T. C.
SİVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HEKİMHAN – KULUNCAK – HASANÇELEBİ (MALATYA) ARASINDAKİ BÖLGENİN JEOLOJİSİ VE ALTERASYON ZONLARININ UYDU GÖRÜNTÜLERİYLE İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

Sedat İNAL

(201392082019)

Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kaan Şevki KAVAK

SİVAS

Temmuz 2021

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.

*Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Komisyonu tarafından **M-730** Nolu proje kapsamında desteklenmiştir.*

Bütün hakları saklıdır.
Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Sedat İNAL, 2021

Kıymetli eşim ve biricik oğluma...

ETİK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

13.07.2021

Sedat İNAL

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Bilgi ve deneyimlerinden sürekli yararlandığım, tezin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Kaan Şevki KAVAK'a

Bu tez çalışması süresince bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden Prof. Dr. Ahmet Gökçe ve Doç Dr. Taner Ekici, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden Prof. Dr. M. Lütfi SÜZEN, Çukurova Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden Prof. Dr. Osman PARLAK ve Munzur Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden Doç. Dr. Okay ÇİMEN'e

Tezin hazırlanması esnasında mensubu olmaktan gurur duyduğum, yer bilimleri alanında ülkemizin en etkin kurumu olan, MTA Genel Müdürlüğü'nün tecrübe ve imkanlarını kullanabilmeme vesile olan mesai arkadaşlarım; Jeoloji Yüksek Mühendisleri Haşim AĞRILI, Abdulkerim AYDINDAĞ, Serkan ÖZKÜMÜŞ, Cahit DÖNMEZ ve Faik Engin ORTAÇ'a

Hayatlarımızı birleştirdiğimizden bu yana bana her alanda sonsuz yardım, sabır ve özverisini esirgemediği gibi bu çalışma esnasında da elinden gelen herşeyiyle yanımda olan kıymetli eşim, meslektaşım Dr. Şerife Sevinç DÜNDAR İNAL'a ve sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Komisyonu tarafından M-730 Nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

ÖZET

HEKİMHAN – KULUNCAK – HASANÇELEBİ (MALATYA) ARASINDAKİ BÖLGENİN JEOLOJİSİ VE ALTERASYON ZONLARININ UYDU GÖRÜNTÜLERİYLE İNCELENMESİ

Sedat İNAL

Doktora Tezi
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Kaan Şevki KAVAK
2021, 201+xviii sayfa

İnceleme alanı, Malatya il sınırları içerisinde yer almakta olup, Hekimhan – Kuluncak – Hasançelebi arasında kalan bölgeyi kapsamaktadır. Bölgenin jeolojisi ve alterasyon zonları, gerek klasik jeolojik yöntemler, gerekse de uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak çalışılmıştır.

İnceleme alanı, gerek farklı litolojileri barındırması gerekse de bitki örtüsünün zayıflığı nedeniyle uzaktan algılama çalışmaları için uygun özellikte bir sahadır. Ayrıca, başta demir oluşumları olmak üzere, hidrotermal alterasyon ve nadir toprak elementleri (NTE) açısından da ülkemiz içinde önemli bir farkındalığa sahiptir.

İnceleme alanının jeolojisini yerinde denetlemek ve alterasyon zonlarını tespit etmek amacıyla faklı zamanlarda arazi çalışmaları yapılmıştır. Bu kapsamda sahayı temsil eden kayaç örnekleri alınmıştır. Alınan bu örneklerden, kayaç sınıflaması, kimyasal bileşim, köken tayini ve alterasyon zonlarının tespit edilebilmesi amacıyla; petrografik, X ışınları (XRD), jeokimyasal ve spektral analizler yapılmış ve tüm bu sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Uzaktan algılama çalışmaları kapsamında ise öncelikle, bölgedeki litolojik sınırlarla ve özellikle de alterasyon zonları ile ilişkili olabilecek çizgisellikler ve hâkim doğrultuları belirlenmiştir. Bu amaçla "Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer" (ASTER) uydusunun sayısal yükseklik modeli (SYM/DEM) verileri kullanılarak çizgisellik analizleri yapılmıştır. Sonrasında kayaç örnekleri üzerinde spektral analizler yapılarak, elde edilen sonuçların farklı spektral

kütüphaneler (USGS, JPL, JHU ve Ecostress) kullanılarak, uyumlu kayaç ve mineral karşılıkları tespit edilmiştir.

Çalışmanın diğer bir aşamasında; bant oranlama (BR) yöntemi kullanılarak, ASTER ve Sentinel 2A uydularının görünür-kızılötesi (VNIR) bölgelerinde demir bileşimli oluşumlar tespit edilmiştir. Ayrıca, ASTER kısa dalga – kızılötesi (SWIR) bölgede, sayısal görüntü işleme, temel bileşen analizi (TBA/PCA) ve minimum gürültü oranlaması (MGO/MNF) yöntemleri kullanılarak, inceleme alanında yer alan jeolojik birimler haritalanmıştır.

Son olarak, farklı yaş ve bileşimlerdeki magmatik kayaçların, bölgeye yerleşirken beraberlerinde getirdikleri hidrotermal akışkanların sebep oldukları alterasyon zonları tespit edilmiştir. Bunun için BR, TBA ve Crosta Tekniği gibi farklı yöntemler kullanılarak mineral haritalama çalışmaları yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Sayısal görüntü işleme, Spektral imza, Mineral haritalama, Hidrotermal alterasyon, ASTER, Sentinel 2A, TBA, MGO.

ABSTRACT

THE GEOLOGY OF THE REGION BETWEEN HEKİMHAN - KULUNCAK - HASANÇELEBİ (MALATYA) AND INVESTIGATION OF ALTERATION ZONES WITH SATELLITE IMAGES

Sedat İNAL

PhD Thesis
Department of Geological Engineering
Supervisor: Prof. Dr. Kaan Şevki KAVAK
2021, 201+xviii pages

The study area is located within the provincial borders of Malatya and covers the region between Hekimhan - Kuluncak - Hasançelebi. The geology and alteration zones of the region were studied using both classical geological and remote sensing methods.

The study area is suitable for remote sensing studies due to its different lithologies and the weakness of the vegetation. In addition, it has an important awareness in our country in terms of iron ores, hydrothermal alteration and rare earth elements (REE).

Field studies were carried out at different times in order to inspect the geology of the study area and to determine the alteration zones. In this context, rock samples representing the area were taken. In order to determine the rock classification, chemical composition, origin determination and alteration zones from these samples; Petrographic, X-ray (XRD), geochemical and spectral analysis were performed and all these results were compared with each other.

Within the scope of remote sensing studies, first of all, lineaments and dominant directions that may be related to the lithological boundaries in the region and especially alteration zones were determined. For this purpose, linearity analysis were performed using the digital elevation model (SYM/DEM) data of the "Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer" (ASTER) satellite. Afterwards, spectral analysis were performed on the rock samples, and the corresponding rock and

mineral equivalents of the obtained results were determined by using different spectral libraries (USGS, JPL, JHU and Ecostress).

In another phase of the study; Ferrous compositions were detected in the visible-infrared (VNIR) regions of ASTER and Sentinel 2A satellites using the band ratio (BR) method. In addition, the geological units in the study area were mapped using digital image processing, principal component analysis (TBA/PCA) and minimum noise fraction (MGO/MNF) methods in the ASTER shortwave – infrared (SWIR) region.

Finally, the alteration zones caused by the hydrothermal fluids brought by igneous rocks of different ages and compositions while they were settling in the region were determined. For this, mineral mapping studies were carried out using different methods such as image processing, BR, TBA and Crosta Technique.

Key Words: Digital **i**mage processing, Spectral signature, Mineral mapping, Hydrothermal alteration, ASTER, Sentinel 2A, PCA, MNF.

İÇİNDEKİLER

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR ..... **vii**
ÖZET ..... **viii**
ABSTRACT ..... **x**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **xiv**
TABLOLAR DİZİNİ ..... **xviii**
1. Giriş **1**
1.1 Amaç ve Kapsam 1
1.2 Önceki Çalışmalar 1
1.2.1 Jeolojik çalışmalar 1
1.2.2 Uzaktan algılama (UA) çalışmaları 8
2. MATERYAL VE YÖNTEM **14**
3. JEOLOJİ **22**
3.1 Türkiye'nin Jeolojisi 22
3.2 İnceleme Alanının Konumu ve Bölgesel Jeoloji 25
3.3 İnceleme Alanının Jeolojisi 27
3.3.1 Andırın Formasyonu (dMa) 30
3.3.2 Kuluncak Ofiyoliti (oKk) 31
3.3.3 Hekimhan Formasyonu (Küh) 33
3.3.3.1 Bahçedamı Volkaniti (Kuhb) 33
3.3.4 Konukdere Metasomatiti (Tpkm) 34
3.3.5 Hasançelebi - Kuluncak Siyenotoyidi (Tphk) 35
3.3.6 Boyalı Volkaniti (Tpb) 36
3.3.7 Davuttarla Formasyonu (Td) 37
3.3.8 Ulugüney Formasyonu (Tu) 38
3.3.9 Yamadağ Volkaniti (Tmply) 39
3.3.10 Pliyo-Kuvaterner Çökeller 39
3.4 Yapısal Jeoloji 40
4. BULGULAR **42**
4.1 Petrografik Bulgular 42
4.2 Jeokimyasal Bulgular 49
4.2.1 Volkanik kayaçlara ait jeokimyasal bulgular 55
4.2.1.1 Ana ve iz element analizleri 55
4.2.1.2 NTE analizleri 59
4.2.2 Plütonik kayaçlara ait jeokimyasal bulgular 60
4.2.2.1 Ana ve iz element analizleri 60
4.2.2.2 Nadir toprak elementleri analizleri 66
4.3 XRD Bulguları 68
4.4 Spektral Bulgular 70
4.4.1 Spektroradyometre ölçümleri 70
4.4.2 Spektral Analizler (Eşleştirmeler) 73
5. UZAKTAN ALGILAMA **76**
5.1 Çizgisellik analizi 76
5.2 Görsel yorumlama 79

5.3 ASTER 81
5.3.1 Bant oranlamaları ve kombinasyonlar 84
5.3.1.1 ASTER VNIR bölgede yapılan bant oranlamaları 84
5.3.1.2 ASTER SWIR bölgede yapılan bant oranlamaları 97
5.3.2 Temel Bileşen Dönüşümü 106
5.3.2.1 Kaolinit 109
5.3.2.2 Alunit 110
5.3.2.3 İllit 112
5.3.2.4 Kaolinit - Smektit 114
5.3.2.5 Klorit 115
5.3.3 Minimum Gürültü Oranlama 118
5.3.4 Spektral kum saati akışı 120
5.4 Sentinel-2A 124
6. TARTIŞMA ve SONUÇLAR 132
KAYNAKLAR 138
EK-1 145
ÖZGEÇMİŞ 201

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 ASD TerraSpec Halo Mineral Identifier (350-2500 nm) cihazı. 17
Şekil 2.2 ENVI Spektral Analist modülü yöntem ağırlığı ve eşik değer penceresi... 19
Şekil 2.3 Spektral analist modülünün analiz penceresi..... 20
Şekil 2.4 SAM yönteminde kullanılan vektörlerin matematiksel gösterimi. 20
Şekil 2.5 Analizi yapılan bir spektranın, CR spektrasının görünümü. 21
Şekil 3.1 Neotetis Okyanusu'nun ve etrafındaki kıtaların Kretase'deki görünümü (Dilek ve Furnes, 2019'dan). 22
Şekil 3.2 Türkiye'deki tektonik birlikleri gösteren harita (Okay ve Tüysüz, 1999).. 23
Şekil 3.3 Tez çalışma alanının yer bulduru haritası. 25
Şekil 3.4 İnceleme alanını da içerisine alan bölgesel paleotektonik birlikteliklerin gösterimi (Booth vd., 2014). 26
Şekil 3.5 İncele alanındaki birimlere ait stratigrafik kesit (Yüksel vd., 2013'den değiştirilerek). 28
Şekil 3.6 İnceleme alanının jeoloji haritası (Yüksel vd., 2013'den değiştirilerek). .. 29
Şekil 3.7 Andırın Formasyonu'na ait genel görünümler (a: Kuluncak güneyi, doğudan batıya bakış, b:eğim kazanmış tabakalar, c: dikleşmiş tabakalar, d: dikleşmiş tabaklar yakın görünüm). 30
Şekil 3.8 Kuluncak ilçe merkezi batısında yer alan ofiyolitlere ait genel görünümler. (a: Kuluncak kuzeyinden güneye bakış, ofiyolitlerin genel görünümü, b: Kuluncak merkezde yer alan ofiyolitlerin yakından görünümü) 32
Şekil 3.9 Listvenitlere ait genel görünümler (a: Güvenç köyü civarı, b: Kuluncak kuzeyi). 33
Şekil 3.10 Bahçedamı Köyü civarında yüzeyleyen volkanitlere ait görünümler..... 34
Şekil 3.11 Davulgu köyü civarında volkanik kayaçlara ait görünümler. 35
Şekil 3.12 Çalışma alanında yer alan siyenitik bileşimli kayaçlara ait genel görünümler (a: Bahçedamı kuzeyi b: Başören civarı). 36
Şekil 3.13 Davuttarla Formasyonu'nun farklı seviyelerine ait görünümler (Leylek Dağı güneydoğusu). 37
Şekil 3.14 Ulugüney Formasyonu'na ait görünüm (çalışma alanı kuzeyinden). 38
Şekil 3.15 Hasançelebi civarında yüzlek veren Yamadağ Volkanitleri'ne ait görünümler. 39
Şekil 3.16 İnceleme alanında yer alan önemli faylar. 41
Şekil 4.1 Karbonatlı kayaca ait ince kesit görüntüleri. 44
Şekil 4.2 Kuluncak Ofiyolitine ait ince kesit görüntüleri. 44
Şekil 4.3 Hekimhan Formasyonunun kırıntılı seviyelerine ait ince kesit görüntüleri. 45
Şekil 4.4 Hekimhan Formasyonunun karbonatlı seviyelerine ait görüntüler. 45
Şekil 4.5 Üst Kretase yaşlı altere volkanik kayaçlara ait ince kesit görüntüleri. 46
Şekil 4.6 Üst Kretase yaşlı meta volkanik kayaçlara ait ince kesit görüntüleri. 46
Şekil 4.7 Siyenitik bileşimdeki ince kesit görüntüleri. 47
Şekil 4.8 Monzonitik, diyoritik bileşimdeki ince kesit görüntüleri. 47
Şekil 4.9 Trakit – latit bileşimli kayaca ait ince kesit görüntüleri. 47
Şekil 4.10 Kırıntılı ve karbonatlı kayaçlara ait görüntüler. 48
Şekil 4.11 Yamadağ Volkanitlerine ait ince kesit görüntüleri. 48
Şekil 4.12 İnceleme alanındaki volkanik kayaçların Nb/Y – Zr/Ti diyagramındaki dağılımları (Pearce, 1996). 55

Şekil 4.13 Volkanik kayaçlara ait Nb/Y – Ti/Y diyagramı (MORB: okyanus ortası sırt bazaltı, Th: toleyitik, Trans: geçişli, Alk: alkali, Pearce, 1982). 56
Şekil 4.14 Volkanik kayaçlara ait Nb/Yb – TiO_2/Yb diyagramı (OIB: okyanus adası bazaltları, NMORB: normal okyanus ortası sırt bazaltı, EMORB: zenginleşmiş okyanus ortası sırt bazaltı, Th: toleyitik, Alk: alkali, Pearce, 2008). 57
Şekil 4.15 Tektonik ayrım diyagramları. A: Nb-Zr-Y (Meschede, 1986), B: Ti-Zr-Y (Pearce ve Cann, 1973), C: Zr-Zr/Y (Pearce ve Norry, 1979) ve D: Ti-V (Shervais, 1982). (WPB: plaka içi bazalt, E-MORB: zenginleşmiş okyanus ortası sırt bazaltı, VAB: volkanik yay bazaltı, IAT: ada yayı toleyiti, CAB: kalk-alkalen bazalt, ARC: yay bazaltı, OFB: okyanus tabanı bazaltı). 58
Şekil 4.16 Volkanik kayaçlara ait NTE değerlerinin kondrite göre (Boynton, 1984) normalize edilmiş çoklu element diyagramları. 60
Şekil 4.17 Çalışma alanındaki plütonik kayaçların (Na_2O+K_2O) – (SiO_2) diyagramındaki (Middlemost, 1994) dağılımları. 61
Şekil 4.18 A/CNK [Al_2O_3 / ($CaO+Na_2O+K_2O$)] - A/NK [Al_2O_3 / ($Na_2O+ K_2O$)] diyagramı (Shand, 1943). 61
Şekil 4.19 Na_2O-Al_2O_3-K_2O üçgen diyagramı. 62
Şekil 4.20 AFM diyagramı (Irvine ve Bragar, 1971). 62
Şekil 4.21 Co –Th diyagramı (Hastie ve diğ., 2007). 63
Şekil 4.22 Tektonik ayırım diyagramları (syn-COLG: Çarpışmayla eş yaşlı, WPG: Plaka içi granitleri, VAG: Volkanik yay granitleri, ORG: Okyanus sırtı granitleri. Pearce ve diğ. 1984). 64
Şekil 4.23 Nb / Yb – Th / Yb diyagramı (Pearce, 2008). 65
Şekil 4.24 Nb / Yb – TiO_2 / Yb diyagramı (Pearce, 2008). 65
Şekil 4.25 Plütonik kayaçlara ait NTE değerlerinin kondrite göre normalize edilmiş çoklu element diyagramları (A: inceleme alanının kuzey doğusundan alınan fazla altere olmamış örnekler. B: inceleme alanının orta – güney kesimlerinden alınmış yoğun altere örnekler). 67
Şekil 4.26 Spektroradyometrik ölçümden elde edilen spektral imza ve eşleştirilen mineralleri gösteren sonuç arayüzü. 70
Şekil 5.1 ASTER DEM üzerine K-G doğrultuda ve 45º'lik yükseklik açısıyla ışık düşürülerek tespit edilen D-B uzanımlı çizgisellikler. 76
Şekil 5.2 ASTER DEM üzerine KD-GB doğrultuda ve 45º'lik yükseklik açısıyla ışık düşürülerek tespit edilen KB-GD uzanımlı çizgisellikler. 77
Şekil 5.3 ASTER DEM üzerine D-B doğrultuda ve 45º'lik yükseklik açısıyla ışık düşürülerek tespit edilen K-G uzanımlı çizgisellikler. 77
Şekil 5.4 ASTER DEM üzerine KB-GD doğrultuda ve 45º'lik yükseklik açısıyla ışık düşürülerek tespit edilen KD-GB uzanımlı çizgisellikler. 78
Şekil 5.5 ASTER DEM üzerine bütün ara ve ana yönlerden 45º'lik yükseklik açısıyla ışık düşürülerek tespit edilen çizgiselliklerin tamamı ve ana tektonik hatlar. 78
Şekil 5.6 DEM görüntüsünden elde edilen çizgiselliklerin doğrultularını ve hâkim doğrultuyu gösteren gül diyagramı. 79
Şekil 5.7 Ortak alanlı hava fotoğrafı çifti. 80
Şekil 5.8 Hava fotoğraflarından görsel yorumlama ile elde edilmiş, litolojik ayrım ve yapısal unsurlar haritası. 80
Şekil 5.9 ASTER sensörünün VNIR ve SWIR bölgedeki bantlarına ait yansıma dalga boyu eğrileri. 82
Şekil 5.10 ASTER B2/B1 (Ferrik demir (Fe^{3+}) içeren hematit ve götit) bant oranlaması ve elde edilen sınıflama dağılımı (yeşil noktalar bölgede varlığı bilinen demir zuhur, yatak ve işletmelere ait konumları göstermektedir). 86

Şekil 5.11 ASTER (B5/B3)+(B1/B2) (Ferroz demir (Fe^{2+}) içeren siderit) bant matematiği ve elde edilen sınıflama dağılımı. 86
Şekil 5.12 ASTER B4/B5 (laterit) bant oranlaması ve elde edilen sınıflama dağılımı. 87
Şekil 5.13 ASTER B4/B2 (demir şapka) bant oranlaması ve elde edilen sınıflama dağılımı. 87
Şekil 5.14 ASTER B5/B4 (demir silikatlar) bant oranlaması ve elde edilen sınıflama dağılımı. 88
Şekil 5.15 ASTER B4/B3 (demir oksitler) bant oranlaması ve elde edilen sınıflama dağılımı. 88
Şekil 5.16 ASTER bant oranlamalarıyla elde edilen demir içeren oluşumların toplu dağılımı. 89
Şekil 5.17 ASTER bant oranlamalarıyla elde edilen demir içeren oluşumların toplu dağılımı ve litoloji sınırları. 90
Şekil 5.18 ASTER VNIR bölgede bant oranlamalarıyla elde edilmiş, Malatya K39-a2 paftası demir dağılım haritası. 91
Şekil 5.19 ASTER VNIR bölgede bant oranlamalarıyla elde edilmiş, Malatya K39-a3 paftası demir dağılım haritası. 93
Şekil 5.20 ASTER VNIR bölgede bant oranlamalarıyla elde edilmiş, Malatya K39-b1 paftası demir dağılım haritası. 94
Şekil 5.21 ASTER VNIR bölgede bant oranlamalarıyla elde edilmiş, Malatya K39-b2 paftası demir dağılım haritası. 95
Şekil 5.22 ASTER VNIR bölgede bant oranlamalarıyla elde edilmiş, Malatya K39-b4 paftası demir dağılım haritası. 96
Şekil 5.23 Porfiri bir sistemde hidrotermal alterasyon zonlanması ve bu zonları temsil eden mineraller (Lowell ve Guilbert 1970'den değiştirilerek). 99
Şekil 5.24 ASTER (B4)/(B5+B6+B7) bant matematiği kullanılarak oluşturulmuş sınıflama dağılımı ve bu dağılımla uyumlu litoloji sınırları. 100
Şekil 5.25 ASTER (B5+B7)/(B6) bant matematiği kullanılarak oluşturulmuş sınıflama dağılımı ve jeoloji haritasında bu minerallerle uyumlu litoloji sınırları. 101
Şekil 5.26 ASTER (B4+B6)/(B5) bant matematiği kullanılarak oluşturulmuş sınıflama dağılımı ve jeoloji haritasında bu dağılımla uyumlu litoloji sınırları. 102
Şekil 5.27 Karbonatlı ve mafik minerallerin, netlik için dengelenmiş spektral eğrileri. 103
Şekil 5.28 ASTER (B7+B9)/(B8) bant matematiği kullanılarak oluşturulmuş sınıflama dağılımı ve jeoloji haritasında bu dağılımla uyumlu litoloji sınırları. 104
Şekil 5.29 ASTER (B6+B9)/(B7+B8) bant matematiği kullanılarak oluşturulmuş sınıflama dağılımı ve bu dağılımla uyumlu litoloji sınırları. 105
Şekil 5.30 İnceleme alanına ait görüntülerden alterasyon endeksleriyle tespit edilen minerallerin dağılımları ve ilişkili oldukları litolojiler. 106
Şekil 5.31 Spektral farklılığı fazla olan temel bileşenlerden oluşturulmuş görüntü. 107
Şekil 5.32 Kaolinit mineraline ait yansıma dalga boyu eğrisi ve ASTER bantları. 109
Şekil 5.33 Özvektör istatistiklerine (Crosta vd., 2003) göre kaolinit minerali için tespit edilen TB3'ün -1 ile çarpılması sonucu elde edilen görüntüye, kontrollü sınıflama uygulanarak elde edilmiş kaolinit dağılım haritası. 110
Şekil 5.34 Alunit mineraline ait yansıma dalga boyu eğrisi ve ASTER bantları. ... 111
Şekil 5.35 Crosta tekiniğine göre oluşturulmuş alunit dağılım haritası. 112
Şekil 5.36 İllit mineraline ait yansıma dalga boyu eğrisi ve ASTER bantları. 112
Şekil 5.37 Crosta tekiniğine göre oluşturulmuş illit dağılım haritası. 113
Şekil 5.38 Smektit+Kaolinit için yansıma dalga boyu eğrisi ve ASTER bantları... 114

