

SİVAS HAVZASI GÜNEYDOĞU KENARINDA  
YÜZEYLEYEN OFİYOLİTİK KARIŞIĞA AİT BİRİMLERİN  
UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMLERİYLE BELİRLENMESİ

**YAVUZ TÖRE**

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
2010

CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SİVAS HAVZASI GÜNEYDOĞU KENARINDA  
YÜZEYLEYEN OFİYOLİTİK KARIŞIĞA AİT BİRİMLERİN  
UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMLERİYLE BELİRLENMESİ

**YAVUZ TÖRE**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI  
DOÇ. DR. KAAN ŞEVKİ KAVAK

SİVAS  
2010

Bu çalışma Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanmış ve jürimiz tarafından Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Haluk TEMİZ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Orhan CERİT

Üye (Danışman) : Doç. Dr. Kaan Şevki KAVAK



ONAY

Bu tez çalışması, 11/02/2010 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulu tarafından belirlenen ve yukarıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Sezai ELAGÖZ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 24.09.2008 tarihli ve 009 sayılı toplantısında kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu adlı yönergeye göre hazırlanmıştır.

“Yeğenim **Toprak TÖRE** ye ithaf ediyorum”

## ÖZET

### SİVAS HAVZASI GÜNEYDOĞU KENARINDA YÜZEYLEYEN OFİYOLİTİK KARIŞIĞA AİT BİRİMLERİN UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMLERİYLE BELİRLENMESİ

**Yavuz TÖRE**

Yüksek Lisans Tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Kaan Şevki KAVAK

2010, 89 sayfa

Bu yüksek lisans tez çalışması, Sivas ilinin yaklaşık 70 km. güneydoğusunda ve 1/25.000 ölçekli Sivas J 38 a2, J 38 b1, J 38 b2 ve J 38 b4 paftalarının birleşim yerlerini kapsayan bölgede yüzeyleyen Üst Kretase yaşlı Divriği Ofiyolitli Karışığı içerisinde gözlenen farklı litolojilerin arazi ve uzaktan algılama çalışmalarıyla belirlenmesini amaçlayan iki ayrı bölümden oluşmaktadır.

İnceleme alanı içerisinde, birimlerin uzaktan algılama ile yüksek doğrulukla ayırt edilebilmesi amacıyla doğal (güneş ışığı) veya yapay ışığın minerallerden veya maddelerden yansıtma ve yutulma değerlerini ölçen ve bu ölçümleri grafiksel olarak sunan spektrometre kullanılarak, kayaç türleri üzerinde arazi ve laboratuvar ortamında ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçümler sonucu elde edilen spektral yansıma eğrileri birlikte değerlendirilmiş ve sonuçları yeryüzü incelemelerinde kullanılan ASTER uydu verisinin bant aralıkları ile örtüştürülerek yorumlanmıştır.

Tezin ikinci bölümünü oluşturan uzaktan algılama çalışmaları, arazide gözle ayırt edilemeyen ofiyolitik kayaçların uydu görüntüleri ve spektralleriyle belirlenebilmesi açısından öncelikli olarak önem taşımaktadır. Bilindiği gibi ofiyolitik kayaçlar arazide genellikle yeşil renkli kayaçlardan oluşmakta ve insan gözü tarafından kolaylıkla ayırt edilememektedir. Bunların ayırt edilmesi, genellikle araziden toplanan petrografik amaçlı kaya örneklerinin incelenmesi veya jeokimyasal yöntemlerle gerçekleştirilebilmektedir. Oysa insan gözünün görebildiği elektromanyetik radyasyon aralığı olan 0.4-0.7 µm arasındaki bölge dışında özellikle yansıyan kızılötesi ve termal kızılötesi bölgelerden de görüntü alabilen algılayıcılar yardımıyla elde edilen görüntülerde bu ayırım şansı bulunmakta ve spektral zenginleştirme yöntemleriyle daha da artırılmaktadır. Bu çalışmada önemli olan diğer bir nokta ise inceleme alanı ve çevresinde geniş sahalarda yüzeyleyen kromit cevherleşmelerinin varlığıdır. Kromit cevherleşmeleri bölgede KD-GB doğrultusunda geniş sahalarda yüzlekler vermektedir. Literatürde uzaktan algılama yöntemleriyle ofiyolitik kayaçlar içerisinde yer alan kromit cevherleşmelerinin saptanmasına yönelik bazı çalışmalar bulunmaktadır (Ninomiya, 2003; Rowan ve diğ. 2004, 2005; Khan ve diğ., 2006, Khan ve Mahmood, 2008). Bu çalışmalarda ofiyolitik kayaçların ayırılması ve içerisindeki kromit cevherleşmelerinin spektral zenginleştirmelerle saptanmasına yönelik çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Söz konusu

yöntemler bu çalışmada da uygulanarak kromit cevherleşmelerinin yerlerinin bulunması hakkında bir yaklaşım sunmaya çalışılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** ASTER, ayırılma, krom, ofiyolitik karışık, spektra, spektrometre, uzaktan algılama, zenginleştirme

## SUMMARY

### REMOTE SENSING ANALYSIS OF OPHIOLITIC MELANGE ROCKS AROUND SOUTHERN BOUNDARY OF THE SIVAS BASIN

**Yavuz TÖRE**

Master of Science Thesis, Department of Geological Engineering

Supervisor: Associate Prof. Dr. Kaan Şevki KAVAK

2010, 89 pages

This master thesis is formed two different parts and aimed at differentiation of Upper Cretaceous Divriği ophiolitic mélangé rocks which are outcropped approximately 70 km far from Sivas city center and covered 1/25.000 scaled topographic maps of Sivas J 38 a2, J 38 b1, J 38 b2 and J 38 b4.

Both in the study area and laboratory, high sensitivity spectral measurements were realized to determine boundaries between mélangé rocks using spectroradiometer. Spectral reflectance curves collected from field and laboratory analysis were evaluated together and compared with ASTER image of the study area respectively.

Remote sensing efforts are crucial to determine ophiolitic mélangé rocks which could not separated with the aid of visible region of electromagnetic spectrum. As it is well known, these types of rocks mainly appear in green colour in field based study and could not distinguished with normal human eye. A healthy differentiation generally is succeeded utilizing petrographic and geochemical analyses. Whereas, satellite images taken from reflective and thermal infrared regions of electromagnetic spectrum and their enhancement derivatives increase these differentiation possibilities. An another important point of view is the presence of chromite deposits which were founded abundantly in these mélangé rocks. These chromite mineralizations were outcropped in a wide region in a direction of NE-SW orientation. It is possible to find some publications devoted to reveal these kinds of mineralization (Ninomiya, 2003; Rowan ve diğ. 2004, 2005; Khan ve diğ., 2006, Khan ve Mahmood, 2008). In this thesis, an approximation was also realized to find target regions of chromite deposits with the aid of spectral enhancements and methods aforementioned publications.

**Keywords:** ASTER, differentiation, chromite, enhancement, ophiolitic mélangé, remote sensing, spectra, spectroradiometer.



## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada, tez konumun ve tez arazimin seçimine yönelik yönlendirmesi ile arazi çalışmaları ve tez yazımı sırasında değerli görüş ve eleştirileri ile yardımını esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Kaan Şevki KAVAK' a teşekkür ederim.

Arazide gerçekleştirilen spektrometre ölçümlerimde bana yardımcı olan Jeo. Yük. Müh. Mustafa YAKAN ve Jeo. Yük. Müh. Şükrü ÇELİK' e teşekkür ederim.

Laboratuvarda gerçekleştirilen spektrometre çalışmalarımda bana destek olan İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümün den Prof. Dr. Cankut ÖRMECİ, Yrd. Doç. Dr. Şinasi KAYA ve Araş. Gör. Önder GÜRSOY' a teşekkür ederim.

Petrografik analiz çalışmalarımda yardım ve katkılarını esirgemeyen Prof. Dr. Osman PARLAK ve Yrd. Doç. Dr. Taner EKİCİ' ye teşekkür ederim.

Bu tez, 107Y146 numaralı TÜBİTAK ÇAYDAG projesi tarafından desteklenmiş olup burada TÜBİTAK yetkililerine teşekkürü bir borç bilirim.

Tez kapsamında gerçekleştirilen arazi ve laboratuvar çalışmalarımı destekleyen PEMA MADENCİLİK ENERJİ KİMYA SANAYİ VE TİC. A.Ş. yöneticilerine ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Gösterdikleri sabır ve destek için aileme, sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	vi
SUMMARY .....	viii
TEŞEKKÜR .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xiii
TABLOLAR DİZİNİ .....	xvi
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
1.1. İncelemenin Amacı ve Kapsamı .....	2
1.2. İnceleme Alanının Konumu ve Topoğrafik Özellikleri .....	2
1.3. Materyal ve Metot .....	3
1.4. Önceki Çalışmalar .....	3
<b>2. İNCELEME ALANININ STRATİGRAFİSİ</b> .....	5
2.1. Divriği Ofiyolitli Karışığı (Dof) .....	7
2.1.1. Genel Tanım .....	7
2.1.2. Yayılım ve Konumu .....	7
2.1.3. Kaya Türü .....	7
2.1.4. Kalınlık .....	12
2.1.5. Fosil İçeriği ve Yaşı .....	12
2.1.6. Ortamsal Yorum .....	12
<b>3. İNCELEME ALANININ TEKTONİĞİ</b> .....	13
<b>4. OFİYOLİT</b> .....	14
4.1. Ofiyolitik Dizi ve Ofiyolitik Karışık Terimleri .....	14
4.2. Ofiyolitlerin Yerleşmesi .....	15
4.3. Ofiyolitlerin Ekonomik Önemi .....	15
4.4. Krom yatakları ve genel özellikleri .....	16
<b>5. SPEKTORADYOMETRE VE SPEKTROMETRE ÖLÇÜMLERİ</b> .....	19
5.1. Kayaç / Elektromanyetik Radyasyon Etkileşimi .....	19
5.2. Spektra Kavramı .....	20
5.3. Spektrometre / Spektroradyometre .....	22
5.4. Uygulama .....	26
5.4.1. Optimizasyon .....	26
5.4.2. Karanlık Akım (Dark Current) .....	27
5.4.3. Kalibrasyon .....	27
5.4.4. Spektrum Ortalama ve Parazit .....	28
5.4.5. Verilerin Depolanması .....	30
5.4.6. Arazide Gerçekleştirilen Spektroradyometre Ölçümleri .....	30
5.4.7. Laboratuvarda Gerçekleştirilen Spektrometre Ölçümleri .....	39
5.4.8. Değerlendirme .....	50

<b>6. UZAKTAN ALGILAMA</b> .....	53
6.1. ASTER Görüntü Verisi .....	54
6.1.1. VNIR bantları .....	55
6.1.2. SWIR bantları .....	57
6.1.3. TIR bantları .....	57
6.1.4. Jeolojik Uygulamalarda Kullanılan ASTER Level 3A Verilerinin Teknik Özellikleri .....	57
6.2. Görüntü İşleme Çalışmaları.....	57
6.2.1. Bant Oranlama (Band Ratioing) .....	62
6.2.2. Log Residual .....	63
6.2.3. Temel Bileşenler Analizi (Principal Component Analysis-PCA) .....	65
6.2.4. Dekorelasyon Gerilmesi (Decorrelation Stretching) .....	66
6.2.5. En Az Parazit Bölümlemesi (Minimum Noise Fraction, MNF) .....	68
6.2.6. Sınıflandırma (Classification).....	70
6.2.6.1. Kontrolsüz Sınıflandırma .....	71
6.3. Sayısal Yükseklik Modeli Oluşturma .....	72
<b>7. EKONOMİK JEOLJİ</b> .....	73
<b>8. TARTIŞMA VE SONUÇLAR</b> .....	74
<b>KAYNAKLAR</b> .....	77
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	81
<b>EK</b> .....	82

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b>Şekil 1.1:</b> Anatolid-Torid Bloğu ve İç Torid Süturu'nun bulunduğu Türkiye'nin tektonik birliklerini gösteren harita.....	1
<b>Şekil 1.2:</b> İnceleme alanı yer bulduru haritası.....	2
<b>Şekil 2.1:</b> İnceleme alanının stratigrafik dikme kesiti.....	6
<b>Şekil 2.2:</b> Divriği ofiyolitli karışığı ile Yılanlıdağ formasyonu arasındaki tektonik dokanak.	7
<b>Şekil 2.3:</b> Kandiltaş tepe ile Yaycı dağı arasından geçen ölçeksiz jeolojik enine kesit.....	7
<b>Şekil 2.4:</b> Ps21 örneğine ait ince kesitin çift nikol görüntüsü.....	8
<b>Şekil 2.5:</b> To15 örneğine ait ince kesitin çift nikol görüntüsü (Plj: Plajiyoklas, Cpx: Klinopiroksen).....	9
<b>Şekil 2.6:</b> To14 örneğine ait ince kesitin çift nikol görüntüsü (Cpx: Klinopiroksen).....	10
<b>Şekil 2.7:</b> Ps41 örneğine ait ince kesitin çift nikol görüntüsü (Cpx: Klinopiroksen).....	10
<b>Şekil 2.8:</b> Ps36 örneğine ait ince kesitin tek nikol görüntüsü (Ol:olivin, En:Enstatit).....	11
<b>Şekil 2.9:</b> Kr5 örneğine ait ince kesitin tek nikol görüntüsü (Kr: Kromit, Ol: Olivin).....	11
<b>Şekil 3.1:</b> İnceleme alanına ait tektonostratigrafik kolon kesiti (Ölçeksiz).....	13
<b>Şekil 4.1:</b> İdeal ofiyolitik dizi (Coleman, 1971; Moores ve Vine, 1971; Sutton ve diğ., 1971; Lister, 1977' den derlenen veriler yardımıyla çizilmiştir).....	15
<b>Şekil 4.2:</b> Okyanusal kabuk içinde alpin tipi krom yataklarının oluşum modelleri (I; Thayer, 1964, 1969, II; Dickey, 1975, III; Lago ve diğ., 1982' nin modelleri birleştirilerek hazırlanmıştır).....	17
<b>Şekil 4.3:</b> Krom yataklarının ofiyolit istifi içindeki yerleri (Engin ve diğ., 1985).....	18
<b>Şekil 5.1:</b> (a) FieldSpec® FR spektrometresi ve (b) FieldSpec® Pro RS <sup>3</sup> yazılımı... 19	
<b>Şekil 5.2:</b> Işık-madde etkileşiminde gerçekleşen geçişler (www.hyperphysics.phy-astr.gsu.edu).....	20
<b>Şekil 5.3:</b> Spektral yansıma eğrisinin genel görünümü (www.pimausa.com).....	21
<b>Şekil 5.4:</b> Bazı kayalar ve bitki örtüsünün yansıma eğrileri. Tipik multispektral ve hiperspektral sistemler şeklin üzerinde bant sayısı ve aralıklarıyla verilmiştir (Sabins, 1997).....	22
<b>Şekil 5.5:</b> Arazi ölçümlerinde kullanılan spektrometre düzeneği.....	23
<b>Şekil 5.6:</b> Alümit mineralinin geniş bant sistemleri ve spektrometrede yarı maksimum ve tam genişlikte (FWHM ) ölçülen spektral eğrileri. Alümit örneği (HS295.3B ) USGS spektral kütüphaneden alınmıştır (Clark ve diğ., 1993(b)).....	24

<b>Şekil 5.7:</b> Alünit mineralinin laboratuvar ve bazı görüntüleme spektrometreleri tarafından alınan spektralleri. NIMS ve VIMS sistemlerinin de ölçüm yapmaktadırlar. Her bir spektrum açıklık amacıyla yukarı doğru 0.3 birim ötelenmiştir (Clark, 1999).....	25
<b>Şekil 5.8:</b> Spektral çözünürlük ile spektral örnekleme aralığı (ASD Technical Guide 3 <sup>rd</sup> Ed. Section 3-1).....	26
<b>Şekil 5.9:</b> Spektrometrenin optimizasyon işleminin program üzerinde gösterimi.....	27
<b>Şekil 5.10:</b> Beyaz referans panelinden referans verisi toplanırken gösterimi.....	28
<b>Şekil 5.11:</b> Kalibrasyon işleminin tamamlandığını ve spektrometrenin ölçümlere hazır olduğunun gösterimi.....	28
<b>Şekil 5.12:</b> Ps12 kayaç yüzeyine ait tekrarlı ölçümler sonucu elde edilen spektral yansıtma eğrileri.....	29
<b>Şekil 5.13:</b> Tekrarlı ölçümlerin ortalamasının alınma işlemi.....	29
<b>Şekil 5.14:</b> Ps12 kayaç yüzeyine ait tekrarlı ölçümler sonucu elde edilen ortalama spektral yansıtma eğrisi.....	29
<b>Şekil 5.15:</b> Arazi ölçüm noktalarını gösteren Google Earth görüntüsü.....	30
<b>Şekil 5.16:</b> Harzburjit kayacına ait ortalama spektral yansıtma eğrisi ve ölçüm yapılan bölge.....	32
<b>Şekil 5.17:</b> Dunit kayacına ait ortalama spektral yansıtma eğrisi ve ölçüm yapılan bölge..	33
<b>Şekil 5.18:</b> Piroksenit kayacına ait ortalama spektral yansıtma eğrisi ve ölçüm yapılan bölge.....	34
<b>Şekil 5.19:</b> Radyolarit kayacına ait ortalama spektral yansıtma eğrisi ve ölçüm yapılan bölge.....	35
<b>Şekil 5.20:</b> Kireçtaşı kayacına ait ortalama spektral yansıtma eğrisi ve ölçüm yapılan bölge.....	36
<b>Şekil 5.21:</b> Kromite ait ortalama spektral yansıtma eğrisi ve ölçüm yapılan bölge.....	37
<b>Şekil 5.22:</b> İnceleme alanından alınan, farklı kaya gruplarına ait spektral yansıtma eğrileri ve buldukları koordinatları gösteren Google Earth görüntüsü.....	38
<b>Şekil 5.23:</b> Laboratuvar ölçümü için toplanan örneklerin yerlerini gösteren Google Earth görüntüsü.....	39
<b>Şekil 5.24:</b> (a) FieldSpec® FR spektrometresi (b) Kontak prob başlık.....	39
<b>Şekil 5.25:</b> Harzburjit' e ait ortalama spektral yansıtma eğrisi ve örnek alınan bölge.....	41
<b>Şekil 5.26:</b> Dunit' e ait ortalama spektral yansıtma eğrisi ve örnek alınan bölge.....	42

<b>Şekil 5.27:</b> Piroksenit' e ait ortalama spektral yansıtma eğrisi ve örnek alınan bölge.....	43
<b>Şekil 5.28:</b> Diyabaz dayk' a ait ortalama spektral yansıtma eğrisi ve örnek alınan bölge..	44
<b>Şekil 5.29:</b> Gabro' ya ait ortalama spektral yansıtma eğrisi ve örnek alınan bölge.....	45
<b>Şekil 5.30:</b> Radyolarit' e ait ortalama spektral yansıtma eğrisi ve örnek alınan bölge.....	46
<b>Şekil 5.31:</b> Kromit' e ait ortalama spektral yansıtma eğrisi ve örnek alınan bölge.....	47
<b>Şekil 5.32:</b> Kromit örnekleri üzerinde gerçekleştirilen laboratuvar ölçümleri.....	48
<b>Şekil 5.33:</b> Kromit örneklerine ait ortalama spektral yansıtma eğrileri.....	48
<b>Şekil 5.34:</b> İnceleme alanından alınan, farklı kaya gruplarına ait örneklerin spektral yansıtma eğrileri ve buldukları koordinatları gösteren Google Earth görüntüsü.....	49
<b>Şekil 5.35:</b> Laboratuvar ve arazi ölçümleri sonucu elde edilen spektral yansıtma eğrilerinin karşılaştırılması.....	50
<b>Şekil 5.36:</b> Laboratuvar ölçümleri sonucu elde edilen farklı kaya gruplarına ait spektral yansıtma eğrileri.....	51
<b>Şekil 5.37:</b> Farklı kaya türlerine ait spektral yansıtma eğrilerinin ASTER multispektral uydu verilerinin band aralıkları ile örtüştürülmesinin gösterimi.....	52
<b>Şekil 6.1:</b> Çalışmada kullanılan ASTER uydu görüntüsü.....	53
<b>Şekil 6.2:</b> ER Mapper programının ASTER Wizard arayüzü ve ENVI 4.5 programı .....	53
<b>Şekil 6.3:</b> Terra uydusu (a) ve ASTER algılayıcısının (b) görünümü (ERSDAC) .....	54
<b>Şekil 6.4:</b> ASTER' in aynı yörüngeden bindirmeli görüntü çekimi (Hirano, 2003).....	56
<b>Şekil 6.5:</b> ASTER uydu görüntülerine ait bantlar ile Landsat ETM+ uydu görüntüsüne ait bantların karşılaştırılması (NASA).....	58
<b>Şekil 6.6:</b> ASTER 631 (RGB) ve Landsat TM 742 (RGB) bant kombinasyonlarının karşılaştırılması (Eflatun-koyu mavi-lacivert renk Üst Kretase yaşlı ofiyolitik karışığa ait birimleri, açık pembe-krem renk Üst Triyas-Kretase yaşlı kireçtaşı ve Kangal Havzası'na ait Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı genç kırıntılı birimleri gösterir).....	59
<b>Şekil 6.7:</b> İnceleme alanında su, bitki örtüsü ve yüzeyleyen jeolojik birimlerin gözlenebildiği görüntü (kırmızı renk jeolojik birimlerin yüzeylediği bölgeleri, yeşil renk bitki örtüsünü, mavi renk su kütlelerini, siyahla kalan alanlar Üst Kretase yaşlı ofiyolitik karışığı gösterir).....	59
<b>Şekil 6.8:</b> (a) Google Earth programında oluşturulan veri tabanı, (b) Veritabanı üzerinde ilgili verilerin seçilerek değerlendirme işleminin yapılması.....	60

<b>Şekil 6.9:</b> İnceleme alanına ait jeoloji haritası (Koptagel ve Gökçe, 1991).....	61
<b>Şekil 6.10:</b> ASTER 4/7, 4/3, 2/1 (RGB) kombinasyonu (kırmızı renk (4/7) bitki örtüsünü, yeşil renk (4/3) kil ve karbonatlı kaya gruplarını, mavi renk (2/1) demir içeriğinin yoğun olarak bulunduğu bölgeleri gösterir).....	63
<b>Şekil 6.11:</b> ENVI 4.5 programında log residual işleminin gerçekleştirilmesi .....	64
<b>Şekil 6.12:</b> Log residual uygulaması, ASTER SWIR bantlarından 4,5 ve 8' in kırmızı,yeşil ve maviye atanması sonucu elde edilmiştir. Görüntüde serpantinize dünit, harzburjit, piroksenit, kireçtaşı, gabro,diyabaz dayk ve kromit yatakları ayırt edilmiştir.....	64
<b>Şekil 6.13:</b> (A) Serpantinize dünit ile harzburjit sınırı (Ps30), (B) Piroksenit (Ps41), (C) Gabro (To7), (D) Açık krom işletmesi (Kr3), (E) Diyabaz dayk (To5), (F) Kireçtaşı (Ps39) birimlerine ait arazi fotoğrafları.....	65
<b>Şekil 6.14:</b> Temel bileşen analizi işlemi sonucu ofiyolitik karışığa ait birimler içerisinde gözlenen ayrımlanma.....	66
<b>Şekil 6.15:</b> Dekorelasyon öncesi ve sonrasında bantlar arasındaki varyasyon ilişkisi.....	66
<b>Şekil 6.16:</b> ASTER SWIR bantlarından elde edilen dekorelasyon gerilmesi 765 (RGB) görüntüsü.....	67
<b>Şekil 6.17:</b> ASTER SWIR bantlarından elde edilen dekorelasyon gerilmesi 987 (RGB) görüntüsü.....	67
<b>Şekil 6.18:</b> MNF dönüşüm parametrelerinin kaydedileceği yerlerin belirlenmesi ve ilgili bantların seçilerek işlemin devam ettirilmesi.....	68
<b>Şekil 6.19:</b> MNF bantlarının seçimi ve sonuç görüntüsünün elde edilmesi.....	69
<b>Şekil 6.20:</b> ASTER SWIR bantlarına uygulanan MNF işlemi sonucu elde edilen görüntüde serpantinize dünit, harzburjit ve kireçtaşı birimleri içerisinde gözlenen ayrımlanma.....	69
<b>Şekil 6.21:</b> Üç bantlı veri için sınıflandırma sonucu.....	70
<b>Şekil 6.22:</b> Er Mapper programında kontrolsüz sınıflandırma işlemi akış şeması (Nik, 2001).....	71
<b>Şekil 6.23:</b> ASTER SWIR bantlarına uygulanan kontrolsüz sınıflandırma işlemi.....	71
<b>Şekil 6.24:</b> inceleme alanına ait sayısal yükseklik modeli .....	72
<b>Şekil 7.1:</b> İnceleme alanında yer alan PEMA madencilğe ait açık krom işletmesi ve krom konsantre tesisi.....	73
<b>Şekil 8.1:</b> İnceleme alanına ait jeoloji haritası ile ASTER görüntüsü üzerinde uygulanan görüntü işleme yöntemleri ile elde edilen görüntülerin karşılaştırılması.....	76

## TABLULAR DİZİNİ

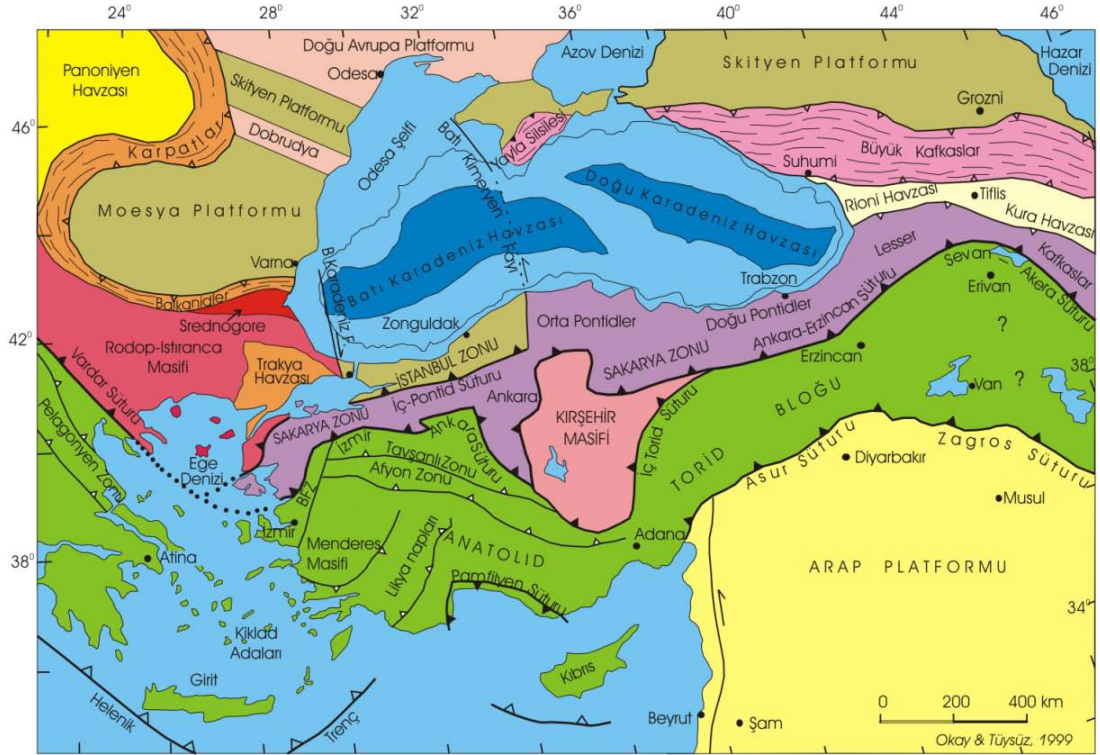
<b>Tablo 5.1:</b> Spektrometre ölçümü gerçekleştirilen örnek bilgileri.....	31
<b>Tablo 5.2:</b> Spektrometre ölçümü gerçekleştirilen örnek bilgileri.....	40
<b>Tablo 6.1:</b> ASTER uydu görüntülerinin bant bilgileri ve birincil uygulama alanları (ASTER User's Guide, 2005).....	55
<b>Tablo 6.2:</b> VNIR cihazının bazı özellikleri (ASTER User Guide).....	56
<b>Tablo 6.3:</b> RGB görüntü elde etmek için kullanılan oranlar (Kaliknowski ve Oliver, 2004).	62



## 1. GİRİŞ

Bu yüksek lisans tez çalışması, Sivas ilinin yaklaşık 70 km. güneydoğusunda ve 1/25.000 ölçekli Sivas J 38 a2, J 38 b1, J 38 b2 ve J 38 b4 paftalarının birleşim yerlerini kapsayan bölgede yüzeyleyen Üst Kretase yaşlı Divriği ofiyolitli karışığı içerisinde gözlenen farklı litolojilerin arazi ve uzaktan algılama çalışmalarıyla belirlenmesini amaçlayan iki ayrı bölümden oluşmaktadır.

İnceleme alanı Kırşehir Masifi ile Anatolid-Torid Bloğu (Okay ve Tüysüz, 1999) arasındaki sınırdaki ve Triyas-Paleosen aralığında varlığı bilinen İç Torid Okyanusu'nun (Şengör ve Yılmaz, 1981) kalıntıları üzerinde bulunmakta olup Mesozoyik ve Senozoyik üst sistemlerine ait kaya birimleri yüzeylenmektedir (Şekil 1.1). Bölgenin temelini oluşturan Yılanlıdağ formasyonu (TrKy) ve Divriği Ofiyoliti karışığı (Dof), inceleme alanı ve çevresinde oldukça geniş bir yayılıma sahiptir. Divriği Ofiyoliti Karışığı (Dof), Yılanlıdağ formasyonu (TrKy) üzerinde tektonik dokanakla yer almaktadır. Otokton konumlu birimlerden Tersiyer yaşlı sedimanter birimler diğer birimlerle uyumsuz olarak gözlenmektedir. Tersiyer yaşlı birimleri Alt Miyosen yaşlı Deliktaş formasyonu ve Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşlı Kangal formasyonu oluşturur. İnceleme alanının en genç birimlerini ise Kuvaterner yaşlı alüvyonlar oluşturmaktadır.



**Şekil 1.1:** Anatolid-Torid Bloğu ve İç Torid Süturu'nun bulunduğu Türkiye'nin tektonik birliklerini gösteren harita

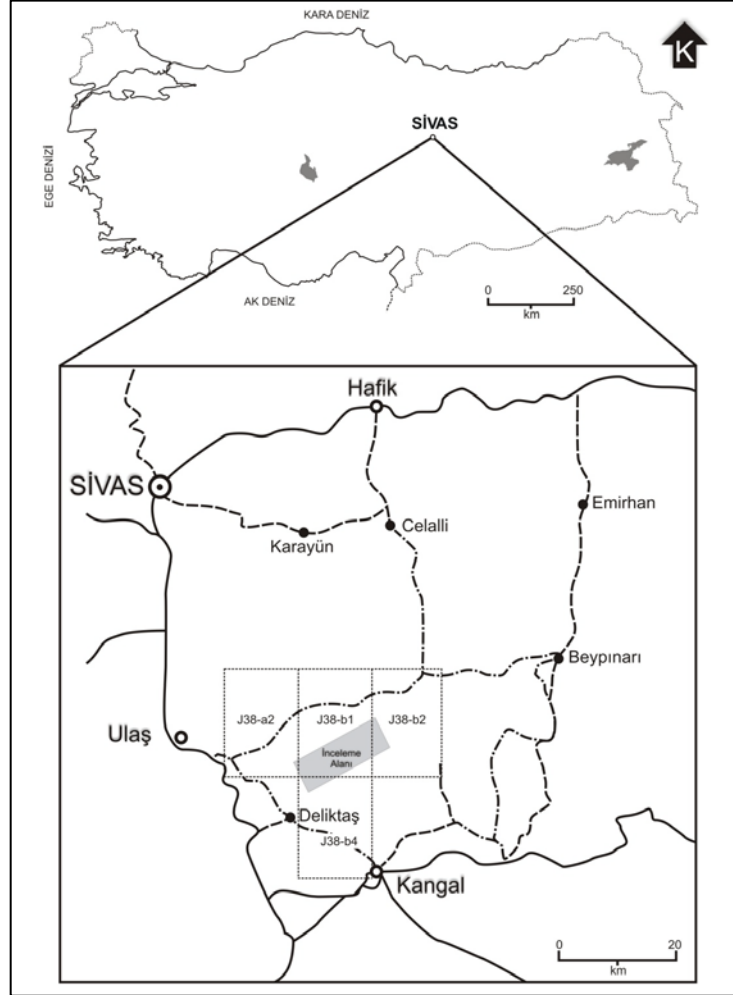
### 1.1. İncelemenin Amacı ve Kapsamı

Bu çalışma, Sivas Tersiyer Havzası güney kenarında, Tecer Dağları güneyinde yüzeyleyen Üst Kretase yaşlı Divriği ofiyolitli karışığı içerisinde gözlenen farklı litolojilerin arazi ve uzaktan algılama çalışmalarıyla belirlenmesini amaçlamaktadır.

### 1.2. İnceleme Alanının Konumu ve Topoğrafik Özellikleri

İnceleme alanı, Sivas ilinin yaklaşık 70 km. güneydoğusunda ve Kangal ilçesinin ise yaklaşık 20 km. kuzeybatısında yer almakta olup 1/25.000 ölçekli Sivas J 38 a2, J 38 b1, J 38 b2 ve J 38 b4 paftaları içerisinde bulunmaktadır (Şekil 1.2).

İnceleme alanının içerisinde yer alan bölgelerin güneyinde Yaycı Dağı (2175) ve Çatal Dağı (2184) bölgenin en önemli yükseltilerini oluşturmaktadır. Genel olarak bölgedeki bazı yükseltileri ise Atkoyağı Tepe (1978), Kurtkulağı Tepe (1915), Karadikme Tepe (1904), Yücekürtük Tepe (1907), Karanlık Tepe (1875), Sığıryatağı Tepe (1842), Kara Tepe (1812) ve Göl Tepe (1821) oluşturmaktadır.



Şekil 1.2: İnceleme alanı yer bulduru haritası

### 1.3. Materyal ve Metot

Bu yüksek lisans tezi kapsamında kullanılmış olan materyallerden en önemlilerini inceleme alanına ait ASTER uydu görüntüleri ve yüzey örtü tipleri olarak, inceleme alanında yüzeyleyen ofiyolitik karışığa ait birimlerden toplanacak spektraları ölçmeye yarayan, 350-2500 nm spektral aralıkta, 1/10 saniye/spektrum hızda veri toplayan, FieldSpec® FR tipi spektrometre ve bu ölçümleri grafiksel olarak sunan FieldSpec® Pro RS<sup>3</sup> yazılımı oluşturmuştur. Ayrıca inceleme alanınının 1/25.000 ölçekli jeolojik haritasının yapılması amacıyla sayısal veri toplayıcı (Mobile Mapper 6), GPS ve çekiç kullanılmıştır.

Bölgedeki bitki örtüsünün yok denecek kadar az olması arazi çalışmalarını kolaylaştırıcı bir faktör olmuştur. Arazi ve laboratuardan toplanacak tüm veriler ER Mapper 7.0, ENVI 4.5, netcad 5.01, CorelDRAW X4 ve Google Earth programları yardımıyla incelenmiştir.

Tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmaların değerlendirilmesi aşamasında Google Earth programı yardımıyla bir GIS veritabanı oluşturulmuştur.

### 1.4. Önceki Çalışmalar

Bu çalışmanın konusunu oluşturan ofiyolitik kayaçların ayrımlanması ile ilgili olarak bölgede daha önce yapılmış Konya, (2009) ve Yakan, (2009) dışında uzaktan algılama amaçlı çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak ülkemizde ve dünyanın çeşitli bölgelerinde bu konuyla ilgili olarak bazı çalışmalara rastlamak mümkündür.

Bölge ve civarında ofiyolitik kayaçlarla ilgili olarak yapılmış genel jeoloji amaçlı çalışmalardan, Bayhan ve Baysal (1982), Güneş-Soğucak (Divriği/Sivas) yöresinde yaptıkları çalışmada, sahada geniş bir alanda dağılım gösteren ofiyolitik serinin alttan üste doğru ultramafikler, gabrolar, spilit/diyabazlar ve onların piroklastik türevlerinden oluştuğunu belirtmektedirler. Aşırı derecede bozunmuş olan ultramafik ve gabroyik kayaçlarda bantlı bir yapı gözlenememiştir. Bunun dışında, spilit/diyabaz damarları ile sık sık kesilmişlerdir. Araştırmalarca, ofiyolitik seriyi oluşturan birimlerde düzenli bir dizilim gözlenememiş olup, serinin yaşı Üst Kretase olarak kabul edilmiştir.

Koptagel ve Gökçe (1991), Başçayır-Dağönü (Ulaş-Sivas) yöresinde Divriği ofiyolitik karışığın bileşenleri ve kromit yataklarının jeokimyasal özelliklerini belirlemek amaçlı yaptığı çalışmada, Jura-Alt Kretase yaşlı Çataldağı kireçtaşları ve Üst Kretase-Paleosen yaşlı "Divriği ofiyolitik karışığı" adını verdiği ofiyolitik birimleri kendi içerisinde ayırtmıştır.

Gökten (1993), Ulaş doğusunda yaptığı çalışmada, bölgeye ilk ofiyolit yerleşimlerinin Geç Kretase' de olduğunu ve olistostromal olarak yerleşimlerinin ise Oligosen' e kadar sürdüğüne dikkat çekmiştir. Bu ofiyolitik melanj naplarının Erken Miyosen sonunda yeniden hareketlenmelerinin, İç Torid Okyanusu' nun kapandığına işaret ettiğini ifade eden araştırmacı Pliyosen ve sonrasının bölgede bir serbestleşme rejimi şeklinde geliştiğini belirtmektedir.

Bölgede gerçekleştirilen uzaktan algılama uygulamalarına örnek verilebilecek çalışmalardan Khan ve diğ. (2006), Batı Pakistan' ın Muslim Bagh Ofiyoliti'nin bölgesel tektoniğinin ve detaylı haritasının ortaya çıkarılması amacıyla yapmış oldukları çalışmada, saha ve uzaktan algılama verilerini kullanmışlardır. Araştırmacılarca göre bu ofiyolit, Hindistan ve Avrupa

kıtalarının, Neotetis ve Tetis denizlerinin kapanması sırasında Hint kıta sınırının üzerinde gelişen nap yığınının en üst kesimini oluşturmaktadır. Çalışmada Landsat ve ASTER uydu görüntüleri üzerinde bant oranlama, dekorelasyon gerilmesi ve temel bileşen analizi kullanılarak bölgenin detaylı jeoloji haritası üretilmiştir. Söz konusu inceleme alanında daykların metamorfik temeli kestiği ilk defa bu uzaktan algılama verilerinden faydalanılarak belirlenmiş ve arazi çalışmalarıyla doğrulanmıştır.

Kayadibi ve diğ. (2008)' nin Eldivan (Çankırı) ofiyolit örneği üzerinde yapmış oldukları çalışmaya göre ofiyolitik seriyi oluşturan birimlerin litolojik haritalaması ASTER görüntüsü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılara göre, bu bölge ofiyolitleri İzmir-Ankara-Erzincan Kenet Zonunda, yaklaşık 30 km uzunluğunda, 10 km genişliğinde bir alan boyunca uzanır ve hemen hemen eksiksiz bir ofiyolit dizisi sunar. Bölgenin bu özelliğinden faydalanılarak ASTER görüntüsünün görünür yakın kızılötesi (VNIR) ve kısa dalga kızılötesi (SWIR) bölgedeki spektral bantları kullanılarak bir ofiyolitik istifin hemen hemen tüm birimlerini kapsayan Eldivan Ofiyolitini oluşturan litolojik birimler multispektral yöntemler kullanılarak ayırt edilmiştir. Ayrıca inceleme alanındaki ofiyolitik birimler dışında diğer sedimanter ve volkanosedimanter birimler de haritalanmıştır. Araştırmacılar, ofiyolitik serinin birimleri ve diğer birimlerin litolojik haritalanmasında bant oranlama, temel bileşenler analizi / crosta, dekorelasyon gerilmesi ve sınıflandırma gibi spektral zenginleştirme yöntemlerini kullanmıştır.

Konya (2009), Çataldağ bölgesinin jeolojik özelliklerinin incelenmesi ve hiperspektral görüntülerle bu özelliklerin desteklenmesini amaçladığı çalışmada, uzaktan algılama çalışmalarıyla ilişkili olarak inceleme alanında yüzeyleyen kaya birimlerinden, yansıma-dalga boyu eğrileri olarak da bilinen spektra ölçümleri yapmış ve bu spektralden bir kütüphane oluşturmuştur. İnceleme alanında genel olarak ofiyolitler ve sedimanter birimler olmak üzere iki birim olduğunu ifade eden yazar araziden alınan spektralden oluşturulan spektral kütüphanede bu birimlerin ayrımı yapmış olup, ofiyolitik karışığa ait birimlerde yaklaşık 600-700 nm civarında, sedimanter birimlerde ise 750 nm civarında tanımlayıcı soğurma değerleri gözlemlendiğine dikkati çekmiştir. Yazar ayrıca CHRIS-Proba görüntüsü üzerinden de aynı birimleri temsil eden noktalardan spektra alımı yapmıştır.

Yakan (2009), Tecer dağı güneyindeki bölgede, sayısal jeolojik harita alımı ve bölgenin ASTER uydu görüntüleri yardımıyla jeolojisinin incelenmesini amaçladığı çalışmada, ASTER görüntülerine uygulanan ve arazide gerçekleştirilen haritalama çalışmalarını destekleyip kontrol etme olanağı sağlayan görüntü işleme yöntemlerini uygulamıştır. Görüntü işleme yöntemleri olarak bant oranlama, temel bileşen analizi, dekorelasyon gerilmesi ve sınıflandırma yöntemleri kullanarak bölgede yüzeyleyen kaya türlerini ayırtlamıştır.

## 2. İNCELEME ALANININ STRATİGRAFİSİ

Bu tez çalışmasında hedeflenen ana amaç ofiyolitik karışığa ait kayaçlar içerisinde yüzlekler veren kromit cevherleşmeleri olduğu için ofiyolitik karışığa ait birimleri içeren Divriği Ofiyolitik Karışığının (Dof) stratigrafisi ayrıntılı olarak incelenmiştir. Diğer jeolojik birimlerden ise bölgeye ait stratigrafik dizilim olarak, aşağıda verilen şekilde genel olarak söz edilecektir.

İnceleme alanı, Sivas ilinin güneydoğusunda yer almakta olup Sivas Havzasının paleotektonik evriminin anlaşılması açısından önem taşımaktadır. İç Torid Süturu üzerinde bulunan çalışma alanında yüzeyleyen birimleri alttan üstte doğru şöyle sıralamak mümkündür (Şekil 2.1).

