İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KUZEY ANADOLU FAY ZONU'NDAKİ (ERZİNCAN-ÇAYIRLI İLE SİVAS-KOYULHİSAR ARASI) LİTOLOJİK FARKLILIK VE BENZERLİKLERİN UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ

DOKTORA TEZİ

Önder GÜRSOY

Jeodezi ve Fotogrametri MühendisliğiAnabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

MAYIS 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KUZEY ANADOLU FAY ZONU'NDAKİ (ERZİNCAN-ÇAYIRLI İLE SİVAS-KOYULHİSAR ARASI) LİTOLOJİK FARKLILIK VE BENZERLİKLERİN UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ

DOKTORA TEZİ

Önder GÜRSOY
(501062611)

Jeodezi ve Fotogrametri MühendisliğiAnabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Şinasi KAYA
Eş Danışman: Doç. Dr. Ziyadin ÇAKIR

MAYIS 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501062611 numaralı Doktora Öğrencisi **Önder GÜRSOY**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"KUZEY ANADOLU FAY ZONU'NDAKİ (ERZİNCAN-ÇAYIRLI İLE SİVAS-KOYULHİSAR ARASI) LİTOLOJİK FARKLILIK VE BENZERLİKLERİN UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Doç. Dr. Şinasi KAYA** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Eş Danışman :	**Doç. Dr. Ziyadin ÇAKIR** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Nebiye MUSAOĞLU** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. Cem GAZİOĞLU İstanbul Üniversitesi	.....
	Doç. Dr. Cenk YALTIRAK İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Yard. Doç. Dr. Füsün BALIK ŞANLI Yıldız Teknik Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. Fatmagül KILIÇ Yıldız Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : **24 Şubat 2012**
Savunma Tarihi : **04 Mayıs 2012**

Eşime ve çocuklarıma,

ÖNSÖZ

Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Kelkit Vadisi Bölümünü kapsayan ve bölgedeki litolojik yapıların ayırt edilmesini amaçlayan Doktora tez çalışmama katkılarından dolayı tez danışman hocalarım Yard. Doç. Dr. Şinasi KAYA ve Doç. Dr. Ziyadin ÇAKIR'a teşekkürlerimi sunarım.
Tez çalışmamda jeolojik çalışmalardaki katkılarından dolayı hocam Doç. Dr. Cenk YALTIRAK'a teşekkür ederim. Ayrıca tez izleme jürimdeki hocalarım Prof. Dr. Nebiye MUSAOĞLU ve Prof. Dr. Cem GAZİOĞLU'na teşekkür ederim.
Jeolojik kesit değerlendirmelerindeki yardımlarından dolayı Yard. Doç. Dr. Gürsel SUNAL'a ve Doç. Dr. Gültekin TOPUZ'a teşekkür ederim.
Tez çalışmalarıma M-371 Nolu proje desteğini sağlayan Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Projeleri Birimi (CÜBAP)'a ve DPT 2006K 120220 proje kapsamında veri desteğinden dolayı Prof. Dr. Orhan TATAR'a teşekkürlerimi sunarım.
Çalışmalarımdaki desteklerinden dolayı Cumhuriyet Üniversitesi Geomatik Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine; arazi çalışmalarımdaki yardımlarından dolayı Yük. Müh. Yavuz TÖRE'ye, Müh. Okan ÜNVARAN, Müh. Önder AKBULUT'a ve Cumhuriyet Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü öğrencisi Ersin GÜLDÜ'ye teşekkürlerimi sunarım.
Çalışmalarıma desteklerinden dolayı Müh. Tuluhan ŞİPKA ve Dr. Filiz BEKTAŞ BALÇIK'a teşekkür ederim.
Çalışmalarımı hoş bir ortamda gerçekleştirmemi sağlayan oda arkadaşlarım Yük. Müh. Adalet DERVİŞOĞLU'na, Araş. Gör. Filiz KURTCEBE'ye, F. Başak SARIYILMAZ'a, Bahadır ÇELİK'e, ve tez çalışmalarımın yazım değerlendirmesine yardım eden Ecem Bengisu DERVİŞOĞLU'na teşekkür ederim.
Eğitim öğretim hayatımda bana desteklerinden dolayı, aileme ve halam Mevlüde SÖNMEZ ile eşimin ailesine teşekkür ederim.
Evimden uzakta gerçekleştirdiğim bu uzun doktora döneminde, sabır ve desteklerinden dolayı, motivasyon kaynaklarım, eşim Birsen ile çocuklarım Nisa Nur ve Cemil Batu'ya teşekkür ederim.

Mayıs 2012

Önder GÜRSOY
(Geomatik Yük. Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xiii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xxiii**
SUMMARY ..... **xxvii**
1. **GİRİŞ** **1**
1.1 Tezin Amacı 1
1.2 Çalışma Alanı ve Test Bölgelerinin Seçimi 3
1.3 Literatür Araştırması 5
1.3.1 Jeolojik çalışmalar 5
1.3.2 Uzaktan algılama çalışmaları 10
2. MATERYAL ve METOT **19**
2.1 Kullanılan Veriler ve Özellikleri 19
2.1.1 ASTER uydu verileri ve düzenlenme işlemleri 19
2.1.1.1 Çapraz karışma düzeltmesi 21
2.1.1.2 Radyans kalibrasyonu 22
2.1.1.3 Radyansdan reflektansa dönüşüm ve atmosferik düzeltme 26
2.1.2 Uzaktan algılama verilerine uygulanan zenginleştirme metodları 27
2.1.2.1 Dekorelasyon gerilmesi 28
2.1.2.2 Ana bileşenler dönüşümü 31
2.1.2.3 Bant oranlama 33
2.1.3 Bölgenin jeolojik yapısı ve jeolojik verilerin düzenlenmeleri 43
2.1.4 Spektral veriler ve düzenlenme işlemleri ile jeolojik değerlendirmeler 48
2.1.4.1 Spektroradyometre ölçme verilerinin ASTER SWIR bantlarına yeniden örneklenmesi ve spektral kütüphanenin oluşturulması 67
3. SAM YÖNTEMİ İLE SINIFLANDIRMA **71**
3.1.1 SAM yöntemi ile NTRS toplama 73
4. UYGULAMALAR **91**
4.1 Toplam Fay Ötelenmesi Analizi 91
4.1.1 Alan-10 ve Alan-11 arasındaki fay ötelenmesinin incelenmesi 91
4.1.2 Ofiyolitik kayaçların spektroradyometre ölçmeleri kullanılarak SAM ve fay ötelenmesi analizi 98
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER **109**
KAYNAKLAR **113**
ÖZGEÇMİŞ **139**

KISALTMALAR

ASD : Analytical Spectral Devices
ASTER : Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
CGMW : Dünya Jeolojik Harita Komisyonu
SYM : Sayısal Yükseklik Modeli
DN : Sayısal Gri Renk Değeri
EMR : Elektro Manyetik Radyasyon
GPS : Global Positioning System
JICA : Japon Uluslar arası İş Birliği Ajansı
KAF : Kuzey Anadolu Fayı
KAF : Kuzey Anadolu Fay Zonu
LİDAR : Light Detection And Ranging
MTA : Maden Tetkik Arama
NTRS : Nesne Tabanlı Referans Spektra
PCA : Ana Bileşenler Dönüşümü
SAM : Spectral Angle Mapper
SWIR : Kısa Dalga Kızıl Ötesi Radyometre
TIR : Termal Kızıl Ötesi Radyometre
TM : Tematic Mapper
UCF : Yansıtım Dönüşüm Parametresi
USGS : United Statas Geology Survey
UTM : Unversal Transverse Mercator
VNIR : Görünür Bölge Yakın Kızılötesi Radyometre
WGS84 : World Geodetic System 1984

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : ASTER uydu verileri çözünürlük bilgileri. 20
Çizelge 2.2 : Kullanılan ASTER uydu görüntüleri (P: path, R: row, S: swath, D: Tarih. 20
Çizelge 2.3 : Kullanılan ASTER uydu görüntülerine ait yansıtım dönüşüm (UCF) parametreleri (VNIR) 23
Çizelge 2.4 : Kullanılan ASTER uydu görüntülerine ait yansıtım dönüşüm (UCF) parametreleri (SWIR) 24
Çizelge 2.5 : ASTER SWIR bantları için yapılan atmosferik düzeltmede kullanılan atmosferik irradyans (ESUN) değerleri **(**Thome ve diğerleri, 2001)…27
Çizelge 2.6 : ASTER uydu görüntülerine ait zenit açıları 27
Çizelge 2.7 : Spektroradyometre ölçmeleri yapılan noktalar ve arazi değerlendirmeleri 50
Çizelge 2.8 : Alan-11'den toplanan kayaçlar ve belirlenen türleri 63
Çizelge 2.9 : Alan-10'den toplanan kayaçlar ve belirlenen türleri 63
Çizelge 2.10 : ASTER SWIR bantları spektral dalga boyları (Mikrometre)..... 67

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Akış diagramı 2
Şekil 1.2 : Çalışma bölgesi (üstte; Maden Tetkik Arama aktif fay haritası, altta; dekorelasyon gerilmesi görüntüsü).. 3
Şekil 1.3 : ASTER SWIR bantlarının K: SWIR-7, Y: SWIR-5, M: SWIR-4 renk kombinasyonu..... 4
Şekil 1.4 : A: Dekorelasyon gerilmesi analiz görüntüsü üzerinde test bölgeleri. B: Test bölgeleri (Google Earth, 2006 IKONOS).Test bölgeleri (Google Earth, 2006 IKONOS). 4
Şekil 1.5 : KAFZ, Erzincan- Reşadiye arasındaki atımı gösteren jeolojik harita (Seymen, 1975), X-X' arasındaki 85± 5 Km'lik mesafe zondaki ötelenmeyi göstermektedir.. 7
Şekil 1.6 : Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde meydana gelen tarihsel depremler (Şengör ve diğerleri, 2005). 9
Şekil 1.7 : Kumlara ait spektroradyometre ölçmelerinin, IKONOS uydu verisi bantlarının spektral aralıklarında gösterimi (Kaya ve diğerleri, 2007)....12
Şekil 1.8 : Genel spektral yansıtım eğrisi (Url-2).....14
Şekil 1.9 : Mineral yantısım spektraları ve oluşturulan NTRS'lerin uydu görüntüsünde gösterilmesi (Kruse, 2011). 17
Şekil 1.10 : ASTER SWIR bantlarında minerallere göre NTRS topalama sonucu oluşan görüntü (Vincente ve Filho,2011). 17
Şekil 2.1 :ASTER uydu görüntüsü bantları, dalga boyu aralıkları (Kalinowski ve Oliver, 2004). 20
Şekil 2.2 : ASTER SWIR bantlarının birbirlerine göre fiziksel durumları. 21
Şekil 2.3 : ASTER Data Opener yazılımı. 23
Şekil 2.4 : ER-Mapper yazılımı radyans kalibrasyonu. 24
Şekil 2.5 : ASTER uydusu radyometrik kalibrasyon (Kalinowski ve Oliver, 2004). 25
Şekil 2.6 : Radyans kalibrasyonu öncesi (sağda) ve sonrası (solda) piksel değerleri. 25
Şekil 2.7 : Uydunun dünyaya göre bulunduğu solar zenit açısı (zenit açısının 0° ve 60° durumlarında, uydu ve dünyanın durumları) (Url-4). 26
Şekil 2.8 : ER-Mapper yazılımı atmosferik düzeltme formülasyonu. 27
Şekil 2.9 : Dekorelasyon gerilmesi renk uzayı; (a) Korelasyonlu bantlar için KYM küpündeki piksellerin dağılımı. (b) Gerilmenin etkisi, veri kümesi gri çizgi boyunca uzatıldı fakat KMY küpü doldurulmadan. (c) Veri kümesine Dekorelasyon gerilmesi gri çizgiye dik olarak 3 Boyutda uygulanmış hali (Guo ve Moore, 1996). 29
Şekil 2.10 : Dekorelasyon Gerilmesi görüntüsü (K: SWIR 9, Y: SWIR 7, M:SWIR 4) ve KAF. 30
Şekil 2.11: Ana bileşenler dönüşümü sonuç görüntüsü kompoziti (K: 1. Bileşen, Y: 2. Bileşen, M: 3. Bileşen) ve KAF. 32
Şekil 2.12 : K: (SWIR5/SWIR6),Y: (SWIR7/ SWIR6), M: (SWIR7/ SWIR5) Bant oranlama kombinasyonu) ve KAF. 35

Şekil 2.13 : K: (SWIR5 x SWIR7)/ $(SWIR6)^2$,Y: (SWIR6/ SWIR8), M: (SWIR4)/ (SWIR5) Bant Kombinasyonu ve KAF. 37
Şekil 2.14 : K: (SWIR4)/(SWIR2), Y: (SWIR4/ SWIR5), (SWIR5/ SWIR6) Bant Kombinasyonu ve KAF. 39
Şekil 2.15 : K: SWIR4 / SWIR7, Y: SWIR7 / VNIR1, M: (VNIR2 / VNIR3) x (SWIR4 / VNIR3) Bant oranları görüntüsü ve KAF. 41
Şekil 2.16 : K: (SWIR4/ SWIR7), Y: (SWIR4/VNIR3), M: (VNIR2/VNIR1) Bant kombinasyonu ve KAF. 42
Şekil 2.17 : Dünya jeolojik Harita Komisyonu (CGMW)'ye göre KMY renk kodları, (Pelle, 2010). 45
Şekil 2.18 : Jeolojik formasyonları içeren jeoloji haritaları (Harita üzerindeki diktörgenler 1 : 25000 ölçekli paftaların sınırlarıdır). 46
Şekil 2.19 : Jeolojik zaman tablosu kodlarına göre oluşturulan jeolojik haritalar (her renk farklı bir jeolojik zamanı temsil etmektedir). 47
Şekil 2.20 : Os194 Nolu noktada yapılan spekroradyometre ölçmesi yapılan yer ve ölçme sonucu elde edilen tekrarlı 10 ölçü grafiği (Erzincan- Sivas karayolu). (900-1000 nm, 1350-1425 nm, 1850-1950nm, 2350-2500 nm dalga boyu aralıklarında ölçme sırasında oluşan gürültü etkisi görünmektedir). 48
Şekil 2.21: Yapılan ölçmelerin Dekorelasyon gerilmesi görüntüsü üzerinde gösterimi (siyah noktalar, ölçme yerlerini göstermektedir). 49
Şekil 2.22: Alan-5'deki kesitlerin incelenmesi (A: Arazide spektroradyometre ölçmesi ile elde edilen spektral yansıtımlar, B: Kesitleri oluşturan noktaların spektroradyometre ölçmelerinin ortalamasından elde edilen kesite ait spektral yansıtımlar, C: SYM ve jeoloji haritası üzerinde kesitlerin bulunduğu alanın gösterimi, D: Kesitlerin SYM ve jeoloji haritası üzerinde gösterimi). 54
Şekil 2.23: Alan-6'daki kesitlerin incelenmesi (A: Arazide spektroradyometre ölçmesi ile elde edilen spektral yansıtımlar, B: Kesitleri oluşturan noktaların spektroradyometre ölçmelerinin ortalamasından elde edilen kesite ait spektral yansıtımlar, C: SYM ve jeoloji haritası üzerinde kesitlerin bulunduğu alanın gösterimi, D: Kesitlerin SYM ve jeoloji haritası üzerinde gösterimi). 55
Şekil 2.24: Alan-10'daki kesitlerin incelenmesi (A: Arazide spektroradyometre ölçmesi ile elde edilen spektral yansıtımlar, B: Kesitleri oluşturan noktaların spektroradyometre ölçmelerinin ortalamasından elde edilen kesite ait spektral yansıtımlar, C: SYM ve jeoloji haritası üzerinde kesitlerin bulunduğu alanın gösterimi, D: Kesitlerin SYM ve jeoloji haritası üzerinde gösterimi). 57
Şekil 2.25: Alan-5'deki kesitlerin incelenmesi (A: Arazide spektroradyometre ölçmesi ile elde edilen spektral yansıtımlar, B: Kesitleri oluşturan noktaların spektroradyometre ölçmelerinin ortalamasından elde edilen kesite ait spektral yansıtımlar, C: SYM ve jeoloji haritası üzerinde kesitlerin bulunduğu alanın gösterimi, D: Kesitlerin SYM ve jeoloji haritası üzerinde gösterimi). 58
Şekil 2.26: 2010 arazi çalışması, kayaç örneklerinin toplandığı yerler (Kırmızı çember içerisindeki, kırmızı noktalar spektroradyometre ölçme noktaları). 59
Şekil 2.27 : 2010 yılı arazi çalışmasında toplanan kayaç örnekleri. 59

Şekil 1.3 : ASTER SWIR bantlarının K: SWIR-7, Y: SWIR-5, M: SWIR-4 renk kombinasyonu..... 4
Şekil 1.4 : A: Dekorelasyon gerilmesi analiz görüntüsü üzerinde test bölgeleri. B: Test bölgeleri (Google Earth, 2006 IKONOS).Test bölgeleri (Google Earth, 2006 IKONOS). 4
Şekil 1.5 : KAFZ, Erzincan- Reşadiye arasındaki atımı gösteren jeolojik harita (Seymen, 1975), X-X' arasındaki 85± 5 Km'lik mesafe zondaki ötelenmeyi göstermektedir.. 7
Şekil 1.6 : Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde meydana gelen tarihsel depremler (Şengör ve diğerleri, 2005). 9
Şekil 1.7 : Kumlara ait spektroradyometre ölçmelerinin, IKONOS uydu verisi bantlarının spektral aralıklarında gösterimi (Kaya ve diğerleri, 2007)....12
Şekil 1.8 : Genel spektral yansıtım eğrisi (Url-2).....14
Şekil 1.9 : Mineral yantısım spektraları ve oluşturulan NTRS'lerin uydu görüntüsünde gösterilmesi (Kruse, 2011). 17
Şekil 1.10 : ASTER SWIR bantlarında minerallere göre NTRS topalama sonucu oluşan görüntü (Vincente ve Filho,2011). 17
Şekil 2.1 :ASTER uydu görüntüsü bantları, dalga boyu aralıkları (Kalinowski ve Oliver, 2004). 20
Şekil 2.2 : ASTER SWIR bantlarının birbirlerine göre fiziksel durumları. 21
Şekil 2.3 : ASTER Data Opener yazılımı. 23
Şekil 2.4 : ER-Mapper yazılımı radyans kalibrasyonu. 24
Şekil 2.5 : ASTER uydusu radyometrik kalibrasyon (Kalinowski ve Oliver, 2004). 25
Şekil 2.6 : Radyans kalibrasyonu öncesi (sağda) ve sonrası (solda) piksel değerleri. 25
Şekil 2.7 : Uydunun dünyaya göre bulunduğu solar zenit açısı (zenit açısının 0° ve 60° durumlarında, uydu ve dünyanın durumları) (Url-4). 26
Şekil 2.8 : ER-Mapper yazılımı atmosferik düzeltme formülasyonu. 27
Şekil 2.9 : Dekorelasyon gerilmesi renk uzayı; (a) Korelasyonlu bantlar için KYM küpündeki piksellerin dağılımı. (b) Gerilmenin etkisi, veri kümesi gri çizgi boyunca uzatıldı fakat KMY küpü doldurulmadan. (c) Veri kümesine Dekorelasyon gerilmesi gri çizgiye dik olarak 3 Boyutda uygulanmış hali (Guo ve Moore, 1996). 29
Şekil 2.10 : Dekorelasyon Gerilmesi görüntüsü (K: SWIR 9, Y: SWIR 7, M:SWIR 4) ve KAF. 30
Şekil 2.11: Ana bileşenler dönüşümü sonuç görüntüsü kompoziti (K: 1. Bileşen, Y: 2. Bileşen, M: 3. Bileşen) ve KAF. 32
Şekil 2.12 : K: (SWIR5/SWIR6),Y: (SWIR7/ SWIR6), M: (SWIR7/ SWIR5) Bant oranlama kombinasyonu) ve KAF. 35
Şekil 2.13 : K: (SWIR5 x SWIR7)/ $(SWIR6)^2$,Y: (SWIR6/ SWIR8), M: (SWIR4)/ (SWIR5) Bant Kombinasyonu ve KAF. 37
Şekil 2.14 : K: (SWIR4)/(SWIR2), Y: (SWIR4/ SWIR5), (SWIR5/ SWIR6) Bant Kombinasyonu ve KAF. 39
Şekil 2.15 : K: SWIR4 / SWIR7, Y: SWIR7 / VNIR1, M: (VNIR2 / VNIR3) x (SWIR4 / VNIR3) Bant oranları görüntüsü ve KAF. 41
Şekil 2.16 : K: (SWIR4/ SWIR7), Y: (SWIR4/VNIR3), M: (VNIR2/VNIR1) Bant kombinasyonu ve KAF. 42
Şekil 2.17 : Dünya jeolojik Harita Komisyonu (CGMW)'ye göre KMY renk kodları, (Pelle, 2010). 45
Şekil 2.18 : Jeolojik formasyonları içeren jeoloji haritaları (Harita üzerindeki diktörgenler 1 : 25000 ölçekli paftaların sınırlarıdır). 46

Şekil 2.19 : Jeolojik zaman tablosu kodlarına göre oluşturulan jeolojik haritalar (her renk farklı bir jeolojik zamanı temsil etmektedir).....47
Şekil 2.20 : Os194 Nolu noktada yapılan spekroradyometre ölçmesi yapılan yer ve ölçme sonucu elde edilen tekrarlı 10 ölçü grafiği (Erzincan- Sivas karayolu). (900-1000 nm, 1350-1425 nm, 1850-1950nm, 2350-2500 nm dalga boyu aralıklarında ölçme sırasında oluşan gürültü etkisi görünmektedir).....48
Şekil 2.21: Yapılan ölçmelerin Dekorelasyon gerilmesi görüntüsü üzerinde gösterimi (siyah noktalar, ölçme yerlerini göstermektedir). 49
Şekil 2.22: Alan-5'deki kesitlerin incelenmesi (A: Arazide spektroradyometre ölçmesi ile elde edilen spektral yansıtımlar, B: Kesitleri oluşturan noktaların spektroradyometre ölçmelerinin ortalamasından elde edilen kesite ait spektral yansıtımlar, C: SYM ve jeoloji haritası üzerinde kesitlerin bulunduğu alanın gösterimi, D: Kesitlerin SYM ve jeoloji haritası üzerinde gösterimi). 54
Şekil 2.23: Alan-6'daki kesitlerin incelenmesi (A: Arazide spektroradyometre ölçmesi ile elde edilen spektral yansıtımlar, B: Kesitleri oluşturan noktaların spektroradyometre ölçmelerinin ortalamasından elde edilen kesite ait spektral yansıtımlar, C: SYM ve jeoloji haritası üzerinde kesitlerin bulunduğu alanın gösterimi, D: Kesitlerin SYM ve jeoloji haritası üzerinde gösterimi). 55
Şekil 2.24: Alan-10'daki kesitlerin incelenmesi (A: Arazide spektroradyometre ölçmesi ile elde edilen spektral yansıtımlar, B: Kesitleri oluşturan noktaların spektroradyometre ölçmelerinin ortalamasından elde edilen kesite ait spektral yansıtımlar, C: SYM ve jeoloji haritası üzerinde kesitlerin bulunduğu alanın gösterimi, D: Kesitlerin SYM ve jeoloji haritası üzerinde gösterimi). 57
Şekil 2.25: Alan-5'deki kesitlerin incelenmesi (A: Arazide spektroradyometre ölçmesi ile elde edilen spektral yansıtımlar, B: Kesitleri oluşturan noktaların spektroradyometre ölçmelerinin ortalamasından elde edilen kesite ait spektral yansıtımlar, C: SYM ve jeoloji haritası üzerinde kesitlerin bulunduğu alanın gösterimi, D: Kesitlerin SYM ve jeoloji haritası üzerinde gösterimi). 58
Şekil 2.26: 2010 arazi çalışması, kayaç örneklerinin toplandığı yerler (Kırmızı çember içerisindeki, kırmızı noktalar spektroradyometre ölçme noktaları).....59
Şekil 2.27 : 2010 yılı arazi çalışmasında toplanan kayaç örnekleri. 59
Şekil 2.28 : Laboratuvarda, ASD spektroradyometrede kontak- probe lensi kullanılarak, spektral yansıtım ölçmesi. 61
Şekil 2.29 : 2010 yılında gerçekleştirilen arazi çalışmasında toplanan kayaç örneklerinin ortalama spektral grafikleri (üstte; Alan-10, altda; Alan-11).. 61
Şekil 2.30 : Örnek kayaçların jeolojik kesitleri. 61
Şekil 2.31: Laboratuvarda ince kesitlerin mikroskopik incelemesi. 61
Şekil 2.32 : Uydu görüntüsü üzerinden, spektral profil noktaları ve bu noktalardan toplanan NTRS'ler (A; Alan- 11, B; Alan- 10, görüntüde kırmızı beyaz renkte NTRS noktaları, C, D; NTRS yansıtım grafikleri). 65
Şekil 2.33: A: 229 Nolu noktadaki Arkozik kumtaşına ait jeolojik ince kesitin mikroskobik görüntü, kuvars feldispat, volkanik kayaç, opak, kil, altere biotit var B: 229 Nolu noktadaki Arkozik kumtaşının jeolojik ince

kesidine ait cam-ıslak kesit-kuru kesit yansıtım ölçmeleri ile labratuvar ölçme, C: Uydu görüntüsü üzerinden toplanan NTRS yansıtımı, D: Ortalama spektroradyometre ölçmelerinin ASTER SWIR yeniden örneklenmiş hali. 66
Şekil 2.34: Spektral ölçme verilerinin SWIR bantlarına yeniden örneklenmesi (Solda, spektroradyometre ölçme verisi (nanometre), sağda, SWIR'a örneklenmiş hali (mikrometre)).....68
Şekil 2.35: Spektral kütüphane ve otomatik NTRS çizimi. 69
Şekil 3.1: SAM geometrisi (Yuhas ve diğerleri, 1992). 72
Şekil 3.2: Gölova Bölgesi'nden (Alan-10) b4 ve b6 spektraları.....73
Şekil 3.3 : b4 ve b6 kayaç spektraları için yapılan NTRS toplama işleminde kullanılan açısal benzerlik değerlerini belirleme.....74
Şekil 3.4 : b4 nolu metalav (kırmızı renkte) ve b6 nolu mermer (yeşil renkte) NTRS'leri ile oluşturulan SAM.....75
Şekil 3.5: Mermer ve metalav NTRS'lerinın toplanması ile oluşturulan SAM analiz görüntüsü ve 1:25000 ölçekli jeolojik haritanın karşılaştırılması. 77
Şekil 3.6: A: Mermer ve metalav NTRS'leri, B:SAM ve "Rule" analiz görüntülerinin çakıştırılması (SAM sınıflandırma sonucuna göre, A'daki metalava ait, kırmızı pikseller B'de mavi alanlar üzerinde; A'daki meremerlere ait yeşil pikseller B'de koyu pembemsi bölgeye denk gelmiştir). 79
Şekil 3.7 : A: Mermer ve metalav NTRS'leri, B: Dekorelasyon gerilmesi zenginleştirme görüntüsü üzerinde, SAM yöntemiyle yapılmış, mermer ve metalav NTRS'lerinın toplandığı sınıflandırma görüntüsü (SAM sınıflandırma sonucuna göre, A'daki metalava ait, kırmızı pikseller B'de sarı alanlar üzerinde; A'daki meremerlere ait yeşil pikseller B'de mavimsi bölgeye denk gelmiştir). 81
Şekil 3.8: A: Mermer ve metalav NTRS'leri, B: PCA zenginleştirme görüntüsü üzerinde, SAM yöntemiyle yapılmış, mermer ve metalav NTRS'lerinın toplandığı sınıflandırma görüntüsü (SAM sınıflandırma sonucuna göre, A'daki metalava ait, kırmızı pikseller B'de koyu pembe alanlar üzerinde; A'daki meremerlere ait yeşil pikseller B'de açık pembe bölgeye denk gelmiştir). 83
Şekil 3.9 : A: Mermer ve metalav NTRS'leri, B: Oran görüntüsü K: 4/7, Y: 4/1, M: (2/3) x (4/3) üzerinde, SAM yöntemiyle yapılmış, mermer ve metalav NTRS'lerinın toplandığı sınıflandırma görüntüsü (SAM sınıflandırma sonucuna göre, A'daki metalava ait, kırmızı pikseller B'de mozaik renkteki alanlar üzerinde; A'daki meremerlere ait yeşil pikseller B'de açık mavi bölgeye denk gelmiştir).....85
Şekil 3.10 : Mermer ve metalav NTRS spektralarına ait grafiğin ASTER SWIR bantları spektral aralığında gösterilmesi. 87
Şekil 3.11 : A: Mermer ve metalav NTRS'leri, B:ASTER SWIR K: 9, Y: 5, M: 4 kombinasyon görüntüsü ve SAM sınıflandırma görüntüsü çakıştırılması (SAM sınıflandırma sonucuna göre, A'daki metalava ait, kırmızı pikseller B'de açık renkteki alanlar üzerinde; A'daki meremerlere ait yeşil pikseller B'de morumsu bölgeye denk gelmiştir.....89
Şekil 3.12 : ASTER SWIR K: 9, Y: 5, M: 4 kombinasyon görüntüsü ve SAM sınıflandırma görüntüsü çakıştırılmasında b4 ve b6 nolu kayaçların yerleri (Arazide metalav ve mermer kayaç örneklerinin alıdığı yerlerin koordinatlarının SAM sınıflandırma görüntüsünde ilgili kayaçlara ait pikseller tespit edilmiştir).....90

Şekil 4.1 : SAM için seçilen NTRS'ler. 92
Şekil 4.2 : Toplanan NTRS'ler için seçilen SAM benzerlik açıları. 93
Şekil 4.3 : Alan-10 ve Alan-11'den toplanan NTRS'ler ve SAM analiz görüntüsü ile jeoloji haritasının çakıştırılması (A: Alan-10 ve Alan-11'in birlikte gösterildiği SAM NTRS toplama analizi, B: Alan-11'deki SAM ve NTRS'lerin oluşturdukları lokasyonlar, C: Alan-10'daki SAM ve NTRS'lerin oluşturdukları lokasyonlar, D: Alan-11 ve jeoloji haritası çakıştırılması, E: Alan-10 ve Jeoloji haritası çakıştırılması. 94
Şekil 4.4 : Alan-10, SAM ve jeolojik haritanın çakıştırlması. 96
Şekil 4.5: Jeoloji haritası üzerinde siyenit-granit olarak belirtilen alan ile kuvars-siyenit NTRS'inin çakışma görüntüsü. 97
Şekil 4.6: Serpantin için Erzincan-Sivas karayolu (os182'den os195'e kadar), İmranlı (os11'den os14'e kadar,), Çayırlı (os119'dan os127'ye kadar bölgeleri için spektroradyometre ölçmleri ortalamalar. 99
Şekil 4.7: Serpantin için oluşturulan, 3 bölgedeki spektroradyometre ölçmelerinin ASTER SWIR bantlarına örneklenmesi. 99
Şekil 4.8 :SAM analiz görüntüsünde serpantin NTRS'inin KAF'ın güneyi ve kuzeyinde tespit edildiği bölgeler (Kırmızı poligon ile çevrili alanlar), ASTER SWIR uydu verisi (K: Bant 9, Y: Bant 7, M: Bant 4). 100
Şekil 4.9 : SAM analiz görüntüsü üzerinde serpantin NTRS'ının fayın güneyindeki ve kuzeyindeki lokasyonları. 102
Şekil 4.10: SAM analiz görüntüsündeki serpantin NTRS'lerını jeoloji haritasında gösterilmesi (KAF'ın güneyi, Koyulhisar civarı), * ile dolu alanlar ofiyolitik kaya grupları. 103
Şekil 4.11: SAM analiz görüntüsündeki serpantin NTRS'lerini (kırmızı renkte) jeoloji haritasında gösterilmesi (KAF'ın kuzeyi Gölova civarı), * ile dolu alanlar ofiyolitik kaya grupları. 104
Şekil 4.12: Jeoloji haritası üzerinde ofiyolit alanlar ve SAM analiz görüntüsü (kırmızı renkteki çemberler içerisinde SAM ile tespit edilen Serpantinler bulunmaktadır. Jeoloji haritası da, kuzey ve güneyde benzer yapıları göstermektedir; * ile gösterilen yerler, Serpantin bölgesi 104
Şekil 4.13 : Jeoloji haritası SAM analiz görüntüsü ve dekorelasyon gerilmesi görüntüsü üzerinde ofiyolitlerin belirlenmesi (kırmızı renkteki çemberler içerisinde SAM ile tespit edilen Serpantinler bulunmaktadır. Jeoloji haritası da, kuzey ve güneyde benzer yapıları göstermektedir; * ile gösterilen yerler, Serpantin bölgesi. Dekorelasyon gerilmesi görüntüsünde açık mavi ve mor renkte görünen alanların KAF'ın kuzeyinde ve güneyinde benzer olduğu görünmektedir). 107
Şekil 4.14: Jeoloji haritası SAM analiz görüntüsü ve ana bileşenler dönüşümü görüntüsü üzerinde ofiyolitlerin belirlenmesi (kırmızı renkteki çemberler içerisinde SAM ile tespit edilen Serpantinler bulunmaktadır. * ile gösterilen yerler, jeoloji haritasına göre Serpantin bölgesidir. Ana bileşenler dönüşümü görüntüsünde mavimsi ve yeşilimsi renkte görünen alanların KAF'ın kuzeyinde ve güneyinde benzer olduğu görünmektedir). 108
Şekil 5.1: Çalışma bölgesinde tespit edilen ve ölçülen A-A' arasındaki fay ötelenmesi, A-A' arasındaki mesafe 90 ± 5 Km'dir (Dekorelasyon gerilmesi görüntüsü üzerindeki * işaretli yerler jeoloji haritasına göre Serpantindir). 112

Şekil A.1: A: 226 Nolu noktadaki kumtaşına ait jeolojik ince kesitin mikroskobik görüntü, kuvars feldispat, volkanik kayaç, opak, kil, altere biotit var B: 226 Nolu noktadaki kumtaşının jeolojik ince kesidine ait cam-ıslak kesit-kuru kesit yansıtım ölçmeleri ile labratuvar ölçme, C: Uydu görüntüsü üzerinden toplanan NTRS yansıtımı, D: Ortalama spektroradyometre ölçmelerinin ASTER SWIR yeniden örneklenmiş hali. 124
Şekil A.2: A: 219 Nolu noktadaki kuvars- siyenite ait jeolojik ince kesitin mikroskobik görüntü, kuvars, biotit, klorit, epidot, opak, proksen, apatit var B: 219 Nolu noktadaki kuvars- siyenitin jeolojik ince kesidine ait cam-ıslak kesit-kuru kesit yansıtım ölçmeleri ile labratuvar ölçme, C: Uydu görüntüsü üzerinden toplanan NTRS yansıtımı, D: Ortalama spektroradyometre ölçmelerinin ASTER SWIR yeniden örneklenmiş hali. 125
Şekil A.3: A: S1 Nolu noktadaki kırıntılı kireçtaşına ait jeolojik ince kesitin mikroskobik görüntü, biosperit, kuvars, feldispat, volkanik kayaç parçaları var B: S1 Nolu noktadaki kırıntılı kireçtaşının jeolojik ince kesidine ait cam-ıslak kesit-kuru kesit yansıtım ölçmeleri ile labratuvar ölçme, C: Uydu görüntüsü üzerinden toplanan NTRS yansıtımı, D: Ortalama spektroradyometre ölçmelerinin ASTER SWIR yeniden örneklenmiş hali. 126
Şekil A.4 : A: 210 Nolu noktadaki kaba kumtaşına ait jeolojik ince kesitin mikroskobik görüntü, biosperit, kuvars, feldispat, volkanik kayaç parçaları opak var B: 210 Nolu noktadaki kaba kumtaşının jeolojik ince kesidine ait cam-ıslak kesit-kuru kesit yansıtım ölçmeleri ile labratuvar ölçme, C: Uydu görüntüsü üzerinden toplanan NTRS yansıtımı, D: Ortalama spektroradyometre ölçmelerinin ASTER SWIR yeniden örneklenmiş hali. 127
Şekil A.5 : A: 225 Nolu noktadaki kaba kumtaşına ait jeolojik ince kesitin mikroskobik görüntü, biosperit, kuvars, feldispat, volkanik kayaç parçaları opak var B: 225 Nolu noktadaki kaba kumtaşının jeolojik ince kesidine ait cam-ıslak kesit-kuru kesit yansıtım ölçmeleri ile labratuvar ölçme, C: Uydu görüntüsü üzerinden toplanan NTRS yansıtımı, D: Ortalama spektroradyometre ölçmelerinin ASTER SWIR yeniden örneklenmiş hali. 128
Şekil A.6 : A: 223 Nolu noktadaki ince taneli kumtaşına ait jeolojik ince kesitin mikroskobik görüntü, biosperit, kuvars, feldispat, volkanik kayaç parçaları opak, glakoni, klorit var B: 223 Nolu noktadaki ince taneli kumtaşının jeolojik ince kesidine ait cam-ıslak kesit-kuru kesit yansıtım ölçmeleri ile labratuvar ölçme, C: Uydu görüntüsü üzerinden toplanan NTRS yansıtımı, D: Ortalama spektroradyometre ölçmelerinin ASTER SWIR yeniden örneklenmiş hali. 129
Şekil A.7 : A: B4 Nolu noktadaki metalava ait jeolojik ince kesitin mikroskobik görüntü, epidot, proksen, plagioklas kuvars, klorit ve bazik volkanik var B: B4 Nolu noktadaki metalavın jeolojik ince kesidine ait cam-labratuvar ölçmesi, C: Uydu görüntüsü üzerinden toplanan NTRS yansıtımı, D: Ortalama spektroradyometre ölçmelerinin ASTER SWIR yeniden örneklenmiş hali. 130
Şekil A.8: A: 206 Nolu noktadaki altere volkanik kayaya ait jeolojik ince kesitin mikroskobik görüntü, kuvars, klorit ve bazik volkanik var B: 206 Nolu noktadaki altere volkanik kayanın jeolojik ince kesidine ait cam-ıslak

kesit-kuru kesit yansıtım ölçmeleri ile labratuvar ölçme, C: Uydu görüntüsü üzerinden toplanan NTRS yansıtımı, D: Ortalama spektroradyometre ölçmelerinin ASTER SWIR yeniden örneklenmiş hali. 131

Şekil A.9: A: 205 Nolu noktadaki meta kumtaşına ait jeolojik ince kesitin mikroskobik görüntü, kuvars, klorit ve bazik volkanik var B: 205 Nolu noktadaki altere meta kumtaşının jeolojik ince kesidine ait cam-ıslak kesit-kuru kesit yansıtım ölçmeleri ile labratuvar ölçme, C: Uydu görüntüsü üzerinden toplanan NTRS yansıtımı, D: Ortalama spektroradyometre ölçmelerinin ASTER SWIR yeniden örneklenmiş hali. 132

Şekil A.10: A: B7 Nolu noktadaki metavolkanik kayaya ait jeolojik ince kesitin mikroskobik görüntüsü, kuvars, feldispat, epidot, kalsit, klorit, opak var B: B7 Nolu noktadaki altere metavolkanik kayanın jeolojik ince kesidine ait cam-ıslak kesit-kuru kesit yansıtım ölçmeleri ile labratuvar ölçme, C: Uydu görüntüsü üzerinden toplanan NTRS yansıtımı, D: Ortalama spektroradyometre ölçmelerinin ASTER SWIR yeniden örneklenmiş hali. 133

Şekil A.11: A: 208 Nolu noktadaki metakumtaşına ait jeolojik ince kesitin mikroskobik görüntüsü, kuvars, feldispat, volkanik kayaç, opak var B: 208 Nolu noktadaki metakuimtaşının jeolojik ince kesidine ait cam-ıslak kesit-kuru kesit yansıtım ölçmeleri ile labratuvar ölçme, C: Uydu görüntüsü üzerinden toplanan NTRS yansıtımı, D: Ortalama spektroradyometre ölçmelerinin ASTER SWIR yeniden örneklenmiş hali. 134

Şekil A.12: A: B8 Nolu noktadaki metakumtaşına ait jeolojik ince kesitin mikroskobik görüntüsü, kuvars, kalsit, demir, opak var B: B8 Nolu noktadaki metakumtaşının jeolojik ince kesidine ait cam-ıslak kesit-kuru kesit yansıtım ölçmeleri ile labratuvar ölçme, C: Uydu görüntüsü üzerinden toplanan NTRS yansıtımı, D: Ortalama spektroradyometre ölçmelerinin ASTER SWIR yeniden örneklenmiş hali. 135

Şekil A.13: A: 209 Nolu noktadaki metavolkanite ait jeolojik ince kesitin mikroskobik görüntüsü, kuvars, feldispat, epidot, kalsit, klorit, opak var B: 209 Nolu noktadaki metavolkanitin jeolojik ince kesidine ait cam-ıslak kesit-kuru kesit yansıtım ölçmeleri ile labratuvar ölçme, C: Uydu görüntüsü üzerinden toplanan NTRS yansıtımı, D: Ortalama spektroradyometre ölçmelerinin ASTER SWIR yeniden örneklenmiş hali. 136

Şekil A.14: A: B6 Nolu noktadaki mermere ait jeolojik ince kesitin mikroskobik görüntüsü, kalsit, kuvars yoğunluğu kalsit içinde, muskovit, feldispat var B: B6 Nolu noktadaki mermerin jeolojik ince kesidine ait cam ile labratuvar ölçmesi, C: Uydu görüntüsü üzerinden toplanan NTRS yansıtımı, D: Ortalama spektroradyometre ölçmelerinin ASTER SWIR yeniden örneklenmiş hali. 135

KUZEY ANADOLU FAY ZONU'NDAKİ (ERZİNCAN SİVAS-KOYULHİSAR ARASI) LİTOLOJİK FARKLILIK VE BENZERLİKLERİN UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ

ÖZET

Doktora tez çalışması kapsamında Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)'nun Kelkit Vadisi bölümünde yer alan, kuzeydoğuda Erzincan- Çayırlı ilçesi ve güneybatıda Sivas- Koyulhisar ilçesi Karaçam Köyü arasındaki bölge çalışma alanı olarak seçilmiştir. Seçilen alanının büyük olmasından dolayı, çalışma alanı fay zonu boyunca 11 adet test bölgesine ayrılmıştır. Test bölgeleri seçilirken Kuzey Anadolu Fayı (KAF)'ın kuzeyi ve güneyinde olmak üzere doğudan baltıya doğru "Alan" ön adı verilerek, sıralanmıştır.

KAF'ın kuzey ve güney kısımlarında kalan jeolojik birimlerin, litolojik ve mineralojik özelliklerine göre ayrımlanmalarına dayanarak, bölgede fay zonu boyunca oluşmuş toplam atımın ölçülmesi amaçlanmıştır.

Çalışmalara, literatür araştırması yapılarak başlanılmış olup, bölge ile ilgili yapılmış jeolojik çalışmalar derlenmiştir. Ayrıca, çalışmada kullanılan veriler ve yöntemleri içeren çalışmalar da incelenmiştir. Literatür çalışması, jeolojik ve uzaktan algılama çalışmaları adlarında iki ayrı başlıkta toplanmıştır.

Çalışma amacı doğrultusunda, çalışma verisi olarak, ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflectance Radiometer) uydusuna ait 9 çerçeve VNIR (Görünür bölge yakın kızılötesi), SWIR (Kısa dalga kızılötesi) TIR (Termal) algılayıcılarına ait uydu verisi ile 1:25000 ölçekli jeoloji formasyon haritaları temin edilmiştir. Ayrıca, cisimlerden yansıyan enerjinin yansıtım verisi olarak 350- 2500 nanometre dalga boyu aralığında kaydedilmesini sağlayan ASD (Analytical Spectral Devices) yersel spektroradyometre ölçme verileri de kullanılmıştır. Bunların yanı sıra, çalışma bölgesinden jeolojik örnek olarak toplanan kayaçların, jeolojik ince kesit değerlendirmeleri de çalışma verisi olarak kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan uydu verilerine, görüntülerin kullanılabilirliliğini artırmak için çapraz karışma (crosstalk) düzeltmesi, radyans kalibrasyonu ve atmosferik düzeltme ile radyansdan reflektansa dönüştürme işlemleri sırasıyla uygulanmıştır. Çapraz karışma düzetmesiyle, ASTER uydu görüntülerinin SWIR bantlarında, görüntülerin kayıtları sırasında 4. bantdan yansıyan fotonların diğer bantları olumsuz etkilemesi sonucu açığa çıkan olan bozucu etki giderilmiştir. Radyans kalibrasyonu ile, görüntülerin dijital gri renk değerleri atmosferde bulunan radyans değerlerine, yeniden ölçeklenerek dönüştürülmüştür. Atmosferik düzeltme işlemi, görüntülerin radyansı üzerindeki saçılma ve yutulmaya bağlı olan atmosfer etkisini hesaplayıp, düzeltmek ve uydu görüntüsünü gerçek yansıtım değerleri ile ifade etmek için yapılmıştır. Atmosferik düzeltme ile uydu görüntüleri kullanılarak yapılan spektral veri analizlerinin atmosfer etkisinin olmadığı şatlarda yapılması sağlanmıştır. Ayrıca uydu verisine atmosferik düzeltme yapılarak, uydu verisinin atmosfer etkisinin olmadığı spektroradyometre ölçme verileri ile aynı ortama yaklaşması sağlanmıştır.

Atmosferik düzeltme için gerekli ortalama irradyans değerleri, MODTRAN algoritması kullanılarak hesaplanan değerlerden alınmıştır.

ASTER uydu verilerine, görüntü zenginleştirme yöntemlerinden dekorelasyon gerilmesi, ana bileşenler dönüşümü ve bant oranlama işlemleri uygulanarak, uydu görüntülerinin yorumlanabilirliği artırmıştır. Görüntü zenginleştirme işlemi uygulanmış uydu görüntü verileri analiz edilerek, jeolojik yapıların ayırt edilmesi amaçlanmıştır. Bant oranlama işlemlerinde kullanılan oranlar Kalinowski ve Oliver tarafından 2004 yılında yayınlanan çalışmadan alınmıştır. Ancak, yapılan bant oranlamaları sonucu açığa çıkan görüntü kompozitleri kullanılarak litoloji tayini yapılması amaçlanmamıştır.

Çalışma verisi olarak temin edilen ve jeolojik açıdan, birim yaşı, zemin yapısı ve simge kodlarından oluşan öznitelik bilgilerine sahip katmanları olan, üzerlerindeki birimlerin alanlarının vektörel özellikleri de bilinen jeolojik haritalar, birim yaşına göre yeniden düzenlenmiştir. Bu düzenlemede her birim yaşına farklı bir K-Y-M renk kod değeri atanmıştır. Bu renk kodları, Dünya Jeolojik Harita Komisyonu (CGMW) tarafından hazırlanan, jeolojik zaman tablosu değerlerinden alınmıştır.

Çalışma kapsamında, spektral veri elde etmek ve bu verileri kullanarak kayaç topluluklarını belirleyip, aynı veya farklı yapıdaki jeolojik birimlerin açığa çıkarılması amacıyla spektroradyometre ölçmeleri yapılmıştır. İlk olarak 2009 yılı Haziran ve Temmuz aylarını kapsayan ölçmelerde, Şekil 1.3'de gösterilen 11 lokal bölgede ve 229 noktada spektroradyometre ölçmeleri gerçekleştirilmiştir. Her noktanın koordinatı, spektroradyometre ölçme verilerinin çalışmada kullanılan diğer verilerle çakıştırılması için el GPS kullanılarak kaydedilmiştir. Gerçekleştirilen spektroradyometre ölçmeleri sırasında, türü değerlendirilen ve ortalama spektral yansıtım grafiklerinin ortalaması ile kesitler toplam dört test alanında oluşturulmuştur. Arazi değerlendirmesine göre aynı tür olarak gözlenen ve benzer yansıtıma sahip olan ölçmelerden, çalışma kapsamında temin edilen jeoloji haritası sınırları içerisinde kalanlar için ortak kesitler hazırlanmıştır. Her kesit için, kesiti oluşturan noktalara ait spektroradyometre ölçmelerinin ortalamaları alınarak, kesite ait bir spektral veri elde edilmiştir. 2010 yılında Alan-10 ve Alan-11'de arazi çalışması tekrar yapılmış ve bu iki bölgeden kayaç örnekleri toplanmıştır. Bu kayaç örneklerinin laboratuvar ortamında spektral yansıtım ölçmeleri yapılmıştır.

Araziden getirilen kayaçların mineral yapılarına göre gruplandırılması yapılmıştır. Daha sonra kayaç örneklerinin tür ve mineral yapılarını belirlemek için jeolojik ince kesit alma işlemi ve bu kesitlerin mikroskobik incelenmesi İTÜ jeoloji Mühendisliği Bölümü laboratuvarında yapılarak, kayaçların türleri belirlenmiştir.

Spektroradyometre verileri ile uydu verilerinin entegrasyonunu sağlamak için, spektroradyometre ölçmelerinin 350 -2500 nanometre dalga boyunda elde edilen toplam 2152 spektral dalga boyunda yansıtıma duyarlı biçimdeki spektral verileri, ASTER SWIR bantlarına yeniden örneklemeler sonucunda, toplam 6 spektral dalga boyu aralığında duyarlı hale getirilmiştir. Yeniden örneklenme işleminden sonra yeni oluşan spektral veri setlerinin sınıflandırma analizlerine, Nesne Tabanlı Referans Spektra (NTRS) (endmember) olarak düzenli bir şekilde girebilmeleri için bu yeni veri setleri için spektral kütüphane oluşturulmuştur.

Çalışmada, NTRS toplamaya yönelik yapılan, uydu verileri ile kullanılan birçok haritalama ve sınıflandırma analizlerinden en popülerinden biri olan, fiziksel olarak iki spektrum arasındaki benzerlikleri hesaplayan ve hesaplanan spektraların açılarındaki benzerliklere göre sınıflandırma yapan SAM (Spectral Angle Mapper) yöntemi seçilmiştir.

İlk olarak Gölova bölgesinden toplanan kayaçlardan, arazide "b6" ve "b4" olarak adlandırılan mermer ve metalav kayaçlarına ait spektralar kullanılarak, NTRS toplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, arazide mermer (b6) ve metalav (b4) kayaçları için kayıt edilen GPS koordinatlarının, SAM analiz görüntüsünde NTRS'lere ait alanlar içinde olduğu anlaşılmıştır.

Çalışmada fay ötelenmelerinin incelenmesi amacıyla da SAM analizi yapılmıştır. İlk olarak, KAF'ın kuzeyinde bulunan Alan-10 ve Güneyinde bulunan Alan-11'de geçekleştirilen ve bu alanların litolojik ve mineralojik benzerliğine göre Alan-10 ve Alan-11 arasındaki ötelenme analizi yapılmıştır. Alan-10 için mermer (b4), metalav (b6), Alan-11 için arkozik kumtaşı (O229), kuvars-siyenit (O219) ve kireçtaşı (s1) NTRS'leri her iki bölgeden de ayrı ayrı toplanmıştır. Her iki bölgeye ait kayaçların NTRS'leri karşılıklı olarak her iki bölgede de tespit edilmiştir. Diğer bir atım analizinde ise, zondaki yaşı itibari ile marker kayaç özelliği taşıyan ofiyolit sınıfı kayaçlarından, serpantine ait NTRS toplama analiz görüntülerinde, KAF'ın kuzey batı bölümleri ile güney doğu bölümlerindeki benzerlikler incelenmiştir.

Sonuç olarak, SAM analiz görüntülerinde ve görüntü zenginleştirme analiz görüntülerinde, ofiyolit sınıfı kaya grubu olarak değerlendirilen ve fay ötelenmesi analizleri için marker kayaç grubu olarak kabul edilen kayaçlar tespit edilmiştir. Jeolojik harita verilerine göre kontrol edildiğinde, bölgede ofiyolit sınıf kayaçlarının jeoloji haritasında da bulunduğu anlaşılmıştır. KAF'ın güneyinde ve kuzeyinde benzer yapılar olarak değerlendirilen, belirteç kayaçlar arasındaki ötelenme 90 ± 5 Km.'dir.

IDENTIFICATION OF LITHOLOGICAL DIFFERENCES AND SIMILARITIES IN THE NORTH ANATOLIAN FAULT ZONE (BETWEEN ERZINCAN ÇAYIRLI AND SIVAS KOYULHISAR) BY USING THE REMOTE SENSING MOTHODS

SUMMARY

The study area is located in Kelkit Valley Part of the North Anatolian Fault Zone (NAFZ), bordered by Erzincan- Çayırlı Cunty from the Northeast and, Sivas-Koyulhisar- Karaçam Village from the Southwest. The area was divided into 11 test sites. During the selection of the sites, each site was entitled with the prefix "Alan". Also the sites were sequentialy numbered from east to west.

Lithology and mineralogy of the geological units were featured reletively to each other. Based on the lithological classification of geological units on either side of the North Anatolian Fault (NAF), it is aimed to estimate total offset of the NAF.

In this study, first a literature review was conducted, and the privious geological studies about the area were examined. The literature review was seperated into two subheadings as "the remote sensing studies" and "the geological studies".

As data contain 9 scenes of ASTER VNIR, SWIR, TIR satellite image sets, geological formation map of the area in scale 1:25000 were obtained. And, ASD (Analytical Spectral Devices) field spectroradiometer, which has the capability of recording the electromagnetic energy reflected from the objects as reflectance, measurement data were used.

To increase the utility of the satellite images, crosstalk (an effect in ASTER imagery caused by signal leakage from band 4 into adjacent bands 5 and 9) correction, radiance calibration (a process of rescaling the digital values to observed top of atmosphere radiance values to 8-bit data and is important for reducing information loss) and atmospheric correction (retrieve the surface reflectance from remotely sensed imagery by removing the atmospheric effects) processes were applied to remote sensing data respectively. On the atmospheric correction, calculated using spectral irradiance values dervied using MODTRAN. And the radiance values of the remote sensing data were converted to reflectance values.

As digital image enhancement methods, decorelation streching, principal component analysis and bant rationing process were applied to the ASTER satellite images. The aim was to perform process, increase the visual interpretation of the geological units, and analyze the images for separating lithology. The ratios by Kalinowski ve Oliver (2004) were in band rationing process.

The geological formation map, which has layers with attributes of unit age, ground structure, symbol code, and known vectorial area data, were reorganized according to the unit age. Different RGB color code used in the process of reorganizing for each geological unit age. RGB color codes were obtained from the geological time table of the Commission for the Geological Map of the World (CGMW).

To obtain spectral reflectance data of the rock in study area, and use them for determining the rock components, spektroradiometer measurements were done. Hereby, classification of different types of rocks were aimed. Firstly, in 2009, between the months of June and July, 229 spectroradiometer measurent was done in 11 test sites as shown in Figure 1.3. Coordinates of each spektral point was recorded with hand held GPS for entegrating to other types of data. In the field study, rocks types were noted. Then, the rocks were grouped according to their kinds in same test site. By using same spektral measurements of grouped rocks in the same area in the geological map, line sections of the measurent points were made for four test sites. To assign spectral data to each section, the mean of the spektral measurements of the points were used. In 2010, the second field study was done in the test sites of Alan-10 and Alan-11. In this study, 37 rock samples were collected from 37 different points. Spektroradiometer measurement of this rocks samples were done in the laboratory.

The rocks collected in the Alan-10 and Alan-11 were grouped by their geological and mineralogical structures. Then, geological thin sections of the rocks were prepared in İ.T.Ü. Geological Engineering Laboratory. The evaluation of mineralogical structures of the rock were done by microscopic examination. And the rocks types were assigned.

Spectroradiometer measurement data that are obtained at 2152 wavelenght points, in the range of 350-2500 nanometers, were resampled to the 6 bands range of ASTER SWIR sensor. After the resampling process, a spectral library, which contains the new spectral data sets, was created. The library was used for entering the spectral data as endmember to the classifications. The endmember was called as Object Based Reference Spectra (NTRS).

To collect endmember on the ASTER images and classify the images, the “Spectral Angle Mapper” (SAM) method was used. The method produces maps of the spectrally predominant mineral for each pixel by comparing the angle between the image spectra and reference spectra in n-dimensional vector space. And smaller angles represent closer matches to the reference spectrum.

In SAM analysis, two kinds of NTRS that were numbered “b4” assigned marble and “b6” assigned metalava were collected on the ASTER SWIR images. As a result of SAM, marble and metalava rocks were detected in Gölova Region (Alan-10)at same coordinates of the samples. Then the SAM result was compared with the geological map the region. Consequently, marble was proved in the geological map about the coordinates of “b4”.

Also, SAM analysis was made to estimate the displacements in the NAFZ. The firstly analysis was made for the test site Alan-10, which is on the Norteast of the KAF, and the test site Alan-11, which is the Southwest of the KAF.It was aimed to determine the lithological and mineralogical similarities of the two test sites. The rocks of marble (b6) and metalava (b4) which were from Alan-10 and quartz-syenite (o219), arkosic sandstone (o229), limestone (s1) which were from Alan-11 had been selected as NTRS. Consequently, the NTRSs of “b4” and “b6” were detected in Alan-11, and the NTRSs of “o219, o229, s1 were detected in Alan-10. Another displacement estimation analysis on NAFZ was made with the NTRS of, which is the marker rocks for its geological age, by using SAM.

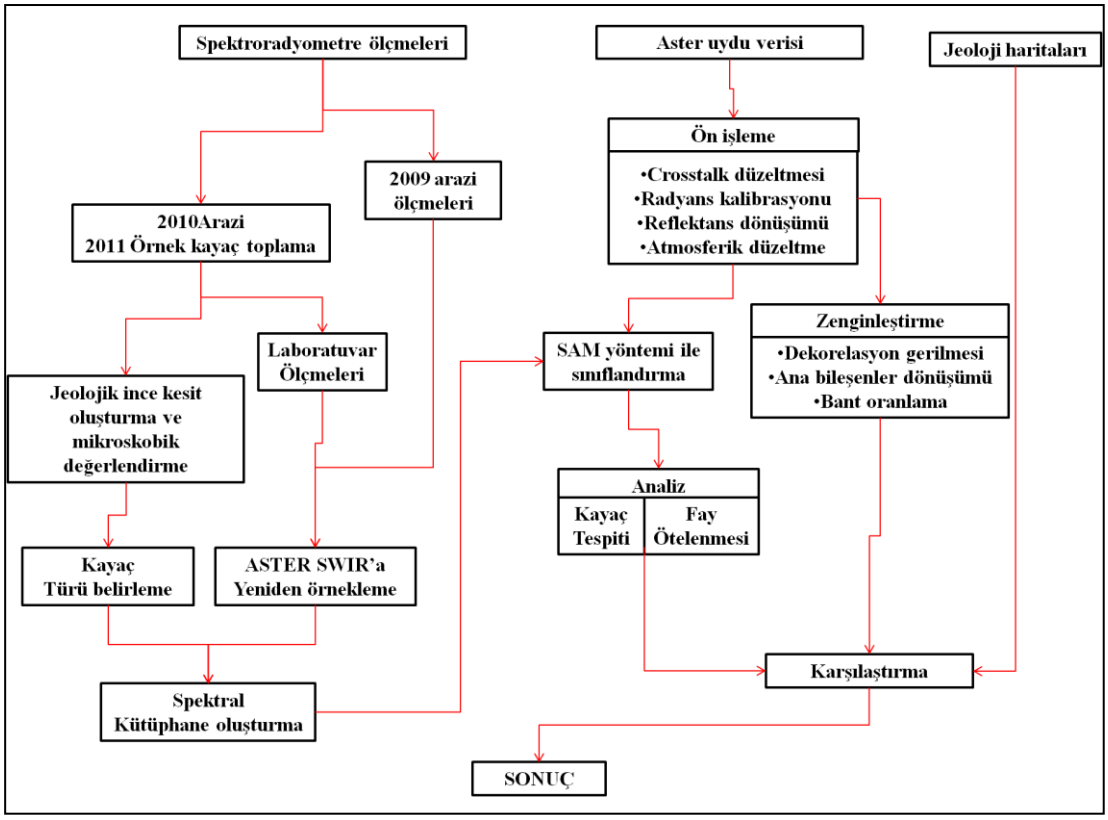
As a conclusion of the displacement estimation in the NAFZ, the NTRS of ophiolitic serpentine were detected on the Norheast and the Southwest of the NAF. By proving the result, geological map and the result of enhancement images were compared with SAM. The horizontal distance was measured as 90 ± 5 Km between the regions with serpentine on the Norheast and the Southwest of the NAF.

