
SPIN 2	1998	Rusya	2	2
RESURS 01 4	1998	Rusya/CIS	9	35
LANDSAT 7	1999	ABD	9	15
IKONOS 2	1999	ABD	5	0.8
QUICKBIRD 2	2001	ABD	5	0.61
SPOT 5A	2002	Fransa	6	2.5
KOMPSAT -2	2006	Güney Kore	5	1
RADARSAT -2	2007	Kanada	1	1
WORLDVIEW -1	2007	ABD	1	0.5
DUBAISAT -1	2009	BAE	5	2.5
RISAT-2	2009	Hindistan	1	1
WORLDVIEW -2	2009	ABD	9	0.5
ORS-1	2011	ABD	7	1
RASAT	2011	Türkiye	4	7.5
KOMPSAT -3	2012	Güney Kore	5	0.7
SPOT 6-7	2012	Fransa	4	1.5
GÖKTÜRK -2	2012	Türkiye	5	2.5
LANDSAT 8	2013	ABD	11	15
GAOFEN -1	2013	Çin	5	2
KOMPSAT -5	2013	Güney Kore	5	1
GAOFEN -2	2014	Çin	5	0.8
WORLDVIEW -3	2014	ABD	9	0.31
SENTİNEL -2A	2015	ESA	13	10
GÖKTÜRK -1	2016	Türkiye	5	0.5
GAOFEN -3	2016	Çin	13	1
WORLDVIEW -4	2016	ABD	9	0.31
SENTİNEL -2B	2017	ESA	13	10
LANDSAT 9	2021	ABD	11	15

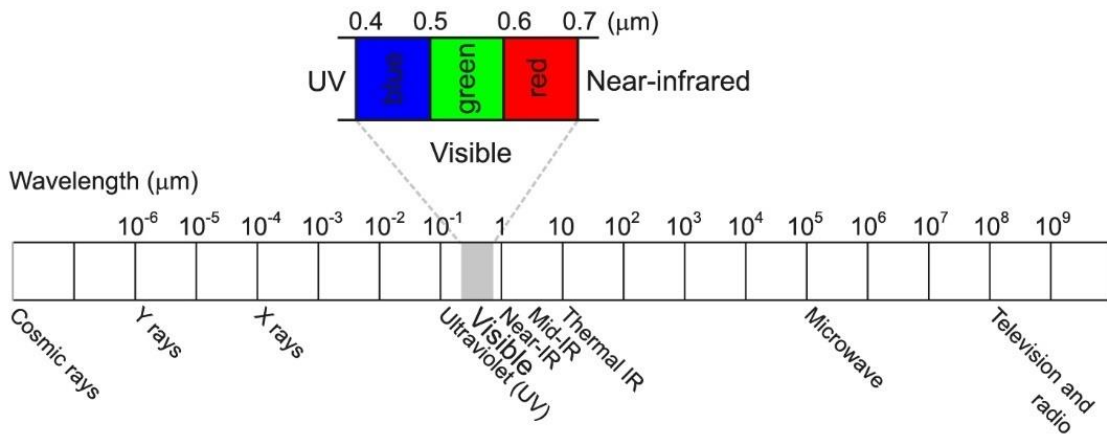


Şekil 2.7. Elektromanyetik radyasyonun elektrik (E) ve manyetik (M) vektörleri

Bu bölüme kadar açıklanan hususlar ışık hızı, frekans ve dalga boyu arasındaki bağıntıları ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, yukarıda da ifade edildiği üzere elektromanyetik radyasyon bir enerji türüdür. Söz konusu, fotonların enerjisini hesaplamak için kullanılan yöntem plank sabiti (6.626×10^{-34} joule*s) ile frekans değerinin çarpılmasıdır. Işık hızının dalga boyuna bölümü ise frekans değerini vereceğinden bir diğer ifadeyle fotonun taşıdığı enerji plank sabiti ile ışık hızı/dalga boyu çarpımına eşittir.

2.5.3 Elektromanyetik Spektrum

Elektromanyetik dalgalar, dalga boylarına göre sınıflandırılmaktadır. Fakat buradan, yapılan sınıflandırılma bölgelerinin birbirlerinden net sınırlarla ayrıldığı sonucuna varılmamalıdır (ör. Sunar ve diğ., 2013; Lillesand ve diğ., 2015). Elektromanyetik spektrum kozmik ışınlar için 10^{-12} m dalga boyundan, radyo dalgaları için 10^3 m dalga boyuna kadar değişen bir aralığı kapsamaktadır (Şekil 2.8). Dalga boyu kısaldıkça fotonun taşıdığı enerji ve nesnelere girişim yapma kabiliyeti artar.



Şekil 2.8. Elektromanyetik spektrum (Lillesand ve diğ. (2004)'ten alınmıştır)

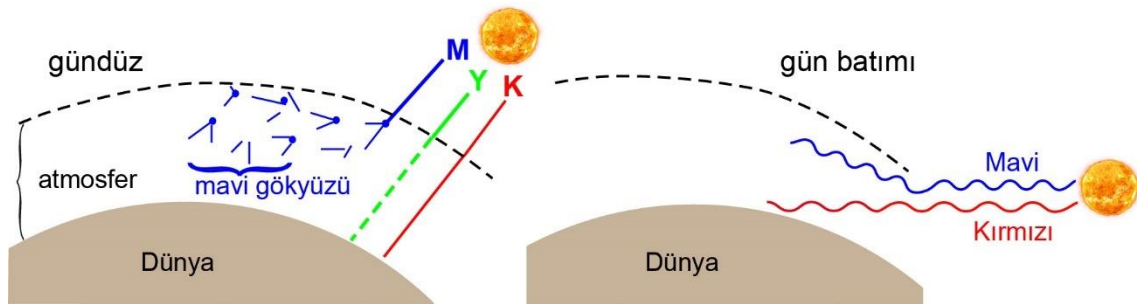
İnsan gözü elektromanyetik spektrumun 0.38 μm 'den 0.74 μm 'ye kadar olan çok küçük bir kısmını algılayabilmektedir. İşte bu noktada uzaktan algılama teknolojisi büyük bir fark yaratmakta, görünür ışık haricinde kalan elektromanyetik spektrum bölgelerinde de gözlem yapma ve veri elde şansını sunmaktadır. Uzaktan algılamada optik ve termal çalışmalar için kullanılan en temel spektral bölge 0.3-14 μm aralığıdır, radar ile elde edilecek görüntüler için ise 0.1-1 m dalga boyu aralığından faydalanılmaktadır. Görünür ışığın kırmızı renk ile sınırlanan en uzun dalga boyu olan 0.74 μm 'den 3 μm 'ye kadar olan kısım yansıtıcı kızılötesi olarak ifade edilmektedir. Yansıtıcı kızılötesi; yakın kızılötesi ve kısa dalga kızılötesi olarak iki farklı dalga boyu aralığında tanımlanmaktadır. Yakın kızılötesi (NIR, Near InfraRed) 0.74-1.1 μm , kısa dalga kızılötesi (SWIR, Short Wave InfraRed) ise 1.1-3 μm dalga boyu aralıklarını ifade etmektedir. Tabiatta bulunan ve sıcaklığı sıfır kelvinden fazla olan tüm nesneler herhangi bir enerji kaynağına ihtiyaç olmaksızın ışıma yolu ile sıcaklık yaymaktadır. Bu tür nesneleri incelemek için kullanılan elektromanyetik spektrum aralığı termal kızılötesi olarak ifade edilmekte ve 3-14 μm dalga boyu aralığında yer almaktadır. Yüksek sıcaklıklar ihtiva eden büyük orman yangınları, volkanik püskürme gibi olaylar 3-5 μm aralığındaki dalga boyları kullanılarak, litolojik haritalama gibi daha düşük sıcaklık değerleri ihtiva eden çalışmalar ise 8-14 μm dalga boyu aralığında gerçekleştirilmektedir. Topoğrafya hakkında özellikle yükseklikle ilgili verileri derlemek için yapılan çalışmalar (ör. DEM, Digital Elevation Model) için ise yukarıda dalga boyu aralıkları verilmiş olan radar dalgaları kullanılmakta ve başarılı sonuçlar vermektedir (Sunar ve diğ., 2013; Robson ve diğ., 2015).

2.5.4. Uzaktan Algılamanın Temel Bileşenleri

Uzaktan algılama elektromanyetik radyasyonun kaynaktan çıkarak iletim yoluyla hedefe ulaşip yansıması sonrasında sensörlere geri ulaşması ve bu yolla elde edilen verilerin işlenmesi süreçlerinden oluşur. Elektromanyetik radyasyonun üretim şekline göre kaynaklar iki ayrı başlıkta özetlenebilir. İlki, uzaktan algılamada kullanılan enerjiyi kendi üreten kaynaklardır. Bunlar pasif kaynaklar olarak tanımlanmakta ve söz konusu yer küre olduğunda bu kaynak çoğunlukla güneştir. İkincisi ise özellikle mikrodalga ve radar dalga boyu kullanılarak yapılan çalışmalarda olduğu gibi kullanılan elektromanyetik radyasyonun, bu amaca hizmet etmek üzere üretildiği kaynak türü olan aktif kaynaktır.

Bu yöntem gündüz gece farkı olmaksızın ve mevsim şartlarına bağı kalmadan da kullanılabilir.

Elektromanyetik radyasyon konusuna giriş yaparken belirtildiği üzere elektromanyetik radyasyon ortamda hava olup olmadığından bağımsız olarak iletilebilir. Dalga fonksiyonuna uygun hareket eden elektromanyetik radyasyon atmosferde su buharı, atmosferi oluşturan gazlar ve havada bulunan her türlü partikülle de etkileşime girmekte ve bu etkileşim bazı saçılmalara neden olmaktadır. Bu saçılma üzerinde etki eden faktörler dalga boyu, dalganın atmosferde katettiği mesafe ve etkileşime girdiği partiküllerin boyu ve miktarı gibi değişkenlere bağıdır (Tempfli ve diğ, 2009). Rayleig, Mie ve seçici olmayan saçılma olmak üzere 3 ayrı tür saçılma olduğu bilinmektedir (Şekil 2.9). Rayleig saçılması, elektromanyetik radyasyonun dalga boyundan çok daha küçük olan azotoksit ve oksijen gibi moleküller tarafından atmosferin en üst katmanlarında saçılması sonucu oluşur. Dalga boyu kısa olan enerji türünü daha çok etkilediğinden mavi rengin saçılmasını sağlar ve bu sebeple gökyüzünün mavi görünmesine neden olur. Güneş ışınlarının eğik açı ile gelerek ışığın atmosferde daha uzun mesafeler katettiği gün doğumu ve gün batımı saatlerinde mavi renge denk gelen dalga boyunun tamamı saçılıp tükendiğinden gün doğumu ve gün batımı saatlerinde gökyüzü kırmızı bir renk almaktadır (Şekil 2.9). Uydu görüntülerinde puslu görüntülere neden olmaktadır ve özellikle yüksek enlemlerde alınan görüntülerde görüntüyü bozucu bir etki gösterir.



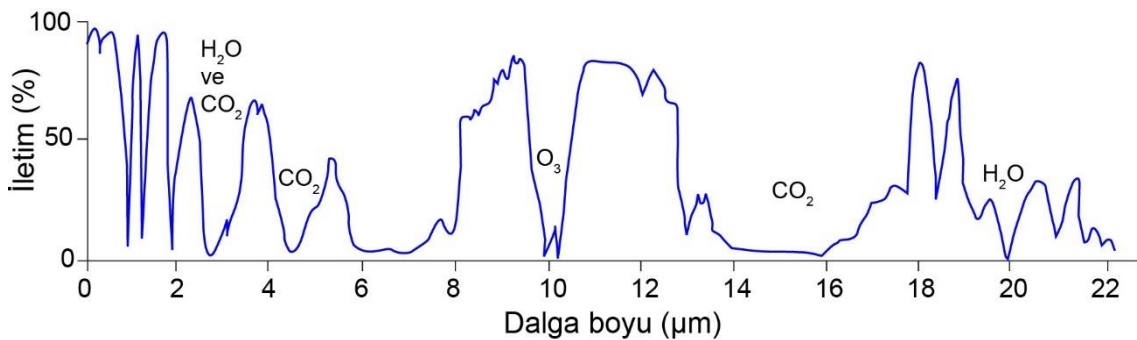
Şekil 2.9. Atmosferin gündüz ve günbatımındaki rengini belirleyen Rayleigh saçılımının etkisini (Şekil Kerle ve diğ. (2004)'ten alınmıştır)

Mie saçılması partikül boyutunun daha büyük olduğu atmosferin daha alt katmanlarında meydana gelir. Bu yüksekliklerde dalga boyu ve partikül boyutu birbirine yakındır. Özellikle bulutlu ve nem oranı yüksek günlerde etkili olmakta ve görüntülerin puslu görünmesine sebebiyet vermektedir (Sunar ve diğ, 2013; Tempfli ve diğ, 2009). Seçici

olmayan saçılma partiküllerin dalga boyuna göre çok daha büyük olduğu atmosferin yere en yakın kısımlarında görülür. Toz ve su damlacıkları bu partiküllere örnek verilebilir. Her dalga boyundaki enerjide saçılma sebep olduğundan görüntülerin daha beyaz tonlarda görünmesine neden olur (Tempfli ve diğ, 2009).

Buraya kadar açıklanan saçılmalar dışında gaz molekülleri ve su buharı gibi etkenlerin elektromanyetik radyasyonun geçişine asla izin vermediği bazı dalga boyları vardır. Bu dalga boyu aralıklarında güneşin yaydığı elektromanyetik radyasyon aracılığıyla uzaktan algılama işlemleri gerçekleştirmek mümkün değildir. Bu alanlar dışında kalan ve uzaktan algılamaya müsait dalga boyu aralıkları atmosferik pencere olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.10).

Elektromanyetik radyasyon nesnelere ulaştığında nesne ile üç farklı şekilde etkileşime girer. Bunlar emilim (absorpsiyon), geçirim ve yansımadır. Yeryüzüne ulaşan enerjinin yansıyıp sensörler aracılığıyla kaydedilmesi esasına dayanan uzaktan algılama daha çok yansıma ile ilgilenmektedir (Tempfli ve diğ, 2009). Nesneye ulaşan enerjinin çoğunlukla tamamı yansımaz. Bir kısmı emilim yolu ile bir kısmı ise geçirim yolu ile geri yansımamaktadır. Hangi dalga boyunun ne kadar bir kısmının yansıyacağı ise nesnenin tipine, türüne ve dalga boyuna bağlıdır (Sunar ve diğ, 2013). Her nesneye has olarak ortaya çıkan bu özellik spektral yansıma eğrisi olarak ifade edilen bir eğri oluşturur ve bu spektral imza olarak bilinmektedir (Lillesand ve diğ, 2015). Uzaktan algılama ile nesneler hakkında bilgi edinilmesi, nesnelerin ayrımı ve sınıflandırılması nesneler arasındaki spektral yansıma farkları aracılığıyla yapılmaktadır.