Bölgede temeli platform ortam ürünü Toros kuşağına ait Üst Triyas-Alt Kretase yaşlı kristalize nitelikteki kireçtaşlarından oluşan Yılanlıdağ formasyonu (TrKy) oluşturmaktadır. Tabanda yüzeyleyen bu birimleri, tektonik olarak yerleşmiş Üst Kretase yaşlı Divriği ofiyolitik karışığı (Dof) üzerlemektedir. Karışığı genel olarak tabanda serpantinolitik bir hamur içerisinde kireçtaşı ve radyolarit olistolitlerinden oluşan melanj niteliğindeki birimler oluşturur. Bu melanj seviyelerinin üzerinde ise eksikli bir ofiyolit dizisinden oluşan ve serpantinleşmiş dünit ve harzburjitlerden oluşan manto tektonitleri, bu tektonitleri kesen izole diyabaz ve piroksenit daykları yer almaktadır. Karışığın üzerine ise Üst Kretase-Paleosen yaşlı gri renge sahip resifal kireçtaşlarından oluşan Tecer formasyonu (Kt) tektonik dokanakla gelmektedir. Tecer formasyonunun üzerinde Oligosen yaşlı jips içeren karasal-sığ denizel çökel topluluğundan oluşan, düşey ve yanal geçişli Hafik/Selimiye formasyonu (Th/Ts) uyumsuz olarak yer almaktadır. Bu istif üzerinde uyumsuz bir ilişki sunan Alt Miyosen yaşlı kalın bir karasal çökel istifinden oluşan kırmızı renkli konglomera ve gri renkli kumtaşları-şeyl ile başlayıp gösel nitelikteki killi kireçtaşları ile tamamlanan Deliktaş formasyonu (Td) yer almaktadır. Deliktaş formasyonu üzerinde ise Üst Miyosen yaşlı gri-bej renkli çakıltası ve kumtaşlarından oluşan Soğukpınar formasyonu (Tso) gelmektedir. İnceleme alanının en geç birimlerini ise Kuvaterner yaşlı yamaç molozları ve alüvyonlar (Qal) oluşturmaktadır (Şekil 2.1).

M E S O Z O Y İ K		S E N E Z O Y İ K						ÜST SİSTEM															
TRIYAS JURA		KRETASE		PALEOSEN		OLİGOSEN		TERSIYER		KUVATERNER		SİSTEM		SİSTEM		SİSTEM							
Üst	Alt	Üst	Alt	T e c e r		H a f i k S e l i m i y e		D e l i k t a ş		S o ğ u k p ı n a r		S E R İ		F O R M A S Y O N		K A L I N L I K ( m . )		S İ M G E					
>700		>2000		300-1000		700	650	400		>100		Qal/Qy											
TrKy		Dof		Kt		Th	Ts	Td		Tso													
																				KAYA TÜRÜ		AÇIKLAMALAR	
																				Yamaç molozu Pekişmemiş çakıltaşı-kumtaşı-çamurtaşı		Uyumsuzluk	
																				Bej renkli çakıltaşı ve kumtaşları		Uyumsuzluk	
																				Killi kireçtaşları, gri renkli kumtaşı-şeyl ve kırmızı renkli çakıltaşı ve gri renkli kumtaşı-şeyl		Uyumsuzluk	
																				Beyaz-gri renkli jipsler, kırmızı renkli kumtaşı ve koyu yeşil renkli silttaşları		Uyumsuzluk	
																				Gri-koyu gri renklere sahip kireçtaşı			
																				Tektonik Dokanak			
																				Peridotit, serpantinleşmiş dünit, kromit mineralizasyonu ve yer yer bantlı gabro			
																				Serpantin, diyabaz, radyolarit, kireçtaşı olistolitleri içeren ofiyolitli melanj		Tektonik Dokanak	
																				Platform tipi masif-rekristalize kireçtaşı			

ÖLÇEKSİZ

Şekil 2.1: İnceleme alanının stratigrafik dikme kesiti (Yakan, 2009)

## 2.1. Divriği Ofiyolitli Karışığı (Dof)

### 2.1.1. Genel Tanım

İnceleme alanının doğusunda geniş alanlarda yüzeyleyen ofiyolitli karışığın adlanmasına yönelik ilk çalışma Bayhan ve Baysal (1982) tarafından Güneş-Soğucak yakınlarında yapılmış ve birime Güneş ofiyoliti adı verilmiştir. Tutkun ve diğ., (1988) Divriği yöresinde ve İnan ve diğ. (1993) Ulaş-Sincan yöresinde yaptıkları çalışmalarda aynı birimleri Divriği ofiyolitli karışığı olarak adlandırmıştır. Koptagel ve Gökçe (1991) inceleme alanının bir kısmının da içine düştüğü bölgede yaptıkları çalışmada aynı adlamayı benimsemişler ve birimi Çamözü ultramafiti ve diğer bileşenler olmak üzere ikiye ayırmışlardır.

Bu çalışmada da bölgede yüzeyleyen ofiyolitik birimler Divriği Ofiyolitli Karışığı olarak adlandırılmıştır.

### 2.1.2. Yayılım ve Konumu

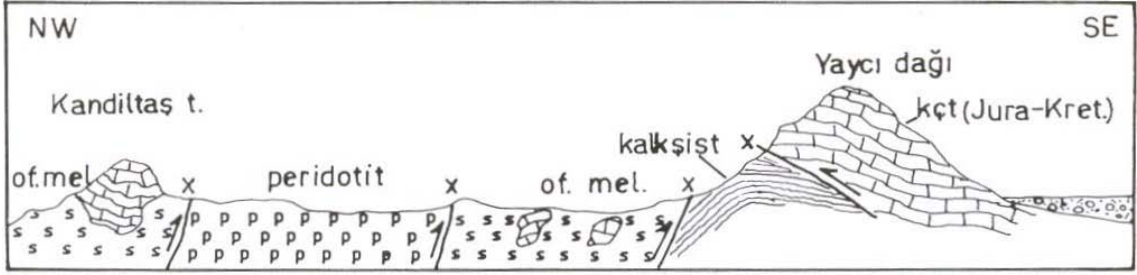
İnceleme alanının kuzeyinde yer alan Tecer Dağı ile güneydoğu kenarında yer alan Felhan, Yaycı ve Çatal Dağı arasındaki bölgede yüzeyleyen Divriği ofiyolitli karışığı, Yılanlıdağ formasyonunu oluşturan kireçtaşları üzerinde tektonik dokanakla yer almaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2: Divriği ofiyolitli karışığı ile Yılanlıdağ formasyonu arasındaki tektonik dokanak

### 2.1.3. Kaya Türü

İnceleme alanında yüzeyleyen ofiyolitli karışığa ait birimler genellikle koyu yeşil-koyu kahverengi, altere yüzeyleri belirgindir. Bölgede daha önce gerçekleştirilen çalışmalardan Gökten (1993) yılında yapmış olduğu çalışmada birimi oluşturan ofiyolitik karışığın alt ve üst dilimlerinin tipik ofiyolitli melanj karakteri sunduğunu ifade etmiştir. Yeşilin hakim olduğu alacalı mostra görünüşü makaslanmış bir serpantin matriks içerisinde yer alan kırmızı renkli radyolarit, kırmızı renkli pelajik kireçtaşından meydana gelir. Birinci ofiyolitli melanj dilimi içerisinde bantlı gabrolar da bulunmaktadır. Birimin orta ofiyolit dilimi ana peridotit kütesidir. Bu dilim yoğun kromit mineralizasyonları ile karakterizedir (Şekil 2.3) . Petrografik analiz için inceleme alanından alınan örneklerden yapılan ince kesit sonuçlarına göre birimi oluşturan bileşenlerin serpantinize dünit, gabro, diyabaz dayk, klinopiroksenit, harzburjit ve kromit olduğu gözlenmiştir.



**Şekil 2.3:** Kandiltaş tepe ile Yaycı dağı arasından geçen ölçeksiz jeolojik enine kesit (Gökten, 1993)

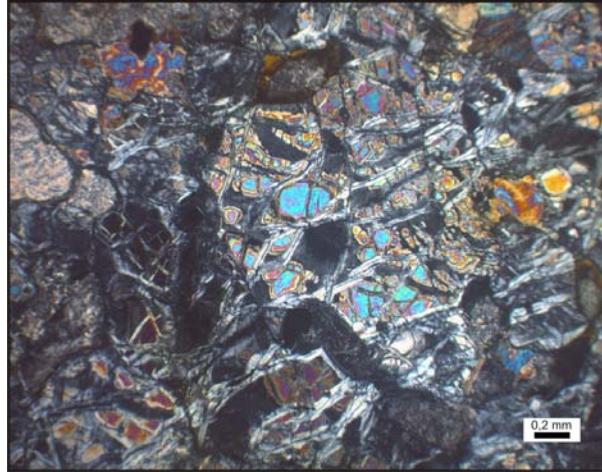
### Serpantinize Dunit

#### İçindeki Mineraller:

**Olivin:** Genel olarak ikinci sıranın yüksek renklerinde polarize olmaları, bol miktarda çatlak içermeleri ve yüksek rölyefleri ile karakteristik olan olivinler kayada hakim minerali temsil etmekte ve kayada %70-80 oranında olivin bulunmaktadır. Olivinler çatlaklarından itibaren serpantinleşme göstermekte ve bu durum kayada elek dokusunun meydana gelmesini sağlamaktadır. Ayrıca tamamına yakını serpantinleşmiş olivinler adacıklar halinde gözlenmektedirler.

**Piroksen:** Kayada %5-7 oranında izlenen piroksenlerin tamamına yakını serpantinleşme süreci sonucunda bastit türü serpantin mineraline dönüşmüş olup gri girişim renkleri ve tek yönde gelişmiş lifsi dilinimleri ile ilksel durumlarını yansıtmaktadırlar.

**Opak Mineral:** Kayada olivinlerin çatlakların boyunca gelişim gösteren opak mineraller genellikle özşekilsiz ve kayadaki çatlakların şeklini almış formlarıyla izlenmektedirler (Şekil 2.4).



**Şekil 2.4:** Ps21 örneğine ait ince kesitin çift nikol görüntüsü

### Gabro

#### İçindeki Mineraller:

**Plajiyoklas:** Kayada hakim minerali oluşturmaktadır. Kesitten kesite farklılıklar arz etmekle beraber yaklaşık olarak %60-70 oranında yer almaktadır. Pirizmatik latalar halinde

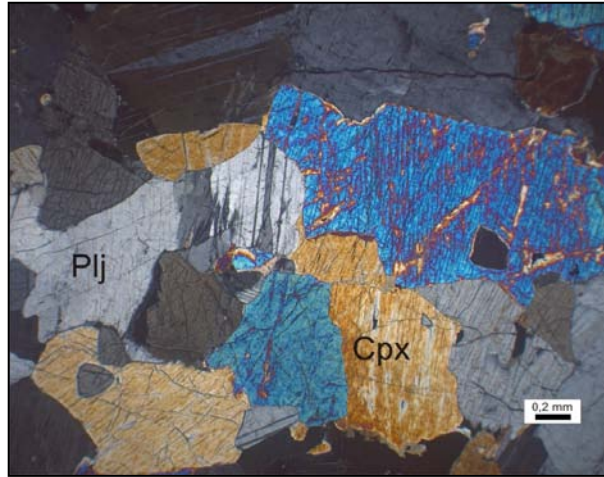


genelde polisentetik ikizlenmeleri belirgin olarak izlenen plajiyoklasların taneleri orta iriliktir. Bazıları maruz kaldıkları tektonizma etkisiyle dalgalı sönme göstermektedir.

**Klinopiroksen:** Kayaçta yaklaşık olarak %15-20 oranında izlenen klinopiroksenler orta irilikte kristallerden oluşan genellikle yarı özşekli mineraller şeklinde izlenmektedirler. İkinci sıranın renklerinde polarize olmaktadır. Hemen hepsi tek yönde gelişmiş dilinim izlerine sahiptir. Ayrışma yaygın olarak gözlenmekte olup bastitleşme ve uralitleşme şeklinde izlenmektedir.

**Ortopiroksen:** Kayaçta oldukça az miktarlarda gözlenen (%1-2) izlenen ortopiroksenler orta-düşük çift kırınımları ile karakteristik olarak yer almaktadırlar. Tek yönde gelişmiş dilinim izlerine sahip olarak izlenen ortopiroksenler ileri seviyede ayrışmaya maruz kalmışlardır.

**Opak Mineral:** Genellikle primer olmak üzere yer yer ferromagnezyen minerallerden amfiboller ve piroksenler aleyhine gelişerek onların yerlerini alan sekonder opak minerallerden meydana gelmektedir (Şekil 2.5).



**Şekil 2.5:** To15 örneğine ait ince kesitin çift nikol görüntüsü (Plj: Plajiyoklas, Cpx: Klinopiroksen)

### **Diyabaz**

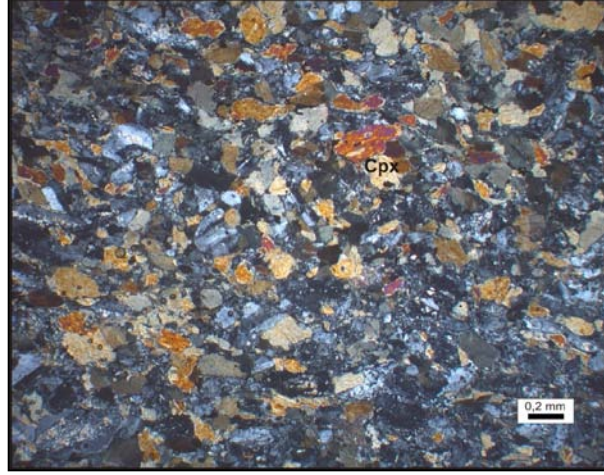
#### **İçindeki Mineraller:**

**Plajiyoklas:** Kayaçtaki hakim minerali temsil etmektedir. Yaklaşık %50-55 oranında yer almaktadırlar. Genellikle çubuksu kristallerden meydana gelen plajiyoklaslarda polisentetik ikizlenmeler güçlükle ayırtedilebilmektedir. Albitleşme ve kaolenleşme yaygın olarak gözlenen alterasyon türleridir.

**Klinopiroksen:** Kayaçta yaklaşık olarak %20-30 oranında yer alan klinopiroksenler canlı girişim renkleri ve tek yönde gelişmiş dilinim izleri ile karakteristiktirler. Hemen hemen hepsi ayrışma göstermekte olup alterasyonları genellikle uralitleşme, kloritleşme ve opaklaşma şeklinde izlenmektedir. Tek yönde gelişmiş dilinim izleri çoğu klinopiroksenlerde net olarak izlenebilmekte olup genellikle plajiyoklaslar arasındaki boşlukları dolduran öz şekilsiz kristaller halinde yer almaktadırlar.

**Klorit:** Hemen hemen tamamına yakını ferromagnezyen mineraller aleyhine ikincil süreçlerle gelişmiş olarak izlenen kloritler, plajiyoklaslar arasındaki boşlukları doldurur vaziyette izlenmektedirler. Özellikle mavi- yeşil girişim renkleri ve çok açık yeşil pleokroizmaları ile dikkat çekmektedirler.

**Opak Mineral:** Büyük çoğunluğu ikincil olarak dönüşmüş olan opak minerallerin bir kısmı ise kayaçların çatlak ve kırıkları boyunca öz şekilsiz olarak gözlenmektedir (Şekil 2.6).



**Şekil 2.6:** To14 örneğine ait ince kesitin çift nikol görüntüsü (Cpx: Klinopiroksen)

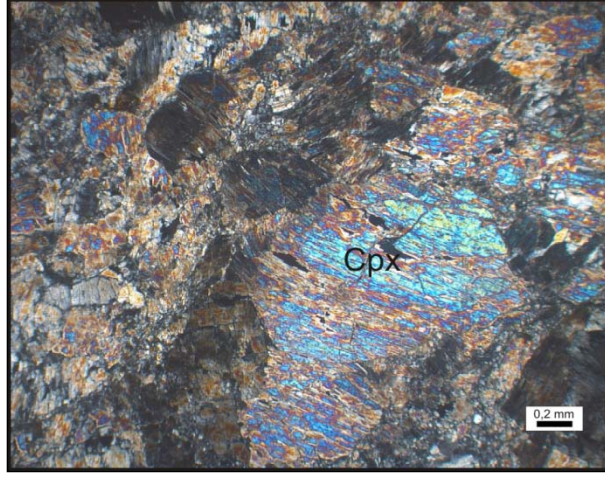
### **Klinopiroksenit**

#### **İçindeki Mineraller:**

**Klinopiroksen:** Sarımsı ve grimsi girişim renklerine sahip genellikle kenarlarından itibaren ayrışma ve bastit türü serpantin grubu mineraline dönüşme eğiliminde olan klinopiroksenler yaklaşık %85-90 oranında izlenmektedirler. Hemen hepsi tek yönde gelişmiş dilinim izleri göstermektedirler. Ayrıca bir kısmında eksolüsyon lamelleri gelişmiştir.

**Ortopiroksen:** Kayaçta yaklaşık %7-8 oranında izlenen ortopiroksenler sarı ve tonlarında polarizasyon renkleri sunmaktadırlar.

**Opak Mineral:** Büyük çoğunluğu ikincil olarak dönüşmüş olan opak minerallerin bir kısmı ise kayaçların çatlak ve kırıkları boyunca özşekilsiz olarak gözlenmektedir. Manyetit olabilecekleri tahmin edilen bir kısmı ise özşekilli gözlenmiştir (Şekil 2.7).



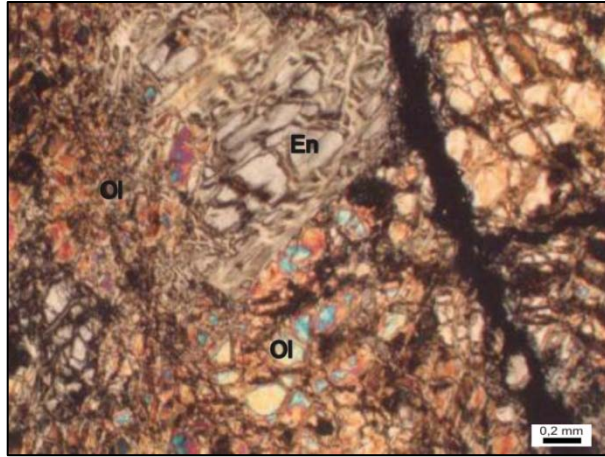
**Şekil 2.7:** Ps41 örneğine ait ince kesitin çift nikol görüntüsü (Cpx: Klinopiroksen)

### **Harzburjit**

#### **İçindeki Mineraller:**

**Olivin:** Serpantinleşmeden kalmış olivinler forsterit bileşimli olup en önemli özellikleri kırılmış, parçalanmış, ufalanmış olmalarıdır. Olivinlerin granülasyonu olarak da tanımlanabilen bu olay sonucunda olivinler değişik optik özellikler gösteren küçük tanecikler halinde gözlenmiştir.

**Enstatit:** Harzburjitlerde gözlenen ortopiroksenler enstatit bileşimli olup, olivinlere göre daha iri kristaller halindedirler (Şekil 2.8).



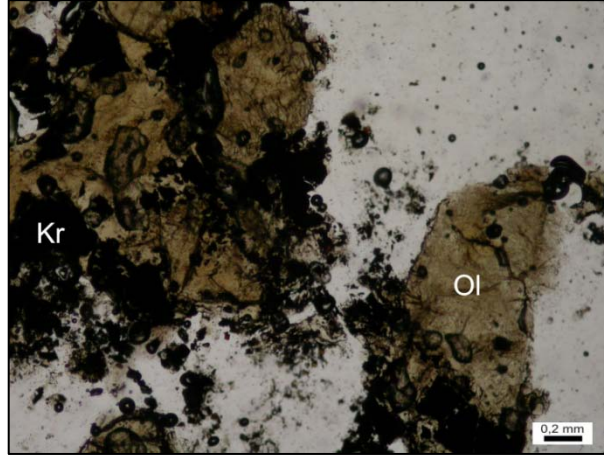
**Şekil 2.8:** Ps36 örneğine ait ince kesitin tek nikol görüntüsü (Ol:olivin, En:Enstatit)

### **Yan kayacı Dunit Olan Kromit**

#### **İçindeki Mineraller:**

**Olivin:** Genel olarak ikinci sıranın yüksek renklerinde polarize olmaları, bol miktarda çatlak içermeleri ve yüksek rölyefleri ile karakteristik olan olivinler kayada bozunmuş olarak gözlenmekte ve kayada %70-80 oranında olivin bulunmaktadır (Şekil 2.9).

**Opak Mineral:** Kesit içerisindeki opak mineraller kromit minerallerini temsil etmektedir.



**Şekil 2.9:** Kr5 örneğine ait ince kesitin tek nikol görüntüsü (Kr: Kromit, Ol: Olivin)

#### 2.1.4. Kalınlık

Bu tez çalışmasında kalınlığa yönelik arazide herhangi bir çalışma yapılmamış olup önceki çalışmalardan (Yakan, 2009), 2550 m.' den daha fazla görünür kalınlığa sahip olduğunu belirtmiştir.

#### 2.1.5. Fossil İçeriği ve Yaşı

Genellikle mağmatik ve tortul bileşimli kayaların karışımından oluşan Divriği ofiyolitli karışığı bölgede Üst Triyas-Alt Kretase yaşlı Yılanlıdağ formasyonu üzerinde tektonik dokanakla yer almaktadır. Önceki çalışmalar (İnan ve diğ., 1993; Gökten, 1993) ve bu dokanak ilişkisi göz önünde tutulduğunda karışığın yaşının Üst Kretase olduğu söylenebilir.

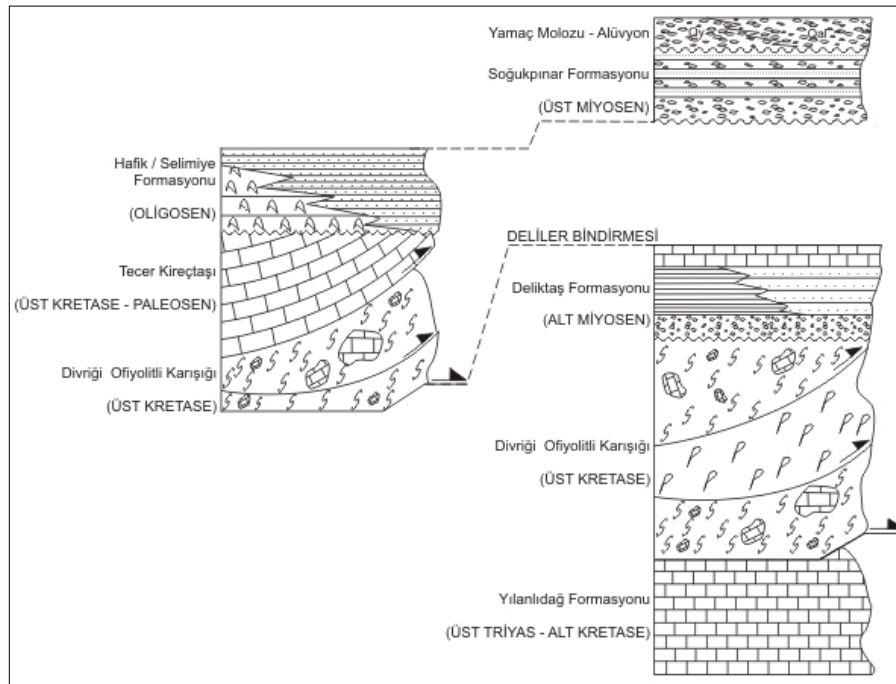
#### 2.1.6. Ortamsal Yorum

Çalışma alanında yüzeyleyen Divriği ofiyolitli karışığına ait birimler, Kırşehir Masifi ve Anatolid-Torid platformunun sınırında İç Torid Süturu'nun kalıntılarını oluşturmaktadır. Bu açıdan bakıldığında karışığın oluşum ortamının İç Torid Süturu'nun kuzeye doğru dalması sonucunda yitimle karakterize olan bir ortamı yansıttığı söylenebilir.

### 3. İNCELEME ALANININ TEKTONİĞİ

İnceleme alanı ve civarında başlıca yedi farklı formasyona ait kaya birimi gözlenmektedir (Şekil 3.1). Genel olarak bu birimlerin birbirleri ile ilişkilerine bakılacak olursa; sınırlardan ilkinde Divriği ofiyolitli karışığı, Yılanlıdağ formasyonunu oluşturan kireçtaşlarını tektonik olarak üzerlemektedir. Bu temel üzerinde, Deliler Bindirme Kuşağı olarak adlandırılan ve inceleme alanı içerisinde Tecer Deresi'ne paralel yaklaşık D-B uzanımına sahip bir bindirme fayı gözlenmektedir (Sağiroğlu, 2004).

Bölgede varlığı kabul edilen İç Torid Süturu'nun (Şengör ve Yılmaz, 1981) kapanımını ifade eden birimlerin Yılanlıdağ formasyonuna ait birimlerle olan dokanağı bölgesel anlamda bu tektonik uyumsuzluğa karşılık gelmektedir. Diğer bir sınır ise Tecer formasyonuna ait kireçtaşlarının Divriği ofiyolitli karışığı ile yapmış olduğu tektonik uyumsuzluk olarak ifade edilmektedir. Bu uyumsuzluk Kretase sonu-Paleosen başına karşılık gelen ve Erken Alpin hareketlerinin sona erip Orta Alpin hareketlerine geçişin gözleendiği Laramiyen fazına karşılık gelmektedir. Bölgede, Üst Kretase-Paleosen yaşlı Tecer formasyonu ile Oligosen yaşlı Hafik/Selimiye formasyonu arasındaki uyumsuzluk Anadolu fazına bağlı olarak gelişmiştir. Orta Alpin hareketlerinin sona erdiği ve Geç Alpin hareketlerinin başladığı zamana denk gelen Saviyen fazı, Oligosen yaşlı Hafik/Selimiye formasyonu ile Alt Miyosen yaşlı Deliktaş formasyonu arasında gözlenen uyumsuzluğa karşılık gelmektedir. Ayrıca bölgede Alt Miyosen yaşlı birimler ile Üst Miyosen yaşlı Soğukpınar formasyonuna ait birimler arasındaki uyumsuzluk sınırında Rodaniyen fazını yansıtmaktadır. İnceleme alanı içerisindeki en genç birimi oluşturan yamaç molozları ve alüvyonlarda tüm birimler üzerinde uyumsuz olarak yer alır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: İnceleme alanına ait tektonostratigrafik kolon kesiti (Ölçeksiz)(Yakan, 2009)

#### 4. OFİYOLİT

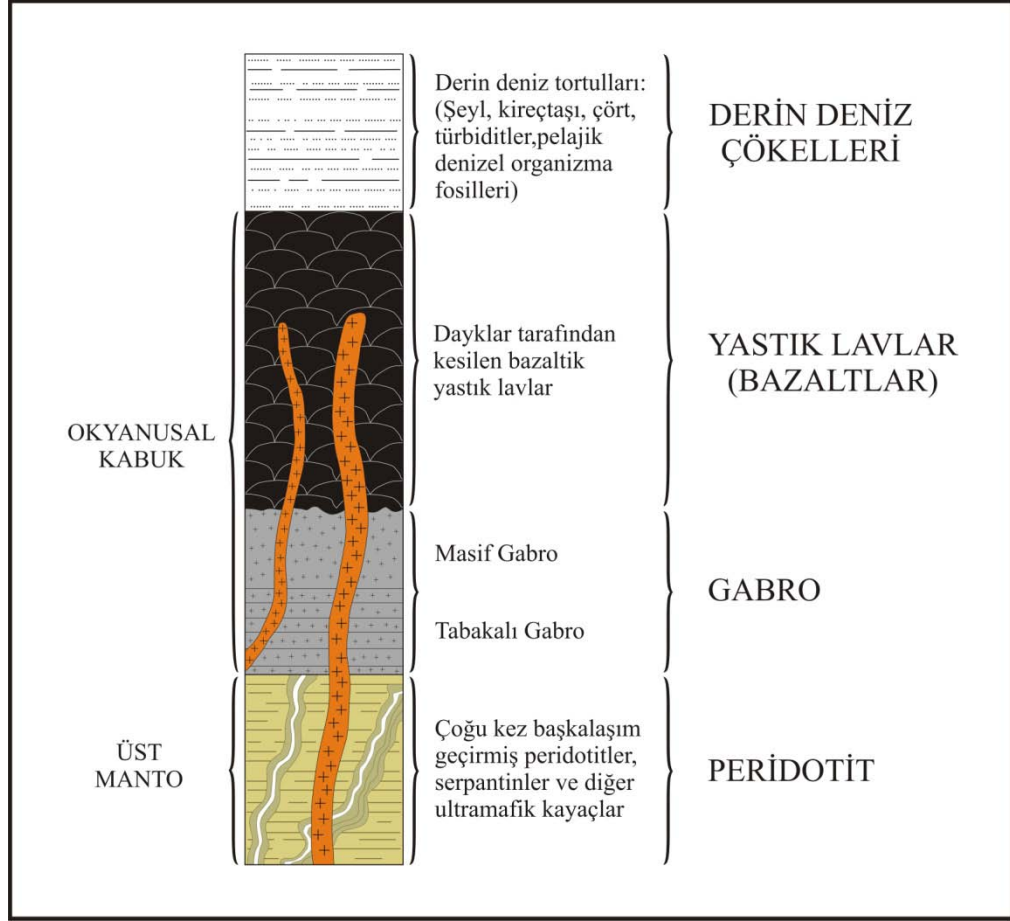
Ofiyolit kelimesi Yunanca' da ophis:yılan ve lithos:kayaç kelimelerinden gelir (Moores, 2003). Ofiyolit terimi, ilk defa melanaj içindeki serpantinleri açıklamak için bir Fransız mineraloğu olan Alexandre Brongniart (1813) tarafından kullanılmıştır. Brogniart' ın serpantinit, gabro, volkanik kayalar ve çört birlikteği şeklindeki tanımı (1821, 1827), Gustav Steinmann (1927) tarafından ilk olarak Batı Alpler ve Apeninler (İtalya)' da radyolarit, diyabaz ve serpantinit olmak üzere Steinmann Trinity (Amstutz, 1980) ifadesiyle yeni bir konsepte yükseltilmiştir. 1972' deki Penrose Konferansı' nda ofiyolitin bir kayaç ismi değil, deniz tabanı açılmasının bir sonucu olarak farklı mafik ve ultramafik kayaçlardan oluşan bir birliktelik olduğu onaylanmıştır (Dilek, 2003; Engin, 2001).

Orojenik kuşaklar içinde yer alan ofiyolitler eski okyanusların kalıntılarını belirtirler. Bu nedenle ofiyolitler, çarpışan kıtasal levhalar arasında yok olan okyanusal alanların izi olan kenet kuşaklarını işaret ederler.

##### 4.1. Ofiyolitik Dizi ve Ofiyolitik Karışık Terimleri

Ofiyolitler ayrılan levha sınırlarında gelişen yeni okyanus kabuğu ve manto malzemelerine verilen genel bir isimdir. Diverjan levha sınırlarındaki deniz tabanı yayılması ile şiddetli denizaltı volkanizması meydana gelmekte, büyük ölçüde bazaltik yastık lavlar, gabro ve peridotitler yeni okyanusal kabuğu oluşturmaktadır. Bunlar çoğu kez su altında ayrılmaya, sulu metamorfizmaya uğrarlar ve derin deniz sedimentleri ile örtülürler. Bu sedimentler ise, ince tabakalar halinde şeyl, kireçtaşı ve çörtlerdir. Çoğu kez ince türbiditlerle ara tabakalıdırlar ve pelajik fosil içerirler. Bu gibi derin deniz sedimentlerinden, denizaltı lavlarından ve mafik intrüzyonlardan oluşan kayaç topluluğuna “*ofiyolitik dizi*” denir. İdeal bir ofiyolitik dizi tabandan tavana doğru ultramafik kayaçlar (peridotitler), gabro, diyabaz daykları, yastık yapılı bazaltik lavlar ve pelajik deniz sedimentlerinden oluşur (Şekil 4.1).

Tabandan tavana doğru düzenli bir sıralanım sunan ofiyolitik dizi kayaçları, okyanusal kabuğun dalma batma zonlarında sıyrılıp, parçalanarak birbirine karışır ve kompleks bir hal alır. Üzerlerindeki derin deniz çökelleri olan pelajik kireçtaşları, kumtaşları ve radyolaritler ile birbirine karışarak düzenli iç yapı özelliklerini kaybetmeleriyle gelişen yapıya ise “*ofiyolitik karışık*” adı verilir.



**Şekil 4.1:** İdeal ofiyolitik dizi (Coleman, 1971; Moores ve Vine, 1971; Sutton ve diğ., 1971; Lister, 1977' den derlenen veriler yardımıyla çizilmiştir)

#### 4.2. Ofiyolitlerin Yerleşmesi

Ofiyolitler buldukları ortama yabancı, yataya yakın bindirme hareketleriyle yerleşme yapan allohton okyanus kabuğu ve manto parçalarıdır. Tektonik kökenli bu yerleşmeden önce, ofiyolitler çeşitli derecelerde deforme olmuş, magmatik ve metamorfik kayaların oluşturduğu karmaşık bir birlik halindedirler. Bu nedenle ofiyolitler için oluşum ve yerleşme olmak üzere iki ayrı yaş söz konusudur.

Oluşma yeri neresi olursa olsun manto içindeki kristalleşme, kısmi ergime, gravitasyonel farklılaşma gibi süreçlerin bitimini belirten yaş "oluşum yaşı" olarak değerlendirilir ve jeokronolojik yöntemlerle saptanabilir.

Yerleşme yaşı ise ofiyolitlerin bugün allohton olarak buldukları ortama geliş yaşlarıdır. Bölgesel jeolojinin incelenip, ofiyolitlerin otokton kütlelerle ilişkilerinin ve ofiyolit kendi birimleri arasındaki alt üst ilişkileri ve yapısal durumlarının saptanması ile bulunabilecek olan yaştır.

#### 4.3. Ofiyolitlerin Ekonomik Önemi

Ofiyolitler içerisinde başta kromit ( $FeCr_2O_4$ ) olmak üzere masif sülfat yatakları (Cu, Zn, Au, Ag), lateritik nikel yatakları, lisvenit (altın), asbest (krizotil), manyezit ( $MgCO_3$ ), olivin (forsterit), talk ( $Mg_6(Si_4O_{16})_2(OH)_4$ ), mermer (serpantin, diyabaz) ve sepiyolit (Eskişehir

taşı)( $Mg_4(Si_2O_5)_3(OH)_2 \cdot 6H_2O$ ) gibi ekonomik açıdan önemli maden yatakları bulunmaktadır. İnceleme alanı içerisinde halen işletilmekte olan kromit yatakları olduğu için bu konuya ayrıntılı olarak değinilmiştir.

#### 4.4. Krom yatakları ve genel özellikleri

Ekonomik olarak işletilen tek krom minerali kromittir. Teorik mineraloji formülü  $FeCr_2O_4$  olmakla birlikte, doğada bulunduğu haliyle formülü ;  $[(Mg, Fe)^{++}(Cr, Al, Fe)^{+++}]_2O_4$  olan spinel grubu bir mineraldir.

Krom yataklarının ilişkili oldukları ultramafik kayaçları; jeolojik konumları, içerdikleri kayaç türleri ve iç yapıları bakımından; tabakalı (stratiform) ultramafik masifler ve alpin tipi ofiyolitler şeklinde iki temel gruba ayırmak mümkündür.

Alpin tipi ofiyolitler ve ilişkili krom yatakları Türkiye'nin de içinde bulunduğu Alp Orojenez Kuşağı boyunca gözlenen ofiyolitik karmaşıklar (kompleksler) ve/veya ofiyolitli karışıklar (melanjlar) şeklinde tanımlanan birimler içinde gözlenmektedirler. Bu oluşumların, kıtasal plakalar üzerine sürüklenmiş okyanusal kabuk malzemeleri oldukları düşünülmektedir.

Alpin tipi krom yatakları, bu ofiyolitik karışıklar içinde harzburjit ve dunitlerden oluşan ultramafik tektonit seviyesinde özellikle dunitik bir kılıfla sarılmış olarak; mercerler, küçük cepler, torba ve çorap şekilli kütleler, ender olarak ta kalem, boru ve levha şekilli zenginleşmeler şeklinde gözlenmektedirler. Genellikle mercer ve cep şekilli olmaları nedeniyle podiform krom yatakları olarak ta isimlendirilen bu yataklar, yan kayaçla ilişkileri bakımından genellikle uyumlu, yer yer ise yarı uyumlu ve/veya uyumsuz yataklanmalar göstermektedirler.

Bu tip krom yataklarının, okyanus ortası sırt bölgelerinde okyanusal kabuğun oluşumu sırasında oluştukları, plaka hareketlerine bağlı olarak taşındıkları ve obduction olayları ile kıtasal plakalar üzerine sürüklenerek bugünkü konumlarını aldıkları, dolayısıyla taşınmış (allokton) oldukları ve taşınma ve obduction olayları sırasında ileri derecede deformasyon geçirdikleri söylenebilir (Gökçe, 2006).

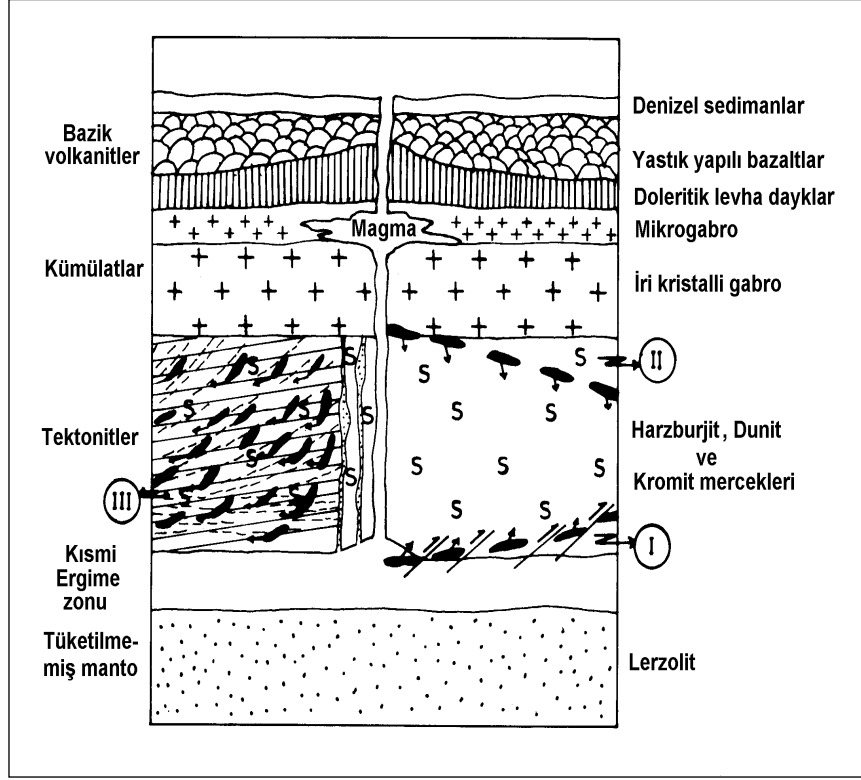
Lerzolitik bileşimli manto malzemesinin kısmi ergimesi sonucu oluştukları düşünülen harzburjit ve dunitler içinde krom yataklarının oluşumu oldukça tartışmalı olup, harzburjit ve dunitten oluşan tektonitler içinde konumlanışları hakkında bugüne kadar çeşitli görüşler ileri sürülmüştür (Şekil 4.2).

İlk görüş, Thayer (1964 ve 1969) tarafından ileri sürülmüş olup, kromitlerin tektonit seviyesinin tabanında gelişen kısmi ergime olayları sonucunda oluşan mağmatik eriyikler içinde oluştukları, gravitatif ayrımlanma sonucu mağma odasının tabanında birikerek krom yataklarını oluşturdukları, daha sonra bu yatakların jeosenklinallerin kıvrımlanması sırasında tektonik olarak üstteki tektonitler içine yerleştikleri (Şekil 4.2; I nolu konum) ve önemli ölçüde deformasyon geçirdikleri düşünülmektedir.

İkinci görüş, Dickey (1975) tarafından geliştirilmiş olup, bu kromit yataklarının tektonitlerin hemen üzerinde bulunan kümülat seviyesinde gelişen erime ve mağmatik kristallenme olayları sırasında oluştukları, daha sonra yoğunluklarının yüksek olması nedeniyle tabandaki tektonitler içine gömülerek yatakladıkları düşünülmektedir (Şekil 4.2; II nolu konum).



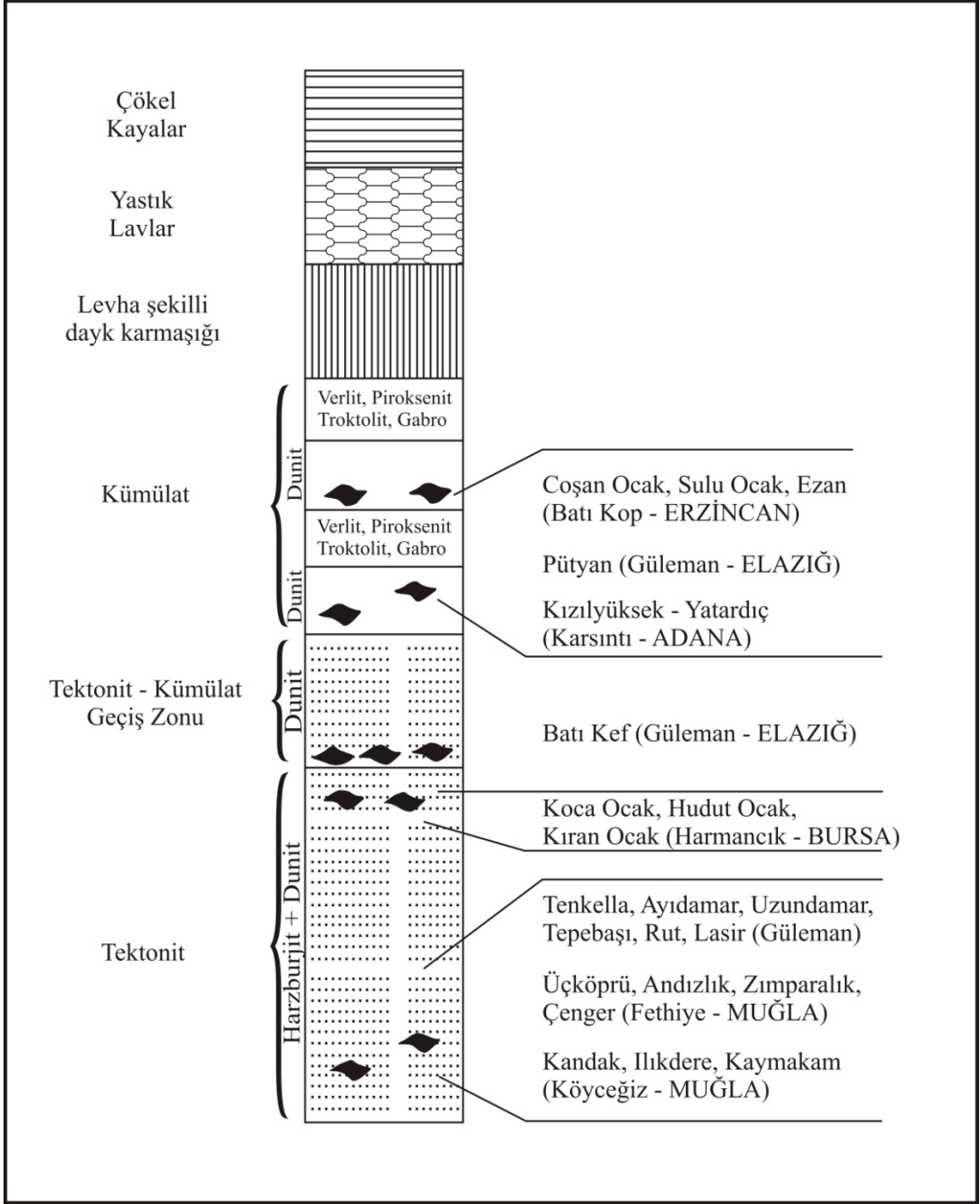
Üçüncü görüş ise Lago ve diğ. (1982)' ce benimsenmiş olup, bu yatakların tektonitlerin tabanında gelişen kısmi ergimeler sırasında oluşan kromca zengin eriyiklerin tektonitler içinde diyapirler şeklinde yükselmeleri ve oluşan konveksiyon akımları içinde kromitlerin yoğunluklarının yüksek olması nedeniyle ayrımlanarak zenginleşmeleri sonucu oluştuğu savunulmaktadır (Şekil 4.2; III nolu konum).