1. GİRİŞ

Bu Doktora tez çalışması kapsamında, KAFZ'nin Erzincan- Çayırlı ile Sivas-Koyulhisar arasında kalan kesimindeki marker kayaçlar arasındaki ötelenme miktarlarını uzaktan algılama ve yersel ölçme yöntemleri belirlenip, bölgedeki toplam atım ölçülmüştür. Uzaktan algılama çalışmalarında öncelikle, bölgeyi kapsayan 9 çerçeve ASTER Level 3A uydu görüntüsü ve sayısal yükseklik modeli temin edilmiştir. Uydu görüntülerinin kayıt hataları düzeltilerek, görüntülere zenginleştirme metotları uygulanmıştır. Bölgeye ait jeolojik formasyon haritası temin edilerek, harita bölgedeki kayaçların jeolojik yaşlarına göre yeniden düzenlenmiştir. Bölgedeki kayaçların spektral yansıtım değerlerini ölçüp, bölgesel karşılaştırma ve değerlendirme yapmak için 2009 ve 2010 yıllarında arazide ve laboratuvarda spektroradyometre ölçmeleri yapılmıştır. Arazide yapılan spektroradyometre ölçmeleri 11 farklı bölgede gerçekleştirilmiştir. Laboratuvarda gerçekleştirilen spektroradyometre ölçmeleri iki bölgeden toplanan kayaçlar üzerinde yapılmıştır. İki bölgeden toplanan kayaçların mineral yapıları ve türlerini belirlemek için kayaçların jeolojik ince kesitleri oluşturulmuştur. Spektroradyometre ölçmeleri ile uydu görüntülerinin entegrasyonu Spectral Angle Mapper (SAM) kontrollü sınıflandırma yöntemi ile sağlanarak, Nesne Tabanlı Referans Spektralar (NTRS) toplanarak, litolojik ve mineralojik ayrımlanma yapılmıştır.

Uydu verilerine zenginleştirme metodu olarak, ana bileşenler dönüşümü ve dekorelasyon gerilmesi ve bant oranlamalar uygulanmıştır. Metotlar ile görüntülerin bantları arasındaki korelasyonların giderilip, görüntüdeki veri yoğunlunun azaltılmasının yanı sıra görüntülerdeki distorsiyonların giderilmesiyle yorumlanabilirliğin artırılması amaçlanmıştır. Bant oranlamalar ile yansıtımın maksimum olduğu bölgenin, yansıtımın minimum olduğu bölgeye oranıyla litolojik yapıların görselliğinin artırılması sağlanmıştır. Zenginleştirme metotları uygulanan görüntüler, SAM analizi görüntülerinin kontrolünü sağlamada ve litolojik yapıları ayırt etmede yararlı sonuçlar vererek, jeolojik harita ile uyum sağlamıştır.

Çalışmanın amacı olan ötelenmeleri ölçmek için mineralojik ve litolojik yapıların belirlenmesinde kullanılan SAM, uzaktan algılamada son yıllarda kullanılmaya başlanılan ve spektroradyometre ölçmeleri ile uydu görüntüleri arasındaki entegrasyonu başarıyla sağlamıştır (Şekil 1.1).



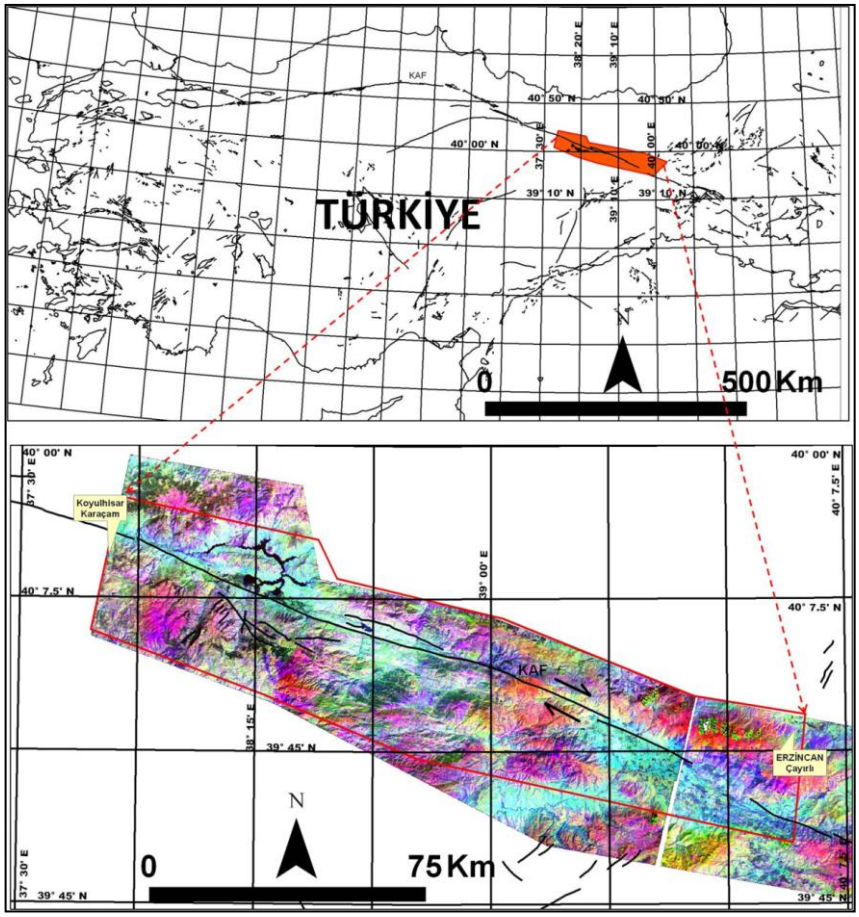
Şekil 1.1: Akış diagramı.

1.1 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının amacı, Türkiye ve Dünya'nın en önemli doğrultu atımlı fay zonlarından birisi olan ve tarihten günümüze kadar geçen süre içerisinde çok büyük depremler üreten Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)'nun Kelkit Vadisi bölümündeki mineralojik ve jeolojik yapıların uzaktan algılama yöntemleri ve yersel çalışmalarla belirlenerek, zon boyunca farklı veya aynı jeolojik yapılar ayırt edilip, fay zonundaki jeolojik yapıların birbirlerine göre olan durumlarının araştırılmasıdır. Çalışmada litolojik ve mineralojik yapıların ayırt edilmesinde, SAM yönteminin kullanılabilirliği de sınanmıştır. Ayrıca jeolojik birimlerin açığa çıkartılan litolojilerine dayanarak, bölgedeki fay zonu boyunca oluşmuş toplam atım hakkında sonuç elde etmek amaçlanmıştır.

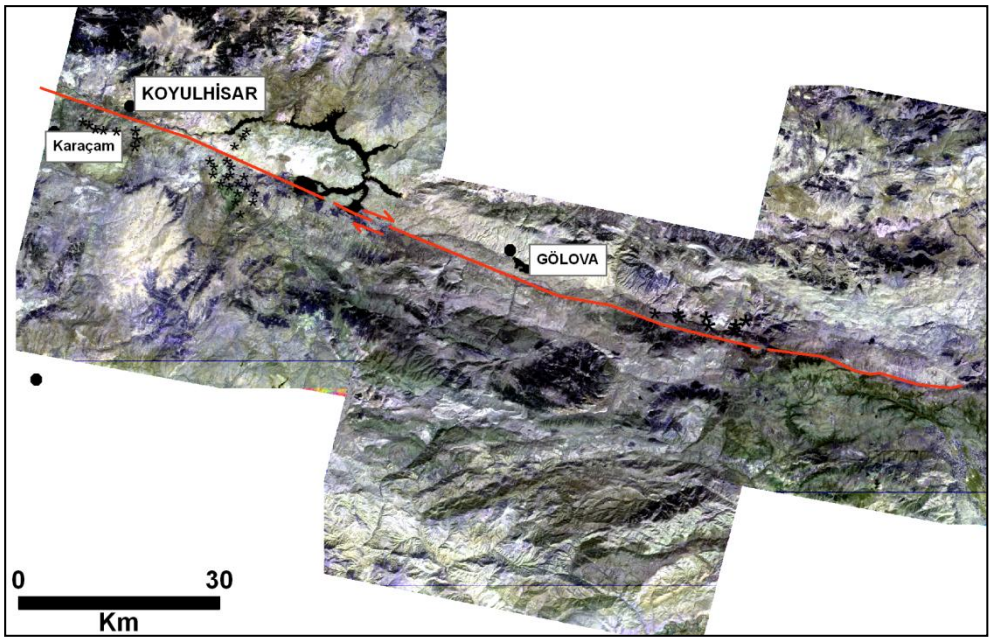
1.2 Çalışma Alanı ve Test Bölgelerinin Seçimi

Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde, Kelkit Vadisi boyunca belirlenen çalışma alanı, kuzeydoğuda, Erzincan-Çayırlı (39° 48’ K, 40° 02’ D), güneybatıda Koyulhisar ilçesi, Karaçam Köyü yakınları (40° 13’K, 37° 46’D), kuzeybatıda Sivas-Gölova ilçesi civarı (40° 07’K, 37° 36’D), ve güneydoğuda Erzincan- İliç civarı (39° 13’K, 40° 15’D) olarak sınırlandırılmıştır (Şekil 1.2).

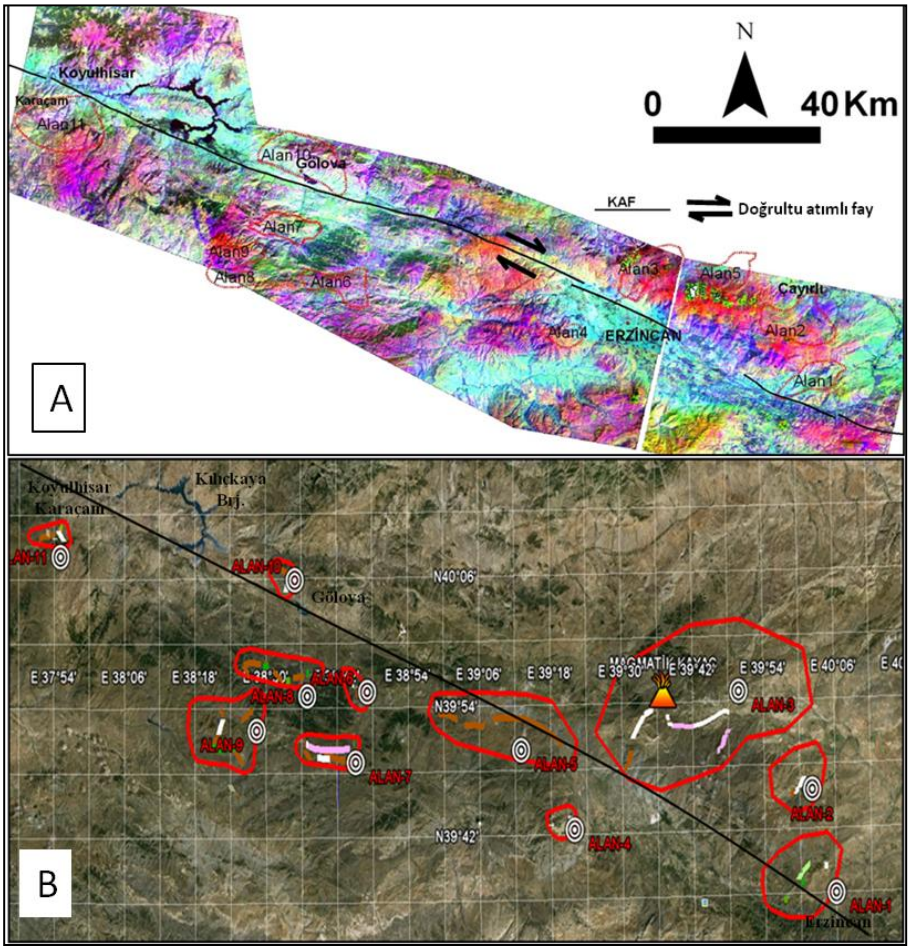


Şekil 1.2 Çalışma Bölgesi (üstte; Maden Tetkik Arama (MTA) aktif fay haritası, altda; dekorelasyon gerilmesi görüntüsü).

Jeolojik birimlerin spektral özelliklerini belirleyip, farklı ve benzer yapıları açığa çıkarmak amacıyla yapılması planlanan spektroradyometre ölçmeleri için, çalışma bölgesinin çok büyük olmasından dolayı ve bölgesel değerlendirme yapılabilmesi için test bölgeleri oluşturulmuştur. Bu test bölgelerini belirlemek için Bölüm 3’de bahsedilecek uydu görüntülerine (Şekil 1.3) uygulanan, zenginleştirme analizlerinden olan dekorelasyon gerilmesi analiz sonuçlarından yararlanılmıştır (Şekil 1.4). Çalışma bölgesi toplamda onbir test bölgesine ayrılmıştır. Test bölgelerine “Alan” ön adı verilerek 1’den 11’e kadar adlandırılmışlardır (Şekil 1.4).



Şekil 1.3: ASTER SWIR bantlarının K: SWIR-7, Y: SWIR-5, M: SWIR-4 renk kombinasyonu.



Şekil 1.4: A: Dekorelasyon gerilmesi analiz görüntüsü üzerinde test bölgeleri**.** B**:** Test bölgeleri (Google Earth, 2006 IKONOS).

1.3 Literatür Araştırması

Dünya'da ve ülkemizde; jeolojik ve jeomorfolojik yöntemler ve gözlemler ile uzaktan algılama teknolojisinin jeoloji ve jeomorfolojide kullanılmasıyla yapılmış çalışmalar olarak incelenmiştir.

1.3.1 Jeolojik çalışmalar

KAFZ, en batıda Saros Körfezi'nde başlayıp yaklaşık 1300 km uzunluğunda dışbükey bir yay çizerek en doğuda Bingöl- Karlıova'ya kadar uzanan büyük bir aktif fay zonunu temsil etmektedir. Bazı araştırmacılar tarafından doğrultu atımlı bir faydan ziyade transform fay niteliği göz önünde bulundurulur (Koçyiğit ve diğerleri, 1995).

Çok sayıda araştırıcı (Ketin, 1948; Tokay, 1973; Seymen, 1975; Tatar, 1975; Şengör, 1979; Sipahioğlu, 1984; Şengör ve diğerleri, 1985; Barka and Gülen, 1987; Şaroğlu, 1988; Nurlu ve diğerleri, 1995; Tatar, 1996a-b; Yaltırak ve diğerleri, 1998; Armijo ve diğerleri, 1999, Ayhan ve diğerleri, 2001, Akyüz, 2002; Özalaybey ve diğerleri, 2002, Yaltırak ve diğerleri, 2000; Yaltırak, 2002, Şengör ve diğerleri, 2005; Tatar ve diğerleri, 2011) tarafından incelenen Kuzey Anadolu Fayı (KAF), Türkiye'nin en önemli tektonik yapıları arasında yer almaktadır. Türkiye'de meydana gelen önemli oranda can ve mal kaybına neden olan depremlerin büyük bir kısmının bu faya bağlı olarak geliştiği gözlenmiştir. KAF ilksel olarak Paleotektonik dönemde Anadolu ve Arap plakalarının sıkışması sonucunda ortaya çıkmıştır. Neotektonik dönem ve sonrasındaki hareketlerle ortaya çıkan ve KAF'nın ilksel konumuna parelel olarak gelişen birçok fay segmentinden oluşan kırıklar topluluğu da bu fay zonunu oluşturmuşlardır. Genel fay karakteristiği açısından sağ yönlü doğrultu atımlı fayı gösteren KAF zonu doğuda Varto yakınlarından başlayarak batıda Saroz Körfezi'ne kadar uzanmaktadır. Neotektonik dönem ve sonrası hareketlerle açıklanan KAFZ, çok geniş bir deformasyon zonuna sahip olup, bu deformasyon zonunun genişliği doğuda 25 km civarındayken batıda 80 km'ye kadar çıkmaktadır. KAF zonunun genel morfolojik özelliklerine bakıldığında; zonun kuzeyinde kalan bölgelerin güneye oranla topoğrafik açıdan daha yüksekte kaldığı, doğrultu atımlı fay zonlarının karakteristik özelliklerinden olan 'S' biçimli dere yataklarının oluştuğu derelerin ötelendiği, çok sayıda kütlesel hareketlerin ve su kaynaklarının ortaya çıktığı

gözlenmektedir. Bu fay zonu üzerinde çok sayıda sedimanter basenlerin varlığı bilinmektedir.

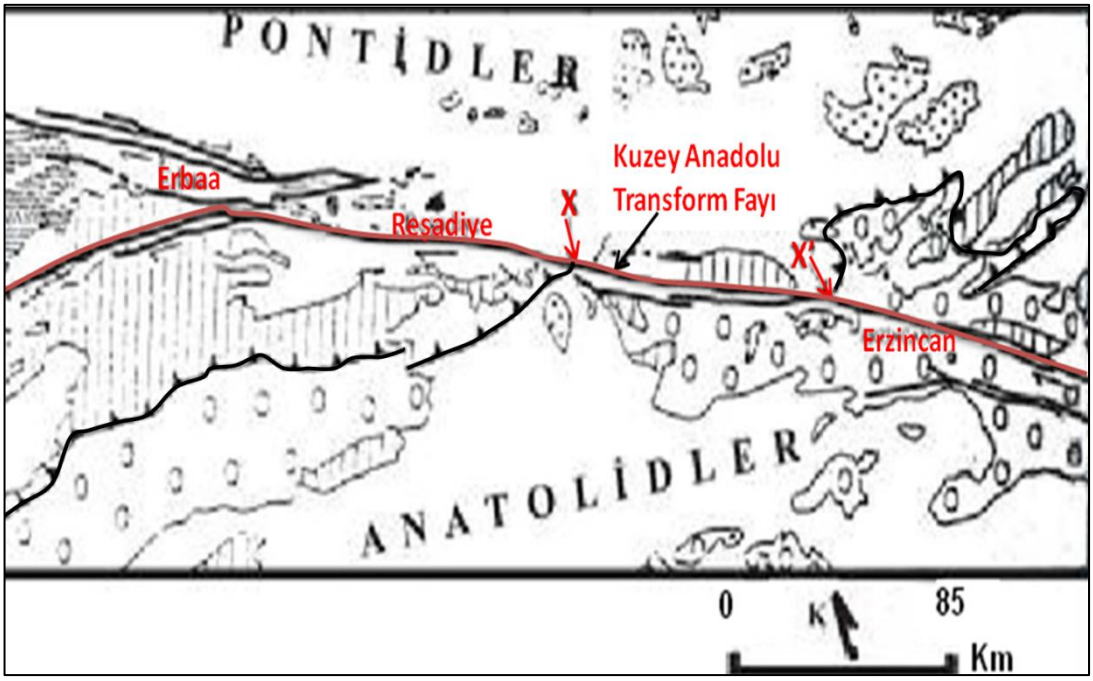
Arazi üzerinde jeolojik ve jeomorfolojik yapıların değerlendirilerek yapılan çalışmalarda, Kuzey Anadolu Fay Zonunun yapısal özelliklerinin ve yaşının tayinine yönelik çalışmalar vardır.

Bu çalışmalardan ilkinde, Anatolid- Pontid çakışması sonucu ortaya çıkan K-G yönlü basınçlar bölgede düşey kabuk hareketlerini (gravite faylarını) ve bindirmeleri oluştururken, Arap bloğunun Anadolu levhasını tedricen batıya kaydırmasıyla KAFZ, bölgesel tektonik hatlara eğik olarak gelişmiştir. Bu nedenle halen aktif durumda olan bu fay zonu Pontid-Anatolid tektonik sınırını dar bir açıyla keserek, sağ yönde 85–95 km'lik bir ötelenme meydana getirmiştir. Araştırma bölgesindeki bulgulara göre, Kuzey Anadolu Fay zonu üzerindeki toplam doğrultu ötelenmesi 85±5 km. olarak bulunmuş ve yaklaşık Orta Miosenden beri olagelen kayma hareketlerinin ortalama hızının 0.5–0.6 cm/yıl olabileceği hesaplanmıştır (Seymen, 1975 ve Şengör, 1979). Diğer bir çalışmada, Amerika Kıtası'ndaki San Andreas Fayı ile Kuzey Anadolu Fayı'nın karşılaştırılmasının yapılarak, fay zonundaki sağ yönlü kayma hareketinin başlangıcı için büyük olasılıkla Üst Miyosen (8-10 milyon yıl) fakat kesinlikle Pliyosen başları (5-6 milyon yıl) olarak bahsedilmiştir (Ketin, 1976). Jeolojik ve jeomorfolojik verilerin sismik verilerle birleştirildiği KAF üzerindeki çalışmada değişik ölçeklerdeki jeolojik ve jeomorfolojik atımlar deformasyonların sınırlarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Toplam ötelenmeler, büyük nehir yataklarında (85±5 km) ve yapısal işaretler kullanılarak yeniden değerlendirilmiştir (Hubert- Ferrari ve diğerleri, 2001).

Erzincan Havzası'nda yapılan çalışmalarda (Nebert, 1962; Tatar, 1978), KAFZ'nin yaşı Geç Miyosen sonrası ve gelişen atım miktarı ise 30 km olarak belirtilmiştir. Yine aynı bölgede Barka ve Gülen, (1988) tarafından yapılan çalışmada, KAFZ'nin Tortoniye sonrası olduğu belirtilip, atım miktarı 35 ±5 km olarak açıklanmıştır. Koçyiğit, (1989 b)'de ise KAFZ'nin yaşının Erken Pliyosen ve atım miktarının 37 km olduğu belirtilmiştir. Diğer bir çalışmada, Pavoni (1961) fayın Erken Tersiyer yaşlı olabileceğini belirtmiş ve faydaki atımın 350-400 km olabileceğini belirtmiştir. Erinç (1973) fay etrafındaki drenaj ağının geç Miyosen esnasında oluştuğunu ve bu drenajın fay tarafından değiştirildiğini belirtmiştir. Ketin (1976) fay boyunca oluşan havzalarda Orta Miyosen'den daha yaşlı kayaçların depolanmadığını, dolayısıyla

fayın morfolojik olarak bu zamandan önce oluşmadığını belirtmiştir. Abdüsselamoğlu (1959) fayın Pliyosen'den önce harekete başladığını belirtmiştir. Tatar (1975) batı Erzincan civarında fayın hareketsiz kollarını örten Pliyosen yaşlı kayaçları göstererek fayın Pliyosen öncesinde oluştuğunu söylemiştir. Jeomorfolojik veriler fayın erken Miyosen ile Pliyosen arasında oluşmaya başladığını göstermektedir. Fayın yaşı ve atımı ile ilgili en önemli jeolojik veriler, Seymen (1975) tarafından Reşadiye civarındaki jeolojik haritalamalar sonucu ortaya çıkmıştır.

Pontidlerin Anatolidler üzerine Burdigaliyen sürecinde bindirdiğini ve bu iki tektonik birliğin kenetlenmesinin bu süreçte sona erdiğini vurgulamıştır. Bu kenet zonu çok geniş ofiyolit melanj birimleri ile temsil edilir. Kenet zonunun fayın her iki bloğunda 45^0'den daha fazla eğimli olduğunu belirtmiştir. Seymen, Amasya ve Erzincan arasında fayın bu keneti kesip ötelediği için bu kesimdeki yaşının Burdugaliyen sonrası olması gerektiğini belirtmiştir. Fay boyunca kenet zonundaki görünür ötelenmeyi gösteren Şekil 1.5'de, X-X' arasındaki yatay mesafenin 85± 5 km olduğu belirtilmiştir. Faydaki düşey hareket az ve kenet zonu oldukça eğimli olduğu için bu görünür ötelenme, gerçek atıma oldukça yakın bir değerdir (Seymen 1975).



Şekil 1.5 : KAFZ, Erzincan- Reşadiye arasındaki atımı gösteren jeolojik harita, X-X' arasındaki 85± 5 Km'lik mesafe zondaki ötelenmeyi göstermektedir (Seymen, 1975).

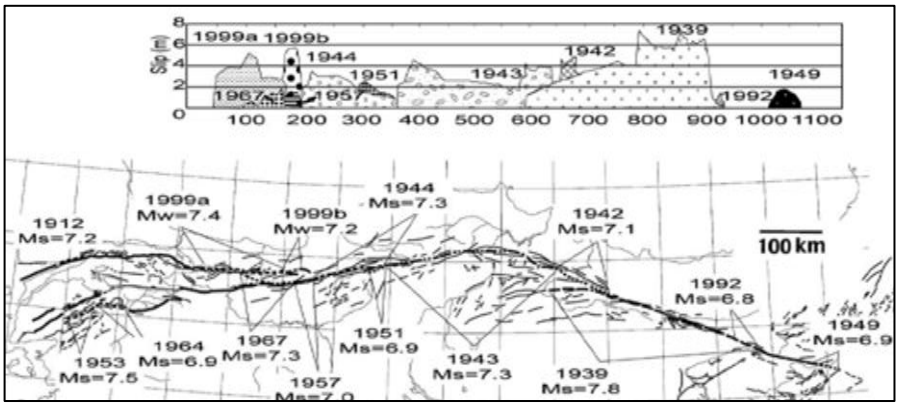
Diğer taraftan, Tokay (1973) ve Tatar (1975)'in buluntuları faydaki toplam hareketin 50-100 km arasında olduğunu göstermektedir. Anadolu ve çevresindeki bölgesel tektonik, bu fay üzerinde 100 km'den daha fazla hareketi olanaksız kılmaktadır.

Bozkurt (2001)'de, KAFZ'nin oluşum yaşı ve sağ yönlü hareketin oluşumu ile ilgili verilerin dört başlık altında toplanabileceğinden bahsetmiştir. İlk olarak, sağ yönlü hareket Orta Miyosen'den itibaren başlamış ve bu kaçış Arabistan-Avrasya levhasının çarpışmasından kaynaklandığından, KAFZ'nin en geç Miyosen'de veya Erken Miyosen'den önce oluştuğundan bahsedip, KAFZ, doğu Anadolu'da Geç Miyosen de harekete başlamış, batıya doğru hareket ederek Marmara denizine Pliyosen'de varmıştır demiştir. Bunlara ek olarak, son çalışmalarda fayın doğuda 16 my'dan daha yaşlı fakat batıda 3 my'dan daha genç olduğunu söylemiştir.

GPS verileri yılda 15-25 mm (Reilinger ve diğerleri, 1997, Oral ve diğerleri,1995, McClusky ve diğerleri, 2000, Reilinger vd, 2006) hızı göstermektedir. Bu hız erken Pliyosen'den itibaren 75-125 km hareketi göstermektedir. Bu da jeolojik verilerle elde edilen 85± 5 km ile uyum içindedir. GPS verileri kullanılarak yapılan en son çalışmada (Tatar ve diğerleri, 2011), fay zonu Kelkit Vadisi boyunca dört kesite ayrılmış ve her bir kesit için yıllık bazda yer değiştirmeler toplam 38 noktadaki hareketlerin 2006, 2007, 2008 yıllarında ölçülüp, değerlendirilmesiyle hesaplanmıştır. Çalışmanın sonucunda, Avrasya ve Anadolu plakası üzerindeki noktalarda kuzeyden güneye ve Anadolu plakası üzerinde doğudan batıya yer değiştirme hız artışından bahsedilmiştir. Kelkit vadisi boyunca GPS ölçmeleri analizi ile yapılan bu çalışmada üçüncü kesit aralığında kalan bölgede yıllık yer değiştirme 2.4 cm olarak ölçülmüştür. KAFZ'nin Batı Marmara bölümünde yapılan çalışmada, bu bölgede, Marmara Denizi'nde, toplam yatay düzlemdeki atımın 75-78 km arasında olduğu bildirilmektedir. KAFZ'nin batı kısmında, yıllık 22 mm'lik bir hareket olduğu varsayılarak, Anadolu Bloğu'nun, kuzey kısımda 59 km, orta kısımda 7-8 km ve güney kısımda da 10-11 km'lik yanal atımlara sebep olduğundan bahsedilmektedir (Yaltırak, 2002).

Sismik olarak çok aktif olan KAFZ üzerinde tarihte çok sayıda yıkıcı deprem meydana gelmiştir (Şekil 1.6). 1939 Yılındaki Erzincan Depremi (M_W=7.9) ile başlayan büyük depremler serisi, batıya doğru hareketle 1942 Yılında Niksar-Erbaa (M_W=7.1), 1943 Yılında Tosya (M_W=7.3), 1944'de Bolu-Gerede (M_W=7.3), 1957'de Abant (M_W=7.0), 1967'de Mudurnu (M_W=7.9), 1992'de Erzincan (M_W=7.9) en son

depremler 1999 Yılında İzmit (M_W=7.5) ve Düzce'de (M_W=7.2) sürmüştür. Bu depremler arasında en büyük yatay kayma değerleri 1939 Yılındaki Erzincan depreminde 7.5 m olarak belirlenmiştir (Şengör, 2005).



Şekil 1.6 : Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde meydana gelen tarihsel depremler (Şengör ve diğerleri, 2005).

20 Aralık 1942 yılında Erbaa-Niksar civarında meydana gelen 7.2 büyüklüğündeki deprem sonucunda yaklaşık 50 km uzunluğunda yeni bir yüzey kırığı meydana gelmiş olup, ötelenme değerleri 1.5-2 m arasında değişmektedir. 1942 yılında meydana gelen depremde, 3 ayrı segmentten oluşan yüzey kırığı oluşmuştur. Kırıklar boyunca 8 lokal bölgede atıma raslanmış olup, ötelenme değeri 1.5-2 m arasında değişmektedir (Tatar ve diğerleri, 2006). Aynı bölgede , yapılan başka bir çalışmada (Zabcı ve diğerleri, 2011) KAFZ'nin Erzincan'dan Erbaa arasında kalan kısmında 400 km den daha büyük bir fay kırığı oluşturan 1939 ve 1942 depremlerinden sonraki kırılma davranışlarını incelemek için KAF'ın Kelkit Vadisi segmentinde paleosismolojik hendek çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Resadiye ve Umurca'da iki hendek açılmış ve son bin yıl içinde gerçekleşmiş ve 1939 depremine ek olarak, üç olay tespit edilmiştir. Bunlar, 1668, 1254 ve 1045 tarihli depremler olarak bildirilmiştir. Bu çalışmaya göre, 1939 depreminde 4 m, 1668 depreminde 2.5 m, 1254 depreminde 4 m atım meydana gelmiş olabileceğinden bahsedilmiştir. Çalışmada 1045 tarihinde gerçekleşmiş olabilceği ileri sürülen depreme ilişkin bir atım değerinden bahsedilmemektedir.

1.3.2 Uzaktan algılama çalışmaları

Uzaktan algılama verileri kullanılarak yapılan çalışmalar, genellikle morfolojik yapıların uydu görüntü analizleri sonucuna göre değerlendirilmesi ve zonlardaki morfolojik değişikliklerin incelenmesi şeklinde olmuştur. Ayrıca Landsat TM (Tematic Mapper) ve özellikle ASTER uydu verileri kullanılarak litolojik özellikler belirlenilmsine yönelik çalışmalar incelenmiştir.

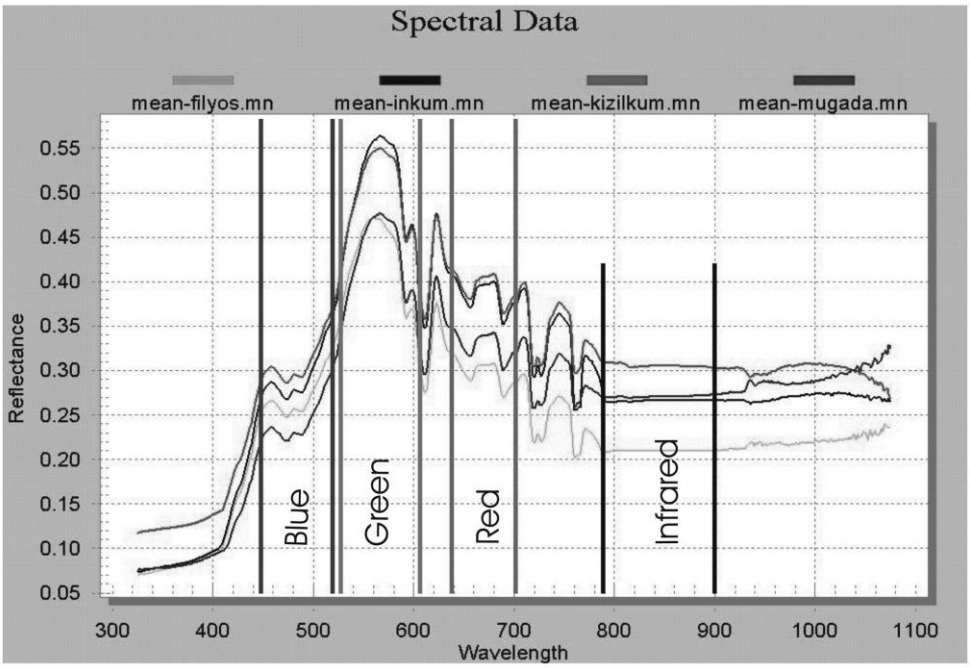
Ülkemizde ASTER uydu verileri kullanılarak, Maden Tetkik Arama ile Japon Uluslar arası İş Birliği Ajansı (JICA) ortak olarak 2002–2006 yılları arasında Türkiye-Japonya Jeolojik Uzaktan Algılama Projesi yapılmıştır. Bu projede Türkiye'de seçilen dört bölgede maden arama, doğal afetler ve çevre kirliliği uygulamaları yapılmıştır (Sümer ve diğerleri, 2006). ASTER algılayıcısının bazı karakteristik özellikleri sayesinde dalga boyu aralığına geniş bir alan düşmektedir. Bantların her birinin yüksek geometrik çözünürlük ve radyansa sahip olması ve yakın kızılötesi bant kullanılarak tek yörünge de stereoskopik veri elde edilmesi gibi özellikleri ASTER uydu verisini üstün kılan özelliklerdir (Özgüner ve Gökten, 2008).

Çin'de, Tibet'in Kuzeydoğusu'ndaki Maergaichaka fayında, radar ve optik görüntüler kullanılarak yapılan çalışmada (Fuli ve diğerleri, 2004), ERS-1/ERS-2 radar interferometre ile Landsat TM verileri kullanılmıştır. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ve interferogramlar radar görüntülerinden oluşturulmuştur. Landsat TM görüntüleri kullanılarak, detaylı jeolojik- jeomorfolojik ötelenmeler nehir yatakları ve yapısal işaretler değerlendirilerek ve değişik ölçekler kullanılarak deformasyonun yerleşim sınırları belirtilmiştir. Yine aynı fay üzerinde yapılan diğer bir çalışmada (Yougui ve diğerleri, 2004), Landsat ETM ve Landsat TM verileri kullanılmıştır. Toplam ötelenme, nehir yataklarındaki atımların görüntü analizlerinden belirlenmesiyle elde edilmiştir. Atım zon üzerinde bulunan Maergaichaka Gölü civarında 720 m bulunmuştur. Fayın orta kesiminde nehir atımları 22 km nin üzerinde bulunmuştur. Çin'de yapılan diğer bir çalışmada, Tibet'in kuzeyinde bulunan Kunlun Fay Zonunun toplam ötelenme miktarı ve yaşı araştırılmıştır. Uzaktan algılama verisi olarak Landsat TM ve SRTM görüntüleri kullanılmıştır. Ayrıca arazi çalışması da yapılmış. fay zonu boyunca yer değiştirmiş temel kayalar ve jeomorfolojik özellikler incelenmiştir. 100 ± 20 km'lik bir atımın tespit edildiği çalışmada zondaki çek-ayır havzalar ve basınç tepelerinin analizinden de

yararlanılarak zonun yaşı kestirilmiştir. Yıllık ortalama yer değişim 10 mm olarak belirlenmiş olup, bu değerin GPS verileri ile de benzerlik gösterdiği anlaşılmıştır (Fu ve Awata, 2006). Aynı bölgede, 2001 yılında meydana gelen ve aletsel büyüklüğü 7.8 olan Kunlun depreminden sonra yüksek çözünürlüklü IKONOS görüntüleri analiz edilerek ve arazi çalışması yapılarak büyük dere atımları ile büyük sismik aktiviteler arasındaki ilişki incelenmiştir. Landsat ETM görüntüleri kullanılarak çizgisellikler belirlenmiş. IKONOS görüntülerini kırılan zonlardaki küçük sistematik yanal atımlarla büyük ötelemeleri belirlemede kullanmışlardır (Fu ve diğerleri, 2005).

Uydu görüntülerinin zenginleştirilmesi esasına göre yapılan çalışmalarda jeolojik benzerlik ve farklılıkları göz önüne çıkarmaktadır. Bu zenginleştirme metaodlarından olan ana bileşenler dönüşümü, yüzey materyallerinin (hidrotermal alterasyon minerallerini belirlemek için) görsel olarak yorumlanmasında ve tanımlanmasında yararlıdır (Sing and Harrison, 1985; Massironi ve diğerleri, 2008; Kaya, 1999; Kariuki ve diğerleri, 2003; Natraj vd.2010). ASTER uydu görüntüsünün VNIR ve SWIR bölgedeki bantlarından 3 veya 4 bant seçilerek yapılan ana bileşenler dönüşümü analiz yöntemi kullanılarak, jeolojik çalışmalarda yorumlanabilirliği artırılmış sonuçlar sağlanmıştır.

Spektroradyometre verileri ve uydu görüntülerinin bir arada değerlendirilmesi çalışmasında, kumsal plajların karakteristik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma Türkiye'nin Karadeniz Sahili'nin batı kısmında bulunan 4 kumsalda yapılmıştır. Çalışmada, bu 4 bölgedeki kumların sediment bileşimleri ve tane boyutu dağılımı gibi karakteristik özelliklerinin tanımlanması amaçlanmıştır. Çalışma verisi olarak, dalga boyu aralığı 325 ile 1075 nanometre (nm) olan, el tipi ASD (Analytical Spectral Devices) spektroradyometre ölçme verisi ile bu ölçmelerle eş zamanlı çekilen IKONOS uydusuna ait uydu verileri kullanılmıştır. Uydu verilerinin sayısal gri renk değerleri (DN), reflektans değerlerine dönüştürüldükten sonra, spektroradyometre ölçme verilerinin ortalaması (mean) ve uydu verisinin entegrasyonu sağlanmıştır. Yapılan entegrasyon sonucunda, IKONOS uydusunun 520 ile 600 nm dalga boyu aralığında veri sağlayan bandının, kumların fiziksel özelliklerine yönelik kullanılabileceği (Şekil 1.7) bildirilmiştir (Kaya ve diğerleri, 2007).



Şekil 1.7: Kumlara ait spektroradyometre ölçmelerinin, IKONOS uydu verisi bantlarının spektral aralıklarında gösterimi (Kaya ve diğerleri, 2007).

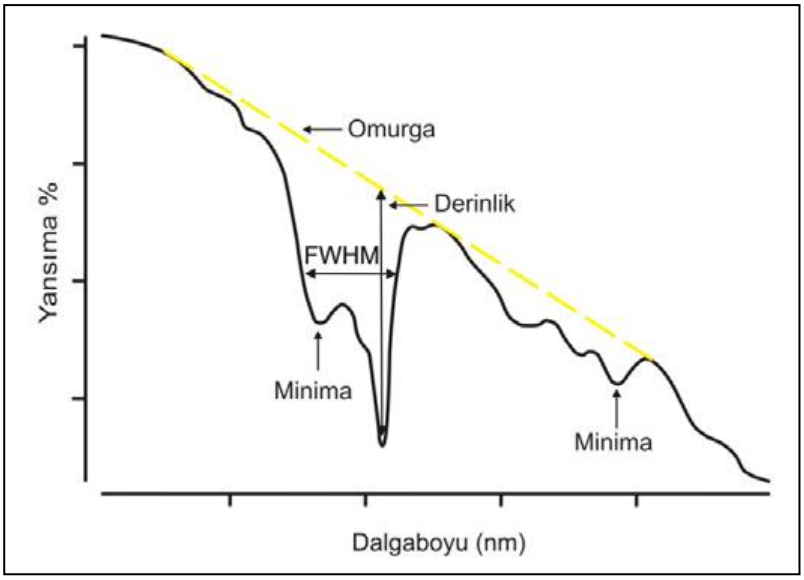
Kayaçların spektraları analiz edilerek yapılan çalışmalarda, değişik birimler tanımlanıp, ayırt edilmiştir. ASTER uydu verileri kullanılarak, birçok mineralin dağılımı da haritalanabilir ((Van der Meer, 1997; Rowan ve Mars, 2003; Hewson ve diğerleri, 2005; Khan ve Gleen, 2006). Ayrıca, minerallerin atom yapısında gerçekleşen elektronik ve titreşimsel geçişler sonucunda ortaya çıkan soğurma özellikleri sayesinde, mineral türlerinin kendilerine özgü spektral özellikleri temel alınarak mineraller ve oluşturdukları kayaç grupları, yakın kızılötesi bölgelerinde tanınabilir (Kruse ve Hauff, 1990). Alterasyon minerallerinin farklı dalga boylarındaki soğurma değerleri, ASTER uydu görüntüleri kullanılarak, mineral haritalaması yapılmasına olanak sağlar. ASTER, farklı dalga boyu aralıklarında gözlem yapabilen 3 farklı algılayıcıdan oluşur. Bu algılayıcılardan SWIR, altı banttan oluşur ve AlOH, FeOH ve MgOH moleküllerinin kimyasal bağları arasındaki titreşime duyarlıdır. VNIR ise üç banttan oluşur ve bu aralıktaki soğurma değerleri kayaçlardaki demir (ferric, ferrous +2 +3) içeriğine işaret eder. TIR algılayıcı (Termal Kızıl Ötesi Radyometre) ise beş banttan oluşur ve daha çok kayaçlardaki silika içeriğini ortaya çıkarmak için kullanılır. Spektral haritalama yaparken ASTER dışında referans olarak kullanılacak diğer bir girdi ise minerallerin spektral yansıma eğrileridir (Dağgez ve Süzen, 2008). Avustralyalı yerbilimciler, yeni bir uzaktan algılama aracı geliştirerek, ülkenin gelecekteki mineral zenginliğinin araştırılmasını

amaçlamışlardır. Bunun için ASTER verileri kullanılarak bir mineral indeks haritası yapılmıştır. Bu haritadan yararlanarak mineralojik alterasyonlar haritalanmıştır. Elde edilen veriler jeolojik haritalarla birleştirilerek yorumlanabilirlik artırılmıştır (Url-1). ASTER verileri ile yapılan başka bir çalışmada (Gomez ve diğerleri, 2005), jeolojik uygulamaları için kestirimler sunulmaktadır. Görünür, yakın-kızılötesi ve kısa dalga kızılötesi yansıma verileri (9 ASTER bandı) işlenmiş ve Kalahari Çölünde, batı sınırı ile ilgili bir harita projesi çerçevesinde yorumlanmıştır. Metodoloji olarak aydınlatma efektleri düzeltilmiş görünür yansıma görüntüleri tatbik edilmiştir. Ana bileşenler dönüşümü analizi (PCA), yüksek korelasyonlu bantlardaki tekrarlı veri fazlalığını gidermek için 9 ASTER bandının üzerinde gerçekleştirilmiştir. PCA sonuçları, önceki jeolojik harita üzerinde tanımlanan litolojik sınırları doğrulamada, revizyon etkinleştirmede ve tanımlamada, önceden tanınmayan yüzeysel oluşumlarla ilgili yeni litolojik birimler hakkında bilgi vermiştir.

Bant oranlama kombinasyonları spektral karakteristikleri incelemede ve öne çıkarmada son derece etkili bir görüntü işleme yöntemidir (Okada ve Ishii, 1993; Hewson ve diğerleri, 2001; Rowan ve Mars, 2003). Üç farklı spektral, mekansal ve radyometrik algılayıcıya sahip ASTER uydu verileri kullanılarak, yapılan çalışmada (Gad, Kusky, 2007) VNIR bantları kullanılarak yapılan bant oranlama analizleri ile bitkisel haritalama ve demir oksit minerallerinin açığa çıkarılmasından bahsedilmiştir. Ayrıca, SWIR (Yakın Dalgaboyu Kızılötesi) bantları kullanılarak, toprak sınıfı haritalama, litolojik haritalama ile kayaçların emilim karekteristiklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalardan bahsedilmiştir.

Elektro manyetik radyasyon (EMR), cisimlerin ışıma ve yansıma enerjilerini temel alarak değerlendirip bazı dalga boylarında kendine özgü pikler verir. Spektroskopi ise EMR' nin soğurma ve yansıma özelliklerinin incelenmesi olarak tanımlanabilir. Bu ölçümleri gerçekleştiren aletlerden spektrometre, sayısallığa yönelik sistemlerde ışınımı saptamak için kullanılır (Maktav ve Sunar, 1991). Sabins 1997'de, dalga boyunun bir fonksiyonu olarak cisimlerden yansıyan enerjinin yüzdesinin laboratuvar veya doğada ölçülebilirliğinden bahsedilmektedir. Ayrıca omurga adı verilen spektrumun genel yüzey şeklinde, soğurma değerlerine minima denilmektedir (Şekil 1.8). Çalışmada, minerallerin ayrılmasında minimanın bulunduğu dalga boyu aralığının öneminden de bahsedilmektedir. Bitki örtüsü ve bazı kayaçlara ait yansıma eğrileri eksenler üzerinde gösterilmektedir. Burada, yatay eksen, gelen enerjinin

dalga boyunu, EMR' nin görünür ve yansıyan kızılötesi bölgelerinde gösterir. Düşey eksen ise ayrımlı dalga boylarında yansıma enerjisinin yüzdesi tanımlanır. Reflektans eğrilerindeki aşağı bükülmeler, incelenen cismin soğurma özelliği (minima)'nin olduğu dalga boyu olarak da açıklanabilir. Yukarı doğru bel veren dalga boylarında ise yansıma piklerinin gözlendiği bölgelerdir. Bu iki bölüm de cisimlerin tanınmaları açısından çok önemli bilgiler sunmaktadır. Genel olarak kayaçlar soğurma özellikleriyle, bitki örtüsü ise yansıma pik değerleriyle karakterize olur. Soğurmaya neden olan faktörler ise madde atomlarındaki elektronik ve titreşimsel geçişlerdir (Clark 1995).



Şekil 1.8 : Genel spektral eğri yansıtımı (Url-2).

Avustralya'nın Mordor Pound bölgesinde yapılmış spektral ölçümlerle yapılan çalışmada (Rowan ve diğerleri, 2005) kullanılan ASTER verilerinden, baskın olarak Al-OH ve ferrik demir, felsik kaya spektralarında, ferrous-iron ve Fe VNIR-SWIR emilim özelliklerini, Mg-OH özellikleri mafik-ultramafik kaya spektralarında gösterildiğinden bahsedilmiştir. ASTER verilerine, bant oranlama, filtreleme ve SAM analizleri uygulanarak, litolojik haritalama da yapılmıştır. ASTER TIR (termal kızılötesi radyometre) algılayıcısının verileri kullanılan çalışmada (Watanabe, 2003), en önemli eksenel volkanik zincirlerinden olan Etiyopya Rift Vadisi Erta Ale aralığında kaya tipi sınıflandırma yapılmıştır. Magnezyum ve bazalt riyolitleri kadar bu alanda püsküren lavların petrografik çeşitliliği çok önemli olduğundan bahsedilmiştir. Termal kızılötesi aralığındaki her volkanik kaya türünün spektral davranışlarına dayalı kaya tipi sınıflandırmak ve ASTER TIR emisyon verileri ile

SiO_2 içeriğini tahmin etmek için çalışılmıştır. İlişkili VNIR ve aynı verinin stereo çiftin elde edildiği sayısal yükseklik modeli (SYM) ile bu TIR dan tutarlı bir sonuç çıkarımı yapılmıştır.

Bedini, (2010) tarafından HyMap hiperspektral veri ve ASTER uydusu multispektral verisi kullanılarak yapılan çalışmada, Orta Doğu Grönland Kap Simpson kompleksi çalışma alanı olarak şeçilmiştir. Çalışmada Maden arama ve litolojik haritalama uygulanması üzerinde durulmuştur. ASTER görüntülerinden mekansal ve spektral çözünürlüğü nedeniyle maden haritaları üretilmiştir. ASTER termal bantlarının renkli kompozitleriyle litolojik bilgiler görüntülenerek, alan yakın zamanda hazırlanmış jeolojik haritaları üzerinde gösterilmiştir ve büyük bir felsik magmatik yüzey tespit edilmiştir. ASTER uydusu, VNIR ve SWIR spektral bölgesi bantları kullanılarak yapılan çalışmada (Hubbard ve diğerleri, 2007), reflektans ve spektral eşleme ile filtreleme analizleri yapılarak, hidrotermal alterasyon bölgelerinin haritalaması yapılmıştır. ASTER verileri kullanılarak, bilinen mineral içerikleri, mineral çalışmaları kapsamında bölgede belirlenmiştir. Ayrıca bitki örtüsünden dolayı bazı bilinen mineral içeriğin tespit edilemediğinden de bahsedilmiştir.

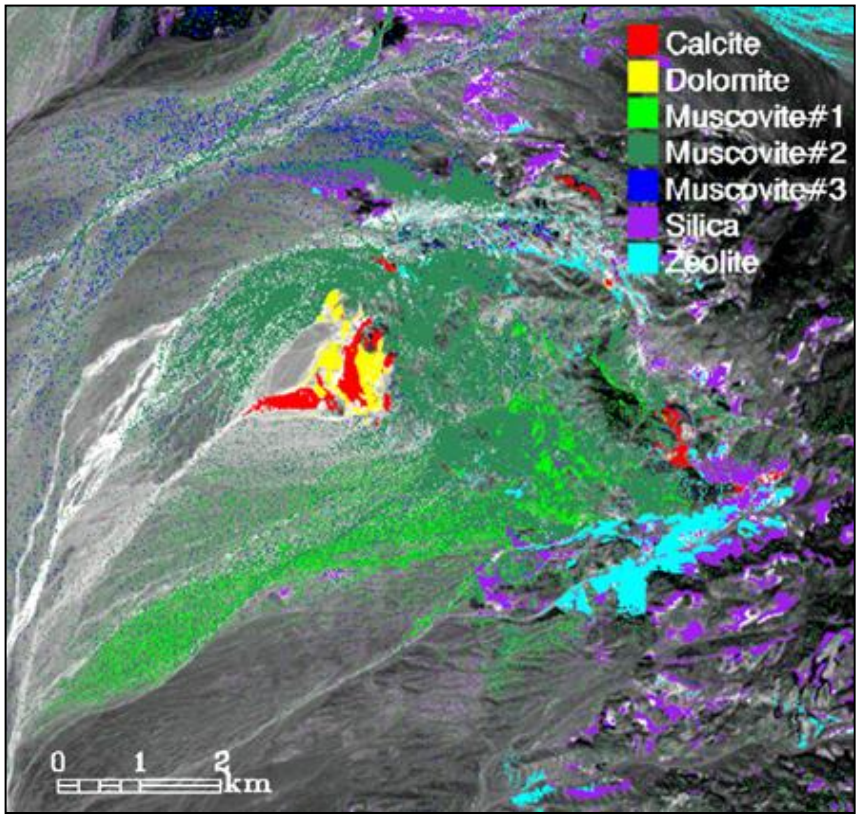
Üç boyutlu modeller ile uydu verisi entegrasyonu ile ASTER uydu verilerinden VNIR ve bu verilerle üretilen sayısal yükseklik modeli (SYM) kullanılarak yapılan çalışmada (Fu ve diğerleri, 2004), 2003 yılında İran'ın güneydoğusunda bulunan Bam Şehri'nde meydana gelen ve 6.6 büyüklüğünde olan depremden sonra açığa çıkan fay kırığının analizi 3- Boyutlu olarak incelenmiştir. Deprem öncesi ve deprem sonrası verilerle yapılan çalışmada 65 km uzunluğundaki fay kırığında nasıl bir geometrik şekil oluştuğu haritalanmıştır.

Arazi spektroskopisi, spektral kalibrasyonlarda, analizlerde ve görüntü spektrasının değerlendirilmesinde önemli rol oynamaktadır. Kilit spektral özellikler, laboratuvarda ve arazi spektroskopisi kullanılarak, mineral, bitki, yapay yapılar, kar, buz ve su materyallerindeki minerallerin değişkenlikleri tanımlanabilmektedir. (Clark ve diğerleri, 2007). Ancak, mekansal ölçeklemelerden dolayı, görüntü spektrasının değerlendirilmesi oldukça kompleksdir. Uzaktan algılamada, piksel veya resim elemanlarıyla yansıtım yüzeylerinin spektral özelliklerini karakterize etmek oldukça zordur. Arazi spektrometresi santimetre çapında alanlarda spektral ölçme yaptığından, yüzeydeki bütün mineral bileşenlerinin özellikleri yansıtılır. Arazide ölçülen spektralar, daha çok görüntü spektralarınından yapılmış haritaların

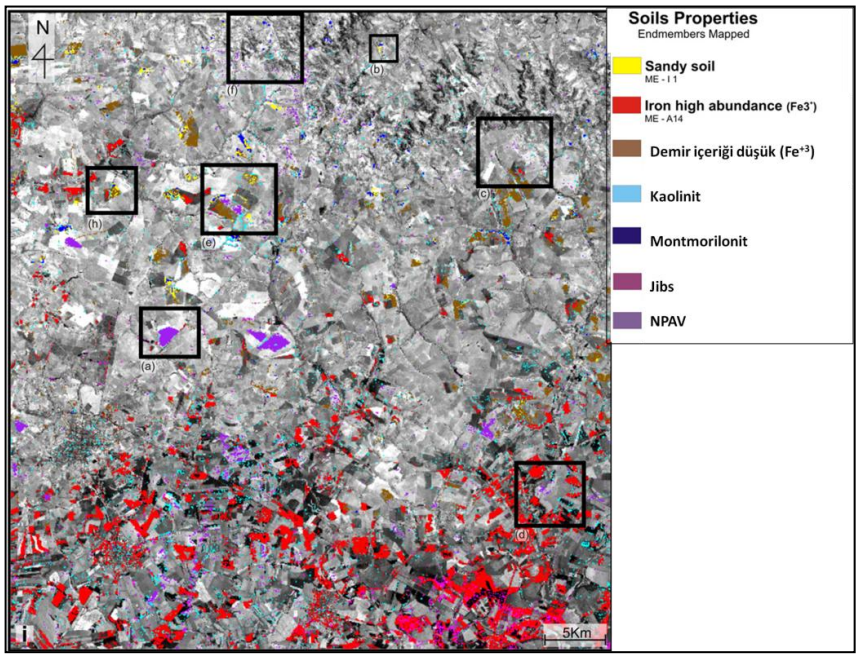
değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Buradaki kilit faktör ise, arazide spekral yansıtım ölçmesinde kullanılan spektrometrenin spektral çözünürlüğünün en az değerlendirilmesi yapılan görüntünün spektral çözünürlüğü kadar olması gerekmektedir (Kruse, 2009).

Uzaktan algılama verilerinin sınıflandırılmasında kullanılan SAM yönteminde, her piksel spektrumu ile hedef spektrum arasındaki açıların hesaplanması esasına dayandığından (Şekil 3.1) belirlenecek eşit değerdeki açı bu yöntemde "endmember" olarak bilinen Nesne Tabanlı Referans Spektra tayini için önemlidir. Bu hesaplanan spektral açı küçüldükçe, hedef ve piksel spektraları arasındaki benzerlik artmaktadır. Pikselin parlaklığının artmasının veya azalmasının spektrum vektörlerinin yönünü değiştirmeyeceğinden, spektral açı da piksel parlaklığına karşı değişmeyecektir (Yuhas ve diğerleri, 1992). Çogu zaman, görüntüsü kaydedilen alandaki her piksel homojen değildir ve bundan dolayı her pikselde spektral imza olarak toplanan değerler bütün imzaların saf kısımları ile bağlantılı olarak, imzalar entegrasyonu biçiminde şekillendirilirler. Makroskopik açıdan saf olarak kabul edilen bu imzalar, NTRS olarak adlandırılırlar (Martinez ve diğerleri, 2006). Nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi olan SAM ile ilgili yapılan çalışmada, bu yöntemle minerallerin ayırt edebilirliği incelenmiştir (Freeman, 2003). Çalışma, Kaliforniya'nın Santa Barbara kıyısı yakınlarında yapılmıştır. AVIRIS verilerinin petrol ve hidrokarbon minerallerinin değişikliklerini tanımlama potansiyeli araştırılmıştır. Hidrokarbon mineralleri olarak bilinen, alunit, kalsit, jarosit, kaolinit ve siderit mineralleri haritalanmıştır. Bu çalışma sonunda SAM yönteminin doğru sonuç verdiği açığa çıkarılmıştır. Diğer bir çalışmada, Kruse, (2011) tarafından spektral görüntülerdeki spektral imzaların açığa çıkarılmasıyla yüzlerce mineral ve mineral topluluğunun ayırt edilebileceğinden ve haritalanabileceğinden bahsedilmektedir. USGS (United States Geology Survey)spektral kütüphanesi kullanılarak, hazıralanan NTRS toplama analizi, hiperspektral uydu bantlarına uygulanarak, muskovit, dolomit, kalsit, silica ve zaolit mineralleri haritalanmıştır (Şekil 1.9). NTRS toplamaya yönelik başka bir çalışmada (Vicente ve Filho, 2011), dip kayalarının litolojileri ve yüzeylerindeki topraklarla olan ilişkilerinin yanısıra, kimyasal tepkimeye girmiş olabilecekleri mineral içerikleri de haritalanmıştır. ASTER uydu verilerinin SWIR bölgesindeki 5. 6. ve 7. bantlarıyla, kaolinit,

montmorillonite ve jips minerallerinin tanımlanma özellikleri de açığa çıkarılmıştır (Şekil 1.10).



Şekil 1.9: Mineral yantısım spektraları ve oluşturulan NTRS'lerin uydu görüntüsünde gösterilmesi (Kruse, 2011).



Şekil 1.10: ASTER SWIR bantlarında minerallere göre NTRS topalama sonucu oluşan görüntü (Vincente ve Filho, 2011).

2. MATERYAL VE METOT

2.1 Kullanılan Veriler ve Özellikleri

Bu tez çalışmasında veri olarak, ASTER uydusunun VNIR ve SWIR algılayıcıları bantlarından oluşan dokuz çerçeve görüntü (Çizelge 2.2), yine aynı uyduya ait Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), jeolojik veri olarak ise Maden Teknik Arama (MTA) tarafından revize edilen 1:25000 ölçekli jeolojik haritaların yanı sıra arazide ve laboratuvarda spektroradyometre ölçmeleri yapılarak elde edilen spektral veriler kullanılmıştır. Kullanılan uydu verileri ve jeolojik veriler UTM (Universal Transverce Mercator) projeksiyon sisteminde, WGS 84 (World Geodetic Sysyem 1984) datumunda, 37. Kuzey zonda tanımlanmıştır.

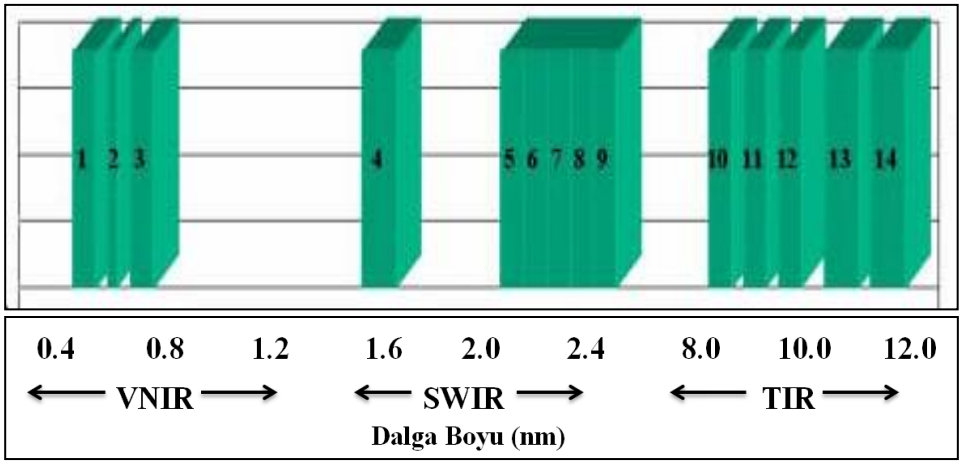
2.1.1 ASTER uydu verileri ve düzenlenme işlemleri

ASTER, NASA tarafından 1999 yılında kullanıma sunulan, Görünür Yakın Kızılötesi (VNIR) bölgeden termal bölge (TIR) spektral bant aralığını kapsayan 14 multispektral banda sahip bir uydudur.

Ekvatordan geçisini sabah saat 10:30 da gerçekleştiren ve yerden 705 km uzakta bulunan 16 günlük zamansal çözünürlüğe sahip ASTER uydusu bantlarına ait spektral, mekansal ve radyometrik özellikler Çizelge 2.1 ve Şekil 2.1'de gösterilmektedir. ASTER uydu görüntüsüne ait bir çerçeve görüntü yerde 60x60 km^2'lik bir alanı kapsamaktadır. Diğer yandan VNIR bölgedeki 3 bantda hem geriden hem de nadirden stero görüntüleme yapmasından dolayı sayısal yükseklik modeli üretme imkanı sunmaktadır (Abrams ve diğerleri, 2002). Çalışma kapsamında alınan ASTER Level 3A uydu görüntü veri seti içerisinde bulunan, VNIR algılayıcısı 3B (geriden kaydedilmiş) ve 3N (nadirden kaydedilmiş) stereo bant çiftinden oluşturulan, 15 m mekansal çözünürlüklü ve 13 m ile 18 m arasında değişen düşey doğruluğa sahip sayısal yükseklik modelleri kullanılmıştır (Li ve diğerleri, 2006).