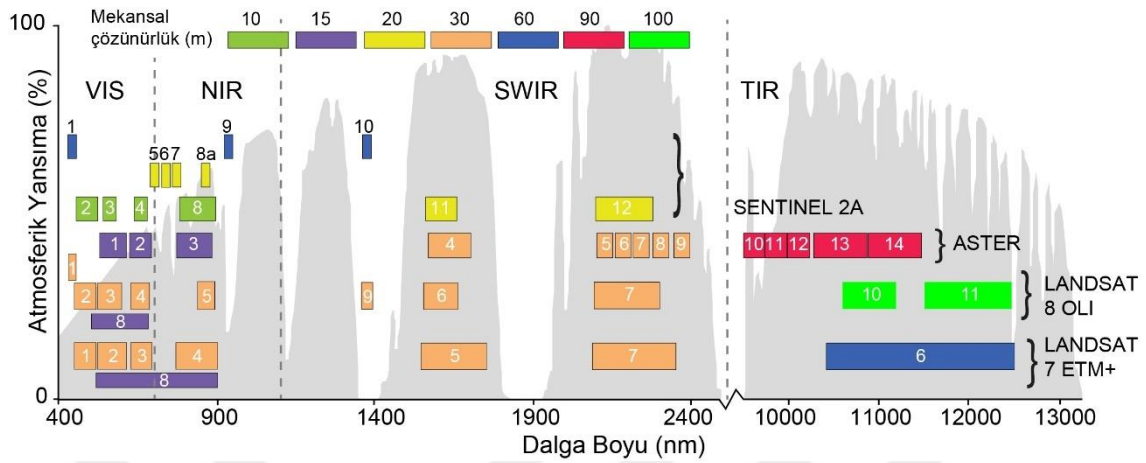


Şekil 2.10. Elektromanyetik radyasyonun geçişine izin vermeyen temel absorbe edicileri ve etkiledikleri dalga boyunu gösteren atmosferik pencere diyagramı

Farklı gözlem uydularının farklı dalga boyları üzerinde algılama yaptığı çok sayıda sensör türleri mevcut olup bu sensörler kullanılan uydu platformuna göre değişiklik göstermektedir. Aşağıda jeolojik uygulamalarda kullanılan başlıca yaygın uydular ve çalışmada kullanılan görüntüleme teknikleri ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Uzaktan algılama çalışmalarında jeolojik uygulamalar tarihsel olarak bakıldığında LANDSAT uydu görüntüleri en yaygın ve en eski kullanıma sahip olan veri kaynağını teşkil etmektedir. Landsat programı, ABD Ulusal Havacılık ve Uzay Ajansı (NASA) ve ABD Jeoloji Araştırmaları Merkezi (USGS) tarafından yürütülmekte olup LANDSAT 1, LANDSAT 2 şeklinde yıllar içerisinde sürekli olarak geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam etmektedir. Son olarak 2021 yılında bu programın son ürünü olarak LANDSAT 9 uydusu yörüngeye yerleşmiş ve veri sağlamaya başlamıştır. İlk Landsat uydusu, Landsat 1, 1972 yılında fırlatılmıştır. Ardından, Landsat 2 (1975), Landsat 3 (1978), Landsat 4 (1982), Landsat 5 (1984), Landsat 6 (1993) (başarısız fırlatma), Landsat 7 (1999) ve Landsat 8 (2013) uyduları fırlatılmıştır. Günümüzde faal olan son Landsat uydusu Landsat 9'dur. Landsat uyduları, Dünya'yı keşfetmek ve yüzeyini gözlemlemek için multispektral görüntüleme sistemleri kullanır. Bu sistemler, görünür, yakın kızılötesi ve termal bantlarda elektromanyetik radyasyonu algılar. Landsat 8, Özel Sensörler ve Uygulamalar Paneli (OLI) adı verilen 9 bantlı bir görüntüleme sistemi kullanır. Bu bantlar, yüzey özelliklerini ve değişiklikleri daha ayrıntılı bir şekilde incelemek için farklı dalga boylarında çalışır. Uydular, düşük yörünge yüksekliğinde (yaklaşık 705-800 km) dolaşır ve Dünya'yı yaklaşık 16 gün içinde tamamlar. Bu süre boyunca belirli bir bölgeyi tekrarlayarak gözlemleyebilirler. Her bir Landsat görüntüsü 185x180 km'lik alana karşılık gelmektedir. Landsat uyduları, arazi kullanımı planlaması, ormancılık, tarım, su kaynakları yönetimi, çevre izleme, iklim değişikliği analizi, afet yönetimi ve doğal kaynak keşfi gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Landsat verileri, bilimsel araştırmalar, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) uygulamaları, haritalama projeleri ve politika yapıcılar için değerli bir bilgi kaynağıdır. Landsat verileri, ücretsiz olarak erişilebilir durumda olup dünya genelinde birçok araştırmacı, uzman ve karar verici tarafından kullanılmaktadır. Landsat uyduları, uzun bir geçmişe sahip olan ve Dünya'yı sürekli olarak izleyen önemli araçlardır. Sağladıkları sürekli veri akışı ve bilimsel değeri, uzun vadeli çevresel izleme ve doğal kaynak yönetimi çalışmalarına büyük katkılar sağlamaktadır. Şekil 2.11'de

LANDSAT 7 ve 8 uydusu üzerinde yer alan sensörlere ait bant numaraları, spektral aralıklar, mekânsal çözünürlük özellikleri sunulmuştur.



Şekil 2.11. Landsat, ASTER ve Sentinel uydu görüntülerine ait temel bilgiler

Göreceli olarak daha yakın zamanda kullanılmaya başlayan ve Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından geliştirilen SENTINEL uydu serisinden SENTINEL 2A jeolojik uygulamalarda da yaygın olarak kullanılmaktadır. Sentinel 2A, Avrupa Birliği Kopernik Programı (EU Copernicus Programme) tarafından yer gözlem görevleri maksadıyla 2015 tarihinde yörüngeye yerleştirilmiş multispektral veriler sağlayan bir uydudur. VNIR ve SWIR veri sağlayan 4 bant için yersel çözünürlük 10 m, kızıl-sıcak kenar ve kısa dalga kızılötesi veri sağlayan 6 bant için yersel çözünürlük 20 m ve son olarak atmosferik düzeltmeleri gerçekleştirmek üzere platformda yer alan 3 bant için ise yersel çözünürlük 60 m'dir (Şekil 2.11). Sentinel 2A tarafından sağlanan görüntüler kabaca 100 x 100 km²'lik bir alana karşılık gelmektedir. (URL-4)

Bu yüksek lisans tez çalışmasının da veri kaynağı oluşturan ASTER uydu verileri ile Landsat görüntüleri arasında bazı farklılıklar söz konusudur. Örneğin, ASTER görüntülerinin piksel çözünürlüğü, kızılötesi (IR) ve termal bantlarda 15 ila 90 metre arasında değişirken, görünür ve yakın kızılötesi (VNIR) bantlarda 15 ila 30 metre arasında değişmektedir. Ayrıca ASTER, VNIR, SWIR (shortwave infrared) ve TIR (thermal infrared) gibi geniş bir spektral aralığa sahiptir. VNIR bantlarında 3, SWIR bantlarında 6 ve TIR bantlarında 5 farklı bant bulunmaktadır. Landsat ise multispektral görüntülerde 7 farklı bant kullanır. Termal görüntüleme konusunda da ASTER birtakım avantajlara sahiptir. ASTER termal bantlar aracılığıyla yüzey sıcaklıklarını tahmin edebilir ve termal

görüntüleme için daha yüksek çözünürlüğe sahiptir. Landsat termal bandı ise daha düşük çözünürlüğe sahiptir. ASTER ve Landsat uydularının Dünya yörüngesinde dolanma süreleri arasında da farklılıklar söz konusudur. Terra uydusu üzerinde bulunan ASTER, bir bölgeyi daha sık görüntüleyebilir ve tekrarlama süresi daha kısadır. Landsat uyduları ise daha uzun tekrarlama sürelerine sahiptir. ASTER ve Landsat görüntülerinin farklı çözünürlükleri, spektral aralıkları ve uçuş özellikleri, farklı uygulamalara yönelik avantajlar sağlar. ASTER, yüksek çözünürlüklü termal veriler ve geniş spektral aralığıyla volkanik aktivite, termal analiz ve jeolojik çalışmalar gibi konularda kullanışlı olmasına karşın, Landsat görüntüleri daha genel amaçlı arazi kullanımı, ormancılık, tarım ve su kaynakları yönetimi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

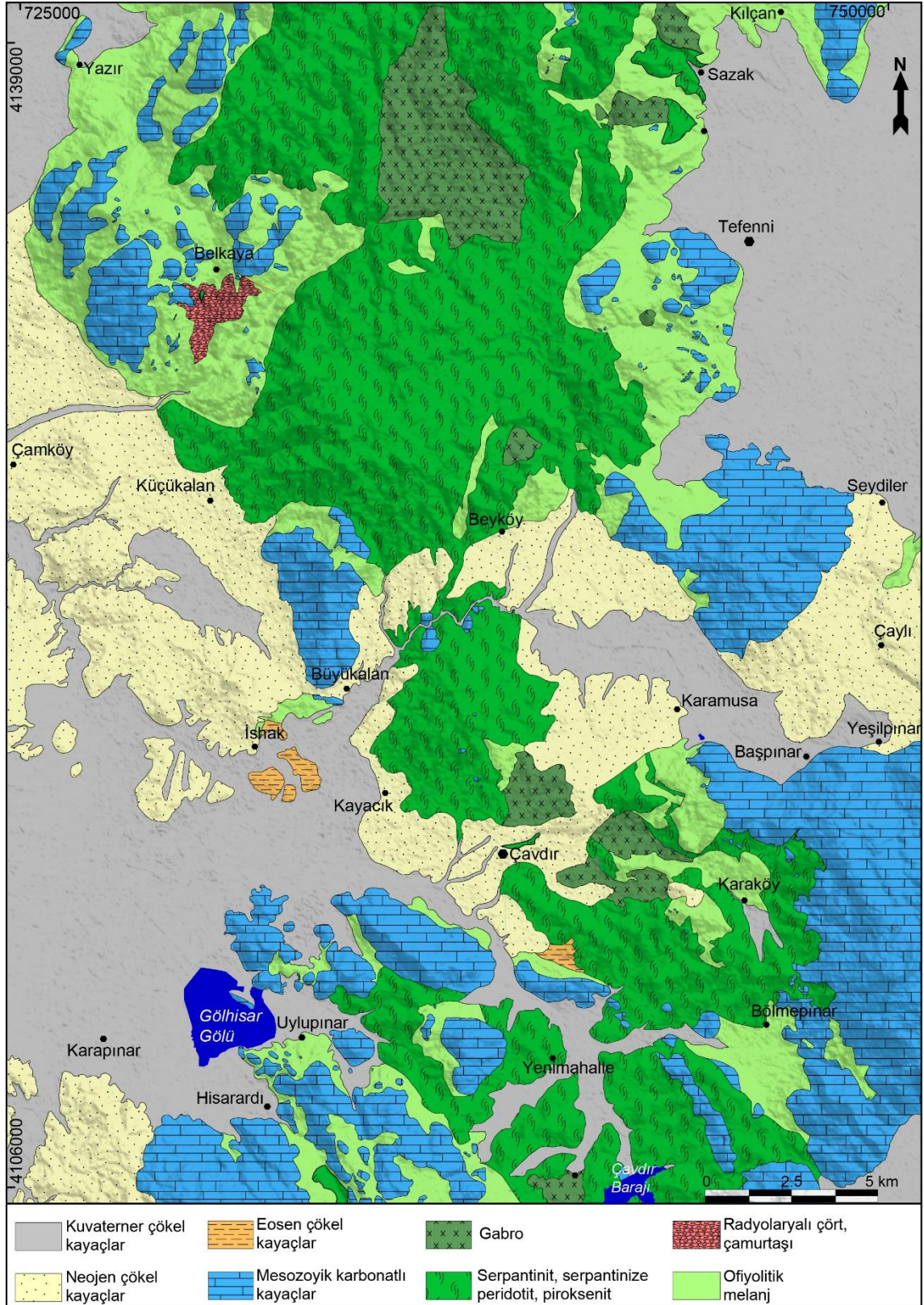


3. GENEL JEOLoji

Yüksek lisans tez çalışma sahasının Üst Kretase öncesi temelini, Likya naplarının bir bölümünü temsil eden Yeşilova ofiyolitine ait ofiyolitik kayaçlarıyla birlikte baskın olarak Mesozoyik yaşlı karbonatlı kayaçlardan oluşan Domuzdağ ve Gülbahar napları oluşturmaktadır (Şekil 3.1). Bu temel birimlerinin üzerinde ise Eosen ve Neojen yaşlı çökeller çalışma alanındaki örtü birimlerini temsil etmektedir (ör. Şenel, 1997, 2004).

Şekil 3.1’de yüksek lisans tez çalışması kapsamında üretilen jeoloji haritası sunulmuş olup Yeşilova ofiyolitinin hâkim ofiyolitik kayaç türünü ultramafik kayaçlardan oluşmakta olduğu görülmektedir. Ultramafik kayaçlar çoğunlukla manto tektonitlerine karşılık gelen peridotitlerden oluşmaktadır. Manto tektonitleri ağırlıklı olarak harzburjit ve dünit bileşimindeki serpantinize peridotitlerle temsil edilmektedir (Sarp, 1976; Döyen, 1995; Koralay, 2000). İnceleme alanında yapılan saha çalışmalarında, ultramafik kayaçlar farklı oranlarda serpantinleşme derecelerine sahip olan peridotitlerden oluşmaktadır (Şekil 3.2a,b). Ultramafik kayaçlar genellikle masif yapılı ve kırmızı renkli saha görüntüleriyle karakteristiktir (Şekil 3.2b-d). Ofiyolitik melanj içerisindeki ultramafik kayaçlarda ise ileri derecede serpantinleşme gelişimi oldukça yaygındır. İnceleme alanının kuzey bölümündeki daha sınırlı alanlarda ultramafik kümülatlara ait piroksenit oluşumları da bölgede rapor edilmiştir (Döyen, 1995; Koralay, 2000; Döyen ve diğ., 2014). Ayrıca, çalışma alanının farklı bölümlerindeki ultramafik kayaçların içerisinde kromit cevherleşmeleri gözlenmektedir (Şekil 3.2d). Hali hazırda bu alanlarda işletilmekte olan krom ocakları mevcuttur (ör. Çiftçi ve diğ., 2019). Çalışma alanının orta ve kuzey bölümlerinde özellikle ultramafik kayaçlar içerisinde dolerit daykaları oldukça yaygın şekilde gözlenmektedir (Şekil 3.2e). Dolerit dayklarının bir bölümünde serpantinitle birlikte yoğun deformasyon süreçlerinden etkilenmiş oldukları tespit edilmiştir (Şekil 3.2f).

Gabroyik kayaçlar genellikle ultramafik kayaçların tektonik olarak üzerinde yer almaktadır (Şekil 3.3a). Saha genelinde gözlenen gabroyik kayaçlar kümülat gabro niteliğindedir. Çoğunlukla koyu renkli ve magmatik katmanlı yapılar göstermekte olup saha çalışmalarına göre kümülat gabro niteliğinde oldukları değerlendirilmiştir. Kümülat gabrolara özgü magmatik katmanlı yapılar yer yer iyi bir şekilde görülebilmektedir (Şekil 3.3b).