**Şekil 4.2:** Okyanusal kabuk içinde alpin tipi krom yataklarının oluşum modelleri (I; Thayer, 1964, 1969, II; Dickey, 1975, III; Lago ve diğ., 1982' nin modelleri birleştirilerek hazırlanmıştır)

Ülkemizde çeşitli bölgelerde daha önce gerçekleştirilen çalışmalarda, ofiyolitlerin hem kümülat hemde tektonit kesimindeki ultrabazik kayalar içinde bulunan krom yatakları istifsel (stratigrafik) konumlarına göre gruplandırılmıştır (Şekil 4.3);

- Tektonitlerin derinliklerinde harzburjitler içinde bulunan krom yatakları,
- Tektonitlerin üst kesimlerinde tektonit – kümülat geçiş zonu altında bulunan krom yatakları,
- Tektonit-kümülat geçiş zonu içinde bulunan krom yatakları,
- Kümülat grubu kayaların ultrabazik kesimleri (dünit) içinde bulunan krom yatakları şeklinde sıralanabilir.

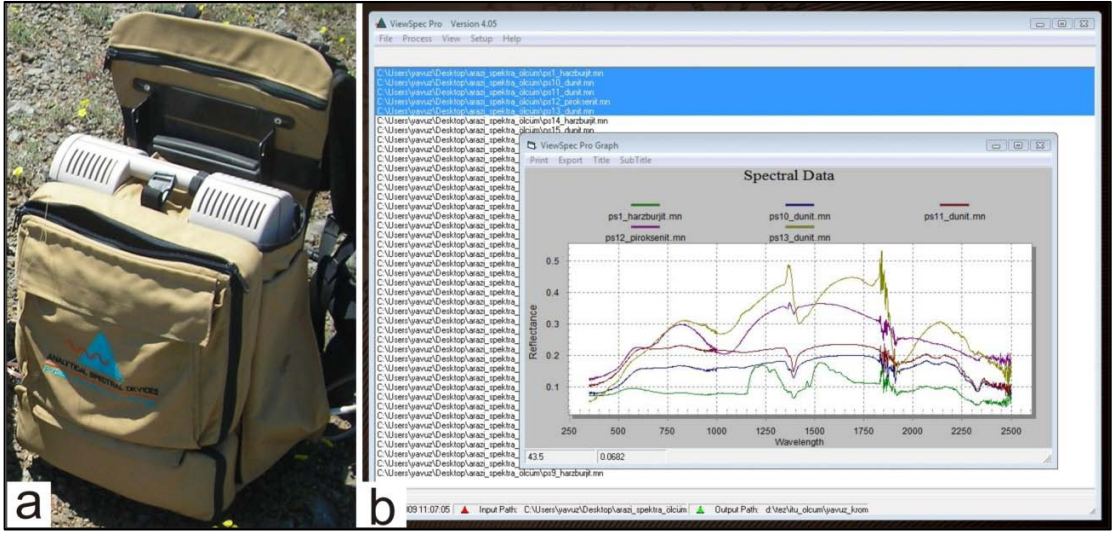


**Şekil 4.3:** Krom yataklarının ofiyolit istifindeki yerleri (Engin ve diğ., 1985)

## 5. SPEKTORADYOMETRE VE SPEKTROMETRE ÖLÇÜMLERİ

Yüksek lisans tezinin bu bölümünde, inceleme alanı içerisinde bulunan farklı kaya türlerinin uzaktan algılama ile yüksek doğrulukla belirlenebilmesi için 2008 ve 2009 yaz döneminde spektrometre ile gerçekleştirilen arazi ve laboratuvar ölçümleri değerlendirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında, kayaların spektral özelliklerinin yüksek doğrulukla belirlenebilmesi amacıyla 350-2500 nm spektral aralıkta, 1/10 saniye/spektrum hızda veri toplayan **FieldSpec® FR spektrometre** ve bu ölçümleri grafiksel olarak sunan **FieldSpec® Pro RS<sup>3</sup>** yazılımı kullanılmış ayrıca elde edilen sonuçların ASTER uydu verileri ile karşılaştırılarak yorumlanması amaçlanmıştır (Şekil 5.1).



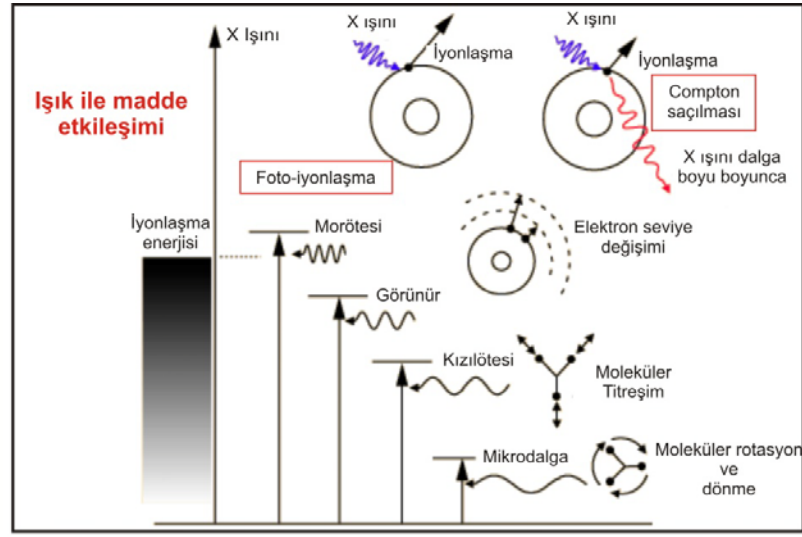
Şekil 5.1: (a) FieldSpec® FR spektrometresi ve (b) FieldSpec® Pro RS<sup>3</sup> yazılımı

### 5.1. Kayaç / Elektromanyetik Radyasyon Etkileşimi

Fiziksel bir temas olmaksızın çeşitli algılayıcılar yardımıyla elektromanyetik radyasyon (EMR) kullanılarak gerçekleştirilen uzaktan algılama yöntemleri, yeryüzünde bulunan doğal örtüleri gözlemlene ve değerlendirme olanağına sahiptir. Bunun yanında, spektral çözünürlüğe göre düzenlenen güncel görüntüleme sistemlerinden bazıları olası mineral ve kayaç topluluklarını tanıma özelliği gösterirler (Kavak, 2003).

Laboratuvar ve arazide yapılan çalışmalar yardımıyla, EMR' nin görünür ve yakın kızılötesi bölgelerinde, mineral türlerinin kendilerine özgü spektral özellikleri temel alınarak mineraller ve oluşturduğu kayaç toplulukları tanımlanabilir. Bu spektral özellikleri minerallerin atom yapısında gerçekleşen elektronik ve titreşimsel geçişler sonucunda ortaya çıkan soğurma özellikleri olarak da değerlendirmek mümkündür (Kruse ve Hauff, 1990).

Işık maddeyle etkileştiğinde elektriksel, titreşimsel ve dönüşel geçişler oluşur (Şekil 5.2). Elektronik geçişler, bir elektronun düşük yörüngeden yüksek yörüngeye hareketiyle gerçekleşir, yüksek uyarma enerjisine ihtiyaç duyarlar ve sonuç olarak spektrumda daha kısa dalga boylarında (morötesi ve görünür) oluşurlar. Elektronik geçişler katı, sıvı ve gazlarda gerçekleşir (Konya, 2007).



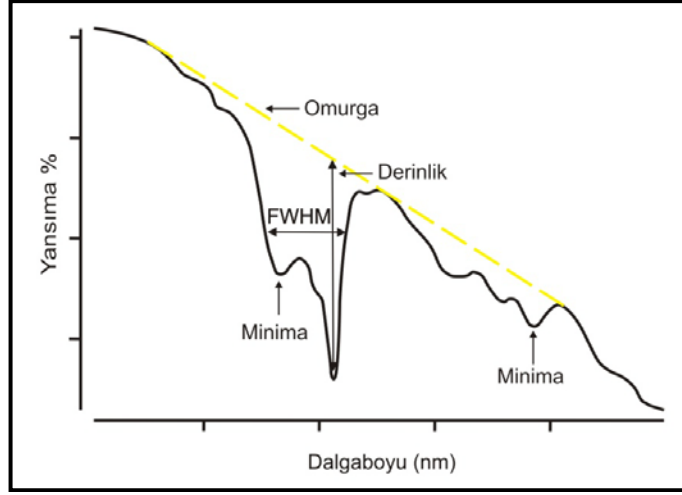
**Şekil 5.2:** Işık-madde etkileşiminde gerçekleşen geçişler (www.hyperphysics.phy-astr.gsu.edu)

Bir denge durumundan diğerine doğru gerçekleşen gerilim ve büküm gibi titreşimsel geçişler daha az enerjiye ihtiyaç duyarlar ve dolayısıyla daha uzun dalga boylarında (kızılötesi ve devamı) gözlenirler. Dönüşsel geçişler, dönen moleküllerin eylemsizlik momentumundaki değişimlerle ilgili olup sadece gazlarla sınırlıdır. Ancak atmosferde esas etken oldukları için uzaktan algılamada önemli rol oynarlar (Konya, 2007).

Birçok görünür renk, atomlar arası etkileşimle ilgilidir. Yük-transfer renkleri, fotonların bir elektronun bir atomdan diğerine geçişine yol açtıkları zaman oluşur. Moleküler yörüngeler (orbital) organik maddelerde yaygındır, elektronların tek atomlar yerine tüm moleküllere toplu halde bağlandıkları zaman oluşurlar. Bir maddede belirli atomlara bağlı renkler, kristal alan renkleri diye adlandırılır. Renklenme fiziği, komşu atomların yörünge elektronlarının enerji seviyelerini bozmasından dolayı çok karmaşıktır. Elektronik geçişler, titreşimsel ve dönüşsel geçişlere kıyasla daha yüksek enerjili fotonlara ihtiyaç duyarlar ve dolayısıyla daha kısa dalga boylarında oluşurlar (VNIR). Soğrulma özneliğinin konumu, şekli, derinliği ve genişliği yer yüzeyine ait cismin kristal yapı ve kimyasal bileşimi ile doğrudan bağlantılıdır. VNIR ve SWIR spektral aralığı, minerallerdeki elektronik geçişler (demir oksitler), bitki örtüsü (bitki türleri, yeşil lif su miktarı) ve hafif elementlere ( $\text{OH}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{CH}^+$  v.s. taşıyan mineraller, karbonatlar, sülfatlar ve organik maddeler) bağlı titreşimsel geçişlerin tespiti için mükemmeldir.

## 5.2. Spektra Kavramı

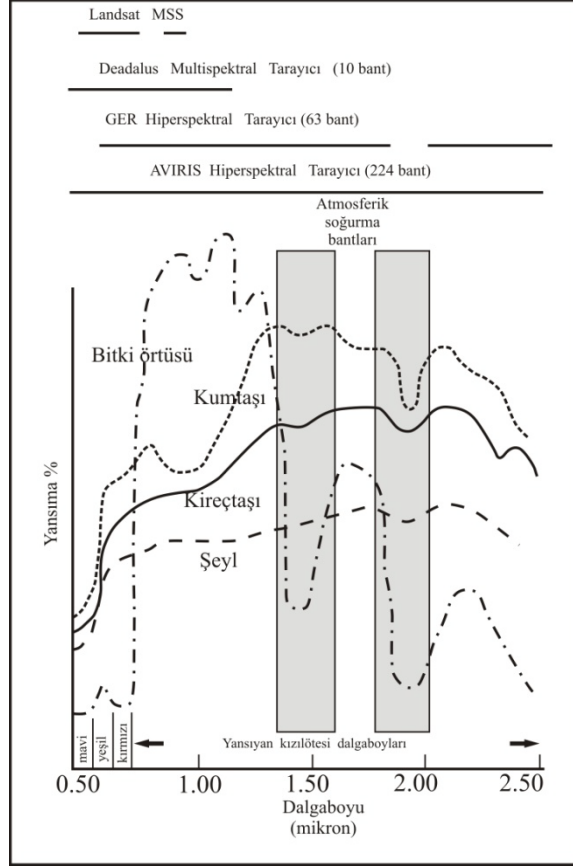
Spektral yansımaya eğrileri, pasif uzaktan algılamada kaynak olan güneşten gelen ve herhangi bir cisimle etkileştikten sonra enerji dalga boyunun bir fonksiyonu olarak yansıyan enerjinin yüzdesi olarak laboratuvar veya doğada ölçülebilir (Sabins, 1997). Spektrumun yüzeyinin genel şekline omurga (hull) denir. Soğurma değerleri ise minima olarak adlandırılır. Minerallerin tanımlanmasında minima değerinin bulunduğu noktanın dalga boyu önemlidir (Şekil 5.3).



**Şekil 5.3:** Spektral yansımaya eğrisinin genel görünümü (www.pimausa.com)

Spektral uzaktan algılamayı, yeryüzüne ait değişik malzemeleri oluşturan kayaç ve bitki örtüsü toplulukları, toprak, buz ve suyla etkileşim halinde bulunan elektromanyetik radyasyonun (EMR) yer ve havadan ölçüm yapabilen algılayıcıların kullanılmasıyla ortaya çıkan etkileşiminin ifadesi olarak tanımlamak da mümkündür. EMR, cisimlerin ışığa ve yansımaya enerjilerini temel olarak değerlendirip bazı dalga boylarında kendine özgü pikler verir. Spektroskopi ise EMR' nin soğurma ve yansımaya özelliklerinin incelenmesi olarak tanımlanabilir. Bu ölçümleri gerçekleştiren aletlerden spektrometre, sayısallığa yönelik sistemlerde ışınımı saptamak için kullanılır (Maktav ve Sunar, 1991).

Şekil 5.4, bitki örtüsü ve bazı kayaçlara ait yansımaya eğrilerini göstermektedir. Yatay eksen, gelen enerjinin dalga boyunu EMR' nin görünür ve yansıyan kızılötesi bölgelerinde gösterir. Düşey eksen ise ayrılmış dalga boylarında yansımaya enerjisinin yüzdesini tanımlar. Eğrilerdeki aşağı bükülmeler incelenen cismin soğurma özelliği (minima) olarak da açıklanabilir. Yukarı doğru bel veren bölümler ise yansımaya piklerinin gözlemlendiği bölgelerdir. Bu iki bölüm de cisimlerin tanınmaları açısından çok önemli bilgiler sunar. Genel olarak kayaçlar soğurma özellikleriyle bitki örtüsü ise yansımaya pik değerleriyle karakterize olur. Soğurmaya neden olan faktörlerin madde atomlarındaki elektronik ve titreşimsel geçişler olduğu söylenebilir (Clark, 1995).



**Şekil 5.4:** Bazı kayaçlar ve bitki örtüsünün yansımaya eğrileri. Tipik multispektral ve hiperspektral sistemler şeklin üzerinde bant sayısı ve aralıklarıyla verilmiştir (Sabins, 1997)

### 5.3. Spektrometre / Spektroradyometre

Spektrometre, elektromanyetik spektrumun bazı kısımlarının bir fonksiyonu olarak ışık denetiminin yansıma, kırılma ve difraksiyon yoluyla oluşan sapma açısının ölçülmesi için kullanılan alettir. Ölçülen büyüklükler genellikle polarizasyon durumuna bağlı olarak ışığın şiddetidir. Bağımsız değişkenler çoğunlukla ışığın dalga boyudur ve genellikle nanometre birimindedir. Fakat bazen de dalga sayısı veya elektron volt gibi foton enerjisi ile doğrudan orantılı birimler de ifade edilir (bilimge.com).

Spektrometreler uzaktan algılama çalışmalarında yersel doğrulama ve kalibrasyon amaçlı olarak kullanılmaktadır. Spektrometreler ile gerek arazi ortamında gerekse laboratuvar ortamında çalışılabilir.

Spektroradyometre, spektroskop ve radyometreden oluşmakta olup enerji dağılımını ölçmektedir. Spektroradyometreler, bir iç ışık kaynağına gereksinim duymadan spektral analiz yapabilme yeteneğine sahiptirler. Bu alet, spektral analizi doğal koşullarda yapılabilecek biçimde, doğal bir çevrede bulunan hedefleri araştırmak için kullanılır.

Bir spektroradyometre sistemi; *giriş optiği* (tanımlanan görüş alanındaki ışınımı toplar), *monokromatör* (gelen ışınımı dalga uzunluğu bileşenlerine ayırır), *dedektör* (her bir dalga uzunluğundaki ışınımı ölçer) ve *kontrol ve taşıma sistemi* (toplanan veriyi tanımlar ve belleğe kaydeder) olmak üzere dört temel birimi içerir. FieldSpec FR, kendi içerisinde 3 ayrı spektrometreden oluşmaktadır: VNIR (Visible/NIR) spektrometresi (350-1050 nm), SWIR1

(ShortwaveIR) spektrometresi (900-1850 nm), SWIR2 (ShortwaveIR) spektrometresi (1700-2500 nm) dalga boyu aralığı bölgesini kapsamaktadır. FieldSpec FR spektrometre, hiperspektral uzaktan algılama uygulamaları için gereken değerleri karşılayacak şekilde, 2 nm-3 nm spektral örnekleme aralığına, 10 nm-12 nm spektral çözünürlük değerine sahiptir.

FieldSpec FR spektrometre, doğrudan spektrometreyi besleyen 1 metre fiber optik girişe sahiptir. Fiber optik kablo aracılığıyla, hedef üzerinden yansıyan ışık toplanır. Aletin iç kısmına bakıldığında ışık, bağımsız ölçüm için, fiber optiklerden, dalga uzunluğu bileşenlerinin ayrıldığı ve yansıtıldığı holografik dağıtma ızgaralarına yöneltilir. Her bir dedektör okuma işlemini bitirene kadar gelen fotonları elektronlara dönüştürür ve bu elektronlar depolanır. Okuma işlemi sırasında, her bir dedektör için olan fotoelektrik akımı voltaja çevrilir ve analog –digital dönüştürücü tarafından sayısallaştırılır. Sayısal veri, kontrol sistemindeki geliştirilmiş paralel port (EPP) kullanılarak bilgisayarın ana belleğine aktarılır. Sayısal spektral veri bundan sonra yazılım tarafından işlenmeye hazır hale gelmiştir (Şekil 5.5).



**Şekil 5.5:** Arazi ölçümlerinde kullanılan spektrometre düzeneği

Yeryüzündeki cisimlerin tanımlanabilmelerinin en önemli nedeni, farklı elektromanyetik enerji seviyelerini yansıtması ya da soğurması sonucunda spektral özelliklerinde farklılıklar göstermeleridir.

Modern taşınabilir spektrometreler, gerçek zamanlı olarak elde edilen yansıma verilerini dizüstü bilgisayar yardımıyla arazide değerlendirip, barındırdıkları spektral kütüphaneler yardımıyla kayaç, toprak ve bitki örtüsü gibi farklı yeryüzü cisimlerine ait geniş yansıma referanslarını karşılaştırma imkanı sunarlar.

Spektrometre ile spektrometre aynı temel prensiple çalışırlar, fakat farkları spektrometre doğal ışık kaynağı (güneş) kullanırken, spektrometre enerji kaynağı olarak

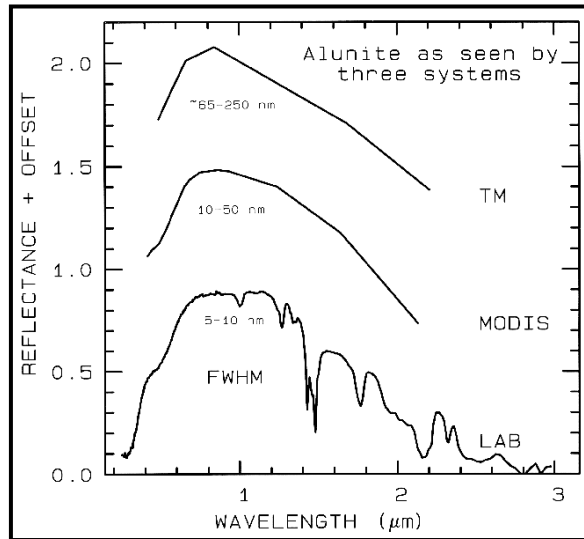
yapay ışık kullanmaktadır. Bir spektrometreyi tanımlamak için 4 genel parametreden bahsedilmektedir.

Bunlar sırasıyla **spektral aralık**, **spektral bant genişliği**, **spektral örnekleme ve sinyal/parazit oranı (S/N)** (Şekil 5.8).

**Spektral aralık**, çözülmesi istenen bir problemde yeterli spektral soğurma yeteneğine sahip alanı örten bölüm olarak tanımlanabilmektedir. Genel olarak kullanımda olan ve her biri dedektör teknolojisi tarafından kontrol edilen spektral aralıklar sırasıyla; morötesi (UV) 0.001-0.4  $\mu\text{m}$ , görünür 0.4-0.7  $\mu\text{m}$ , yakın-kızılötesi (NIR) 0.7-3.0  $\mu\text{m}$ , orta-kızılötesi (MIR) 3.0-30  $\mu\text{m}$  ve uzak kızılötesi 30  $\mu\text{m}$ -1mm bölgelerdir.

Yaklaşık olarak 0.4-1.0  $\mu\text{m}$  dalga boyu aralığı, uzaktan algılama literatüründe görünür - yakın kızılötesi (VNIR, visible-near infrared) ve 1.0-2.5- $\mu\text{m}$  aralığı ise kısa-dalga kızılötesi (SWIR, short-wave infrared) olarak da bilinmektedir. Yalnız bu terimler uzaktan algılama dışında tanınan standart terimler değildir. Fizikte kabul gören yakın kızılötesi (NIR) bölgeyle uyuşmayan VNIR bölge içindeki NIR' dan dolayı VNIR ve SWIR terimlerinden kaçınılmaktadır. Orta kızılötesi bölge ise, yaklaşık 2.5-3  $\mu\text{m}$ 'den başlayıp 10 $\mu\text{m}$  civarında pik veren termal bölgeye dahil olup bu pikin ötesinde azalarak gri-cisim emisyonuyla kontrol edilen bir şekilde sahiptir.

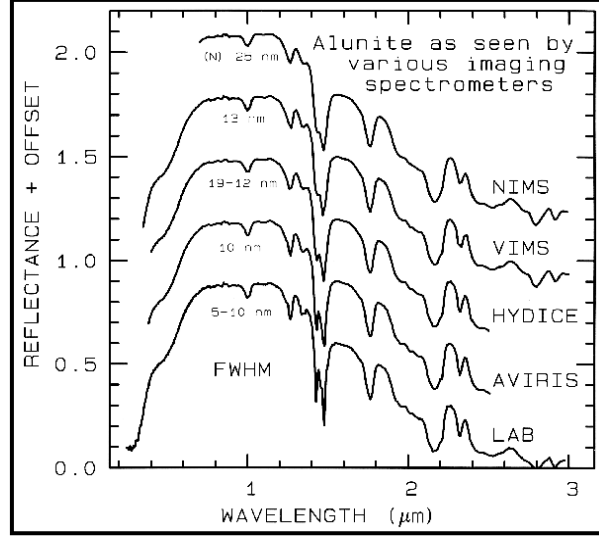
**Spektral bant genişliği**, spektrometrede tekil spektral kanalın genişliğidir. Spektral bant genişliği ne kadar dar olursa spektrometrenin de soğurma özelliği o derece dar olacak ve böylece komşu spektral örneklemeler sağlandığında da en hassas ölçüm yapılabilecektir. Bazı sistemler birbiriyle komşu olmayan birkaç tane geniş bant aralığına sahip olduğunda spektrometreler tarafından yeterince ölçümler yapılamaz. (Şekil 5.6). Şekle genel olarak bakıldığında üstteki iki spektranın soğurma değerlerini ifade edebilecek duyarlılıkta olmadığı ancak laboratuarda ölçülen ve şeklin en altında gözlenen spektranın ise ayrıntılı olarak bu duyarlılığı sergilediği görülmektedir.



**Şekil 5.6:** Alünit mineralinin geniş bant sistemleri ve spektrometrede yarı maksimum ve tam genişlikte (FWHM) ölçülen spektral eğrileri. Alünit örneği (HS295.3B) USGS spektral kütüphaneden alınmıştır (Clark ve diğ., 1993(b)). Her bir spektrum açıklık amacıyla yukarı doğru 0.6 birim ötelenmiştir (Clark, 1999)



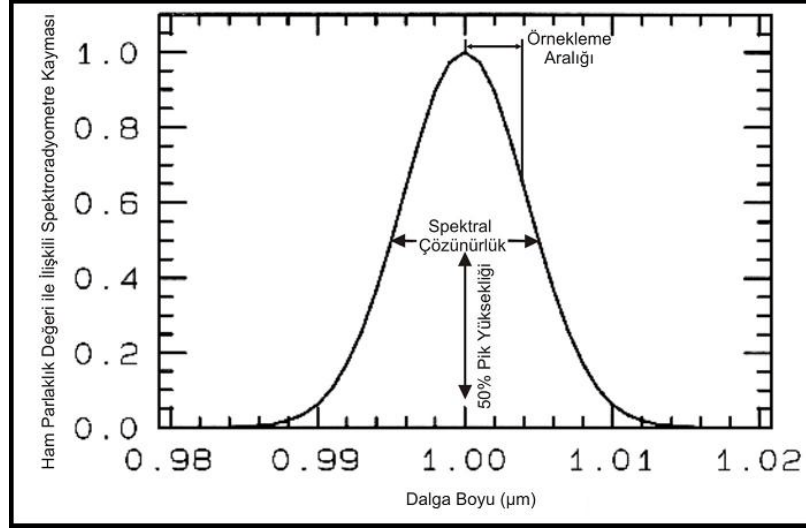
Şekilde 5.6' da, Landsat Thematic Mapper <sup>TM</sup> ve MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), tarafından dar soğurma özelliği ortaya konamayan alünit mineral spektraları görülmektedir. Halbuki NASA'nın JPL Airborne Visual and Infra-Red Imaging Spectrometer (AVIRIS) sistemi, dar bant aralığına sahip olması ve komşu bantlarda sürekli bir spektrum üretmesi nedeniyle bir sülfat minerali olan alünit hakkında daha ayrıntılı bir spektra göstermektedir (Şekil 5.7).



**Şekil 5.7:** Alünit mineralinin laboratuvar ve bazı görüntüleme spektrometreleri tarafından alınan spektraları. NIMS ve VIMS sistemleri 5 µm de ölçüm yapmaktadırlar. Her bir spektrum açıklık amacıyla yukarı doğru 0.3 birim ötelenmiştir (Clark, 1999)

Bu şekillerde, geniş bantlı algılayıcı sistemler (Şekil 5.6) tarafından algılanan spektral detaydaki yetersizliklerle, dar bantlar ve sürekli bir spektrum üretimi nedeniyle de spektrometre ve spektrometreler (Şekil 5.7) tarafından alınan spektral eğriler arasındaki farklar açıkça göz önüne serilmektedir. Bant genişliği ve örnekleme aralığı 25 nm den büyük olan sistemler önemli mineral soğurma özelliklerini ayırt edebilecek çözünürlüğü kaybederler.

Bant geçiş profilinin şekli her zaman önemlidir. İdeal olarak her spektrometre, kanalı verilen dar bir dalga boyu aralığı hariç optik etkilerden dolayı gelen tüm ışığı reddeder. Spektrometrelerdeki en genel bant geçiş şekli Gaussian profildir. Bant geçişinin genişliği genellikle fonksiyonun %50 karşılığındaki dalga boyunun genişliği (Full Width at Half Maximum –FWHM) olarak da bilinir. “Yarım Maksimumdaki Tüm Genişlik” olarak da tanımlanabilecek bu özellik, algılayıcının tek renkli kaynağa olan spektral tepkisindeki en uç değer yarısına denk gelen değerdeki genişlik olarak tanımlanmaktadır (Şekil 5.7).



**Şekil 5.8:** Spektral çözünürlük ile spektral örnekleme aralığı (ASD Technical Guide 3<sup>rd</sup> Ed. Section 3-1)

**Spektral örnekleme**, dalga boyunun bir fonksiyonu olarak spektrometredeki her bir kanal için spektral bant geçiş profili arasındaki dalga boyu aralığıdır (Şekil 5.8). Spektral örnekleme, sık sık bant geçişiyle karıştırılır ve ikisi de çözünürlük olarak adlandırılmaktadır. Teorik bilgiler bize iki spektral özelliği çözmek için iki örneğe sahip olmamız gerektiğini ifade etmektedir. Bundan başka örnekleme hakkında önyargıya varmamak amacıyla örneklerin yeterli derecede pik ve çukurluklara sahip olması gerekmektedir.

Mineral veya kayaç haritalaması uygulamalarında daha çok çukurlukların karşılık geldiği dalga boyu değerleri dikkate alınır. Spektrometre spektrumdaki detayları kaydetmek için yeterli doğrulukta ölçüm yapılmalıdır.

**Sinyal/parazit oranı (signal-noise ratio –S/N)**, çalışılan spektral özelliğin gücüne bağlı olmaktadır. S/N dedektör duyarlılığı, spektral bant genişliği ve yüzeyden yansıyan veya yayılan ışığın şiddetine bağlıdır. Spektral özellikler yeterince güçlüyse ve sinyal/parazit oranı en az 10 civarındaysa cisim tanımlamak mümkün olabilir (Swayze ve diğ., 1997).

#### 5.4. Uygulama

Bu çalışmanın uygulama aşaması 2009 yaz döneminde arazide ve İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Uzaktan Algılama Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen ölçümlerle tamamlanmıştır.

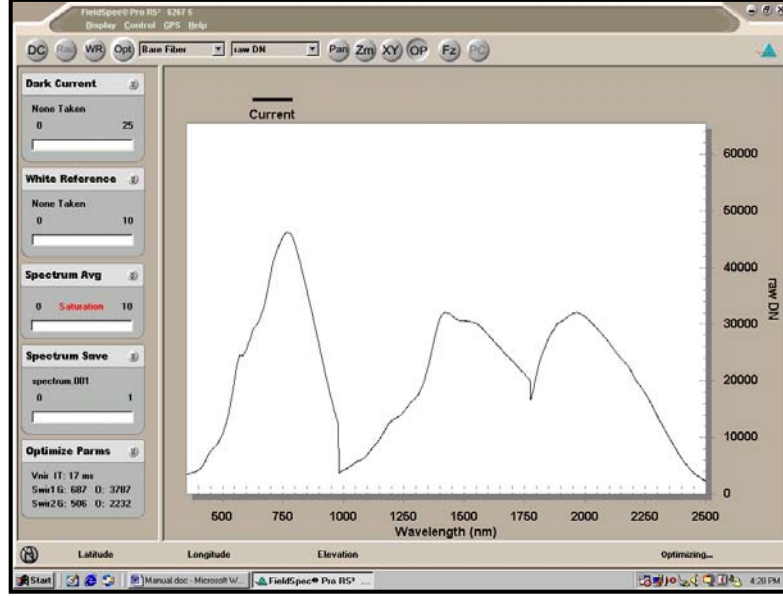
Spektrometre ölçümlerine başlamadan önce bazı kalibrasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir.

##### 5.4.1. Optimizasyon

Spektrometrenin optimizasyon işlemi, yazılım tarafından kullanıcının talimatıyla otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. Aletle ölçüm yaparken ortamda çok küçük ışık değişimleri olsa da, sık aralıklarla optimize edilmesi gerekmektedir. Alet yansıtma modunda iken ekranın

üst köşesinde  *sinyal doygunluğu* (signal saturation) uyarısını görmemek için programda ham DN (Digital Number) moduna sıkça dönülmesi önemlidir.

Şekil 5.9' da spektrometre nin optimizasyon işlemini gerçekleştirirkenki durumu gösterilmektedir.



Şekil 5.9: Spektrometre nin optimizasyon işleminin program üzerinde gösterimi

#### 5.4.2. Karanlık Akım (Dark Current)

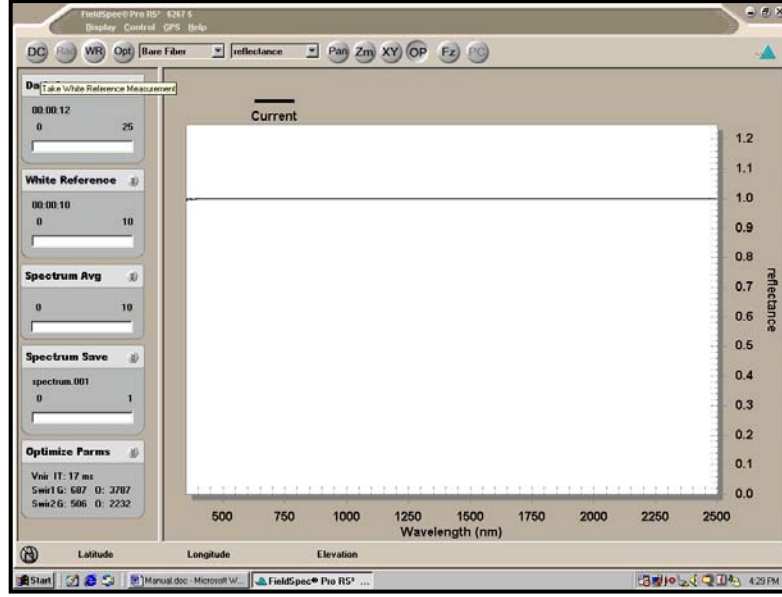
Kesin veri elde edilmek isteniyorsa, her kanaldaki karanlık akım toplam sinyalden çıkartılmalıdır. Karanlık akım ölçümü kullanıcı yazılımına talimat verdiği zaman gerçekleşir. Genellikle yansıtma değeri ölçümlerinde “beyaz referans” aşamasında otomatik olarak yapılır.

#### 5.4.3. Kalibrasyon

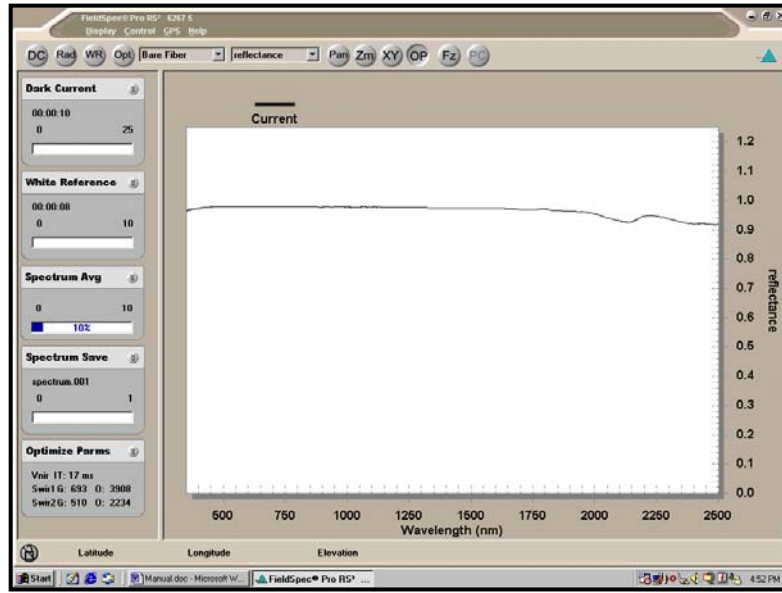
Spektrometre, cismin bir noktası boyunca ışık alanının yoğunluğunu ölçtüğünden yansıtma oranı, çalışılacak materyal ve yansıtma özellikleri bilinen bir referans materyalinin her ikisinin de ölçümleri kullanılarak yapılır.

Referans olarak alınan materyal, referans paneli veya referans standardı olarak adlandırılır. Tüm spektrum boyunca yaklaşık olarak %100 yansıtma oranına sahip olan materyal beyaz referans paneli ya da beyaz referans standardı olarak adlandırılır. Birçok uygulama için, kalibre edilmemiş %99 “Spectralon” gibi bir referans standardı, yeterli yansıtma verisi toplanması için, gereken mükemmel yakın özelliklere sahiptirler. Ölçümlere başlamadan önce son olarak spektrometre nin kalibrasyonu yapılmalıdır.

Şekil 5.10' da beyaz referans panelinden referans verisinin toplanması gösterilmektedir. Şekil 5.11' de ise kalibrasyon işleminin tamamlandığını ve spektrometre nin ölçümlere hazır olduğunun gösterilmektedir.



Şekil 5.10: Beyaz referans panelinden referans verisi toplanırken gösterimi



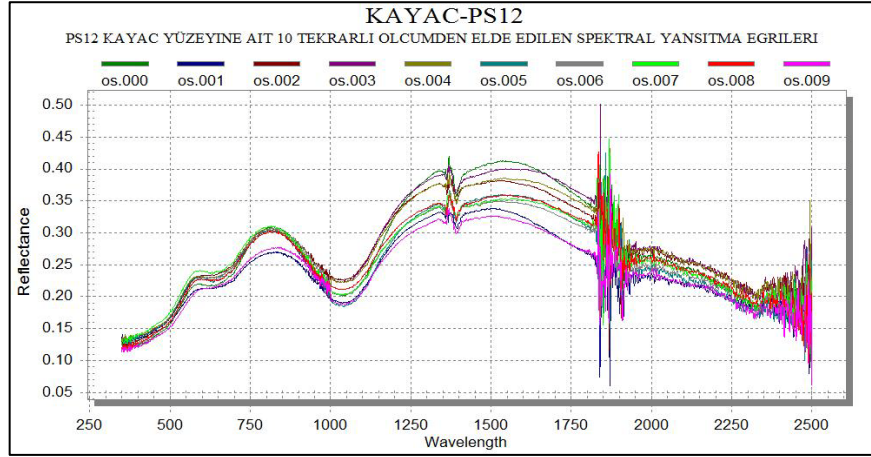
Şekil 5.11: Kalibrasyon işleminin tamamlandığını ve spektrometrenin ölçümlere hazır olduğunu gösterimi

#### 5.4.4. Spektrum Ortalama ve Parazit

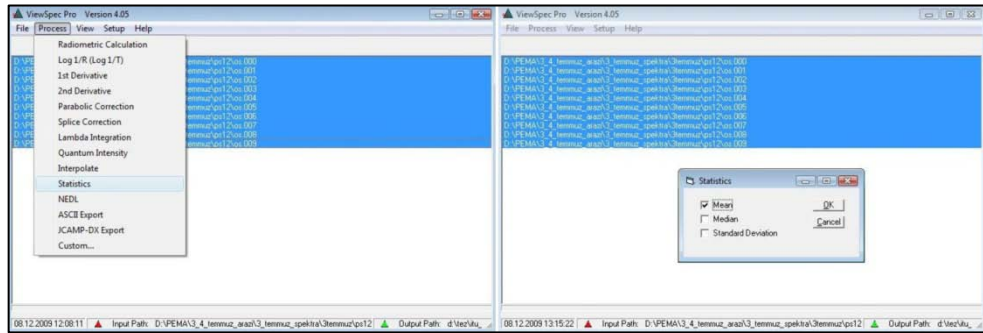
Her elektriksel veri analizinin başlıca sorunu parazittir. Parazitin en belirgin özelliği, doğasından da kaynaklandığı üzere rastlantısal olmasıdır. Bu, **spektrum ortalama** olarak adlandırılan bir teknikte, istenilen spektral sinyali içerisinde şiddeti genellikle azaltılabilir anlamına gelmektedir.

Birçok araştırmacı, ortalama 10 ila 25 adet tekrar sayısının yeterli olduğunu göstermiştir. Ölçülen spektral değerlerin hiçbiri tek başına doğru bir grafiğin gösterimi olamaz ancak işlem sonrası hesaplanan grafik değerlerinin ortalaması en iyi sonuca yaklaştırabilir.

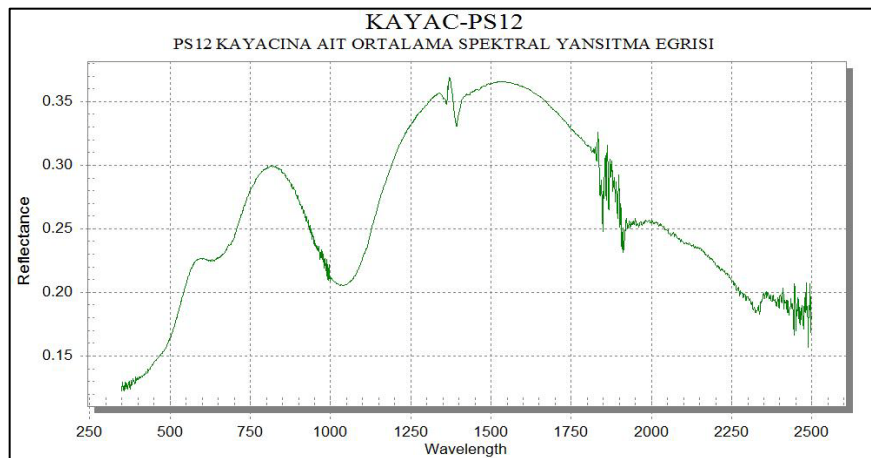
Gerçekleştirilen tekrarlı ölçümlerin ortalamasının alınma işlemi, ASD ViewSpec Pro yazılımının ilgili menüleri yardımıyla yapılmıştır. Yazılımın **Process** menüsü altındaki, **Statistics** sekmesi yardımıyla arazide veya laboratuarda gerçekleştirilen 10 veya 20 tekrarlı ölçümlerden elde edilen grafikler (Şekil 5.12), ortalaması alınmış tek bir grafik haline getirildikten sonra değerlendirilmiştir (Şekil 5.13, Şekil 5.14).



Şekil 5.12: Ps12 kayaç yüzeyine ait tekrarlı ölçümler sonucu elde edilen spektral yansıtma eğrileri



Şekil 5.13: Tekrarlı ölçümlerin ortalamasının alınma işlemi



Şekil 5.14: Ps12 kayaç yüzeyine ait tekrarlı ölçümler sonucu elde edilen ortalama spektral yansıtma eğrisi

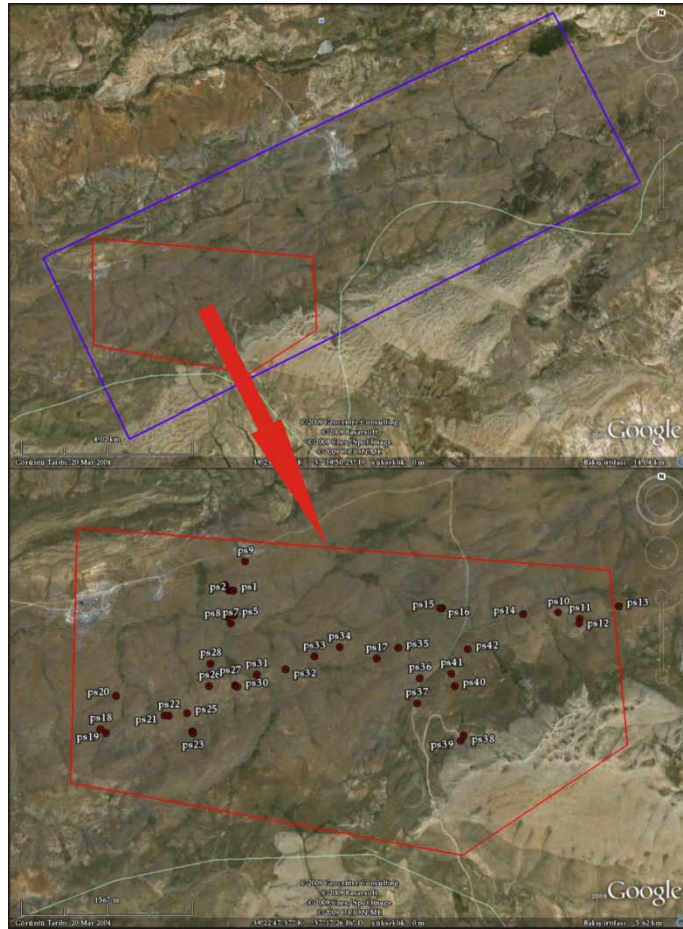
#### 5.4.5. Verilerin Depolanması

Verilerin gösterimi ve depolanması, spektrometreye entegre edilmiş bir dizüstü bilgisayar aracılığı ile yapılır. Her spektrometreden elde edilen spektral değerler, yazılım ve donanım tarafından, 350-2500 nm arasında sürekli bir spektral eğri oluşturmak üzere birleştirilir.