Şekil 5.39 Crosta tekiniğine göre oluşturulmuş smektit+kaolinit dağılım haritası.. 115
Şekil 5.40 Klorit için yansıma dalga boyu eğrisi ve ASTER bantları. 116
Şekil 5.41 Crosta tekiniğine göre oluşturulmuş klorit dağılım haritası. 117
Şekil 5.42 Crosta tekniğine göre dönüştürülmüş ve sınıflandırılmış mineral dağılım haritası. 118
Şekil 5.43 MNF özdeğer grafiği. 119
Şekil 5.44 Özdeğer grafiğine göre en fazla varyansa sahip MNF bantlarından oluşturulmuş kompozit görüntü ve litoloji sınırları. 120
Şekil 5.45 Spektral Kum Saati akış şeması (Url-6: www.l3harrisgeospatial.com/docs/spectralhourglasswizard.html). 121
Şekil 5.46 Piksel Saflık İndeksi (PPI) hesaplanarak oluşturulmuş, spektral olarak en saf pikselleri vurgulayan görüntü. 122
Şekil 5.47 SAM kullanılarak haritalanmış son üyeler. 123
Şekil 5.48 Sentinel-2 ve ASTER bant yansımalarını ve dalga boylarını karşılaştırmalı gösteren grafik (Salehi vd 2019). 125
Şekil 5.49 Sentinel 2A B4/B3 (Ferrik demir (Fe^{3+}) içeren hematit ve götit) bant oranlaması ve elde edilen sınıflama dağılımı. 126
Şekil 5.50 Sentinel 2A (B12/B8)+(B3/B4) (Ferroz demir (Fe^{2+}) içeren siderit) bant matematiği ve elde edilen sınıflama dağılımı. 127
Şekil 5.51 Sentinel 2A B11/B12 (laterit) bant oranlaması ve elde edilen sınıflama dağılımı. 127
Şekil 5.52 Sentinel 2A B11/B4 (demir şapka) bant oranlaması ve elde edilen sınıflama dağılımı. 128
Şekil 5.53 Sentinel 2A B12/B11 (demir silikat) bant oranlaması ve elde edilen sınıflama dağılımı. 128
Şekil 5.54 Sentinel 2A B11/B8 (demir oksitler) bant oranlaması ve elde edilen sınıflama dağılımı. 129
Şekil 5.55 Sentinel 2A bant oranlamalarıyla elde edilen demir oluşumlarının toplu dağılımı. 129
Şekil 5.56 Sentinel 2A bant oranlamalarıyla elde edilen demir oluşumlarının toplu dağılımı ve litoloji sınırları ile olan ilişkileri. 130
Şekil 5.57 ASTER ve Sentinel 2A oran görüntülerde demirli oluşumların karşılaştırılması. 131

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 4.1 Çalışma sahasını temsil eden örneklere ait petrografik bulgular. 42
Tablo 4.2 Majör oksitlere ait analiz sonuçları (%). 49
Tablo 4.3 İz elementlere ait analiz sonuçları (ppm). 50
Tablo 4.4 Nadir toprak elementlerine (NTE) ait analiz sonuçları (ppm). 52
Tablo 4.5 Metalik elementlere ait analiz sonuçları (ppm). 54
Tablo 4.6 Volkanik kayaçların, petrografik ve jeokimyasal analiz sonuçlarının karşılaştırılması. 59
Tablo 4.7 Plütonik kayaçların jeokimyasal analiz sonuçlarının karşılaştırılması. 65
Tablo 4.8 Litolojileri temsilen seçilmiş örneklerde XRD ile tespit edilen mineraller. 68
Tablo 4.9 Spektroradyometre analizinde tespit edilen mineraller. 71
Tablo 4.10 Spektral analizi yapılan örneklerin diğer analizlerle karşılaştırmalı tablosu. 74
Tablo 5.1 ASTER algılayıcı sisteminin belirgin özellikleri. 82
Tablo 5.2 ASTER bilim ekibi tarafından algoritmalar kullanılarak oluşturulmuş farklı seviye ve tipteki veri ürünleri. 83
Tablo 5.3 Demir içerikli minerallere ait ASTER bant oranlamaları (Kalinowski ve Oliver, 2004). 85
Tablo 5.4 Temel bileşenlerin swir bantlar tarafından yüklemelerini gösteren tablo. 107
Tablo 5.5 TBA'nde kullanlan bantlar (Crosta vd., 2003). 108
Tablo 5.6 Kaolinit minerali için ASTER 1, 4, 6 ve 7 bantlarının TBA sonrası hesaplanan özvektör istatistikleri. 109
Tablo 5.7 Alunit minerali için ASTER 1, 3, 5 ve 7 bantlarının TBA sonrası hesaplanan özvektör istatistikleri. 111
Tablo 5.8 İllit minerali için ASTER 1, 3, 5 ve 6 bantlarının TBA sonrası hesaplanan özvektör istatistikleri. 113
Tablo 5.9 Kaolinit + smektit için ASTER 1, 4, 6 ve 9 bantlarının TBA sonrası hesaplanan özvektör istatistikleri. 114
Tablo 5.10 Klorit için ASTER 1, 5, 7 ve 8 bantlarının TBA sonrası hesaplanan özvektör istatistikleri. 116
Tablo 5.11 MNF dönüşümü yapılmış bantlara ait özdeğer tablosu. 120
Tablo 5.12 Son üyelerin nokta ve % dağılımları. 122
Tablo 5.13 Sentinel 2A uydusunun özellikleri. 124
Tablo 5.14 Demir içerikli minerallere ait Sentinel 2A bant oranlamaları (Kalinowski ve Oliver (2004)'den hesaplanmışlardır). 125

1. GİRİŞ

1.1 Amaç ve Kapsam

Bu tez çalışması kapsamında, Malatya il sınırları içerisinde yer alan Hekimhan, Kuluncak ve Hasançelebi arasındaki bölgede 1/100.000 ölçekli K39 paftasının kuzey kesimlerine karşılık gelen bölge çalışılmıştır. Tezin ana teması bölgenin jeolojik ve uzaktan algılama yöntemi ile alterasyon özelliklerinin ortaya konulması olup, bu bölgenin seçiminde; farklı jeolojik ortam ürünlerini temsil eden litolojilerin yer almasına bağlı olarak alterasyon ve cevherleşmelerin yaygın olarak bulunması ve bitki örtüsü yoğunluğunun görece az olması belirleyici olmuştur. Bu kapsamda, bölgenin litolojik farklılıklarının ortaya konulması, genel tektonik ve yapısal unsurlarının tespit edilmesi ve alterasyon alanlarının belirlenmesiyle, bilinmeyen olası cevherleşme alanlarına ışık tutmak için özellikle görüntü işleme yöntemleriyle yapılan çalışmalar yürütülmüştür. Önceki çalışmalarla da yaygın olarak gözlendiği bilinen alterasyon minerallerinin ve buna bağlı olarak da zonlarının belirlenmesi adına hem sahada hem de büro ve laboratuvarda birbirlerini destekler nitelikte çalışmalar bütünleştirilmiştir.

Tez kapsamında yapılan bu çalışmalar; geleneksel jeolojik çalışmaların uzaktan algılama çalışmalarıyla yoğun olarak desteklenmesi temeline dayanmaktadır. Geleneksel olarak saha çalışmaları kapsamında haritalama, tabaka ve yapıların durumlarının ölçümü, kayaç örneklerinin alınması gibi çalışmalar yürütülmüştür. Sonrasında, araziden alınan örnekler üzerinde petrografik tanımlamalar, jeokimyasal analizler ve XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Uzaktan algılama çalışmalarında ise sahaya ait çeşitli özelliklerdeki uydu görüntülerinden faydalanılmıştır. Görüntü işleme teknikleri ile elde edilen veriler, araziden ve laboratuvardan elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Bu doktora tezinin en önemli bölümlerinden birisi olarak ayrıca ayrıntılı arazi ve görüntü spektralarının karşılaştırılması çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

1.2 Önceki Çalışmalar

1.2.1 Jeolojik çalışmalar

Çalışma alanımız yakın civarında yer alan demir oluşumları nedeniyle keşfedildiği yıllardan beri araştırmacılar tarafından hem bölgenin jeolojisinin ortaya konulması hem de maden jeolojisi açısından sürekli ilgi görmüş ve çalışılmıştır. Çalışmacılar

bölgede bulunan Jura-Kretase yaşlı ofiyolitleri, havzada çökelmiş yerli çökel kayaları, farklı dönemlerdeki farklı bileşimlere sahip magmatizma ve volkanizmaların oluşum süreç ve kökenlerini, gerek birbirleriyle gerekse diğer kayaçlarla olan ilişkilerini, havzanın oluşum modellerini ve bölgenin tektonizmasıyla birlikte gelişen alterasyon süreçlerini çözümlemeye yönelik çalışmalar yapmışlardır.

Jacobson vd. (1971); K39-b1 ve b2 paftalarını çalışmışlardır. Çalışmalarında bölgenin jeolojisini anlatırken; tabakalı kayaçlar, mafik volkano-sedimanter kayaçlar, metasomatik mafik kayaçlar, trakitik volkanikler, masif ve tabakalı kalkerler, Tersiyer yaşlı volkano-sedimater kayaçlar ile olivin bazaltlardan bahsetmişleridr. İntrüzif kayaçlar başlığı altında ise serpantin, peridotit, gabro topluluğu, siyenit, metasomatizma ürünleri ile diyabaz dayklarını incelemişlerdir.

Leo vd. (1971), bölgede yapılan ilk kapsamlı çalışmalardan birisini gerçekleştirmiştir. Malatya K39-a1 ve a2 paftalarını çalışmışlardır. Sahada Orta Kretase ile Genç Tersiyer yaşlı sedimanter, plütonik ve volkanik kayaçların bulunduğuna dikkat çekmişlerdir. Yerleşme yaşı bilinmeyen bir serpantinit ve gabro kompleksinin varlığından söz etmiştir. Bunların üzerine, konglomera, tüflü kumtaşı, silisifiye tüf, karbonat, dolomit, çamurtaşı ve silttaşından oluşan Tohma Grubu ve Üst Kretase yaşlı bir istif ve kırıklı ve çörtlü kireçtaşlarından oluşan masif bir birim çökeldiğini (Karapınar Dere Kalkerleri) belirtmişlerdir. Tohma Grubu'nda alkali diabaz sillerinin varlığından bahsederek trakit-trakiandezitlerin kalın bir yayılım sunduğunu ifade etmişlerdir. Karapınar Dere Kalkerleri içinde olası bir alkali siyenit sokulumundan bahsetmişlerdir. Stratigrafik olarak bunlardan sonra, Nummulitler bakımından zengin, tabakalı ve muhtemelen erken Eosen yaşlı kireçtaşlarından (Çaltepe Kalkerleri) ve Orta-Üst Eosen yaşlı bir konglomera, kumtaşı ve kireçtaşından (İnceciğin Dere Sedimanter Sekansı) oluşan bir istifin olduğu da belirtilmiştir. Bunların üzerinde, Eosen sonrası mafik ve volkanik kayaçlarla bunların üzerine de tatlı su kalkerleri (Yapalaklı Tepe) ve ince tabakalanma gösteren sedimanter kayaçların (Özbek Dolomitleri) bulunduğu ifade edilmiştir. Ayrıca, kısmen pekişmiş Geç Tersiyer ve Kuvarterner çökellerinden de bahsedilmiştir.

Sahadaki tektonizma ile ilgili olarak; çok sayıda tali fayın varlığından bahsederken hakim yönelimin kuzeybatı gidişli fay zonu olduğu söylenmiştir. Serpantinitlerde farklı zamanlarda meydana gelen yükselmelerin ve tektonik olarak taşınmalarının bu fay zonu ile ilgili olduğundan bahsedilmiştir. Tohma Grubu'na ait konglomera ve

serpantinitlerin sahanın güney batı kısmında, büyük atımlı, batı-kuzeybatı gidişli faylar tarafından kesildiği ifade edilmiştir.

Bilinen maden yataklarının, genellikle küçük ve önemsiz olmalarına rağmen, bazılarında uzun senelerdir işletme yapıldığından bahsedilmiştir. Serpantinitler üzerine gelen silika-karbonat ayrışma kabukları içinde lokal manyetit oluşumlarından ve serpantin içinde de küçük ve dağınık halde bulunan kromit yataklarının varlığından söz edilmiştir. Kurşun-çinko yataklarının, trakit daykları ile serpantinler arasındaki kırıklı dokanaklarda geliştiği ifade edilmiştir.

Leo vd. (1974); Kuluncak ve Sofular arasından aldıkları kayaç örneklerini K/Ar yöntemiyle radyometrik olarak yaşlandırmışlar ve Leo vd., (1971)'de belirtilen yaşlar ile uyumlu olduklarını söylemişlerdir. Ayrıca genç volkaniklerde saptadıkları radyometrik yaşların, çalışma alanlarının doğusunda yüzeyleyen Yamadağ Volkanitleri için de geçerli olabileceğini belirtmişlerdir.

İzdar ve Ünlü (1977); Hekimhan – Hasançelebi - Kuluncak bölgelerinde yaptıkları çalışmalarda bölgede tabanda, dolomitleşmiş kristalize kireçtaşları ve yarı-mermerler ile serpantinitlerle yakından ilgili pembe kireçtaşları ve radyolaritlerin bulunduğunu belirtmişlerdir. Onların üzerinde, Üst Kretase transgresyonu ile başlayan ve Eosen içinde de devam eden çeşitli litolojik birimlerin bulunduğunu ve en üstte ise Tersiyer yaşlı çeşitli kırıntılılar, marn ve kireçtaşları ile Geç Tersiyer evaporitlerinin bulunduğunu ifade etmişlerdir.

Yılmaz (1991); bölgede en yaşlı birim olarak Maestrihtiyen öncesi yaşlı Kuluncak ofyolitli karışığını tespit etmiştir. Maestrihtiyen yaşlı Uludere Formasyonu'nun, birbirleriyle yanal geçişli Buldudere ve Dinekkaya Üyeleri'nin yanısıra Bahçedamı Volkaniti olmak üzere üç üyeden oluştuğunu ve Kuluncak ofyolitli karışığını uyumsuz olarak örttüğünü söylemiştir. Filişimsi kayaçlardan oluşan Maestrihtiyen yaşlı Kavakdere Formasyonu, Uludere Formasyonu üzerinde uyumlu olarak yer almakta ve Üst Maestrihtiyen yaşlı Ardahan Formasyonu ile uyumlu olarak örtülmektedir. Ardahan Formasyonu ise Paleosen-Eosen yaşlı Davuttarla formasyonu ile uyumlu olarak örtülmektedir. Uludere, Kavakdere, Ardahan ve Davuttarla Formasyonları ayrıca Hekimhan Grubu olarak tanımlanmıştır. Hasançelebi granitoyidi ve bunun volkanik-subvolkanik eşdeğeri olan Karadağ Volkaniti ile Konukdere Metasomatik birimi Paleosen yaşlı olarak kabul edilmişleridir. Neojen yaşlı Yamadağ Volkaniti

alttan üste doğru Leylekdağ Andeziti ve Koçasar Bazaltı olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Pliyosen yaşlı Ciritbelen Formasyonu ise en genç birim olarak kabul edilmiştir.

Bozkaya ve Yalçın (1992); Toros kuşağının doğu ucunda yer alan Hekimhan havzasında Üst Kretase-Alt Miyosen yaşlı uyumlu bir istif bulunduğunu, bu dizilimin temelinde Üst Jura-Alt Kretase yaşlı karbonat kayaçları ve Üst Kretase yaşlı tektonik dokanaklı ofiyolitik serinin yer aldığını ifade etmektedirler. Üst Kretase, türbiditler ve bunlarla yanal geçişli organik resifal kireçtaşları ile başlamakta, filiş fasiyesindeki volkanosedimanter türbiditlerle devam etmekte ve kimyasal kireçtaşlarına geçmektedir. Tersiyer ise; Alt Paleosen'de evaporitik seri, Üst Paloesen-Alt Oligosen'de kimyasal-biyokimyasal karbonat kayaçları, Üst Oligosen-Alt Miyosen'de genellikle klastik kayaçlar ile temsil edilmektedir. Bu denizel istif, Orta-Üst Miyosen yaşlı karasal volkanizmanın ürünleri ile örtülmektedir. Bölgedeki tektonik öğeleri; uyumsuzluklar, K-G yönlü sıkışma rejimine bağlı olarak gelişmiş K-G yönlü normal faylar, D-B yönlü kıvrım eksenleri ve bindirmeler ile KD-GB yönlü doğrultu atılımlı faylar oluşturmaktadır.

Boztuğ ve Yılmaz (1992); Hekimhan-Hasançelebi (KB Malatya) yöresinde varlığı bilinen ve düşük tenörlü demir cevherleşmesi içeren Konukdere Metasomatiği'nin gelişimini araştırmışlardır. Maestrihtiyen yaşlı bazalt, bazaltik andezit, andezit ve dasit türü kayaçlardan oluşan subalkalin-toleyetik karakterli yay volkanizması ürünü olan Bahçedam Volkanitine sokulum yapan Paleosen yaşlı granit, kuvars-siyenit ve pertit-siyenit türü kayaçların alkalilerce aşırı doygun, felsik I- tipi ve çarpışma ile ilgili tektojeneze sahip olan Hasançelebi Granitoyidi'nin yol açtığı kontakt metasomatik zonun ürünü olarak geliştiğini söylemişlerdir.

Uçurum (1992); Hekimhan Ofiyoliytli Karışığı'nın (Üst Kretase öncesi) çalışma alanının temelini oluşturduğunu ve altere bazalt ve bazaltik andezit içeren, Kızıltepe Volkaniti'nin (Üst Kretase) bir ada yayı volkanizması olduğunu belirtmiştir. Bu birimin üzerine çörtlü ve oldukça fazla demir içerikli Üst Kretase yaşlı Akçaltepe Formasyonu'nun geldiğini ve Paleosen yaşlı Çatalkoyak Siyeniti'nin tüm bu birimleri keser konumda olduğunu ifade etmiştir. Sedimanter istifin, transgresif olarak neritik ortamda çökelmiş, marn-kiltaşı-kireçtaşlarından oluşan Yoncalıkoyak Formasyonu (Eosen) ile başladığını, deltaik-sığ denizel ortamı karekterize eden kireçtaşı ara bantlı kırmızı renkli kiltaşı-marn-kumtaşı-çakıltaşı ardalanmasından oluşan Oligosen yaşlı Ulugüney Formasyonu ile son bulduğu belirtilmiştir. Sedimanter birimler üzerine

uyumsuzlukla Obuz Riyoliti, Kale Volkaniti, Başkınık Piroklastikleri ve Miyosen-Pliyosen yaşlı Yamadağ Volkaniti'ne dahil olan Susuzdağ Volkaniti'nden oluştuğu ifade edilmiştir.

Gürer (1992); havzanın temelini Geç Kampaniyen'de İç Torid Okyanusu'ndan kuzeyden güneye aktarılan, Mesozoyik yaşlı Hocalıkova Ofiyoliti oluşturur. Geç Kampaniyen - Erken Maestrihtiyen'de Karadere Formasyonu ofiyoliti uyumsuzlukla örter. Üst Kampaniyen - Üst Maestrihtiyen yaşlı Hekimhan Formasyonu tektonik aktivite ile denetlenen ve gittikçe derinleşen bir ortamda transgresif çökelmiştir. Alkali karakterli Hasançelebi Volkanitleri Hekimhan Formasyonu ile eş yaşlıdır. Bunları stok ve dayklarıyla kesen yine alkali karakterli Yüceşafak Siyenitoyidi kontak metamorfizma ve metasomatizmaya yol açarak Davulugu Metamorfitini oluşturmuştur. Orta - Geç Maestrihtiyen'de Hüyük kireçtaşı çökelmiştir. Geç Maestrihtiyen'de Zorbehan dolomiti oluşmuştur. Bölgedeki ekonomik demir yatakları ise havzanın gelişme evresinde, Geç Maestrihtiyen'de oluşmuştur. Alt Paleosen - Orta Eosen yaşlı Akpınar Formasyonu havzanın kuzeyinde Hasançelebi Volkanitleri üzerinde uyumsuzlukla transgresif olarak başlar. Havzanın güney kesimlerinde Yukarı Selimli Diyoriti ve bununla ilişkili kalkalkalen, karasal Leylek Volkanitileri gelişmiştir. Yine bu dönemde, diyoritik plüton ve Üst Kretase yaşlı Hüyük Kireçtaşı kontağında Gala Mermeri oluşmuştur. Oligosen - Erken Miyosen'de Kamatlar Formasyonu çökelmiştir. Erken Miyosen'de çökelen Boyralı Kireçtaşı bölgenin güneyinde Akpınar Formasyonu'nu, Orta Miyosen'de çökelen Katillikaya Kireçtaşı ise bölgenin kuzeyinde Kamatlar Formasyonu'nu açısal uyumsuzlukla örtmüştür. Geç Miyosen - Pliyosen aralığında bölgeye yayılan Yamadağ volkanitleri, tüf, aglomera, olivin bazalt ve piroksen andezit ile temsil edilir. Pliyosen'de, Ağbayır Çakıltaşı ve Kuvaterner'de alüvyon ile yamaç molozu karasal ortamlarda çökelmiştir. Bölgedeki en önemli yapısal unsur, Oligosen yaşlı sol yanal atımlı COF fayıdır. 25 km uzunlugundaki bu fay yaklaşık doğu - batı doğrultuludur.

Atabey vd., (1994); Darende ve Hasançelebi arasında kalan bölgenin jeolojisini çalışmışlardır. Çalışmacılara göre; tabanda Maestrihtiyen öncesi yaşlı Kuluncak Ofiyolitli Karışığı yer almaktadır. Ofiyolit; peridodit, piroksenit, gabro, serpantinit ve volkanik kayaçlardan oluşmaktadır. Ofiyolitik kayaçların daha çok bindirme hatlarınca sınırlı alanlarda listvenitlere rastlanmıştır. Listvenitlerde yoğun karbonatlaşma ve silisleşme gözlenmiştir. Çalışmacılar Karışığı iki alt üyeye olarak

ayıklamışlardır. Peridodit, piroksenit gabro ve serpanitinlerden oluşan kısmını Karadere Ultramafiti ve silisleşme, karbonatlaşmanın yaygın olduğu yer yer yastık yapılı da olan bazaltik lavları ise Körburun Volkanitleri olarak tanımlamışlardır. Karışığın üzerine uyumsuz olarak Maestrihtiyen'de Uludere, Kabaktepe ve Boztepe üyelerinden oluşan Hekimhan Grubu gelmektedir. Üst Kretase Paleosen'de bu sedimanter kayaçlarla eş yaşlı olduğu düşünülen Bahçedamı Volkaniti ve Hasançelebi Granitoyidi hem birbirleriyle hem de kırıntılılarla keser ilişkide yerleşmişlerdir. Granitoyidin volkanitleri kestiği zonlarda Konukdere Metasomatiği olarak tanımlanan birim gözlenmektedir. Eosen'de bu volkanizma üzerine kırıntılı ve karbonatlardan oluşan Akçal Formasyonu uyumsuz olarak gelmektedir. Kaba ve ince kırıntılılardan oluşan, Yeşilkale Formasyonu Oligosen'de Akçal Formasyonu üzerine uymsuz olarak gelmektedir. Miyosen'de ise yeni bir volkanizma sonucu oluşan Yamadağ Volkanitleri tanımlanmıştır. Pliyosen'de volkanizmanın üzeri uyumsuzlukla Ciritbelen Formasyonu olarak adlandırılan sedimanter kayaçlardan oluşan birim gelmektedir. Bölgede en genç birimler ise Kuvaterner yaşlı travertenler ve alüvyonlardır.