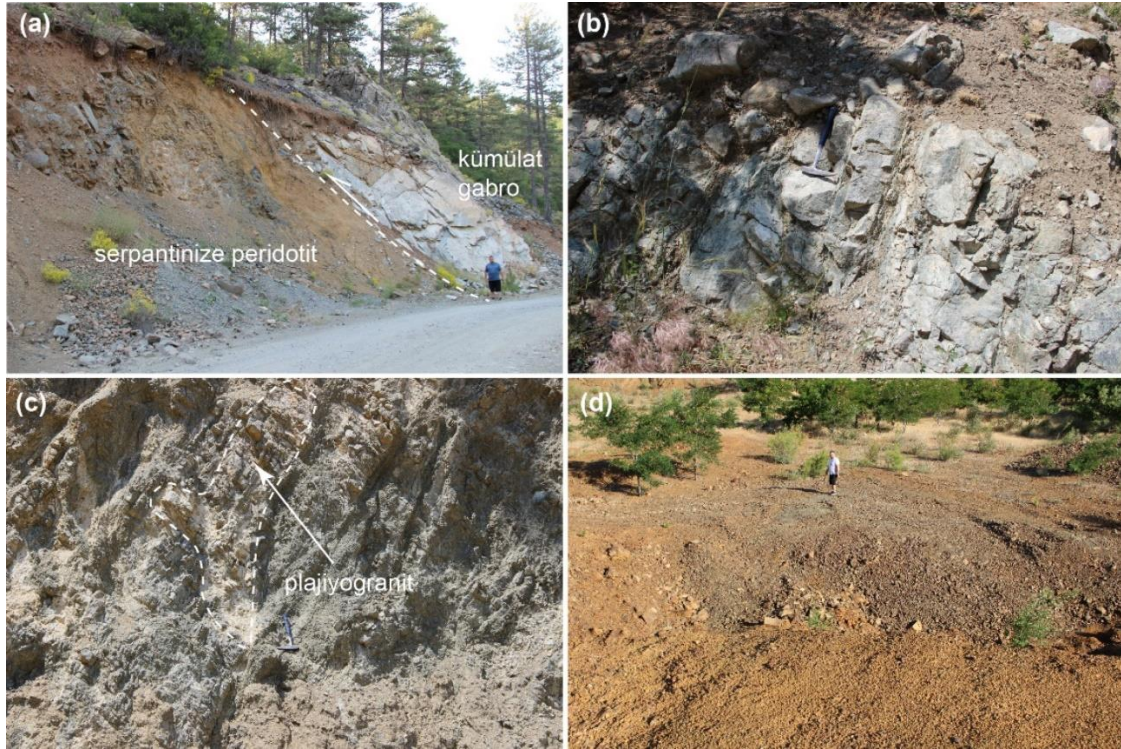
Şekil 3.1. Çalışma alanının jeoloji haritası



Şekil 3.2. Çalışma alanındaki ultramafik kayalara ait genel saha görüntüleri. (a) Çalışma alanının güneydoğu bölümünde gözlenen serpantinize peridotitlerin genel görüntüsü. (b) Kızıl renkli ayrışma yüzeylerine sahip serpantinize peridotitlerin genel görünümü. (c) Aynı alandaki peridotitlerin yakın görüntüsü. (d) Katmanlı yapıya sahip serpantinize peridotitler içerisinde gözlenen kromit bantlarının yakından görünümü. (e) Serpantinize peridotitleri kesen dolerit dayklarının genel görüntüsü. (f) Serpantinitler içerisinde gözlenen deforme dolerit dayklarının görünümü

Koralay (2000) tarafından kümülat gabroları kesen ve haritalanabilir boyutlardaki (yaklaşık 250 m genişliğinde) plajiyogranit sokulumları tanımlanmıştır. Bu çalışmada ise kümülat gablo kesen ve kalınlığı ortalama 30 santimetreye kadar ulaşan plajiyogranit daykları tespit edilmiştir (3.3c). Çalışma alanının orta ve güney kesimlerinde Beyköy ve Çavdır köyleri civarında (Şekil 3.1) masif yapı ve ince taneli gabroyik kayalarda yaygın

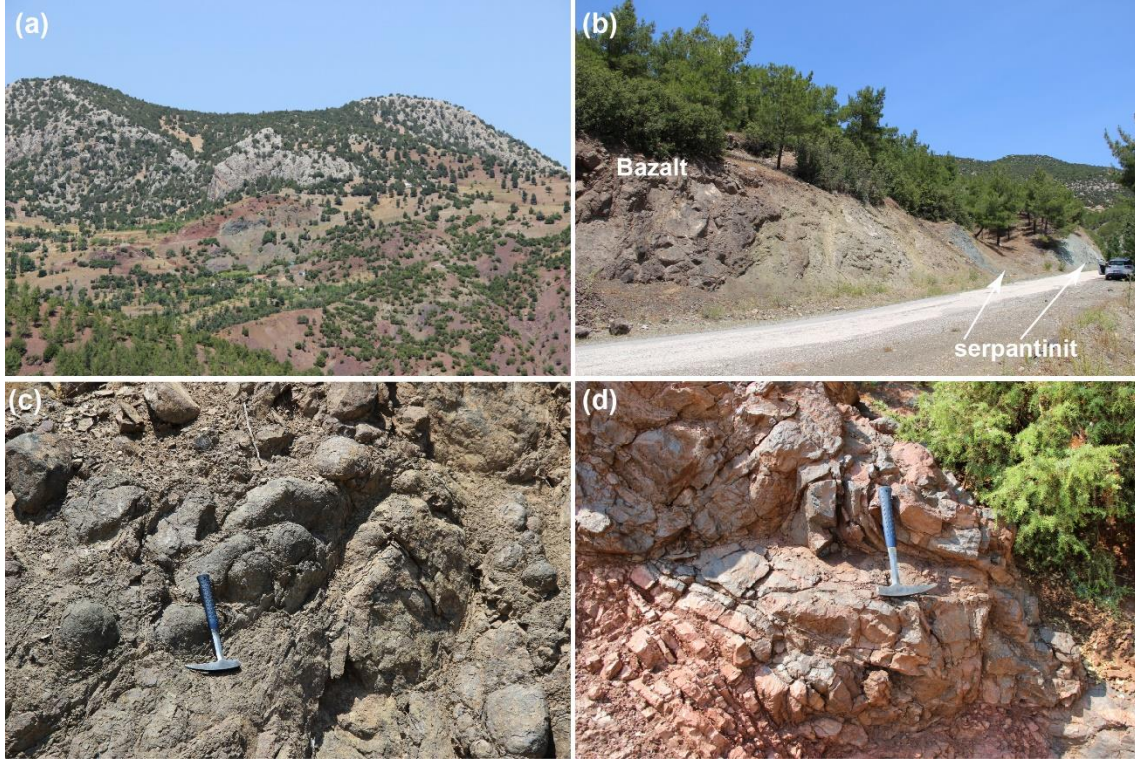
kahverengi alterasyon gelişimleri tespit edilmiştir (Şekil 3.3d). Bu gibi altere gabroların olduğu alanlarda bakır cevherleşmelerinin varlığı rapor edilmiştir (Cansu ve Emre, 2014).



Şekil 3.3. (a) Serpantinize peridotitlerle tektonik dokanaklı olarak gözlenen gabroyik kayaçların görünümü. (b) Magmatik katmanlı yapı sunan kümülat gabroların görünümü. (c) Kümülat gabroları kesen plajiyogranit daykının görünümü. (d) Kahverengi renkli altere gabroyik kayaçların görünümü

Yeşilova ofiyolitinin, ofiyolitik melanj olarak haritalanan alanları serpantinit ve çamurtaşlarından oluşan bir hamur içerisinde yer alan başlıca kireçtaşı, bazalt, çört, amfibolit bloklarından meydana gelmektedir (Şekil 3.4a-d). Kireçtaşı blokları ofiyolitik melanj içerisindeki en yaygın gözlenen blok türünü oluşturmakta olup boyutları birkaç on santimetreden birkaç kilometre çapına ulaşmaktadır (Şekil 3.1 ve 3.4a). Burada sunulan çalışma konusunun kapsamı gereği, Şekil 3.1’deki jeoloji haritasında Mesozoyik yaşlı karbonatlı kayaçların (ör. Şenel, 1997; Koralay, 2000, Şenel, 2004) tümü tek bir simge ile gösterilmiştir. Karbonatlı kayaçlar Gülbahar ve Domuzdağ Napına aittir (Şenel 1997). Radyolaryalı çörtler melanj içerisinde haritalanabilir yüzlek alanlarına sahip bir diğer önemli kayaç türünü temsil etmektedir. Örneğin, çalışma alanının kuzeybatı bölümündeki Belkaya köyü civarındaki ofiyolitik melanj içerisinde yer alan çamurtaşı ve radyolaryalı çörtler haritalanabilecek büyüklüklerde yüzlekler sunmaktadır (Şekil 3.1). İnce orta katmanlı radyolaritler şeklinde gözlenebildiği gibi çamurtaşları ile birlikte ara

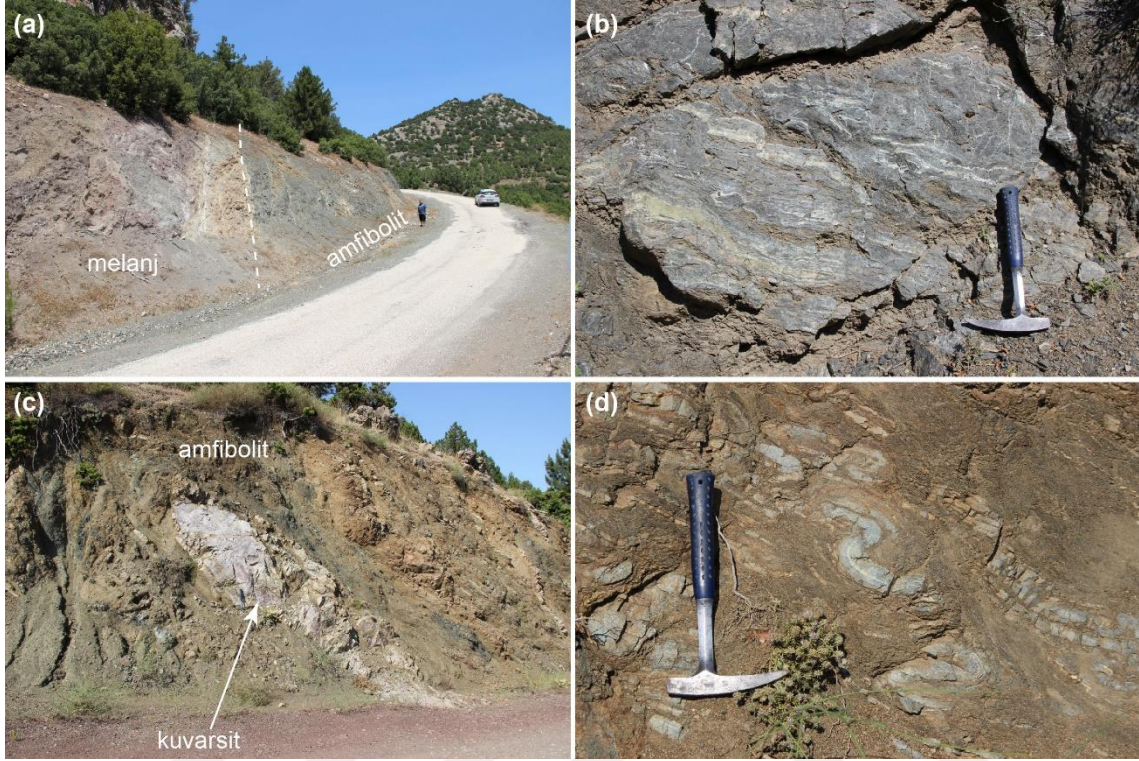
katkılı olarak kalın istifler oluşturmaktadır. Bazı alanlardaki radyolaryalı çörtlerin bir bölümünde manganlı radyolaryalı çörtler tespit edilmiştir (Şekil 3.4d). Ofiyolitik melanj içerisinde tespit edilen bir diğer kayaç türü ise yastık yapılı bazalt blokları çamurtaşı, radyolaryalı çört ve serpantinitten oluşan hamur ile birlikte gözlenmiştir (Şekil 3.4b, c).



Şekil 3.4. (a) Yeşilova ofiyolitinin ofiyolitik melanjı oluşturan alanların genel görünümü. (b) ofiyolitik melanj içerisinde gözlenen yastık yapılı bazaltların genel görüntüsü. (c) Aynı alandaki yastık yapılı bazaltların yakından görünümü. (d) Mangalı çörtlerin yakın görünümü

Ofiyolitik melanj içerisinde tespit edilen bir diğer kayaç türü ise ofiyolit tabanı metamorfik kayaçlarıdır. Benzer şekilde, Toros kuşağındaki ofiyolitik melanjlar içerisinde amfibolitik kayaçların varlığı rapor edilmiştir (ör. Çelik ve Delaloye, 2003; Çelik ve Chiaradia, 2008; Çörtük ve diğ., 2022). Çalışma alanındaki ofiyolit tabanı metamorfik kayaçları başlıca amfibolit, epidot amfibolit, biyotit-amfibolit, kuvarsit, mikaşist ve kalkşistlerden meydana gelmektedir. Ofiyolit tabanı metamorfik kayaçlarına daha çok Belkaya Köyü civarında gözlenmekte olup, ofiyolitik melanjın farklı kesimlerinde de amfibolitik kayaç bloklarına rastlanılmıştır. Epidot amfibolitlerde, epidot minerallerince zengin kısımlar saha çalışmalarında yeşil renkleri ile karakteristiktir (Şekil 3.5b). Kalkşist-kuvarsit amfibolitler içerisinde kalınlıkları birkaç metreye kadar ulaşan

ara seviyeler halinde gözlenmiştir (Şekil 3.5c). Amfibolitler ve kalkışistlerde sünek kıvrımlı yapılar tespit edilmiştir (Şekil 3.5d).



Şekil 3.5. Ofiyolit tabanı metamorfitlerine ait saha görüntüleri. (a) Ofiyolitik melanj içerisinde gözlenen ofiyolit tabanı metamorfitlerinin genel saha görünümü. (c) Bantlı ve masif yapılu amfibolitlerin görünümü. (c) Amfibolitler içerisinde kalınlıkları birkaç metreye kadar ulaşan kuvarsitlerin görünümü. (d) Amfibolitik kayalarda gözlenen kıvrımlı yapıların görünümü

4. GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİKLERİ

Bu çalışmada, ASTER L1T multispektral görüntüleri ön işlemden geçirildikten sonra, görüntü işleme süreci bant oranlama ve Temel Bileşen Analizi (PCA) teknikleri ile devam ettirilmiştir. Daha sonra, elde edilmiş olan sonuç görüntülerine doygunluk germe yöntemi uygulanmıştır. ASTER veri setindeki bant isimleri yazı içerisinde B1 (Bant 1), B2 (Bant 2) ve B10 (Bant 10) olacak şekilde kısaltmalarla gösterilmiştir.

4.1. ASTER VNIR ve SWIR Bantları

4.1.1. Bant Oranlama

İlk aşamada ASTER VNIR-SWIR veri setleri bant oranlama tekniğiyle işlenmiştir. Bu teknik diğer görüntü işleme tekniklerine kıyasla görece daha basit olmasına rağmen ayırt edilmesi hedeflenen litolojilerin tespitinde etkili sonuçlar sağlamaktadır. Bant oranlama tekniği, en temel tanımıyla mineral gruplarını ve litolojilerin spektral özelliklerini vurgulamak amacıyla bir bantta yer alan piksel değerinin diğerine bölünerek işlendiği bir dönüşüm tekniği olarak tanımlanabilir (ör. Sabins, 1999; Rowan ve Mars 2003). Bu basit ve etkili teknik, bantların görece spektral farkını arttırmak ve topoğrafya kaynaklı etkileri (ör. gölge, eğim, aydınlatma açısı) azaltmaya yarayan klasik yöntemlerden biridir ve bantlara ait ham verilerle belirlenemeyen kayaç ve minerallerin ayırt edilebilmesi amacıyla jeoloji çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (ör. van der Meer ve diğ., 2012; Gürsoy ve Kaya, 2017; Traore ve diğ., 2020b; Canbaz ve Çakır, 2021). Ayrıca, ofiyolitlerle ilişkili litolojik birimlerin haritalandırılmasında da bant oranlama tekniğinden sıklıkla faydalanılmaktadır (ör. Xiong ve diğ., 2011; Emam ve diğ., 2016; Özkan ve diğ., 2018; Çörtük ve diğ., 2020; Turan ve Diker, 2022; Canbaz, 2023b). Bu yüksek lisans tez çalışmasında, ayırt edilmesi amaçlanan kayaçlardaki minerallere ait spektral profiller ve diğer araştırmacılar tarafından kullanılarak literatüre dahil edilen farklı bant oranları kullanılarak test edilmiştir. Çalışma neticesinde bant oranlarına ait kombinasyonlar aracılığıyla KYM aldatıcı renkli kompozit görüntüler üretilerek kayaç birimlerinin ayırt edilmesi sağlanmıştır.