Çizelge 2.1: ASTER uydu verileri çözünürlük bilgileri.

ASTER Alt Sistem	Bant No	Spektral Bölge (mikrometre)	Mekansal Çözünürlük (m)	Radyometrik Çözünürlük (bit)
VNIR	1	0.52-	15	8
	2	0.63-		
	3N	0.78-		
	3B	0.78-		
SWIR	4	1.60-	30	8
	5	2.145-		
	6	2.185-		
	7	2.235-		
	8	2.295-		
	9	2.360-		
TIR	10	8.125-	90	12
	11	8.475-		
	12	8.925-		
	13	10.25-		
	14	10.95-		



Şekil 2.1 :ASTER uydu görüntüsü bantları, dalga boyu aralıkları (Kalinowski ve Oliver, 2004).

Çizelge 2.2 : Kullanılan ASTER uydu görüntüleri (P: path (Uydu yolu), R: row (Görüntü sırası), S: swath (Tarama alanı), D: tarih).

	AST 12	AST 17	AST 15	AST 19	AST 11	AST 152	AST 16	AST 18	AST PG
P, R,S	174, 92, 3	174, 93, 6	175, 92, 5	173, 93, 1	174, 93, 4	173, 93, 4	173, 94, 4	172, 94, 2	174, 93, 3
D	2002 08/31	2003 10/05	2005 05/10	2005 08/16	2006 05/22	2006 08/03	2006 08/03	2006 08/28	2002 08/31

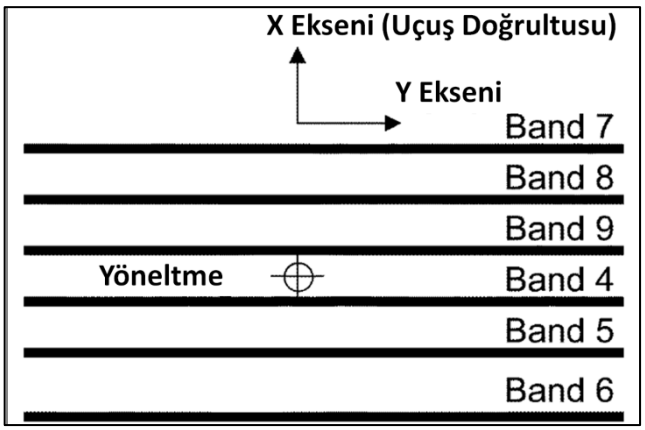
ASTER Uydu verileri, gerek algılayıcı yapısından kaynaklanan hatalar, gerekse atmosferik etkilerden olumsuz yönde etkilenmektedir. Bundan dolayı uydu verilerinin kullanımı ve veri sağlama potansiyelleri düşmektedir (Kalinowski ve Oliver, 2004). Uydular tarafından kaydedilen elektromanyetik ışınım dünya yüzeyinden algılayıcıya doğru yol alırken saçılma, gazlar ve aeroseller tarafından yutulma gibi atmosferik etkilere maruz kalır ve bozulmaya uğrar. Görüntü üzerindeki bu etkilere atmosferik distorsiyon denir. Aydınlanma, atmosferik koşullar, görüş geometrisi ve algılayıcının cevap süresinde meydana gelen değişimler uydu görüntüleri üzerinde radyometrik distorsiyonlara neden olurlar. Sistem hatalarını elimine etmek ve atmosferik parçacıklardan kaynaklı meydana gelen bozulma etkilerini minimize edebilmek için uydu görüntüleri radyometrik ve atmosferik olarak düzeltilmelidir (Sertel, 2009; Liang ve diğerleri, 2001).

Çalışmada, görüntülerin kullanılabilirliliğini artırmak için Çapraz karışma düzeltmesi, radyans kalibrasyonu ve atmosferik düzeltme ile radyansdan reflektansa dönüştürme işlemleri sırasıyla uygulanmıştır.

2.1.1.1 Çapraz karışma düzeltmesi

ASTER uydu görüntülerinin SWIR bantlarında, görüntülerin kaydı sırasında 4. banttan sızan fotonlar, bantlar arasında engelleyici bir perde veya başka bir önleyici yapı bulunmamasından dolayı diğer bantlar olumsuz olarak etkilenir. Bu bozucu etkiye çapraz karışma denilmektedir (Kalinowski ve Oliver, 2004).

Temel olarak dedektörler diktörtgensel bir geometri oluşturacak şekilde yerleştirilmiş durumdadırlar ve 5. ve 9. bantlar fiziksel olarak 4. banda daha yakın olduklarından (Şekil 2.2) çapraz karışma etkisinden daha fazla etkilenirler.



Şekil 2.2 : ASTER SWIR bantlarının birbirlerine göre fiziksel durumları.

Bütün bantları olumsuz yönde etkileyen bu bozucu etkiyi düzeltme, pikseller arasında bir öteleme kabul edilerek yapılır (2.1) (Iwasaki ve Tonaka, 2005).

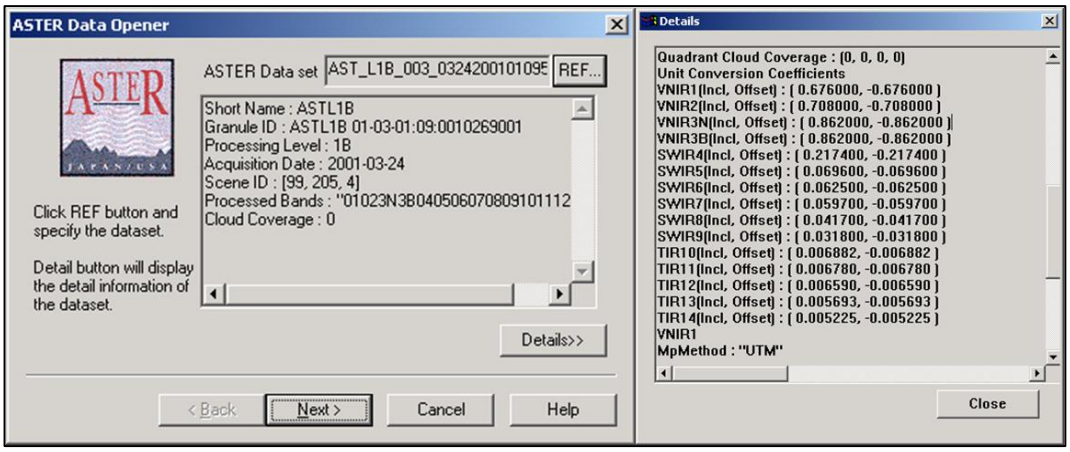
$$f^{(k)}_{\text{corrected}}(x,y) = \frac{f^{(k)}(x,y) - h^{(k)}(x,y) * f^{(4)}\left(x - x_{(k)}, y - y_{(k)}\right)}{1 - b^{(k)}a^{(k)}c^{(k)}} \quad \textbf{(2.1)}$$

Burada, $f^{(k)}(x,y)$; çapraz karışma bileşen fonksiyonu, k; bant numarası, $h^{(k)}(x,y)$; genlik fonksiyonu, $a^{(k)}$; genlik, $b^{(k)}$, $c^{(k)}$; varsayılan dedektör parametreleridir.

Çalışmada kullanılan 9 çerçeve ASTER Level 1A görüntüsünün SWIR bantlarının Çapraz karışma Düzeltmesi, bu amaç için geliştirilen (ERSDAC, 2001) yazılım kullanılarak otomatik olarak yapılmıştır.

2.1.1.2 Radyans kalibrasyonu

Uydu görüntüleri üzerindeki sistematik hataları ve atmosferin saçılma ve yutulma gibi olumsuz etkilerini minimize etmek için bütün görüntülere atmosferik ve radyometrik düzeltmeler uygulanır (Sertel ve Örmeci, 2009). Radyans kalibrasyonu, uydu görüntüsü üzerindeki parlaklık, atmosferik etki gibi değişken faktörlerin etkilerini düzeltmek için yapılır. Görüntüler üzerindeki nesnelerden yansıyan ve gri renk değeri olarak kaydedilen değerler elektromanyetik enerjiye dönüştürülür. Radyans kalibrasyonu işleminde, görüntünün dijital gri renk değerleri atmosferde görünen radyans değerlerine yeniden ölçeklenerek dönüştürülür. Kalibrasyonla, algılayıcı sinyallerinin 8 bit veriye dönüştürülmesi, veri kaybını düşürmek için önemlidir. Kalibrasyon için, her ASTER data setinin sahip olduğu dönüşüm faktörlerine ihtiyaç vardır. Çalışmada kullanılan ASTER veri setlerinin dönüşüm faktörlerine (Çizelge 2.2) ulaşmak ve görüntülerin meta verilerini açmak için ASTER Data Opener (ERSDAC, 2001) yazılımı (Şekil 2.3) kullanılmıştır. Kalibrasyon için, her ASTER data setinin sahip olduğu dönüşüm faktörlerine ihtiyaç vardır. Çalışmada kullanılan ASTER veri setlerinin dönüşüm faktörlerine (Çizelge 2.2) ulaşmak ve görüntülerin meta verilerini açmak için ASTER Data Opener (ERSDAC, 2001) yazılımı (Şekil 2.3) kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 2.3: ASTER Data Opener yazılımı.

ASTER uydu görüntü verisine ait 3 algılayıcı (VNIR, SWIR, TIR)görüntülerinin sayısal gri renk değerleri (DN) sırasıyla ve bant bant olmak üzere, ER MAPPER 7.01 yazılımının formülasyon algoritması (Şekil 2.4) kullanılarak, Çizelge 2.3 ve Çizelge 2.4'deki dönüşüm parametresi değerlerine göre radyans değerlerine dönüştürülmüştür. Yansıtım değerleri ile gri renk değerleri arasındaki bağlantı için (2.2) denklemi (Abrams ve Hook, 1998) kullanılmıştır.

$$L_{rad}=(DN - 1) \times UCF \qquad (2.2)$$

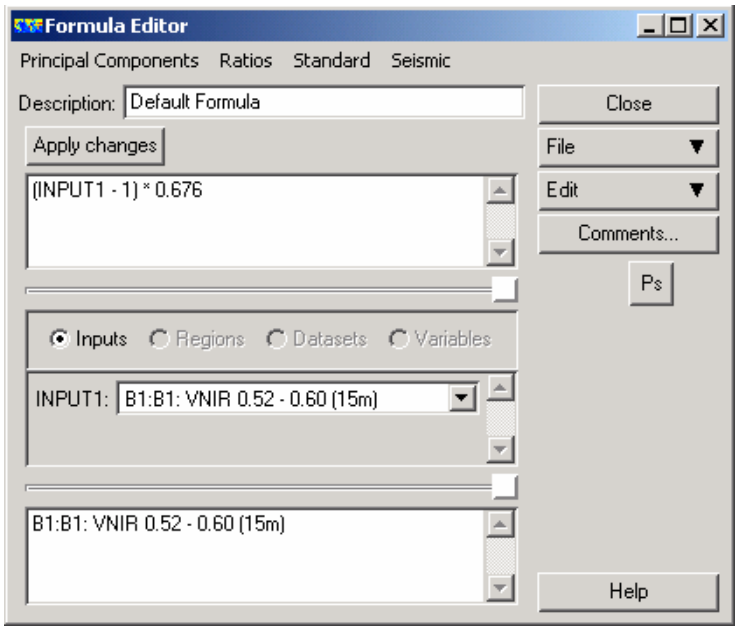
Burada, L_{Rad} radyans değeri, UCF ise; görüntü için yansıtım dönüşüm katsayısıdır.

Çizelge 2.3: Kullanılan ASTER uydu görüntülerine ait yansıtım dönüşüm (UCF) parametreleri (VNIR).

Görüntü/Bant	VNIR1	VNIR2	VNIR3
R: 174, P: 92	0.676	0.708	0.862
R:174, P: 93	0.676	0.708	0.862
R: 175, P: 92	1.688	1.415	0.862
R: 173, P: 93	0.676	0.708	0.862
R: 174, P: 93	0.676	0.708	0.862
R: 173, P: 93	2.250	1.890	1.150
R: 173, P: 94	2.250	1.890	1.150
R: 172, P: 94	0.676	0.708	0.862
R: 174, P: 93	0.676	0.708	0.862

Çizelge 2.4: Kullanılan ASTER uydu görüntülerine ait yansıtım dönüşüm (UCF) parametreleri (SWIR).

Görüntü/Bant	SWIR4	SWIR5	SWIR6	SWIR7	SWIR8	SWIR9
R: 174, P: 92	0.2174	0.0696	0.0625	0.0597	0.0417	0.0318
R:174, P: 93	0.2174	0.0696	0.0625	0.0597	0.0417	0.0318
R: 175, P: 92	0.2174	0.0696	0.0625	0.0597	0.0417	0.0318
R: 173, P: 93	0.2174	0.0696	0.0625	0.0597	0.0417	0.0318
R: 174, P: 93	0.2174	0.0696	0.0625	0.0597	0.0417	0.0318
R: 173, P: 93	0.2174	0.0696	0.0625	0.0597	0.0417	0.0318
R: 173, P: 94	0.2174	0.0696	0.0625	0.0597	0.0417	0.0318
R: 172, P: 94	0.2174	0.0696	0.0625	0.0597	0.0417	0.0318
R: 174, P: 93	0.2174	0.0696	0.0625	0.0597	0.0417	0.0318

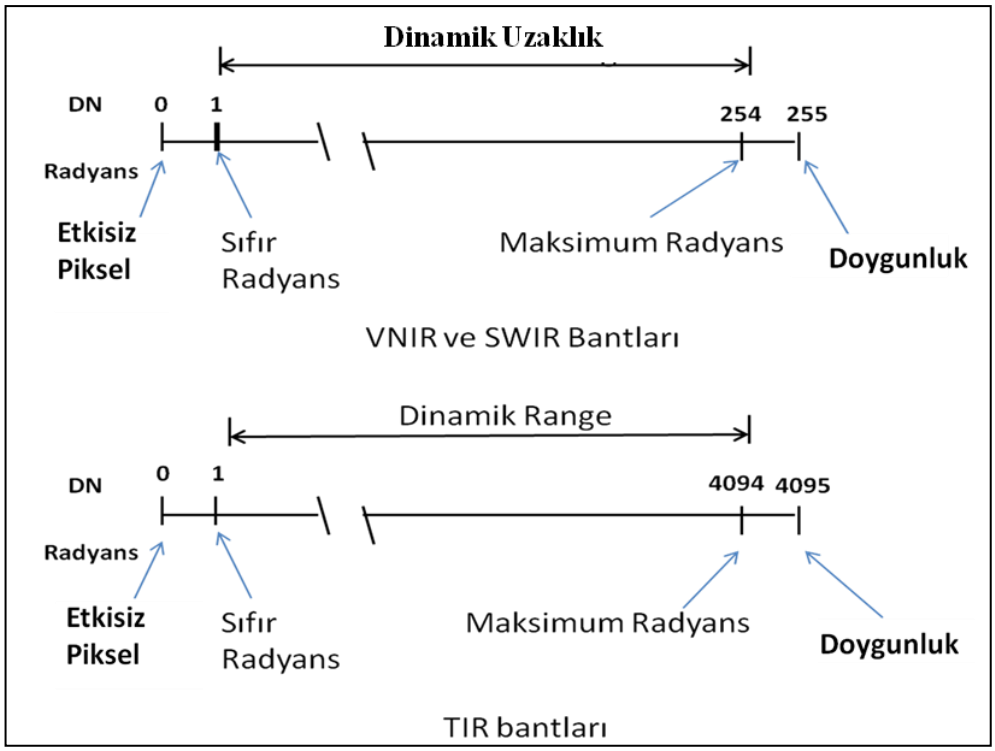


Şekil 2.4: ER-Mapper yazılımı radyans kalibrasyonu.

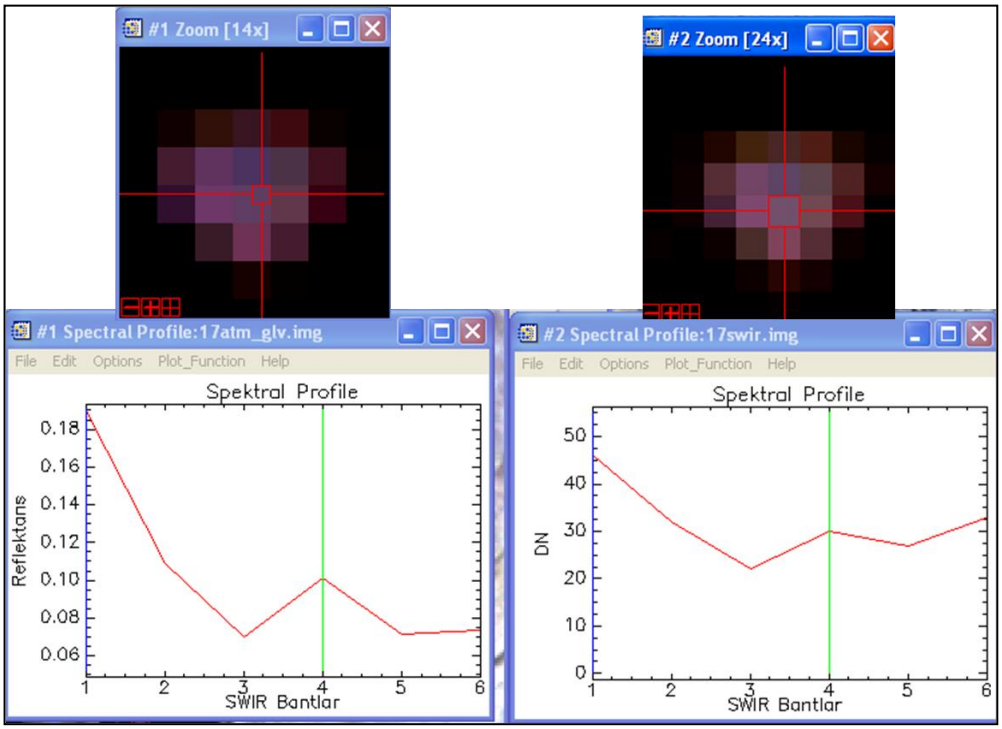
Kalibrasyon yapılırken,

- 0 gri renk değerine sahip pikseller gereksiz piksel olarak,
- 1 gri renk değerine sahip pikseller sıfır radyans olarak,
- 254 gri renk değerine sahip pikseller VNIR ve SWIR bantları için, 4094 gri renk değerine sahip pikseller TIR için maksimum radyans,

- 255 gri renk değerine sahip pikseller VNIR ve SWIR için 4095 gri renk değerine sahip pikseller TIR için doygun piksel olarak düzenlenmiştir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5: ASTER uydusu radyometrik kalibrasyon (Kalinowski ve Oliver, 2004).



Şekil 2.6 : Radyans kalibrasyonu öncesi (sağda) ve sonrası (solda) piksel değerleri.

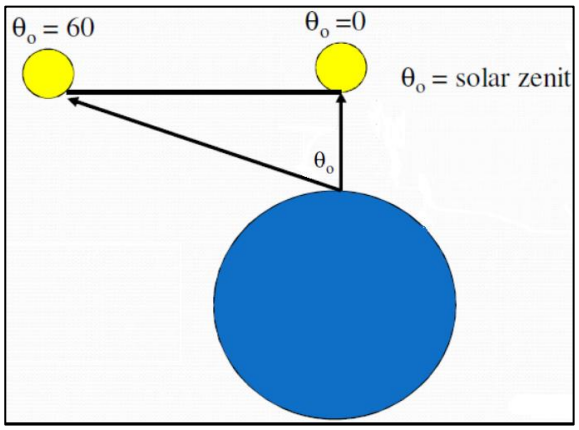
2.1.1.3 Radyansdan reflektansa dönüşüm ve atmosferik düzeltme

Uydu görüntülerinin radyansı üzerindeki saçılma ve yutulmaya bağlı olan atmosfer etkisini hesaplayıp, düzeltmek ve uydu görüntüsünü gerçek yansıtım değerleri ile ifade ederek, spektroradyometre ölçme verilerinin analizlerinin en iyi şekilde yapılabilmesi için atmosferik düzeltme yapılmıştır. Uydu verisine atmosferik düzeltme yapılarak, uydu verisinin atmosfer estkisinin olmadığı spektroradyometre ölçme verileri ile aynı ortama yaklaşması sağlanır (Kruse, 2011; Url-3).

ASTER uydusu bantlarının atmosferik düzeltmesi, ER-Mapper 7.01 yazılımının formülasyon algoritması (Şekil 2.8) içersinde her bir bant için, (2.3) bağıntısı (Achard ve D'Souza, 1994; Eva ve Lambin, 1998) kullanılarak yapılmıştır.

$$\mathbf{R = (pi*L_{rad}*d^2)/(ESUN_i^* Cos(z))} \qquad \mathbf{(2.3)}$$

Burada, pi = 3.14159, R; hesaplanan reflektans değeri**,** L_{rad}; eşitlik (2.2) ile hesaplanan radyans değeri, "i" bant değişkeni olmak üzere, $ESUN_i$; her bant için ortalama atmosferik irradyans değeri (Çizelge 2.5**),** "z" solar yükseklik açısı (Şekil 2.7, Çizelge 2.6), "d"; eşitlik (2.4) ile hesaplanan güneş – dünya arasındaki astronomik birimdeki uzaklıkdır.



Şekil 2.7: Uydunun dünyaya göre bulunduğu solar zenit açısı (zenit açısının 0° ve 60° durumlarında, uydu ve dünyanın durumları) (Url-4).

Güneş ve dünya arasındaki astronomik birimdeki uzaklığı (d) hesaplamak için (2.4) bağıntısı (Achard ve D'Souza 1994; Eva ve Lambin, 1998) kullanılmıştır.

$$\mathbf{d = (1-0.01672*COS(RADYAN(0.9856*(Julian\ Day-4))))} \qquad \mathbf{(2.4)}$$

Burada Julian Day, uydu görüntüsünün elde ediliş tarihine bağlı olarak belirlenmiştir.

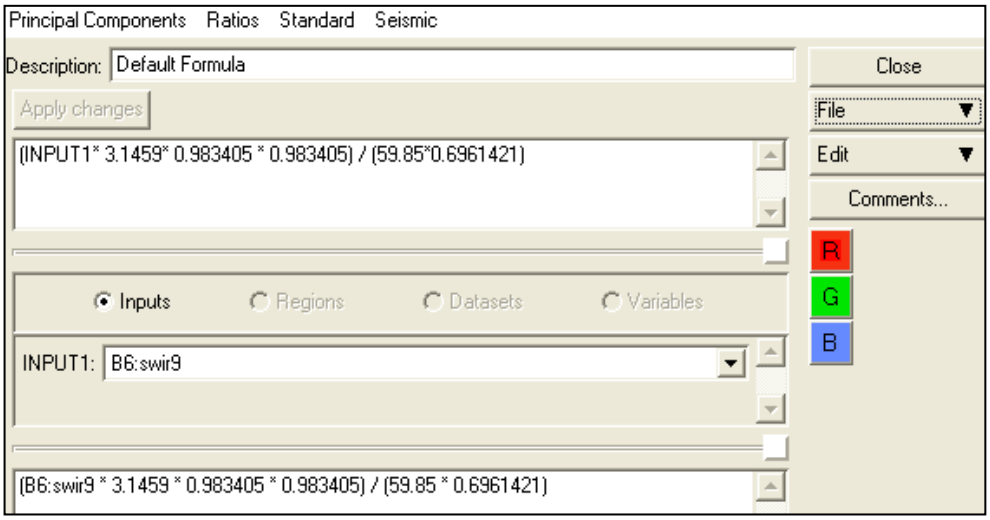
Çizelge 2.5 : ASTER SWIR bantları için yapılan atmosferik düzeltmede kullanılan atmosferik irradyans (ESUN) değerleri **(**Thome ve diğerleri, 2001).

Bantlar	$ESUN_i$ (derece)
B4	225.4
B5	86.63
B6	81.85
B7	74.85
B8	66.49
B9	59.85

Çizelge 2.3'deki ESUN değerleri için, Thome ve diğerleri, (2001) tarafından MODTRAN algoritması kullanılarak hesaplanan değerler kullanılmıştır.

Çizelge 2.6 : ASTER uydu görüntülerine ait zenit açıları.

Görüntü	Z (derece)
AST 17	44.118295
AST 19	59.335106
AST 12	55.040900
AST 15	64.156569
AST 11	66.488710
AST 152	62.831397
AST 16	63.454950
AST 18	56.478943
AST PG	55.509587



Şekil 2.8: ER-Mapper yazılımı atmosferik düzeltme formülasyonu.

2.1.2 Uzaktan algılama verilerine uygulanan zenginleştirme metodları

ASTER uydu görüntülerine, görüntü zenginleştirme yöntemlerinden dekorelasyon gerilmesi, Ana Bileşenler Dönüşümü, bant oranlama işlemleri uygulanmıştır.

Zenginleştirme yöntemleri uygulanarak, yorumlanabilirliği artırılan uydu görüntü verileri analiz edilip, jeolojik yapıların ayırt edilerek, gerçekleştirilen yersel spektral ölçmelerin bölgeleri belirlenmiştir.

Ayrıca, ASTER uydu verisi bantlarına uygulanan bant oranlamalar ve diğer analizler sonucunda, litolojik olarak kayaç gruplarının benzerlik ve farklılığı ön plana çıkarılmıştır. Yapılan uydu görüntüsü zenginleştirme analizleri, Bölüm 3'de elde edilen sonuç verileri için karşılaştırma verisi oluşturma amacıyla yapılmıştır.

2.1.2.1 Dekorelasyon gerilmesi

İşleyiş bakımından ana bileşenler dönüşümüne benzeyen dekorelasyon gerilmesi, korelasyonu yüksek olan çok bantlı görüntüler için bir renk zenginleştirme tekniği olup, renklerdeki abartı sayesinde görsel yorumlanabilirliğin artırılmasını sağlar (Gillespie ve diğerleri, 1986).

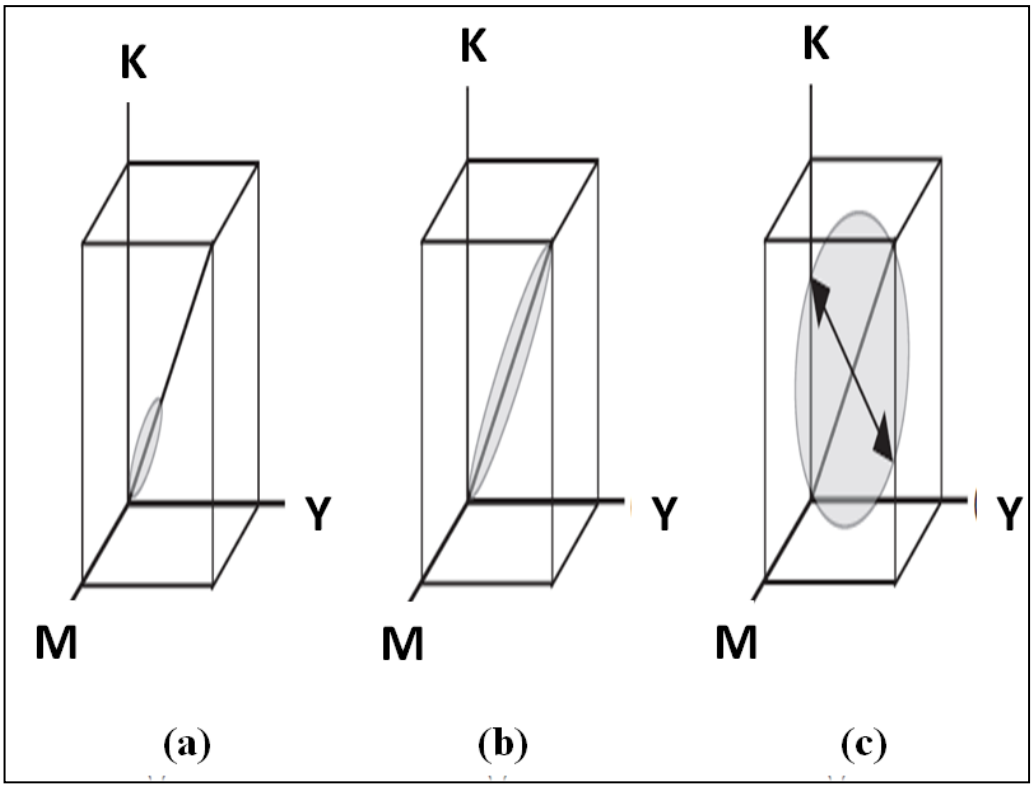
Şekil 2.9'de de gösterildiği gibi, Kırmızı – Yeşil – Mavi (KYM) görüntüde, renk doygunluğu renksiz bölge bileşeni azaltılarak, artırılır (2.4).

$$\mathbf{K = K- (k*MIN(KYM))}$$

$$\mathbf{Y = Y- (k*MIN(KYM))}$$

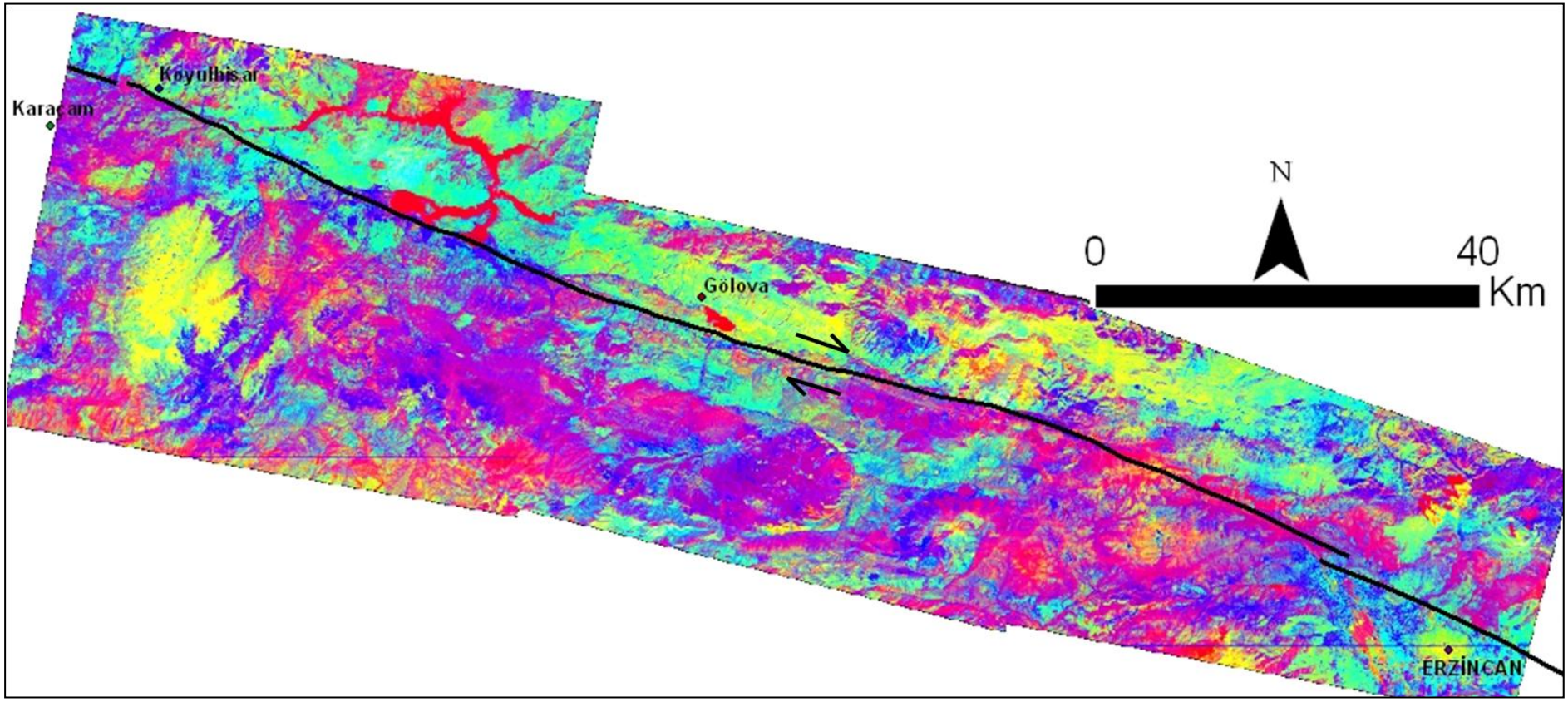
$$\mathbf{M = M- (k*MIN(KYM))} \qquad \mathbf{(2.4)}$$

"k", renk doygunluk artışını kontrol eden ve görüntüye bağlı olarak 0 ile 1 arasında değer alan bir faktördür. Görüntüye bağlı olarak, "k" 0.2 ile 0.5 arasındaki değerlerden başlamak üzere, arzu edilen renk doygunluğuna ulaşılana kadar artar veya azalır. MIN(KYM), gerilmeye giren pikselin üç bantdaki en düşük parlaklık değeridir (Guo ve Moore, 1996).



Şekil 2.9: Dekorelasyon gerilmesi renk uzayı; (a) Korelasyonlu bantlar için KYM küpündeki piksellerin dağılımı. (b) Gerilmenin etkisi, veri kümesi gri çizgi boyunca uzatıldı fakat KMY küpü doldurulmadan. (c) Veri kümesine Dekorelasyon gerilmesi gri çizgiye dik olarak 3 Boyutda uygulanmış hali (Guo ve Moore, 1996).

Çalışma kapsamında temin edilen 9 çerçeve ASTER uydu görüntüsünün 9-7-4 nolu SWIR bantlarından çalışma alanımızı kapsayan 4 çerçevesine Dekorelasyon gerilmesi uygulanmıştır (Şekil 2.10). Dekorelasyon Gerilmesi analizinden önce bantlar arsındaki korelasyona bakılarak, en düşük korelasyona sahip olan bant kombinasyonu (K: SWIR-9, Y: SWIR-7 ve M: SWIR-4 bantları) seçilmiştir.

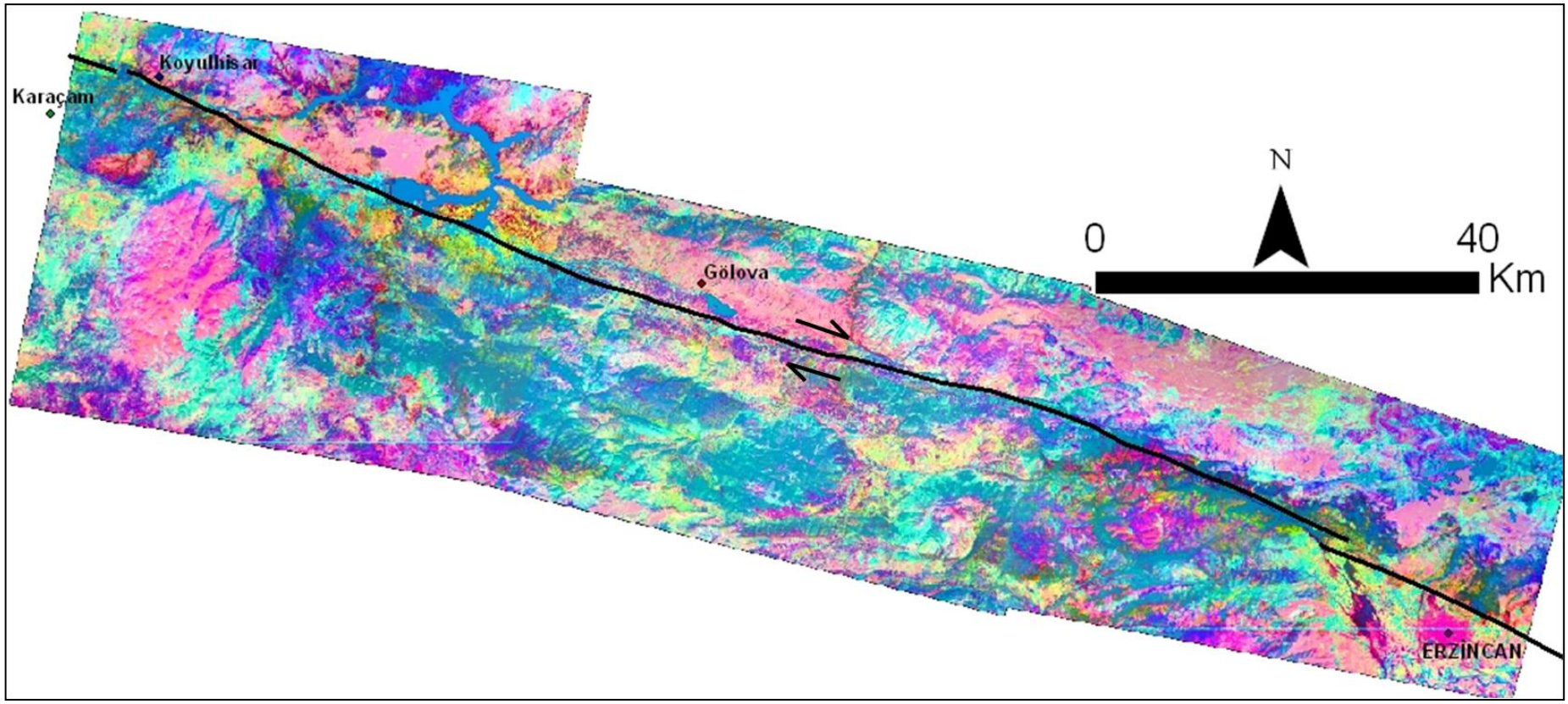


Şekil 2.10: Dekorelasyon Gerilmesi görüntüsü (K: SWIR 9, Y: SWIR 7, M:SWIR 4) ve KAF.

2.1.2.2 Ana bileşenler dönüşümü

Değişik bantlara, aynı bölgenin aynı algılayıcı tarafından farklı dalga boylarında algılanan spektral ve fiziksel özellikleri kaydedilir. Kaydedilen bantlardaki bu özellikler aynı olabileceği gibi farklılık da gösterebilir. Ana Bileşenler Dönüşümü uygulanarak, bantlar arasındaki spektral özellikler azaltılır, başka bir ifadeyle, benzer olan bantların bastırılması sağlanmış olur. Ana Bileşenler Dönüşümünü veri sıkıştırma yöntemi olarak da düşünebiliriz. Bu yöntemin amacı, veri kombinasyonunda görsel yorumlanabilirliği artırmak için, n sayıda kanala sahip orijinal veri setinde mevcut olan tüm bilgileri n' den daha az sayıda yeni bantlara veya yeni bileşenlere sıkıştırılmasını sağlamaktır (Kaya, 1999). Bileşen eksenleri adı verilen yeni eksenler, orijinal veriler içinde maksimum varyansa sahip doğrultular boyunca oluşur. Pikseller yeni koordinat eksenine yerleştiklerinde 1. ana bileşen ekseni 2. Ana bileşen eksenine göre daha büyük varyansa sahiptir. Bundan dolayı, 1. ana bileşen ekseni veri grubunun uzun eksenini (ana eksen) belirtir ve daha fazla bilgi içerir. 2. ana bileşen eksen elipsin ana eksenini dik (ortogonal) keser ve 1. bileşende tanımlanmamış verilerin büyük bir kısmını tanımlar. Bu analizde n sayıda bant olmasına karşın verilerdeki bilginin büyük bir bölümü ilk iki veya ilk üç bantda toplanır. Varyansın azalması ve gürültü etkisinin ortaya çıkmasından dolayı ve yorumlayıcı için fazla bilgi bulunmadığından diğer bantlar kullanılmaz (Kaya, 1999).

Çalışma bölgesini kapsayan 4 çerçeve ASTER uydusu SWIR algılayıcısı bantlarına ana bileşenler dönüşümü uygulanmıştır. 6 bantlı SWIR görüntülerine uygulanan analizden sonra 1'inci, 2'inci ve 3'üncü ana bileşenler kullanılarak, yorumlamalar yapılmıştır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11: Ana bileşenler dönüşümü sonuç görüntüsü kompoziti (K: 1. Bileşen, Y: 2. Bileşen, M: 3. Bileşen) ve KAF.

2.1.2.3 Bant oranlama

Bant oranlama, temelinde bir bantdaki bir piksele ait gri renk değerini aynı pikselin başka bir bantdaki değerine bölünmesi veya diğer matematiksel işlemler uygulanmasıyla yeni piksel değerleri elde edilen bir görüntü zenginleştirme analiz yöntemidir. Ayrıca, bu görüntü zenginleştirme yöntemi kullanılarak, bantlar arasındaki spektral farklılıklar zenginleştirilip, görüntüler üzerindeki topografik etki de azaltılır (Gupta ve diğerleri, 2005). Piksel gri değerlerine matematiksel işlemlerin uygulandığı görüntü zenginleştirme analizleri genellikle hedef özelliği ön plana çıkarmak ve ona ait piksellerin gri renk değerlerinin oranlarını artırmak için kullanılır (Liu, Mason, 2009). Bu yöntemle elde edilen yeni piksel değerli bantların kombinasyonları spektral karakteristikleri incelemede ve öne çıkarmada son derece etkilidir (Okada ve Ishii, 1993; Hewson ve diğerleri, 2001; Rowan ve Mars, 2003). Spektral bantların kombinasyonlarının seçiminde, bantlar arasındaki en yüksek varyans ve en düşük korelasyon hesaplanır. Bunun için istatistiksel bir bant seçim yöntemi olan Optimum Indeks Faktörü etkili bir yöntemdir (Jensen, 1996).

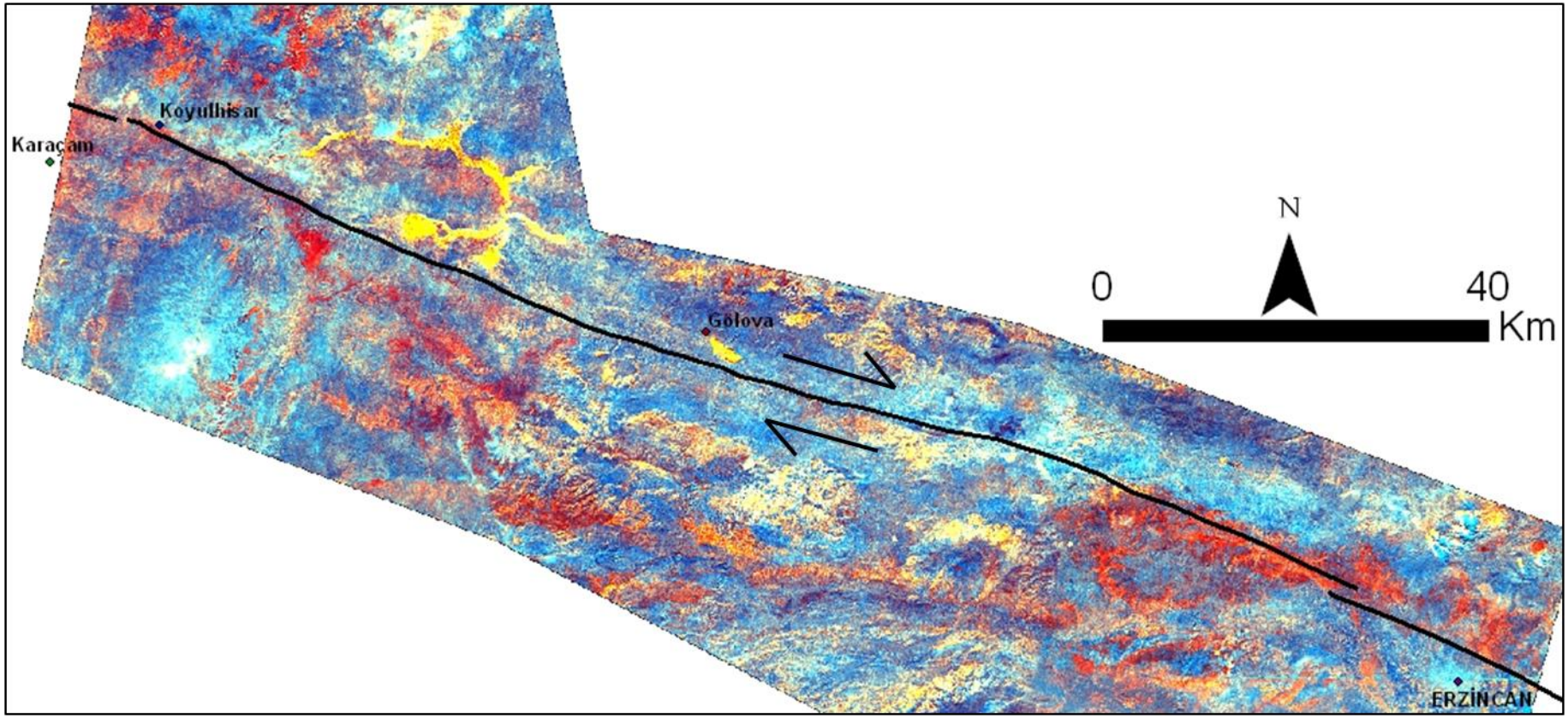
Çalışmada, ASTER uydusundan alınan görüntüler kullanılarak daha önce yapılmış (Kaliknowski ve Oliver, 2004) ve başarılı bir şekilde, mineral haritalamayı ve genel olarak farklı jeolojik yapıları ayırt etmeyi sağlamış bant oranlama kombinasyonları (Çizelge 2.7) kullanılmıştır. Çizelge 2.7'de gösterilen bant oranlamalardan jeolojik ayrımlanma için yorum yapma olanağı sağlayan kombinasyonlar seçilmiştir. Çizelge 2.7'de, mineraller ve kayaçların hangi bantların oranında ve nasıl bir renk kombinasyonunda uygulanması gerektiği gösterilmektedir.

Bant oranlamaları sonucu açığa çıkan zenginleştirilmiş görüntüler, farklı jeolojik ve mineralojik ortamlarda ve değişik topografyalarda aynı sonuç ve yorumlanabilirliği vermeyebilmektedir (Kalinowski ve Oliver, 2004). Bundan dolayı, bu çalışma için ASTER SWIR bantlarına uygulanan bant oranlamaları, mineral veya kayaç gruplarını doğrudan sınıflandırmak veya atamak için yapılmamıştır. Bant oranlamalar sonucu elde edilen zenginleştirilmiş bantların K-Y-M (Kırmızı-Yeşil Mavi) renk kompozitleri sadece minerallerin ve kayaç gruplarının birbirlerinden ayrılması ve alansal veri sağlamaları için kullanılmıştır (Şekil 2.12-16).

Çizelge 2.7: ASTER uydu görüntülerine uygulanan bant oran kombinasyonları (Kalinowski ve Oliver, 2004).

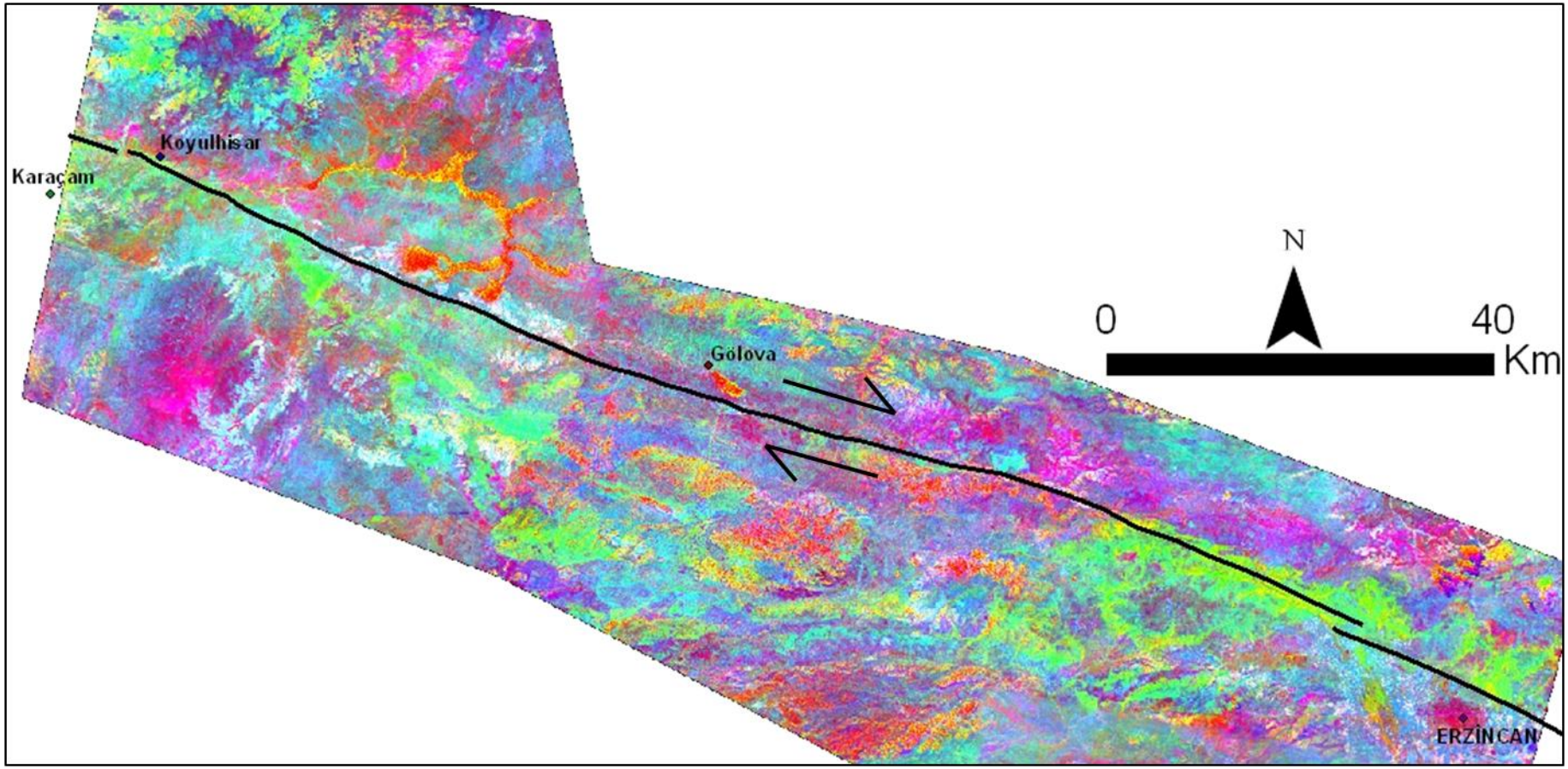
Oranlar	Kırmızı	Yeşil	Mavi
AlOH Mineralleri	5/6 (Penakit)	7/6 (Muskovit)	7/5 (Kaolinit)
Kil, amphibol, Laterit	$(5x7)/6^2$ (Kil)	6/8 (Amphibol)	4/5 (Laterit)
Gossan, Alterasyon, Host	4/2 (Gossan)	4/5 (Alterasyon)	5/6 (Host)
Jeolojik Ayrımlanma 1	4/7	4/1	(2/3)x(4/3)
Jeolojik Ayrımlanma 2	4/7	4/3	2/1

İlk bant oranlama kombinasyonu, Alimünyum Oksit (AlOH) minerallerinin (Pinakit, muskovit, kaolinit) belirlenmesi amacıyla, ASTER uydusu, SWIR banlarıyla yapılmıştır. 5. bandın, 6. banda oranı kırmızı kanala, 7. bandın, 6. banda oranı yeşil kanala ve 7. bandın, 5. banda oranı da mavi kanala konulmuştur (Şekil 2.12). Elde edilen bant oranlama kombinasyon görüntüsünde, (K-M-Y) kırmızımsı bölgeler, phenakit, yeşil bölgeler muskovit ve mavi bölgeler de kaolinit içeriği olan mineralleri göstermektedir (Kalinowski ve Oliver, 2004).



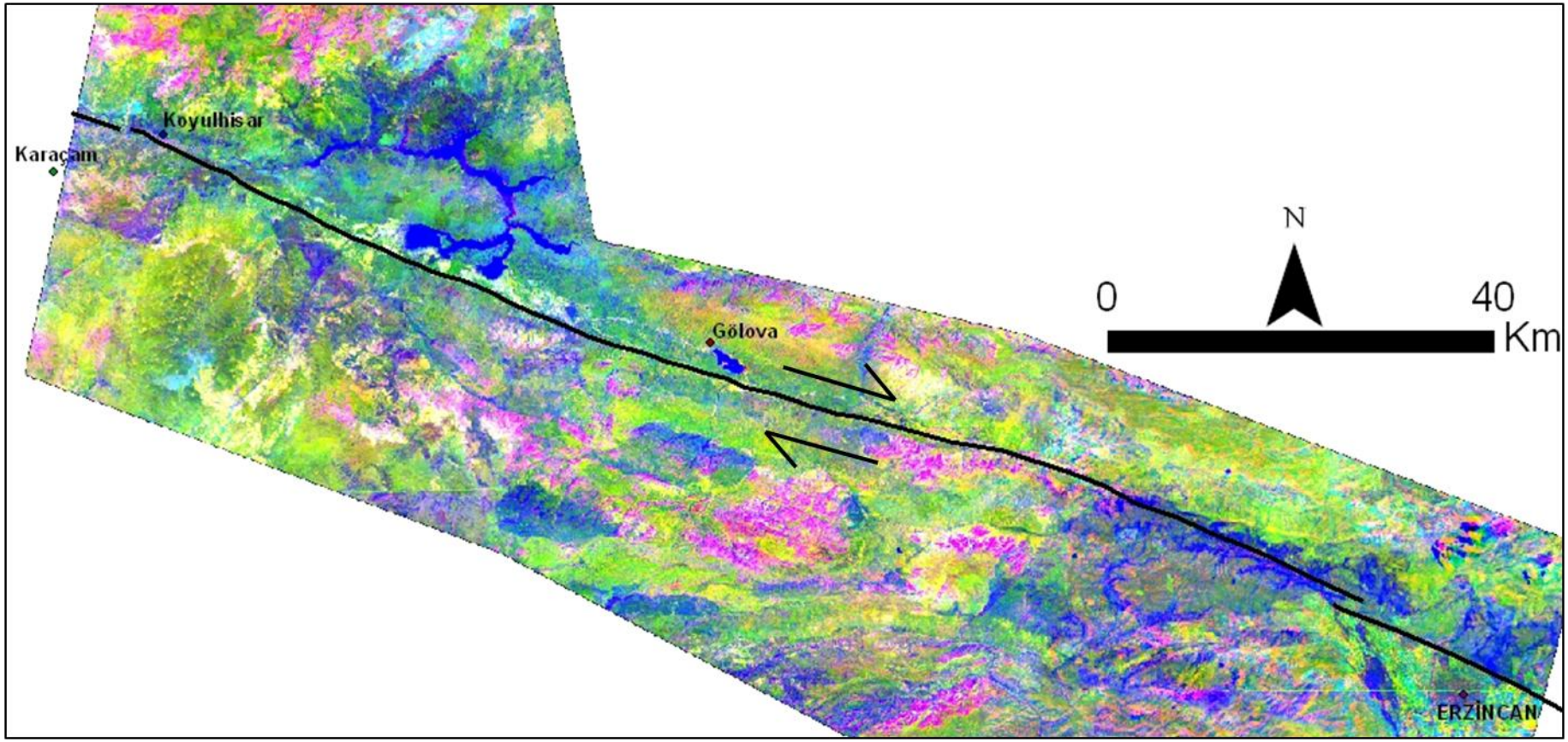
Şekil 2.12: K: (SWIR5/SWIR6),Y: (SWIR7/ SWIR6), M: (SWIR7/ SWIR5) Bant oranlama kombinasyonu) ve KAF.

SWIR algılayısı bantlarıyla yapılan diğer bir oranlamada ise, kil, amphibol ve laterit minerallerini içeren kayaçları açığa çıkarmak için yapılan kombinasyonlar uygulanmıştır. Oranlama, SWIR bantlarından (SWIR5 x SWIR7)/(SWIR6)^2 oranı kırmızı kanala, SWIR6 / SWIR8 oranı yeşil kanala ve SWIR4 / SWIR5 oranı da mavi kanala konularak yapılmıştır (Şekil 2.13). Oranlama görüntü kompozitinde, kırmızı bölgeler, kil minerallerinin, yeşil bölgelerde amphibol minerallerinin ve mavi bölgelerde laterit minerallerinin bulunduğu kayaç gruplarını göstermektedir (Kalinowski ve Oliver, 2004).



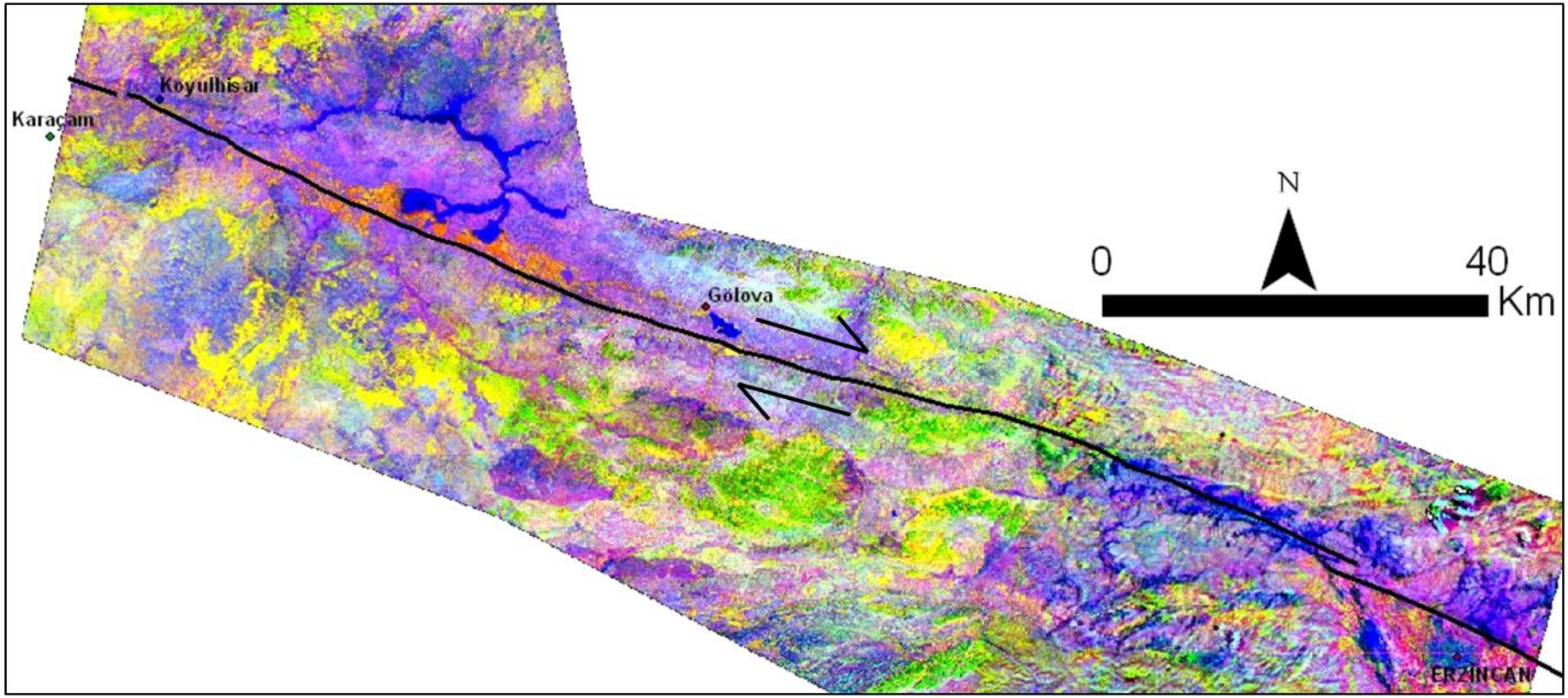
Şekil 2.13 : K: (SWIR5 x SWIR7)/ $(SWIR6)^2$,Y: (SWIR6/ SWIR8), M: (SWIR4)/(SWIR5) Bant Kombinasyonu ve KAF.

VNIR ve SWIR spektral bölgelerindeki bantların birlikte kullanılarak yapılan bant oran görüntüleri kombinasyonu, Gossan, Alterasyon ve Host tipi jeolojik kayaç yapılarının ayrılmasında kullanılmıştır. ASTER uydusu VNIR algılayıcısının spektral bölgesindeki bantların mekansal çözünürlükleri 15 m ve SWIR algılayıcısının spektral bölgesindeki bantların mekansal çözünürlükleri 30 m olduğundan, oranlama yapılmadan önce SWIR algılayıcısına ait bantların piksellerinin mekansal çözünürlükleri 15 m'ye yeniden örneklenmiştir. 4/2 bant oranı kırmızı kanala, 4/5 bant oranı yeşil kanala ve SWIR5 / SWIR6 bant oranı da mavi kanala konularak K-M-Y kombinasyon görüntüsü oluşturulmuştur (Şekil 2.14). Oranlamada, kırmızı kısımlar gossan denilen jeolojik birimleri, yeşil kısımlar, alterasyon birimlerini ve mavi kısımlar ise host denilen yapıları göstermektedir (Kalinowski ve Oliver, 2004).