Yılmaz vd., ve diğ (1998); tabanda Üst Jura-Alt Kretase yaşlı kristalize kireçtaşlarından oluşan Çataldağ Kireçtaşı'nın, üzerinde de tektonik olarak Kuluncak Ofiyolitli Karışığı'nın olduğunu söylemiştir. Maestrihtiyen'de Buldudere ve eş yaşlı Bahçedamı Volkaniti üyelerinden oluşan Uludere Formasyonu'nun varlığından söz etmiştir. Bahçedamı Volkanitini kesen Hasançelebi Granitoyidi'ni tanımlamıştır. Bu kesme ilişkisi sonucu oluşmuş Konukdere Metasomatiti'nin üzerinin ise Paleosen'de Kavakdere Formasyonu tarafından uyumsuzlukla örtüldüğünü belirtmiştir. Geç Maestrihtiyen – Paleosen yaşlı oluşumların ise Eosen yaşlı Davuttarla Formasyonu tarafından uyumsuz bir şekilde örtüldüğünü söylemiştir. Üst Oligosen – Alt Miyosen'de ise tabanda konglomera ile başlayan ve üst seviyelerde karbonatlarla devam eden Eosen üzerine uyumsuz olarak çökelmiş Ulugüney Formasyonu'nu ile birlikte Eosen'den itibaren gelişmiş silisifiye bir zon olan Kırmızı Tepe Silisifiye Zonu'nu tanımlamıştır. Orta Miyosen – Pliyosen'de ise dört alt sınıfa ayırdığı Yamadağ Volkanitleri'nden ve Kuvaterner'deki traverten oluşumlarından bahsetmiştir.

Yalçın ve Bozkaya (2002); Hekimhan çevresinde Üst Kretase yaşlı, ortaç, subalüminalı, potasik ve alkalin bileşimli trakiandezitik volkanik kayaçların yaygın bozuşma gösterdiğini, deniz suyu-kayaç etkileşimi sonucu volkanik malzemenin

yaklaşık % 30'u altere olduğunu ve sonucunda; zeolit, karbonat, silis, kil (smektit, illit, klorit, kaolinit) ve Fe-oksit / hidroksitlerin (hematit, götit) oluştuğunu ifade etmektedirler. Bu araştırıcılara göre; alterasyon sonucu kayaçta ortalama Fe, Mg ve Ca-oksitte zenginleşme; Na ve K-OH'te tüketilme gerçekleşmiştir. Si ve Al-OH'ta ise çok az bir fakirleşme gözlenmektedir. Aynı kayaçta farklı fizikokimyasal koşulları gerektiren minerallerin birlikteliği başlıca iki parametre tarafından denetlemiş gözükmektedir. Bunlardan birincisi deniz + gözenek suyunun fizikokimyası (pH, tuzluluk ve/veya alkalinite, bileşim), ikincisi ise kayacın dokusal özelliği (kristalinite derecesi, tanesellik, gözeneklilik vb.), mineralojik-kimyasal bileşimi ve bozuşma derecesidir (çözünme hızı ve miktarı).

Boztuğ ve Arehart (2006), Orta Anadolu'da Geç Kretase yaşlı granitoyitik kayaçların, Neo-Tetis Okyanusu'nun kapanması esnasında, çarpışma aşamalarında oluşan S-I-A tipi plütonları içerdiğini söylemiştir. Bu granitoyitlerin, İzmir-Ankara-Erzincan kenet kuşağında bulunan Orta Anadolu ofiyolitleri ve kabuk metasedimentlerine sokulum yaptığını ifade etmişlerdir. Granitoyid oluşumunun, çarpışma sonrası, levha kopması ve ergimesi sonucu kabukta meydana gelen açılma ile ilgili jeodinamik bir ortamda meydana gelen magma oluşum süreçleri ile ilişkili olduğu söylemiştir. Granitoyitlerin, duraylı izotop jeokimyasal bileşimleri, ana, eser ve NTE jeokimyası ve bölgesel jeoloji hep birlikte düşünüldüğünde, çarpışmalarda olduğu gibi, Supra-subduction (SSZ) kökenli akışkanlardan etkilenen ve daha sonra litosferde biriken, metasomatize bir mantodan türediklerini ortaya koymuşlardır.

Kuşcu vd., (2007); bölgedeki magmatik kayaclar uzerinde yaptıkları çalışmalarda, bu kayaclarin daha cok kıta-içi türü özelliklere sahip olduğunu ve Neo-Tetis okyanusunun güney kolunun kuzeye doğru bir yitim boyunca tüketilmesi ve Avrasya-Arap levhasının çarpışmasından sonra etkili olan bir genleşme rejiminde oluştuğunu söylemişlerdir. Oluşumlarında dalan levhanın açısının değişmesi (slab roll-back) mekanizmasının etkili olduğunu ortaya koymuşlardır. İzotop sonuçlarına göre magma kaynağının zenginleşmiş bir mantodan oluştuğunu söylemişlerdir. Alterasyon zonları ile magmatik kayaçların Nd-Sr izotop oranlarını karşılaştırarak, siyenit ve trakitlerden alterasyon zonlarına göre yapılan element alışverişi yönü ve miktarı da dikkate alındığında, alterasyonları oluşturan çözeltilerin daha cok siyenitik bir magmadan kaynaklandığını, ancak yer yer denizel kökenli (denizel sedimanlardan türemiş) çözeltilerin de magmatik çözeltilerle karışmış olabileceğini belirtmişlerdir.

Özgenç ve İlbeyli (2008); Geç Kretase alkali magmatik kayaçlarının Hasançelebi ve Başören civarında (Malatya) yaygın olarak gözlendiğini, Hasançelebi ve Başören intrüzif kayaçların esas olarak peralkalin ve alkali bakımından aşırı doygun kayaçlar olduğunu tanımlamışlardır. Hasançelebi intrüzif kayaçların bileşiminin siyenitten kuvars monzonite kadar değiştiğini, Başören intrüzif kayaçlarının ise feldispat oranı yüksek damar kayaçları tarafından kesilen yine feldispat oranı yüksek siyenitler olduğunu söylemişlerdir. Th / Yb ve Ta / Yb diyagramlarına göre, tüketilmemiş bir mantodan oluştuklarını ve HFSE (yüksek alan gerilmeli elementler)'e göre LILE (büyük iyon yarıçaplı elementler)'ce ve LREE (hafif nadir yer elementleri)'nce zengin olduklarını tespit etmişlerdir. Hasançelebi intrüzif kayaçlarının, A tipi magmatik kayaçlarla benzerlik gösteren petrografik ve jeokimyasal özellikler sunduğunu ve çarpışma sonrası dalan levhanın kopması ve ergimeye uğraması sonucu çarpışma sonrası magmatizma ürünleri olduklarından bahsetmişlerdir.

Booth vd., (2014); Hekimhan Havzası'nın dünya genelinde önemli bir havza sınıfı olan ve supra-ofiyolit (ofiyolit tabanlı) havza olarak bilinen bir havza tipi olduğunu söylemişlerdir. Bu tip havzaların ofiyolitik (okyanusal) kayaçların pasif kıta kenarlarına yerleşiminden sonra, kıtasal çarpışmadan da çok önce oluşmaya başladığını havzanın Torid mikro kıtasının kuzey kenarında Güney ve Kuzey Tetis Okyanusları'nın çarpıştığı ve kapandığı bir dönemde şekillenmeye başladığını savunmuştur.

Metin vd., (2013), Doğu Toroslar olarak adlandırılan çalışma alanında temelde, Domuzdağ Napına ait neritik karbonatlardan oluşan Andırın Formasyonu ve üzerinde Maestrihtiyen öncesinde yerleştiği düşünülen Kuluncak Ofiyoliti'nin bulunduğunu söylemiştir. Temel birimlerin üzerinde paraallokton konumlu; Maestrihtiyen yaşlı Hekimhan Formasyonu, Paleosen yaşlı Yağca Formasyonu, Eosen yaşlı Darende Formasyonu, Oligosen yaşlı karasal Selimiye Formasyonu ile neo-otokton konumlu sığ denizel Erken Miyosen yaşlı Tahtalıtepe Formasyonu ile Orta-Geç Miyosen – Pliyosen yaşlı karasal-gölsel kırıntılı ve karbonatlardan oluşan birimlerin sıralandığını söylemişlerdir.

1.2.2 Uzaktan algılama (UA) çalışmaları

Sabins (1975); Sudan ve Papua Yeni Gine'de petrol keşiflerine yol açan zamanın petrol şirketlerini uzaktan algılama ile tanıştırmıştır. Landsat görüntülerinin sayısal olarak

işlenmesini sağlayan çalışmaları, dünya çapında Şili bakır yataklarının keşfini sağlamıştır.

Goetz vd. (1975); Landsat 1 verileriyle yapılmış ilk ve önemli uzaktan algılama çalışmalarından olup, Kuzey Arizona'daki Büyük Kanyon'un güney kenarında yer alan Coconino Platosu'nun jeolojisini haritalamışlardır. Yeraltı suyu arama sonuçlarını kullanarak, litolojik birimleri ve fayları ayırt edebilmişlerdir. Tarayıcının geniş bantları ve sınırlı dalga boyu konumu göz önüne alındığında, sedimanter birimlerin tanımlayamamışlardır, ancak farklı eşlenebilir birimleri ayırtlamış ve haritalamışlardır.

Abrams vd. (1977); havadan uçakla alınan SWIR verileriyle hidrotermal alterasyon minerallerini tespit ederek geç de olsa NASA'nın 1982'de kullanıma sunduğu Landsat 4 uydusuna 2 – 2,5 mikron aralığındaki 7. bandıneklenmesine sebep olmuştur. Landsat MSS bant oranlarını kullanarak Fe^{+2} absorbe eden bantların limonitik alanları belirlemede kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır. Çalışmalarında doğrulama sahası olarak kullandığı Cuprite, Nevada test sahası, gelecekteki optik sistemlerin çoğu için bir spektral doğrulama bölgesi haline gelmiştir.

Rothery ve Abrams (1987); Umman Ofiyolitindeki mafik ve ultramafik kayaçların haritalanması ve olası masif sülfit bakır yatakları ile ilgili hidrotermal alterasyon bölgelerini hedeflemişlerdir.

Kruse vd. (1993); NASA da çalışmalarını sürdüren bu bilim ekibi olarak IDL (international data language) programlama dilini kullanarak oluşturdukları arayüzde yapay zekâ yardımıyla jeolojik haritalama çalışmaları yapmışlardır ve spectral angle mapper (SAM) algoritmasının da dahil olduğu birtakım algoritmaları oluşturmuşlardır.

Van Der Meer vd. (1997); Kıbrıs'taki ofiyolit litolojilerinin haritalanması ve olası masif sülfit yataklarını belirlemek için kritik bir litolojik sınır tanımlamışlardır

Sabins (1999); maden aramacılığında uzaktan algılama verilerinin uygulanmasına ilişkin kapsamlı bir inceleme yayınlamıştır. Jeolojide uzaktan algılama uygulamaları hakkındaki önceki kitabının hemen ardından, bu yayın, maden şirketlerinin arama stratejilerinde uzaktan algılama teknolojisini daha da benimsemeleri için kilit rol oynamıştır.

Bierwirth (2002); Avustralya'nın batısında iki farklı sahada Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) verilerini kullanarak farklı

magmatik birimleri (asidik, ortaç, bazik) haritalamış, alterasyon zonlarını ve karbonat, Fe-Klorit, turmalin, mika, kaolen, talk gibi mineralleri tespit etmeye çalışmıştır. Bu çalışmaları yaparken match filter (MF) ve spectral angle mapper (SAM) kullanmıştır. Ayrıca ASTER haritalaması yapılarak, amfibollerin tespiti ile mafik kayaçları, lateritlerin ayrımı ile de nikel içeren seviyeleri tanımlamaya çalışmıştır.

Volesky vd. (2003); çalışmalarında Suudi Arabistan'daki masif sülfit bakır yataklarını karakterize etmek için ASTER verilerini kullanmışlardır. ASTER'in shortwave infrared (SWIR) bantlarının bu yataklarla ilişkili hidrotermal alterasyon minerallerinin tespiti için çok önemli olduğunu ortaya koymuşlardır.

Hubbard vd. (2003); görünür yakın kızılötesi (VNIR) ve SWIR bölgelerindeki ASTER, Hyperion ve ALI verileriyle alterasyon haritalamasını karşılaştırmışlardır. Hyperion'un hiperspektral verilerinin ASTER veya ALI'den daha fazla mineralojik bilgi sağladığı görülmüştür. Ancak, Hyperion uydusunun 7.5 km'lik şerit genişliğine sahip olması kısıtlayıcı bir sorun olarak ortaya çıkmıştır.

Crosta vd. (2003); Patagonya'daki epitermal yatakları için ASTER verilerine temel bileşenler analizi uygulamıştır. Yöntem, sonraki birçok çalışmacı tarafından benimsenmiş ve "Crosta tekniği" olarak adlandırılmıştır.

Rowan ve Mars (2003); California'daki Mountain Pass'taki nadir toprak mineral yatağı üzerinde ASTER verilerini kullanarak litolojik haritalama hakkında çalışan ilk araştırmacılardır. ASTER uydu görüntüsünün 14 bandını da kullanarak kalsitleri dolomitlerden ayırt etmişler, skarn yatakları ve kontakt metamorfik zonlardaki mermerleri haritalamışlar, granit ve gnayslarda Fe-muskovitten Al-muskoviti ayırt etmişler ve kuvarsitik kayaçları belirlemişlerdir.

Yamaguchi ve Naito (2003); litolojik haritalama için ASTER SWIR bantlarıyla ortogonal dönüşümü kullanarak spektral indeksler geliştirmişlerdir. Yöntemleri bant oranlamaya ve eşiklemeye (thresholding) dayandırmışlardır.

Watts ve Harris (2005); Himalayalar'daki domları oluşturan gnays ve granitleri ASTER verilerini kullanarak haritalamışlardır.

Gomez vd. (2005); Gomez ve arkadaşları, yağış almayan Namibya'da ASTER'in VNIR ve SWIR bantlarını kullanarak bir litolojik haritalama çalışması yapmışlardır. Önce verileri görünür yansımaya dönüştürmüşler, ardından verilere temel bileşenler analizi ve denetimli sınıflandırma uygulamışlardır. Mevcut 1:250.000 ölçekli jeolojik

harita ile karşılaştırdıkları çalışmalarında, ASTER verilerinin jeolojik birimlerin çoğunu ayırt etmek için kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır. Jeolojik haritada aynı stratigrafik birime ait olarak tanımlanmış olsa da, bileşimsel farklılıklara dayalı olarak birkaç ek litolojik birimi de tanımlamışlardır.

Ninomiya vd. (2005); ASTER termal kızılötesi (TIR) verilerinin litolojik haritalama için ilk kullananlardan olan Ninomiya ve arkadaşları olmuştur. Kuvars indeksi, Karbonat indeksi ve Mafik indeks oluşturmak için TIR bantlarının farklı oranlamalarını kullanarak mineralojik indeksler geliştirmişlerdir. Daha sonra tekniklerini kuzeybatı Çin, Doğu-Orta Avustralya ve Güney Tibet'in kurak bölgelerinde test etmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar, mineral indekslerinin sıcaklık ve atmosfer değişikliklerine karşı kararlılığını göstermiştir. Sonraki yıllarda, birçok çalışmada ASTER TIR verileriyle litolojik haritalama için Ninomiya "indeksleri" kullanılmıştır.

Rowan vd. (2005); Avustralya'nın kuzeyinde, ultramafik kayaçların ASTER verileriyle litolojik olarak haritalanmasını çalışmışlardır. Laboratuvar ölçümleri ile birlikte verilerinin analizinde, VNIR-SWIR soğurma özelliklerine göre, felsik kayaç spektrumlarında, Al-OH ve Fe^{+3} ve mafik-ultramafik kayaç spektrumlarında ise Fe^{+2} ve Fe, Mg-OH spektrumlarının baskın olduğunu ortaya koymuşlardır. Litolojik haritalama için ASTER görüntü oranlarını, matched-filter ve spectral-angle mapper yöntemlerini tercih etmişlerdir.

Hewson vd. (2005); bölgesel çalışmalar için ASTER görüntüleri kesintisiz mozayikleyen bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu sayede SWIR bantları kullanarak Al-OH ve karbonatları, TIR bantları kullanarak da kuvars içeren birimleri, bölgesel olarak haritalamışlardır.

Mars ve Rowan (2006); kuşak bazlı bölgesel maden araştırmaları için ASTER verilerinin kullanıldığı en iyi çalışmalardan birisidir. İran'ın Zagros magmatik yayında 900 km genişliğindeki bir kuşağı kapsayan 62 ASTER görüntüsünü mozayikleyerek çalışmışlardır. İlk olarak, fillik ve arjilik alterasyonlarla ilişkili spektral absorpsiyon özelliklerinin varlığını vurgulamak için ASTER bant oranlarını ve eşik değerlerini kullanmışlardır. Yöntemlerini sahaya uygulamadan önce Nevada Cuprit'deki doğrulama sahasında test etmişlerdir. Alterasyon türlerine göre, Zagros-Makran

transform hattının kuzeybatısındaki yaklaşık 50 ve transform hattın güneydoğusundaki 11 potansiyel porfiri bakır yatağını haritalamışlardır.

Qiu vd. (2006); spektral kütüphane, saha örneklerine ait spektraları ve görüntülerden elde ettikleri spektraları kullanarak farklı spektral sınıflama tekniklerini karşılaştırmışlardır. Karşılaştırmalar sonucunda benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Çıplak litolojilerde ise iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Moore vd. (2008); bilinen yataklar üzerine yaptıkları çalışmalarında, ASTER verilerini kullanarak temel bileşenler analizini ve match filter yöntemini kullanarak bilinmeyen sahaları belirlemeye çalışmışlardır.

Rockwell ve Hostra (2008); ASTER'in termal kızılötesi bantlarından elde ettikleri verileri, Nevada'daki kuvars ve karbonat minerallerini tanımlamak için kullanmışlardır. ASTER'in TIR bantları özellikle SiO_2 farklılıklarının haritalanmasına imkân verir, bu farklılaşma genellikle alterasyonla ilişkili mineralizasyona da işaret eder.

Pour ve Hashim (2011); çok iyi bilinen porfiri bakır sahaları içeren İran'da yer alan bir volkanik kuşakta çalışmışlardır. Çalışmalarında ASTER VNIR ve SWIR bantlarını kullanmışlardır. Demir oksitleri ve bitki örtüsünü VNIR hidretermal alterasyon minerallerini ise SWIR bantları ile çalışmışlardır. Temel bileşen analizi (TBA/PCA), minimum noise fraction (MNF) ve bant oranlama tekniklerini kullandıkları çalışmalarında bölgede farklı hidrotermal mineralizasyonu içeren alanlar tespit etmişler, bunu da yerinde ölçüm ve XRD ile doğrulamışlardır.

Bertoldi vd. (2011); saha ve laboratuvar verilerini kullanarak, ASTER verileriyle Batı Himalayalar'daki bitki örtüsü kaplı granitik kayaçları haritalamışlardır. Haritalamanın temeli bitki örtüsünün ve muskovitin spektral farklılıklarına dayanmaktadır.

Yajima ve Yamaguchi (2013); mafik-ultramafik kayaçları (gabro, dolerit ve dünit gibi) kuvars bakımından zengin, çeşitli felsik kayalardan (granit ve alüvyon gibi) ayırmak için TIR verilerinin renkli kompozitlerini kullanarak, litolojik ayrımı termal bantlarla yapmışlardır.

Pournamdari vd. (2015); İran'daki Sighan ofiyolitik karmaşığında litolojik haritalama çalışmalarında, mafik ve ultramafik kayaları ayırt etmek için Landsat ve ASTER'in bant oranlamalarını ve temel bileşenler analizini kullanmışlardır.

Ge vd. (2018); Moğolistan'daki Shinbanjing ofiyolitli karışığındaki litolojileri haritalamak için ASTER verilerini Sentinel-2A ve dijital yükseklik verileriyle birleştirmişlerdir. Bant oranlamalarıyla kompozit görüntü oluştururken, ASTER ve Sentinel-2A bantlarını aynı anda kullanmışlardır. Yöntemlerinin yüksek sınıflandırma doğruluğu sağladığını da görmüşlerdir.

Testa vd. (2018); Arjantin Andları'nın doğusunda, epitermal, porfiri ve turmalin breşi bölgeleri tanımlama amaçlı olarak litolojik ve hidrotermal alterasyon haritalaması yapmışlardır. ASTER görüntülerinden arjilik, fillik, propilitik ve silisik alterasyon mineral topluluklarını tanımlamış ve haritalamışlardır. Saha kontrol noktalarından elde ettikleri sonuçlar, hedeflenen minerallerin varlığını doğrulamıştır.

Özkan vd. (2018); bant oranlamalarını ve temel bileşen görüntülerini birleştiren karma renkli kompozit görüntüler kullanarak Sivas'ın kuzeyindeki bir yığışım karmaşığını haritalamışlardır. Karmaşık içerisinde; peridotit, gabro, bazalt, ofiyolit tabanlı sedimanter kayaçlar, silisli ve karbonatlı kayaçlar ile serpantinleşme derecelerini tanımlayabilmişlerdir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

İnceleme alanıyla ilgili yapılan çalışmalar; arazi, büro ve laboratuvar çalışmaları olarak sınıflandırılmıştır.

Önceki çalışmalar ışığında; saha gözlemleri yapılmış, kayaç örnekleri alınmış ve önceki çalışmalara ait litoloji sınırları yerinde denetlenmiştir. Çalışma sahasının tamamında yüzeyleyen ve bütün litolojik özellikleri temsil edebilecek 60 adet kayaç örneği alınmıştır. Arazi gözlemleri, önceki çalışmalar ile birlikte değerlendirilmiş, bölgenin genel stratigrafisi, jeoloji haritası, coğrafi bilgi sistemi (CBS) tabanlı ve açık kaynak kodlu Quantum GIS (QGIS Development Team. 2021) yazılımı ile revize edilerek oluşturulmuştur.

İnceleme alanının jeolojisini ve alterasyon zonlarını belirlemeye yönelik, uzaktan algılama çalışmalarında kullanılmak üzere; Terra Platformu üzerinde yer alan, 2005 yılına ait ASTER ve Avrupa Uzay Ajansı (ESA)'nın yer gözlem programı olan "Copernicus" kapsamında 2015 yılında yörüngeye yerleştirilmiş olan ve 2019 yılına ait Sentinel 2A uydusuna ait görüntüler kullanlmıştır. ASTER'in yüksek seviye veri setlerinden, atmosferik ve Çapraz karışma (Cross-Talk) düzeltmeleri yapılmış, AST_07XT_00305192005082601_20200416060309_30009 veri seti; "National Aeronautics and Space Administration" (NASA)'nın yer verilerini sunduğu web sayfası (Url-1: https://earthdata.search.nasa.gov) üzerinden indirilerek kullanılmıştır. Sentinel 2A görüntüleri ise ESA'nın açık erişimli merkezinden (Url-2: https://apps.sentinel-hub.com/) temin edilmiş olup atmosfer etkisi giderilmiş (BOA) Sentinel 2A-L2 (ikinci seviye) görüntüleri kullanılmıştır (S2A_MSIL2A_20190720T081611_N0213_R121_T37SCC/SCD/SDC/SDD_20190720T125314). Bu görüntüler indirilirken bazı özellikler göz önünde bulundurulmuştur. Öncelikle görüntülerin inceleme sahasının tamamını kapsayan en güncel görüntüler olması istenmiştir. Atmosferdeki bulutlu alanların % 10'un altında olduğu veri setleri tercih edilmiştir. Bunu sağlamak için de mevsim şartlarına uygun olarak veri elemesi yapılmıştır.