4.1.2. Temel Bileşen Analizi Yöntemi

Uzaktan algılamada kullanılan multispektral veriler, bantlar arasında benzer ve yüksek korelasyona verileri barındırdığı için derlenen verilerin miktarı çok büyük olmaktadır. Bu uzaktan algılama verilerinin boyut olarak azaltılması ve daha küçük varyanslı bileşenler oluşturulmasında uygulanan Principal Component Analysis" (PCA) ya da Türkçe adıyla "Temel Bileşen Analizi", çok değişkenli bir istatistik yöntemidir (ör. Green ve diğ., 1998; Kavak, 2005; Pour ve Hashim 2011). Bu bağlamda, temel bileşen analizi litolojik birimler ve yapısal unsurların haritalarının hazırlanmasında uzunca bir zamandır sıklıkla faydalanılan hem basit hem de hızlı bir diğer görüntü işleme tekniğidir (ör. Crósta ve diğ., 2003; Gürsoy, 2019; Khalifa ve diğ., 2021; Topak ve diğ., 2022; Traore ve diğ., 2022). Temel bileşen analizinde amaç birbiri ile ilişkili çok sayıdaki değişkeni, yeni ve birbiri ile ilişkisiz temel bileşenlere (PC'lere) dönüştürmektedir (ör. Singh ve Harrison, 1985; Eklundh ve Singh, 1993; Crósta ve diğ., 2003; Özyavaş, 2016). Varyansları baz alınarak azalan bir sırayla yeniden düzenlenen bu temel bileşenlerden en yüksek varyansa sahip olanı PC1 olarak adlandırılır. Bunu takip eden PC'lerden her biri bir öncekinden daha düşük varyansa sahip olacak şekilde sıralanır. Netice olarak sonlara yaklaştıkça (ör. PC8 ve PC9) bantlar büyük oranda orijinal spektral veri setindeki gürültü nedeniyle daha az varyans yüzdesine sahip olduğundan çok daha fazla gürültülü sonuçlar vermektedir (ör. Pour ve Hashim, 2011). Yüksek lisans tez çalışmasında, çalışma alanında bulunan mafik, ultramafik, kırıntılı ve karbonatlı çökel kayaçlar ASTER VNIR-SWIR bantlarına PCA yöntemi uygulanarak tanımlanmıştır. ASTER VNIR ve SWIR spektral bantlarına ait görüntülerden bant sayısı ile aynı olacak şekilde 9 adet PC görüntüsü oluşturulmuştur. %85,12 ile sahneler arasında en yüksek albedoya sahip olan PC1 görüntüsüdür. Devam eden bantlarda bu yüzde değeri azalmakta PC2 için %8,45, PC3 için ise %4,30 olmaktadır. Çalışma alanı içerisindeki ofiyolitik litolojiler ile çevre litolojiler arasındaki ayrımı daha net gerçekleştirebilmek amacıyla 9 PCA bandından PC1, PC2, PC3, PC4 ve PC5 olmak üzere 5 temel bileşen bandı seçilmiş olup bu bantlardan elde edilen aldatici renkli KYM kompozit görüntüleri oluşturulmuştur.

4.2. ASTER TIR Bantları

Silikatlar ve karbonatlar gibi kayaç oluşturu mineralerin büyük bir kısmı, elektromanyetik spektrumun 8 – 14 µm dalga boyuna denk gelen termal kızılötesi

bölgesinde absorpsiyon özellikleri göstermekte ve bu sebeple farklı kayaç türleri için litolojik haritalamaya imkân tanımaktadır (ör. Ninomiya, 2002; Rowan ve Mars, 2003; Rowan ve diğ., 2005; Öztan ve Süzen, 2011; Ninomiya ve Fu, 2016; Ninomiya ve Fu, 2019). Örnek olarak ultramafik kayaçlar ASTER veri setinin 14. bandında minimum yayılım gösterirken, 13. bantta yüksek yayılım göstermektedirler (ör. Rani ve diğ., 2018). Bununla birlikte, kuvars mineralleri ASTER veri setinin 10. ve 12. bantlarında karakteristik yayılım özelliği sergilemektedir (ör. Rowan ve diğ., 2015; Rockwell ve Hofstra, 2008). Diğer yandan, karbonat minerallerinde bulunan CO_3^{2-} anyonlarının sergilediği soğurma sebebiyle, karbonatlı kayaçlar TIR bölgesinin 11,35- 11,40 μm bant aralığında yer alan ASTER 13. ve 14. bantlarında karakteristik yayılım özelliğine sahiptir (ör. Rockwell ve Hofstra, 2008; Rajendran ve Nasir, 2014). Benzer şekilde, ofiyolitik kayaçlar TIR bölgesinde karakteristik spektral imzalara sahiptir. Bu açıdan, ASTER TIR veri seti ofiyolitik kayaçların ayırt edilmesinde ve litolojik haritalamasında başarılı neticeler vermektedir (ör. Ninomiya, 2002; Rockwell ve Hofstra, 2008; Özkan ve diğ., 2018; Çörtük ve diğ., 2020). Ancak, yalnızca ASTER TIR bantlarına ait görüntülerinin ham hallerinden oluşturulan tek renk gri görüntüler veya KYM aldatıcı renkli kompozit görüntüler litolojik ayırım ve haritalama konusunda yeterli sonuçlar sağlamamaktadır. Buna rağmen, bant oranlama ve matematiği teknikleri sayesinde oluşturulan görüntüler özellikle silikat ve karbonat kayaçları haritalandırılırken oldukça etkili sonuçlar sunmaktadır (ör. Ding ve diğ., 2015; Ninomiya ve diğ., 2005; Hewson ve diğ., 2005; Rockwell ve Hofstra, 2008; Zhang ve Zeng, 2018). Termal bant verileri yayılım özelliklerine göre kalibre edilerek oluşturulan tek renk veya KYM aldatıcı renkli kompozit görüntüler, alanların litolojik ayırında başarılı sonuçlar verebilmektedir (ör. Yajima ve Yamaguchi, 2013; Rani ve diğ., 2018). Bu noktada, daha önce literatürde farklı araştırmacılar tarafından kayaç türlerinin ayırt edilmesi için önerilen çeşitli bant oranları ve matematik denklemlerin kullanıldığı mineral ve kayaç indeks önerileri Tablo 4.1’de sunulmuştur. Örnek olarak, Ninomiya ve diğ. (2005) tarafından, ASTER’in TIR bantları kullanılarak oluşturulan karbonat indeksi, mafik indeksi, kuvars indeksi silikat ve karbonatlı kayaçların ayırt edilmesinde yararlanılan başlıca mineral ve kayaç indeksleridir. Karbonat indeksi, karbonat mineralleri bakımından zengin kayaç türlerinin ayırında, kuvars indeksi ise kuvars mineralleri bakımından zengin bir diğer deyişle silis içeriği yüksek kayaç türlerinin ayırında başarılı neticeler vermektedir. Mafik indeksi

kullanılarak ise silika içeriği düşük olan mafik ve ultramafik kayaç türlerinin ayırt edilebilmektedir. Bu bilgiler ışığında, Yeşilova ofiyoliti ve ofiyolitik melanjinini oluşturan litolojilerin bölgesel olarak ayırt edilmesi ve litolojik haritalanması amacıyla ASTER veri setine ait TIR bantlarına mineral ve kayaç indeksleri kullanılmıştır.

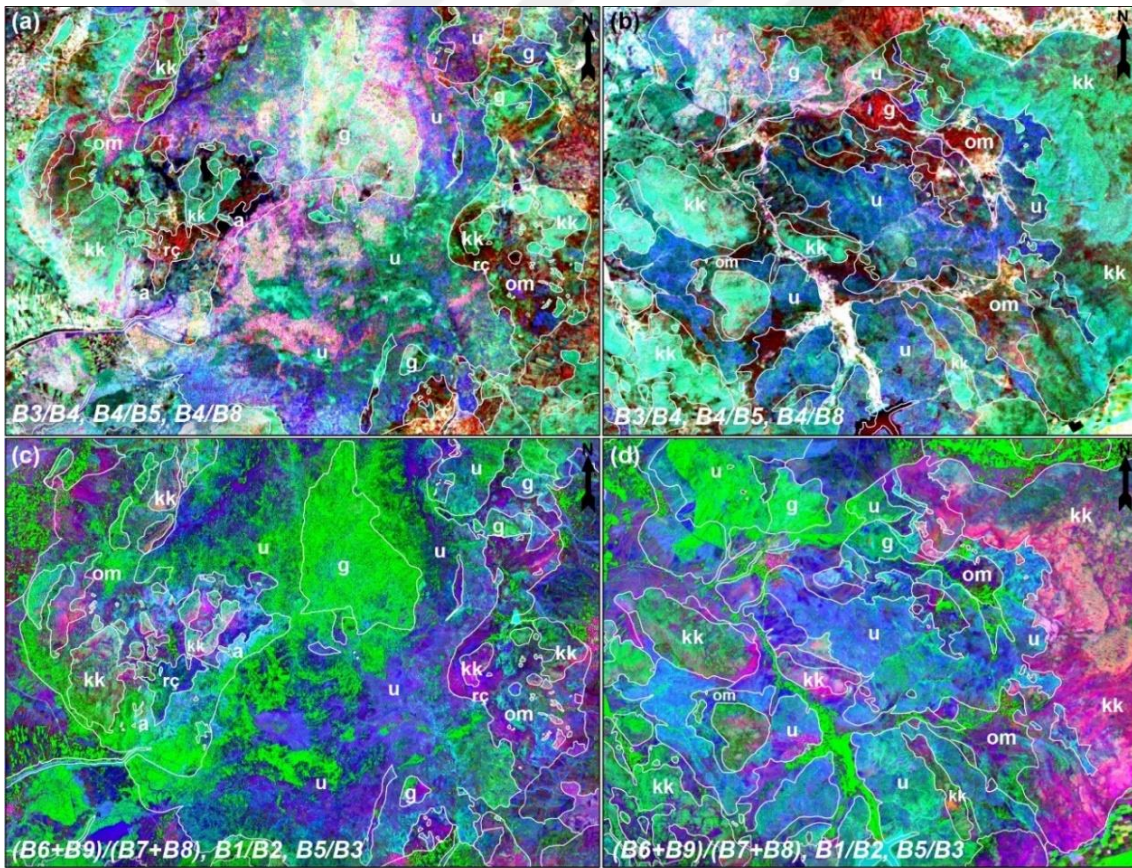
Tablo 4.1. ASTER termal kızılötesi veri setine uygulanan mineral ve kayaç indeksleri

	Mafik indeksi (MI)	Kalsit / Karbonat indeksi (CI)	Kuvars /silis indeksi (QI)	Feldspat indeksi
Ninomiya (2002), Ninomiya ve diğ. (2005)	B_{12}/B_{13}	B_{13}/B_{14}	$(B_{11} \cdot B_{11}) / (B_{10} \cdot B_{12})$	-
Ninomiya ve Fu (2010)	$(B_{12} \cdot B_{14}^3) / B_{13}^4$	B_{13}/B_{14}	$(B_{11} \cdot B_{11}) / (B_{10} \cdot B_{12})$	-
Rockwall ve Hofstra (2008)	-	B_{13}/B_{14}	$(B_{11}/(B_{10}+B_{12})) \cdot (B_{13}/B_{12})$	-
Nair ve Mathew (2012)	$(B_{12} + B_{14}) / B_{13}$	-	$(B_{11} + B_{13}) / B_{12}$	-
Ding ve diğ. (2014)	M1: $(B_{13} - 0.9147) \cdot (B_{10} - 1.4366)$ M2: $(B_{13} - 0.8945) \cdot (B_{11} - 1.2404)$	-	Q1: $(B_{13} - 0.9261) \cdot (B_{12} - 1.4623)$ Q2: $(B_{14} - 0.8440) \cdot (B_{12} - 1.8971)$	-
Ding ve diğ. (2015)	$(0.915 \cdot B_{10}) - (B_{13} + 1.437)$	-	$(B_{14} - 0.844) \cdot (B_{12} - 1.897)$	-
Guha ve Kumar (2016)	$(B_{12}/B_{13}) \cdot (B_{13}/B_{14})$	-	$(B_{10}/B_{12}) \cdot (B_{13}/B_{12})$	B_{10}/B_{11}
Rowan ve diğ. (2005)	$(B_{12} + B_{14}) / (B_{13} \cdot 2)$	-	B_{13}/B_{12}	-

5. TARTIŞMA

Literatürde farklı kayaç türleri ve mineral gruplarının haritalanmasında kullanılabilecek çok sayıda alternatif bant oranları önerilmiştir (ör. B4/B7, B4/B6, B4/B1, B2/B3, B4/B2, B4/B3, vb.). (ör. Gad ve Kusky, 2006; Mars ve Rowan, 2010; van der Meer ve diğ., 2012; Özkan ve diğ., 2018; Rajendran ve Nasir, 2019; Sevimli ve diğ., 2021; Tözün ve Özyavaş, 2020, Canbaz, 2023; Ekici, 2023). Fakat, farklı bant oranları aracılığıyla oluşturulan sonuç görüntülerinin ilgili kayaç ve minerallerin haritalandırılmasındaki başarısı, kayaç ve minerallerin türlerine, bölgedeki miktarlarına ve birlikte bulunduğu diğer kayaç ve minerallere bağlı olarak değişebilmektedir. Buna göre, Yeşilova ofiyoliti ve ofiyolitik melanjinin litolojik haritalanması amacıyla gerek bu yüksek lisans tez çalışmasında test edilen gerekse literatürde başkaca araştırmacılar tarafından önerilen çok sayıda bant oranlarından en uygun olanları seçilmiştir. Bant oranlama tekniği uygulanırken çalışılan alanda sıklıkla rastlanılan kayaç türleri ve bunların çeşitliliğiyle birlikte bulundukları diğer kayaç türleri göz önüne alınmıştır. Dolayısıyla, çalışma alanında baskın olarak bulunan mafik ve ultramafik kayaçlar ile karbonatlı kayaçları ayırt etmek için uygun bant oranları tercih edilmiştir. Özellikle demir ve magnezyumca zengin mafik-ultramafik kayaçlar bölgede baskın olduğundan demir içeriğinin tespitine uygun bant oranları seçilmiştir. ASTER veri setinin VNIR-SWIR bant aralığına ait B1/B2, B3/B4, B4/B5 ve B5/B3 oranları demir oksit içeriği yüksek mineraller ile ofiyolitik kayaçları tanımlamak için sıkça başvurulmuş oranlara örnek verilebilir (ör. Sabins, 1999; Rowan ve Mars, 2003; Khan et al., 2007; Xiong ve diğ., 2011; Eslami ve diğ., 2015; Özkan ve diğ., 2018; Zhang ve Zeng, 2018; Çörtük ve diğ., 2020). $(B_6+B_9)/(B_7+B_8)$ bant oranları kullanılarak çalışılan alandaki gabroyik ve amfibolitik kayaçların sık rastlanılan mineralleri olan epidot, klorit ve amfibol gibi mineraller vurgulanmıştır (van der Meer ve diğ. 2012). Yine çalışma alanında yaygın olarak rastlanılan karbonatlı kayaçların ayırtı için ise B4/B8 oranı (ör. Fu ve diğ., 2007; Emam ve diğ., 2016; Ahmadi ve Kalkan, 2021) seçilmiştir. Bu yüksek lisans tez çalışmasında ofiyolitik kayaçlar ve ilişkili çevre kayaçların net bir şekilde ayırt edilebilmesi için yukarıda bahsedilen bant oranları kullanılarak iki ayrı KYM aldatici renkli kompozit sonuç görüntüsü (K: B3/B4; Y: B4/B5; M: B4/B8 ve K: $(B_6+B_9) / (B_7+B_8)$; Y: B1/B2; M: B5/B3) elde edilmiştir. (Şekil 5.1a-d). Şekil 5.1a ve 5.1b’de B3/B4, B4/B5, B4/B8’den faydalanılarak elde edilen aldatici renkli kompozit sonuç görüntüsü sunulmuştur. Elde edilen son sonuç görüntüsünde, ultramafik kayaçlar

mavimsi renklerle, karbonatlı kayaçlar camgöbeği rengiyle, amfibolitik kayaçlar koyu lacivert renklerle, gabroyik kayaçlar ve pelajik çökeller ise (çamurtaşı ve radyolaryalı çörtler) kıvımsız renklerle görülebilmektedir (Şekil 5.1a, b). Ofiyolitik ve karbonatlı kayaçların ayırıtında $(B6+B9) / (B7+B8)$, $B1/B2$ ve $B5/B3$ oranlarından oluşan KYM aldatici renkli sonucu görüntüsü başarılı bir sonuç vermiştir. (Şekil 5.1c, d). Yine aynı görüntü için, amfibolitler turkuaz renk ile diğer kayaçlardan ayırt edilebilirken, pelajik çökeller ve karbonatlı kayaç blokları bulunan bazı alanlarda net olarak ayırt edilememektedir (Şekil 5.1c, d). Netice itibarıyla, seçilmiş bant oranlarının bir kombinasyonundan oluşturulan iki yeni KYM aldatici renkli sonucu görüntüsü ayırt edilmesi hedeflenen Yeşilova ofiyoliti ve ofiyolitik melanjına ait litolojik birimler arasında başarılı bir farklılaşma sağlar iken litolojik haritalama konusunda da etkin sonuçlar sunmaktadır.