Yazılım, kontrolün yapıldığı bilgisayarın belleğini, kullanıcının seçimiyle spektral değerleri kaydetmek için kullanır. Spektral değerler kaydedilmeden önce dosyalar için bir *yol adı* (path name) ve bir *taban adı* (base name) seçilmelidir. Ayrıca kaç tane dosyanın kaydedileceği (tekrar sayısı), başlangıç dosya numarasının ne olacağı ve duruma uygun ek açıklayıcı bilgi kullanıcının tercihine göre belirtilebilir.

#### 5.4.6. Arazide Gerçekleştirilen Spektrometre Ölçümleri

İlk olarak, tez arazisi içerisinde bulunan krom işletmesi ve civarı, arazi ölçümleri için test sahası olarak belirlenmiş ve bölgede yüzlek veren tüm kayaç türlerinin sayısı ile bu kayaç türlerinin tip yerlerinin koordinat değerleri belirlenmiştir (Şekil 5.15). Belirlenen koordinat değerleri Magellan eXplorist marka el GPS' ine kaydedilmiş ve bu noktalardan ölçüm almak için spektrometre donanım ve yazılım olarak hazırlanmıştır.



Şekil 5.15: Arazi ölçüm noktalarını gösteren Google Earth görüntüsü

Spektroradyometrenin çevre şartlarına uyumu ölçümler için esas olacağından, yazılımda hazır olarak bulunan optimizasyon işlemi uygulanmıştır. Ölçümlere başlamadan önce beyaz referans paneli kullanılarak aletin kalibrasyonu yapılmıştır. Ölçümlere başlandıktan sonra, donanım her kaya türü için yapılan ölçümlerden önce optimize edilerek, kalibrasyon işlemi tamamlanmıştır.

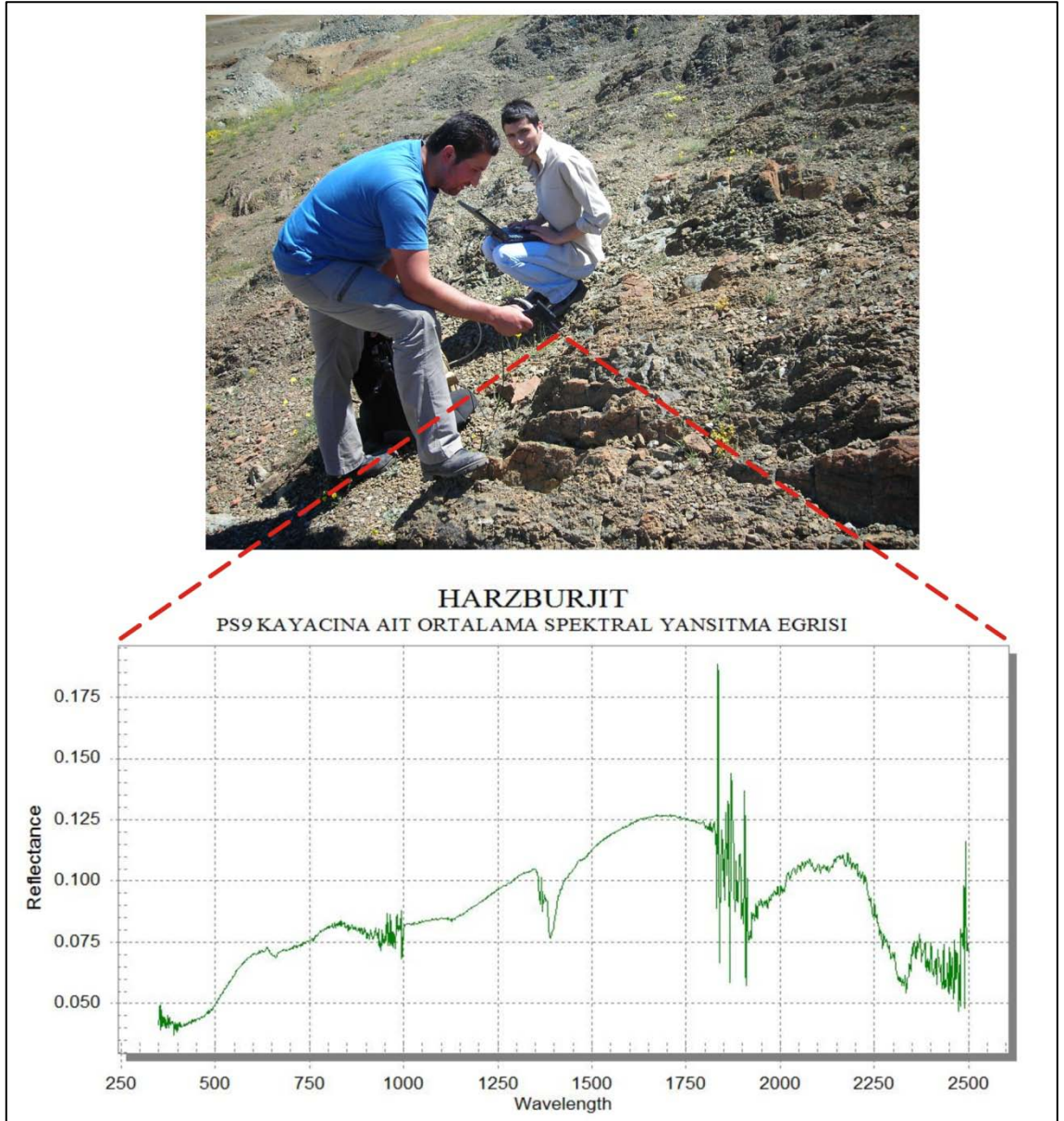
Tekrarlanma aralığı 10 olarak belirlendikten sonra, her kaya türü için birer dosya oluşturulmuştur. Belirlenen noktalarda yapılan tekrarlı ölçümler o kaya türü için oluşturulmuş olan dosya içerisine kaydedilmiştir. Bu işlem 43 farklı noktada tekrarlanmış ve her kaya türü için spektral yansıtma eğrisi elde edilmiştir (Tablo 5.1, Şekil 5.22).

**Tablo 5.1:** Spektroradyometre ölçümü gerçekleştirilen örnek bilgileri

<b>Nokta No</b>	<b>Nokta Adı</b>	<b>Enlem (K)</b>	<b>Boylam (D)</b>	<b>Yükseklik (m.)</b>	<b>Kaya Türü</b>
1	Ps1	39°23'21.96"	37°16'39.30"	1782	Harzburjit
2	Ps2	39°23'21.96"	37°16'39.12"	1783	Dunit
3	Ps3	39°23'23.88"	37°16'35.88"	1798	Harzburjit
4	Ps4	39°23'21.96"	37°16'37.38"	1785	Dunit
5	Ps5	39°23'13.86"	37°16'39.84"	1774	Dunit
6	Ps6	39°23'14.16"	37°16'38.94"	1771	Harzburjit
7	Ps7	39°23'11.22"	37°16'38.58"	1773	Harzburjit
8	Ps8	39°23'13.32"	37°16'37.26"	1770	Dunit
9	Ps9	39°23'31.62"	37°16'43.86"	1798	Harzburjit
10	Ps10	39°23'14.82"	37°18'52.20"	1845	Dunit
11	Ps11	39°23'12.78"	37°19'0.90"	1865	Dunit
12	Ps12	39°23'11.28"	37°19'0.60"	1881	Piroksenit
13	Ps13	39°23'16.86"	37°19'17.16"	1898	Dunit
14	Ps14	39°23'14.28"	37°18'37.92"	1824	Harzburjit
15	Ps15	39°23'16.20"	37°18'4.86"	1862	Dunit
16	Ps16	39°23'16.20"	37°18'4.02"	1861	Harzburjit
17	Ps17	39°22'59.94"	37°17'38.04"	1815	Harzburjit
18	Ps18	39°22'37.68"	37°15'47.64"	1791	Harzburjit
19	Ps19	39°22'36.48"	37°15'49.92"	1790	Harzburjit
20	Ps20	39°22'48.06"	37°15'53.28"	1773	Dunit
21	Ps21	39°22'41.94"	37°16'13.02"	1790	Dunit
22	Ps22	39°22'41.88"	37°16'14.64"	1788	Harzburjit
23	Ps23	39°22'36.42"	37°16'24.66"	1813	Harzburjit
24	Ps24	39°22'36.96"	37°16'24.36"	1808	Harzburjit
25	Ps25	39°22'42.66"	37°16'22.02"	1790	Dunit
26	Ps26	39°22'51.18"	37°16'30.48"	1781	Dunit
27	Ps27	39°22'55.02"	37°16'31.26"	1781	Harzburjit
28	Ps28	39°22'58.26"	37°16'30.72"	1781	Harzburjit
29	Ps29	39°22'51.36"	37°16'40.92"	1786	Harzburjit
30	Ps30	39°22'50.94"	37°16'41.88"	1785	Dunit
31	Ps31	39°22'54.84"	37°16'49.56"	1786	Harzburjit
32	Ps32	39°22'56.52"	37°17'1.20"	1790	Harzburjit
33	Ps33	39°23'0.60"	37°17'12.78"	1798	Harzburjit
34	Ps34	39°23'3.60"	37°17'22.98"	1807	Piroksenit
35	Ps35	39°23'3.42"	37°17'46.74"	1841	Harzburjit
36	Ps36	39°22'53.68"	37°17'55.30"	1798	Harzburjit
37	Ps37	39°22'45.72"	37°17'54.05"	1783	Dunit
38	Ps38	39°22'35.82"	37°18'12.40"	1785	Harzburjit
39	Ps39	39°22'34.17"	37°18'11.22"	1828	Kireçtaşı
40	Ps40	39°22'51.18"	37°18'9.30"	1832	Harzburjit
41	Ps41	39°22'55.14"	37°18'8.10"	1810	Piroksenit
42	Ps42	39°23'2.94"	37°18'14.94"	1810	Radyolarit
43	Ps43	39° 23' 13"	37° 15' 39"	1737	Kromit

Ofiyolitik karışık içerisinde gerçekleştirilen arazi ölçümleri ile 350-2500 nm' lik dalga boyu aralığında harzburjit, dunit, piroksenit, radyolarit, kireçtaşı ve kromit gibi farklı kaya gruplarına ait spektral yansıtma eğrileri elde edilmiştir. Spektrometre ölçümleri sonucu elde edilen spektral yansıtma eğrilerinin tamamı Ek 1' de verilmiştir. Ayrıca ölçüm yapılan noktalardan alınan farklı kaya türüne ait örneklerin petrografik analizleri de yapılmıştır.

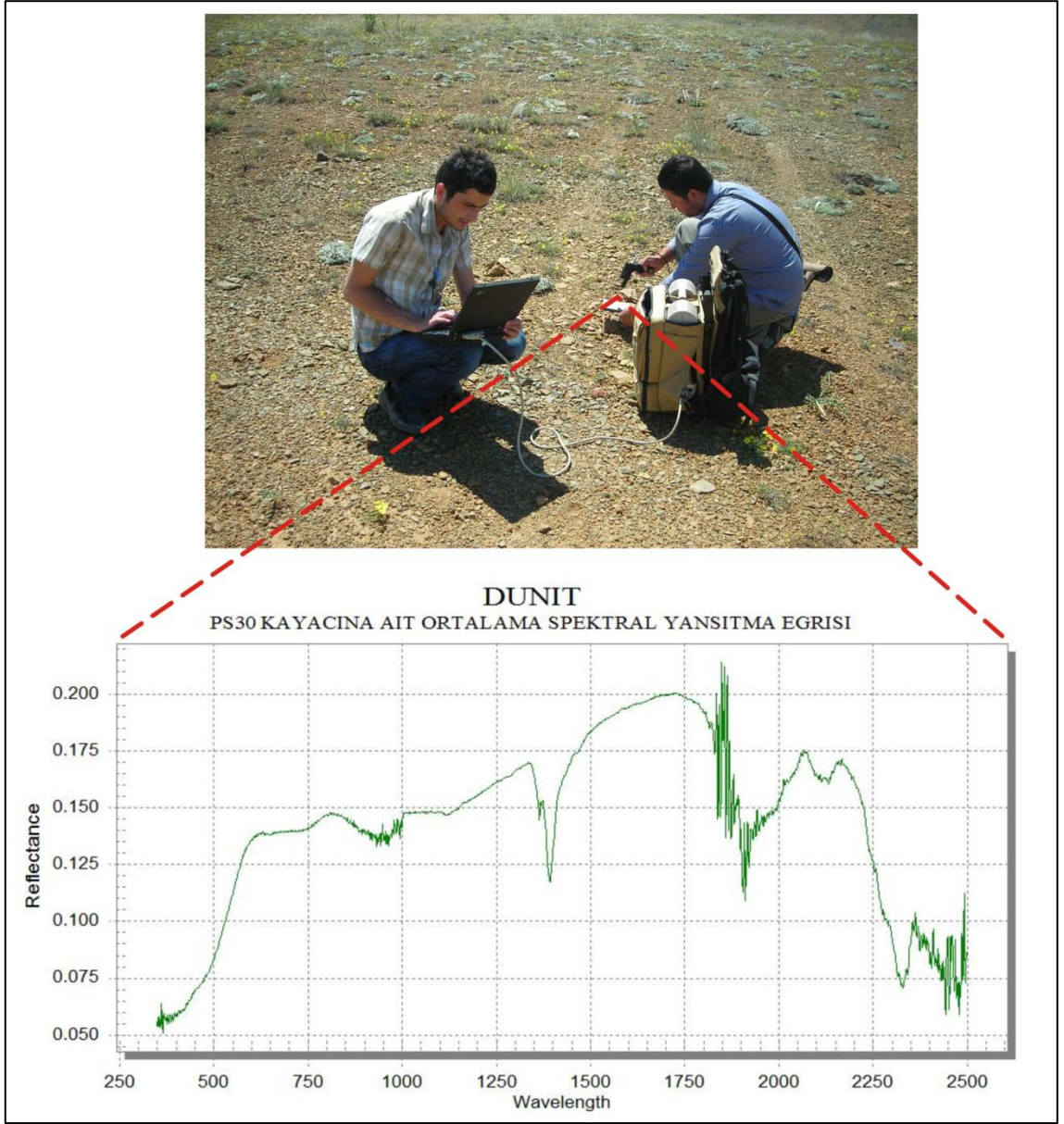
350-2500 nm' lik dalga boyu aralığında harzburjit üzerinde yapılan ölçümlerden elde edilen ortalama spektral yansıtma eğrisi ve ölçüm yapılan bölge Şekil 5.16' da gösterilmiştir.



**Şekil 5.16:** Harzburjit kayacına ait ortalama spektral yansıtma eğrisi ve ölçüm yapılan bölge

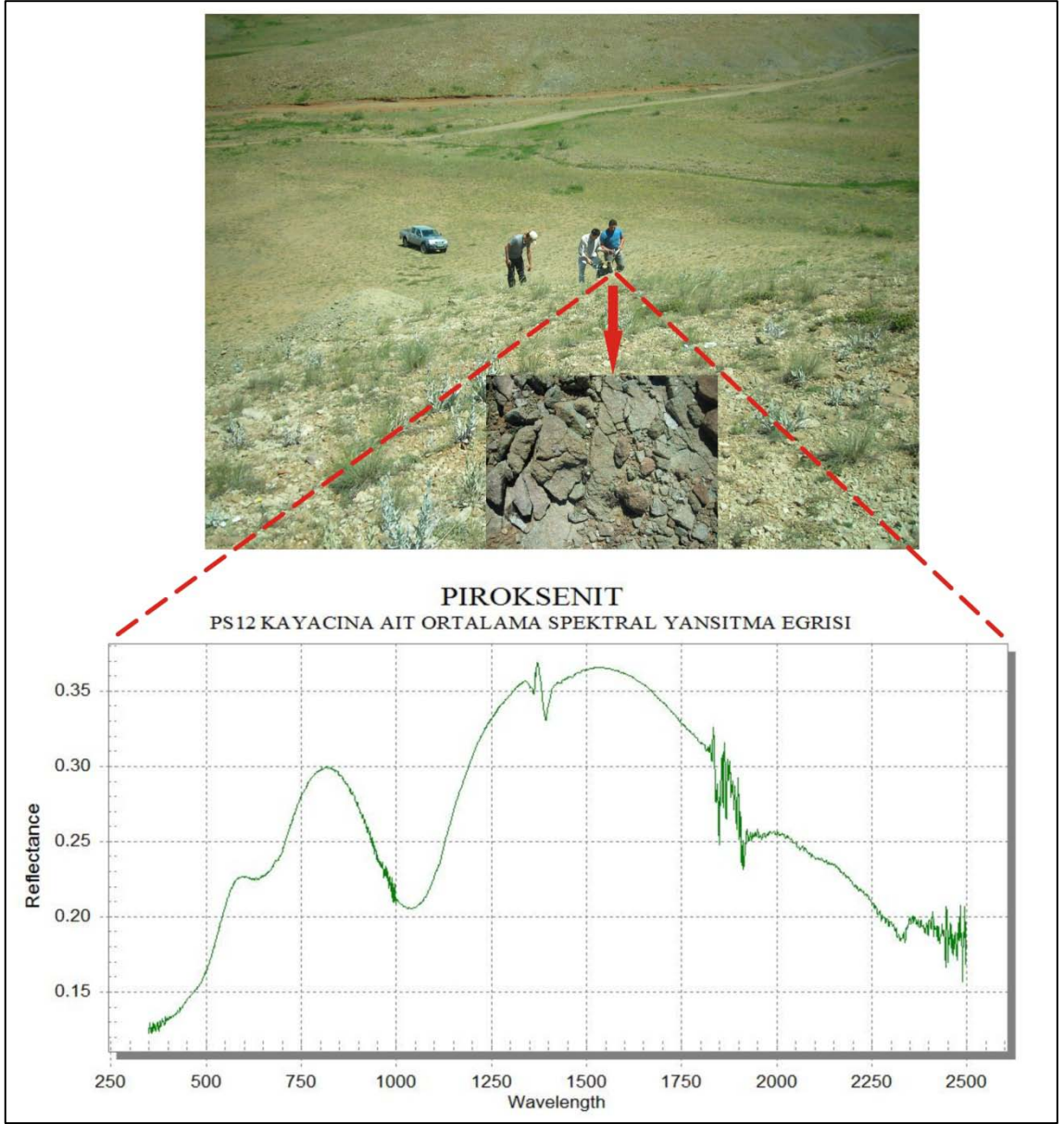


350-2500 nm' lik dalga boyu aralığında dunit üzerinde yapılan ölçümlerden elde edilen ortalama spektral yansıtma eğrisi ve ölçüm yapılan bölge Şekil 5.17' de gösterilmiştir.



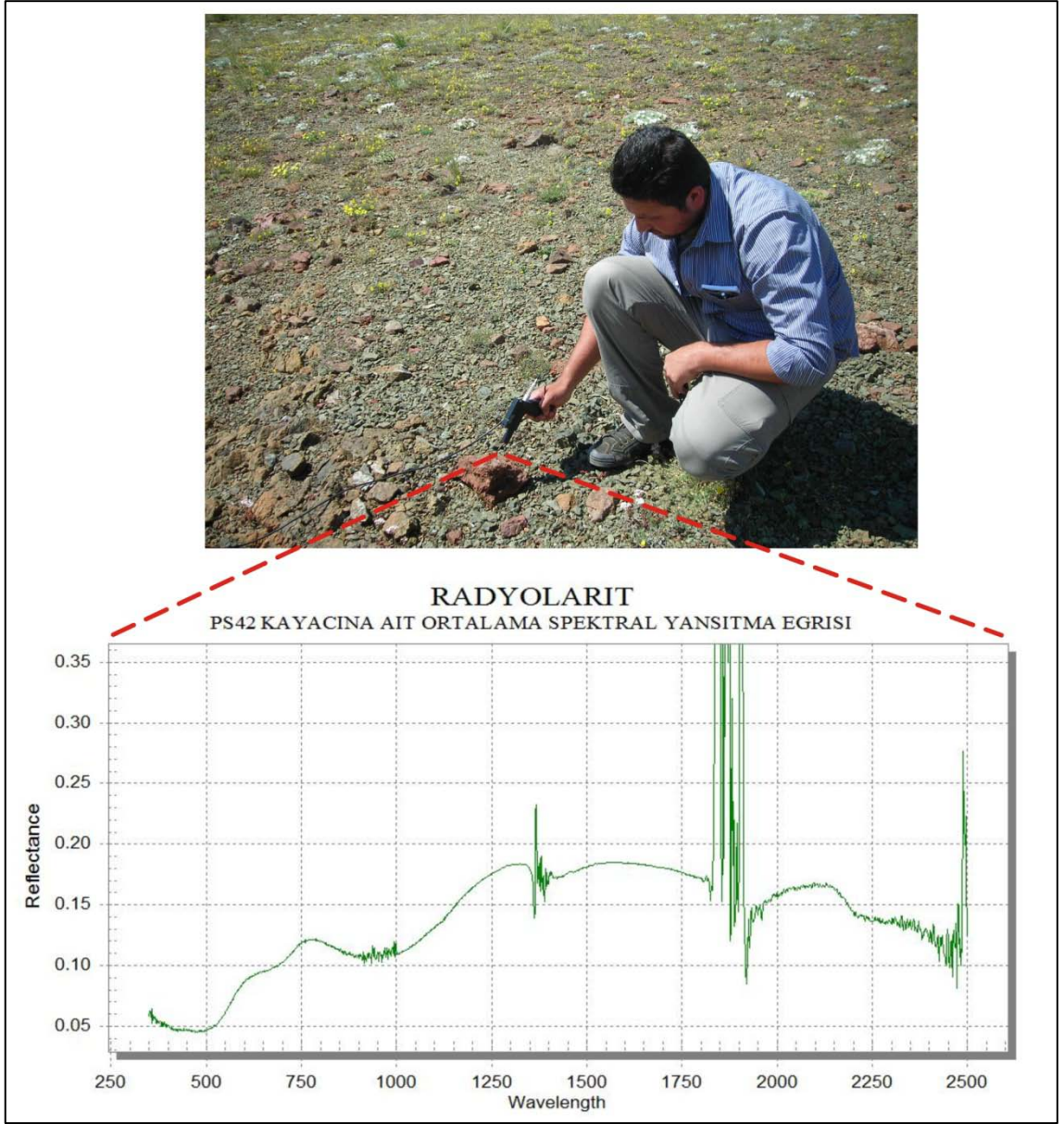
Şekil 5.17: Dunit kayacına ait ortalama spektral yansıtma eğrisi ve ölçüm yapılan bölge

350-2500 nm' lik dalga boyu aralığında piroksenit üzerinde yapılan ölçümlerden elde edilen ortalama spektral yansıtma eğrisi ve ölçüm yapılan bölge Şekil 5.18' de gösterilmiştir.



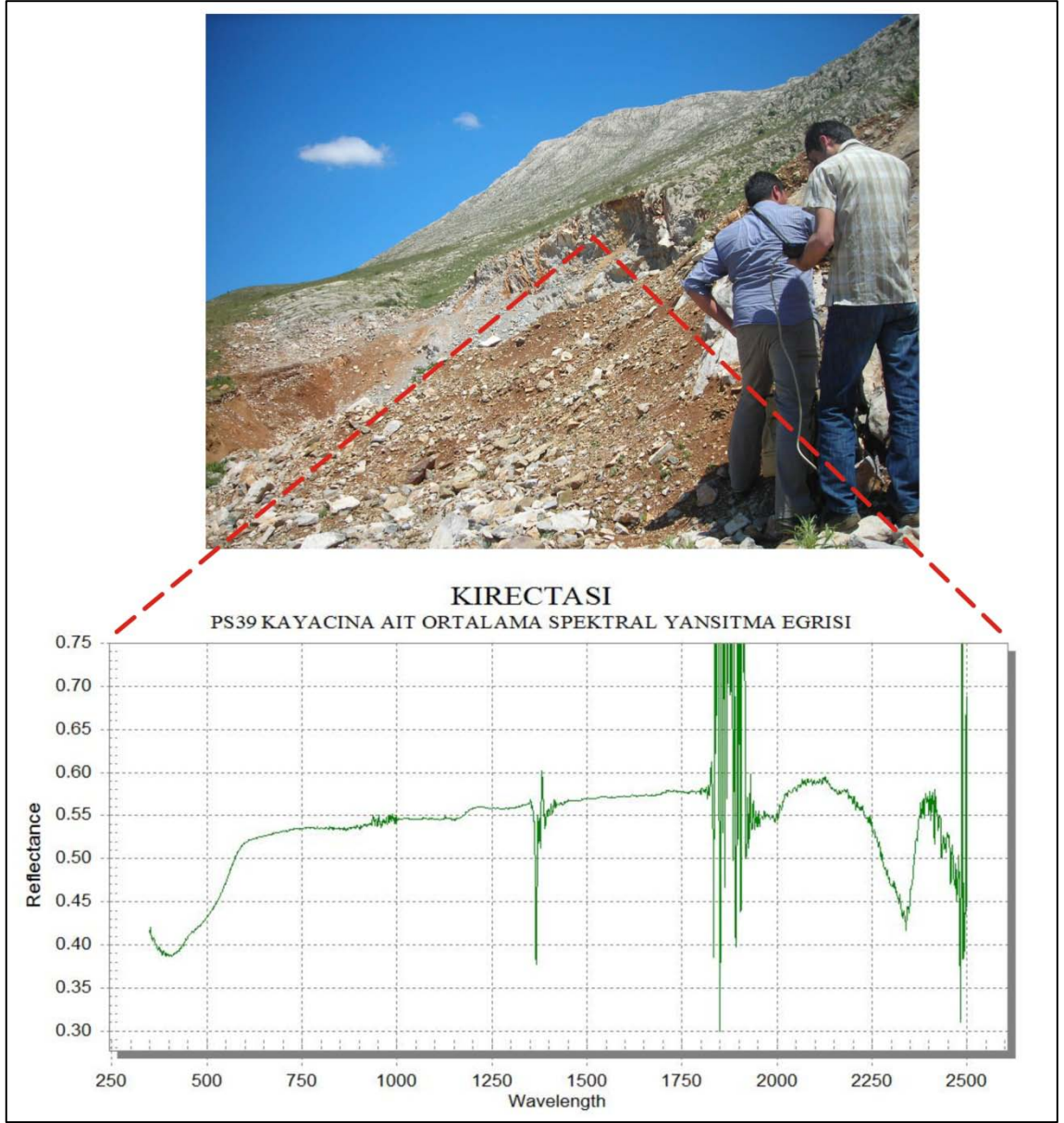
Şekil 5.18: Piroksenit kayacına ait ortalama spektral yansıtma eğrisi ve ölçüm yapılan bölge

350-2500 nm' lik dalga boyu aralığında radyolarit üzerinde yapılan ölçümlerden elde edilen ortalama spektral yansıtma eğrisi ve ölçüm yapılan bölge Şekil 5.19' da gösterilmiştir.



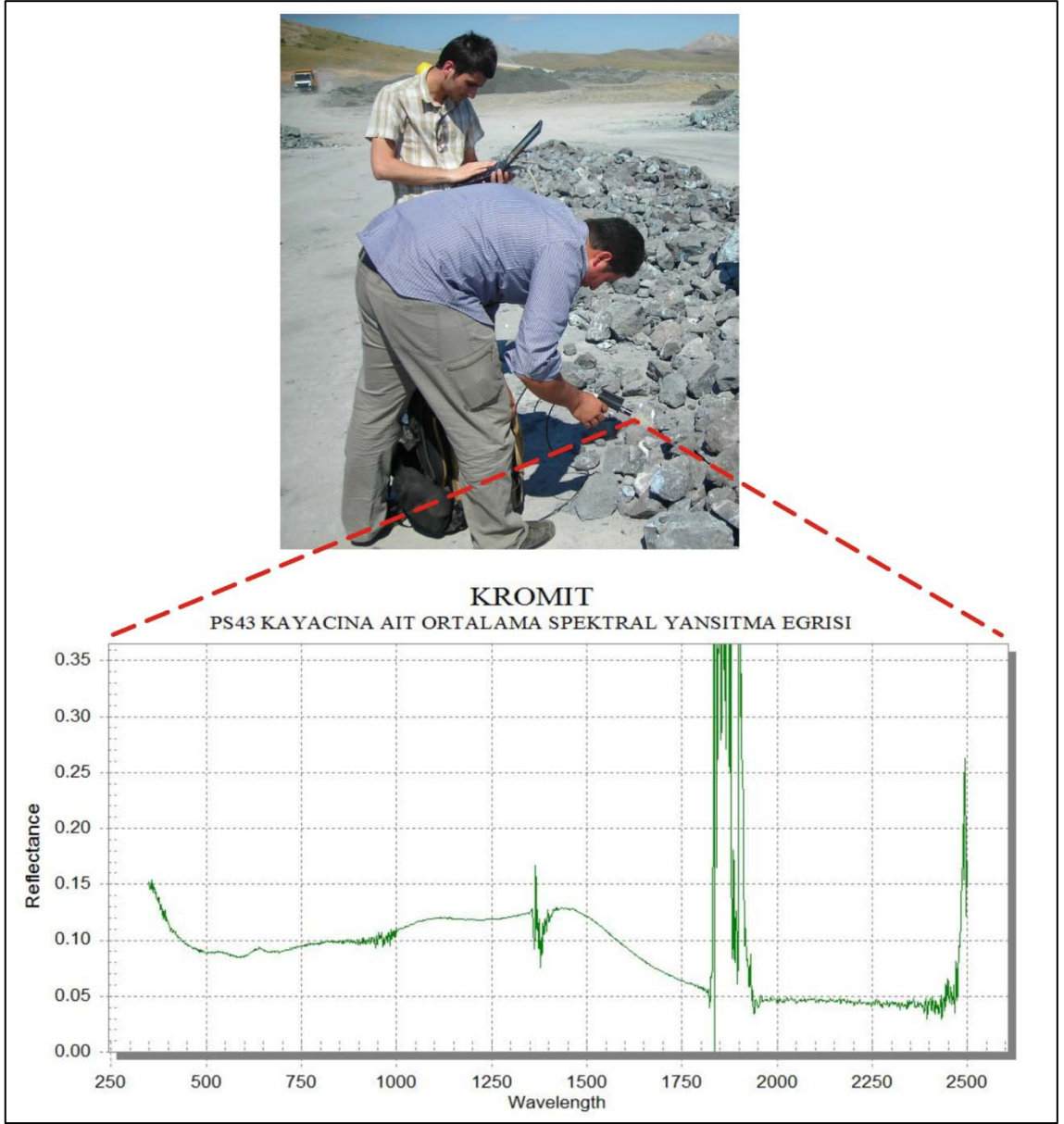
**Şekil 5.19:** Radyolarit kayacına ait ortalama spektral yansıtma eğrisi ve ölçüm yapılan bölge

350-2500 nm' lik dalga boyu aralığında kireçtaşı üzerinde yapılan ölçümlerden elde edilen ortalama spektral yansıtma eğrisi ve ölçüm yapılan bölge Şekil 5.20' de gösterilmiştir.

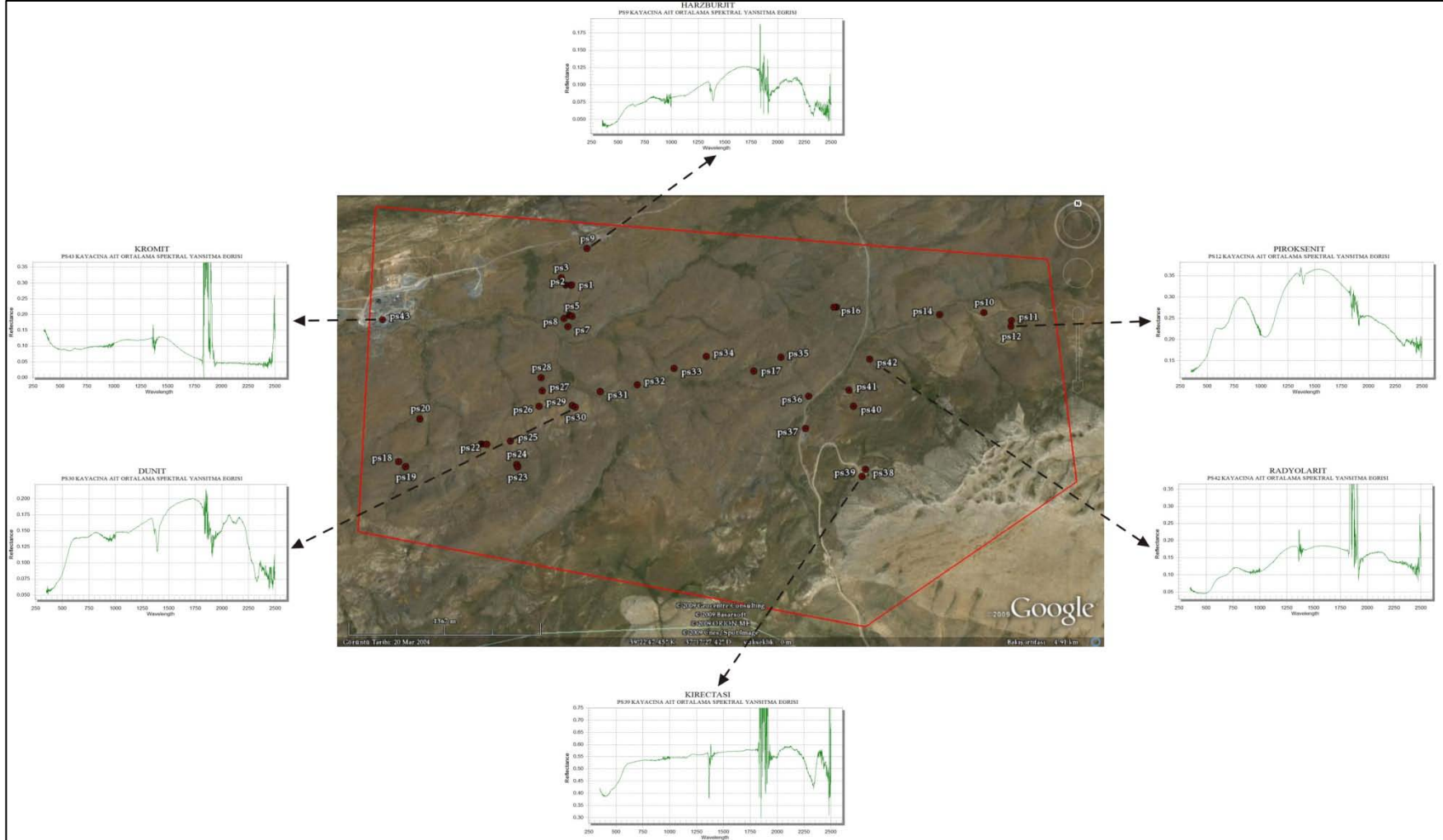


**Şekil 5.20:** Kireçtaşı kayacına ait ortalama spektral yansıtma eğrisi ve ölçüm yapılan bölge

350-2500 nm' lik dalga boyu aralığında kromit üzerinde yapılan ölçümlerden elde edilen ortalama spektral yansıtma eğrisi ve ölçüm yapılan bölge Şekil 5.21' de gösterilmiştir.



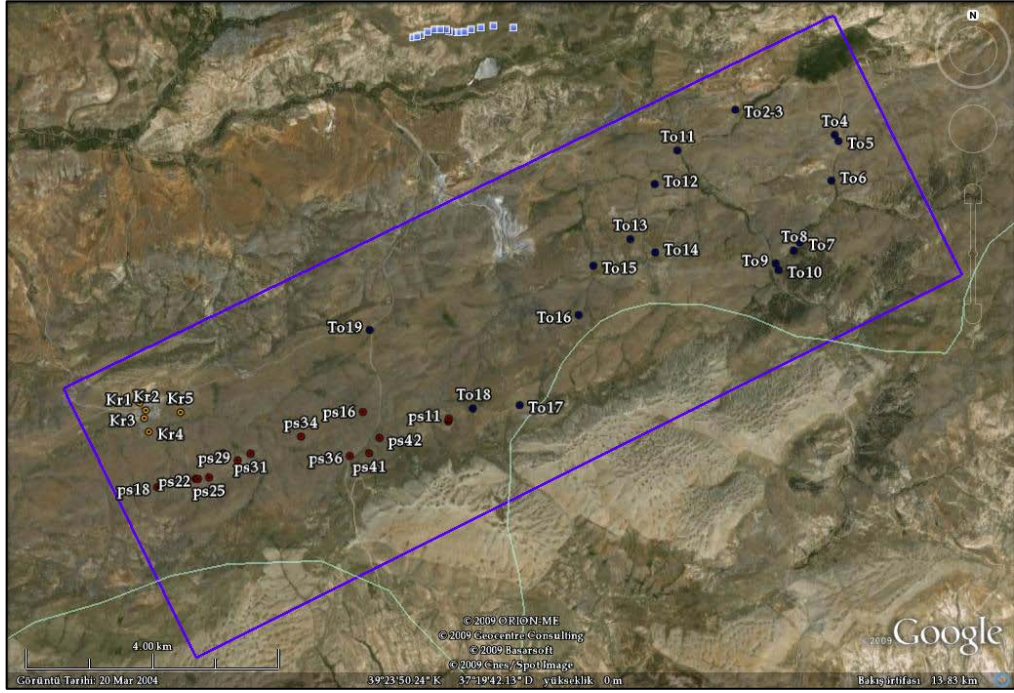
**Şekil 5.21:** Kromite ait ortalama spektral yansıtma eğrisi ve ölçüm yapılan bölge



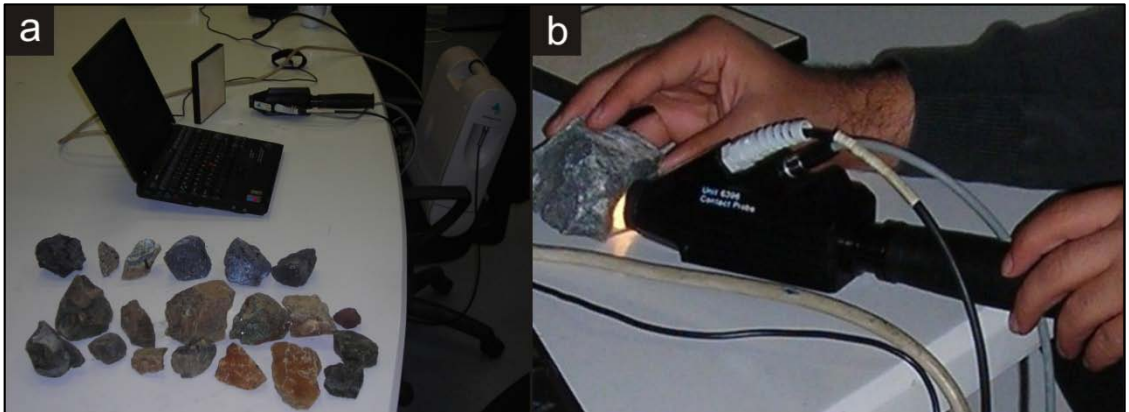
**Şekil 5.22:** İnceleme alanından alınan, farklı kaya gruplarına ait spektral yansıtma eğrileri ve buldukları koordinatları gösteren Google Earth görüntüsü

#### 5.4.7. Laboratuvarda Gerçekleştirilen Spektrometre Ölçümleri

Tezin bu bölümünü inceleme alanı içerisinde bulunan ofiyolitik karışığa ait birimlerden, koordinatlı olarak toplanan kayaçların (Şekil 5.23), İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Uzaktan Algılama Laboratuvarı'nda bulunan özel olarak geliştirilmiş bir donanım olan FieldSpec FR spektrometre ile analiz işlemi oluşturmaktadır (Şekil 5.24 a). Analiz işlemleri laboratuvarda ve yapay ışık kaynağı kullanılarak yapıldığı için spektrometre ölçümü olarak adlandırılmıştır. Arazi ölçümlerinde kullanılan donanımdan farklı olarak, ışık kaynağını kendisi sağlayan kontak prob başlığı kullanılmıştır (Şekil 5.24 b).



Şekil 5.23: Laboratuvar ölçümü için toplanan örneklerin yerlerini gösteren Google Earth görüntüsü



Şekil 5.24: (a) FieldSpec® FR spektrometresi (b) Kontak prob başlık

Ölçümlere başlamadan önce beyaz referans paneli kullanılarak aletin kalibrasyonu yapılmıştır. Ölçümlere başlandıktan sonra, donanım her kaya türü için yapılan ölçümlerden önce optimize edilerek, kalibrasyon işlemi tamamlanmıştır.

Tekrarlanma aralığı 20 olarak belirlendikten sonra, her kaya türü için birer dosya oluşturulmuştur. Belirlenen noktalardan toplanan örnekler üzerinde yapılan tekrarlı ölçümler o örnek için oluşturulmuş olan dosya içerisine kaydedilmiştir. Bu işlem 38 farklı nokta için tekrarlanmış ve her kaya türü için spektral yansıtma eğrisi elde edilmiştir (Tablo 5.2, Şekil 5.34). Laboratuvar ölçümleri sonucu elde edilen spektral yansıtma eğrilerinin tamamı Ek 2' de verilmiştir.