Uydu görüntüsünün konum, zaman ve görüşe açık olma şartları sağlandıktan sonra, ASTER için spektrumun VNIR ve SWIR bölgeleri kapsayacak şekilde görüntü seçimi yapılmıştır. 2008 yılında ASTER uydusundaki SWIR algılayıcıların aşırı ısınarak bu

tarihten sonra SWIR verilerinin sağlıklı olarak kayıt edilememesi ile sonuçlanmıştır. Bu sebeple SWIR verilerinin sağlıklı bir şekilde kaydedildiği 2008 yılı öncesi görüntüler tercih edilmiştir.

Görüntüler üzerinde, zenginleştirme, bant oranlamaları, kompozit görüntü oluşturma, sınıflama ve farklı yöntemlerle spektral analizler ve sonucunda; litolojik özellik ve mineral haritalamaları yapılmıştır. Bütün bu işlemler, tez projesi kapsamında ENVI+IDL 5.6 Term License (Additional data analyses were done using ENVI version 5.6) görüntü işleme ve analiz yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Harita Genel Müdürlüğü (HGM)'den inceleme alanının tamamını kapsayan ve stereoskopik görüntü elde etmek için bindirmeli olacak şekilde 152 adet, renkli ve sayısal hava fotoğrafı, tez projesi kapsamında temin edilmiştir (HGM., 2019). Hava fotoğrafları 8 bit radyometrik çözünürlük, 30 cm mekansal çözünürlük (1/45.000) ve RGB bant özelliğine sahiptirler. Fotoğraflar temin edilirken, uydu görüntülerinin seçiminde olduğu gibi; yağışsız, bulutsuz ve yaz döneminde çekilmiş fotoğraflar olmalarına dikkat edilmiştir. Görüntüler üzerinde; ayırt edilebilecek litolojik farklılıklar, çizgisellikler ve dairesellikler, görüntü yorumlama teknikleriyle belirlenmiştir. Ayrıca fotoğraflar %70 bindirmeli olduklarından incelemelerde fotojeolojik yöntemler de kullanılmıştır.

Laboratuvar çalışmalarında, araziden alınan kayaç örneklerinden; mineralojik-petrografik ve jeokimyasal incelemeler gerçekleştirilmiştir.

Mineralojik ve petrografik incelemeler; Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği İnce Kesit Laboratuar'ında ince kesitler yaptırılarak, mineralojik – petrografik analizler ve tanımlamalar yapılmıştır. MTA Orta Anadolu 1. Bölge Müdürlüğü'nde (Sivas) bulunan Leica görüntüleme sistemi (mikroskop, kamera ve yazılım) kullanılarak ince kesitler fotoğraflanmıştır.

Jeokimyasal analizlerden; nadir toprak elementleri (NTE), eser elementler, metalik element analizleri, kayaç yapıcı bileşenler (KYB) ve detay kil analizleri ile birlikte killere ait difraktogram çekimleri, MTA Genel Müdürlüğü Maden Analiz Teknolojileri Laboratuvarlarında yapılmıştır.

Bu analizlerden NTE ve eser element analizleri, "Endüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi / Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer" (ICP-MS) yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Yöntem kullanılmadan önce örneklerin yönteme

hazır hale getirilebilmesi için bir takım ön işlemler uygulanmıştır. İlk önce örnekler etüvde kurutulmuş ve daha sonra çözme işlemlerine hazırlık için çeneli ve diskli öğütücülerde öğütülmüştür. Uygun miktarlardaki örneklere (5 g.), yapılarına göre; üçlü veya dörtlü asitte çözme işlemleri uygulanmıştır. Bunlar; (1) derişik per klorik asit $(HClO_4)^+$, (2) derişik hidroklorik asit $(HCl)^+$ ve (3) derişik nitrik asit (HNO_3)'de çözme ya da bunlara ileaveten (4) derişik hidroflorik asit (HF)'le de çözme işlemleridir. Asitleme işlemleri tamamlanarak uygun hale getirilen örnekler, ICP-MS yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir (Url-3: https://www.mta.gov.tr/ucretli-isler/liste/test-ve-analizler/test/index.php).

Yöntemde (ICP-MS) elementler ve miktarları tespit edilirken öncelikle numune içerisinde yer alan elementler, elektromanyetik indüksiyonla ısıtılan argon plazması tarafından iyonize edilirler. İyonize edilen elementler bir kütle spektrometresi yardımıyla ayrıştırılır. Son olarak, ayrıştırılan bu elementlere ait derişimler, elektron çoklayıcı bir dedektör tarafından ppm (milyonda bir) olarak tespit edilir. Örneklerin matrikslerine göre dedeksiyon limitleri değişmekle birlikte yaptırılan analizlerde (NTE ve eser elementler) 0,1 – 2.000 ppm olarak belirlenmiştir (Url-3: https://www.mta.gov.tr/ucretli-isler/liste/test-ve-analizler/test/index.php).

Örnekler içerisindeki metalik elementlerin tespiti "Endüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi / Inductively Coupled Plasma – Optic Emission Spectrometer" (ICP-OES) yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Yöntem, numune hazırlama ve iyonlaştırıma süreçleri de dâhil olmak üzere ICP-MS yöntemi ile benzerdir. ICP-OES yönteminde elementler ve miktarları tespit edilirken, optik bir spektrometre kullanılır (Url-3: https://www.mta.gov.tr/ucretli-isler/liste/test-ve-analizler/test/index.php).

Kayaç yapıcı bileşenler olan ana elementlere ait oksitli bileşikler, "X-Ray Floresans / X-Ray Fluorescence" (XRF) kullanılarak tespit edilmişlerdir. Örnekler genelde selüloz ile homojenize edilerek, disk kalıplar hale getirilerek ya da örneğin yapısına göre eritme yapılarak hazırlanmaktadırlar. Hazır hale getirilen örnekler üzerine X-Ray ışıması yapılmakta, yazılımlar yardımıyla geri yansıyan ışınımlar okunarak elementler ve miktarları yüzde (%) olarak, yarı kantitatif (yaklaşık nicel) belirlenmektedir (Url-3: https://www.mta.gov.tr/ucretli-isler/liste/test-ve-analizler/test/index.php).

Detay kil analizleri, “X-Ray Kırınımı / X-Ray Difffraction” (XRD) yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Optik mikroskobik analiz yöntemleri ile mineralojik bileşimleri tanımlanamayacak nitelikte olan numuneler, toz haline getirilerek XRD difraktogram çekimleri yapılır. Kil örneklerinin standart (2º-70º arası), normal (2º-30º arası), etilen glikol (2º-30º arası), 300ºC ısıl (2º-30º arası) ve 550ºC ısıl (2º-30º arası) işlem çekimleri yapılarak XRD difraktogramları üzerinden ASTM (American Society for Testing and Materials) standartlarına uygun olarak ayrıntılı mineralojik tanımlamaları yapılır (Url-3: https://www.mta.gov.tr/ucretli-isler/liste/test-ve-analizler/test/index.php).

Spektral analizler de MTA Genel Müdürlüğü’nde (Ankara), “ASD TerraSpec Halo Mineral Identifier” cihazı kullanılarak yapılmıştır (**Şekil 2.1**). Spektrometre, VNIR ve SWIR olmak üzere, 350-2500 nm aralığını kapsamaktadır. Birçok spektrometreden farklı olarak veri tabanında bulunan yerleşik USGS spektral kütüphanesi sayesinde sonuç spektralarını bu kütüphane ile eşleştirerek (spektral analiz) sonuç vermektedir. VNIR (görünür yakın kızıl ötesi) ve SWIR (kısa dalga kızıl ötesi) bölgede ayrı ayrı olmak üzere; *** (çok güvenilir), ** (orta güvenilir) ve * (az güvenilir) gibi dereceli bir skor sistemine göre mineral tespitleri yapmaktadır (Url-4: https://www.malvernpanalytical.com). Yapılan ölçümlerde her bir örnek üzerinde, olabildiğince farklı mineral ve spektra elde etmek amacıyla farklı yüzey ve noktalardan çoklu ölçüm (örnek başına ~ 3 - 5 adet) yapılmıştır.



Şekil 2.1 ASD TerraSpec Halo Mineral Identifier (350-2500 nm) cihazı.

Elde edilen spektral imzaların ENVI yazılımına entegre edilmiş spektral kütüphanelerdeki mineral ve kayaç karşılıkları tespit edilmiştir. En çok çeşide ve en zengin içeriğe sahip USGS (United States Geological Survey)'e ait spektral kütüphane en önemlilerindendir. Bu kütüphanedeki spektrumlar, USGS Denver Spektroskopi Laboratuvarı'nda özel olarak modifiye edilmiş, bilgisayar kontrollü bir Beckman spektrometre ile ölçülerek oluşturulmuştur (Clark vd., 1993). Dalgaboyu doğruluğu NIR'de 0.0005 mikron (0.5 nm) ve VIS'de 0.0002 mikron (0.2 nm) düzeyindedir. 0.3951 - 2.56 µm aralıkta ve 420 bant spektral çözünürlüğe sahip kütüphanede 481 adet mineral spektrası bulunmaktadır.

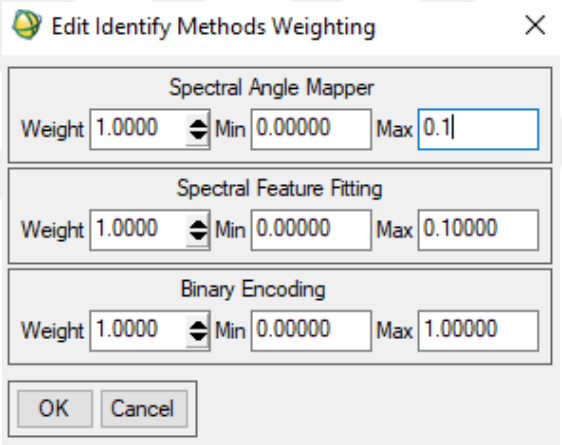
NASA JPL spektral kütüphanesi, NASA Jet Propulsion Laboratory tarafından oluşturulmuş bir kütüphanedir. Kütüphane bir Beckman spektrofotometresi kullanılarak oluşturulmuştur (Grove vd., 1992). Örnekleme aralığı 0,4 - 0,8 arasında 0,001 µm ve 0,8 ile 2,5 arasında 0,004 µm'dir. Bant genişliği 0,4 ila 0,8 µm aralığında 1-4 nm, 0,8 - 2,2 µm aralığında 20 nm'den az ve 2,2 - 2,5 µm aralığında da 20-40 arasında değişmektedir. Kütüphanede kayıtlı, 135 tanesi 3 farklı tane boyu için farklılaştırılmış toplamda 160 adet mineral spektrası bulunmaktadır.

JHU spektral kütüphanesi (Johns Hopkins University), Salisbury (1991b) tarafından oluşturulmuş bir kütüphanedir. Görünür ve termal bölgeleri kapsayan bir kütüphanedir. Spektral sınıflar; iri ve ince taneli olmak üzere, magmatik, metamorfik ve sedimanter kayaçlar olarak oluşturulmuşlardır. Görünür ve yakın kızılötesi bölümler USGS laboratuvarlarında 8 nm'lik bant genişliğine sahip bir Beckman spektrofotometre ile oluşturulmuştur. Termal bölge ölçümleri ise bir Nicolet spektrofotometresi kullanılarak oluşturulmuştur.

Ecostress (ASTER) spektral kütüphanesi, ASTER çalışmalarını desteklemek için, doğal ve insan yapımı malzemelerden oluşan bir spektral kütüphanedir. ASTER Spektral Kütüphanesi v1.2 olarak oluşturulmuş ve http://speclib.jpl.nasa.gov adresinden kullanıma sunulmuştur.. Kütüphane, Jet Propulsion Laboratory (JPL), Johns Hopkins University (JHU) ve United States Geological Survey (USGS) tarafından sağlanan yardımcı verilerle birlikte desteklenmiştir. 2009 yılında kütüphanenin yeni bir sürümü (v2.0) mineral ve kaya spektrumları olarak güncellenmiştir (Baldridge vd., 2009). ASTER spektral kütüphanesi, 0,4-15,4 µm dalga boyu aralığını kapsayan çok çeşitli malzemelerin 2300'den fazla spektrumundan oluşan kapsamlı bir veri sağlamaktadır. Son olarak ASTER kütüphanesi, ECOsystem

Spaceborne Thermal Radiometer Experiment on Space Station (ECOSTRESS) misyonu ile özellikle bitkilerin stres altındaki tepkilerini ölçmek için başlatılan çalışmalarla birleştirilerek, 3000'den fazla doğal ve insan yapımı materyalden, ECOSTRESS Spektral Kütüphanesi v1.0 oluşturulmuştur (Meerdink vd., 2019).

Analizler yapılırken ENVI 5.6 yazılımı içersindeki "Spektral Alalist" modülü kullanılmıştır (Exelis Visual Information Solutions. 2010). Modülde 3 farklı yöntemle arazi spektrası ve kütüphane spektrası eşleştirilerek, bilinmeyen arazi spektrasının kütüphanedeki, benzerliği en yüksek karşılığının bulunabilmesi amaçlanlanmaktadır. Spektral karşılaştırmaların yapıldığı bu 3 farklı yöntem; spektral açı eşleyicisi (SAM), spektral özellik uyumu (SFF) ve ikili kodlama (BE) olup, bu 3 yöntem modüle girilen minimum - maksimum eşik değerlere göre ve analizde yer almasını istediğimiz analiz etkileme ağırlığına göre işleme alınabilmektedir (**Şekil 2.2**).

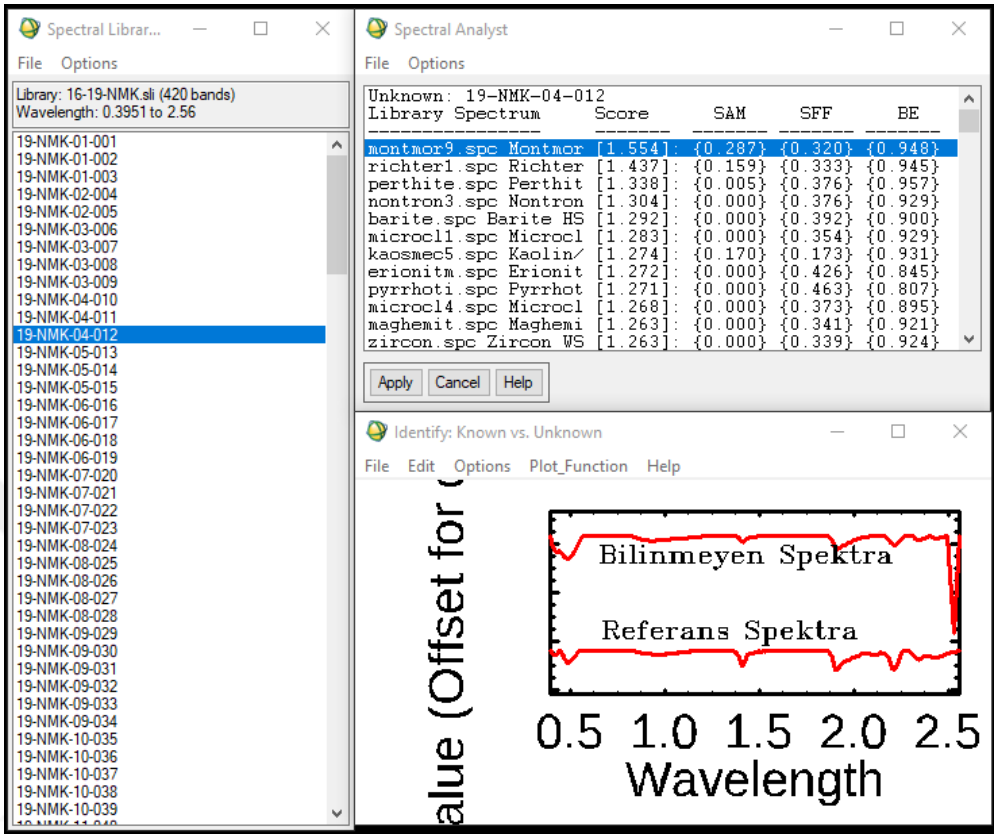


Şekil 2.2 ENVI Spektral Analist modülü yöntem ağırlığı ve eşik değer penceresi.

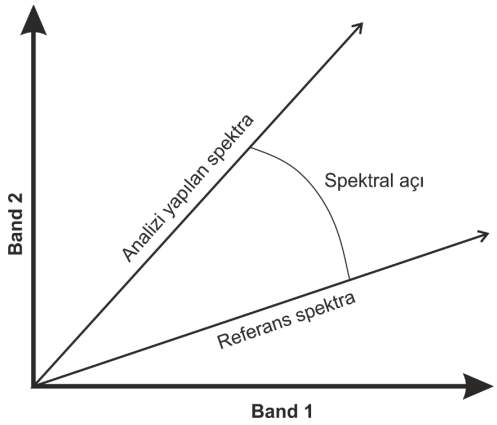
Analizi yapılan bilinmeyen spektra, kullanılan yöntem ve ağırlığına göre puanlanarak, bütün yöntemlerden toplamda en yüksek puanı alan referans spektra ile eşleştirilir (**Şekil 2.3**).

Spektral analizlerde kullanılan bir yöntem olan spektral açı eşleyicisi (SAM), bilinmeyen spektra ile kütüphanede yer alan referans spektraları arasındaki benzerliği, spektralar arasındaki açıyla tespir eden bir yöntemdir (**Şekil 2.4**). Açı radyan cinsinden belirlenirken eşik değer olarak girilen maksimum değerin izin verdiği ölçüde spektraları eşler, eşik değeri geçen spektraları karşılaştırma dışında bırakır (Kruse vd., 1993). Yapılan ölçümlerde radyan cinsinden maksimum eşik değer 0,1 olarak

kullanılmıştır. Çembere ait yarıçap uzunluğunda yayın gördüğü merkez açı 1 radyandır (180π). Bu durumda 0,1 radyan yaklaşık 5,7º olarak kabul edilmiştir.



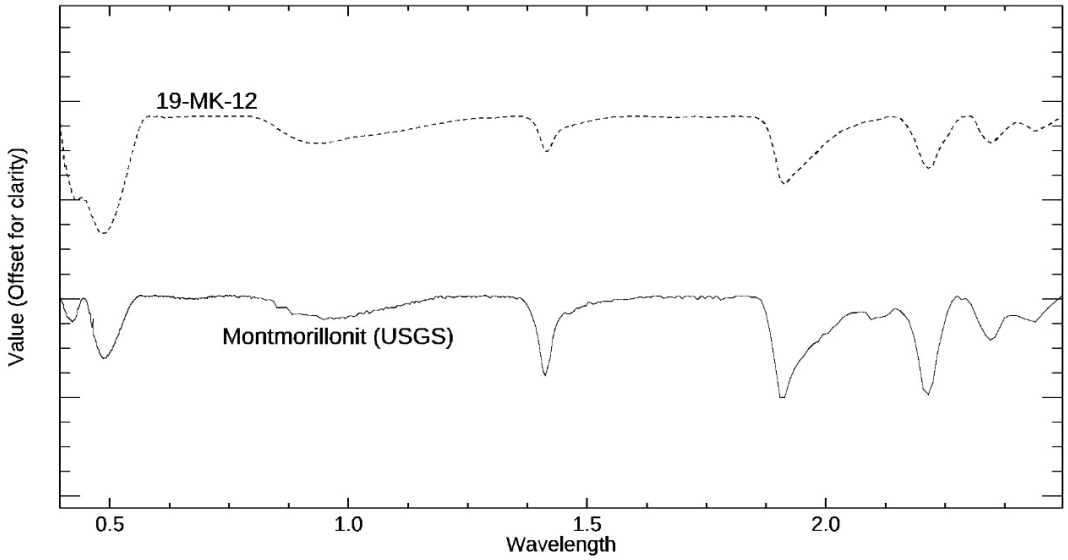
Şekil 2.3 Spektral analist modülünün analiz penceresi.



Şekil 2.4 SAM yönteminde kullanılan vektörlerin matematiksel gösterimi.

Kullanılan bir diğer spektral analiz yöntemi, spektral özellik uyumu (SFF)'dur. En küçük kareler (least – squares) tekniğini kullanarak görüntü/saha spektrumlarının uyumunu referans spektrumlarıyla karşılaştırmak için kullanılan SFF, soğurma

özelliğine dayalı bir yöntemdir. Referans spektrumlarının ve analizi yapılacak spektrumların "continuum removed" (sürekliliği çıkarılmış), uygulandıktan sonra yeniden ölçeklenerek, iki veri setinin benzerliği analiz edilir. Normal spektra ölçümü yapılan nesnenin spektral banta karşılık gelen dalga boyunda nesnenin soğurma özelliğine göre kayıt edilen segmentleri birleştiren ve devamlılığı oluşturan bir gövde oturtulmasıyla elde edilen bir eğridir. "Continuum Removed" (CR) spektra ise bu sürekliliği sağlayan gövdenin çıkarılarak her bir segmentteki soğurma özelliğini öne çıkararak yansıma spektrasını normalize eden bir gösterim biçimidir (**Şekil 2.5**). Spektral analizler yapılırken soğurma özelliklerinin daha net anlaşılabilmesi için referans spektraları ve analizi yapılan saha spektraları CR spektra olarak grafiklere aktarılmıştır.



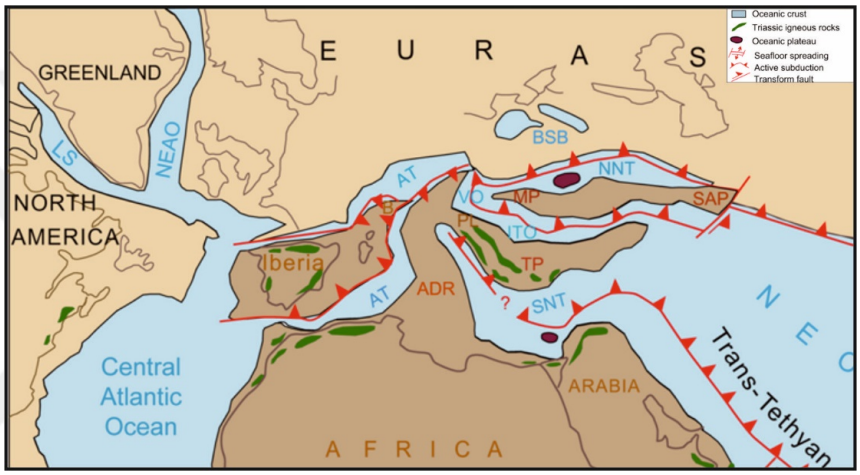
Şekil 2.5 Analizi yapılan bir spektranın, CR spektrasının görünümü.

Son yöntem ise ikili kodlama (BE)'dır. İkili kodlama sınıflandırma tekniği, bir bandın sırasıyla spektrum ortalamasının altına mı yoksa üstüne mi düştüğüne bağlı olarak verileri ve son üye spektrumlarını sıfırlara ve birlere kodlar. Özel bir OR (veya) işlevi, kodlanmış her bir referans spektrumunu kodlanmış veri spektrumları ile karşılaştırır ve bir sınıflandırma yapılacaksa sınıflama görüntüsü oluşturur (Mazer vd., 1988).