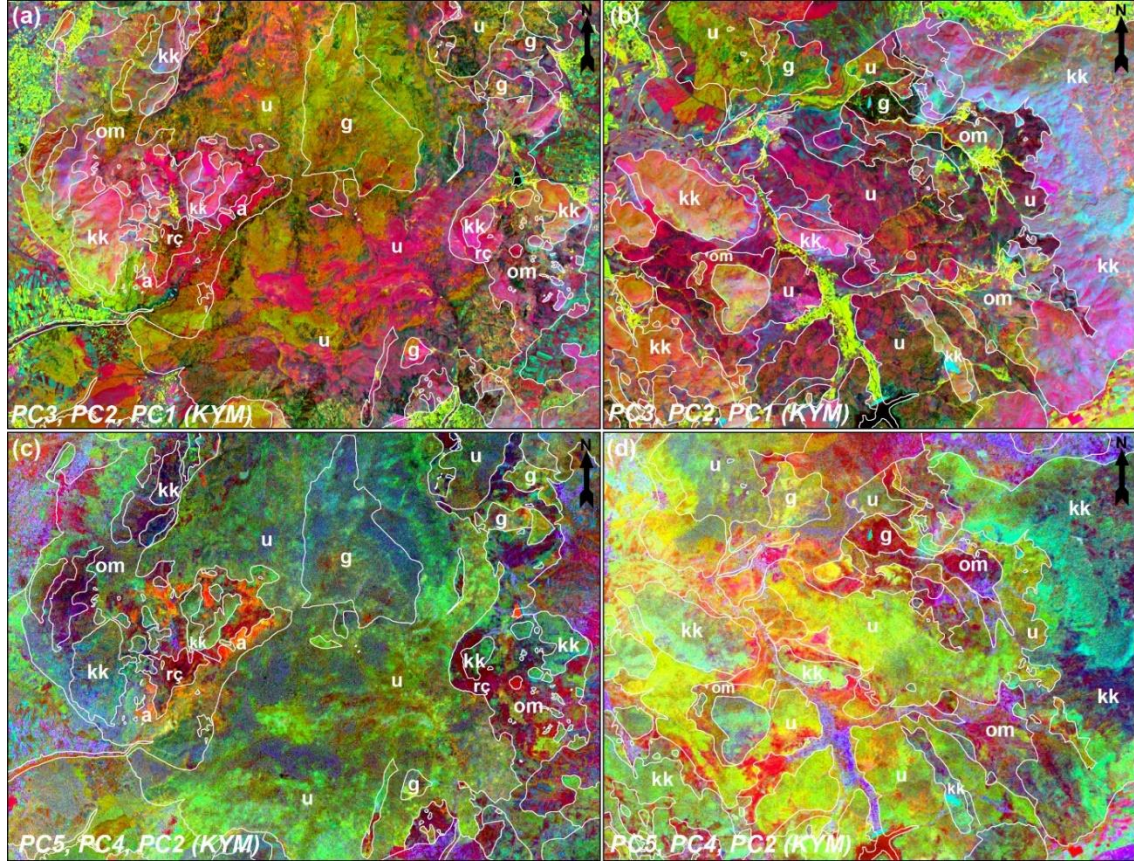


Şekil 5.1. (a-d) ASTER veri setinin VNIR ve SWIR bantlarına uygulanan bant oranlarının kombinasyonundan oluşan KYM aldatici renkli kompozit görüntüler. Şekildeki ince beyaz çizgiler, Şekil 3.1'deki litoloji sınırlarıyla aynıdır. Kısaltmalar: a, amfibolit; g, gabro; kk, karbonatlı kayaçlar; om, ofiyolitik melanj; rc, radyolaryalı çört ve çamurtaşları; u, ultramafik kayaçlar

En yüksek dereceli ilk üç temel bileşen tüm bantların sağladığı spektral bilginin büyük bir kısmını (>%98) kapsadığından, yapılan çalışmalarda bu üç bant kombinasyonundan oluşturulan KYM aldatıcı renkli kompozit görüntülerine daha sık başvurulmaktadır. (ör. Eslami ve diğ., 2015; Khalifa ve diğ., 2021; Turan ve Diker, 2022). Benzer bir bakış açısı ile ilk önce PCA bantlarından ilk üçünden KYM aldatıcı renkli kompozit görüntü (K, PC3; Y, PC2; M, PC1) oluşturulmuştur (Şekil 5.2a, b). Elde edilen bu PCA görüntüsü jeolojik yorumlandığında, ultramafik kayaçların pembemsi mor tonlarda, karbonatlı kayaçların soluk maviye çalan tonlarla temsil edildiği görülmektedir (Şekil 5.2a, b). Bunu yanı sıra, çok sayıda durumda %2'den daha düşük spektral bilgi barındıran ve daha az sinyal-gürültü oranı bulunan düşük dereceli PC'lerden oluşturulan görüntülerin de hedef mineral ve kayaçların tanımlanmasında açık şekilde etkili olduğu bilinmektedir (ör. Rajendran ve Nasir, 2014; Özyavaş, 2016; Özkan ve diğ., 2018; Gürbüz, 2019; Rajendran ve Nasir, 2019; Topak ve diğ., 2022). Bu sebeple, PC4 ve PC5 bantlarından oluşturulan görüntüler mafik-ultramafik kayaçlar, amfibolitler, pelajik çökeller (çamurtaşı ve radyolaryalı çörtler) ve kireçtaşlarının ayırt edilmesinde etkin şekilde kullanılabilir. PC5-PC4-PC2 temel bileşen bantlarından oluşturulan KYM aldatıcı renkli kompozit görüntüsünde (K, PC5; Y, PC4; M, PC2) ofiyolitik kayaçlar sarı ve fıstık yeşili tonlarda, gabroyik kayaçlar ve ofiyolitik melanaj içerisindeki pelajik çökeller (çamurtaşı ve radyolaryalı çörtler) koyu kıvımsı ve mor tonlarda, amfibolitik kayaçlar turuncu tonlarda ve karbonatlı kayaçlar koyu ve yeşilimsi tonlarda görünmekte ve bu sayede başkaca litolojilerden net bir şekilde ayırt edilebilmektedir (Şekil 5.2c, d). Sonuç olarak, KYM kombinasyonunda kullanılan PC5, PC4, PC2 bantları mafik-ultramafik kayaçlar, radyolaryalı çörtler ve amfibolitik kayaçları ayırmak için PC3, PC2 ve PC1 kompozit sonuç görüntüsüne kıyasla daha iyi bir sonuç sunmaktadır.

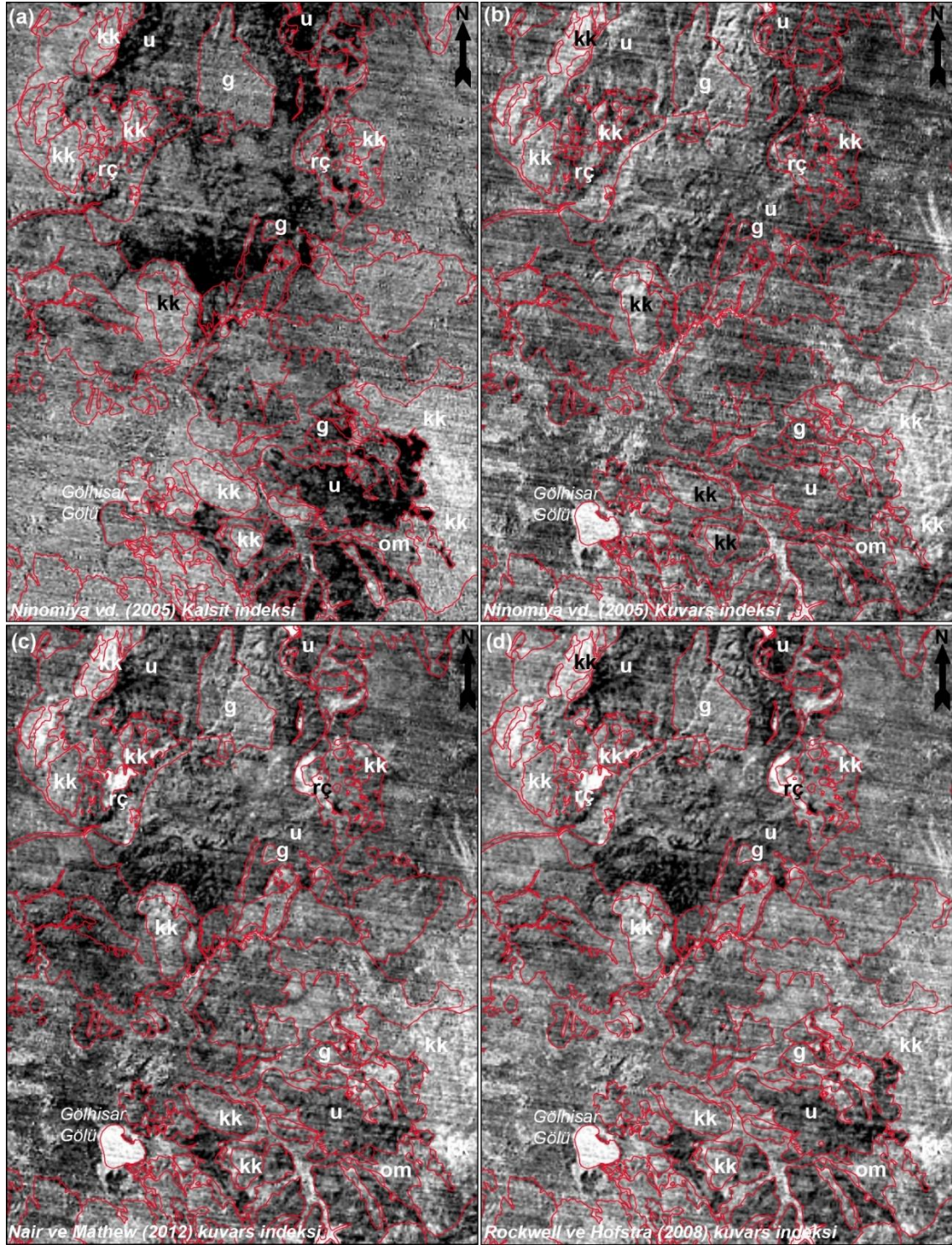
ASTER termal bant görüntüleri silikat kayaçlarının ayırt edilmesinde oldukça başarılı sonuçlar sunmaktadır. 5 banttan oluşan termal bant görüntülerinin ham halleriyle oluşturulan tek renk gri görüntülerinde litolojik ayırım konusunda iyi sonuçlar vermemektedir. Buna karşın bant oranlama tekniği ile elde edilen tek bant görüntülerinde özellikle silikat ve karbonat kayaçlarının ayırdınca olumlu sonuçlar sağlamaktadır. Bu bağlamda, önceki çalışmalarda araştırmacılar ilgili kayaç türlerinin ayırdında farklı bant oranları kullanılarak mineral ve kayaç indisleri önermişlerdir. Bunlar başlıca karbonat indisi, mafik indis, kuvars indisi şeklinde olmuştur. Karbonat indisi karbonat

minerallerince zengin kayaç türlerinin diğer kayaç türlerinden ayırdında başarılı sonuçlar sunmakta iken kuvars indisi ise kuvars minerallerince zengin veya bir başka deyişle silis içeriği yüksek olan kayaç türlerinin ayırdında başarılı sonuçlar sağlamaktadır. Mafik indisi ise, düşük silisyum içeriğine sahip bazik ve ultrabazik kayaç türlerinin ayırdında kullanılmaktadır.



Şekil 5.2. (a-d) ASTER veri setinin VNIR ve SWIR bantlarına uygulanan PCA bantlarının kombinasyonundan oluşan KYM aldatici renkli kompozit görüntüler. Şekildeki ince beyaz çizgiler, Şekil 3.1'deki litoloji sınırlarıyla aynıdır. Kısaltmalar: a, amfibolit; g, gabro; kk, karbonatlı kayaçlar; om, ofiyolitik melanji; rc, radyolaryalı çört ve çamurtaşları; u, ultramafik kayaçlar

Şekil 5.3 ve 5.4'de farklı araştırmacılar tarafından daha önce ilgili mineral ve kayaçların spektral yayılım özelliklerine göre önerilen mineral ve kayaç indeksleri kullanılarak elde edilen sonuç görüntüleri oluşturulmuştur. Bunlardan ilk olarak, Ninomiya ve diğ. (2005) tarafından ASTER TIR bant oranları kullanılarak geliştirilen karbonat (CI) (Şekil 5.3a), kuvars (QI) (Şekil 5.3b) ve mafik (MI) (Şekil 5.4a) indeksleri olup aşağıda gösterildiği haliyle formüleştirilmiştir:



Şekil 5.3. ASTER veri setinin TIR bantlarına uygulanan mineral ve kayaç indekslerinin sonuç görüntüleri. (a) Ninomiya ve diğ. (2005)'in kalsit indeksi. (b) Ninomiya ve diğ. (2005)'in kuvars indeksi. (c) Nair ve Mathew (2012)'in kuvars indeksi. (d) Rockwell ve Hofstra (2008)'in kuvars indeksi. Şekildeki ince kırmızı çizgiler, Şekil 3.1'deki litoloji sınırlarıyla aynıdır. Kısaltmalar: a, amfibolit; g, gabro; kk, karbonatlı kayaçlar; om, ofiyolitik melanj; rç, radyolaryalı çört ve çamurtaşları; u, ultramafik kayaçlar

$$CI = B13/B14$$

$$QI = (B11*B11) / (B10*B12)$$

$$MI = B12/B13$$

Burada kullanılmış olan, Ninomiya ve diğ. (2005) tarafından sunulan mafik indeksi, Ninomiya ve Fu (2010) tarafından karbonatlı kayaçların etkisini azaltmak amacıyla “ $(B12*B14^3) / B13^4$ ” şeklinde yenilenerek sunulmuştur (Şekil 5.4b).