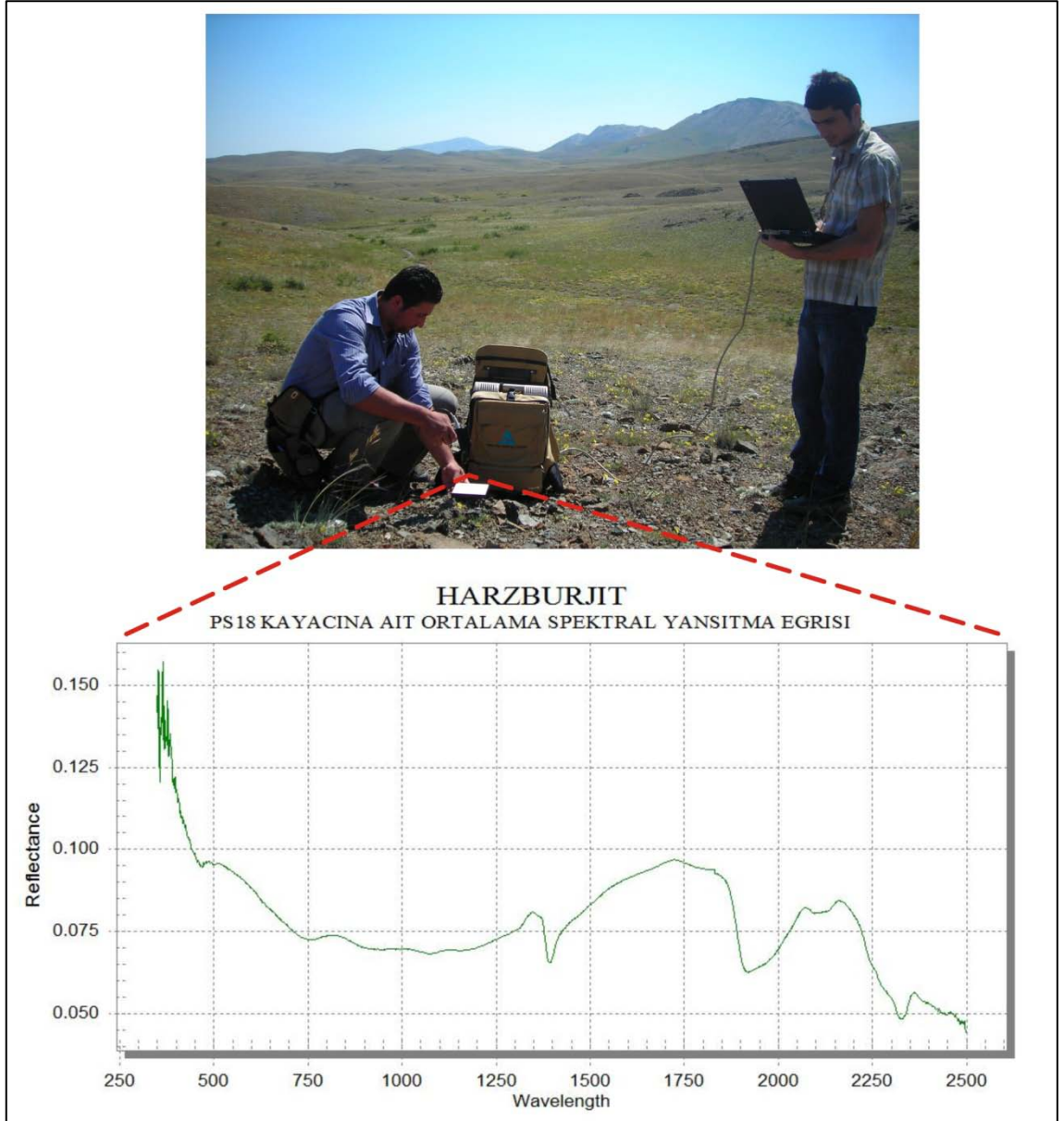
**Tablo 5.2:** Spektrometre ölçümü gerçekleştirilen örnek bilgileri

<b>Nokta No</b>	<b>Nokta Adı</b>	<b>Enlem (K)</b>	<b>Boylam (D)</b>	<b>Yükseklik (m.)</b>	<b>Kaya Türü</b>
1	Ps11	39°23'12.78"	37°19'0.90"	1865	Dunit
2	Ps12	39°23'11.28"	37°19'0.60"	1881	Piroksenit
3	Ps16	39°23'16.20"	37°18'4.02"	1861	Harzburjit
4	Ps18	39°22'37.68"	37°15'47.64"	1791	Harzburjit
5	Ps21	39°22'41.94"	37°16'13.02"	1790	Dunit
6	Ps22	39°22'41.88"	37°16'14.64"	1788	Harzburjit
7	Ps25	39°22'42.66"	37°16'22.02"	1790	Dunit
8	Ps27	39°22'55.02"	37°16'31.26"	1781	Harzburjit
9	Ps29	39°22'51.36"	37°16'40.92"	1786	Harzburjit
10	Ps31	39°22'54.84"	37°16'49.56"	1786	Harzburjit
11	Ps34	39°23'3.60"	37°17'22.98"	1807	Piroksenit
12	Ps36	39°22'53.68"	37°17'55.30"	1798	Harzburjit
13	Ps41	39°22'55.14"	37°18'8.10"	1810	Piroksenit
14	Ps42	39°23'2.94"	37°18'14.94"	1810	Radyolarit
15	To2	39° 25' 51"	37° 22' 11"	1751	Harzburjit
16	To3	39° 25' 51"	37° 22' 11"	1751	Gabro
17	To4	39° 25' 38"	37° 23' 17"	1760	Piroksenit
18	To5	39° 25' 38"	37° 23' 20"	1760	Diyabaz Dayk
19	To6	39° 25' 18"	37° 23' 16"	1731	Diyabaz Dayk
20	To7	39° 24' 46"	37° 22' 53"	1721	Gabro
21	To8	39° 24' 42"	37° 22' 51"	1703	Bantlı Gabro
22	To9	39° 24' 35"	37° 22' 39"	1698	Bantlı Gabro
23	To10	39° 24' 32"	37° 22' 41"	1716	Bantlı Gabro
24	To11	39° 25' 33"	37° 21' 34"	1725	Diyabaz Dayk
25	To12	39° 25' 16"	37° 21' 19"	1745	Diyabaz Dayk
26	To13	39° 24' 48"	37° 21' 02"	1797	Bantlı Gabro
27	To14	39° 24' 41"	37° 21' 19"	1834	Diyabaz Dayk
28	To15	39° 24' 34"	37° 20' 38"	1801	Bantlı Gabro
29	To16	39° 24' 09"	37° 20' 28"	1838	Diyabaz Dayk
30	To17	39° 23' 23"	37° 19' 49"	1919	Piroksenit
31	To18	39° 23' 21"	37° 19' 18"	1894	Bantlı Gabro
32	To19	39° 24' 01"	37° 18' 09"	1820	Diyabaz Dayk
33	Kr1	39° 23' 21"	37° 15' 36"	1754	Kromit
34	Kr2	39° 23' 17"	37° 15' 40"	1709	Kromit
35	Kr3	39° 23' 13"	37° 15' 39"	1737	Kromit
36	Kr4	39° 23' 6"	37° 15' 42"	1755	Kromit
37	Kr5	39° 23' 16"	37° 16' 3"	1752	Kromit
38	Kr6	39° 23' 17"	37° 15' 40"	1709	Dunit



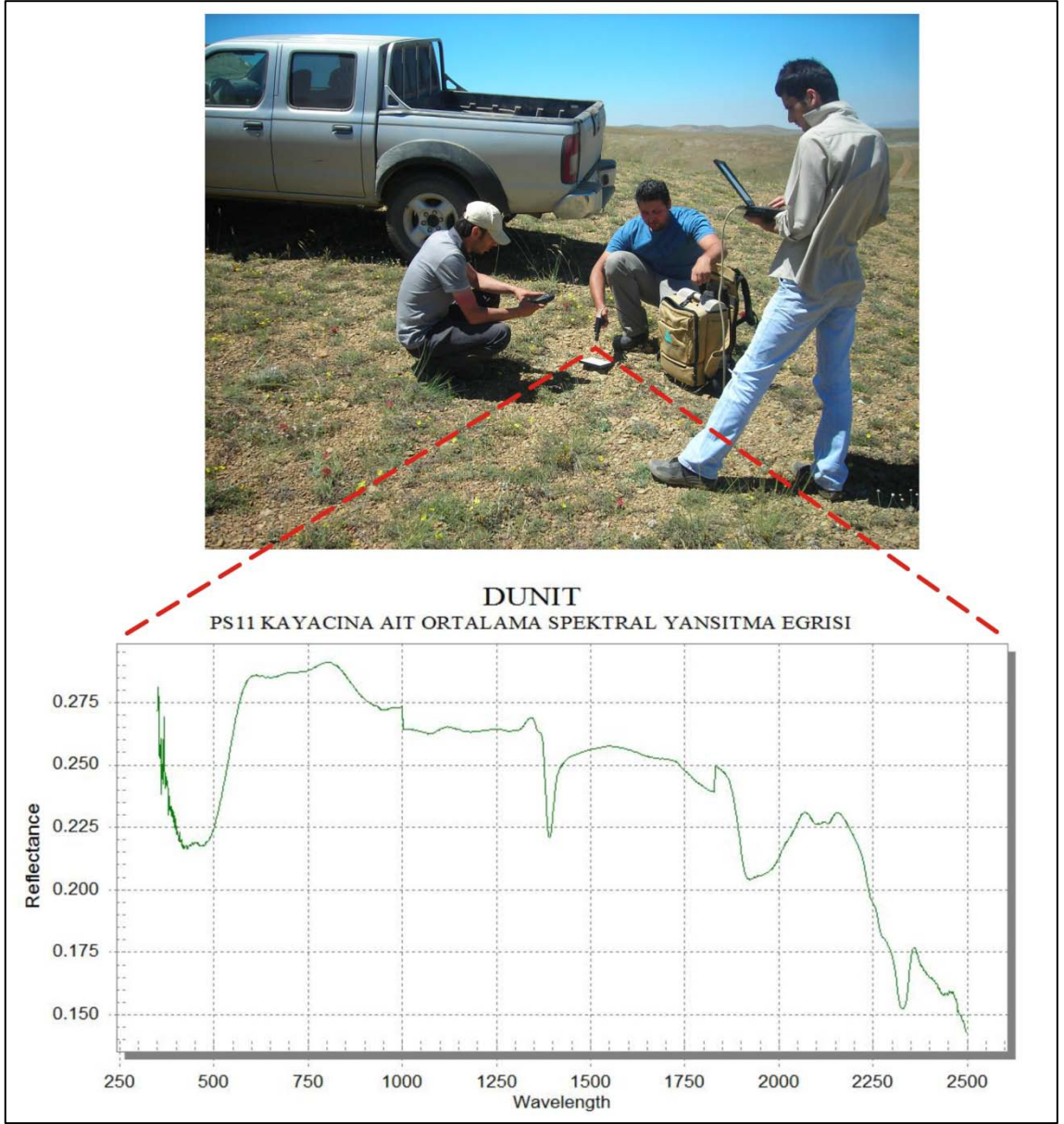
Ofiyolitik karışık içerisinde toplanan örneklerin laboratuvar ölçümleri sonucu 350-2500 nm' lik dalga boyu aralığında harzburjit, dunit, piroksenit, diyabaz dayk, gabro, radyolarit ve kromit gibi farklı kaya gruplarına ait spektral yansıtma eğrileri elde edilmiştir. Ayrıca ölçüm yapılan noktalardan alınan farklı kaya türüne ait örneklerin petrografik analizleri yapılmıştır.

350-2500 nm' lik dalga boyu aralığında harzburjit üzerinde yapılan ölçümlerden elde edilen ortalama spektral yansıtma eğrisi ve örneğin alındığı bölge Şekil 5.25' de gösterilmiştir.



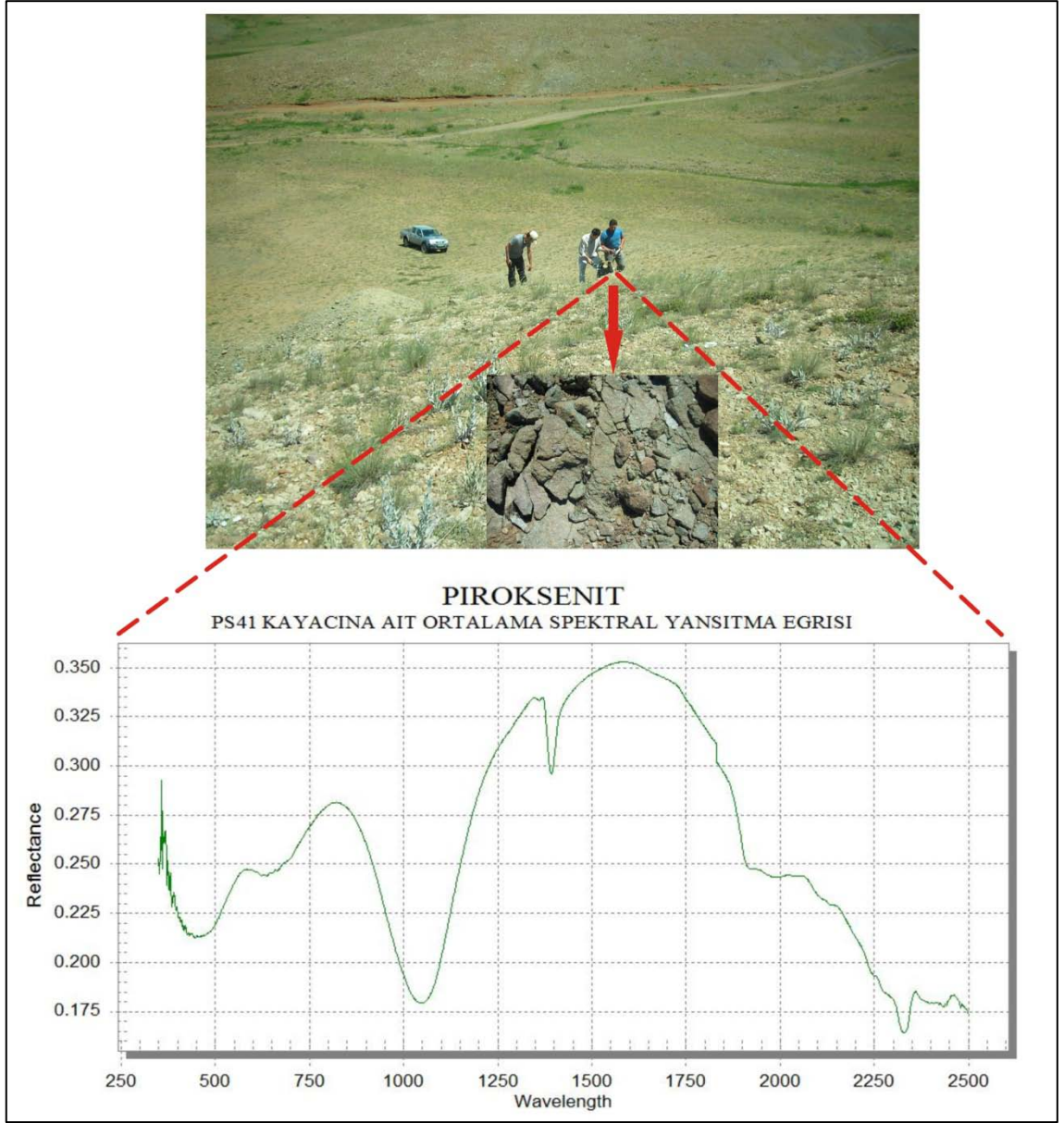
Şekil 5.25: Harzburjit' e ait ortalama spektral yansıtma eğrisi ve örnek alınan bölge

350-2500 nm' lik dalga boyu aralığında dunit üzerinde yapılan ölçümlerden elde edilen ortalama spektral yansıtma eğrisi ve örneğin alındığı bölge Şekil 5.26' da gösterilmiştir.



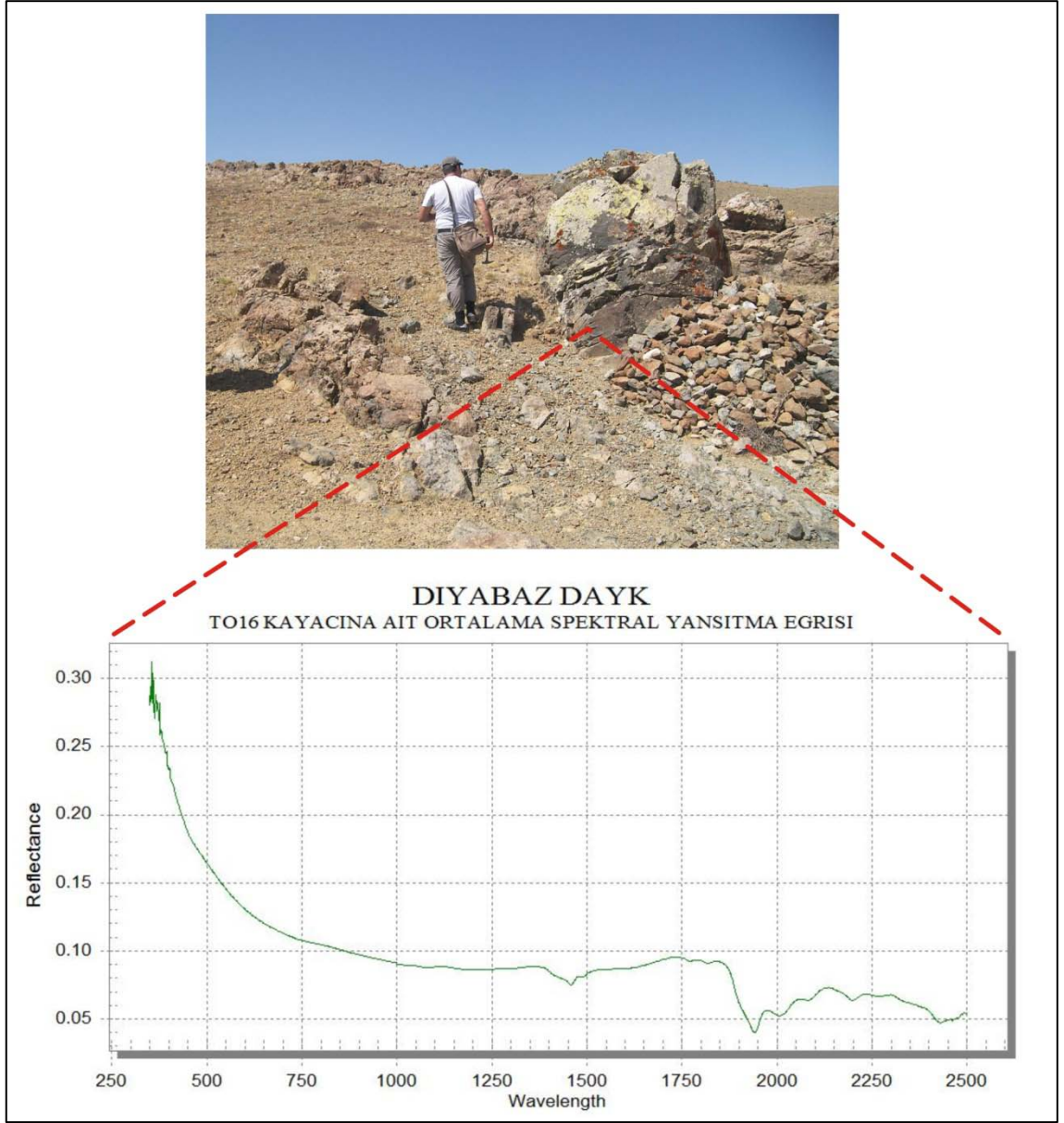
Şekil 5.26: Dunit' e ait ortalama spektral yansıtma eğrisi ve örnek alınan bölge

350-2500 nm' lik dalga boyu aralığında piroksenit üzerinde yapılan ölçümlerden elde edilen ortalama spektral yansıtma eğrisi ve örneğin alındığı bölge Şekil 5.27' de gösterilmiştir.



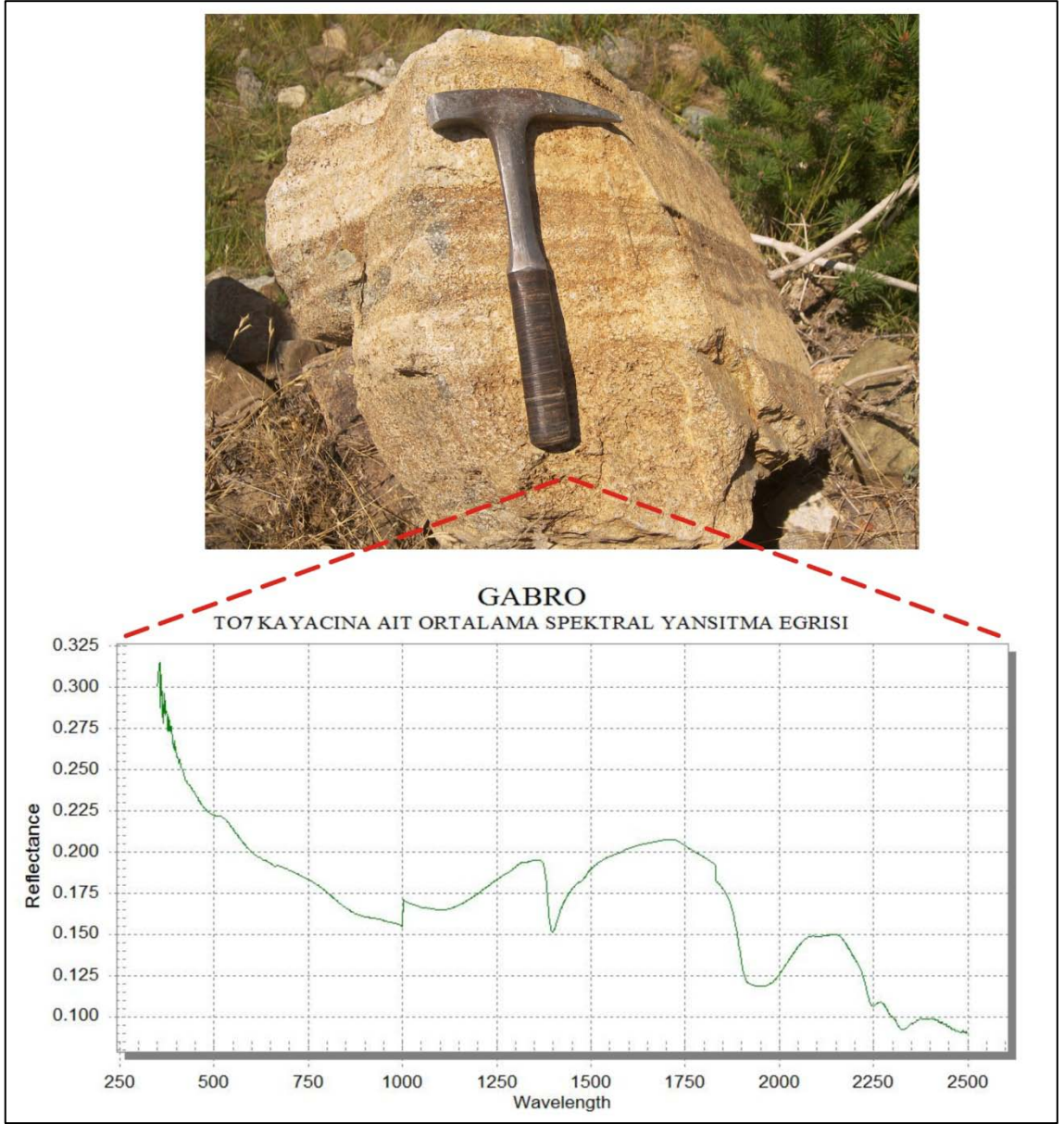
Şekil 5.27: Piroksenit' e ait ortalama spektral yansıtma eğrisi ve örnek alınan bölge

350-2500 nm' lik dalga boyu aralığında diyabaz dayk üzerinde yapılan ölçümlerden elde edilen ortalama spektral yansıtma eğrisi ve örneğin alındığı bölge Şekil 5.28' de gösterilmiştir.



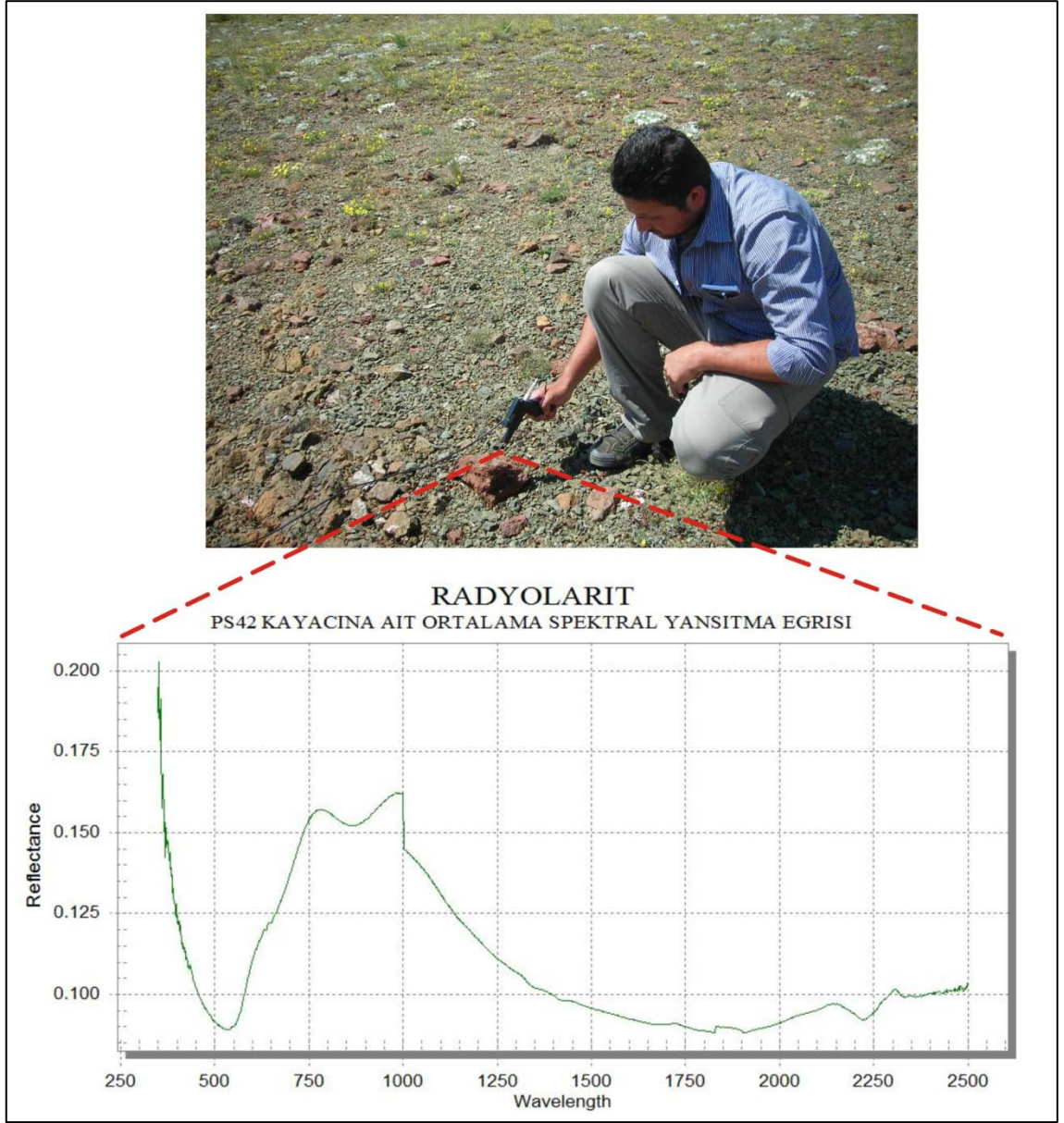
**Şekil 5.28:** Diabaz dayk' a ait ortalama spektral yansıtma eğrisi ve örnek alınan bölge

350-2500 nm' lik dalga boyu aralığında gabro üzerinde yapılan ölçümlerden elde edilen ortalama spektral yansıtma eğrisi ve örneğin alındığı bölge Şekil 5.29' da gösterilmiştir.



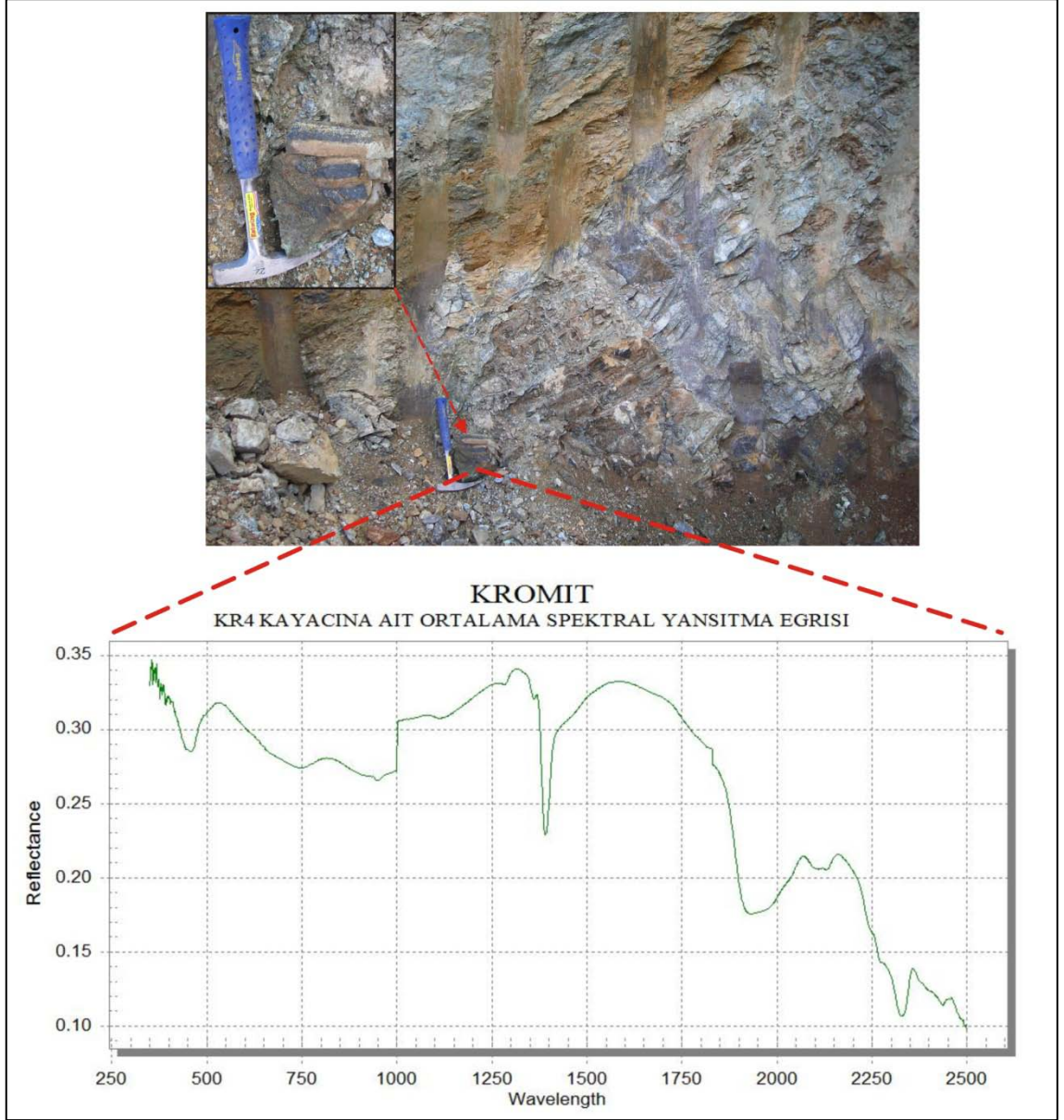
Şekil 5.29: Gabro' ya ait ortalama spektral yansıtma eğrisi ve örnek alınan bölge

350-2500 nm' lik dalga boyu aralığında radyolarit üzerinde yapılan ölçümlerden elde edilen ortalama spektral yansıtma eğrisi ve örneğin alındığı bölge Şekil 5.30' da gösterilmiştir.



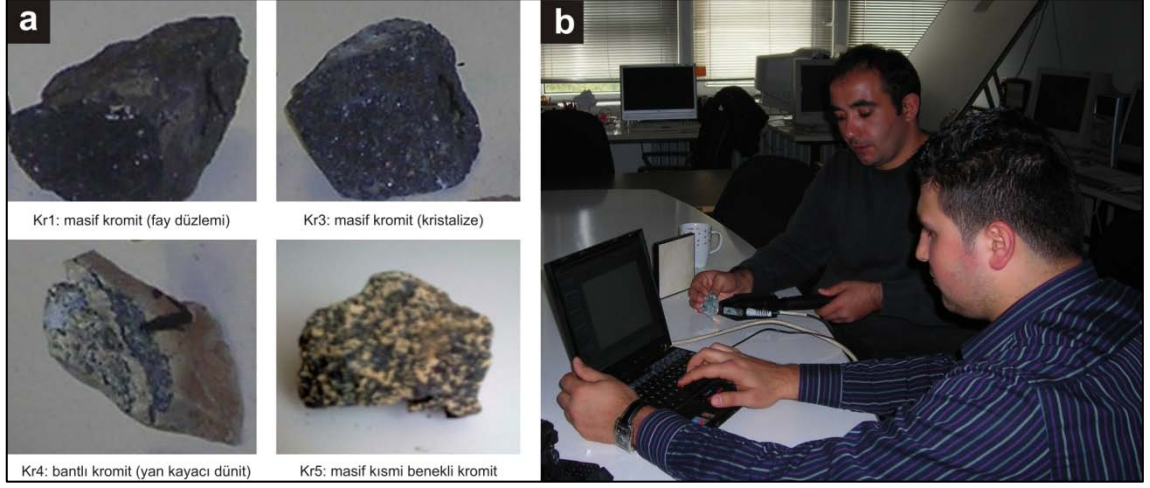
**Şekil 5.30:** Radyolarit' e ait ortalama spektral yansıtma eğrisi ve örnek alınan bölge

Krom işletmesi içerisinde bulunan, cevher çıkarılan bölgeden alınan bantlı kromit (yan kayacı dunit) türünün, 350-2500 nm' lik dalga boyu aralığında ortalama spektral yansıtma eğrisi ve örneğin alındığı bölge Şekil 5.31' de gösterilmiştir.



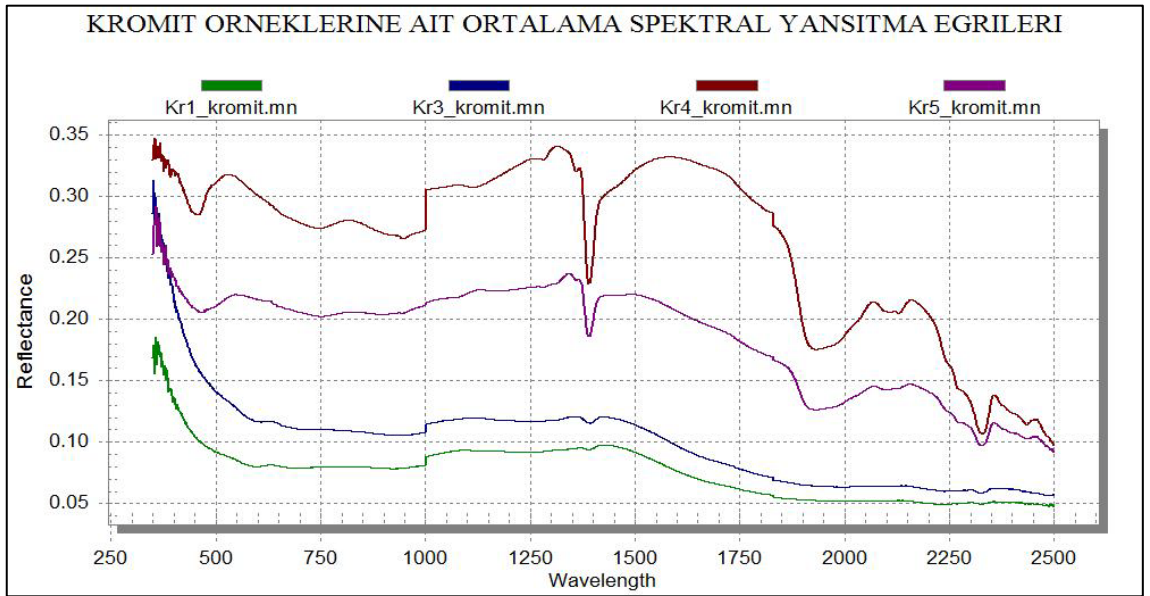
Şekil 5.31: Kromit' e ait ortalama spektral yansıtma eğrisi ve örnek alınan bölge

Bölgede ekonomik anlamda önem taşıyan krom yataklarının ortaya çıkarılmasında temel teşkil eden bu çalışmada bölgedeki krom yataklarından kromit örnekleri alınmış ve bu örnekler üzerinde laboratuvar ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.32).



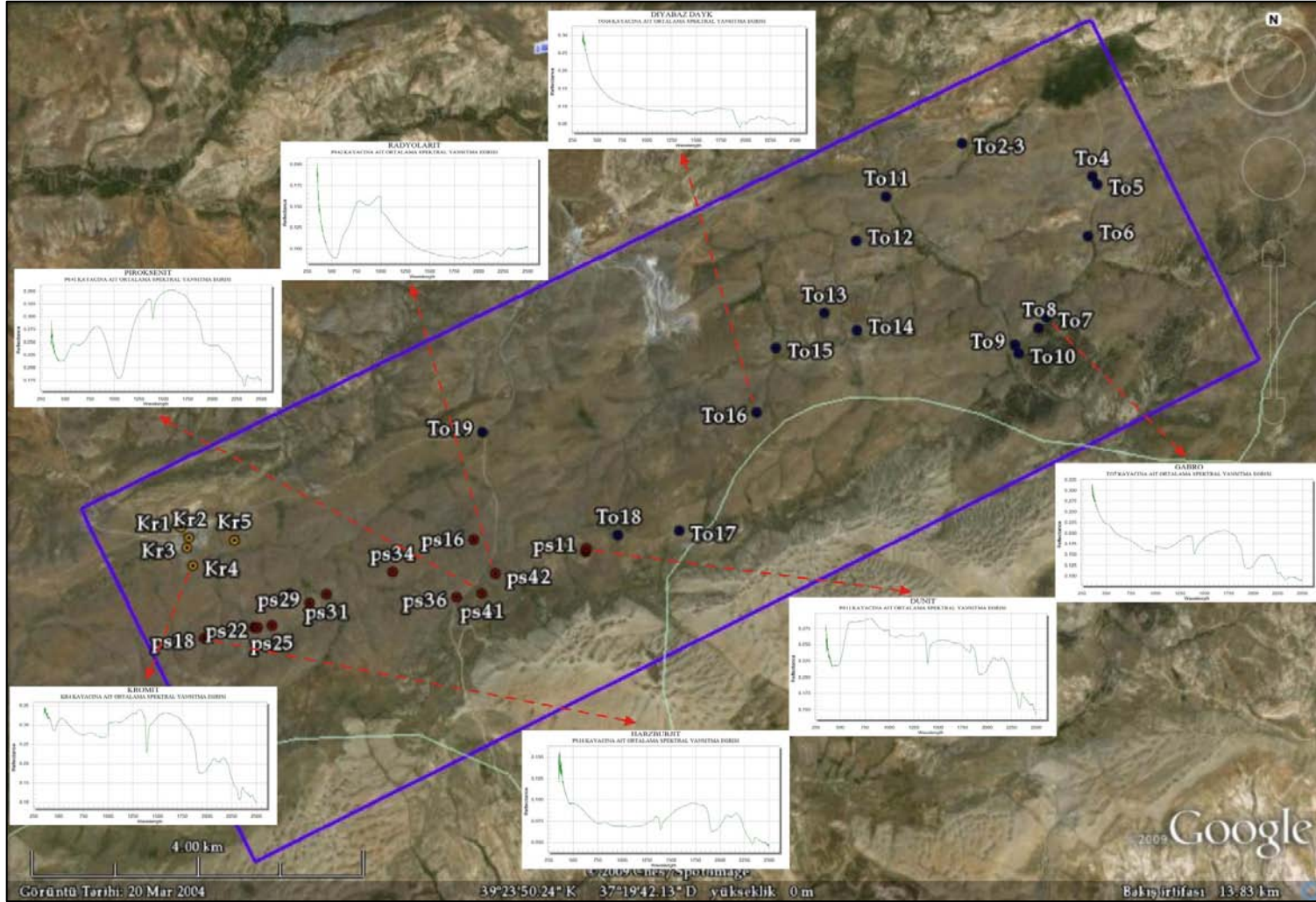
Şekil 5.32: (a) Farklı kromit örnekleri, (b) Laboratuvarda ölçüm işlemi

Ölçümler sonucu elde edilen spektral yansıtma eğrileri incelendiğinde masif kromitlerin, yan kayayla birlikte bulunan kromitlere oranla daha düşük yansıtma gösterdiği sonucu ortaya çıkmıştır (Şekil 5.33).



Şekil 5.33: Kromit örneklerine ait ortalama spektral yansıtma eğrileri

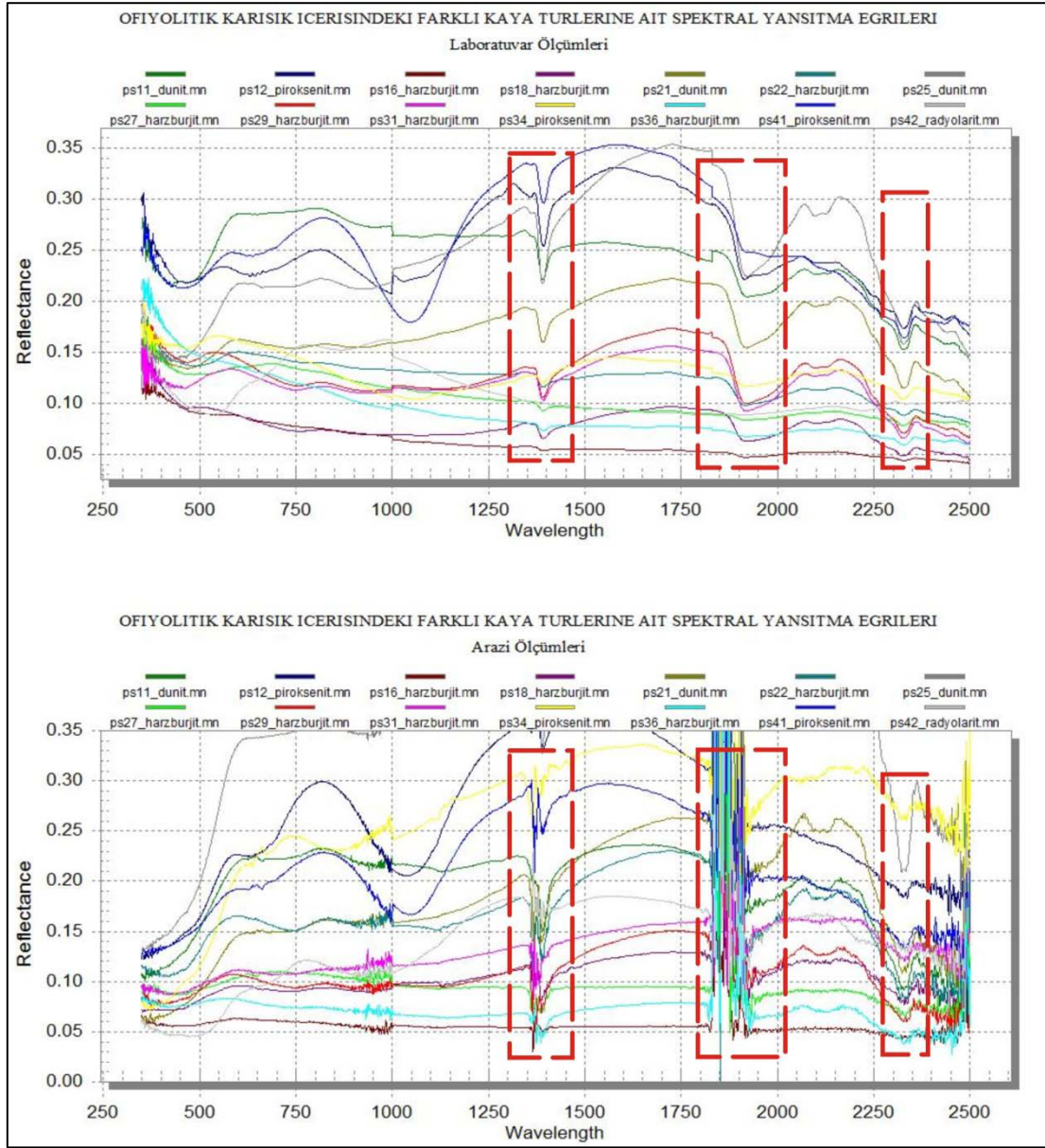




Şekil 5.34: İnceleme alanından alınan, farklı kaya gruplarına ait örneklerin spektral yansıtma eğrileri ve buldukları koordinatları gösteren Google Earth görüntüsü

#### 5.4.8. Değerlendirme

Çalışmada ele alınan farklı kayaç grupları üzerinde gerçekleştirilen arazi ve laboratuvar ölçümleri sonucu spektral yansıtma eğrileri elde edilmiş ve bunlar karşılaştırmalı olarak Şekil 5.35' de gösterilmiştir.