3. JEOLOJİ

3.1 Türkiye'nin Jeolojisi

Günümüzden 100 milyon yıl (Erken Kretase) öncesine gidip bugünkü Akdeniz'in yerine yukardan bakma şansımız olsaydı Anadolu'nun mevcut halinden çok farklı olduğunu görürdük (**Şekil 3.1**). Türkiye jeolojik zamanlar boyunca, Pangea süper kıtasının parçaları olan; kuzeyde Lavrasya, güneyde ise Gondwana adı verilen kıtalar arasında şekillenerek birçok kıtasal parçanın bir araya gelmesiyle tek bir kara kütlesi olan bugünkü şeklini Geç Tersiyer'de almıştır (Okay, 2008).



Şekil 3.1 Neotetis Okyanusu'nun ve etrafındaki kıtaların Kretase'deki görünümü (Dilek ve Furnes, 2019'dan).

Fanerozoyik (Paleozoyik – Mesozoyik ve Erken Tersiyer) boyunca bu iki anakıta arasında; kuzey sınırı aktif, güney sınırı ise pasif kıta kenarı olarak tanımlanabilecek Tetis adı verilen bir okyanus yer almaktaydı. Bu okyanusun en azından 350 milyon yıl (Erken Karbonifer)'dan itibaren güneyde Gondwana, kuzeyde Lavrasya arasında oluşmaya başladığı düşünülmektedir. Fakat bu okyanusun görünümü günümüzdeki Atlantik Okyanusuna benzer, tek bir büyük su kütlesi görünümünden uzaktı. Onun yerine kıtasal kütlelerle ayrılmış, okyanusal suyolları ve ada yaylarından oluşan daha karışık bir yapıdaydı (Okay, 2008). Bu uzun jeolojik zaman boyunca güneydeki anakıtadan kopan parçaların kuzeye doğru hareketi devam ederek kuzeydeki ana kıta ile kenetlenmeler olmuştur. Güneyden kopan bu kıta parçaları arasında da farklı yaşlarda okyanus açılmaları gerçekleşmiştir. Mesozoyik ve Tersiyer'de bir araya gelmeye başlayan bu kıta parçaları, güneydeki ana kıtanın da kuzeye yaklaşması

sonucu ve buna bağlı olarak da Tetis'in kapanmaya başlamasıyla Anadolu kıtasını oluşturmaya başlamıştır. Bütün bu jeolojik süreçlere bağlı olarak Türkiye günümüzdeki haline Alpin Orojenezi (Eosen) ile başlar, birçok kara kütlesinin bir araya gelerek tek bir parça oluşturacak jeolojik yapısına ve konumuna ise Oligo-Miyosen'de kavuşur (Okay, 2008).

Bu jeolojik süreçler boyunca birçok kara parçasının bir yerden kopup bir diğer tarafta tekrar bir araya gelmelerinin kanıtları olarak da; tüm Anadolu'ya yayılmış olan ofiyolitler ve yığışım karmaşıkları gösterilmektedir. Türkiye'yi meydana getiren bu kara parçaları; kuzeyde Lavrasya'ya ait Pontidler (Istranca, İstanbul ve Sakarya), onun güneyinde Gondwana'ya ait Anatolid – Toridler (Kırşehir Masifi dâhil) ve güneydoğuda ise Arap Levhası'nın kuzey kenarını temsil eden Güneydoğu Anadolu olmak üzere üç gruba ayrılmaktadırlar (**Şekil 3.2**), (Ketin, 1966).



Şekil 3.2 Türkiye'deki tektonik birlikleri gösteren harita (Okay ve Tüysüz, 1999).

Kuzeyde; Istranca, İstanbul ve Sakarya bloğunun oluşturduğu ve Lavrasya kıtasına ait olan, görece duraylı, Alpin Orojenezinden düşük derecede etkilenmiş ayrıca Variskan ve Kimmerid orojenezlerinin de kanıtlarını sunan Pontidler yer almaktadır. Bu üç blok Pontidleri oluşturmak üzere Orta Kretase'den itibaren tek parça haline gelmeye başlamışlardır. Günümüzde Pontidler'in kuzey sınırı Kuzey Tetis'in kapanmasına kanıt olarak sunulan İzmir- Ankara - Erzincan Süturu ile temsil edilmektedir.

Pontidler'in güneyinde ise Türkiye'nin güneyini oluşturan ve güneydeki Gondwana anakıtası kökenli Anatolid - Torid bloğu yer almaktadır. Triyas'da Gondwana'dan ayrılarak Mesozoyik boyunca yoğun bir karbonat kuşağı oluşumu gerçekleştirmiştir. Anatolid – Torid bloğunun çoğu Alpin Orojenezi boyunca yoğun olarak deforme olmuş ve kısmen metamorfizmaya uğramıştır. Bu da Anatolid – Toridler'in metamorfizma yaşı ve derecesine göre birçok alt sınıfa ayrılabilmesine olanak tanımaktadır. Üst Kretase yaşlı magmatik ve metamorfik kayaçlardan oluşan Orta Anadolu Kristalen Kompleksi adı da verilen Kırşehir Bloğu buna bir örnek olsa da Anatolid- Torid bloğu içinde mi yoksa ayrı bir kütlemi olduğu da hala tartışmalıdır.

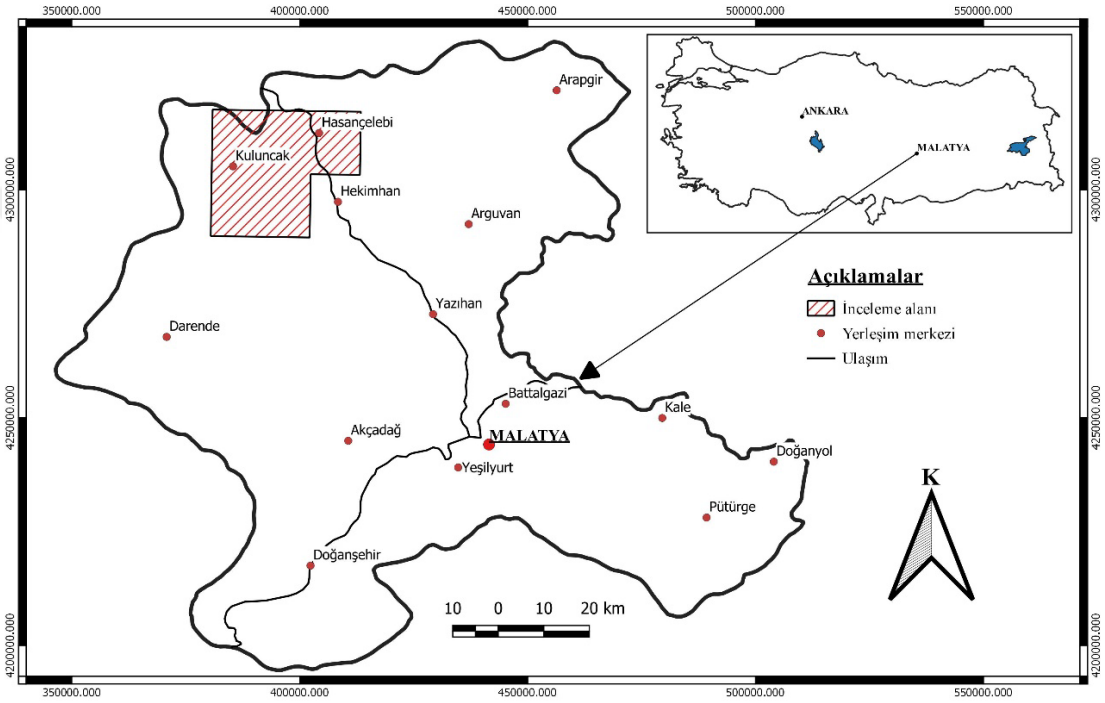
Anadolu'nun güneydoğusunu ise Anatolid-Torid bloğu ile Bitlis – Zagros Süturu boyunca sınır olan Arap platformunun en kuzey uzantısı oluşturmaktadır. Kırıntılı-karbonat baskın bir Paleozoyik ve karbonat baskın bir Mesozoyik ile Anatolid-Toridlere benzer bir stratigrafi sunar.

Günümüzdeki Anadolu yarımadası üç tarafı denizlerle çevrili ve farklı jeolojik karakterdeki parçalardan meydana gelmiş haldedir. Kuzeyde Karadeniz okyanusal bir yay gerisi havzasıdır. Kretase boyunca Neotetis okyanusunun kapanması sonucu Pontid magmatik yayının gerisinde ve kuzeyinde şekillenmiştir (Görür, 1988). Ege, Helenik yitim zonu gerisindeki kuzey-güney yönlü açılmanın bir sonucu olarak Oligo-Miyosen boyunca gelişen jeolojik olarak genç bir denizdir (Jolivet, 2001). Doğu Akdeniz ise Neo-Tetis'in güney kolunun bir kalıntısı olarak diğer denizlerden çok daha yaşlı bir denizdir (Garfunkel, 2004).

Arap levhasının Anadolu levhasına Geç Kretase ve Paleosen'e denk gelen zamanda; üzerleme, dalma – batma ve kıtasal çarpışması boyunca Anatolid – Torid bloğu taban blok pozisyonunda bulunmaktaydı ve bu sebeple Pontid bloğuna göre Alpid deformasyonundan ve bölgesel metamorfizmadan daha fazla etkilenmiştir. Orta Kretase boyunca çok büyük ofiyolitik kütleler ve melanjlara ait tabanda yer alan tektonik dilimler Anatolid – Torid bloğunun üzerine yerleşmişlerdir. Türkiye'de bu farklı kıta parçalarının bir araya geldiği Oligo-Miyosen'den sonra yeni bir tektonik dönem başlamıştır. Günümüzde de devam eden bu tektonik dönem; karasal sedimantasyon, yaygın kalkalkalen magmatizma, açılma ve doğrultu atımlı faylanma ile karakterize edilmektedir.

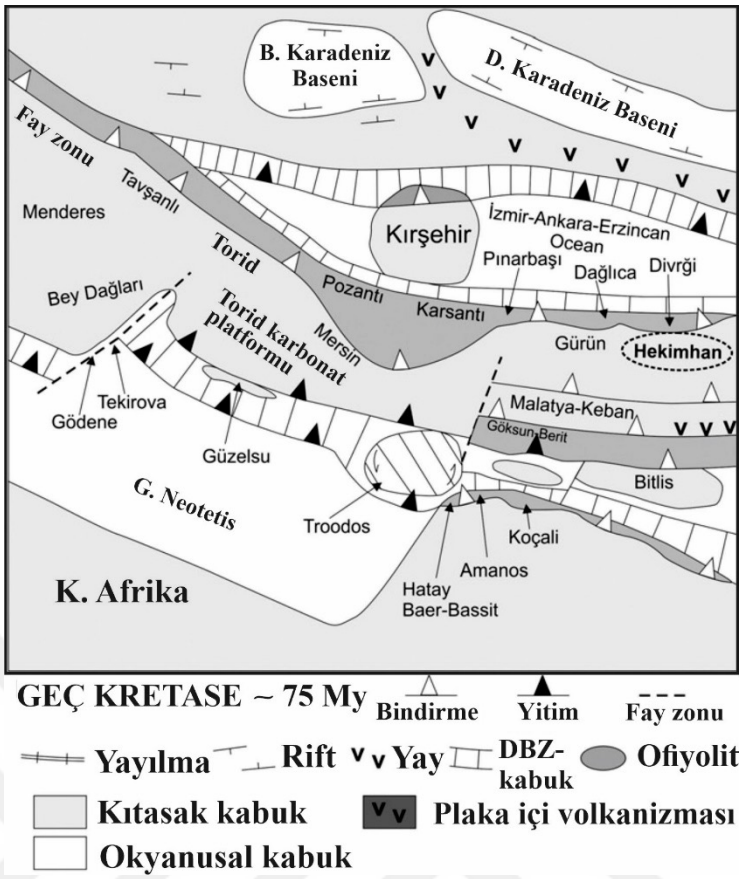
3.2 İnceleme Alanının Konumu ve Bölgesel Jeoloji

İnceleme alanı Malatya il sınırları içerisinde yer almakta olup, 1/25.000 ölçekli Malatya K39-a2,a3,b1,b2,b4 paftaları ile sınırlandırılmıştır (**Şekil 3.3**). Malatya ili Hekimhan ilçesinin yaklaşık 15 km kuzeydoğusunda yer almaktadır. Çalışma alanına ulaşım, Malatya - Hekimhan karayolu ile sağlanmaktadır. Sahanın yakın çevresinde yer alan diğer önemli yerleşim yerleri ise hemen batıda Malatya'nın Kuluncak ilçesi ve doğusunda ise Hekimhan ilçesine bağlı Hasançelebi mahallesidir.



Şekil 3.3 Tez çalışma alanının yer bulduru haritası.

İnceleme alanının da içerisinde yer aldığı Hekimhan Havzası, dünya genelinde önemli bir havza sınıfı olan ve supra-ofiyolit (ofiyolit tabanlı) havza olarak bilinen bir havza tipi olarak düşünülmektedir (Booth vd., 2014). Bu tip havzalar ofiyolitik (okyanusal) kayaçların pasif kıta kenarlarına yerleşiminden sonra, kıtasal çarpışmadan da çok önce oluşmaya başlarlar. Hekimhan Havzası, Torid mikro kıtasının kuzey kenarında Güney ve Kuzey Tetis okyanuslarının çarpıştığı ve kapandığı bir dönemde şekillenmeye başlamıştır (**Şekil 3.4**). Bu araştırmacılar (Booth vd., 2014) havzanın, Geç Kretase - Geç Eosen süresince iki ana tektonik süreç geçirdiğini söylemişlerdir. İlk aşama; Geç Kretase (Maastrihtiyen) boyunca, önceden yerleşmiş ofiyolitlik kayaçların aşınmasıyla, denizel olmayan bir kırıntılı çökelimden bahsetmişlerdir.



Şekil 3.4 İnceleme alanını da içerisine alan bölgesel paleotektonik birlikteliklerin gösterimi (Booth vd., 2014).

İkinci aşama olarak da havzanın, kabuktaki bölgesel açılmalara karşılık olarak hızla çöktüğünü ve böylece hemipelajik marnların ve bölgesel sapropelik çamur taşlarının çökelmesine imkân verdiğinden bahsetmişlerdir. Havzanın orta kısımlarında alkali, plaka içi tipinde bazaltik volkanizma görülmektedir. Sığ denizel karbonatların oluşumu, Maastrihtiyen sonunda yoğunlaşmıştır. Üstte Paleosen çökelleri, düşük açılı bir uyumsuzlukla ilişkilendirilen küçük ölçekli ve kalın olmayan denizel evaporitlerle ile sonlanmaktadır. Havza gelişiminin ikinci aşamasında ise Erken Eosen boyunca sığ denizel karbonatların çökelmesi ile başlar ve yine açılma tipinde, sınırlı bazaltik volkanizma ile devam eder. Havzanın, Orta-Geç Eosen sırasında geç çarpışma evresi ve çarpışma sonrası bir dönemde ortaya çıktığı düşünülmektedir. Orta Miyosen sırasında kısa süreli bir transgresyon meydana gelmiştir. Havza daha sonra hem sol hem de sağ yanal doğrultu atımlı faylarla deforme olmuştur. Havzanın oluşumuyla ilgili; açılmayla ilişkili ve halen dalmakta olan okyanusal bir levhanın kuzeye doğru çekilmesi ve yay gerisi açılmasıyla ilişkili olarak Neotetis 'in kuzeye dalması gibi birkaç farklı tektonik model düşünülmektedir. İlk olasılık, yakın civardaki supra-

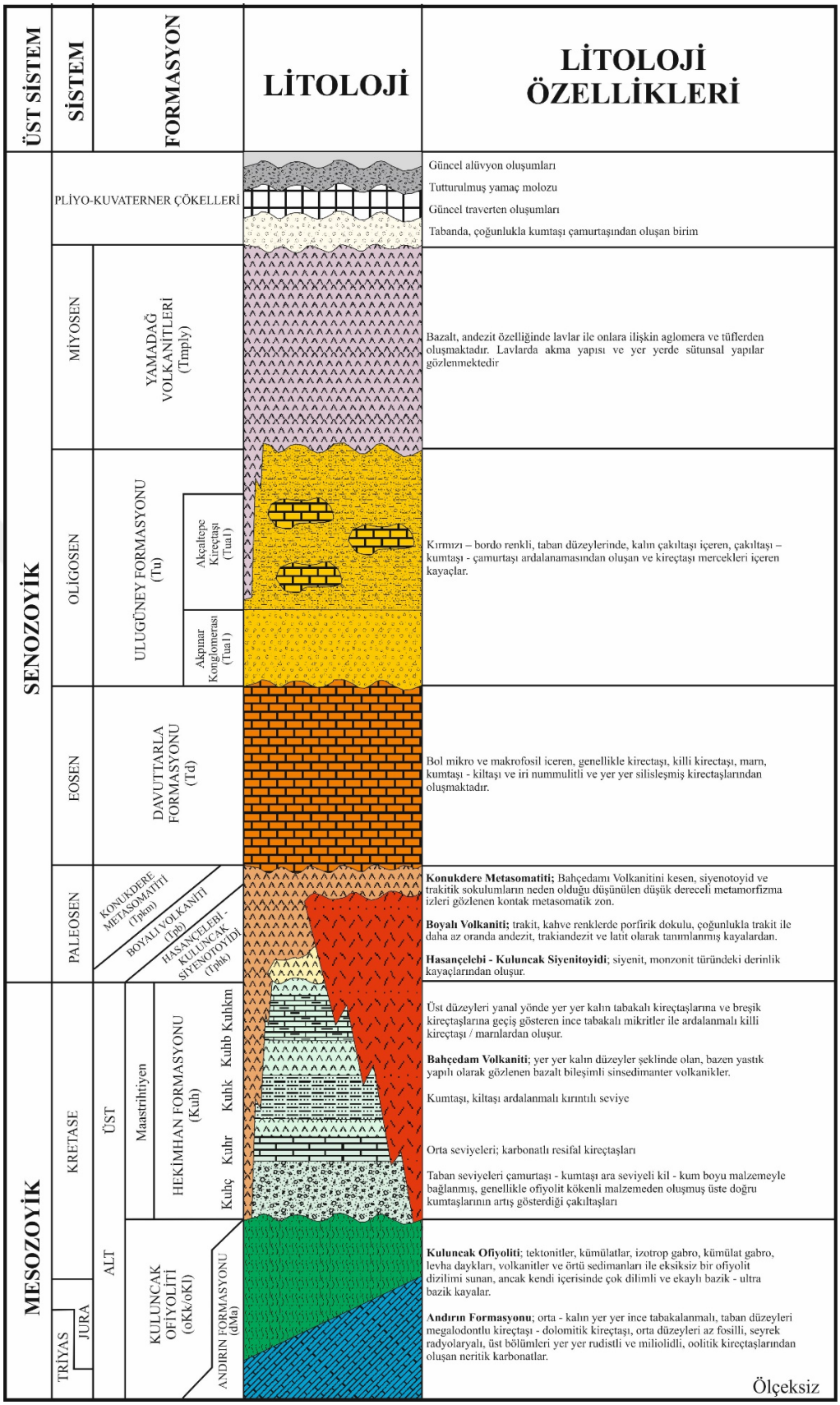
ofiyolit havzaların (Ulukışla ve Darende Havzaları gibi) ve ayrıca farklı yerlerdeki supra-ofiyolit havzaların (GD Türkiye, Balkanlar ve Umman gibi) oluşumuyla uyumludur (Booth vd., 2014).

Hekimhan Havzası'nın büyük bir bölümü Malatya Ovacık Fayı (MOF)'nın kuzey batısında yüzlek verir. Havzanın güneydoğu kesimi hem bu fayla hem de Pliyo-kuvaterner bir dolgu ile sınırlanmıştır. Üst Kretase'den Paleojen'e kadar olan litolojiler altta yer alan ofiyolitlerle ilişkili litolojilerdir. Torid karbonat platformuyla ilişkili sığ denizel karbonat kayaçları havzanın güneydoğusunda yüzeylemektedirler.

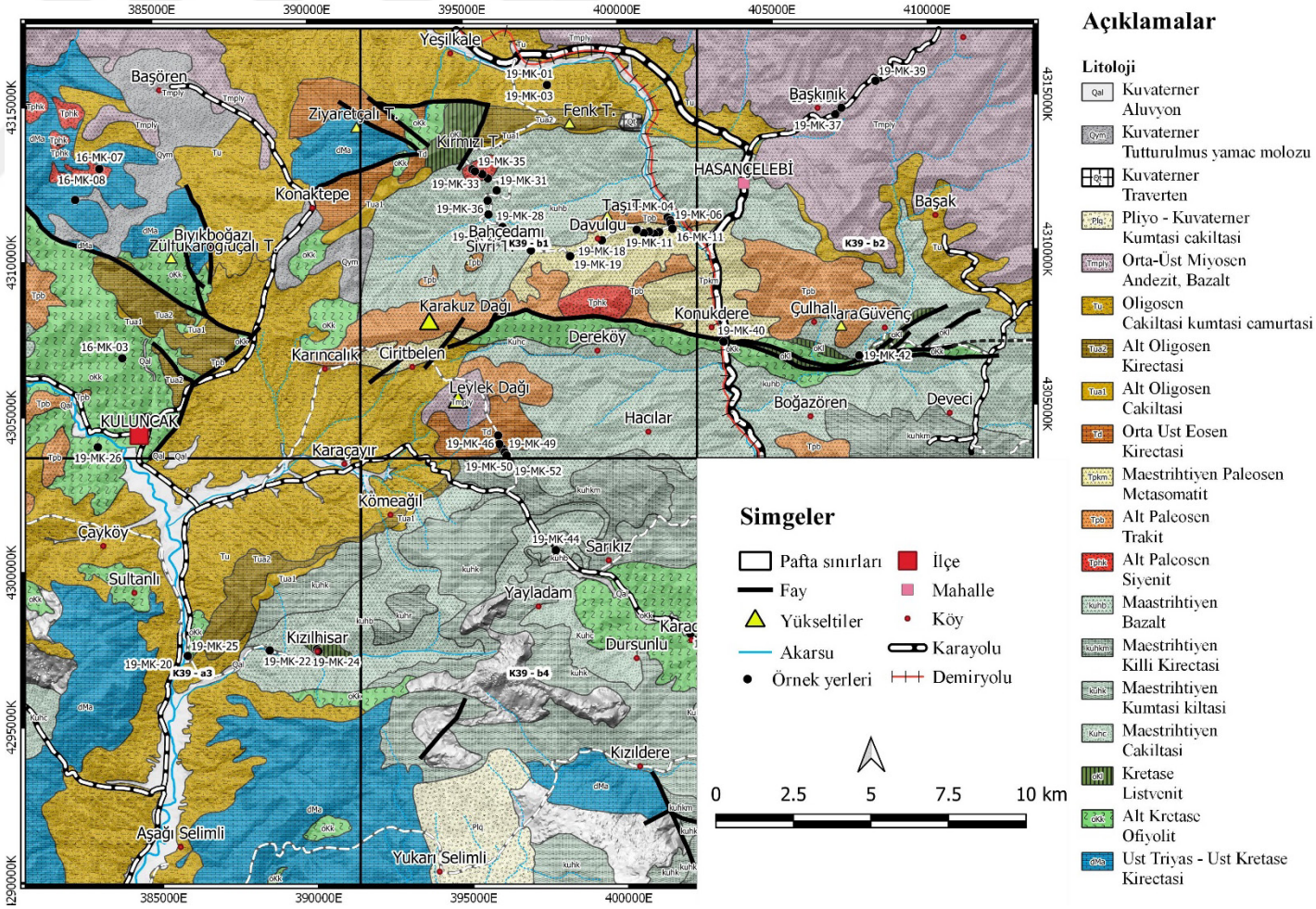
Ofiyolitlerle ilişkili kayaçların üzerindeki en yaşlı çökeller; Mesozoyik'in neritik karbonatlı kayaçlarının altında olup Üst Kretase yaşlı sığ denize kökenlidirler. Havza genelinde Paleosen yaşlı, düşük açılı bir uyumsuzluk Üst Kretase yaşlı sedimanlarla Alt Eosen yaşlı karasaldan sığ denizele kadar olan sedimanları birbirinden ayırmaktadır. Havza K-KD'ya doğru volkanoklastik sedimanlarla ilişkili olan Orta-Üst Miyosen yaşlı kalın bir karasal bazalt seviyesiyle örtülüdür. Ayrıca havza birçok fay zonu tarafından enlemesine kesilmektedir.