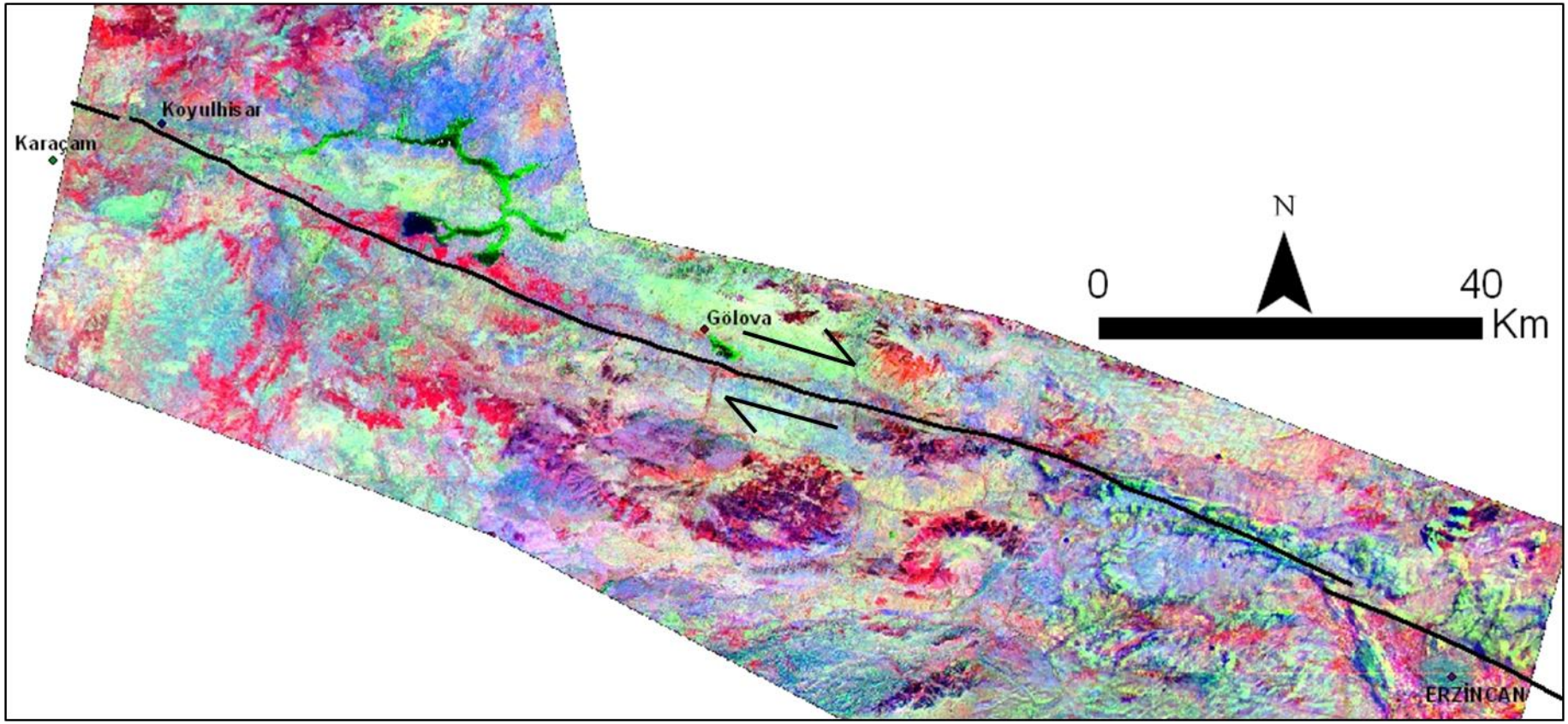


Şekil 2.14 : K: (SWIR4)/(SWIR2), Y: (SWIR4/ SWIR5), (SWIR5/ SWIR6) Bant Kombinasyonu ve KAF.

Sadece jeolojik birimlerin ayırt edilebilmesine yönelik yapılan bant oranlamalarda da VNIR ve SWIR bölgelerdeki bantların oranlama kombinasyonu kullanılmıştır (Şekil 2.15, Şekil 2.16). Şekil 2.15'de, bant oranlama kombinasyonlarının ilkinde, 4. bandın 7. banda oranı, kırmızı kanala, 4. bandın 1. banda oranı yeşil kanala ve ise 2. bandın 3. banda oranı ile 4. bandın 3. banda oranlarının çarpımı mavi kanala konulmuştur. Şekil 2.16'da, bu amaçla yapılan diğer bir bant oranlamada ise, 4. bandın 7. banda oranı kırmızı kanala, 4. bandın 3. banda oranı yeşil kanala ve mavi kanala ise 2. bandın 1. banda oranı konulmuştur.



Şekil 2.15 : K: (SWIR4/ SWIR7), Y: (SWIR4)/(VNIR1), M: (VNIR2/VNIR3)x(SWIR4/VNIR3) Bant oranlamaları ve KAF.



Şekil 2.16: K: (SWIR4/ SWIR7), Y: (SWIR4/VNIR3), M: (VNIR2/VNIR1) Bant kombinasyonu ve KAF.

2.1.3 Bölgenin jeolojik yapısı ve jeolojik verilerin düzenlenmeleri

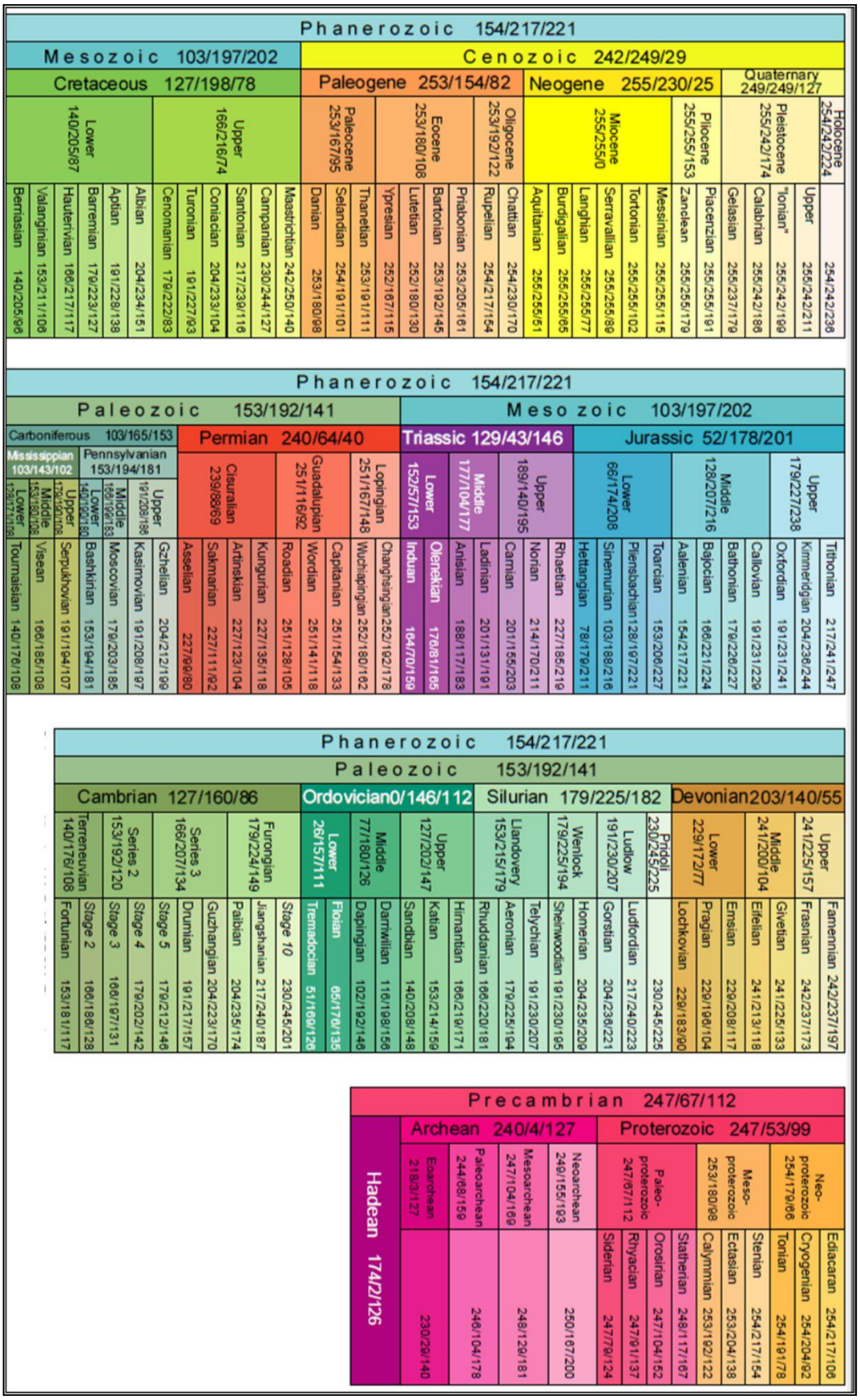
Çalışmada, jeolojik veri olarak DPT 2006K-120220 Nolu proje kapsamında temin edilen, MTA tarafından hazırlanan 1:25000 ölçekli jeolojik formasyon haritaları (Şekil 2.18) kullanılmıştır. Bu haritalardaki öznitelik verilerinden yararlanarak, bölgenin jeolojik değerlendirilmesi yapılmıştır.

Jeolojik haritalardaki verilerden yararlanarak, bölgedeki kaya sınıflarının yedi ayrı formasyonda ve Kretase, Alt Miyosen, Üst Miyosen-Pliyosen, Oligosen, Eosen, Miyosen, Malm-Kretase, Alt Kretase ve Üst Kretase birim yaşlarında oldukları anlaşılmaktadır.

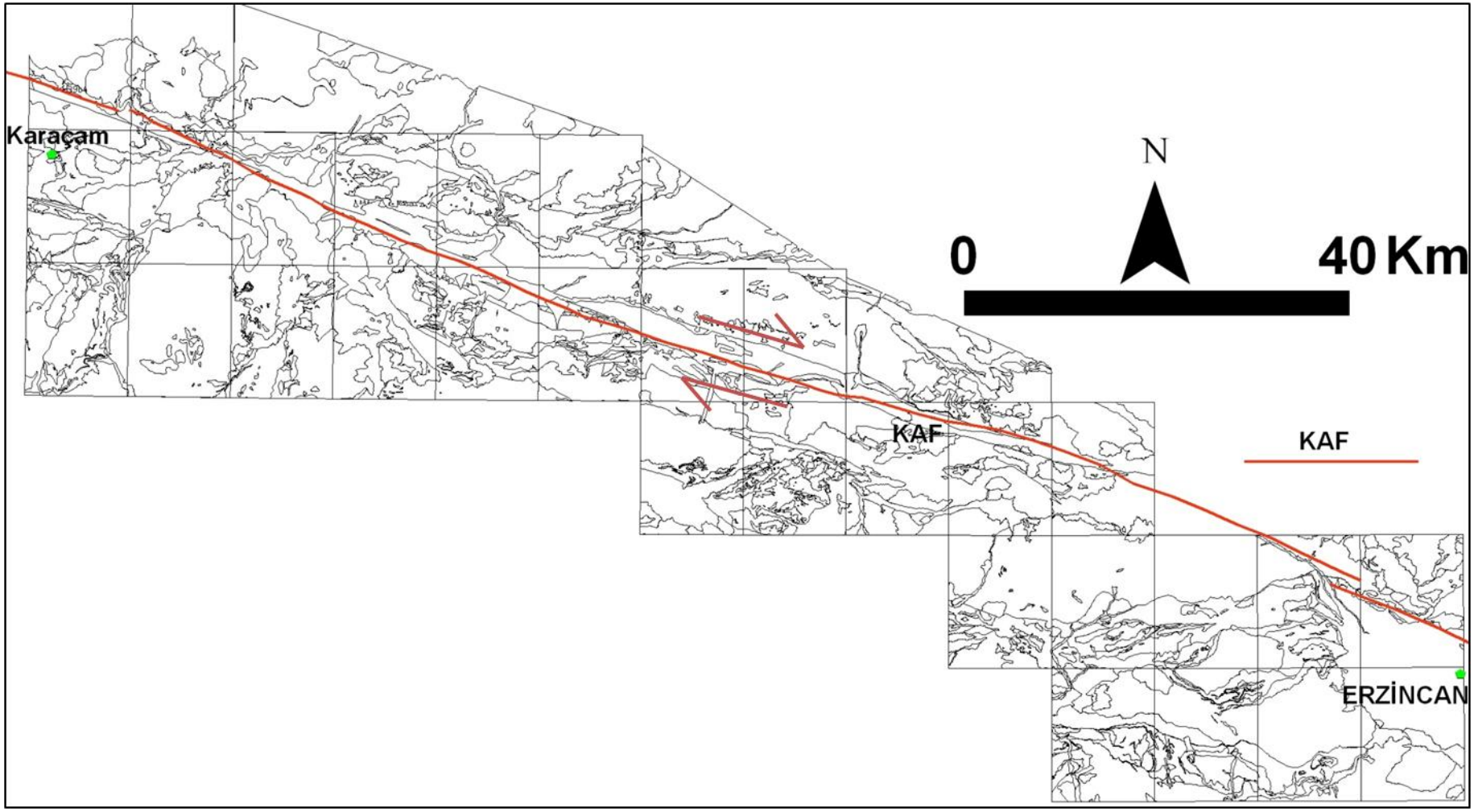
Eldivan ofiyolit kompleksi ve Ankara melanj formasyonları içerisinde bulunan ve birim yaşı Kretase olan melanj sınıfı kaya gruları, KAFZ'nin güneyinde, güney doğudan (39° 49', 39° 8') kuzey batıya (39° 53', 39° 01') doğru uzanmaktadır. Ayrıca yine aynı bölgede, Ürgüp Formasyonuna ait volkanik çökel kaya sınıfında olan ve birim yaşı Üst Miyosen olan birimler bulunmaktadır. Güneydoğu (39° 47', 38° 59)'dan Kuzeybatı (40° 0', 38° 38') yönlü uzanan ve yer yer görünen Karacaören- Salyan Formasyonlarına ait, Alt Miyosen birim yaşındaki kumtaşı-kireçtaşı-çamurtaşı kaya sınıfları şelf ortamında bulunmaktadır. KAFZ'nin güneyinde, doğu (39° 53', 39° 0')'dan batı (40° 10', 38° 5')'ya doğru ve KAFZ'nin kuzeyinde, doğu (40° 6', 38° 29)'dan batı (40° 13', 38° 6')'ya uzanan, Kızıl H-Y-K, Karapınar, Kömisini ve Kızılırmak formasyonlarına dahil olan, Üst Miyosen-Pliyosen birim yaşında kalınlığı 5- 150 m arasında değişen çakıltaşı-kumtaşı-çamurtaşı kaya sınıfları bulunmaktadır. Kumaraş, Miskincedere, Aktepe ve Kızılöz Formasyonlarına dahil, doğu (40° 11', 38° 29')'dan batı (40° 14', 37° 59')'ya doğru uzanan, karasal ortamda, Oligosen-Alt Miyosen birim yaşında, çakıltaşı-kumtaşı-çamurtaşı kaya sınıfları vardır. Eosen birim yaşında, yamaç ortamında bulunan, olistostrom kaya sınıfı, doğu (40° 3', 38° 11')'dan batı (40° 6', 38° 9')'ya doğru, Ericek Formasyonunda yer almaktadır. Meşeköy, Çadırlıhacıyusuf, Çevirme ve Polatlı formasyonlarına dahil olan, Alt Miyosen birim yaşındaki çakıltaşı-kumtaşı-çamurtaşı kaya sınıfları, şelf ortamında bulunmaktadır. Bu jeolojik birimler, 100-550 m arasında değişen kaya kalınlıklarında, KAFZ'nin kuzeyinde, doğu (39° 58', 39° 0')'dan batı (39° 59', 38° 53')'ya doğru uzanır. Fayın güneyinde de bulunan aynı birimler, doğu (39° 54', 38° 52')'dan batı (39° 56', 38° 45')'ya doğru uzanmaktadır.

Saraycık ve Sinop Formasyonlarında bulunan kumtaşı-çamurtaşı-kireçtaşı kaya sınıfları, Miyosen birim yaşında ve şelf ortamında, 14.5 ile 107 m kaya kalınlığında, KAFZ'nin güneyinde, doğu (40° 01', 38° 36')'dan batı (40° 02', 38° 26')'ya doğru uzanmaktadır. Ayrıca, formasyon bilgisi olmayan, ofiyolit kaya sınıfında, Malm-Kretase birim yaşındaki jeolojik birimler, fayın güneyinde doğu (38°37', 39°57')'dan batı (38°9', 40°6')'ya doğru güneydoğu- kuzey batı yönünde bulunmaktadır. Alt Kretase birim yaşında olan melanj kaya sınıfı, güneydoğudan (38° 08', 40°6') kuzeybatı (37° 59', 40° 12') doğru uzanmaktadır. Ayrıca, doğu (37°56', 40°13')'da ve batı (37° 49', 40° 14')'ya doğru bulunan Üst Kretase birim yaşında, melanj kaya sınıfları da bulunmaktadır.

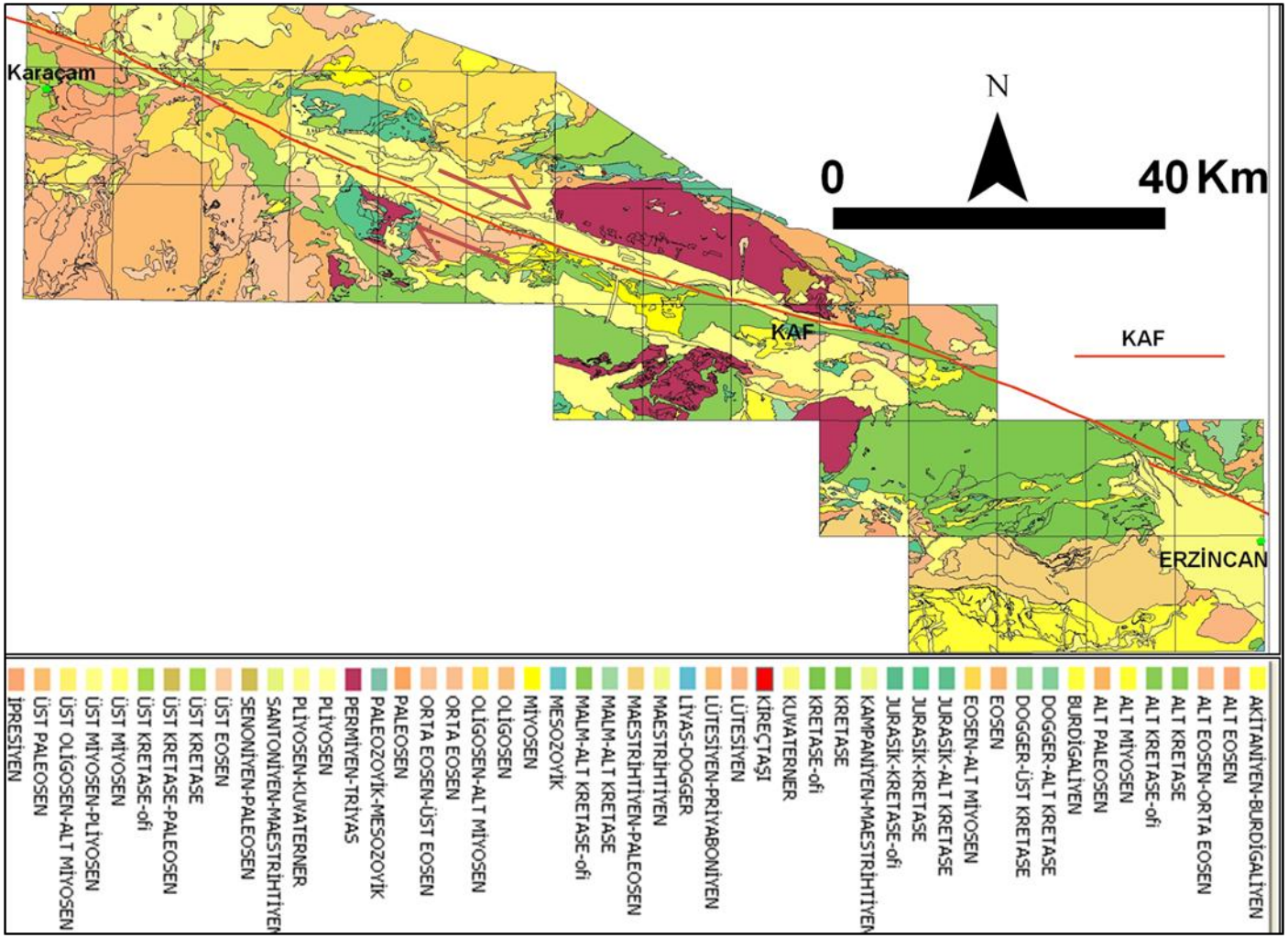
Jeolojik açıdan, birim yaşı, zemin yapısı ve simge kodlarından oluşan öznitelik bilgilerine sahip katmanları olan, üzerlerindeki birimlerin alanlarının vektörel özellikleri de bilinen haritalar, birim yaşına göre yeniden düzenlenmiştir. Bu düzenlemede her birim yaşına farklı bir K-Y-M renk kod değeri atanmıştır. Bu renk kodları Şekil 2.17'de gösterilen, Dünya Jeolojik Harita Komisyonu (CGMW) tarafından hazırlanan, jeolojik zaman tablosu (Pelle, 2010) değerlerinden alınmıştır. Tabloya göre iki ortak zaman dilimine sahip jeolojik birimlerin renk kodları atanırken, jeolojik birime ait iki zaman diliminin renk kodlarının aritmetik ortalaması alınmıştır (Şekil 2.19).



Şekil 2.17: Dünya jeolojik Harita Komisyonu (CGMW)'ye göre KMY renk kodları, (Pelle, 2010).



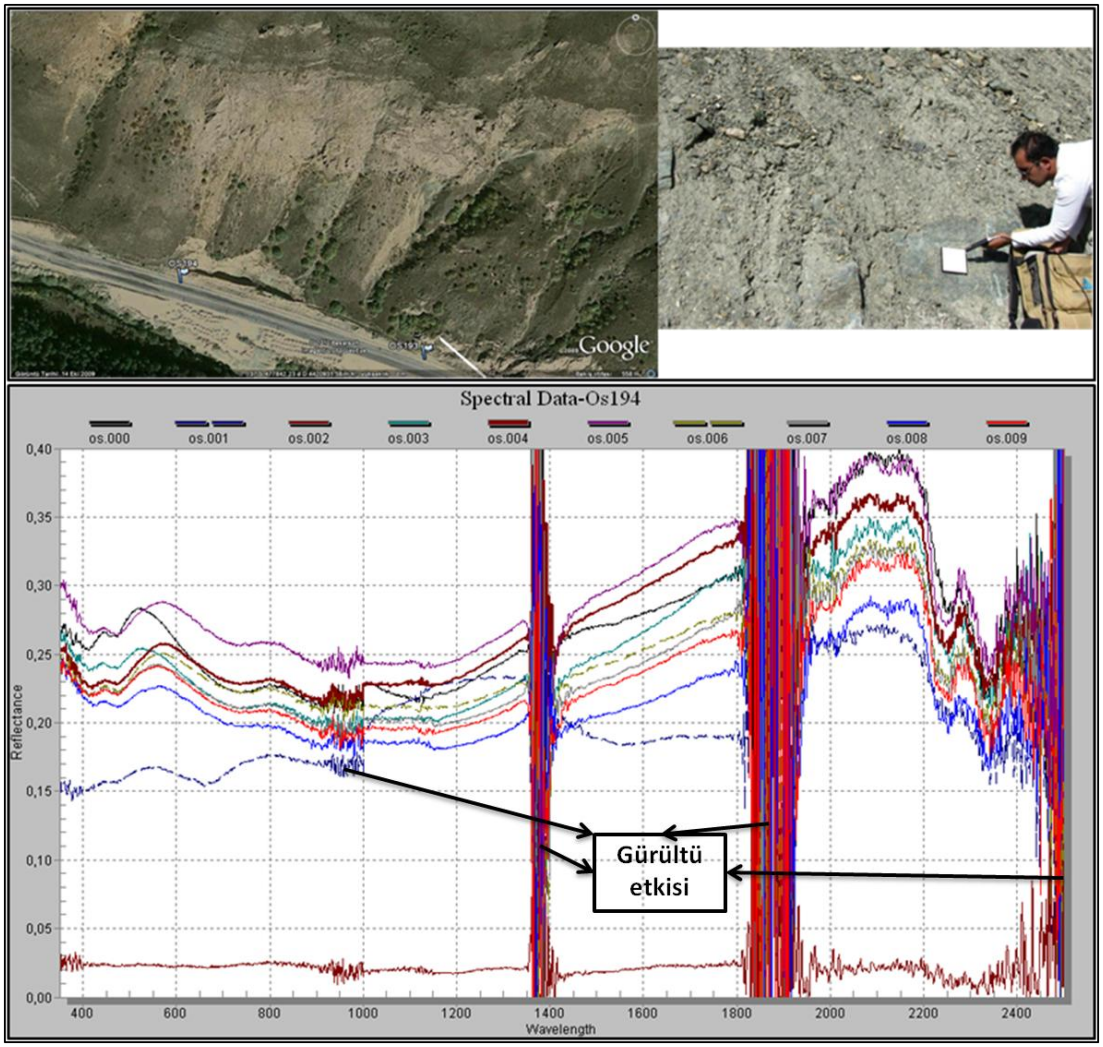
Şekil 2.18 : Jeolojik formasyonları içeren jeoloji haritaları (Harita üzerindeki diktörgenler 1:25000 ölçekli paftaların sınırlarıdır).



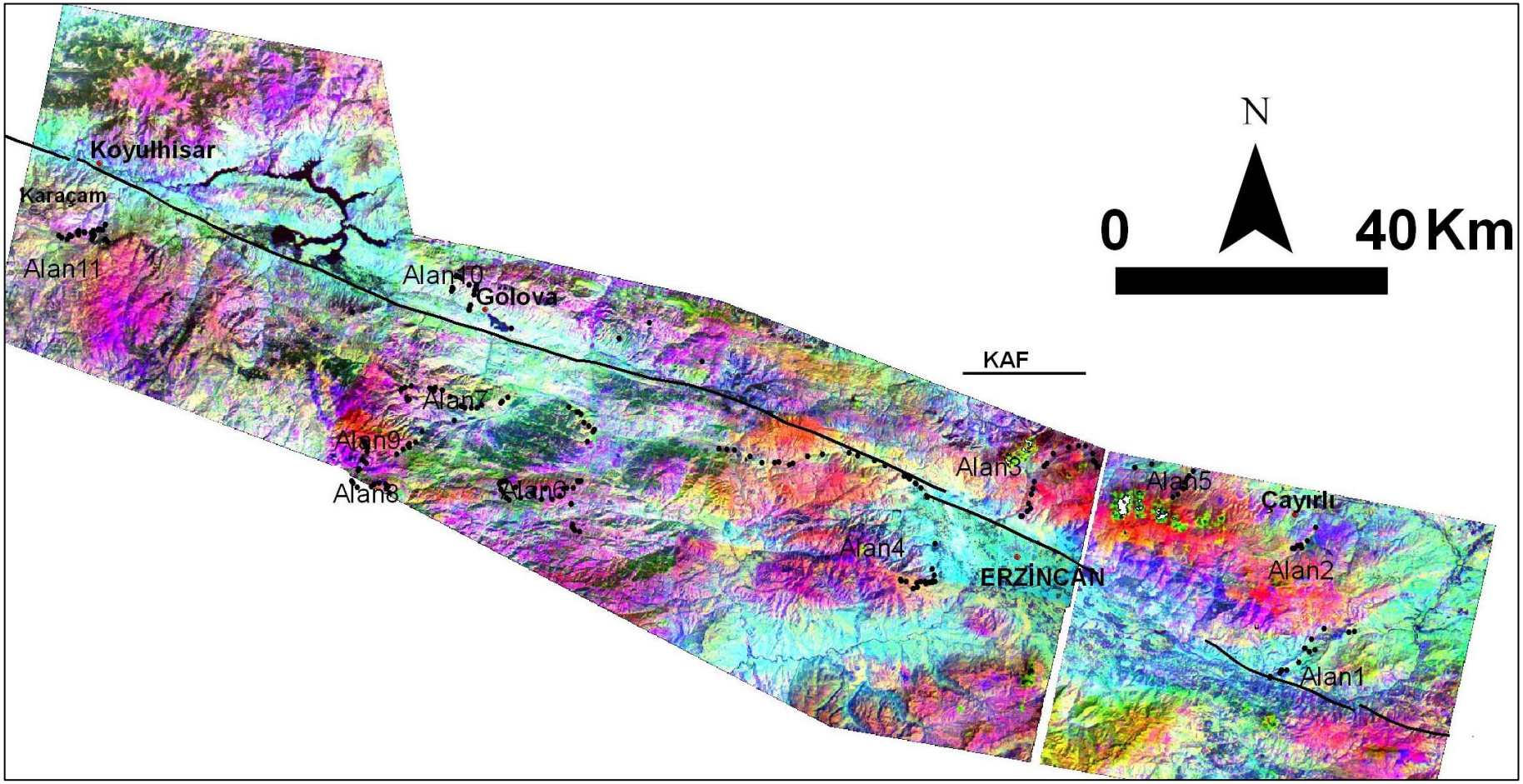
Şekil 2.19 : Jeolojik zaman tablosu kodlarına göre oluşturulan jeolojik haritalar (her renk farklı bir jeolojik zamanı temsil etmektedir).

2.1.4 Spektral veriler ve düzenlenme işlemleri ile jeolojik değerlendirmeler

Çalışma kapsamında, spektral veri elde etmek ve bu verileri kullanarak kayaç topluluklarını belirleyip, aynı veya farklı yapıdaki jeolojik birimlerin açığa çıkarılması amacıyla spektroradyometre ölçmeleri yapılmıştır. İlk olarak 2009 yılı Haziran ve Temmuz aylarını kapsayan ölçmelerde Şekil 1.4'de gösterilen 11 lokal bölgede ve 229 noktada spektroradyometre ölçmeleri gerçekleştirilmiştir. Her noktanın koordinatı, çalışmada kullanılan diğer verilerle çakıştırılmak için el GPS kullanılarak kaydedilmiştir. Ölçmeler İTÜ Uzaktan Algılama Labaratuarında bulunan ve 350- 2500 nanometre dalgaboyu aralığında spektral yansıtım ölçmesi yapan ASD FieldspecPro tipi spektroradyometre ile yapılmıştır (Şekil 2.20-21).



Şekil 2.20 : Os194 Nolu noktada yapılan spekroradyometre ölçmesi yapılan yer ve ölçme sonucu elde edilen tekrarlı 10 ölçü grafiği (Erzincan- Sivas karayolu). (900-1000 nm, 1350-1425 nm, 1850-1950nm, 2350-2500 nm dalga boyu aralıklarında ölçme sırasında oluşan gürültü etkisi görünmektedir).



Şekil 2.21: Yapılan ölçmelerin Dekorelasyon gerilmesi görüntüsü üzerinde gösterimi (siyah noktalar, ölçme yerlerini göstermektedir).

Ölçmelerde, spektroradyometre aleti her noktada 10 kez tekrarlı ölçme yapacak şekilde ayarlanmıştır. Ölçmelerin yapıldığı jeolojik birimin türü de kaydedilmiştir (Çizelge 2.8). Yapılan tekrarlı 10 ölçme verisinin ortalaması alınarak, ölçmelere ait ortalama değerler kullanılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Bunun sonucunda, spektral veriler düzenlenirken aynı birimlere ait verielerin ortak değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Çizelge 2.8: Spektroradyometre ölçmeleri yapılan noktalar ve arazi değerlendirmeleri.

Nokta adı	Açıklama	E	B	Z	Nokta adı	Açıklama	E	B	Z
os 1	jips	39,8426	38,2997	1861	**os 32**	serpantin	39,8808	38,4304	1914
os 2		39,8462	38,3398	2250	**os 33**	serpantin	39,8872	38,4413	1865
os 3	serpantin	39,8445	38,3537	2307	**os 34**	serpantin	39,8899	38,4528	1860
os 4	diyabaz	39,8416	38,3556	2312	**os 35**	serpantin	39,8932	38,4499	1903
os 5	diyabaz	39,8364	38,3632	2360	**os 36**	serpantin	39,8946	38,452	1939
os 6	diyabaz	39,8371	38,3875	2335	**os 37**	serpantin	39,8967	38,4637	1754
os 7	diyabaz	39,8408	38,3922	2360	**os 38**	marn	39,9104	38,4741	1680
os 8	diyabaz	39,8421	38,4004	2349	**os 39**	diyabaz	39,9572	38,6219	1627
os 9	diyabaz	39,8414	38,4123	2240	**os 40**	diyabaz	39,9519	38,6128	1765
os 10	diyabaz	39,8386	38,4155	2144	**os 41**	serpantin	39,9493	38,6094	1791
os 11	serpantin	39,8374	38,4163	2104	**os 42**	serpantin	39,9471	38,5765	1966
os 12	serpantin	39,8347	38,4134	2000	**os 43**	diyabaz	39,9432	38,5681	1970
os 13	serpantin	39,829	38,4194	1872	**os 44**	diyabaz	39,9427	38,5583	1942
os 14	serpantin	39,8129	38,4344	1667	**os 45**	serpantin	39,9424	38,5478	1961
os 15	serpantin	39,7837	38,3975	1548	**os 46**	serpantin	39,9449	38,5434	1946
os 16	kumtaşı	39,7737	38,4064	1661	**os 47**	serpantin	39,946	38,5406	1916
os 17	kumtaşı	39,7709	38,4148	1639	**os 48**	serpantin	39,9573	38,5221	2076
os 18	serpantin	39,7684	38,4174	1585	**os 49**	diyabaz	39,9659	38,5085	2143
os 19	marn	39,766	38,4176	1544	**os 50**	serpantin	39,9663	38,5086	2144
os 20	serpantin	39,7655	38,4183	1532	**os 51**	serpantin	39,9698	38,4967	2049
os 21	serpantin	39,8592	38,364	1956	**os 52**	diyabaz	39,9652	38,4944	1978
os 22	kireç taşı	39,8603	38,3656	1967	**os 53**	diyabaz	39,9675	38,4931	1948
os 23	kireç taşı	39,8607	38,3661	2163	**os 54**	diyabaz	39,9667	38,4913	1971
os 24	kireç taşı	39,8729	38,3717	2496	**os 55**	serpantin	39,969	38,4867	2070
os 25	kireç taşı	39,8845	38,38	2456	**os 56**	serpantin	39,969	38,4867	2037
os 26	serpantin	39,8904	38,3804	2513	**os 57**	serpantin	39,9711	38,455	1965
os 27	serpantin	39,8936	38,3756	2583	**os 58**	serpantin	39,9691	38,4451	1949
os 28	serpantin	39,8969	38,3751	2663	**os 59**	serpantin	39,9675	38,438	1925
os 29	serpantin	39,898	38,3723	2702	**os 60**	serpantin	39,9658	38,4374	1933
os 30	serpantin	39,8958	38,3746	2624	**os 61**	serpantin	39,9566	38,4476	1987
os 31	serpantin	39,8685	38,3787	2286	**os 62**	serpantin	39,9534	38,4525	1964

Çizelge 2.8 (devam) : Spektroradyometre ölçmeleri yapılan noktalar ve arazi değerlendirmeleri.

os 63	serpantin	39,9525	38,4481	1899	**os 106**	kil	39,6455	41,3588	1780
os 64	çakıltaşı	39,9259	38,5301	1595	**os 107**	kireç taşı	39,641	41,4009	1917
os 65	diyabaz	39,8466	38,7485	1767	**os 108**	kireç taşı	39,6415	41,4104	1802
os 66	diyabaz	39,8456	38,7452	1796	**os 109**	kireç taşı	39,8743	40,5929	1646
os 67	serpantin	39,8463	38,7424	1809	**os 110**	jips	39,8814	40,5115	1842
os 68	dayk	39,8367	38,7357	1957	**os 111**	kireç taşı	39,8827	40,4693	1882
os 69	dayk	39,8373	38,7244	2061	**os 112**	kireç taşı	39,8845	40,4543	1909
os 70	dayk	39,8359	38,7178	2099	**os 113**	kireç taşı	39,8754	40,4272	2026
os 71	dayk	39,8357	38,6863	2202	**os 114**	kireç taşı	39,867	40,3981	2210
os 72	dayk	39,8356	38,6683	2249	**os 115**	kireç taşı	39,8626	40,3694	2219
os 73	dayk	39,8376	38,6362	2283	**os 116**	jips	39,862	40,3686	2214
os 74	kireç taşı	39,8458	38,6192	2281	**os 117**	jips	39,8636	40,3062	2390
os 75	kireç taşı	39,8453	38,6126	2337	**os 118**	kireç taşı	39,8635	40,3044	2388
os 76	dayk	39,8446	38,6127	2324	**os 119**	kireç taşı	39,7804	41,3461	1634
os 77	serpantin	39,8445	38,6097	2309	**os 120**	kireç taşı	39,7625	40,665	1680
os 78	serpantin	39,842	38,6076	2254	**os 121**	kireç taşı	39,7537	40,6546	1744
os 79	serpantin	39,8352	38,6101	2097	**os 122**	kireç taşı	39,7574	40,654	1791
os 80	serpantin	39,8303	38,6153	2117	**os 123**	serpantin	39,7564	40,6505	1870
os 81	serpantin	39,8239	38,6206	2045	**os 124**	serpantin	39,7562	40,647	1966
os 82	serpantin	39,8205	38,6252	1968	**os 125**	serpantin	39,7527	40,642	1986
os 83	kireç taşı	39,8237	38,6442	2028	**os 126**	kireç taşı	39,7526	40,6417	1986
os 84	serpantin	39,8292	38,6651	2095	**os 127**	serpantin	39,7524	40,6391	2005
os 85	kireç taşı	39,8222	38,6814	2049	**os 128**	dayk	39,8567	40,469	1950
os 86	serpantin	39,8219	38,6987	2076	**os 129**	dayk	39,8502	40,4623	2058
os 87	serpantin	39,8267	38,7128	2087	**os 130**	dayk	39,8477	40,4584	2147
os 88	serpantin	39,8166	38,7322	1927	**os 131**	dayk	39,8416	40,4542	2203
os 89	kireç taşı	39,815	38,7311	1884	**os 132**	dayk	39,8336	40,4523	2360
os 90	kumtaşı	39,7885	38,7346	1790	**os 133**	dayk	39,8223	40,4346	2629
os 91	magmatik kaya	39,7856	38,7336	1795	**os 134**	dayk	39,8258	40,4422	2543
os 92	killi kumtaşı	39,7836	38,7358	1807	**os 135**	kireç taşı	39,8717	40,2972	2288
os 93	serpantin	39,7792	38,7465	1887	**os 136**	kireç taşı	39,8717	40,2971	2185
os 94	marn	39,7813	38,7384	1854	**os 137**	magmatik	39,8913	40,285	2129
os 95	kireç taşı	39,5814	40,5985	1235	**os 138**	serpantin	39,8915	40,272	2290
os 96	serpantin	39,5833	40,5984	1256	**os 139**	kireç taşı	39,8899	40,2551	2311
os 97	çamurtaşı	39,588	40,6153	1374	**os 140**	kireç taşı	39,8812	40,2292	2405
os 100	marn kil taşı	39,5915	40,627	1396	**os 141**	kireç taşı	39,8682	40,2176	2223
os 101	marn kil taşı	39,6178	41,3421	1755	**os 142**	serpantin	39,865	40,213	2155
os 102	kum-çakıltaşı	39,615	40,6662	1688	**os 143**	kireç taşı	39,8449	40,196	2058
os 103	kum-çakıltaşı	39,6196	40,6581	1551	**os 144**	serpantin	39,8348	40,1933	2042
os 104	kum-çakıltaşı	39,6202	40,659	1575	**os 145**	serpantin	39,8273	40,1907	2135
os 105	kum-çakıltaş	39,6319	41,3363	1623	**os 146**	kireç taşı	39,8157	40,1853	2081

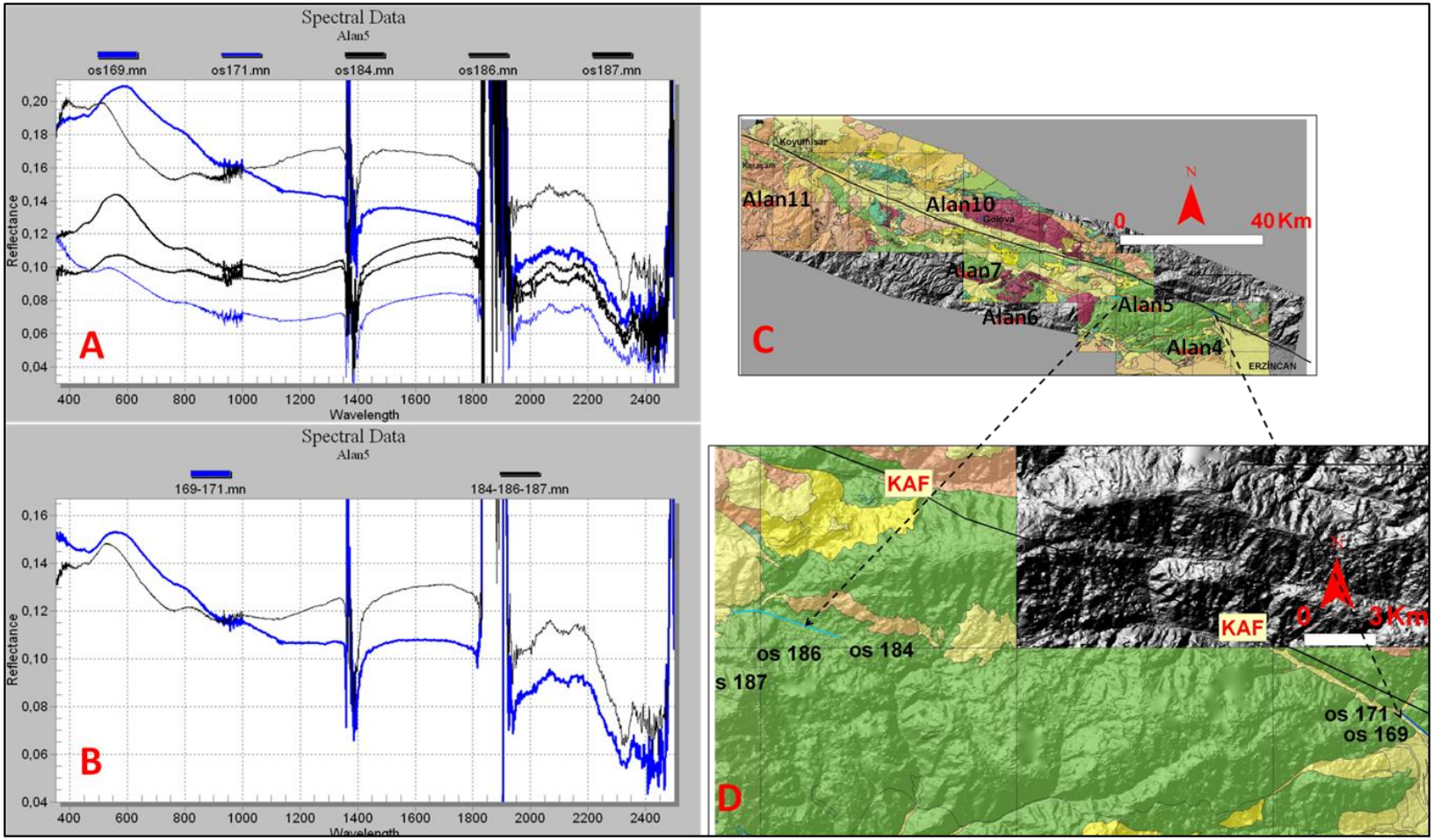
Çizelge 2.8 (devam) : Spektroradyometre ölçmeleri yapılan noktalar ve arazi değerlendirmeleri.

os 147	serpantin	39,8086	40,189	2006	**os 188**	serpantin	39,9113	38,7689	1568
os 148	serpantin	39,8053	40,1832	1912	**os 189**	serpantin	39,9149	38,7709	1609
os 149	serpantin	39,7985	40,1751	1781	**os 190**	serpantin	39,9191	38,7617	1564
os 150	çakıltaşı	39,7992	40,1716	1752	**os 191**	serpantin	39,9243	38,7528	1559
os 151	kireç taşı	39,7631	40,0241	1327	**os 192**	kireçtaşı	39,9347	38,7479	1551
os 152	kireç taşı	39,729	40,0195	1398	**os 193**	kireçtaşı	39,9376	38,7432	1549
os 153	kireç taşı	39,7206	40,0229	1405	**os 194**	dayk	39,9382	38,7404	1541
os 154	kireç taşı	39,712	40,0242	1425	**os 196**	kireçtaşı	40,0977	39,1906	1322
os 155	kireç taşı	39,7151	39,9651	2232	**os 197**	serpantin	40,1012	39,193	1401
os 156	kireç taşı	39,7139	39,9656	2254	**os 198**	kireçtaşı	40,1173	39,1977	1561
os 157	kumtaşı	39,7139	39,966	2254	**os 199**	serpantin	40,1167	39,2052	1628
os 158	kumtaşı	39,7126	39,975	2208	**os 200**	serpantin	40,1151	39,2088	1750
os 159	kumtaşı	39,7032	39,9862	2054	**os 201**	serpantin	40,1059	39,2338	1660
os 160	kumtaşı	39,7055	39,9942	1973	**os 202**	serpantin	40,1008	39,2334	1644
os 161	kumtaşı	39,7108	39,9928	1927	**os 203**	kireçtaşı	40,1006	39,2333	1638
os 162	kumtaşı	39,7126	39,9986	1857	**os 204**	serpantin	40,1006	39,2332	1640
os 163	kumtaşı	39,7121	39,9994	1850	**os 205**	serpantin	40,0988	39,2311	1616
os 164	kumtaşı	39,7126	40,0075	1767	**os 206**	kireçtaşı?	40,0929	39,2292	1556
os 165	kumtaşı	39,7097	40,0088	1727	**os 207**	kireçtaşı?	40,0792	39,2237	1359
os 166	kumtaşı	39,7117	40,0142	1602	**os 208**	serpantin	40,0749	39,2209	1282
os 167	kumtaşı	39,7114	40,0187	1543	**os 209**	dayk?	40,0727	39,2207	1236
os 168	kumtaşı	39,7133	40,0198	1484	**os 210**	kumtaşı	40,1819	37,924	1367
os 169	serpantin	39,837	39,9998	1420	**os 211**	sedimanter	40,1757	37,9143	1454
os 170	çakıltaşı	39,849	39,9814	1450	**os 212**	kireçtaşı	40,1747	37,9188	1481
os 171	serpantin	39,8505	39,9785	1459	**os 213**	kireçtaşı	40,1629	37,9247	1690
os 172	çakıltaşı	39,8524	39,9721	1475	**os 214**	kireçtaşı	40,1595	37,9286	1770
os 173	serpantin	39,8527	39,971	1473	**os 215**	kireçtaşı	40,1596	37,9286	1768
os 174	serpantin	39,8671	39,9392	1557	**os 216**	kireçtaşı	40,1755	37,9118	1481
os 175	çakıltaşı	39,8737	39,9205	1584	**os 217**	tüf	40,1678	37,9044	1450
os 176	serpantin	39,8796	39,8917	1677	**os 218**	kireçtaşı	40,1637	37,9029	1467
os 177	serpantin	39,882	39,8314	1954	**os 219**	kireçtaşı	40,1621	37,9019	1520
os 178	serpantin	39,8796	39,805	2136	**os 220**	serpantin	40,1736	37,9033	1458
os 179		39,8699	39,7804	2067	**os 221**	serpantin	40,1701	37,9001	1413
os 180		39,868	39,7742	2045	**os 222**	kil	40,1709	37,8881	1483
os 181		39,8718	39,7552	1963	**os 223**	serpantin	40,1721	37,8881	1500
os 182	serpantin	39,8711	39,7479	1988	**os 224**	kil	40,1734	37,8784	1593
os 183	serpantin	39,8706	39,7261	2006	**os 225**	serpantin	40,1677	37,878	1674
os 184	serpantin	39,8795	39,7057	1960	**os 226**	serpantin	40,1662	37,8659	1813
os 185	serpantin	39,8875	39,6788	1903	**os 227**	serpantin	40,1619	37,8584	1881
os 186	serpantin	39,8889	38,9995	1852	**os 228**	kireçtaşı	40,1636	37,8486	1916
os 187	serpantin	39,8897	38,986	1809	**os 229**	dayk	40,1667	37,8442	1919

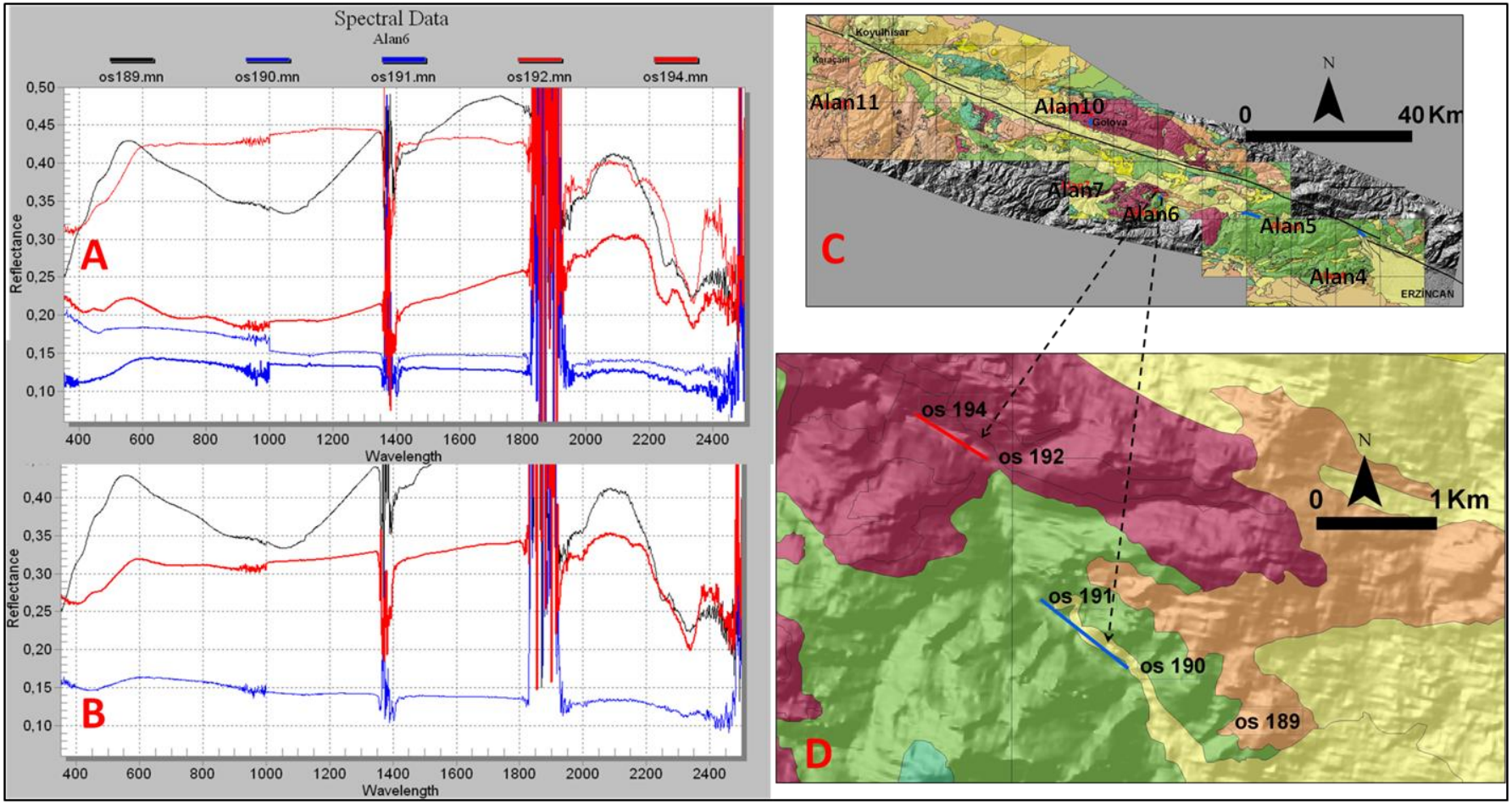
Gerçekleştirilen spektroradyometre ölçmeleri sırasında, türü değerlendirilen ve ortalama spektral yansıtım grafikleri toplam dört test alanında oluşturulmuştur. Arazi değerlendirnesine göre aynı tür olarak gözlenen ve benzer yansıtıma sahip olan ölçmelerden, çalışma kapsamında temin edilen jeoloji haritası sınırları içerisinde kalanlar için ortak kesitler oluşturulmuştur. Her kesit için, kesiti oluşturan noktalara ait spektroradyometre ölçmelerinin ortalamaları alınarak, kesite ait bir spektral veri elde edilmiştir (Şekil 2.22-25). Oluşturulan şekiller, "A", "B", "C", "D" bölümlerinden oluşmaktadır. Şekillerin "A" bölümünde, kesitleri oluşturan noktaların spektroradyometre ölçme verilerinine ait grafikler vardır. "B" kısmında, oluşturulan kesitlere ait spektral grafikler bulunmaktadır. "C" kısmında, çalışma alanının jeolojik haritasının SYM ile birleştirilmiş görüntüsü üzerinde kesitlerin bulunduğu yerler görünmektedir. "D" kısmında ise, oluşturulan kesitlerin yakınlaştırılmış görüntüleri bulunmaktadır.

Erzincan-Sivas karayolu üzerinde bulunan Alan-5'deki noktaların bulunduğu bölgede iki adet kesit oluşturulmuştur (Şekil 2.22). Os169 ve os71 nolu noktalarla oluşturulan kesit ile os184, os186 ve os187 nolu noktalarla oluşturulan kesit jeoloji haritası üzerinde ofiyolit kaya sınıfı üzrinde bulunmaktadır. Her iki kesiti oluşturan noktaların bulunduğu arazideki kayaç değerlendirmesinde, bu noktalardaki kayaçların serpantin olduğu gözlenmiştir.

Erzincan-Sivas Karayolu, Refahiye İlçesi yakınlarında kalan Alan-6'da iki kesit oluşturulmuştur. Ayrıca os 189 nolu nokta da kesitlerle birlikte değerlendirilmiştir (Şekil 2.23). os192 ve os194 nolu noktalarla oluşturulan kesit, jeoloji haritası üzerinde, metabazik kaya sınıfı alanında bulunmaktadır. Arazide, Os192 nolu noktadaki kayaç kireçtaşı, os194 nolu noktadaki kayaç ise dayk olarak değerlendirilmelerine rağmen, benzer spektral yansıtım değerlerine sahip olduklarından, aynı kesitde değerlendirilmişlerdir. Os 190 ve os191 nolu noktalardaki kayaçlar, jeoloji haritasında ofiyolit kaya sınıfı üzerinde yeralmaktadırlar. Bu iki kayaç arazide serpantin olarak değerlendirilmiştir. Os189 nolu nokta, jeoloji haritası üzerinde ofiyolit kaya sınıfı üzerinde yeralmaktadır. Bu noktadaki arazi değerlendirmesinde, kayaç serpantin olarak değerlendirilmiştir.



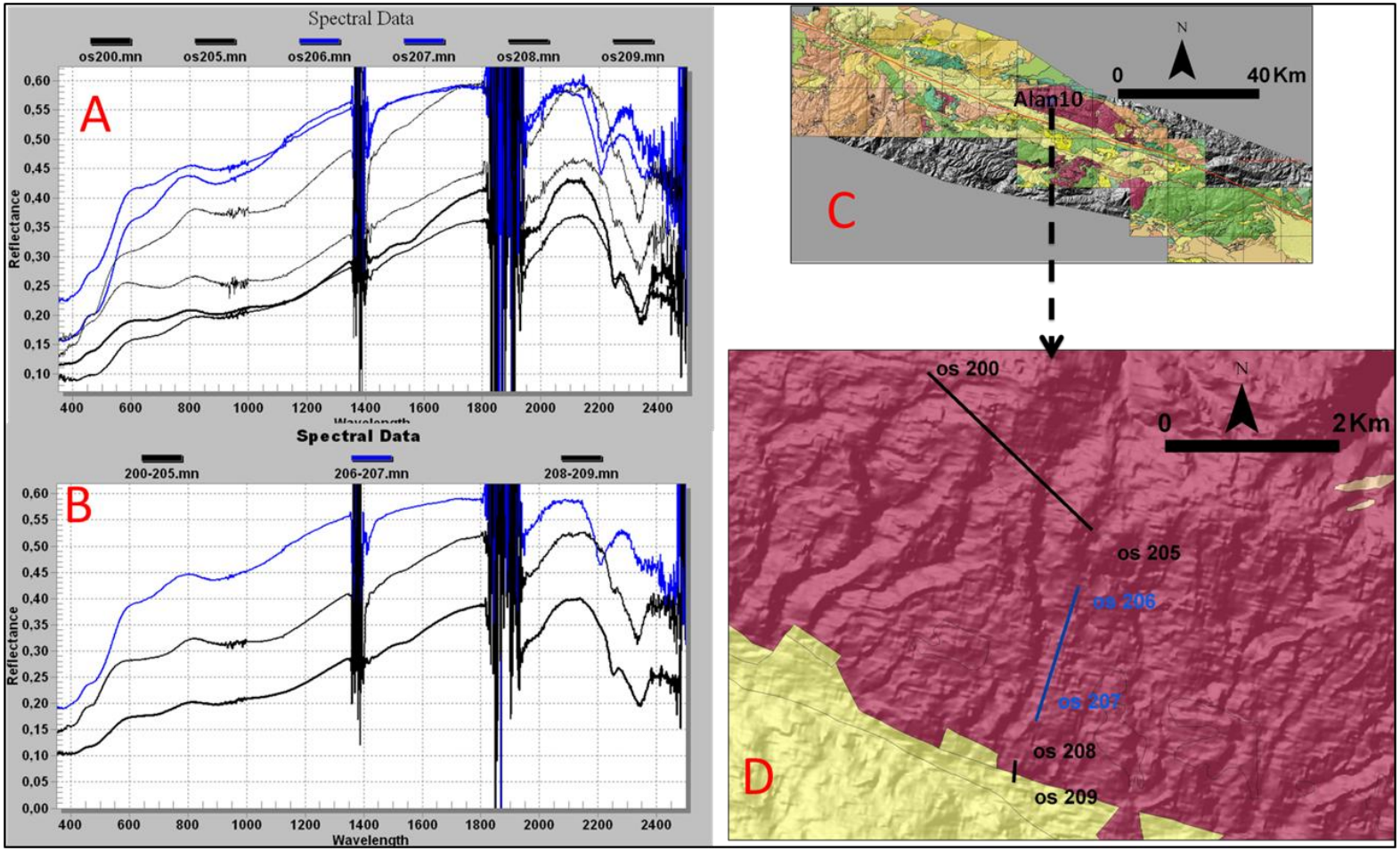
Şekil 2.22: Alan-5'deki kesitlerin incelenmesi (A: Arazide spektroradyometre ölçmesi ile elde edilen spektral yansıtımlar, B: Kesitleri oluşturan noktaların spektroradyometre ölçmelerinin ortalamasından elde edilen kesite ait spektral yansıtımlar, C: SYM ve jeoloji haritası üzerinde kesitlerin bulunduğu alanın gösterimi, D: Kesitlerin SYM ve jeoloji haritası üzerinde gösterimi).