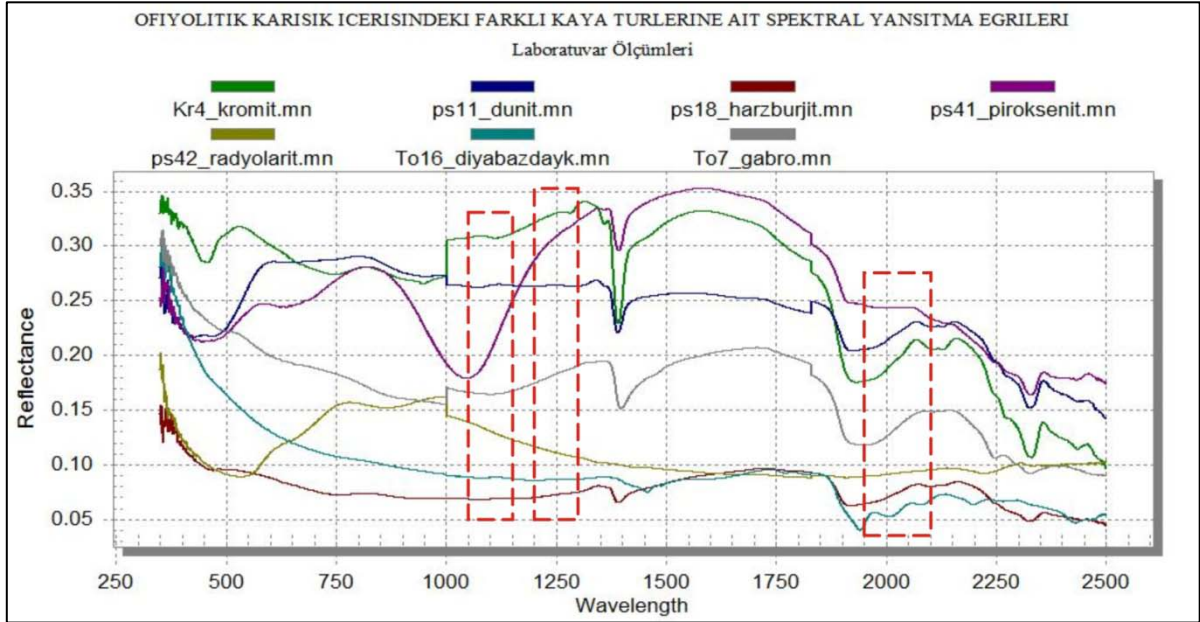
Şekil 5.35: Laboratuvar ve arazi ölçümleri sonucu elde edilen spektral yansıtma eğrilerinin karşılaştırılması

Arazi ve laboratuvar ölçümleri sonucu elde edilen spektral yansıtma eğrilerinin birbirine benzerlik sunduğu ancak araziden elde edilen grafiklerde doğal koşulların etkisiyle grafiksel anlamda parazitlerin bulunduğu gözlemlenmiştir. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen ölçümlerde elde edilen spektral yansıtma eğrilerinin ise daha düzgün ve değerlendirme açısından daha sağlıklı olduğu ortaya çıkarılmıştır. Dolayısıyla spektrallerin değerlendirme aşamasında laboratuvar ortamında gerçekleştirilen ölçümler dikkate alınmıştır (Şekil 5.36).

Ölçümler sonucu elde edilen 7 farklı kaya türüne ait spektral yansıtma eğrisi karşılaştırmalı olarak Şekil 5.36' da gösterilmiştir. Şekilde yer alan grafik incelendiğinde özellikle 1050-1150 nm, 1200-1300 nm ve 1950-2100 nm bölgelerinde bu yedi farklı kaya türünün, inceleme alanı içerisinde yansıma dalga boyu eğrileri yardımıyla birbirinden ayrılabilceği görülmektedir.

İnceleme alanı içerisinde, diğer kaya türlerine oranla daha geniş yayılıma sahip olan birimlerden harzburjit ve dunit spektrasına bakıldığında, harzburjitin dunit göre daha düşük bir yansıma gösterdiği dolayısıyla inceleme yapılacak olan ASTER uydu görüntüleri üzerinde bu iki birimin kolaylıkla birbirinden ayırt edilebileceği gözlenmektedir.

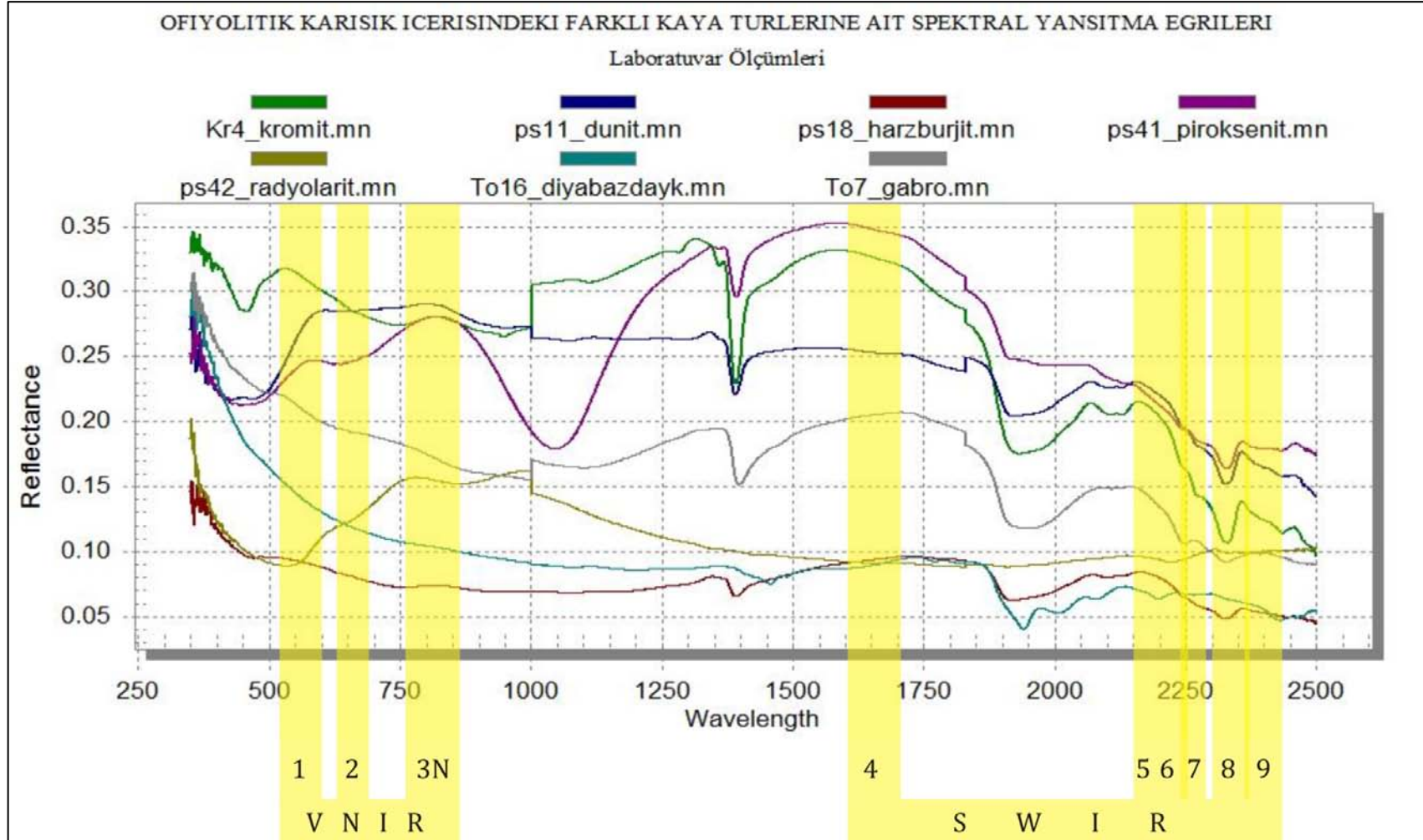
İnceleme alanı içerisinde gözlenen kromit yataklarında, yan kayac genellikle dunitlerden oluşmaktadır. Dolayısıyla bir sonraki bölümde anlatılan görüntü işleme çalışmalarında dunitli bölgelerin sınırlarının ortaya çıkarılması aynı zamanda ekonomik anlamda önem taşıyan kromit yataklarının ortaya çıkarılması ve hedef sahaların daraltılması açısından çok önem taşımaktadır.



**Şekil 5.36:** Laboratuvar ölçümleri sonucu elde edilen farklı kaya gruplarına ait spektral yansıtma eğrileri

ASTER görüntüleri özellikle kayaç tipi tanımlaması, ayrıntılı volkanik aktivite haritalaması, çizgisel ve dairesel yapıların belirlenmesi, hidrotermal alterasyon alanlarının ve mineralojik zon haritalarının hazırlanması, jeotermal alanların belirlenmesi, stereoskopik üç boyutlu görüntü elde edilmesi vb. gibi jeolojik amaçlara yönelik olarak kullanılmaktadır. Bu kullanım alanlarından en önemlisi ASTER görüntülerinin 14 spektral bant aralığına sahip olmasından dolayı, mineral ve alterasyon haritalarının daha ayrıntılı bir şekilde oluşturulmasıdır. Bu işlem sonucunda olası maden potansiyeline sahip bölgeler hakkında mineral bazında ayrıntılı bilgiye sahip olunmaktadır.

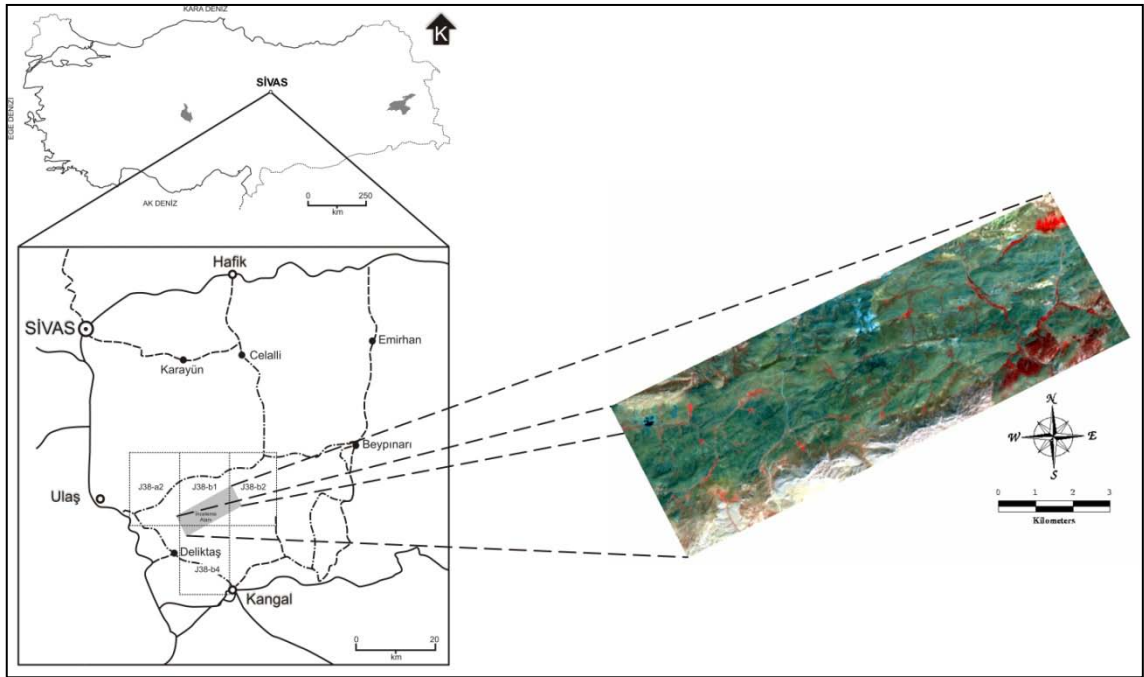
Farklı kaya türlerine ait spektral yansıtma eğrileri ile ASTER uydu verilerinin multispektral bant aralıklarının ilişkisine, yansıma-dalga boyu grafiğinde göz atıldığında 3N, 5 ve 8. bantlarda bu kaya türlerinin birbirinden ayrılabilceği sonucu çıkartılabilir (Şekil 5.37).



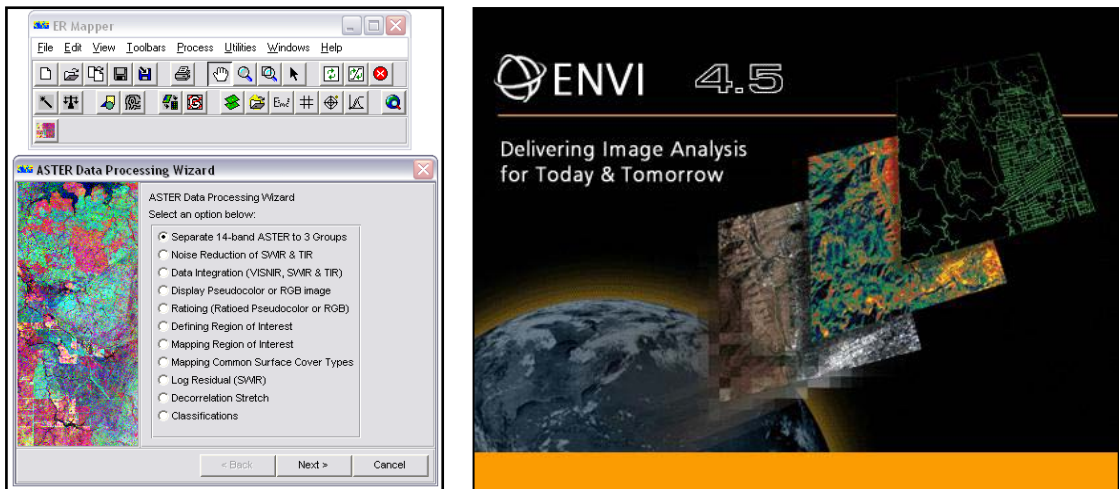
**Şekil 5.37:** Farklı kaya türlerine ait spektral yansıtma eğrilerinin ASTER multispektral uydu verilerinin band aralıkları ile örtüştürülmesinin gösterimi

## 6. UZAKTAN ALGILAMA

Tezin bu bölümünde, inceleme alanını içine alan pg-PR3A0100-2003122003\_005\_001 granül nolu ASTER görüntüsüne (Şekil 6.1), arazide gerçekleştirilen çalışmaları destekleyen ve kontrol etme olanağı sağlayan görüntü işleme yöntemleri uygulanmıştır. Genel olarak spektral zenginleştirme yöntemleri Er Mapper 7.01 görüntü işleme programının ASTER Wizard'ı ve ENVI 4.5 programları yardımıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.2). Spektral zenginleştirme yöntemleri olarak görüntüye bant oranlama (band ratioing), log residual, temel bileşenler analizi (PCA), dekorelasyon gerilmesi, en az parazit bölümlenmesi (MNF) ve sınıflandırma (classification) yöntemleri uygulanmıştır.



Şekil 6.1: Çalışmada kullanılan ASTER uydu görüntüsü

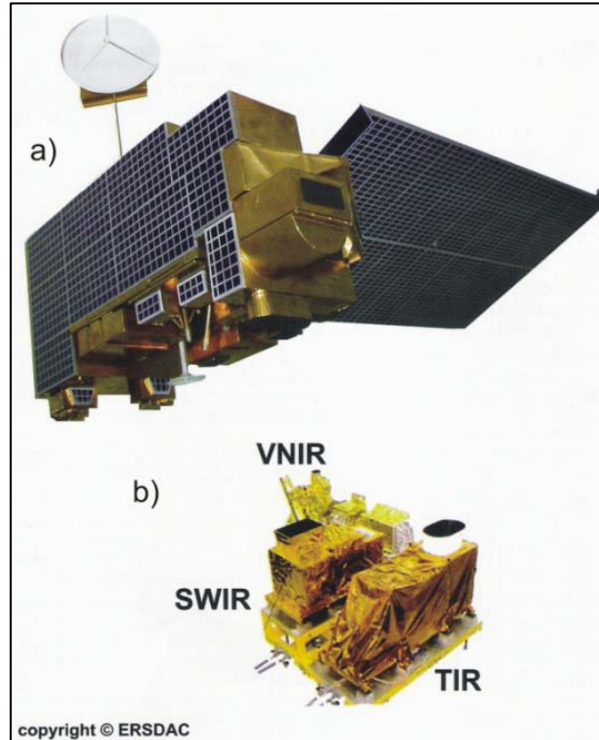


Şekil 6.2: ER Mapper programının ASTER Wizard arayüzü ve ENVI 4.5 programı

### 6.1. ASTER Görüntü Verisi

ASTER algılayıcısı, yer yüzeyinden 705 km. yükseklikteki bir yörüngede hareket eden Terra platformu üzerine monte edilmiştir (Şekil 6.3). ASTER 18 Aralık 1999 yılında California' da bulunan Vandenberg Hava Üssünden fırlatılmıştır. Japonya Uluslararası Ticaret ve Endüstri Bakanlığı (METI) ve Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Uzay Araştırma Merkezi (NASA) tarafından planlanmıştır. ASTER modülü Terra üzerindeki beşinci (MODIS, MISR, CERES, MOPITT) algılayıcıdır. Geniş bir spektral aralığa, yüksek yersel çözünürlüğe sahip olup görünür kırmızı ötesi, kısa dalga kırmızı ötesi ve termal kırmızı ötesi spektral alanlarına sahiptir. ASTER verileri bitki örtüsü ve ekosistem dinamiği, doğal afet izleme, jeoloji ve toprak, kara alanların iklimselliği, hidrojeoloji ve kara alanların değişimi gibi çok değişik alanları kapsayan uygulama alanlarında tercih edilmektedir (Tablo 6.1).

Her bir ASTER görüntüsü 60 x 60 km.<sup>2</sup> 'lik bir alanı kapsamaktadır. ASTER uçuş sırasında sürekli değil, her turda sadece 8 dk. veri kaydı yapan bir algılayıcıdır. Yersel çözünürlüğü dalga boylarına göre değişiklik gösterir. Buna göre; görünür ve yakın kırmızı ötesi (VNIR) dalga boyunda 15 m., kısa dalga kırmızı ötesi (SWIR) dalga boyunda 30 m. ve termal kırmızı ötesi (TIR) dalga boyunda ise 90 m. 'dir (Tablo 6.1). Buna ek olarak yakın kırmızı ötesi bölümündeki geriye-bakış (backward) algılayıcı stereo görüntü oluşturmaya imkan sağlamaktadır.



Şekil 6.3: Terra uydusu (a) ve ASTER algılayıcısının (b) görünümü (ERSDAC)

**Tablo 6.1:** ASTER uydu görüntülerinin bant bilgileri ve birincil uygulama alanları (ASTER User's Guide, 2005)

Alt sistem		Bant no.	Spektral aralık (µm)	Alansal çözünürlük (m)	Birincil uygulama alanları
VNIR	görünür ve yakın kızılötesi (visible and near infrared)	1	0.52 – 0.60	15	jeoloji, demiroksit mineralleri, mercan resiflerinin haritalanması, sayısal yükseklik modeli, buzul izleme, kara alanların sınıflandırılması ve değişim belirleme, bulut sınıflaması, toprak nemliliği, yüzey enerji dengesi, yerleşim yeri gelişimi, bitki örtüsü kapsamı, volkanların izlenmesi, sulak alanların haritalanması.
		2	0.63 – 0.69	15	
		3 N 3 B	0.78 – 0.86	15	
SWIR	kısa dalga kızılötesi (short-wave infrared)	4	1.600 – 1.700	30	jeoloji, hidrotermal alterasyon alanları, toprak sınıflaması, karasal alanların sınıflandırılması, değişim belirleme, yüzey enerji dengesi, volkanların izlenmesi.
		5	2.145 – 2.185	30	
		6	2.185 – 2.225	30	
		7	2.235 – 2.285	30	
		8	2.295 – 2.365	30	
		9	2.360 – 2.430	30	
TIR	termal kızılötesi (thermal infrared)	10	8.125 – 8.475	90	jeoloji, yangın izleme, kara alanların sınıflandırılması, değişim belirleme, bulut sınıflaması, toprak nemliliği, yüzey enerji dengesi, yüzey kinematik ısı, şehir gelişimi, bitki örtüsü, volkan izleme, sulak alanların haritalanması.
		11	8.475 – 8.825	90	
		12	8.925 – 9.275	90	
		13	10.25 – 10.95	90	
		14	10.95 – 11.65	90	

#### 6.1.1. VNIR bantları

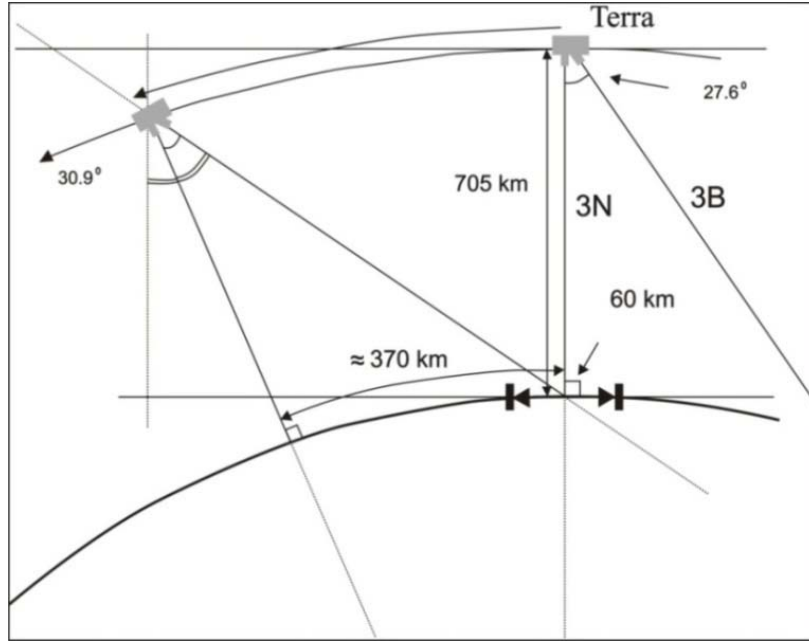
VNIR' de nadire yönlendirilmiş üç kanallı bir CCD detektörü ve nadirden 27.7<sup>0</sup> arkaya bakan tek kanallı bir dedektör vardır. Bu dedektör sayesinde uçuş yönünde, baz-yükseklik oranı 0.6 olan stereoskopik kayıtlar yapılabilir (Tablo 6.2). Bu kayıtlar düşeyde doğruluk duyarlılığı yüksek olan sayısal yükseklik modeli üretiminde kullanılmaktadır.

Terra uydusundan bindirmeli görüntü çekimleri sadece ASTER' in VNIR algılayıcısı tarafından yapılmaktadır. Nadir ve geriye yönelmiş olan birbirinden bağımsız iki teleskopu sayesinde aynı yörüngede çok kısa bir süre içerisinde istenen bölgenin bindirmeli görüntüleri çekilebilmektedir (Şekil 6.4). Bu iki teleskop arasındaki bakış açısı yaklaşık olarak 27.6<sup>0</sup> dir ve bu da aynı yörüngede 0.6 değerinde bir baz yükseklik (base to height-B/H) oranına denk

gelmektedir. Ayrıca bu iki teleskop  $\pm 24^\circ$  yan bakış açısı özelliğine de sahiptir. Bu sayede aynı yörünge üzerinde bindirmeli görüntü almasının yanı sıra farklı yörüngelerden de daha iyi bir (B/H) oranıyla (1'e yakın) bindirmeli görüntü çekebilmektedir (Toutin,2002).

**Tablo 6.2:** VNIR cihazının bazı özellikleri (ASTER User Guide)

Teleskoplar	Nadir ve Geriye yönelmiş
Tayfsal genişliği	Nadir için Yeşil, Kırmızı ve NIR Geriye-bakış için NIR
Çözünürlük	15 m.
Aynı yörüngede B/H oranı	0.6
En yüksek yan bakış açısı	$\pm 24^\circ$
Kapsadığı alan	60x60 km.
Örnekleme aralığı	8 bit



**Şekil 6.4:** ASTER' in aynı yörüngeden bindirmeli görüntü çekimi (Hirano ve diğ., 2003)



### 6.1.2. SWIR bantları

SWIR alt sistemi nadire yönlendirilmiş 6 kanallı (kanal 4-9) bir kamera ya da teleskoptur. Uçuşa dik doğrultuda nadire göre  $8.55^{\circ}$  eğik olarak da yönlendirilebilmektedir.

### 6.1.3. TIR bantları

TIR termal kızılötesi spektrum alanında 5 kanaldan oluşan bir algılayıcıdır ve her bir kanalda da 10 detektörü vardır. Önceki iki algılayıcı iten mekanizmalı iken TIR döner mekanizmalı çalışmaktadır. Döner ayna hem uçuşa dik doğrultuda tarama, hem de cihazı nadire göre  $8.55^{\circ}$  eğik yönlendirme için kullanılır.

### 6.1.4. Jeolojik Uygulamalarda Kullanılan ASTER Level 3A Verilerinin Teknik Özellikleri

ASTER Level 3A verisi, yükseklik farklılıklarına bağlı olarak oluşan coğrafik bozukluklardan temizlenmiş (ortorektifiye) bir üründür. ASTER Level 3A verisi, toplam 14+1 bant ve 3 sayısal yükseklik modelinden oluşan bir veridir. Coğrafik pozisyon için her piksele karşılık gelen yükseklik verisi uygulanmıştır.

ASTER Level 3A verisinde, VNIR ve SWIR bantları 8 bit, TIR bantları 16 bit ve sayısal yükseklik verileri (DEMZV, DEMZS, DEMZT) 16 bit olarak gelmektedir. ASTER Level 3A verisi içinde bulunan sayısal yükseklik modelleri (DEMZV, DEMZS, DEMZT) içinde (-9999) değeri null değer olarak atanmakta olup ASTER Level 3A verisi, konumsal doğruluk olarak x,y' de  $\pm 50$  m., z (DEM)' de ise  $\pm 30$  m. (relatif) değerlerine sahiptir. ASTER Level 3A verisi, bütün bantları ve sayısal yükseklik modelleri dahil tek bir veri altında .hdf veya .dat uzantısı halinde gelmektedir.

### 6.1.5 Jeolojik Uygulamalarda ASTER Uydu Görüntülerinin Kullanımı

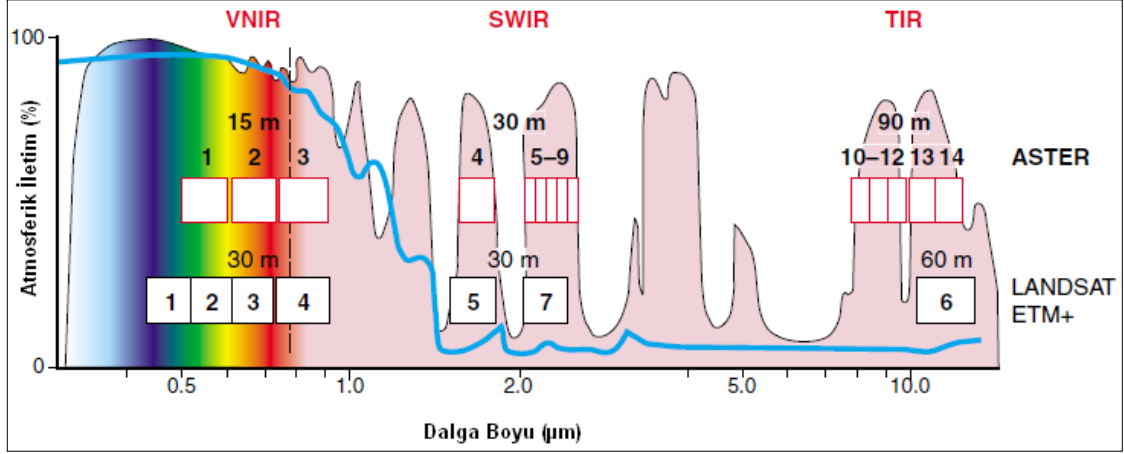
ASTER görüntüleri özellikle kayaç tipi tanımlaması, ayrıntılı volkanik aktivite haritalaması, çizgisel ve dairesel yapıların belirlenmesi, hidrotermal alterasyon alanlarının ve mineralojik zon haritalarının hazırlanması, jeotermal alanların belirlenmesi, stereoskopik üç boyutlu görüntü elde edilmesi vb. gibi jeolojik amaçlara yönelik olarak kullanılmaktadır. Bu kullanım alanlarından en önemlisi ASTER görüntülerinin 14 spektral aralığına sahip olmasından dolayı, mineral ve alterasyon haritalarının daha ayrıntılı bir şekilde oluşturulmasıdır. Bu işlem sonucunda olası maden potansiyeline sahip bölgeler hakkında mineral bazında ayrıntılı bilgiye sahip olunmaktadır.

Bunun dışında ASTER görüntülerinden elde edilen stereoskopik üç boyutlu görüntüler sayesinde fotojeolojik çalışmalar da yapılabilmektedir.

## 6.2. Görüntü İşleme Çalışmaları

ASTER uydu görüntüsünün yüksek çözünürlüklü VNIR ve SWIR bantları, (RGB) kompozit olarak görüntülendiğinde litolojik birimlerin sınırlarını belirlemede yardımcı olmaktadır. Değişik bant kombinasyonları sayesinde arazide yüzeyleyen kaya türü, bitki örtüsü ve su ile kaplı alanlar açığa çıkarılabilmektedir.

Bu amaçla inceleme alanında yüzey örtü tiplerini en iyi şekilde ifade eden bant kombinasyonunun oluşturulması için yapılan çalışmada ASTER 631 bant kombinasyonu en uygun bileşiklerden birisi olarak ortaya çıkarılmıştır. Bu kombinasyon Landsat TM 742 (RGB) bant kombinasyonuna hemen hemen denk gelebilecek kombinasyondur (Pena ve Abdelselam, 2006) (Şekil 6.5).



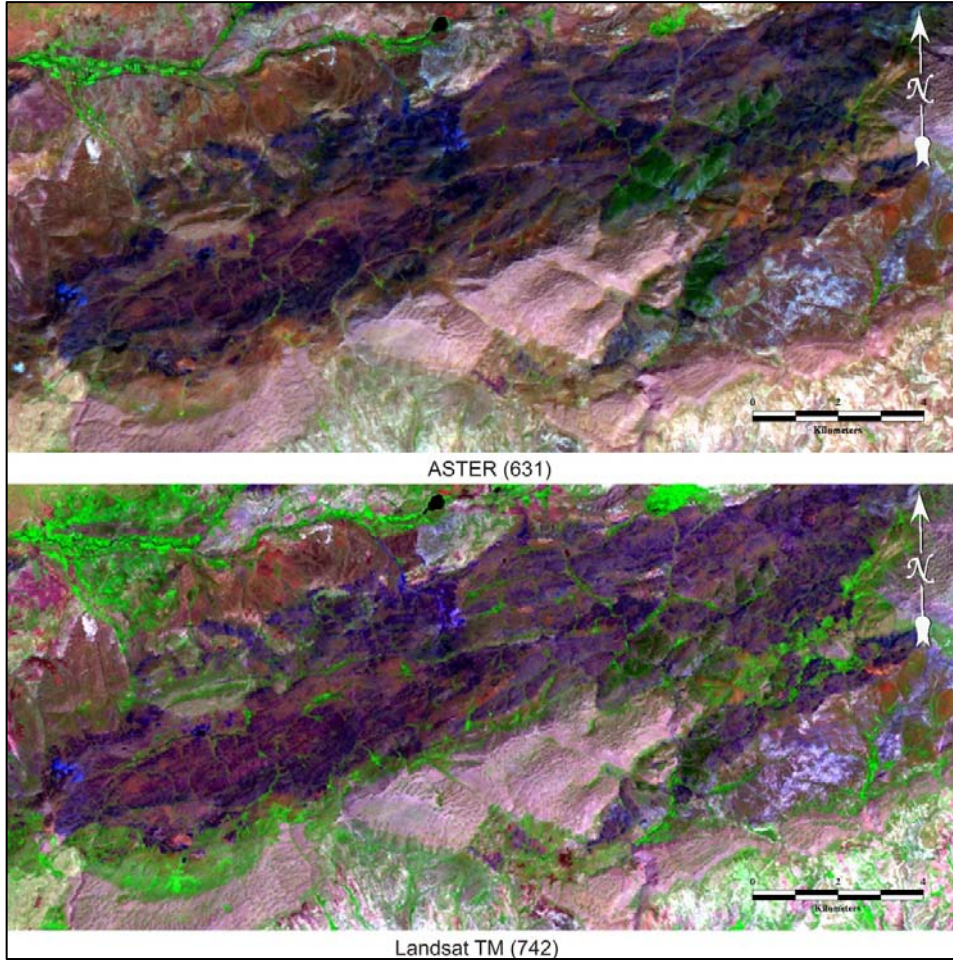
**Şekil 6.5:** ASTER uydu görüntülerine ait bantlar ile Landsat ETM+ uydu görüntüsüne ait bantların karşılaştırılması (NASA)

Şekil 6.6' da görülebileceği gibi bitki örtüsüne karşılık gelen yeşil renk dışındaki bölgeler genel olarak inceleme alanında yüzeyleyen kaya birimlerine karşılık gelmektedir.

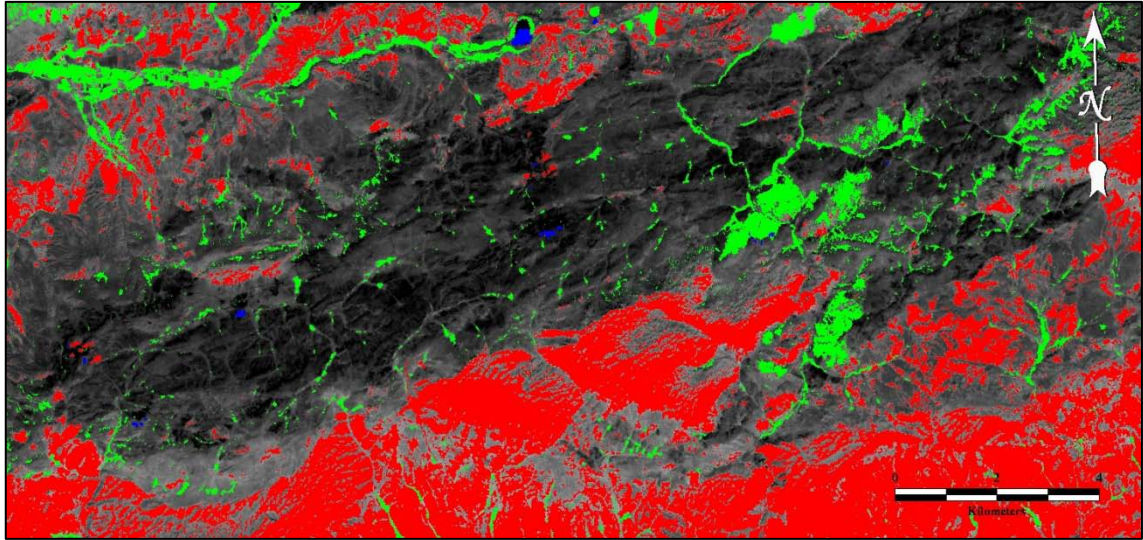
Bu görüntü görsel olarak değerlendirildiğinde orta kısımda izlenen eflatun, koyu mavi renkteki bölgelerin Üst Kretase yaşlı ofiyolitik karışığa ait birimleri temsil ettiği ve kendi içinde ayrılanma sunduğu söylenebilir. Bu birimlerin güneyinde yüzeyleyen açık pembe ve krem renkli alanlarda yüzeyleyen birimlerin ise Üst Triyas-Kretase yaşlı kireçtaşı ve Kangal Havzası'na ait Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı genç kırıntılı birimlere karşılık geldikleri söylenebilir.

Ayrıca inceleme alanının su, bitki örtüsü ve yüzeyleyen jeolojik birimleri de içine alan ve bu örtü tipleri dışındaki bölgeleri beraber gösteren algoritmalar yardımıyla görüntüler elde etmek de mümkündür. Er Mapper 7.01 yardımıyla ASTER Wizard' da bulunan algoritmayla bu duruma bir yaklaşım yapılabilir (Şekil 6.7).

Şekil 6.7' deki görüntüde kırmızı renkte gözlenen bölgeler, jeolojik birimlerin yüzeylediği bölgelere karşılık gelir. Yeşil renk, bitki örtüsünü, mavi renk ise, göl ve ırmakların dahil olduğu su kütlelerine karşılık gelir. Bunun dışında siyahla kalan alanların bulunduğu bölgelerin ise bölgedeki jeolojik birimlerden Üst Kretase yaşlı ofiyolitik karışığı temsil ettiği söylenebilir.

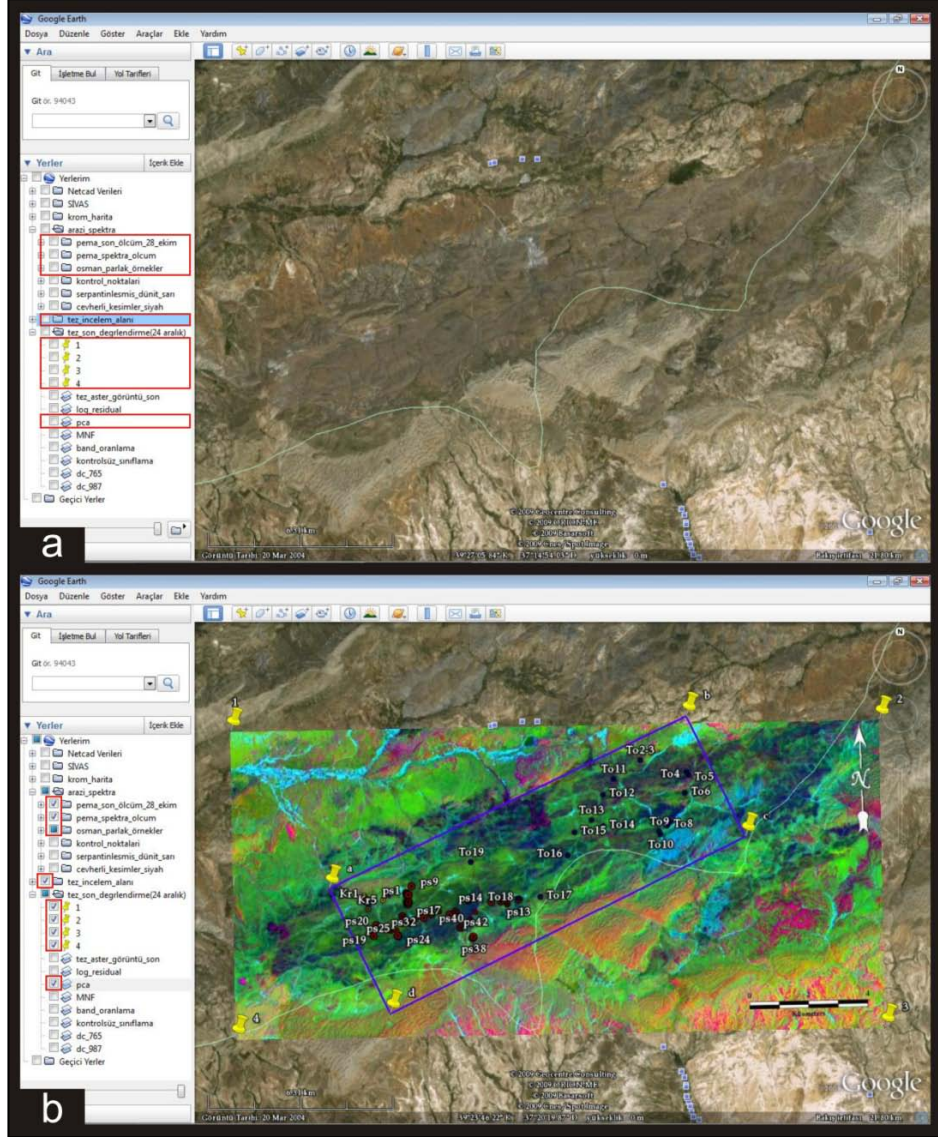


**Şekil 6.6:** ASTER 631 (RGB) ve Landsat TM 742 (RGB) bant kombinasyonlarının karşılaştırılması (Eflatun-koyu mavi-lacivert renk Üst Kretase yaşlı ofiyolitik karışığa ait birimleri, açık pembe-krem renk Üst Triyas-Kretase yaşlı kireçtaşı ve Kangal Havzası'na ait Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı genç kırıntılı birimleri gösterir)



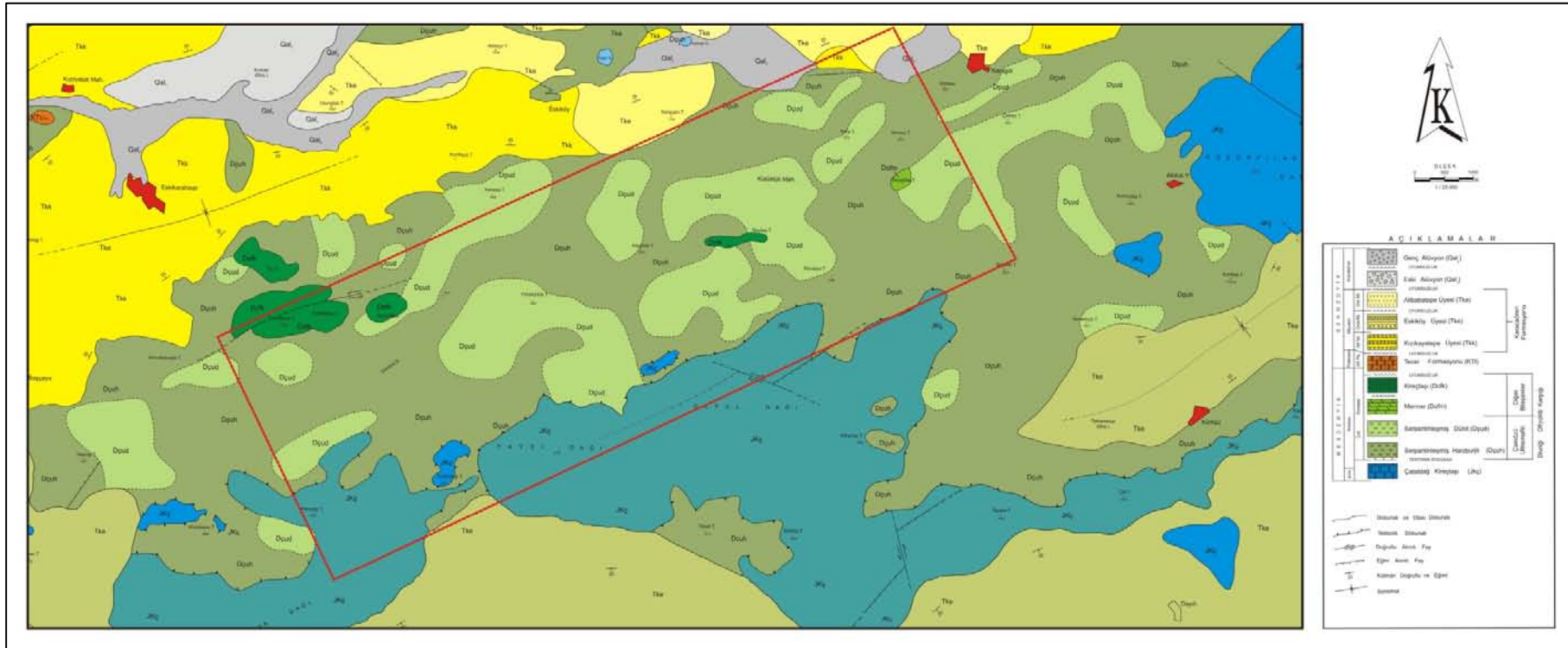
**Şekil 6.7:** İnceleme alanında su, bitki örtüsü ve yüzeleyen jeolojik birimlerin gözlenebildiği görüntü (kırmızı renk jeolojik birimlerin yüzelediği bölgeleri, yeşil renk bitki örtüsünü, mavi renk su kütlelerini, siyahla kalan alanlar Üst Kretase yaşlı ofiyolitik karışığı gösterir)

Spektral zenginleştirme çalışmaları sonucu elde edilen görüntülerin değerlendirilmesi amacıyla, Google Earth programı üzerine arazi ölçümlerinin ve örneklemelerinin yapıldığı noktalar ile görüntüler koordinatlı olarak yerleştirilmiştir. Google Earth programı tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmaların değerlendirilmesi aşamasında bir veritabanı oluşturulmasını sağlamıştır (Şekil 6.8).