3.3 İnceleme Alanının Jeolojisi

İnceleme alanında yüzeyleyen temel birimleri; Domuzdağı Napı'na ait Andırın Formasyonu adı verilen, Geç Triyas – Alt Kretase'de çökelmiş neritik karbonatlar ile onları tektonik olarak üzerleyen ve yerleşimi Maestrihtiyen öncesi olan Kuluncak Ofiyoliti oluşturmaktadır. Bu temel birimlerin üzerine uyumsuz olarak gelen Maestrihtiyen yaşlı Hekimhan Formasyonu ve eşyaşlı olarak Bahçedamı Volkaniti gelmektedir. Bu volkanitleri ve Hekimhan Formasyonuna ait birimleri, yaşı Üst Kretase'den daha genç olduğu düşünülen Hasançelebi Kuluncak Siyenotoyidi kesmektedir. Bu siyenotoyid, Bahçedamı Volkaniti ile dokanak yaptığı zonlarda ise Paleosen'de volkanitleri metasomatizmaya uğratmıştır. Üst Kretase volkanizmasından ayrı olarak Paleosen yaşlı Boyalı Volkaniti, Hekimhan Formasyonu'nu uyumsuz olarak örtmektedir. Bu volkanizmadan sonra uyumsuz olarak, Eosen yaşlı Davuttarla Formasyonu'na ait karbonatlı birimler çökelmiştir. Bu karbonatlar üzerine uyumsuz olarak Üst Oligosen – Alt Miyosen yaşlı Ulugüney Formasyonu'na ait tabanda çakıltaşları ve üzerinde karbonatlı oluşumlar çökelmiştir. Üst Oligosen – Pliyosen aralığında ise Yamadağ Volkanitleri ortama uyumsuz olarak yerleşir ve üzerleri Pliyo-Kuvaterner çökelleriyle örtülmektedir (**Şekil 3.5**).



Şekil 3.5 İncele alanındaki birimlere ait stratigrafik kesit (Yüksel vd., 2013'den değiştirilerek).

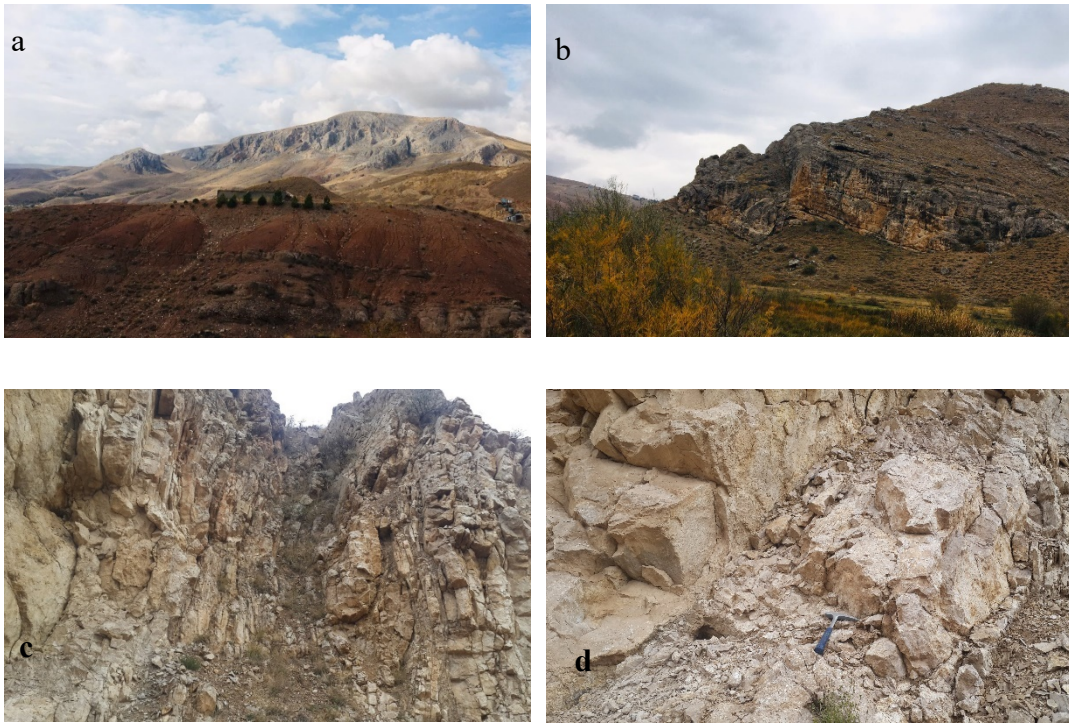


Şekil 3.6 İnceleme alanının jeoloji haritası (Yüksel vd., 2013'den değiştirilerek).

3.3.1 Andırın Formasyonu (dMa)

İnceleme alanının güneybatı (K39-a3) ve kuzeybatı (K39-a2) kesimlerinde yüzeylemekte olan birim, çalışma alanımızın da içerisinde olduğu Hekimhan Havzası'nın da temelini oluşturan allokton konumlu karbonat kayaçlarıdır. İnan vd., (1993) ve Yılmaz vd., (1998) tarafından Çataldağ Kireçtaşı olarak, Booth vd., (2014) tarafından Geniz Formasyonu (Mesozoyik karbonat platformu) olarak adlandırılan birim, Metin vd., (2013) tarafından Domuz Dağı Napı içerisinde yer alan ve Geç Triyas – Erken Kretase yaşı verilen birim; Andırın Formasyonu (dMa) olarak adlandırılmış ve çalışmamızda da bu isimlendirme tercih edilmiştir.

Birim bej, kahvemsi renklerde, sert-çok sert, orta-kalın tabakalı, fosilli olup, yoğun deformasyon izleri gözlenen, tabaka durumları yer yer dik, masif, kıvrımlı, kırıklı ve çatlaklı bir yapıdadır (**Şekil 3.7**). Formasyonun çalışma alanında tabanı gözlenememekte olup, üzerinde Kuluncak Ofiyoliti ile tektonik bir dokanak ilişkisi sunmaktadır.



Şekil 3.7 Andırın Formasyonu'na ait genel görünümler (a: Kuluncak güneyi, doğudan batıya bakış, b:eğim kazanmış tabakalar, c: dikleşmiş tabakalar, d: dikleşmiş tabaklar yakın görünüm).

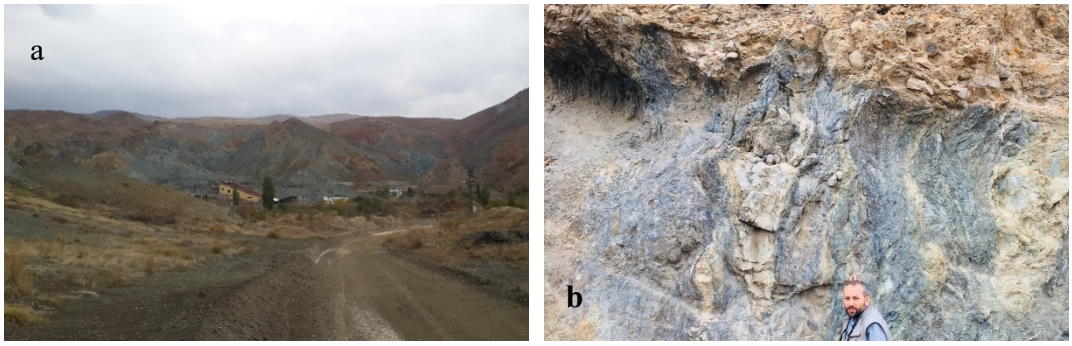
3.3.2 Kuluncak Ofiyoliti (oKk)

Kuluncak Ofiyoliti, Mesozoyik yaşlı karbonatları tektonik olarak üzerlemektedir. Çalışma alanında; Kuluncak civarında, Darende Kuluncak yolu üzerinde, Tohma Çayı kenarlarında, Hekimhan-Kuluncak ve Hasançelebi-Hekimhan yolu üzerinde ve çalışma alanının ortasına doğru, doğuda Güvenç köyünden, batıda Ciritbelen köyüne kadar, yaklaşık doğu-batı uzanımlı bir hat boyunca gözlenmektedir (**Şekil 3.8**).

Birimi, Gürer (1992) Hocalıkova Ofiyoliti, Yılmaz (1991), Yılmaz vd.,(1998) ve Yüksel vd., (2013) ise Kuluncak Ofiyolitli Karmaşığı olarak tanımlamışlardır.

Bu çalışmada Kuluncak Ofiyoliti adlaması benimsenmştir. Ofiyolit istifi tabandan tavana doğru; manto tektonitleri, ultramafik-mafik kümülatlar, izotrop gabrolar, levha dayk kompleksi, volkanikler ve pelajik örtü sedimanlarından oluşmakta, daha genç magmatik kayaçlar tarafından kesilmektedir (Rızaoğlu vd., 2010). Genel olarak ofiyolitlerde, serpantinleşme yaygın olarak gözlenmekte olup buna bağlı olarak kayaç yüzeyi kaygandır. Yoğun deformasyona bağlı kırıklı ve çatlaklı bir yapı sunmakta olup, bu kaygan yüzeyler yeşilimsi, mavimsi, koyu mavi renkte, taze kırık yüzeyleri ise kahverengimsi, kızılımsı renktedir.

Çalışma alanındaki ofiyolitlerin; Mesozoyik'te başlayan ve Tersiyer'de de devam eden Tetis Okyanusu'nun kapanma sürecinde, kuzeyden güneye taşınmış okyanusal kabuk kalıntıları olduğu bilinmektedir. Ofiyolitlerin oluşum ve yerleşim yaşı gibi ve hatta yerleşimden sonraki taşınma yaşı gibi farklı yaş tanımlamaları vardır. Çalışma alanımızdaki ofiyolitik birimlerin yerleşim yaşıyla ilgili olarak; Robertson vd., (2013b), hem Kuluncak hem de Hekimhan ofiyolitleri ve volkanosedimanlarla ilişkili melanjların üzerini uyumsuz bir şekilde örten, ince (10 m) taban konglomerası ve devamında sığ denizel karbonatları Geç Maastrihtiyen olarak yaşlandırmıştır. Parlak vd., (2006), içerisinde Kuluncak Ofiyoliti'nin de bulunduğu Doğu Torid bölgesinde yer alan ofiyolitlerin tümünü Geç Kretase dönemi boyunca kuzeye doğru dalan, okyanus içi dalma-batma zonunun üzerinde oluşuklarını ifade etmektedir.). Metin vd., (2013), birimin, tabandaki Mesozoyik karbonatlarını tektonik olarak üzerlerken, Maestrihtiyen yaşlı Hekimhan Formasyonu'nun her iki kütleyi birden uyumsuzlukla üzerlediğini belirtmektedir.



Şekil 3.8 Kuluncak ilçe merkezi batısında yer alan ofiyolitlere ait genel görünümler. (a: Kuluncak kuzeyinden güneye bakış, ofiyolitlerin genel görünümü, b: Kuluncak merkezde yer alan ofiyolitlerin yakından görünümü)

Güvenç Listveniti (oKl)

Serpantinleşmiş ofiyolitik kayaçların düşük dereceli hidrotermal alterasyonları sonucu, özellikle tektonik zonlar boyunca gelişmiş, silisleşmiş ve karbonatlaşmış, bir başka deyişle ofiyolitlerin altere karşılığı olan kayaçlardır. İlk olarak Leo (1971) tarafından tanımlanan seviye, Güvenç civarında yoğun olarak gözlendiğinden Yılmaz (1991) tarafından Güvenç Listveniti olarak adlandırılmıştır.

Listvenitik seviye, gerek koyu kızılımsı, toprağımsı rengi gerekse de sunduğu sarp görünümden dolayı ofiyolitik seri içerisinde kolayca ayırt edilebilmektedir. Serpantinleşmiş ultrabaziklerin üzerinde silisleşmiş bir şapka şeklinde bir görünüm sunmaktadır. Birim çalışma alanımızda yoğun olarak, Güvenç'den Ciritbelen'e kadar doğu-batı uzanımlı ofiyolitik kayaçlarla birlikte yer almaktadır. Ayrıca çalışmamızda Kuluncak ilçe merkezi civarında gözlenen ofiyolitik kayaçlarla birlikte de silisleşmiş şapka görünümünde bulunduğu tespit edilmiştir (**Şekil 3.9**).



Şekil 3.9 Listvenitlere ait genel görünümler (a: Güvenç köyü civarı, b: Kuluncak kuzeyi).

3.3.3 Hekimhan Formasyonu (Küh)

Hekimhan Formasyonu tabanda, büyük çoğunluğu ofiyolitik malzemeden oluşan çakıltaşları, karasal-sığ denizel kumtaşı ve çamurtaşı ardalanmasıyla temsil edilir. Bu seviyenin üzerinde daha çok sığ denizel görünümde resifal kireçtaşları, onların üzerinde alt düzeyleri kalından inceye, kumtaşı, silttaşı, kiltaşı ardalanması ve killi kireçtaşları yer almaktadır. Formasyonun en üst seviyesi ise pelajik kireçtaşları, marn ve neritik kireçtaşlarından oluşmaktadır.

Hekimhan Formasyonu'nun bir kısmı Yılmaz (1991) tarafından, aynı adla anılmış olup, tabandaki çakıllı seviye Kavakdere Formasyonu olarak tanımlanmıştır. Yılmaz (1998) ise formasyonu Uludere ve Kavakdere isimleriyle iki farklı formasyon olarak tanımlamıştır. Metin vd., (2013) tüm Maestrihtiyen boyunca ofiyolitlerin üzerine uyumsuz gelen ve zaman zaman karasal ve sığ denizel oluşumları Hekimhan Formasyonu olarak tanımlamıştır. Ayrıca Metin vd., (2013); tabandaki çakıllı seviyeyi formasyonun Çakıltaşı Üyesi (Kuhç), üzerindeki karbonatları Resifal Kireçtaşı Üyesi (Kuhr), onların üzerindeki kırıntılı seviyeyi, Kumtaşı Kiltaşı Üyesi (Kuhk) ve en üst seviyedeki killi karbonatları da Killi Kireçtaşı Marn Üyesi (Kuhkm) olarak ayıklamıştır. Metin vd., (2013) çalışmalarında yaptığı paleontolojik bulgular ışığında formasyona Maestrihtiyen yaşını vermişlerdir.

3.3.3.1 Bahçedamı Volkaniti (Kuhb)

Çalışma alanının genel olarak, kuzeybatısı hariç yoğunlukla ortalarında geniş ve kalın olduğu bir yayılım sunan daha çok bazaltik bileşimde ve Hekimhan Formasyonu'nun çökelimi ile eş yaşlı (Üst Kretase) olan sinsedimanter volkanik kayaçlar Metin vd., (2013) tarafından Hekimhan Formasyonu'na dahil edilmiş ve Bahçedamı Volkaniti olarak adlandırılmıştır. Yılmaz (1991) bu volkanik seviyeyi aynı adla anmış olup, Gürer (1992) çalışmasında Hasançelebi Volkanitleri olarak adlamıştır. Daha çok bazaltik bileşimli olan kayaç, traki-andezit seviyeleri de içermektedir. Bej, kahve tonlarında yer yer yeşilimsi, çok dağılgan olan volkanik seviyenin yer yer yastık yapıda olduğu ve genelde yoğun bir alterasyon geçirdiği gözlenmiştir (**Şekil 3.10**).



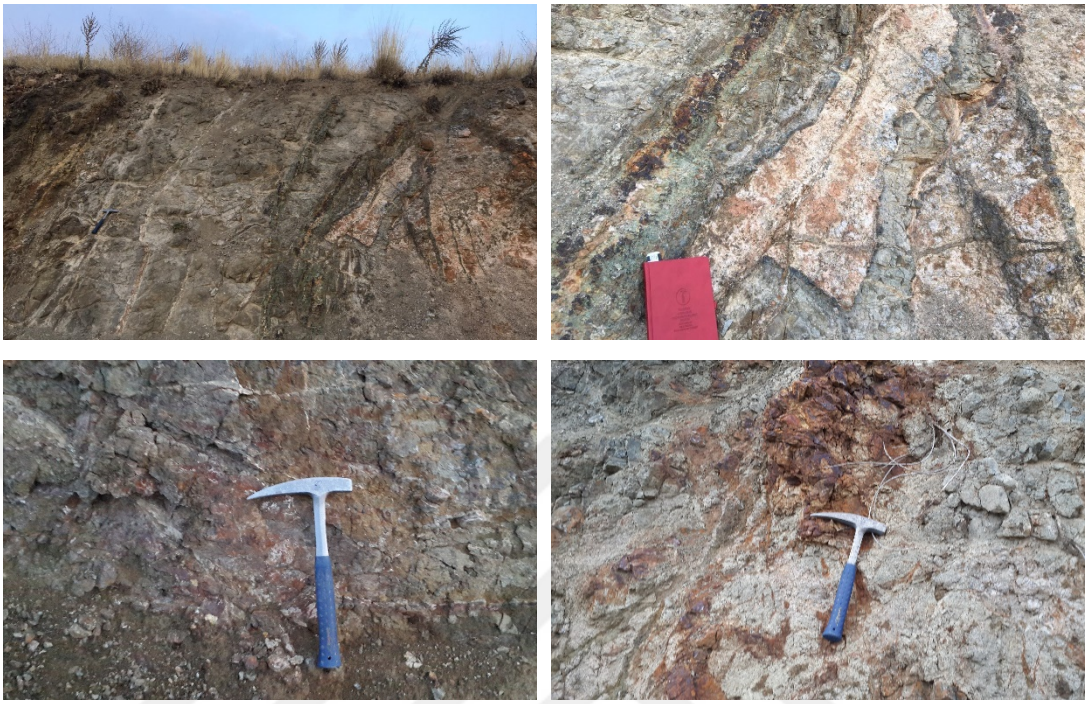
Şekil 3.10 Bahçedamı Köyü civarında yüzeyleyen volkanitlere ait görünümler.

3.3.4 Konukdere Metasomatiti (Tpkm)

Çalışma alanımızda; Konukdere, Yüceşafak Tepe, Davulgu ve Ciritbelen civarında gözlenen birim, Yılmaz (1991) tarafından Konukdere Metasomatiti olarak tanımlanmış olup, Paleosen'de Bahçedamı Volkanitine sokulum yapan siyenotoyidin ve eş yaşlı kabul edilen Boyalı Volkaniti'nin bu metasomatizmayı oluşturduğunu söyleyerek skapolit-fels mineral tanımları yapmıştır. Gürer (1996) çalışmasında plütonik kütlenin Bahçedamı Volkanitini keserken Davulgu Metamorfitleri adını verdiği kontak metamorfik kayaçlardan bahsederek, radyometrik yaş verilerinin Üst Maestrihtiyen – Paleosen olduğunu söylemiştir. Yılmaz vd., (1998) de Yılmaz (1991) ile aynı adlamayı ve benzer tanımlamayı yapmakla birlikte siyenotoyidin, Bahçedamı Volkanitiyle birlikte ofiyolitik karışık içerisindeki gabro ve diyabazları metasomatizmaya uğratarak oluştuklarını söylemiştir.

Alınan örnekler üzerinde yapılan mikroskobik incelemelerde; düşük dereceli metamorfizma izleri sayılabilecek, serizitleşme, kloritleşme, zeolitleşmeler ve yaygın muskovit oluşumları tespit edilmiştir. Ayrıca, karbonatlaşma, epidotlaşma ve feldispatlarda killeşme gözlenmiştir. Örneklerde cevherli zon olduğu düşünülen opak mineraller de tespit edilmiştir. Bunlarla birlikte petrografik olarak; Albit- Epidot –

Hornfels fasiyesi ya da yeşil şist fasiyesinin düşük basınç ve sıcaklık ürünü bir başka deyişle meta-volkanik bir kayaç tanımlaması yapılmıştır (**Şekil 3.11**).



Şekil 3.11 Davulgu köyü civarında volkanik kayaçlara ait görünümler.

3.3.5 Hasançelebi - Kuluncak Siyenotoyidi (Tphk)

Çalışma alanımızda yer alan tek plütonik derinlik kayacı olan birim, yoğunlukla Yüceşafak Tepe civarında (K39-b1) gözlenmektedir. Bunun haricinde Bahçedamı Köyü kuzeyinde ve Başören Köyü güneybatısında da yüzlek vermektedir.

Jacobson vd., (1971) siyenit olarak tanımlamıştır. Leo vd., (1971), Avliya Dere Alkali Siyeniti , Yılmaz (1991) ve Yılmaz vd., (1998) Hasançelebi Granotiyodi, Gürer (1992) Yüceşafak Siyenotoyidi ve Metin vd., (2013) ise Hasançelebi Kuluncak Siyenotoyidi olarak tanımlamış ve çalışmada bu adla kullanılmıştır.

Çalışma alanındaki siyenotoyitlerden kuzeybatıda yer alan kısımlarının daha çok monzonitik bileşimde ve yer yer pegmatitik dokuda oldukları ve fazla altere olmadıkları tespit edilmiştir. Orta ve kuzey kesimlerde yüzlek veren kısımlarının ise daha ince taneli ve kuvars-siyenit bileşimde olduğu söylenebilir. Genel olarak Pembemsi bej, kahve tonlarda olan birim, baskın mineral olarak ortoklaz ve ilaveten

kuvars, plajiyoklaz ve mika minerallerinden oluşmaktadır. Orta-iri taneli sayılabilecek birim, çalışma alnımızda yer yer yoğun alterasyon izleri de sunmaktadır (**Şekil 3.12**).

Birimin dokanak ve kesme ilişkisi bulunan Üst Kretase yaşlı volkanik kayaçları ise metasomatizmaya uğrattığı düşünülmektedir. Bu sebeple, en genç olarak Bahçedamı Volkanitini ve dahil olduğu Hekimhan Formasyonu'nu kesen siyenotoyidin yaşı; birçok çalışmacı tarafından da kabul edildiği gibi Paleosen olduğu düşünülmüştür.



Şekil 3.12 Çalışma alanında yer alan siyenitik bileşimli kayaçlara ait genel görünümler (a: Bahçedamı kuzeyi b: Başören civarı).

3.3.6 Boyalı Volkaniti (Tpb)

Trakit bileşimdeki birim çalışma alanımızda çok yaygın gözlenen bir kayaç olmayıp çoğunlukla Hasançelebi güneyinde ve Karakuz Dağı civarında yüzeylemektedir. Üst Kretase volkanizmasından ayrı olarak trakitik bileşimde olup Hekimhan Formasyonu'nu uyumsuz olarak örtmektedir.