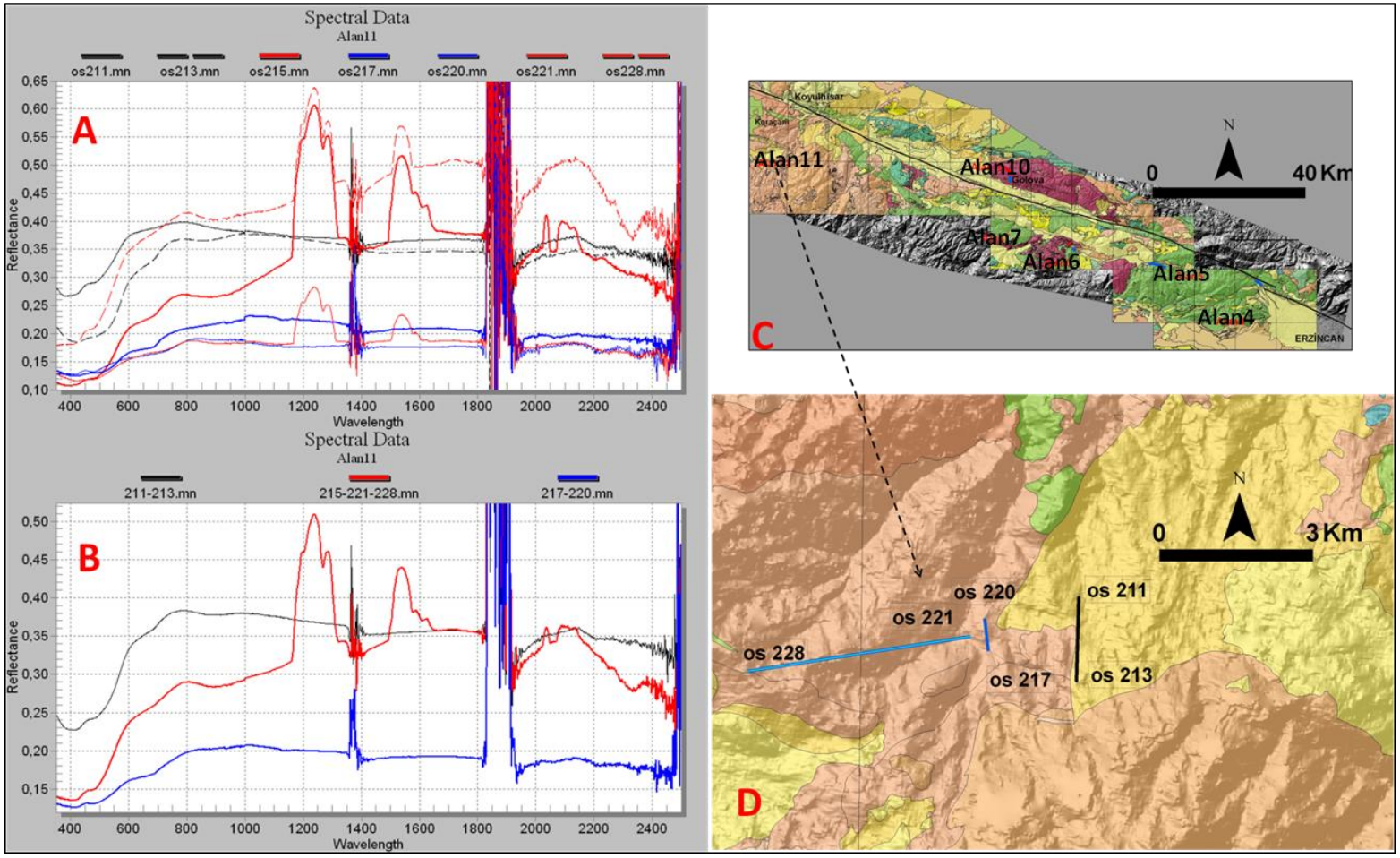
Şekil 2.23: Alan-6'daki kesitlerin incelenmesi (A: Arazide spektroradyometre ölçmesi ile elde edilen spektral yansıtımlar, B: Kesitleri oluşturan noktaların spektroradyometre ölçmelerinin ortalamasından elde edilen kesite ait spektral yansıtımlar, C: SYM ve jeoloji haritası üzerinde kesitlerin bulunduğu alanın gösterimi, D: Kesitlerin SYM ve jeoloji haritası üzerinde gösterimi).

Sivas Gölova bölgesi yakınlarında yapılan ölçmelerde 3 kesit oluşturulmuştur. Alan-10 olarak sınırlanan bu bölgede os200 ve os205 nolu noktaları ile oluşturulan kesit ile os208 ve os209 noktalarının oluşturduğu kesidin spektral grafikleri benzerdir. Ancak, jeoloji haritasında bu kesitlerle birlikte metavolkanit kaya sınıfı üzerinde bulunan, os206 ve os207 nolu noktalarının oluşturduğu kesitin spektral grafiği farklıdır (Şekil 2.24).

Son test bölgesi olarak değerlendirilen Sivas Koyulhisar yakınlarındaki 11 nolu alanda 3 adet kesit oluşturulmuştur. os211 ve os213 nolu noktaların oluşturduğu kesit, jeoloji haritasında çakıştaşı kaya sınıfı olarak görünmektedir. Os217 ve os220 nolu noktaların oluşturduğu kesit ile os221, os 228 nolu noktaların oluşturduğu kesitin, jeoloji haritasındaki bulunduğu kaya sınıfı volkanit çökel kayadır (Şekil 2.25).

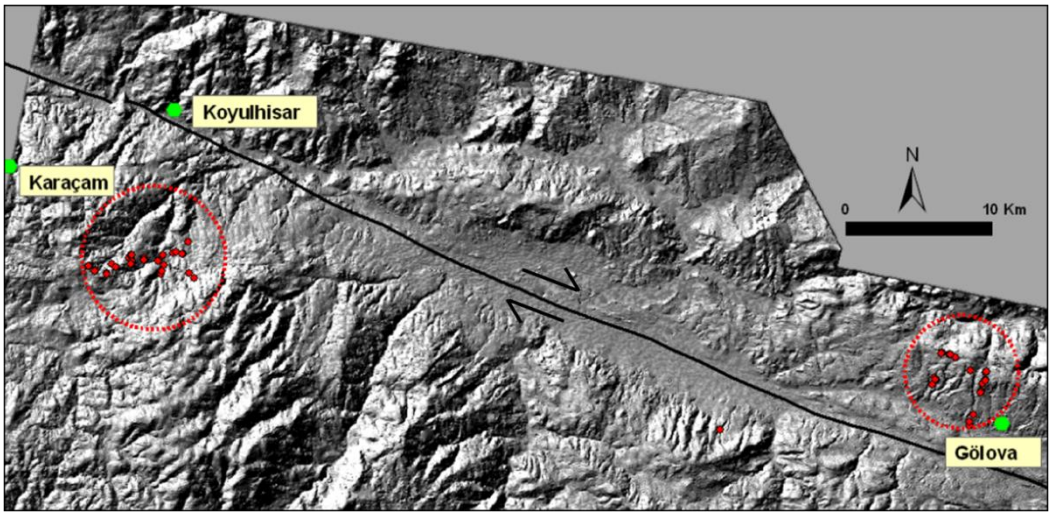


Şekil 2.24: Alan-10'daki kesitlerin incelenmesi (A: Arazide spektroradyometre ölçmesi ile elde edilen spektral yansıtımlar, B: Kesitleri oluşturan noktaların spektroradyometre ölçmelerinin ortalamasından elde edilen kesite ait spektral yansıtımlar, C: SYM ve jeoloji haritası üzerinde kesitlerin bulunduğu alanın gösterimi, D: Kesitlerin SYM ve jeoloji haritası üzerinde gösterimi).



Şekil 2.25: Alan-5'deki kesitlerin incelenmesi (A: Arazide spektroradyometre ölçmesi ile elde edilen spektral yansıtımlar, B: Kesitleri oluşturan noktaların spektroradyometre ölçmelerinin ortalamasından elde edilen kesite ait spektral yansıtımlar, C: SYM ve jeoloji haritası üzerinde kesitlerin bulunduğu alanın gösterimi, D: Kesitlerin SYM ve jeoloji haritası üzerinde gösterimi).

2009 yılında arazi çalışması kapsamında gerçekleştirilen spektraradyometre ölçmeleri ve uydu görüntü işleme analizleri değerlendirilerek, 2010 yılında Alan-10 ve Alan-11'de arazi çalışması tekrar yapılmış ve bu iki bölgeden kayaç örnekleri toplanmıştır. Araziden toplanan kayaç örneklerinin 2009'da ölçme yapılan yerlerden olmasına özen gösterilmiştir (Şekil 2.25). Her iki bölgede, toplam 37 noktadan örnek toplanmıştır (Şekil 2.26-27).



Şekil 2.26: 2010 arazi çalışması, kayaç örneklerinin toplandığı yerler (Kırmızı çember içerisindeki, kırmızı noktalar spektroradyometre ölçme noktaları).



Şekil 2.27: 2010 yılı arazi çalışmasında toplanan kayaç örnekleri.

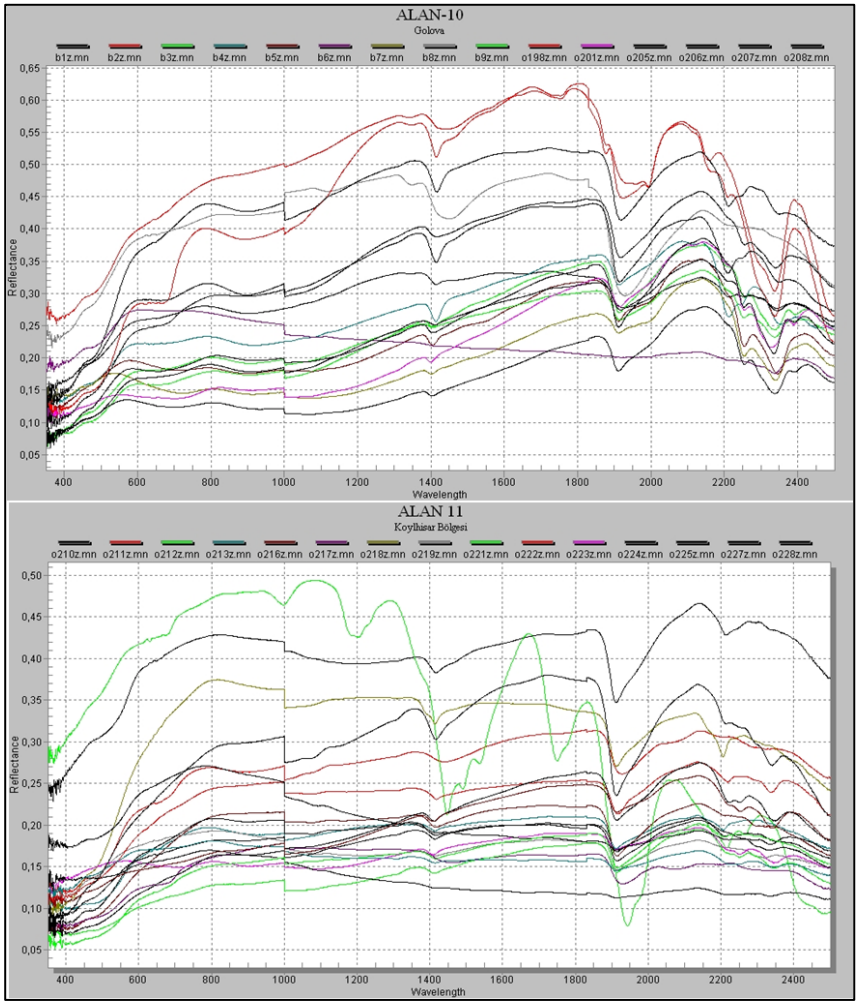
Araziden getirilen kayaç örneklerinin laboratuvar ortamında spektral yansıtım ölçmeleri yapılmıştır. Bu ölçmeler için de FieldspecPro spektroradyometresi kullanılmış olup, lens olarak kendi ışık kayanağını sağlayan kontak-prob kullanılmıştır (Şekil 2.28).

Laboratuvarda yapılan spektroradyometre ölçmelerinde, her bir kaya için 10 kez tekrarlamalı spektral ölçmeler yapılmıştır. Ölçmeler herbir kayaç örneği için 2 veya 3 yüzeyde yapılmış olup, elde edilen ortalama kayaç spektrası için örnek çeşitliliği

sağlanmıştır.Yapılan bu ölçmelerin de ortalama değerleri alınarak, değerlendirme yapılmıştır (Şekil 2.29).



Şekil 2.28: Laboratuvarda, ASD Spektroradyometrede kontak-prob lensi kullanılarak, spektral yansıtım ölçmesi.

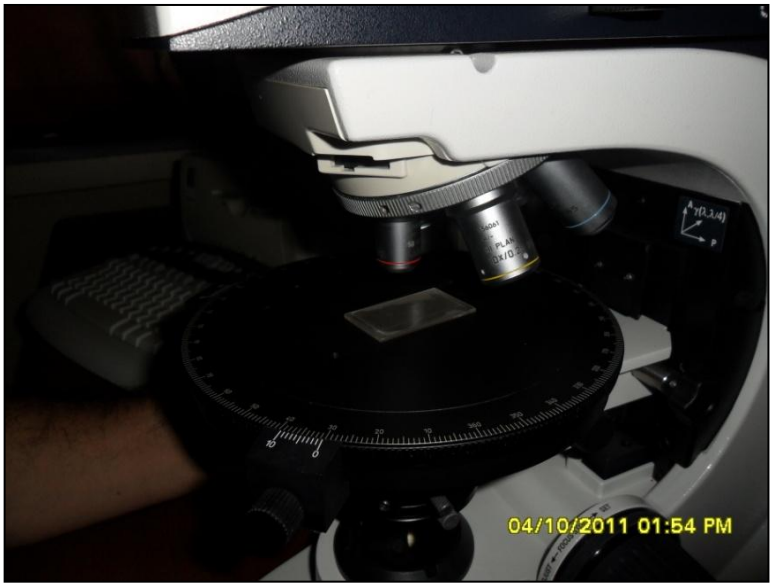


Şekil 2.29: 2010 yılında gerçekleştirilen arazi çalışmasında toplanan kayaç örneklerinin ortalama spektral grafikleri (üstte; Alan-10, altda; Alan-11).

Toplanan kayaç örnekleri için laboratuvar ortamında, jeolojik ve minerolojik değerlendirmeler de yapılmıştır. Öncelikle kayaçların mineral yapılarına göre gruplandırılması yapılmıştır. Daha sonra kayaç örneklerinin tür ve mineral yapılarını belirlemek için jeolojik ince kesit alma işlemi ve bu kesitlerin (Şekil 2.30) mikroskobik incelenmesi (Şekil 2.31) İTÜ jeoloji Mühendisliği Bölümü laboratuvarında yapılarak, kayaçların türleri belirlenmiştir (Çizelge 2.9-10).



Şekil 2.30 : Örnek kayaçların jeolojik kesitleri.



Şekil 2.31: Laboratuvarda ince kesitlerin mikroskopik incelemesi.

Toplamda 37 noktadan toplanan kayaç örneklerinden, aynı tür ve yapıda olanlardan sadece bir adet örnek alınarak yapılan kesit değerlendirme işleminde Alan-10 ve Alan-11'de bulunan on dört adet kayaç örneği için genel bir değerlendirme yapılmıştır.

Alan-10 olarak belirtilen bölgeden alınan kayaçların jeolojik ince kesit değerlendirmesine göre, bölgede volkanik kaya gruplarından metalav, meta kumtaşı, meta volkanik grubu kayaçların yanı sıra sedimenter kökenli kumtaşları da bulunmaktadır. Ayrıca incelenen kesitlere göre bölgede kumtaşı çeşitliliğinin yaygın olduğu da anlaşılmıştır. Bazı kesitlerin incelenmesinde ise yapraklanma yapılaşmasının oluştuğu gözlenmiştir.

Bölgedeki kayaç gruplarının incelenmesinde, kayaç gruplarında, kuvars başta olmak olmak üzere, epidot, proksen, klorit, feldispat, kalsit, opak, muskovit, plagioklas ve bazik volkanik minerallerinin kayaçların bileşiminde yaygın bir şekilde bulunduğu anlaşılmıştır.

Alan-11 olarak adlandırılan bölgeden toplanan kayaçların jeolojik ince kesit incelemesine göre ise, arkozik kumtaşı, kumtaşı, kuvars siyenit, kireçtaşı kayaçları bulunmaktadır. Yine bu bölge için de kumtaşı kayaçlarının yaygınlığı gözlenmiştir.

Bu bölgedeki örnek kayaçlara ait minarellerin incelenmesine göre ise, bölgedeki kayaçların bileşiminde kuvars, biotit, feldispat, biosperit, opak, klorit, epidot, kalsit, ve proksen minerallerinin bulunduğu gözlenmiştir.

Çizelge 2.9 : Alan-11'den toplanan kayaçlar ve belirlenen türleri.

KOYULHİSAR Şerefiye Yolu	
Nokta adı	**Değerlendirme**
o210	Kumtaşı
S1	Kireçtaşı
S2	Volkanik kayaç, aşırı altere
s3	Silt taşı
o211	Proksen, granadiolit
o212	Altere?
o213	Trake andezit
o217	Volkanik andezit
o218	Trake andezit
o219	Kuvars siyenit
o221	Silt taşı
o222	İnce taneli ….
o223	kum taşı
o224	Silt taşı
o225	Kum taşı
o226	Kum taşı
o227	Gri renkli kumtaşı
s4	Şeyl
o229	arkozik kumtaşı

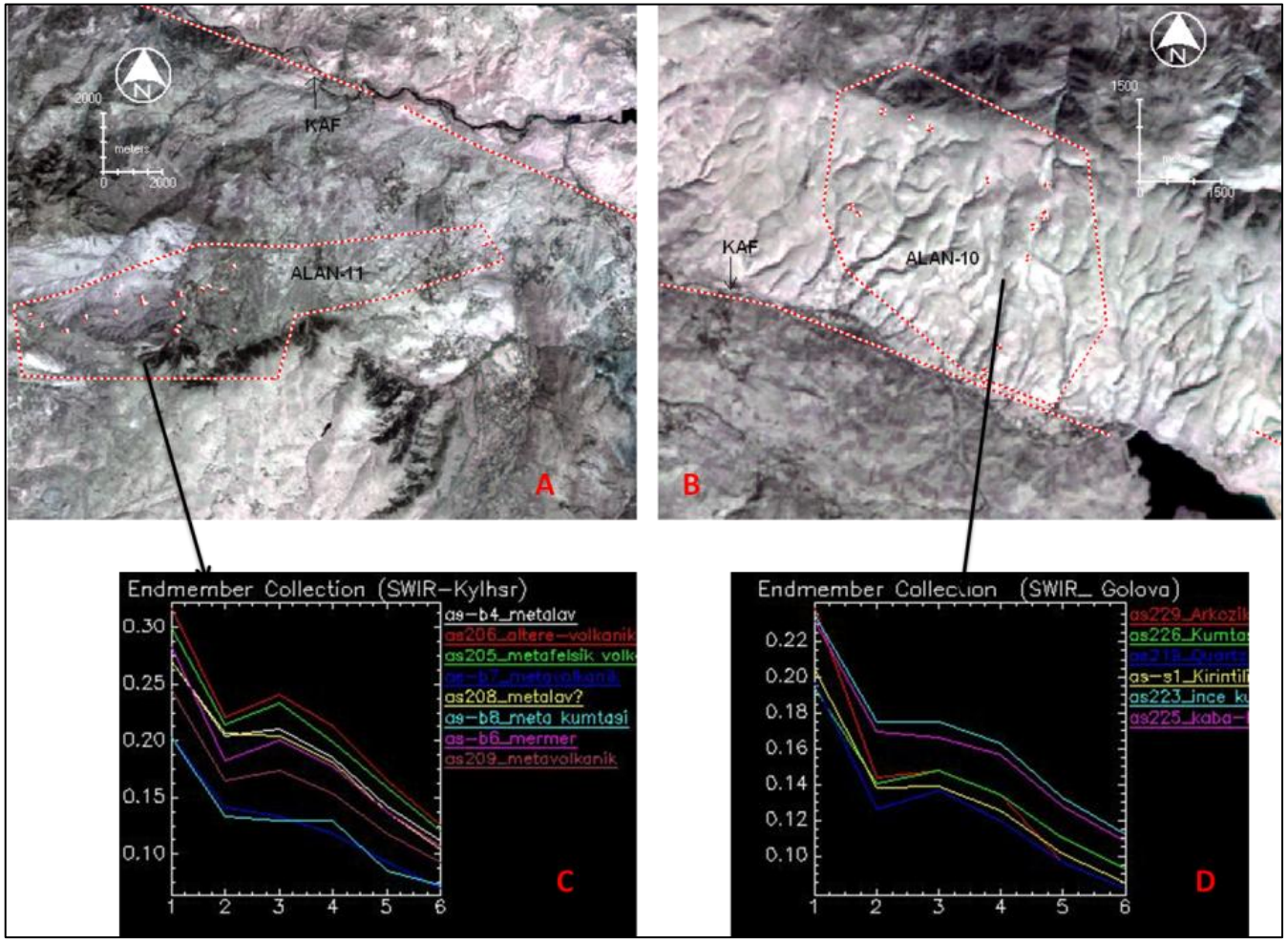
Çizelge 2.10 : Alan-10'den toplanan kayaçlar ve belirlenen türleri.

Nokta adı	**Değerlendirme**
B1	Yeşil şişt, içinde kuvars ve amfibol var
B2	Beyaz mermer, kalsit
B3	Yeşil meta tüf
B4	metalav
B5	Amfibol şişt
B6	Mermer
B7	metavolkanik
B8	Meta kumtaşı
B9	Amphibol şişt
o198	Beyaz mermer
o199	Amphibol şişt
o201	Yeşil meta tüf
o205	Meta kumtaşı
o206	Altere volkanik kaya
o207	Kuvarslı mika şişt
o208	metalav
o209	metavolkanik

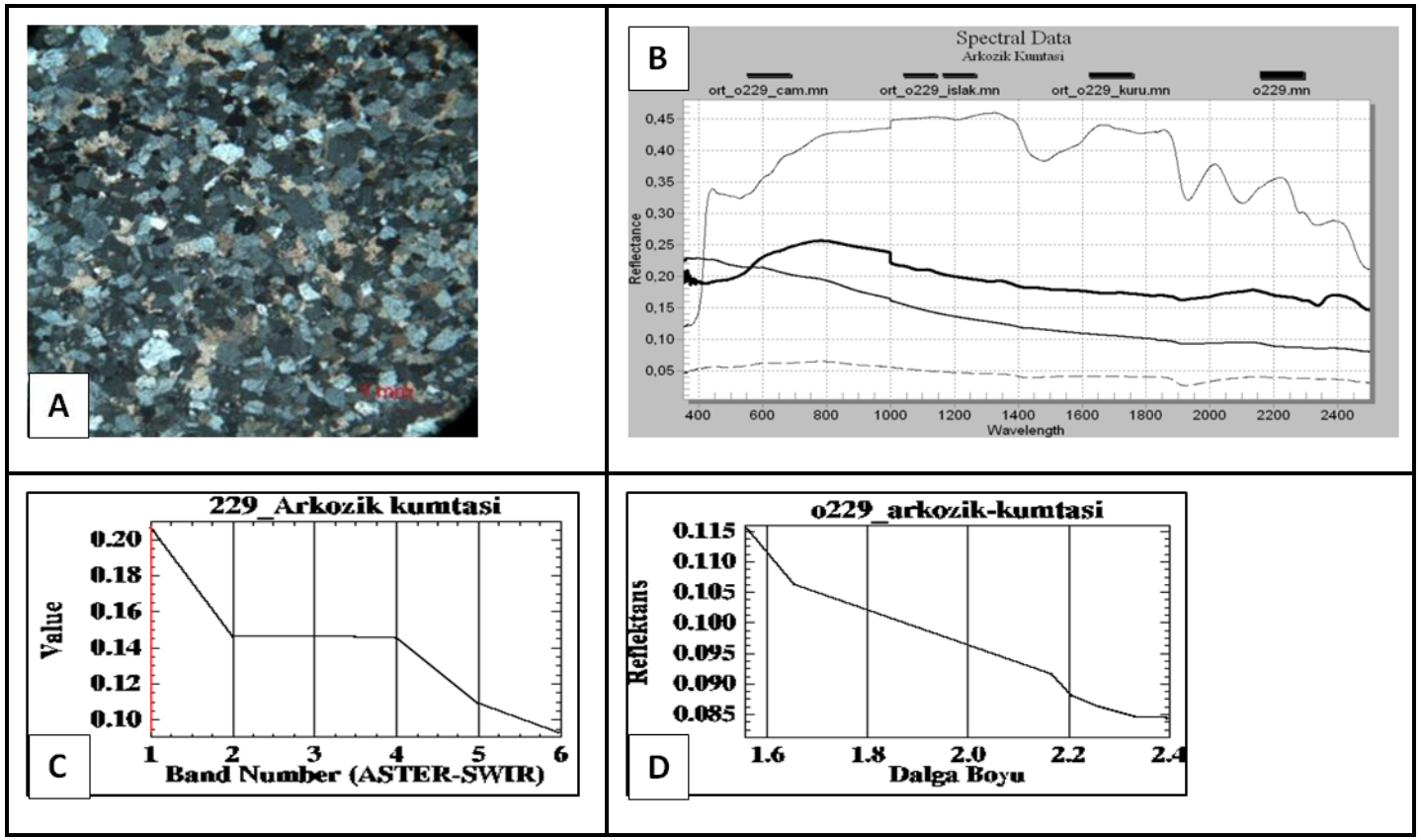
Yapılan arazi çalışması sonucu elde edilen kayaç örneklerinin doğal yüzeylerinde, laboratuvarda oluşturulan ince kesitlerinin yüzeylerinde spektroradyometre ölçmeleri yapılmıştır. Spektroradyometre ölçmeleri, jeolojik ince kesitlerin yüzeyleri kuru ve ıslak haldeyken yapılmıştır. Ayrıca, jeolojik ince kesitlerin mikroskopta incelenen cam levha yüzeyindeki yansıtımları da ölçülmüştür. Her yüzeydeki ölçmelerin ortalaması alınarak, çalışmada kullanılan ASTER uydusu SWIR bantlarına yeniden

örneklenmesi ile elde edilen yeni durumlarına ait spektral değerleri bir arada incelenmiştir (Şekil 2.33, EK1-EK14). Böylelikle, uydu verisi üzerinden toplanan NTRS'ler ve uydu verisine yeniden örneklenen spektroradyometre ölçmeleri karşılaştırılmıştır. Şekillere, kayaçlara ait ince kesitlerin mikroskobik (Şekil 2.31) görüntüleri ile mineralojik değerlendirmeleri de eklenmiştir. Ayrıca bu iki test bölgesi için ASTER uydu görüntülerinin SWIR bantları üzerinden de spektral yansıtım örnekleri alınmıştır. Burada da, her alan için, bütün kesitlerin spektral grafikleri tek bir pencerede gösterilerek, alandaki karakteristik spektral grafikler gösterilmiştir. Spektral profil noktaları, test bölgelerinden Alan-10 ve Alan-11 de yapılan spektroradyometre ölçme noktalarından seçilmiştir (Şekil 2.32).

Sonuç olarak, analiz sonuçlarına (Şekil 2.33, EK A1-14) bakıldığında, jeolojik ince kesitlerin mikroskopik görüntülerinden homojen yapıda görünen kayaçlara ait yersel spektroradyometre ölçme grafikleri ve görüntü üzerinden toplanan spektral grafikler uyum içerisinde görünmektedir. Alan-10 ve Alan-11'de uydu görüntüsü üzerinden toplanan genel NTRS yansıtım grafiklerinin benzer olduğu görünmektedir. Ancak her iki bölgenin benzerliklerinin bir lokal yerdeğiştirme verisi olarak kullanılabilmesi için karşılıklı işaretci (marker) yapıda kayaçlar olmadığından, bu iki bölge arasında bir atımdan söz edilemez.



Şekil 2.32 : Uydu görüntüsü üzerinden, spektral profil noktaları ve bu noktalardan toplanan NTRS'ler (A; Alan- 11, B; Alan- 10, görüntüde kırmızı beyaz renkte NTRS noktaları, C, D; NTRS yansıtım grafikleri).



Şekil 2.33 : A: 229 Nolu noktadaki Arkozik kumtaşına ait jeolojik ince kesitin mikroskobik görüntü, kuvars feldispat, volkanik kayaç, opak, kil, altere biotit var B: 229 Nolu noktadaki Arkozik kumtaşının jeolojik ince kesidine ait cam-ıslak kesit-kuru kesit yansıtım ölçmeleri ile labratuvar ölçme, C: Uydu görüntüsü üzerinden toplanan NTRS yansıtımı, D: Ortalama spektroradyometre ölçmelerinin ASTER SWIR yeniden örneklenmiş hali.

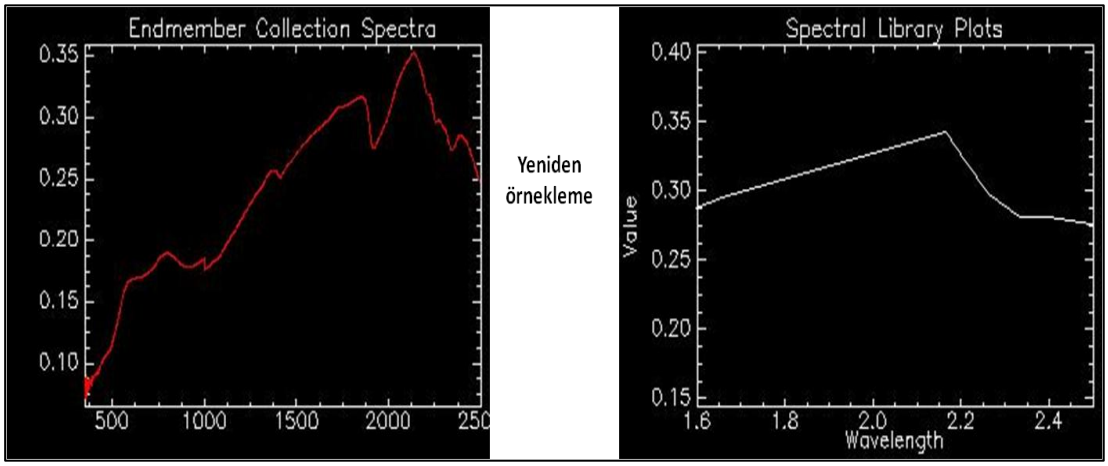
2.1.4.1 Spektroradyometre ölçme verilerinin ASTER SWIR bantlarına yeniden örneklenmesi ve spektral kütüphanenin oluşturulması

Spektral yansıtım grafiklerinden de görüldüğü gibi (Şekil 2.29), yapılan spektroradyometre ölçmelerinden elde edilen veriler 350-2500 nanometre dalgaboyu aralığında bulunmakta ve her bir nanometre değeri için bir reflektans değeri bulunmaktadır. Diğer yandan uydu verisi olarak kullanılan ASTER uydusu SWIR algılayıcısı görüntüleri ise Çizelge 2.11'de gösterildiği gibi 1600 ile 2430 nm dalga boyu aralığında kayıt yapan 6 spektral kanaldan oluşmaktadır. ASTER SWIR bantları kullanarak, spektral yansıtım ölçme verilerine göre sınıflandırma yapmak içn Spektroradyometre verilerinin ASTER SWIR bantlarına yeniden örneklenme işlemi yapılmıştır. Spektroradyometre ölçmelerinin ASTER SWIR bant aralığına (Çizelge 2.11) uygun hale getirilebilmesi için her bir spektral ölçme reflektans değerlerinin her bir bant aralığı için ortalama değeri hesaplanmıştır. Böylelikle, Çizelge 2.11'de gösterilen bant aralıklarının ortalaması, spektral ölçme verisi değerlerinin ortalama spektral dalga boyu aralığının karşılığı olarak ifade edilmiştir.

Yeniden örneklemeler sonucunda, spektral ölçme verilerinin toplam 2152 spektral dalga boyuna duyarlı biçimde spektral grafik sağlayan veriler, ASTER SWIR bantlarına göre toplam 6 spektral dalga boyu aralığında duyarlı hale gelmiştir (Şekil 2.34).

Çizelge 2.11: ASTER SWIR bantları spektral dalga boyları (Mikrometre).

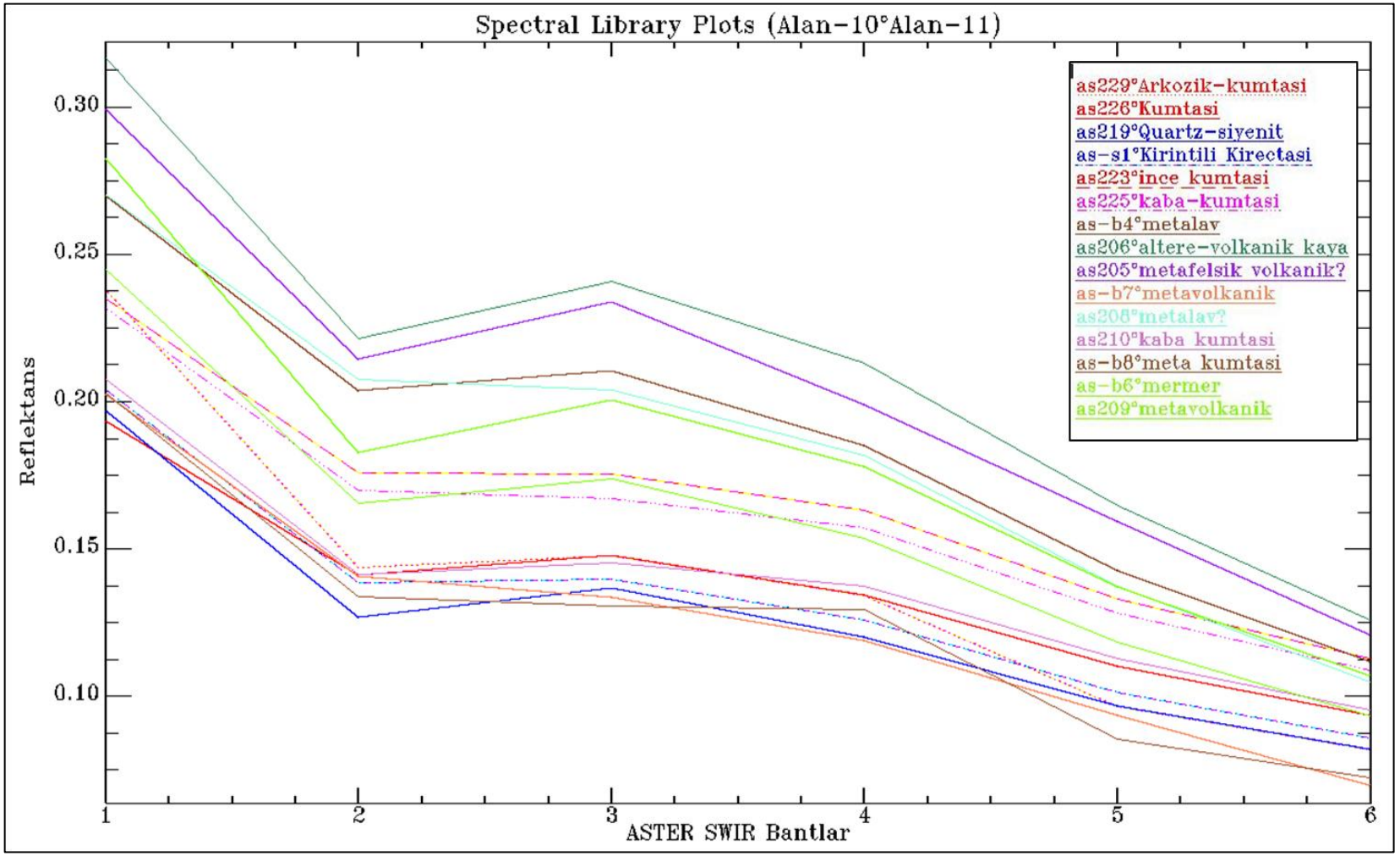
Bant	Dalga Boyu Aralığı	Ortalama Dalgaboyu
swir4	1.60- 1.70	1.655
swir5	2.145- 2.185	2.166
swir6	2.185- 2.225	2.207
swir7	2.235- 2.285	2.264
swir8	2.295- 2.363	2.233
swir9	3.360- 2.430	2.396



Şekil 2.34: Spektral ölçme verilerinin SWIR bantlarına yeniden örneklenmesi (Solda, spektroradyometre ölçme verisi (nanometre), sağda, SWIR'a örneklenmiş hali (mikrometre)).

Spektral kütüphaneler, sayısal ortamda oluşturulan ve ultraviyoleden başlayıp, uzak termal spektral bölgeler kadar uzanabilen ve arazi spektra ölçme verieleri ile uydu görüntüleri arasındaki ilişkinin sağlanmasında yardımcı olan bir veri kütüphanesidir (Url-3).

Yeniden örneklenme işleminden sonra oluşan spektral veri setlerinin sınıflandırma analizlerine, NTRS olarak düzenli bir şekilde girebilmeleri için spektral kütüphane oluşturulmuştur. Spektral kütüphane ile sınıflandırma yapılacak yazılım ortamında, kayaç yansıtımlarına ait spektral veriler hızlı ve istenilen sayıda değerlendirilmeye uygun bir şekilde depolanmıştır (Şekil 2.35).



Şekil 2.35: Spektral kütüphane ve otomatik NTRS çizimi.

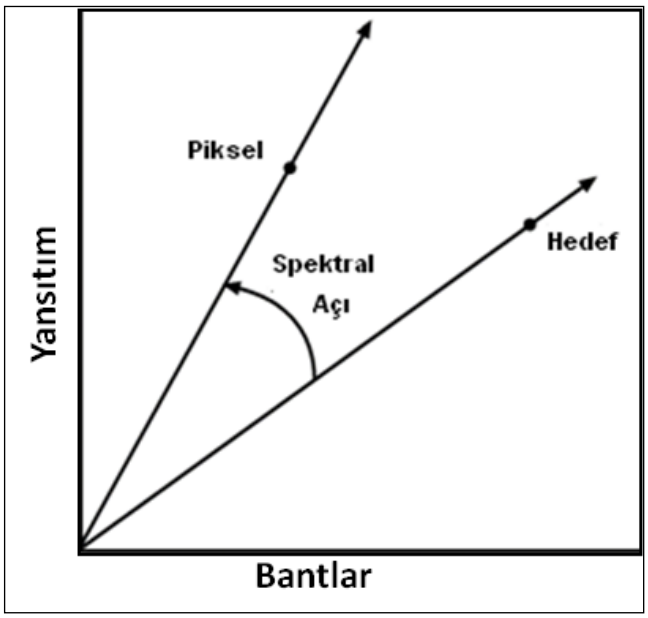
3. SPECTRAL ANGLE MAPPER YÖNTEMİ İLE SINIFLANDIRMA

Uydu verileri ile kullanılan birçok haritalama ve sınıflandırma analizlerinden en popülerlerinden biri olan SAM, iki NTRS arasındaki benzerliğin derecesinin, uygulanan görüntüdeki bant sayısına bağlı olarak değiştiği spektral vektörlerin kullanıldığı bir nesne tabanlı sınıflandırma yöntemidir (Massironi ve diğerleri, 2008; McCubbin ve diğerleri, 1998; Rowan ve diğerleri, 2005; Van der Meer ve diğerleri, 1997). Her vektör bir yöne ve uzunluğa sahip olduğundan dolayı, bu yöntemdeki vektörlerin uzunluğu hedef spektranın parlaklığı ile ifade edilir. Vektörün yönünü ise, hedef spektrasının karakteristik özellikleri belirler. Işıkdaki değişkenlikler vektörün uzunluğunu etkiler. Farklı spektralar arasındaki karekteristik değişkenlikler kendilerine ait vektörler arasındaki açının da değişmesine neden olur. SAM yöntemi, NTRS'lerin açığa çıkarıldığı ve birbirlerinden ayrıldığı analizlerde, albedo (yüzeyden yansıyan elektro manyetik enerjinin, yüzeye gelen elektro manyetik enejiye oranı) ve ışıktaki değişmelere karşı hassas olmayan bir yöntemdir.

SAM'da, verinin bilinen yansıtım değerlerine gerekli radyometrik ve atmosferik düzeltmeler getirildiğini kabul ederek, fiziksel olarak, iki spektrum arasındaki benzerlikleri hesaplayan, hesaplanan spektraların açılarındaki benzerlikleri onları iki n boyutlu sistemde vektör olarak kabul ederek karşılaştıran bir algoritma çalışır. Burada "n" görüntüdeki kanal yada bant sayısı olarak belirtilir (Kruse, 1994).

ENVI yazılımı kullanılarak yapılan bu yöntemde; yazılım, NTRS spektrum vektörü ile görüntüdeki bütün spektral vektörler arasındaki açıyı karşılaştırır. Yöntemde, vektörler arasındaki daha küçük açılar, referans spektrumuna benzerliğin değerini artırır. Belirtilen özel radyan birimindeki açı eşiğini aşan değerlere ait spektralar sınıflandırılmaz (Cho ve diğerleri, 2009). SAM'da, otomatik olarak görüntü spektralarını ayrı bir spektra ile veya spektral kütüphane ile karşılaştırma olanağı da vardır (Kruse, 1992; Kruse ve diğerleri, 1993).

SAM her piksel spektrumu ile hedef spektrum arasındaki açıların hesaplanması esasına dayandığından (Şekil 3.1) belirlenecek eşik değerdeki açı bu yöntemde NTRS tayini için önemlidir (Yuhas ve diğerleri, 1992).



Şekil 3.1: SAM geometrisi (Yuhas ve diğerleri, 1992).

Spektrum vektörlerinin yönü, ışığın şiddetine bağlı olmadığından, spektrum vektörünün boyu sadece pikselin yoğunluğuna bağlı olduğundan ve SAM geometrisindeki açıyı etkileyen bir parametre olmadığından, açı hesaplamalarında **(3.1)** kullanılmaz (Yuhas ve diğerleri, 1992).

$$\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{\sum_{i=1}^{nb} t_i r_i}{\left(\sum_{i=1}^{nb} t_i^2\right)^{1/2} \left(\sum_{i=1}^{nb} r_i^2\right)^{1/2}} \right) \qquad \textbf{(3.1)}$$

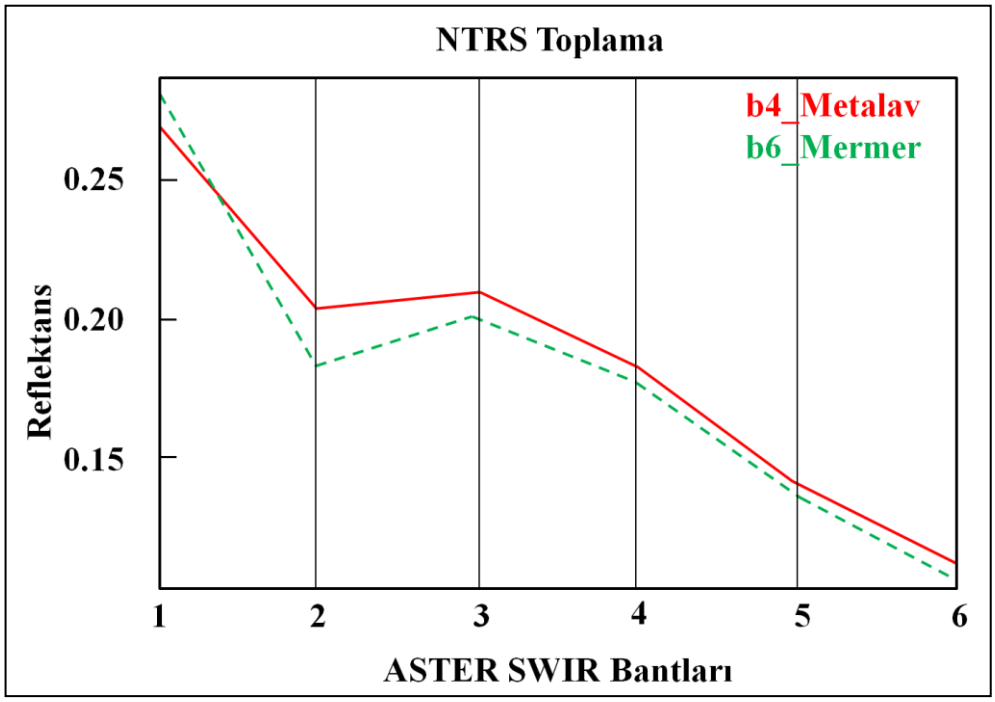
Burada, “nb” ; bant sayısını, “t” ; bilinmeyen spektrum değeri, “r” ; hedef veya referans spektrum değeridir. Radyans birimindeki spektral açı, bütün bantlar için ve bütün piksel değerleri için hesaplanır. Bulunan değer, SAM sonuç görüntüsünde, hesaplamaya giren piksel değerinin yerine atanır. Oluşturulan SAM formu, n bant sayılı yeni bir veri küpü olarak görüntüdeki referans spektra sayısına eşittir. Sonuç olarak, sınıflandırılmış bir görüntü elde edilen bu yöntemde, bütün pikseller için en iyi SAM eşleşmesi gösterilir (Kruse, 1992).

Çalışmada, SAM yöntemi araziden toplanan örnek kayaçların yüzeylerinde spektroradyometre kullanılarak ölçülen spektral yansıtım verilerinden oluşturulan spektral kütüphanelerden alınan NTRS’lere uygulanmıştır.

3.1 Spectral Angle Mapper Yöntemi İle NTRS Toplama

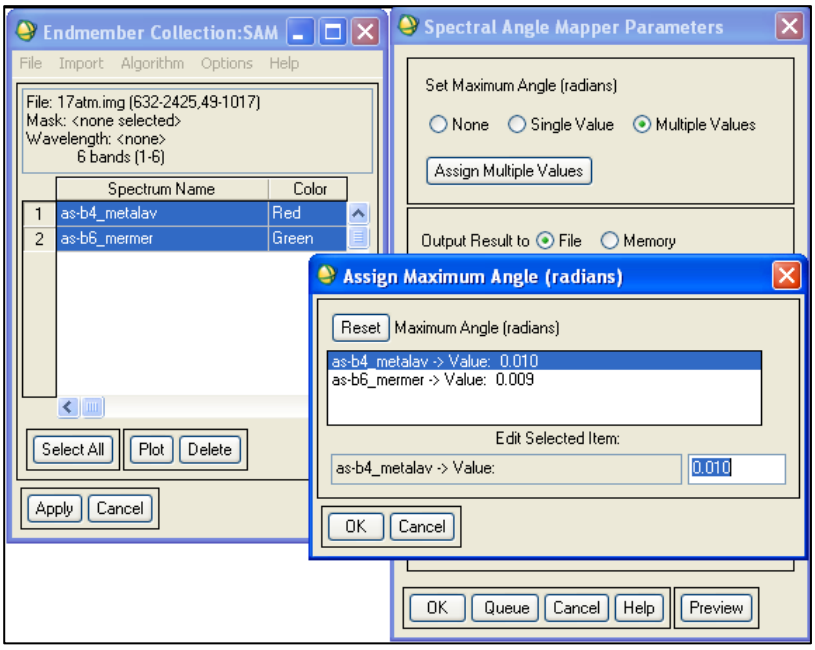
SAM yöntemi kullanarak, Gölova (Alan-10) ve Koyulhisar (Alan-11) bölgeleri için NTRS toplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Spektroradyometre verilerinin değerlendirilmesi ve jeolojik kesit değerlendirmelerine göre türleri belirlenen kayaçlara ait NTRS'ler spektral kütüphaneden alınmıştır (Şekil 3.2).

İlk olarak Gölova bölgesinden toplanan, arazide "b6" ve "b4" olarak adlandırılan kayaçlara ait spektralardan yararlanarak NTRS toplama işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.2: Gölova Bölgesi'nden (Alan-10) b4 ve b6 spektraları.

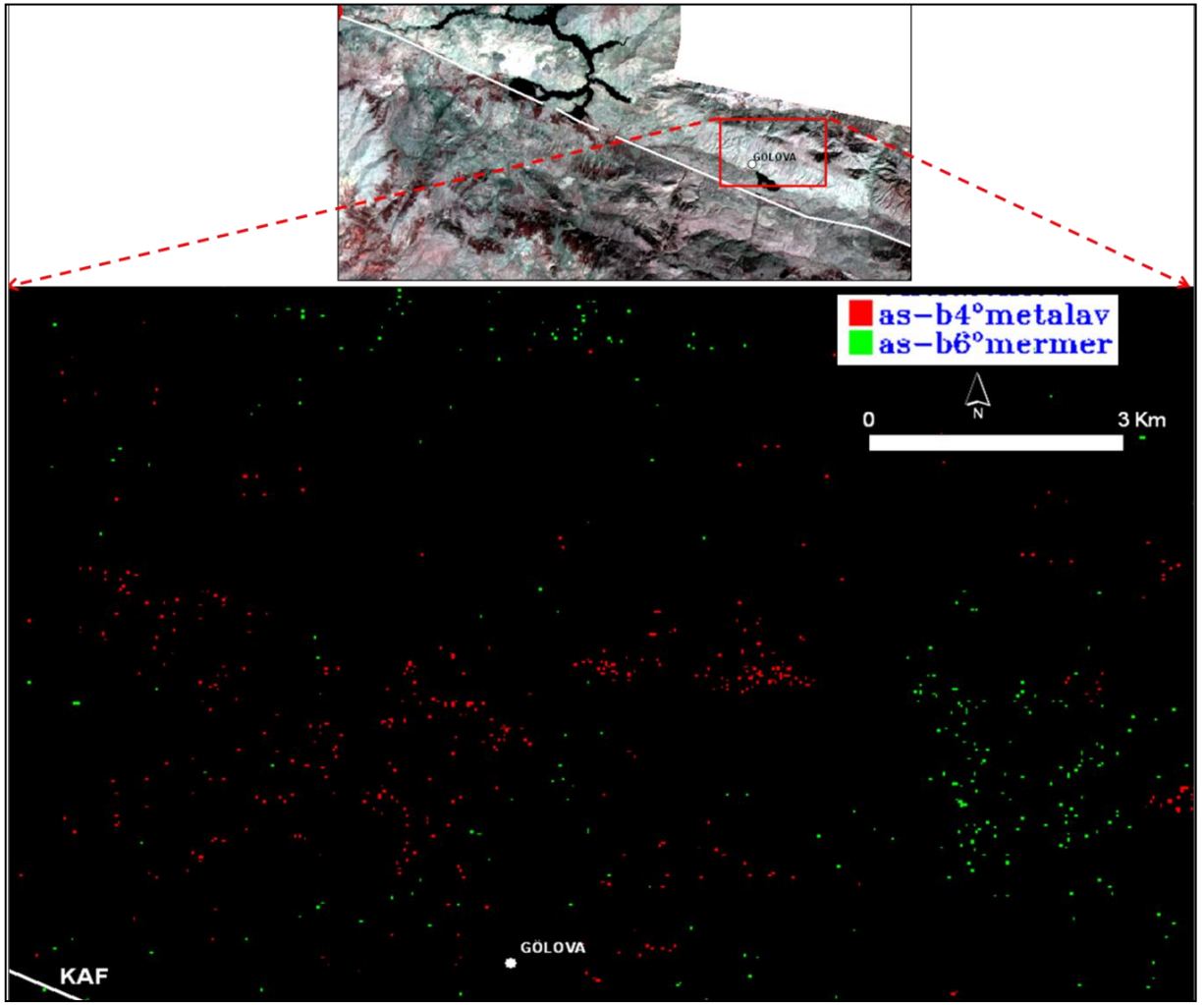
Daha önce yapılan jeolojik kesit değerlendirmelerine ve spektral özelliklerine göre kayaç türleri mermer (b6) ve metalav (b4) olarak belirlenen kayaç spektraları ile NTRS toplama işlemi için kullanılan SAM yönteminde, açısal benzerlik değerleri her iki kayaç spektrası içinde farklı atanmıştır. Her iki spektra kullanılarak yapılan NTRS toplama işleminde kullanılan açısal benzerlik değeri için deneme yanılma yöntemi kullanılarak en uygun açılar belirlenmiştir. NTRS'lerden, mermer spektrası için, 0.009 radyan, metalav spektrası içinse 0.01 radyan değerleri (Şekil 3.3) açısal eşik kabul edilerek, iki NTRS spekraları sınıflandırılmıştır.



Şekil 3.3 : b4 ve b6 kayaç spektraları için yapılan NTRS toplama işleminde kullanılan açısal benzerlik değerlerini belirleme.

Şekil 3.4'de görüldüğü gibi, SAM yöntemi ile yapılan mermer ve metalav NTRS'lerinın toplanması sonucunda, bölgede metalav ve mermerler birbirinden ayrılarak, Alan-10 da mermer ve metalav kayaçlarının dağılımı görselleştirilmiştir.

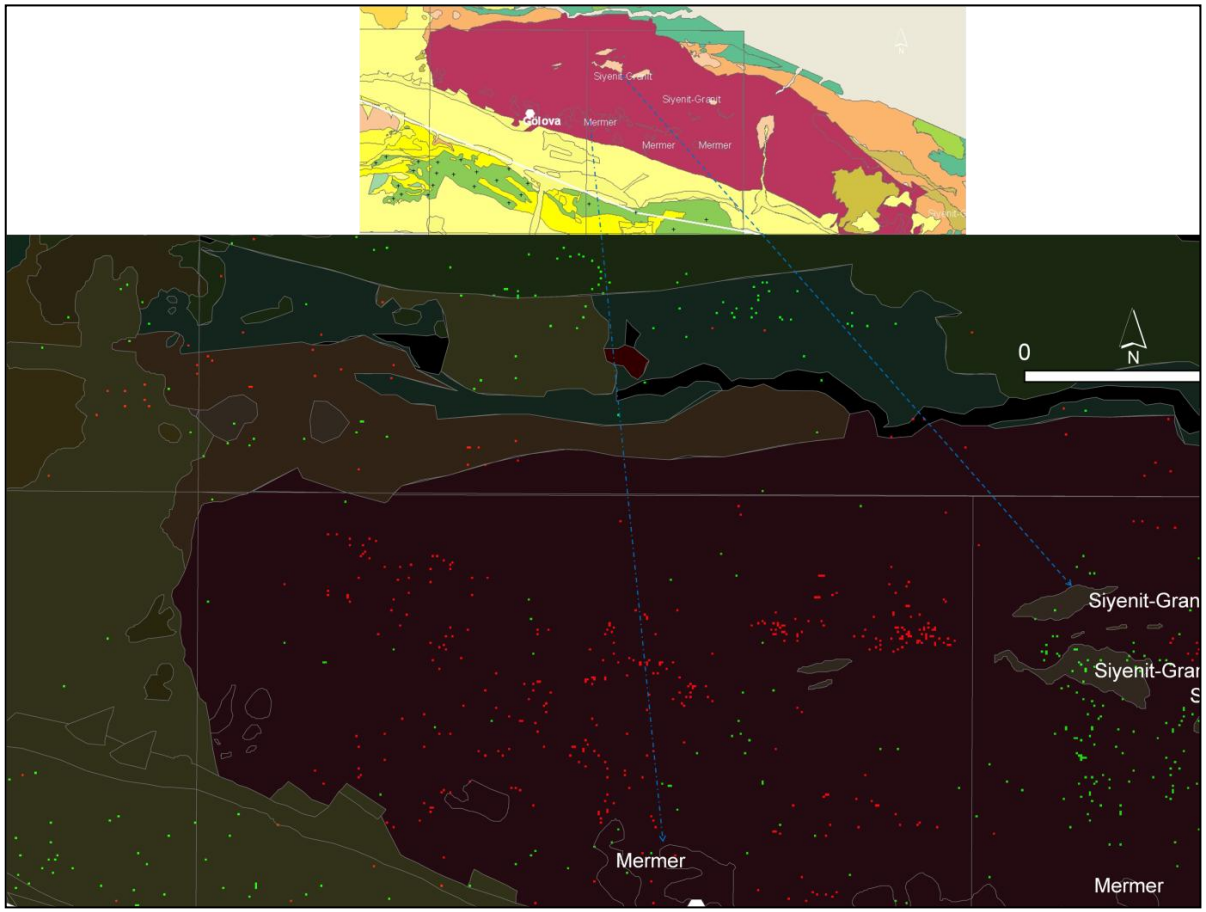
Sonucu kontrol edip, doğrulamak için arazide örnek alınırken her nokta için kayıt edilen GPS koordinatları ile SAM analiz görüntüsünde ilgili NTRS'lerin bulunduğu koordinatlar karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, arazide mermer (b6) ve metalav (b4) kayaçları için kayıt edilen GPS koordinatlarının, SAM analiz görüntüsünde NTRS'lere ait alanlar içinde olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 3.4 : b4 nolu metalav (kırmızı renkte) ve b6 nolu mermer (yeşil renkte) NTRS'leri ile oluşturulan SAM.

Metalav ve mermer NTRS'leri kullanılarak hazırlanan SAM analiz görüntüsünde mermer ve metalav olarak belirlenen alanlar (Şekil 3.4), jeolojik formasyon haritası (Şekil 2.19) ve görüntü zenginleştirme analiz görüntüleri (Şekil 2.9-16) ile karşılaştırılarak, SAM yöntemi ve diğer sonuçların uyumlukları değerlendirilmiştir.

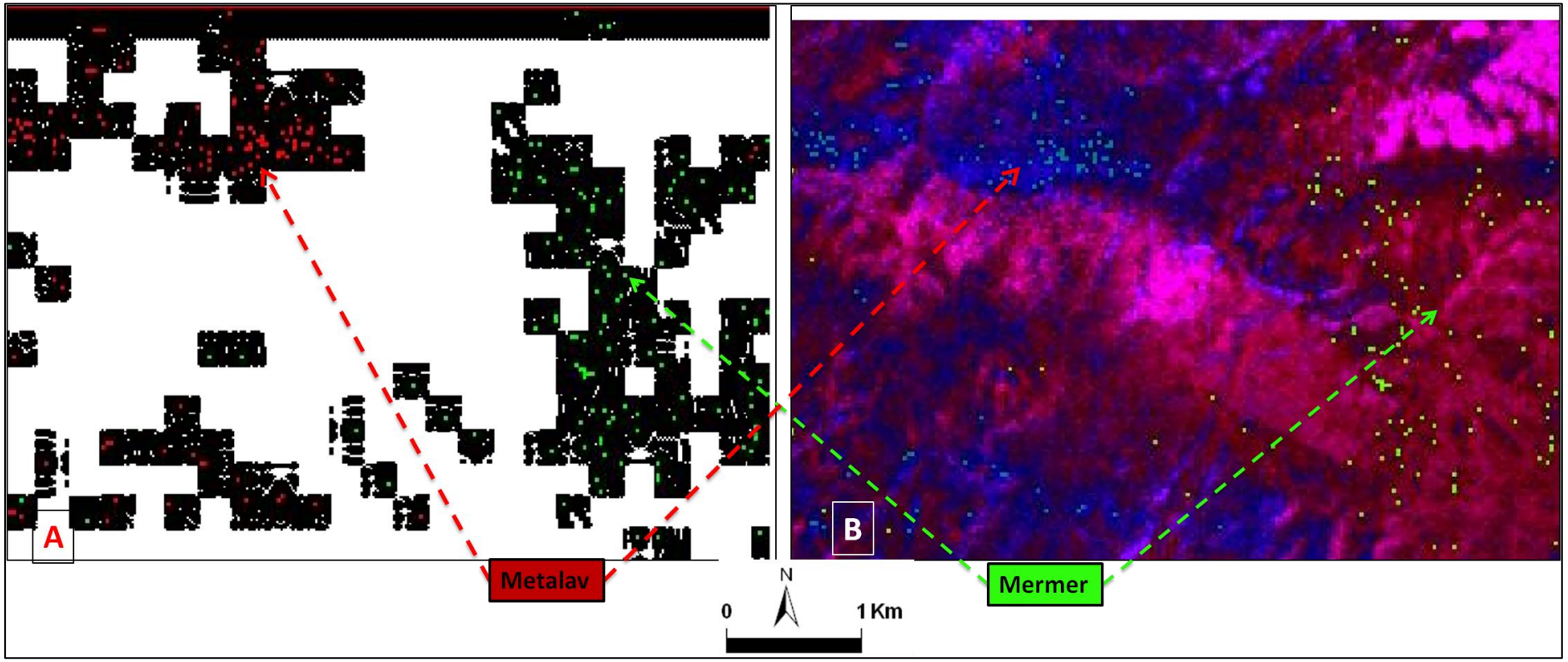
İlk olarak 1:25000 ölçekli jeolojik haritalar kullanılarak yapılan değerlendirme ve karşılaştırmada, SAM sınıflandırma görüntüsünde ve jeolojik haritada aynı alandaki jeolojik birimlerin aynı olmadıkları görünmektedir (Şekil 3.5). Ancak, SAM analiz görüntüsünde poligonlarla sınırlandırılan alanlara jeolojik haritada baktığımızda farklı yapıların kesiştiği görünmektedir.



Şekil 3.5: Mermer ve metalav NTRS'lerinın toplanması ile oluşturulan SAM analiz görüntüsü ve 1:25000 ölçekli jeolojik haritanın karşılaştırılması.