Ding ve diğ. (2014) tarafından mafik kayaçlar ile çevre kayaçlarının daha net ayırdı amacıyla M1 ve M2 şeklinde tanımlanan indeksler ise aşağıda gösterilen denklemler ile formülleştirilmiştir. Bunlardan M1 ve M2 mafik indekslerinin büyük oranda benzer sonuçlar sunması sebebiyle Şekil 5.4c’de sadece M2 mafik indeksine ait sonuç görüntüsü sunulmuştur.

$$M1 = (B13 - 0.9147) * (B10 - 1.4366)$$

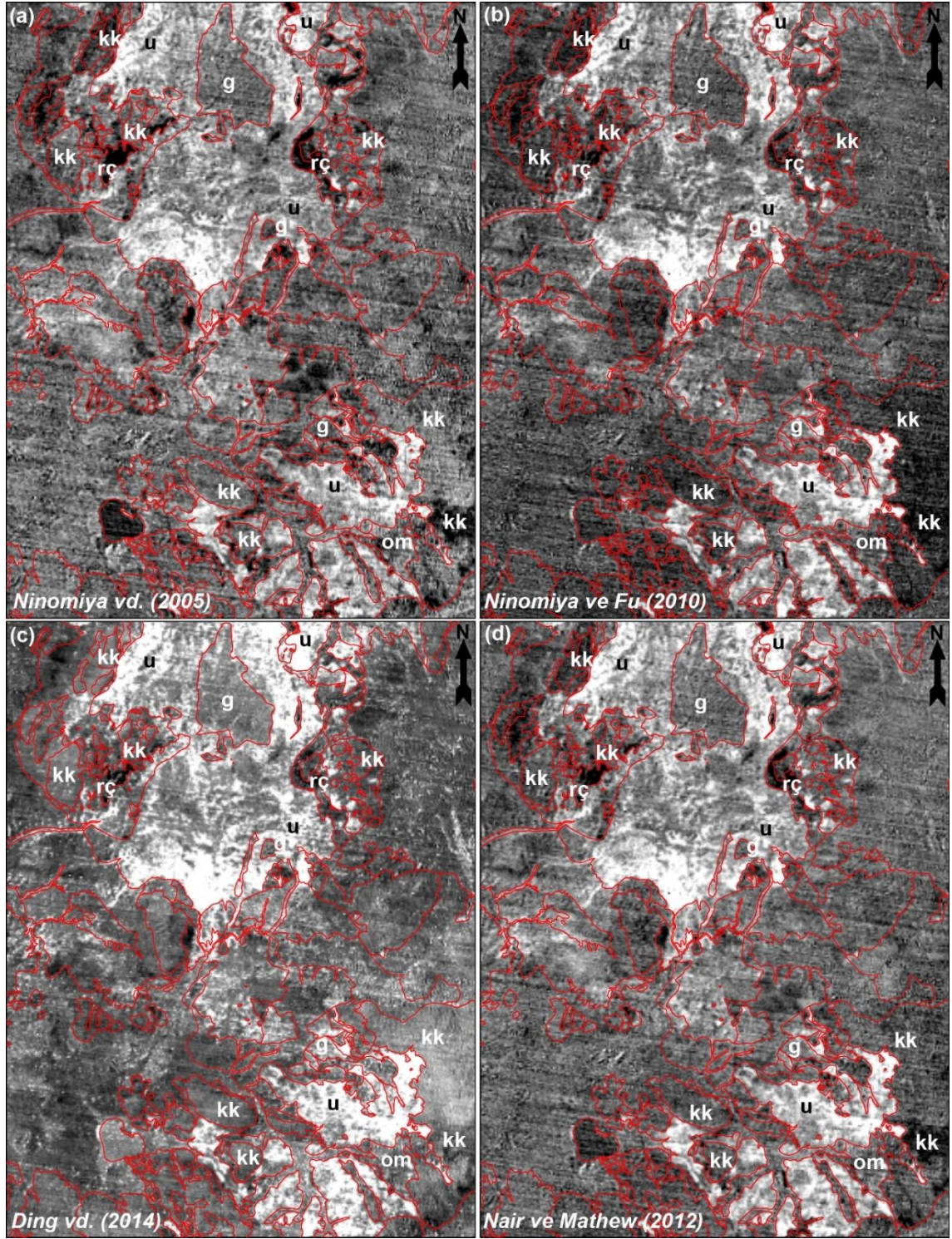
$$M2 = (B13 - 0.8945) * (B11 - 1.2404)$$

Nair ve Mathew (2012) tarafından bant oranlama tekniğiyle oluşturulan görüntülerdeki kaliteyi artırmak amacıyla göreceli bant derinliği (RBD) yöntemi önerilmiştir. Araştırmacıları RBD12 ve RBD13 olarak adlandırdıkları bu iki indeksten, RBD13 (Şekil 5.4d) bazaltlar ve diğer mafik litolojilerin ayırdı için, RBD12 (Şekil 5.3c) ise silika bakımından zengin kayaçların ayırdı için önerilmiştir.

$$RBD12: (B11 + B13) / B12$$

$$RBD13: (B12 + B14) / B13$$

Rockwell ve Hofstra (2008)’de ASTER’ veri setine ait 10. 11. 12. ve 13. bantlar kullanılarak kuvars içeren kayaçların ayırdında kullanılabilecek kuvars indeksi “ $(B11 / (B10 + B12)) * (B13/B12)$ ” şeklinde formül haline getirilmiştir (Şekil 5.3d). Yine aynı araştırmacılar, Ninomiya ve diğ. (2005)’nin önerdiği karbonat indeksini ise ASTER veri setinin 13. bandının 14. bandına oranı olarak tanımlamışlardır.



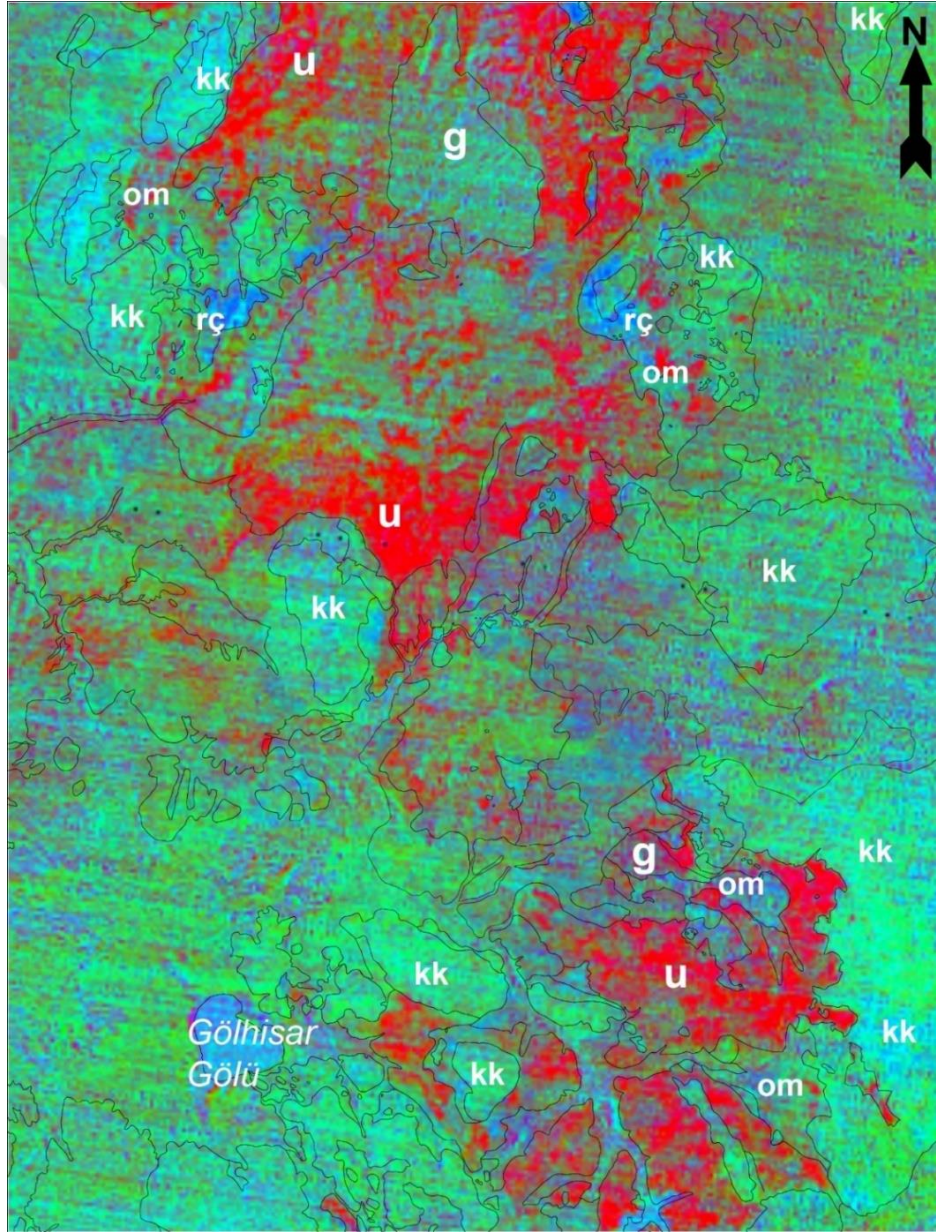
Şekil 5.4. ASTER veri setinin TIR bantlarına uygulanan mafik indekslerinin sonuç görüntüleri. (a) Ninomiya ve diğ. (2005)'in mafik indeksi. (b) Ninomiya ve Fu (2010)'nun mafik indeksi. (c) Ding ve diğ. (2014)'ün mafik indeksi. (d) Nair ve Mathew (2012)'in mafik indeksi. Şekildeki ince kırmızı çizgiler, Şekil 3.1'deki litoloji sınırlarıyla aynıdır. Kısaltmalar: a, amfibolit; g, gabro; kk, karbonatlı kayalar; om, ofiyolitik melanj; rç, radyolaryalı çört ve çamurtaşları; u, ultramafik kayalar

Yukarıda sıralanan MI indekslere ait formüller ile oluşturulan sonuç görüntülerinin (Şekil 5.4a-d) mafik-ultramafik kayalar için daha parlak pikseller sunduğu, silis bakımından zengin radyolaryalı çörtler için ise koyu renkli pikseller sunduğu görölmektedir. Burada sunulan mafik indeksler kabaca benzer sonuçlar sunmasına rağmen, Ninomiya ve Fu (2010) ile Nair ve Mathew (2012) tarafından önerilen mafik indeks formüllerinin, Yeşilova ofiyolitine ait mafik-ultramafik kayaların çevrede bulunan kayalardan ayırdı için en başarılı sonuçlar veren yöntemlerden biri olduğu görölmektedir (Şekil 5.4b ve 5.4d). Ding ve diğ. (2014) tarafından önerilen mafik indekse göre oluşturulan sonuç görüntüsünde ultramafik kayalar yüksek parlaklıktaki piksellerle temsil edilmekte ve çevre kayalardan net olarak ayırt edilebilmektedir. Bilhassa ofiyolitik kayalara ait kırıntılı malzemelerden oluşın dere ve akarsu yataklarındaki alanlar önerilen diğerk mafik indekslerden farklı bir şekilde parlak piksel değerkleri ile temsil edilmektedir (Şekil 5.4c). Ninomiya ve Fu (2010) tarafından önerilen mafik indeks (Şekil 5.4b), Ninomiya ve diğ. (2005) tarafından önerilen mafik indekse (Şekil 5.4a) nazaran mafik-ultramafik kayalarla ile diğerk çevre kayaları arasında daha yüksek kontrast oranına sahip sonuç görüntüsü sunmaktadır.

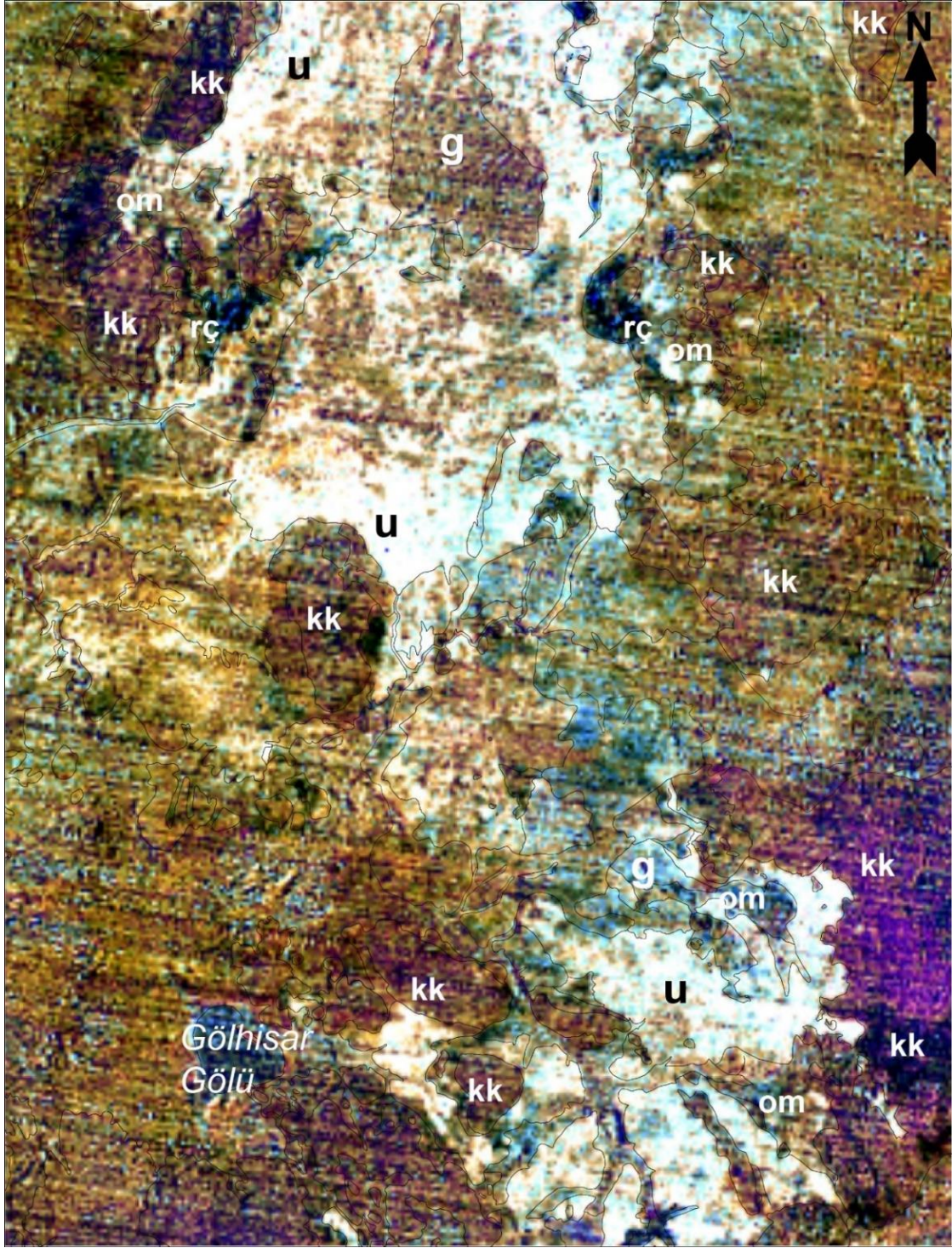
Ninomiya ve diğ. 2005 ve Rockwell ve Hofstra 2008 tarafından önerilen kalsit indeksine (B13/B14) göre oluşturulan sonuç görüntüsünde (Şekil 5.3a) mafik ve ultramafik kayalar koyu renkli pikseller olarak görölmekte iken karbonatlı kayalar görece daha parlak piksellere karşılık gelmektedir. Rockwell ve Hofstra (2008)'in kuvars indeksine göre oluşturulan sonuç görüntüsünde ofiyolitik melanj içerisinde yer alan radyolaryalı çörtlerin en parlak pikseller olarak göröndüğü göze çarpmakta olup ultramafik kayalar koyu pikselle temsil edilen alanlara, mafik kayalar ise bir nebze daha açık renkli pikseller ile temsil edilen alanlara denk gelmektedir (Şekil 5.3d). Fakat, bu durum Ninomiya ve diğ. (2005) tarafından önerilen kuvars indeksi kullanılarak hazırlanan sonuç görüntüsünde Rockwell ve Hofstra (2008) kuvars indeksinde olduğu kadar net görölememektedir (Şekil 5.3b). Nair ve Mathew (2012)'nin görüntülerdeki kaliteyi artıran göreceli bant derinliğı yöntemi olan RBD12 olarak tanımladıkları kuvars indeksi sonuç görüntüsünde ise beyaz renkli pikseller olarak temsil edilen radyolaryalı çörtlerin yüzlek verdiğı alanlar dikkati çekmektedir (Şekil 5.3c). Mafik ve kuvars indeksi sonuç görüntülerinden anlaşıldığı üzere mafik-ultramafik kayalar ve silis içeriğı yüksek kayalar arasında negatif bir korelasyon bulunmakta olup, bu durum büyük oranda ayırt

edilmesi amaçlanan litolojilere ait kayaç bileşimlerinde yer alan toplam SiO₂ içeriği ile yakından ilişkilidir (ör. Ninomiya, 2002; Ninomiya ve diğ., 2005).

Son olarak, literatürde yer bulan mafik, kalsit ve kuvars indeksleri ile diğer araştırmacıların mafik indekslerinin bir kombinasyonundan oluşturulan KYM aldatici renkli kompozit görüntüleri sunulmuştur (Şekil 5.5 ve 5.6).



Şekil 5.5. Ninomiya ve Fu (2010)'un mafik indeksi, Ninomiya ve diğ. (2005)'in kalsit indeksi ve Rockwell ve Hofstra (2008)'in kuvars indeksinden oluşan KYM aldatici renkli kompozit görüntü. İnce siyah çizgiler, Şekil 3.1'deki litoloji sınırlarıyla aynıdır. Kısaltmalar: a, amfibolit; g, gabro; kk, karbonatlı kayaçlar; om, ofiyolitik melanj; rç, radyolaryalı çört ve çamurtaşları; u, ultramafik kayaçlar



Şekil 5.6. Sırasıyla Nair ve Mathew (2012), Ninomiya ve Fu (2010) ve Ding ve diğ. (2014)'ün mafik indekslerinden oluşan KYM aldatıcı renkli kompozit görüntü. Şekildeki ince siyah çizgiler, Şekil 3.1'deki litoloji sınırlarıyla aynıdır. Kısaltmalar: a, amfibolit; g, gabro; kk, karbonatlı kayalar; om, ofiyolitik melanj; rc, radyolaryalı çört ve çamurtaşları; u, ultramafik kayalar

Öncelikle, Ninomiya ve Fu (2010)'nın mafik indeksi kırmızı renge kalsit indeksi yeşile renge Rockwell ve Hofstra (2008)'in kuvars indeksi ise mavi renge atanmıştır (Şekil 5.5).