Birçok çalışmacı da birimi Üst Kretase volkanizmasından, gerek bileşimi, gerekse de görünümünden dolayı farklı bir volkanizma olarak tanımlamıştır. Yılmaz (1991) birimi; trakitik ve andezitik bileşimde, Karadağ Volkanitleri olarak, Gürer (1996) Bahçedamı Volkaniti içerinde Sivritepe Trakit Üyesi olarak tanımlarken, Yılmaz (1998) ise birimi Miyosen volkanizması olan Yamadağ Volkanikleri içerisinde, Metin vd., 2013 birimi Paleosen yaşlı Boyalı Volkaniti olarak tanımlamıştır. Bu çalışmada, Boyalı volkaniti adlaması tercih edilmiştir.

Sarımsı, kahve, kızıl renklerde olan birim arazide belirgin sivri tepeler oluşturmaktadır. Hekimhan Formasyonu'nu keserek üzerine yayıldığı için birimin yaşının Erken Paleosen – Paleosen olduğu düşünülmektedir (Metin vd., 2013).

Petrografik incelemelerde, bol feldispat ve bu feldispatlarda da yaygın killeşme gözlenmiş olup trakitik bileşimde olduğu tespit edilmiştir.

3.3.7 Davuttarla Formasyonu (Td)

Nummulitli kireçtaşı, kiltaşı, marn ve kumtaşı ardalanmasından oluşan birim, çalışma alanımızda, Leylek Dağ güneydoğusunda yer alan Davuttarla Tepe ile Konaktepe yakın civarı ve kuzeyinde gözlemlenmektedir. Leo vd., (1971) Çaltepe kireçtaşları olarak, Yılmaz (1991) ve Yılmaz vd., (1998) Davuttarla Formasyonu olarak, Gürer (1994) Akpınar Formasyonu içerisinde Suyunguzu Kireçtaşı Üyesi olarak, Metin vd., (2013) ise Darende Formasyonu içerisinde Asartepe Üyesi olarak tanımlamışlardır.

Sert bir topografya sunan birimin kireçtaşı seviyeleri bej, kızılımsı renklerde, çok sert, yer yer silisifiye olmuş, masif görünümlü ve fosil içeriklidir. Bağlayıcısı mikrit olan karbonatlı seviyeye biyomikrit tanımlaması yapılmıştır (**Şekil 3.13**).

Kırıntılı seviyelerin rengi ise sarımsı renklerde gözlenmiştir. İçerisindeki fosil topluluklarına göre birimin yaşı Orta Eosen olarak belirlenmiştir (Yılmaz vd., 1998).



Şekil 3.13 Davuttarla Formasyonu'nun farklı seviyelerine ait görünümler (Leylek Dağı güneydoğusu).

3.3.8 Ulugüney Formasyonu (Tu)

Çalışma alanımızda geniş bir yüzlek sunan formasyon, yoğunlukla Tohma Çayı boyunca çok geniş bir yayılım sunmakla birlikte, çalışma alanının kuzeyinde ve kuzeydoğusunda da yayılım göstermektedir. Birim genel olarak, tabanda çaklıtaşı, kumtaşı, kiltaşı ve marn ardalanmasından oluşmaktadır. Tabandaki çakıltaşlarının üzerinde yer yer karbonatlı seviyeler izlenmektedir. Birim bordo, kızıl, koyu kahverengi ve kırmızımsı renkler sunmaktadır (**Şekil 3.14**).

Uçurum (1992) formasyonu tanımladığı yer olan, çalışma alanımızın kuzey sınırında ve Yeşilkale'nin hemen doğusunda bulunan Ulugüney tren istasyonundan dolayı Ulugüney Formasyonu olarak adlandırmıştır. Gürer (1994) birimi, Kamatlar Formasyonu olarak adlandırarak, Akçaltepe Kireçtaşı Üyesi'ni ayıklamıştır. Yılmaz vd. (1998)'de Ulugüney Formasyonu adını kullanmakla birlikte tabanda yer alan çakıllı seviyeyi Akpınar Konglomeras Üyesi (Tua1) ve üzerindeki karbonatlı seviyeleri de Akçaltepe Kireçtaşı Üyesi (Tua2) olarak ayıklamıştır. Yalçın ve Bozkaya, (2002) birimi Uğurlu Formasyonu olarak adlandırmıştır. Metin vd., (2013) ise birimi, Sivas güneyinde yer alan birimlerle deneştirerek, çalışmasında Selimiye Formasyonu adıyla anıp, tabandan tavana kadar olan kırıntılı seviyeleri Balaban Üyesi arada kalan karbonatlı seviyeleri de Akçal Üyesi olarak ayıklamıştır. Bizim çalışmamızda ise Yılmaz vd., (1998)'in kullandığı Ulugüney Formasyonu adlaması benimsenmiştir. Formasyonun yaşı anılan çalışmacılar tarafından Üst Oligosen – Alt Miyosen olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3.14 Ulugüney Formasyonu'na ait görünüm (çalışma alanı kuzeyinden).

3.3.9 Yamadağ Volkaniti (Tmply)

Daha çok çalışma alanının kuzeydoğusunda yüzlek veren birim ismini daha kuzeyde bulunan Yama Dağ'ından almaktadır. Grimsi, bejimsi pembemsi renkte olan birim, ince - orta taneli, sert-çok sert ve yoğun gaz boşlukludur (**Şekil 3.15**). Alınan örnekler petrografik olarak incelendiğinde; ojit, plajiyoklaz ve olivin gibi minerallerle, opasitleşme, iddingsitleşme türü bozuşmalar görülmüş ve bazalt olarak tanımlanmıştır.

Yılmaz (1991), Uçurum (1992), Gürer (1992, 1994), Yalçın vd., (1998), Yılmaz vd., (1998), Yalçın ve Bozkaya (2002) ve Beyazpirinç vd., (2010) aynı veya benzer adlamaları benimsemişlerdir. Yalçın vd., (1998), volkanitleri; beyaz kaolinize riyolitlerden oluşan Obuz Riyoliti, piroklastiklerden oluşan Başkınık Piroklastikleri ve bazaltik trakiandezit, trakiandezit, andezit ve dasitten oluşan Susuzdağ Volkanikleri şeklinde sınıflamışlardır. Yalçın ve Bozkaya, (2002) de Yamadağ Volkanitleri için Orta – Üst Miyosen ya da daha genç olduğu gibi bir yaş aralığı düşünmüştür. Ulugüney Formasyonu üzerine uyumsuz olarak yerleşen Yamadağ Volkanitleri'nin, yaşı; Leo vd., (1973) ve Beyazpirinç vd., (2010)'in radyometrik verilerine göre volkanizma başlangıç evrelerinin Üst Oligosen –Alt Miyosen, esas yayılımının ise Orta – Üst Miyosen ile Erken Pliyosen olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.15 Hasançelebi civarında yüzlek veren Yamadağ Volkanitleri'ne ait görünümler.

3.3.10 Pliyo-Kuvaterner Çökeller

Çalışma alanımızda yaşlı birimleri uyumsuzlukla örten kumtaşı ve çamurtaşından oluşan (PlQ) çökelleri, güncel traverten oluşumlarını (Qt) temsil eden oluşumlar, tutturulmuş yamaç molozu olarak tanımlanan (Qym) birimler ve güncel alüvyonel oluşumlar (Qal) yer almaktadır.

3.4 Yapısal Jeoloji

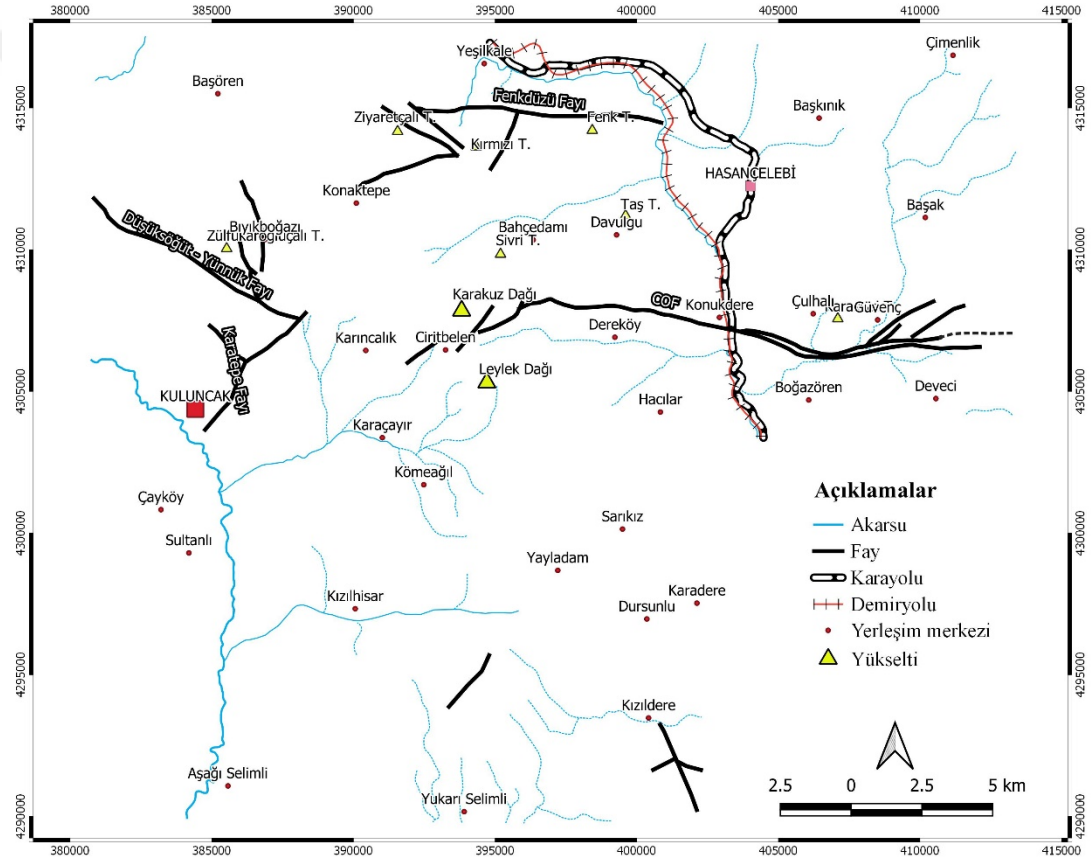
İnceleme alanının da içerisine alan Hekimhan Havzası Torid mikro kıtasının kuzey kenarında Güney ve Kuzey Tetis okyanuslarının çarpıştığı ve kapandığı bir dönemde şekillenmeye başlamıştır. Bu sebeple de inceleme alanı ve yakın çevresi Kretase boyunca (Kampaniyene kadar) Kuzey – Güney yönlü bir sıkışmanın etkisinde kalmıştır. Böylece Kretase öncesinde bölgede yerleşmiş ofiyolitik kütleler, kuzeyden güneye taşınarak Toros platform karbonatlarının üzerine yerleşmişlerdir. Bu dönemden sonra; Maestrihtiyen – Oligosen arasında gerilmenin ve düşey hareket bileşenlerinin hâkim olduğu bir tektonik döneme girilmiştir. Oligosen sonrasında ise tekrar yatay hareketlerin ve doğrultu atım bileşenlerinin öne çıktığı bir tektonik döneme girilmiştir (Gürer, 1992). Bütün bu sebeplerle; inceleme alanında hem sıkışmaları temsilen ters atım bileşenli doğrultu atımlı faylar, hem de normal atım bileşenli doğrultu atımlı faylar birlikte bulunmaktadır (**Şekil 3.16**).

Bunlar arasında en önemlilerinden bir tanesi, inceleme alanının yaklaşık olarak tam ortasında bulunan D-B doğrultulu Ciritbelen - Otmangölü fayıdır (COF). Fayın doğu ucu inceleme alanı dışında kalan Otmangölü (Karaköcek Köyü)'nde başlayıp, batıda inceleme alanı içerisinde bulunan Ciritbelen Köyüne kadar yaklaşık 22 km uzanarak son bulmaktadır. Fay sol yanal ters atım bileşenli doğrultu atımlı bir fay olup, fay düzleminin doğrultusu yaklaşık D-B eğim miktarı ve yönü ise 80-90º G'dir. COF güneyinde Kuluncak Ofiyoliti yer alacak şekilde, kuzeyinde ise Hasançelebi – Kuluncak Siyenotoyidi ve Konukdere Metasomatiti arasında bir sınır oluşturarak uzanmaktadır. Ofiyolitlerdeki listvenitleşmelere de COF içinde hareket eden çözeltilerin sebep olduğu düşünülmüştür (Gürer, 1992). Fayın yaşına Gürer (1992) Oligosen demişse de Metin vd., (2013) fayın Oligosende de çalıştığını söyleryerek yaşına Oligosen sonrası demeyi tercih etmiştir.

Bir diğer D-B uzanımlı önemli fay ise K39-b1 paftası içerisinde yer alan Fenkdüzü Tepe'nin hemen kuzeyindedir. Fay ilk defa Gürer (1992) tarafından tanımlanmıştır. Daha sonra fayı, Yılmaz (1998) Fenkdüzü Fayı olarak adlamıştır. Eğim atımlı normal bir faydır. Kuzey blok taban bloğunu oluşturmaktadır. Yaklaşık 8 km uzunluğundaki fay civarında yer yer traverten oluşumları ve ofiyolitlerde listvenitleşme-karbonatlaşmalar bulunmaktadır (Metin vd., 2013).

İlk defa Leo (1971) tarafından tanımlanan bir diğer fay ise Düşüksöğüt – Yünnük Fayıdır. K39-a2 paftası içersinde yer alan fay yaklaşık KB-GD uzanımında olup GB bloğu taban bloğudur. KB ucu inceleme alanı dışında kalan fay yaklaşık 13 km uzunluğundadır. Metin vd., (2013) fayın daha doğuda bulunan COF'un devamı olabileceğini söylemiştir.

Kuluncak ilçe merkezinin hemen güneydoğusunda bulunan Karatepe Fayı da ilk olarak Leo (1971) tarafından tanımlanmıştır. Metin vd. (2013) fayın paralelinde K39-a3 paftası içerisinde Oligosen çökelleri ile ofiyolitik kayaçlar arasındaki dokanakta tespit ettikleri verilere göre fayın doğrultu atımlı olduğunu söylemişlerdir.



Şekil 3.16 İnceleme alanında yer alan önemli faylar.

4. BULGULAR

Bu çalışma 1/100.000 ölçekli K39 paftasının kuzey kesimlerinde (K39-a2,a3,b1,b2,b4) gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda bölgenin jeolojik haritasının önceki çalışmalar ışığında litoloji sınırları denetlenerek doğrulanmaya çalışılmıştır. Bu doğrulama yapılırken, önceden belirlenen noktalardan çalışma sahasında yüzeyleyen kayaçlardan sahadaki litolojik özellikleri temsil edebilecek örnekler alınmaya çalışılmıştır. Alınan kayaç örneklerinden mineralojik-petrografik tanımlamalar için ince kesitler ve XRD analizleri yapılmıştır. Kayaçların kimyasını, kökenini ve oluşum ortamlarını belirlemek için jeokimyasal analizler, uzaktan algılama çalışmalarında kullanılmak üzere de spektral ölçüm ve analizler yapılmıştır.

4.1 Petrografik Bulgular

İnceleme alanında, yaş ve litolojik olarak ayrıntıları Bölüm 3.3'de verilen kayaç gruplarına ait örneklerden 60 adet alınarak ince kesit analizi yapılmıştır. Her kayaç grubunu temsil eden örneklere ait petrografik bulgular **Tablo 4.1**'de verilmiş olup, ince kesitler üzerinde yapılan mikroskobik bulgular stratigrafik dizilime göre verilmiştir.

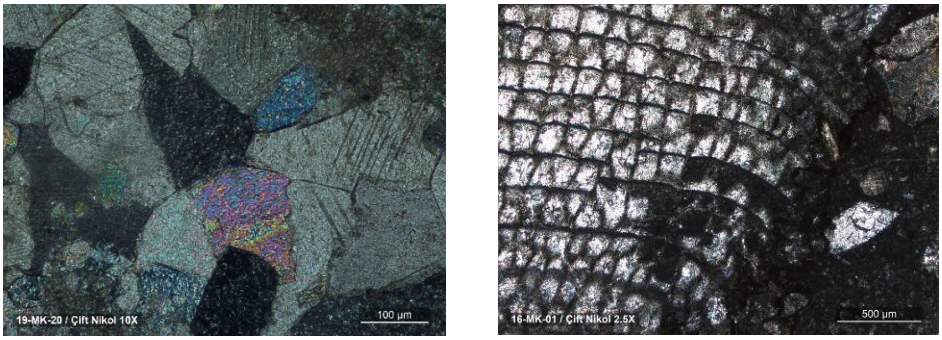
Tablo 4.1 Çalışma sahasını temsil eden örneklere ait petrografik bulgular.

Örnek adı	Kayaç Gr/Fm	Petrografik Tanımlama	Yaygın Mineral	Alterasyon
16-MK-03		Altere Bazalt	Plajiyoklaz	Killeşme, serizit, karbonatlaşma
16-MK-04		Altere Bazalt	Plajiyoklaz	Killeşme, serizit, karbonatlaşma
16-MK-05	H-K S	Diyorit	Plajiyoklaz	Killeşme
16-MK-06	H-K S	Diyorit	Plajiyoklaz	Killeşme
16-MK-07	H-K S	Monzo-diyorit	Plajiyoklaz	Killeşme
16-MK-08	H-K S	Diyorit	Plajiyoklaz	Killeşme
16-MK-10	Bd.V	Altere Riyolit		
16-MK-11	K.M	Altere Andezit		Killeşme, silisleşme
19-MK-01		Killi Kireçtaşı	Karbonat	
19-MK-02		Kumtaşı/Silttaşı		
19-MK-03		Kumtaşı/Silttaşı		
19-MK-04	By.V	Trakit - Latit	Feldispat	Killeşme
19-MK-05	By.V	Trakit	Feldispat	Killeşme
19-MK-06	H-K S	Kuvars-Siyenit	Feldispat	Killeşme
19-MK-07	K.M	Meta Volkanik	Muskovit	serizit, klorit
19-MK-08	K.M	Cevherleşmiş		
19-MK-09	K.M	Meta Volkanik	Serizit/Muskovit, Klorit	Serizit, klorit, killeşme
19-MK-10	K.M	Meta Volkanik	Serizit/Muskovit, Klorit	Serizit, klorit, killeşme

Örnek adı	Kayaç Gr/Fm	Petrografik Tanımlama	Yaygın Mineral	Alterasyon
19-MK-11	H-K S	Meta Siyenit	Feldispat	Zeolit, klorit, epidot
19-MK-12	K.M	Cevherleşmiş		
19-MK-13	K.M	Meta Volkanik	Serizit/Muskovit, Klorit	Serizit, klorit, killeşme
19-MK-14	K.M	Meta Andezit	Serizit/Muskovit, Klorit	Serizit, klorit, zeolit, muskovit
19-MK-15	K.M	Cevherleşmiş		
19-MK-16	K.M	Meta Bazalt	Piroksen/Öjit	Karbonatlaşma
19-MK-17	K.M	Meta Volkanik		
19-MK-18	K.M	Meta Volkanik		Karbonatlaşma
19-MK-19	K.M	Meta Volkanik	Serizit/Muskovit, Klorit, Feldispat	Serizit, klorit, killeşme, karbonatlşama
19-MK-20		Kireçtaşı	Karbonat	
19-MK-21	Bd.V	Bazalt	Öjit, plajiyoklaz	Altere değil
19-MK-22	Bd.V	Altere Bazalt		
19-MK-23		Kireçtaşı	Karbonat	
19-MK-24		Kireçtaşı	Karbonat	
19-MK-25	K.O	Ofiyolit/Listvenit	Kuvars, Klorit, Piroksen/Öjit	Silis, klorit, karbonatlaşma
19-MK-26	K.O	Serpantinit/Harzburjit	Piroksen/Öjit, Olivin	Serpantin
19-MK-27	Bd.V	Bazalt	Olivin, Piroksen/Öjit, Plajiyoklaz	Serpantin, killeşme
19-MK-28	Bd.V	Altere Bazalt	Plajikoklaz, Piroksen/Öjit, Klorit	Klorit, zeolit
19-MK-29	Bd.V	Meta Volkanik	Klorit, Serizit/Muskovit, Zeolit	Serizit, klorit, zeolit, karbonatlaşma
19-MK-30	Bd.V	Meta Bazalt	Piroksen/Öjit, Plajiyoklaz, Zeolit, Klorit	Klorit, zeolit, karbonatlaşma
19-MK-31	Bd.V	Andezitik bazalt	Klorit, Zeolit	Klorit, zeolit, karbonatlaşma
19-MK-32	By.V	Trakit	Feldispat	Killeşme
19-MK-33	H-K S	Kuvars-Siyenit	Ortoklaz, Kuvars, Plajiyoklaz	
19-MK-34	H-K S	Siyeno-Granit	Kuvars, Ortoklaz, Biyotit	
19-MK-35	H-K S	Kuvars-Siyenit	Ortoklaz, Kuvars	
19-MK-36	Bd.V	Bazalt	Öjit, plajiyoklaz	Zeolit, klorit
19-MK-37	Y.V	Bazalt	Öjit, plajiyoklaz	
19-MK-38	Y.V	Bazalt	Plajikoklaz, Olivin	İddingsitleşme
19-MK-39	Y.V	Bazalt	Plajiyoklaz, Öjit	Opasitleşme
19-MK-40	K.O	Altere Serpantinit	Olivin, Piroksen/Öjit	Serpantin
19-MK-41	K.O	Cevherleşmiş		
19-MK-42	Bd.V	Altere Volkanik		
19-MK-43	K.O	Serpantinit	Olivin, Piroksen/Öjit	Serpantin
19-MK-44		Kumtaşı/Silttaşı		
19-MK-45		Kuvarsit	Kuvars	Silis
19-MK-46		Kireçtaşı		
19-MK-47		Killi Kireçtaşı	Karbonat	
19-MK-48		Killi kireçtaşı	Karbonat	
19-MK-49		Kireçtaşı	Karbonat	
19-MK-50	Bd.V	Bazalt	Piroksen/Öjit, Plajiyoklaz	
19-MK-51		Kireçtaşı	Karbonat	
19-MK-52	Bd.V	Bazalt	Plajiyoklaz, Öjit	Opasitleşme

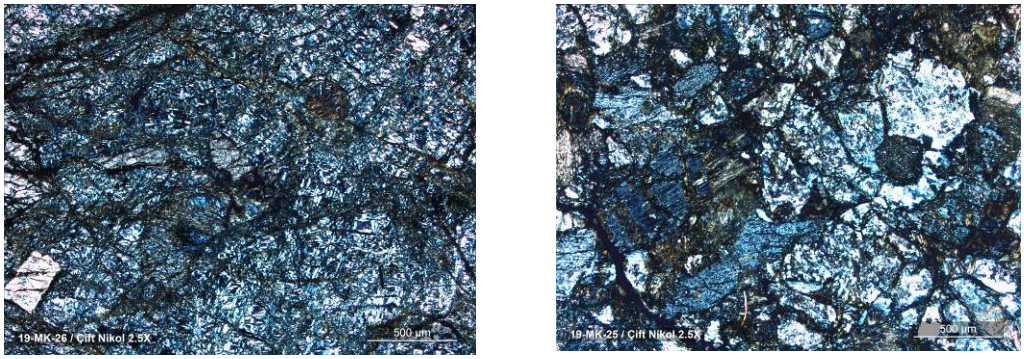
Kısaltmalar: Bd.V: Bahçedamı Volkaniti, K.M: Konukdere Metasomatiti, H-K.S: Hasançelebi-Kuluncak Siyenotoyidi, By.V: Boyalı Volkaniti, Y.V: Yamadağ Volkaniti

İnceleme alanında temel birimleri temsil eden karbonatlı kayaçlarda (Andırın Formasyonu) yapılan incelemelerde; kavkı izlerinin de gözlendiği, oolitli, intraklastlı, biyomikrosparit tanımı yapılmıştır (**Şekil 4.1**).