**Şekil 6.8:** (a) Google Earth programında oluşturulan veri tabanı, (b) Veritabanı üzerinde ilgili verilerin seçilerek değerlendirme işleminin yapılması

Bölgede krom yatakları ile ilgili olarak daha önce yapılmış olan maden jeolojisi çalışmalarından, Koptagel ve Gökçe' nin 1991 yılında yapmış oldukları “ Başçayır – Dağönü (Ulaş-Sivas) Yöresinde Divriği Ofiyolitli Karışığının Ana Bileşenleri ve Kromit Yataklarının Jeolojisi ” başlıklı çalışmayla elde edilen jeoloji haritası, tezin bu bölümünde gerçekleştirilen görüntü işleme çalışmaları sonucu elde edilen görüntülerin yorumlanması amacıyla referans olarak kullanılmıştır (Şekil 6.9).



Şekil 6.9: İnceleme alanına ait jeoloji haritası (Koptagel ve Gökçe, 1991)

### 6.2.1. Bant Oranlama (Band Ratioing)

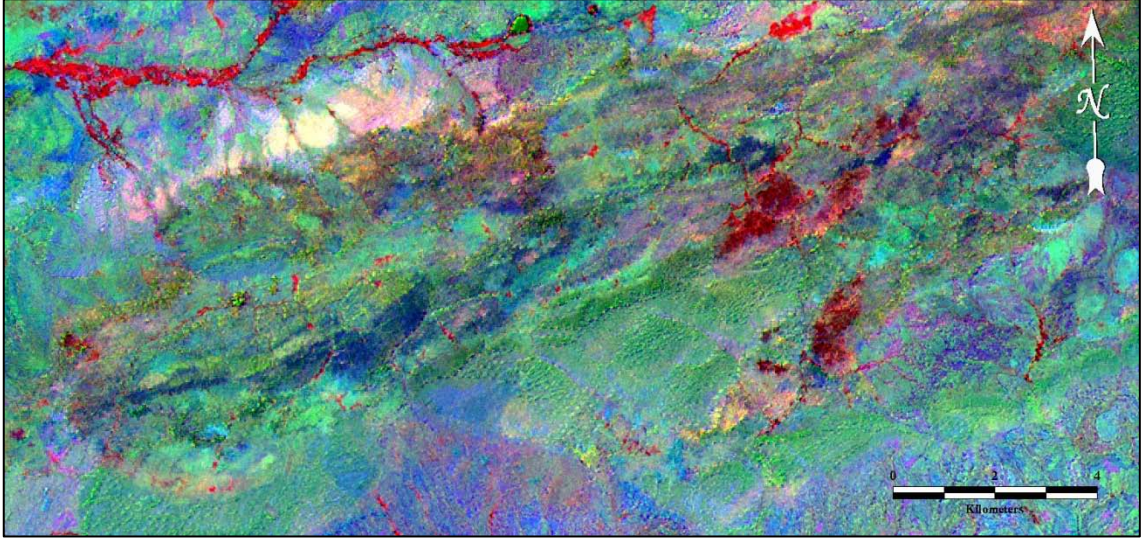
Oranlama, görüntü işleme çalışmalarında spektral kanalların ve dolayısıyla görüntüler üzerindeki gösterimleri olan piksellerle ilişkili matematiksel bir bölme işlemiyle karakterize olur. Bant oranlaması ile materyaller arasındaki spektral farklılıklar belirginleştirilir. Ayrıca topografik ve gölge etkileri en aza indirilir. Bu işleme göre, yeryüzü objelerinin yüksek yansımaya değerinin düşük yansımaya değerindeki banda bölünmesiyle inceleme alanında yüzeyleyen farklı kayaç gruplarının yayılımları hakkında sağlıklı yorumlar yapabilmek mümkün olmaktadır.

Bant oranlarından yararlanarak ASTER verileri için RGB (Red-Green-Blue) kompozit görüntüleri elde edilebilir (Tablo 6.3).

**Tablo 6.3:** RGB görüntü elde etmek için kullanılan oranlar (Kaliknowski ve Oliver, 2004)

Özellikler	Kırmızı	Yeşil	Mavi	Referans
Bitki ve görünür bantlar	3, 3/2, veya NDVI	2	1	-
AlOH mineralleri/ İleri arjilik alterasyon	5/6 Fenjit	7/6 Muskovit	7/5 Kaolinit	Hewson ve diğ., 2001-2004
Kil, amfibol, laterit	(5x7)/6 <sup>2</sup> Kil	6/8 Amfibol	4/5 Laterit	Bierwith, 2002
Alterasyon yerel kayalar	4/2	4/5	5/6	Volesky ve diğ., 2003
Alterasyon yerel kayalar	6	2	1	-
Dekorelasyon	13	12	10	Bierwith, 2002
Silika, karbonat, temel içerik	(11x11)/10/12	13/14	12/13	Bierwith, 2002
Silika, karbonat	(11x11)/(10x12)	13/14	12/13	Ninoyima, 2002
Silika	11/10	11/12	13/10	Hewson ve diğ., 2001-2004
Haritalama için ayırım	4/1	3/1	12/14	Abdelsalam, 2001
Sülfite zengin alanlarda ayırım	12	5	3	-
Ayırım	4/7	4/1	(2/3) x (4/3)	Sultan, 1986
Ayırım	4/7	4/3	2/1	Abrams ve Hook, 1995
Silika, Fe <sup>2+</sup>	14/12	(1/2) + (5/3)	MNF Bant 1	Rowan ve Mars, 2003
Yapısal özelliklerin vurgulanması	7	4	2	Rowan ve Mars, 2003

Jeolojik uygulamalar için oldukça önemli olan bant oranlama çalışmalarına örnek olarak verilebilecek aşağıdaki örnekte Abram oranı olarak da bilinen ve ASTER görüntülerinde 4/7, 4/3, 2/1 (RGB) bant kombinasyonuna karşılık gelen renk bileşimi olarak görülmektedir (Şekil 6.10). Bu bileşimi oluşturan 4/7 oranı kırmızı renk ile temsil edilmekte olup bitki örtüsüne karşılık gelmekte, 4/3 oranı kil ve karbonatlı kaya gruplarını ifade etmekte olup görüntüde yeşil renkli bölgelerin bu kayaları ifade ettikleri söylenebilir. 2/1 oranı ise demir içeriğinin yoğun olarak bulunduğu bölgeleri göstermekte olup görüntüde mavi renkte gözlenir.

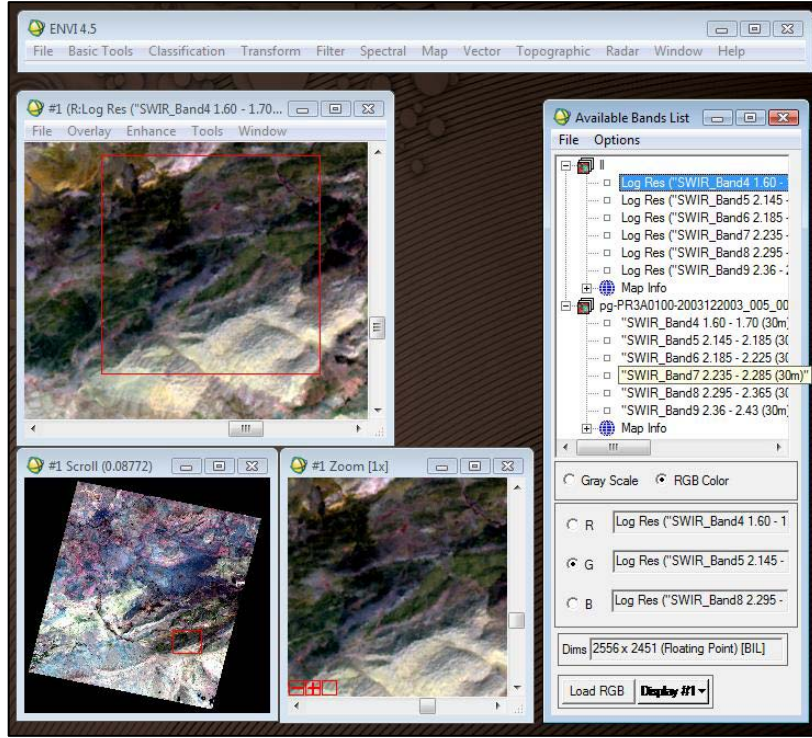


**Şekil 6.10:** ASTER 4/7, 4/3, 2/1 (RGB) kombinasyonu (kırmızı renk (4/7) bitki örtüsünü, yeşil renk (4/3) kil ve karbonatlı kaya gruplarını, mavi renk (2/1) demir içeriğinin yoğun olarak bulunduğu bölgeleri gösterir)

### 6.2.2. Log Residual

Bu görüntü işlem yöntemi ilk olarak CSIRO (Australian Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) tarafından 1980'lerde Landsat TM görüntüleri ve havadan alınan uzaktan algılama verileri için kullanılan bir yöntemdir. Yöntemin amacı görüntüler üzerinde topografya, algılayıcı ve güneş aydınlatmasından kaynaklanan parazitlerin giderilmesi (Green ve Craig, 1985) olup görüntü bu işlem sonucunda açık arazilerde toprak veya kayanın daha iyi bir şekilde temsil edilmesine neden olur. Bu yöntem iki adımda gerçekleşir. Bunlardan ilkinin kısa dalga kızılötesi bantlara ilave olarak bu bantların ortalaması bir bandın eklenmesi ve bu işlemi ifade eden bir formülün uygulanmasını kapsar. İlke olarak bu yöntemin görünür ve yansıyan kızılötesi dalga boylarına sahip bantlarda uygulanması esastır.

Bu işlem ENVI 4.5 programı kullanılarak, **spectral > preprocessing > calibration utilities > log residuals** menüleri yardımıyla gerçekleştirilmiştir. SWIR kanalına ait 4,5 ve 8. bantlar sırasıyla kırmızı, yeşil ve mavi' ye (RGB) atanmıştır (Khan ve Mahmood, 2008) (Şekil 6.11).



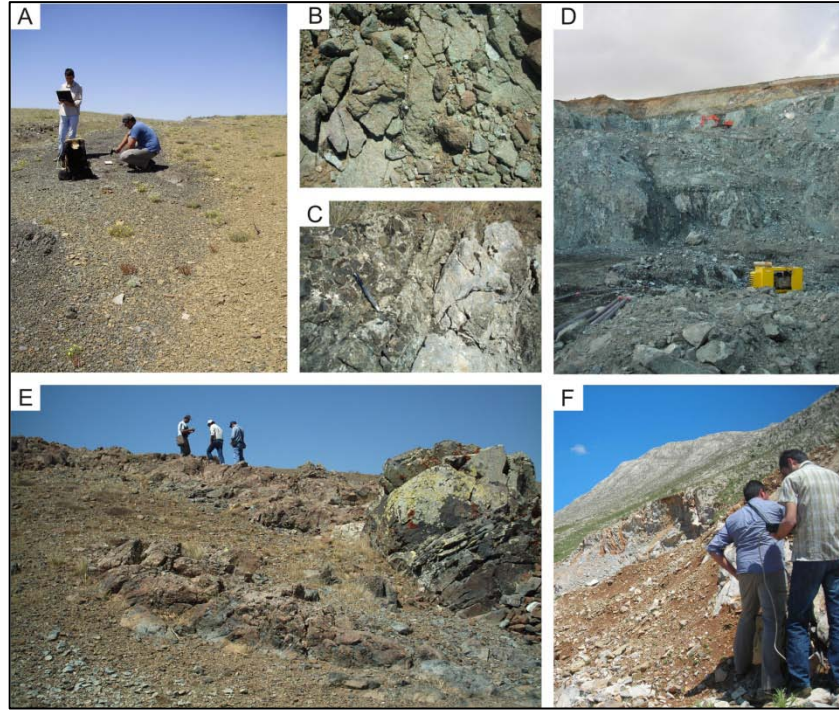
**Şekil 6.11:** ENVI 4.5 programında log residual işleminin gerçekleştirilmesi

İşlem sonucu elde edilen görüntüde ofiyolitik karışığa ait birimler içerisinde litolojik olarak ayrılanma gözlenmiştir (Şekil 6.12). Genel olarak kireçtaşı, piroksenit, serpantinize dünit, harzburjit, gabro, diyabaz dayk ve genç kırıntılı birimler görüntü üzerinde gösterilmiştir. Yüzey örtü tiplerinden bitki örtüsüne karşılık gelen alanlar ise görüntü üzerinde ayrıca belirtilmiştir (Şekil 6.13).



**Şekil 6.12:** Log residual uygulaması, ASTER SWIR bantlarından 4,5 ve 8' in kırmızı, yeşil ve maviye atanması sonucu elde edilmiştir. Görüntüde serpantinize dünit, harzburjit, piroksenit, kireçtaşı, gabro, diyabaz dayk ve kromit yatakları ayırt edilmiştir.





**Şekil 6.13:** (A) Serpantinize dünit ile harzburjit sınırı (Ps30), (B) Piroksenit (Ps41), (C) Gabro (To7), (D) Açık krom işletmesi (Kr3), (E) Diyabaz dayk (To5), (F) Kireçtaşı (Ps39) birimlerine ait arazi fotoğrafları.

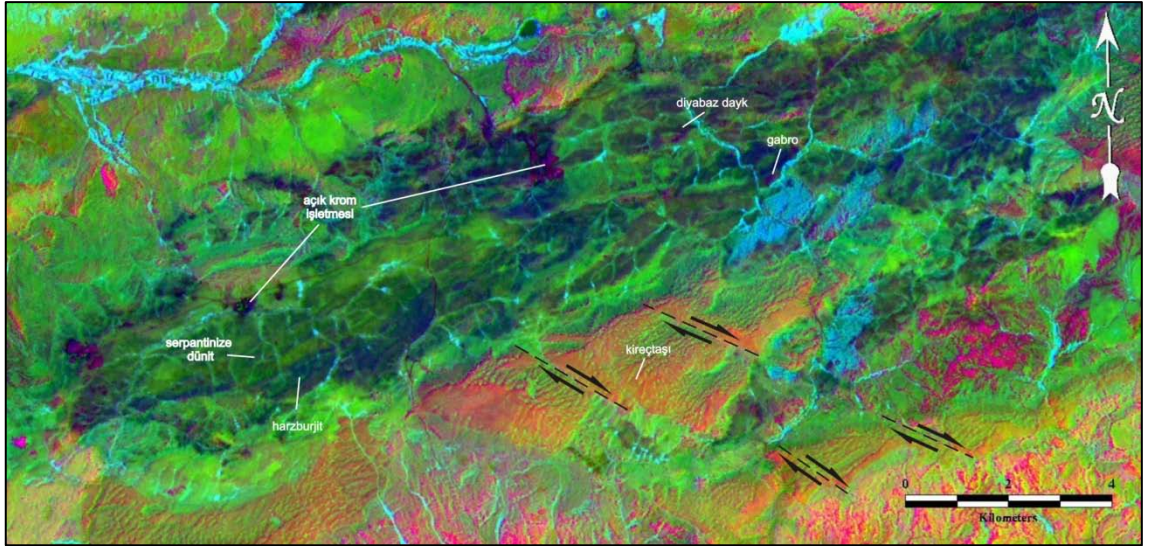
### 6.2.3. Temel Bileşenler Analizi (Principal Component Analysis-PCA)

Temel bileşenler analizi, aralarında korelasyon bulunan değişkenler setini aralarında korelasyon olmayan yeni bir değişken setine dönüştüren istatistiksel bir tekniktir. PC dönüşümü genelde spektral fazlalığı azaltmak için kullanılır. Diğer bir anlatımla, verinin boyutunu (bant sayısını) azaltmakta önemlidir. Ayrıca PC dönüşümü, ham veride gizlenmiş ya da görülemeyen spektral özellikleri daha belirgin hale getirir. Analiz, benzer verileri sıkıştırarak veri tekrarını önler ve orijinal veriden daha yorumlanabilir bir görüntü elde edilmesini sağlar. Bu teknik yüzey materyallerinin (hidrotermal alterasyon minerallerini belirlemek için) görsel olarak yorumlanmasında ve tanımlanmasında yararlıdır (Erdaş Field Guide, 2003; Kariuki vd., 2004; Abera, 2005).

Bu görüntü işleme yöntemi ile ilgili uygulama Er Mapper 7.01 programının **ASTER Wizard > Display Pseudocolor or RGB image > PC123(RGB) image** menüleri takip edilerek gerçekleştirilmiştir. ASTER görüntüsünün VNIR ve SWIR bölgedeki bantlarından 3 veya 4 bant seçilerek uygulanan temel bileşen analiz işlemiyle bölgedeki ofiyolitik karışığa ait birimlerin sınırlarını ortaya çıkaran olumlu sonuçlar alınmıştır (Khan ve diğ., 2006).

İşlem sonucu elde edilen temel bileşen analiz görüntüsünde, bölgedeki serpantinize dünit, harzburjit, diyabaz dayk, gabro ve kireçtaşına ait birimlerin sınırları diğer birimlere göre daha belirginleşmiştir (Şekil 6.14).

Görüntüde ayrıca kireçtaşı birimini KB-GD doğrultusunda kesen doğrultu atımlı faylarda net olarak gözlenmektedir.



**Şekil 6.14:** Temel bileşen analizi işlemi sonucu ofiyolitik karışığa ait birimler içerisinde gözlenen ayrımlanma

#### 6.2.4. Dekorelasyon Gerilmesi (Decorrelation Stretching)

Esası temel bileşenler analizi olan dekorelasyon gerilmesi, korelasyonu yüksek olan çok bantlı görüntüler için bir renk zenginleştirme tekniğidir. Renklerdeki abartı sayesinde görsel yorumlama geliştirilir ve özellikler daha kolay tanımlanır (Gillespie ve diğ., 1986).

Dekorelasyon gerilmesi bantlar arasındaki varyasyonu artırarak yüksek derece ilişkilendirilmiş bantları görüntülemeye kullanılan bir yöntemdir. Görüntüleme dekorelasyon gerilmesi uygulamak aslında bantların ilişkilendirilemediği spektrum alanlarını öne çıkarmak ve bantlar arasındaki azami ilişkilendirmeyi sağlamaktır (Şekil 6.15). Özellikle bitki örtüsü olmayan bölgelerde başarılı sonuçlar alınır.

Bu yöntem üç temel adım içerir. Birinci adımda, eigen vektör matrisindeki sıra ve sütunların yerleri değiştirilerek uygulanan temel bileşenlere dönüşümdür. İkincide ise, Gaussian gerilmesi ile uygulanan bir kontrast eşitleme işlemi gerçekleştirilir. Böylece tüm temel bileşenlerin histogramları belirlenmiş bir aralıkta Gaussian dağılımına yaklaşır. Üçüncü olarak, temel bileşenler dönüşümünün tersi olan bir koordinasyon dönüşümüyle eigen vektörlerin her temel bileşen için ağırlığına göre değerlendirilmesiyle, veri orijinal spektral kanallarına aktarılır.

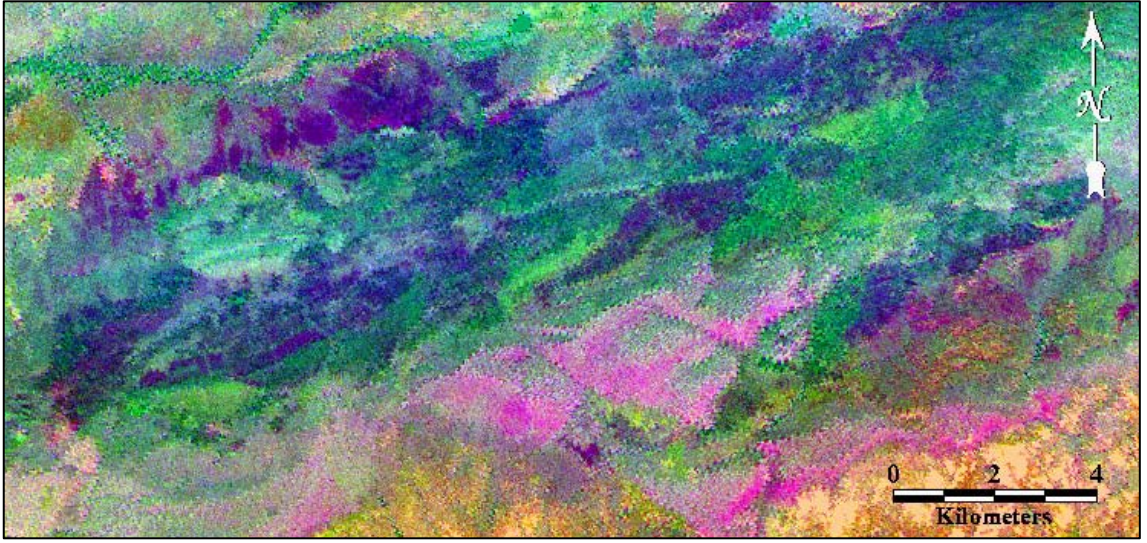


**Şekil 6.15:** Dekorelasyon öncesi ve sonrasında bantlar arasındaki varyasyon ilişkisi

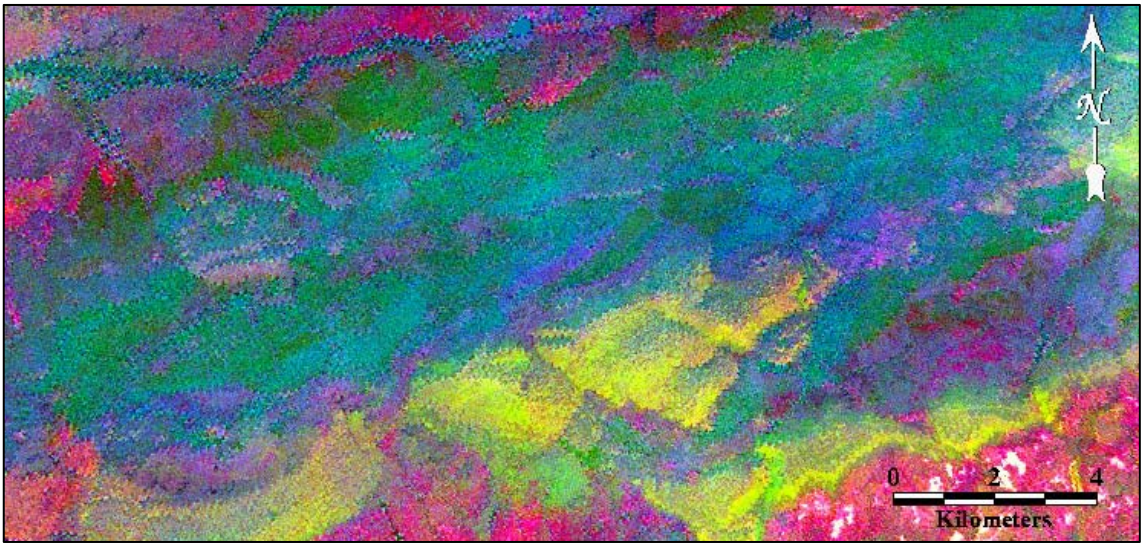
Er Mapper 7.01 programının **ASTER Wizard > Decorrelation Stretch** menüleri yardımıyla, inceleme alanına ait ASTER görüntüsünün, SWIR bantları üzerinde gerçekleştirilen dekorelasyon gerilmesi işlemi sonucunda, 765 (RGB) ve 987 (RGB) bant kombinasyon görüntüleri iyi sonuç vermiştir.

Şekil 6.16' de bölgede yüzeyleyen ofiyolitik karışığa ait birimlerden özellikle serpantinize dünit ve harzburjit ayırımı gerçekleşmiştir. Ayrıca inceleme alanının güneyinde yüzeyleyen kireçtaşı birimi ve Kangal Havzası'na ait genç yaşlı birimlerde görüntü üzerinde ayırılma göstermiştir.

Şekil 6.17' da ise özellikle sarı renkte gözlenen kireçtaşları, pembe renkli genç çökeller ve yeşil-mavi tonlarda ofiyolitik karışığa ait birimler daha genel bir ayırılma sunmuştur.



**Şekil 6.16:** ASTER SWIR bantlarından elde edilen dekorelasyon gerilmesi 765 (RGB) görüntüsü



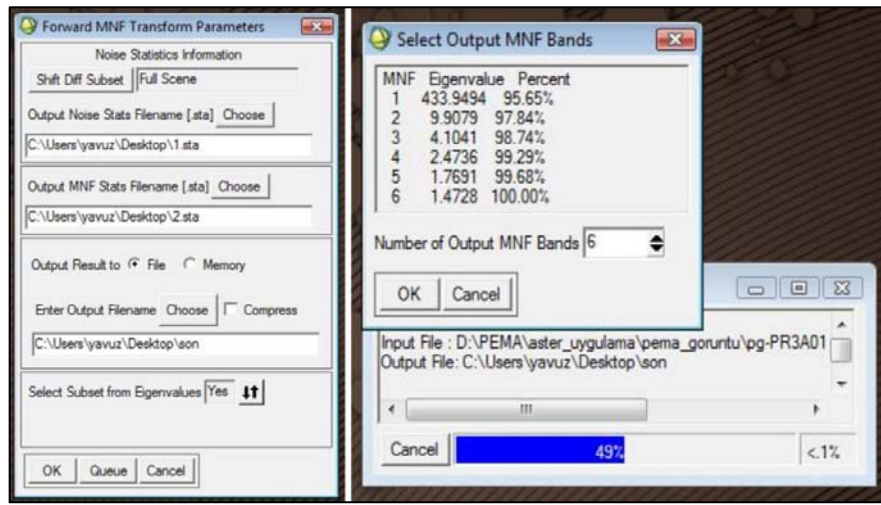
**Şekil 6.17:** ASTER SWIR bantlarından elde edilen dekorelasyon gerilmesi 987 (RGB) görüntüsü

### 6.2.5. En Az Parazit Bölümlemesi (Minimum Noise Fraction, MNF)

En az parazit bölümlemesi dönüşümü, veri kümesindeki toplam uyumsuzluğa katkı sağlayan önemli bilgiyi içeren bantlardan gelen parazitleşmiş baskın spektral bantların ayrılmasını sağlayan görüntü işleme yöntemidir. Bu yöntem özellikle ASTER SWIR verileri üzerinde olumlu sonuçlar alınmasını sağlamaktadır (Kalinowski ve Oliver, 2004).

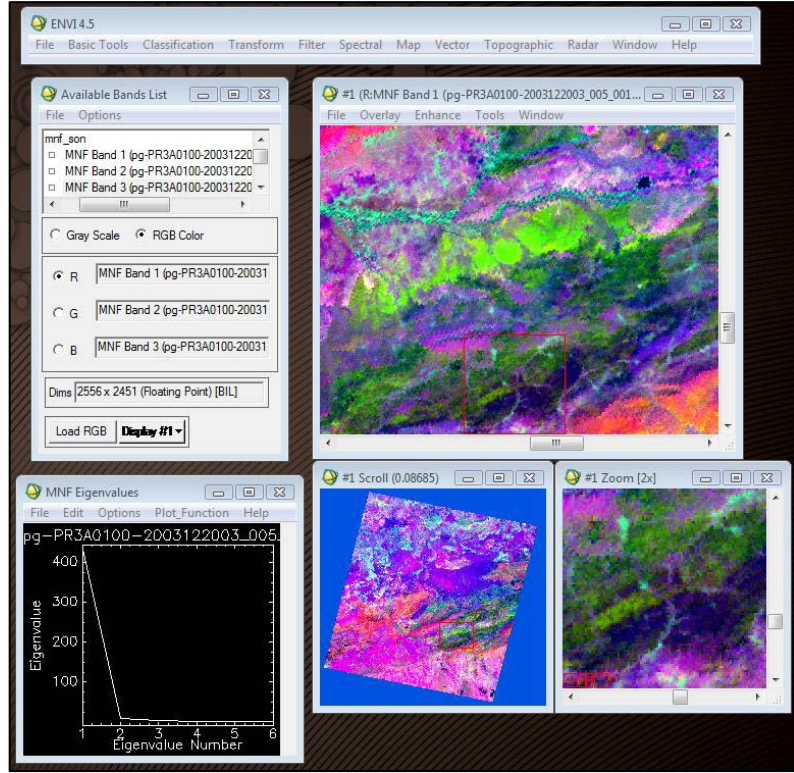
Bu işlem ENVI 4.5 programının **Spectral > MNF Rotation > Forward MNF > Estimate Noise Statistics from Data** menüleri yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

**Forward MNF Transform Parameters** ekranında sonuç dosyalarının kaydedileceği bölümler seçilir ve **Select Subset from Eigenvalues > Yes** olarak değiştirildikten sonra işleme devam edilerek gelen **Select Output MNF Bands** penceresinde ilgili bantlar seçildikten sonra bir sonraki aşamaya geçilir (Şekil 6.18).



**Şekil 6.18:** MNF dönüşüm parametrelerinin kaydedileceği yerlerin belirlenmesi ve ilgili bantların seçilerek işlemin devam ettirilmesi

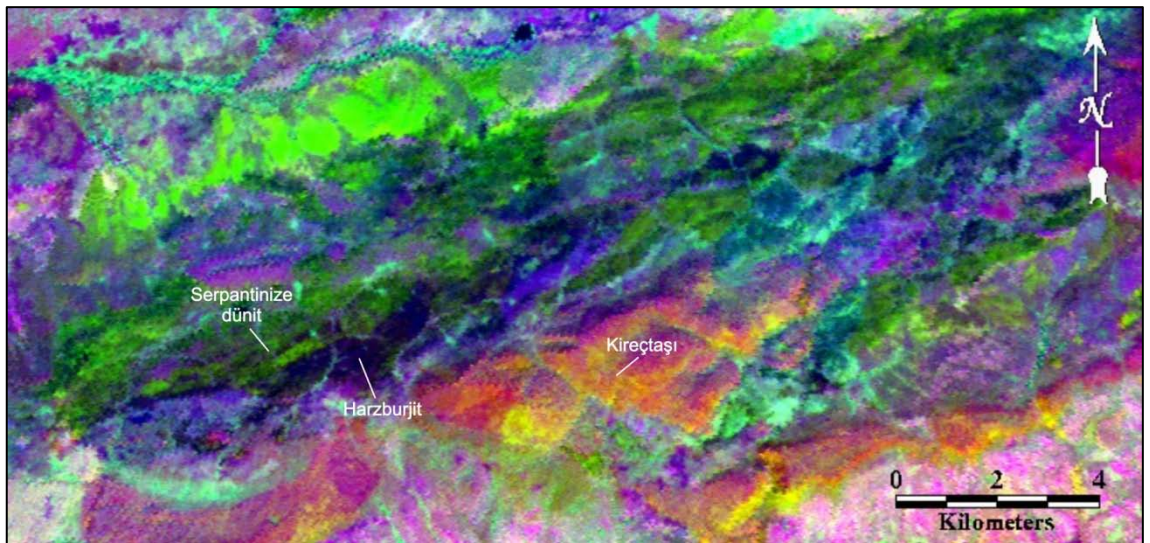
Dönüşümün bu aşamasını **Available Band List** penceresinde ilgili MNF bantlarının seçimi oluşturmaktadır. **MNF Eigenvalues** penceresindeki grafik bize hangi bantların kullanılacağı konusunda yardımcı olmuştur. Eigen numaraları arttıkça kalite düşer yani parazit miktarı artar böylece hangi bant aralıklarının kullanılıp kullanılmayacağı belirlenebilir. Bu bölümde belirlediğimiz MNF 1,2 ve 3 bantları sırasıyla kırmızı, yeşil ve mavi renge atanarak sonuç görüntüsü elde edilmiştir (Şekil 6.19).



**Şekil 6.19:** MNF bantlarının seçimi ve sonuç görüntüsünün elde edilmesi

MNF işlemi sonucu elde edilen görüntüde özellikle ofiyolitik karışık içerisindeki serpantinize dünit, harzburjit ve kireçtaşına ait birimler ayırt edilmiştir (Şekil 6.20).

Görüntü üzerinde koyu yeşil renkli kısımlar serpantinize dünit, koyu mavi lacivert renk tonundaki kısımlar harzburjit ve koyu pembe sarı renkli kısımlar ise kireçtaşı birimine ait sınırları göstermektedir. Arazinin daha güneyinde kalan açık pembe renkli kısımlar ise kangal havzasına ait genç çökelleri temsil etmektedir.



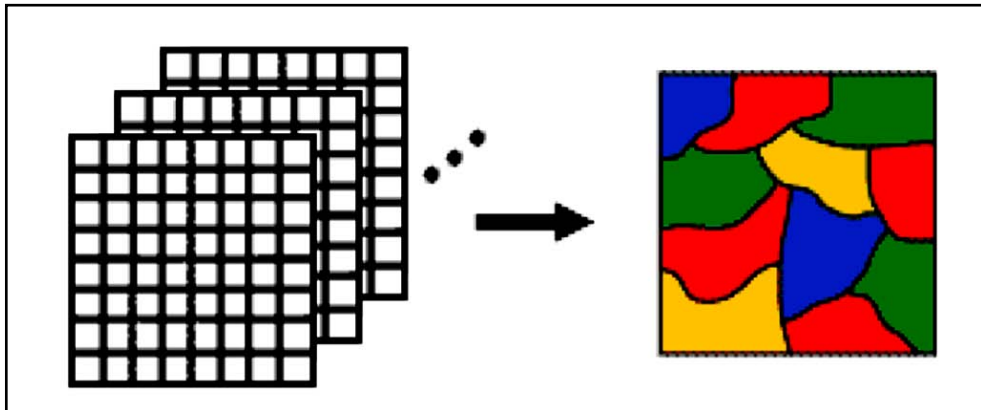
**Şekil 6.20:** ASTER SWIR bantlarına uygulanan MNF işlemi sonucu elde edilen görüntüde serpantinize dünit, harzburjit ve kireçtaşı birimleri içerisinde gözlenen ayrımlanma

### 6.2.6. Sınıflandırma (Classification)

Sayısal görüntü sınıflandırmasının amacı, bir görüntüdeki aynı spektral özellikleri taşıyan pikselleri arazi sınıflarına veya konularına göre otomatik olarak sınıflara ayırmaktır. Normalde sınıflandırma için çok bantlı görüntü verisi kullanılır ve gerçekte her bir pikselin içindeki veride bulunan spektral desen, sınıflandırmadaki nümerik temel için kullanılır. Yani, farklı coğrafi detaylar kendi spektral yansıma ve yayma özelliklerine bağlı olarak farklı DN (Digital Number) kombinasyonları gösterirler. Bu bilgiler ışığında, piksellerin bilinen özelliklerine göre birbirleriyle karşılaştırılarak, benzer piksel gruplarını bir araya toplanır ve kullanıcıların uzaktan algılama verisini tanıyabilecekleri sınıflara ayırmak mümkündür. Bu sınıflar görüntü veya harita üzerindeki bölgelerini şekillendirir, sınıflandırmadan sonra, dijital görüntü sembol veya renk ile tanımlanan düzenli sınıflar gibi görünür (Campbell, 2000).

Sınıflandırma yöntemleri kontrollü (supervised) ve kontrolsüz (unsupervised) sınıflandırma olarak farklı iki şekilde incelenmektedir. Görüntü sınıflandırma kurallarının amacı, alanı kapsayan sınıflar ve konulara göre bütün görüntü elemanları ayrıştırmaktır. Sınıflandırma işleminde amaca yönelik sınıflandırma algoritmalarının seçimi ve sonuç görüntülerde doğruluk analizinin yapılması gerekmektedir. Jeolojik uygulamalarda sınıflama yöntemleri tamamen litolojik birimler olan yüzey örtü tiplerinin birbirinden ayrılmasını amaçlamaktadır. Kontrollü sınıflandırmada, analiz bilgisayara örnek bir alanı tanımasını ve buna göre sınıflandırmayı yapmasını isterken, kontrolsüz sınıflandırmada insiyatif tamamen bilgisayarda olup analiz sadece spektral sınıf sayısını belirler ve bilgisayar görüntü işlem programı yardımıyla görüntüyü ilgili spektral sınıf sayısına bölerek birbirinden ayrılabilir yüzey örtü tiplerini belirler.

Örnek olarak Şekil 6.21' de 3 banttan oluşan bir görüntü için sınıflandırma sonucunu gösterilmekte ve her renk farklı bir sınıfı temsil etmektedir. Sınıflandırma işleminde olması gereken yer dışında farklı bir yere atanan görüntü elemanı hatalar neden olur. Sınıflandırma işleminde oluşacak hatayı en aza indirecek olan sınıflandırma yönteminin seçilmesi gerekmektedir.

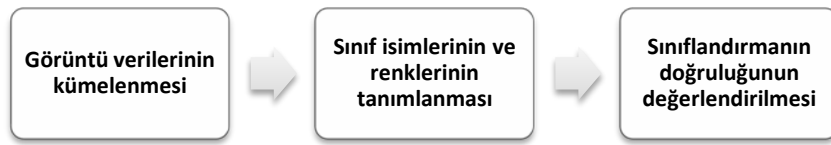


Şekil 6.21: Üç bantlı veri için sınıflandırma sonucu

### 6.2.6.1. Kontrolsüz sınıflandırma

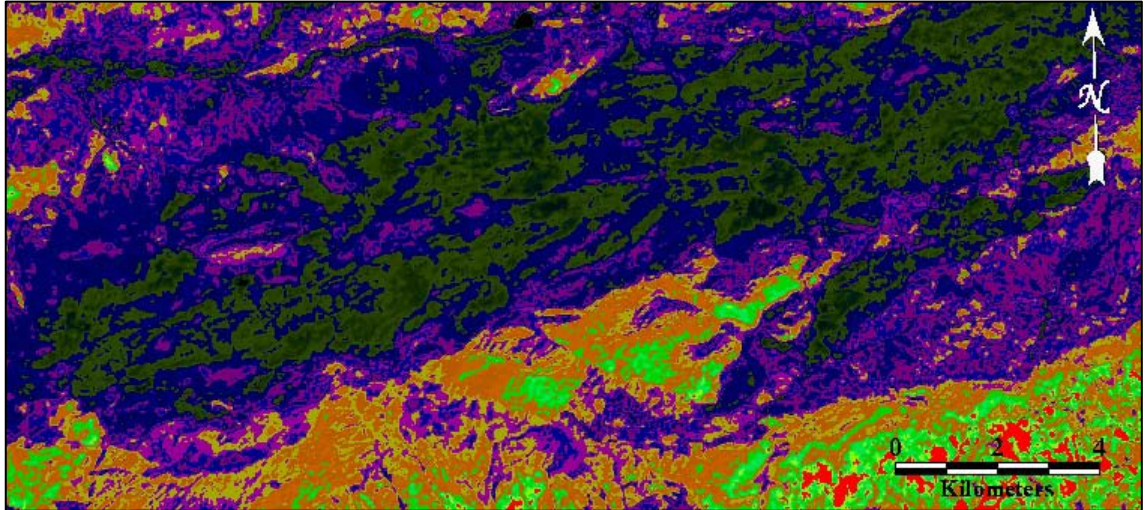
Kontrolsüz sınıflandırma multispektral görüntü verilerinin tematik bilgi sınıflarına çevirme yöntemidir. Bu yöntem genellikle elektromanyetik spektrumun birçok bölgesinde elde edilen belirli coğrafi alanı kabul eder.

Kontrolsüz sınıflandırmada, program otomatik olarak görüntüdeki pikselleri spektral özelliklerine göre gruplar ya da kümeler ve ilk başta tanımladığımız kümeleme parametrelerine göre her bir pikseli ait olduğu kümeye dahil eder. Yani, görüntü verisini Er Mapper' dan belli sayıda sınıfa ayırıp gruplamasını istenebilir ve sınıflama işlemi bittikten sonra her bir sınıfa ayrı renk ve isim verilebilir. Er Mapper 7.01 ' de kontrolsüz sınıflandırma işlemi, aşağıdaki akış şemasında belirtilen yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmektedir( Şekil 6.22).



Şekil 6.22: Er Mapper programında kontrolsüz sınıflandırma işlemi akış şeması (Nik, 2001)

İnceleme alanına ait ASTER görüntüsü üzerine uygulanan son görüntü işlemi yöntemini kontrolsüz sınıflandırma oluşturmuştur. Şekil 6.23' de görülebileceği gibi kontrolsüz sınıflandırma işlemi sonucunda inceleme alanında yüzeyleyen kaya birimleri litolojik olarak ayrılmıştır.

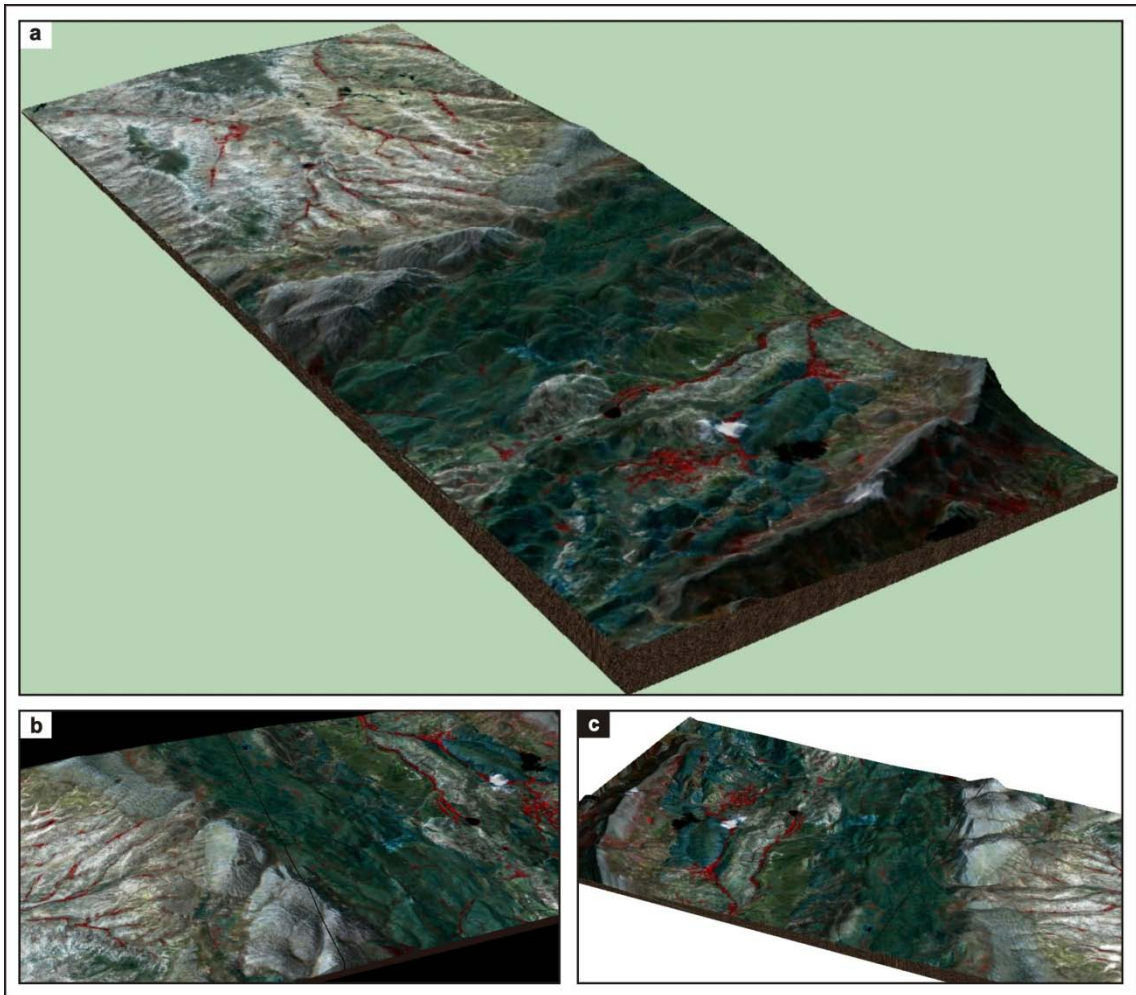


Şekil 6.23: ASTER SWIR bantlarına uygulanan kontrolsüz sınıflandırma işlemi

### 6.3. Sayısal Yükseklik Modeli Oluşturma

Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), yükseklik bilgisini gösteren raster (hücre tabanlı) bir veri çeşididir. Bu veri topografik haritalardan üretilebileceği gibi bazı uydu verilerinden de elde edilebilir. SYM üretimini uydu verisinden yapabilmek için, algılayıcı sisteminin farklı açılarla aynı alandan veri elde edebilmesi gerekmektedir. Günümüzde birçok uydu verisi SYM üretimine olanak sağlamaktadır. Bunlardan bazıları; ASTER, BİLSAT, IKONOS, SPOT 5 ve QuickBird uydularıdır.