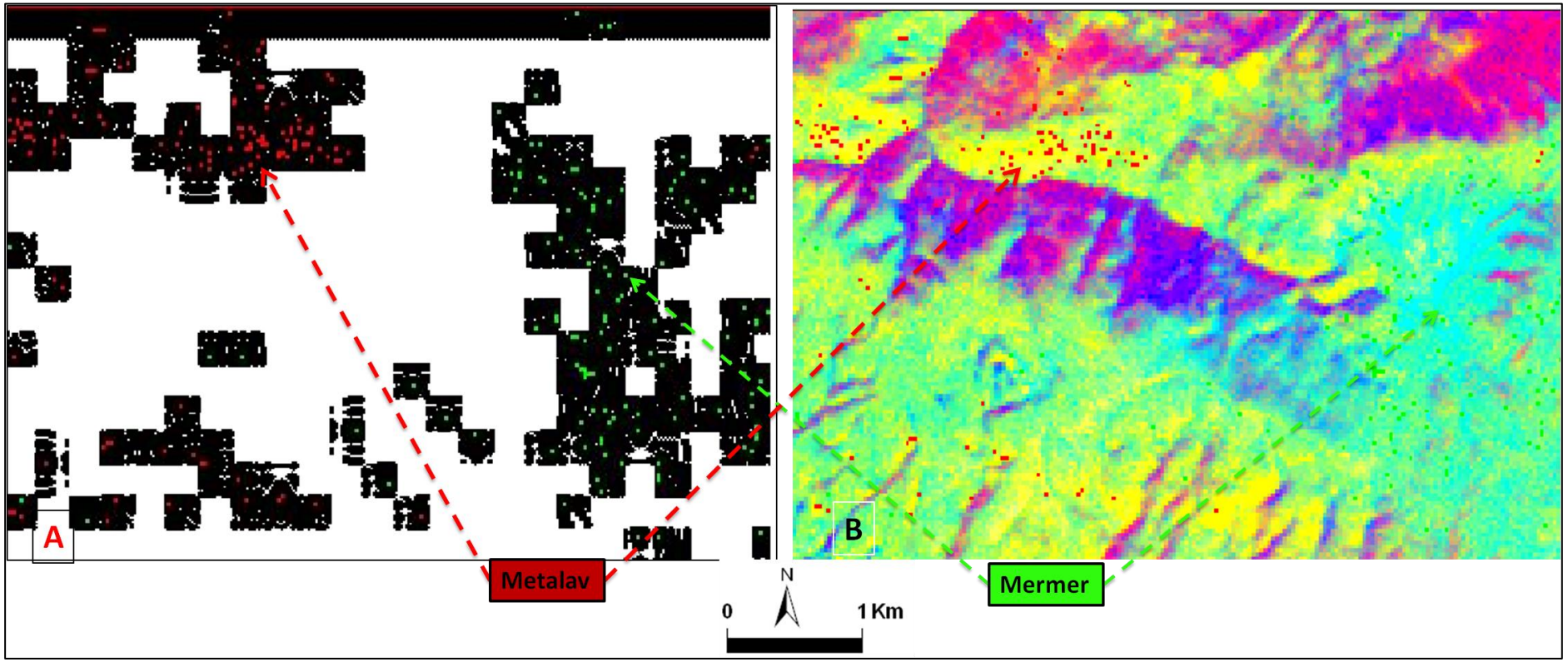
SAM yöntemi yapılırken, sınıflandırmaya giren NTRS'lere göre orijinal görüntü otomatik olarak sınıflandırılabilmektedir. Kurallı (Rule) adı verilen bu öncül sınıflandırmada elde edilen sınıf değerleri, eğer istenirse klasik kontrollü sınıflandırmalar için altlık olarak kullanılabilir (Url-5).

SAM ile yapıaln NTRS toplama analiz görüntüsü "rule" tipi sınıflandırma görüntüsüyle de karşılaştırılmıştır. Şekil 3.6'den de görüleceği gibi NTRS toplama analizi sonucu oluşan SAM görüntüsündeki (A) NTRS alanları ile "rule" sınıflandırma görüntüsündeki (B) alanlar uyuşum içerindedir.



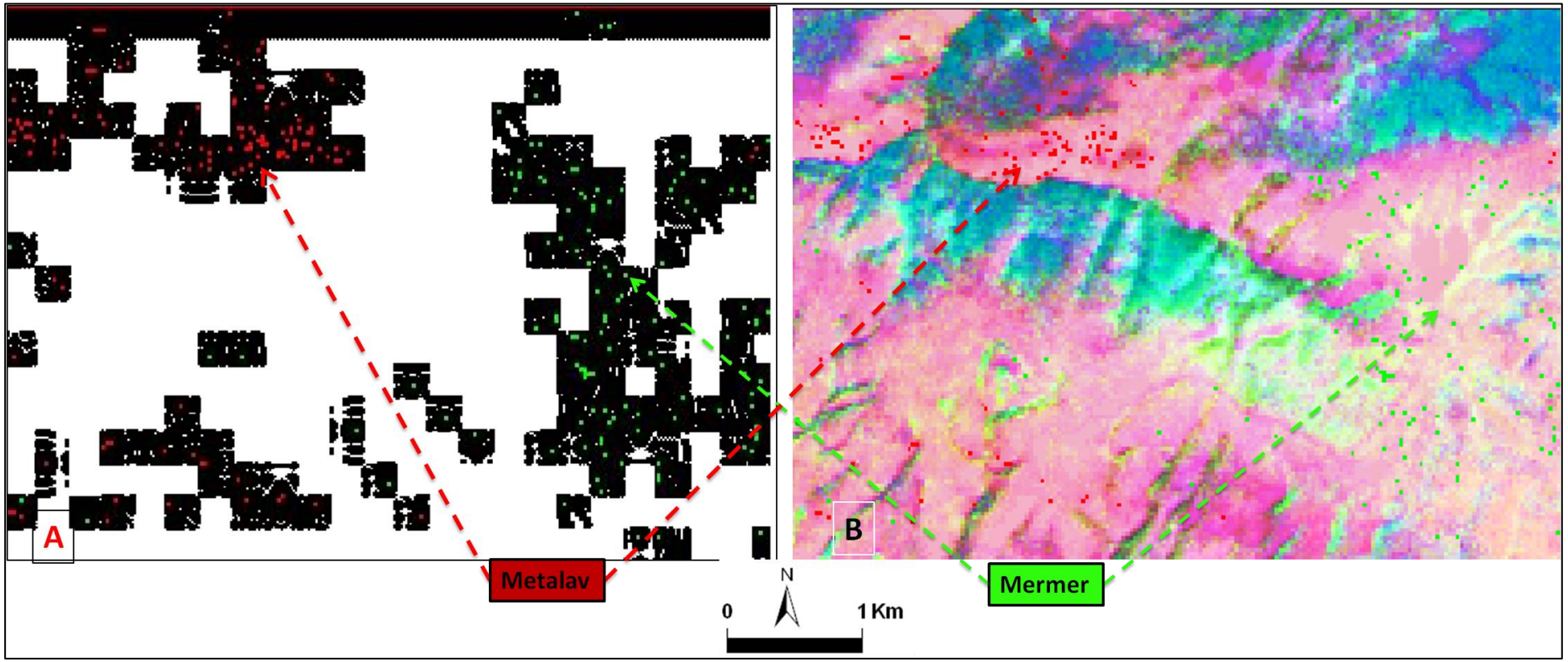
Şekil 3.6: A: Mermer ve metalav NTRS'leri, B:SAM ve "Rule" analiz görüntülerinin çakıştırılması (SAM sınıflandırma sonucuna göre, A'daki metalava ait, kırmızı pikseller B'de mavi alanlar üzerinde; A'daki meremerlere ait yeşil pikseller B'de koyu pembemsi bölgeye denk gelmiştir).

SAM sınıflandırma görüntüsü, dekorelasyon gerilmesi analizi yapılarak zenginleştirilen SWIR bantlarının K: 9, Y: 7, M: 4 kombinasyonu ile de karşılaştırılmıştır (Şekil 3.7). Karşılaştırma görüntüsünden de anlaşılacağı gibi, jeolololojik birimlerin ayrılmasında ve yorumlanabilir analiz görüntüsü elde etmede başarılı bir görüntü zenginleştirme analiz yöntemi olan dekorelayon gerilmesi sonuç görüntüsü ile SAM yöntemiyle yapılan, mermer ve metalav NTRS'lerinin toplandığı sınıflandırma görüntüsü uyum içerisindedir. Dekorelasyon gerilmesinde sarı renkte görünen yerlerin, SAM analiz görüntüsünde kesikli çizgili poligonlarla çevrili metalav NTRS'ine ait alanlara denk geldiği görünmektedir. Ayrıca, dekorelasyon gerilmesi zenginleştirmesi görüntüsünde açık mavi renkte görünen yerlerin, SAM yöntemiyle yapılan sınıflandırma görüntüsünde sürekli çizgili poligonlarla çevrelenen mermer NTRS'lerinin oluşturduğu alanlara denk geldiği görünmektedir.



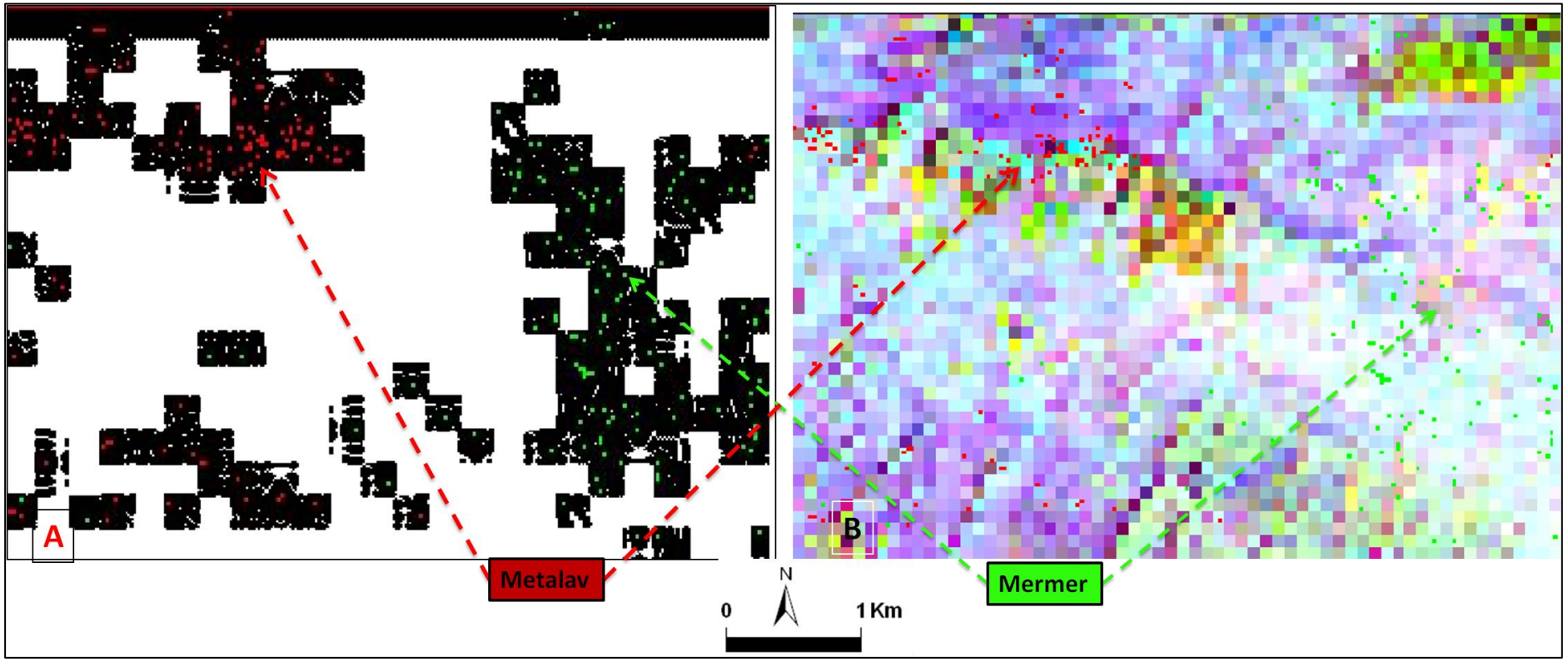
Şekil 3.7 : A: Mermer ve metalav NTRS'leri, B: Dekorelasyon gerilmesi zenginleştirme görüntüsü üzerinde, SAM yöntemiyle yapılmış, mermer ve metalav NTRS'lerinın toplandığı sınıflandırma görüntüsü (SAM sınıflandırma sonucuna göre, A'daki metalava ait, kırmızı pikseller B'de sarı alanlar üzerinde; A'daki meremerlere ait yeşil pikseller B'de mavimsi bölgeye denk gelmiştir).

Bantlar arasındaki korelasyonu azaltarak, bütün bantların içerdiği verinin % 90'dan fazlasını ilk 3 bileşende saklanmasını sağlayan Ana Bileşenler Dönüşümü görüntü zenginleştirme (Kaya, 1999) görüntüsü (Şekil 2.10) ile SAM yöntemi ile NTRS toplama sınıflandırma görüntüsü karşılaştırılmıştır (Şekil 3.8). PCA görüntüsü için ilk 3 ana bileşenden K: 1. Bileşen, Y: 2. Bileşen ve M: 3. Bileşen olmak üzere görüntülenmiştir. Karşılaştırmada SAM sınıflandırma görüntüsü üzerindeki mermer ve metalav NTRS'lerinın bulunduğu alan Şekil 3.8'deki gibidir. PCA zenginleştirme görüntüsünde, sürekli çizgili poligonlarla sınırlanan alanlardaki mermer NTRS'lerinın bulunduğu alanların açık pembe renkte olduğu ve kesikli çizgi ile poligonlarla sınırlandırılan alanlarda kalan metalav NTRS'lerinın ise koyu pembe renkde olduğu görünmektedir.



Şekil 3.8: A: Mermer ve metalav NTRS'leri, B: PCA zenginleştirme görüntüsü üzerinde, SAM yöntemiyle yapılmış, mermer ve metalav NTRS'lerinın toplandığı sınıflandırma görüntüsü (SAM sınıflandırma sonucuna göre, A'daki metalava ait, kırmızı pikseller B'de koyu pembe alanlar üzerinde; A'daki meremerlere ait yeşil pikseller B'de açık pembe bölgeye denk gelmiştir).

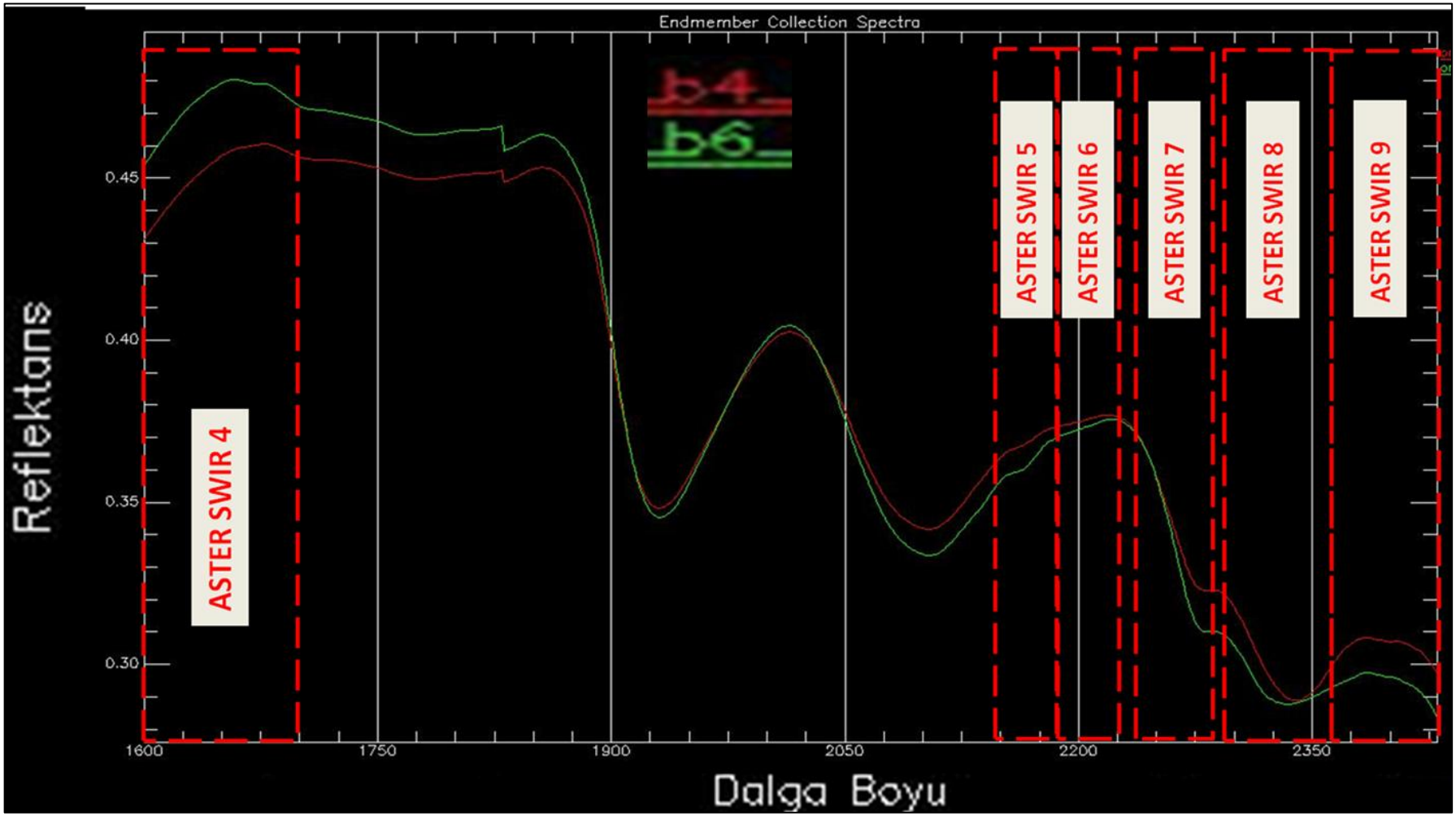
ASTER uydusu, SWIR ve VNIR algılayıcısı bantları kullanılarak yapılan bant oranlama analiz görüntülerinden, sadece jeolojik birimlerin ayırt edilmesine yönelik olan oranlama (K: 4/7, Y: 4/1, M: (2/3) x (4/3)) kompozit görüntüsü SAM ile karşılaştırılmıştır. Şekil 3.9'da, oran görüntüsü üzerinde, açık renkte görünen ve sürekli çizgili poligonların oluşturduğu alanlar mermer NTRS'lerinin oluşturduğu alanlardır. Daha koyu renkte görünen ve kesikli çizgili poligonlarla sınırlandırılan alanlar ise metalav NTRS'ine ait alanlardır.



Şekil 3.9 : A: Mermer ve metalav NTRS'leri, B: Oran görüntüsü K: 4/7, Y: 4/1, M: (2/3) x (4/3) üzerinde, SAM yöntemiyle yapılmış, mermer ve metalav NTRS'lerinın toplandığı sınıflandırma görüntüsü (SAM sınıflandırma sonucuna göre, A'daki metalava ait, kırmızı pikseller B'de mozaik renkteki alanlar üzerinde; A'daki meremerlere ait yeşil pikseller B'de açık mavi bölgeye denk gelmiştir).

SAM için yapılan diğer bir uyumluluk karşılaştırmasında ise direkt olarak ASTER SWIR bantlarının K-Y-M renk kompozit görüntüsü kullanılmıştır. Bu karşılaştırmayı yapmadan önce 6 adet SWIR bandından hangilerinin kombinasyonunun kullanılacağına karar verilmiştir. Bunun için mermer ve metalav kayaçlarına ait NTRS spektraları, SWIR bantlarının spektral aralığına çakıştırılarak (Şekil 3.10), iki NTRS arasında korelasyonun en az olduğu bantlar seçilmiştir.

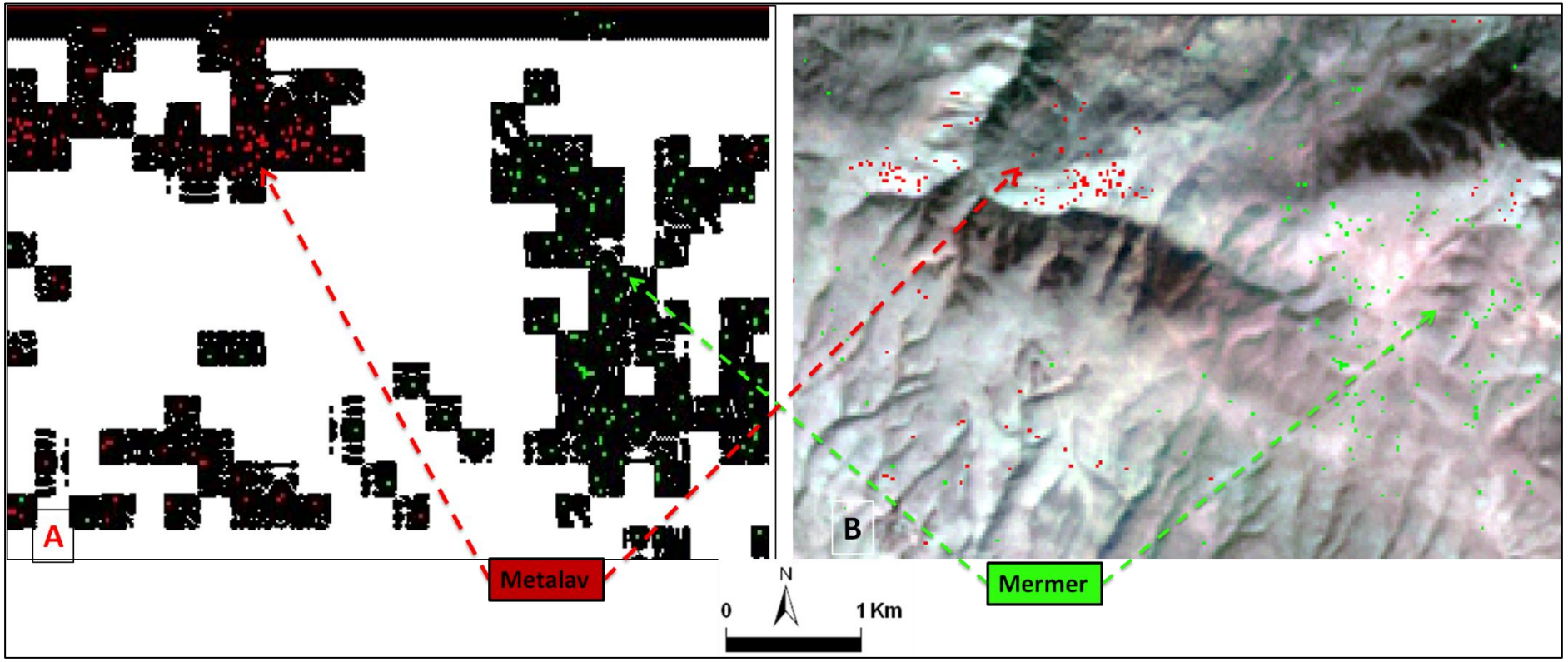
Şekil 3.10'e baktığımızda, iki NTRS arasındaki yansıtım korelasyonunun SWIR 4, SWIR 5, SWIR 9 bantlarında olmadığını ve bu bantlarda iki NTRS için farklı yansıtımlar olduğu görünmektedir.



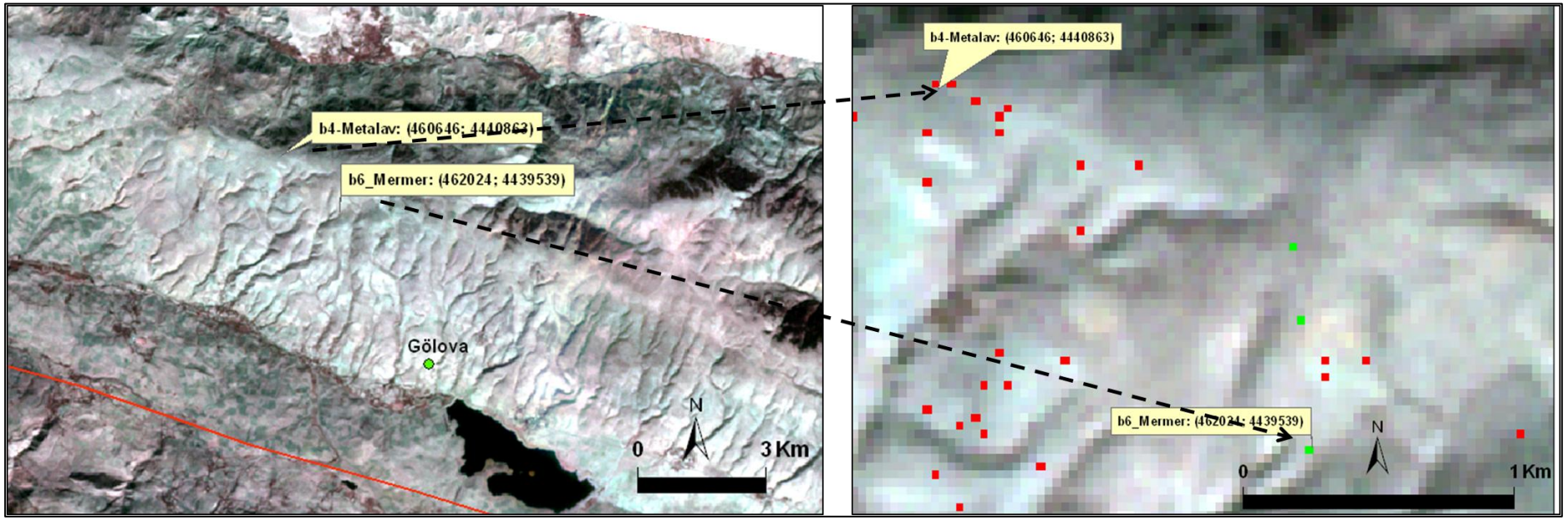
Şekil 3.10 : Mermer ve metalav NTRS spektralarına ait grafiğin ASTER SWIR bantları spektral aralığında gösterilmesi.

Bantlar K: 9, Y:4, M: 5 kombinasyonu ile görüntülenerek, SAM ve kombinasyon görüntüsü çakıştırılmıştır (Şekil 3.11). Ayrıca Şekil 3.12'de görüldüğü gibi, arazide nokta koordinatları el GPS ile kayıt edilen b4 nolu metalav ve b6 nolu mermer kayaçlarının SAM ve SWIR bant kombinasyonu çakıştırılmasında yerleri belirtilmiştir. Belirtilen koordinatlarda her iki NTRS'nin olduğu anlaşılmıştır (Şekil 3.12).

Sonuç olarak, metalav ve mermer kayaçlarına ait NTRS'lerin SAM yöntemiyle toplanmasında, metalav ve mermer kayaçları uydu görüntüsü üzerinde tespit edilmiştir. Yapılan kontroller sonucunda, her iki kayaca ait örnek toplama koordinatında da, iki kayaca ait NTRS'ler analiz sonucunda aynı koordinatlarda tespit edilmiştir. Jeoloji haritası ve görüntü zenginleştirme analizi sonuç görüntüleri ile de karşılaştırma yapıldığında, her iki kayaca ait lokasyonların desteklendiği anlaşılmıştır.



Şekil 3.11 : A: Mermer ve metalav NTRS'leri, B:ASTER SWIR K: 9, Y: 5, M: 4 kombinasyon görüntüsü ve SAM sınıflandırma görüntüsü çakıştırılması (SAM sınıflandırma sonucuna göre, A'daki metalava ait, kırmızı pikseller B'de açık renkteki alanlar üzerinde; A'daki meremerlere ait yeşil pikseller B'de morumsu bölgeye denk gelmiştir.



Şekil 3.12 : ASTER SWIR K: 9, Y: 5, M: 4 kombinasyon görüntüsü ve SAM sınıflandırma görüntüsü çakıştırılmasında b4 ve b6 nolu kayaçların yerleri (Arazide metalav ve mermer kayaç örneklerinin alıdığı yerlerin koordinatlarının SAM sınıflandırma görüntüsünde ilgili kayaçlara ait pikseller tespit edilmiştir).

4. UYGULAMALAR

Çalışmadaki uygulamalar kapsamında, KAFZ'nin Kelkit Vadisi bölümünde gerçekleştirilen spektroradyometre ölçme verileri kullanılarak yapılan NTRS toplama analizinden yararlanarak zondaki fay ötelenmelerinin analizi yapılmıştır. Bu analizden ilki, KAF'nın kuzeyinde bulunan Alan-10 ve Güneyinde bulunan Alan-11'de geçekleştirilen ve bu alanların litolojik ve mineralojik benzerliğine göre fay ötelenmesi analizidir.

Diğer bir toplam fay ötelenmesi analizi ise, KAFZ'nin jeolojik birim yaşı (~12 milyon yıl)'ndan daha büyük olan ve Kretase (~65 milyon yıl) birim yaşında olan ofiyolit sınıfındaki kayaçlarda yapılan spektroradyometre ölçme verileri kullanılarak yapılan NTRS toplama analizidir. Yapılan NTRS toplama analiz sonuçları, çalışmada kullanılan jeolojik haritalarla karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın uygulamalar kısmında ayrıca, görüntü zenginleştirme analiz sonuçları jeolojik haritalarla karşılaştırılarak, jeolojik fay ötelenmeleri incelenmiştir.

4.1 Toplam Fay Ötelenmesi Analizi

Spektroradyometre ölçme verilerinin ASTER SWIR bantlarına yeniden örneklenmesi ile oluşturulan spektral kütüphane verileri kullanılarak, Alan-10 ve Alan-11'e ait kayaçların NTRS'leri toplanmış ve analiz edilmiştir. Ayrıca, Bölüm 2'de yapılan görüntü zenginleştirme analizlerinden ana bileşenler dönüşümü, dekorelasyon gerilmesi ve SWIR bantlarıyla gerçekleştirilen bant oranlama (4/7- 4/1- (2/3)x(4/3)) analiz görüntüleri ile de her iki bölgenin litolojik benzerliğine bakılmıştır.

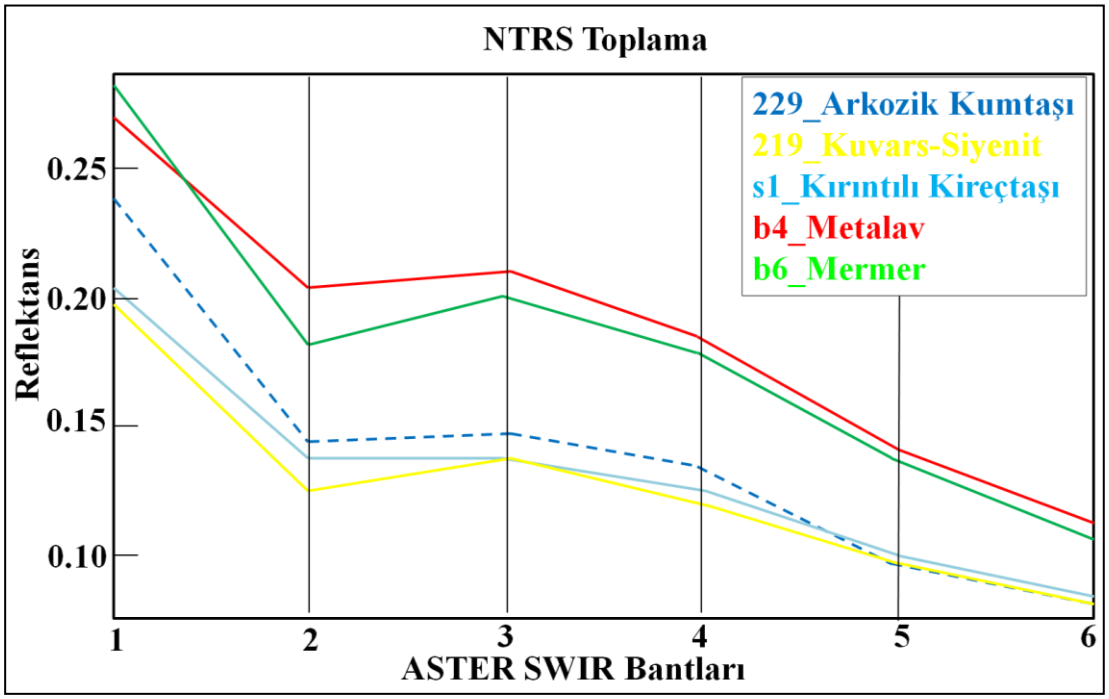
Diğer bir yerdeğiştirme analizinde ise, 2009 yılında gerçekleştirilen arazi çalışmasında, kayaçların spekroradyometre ölçmelerinden, arazide ofiyolitik kaya sınıfı olarak not edilenlerin NTRS'ler toplanarak analiz yapılmıştır.

4.1.1 Alan-10 ve Alan-11 arasındaki fay ötelenmesinin incelenmesi

Spektroradyometre ölçme verileri kullanılarak, SAM yöntemi ile NTRS toplama analizlerinde kayaç sınıflarının tespiti ve birbirlerinden ayrılabilirliği Bölüm 3'de

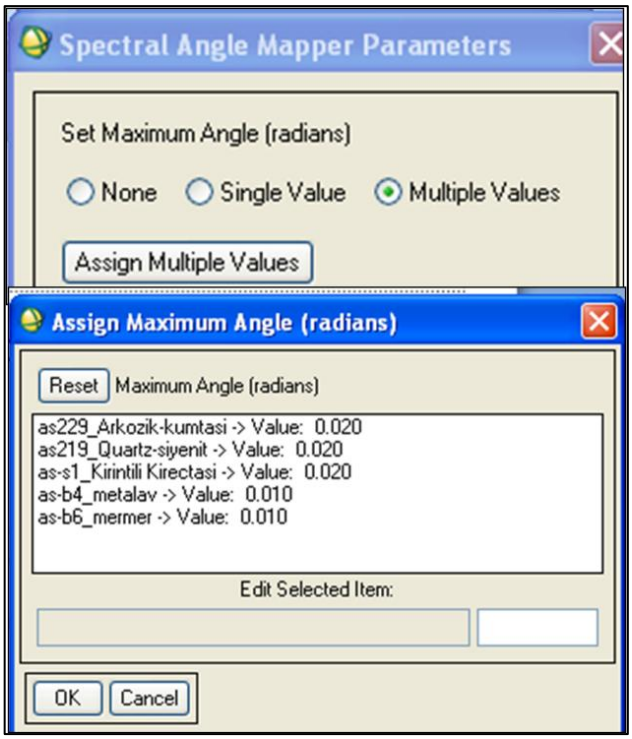
incelenmiş ve Alan-10 da metalav ve mermer kaya sınıfları tespit edilmiş ve kaya sınıfları birbirlerinden ayrılmıştır.

Görüntü zenginleştirme analiz görüntülerinde aynı yansıtım rengini veren Alan-10 ve Alan-11'deki kayaç sınıfı benzerliğinin araştırılması ve bu iki bölgenin KAFZ oluşmadan önce aynı birim olarak karşılıklı lokasyonlarda bulunma durumunu incelemek için, her iki bölgeden toplanan kayaçlara ait spektroradyometre ölçme verileri kullanılarak, SAM yöntemi ile NTRS toplama analizi yapılmıştır. SAM yönteminde toplanacak NTRS'ler,daha önce oluşturulan spektral kütüphaneden Alan-10 için mermer (b4), metalav (b6), Alan-11 için arkozik kumtaşı (O229), kuvars-siyenit (O219) ve kireçtaşı (s1) alınan kayaç sınıfları olmuştur. Bu NTRS'lerin birbirlerine göre olan spektral davranışları Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



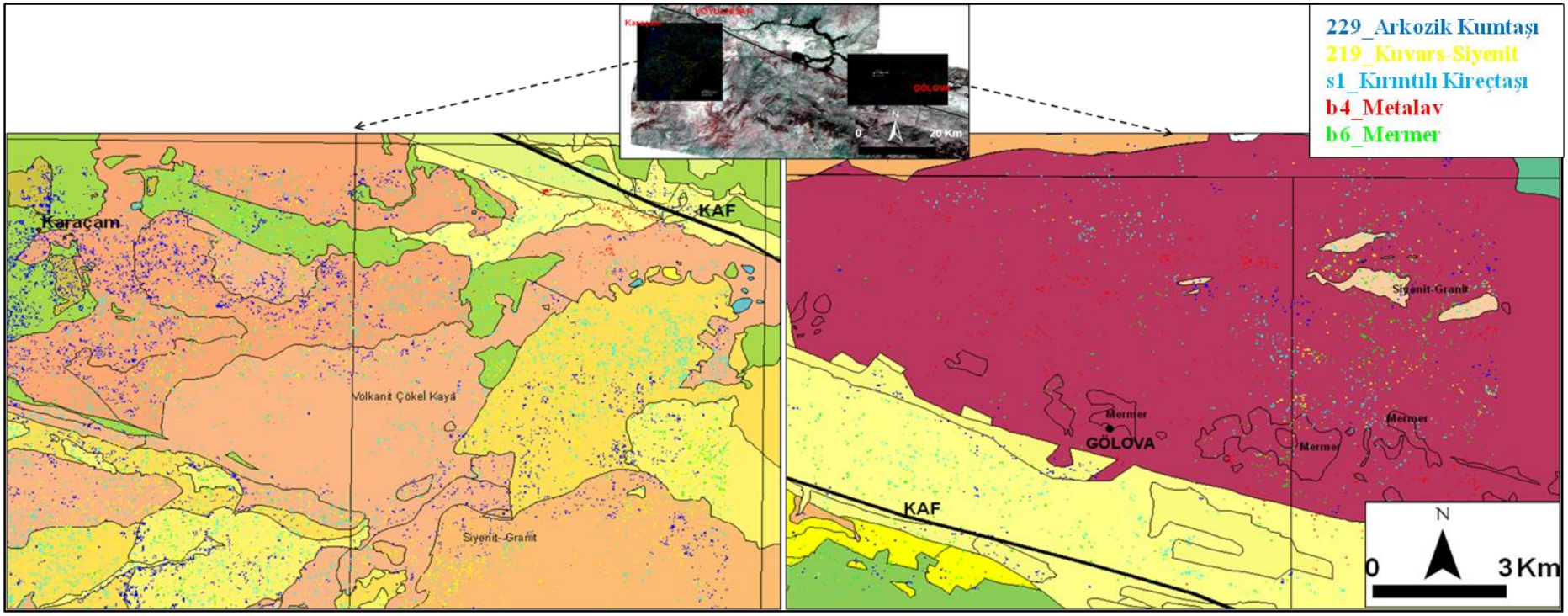
Şekil 4.1 : SAM için seçilen NTRS'ler.

Kullanılan NTRS'ler, ASTER SWIR bantlarından, her iki bölge (Alan-10 ve Alan-11) için ayrı ayrı toplanmıştır. NTRS'leri toplamak için gerekli SAM benzerlik açısı, Alan-10'dan getirilen mermer ve metalav için 0.01 radyan, Alan-11'den getirilen arkozik kumtaşı, kuvars-siyenit ve kireçtaşı NTRS'leri için 0.02 radyan olarak belirlenmiştir (Şekil 4.2).



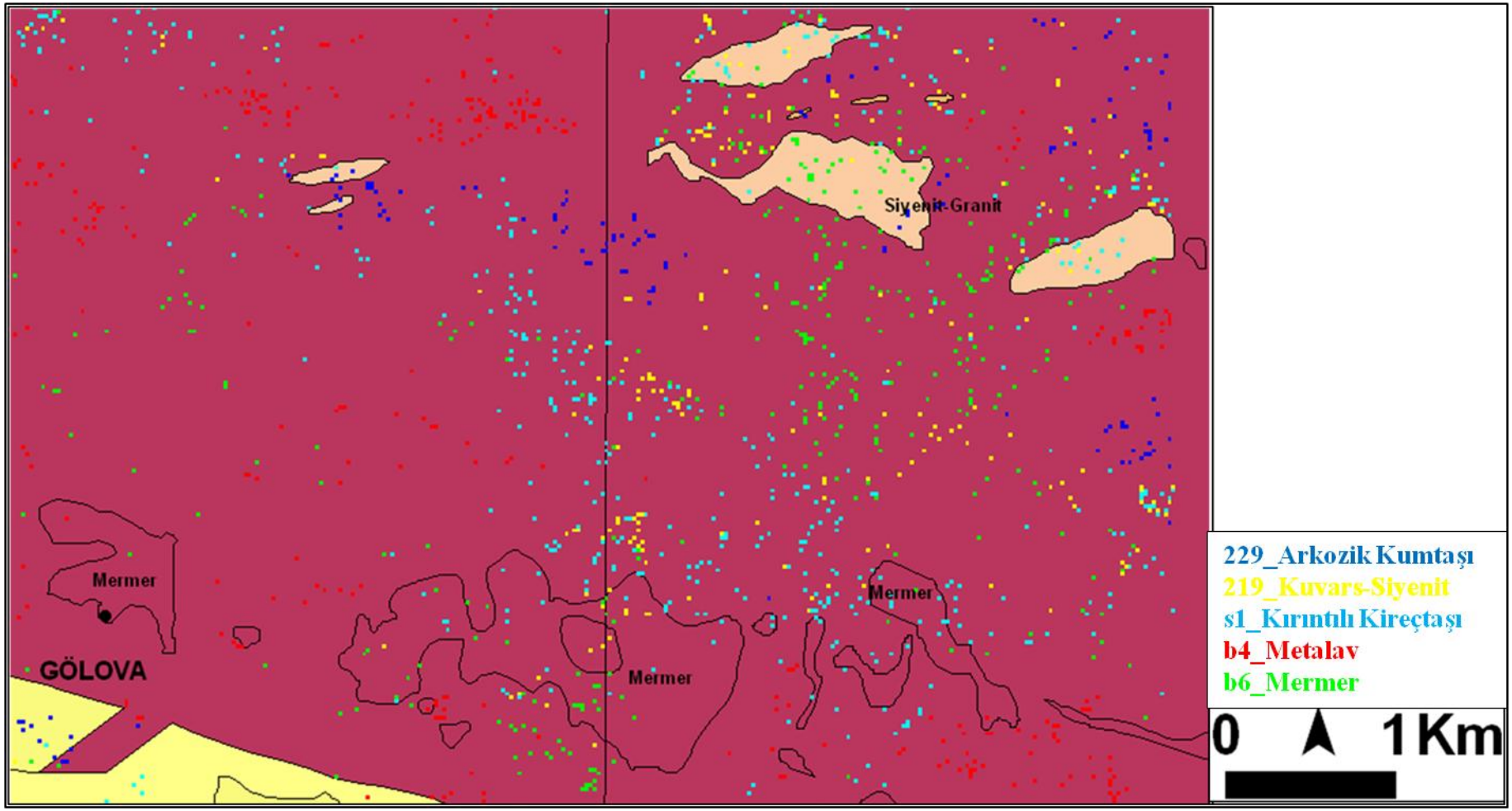
Şekil 4.2 : Toplanan NTRS'ler için seçilen SAM benzerlik açıları.

SAM yöntemi ile yapılan NTRS toplama analizine giren, Alan-10'dan getirilen mermer ve metalav NTRS'leri hem Alan-10'da hem de Alan-11' de tespit edilmiştir. Aynı şekilde SAM yöntemine giren ve Alan-11'den getirilen arkozik kumtaşı, kuvars siyenit ve kireçtaşı NTRS'leri hem Alan-10'da hem de Alan-11'de tespit edilmiştir (Şekil 4.3).

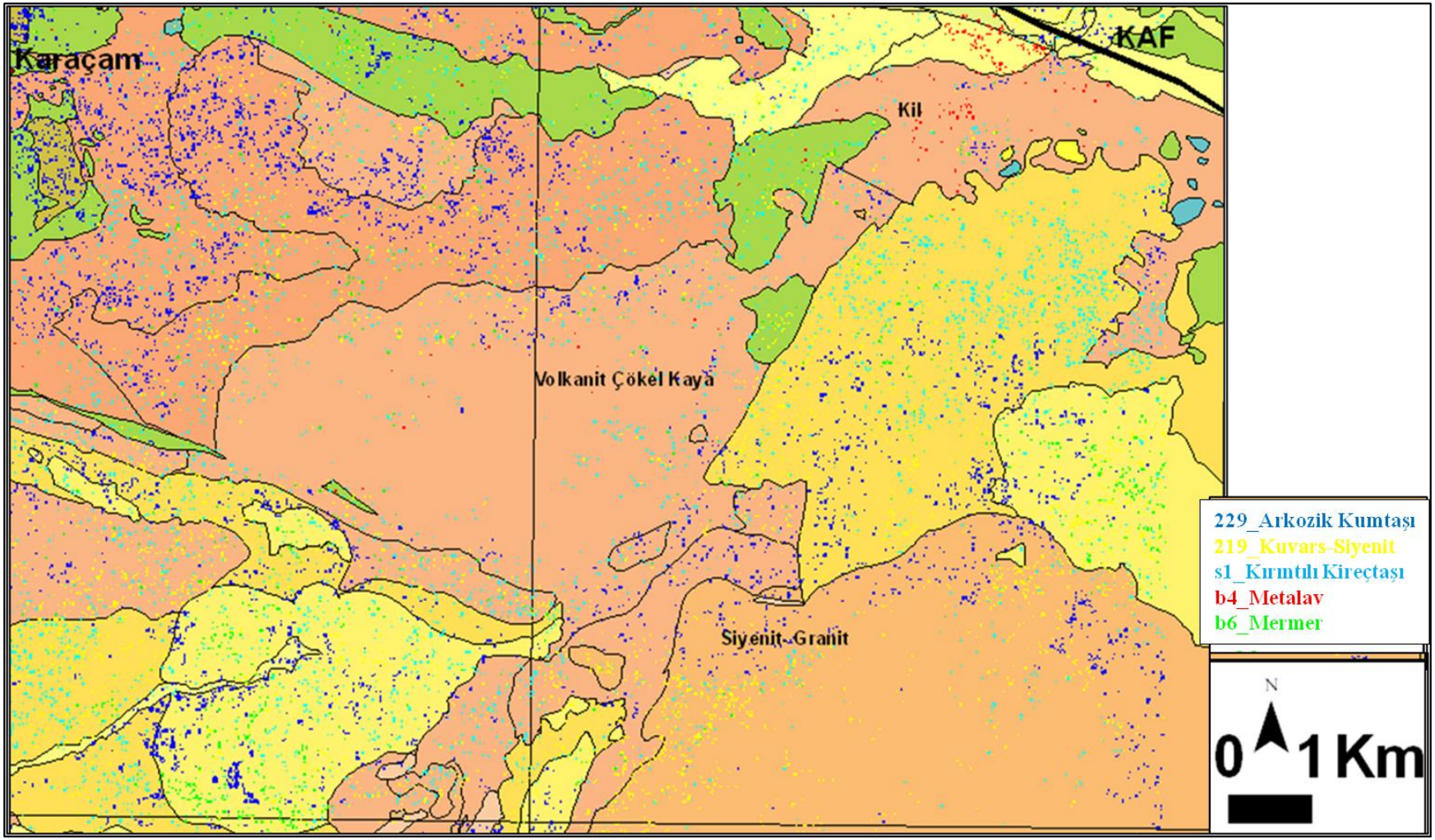


Şekil 4.3 : Alan-10 ve Alan-11'den toplanan NTRS'ler ve SAM analiz görüntüsü ile jeoloji haritasının çakıştırılması (A: Alan-10 ve Alan-11'in birlikte gösterildiği SAM NTRS toplama analizi, B: Alan-11'deki SAM ve NTRS'lerin oluşturdukları lokasyonlar, C: Alan-10'daki SAM ve NTRS'lerin oluşturdukları lokasyonlar, D: Alan-11 ve jeoloji haritası çakıştırılması, E: Alan-10 ve Jeoloji haritası çakıştırılması.

Alan-10'daki NTRS'lerı, jeoloji haritası ile karşılaştırdığımızda, jeoloji haritasında metavolkanit kaya sınıfı olarak belirlenen bölüm üzerinde olan Alan-10'da tespit edilen NTRS'lerin jeolojik harita ile alansal olarak uyum sağlamadığı görünmektedir. Ancak, jeoloji haritasında siyenit-granit olarak belirtilen alan ve çevresinde kuvars-siyenit (sarı) NTRS'i bulunmaktadır. Ancak, jeoloji haritasındaki alana denk gelmemektedir. Ayrıca mermer (yeşil) NTRS'lerine ait bölge ve çevresinde, jeolojik haritada mermer olarak sınırlandırılan alanlar bulunmaktadır. Kırmızı renkte görünen metalav NTRS'i de Alan-10'da tespit edilmiştir (Şekil 4.4). Alan-11 için NTRS'lerin jeoloji haritası ile uyumuna baktığımızda, jeoloji haritasında siyenit-granit kaya sınıfı olarak belirtilen lokasyonda kuvars-siyenit (sarı) NTRS'inın açığa çıktığı görünmektedir. Arkozik kumtaşı ve kireç taşına (siyan) ait NTRS'ler de tespit edilmiştir. Ancak NTRS'lerin jeoloji haritası ile alansal olarak benzerlik gösterdiği söylenemez (Şekil 4.5).



Şekil 4.4 : Alan-10, SAM ve jeolojik haritanın çakıştırlması.



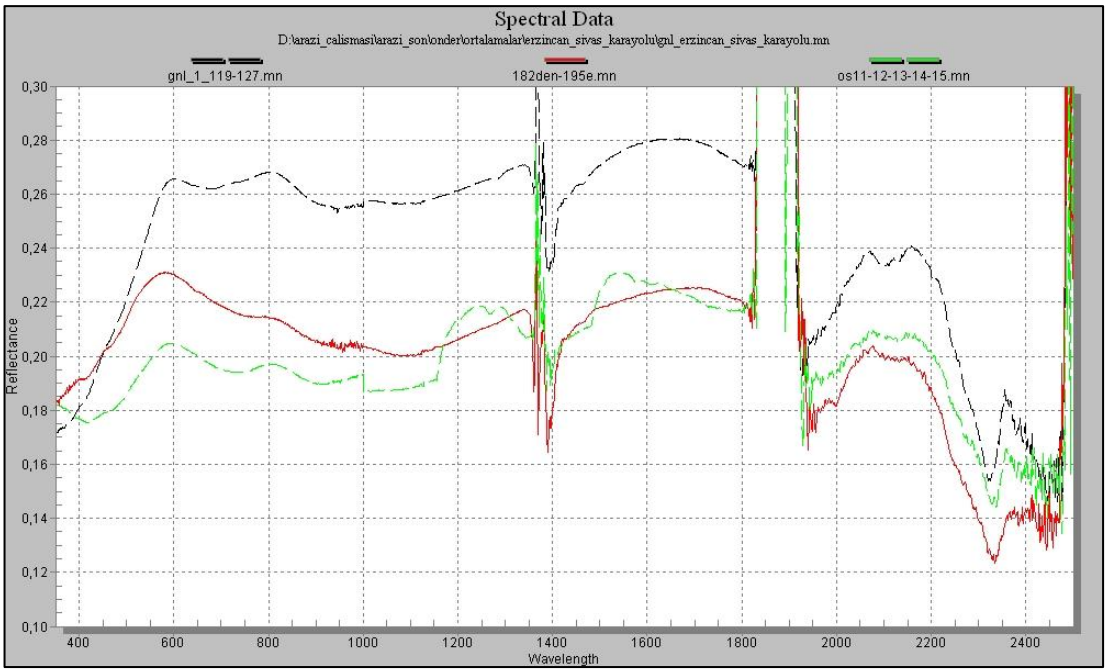
Şekil 4.5 : Jeoloji haritası üzerinde siyenit-granit olarak belirtilen alan ile kuvars-siyenit NTRS'inin çakışma görüntüsü.

Alan-10 ve Alan-11 arasındaki yatay doğrultudaki atımın incelenmesi için yapılan SAM analizine göre, Alan-11'e ait, arkozik kumtaşı (mavi), kuvars siyenit (sarı) ve kireçtaşı (siyan) NTRS'lerinin Alan-10'da tespit edilmiştir (Şekil 4.4). Ayrıca Alan-10 ait mermer (yeşil) ve metalav (kırmızı) NTRS'leri Alan-11'de tespit edilmiştir (Şekil 4.5).

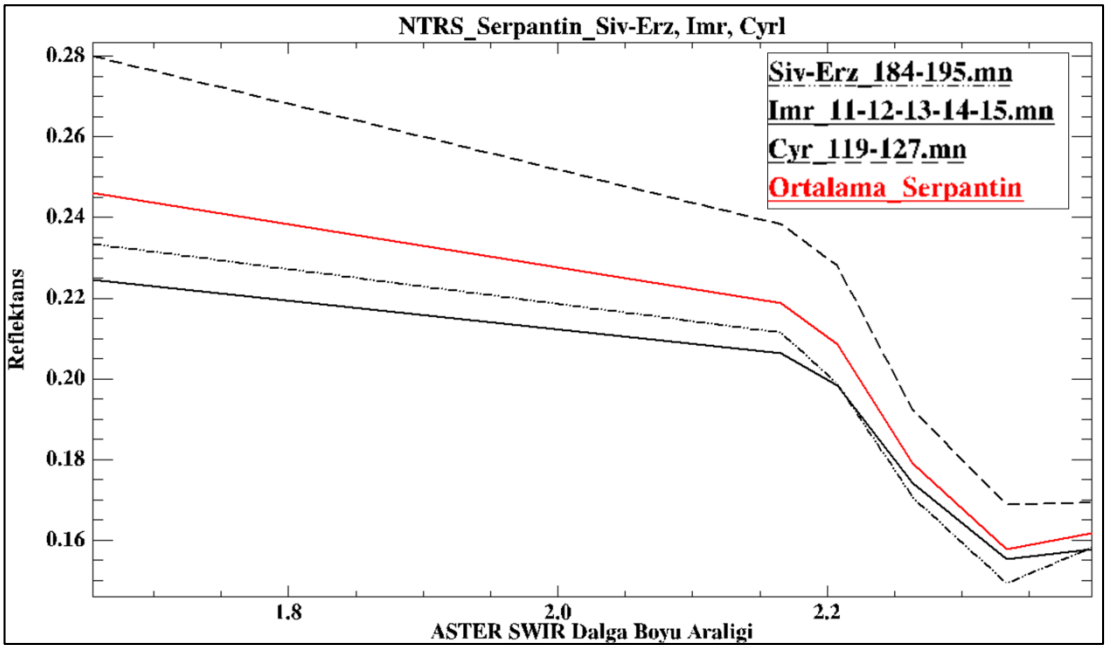
Sonuç olarak, Alan-10 ve Alan-11'den toplanan kayaç örneklerinden, metalav, mermer, arkozik kumtaşı, kuvars-siyenit ve kireçtaşı kayaçlarına ait NTRS'ler toplanarak, her iki bölge için birlikte bulunma durumlarına bakılmıştır. Yerdeğiştirme analiz verisi olarak kullanılmak istenen SAM NTRS toplama analiz görüntülerine göre, Alan-10'dan toplanan kayaçlara ait NTRS'ler, Alan-11'de de bulunmaktadır. Ayrıca Alan-11'den toplanan kayaçlara ait NTRS'ler da Alan-10'da bulunmaktadır. Bu NTRS analizine göre, aralarında yaklaşık 60 km yatay mesafe bulunan Alan-10 ve Alan-11'in benzer litolojik yapıda oldukları söylenebilir. Ayrıca, görüntü zenginleştirme analiz görüntüleri de Alan-10 ve Alan-11'in benzer litolojik yapılara sahip olduğunu göstermektedir. Ancak aynı grup ve yerdeğiştirme için işaretçi özellikte kayaçlar olmadığından, Alan-10 ve Alan-11 arasında kesin bir yerdeğiştirmeden söz edilemeyeceği sonucuna varılmıştır.

4.1.2 Ofiyolitik kayaçların spektroradyometre ölçmeleri kullanılarak SAM ve fay ötelenmesi analizi

Çalışma kapsamında 2009 yılında gerçekleştirilen spektroradyometre ölçmelerinden, türleri not edilen ve ofiyolit kaya sınıfından olan serpantinlerin NTRS olarak kullanıldığı SAM ile toplam ötelenme analizi yapılmıştır. NTRS olarak kullanılan serpantinlere ait, Çayırlı bölgesinde ölçülen os123, os124, os125, İmranlı bölgesi os11, os12, os13, os14 nolu ölçmeler ile Erzincan-Sivas karayolu boyunca os182, os183,os184, os185, os186, os187, os188, os189, os190, os191, os192, os193, os194, os195 nolu ölçülen spektral veriler kullanılmıştır. Arazide serpantin olarak değerlendirilen bu ölçmelerin her bölge için ortalaması alınmıştır (Şekil 4.6). Elde edilen 3 bölgesel ortalamanın da ortalaması alınarak NTRS olarak kullanılacak serpantine ait spektral veri hazırlanmıştır. Spektroradyometre ölçmelerinin ortalamaları alınarak oluşturulan serpantine ait spektral veri, daha önce oluşturulan spektral kütüphaneye konmadan önce ASTER SWIR bant aralığına yeniden örneklenmiştir (Şekil 4.7).

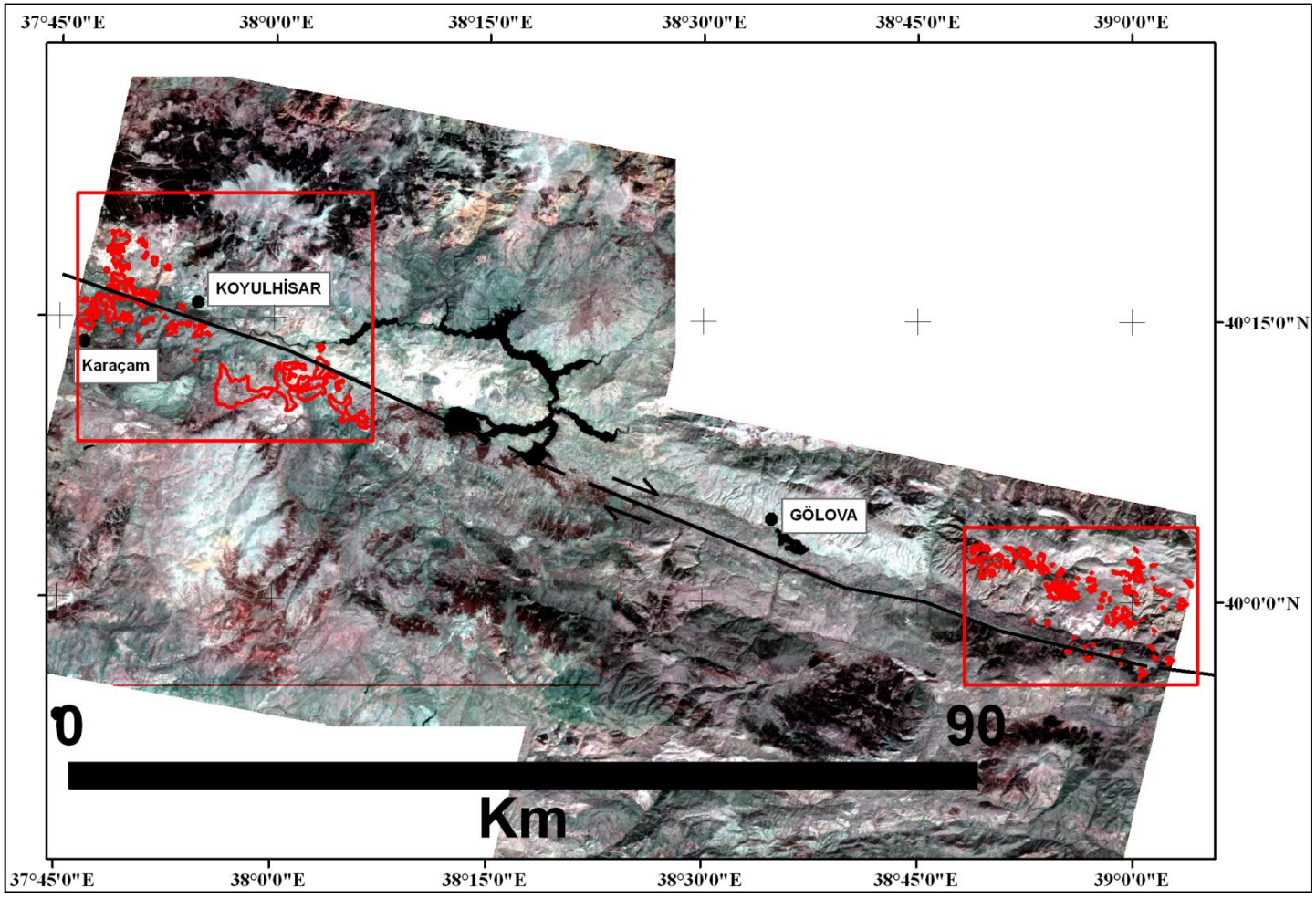


Şekil 4.6 : Serpantin için Erzincan-Sivas karayolu (os182'den os195'e kadar), İmranlı (os11'den os14'e kadar,), Çayırlı (os119'dan os127'ye kadar bölgeleri için spektroradyometre ölçmleri ortalamalar.