Elde edilen bu KYM aldatıcı renkli kompozit görüntüde, ultramafik kayaçların bulunduğu alanlar kırmızı renkle temsil edilmekte ve diğer kayaçlardan belirgin olarak ayrılmaktadır. Görüntüde yer alan turkuaz renkli kısımlar radyolaryalı çörtlerin yüzlek verdiği alanları temsil etmektedir. Koyu mavi renkle temsil edilen alanlar ise ofiyolitik melanjın ve gabroyik kayaçların yüzlek verdiği bölgeleri göstermektedir. Oluşturulan başka bir KYM aldatıcı renkli kompozit görüntü için ise Nair ve Mathew (2012) tarafından önerilen mafik indeks kırmızı renge, Ninomiya ve Fu (2010) tarafından önerilen mafik indeks yeşil renge ve Ding ve diğ. (2014) tarafından önerilen mafik indeks mavi renge atanarak mafik-ultramafik kayaçların olduğu alanlar vurgulanmıştır (Şekil 5.6). Ultramafik kayaçları gösteren beyaz renkli ve görece daha parlak piksellerin dikkat çektiği bu KYM aldatıcı renkli kompozit görüntü ile saha çalışmalarının bariz şekilde uyumlu olduğu ve yapılan işlemin kayaçların ayırdında başarılı sonuç verdiği görülmektedir. Yine bu görüntü için, lacivert rengin radyolaryalı çört, açık mavi rengin gabroyik kayaçlar, mor ve kahvemsî renklerin ise karbonatlı kayaçların yüzlek verdiği alanlara karşılık geldiği görülmektedir. (Şekil 5.6).

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yüksek lisans tez çalışmasında sunulan ASTER VNIR ve SWIR veri setlerine ait bant oranları ((B1/B2, B3/B4, B4/B5, B4/B8, B5/B3 ve (B6+B9) / (B7+B8)) ve PCA görüntüleri (PC3, PC2, PC1 ve PC5, PC4, PC2), Yeşilova ofiyoliti ve ofiyolitik melanjına ait litolojik birimleri ayırt etme konusunda başarılı sonuçlar vermiştir. Bunun yanı sıra, ASTER veri setinin TIR bantlarında çalışılan mafik, kalsit ve kuvars indeks uygulamaları ve bunlara ait KYM aldatıcı renkli kompozit görüntülerin bölgesel ölçekte ofiyolitik kayaların litolojik haritalanmasında fayda sağlamıştır. Tez çalışmasında sunulan yöntemlerden elde edilen sonuç görüntüleri, ilgili tekniklerin Yeşilova ofiyoliti ve ofiyolitik melanjına ait litolojilerin haritalamasında başarılı sonuçlar sağladığı saha çalışmalarındaki kıyaslamalar aracılığıyla teyit edilmiştir. Netice itibariyle sunulan uzaktan algılama yöntemlerinin, Toros kuşağına benzer şekilde kısmi olarak bitki örtüsü açısından zayıf alanlarda yapılacak litolojik haritalama ve jeolojik değerlendirme faaliyetleri için yararlı olacağı değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, Bu çalışma kapsamında daha çok litolojik açıdan haritalama çalışmalarının gerçekleştirilmesi yönünde çalışmış olup bölgenin jeolojik oluşum süreçlerinin anlaşılması açısından yapısal jeolojik özelliklerine dair ayrıntılı çalışmalar daha sonraki çalışmalarda gerçekleştirilebilir. Ayrıca, bu çalışmada Neojen çökel örtü kayaları ayrıntılı olarak haritalanmamış olup bu alanlardaki Neotektonik yapısal unsurların farklı uzaktan algılama teknikleri ile haritalanması diğer çalışmalar için önerilebilir.

KAYNAKLAR

- Abrams, M. (2000). The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER): Data Products for the High Spatial Resolution Imager on Nasa's Terra Platform. *International Journal of Remote Sensing*, 21(5), 847-859.
- Abrams, M., Yamaguchi, Y. (2019). Twenty Years of ASTER Contributions to Lithologic Mapping and Mineral Exploration. *Remote Sensing*, 11(11), 1-27.
- Adiri, Z., Lhissou, R., El Harti, A., Jellouli, A., Chakouri, M. (2020). Recent Advances in the Use of Public Domain Satellite Imagery for Mineral Exploration: A Review of Landsat-8 and Sentinel-2 Applications. *Ore Geology Reviews*, 117, 103332.
- Ahmadi, H., Kalkan, K. (2021). Mapping of Ophiolitic Complex in Logar and Surrounding Areas (SE Afghanistan) with ASTER Data. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 49(6), 1271-1284.
- Aldanmaz, E., Meisel, T., Çelik, Ö. F., Henjes-Kunst, F. (2012). Osmium Isotope Systematics and Highly Siderophile Element Fractionation in Spinel-Peridotites From the Tethyan Ophiolites in SW Turkey: Implications for Multi-Stage Evolution of Oceanic Upper Mantle. *Chemical Geology*, 294, 152-164.
- Bachri, I., Hakdaoui, M., Raji, M., Teodoro, A. C., Benbouziane, A. (2019). Machine Learning Algorithms for Automatic Lithological Mapping Using Remote Sensing Data: a Case Study from Souk Arbaa Sahel, Sidi Ifni Inlier, Western Anti-Atlas, Morocco. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(6), 248.
- Blaschke, T., Hay, G. J., Kelly, M., Lang, S., Hofmann, P., Addink, E., Tiede, D. (2014). Geographic Object-Based Image Analysis—Towards a New Paradigm. *ISPRS Journal of Photogrammetry And Remote Sensing*. 87, 180-191.
- Canbaz, O. (2023a). Application of Spectral Analysis and Image Processing Methods to Discriminate Hydrothermal Alteration Minerals Around the Tutakdağı (Şebinkarahisar-Giresun) Lead–Zinc Deposits, Northeastern Turkey. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 1-21.
- Canbaz, O. (2023b). The Performance of Hyperspectral Measurements Integrated into Multispectral Data on the Detection of the Alpine Chromite Deposits in the Ophiolite Complexes. *Geology of Ore Deposits*, 65(4), 381-394.
- Canbaz, O., Çakır, E.Ü. (2022). Şaphane (Çorum) Damar Tipi Altın Cevherleşmesinde Multispektral Uydu Görüntüleri Kullanılarak Hidrotermal Alterasyon Mineral Haritalaması ve Çizgisellik Analizi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(3), 313-328.
- Cloutis, E.A. (1996). Review Article Hyperspectral Geological Remote Sensing: Evaluation of Analytical Techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 17(12), 2215-2242.

- Collins, A.S., Robertson, A.H. (1999). Evolution of the Lycian Allochthon, Western Turkey, as a North-facing Late Palaeozoic to Mesozoic Rift and Passive Continental Margin. *Geological Journal*, 34(1-2), 107-138.
- Cooley, T., Anderson, G. P., Felde, G. W., Hoke, M. L., Ratkowski, A. J., Chetwynd, J. H., Lewis, P. (2002). FLAASH, a MODTRAN4-Based Atmospheric Correction Algorithm, Its Application and Validation. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Toronto, Kanada, 24-28 Haziran 2002.
- Crosta, A.P., De Souza Filho, C.R., Azevedo, F., Brodie, C. (2003). Targeting Key Alteration Minerals In Epithermal Deposits In Patagonia, Argentina, Using ASTER Imagery and Principal Component Analysis. *International Journal of Remote Sensing*, 24(21), 4233-4240.
- Çalmak, G. (2019) Kurtlapa (Sivas) ve Civarının Jeolojik Özellikleri, Uydu Görüntüleriyle İncelenmesi ve Kaya Türü Spektral Yansıma Verilerinin Toplanması. Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, 580653.
- Çelik, Ö.F., Delaloye, M.F. (2003). Origin of Metamorphic Soles and Their Post-Kinematic Mafic Dyke Swarms in the Antalya and Lycian Ophiolites, SW Turkey. *Geological Journal*, 38(3-4), 235-256.
- Çelik, Ö.F., Chiaradia, M. (2008). Geochemical and Petrological Aspects of Dike Intrusions in The Lycian Ophiolites (SW Turkey): a Case Study for the Dike Emplacement Along the Tauride Belt Ophiolites. *International Journal of Earth Sciences*, 97, 1151-1164.
- Çelik, Ö.F., Delaloye, M., Feraud, G. (2006). Precise ^{40}Ar - ^{39}Ar Ages from the Metamorphic Sole Rocks of the Tauride Belt Ophiolites, Southern Turkey: Implications for the Rapid Cooling History. *Geological Magazine*, 143(2), 213-227.
- Çiftçi, Y., Dönmez, C., Parlak, O., Günay, K. (2019). Chromitite Deposits of Turkey in Tethyan Ophiolites. *Mineral Resources of Turkey*, 73-157.
- Çörtük, R.M., Çelik, Ö.F., Alkan, A., Özkan, M., Özyavaş, A. (2020). Distribution of Rocks in Pınarbaşı Ophiolite from Central Anatolia (Turkey) Based on Analysis of ASTER and Landsat-8 Data. *Geological Journal*, 55(10), 6810-6822.
- Çörtük, R.M., Çelik, Ö.F., Özkan, M., Marzoli, A., Alkan, A. (2023). The Origin and PT Conditions of The Metamorphic Sole Rocks Beneath the Late Cretaceous Pınarbaşı Ophiolite, Eastern-Central Anatolia. *International Geology Review*, 65(2), 296-316.
- Demirel, I. H., Gunay, Y., Yurtsever, T. S. (2002). Evaluation of Hydrocarbon Source Rock Potential from Well Data on the Elmalı Nappes, Western Taurus Region, Turkey. *Energy sources*, 24(5), 461-470.

- Ding, C., Liu, X., Liu, W., Liu, M., Li, Y. (2014). Mafic–Ultramafic and Quartz-Rich Rock Indices Deduced from ASTER Thermal Infrared Data Using a Linear Approximation to the Planck Function. *Ore Geology Reviews*, 60, 161-173.
- Ding, C., Li, X., Liu, X., Zhao, L., 2015. Quartzose–Mafic Spectral Feature Space Model: a Methodology for Extracting Felsic Rocks with ASTER Thermal Infrared Radiance Data. *Ore Geology Reviews*, 66, 283-292.
- Döyen, A. (1995). Yeşilova (Burdur) Cıvırı Kromit Yataklarının Mineralojik, Petrografik ve Jeokimyasal İncelemesi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 45236.
- Döyen, A., Çömlekçiler F., Koçak K. (2014). Stratigraphic Features of the Yesilova Ophiolite, Burdur, South-Western Turkey. Rocha R, Pais J, Kullberg J.C. and Finney S. (Ed). *STRATI 2013* (493-498). Lisbon: Springer.
- Emam, A., Zoheir, B., Johnson, P. (2016). ASTER-Based Mapping of Ophiolitic Rocks: Examples from the Allaqi–Heiani Suture, SE Egypt. *International Geology Review*, 58(5), 525-539.
- Eslami, A., Ghaderi, M., Rajendran, S., Pour, A.B., Hashim, M. (2015). Integration of ASTER and Landsat TM Remote Sensing Data for Chromite Prospecting and Lithological Mapping in Neyriz Ophiolite Zone, South Iran. *Resource Geology*, 65(4), 375-388.
- Ekici, T. (2023). Lithological Mapping of Ophiolitic Rocks from Southern Part of the Sivas Basin (Turkey) Using ASTER Imagery. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 32(2), 200-213.
- Fu, B., Zheng, G., Ninomiya, Y., Wang, C., Sun, G. (2007). Mapping Hydrocarbon-Induced Mineralogical Alteration in the Northern Tian Shan Using ASTER Multispectral Data. *Terra Nova*, 19(4), 225-231.
- Fujisada, H. (1995). Design and Performance of ASTER Instrument. Breckinridge, J.B., (Ed.), Proceedings of International Society of Optical Engineering: Bellingham, WA (v. 2583) (16–25). Newyork: AIP Online Journal Publishing Service and American Institute of Physics.
- Gad, S., Kusky, T. (2007). ASTER Spectral Ratioing for Lithological Mapping in the Arabian–Nubian Shield, the Neoproterozoic Wadi Kid Area, Sinai, Egypt. *Gondwana Research*, 11(3), 326-335.
- Gezici, A., Maktav, D. (2012) Uzaktan Algılama ve CBS Entegrasyonu ile Arazi Örtüsü/Kullanımı Değişiminin Analizi: Konya Kenti Örneği. *IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*, Zonguldak, Türkiye, 16-19 Ekim 2012.

- Gillespie, A., Rokugawa, S., Matsunaga, T., Cothorn, J. S., Hook, S., Kahle, A.B. (1998). A Temperature and Emissivity Separation Algorithm for Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Images. *Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36(4), 1113-1126.
- Green, A.A., Berman, M., Switzer, P., Craig, M.D. (1988). A Transformation for Ordering Multispectral Data in Terms of Image Quality with Implications for Noise Removal. *Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 26(1), 65-74.
- Guha, A., Kumar, V. (2016). New ASTER Derived Thermal Indices to Delineate Mineralogy of Different Granitoids of an Archaean Craton and Analysis of Their Potentials with Reference to Ninomiya's Indices for Delineating Quartz and Mafic Minerals of Granitoids, An Analysis in Dharwar Craton, India. *Ore Geology Reviews*, 74, 76-87.
- Gül, M., Gürbüz, K., Kalelioğlu, Ö. (2012). Lithology Discrimination in Foreland Basin with Landsat TM. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 40, 257-269.
- Gürbüz, E. (2019). Multispectral Mapping of Evaporite Minerals Using ASTER Data: A Methodological Comparison from Central Turkey. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 15, 100240.
- Gürbüz, A., Gürbüz, E. (2022). Remote Sensing Approaches for Mapping Quaternary Deposits: A Synthesis. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 126, 103128.
- Gürçay, B. (2007). Çankırı İli Civarındaki Ofiyolitik Kaya Türlerinin ASTER Uydu Görüntü Analizleri İle Ayırtılması. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 232702.
- Gürsoy, Ö. (2019). Hybrid Band Combination for Discriminating Lithology of Dunite in Ultramafic Rocks. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 47(6), 1041-1049.
- Gürsoy, Ö., Kaya, Ş. (2017). Detecting of Lithological Units by Using Terrestrial Spectral Data and Remote Sensing Image. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 45, 259-269.
- Hewson, R.D., Cudahy, T.J., Mizuhiko, S., Ueda, K., Mauger, A.J. (2005). Seamless Geological Map Generation Using ASTER in the Broken Hill-Curnamona Province of Australia. *Remote Sensing of Environment*, 99(1-2), 159-172.
- Khalifa, A., Bashir, B., Çakir, Z., Kaya, Ş., Alsalman, A., Henaish, A. (2021). Paradigm of Geological Mapping of the Adıyaman Fault Zone of Eastern Turkey Using Landsat 8 Remotely Sensed Data Coupled with PCA, ICA, and MNFA Techniques. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(6), 368.