İnceleme alanı ve çevresinin 3 boyutlu görünümünün, farklı kombinasyonlarda ortaya çıkarılması kapsamında gerçekleştirilen çalışmada NETCAD GIS 5.0 programı kullanılmıştır. Bu çalışmada Harita Genel Komutanlığından temin edilen 1/25.000 ölçekli sayısal yükseklik paftaları (j38b1, j38b4) ve ASTER VNIR (15 m) görüntüsü kullanılmıştır (Şekil6.24).



**Şekil 6.24:** inceleme alanına ait sayısal yükseklik modeli, (a) KD' dan GB' ya bakış, (b) GD' dan KB' ya bakış, (c) GB' dan KD' ya bakış



## 7. EKONOMİK JEOLojİ

İnceleme alanında Divriği ofiyolitli karışığına ait birimler içerisinde gelişen kromit cevherleşmeleri bölgedeki önemli ekonomik yeraltı kaynaklarını oluşturmaktadır. Önceki çalışmalarda krom cevherleşmeleri Üst Kretase yaşlı Divriği ofiyolitli karışığı içerisinde Çamözü ultramafitinin harzburjitik çevre kayaları içinde dünitik kayalar tarafından sarılmış ve boyutları oldukça değişen merceğimsi kütleler şeklinde gözlenmiştir (Koptagel ve Gökçe, 1991). Bölgede çeşitli firmalarca işletilen çok sayıda krom yatağı ve yüzleği bulunmaktadır.



**Şekil 7.1:** İnceleme alanında yer alan açık krom işletmesi

## 8. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Ölçümler sonucu elde edilen 7 farklı kaya türüne ait spektral yansıtma eğrisi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Özellikle 1050-1150 nm, 1200-1300 nm ve 1950-2100 nm bölgelerinde bu yedi farklı kaya türünün, inceleme alanı içerisinde uzaktan algılama ile birbirinden ayrılabilceği sonucu ortaya çıkmıştır.

İnceleme alanı içerisinde gözlenen kromit yataklarında, yan kayac genellikle dunitlerden oluşmaktadır. Dolayısıyla uzaktan algılama çalışmalarında dunitli bölgelerin sınırlarının ortaya çıkarılması aynı zamanda ekonomik anlamda önem taşıyan kromit yataklarının ortaya çıkarılması aşamasında hedef sahaların daraltılması yönünde önem teşkil etmiştir.

Kromit örnekleri üzerinde gerçekleştirilen ölçümler sonucu elde edilen spektral yansıtma eğrileri incelendiğinde masif kromitlerin, yan kayaçla birlikte bulunan kromitlere oranla daha düşük yansıma gösterdiği sonucu ortaya çıkmıştır.

ASTER görüntüleri 14 spektral bant aralığına sahip olmasından dolayı, mineral ve alterasyon haritalarının daha ayrıntılı bir şekilde oluşturulması açısından önem taşımaktadır. Dolayısıyla inceleme alanı içerisinde gözlenen farklı kaya türlerine ait spektral yansıtma eğrilerinin ASTER uydu verisinin multispektral bant aralığı ile örtüştürülmesi sonucu 3N, 5 ve 8. bant ile tanımlanmış bölgelerde bu kaya türlerinin ayrılabilceği ve bu bant aralıklarında çalışabileceği sonucu ortaya çıkarılmıştır.

Spektral zenginleştirme çalışmaları sonucu elde edilen görüntülerin değerlendirilmesi amacıyla, Google Earth programı üzerine arazi ölçümlerinin ve örneklemelerinin yapıldığı noktalar ile görüntüler koordinatlı olarak yerleştirilmiştir. Google Earth programı tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmaların değerlendirilmesi aşamasında bir veritabanı oluşturulmasını sağlamıştır.

Divriği ofiyolitli karışığı (Dof) olarak isimlendirilen kayaçların hemen hemen tamamı serpantinleşmiş harzburjit ve dunitlerden oluşmaktadır. Bunların dışında arazide fazla yayılım sunmayan dolayısıyla 1/25.000 ölçekte haritalanamayan izole diyabaz daykları daha yerel olarak izlenen piroksenit daykları ve gabrolar log residual ve temel bileşen analiz görüntüsü dışındaki uygulamalarda net bir ayırım sunmamıştır.

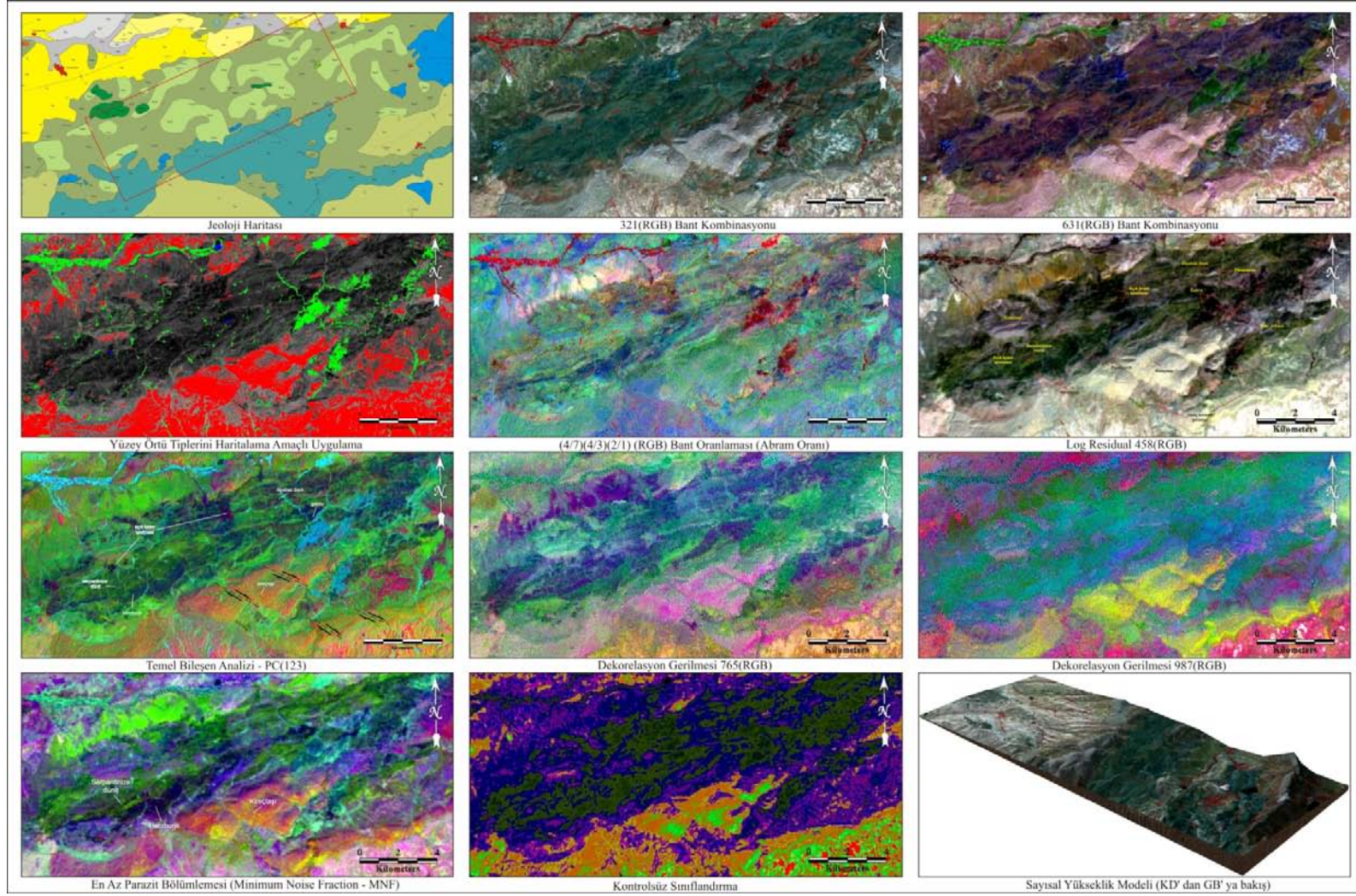
Er Mapper 7.01 programının ASTER Wizard' da bulunan algoritmalar yardımıyla gerçekleştirilen yüzey örtü tiplerini haritalama amaçlı uygulama ve 631(RGB) bant kombinasyonu ile inceleme alanında yüzeyleyen su, bitki örtüsü ve jeolojik birimler açığa çıkarılmıştır. Özellikle ofiyolitik karışığa ait birimler diğer birimlerden farklı olarak ayırılma sunmuştur.

Spektral zenginleştirme yöntemlerinden en iyi sonucu log residual ve temel bileşen analizi işlemi vermiştir. Bu işlemler sonucu elde edilen görüntülerde ofiyolitik karışığa ait birimler içerisinde litolojik olarak ayırılma gözlenmiştir.

Şekil 8.1' de ASTER görüntüleri üzerine uygulanan görüntü işleme yöntemleri sonucunda ortaya çıkan görüntüler ile arazide yapılan çalışmalar ve jeoloji haritası karşılaştırıldığında özellikle serpantinize dunit harzburjit ayırımı net olarak gözlenmektedir. Bu görüntülerden 321(RGB), 631(RGB) bant kombinasyonu ve yüzey örtü tiplerini haritalama

amaçlı çalışmalarda genel olarak bölgede yüzeyleyen kaya türlerinin sınırları ve özellikle ofiyolitik karışığa ait sınırlar net bir ayrımlanma sunmuştur. Log residual ve temel bileşen analizi işlemi sonucunda elde edilen görüntülerde ofiyolitik karışık içerisindeki birimler ayrımlanma sunmuştur. Bunun dışında en az parazit bölümlenmesi ve dekorelasyon gerilmesi 765(RGB) görüntüsünde ofiyolitik karışık içerisindeki birimlerden sadece dünit ve harzburjit ayrımı gerçekleşmiştir. Ayrıca dekorelasyon gerilmesi 987(RGB) görüntüsünde özellikle kireçtaşları net bir ayrımlanma sunmuştur (Şekil 8.1).

Kromit yataklarının ortaya çıkarılması amacıyla gerçekleştirilen bu tez çalışmasında görüntüler üzerinde özellikle kromit içeren dünitli bölgelerin ayrımlanması yapılacak olan kromit araştırmalarında direk olarak bu bölgelere yoğunlaşılması gerektiği sonucunu ortaya çıkarmıştır.



**Şekil 8.1:** İnceleme alanına ait jeoloji haritası ile ASTER görüntüsü üzerinde uygulanan görüntü işleme yöntemleri ile elde edilen görüntülerin karşılaştırılması

## KAYNAKLAR

- Abera, B. 2005. Application of Remote Sensing and Spatial Data Entegration Modelling to Predictive Mapping of Apatite-Mineralized Zones in the Bikilal Layered Gabbro Complex, Weatern Ethiopia.
- Abrams and Hook, 1995. M. Abrams and S.J. Hook, 1995. Simulated ASTER data for geologic studies. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 33, pp. 692–699.
- Anonim (2008a) <http://asterweb.jpl.nasa.gov/>
- Anonim (2008b) [http://www.gds.aster.ersdac.or.jp/gds\\_www2002/index\\_e.html](http://www.gds.aster.ersdac.or.jp/gds_www2002/index_e.html)
- ASD (Analytical Spectral Devices Inc.), Technical Guide 3rd Ed. Section 3-1.
- ASTER Users Guide, Parth II, 2005, ver. 4.
- Bayhan, H., Baysal, O., 1982. Güneş-Soğucak (Divriği-Sivas)Yöresinin Petrografik-Petrolojik İncelenmesi, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, C. 25, 1-13.
- Clark ve diğerleri, 1993, The U. S. Geological Survey, Digital Spectral Library: Version 1: 0.2 to 3.0 µm, U.S. Geological Survey, Open File Report 93-592, 1326 pages.
- Clark, R. N., 1995, Reflectance Spectra, AGU Handbook of Physical Constants, 178-188.
- Clark, R.N., 1999, "Spectroscopy of Rocks and Minerals, and Principles of Spectroscopy, In Manual of Remote sensing.",John Wiley and Sons, Inc A. Rencz, Editor New York, <http://speclab.cr.usgs.gov/PAPERS.refl-mrs/refl4.html>, (Ekim 2008).
- Coleman, R.G., 1971. Plate tectonic emplacement of upper mantle peridotites along continental edges: Journal of Geophysical Research, v, 76, p. 1212-1212
- Dilek, Y., 2003, "Ophiolite Concept and Its Evolution", Ophiolite Concept and Its Evolution of Geological Thought (Editör: Dilek, Y., vd.), (1-16).
- Earth Remote Sensing Data Analysis Center (ERSDAC), 2001. ASTER Users Handbook, ver. 1.

- Engin, T., 1985, Petrology of the peridotite and structural setting of the Batı Kef-Doğu Kef chromite deposits, Guleman, Elazığ, Eastern Turkey, metallogeny of Basic and Ultrabasic Rocks, I.M.M. Edinburgİngiltere, 229-240.
- Engin, T., 2001, "Ofiyolitler ve Ofiyolitlere Bağlı Metal Maden Yatakları", Magmatik Petrojenez, Akçakoca-Düzce, (445-473).
- Erdas Field Guide, (2003), Seventh Edition, Leica Geosystems GIS & Mapping, LLC, Atlanta, Georgia, USA.
- Gillespie, A. R., Kahle, A. B., & Walker, R. E. (1986). Color enhancement of highly correlated images: I. Decorrelation and HIS contrast stretches. *Remote Sensing of Environment*, 20, 209– 235.
- Gökçe, A., 2006, Maden Yatakları, Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları, No: 100.
- Gökten, E., 1993. Ulaş (Sivas) doğusunda Sivas Havzası güney kenarının jeolojisi: İç Toros Okyanusu'nun kapanımıyla ilgili tektonik gelişim, TPJD Bülteni, V.5/1. 35-55.
- Green, A.A and Craig, M.D.,(1985)."Analysis of aircraft spectrometer data with logarithmic residuals." JPL Publ. 85-41 , pp. 111-119.
- Hirano, A., Welch, R., Lang, H., 2003. Mapping from ASTER stereo image data:DEM validation and accuracy assessment. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 57, 356-370.
- İnan ve diğ., 1993, Ulaş-Sincan (Sivas) Yöresinin Stratigrafisi, Doğa-Türk Yerbilimleri Dergisi/Tr. J. Of Earth Sciences, 1-15.
- Kalinowski A., Oliver S., 2004, ASTER Mineral Index Processing Manual, Remote Sensing Applications Geoscience Australia.
- Kariuki, P.C., Woldai T. and Meer, F. van der, (2004), The Role of Remote Sensing in Mapping Swelling Soils, *Asian Journal of Geoinformatics*, Vol. 5, No. 1.
- Kavak, K., 1996, Uzaktan Algılamanın Temel Kavramları ve Jeolojideki Uygulama Alanları.
- Kavak, K.S., 2003, Alterasyon zonlarının kil ve diğer minerallerle belirlenmesine yönelik saha spektrometre çalışmaları ve hiperspektral görüntülerle desteklenmesi, XI. Ulusal Kil Sempozyumu, 3-6 Eylül 2003, İzmir/Türkiye, p.681-690, (poster, in Turkish)

- Khan, S. D., Mahmood, K., Casey, J. F., 2006, Mapping of Muslim Bagh ophiolite complex (Pakistan) using new remote sensing, and field data, *Journal of Asian Earth Sciences* 30, 333-343.
- Khan, S. D., Mahmood, K., 2008, The application of remote sensing techniques to the study of ophiolites, *Earth Science Reviews* 89, 135-143.
- Konya, H., 2007, Hiperspektral Jeolojik Uzaktan Algılama, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Semineri.
- Konya, H., 2009. Çataldağ Bölgesinin (Sivas GD'su) Jeolojik Özellikleri ve Hiperspektral Görüntülerle İncelenmesi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sivas.
- Koptagel, O., Gökce, A., 1991. Başçayır-Dağönü (Ulaş-Sivas) Yöresinde Divriği Ofiyolitli Karışığının Ana Bileşenleri ve Kromit Yataklarının Jeolojisi, Cumhuriyet Üniversitesi Müh. Fak. Dergisi, Seri A-Yerbilimleri C.8, S.1.
- Kruse, F. A., and Hauff, P. L., 1990, Remote sensing clay mineral investigations for geologic applications using visible/near-infrared imaging spectroscopy: *Sciences Géologiques, Mémoire No. 89*, p. 43-51.
- Loughlin, W., (1991), Principal component analysis for alteration mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 57, (1163–1169).
- Maktav, D. Ve Sunar, F. 1991. Uzaktan Algılama: Kantitatif Yaklaşım Hürriyet Ofset Basımı: İstanbul
- Moore, E.M., 2003, "A Personal History of the Ophiolite Concept", *Ophiolite Concept and Its Evolution of Geological Thought*, (Editör: Dilek, Y., vd.), (17-29).
- MTA., JİCA., 2006, ASTER Uydu Verisi Uygulamaları ve Türkiye'den Örnekler Kitabı, Özel Yayın Serisi-5, Ankara.
- Ninomiya, Y., 2003, Advanced Remote Lithologic Mapping in Ophiolite Zone with ASTER Multispectral Thermal Infrared Data, *IEEE*, 1561-1562.
- Okay, A.I. ve Tüysüz, O., 1999, Tethyan sutures of northern Turkey. In "The Mediterranean Basins: Tertiary extension within the Alpine orogen" (eds. B. Durand, L. Jolivet, F.

- Horváth and M. Séranne), Geological Society, London, Special Publication 156, 475-515.
- Rowan, L.C., Hook, S.J., Abrams, M.J., and Mars, J.C., 2003. Mapping hydrothermally altered rocks at Cuprite, Nevada, using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), a new satellite-imaging system: *Economic Geology*, v. 98, no. 5, p. 1019-1027.
- Rowan, L. C., Simpson, C. J., Mars, J. C., 2004, Hyperspectral analysis of the ultramafic complex and adjacent lithologies at Mordor, NT, Australia, *Remote Sensing of Environment* 91, 419-431.
- Rowan, L. C., Mars, J. C., Simpson, C. J., 2005, Lithologic Mapping of the Mordor, NT, Australia ultramafic complex bu using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), *Remote Sensing of Environment* 99, 105-126.
- Sağıroğlu, A., 2004. Ulaş (Sivas) batısında Deliler fayının tavan bloğunun tektonik deformasyon biğimi ve kinematiği, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sivas.
- Sesören, A., 1999, *Uzaktan Algılamada Temel Kavramlar Kitabı*.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Tangestani, M.H. A., comparative approach on TIR and VNIR-SWIR datasets of ASTER instrument for lithological mapping in Neyriz ophiolite zone, SW Iran.
- Toutin, Th., 2002, 3D topographic mapping with ASTER stereo data in rugged topography.. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40, pp. 2241-2247.
- Tutkun ve diğ., 1988, Hamo (Sivas) yöresinin jeolojisi, tektonik özellikleri ve yer Altı zenginlikleri. TÜBİTAK Proje No: TBAG 673, 113 s.
- Yakan, M., 2009. Tecer Dağları (Sivas Havzası) Güneyindeki Bölgede Sayısal Jeolojik Harita Alımı ve Bölgenin ASTER Uydu Görüntüleri Yardımıyla Jeolojik İncelenmesi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sivas.



## **ÖZGEÇMİŞ**

### **Kişisel Bilgiler**

Adı Soyadı : Yavuz TÖRE  
Doğum Yeri ve Tarihi : Sivas / 06.01.1985  
Medeni Hali : Bekar  
Yabancı Dil : İngilizce  
İletişim Adresi : Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140-Sivas  
e-posta Adresi : [yavuz.tore@cumhuriyet.edu.tr](mailto:yavuz.tore@cumhuriyet.edu.tr)

### **Eğitim ve Akademik Durumu**

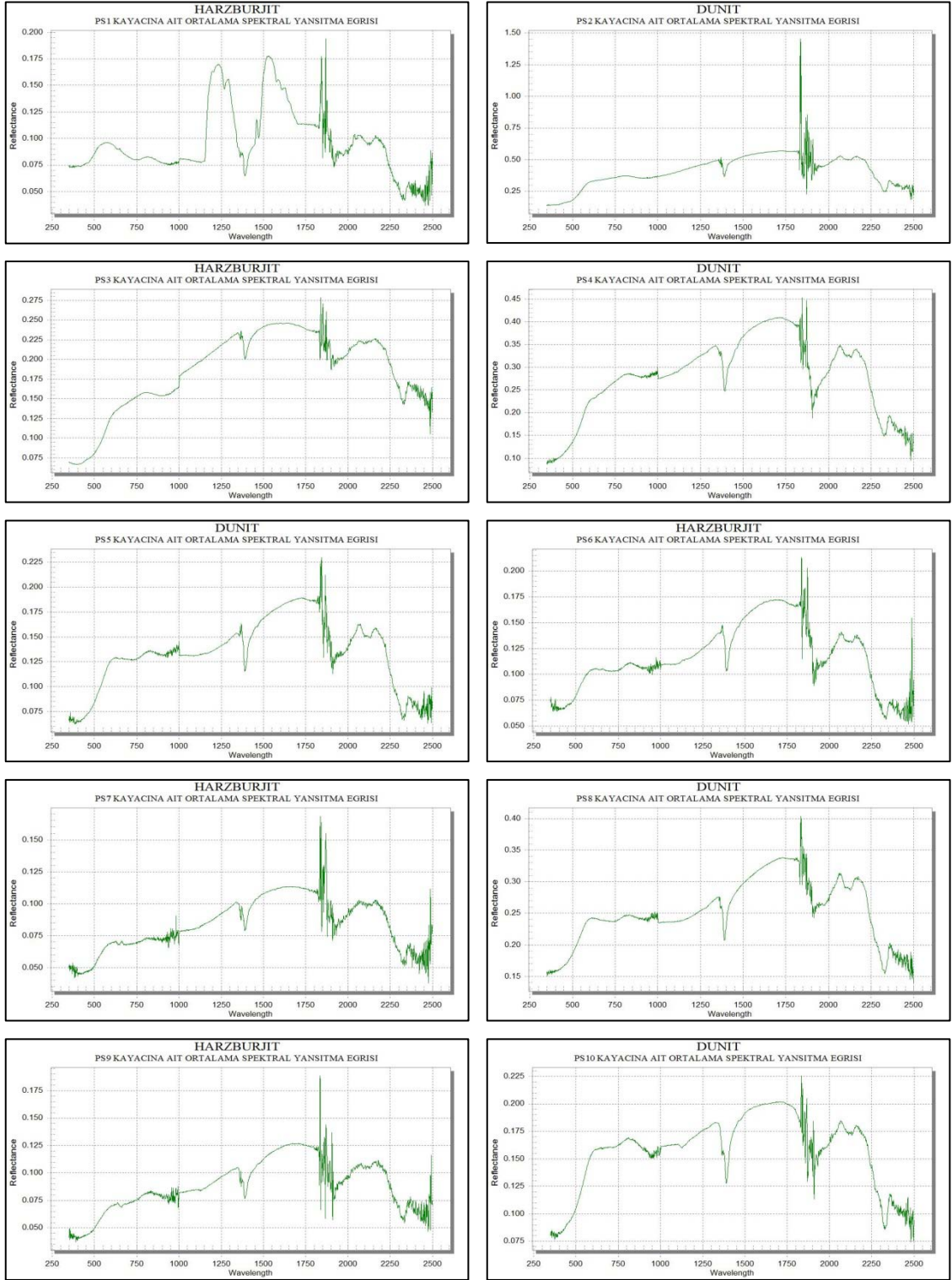
Lise : Sivas Kongre Lisesi, 2002  
Lisans : Cumhuriyet Üniversitesi, 2007  
Yüksek Lisans : Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bil. Ens., 2010

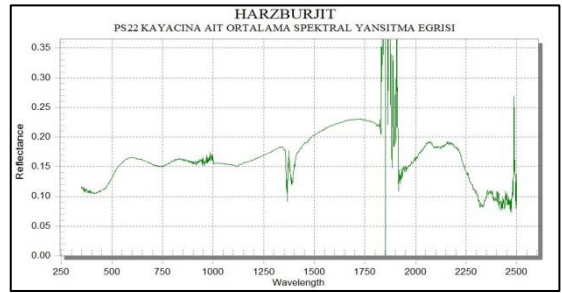
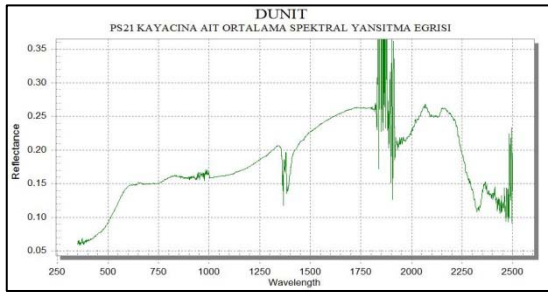
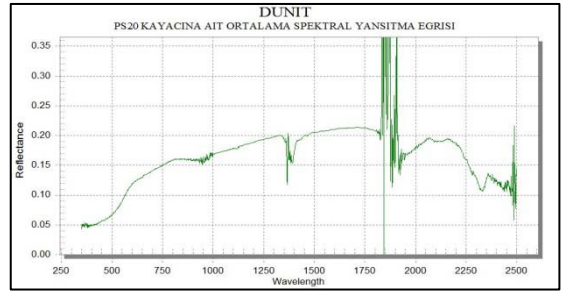
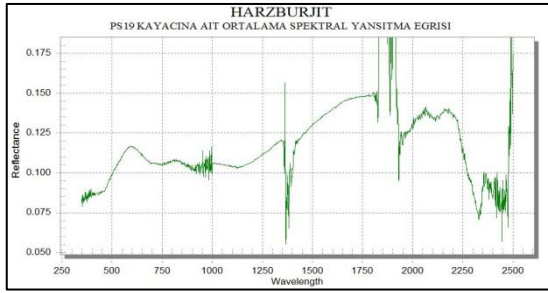
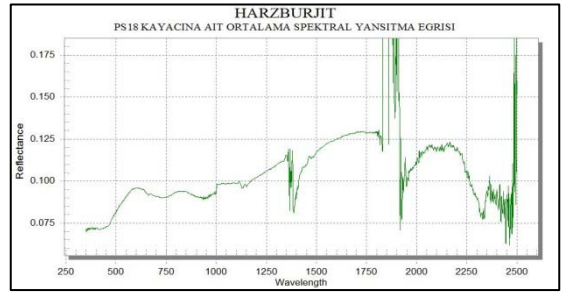
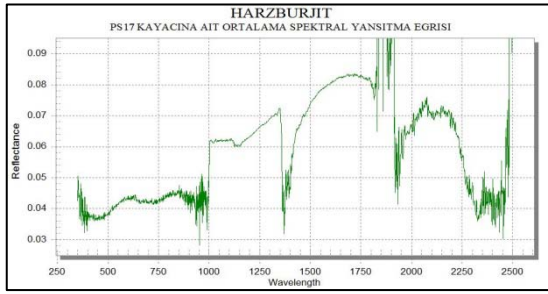
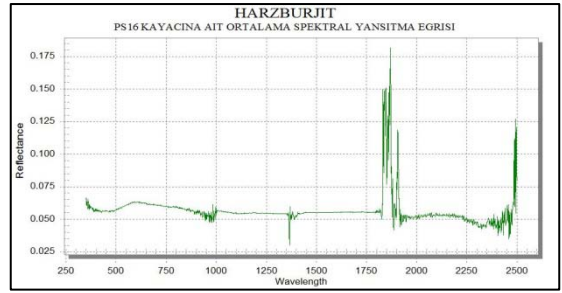
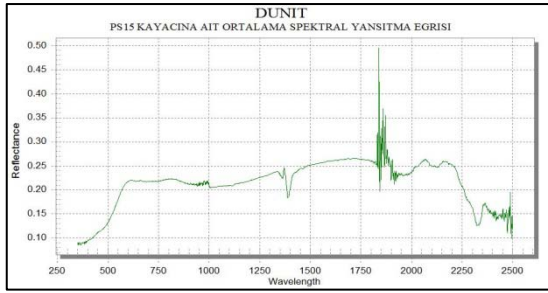
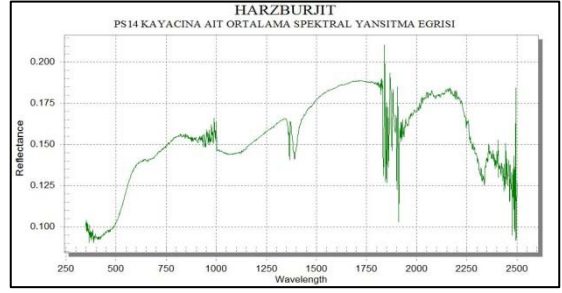
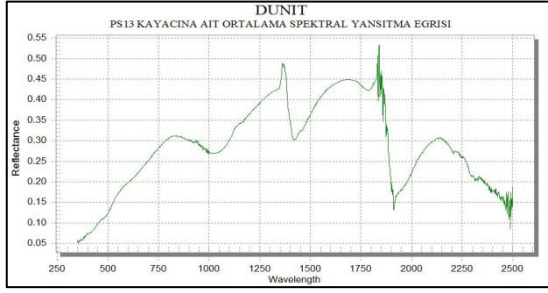
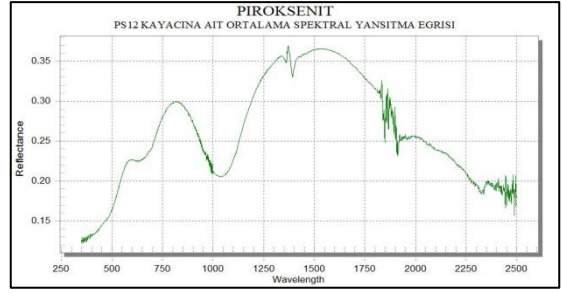
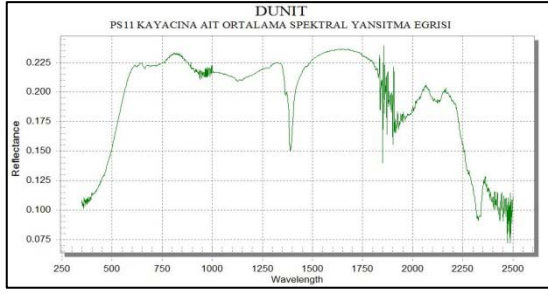
### **İş Tecrübesi**

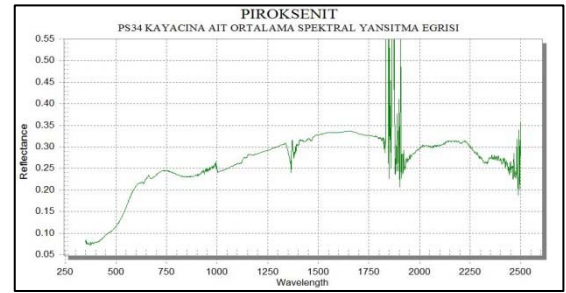
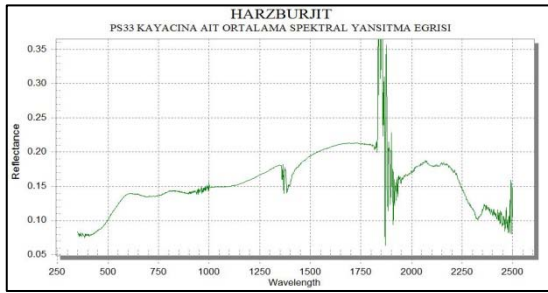
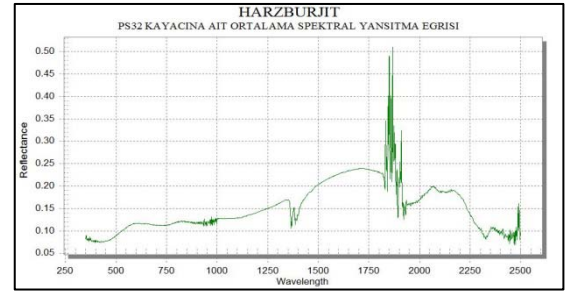
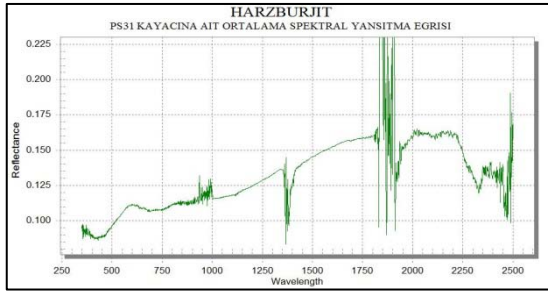
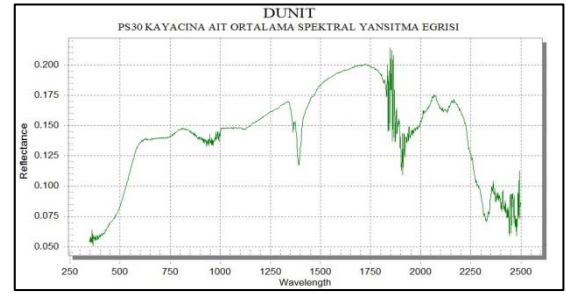
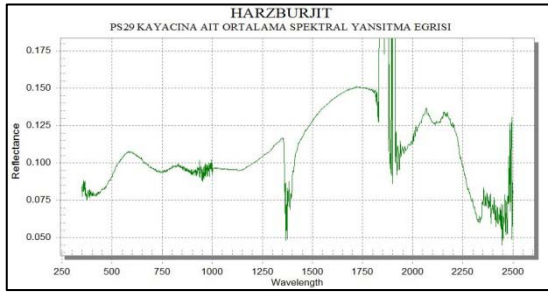
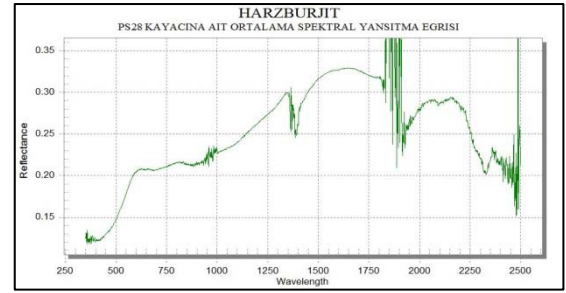
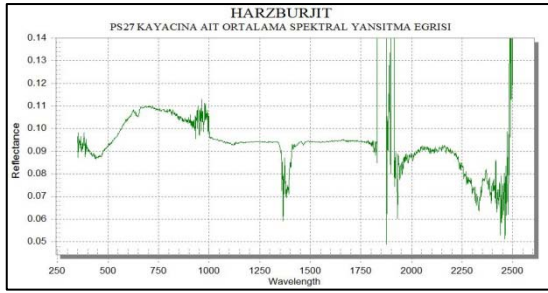
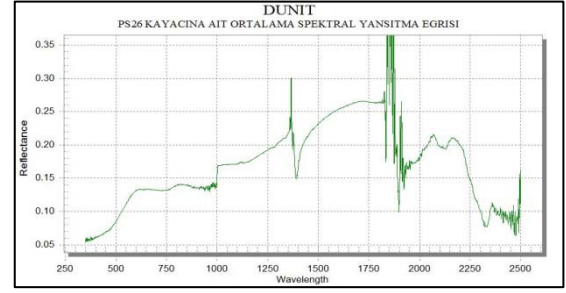
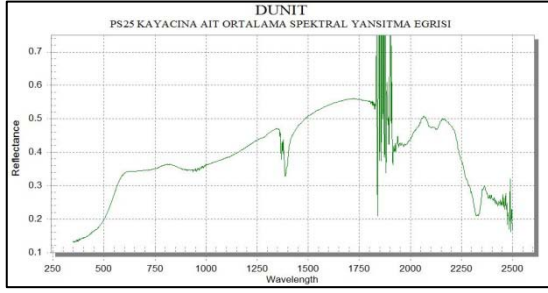
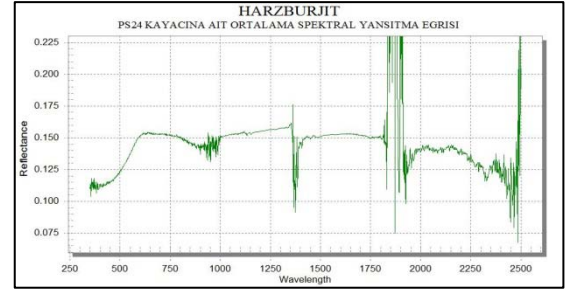
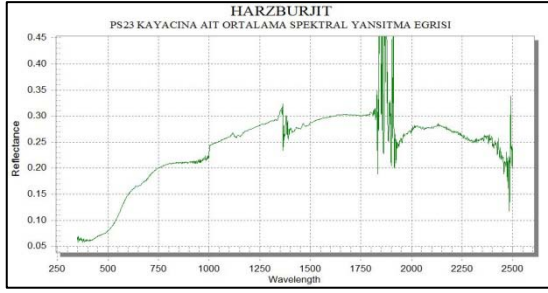
Cumhuriyet Üniversitesi : Proje Asistanlığı (2007-2008)

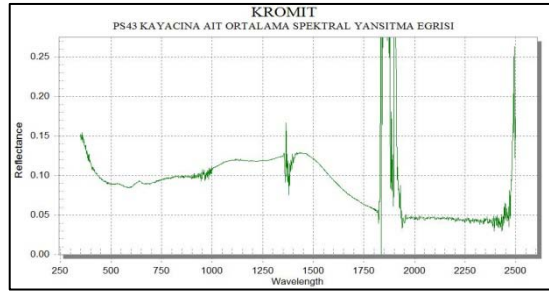
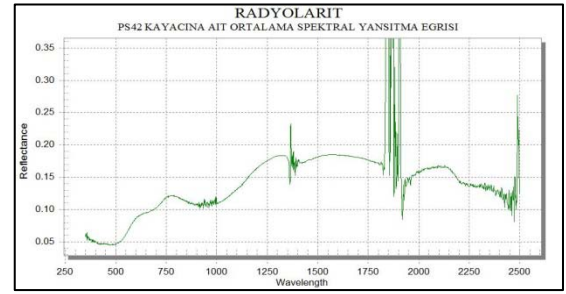
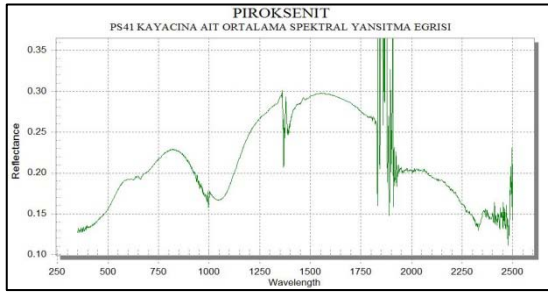
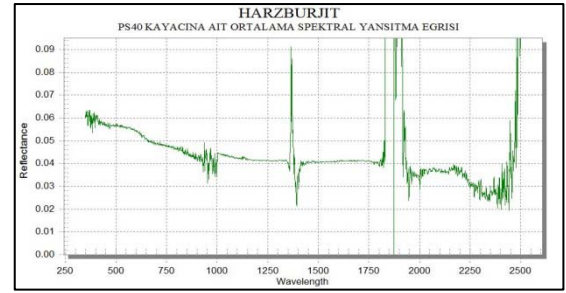
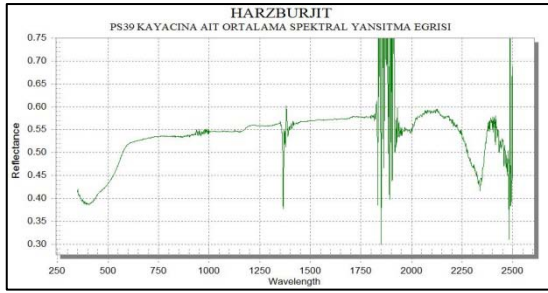
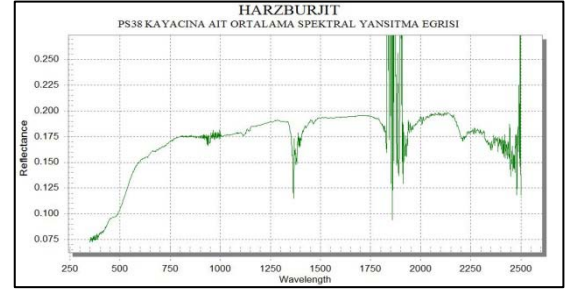
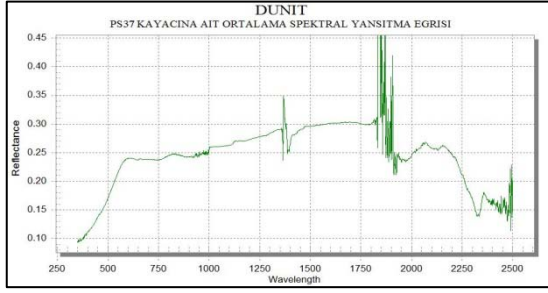
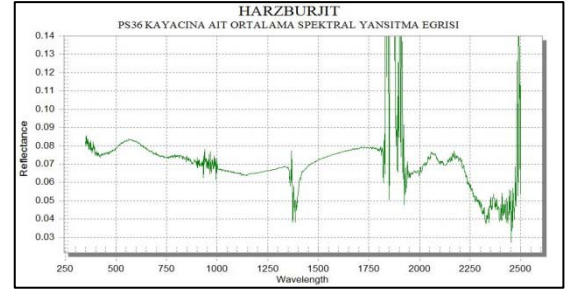
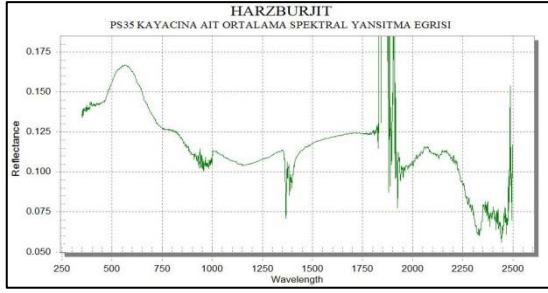
EK

Ek 1: Arazi ölçümleri sonucu elde edilen spektral yansıtma eğrileri









## Ek 2: Laboratuvar ölçümleri sonucu elde edilen spektral yansıtma eğrileri