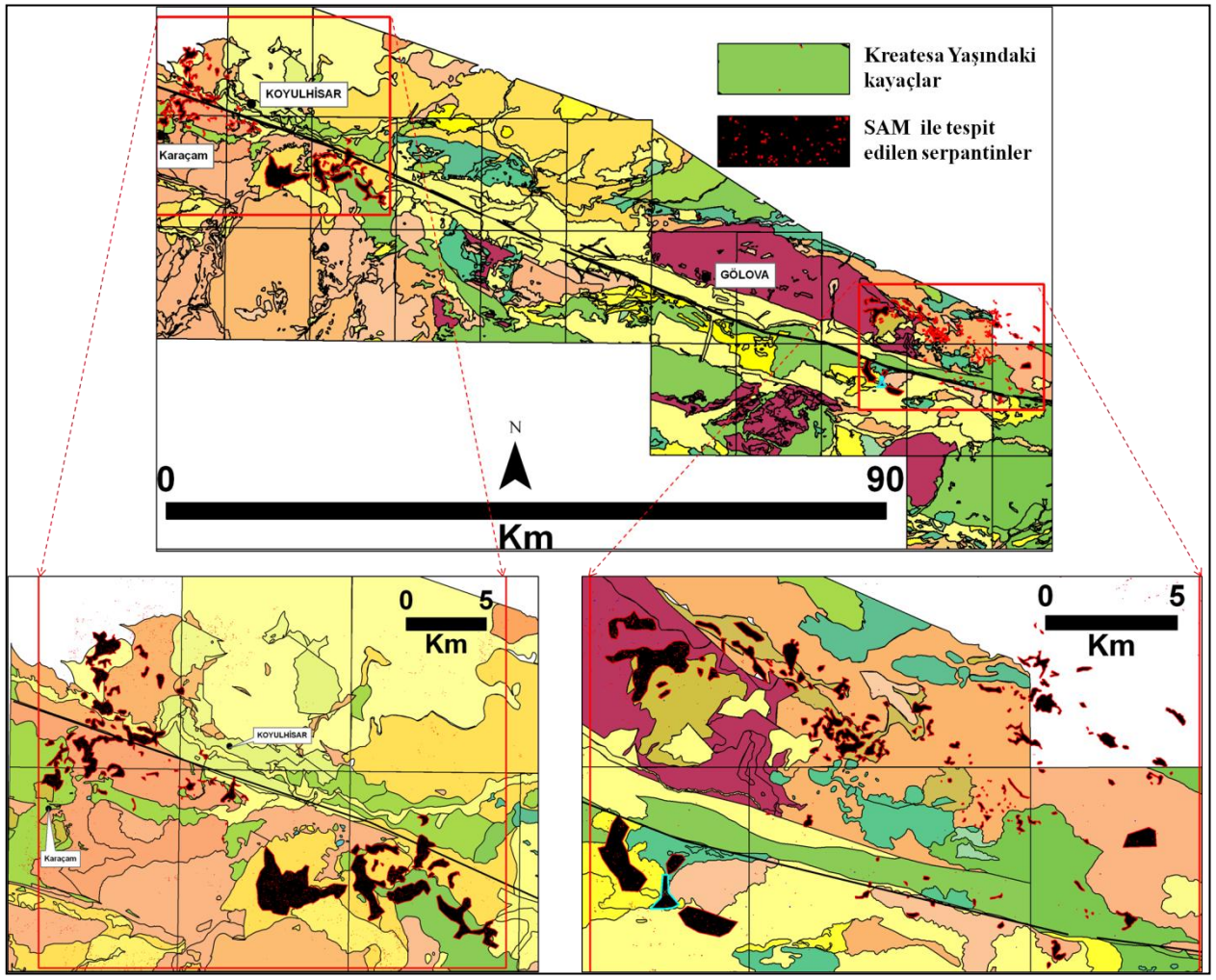
Şekil 4.7 : Serpantin için oluşturulan, 3 bölgedeki spektroradyometre ölçmelerinin ASTER SWIR bantlarına örneklenmesi.

Sonuç olarak, SAM analizinde, çalışma bölgesini kapsayan görüntüler üzerinde, serpantin NTRS'leri KAF'ın güneyi ve kuzeyinde alansal olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.8).

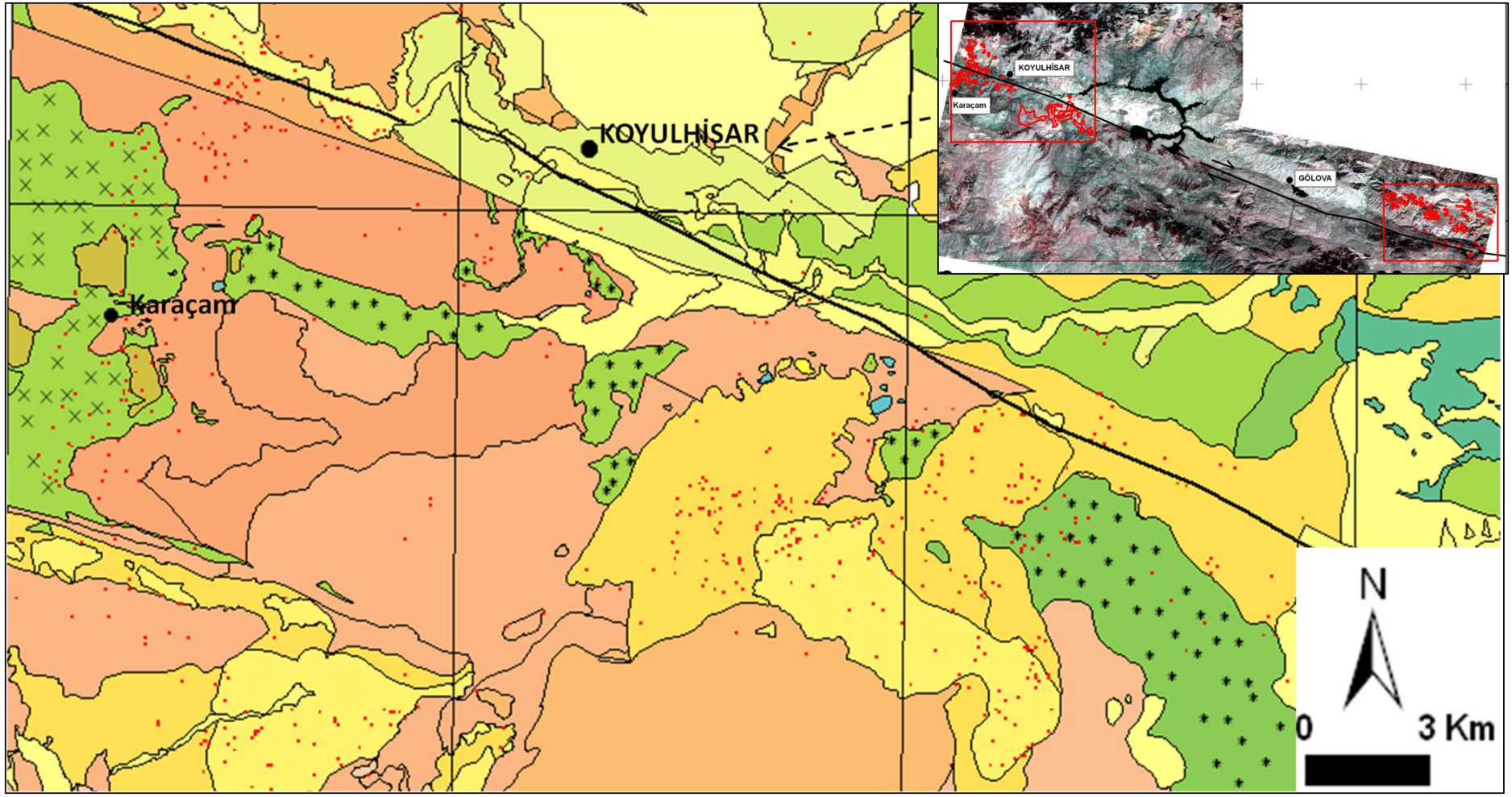


Şekil 4.8 : SAM analiz görüntüsünde serpantin NTRS'inin KAF'ın güneyi ve kuzeyinde tespit edildiği bölgeler (Kırmızı poligon ile çevrili alanlar), ASTER SWIR uydu verisi (K: Bant 9, Y: Bant 7, M: Bant 4).

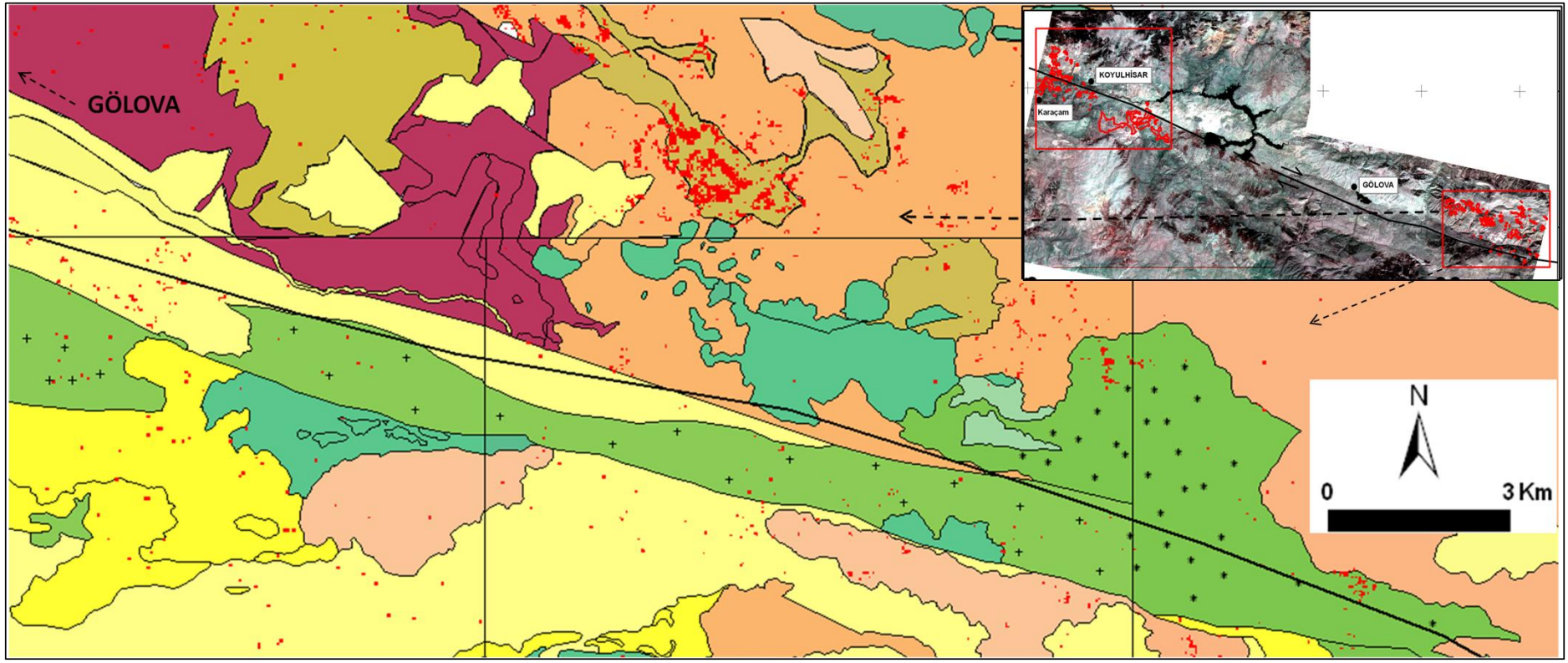
Zondaki fay ötelenmelerini incelemek için, yaşı itibari ile marker kayaç özelliği taşıyan ofiyolit sınıfı kayaçlarından, serpantine ait NTRS toplama analiz görüntülerinin kuzey batı bölümleri ile güney doğu bölümlerindeki benzerlikler incelenmiştir. SAM analiz sonucunu bakıldığında, KAFZ boyunca fayın güney ve kuzey kesimlerinde serpantin NTRS'inin bulunduğu görünmektedir. Ayrıca SAM analizinin, jeolojik harita ile uyumlu olduğu alanlar da göze çarpmaktadır (Şekil 4.9-12).



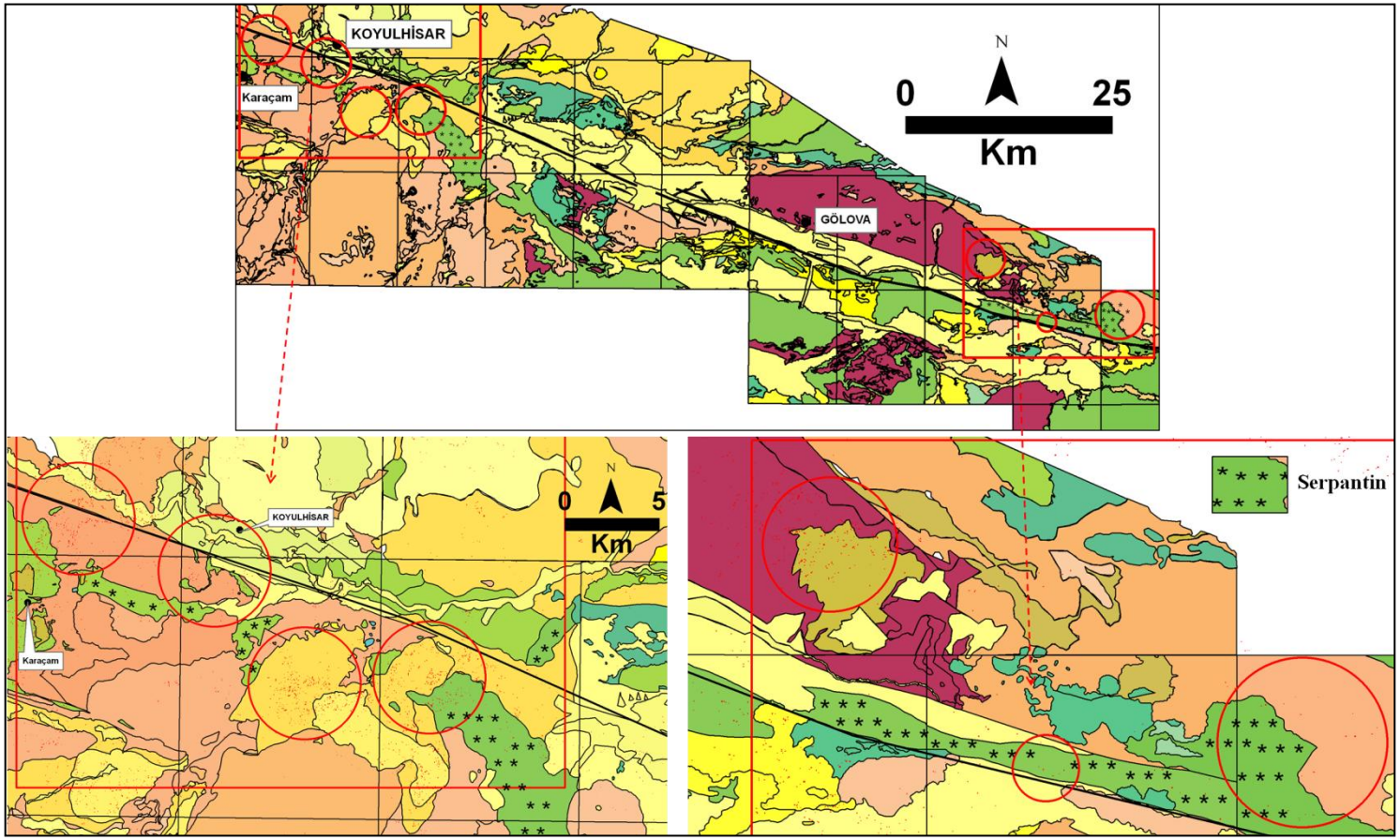
Şekil 4.9 : SAM analiz görüntüsü üzerinde serpantin NTRS'ının fayın güneyindeki ve kuzeyindeki lokasyonları.



Şekil 4.10 : SAM analiz görüntüsündeki serpantin NTRS'lerını jeoloji haritasında gösterilmesi (KAF'ın güneyi, Koyulhisar civarı), * ile dolu alanlar ofiyolitik kaya grupları.



Şekil 4.11 : SAM analiz görüntüsündeki serpantin NTRS'lerini (kırmızı renkte) jeoloji haritasında gösterilmesi (KAF'ın kuzeyi Gölova civarı), * ile dolu alanlar ofiyolitik kaya grupları.

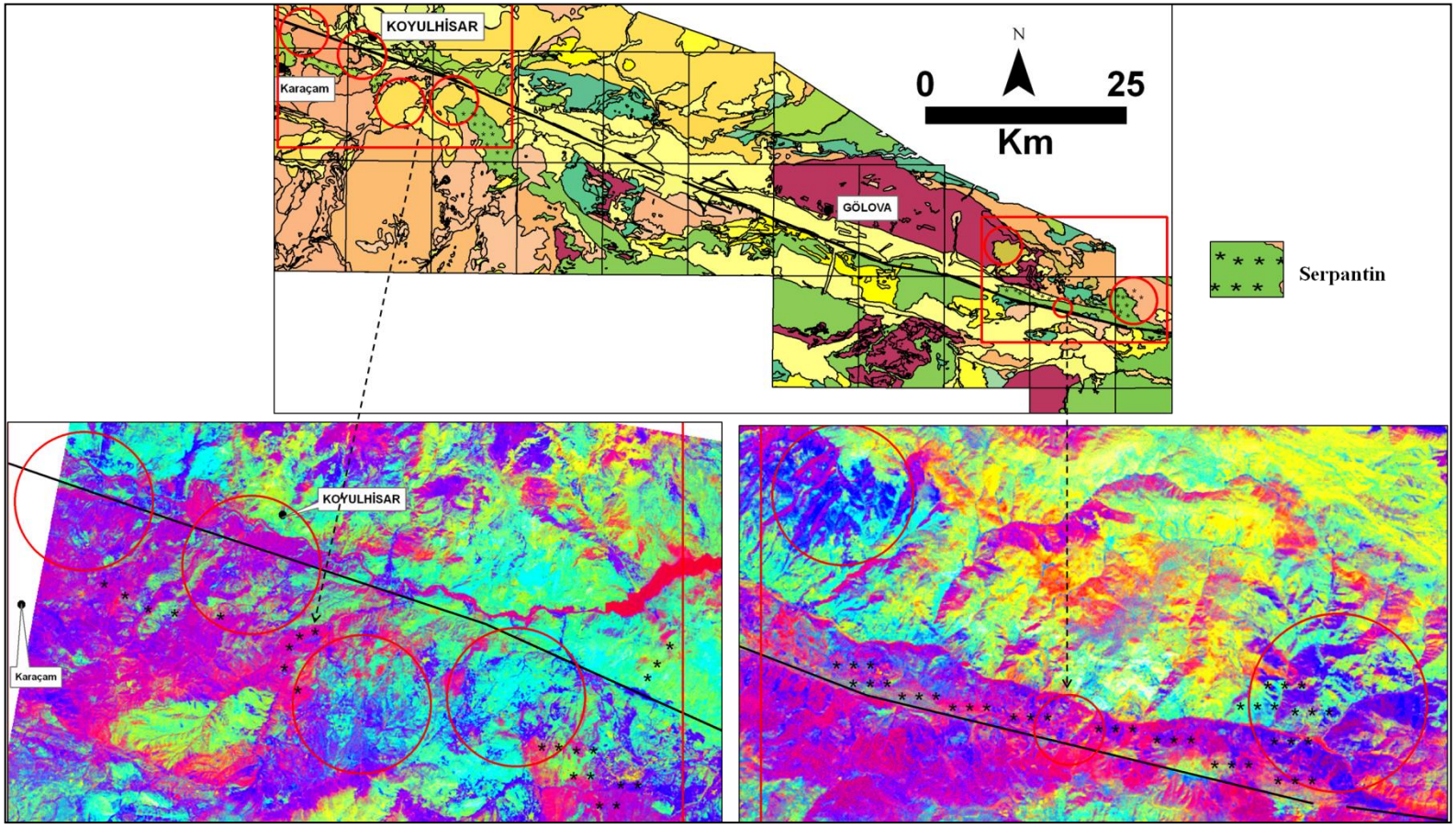


Şekil 4.12 : Jeoloji haritası üzerinde ofiyolit alanlar ve SAM analiz görüntüsü (kırmızı renkteki çemberler içerisinde SAM ile tespit edilen Serpantinler bulunmaktadır. Jeoloji haritası da, kuzey ve güneyde benzer yapıları göstermektedir; * ile gösterilen yerler, Serpantin bölgesi.

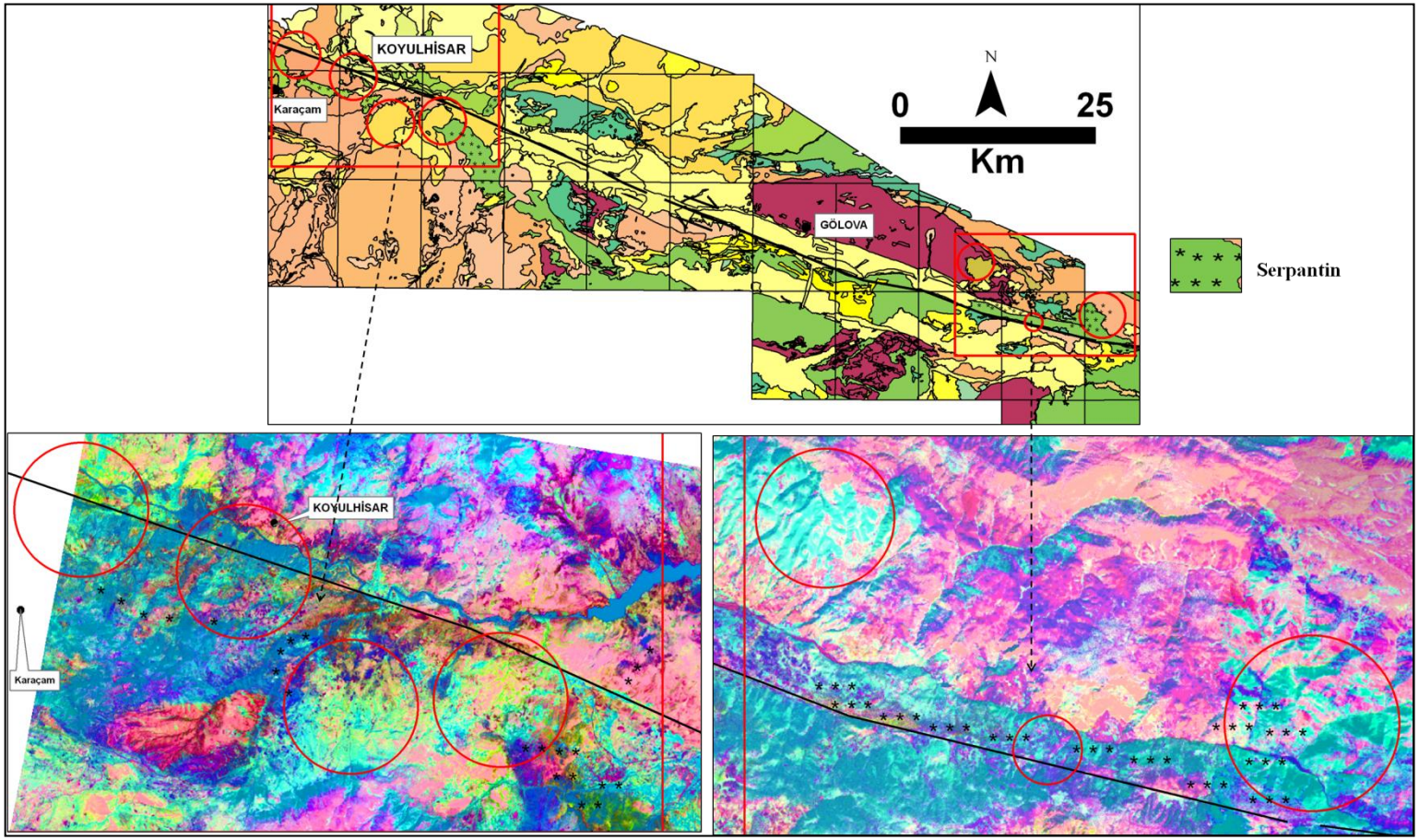
SAM analiz görüntülerinden lokasyonları tespit edilen ofiyolit sınıfı kayaçlardan serpantin NTRS'inin oluşturduğu alanlar görüntü zenginleştirme analizi görüntüleri ile de çakıştırılıp, incelenmiştir.

SAM analiz görüntüsünün birlikte değerlendirildiği ilk değerlendirmede, dekorelasyon gerilmesinde mavi renkte görünen yerlerin (kırmızı daire içinde), jeoloji haritasında ve SAM analizinde serpantin olarak değerlendirildiği anlaşılmıştır (Şekil 4.13).

Diğer bir analizde ise, PCA, SAM analiz görüntüsü ve jeoloji haritasının çakıştırılması ile jeoloji haritası üzerinde mavimsi renkte görünen ofiyolitlerin tespit edilmesi amaçlanmıştır (Şekil 4.14).



Şekil 4.13 : Jeoloji haritası SAM analiz görüntüsü ve dekorelasyon gerilmesi görüntüsü üzerinde ofiyolitlerin belirlenmesi (kırmızı renkteki çemberler içerisinde SAM ile tespit edilen Serpantinler bulunmaktadır. Jeoloji haritası da, kuzey ve güneyde benzer yapıları göstermektedir; * ile gösterilen yerler, Serpantin bölgesi. Dekorelasyon gerilmesi görüntüsünde açık mavi ve mor renkte görünen alanların KAF'ın kuzeyinde ve güneyinde benzer olduğu görünmektedir).



Şekil 4.14 : Jeoloji haritası SAM analiz görüntüsü ve ana bileşenler dönüşümü görüntüsü üzerinde ofiyolitlerin belirlenmesi (kırmızı renkteki çemberler içerisinde SAM ile tespit edilen Serpantinler bulunmaktadır. * ile gösterilen yerler, jeoloji haritasına göre Serpantin bölgesidir. Ana bileşenler dönüşümü görüntüsünde mavimsi ve yeşilimsi renkte görünen alanların KAF'ın kuzeyinde ve güneyinde benzer olduğu görünmektedir).

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Uzaktan Algılama yöntemleri ve yersel çalışmalarla farklı veya aynı jeolojik yapıların litolojik ve mineralojik özellikleri açığa çıkartılıp, jeolojik yapıların birbirlerine göre olan durumlarının belirlenmesi amacıyla bu Doktora Tezi yapılmıştır. Amaç doğrultusunda, Uzaktan algılama verilerinin algılayıcı hataları düzeltilerek, görüntülere zenginleştirme metodları uygulanmıştır. Bölgeye ait jeolojik formasyon haritaları temin edilerek, harita bölgedeki kayaçların jeolojik yaşlarına göre yeniden düzenlenmiştir. Bölgedeki kayaçların spektral yansıtım değerlerini ölçüp, bölgesel karşılaştırma ve değerlendirme yapmak için 2009 ve 2010 Yıllarında arazide ve laboratuarda spektroradyometre ölçmeleri yapılmıştır. Örnek kayaçların jeolojik ince kesitleri oluşturulmuştur. Spektroradyometre ölçmeleri ile uydu görüntülerinin entegrasyonu Spectral Angle Mapper kontrollü sınıflandırma yöntemi ile sağlanmıştır. Nesne Tabanlı Referans Spektralar toplanarak, litolojik ve mineralojik ayrımlanma yapılmıştır. Atım ile ilgili yapılan analizler sonucunda, KAFZ üzerinde, fayın güneyi ve kuzeyinde benzer jeolojik birimlerin varlığı, litolojik ve mineralojik olarak anlaşılmıştır. Tespit edilen kayaç grupları, jeolojik haritalar ile karşılaştırıldığında, bölgede ofiyolit sınıf kayaçlarının aynı lokasyonlarda olduğu anlaşılmıştır. KAFZ'nin Erzincan- Çayırlı ile Sivas- Koyulhisar arasında kalan kesimindeki belirteç kayaçlar arasındaki ötelenme miktarları, uzaktan algılama ve yersel ölçme verileri kullanılarak, bölgedeki toplam atım belirlenmiştir.

Çalışmanın amacı olan ötelenmeleri belirlemek için minerolojik ve litolojik yapıların sınılandırılmasında kullanılan SAM, uzaktan algılamada son yıllarda kullanılmaya başlanılan ve spektraoradyometre ölçmeleri ile uydu görüntüleri arasındaki entagrasyonu başarıyla sağlamıştır. Uzaktan algılamada kontrollü sınıflandırma yöntemi olan SAM ile sadece ilgi duyulan, hedef sınıflara ait NTRS'ler uydu görüntüleri üzerinden toplanarak, diğer sınıfların yansıtımları göz ardı edilmektedir. Böylelikle, sonuç analiz görüntüsünde sadece ilgilenilen sınıflar olacağından, daha yorumlanabilir ve kesin sınıflandırma yapılabilmektedir. Ayrıca bu yöntemle, herhangi bir kayaca ait spektroradyometre ölçme verisi kullanılarak, uydu görüntüsü üzerinde ilgili kayaca ait litolojik yapıların varlığı hakkında da görüş bildirilebilir.

Ayrıca kayacın jeolojik ince kesitleri yapılarak, mineralojik ve litolojik sınıfları belirlendikten sonra bölgesel sınıflandırmalar yapılarak, jeoloji haritaları oluşturulabilir. Sınıflandırma yöntemi olarak kullanılan SAM'ın, çok kanallı uydu görüntülerinden referans spektraları toplamada başarılı olduğu gözlenmiştir. Ancak yersel spektroradyometre ölçme verileri ile uzaktan algılama verilerinin entegrasyonun sağlandığı bu yöntemin 100'den fazla spektral kanala sahip hipersipektral verilere uygulanmasıyla daha başarılı sonuçlar verebileceği kanatine ulaşılmıştır. Çalışmada kullanılan ASTER SWIR algılayıcısına ait 6 banda uygulanan yöntemde kullanılmak üzere 2152 spektral dalga boyunda ölçülen spektroradyometre verileri, SWIR algılayıcısı bantları dalga boyu aralığına örneklendiğinden, sadece 6 spektral dalga boyu değerinde kullanılmıştır. Oysa ki, daha geniş spektral dalga boyu aralıklarında kaydedilen hiperspektral uydu verileri SAM yöntemi kullanıldığında, daha düşük benzerlik açısı değerlerinde, daha kesin litolojik ve mineralojik sınıflandırmalar yapılabilir. Sınıflandırma yapılmadan önce, uydu görüntülerinin sistematik algılayıcı hatalarından arındırılıp, radyometrik kalibrasyonun yapılmasından sonra mutlaka atmosferik düzeltmelerinin yapılması gerekmektedir. Atmosferik düzeltme yapılarak, atmosfer etkisinin uydu görüntüsü üzerinden arındırdıktan sonra, spektroradyometre ölçmeleri ile elde edilen ve atmosfer etkisinin olmadığı verilerle entegrasyonu sağlanmalıdır.

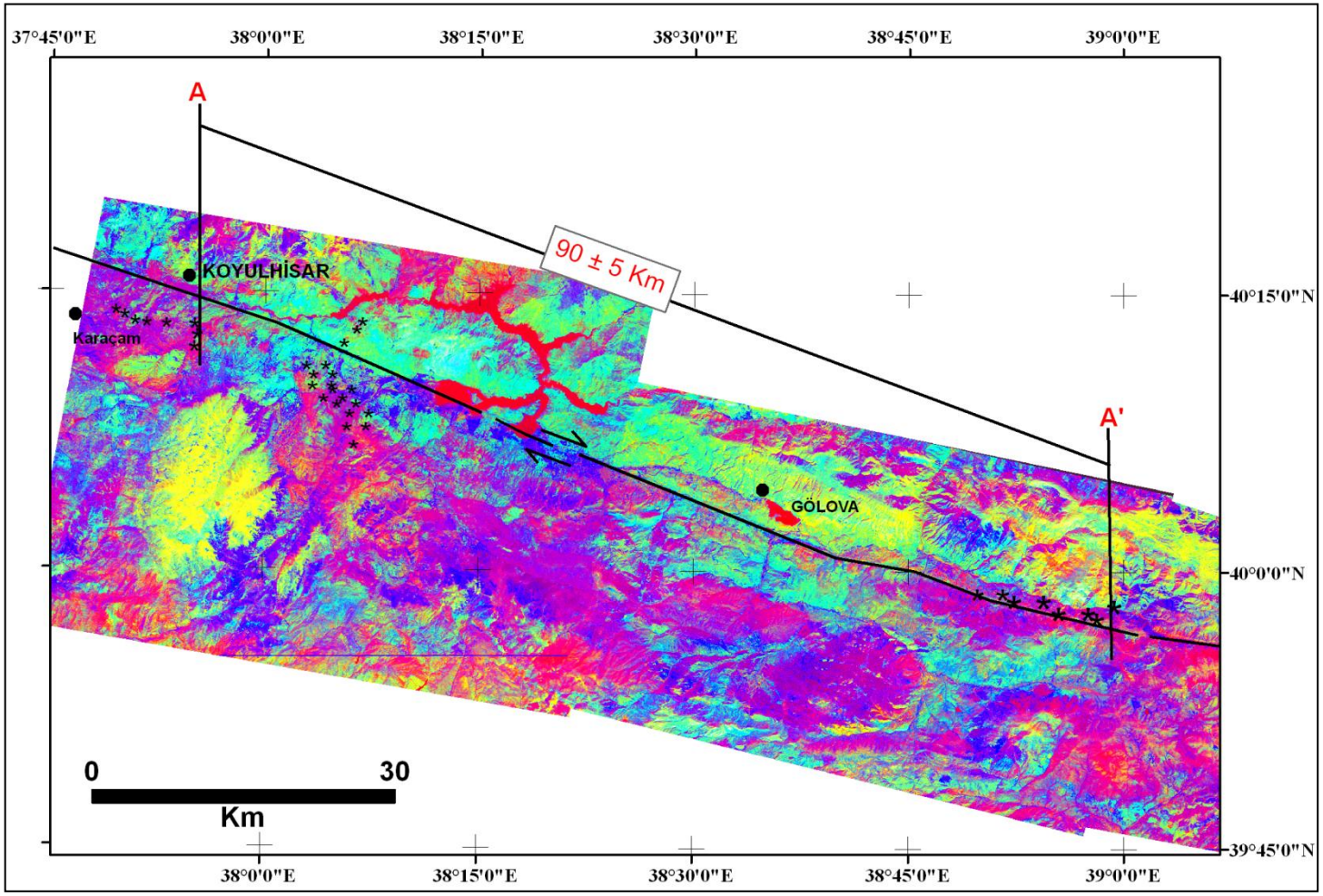
SAM sınıflandırma görüntülerinin karşılaştırlmasının yapıldığı, uydu görüntüsü zenginleştirme metodlarından bant oranlama için, literatürde bulunan ve litolojik ve mineralojik sınıfları tayin eden oranların farklı bölgeler ve farklı cins kayaçlar için uygulandığı göz önünde bulundurulmalıdır.

Uzaktan algılamada kontrollü sınıflandırma yöntemi olan SAM ile sadece ilgi duyulan, hedef sınıflara ait NTRS'ler uydu görüntüleri üzerinden toplanarak, diğer sınıfların yansıtımları göz ardı edilmektedir. Böylelikle, sonuç analiz görüntüsünde sadece ilgilenilen sınıflar olacağından, daha yorumlanabilir ve kesin sınıflandırma yapılabilmektedir. Ayrıca bu yöntemle, herhangi bir kayaca ait spektroradyometre ölçme verisi kullanılarak, uydu görüntüsü üzerinde ilgili kayaca ait litolojik yapıların varlığı hakkında da görüş bildirilebilir. Ayrıca kayacın jeolojik ince kesitleri yapılarak, mineralojik ve litolojik sınıfları belirlendikten sonra bölgesel sınıflandırmalar yapılarak, jeoloji haritaları oluşturulabilir. Böylece, arazide fazladan harcanan zaman ve iş yükü kaybının önüne geçilebilir.

SAM yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen ilk sınıflandırmada, Gölova bölgesinden toplanan, arazide "b6" ve "b4" olarak adlandırılan kayaçlara ait spektralardan yararlanarak NTRS toplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Metalav ve mermer kayaçlarına ait NTRS'lerin SAM yöntemiyle toplanmasında, metalav ve mermer kayaçları uydu görüntüsü üzerinde tespit edilmiştir. Yapılan kontroller sonucunda, her iki kayaca ait örnek toplama koordinatında da, iki kayaca ait NTRS'ler analiz sonucunda aynı koordinatlarda tespit edilmiştir. Jeoloji haritası ve görüntü zenginleştirme analizi sonuç görüntüleri ile de karşılaştırma yapıldığında, her iki kayaca ait lokasyonların desteklendiği anlaşılmıştır. Arazide mermer (b6) ve metalav (b4) kayaçları için kayıt edilen GPS koordinatlarının, SAM analiz görüntüsünde NTRS'lere ait alanlar içinde olduğu anlaşılmıştır.

SAM yöntemi ile yapılan fay ötelenmesi incelemelerinde ilk olarak, Alan-10 (Gölova) ile Alan-11 (Koyulhisar yakınları)'ndan toplanan, metalav, mermer, arkozik kumtaşı, kuvars-siyenit ve kireçtaşı kayaçlarına ait NTRS'ler uydu görüntülerinden toplanarak, bu kayaç gruplarının her iki bölgede de bulunma durumlarına bakılmıştır. Sonuç olarak, aralarında yaklaşık 60 km mesafe bulunan Alan-10 ve Alan-11'in benzer litolojik yapıda oldukları gözlenmiştir. Bu gözlemler, görüntü zenginleştirme analiz görüntüleri de desteklenmiştir. Ancak atımdan bahsedilebilmesi için gereken işaretçi özellikte kayaçlar olmadığından, Alan-10 ve Alan-11 arasında kesin bir atımdan söz edilemeyeceği sonucuna varılmıştır.

Ötelenme ile ilgili yapılan diğer bir SAM yöntemli sınıflandırma sonucunda, KAFZ üzerinde, fayın güneyi ve kuzeyinde benzer jeolojik birimlerin varlığı, litolojik ve mineralojik olarak anlaşılmıştır. SAM analiz görüntülerinde ve görüntü zenginleştirme analiz görüntülerinde, ofiyolit sınıfı kaya grubu olarak değerlendirilen ve fay ötelenmesi analizleri için marker kayaç grubu olarak kabul edilen kayaçlar tespit edilmiştir. Tespit edilen kayaç grupları, jeolojik harita verilerine göre kontrol edildiğinde, bölgede ofiyolit sınıf kayaçlarının aynı lokasyonlarda olduğu anlaşılmıştır. Fayın güneyinde ve kuzeyinde benzer yapılar olarak değerlendirilen, marker kayaçlar (Doğuda, 39º 59'.31 K; 38º 50'.46 D ile Batıda, 40º 16'.04 K; 38º 51'.59 D) arasındaki ötelenme A-A' noktaları arasında 90 ± 5 Km'dir (Şekil 5.1). KAFZ üzerinde, toplam fay ötelenmesi değeri olarak kabul edilebilecek olan bu mesafeler, zonda daha önce toplam ötelenme olarak verilen 85 ± 5 km (Seymen, 1975, Şengör, 1979) değerini kapsamaktadır.



Şekil 5.1 : Çalışma bölgesinde tespit edilen ve ölçülen A-A' arasındaki fay ötelenmesi, A-A' arasındaki mesafe 90 ± 5 Km'dir (Dekorelasyon gerilmesi görüntüsü üzerindeki * işaretli yerler jeoloji haritasına göre Serpantindir).

KAYNAKLAR

Abdüsselamoğlu, Ş. (1959). Alnucıkdağı ile Mudurnu ve Göynük civarının jeolojisi. *İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Monografikleri,1, 4,* 1-94.

Abrams, M., Hook, S. (1998). ASTER User Handbook, Version 1. *NASA/Jet Propulsion Laboratory*, Pasadena

Abrams, M., Hook, S.,Ramachandran, B. (2002). ASTER Users Handbook. Jet Propulsion Laboratory. California Institute of Technology, The USA.

Akyüz, S., (2002). The surface rupture and slip distribution of the August 17, 1999 İzmit earthquake, M=7.4, North Anatolian Fault. *Bulletin of the Seismological Society of America, 1*, 43-60

Amer, R., Kusky, T., Ghulam, A. (2010). Lithological mapping in the Central Eastern Desert of Egypt using ASTER data. *Journal of African Earth Sciences, 56,* 75-82 doi: 10.1016/j.jafrearsci.2009.06.004.

Archard, F., D'Souza, G. (1994). Collection and pre-processing of NOAA-AVHRR 1km resolution data for tropical forest resource assessment. *Report EUR 16055, European Commission*, Luxembourg.

Armijo, R., Meyer, B., Hubert, A., Barka, A. (1999). Westward propagation of the North Anatolian fault into the northern Agean: Timing and Kinematics, *Geology, 27*, 267-270.

Ayhan, M.E., Bürgmann, R., McClusky, S., Lenk, O., Aktuğ, B., Herece, E., Reilinger, R.E. (2001). Kinematics of Mw= 7.2, 12 November 1999, Düzce, Turkey Earthquake. *Geophysical Research Letters, 28,* 367-370.

Li, B., Yan, Q., Cheng, C., Wei, Y. (2006). The accuracy assessment experiment of ASTER 3D ortho product in Beijing Area. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences,37,* 821-828

Barka, A. and Gülen, L. (1988). Age and total displacement of the North Anatolian fault zone and its significance for the better understanding of tectonic history and present day dynamics of the Eastern Mediterranean region. *Abstract book of Melih Tokay Geology Symposium, 87,* 57-58.

Barka, A. (1999)., Marmara Denizinin deprem mekanizması. *Bilim ve Teknik*: *383,* 28-33.

Bedini, E. (2010). Mineral mapping in the Kap Simpson complex, central East Greenland, using HyMap and ASTER remote sensing data. *Advances in Space Research, 47,* 60-73 doi: 10.1016/j.asr.2010.08.021.

Bozkurt, E. (2001). Neotectonics of Turkey – a synthesis *Geodinamica Acta, 14*, 3-30.

Cho, M. A., Mathieu, R., Debba, P. (2009). Multıple endmember spectral-angle-mapper (SAM) analysis improves discrimination of Savanna tree species. *Geoscience and Remote Sensing, 48,* 4133-4142.

Clark, R. N. (1995). Reflectance Spectra. *AGU Handbook of Physical Constants*, 178-188.

Clark, R.N., Swayze, G.A., Wise, R., Livo, E., Hoefen, T., Kokaly, R., Sutley, S.J. (2007). USGS digital spectral library splib06a: *U.S. Geological Survey, Digital Data Series,* 231.

Dağgez, A. D., Süzen, M. L. (2008). ASTER görüntülerinin Dogu Anadolu bölgesinde spektral mineral haritalamasında kullanılması. *I.Ulusal Jeolojik Uzaktan Algılama Sempozyumu*, Sivas.

Duke, E.F. (1994). Near infrared spectra of muscovite, Tschermak substitution, and metamorphic reaction progress: implications for remote sensing. *Geology, 22,* 621–624.

Erinç, S. (1973). Türkiye'nin şekillenmesinde neotektoniğin rolü ve jeomorfoloji-jeodinamik ilişkileri. *Jeomorfoloji Dergisi, 5,* 11-26.

ERSDAC- Earth remote sensing data analysis center. (2001). The crosstalk correction software: *User's guide*. Mitsubishi Space Software Co. Ltd., p. 17.

Eva, H., Lambin, E. F. (1998). Burnt area mapping in Central Africa using ASTER data. *International Journal of Remote Sensing, 19*, *18*, 3473-3497.

Freeman, H. (2003). Evaluation of the use of hyperspectral imagery for identification of microseeps near Santa Barbara, California, *Project 2 Report for Master of Science in Geology*, West Virginia.

Fu, B., Ninomiya, Y., Lei, X., Toda, S., Awata, Y. (2004). Mapping active fault associated with the 2003 Mw 6.6 Bam (SE Iran) earthquake with ASTER 3D images. *Remote Sensing of Environment***,** *92*, 153-157 doi: 10.1016/j.rse.2004.05.019.

Fu, B., Awata Y., Du, J., He, W. (2005). Late Quaternary systematic stream offsets caused by repeated large seismic events along the Kunlun Fault, northern Tibet, *Geomorphology*, *71*, 278–292.

Fuli, Y., Guangwei, X.,Yougui, S., Xiangtao, F., Weiqi, Z., Litao, W. (2004). Determination and implications of the rock physical parameter in the Maergaichaka fault, Tibet, China, using remote sensing data. *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 6,* 4164-4166.

Gad, S., Kusky, T. (2007). GR Letter ASTER spectral ratioing for lithological mapping in the Arabian – Nubian shield , the Neoproterozoic Wadi Kid area , Sinai , Egypt. *Gondwana Research,11,*326-335, doi: 10.1016/j.gr.2006.02.

Gaffey, S. J. (1986). Spectral reflectance of-carbonate minerals in the visible and near infrared (0.35–2.55 microns): calcite, aragonite, and dolomite. *American Mineralogist, 71,* 151–162.

Garcia-Haro, F. J., Sommer, S. (2005). A new tool for variable multiple endmember spectral mixture analysis (VMESMA). *International Journal of Remote Sensing, 26,* 2135-2162.

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.

Gomez, C., Delacourt, C., Allemand, P., Ledru, P., Wackerle, R. (2005). Using ASTER remote sensing data set for geological mapping, in Namibia. *Physics and Chemistry of the Earth, 30,* 97-108, doi: 10.1016/j.pce.2004.08.042.

Guo, L. J., Moore, J. Mc. M. (1996). Direct decorrelation stretch technique for RGB colour composition. *International Journal of Remote Sensing,17,* 1005-1018.

Gupta, R.P., Harıtashya, U.K. Sıngh, P. (2005). Mapping dry/wet snow cover in the Indian Himalayas using IRS multispectral imagery. *Remote Sensing of Environment, 97,* 458–469.

Hewson, R.D., Cudahy, T.J., Huntington, J.F. (2001). Geologic and alteration mapping at Mt Fitton, South Australia, using ASTER satellite-borne data. *International Geosciences and Remote Sensing Symposium 2,* 724–726.

Hewson, R. D., Cudahy, T. J., Mizuhiko, S., Ueda, K., Mauger, A. J. (2005). Seamless geological map generation using ASTER in the Broken Hill-Curnamona province of Australia. *Remote Sensing of Environment, 99,* 159-172.

Hubbard, B. E, Bacon, C. D., Rowan, L. C., and Eppinger, R. G. (2007). Mapping Known and Potential Mineral Occurrences and Host Rocks in the Bonnifield Mining District Using Minimal Cloud- and Snow-

Cover ASTER Data. *Scientific Investigations Report 2007–5289–E*, U.S. Geological Survey.

Hubert-Ferrari, A, Armijo R, King G. C. P., Meyer B, Barka A A. (2002). Morphology, displace- ment, and slip rates along the North Anatolian Fault. *Turkey. J. Geophys. Res. 107*:, 2235.

Iwasaki, A., Tonooka, H. (2005). Validation of a crosstalk correction algorithm forASTER/SIWR. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 43,* 2747−2751.

Jensen, J., R. (1996). *Introductory Digital Image Processing A Remote Sensing Perspective*. PrenticeHall, Englewood Cliffs, NJ, p. 316.

Kalinowski, A., Oliver, S. (2004). ASTER Mineral Index Processing Manual, *Remote Sensing Applications Geoscience,* Australia.

Kariuki, P. C., Van der Meer, F. D., Siderius, W. (2003). Clasification of soils based on engineering indeces and spectral data. *International Journal of Remote Sensing, 12,* 2567-2574.

Kaya, Ş., Şeker, D. Z., Yasa, N. E., Kabdaşlı, S., Tanık, A. (2007). Utility of Remote Sensing Technology for Determining Characteristics of Sandy Beaches. *Clean – Soil, Air, 35,* 654-659, doi: 10.1002/clen.200700116.

Kaya, Ş. (1999**).** Uydu görüntüleri ve sayısal yükseklik modeli kullanılarak Kuzey Anadolu Fayı Gelibolu- Işıklar Dağı kesiminin Jeomorfolojik-jeolojik özelliklerinin incelenmesi. *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kaya, Ş., Müftüoğlu, O., Tüysüz, O. (2004)**.** Tracing the geometry of an active fault using remote sensing and digital elevation model: Ganos segment, North Anotolian Fault Zone, Turkey, *İnternational Journal of Remote Sensing, 25,* 3843-3855.

Ketin, İ. (1948). Uber die Tektonicsh-Mechanischen Folgerun aus der gassen Anatolischen Erdbeben des letzten Dezenniums: *Geol. Rdsch*., *36*: 77-83.

Ketin, İ. (1976). San Andreas ve Kuzey Anadolu Fayları arasındaki bir karşılaştırma. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 19,* 149-154.

Khan, S. D., Glenn, N. (2006). New strike slip faults and litho-units mapped in Chitral (N. Pakistan) using field and ASTER data yield regionally significant results. *International Journal of Remote Sensing, 27,* 4495–4512.

Khan, S. D., Mahmood, K. (2008). The application of remote sensing techniques to the study of ophiolites. *Earth-Science Reviews, 89, 135-143,* doi: 10.1016/j.earscirev.2008.04.004

Koçyiğit, A. (1989b). Suşehri Basin; an active fault wedge basin. *Tectonophysics, 167*, 13-29.

Koçyiğit, A., Türkmenoğlu, A., Beyhan, A., Kaymakçı, H., Akyol, E. (1995). Post Collisional Tectonics of Eskişehir-Ankara-Çankırı Segment of İzmir-Ankara-Erzincan Suture Zone (IAESZ). *Ankara Orogenic Phase, TPJD Bül, 6,* 69-86.

Kruse, F. A., Hauff, P. L. (1990). Remote sensing clay mineral investigations for geologic applications using visible/near-infrared imaging spectroscopy: *Sciences Geologiques, 89*, 43-51.

Kruse, F. A., Lefkoff, A. B., Boardman, J. B., Heidebrecht, K. B. (1993). The Spectral Image Processing System (SIPS) - Interactive Visualization and Analysis of Imaging Spectrometer Data: *Remote Sensing of Environment, Special issue on AVIRIS, 44,* 145-163.

Kruse, F. A. (1994). Imaging Spectrometer Data Analysis - A Tutorial: *in Proceedings of the International Symposium on Spectral Sensing Research (ISSSR), 1,* 44-55.

Kruse, F. A. (2009). Mineral Mapping Using Spectroscopy : From Field Measurements to Airborne and Satellite-Based Imaging Spectrometry. *Arthur Brant Laboratory for Exploration Geophysics,* University of Nevada**,** Reno, Nevada.

Kruse, F. A. (2011). Mapping surface mineralogy using imaging spectrometry. *Geomorphology***,** Invited paper submitted 3/3/2010 for publication in special issue summarizing 41st *International Binghamton Geomorphology Symposium (BGS)*, Columbia doi: 10.1016/j.geomorph.2010.09.

Li, B., Yan, Q., Chieng, C., Wei, Y. (2008). The Accuracy Assessment Experımentof Aster 3d Ortho Product In Beıjıng Area. *The International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences, 37*, 821-827.

Liang S, Fang H, Chen M. (2001). Atmospheric correction of landsat ETM+ land surface imagery – part I: methods. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 39,* 2490–2498.

Liu, J. G., Mason, P. J. (2009). *Essential Image Processing and GIS for Remote Sensing*. Blackwell Scientific Publications,Oxford, Imperial College London.

Lu, D., Weng, Q. (2006). Spectral mixture analysis of ASTER images for examining the relationship between urban thermal features and biophysical descriptors in Indianapolis, Indiana, USA. *Remote Sensing of Environment, 104,* 157-167**,** doi: 10.1016/j.rse.2005.11.015.

Maktav, D., Sunar, F. (1991). **Uzaktan Algılama: Kantitatif Yaklaşım**, Hürriyet Ofset Basımı, İstanbul.

Martinez, P. J., Perez, R. M., Plaza, A., Aguilar, P. L., Cantero, M. C., Plaza, J. (2006). Endmember extraction algorithms from hyperspectral images. *Annals Of Geophysıc, 49*, 93-101.

Massironi, M., Bertoldi, L., Calafa, P., Visonà, D., Bistacchi, A., Giardino, C., Schiavo, A. (2008). Interpretation and processing of ASTER data for geological mapping and granitoids detection in the Saghro massif (eastern Anti-Atlas, Morocco). *Geosphere, 4*, 736−759.

McClusky S, Balassanian S, Barka A, Demir C, Ergintav S. ve diğerleri. (2000). Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *J. Geophys. Res. 105*, 5695–719.

McCubbin I., Green, R., Lang, H., Roberts, D. (1998). Mineral mapping using partial unmixing at Ray Mine, AZ. *Summaries of the 8th JPL Airborne Earth Science Workshop,* 97.

Natraj, V., Shia R. L, Yung, Y. L. (2010). On the use of principal component analysis to speed up radiative transfer calculations. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 111,* 810-816.

Ninomiya, Y., Fu, B., Cudahy, T. J. (2005). Detecting lithology with Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) multispectral thermal infrared "radiance-at-sensor" data. *Remote Sensing of Environment, 99,* 127-139, doi: 10.1016/j.rse.2005.06.009.

Nebert, K. (1962). Serpantin kitleleri arasına sıkışmış bir Neojen blokuna misal olmak üzere Alabarda (Tavşanlı) linyit bölgesi [Alabarda (Tavşanli) lignite district as example of a block to be wedged between the masses os serpentine]. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration Institute (MTA) of Turkey, 58*, 31-37.

Nurlu, M., Batman, B., Chorowicz, J. and Genç, M.A. (1995). A geometrical approach relating to the movement mechanism of North Anatolian Fault Zone, *International Symposium on the Geology of the Black Sea region*, Erler, A., Ercan, T., Ergüzer, B. and Örçen, S. (ed), Ankara, 283-291.

Okada, K., Ishii, M. (1993). Mineral and lithological mapping using thermal infrared remotely sensed data from ASTER simulator. *International Geosciences and Remote Sensing Symposium "Better Understanding of Earth Environment", 93,* 126–128.

Oliver, S., Wielen, S. (2005). Mineral mapping with ASTER, *Geoscıence,* Australia

Oral, B., Reilenger, R. Toksöz, N. M., King, R., Barka, A., Kınık, I., Lenk, O. (1995). Coherent plate motion in the eastern Mediterranean continental collision zone. *EOS*, 1-3.

Özalaybey S, Ergin M, Aktar M, Tapırdamaz C, Biiçmen F, Yörük A. (2002). The 1999 İzmit earthquake sequence in Turkey: seismological and tectonic aspects. *Bull. Seismol. Soc*., 92, 376–86.

Özgüner, K. C., Gökten, E. (2008). Optimum Index Faktör yönteminin çizgisellik tanımada ASTER görüntü üzerine uygulanması; Hatunsaray ve Bozkır (Konya) çevresi örneği. *I.Ulusal Jeolojik Uzaktan Algılama Sempozyumu*, Sivas.

Pavoni, N. (1961). Die Nordanatolisce horizantalverschiebung: *Geol. Rdsch., 51*, 122-139.

Pelle, J. (2010). RGB Color Code according to the Commission for Geological Map of the World (CGMW), Paris, France.

Rowan, L. C., Mars, J. C., Simpson, C. J. (2005). Lithologic mapping of the Mordor, NT, Australia ultramafic complex by using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), *Remote Sensing of Environment, 99,* 105-126, doi: 10.1016/j.rse.2004.11.021.

Rowan, L. C., Mars, J. C. (2003). Lithologic mapping in the Mountain Pass , California area using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data. *Remote Sensing of Environment, 84,* 350-366.

Reilinger, R. E., McClusky S. C., and Oral M. B. (1997). GPS measurements of present day crustal movements in the Arabia-Africa-Eurasia plate collision zone, *J. Geophys. Res., 102,* 9983-9999.

Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Çakmak, R., Özener, H. (2006). GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research, 111,* 26, doi: 10.1029/2005JB004051.

Sabins, F. (1997). *Remote Sensing Principles and Interpretation, third ed*., p. 494. WH Freeman publication, New York.

Sertel, E., Robock, A., Örmeci, C. (2009). Impacts of land cover data quality on regional climate. *International Journal of Climatology,* doi: 10.1002/joc.2036. adres: www.interscience.wiley.com.

Sertel, E., Örmeci, C. (2009). Bölgesel iklim modellemede kullanılan arazi örtüsü verilerinin doğruluğunun araştırılması. *İTÜ Dergisi, 8,* 29-38.

Seymen, İ. (1975). Kelkit vadisi kesiminde Kuzey Anadolu Fay zonunun tektonik özelliği, *Doktora Tezi*, İTÜ Maden Fak., İstanbul.

Singh, A., Harrison, A. (1985). Standardized principal components. *International Journal of Remote Sensing, 6*, 883−896.

Sipahioğlu, S. (1984). Kuzey Anadolu fay zonu ve çevresinin deprem etkinliğinin incelenmesi, *Deprem Araştırma Bülteni*, *Ankara, 45*, 5-138.

Sümer, E Ö., Saner, B T. (2006)**.** Aster Uydu Verisi Uygulamaları Türkiye'den Örnekler, *MTA Special Publication Series,5,* Ankara.

Şaroğlu, F. (1988). Age and offset of the North Anatolian fault, *METU journal of pure and applied sci., 21*, 1-3, 65-79.

Şengör, A. M. C. (1979). The North Anatolian Transform Fault. its age offset and tectonic significance: *J. Geol. Soc. Lond, 136*: 269-282.

Şengör, A.M.C., Görür, N. and Tarodlu, F. (1985). Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape:Turkey as a case study, Strike-slip deformation, basin formation and sedimentation, Biddle, T.R. and Christie-Blick, N. (ed.), *Soc. Econ. Paleontol. Mineral., Special publication, 37,* 227-264.

Şengör, A. M. C., and A. A. Barka. (1992). Evolution of escape-related strike-slip systems: Implication for distributions of collisional orogens (abstract), *Proc. Int. Geol. Congr., 29*, 232.

Şengör, A. M. C., Tüysüz, O., İmren, C., Sakınç, M., Eyidoğan, H., Görür, N. ve diğerleri. (2005). The North Anatolıan Fault: ANew Look, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 33,* 37-112, doi: 10.1146/annurev.earth.32.101802.120415.

Tatar, Y. (1975). Tectonic structures along North Anatolian fault zone, Northeast of Refahiye (Erzincan), *Tectonophysics, 29,* 401-409.

Tatar, Y. (1978). Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Erzincan- Refahiye bölümü üzerinde tektonik incelemeler. *H.Ü. Yerbilimleri,* Ankara, *1-2,* 201-236.

Tatar O. (1996a). Determination of extension directions in naturally deformed limestones within strike-slip fault zones using mi- crofractures: Niksar basin (Turkey) as a case study. *Turk. J. Earth Sci.,5,* 45–53.

Tatar O. (1996b). Neotectonic structures indi- cating extensional and contractional strain within Pliocene deposits near theNWmargin of the Niksar pull-apart basin, Turkey. *Turk. J. Earth Sci., 5,* 81–90.

Tatar, O., Kavak, K.Ş., Polat, A., Gürsoy, H., Koçbulut, F., Sezen, T.F., Mesci, B.L. ve diğerleri. (2006). Kuzey Anadolu Fay Zonu - 1942 Erbaa-Niksar depremi yüzey kırığı: yeni gözlemler. *Aktif Tektonik Araştırma Grubu 10. Toplantısı, Bildiri Özleri Kitabı*, s.85, 2-4 Kasım 2006, İzmir.

Tatar, O., Poyraz, F., Gürsoy, H., Çakır, Z., Ergintav, S., Akpınar, Z., Gürsoy, Ö. ve diğerleri. (2011). Crustal deformation and kinematics of the Eastern Part of the North Anatolian Fault Zone (Turkey) from GPS measurements. *Tectonophysics,* doi: 10.1016/j.tecto.2011.11.010.

Thome, K., Biggar, S., Slater, P. (2001). Effects of assumed solar spectral irradiance on intercomparisons of earth-observing sensors. *Proceedings SPIE, 4540,* 260-269.

Tokay, M. (1973). Kuzey Anadolu Fay zonunun Gerede ile Ilgaz arasındaki kısmında jeolojik gözlemler, *Kuzey Anadolu Fayı ve deprem kuşağı sempozyumu*, Ankara, 12-29.

Van der Meer, F., Vasquez-Torres, M., Van Dijk, P. M. (1997). Spectral characterization of ophiolite lithologies in the troodos ophiolite complex of cyprus and its potential in prospecting for massive sulphide deposits. *International Journal of Remote Sensing, 18,* 1245−1257.

Vicente, L. E., Filho, C. R. S. (2011). Identification of mineral components in tropical soils using reflectance spectroscopy and advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) data. *Remote Sensing of Environment, 115,* 1824-1836, doi: 10.1016/j.rse.2011.02.023.

Watanabe, H., Matsuo, K. (2003). Rock type classification by multi-band TIR of ASTER. *Geosciences Journal, 7*, 347-358.

Woodcock N. H. (1986). The role of strike-slip fault systems at plate boundaries; *Royal Society of London Philosophical Transactions, ser. A*, *317,* 13-29.

Yaltırak, C., Alpar, B., Yüce, H. (1998). Tectonic elements controlling the evolution of the Gulf of Saros (Northeastern Aegean Sea) *Tectonophysics. 300*.1-4, 227-248.

Yaltırak, C., Sakınç, M, Okay, F Y. (2000). Westward propagation of North Anatolian Fault into the northern Aegean: Timing and kinematics. Comment. *Geology, 28,* 87–89.

Yaltırak, C. (2002). Tectonic evolution of the Marmara Sea and its surroundings. *Marine Geology , 190,* 493-529.

Yougui, S., Fuli, Y., Xinjian, S., Xiangtao, S., Weiqi, Z., Shirong, C. ve diğerleri. (2004). Identification of the strike slip system of Maergaichaka fault, Tibet, China, using remote sensing data. *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 5*, 2995- 2997.

Yuhas R. H., Goetz, A. F. H., and Boardman, J. W. (1992). Discrimination among semi-arid landscape endmembres using the spectral angle mapper (SAM) algorithm. *Summaries of the 3rd annu. JPL Airborne Geosci. Workshop, 1,* 147-149.

Zabcı, C., Akyüz, H. S., Karabacak, V., Sançar, T., Altunel, E., Gürsoy, H., Tatar, O. (2011). Palaeoearthquakes on the Kelkit Valley Segment of the North Anatolian Fault , Turkey : Implications for the Surface Rupture of the Historical 17 August 1668. *Turkish Journal of Earth Sciences, 20,* 411-427, doi: 10.3906/yer-0910-48.

Url-1 <*http:// www.ga.gov.au/ausgeonews/ausgeonews200606/aster.jsp* >, alındığı tarih: 23.12.2010.