- Kavak, K.S. (2005). Determination of Palaeotectonic and Neotectonic Features Around the Menderes Massif and the Gediz Graben (Western Turkey) Using Landsat TM Image. *International Journal of Remote Sensing*, 26(1), 59-78.
- Kavak, K.S., Tatar, O., Piper, J., Kocbulut, F., Levent Mesci, B. (2009). Determination of Neotectonic Features of the Karasu Basin (SE Turkey) and Their Relationship with Quaternary Volcanic Activity Using Landsat ETM+ Imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 30(17), 4507-4524.
- Kavzoğlu, T., Çölkesen, İ. (2011). Uzaktan Algılama Teknolojileri Ve Uygulama Alanları. *Türkiye’de Sürdürülebilir Arazi Yönetimi Çalıştayı*, İstanbul, 26-27 Mayıs 2011.
- Kayadibi, Ö., Sarıfakioğlu, E., Dilek, Y., & Esirtgen, E. (2008). Ofiyolitik Seriyi Oluşturan Birimlerin Litolojik Haritalanması: Eldivan (Çankırı) Ofiyoliti Örneği. 2. *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu UZAL-CBS 2008*, Kayseri, 13-15 Ekim 2008.
- Kerle, N., Bakker, W. H., Grabmaier, K. A., Huurneman, G. C., van der Meer, F. D., Prakash, A., ... & Woldai, T. (2004). *Principles of Remote Sensing: An Introductory Textbook*. (4th ed.). Enschede, Netherlands, ITC.
- Khan, S.D., Mahmood, K., Casey, J.F. (2007). Mapping of Muslim Bagh Ophiolite Complex (Pakistan) Using New Remote Sensing, and Field Data. *Journal of Asian Earth Sciences*, 30(2), 333-343.
- Koralay, T. (2000). Niyazlar köyü (Yeşilova-Burdur) ile Tefenni Yaylası (Tefenni-Burdur) Ofiyolitlerinin Jeolojik, Petrografik ve Petrokimyasal İncelemesi. Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Konak, N. (2002). 1:500,000 Scale Geological Map of Turkey İzmir Quadrangle. M. Şenel (Ed.), *1:500,000 Scale Geological Maps of Turkey*, (7th ed.), General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara, Turkey.
- 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.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., And Chipman, J. W. (2004) *Remote Sensing and Image Interpretation*, (5th ed.) New York, John Wiley & Sons.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., And Chipman, J. W. (2015) *Remote Sensing and Image Interpretation*, (7th ed.) New York, John Wiley & Sons.
- Manap, H.S., San, B.T. (2022). Data Integration for Lithological Mapping Using Machine Learning Algorithms. *Earth Science Informatics*, 15(3), 1841-1859.

- Mars, J.C., Rowan, L.C. (2010). Spectral Assessment of New ASTER SWIR Surface Reflectance Data Products for Spectroscopic Mapping of Rocks and Minerals. *Remote Sensing of Environment*, 114(9), 2011-2025.
- Mars, J.C., Rowan, L.C. (2011). ASTER Spectral Analysis and Lithologic Mapping of the Khanneshin Carbonatite Volcano, Afghanistan. *Geosphere*, 7(1), 276-289.
- Monod, O. (1977). Re'cherches ge'ologique dans les Taurus occidental au sud de Beysehir (Turquie). PhD thesis, Universite' de Paris-Sud, Orsay
- Nair, A., Mathew, G. (2012). Lithological Discrimination of the Phenaimata Felsic-Mafic Complex, Gujarat, India, Using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER). *International Journal of Remote Sensing*, 33(1), 198-219.
- Ninomiya, Y., 2002. Mapping quartz, carbonate minerals, and mafic-ultramafic rocks using remotely sensed multispectral thermal infrared ASTER data. In *Thermosense XXIV* (Vol. 4710, pp. 191-202). SPIE.
- Ninomiya, Y., Fu, B., Cudahy, T.J. (2005). Detecting Lithology with Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Multispectral Thermal Infrared "Radiance-at-Sensor" Data. *Remote Sensing of Environment*, 99(1-2), 127-139.
- Ninomiya, Y., Fu, B. (2010). Regional Scale Lithologic Mapping in Western Tibet Using ASTER Thermal Infrared Multispectral Data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, 38, 454-458.
- Ninomiya, Y., Fu, B. (2016). Regional Lithological Mapping Using ASTER-TIR Data: Case Study for the Tibetan Plateau and the Surrounding Area. *Geosciences*, 6(3), 39.
- 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.
- Özgül, N. (1976). Torosların Bazı Temel Jeoloji Özellikleri. *Bulletin of the Geological Society of Turkey*, 19, 65-78.
- Özkan, M., Çelik, Ö.F., Özyavaş, A. (2018). Lithological Discrimination of Accretionary Complex (Sivas, Northern Turkey) Using Novel Hybrid Color Composites and Field Data. *Journal of African Earth Sciences*, 138, 75-85.
- Öztan, S.N., Lütfi Süzen, M. (2011). Mapping Evaporate Minerals by ASTER. *International Journal of Remote Sensing*, 32(6), 1651-1673.

- Özkaptan, M., Kaymakci, N., Langereis, C. G., Gülyüz, E., Özacar, A. A., Uzel, B., & Sözbilir, H. (2018). Age and Kinematics of the Burdur Basin: Inferences for the Existence of the Fethiye Burdur Fault Zone in SW Anatolia (Turkey). *Tectonophysics*, 744, 256-274.
- Özyavaş, A. (2016). Assessment of Image Processing Techniques and ASTER SWIR Data for the Delineation of Evaporates and Carbonate Outcrops Along the Salt Lake Fault, Turkey. *International Journal of Remote sensing*, 37(4), 770-781.
- Özyavaş, A. (2020). Susuzdağ ve Tekkedağ (Kapadokya-Türkiye) Çevresindeki Volkanik Kayaçların ASTER Görüntüsü Kullanılarak Haritalanması. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 63(2), 225-240.
- Pour, A.B., Hashim, M. (2011). Identification of Hydrothermal Alteration Minerals for Exploring of Porphyry Copper Deposit Using ASTER Data, SE Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 42(6), 1309-1323.
- Pour, A.B., Hashim, M. (2012). The Application of ASTER Remote Sensing Data to Porphyry Copper and Epithermal Gold Deposits. *Ore Geology Reviews*, 44, 1-9.
- Qasim, M., Khan, S.D., Haider, R., Rasheed, M.U. (2022). Integration of Multispectral and Hyperspectral Remote Sensing Data for Lithological Mapping in Zhob Ophiolite, Western Pakistan. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(7), 599.
- Rajendran, S., Nasir, S. (2014). ASTER Spectral Sensitivity of Carbonate Rocks—Study in Sultanate of Oman. *Advances in Space Research*, 53(4), 656-673.
- Rajendran, S., Nasir, S. (2015). Mapping of Moho and Moho Transition Zone (MTZ) in Samail ophiolites of Sultanate of Oman Using Remote Sensing Technique. *Tectonophysics*, 657, 63-80.
- Rajendran, S., Nasir, S. (2019). 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*, 108, 33-53.
- Rani, K., Guha, A., Pal, S. K., Vinod Kumar, K. (2018). Comparative Analysis of Potentials of ASTER Thermal Infrared Band Derived Emissivity Composite, Radiance Composite and Emissivity–Temperature Composite in Geological Mapping of Proterozoic Rocks in Parts of Banswara, Rajasthan. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 46, 771-782.
- Robson B. A., Nuth C., Dahl S. O., Hölbling D., Strozzi T., Nielsen P. R. (2015) Automated Classification of Debris-Covered Glaciers Combining Optical, SAR and 273 Topographic Data in an Object-Based Environment, *Remote Sensing of Environment*, 170, 372-387.

- Rockwell, B.W., Hofstra, A.H. (2008). Identification of Quartz and Carbonate Minerals Across Northern Nevada Using ASTER Thermal Infrared Emissivity Data Implications for Geologic Mapping and Mineral Resource Investigations in Well-Studied and Frontier Areas. *Geosphere*, 4(1), 218-246.
- Rowan, L.C., Mars, J.C. (2003). Lithologic Mapping in the Mountain Pass, California Area Using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Data. *Remote Sensing of Environment*, 84(3), 350-366.
- 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.
- Sabins, F.F. (1999). Remote Sensing for Mineral Exploration. *Ore Geology Reviews*, 14(3-4), 157-183.
- Sarp H. (1976). Etude Geologique Et Petrographique Du Cortege Ophiolitique De La Region Situee Au Nord-Quest De Yeşilova (Burdur-Turquie). These, Univ Geneve, 377p
- Sevimli, U.İ., Traore, M., Topak, Y., Tekin, S. (2021). Mineral Propecting and Lithological Mapping Using Remote Sensing Approaches in Between Yazihan-Hekimhan (Malatya) Turkey.
- Shirmard, H., Farahbakhsh, E., Müller, R. D., & Chandra, R. (2022). A Review of Machine Learning in Processing Remote Sensing Data for Mineral Exploration. *Remote Sensing of Environment*, 268, 112750.
- Singh, A., Harrison, A. (1985). Standardized Principal Components. *International Journal of Remote Sensing*, 6(6), 883-896.
- Sultan, M., Arvidson, R.E., Sturchio, N.C. (1986). Mapping of Serpentinites in the Eastern Desert of Egypt Using Landsat Thematic Mapper Data. *Geology* 14, 995–999.
- Sunar F., Özkan C., Osmanoğlu B. (2013). Uzaktan Algılamada Temel Kavramlar, Sunar F. (Ed.) *Uzaktan Algılama* (2. Baskı), Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir, 6-17, 2013.
- Şenel, M. (1997). 1:250.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları No: 3 Antalya Paftası (in Turkish with English abstract).
- Şenel, M. (2004) Stratigraphic and Structural Features of Yeşilyaprak Nappe in Western Taurus Range and Its Comparison with the Similar Units in SE Anatolia and Northern Cyprus. *Bull Min Res Explor*, 128, 1–26.

- Tatar, Y. (2011). Uzaktan Algılama Tarihçesine Genel Bir Bakış. *Biga Yarımadası'nın Jeolojisi Sempozyumu*, Balıkesir, 1-2 Aralık 2011.
- Tempfli K., Kerle N., Huurneman G. C., Janssen L. L. F. (2009) *Principles of Remote Sensing* (4th ed.). Hollanda: The Int. Ins. For Geo-Information Sci. and Earth Observation.
- Topak, Y., Traore, M., Sevimli, U.İ., Tekin, S. (2022). Mineral Exploration and Lithological Mapping Using Remote Sensing Approaches in Between Yazıhan-Hekimhan (Malatya) Turkey. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 6(1), 52-61.
- Tözün, K.A., Özyavaş, A. (2020). New Logical Operator Algorithms for Mapping of Hydrothermally Altered Rocks Using ASTER Data: A Case Study from Central Turkey. *Ore Geology Reviews*, 122, 103533.
- Traore, M. (2021) Mineral Prospecting and Lithological Mapping Using Remote Sensing Approaches In Central Anatolian Crystalline Complex and Anatolide Tauride Terrane Between Niğde, Kayseri And Adana Provinces, Department of Geological Engineering, PhD Thesis
- Traore, M., Wambo, J.D.T., Ndepete, C.P., Tekin, S., Pour, A.B., Muslim, A.M. (2020a). Lithological and Alteration Mineral Mapping for Alluvial Gold Exploration in the South East of Birao Area, Central African Republic Using Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) Data. *Journal of African Earth Sciences*, 170, 103933.
- Traore, M., Çan, T., Tekin, S. (2020b). Discrimination of Iron Deposits Using Feature Oriented Principal Component Selection and Band Ratio Methods: Eastern Taurus/TURKEY. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 7(2), 147-156.
- Traore, M., Çan, T., Tekin, S. (2022). Mapping Carbonate-Hosted Pb-Zn Mineralization Zones in Yahyali Province (Eastern Taurus-Turkey) Using ASTER Data. *Advances in Space Research*, 69(1), 266-281.
- Turan, T.İ., Diker, C. (2022). Remote Sensing of Listvenite Rock for Kaymaz Gold Deposit, Eskişehir-Türkiye. *Journal of Geochemical Exploration*, 243, 107110.
- Uçar, V. (2022). Akdağmadeni Orman İşletme Sahasındaki Orman Varlığının Uzaktan Algılama Yöntemleriyle Değişim Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 733469.
- URL-1: https://www.tuik.gov.tr/indir/duyuru/favori_raporlar.xlsx, (Ziyaret tarihi: 09 Ocak 2024).
- URL-2: www.burdur.gov.tr, (Ziyaret tarihi: 26 Aralık 2023).

- URL-3: https://acikders.tuba.gov.tr/pluginfile.php/632/mod_resource/content/0/DersNotlari/Unite1_UzaktanAlgilamaya_Giris.pdf , (Ziyaret tarihi: 26 Aralık 2023).
- URL-4: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2msi/msiinstrument> , (Ziyaret tarihi: 12 Ocak 2024).
- Uysal, İ., Ersoy, E. Y., Karşlı, O., Dilek, Y., Sadıklar, M. B., Ottley, C. J., ... & Meisel, T. (2012). Coexistence of Abyssal and Ultra-Depleted SSZ Type Mantle Peridotites in a Neo-Tethyan Ophiolite in SW Turkey: Constraints from Mineral Composition, Whole-Rock Geochemistry (Major-Trace-REE-PGE), and Re-Os Isotope Systematics. *Lithos*, 132, 50-69.
- Van der Meer, F.D., Van der Werff, H. M., Van Ruitenbeek, F. J., Hecker, C.A., Bakker, W. H., Noomen, M.F., Van Der Meijde, M., Carranza, E.J.M., De Smeth, J.B., Woldai, T. (2012). Multi-and Hyperspectral Geologic Remote Sensing: A Review. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 14(1), 112-128.
- Van Der Meer, F., Kopačková, V., Koucká, L., Van Der Werff, H. M., Van Ruitenbeek, F. J., Bakker, W.H., 2018. Wavelength Feature Mapping as a Proxy to Mineral Chemistry for Investigating Geologic Systems: An Example from the Rodalquilar Epithermal System. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 64, 237-248.
- Xiong, Y., Khan, S. D., Mahmood, K., Sisson, V.B. (2011). Lithological Mapping of Bela Ophiolite with Remote-Sensing Data. *International Journal of Remote Sensing*, 32(16), 4641-4658.
- Yajima, T., Yamaguchi, Y. (2013). Geological Mapping of the Francistown Area in Northeastern Botswana by Surface Temperature and Spectral Emissivity Information Derived from Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Thermal Infrared Data. *Ore Geology Reviews*, 53, 134-144.
- Yang, W., Zheng, Y., Chen, S., Duan, X., Zhou, Y., Xu, X. (2023). Chromite-Bearing Peridotite Identification, Based on Spectral Analysis and Machine Learning: A Case Study of the Luobusa Area, Tibet, China. *Applied Sciences*, 13(16), 9325.
- Zabcı, C. (2021). Çok Bantlı Landsat 8-OLI ve Sentinel-2A MSI Uydu Görüntülerinin Karşılaştırmalı Jeoloji Uygulaması: Örnek Çalışma Alanı Olarak Doğu Anadolu Fayı Boyunca Palu-Hazar Gölü Bölgesi (Elazığ, Türkiye). *Geomatik*, 6(3), 238-246.
- Zhang, R., Zeng, M. (2018). Mapping Lithologic Components of Ophiolitic Mélanges Based on ASTER Spectral Analysis: A Case Study from the Bangong-Nujiang Suture Zone (Tibet, China). *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(1), 34.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- Gerdan, S., **Şen, A.** (2019). Afet ve Acil Durumlar İçin Belirlenmiş Toplanma Alanlarının Yeterliklerinin Değerlendirilmesi: İzmit Örneği. *İdealkent*, 10(28), 962-983.
- Gerdan, S., **Şen, A.** (2020). Kocaeli/Başiskele İlçesi Afet ve Acil Durum Toplanma Alanlarının Yeterliklerinin Değerlendirilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(2), 489-500.
- Şen, A.**, Gerdan, S. (2018). Evaluation At The Provincial Level Of Turkey Disaster Response Plan (TDRP): Example Of Kocaeli. *International Paris Congress On Social Sciences-I*, Paris, Fransa, 10-13 Nisan 2018.
- Şen, A.**, Özkan, M., Çelik, Ö. F., Çörtük, R. M. (2023). Yeşilova Ofiyolitik Kayaçlarının (Batı Toroslar, Güneybatı Türkiye) ASTER Multispektral Verileriyle Haritalanması. *Geosound*, 58(1), 40-74.

ÖZGEÇMİŞ

İlk öğrenimini Kocaeli’nde orta ve lise öğrenimini Samsun’da bitirdi. 2002-2007 yılları arasında Ege Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İşletme Bölümü’nde lisans eğitimini tamamladı. 2012 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nü 2016 yılında birincilikle bitirdi. 2010 yılında atandığı Kocaeli İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğünde halen Jeoloji Mühendisi olarak görev yapmaktadır.