Url-2 <*http://www.pimausa.com/gifs/SWIR2.GIF*>, alındığı tarih: 23.10.2010.

Url-3 <*http:// www.cnrhome.uidaho.edu/default.aspx?pid=85984*>, alındığı tarih: 15.12.2009.

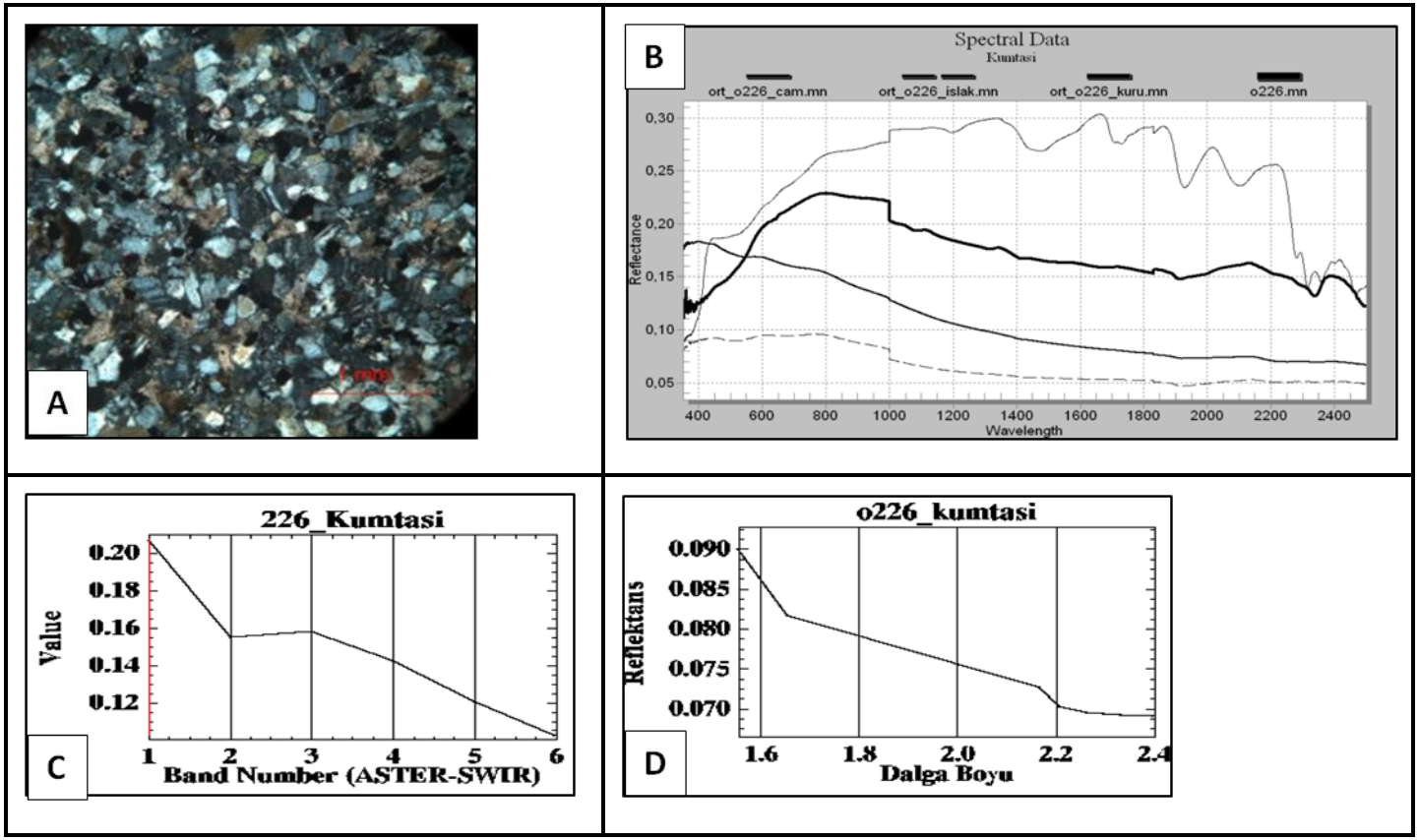
Url-4 <*http:// www.rutgers.edu* >, alındığı tarih: 23.12.2010.

Url-5 <http://*www.exelisvis.com/ProductsServices/ENVI/Tutorials.aspx*>, alındığı tarih: 05.03.2010

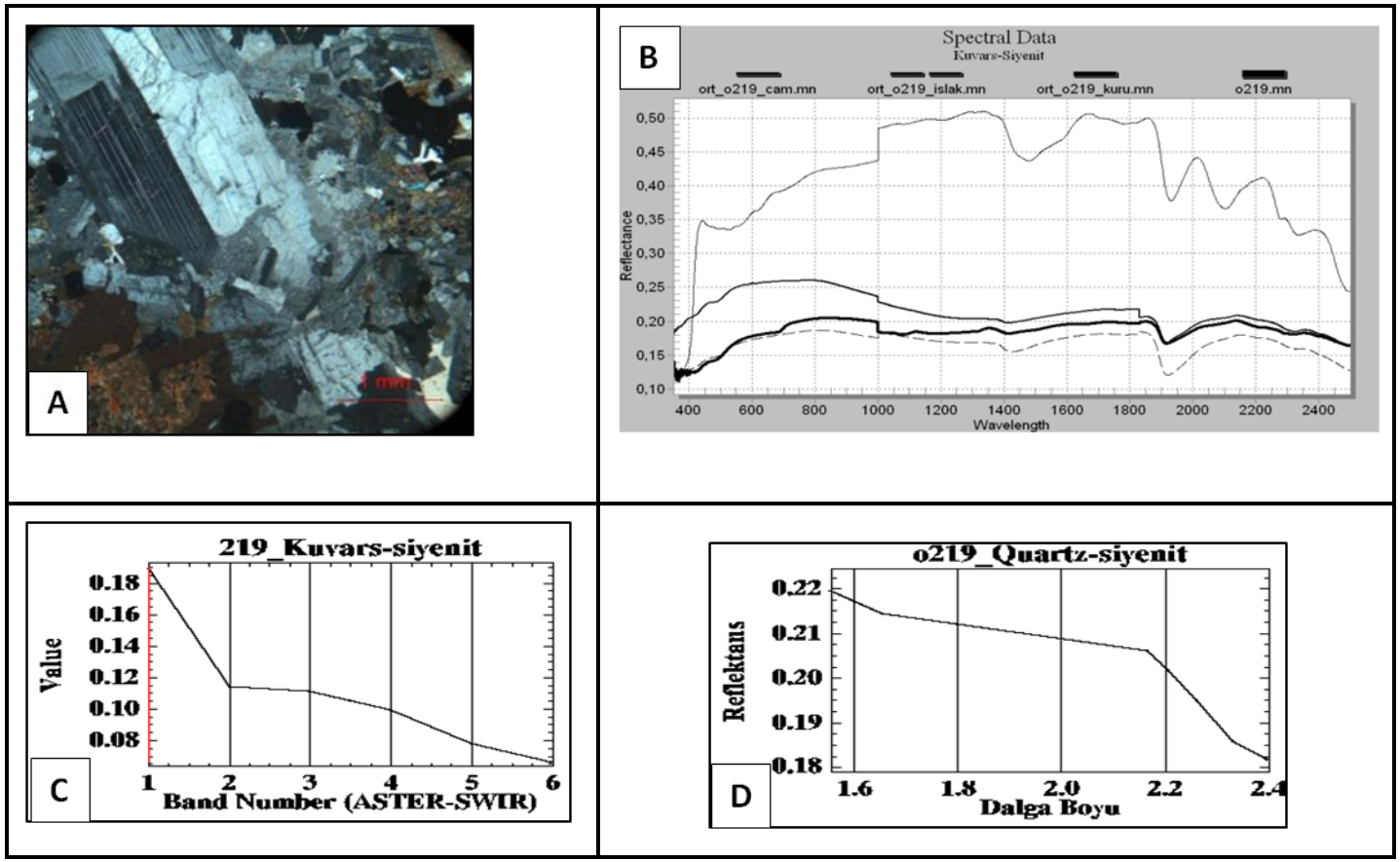
EKLER

EK A: Jeolojik ince kesit şekilleri ve NTRS çizimleri

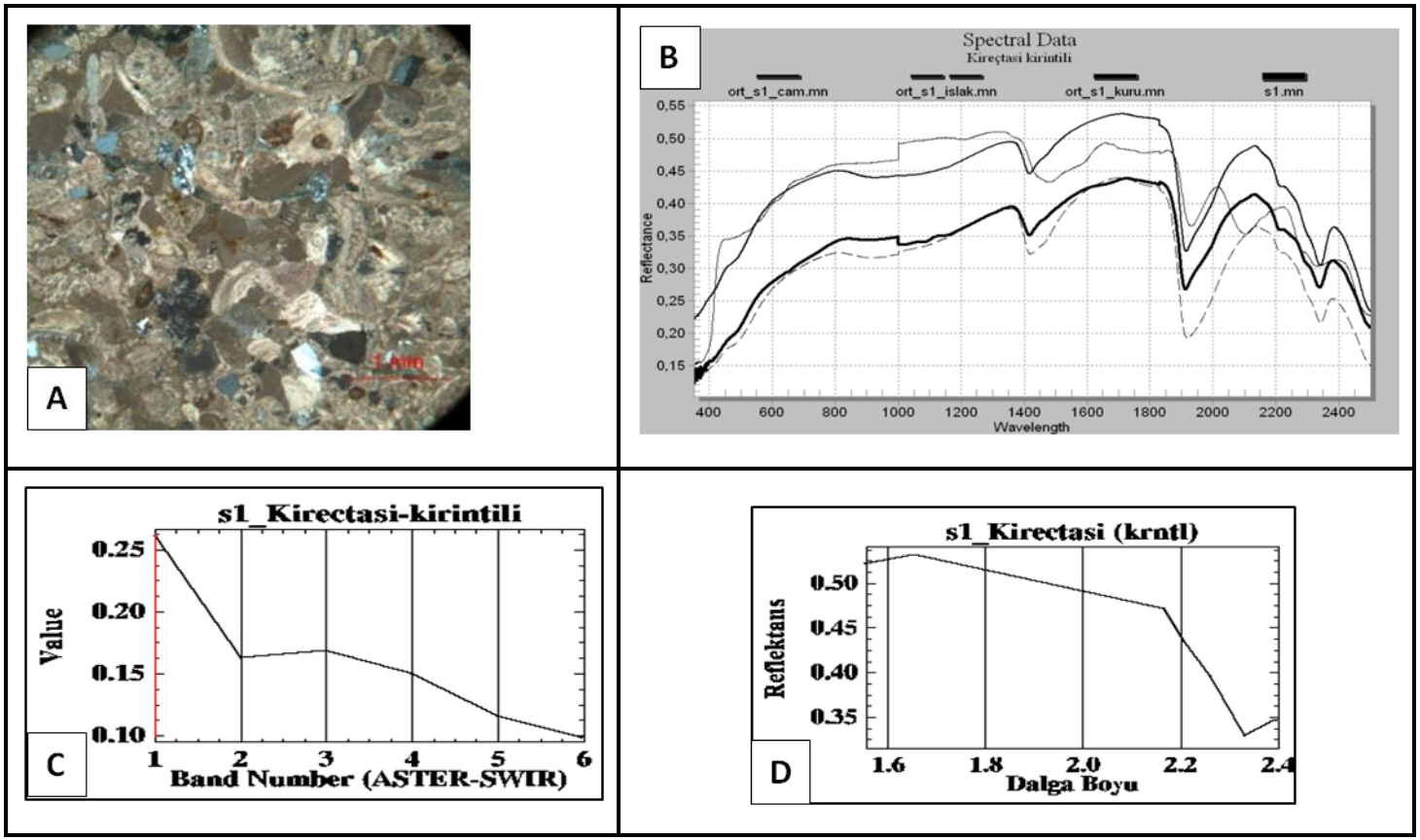
EK A



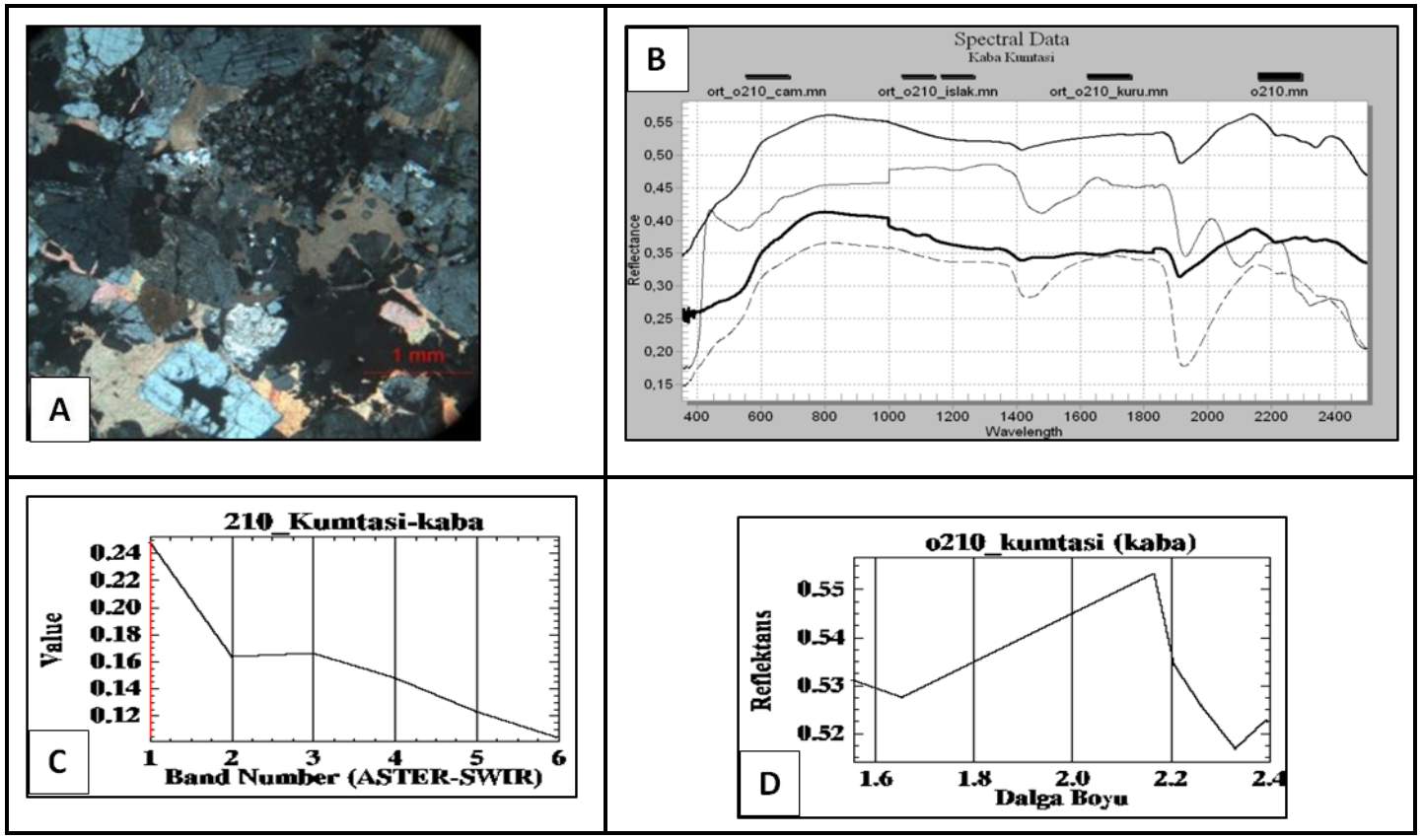
Şekil A.1 : A: 226 Nolu noktadaki kumtaşına ait jeolojik ince kesitin mikroskobik görüntü, kuvars feldispat, volkanik kayaç, opak, kil, altere biotit var B: 226 Nolu noktadaki kumtaşının jeolojik ince kesidine ait cam-ıslak kesit-kuru kesit yansıtım ölçmeleri ile labratuvar ölçme, C: Uydu görüntüsü üzerinden toplanan NTRS yansıtımı, D: Ortalama spektroradyometre ölçmelerinin ASTER SWIR yeniden örneklenmiş hali.



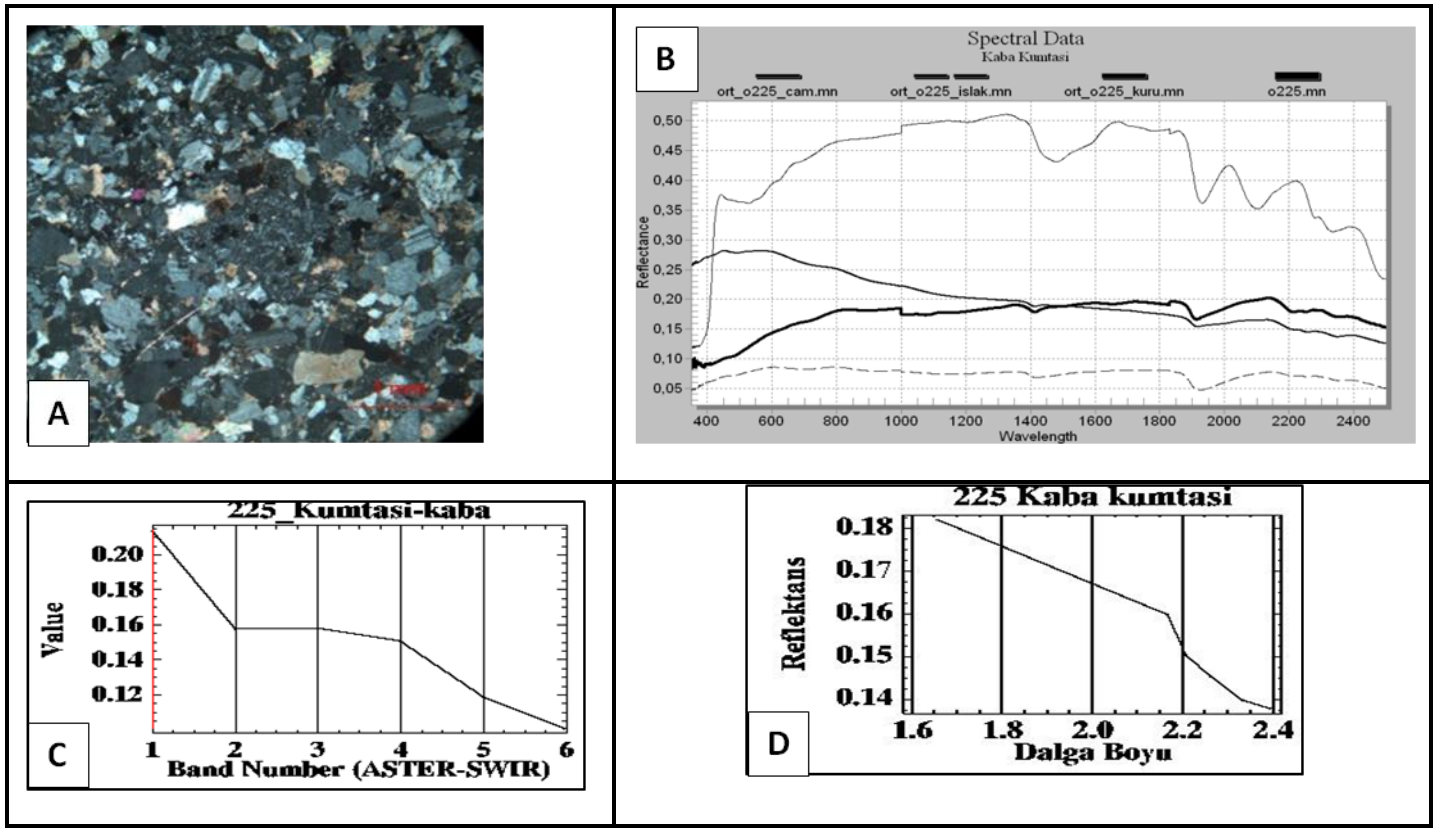
Şekil A.2 : A: 219 Nolu noktadaki kuvars- siyenite ait jeolojik ince kesitin mikroskobik görüntü, kuvars, biotit, klorit, epidot, opak, proksen, apatit var B: 219 Nolu noktadaki kuvars- siyenitin jeolojik ince kesidine ait cam-ıslak kesit-kuru kesit yansıtım ölçmeleri ile labratuvar ölçme, C: Uydu görüntüsü üzerinden toplanan NTRS yansıtımı, D: Ortalama spektroradyometre ölçmelerinin ASTER SWIR yeniden örneklenmiş hali.



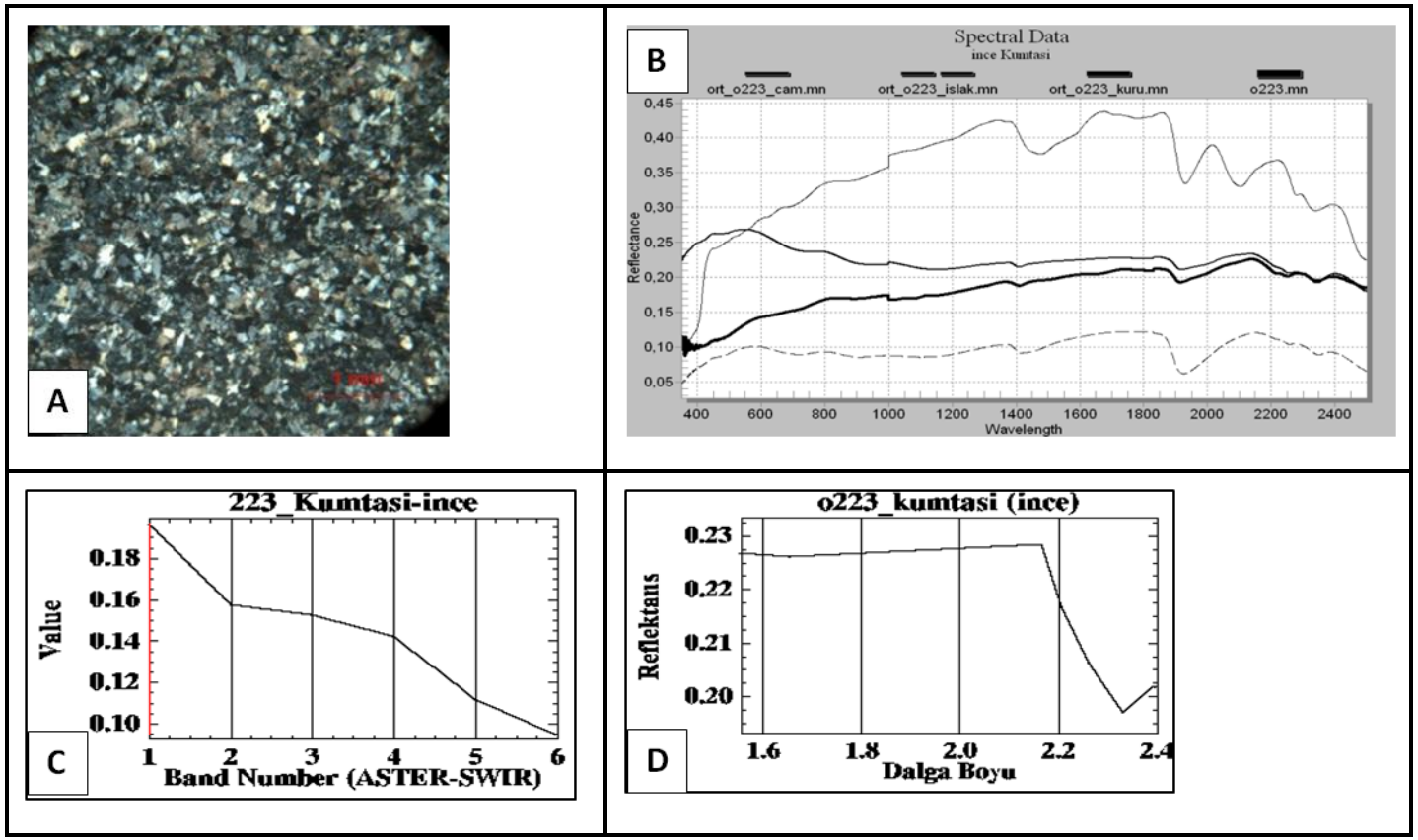
Şekil A.3 : A: S1 Nolu noktadaki kırıntılı kireçtaşına ait jeolojik ince kesitin mikroskobik görüntü, biosperit, kuvars, feldispat, volkanik kayaç parçaları var B: S1 Nolu noktadaki kırıntılı kireçtaşının jeolojik ince kesidine ait cam-ıslak kesit-kuru kesit yansıtım ölçmeleri ile labratuvar ölçme, C: Uydu görüntüsü üzerinden toplanan NTRS yansıtımı, D: Ortalama spektroradyometre ölçmelerinin ASTER SWIR yeniden örneklenmiş hali.



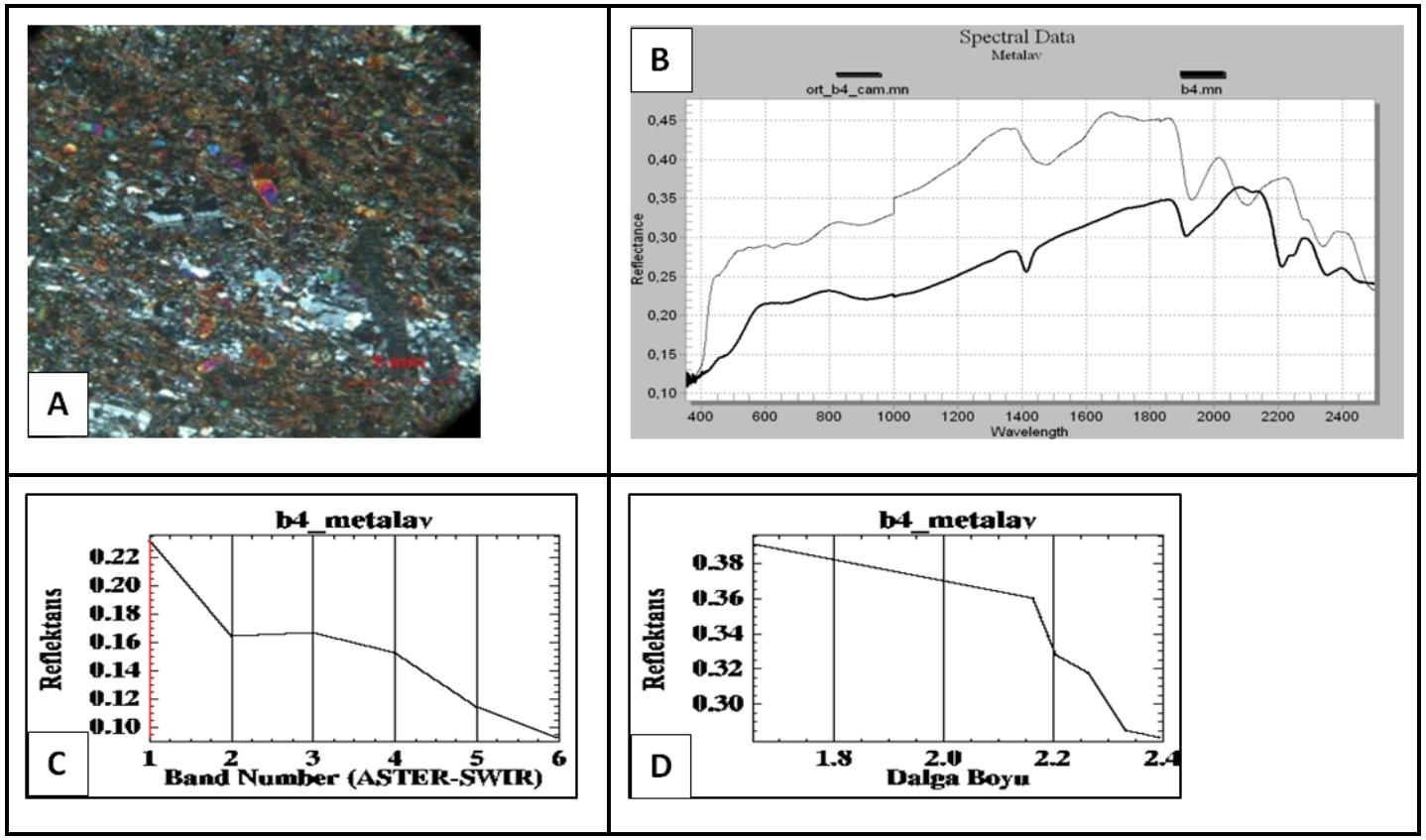
Şekil A.4 : A: 210 Nolu noktadaki kaba kumtaşına ait jeolojik ince kesitin mikroskobik görüntü, biosperit, kuvars, feldispat, volkanik kayaç parçaları opak var B: 210 Nolu noktadaki kaba kumtaşının jeolojik ince kesidine ait cam-ıslak kesit-kuru kesit yansıtım ölçmeleri ile labratuvar ölçme, C: Uydu görüntüsü üzerinden toplanan NTRS yansıtımı, D: Ortalama spektroradyometre ölçmelerinin ASTER SWIR yeniden örneklenmiş hali.



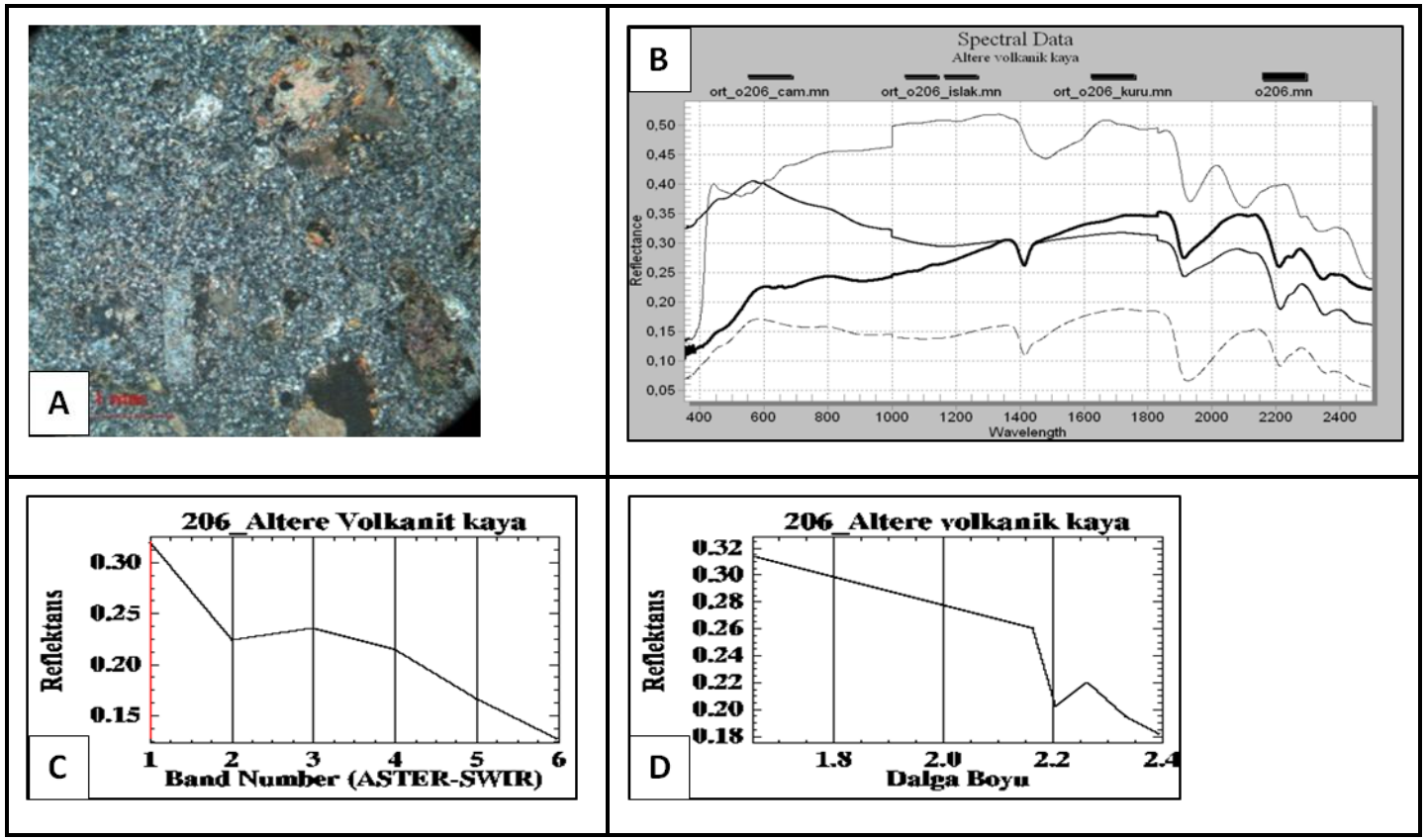
Şekil A.5 : A: 225 Nolu noktadaki kaba kumtaşına ait jeolojik ince kesitin mikroskobik görüntü, biosperit, kuvars, feldispat, volkanik kayaç parçaları opak var B: 225 Nolu noktadaki kaba kumtaşının jeolojik ince kesidine ait cam-ıslak kesit-kuru kesit yansıtım ölçmeleri ile labratuvar ölçme, C: Uydu görüntüsü üzerinden toplanan NTRS yansıtımı, D: Ortalama spektroradyometre ölçmelerinin ASTER SWIR yeniden örneklenmiş hali.



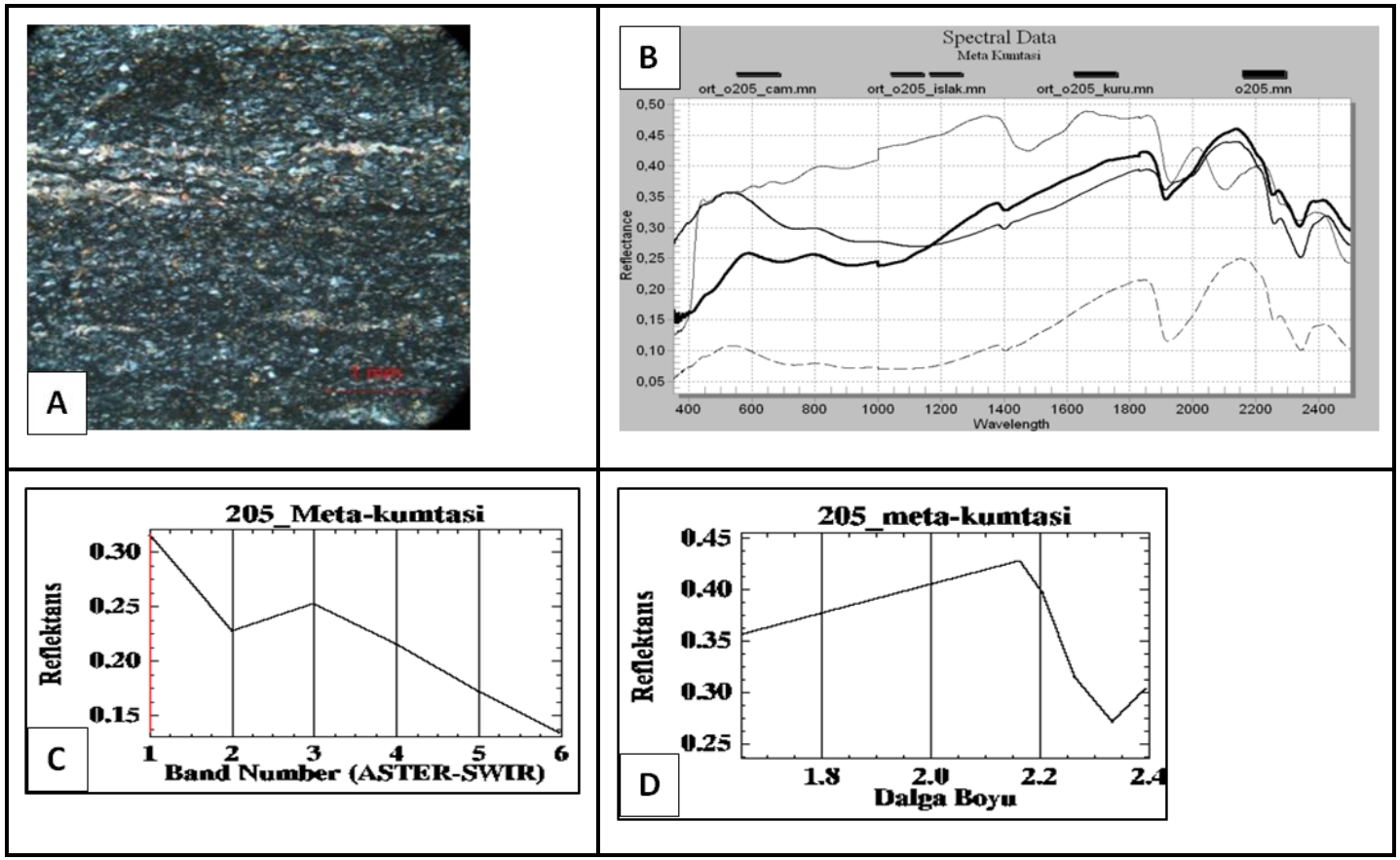
Şekil A.6 : A: 223 Nolu noktadaki ince taneli kumtaşına ait jeolojik ince kesitin mikroskobik görüntü, biosperit, kuvars, feldispat, volkanik kayaç parçaları opak, glakoni, klorit var B: 223 Nolu noktadaki ince taneli kumtaşının jeolojik ince kesidine ait cam-ıslak kesit-kuru kesit yansıtım ölçmeleri ile labratuvar ölçme, C: Uydu görüntüsü üzerinden toplanan NTRS yansıtımı, D: Ortalama spektroradyometre ölçmelerinin ASTER SWIR yeniden örneklenmiş hali.



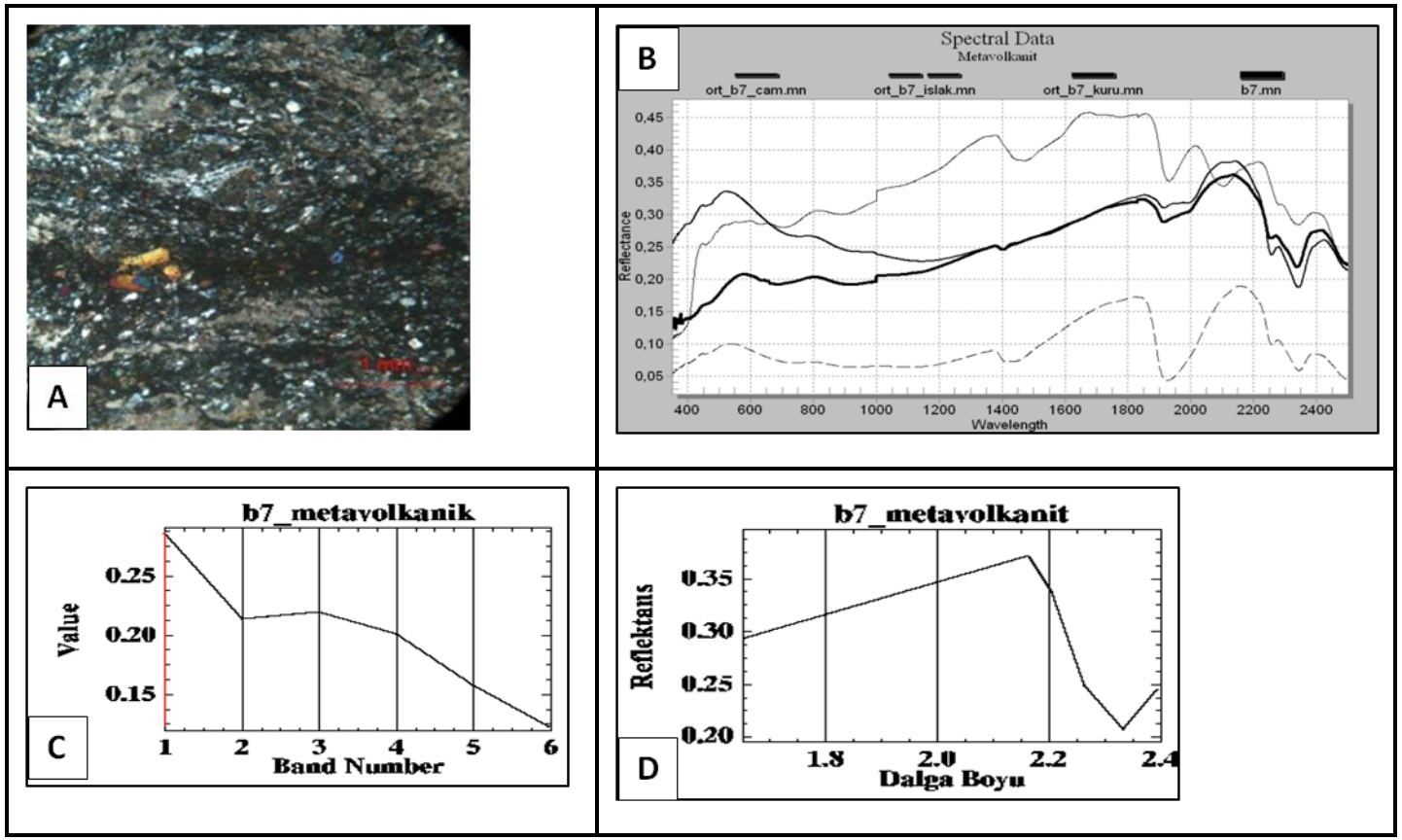
Şekil A.7 : A: B4 Nolu noktadaki metalava ait jeolojik ince kesitin mikroskobik görüntü, epidot, proksen, plagioklas kuvars, klorit ve bazik volkanik var B: B4 Nolu noktadaki metalavın jeolojik ince kesidine ait cam-labratuvar ölçmesi, C: Uydu görüntüsü üzerinden toplanan NTRS yansıtımı, D: Ortalama spektroradyometre ölçmelerinin ASTER SWIR yeniden örneklenmiş hali.



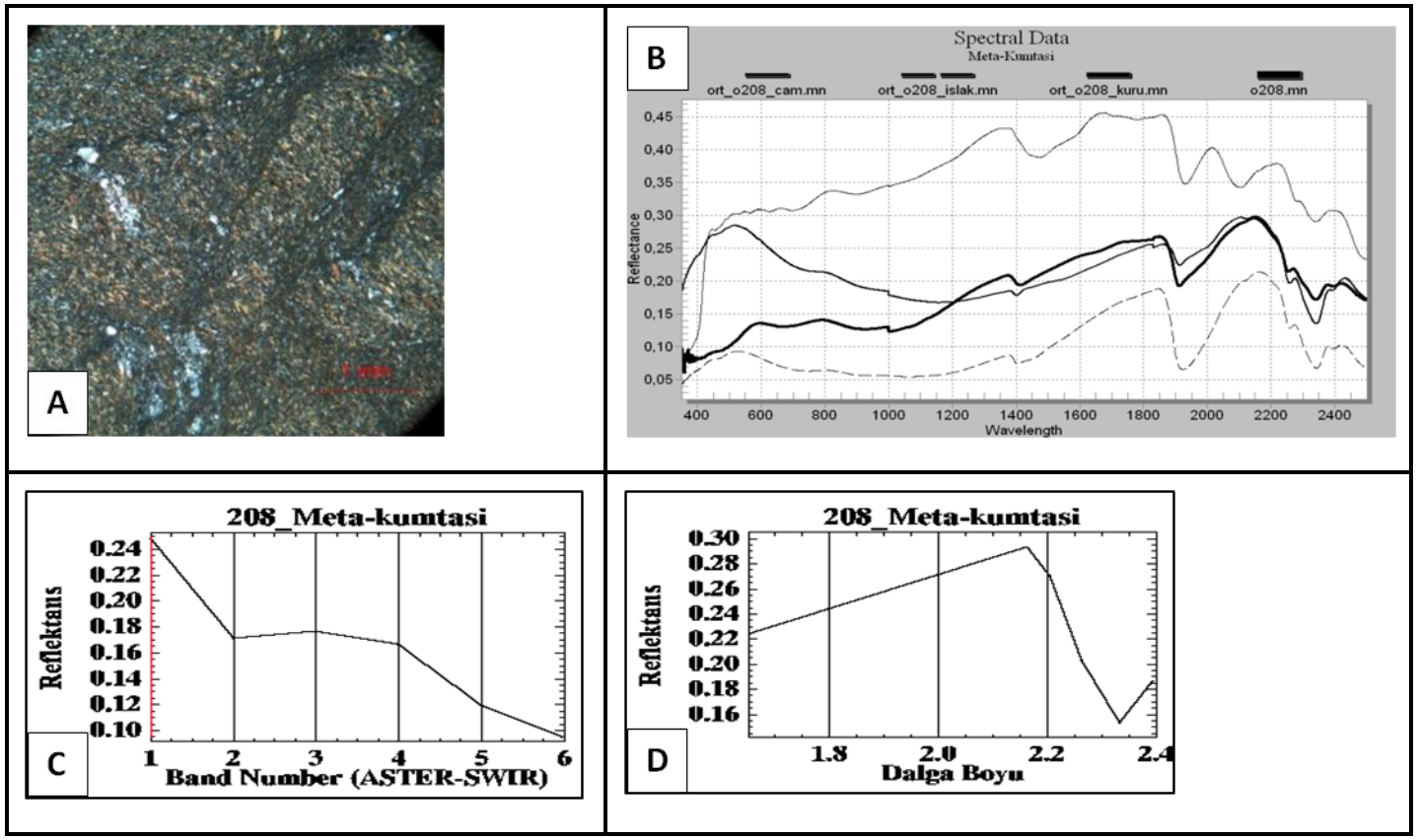
Şekil A.8 : A: 206 Nolu noktadaki altere volkanik kayaya ait jeolojik ince kesitin mikroskobik görüntü, kuvars, klorit ve bazik volkanik var B: 206 Nolu noktadaki altere volkanik kayanın jeolojik ince kesidine ait cam-ıslak kesit-kuru kesit yansıtım ölçmeleri ile labratuvar ölçme, C: Uydu görüntüsü üzerinden toplanan NTRS yansıtımı, D: Ortalama spektroradyometre ölçmelerinin ASTER SWIR yeniden örneklenmiş hali**.**



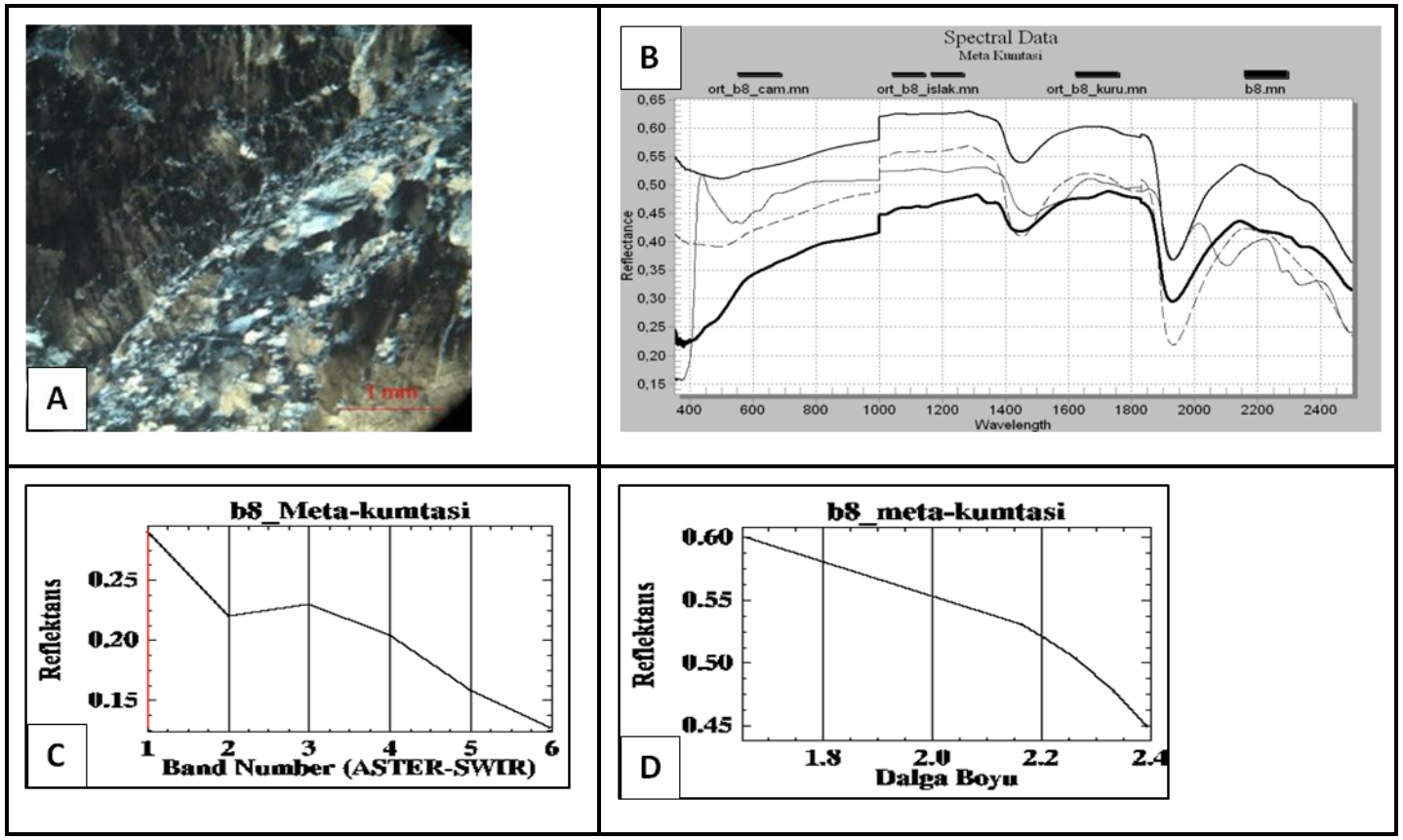
Şekil A.9 : A: 205 Nolu noktadaki meta kumtaşına ait jeolojik ince kesitin mikroskobik görüntü, kuvars, klorit ve bazik volkanik var B: 205 Nolu noktadaki altere meta kumtaşının jeolojik ince kesidine ait cam-ıslak kesit-kuru kesit yansıtım ölçmeleri ile labratuvar ölçme, C: Uydu görüntüsü üzerinden toplanan NTRS yansıtımı, D: Ortalama spektroradyometre ölçmelerinin ASTER SWIR yeniden örneklenmiş hali**.**



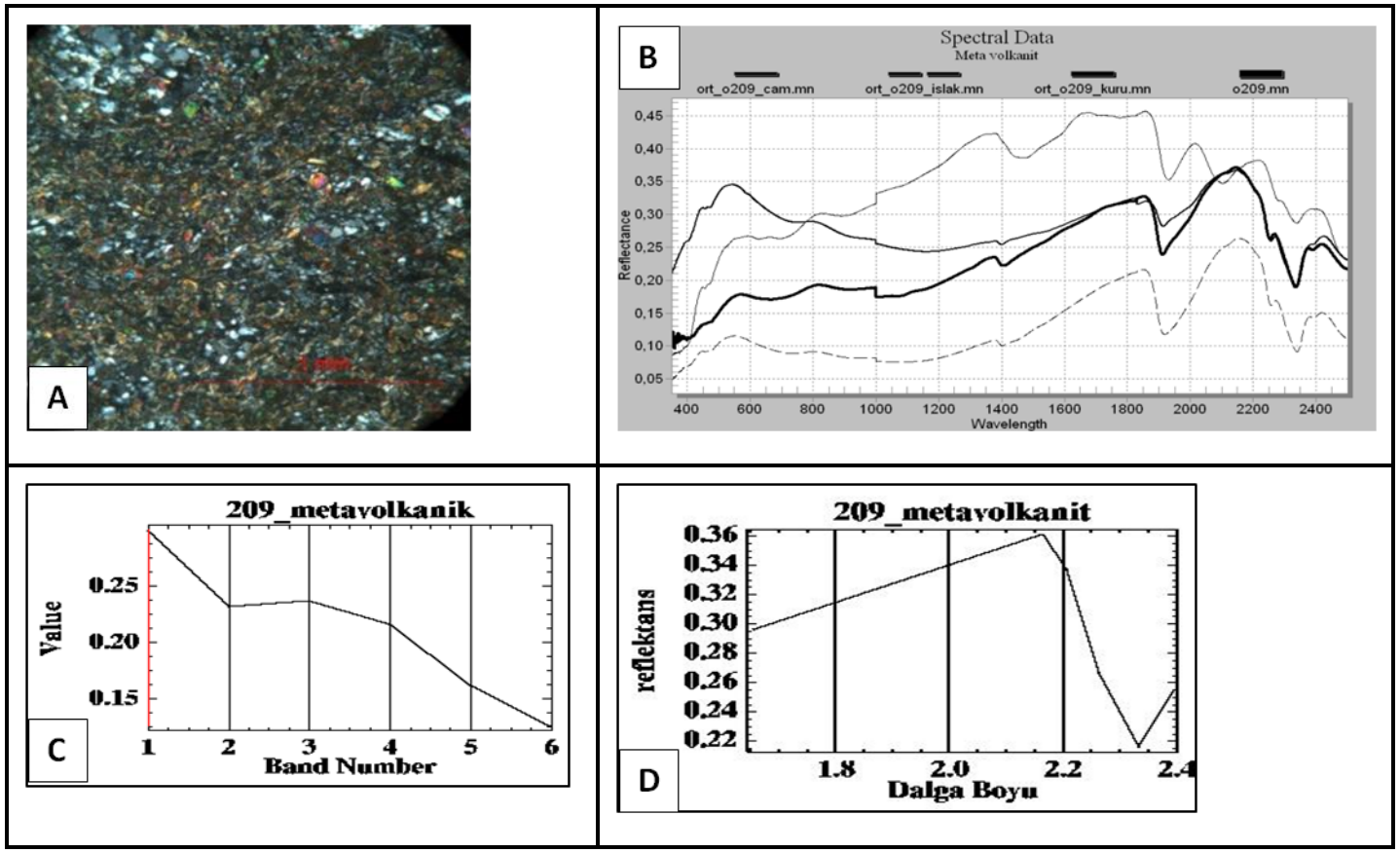
Şekil A.10 : A: B7 Nolu noktadaki metavolkanik kayaya ait jeolojik ince kesitin mikroskobik görüntüsü, kuvars, feldispat, epidot, kalsit, klorit, opak var B: B7 Nolu noktadaki altere metavolkanik kayanın jeolojik ince kesidine ait cam-ıslak kesit-kuru kesit yansıtım ölçmeleri ile labratuvar ölçme, C: Uydu görüntüsü üzerinden toplanan NTRS yansıtımı, D: Ortalama spektroradyometre ölçmelerinin ASTER SWIR yeniden örneklenmiş hali.



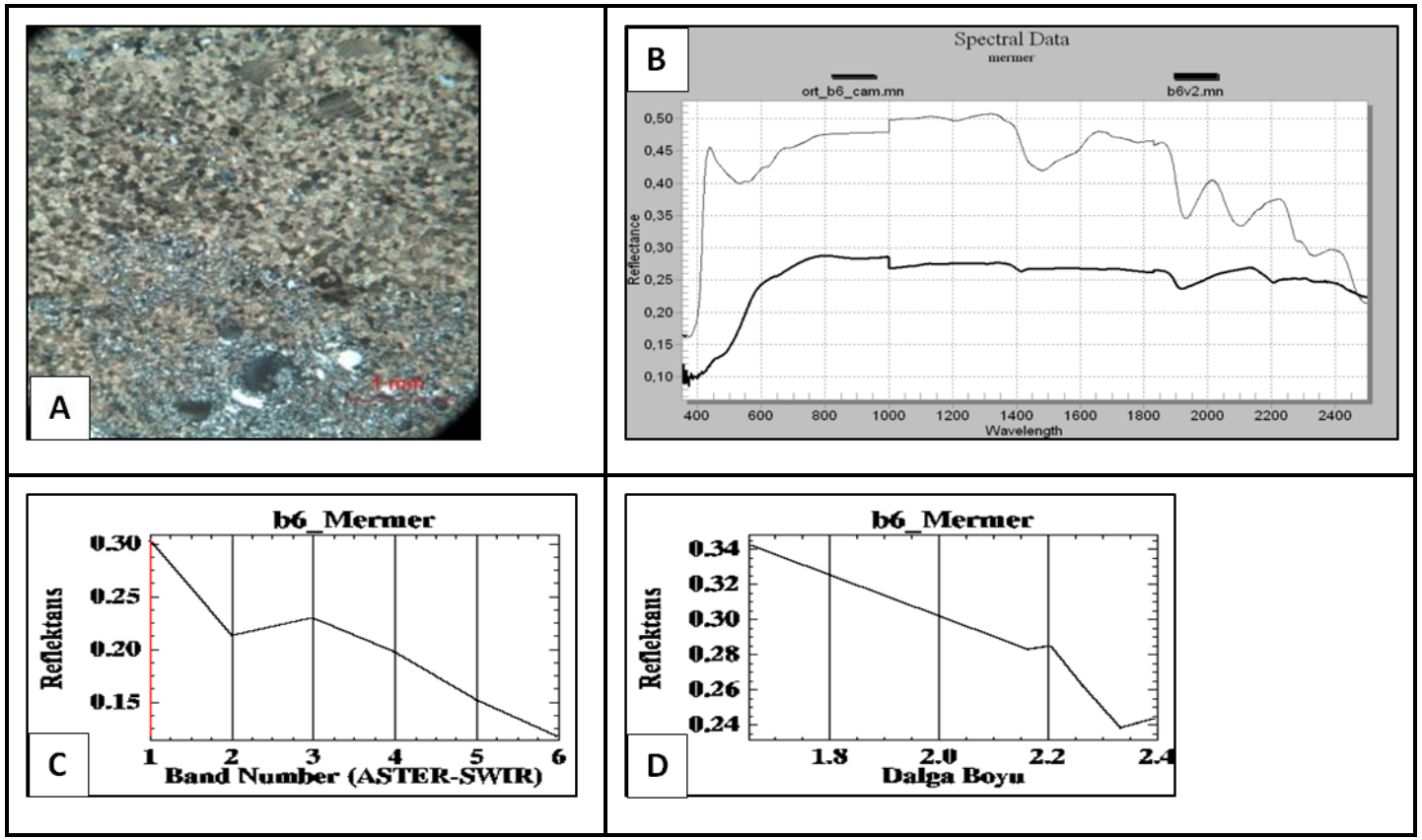
Şekil A.11 : A: 208 Nolu noktadaki metakumtaşına ait jeolojik ince kesitin mikroskobik görüntüsü, kuvars, feldispat, volkanik kayaç, opak var B: 208 Nolu noktadaki metakuimtaşının jeolojik ince kesidine ait cam-ıslak kesit-kuru kesit yansıtım ölçmeleri ile labratuvar ölçme, C: Uydu görüntüsü üzerinden toplanan NTRS yansıtımı, D: Ortalama spektroradyometre ölçmelerinin ASTER SWIR yeniden örneklenmiş hali**.**



Şekil A.12 : A: B8 Nolu noktadaki metakumtaşına ait jeolojik ince kesitin mikroskobik görüntüsü, kuvars, kalsit, demir, opak var B: B8 Nolu noktadaki metakumtaşının jeolojik ince kesidine ait cam-ıslak kesit-kuru kesit yansıtım ölçmeleri ile labratuvar ölçme, C: Uydu görüntüsü üzerinden toplanan NTRS yansıtımı, D: Ortalama spektroradyometre ölçmelerinin ASTER SWIR yeniden örneklenmiş hali.



Şekil A.13 : A: 209 Nolu noktadaki metavolkanite ait jeolojik ince kesitin mikroskobik görüntüsü, kuvars, feldispat, epidot, kalsit, klorit, opak var B: 209 Nolu noktadaki metavolkanitin jeolojik ince kesidine ait cam-ıslak kesit-kuru kesit yansıtım ölçmeleri ile labratuvar ölçme, C: Uydu görüntüsü üzerinden toplanan NTRS yansıtımı, D: Ortalama spektroradyometre ölçmelerinin ASTER SWIR yeniden örneklenmiş hali.



Şekil A.14 : A: B6 Nolu noktadaki mermere ait jeolojik ince kesitin mikroskobik görüntüsü, kalsit, kuvars yoğunluğu kalsit içinde, muskovit, feldispat var B: B6 Nolu noktadaki mermerin jeolojik ince kesidine ait cam ile labratuvar ölçmesi, C: Uydu görüntüsü üzerinden toplanan NTRS yansıtımı, D: Ortalama spektroradyometre ölçmelerinin ASTER SWIR yeniden örneklenmiş hali**.**

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Önder Gürsoy

Doğum Yeri ve Tarihi: 05/01/1979- Yenikarahisar (Sivas- Ulaş)

Adres: Cumhuriyet Üniversitesi Geomatik Müh. Böl. Sivas

E-Posta: oguroy@itu.edu.tr, ogursoy@cumhuriyet.edu.tr

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi Geomatik Mühendisliği Bölümü (2003)

Yüksek Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enst. Geomatik Mühendisliği Programı (2006)

Mesleki Deneyim ve Ödüller: Cumhuriyet Üniversitesi Geomatik Müh. Böl. Araştırma Görevlisi (2005- 2007). İTÜ Geomatik Müh. Böl. (YÖK Kanunu 35. Madde) Araştırma Görevlisi (2007-…).