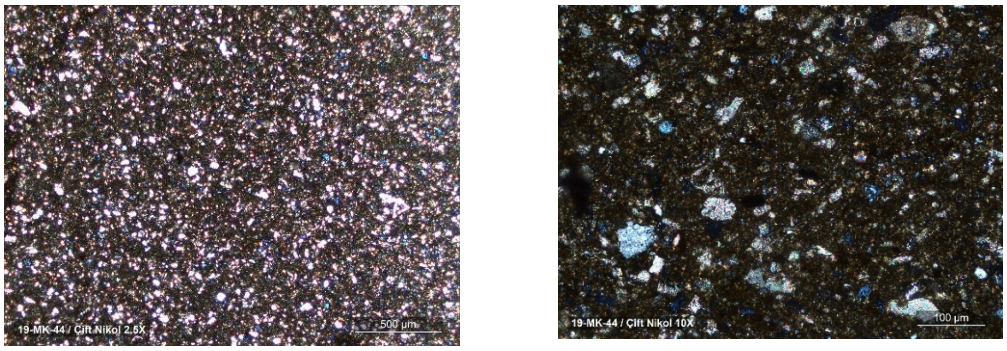
Şekil 4.1 Karbonatlı kayaca ait ince kesit görüntüleri.

Kuluncak Ofiyolitleri, yoğun olivin ve piroksen mineralinden oluşan, olivinlerin ise serpantinleştiği (yaklaşık 500 ºC'de sulu ortamda) ultra mafik bir kayaç olarak tanımlanmıştır (**Şekil 4.2**). Kuluncak Ofiyolitleri içerisinde, alterasyon tipine dayalı olarak ayrı tutulan Güvenç Listvenitinde ise yoğun silis izlenmiş, klorit ve piroksen mineralleriyle birlikte yer yer karbonatlaşmalar da gözlenmiştir.

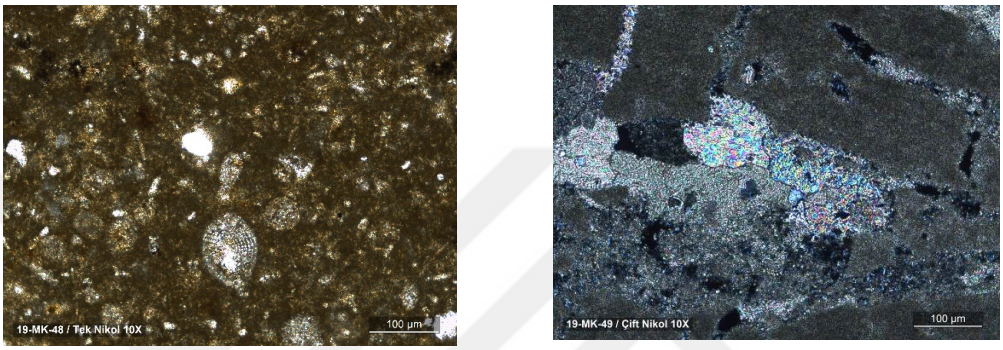


Şekil 4.2 Kuluncak Ofiyolitine ait ince kesit görüntüleri.

Hekimhan Formasyonuna ait kırıntılı birimler incelendiğinde kiltaşı-silttaşı geçişi olarak tanımlanmıştır (**Şekil 4.3**). Aynı formasyona ait sığ denizel ortamları temsil eden kireçtaşları incelendiğinde, kavkı izleri gözlenen, intraklastların yaygın olduğu, mikrit, mikrosparit bağlayıcılı biyomikrit olarak tanımlanmıştır (**Şekil 4.4**).



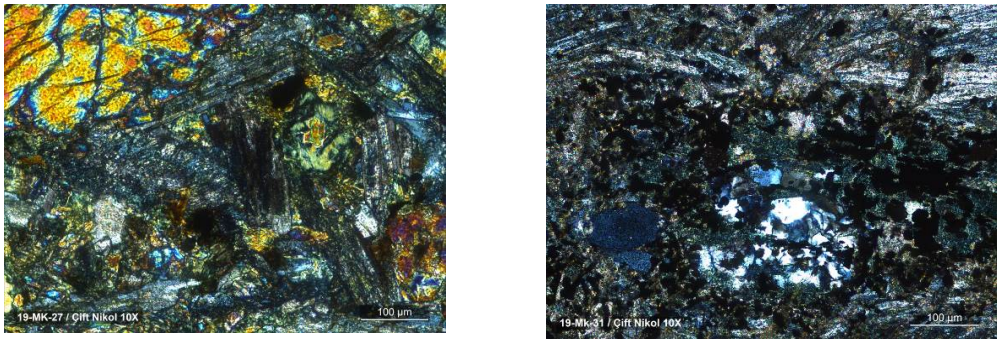
Şekil 4.3 Hekimhan Formasyonunun kırıntılı seviyelerine ait ince kesit görüntüleri.



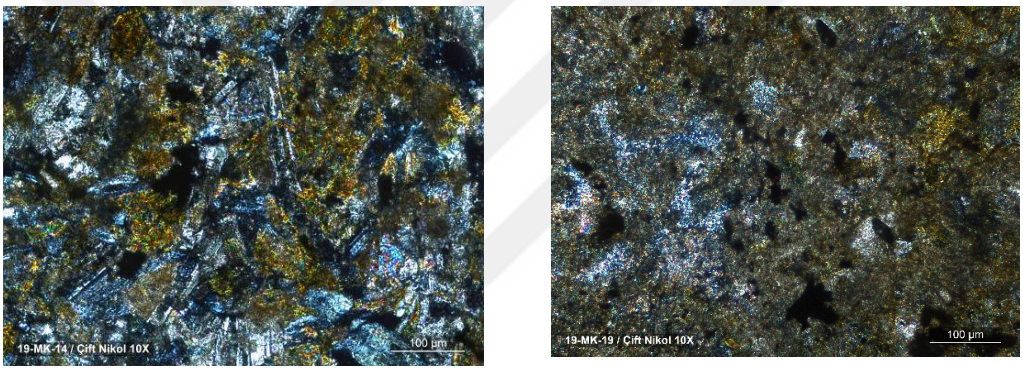
Şekil 4.4 Hekimhan Formasyonunun karbonatlı seviyelerine ait görüntüler.

Üst Kretase yaşlı volkanik ürünlere (Bahçedamı Volkaniti ve Konukdere Metasomatiti) ait ince kesitler incelendiğinde daha çok bazaltik karakterde oldukları görülmekle birlikte yer yer andezitik seviyeleri de izlenmektedir. Bununla birlikte düşük metamorfizma (kontakt metamorfizma) etkisi ve örneklerin hemen hemen tamamında yoğun alterasyon izleri gözlenmiştir. Alterasyon gözlenmeyen nadir örnekler öjit, plajiyoklaz ve olivinlerden oluşan hipokristalin porfirik dokulu bazaltlar olarak tanımlanmıştır. Alterasyon olan çoğunluk örnekler incelendiğinde ise, olivinlerin serpantinleşmeye başladığı, plajiyoklazların killeştiği, kloritleşmelerin, serizitleşmelerin, zeolitleşmelerin, opasitleşmelerin ve yer yer ikincil karbonatlaşmaların gözlendiği hipohiyalin ve hipokristalin dokulu altere bazalt ve meta bazalt tanımlamaları yapılmıştır (**Şekil 4.5**). Daha belirgin şekilde düşük dereceli metamorfizma izleri gözlenen örneklerde (Konukdere Metasomatiti), yoğun alterasyon, feldispatlardan itibaren killeşmeler, yer yer feldispat fenokristalleri ve Fe oksidasyonu gözlenmiştir. Düşük metamorfizma mineralleri olan albit ve epidotun varlığıyla hornfels fasiyesi ya da yeşil şist fasiyesi (düşük P/T) yorumu yapılmıştır (**Şekil 4.6**). Serizit, klorit, zeolit ve muskovit minerallerinin yaygınlığı da düşük

dereceli metamorfizmayı işaret etmektedir. Ortama karbonat getirimini işaret eden ikincil karbonatlaşmalar da gözlenmiştir. Ayrıca iri opak minerallerin gözlendiği, %80'e kadar cevherleşmiş örnekler de gözlenmiştir.

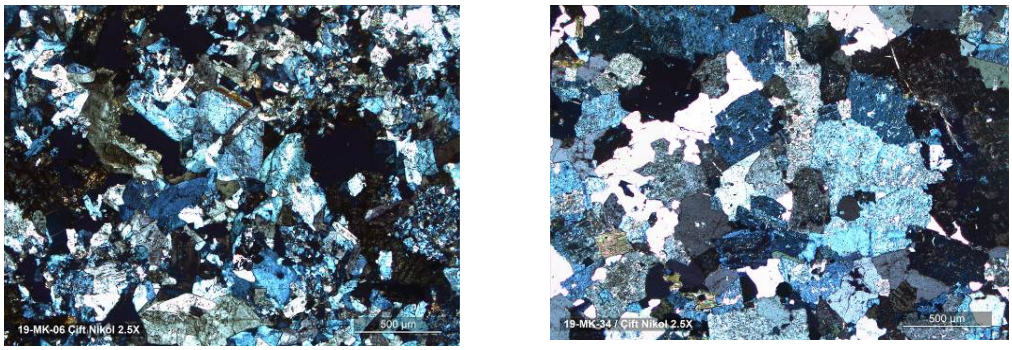


Şekil 4.5 Üst Kretase yaşlı altere volkanik kayaçlara ait ince kesit görüntüleri.

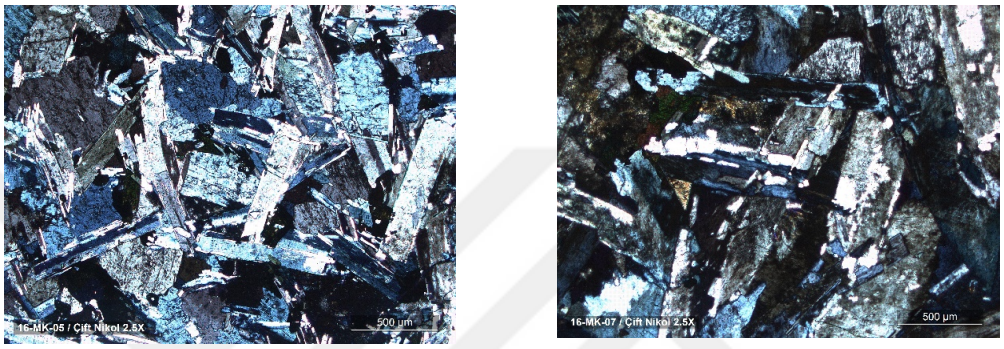


Şekil 4.6 Üst Kretase yaşlı meta volkanik kayaçlara ait ince kesit görüntüleri.

Üst Kretase volkanizmasıyla etkileşiminden dolayı metasomatizmaya ve düşük dereceli metamorfizmaya daha çok siyenitik bileşimde olan kayacın (Hasançelebi-Kuluncak Siyenotoyidi) sebep olduğu düşünülmektedir. Kayaca ince kesitler incelendiğinde; yer yer plajiyoklaz ve kuvars içeriğine bağlı olarak, kuvars-siyenit, siyeno-granit (**Şekil 4.7**), monzi-diyorit ve diyorit (**Şekil 4.8**) olan seviyeler de tanımlanmıştır. Magmanın bileşimine göre; ortoklaz, plajiyoklaz, plajiyoklazlarda yaygın killeşme, kuvars ve biyotit mineralleriyle birlikte yer yer ikincil Fe getirmi gözlenmiştir.

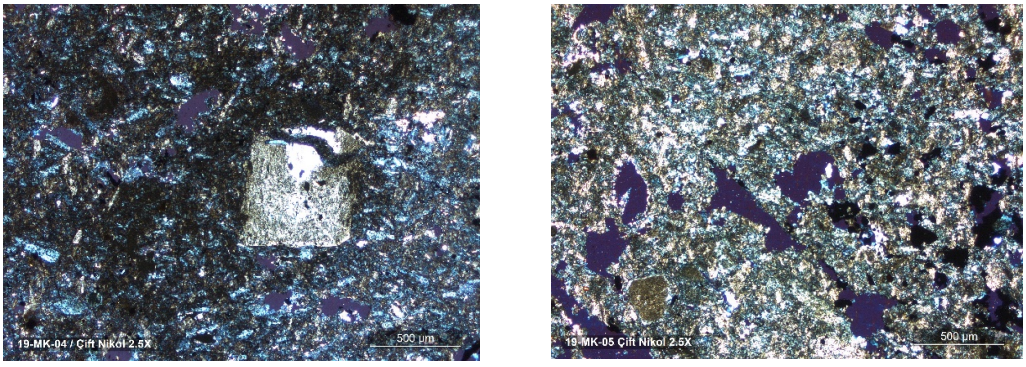


Şekil 4.7 Siyenitik bileşimdeki ince kesit görüntüleri.



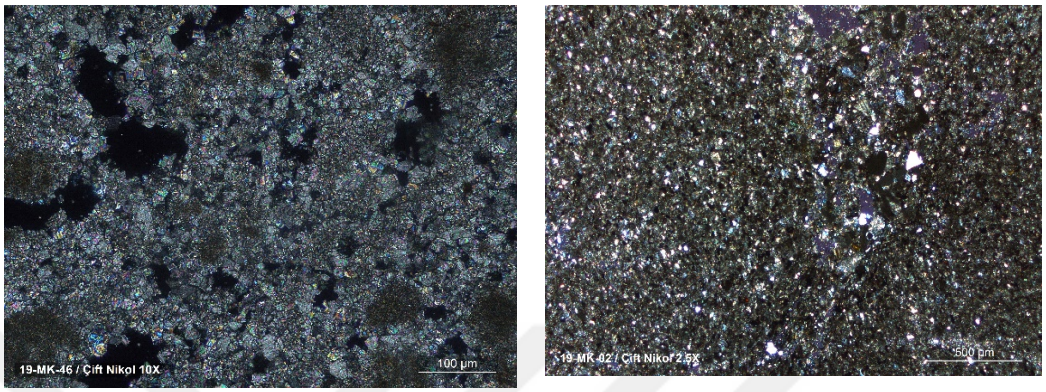
Şekil 4.8 Monzonitik, diyoritik bileşimdeki ince kesit görüntüleri.

Üst Kretase volkanizmasından farklı olarak çoğu çalışmacı tarafından da ayrı haritalanan, Paleosen yaşlı volkanizmaya ait örnekler incelendiğinde; bir kısmı alkali olan yoğun feldispat mineralleri ve bu feldispatlardan itibaren neredeyse tamamen killleşmiş, yoğun altere bir volkanik kayaç ve magmanın bileşimine göre de trakit, latit tanımı yapılmıştır (**Şekil 4.9**).



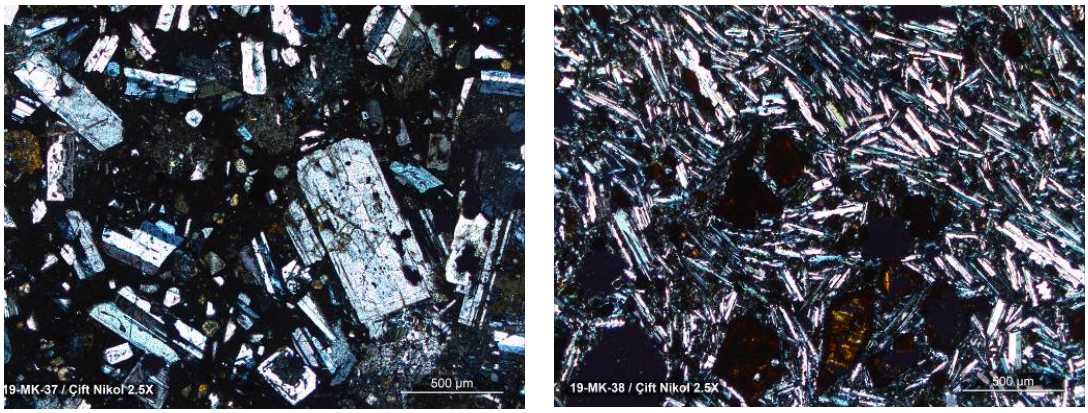
Şekil 4.9 Trakit – latit bileşimli kayaca ait ince kesit görüntüleri.

Sırasıyla Orta-Üst Eosen ve Oligosen yaşlı Davuttarla ve Ulugüney Formasyonlarına ait örneklerde yapılan incelemelerde; fosil kavkılı, çok ince taneli, yer yer breşik kireçtaşı ve bağlayıcısı kil matriks olan kırıntılı kayaç tanımları yapılmıştır (**Şekil 4.10**).



Şekil 4.10 Kırıntılı ve karbonatlı kayaçlara ait görüntüler.

İnceleme alanındaki en genç volkanizmaya (Yamadağ Volkantileri) ait örnekler incelendiğinde (**Şekil 4.11**); sahadaki dah a yaşlı volkanizmalarla kıyaslandığında daha az alterasyon izlenmekle birlikte, opasitleşme türü bir bozunma ve olivinlerde, lavın soğuması sonucu demir kusmalarının sebep olduğu iddingsitleşme türü bir bozunma gözlenmiştir. Yaygın mineral olarak, plajiyoklaz, öjit ve olivin minerallerinin gözlendiği kayaca; hipokristalin porfirik dokulu bazalt tanımlaması yapılmıştır.



Şekil 4.11 Yamadağ Volkanitlerine ait ince kesit görüntüleri.

4.2 Jeokimyasal Bulgular

Çalışma sahasında yer alan volkanik ve plütonik kayaçlarda, kayaçlara ait sınıflama, tektonik köken, magma türü gibi özellikleri belirlemek için jeokimyasal analizlere başvurulmuştur. Jeokimyasal analizlerden; kayacın genel kimyasal bileşimini ortaya çıkarmak ve sınıflandırmalarda kullanmak için majör element oksitlerin analiz sonuçları kullanılmıştır (**Tablo 4.2**). Genelde ekonomik bir cevherleşmeyi ararken bulmak istenilen ve cevherleşmeye sebep olduğu düşünülen konsantrasyonlarda bulunan iz elementler (**Tablo 4.3**), kayaçlara ait köken yorumlamalarının yapılabilmesi için nadir toprak elementleri (**Tablo 4.4**) ve cevherleşme potansiyellerinin belirlenebilmesi için metalik elementlere ait analiz sonuçları kullanılmıştır (**Tablo 4.5**).

Tablo 4.2 Majör oksitlere ait analiz sonuçları (%).

Örnek No	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	Ca	Mg	Na_2	K_2	TiO_2	P_2O_5	Mn	A.Za	Kaya
16-MK-	56,1	20,3	3,8	2,6	2,5	4,7	4,3	1,1	0,9	<0,1	3,45	Bd.V
19-MK-	49,6	19,8	7,1	11,7	2,1	3,1	1,1	0,9	0,2	0,2	4,05	Bd.V
19-MK-	49,6	17,3	5,9	12,1	3,5	2,1	0,5	0,6	0,2	0,1	7,75	Bd.V
19-MK-	44,3	18,6	9,1	4,5	11,4	1,9	3,2	1,2	0,4	0,1	4,65	Bd.V
19-MK-	7,9	0,9	1,2	30,1	17,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	42,2	Bd.V
19-MK-	43,2	19	8,8	8,2	3,1	2,8	3,8	1,6	0,6	0,1	8,45	Bd.V
19-MK-	38,7	17,8	9,1	13,5	5,8	1,4	1,5	1	0,4	0,1	10,3	Bd.V
19-MK-	50,1	20,1	7	4,9	2,4	3,6	4,5	0,9	0,5	0,1	5,55	Bd.V
19-MK-	43	18,7	9,3	9,6	5	2,9	2,4	1,4	0,5	0,2	6,55	Bd.V
19-MK-	35,3	6,3	8,5	9,5	28,1	0,2	<0,1	0,2	<0,1	0,2	11,2	Bd.V
19-MK-	29,9	11,4	9,1	17,3	9,3	1,1	1,4	0,7	<0,1	0,4	19,0	Bd.V
19-MK-	54,1	22,1	5,3	7,1	2,4	3,5	1	0,8	0,2	<0,1	3,2	Bd.V
19-MK-	56,6	20	5,6	7,6	1,8	3,1	2,1	0,7	0,2	0,1	2,15	Bd.V
16-MK-	61,2	20,0	1,2	2,9	1,2	6,5	3,0	0,3	0,1	<0,1	3,40	K.M
19-MK-	49	22,3	3,5	6,6	1,9	3,3	4,1	1,1	0,4	<0,1	7,4	K.M
19-MK-	26,6	0,9	24,5	24,8	1,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,9	20,4	K.M
19-MK-	48,3	19,9	9,7	2,9	7,7	4,5	0,8	1	0,4	<0,1	4,55	K.M
19-MK-	42,5	18,9	13	3,5	7	0,7	7,5	1,1	0,4	<0,1	4,4	K.M
19-MK-	48,2	18,2	13,8	1,6	1,5	2,4	7,4	1,1	0,4	<0,1	4,3	K.M
19-MK-	46,4	21,4	10,6	3,9	2,6	4,3	3,2	0,8	0,5	<0,1	5,85	K.M
19-MK-	35,8	15,7	7,2	15,1	7	1,2	2,7	1	0,3	0,1	13,6	K.M
19-MK-	15	2,2	73,3	1,9	1,1	0,3	0,2	0,2	<0,1	<0,1	4,6	K.M
19-MK-	20,6	7,1	47,2	11,4	5,1	0,9	0,4	0,3	0,2	<0,1	6,4	K.M
19-MK-	45,6	18,8	10,1	5,2	6,1	5,2	1,9	1,1	0,4	<0,1	4,2	K.M
19-MK-	36,4	16,9	26	4,7	1,6	7,5	0,3	0,5	0,3	<0,1	5,35	K.M
19-MK-	27,8	12,4	26,2	14,4	2,8	0,4	3	0,4	0,4	<0,1	11,6	K.M
16-MK-	56,2	22,0	3,1	1,5	0,4	8,6	5,3	0,1	<0,1	<0,1	2,40	H-K.S
16-MK-	58,0	22,4	2,5	0,9	0,3	7,9	5,8	<0,1	<0,1	<0,1	1,75	H-K.S

Örnek No	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	Ca	Mg	Na_2	K_2	TiO_2	P_2O_5	Mn	A.Za	Kaya
16-MK-	54,8	20,3	5,2	2,0	0,3	8,3	4,7	0,2	<0,1	0,1	3,50	H-K.S
16-MK-	57,1	19,4	7,2	0,8	0,3	8,2	4,4	0,2	<0,1	<0,1	1,80	H-K.S
19-MK-	51,7	18,4	5,5	5,2	0,9	0,6	11	1	0,3	0,2	4,6	H-K.S
19-MK-	43,5	20,5	10,5	5,2	3,9	6,7	1,4	1	0,5	<0,1	5	H-K.S
19-MK-	61,7	20,5	2,5	1,4	0,4	5,4	6,1	0,5	0,1	<0,1	1	H-K.S
19-MK-	65,8	17	2,2	1,8	1,2	4,1	5,4	0,3	0,2	<0,1	1,6	H-K.S
19-MK-	60,9	20,1	3,6	1,3	0,5	5,7	6,4	0,4	0,1	<0,1	0,7	H-K.S
19-MK-	54,5	19,8	7,8	0,8	0,5	0,5	12,4	0,8	0,5	<0,1	1,6	By.V
19-MK-	53,1	19,8	7,8	0,9	0,6	0,6	12,3	0,8	0,4	0,2	2,3	By.V
19-MK-	58,9	19,8	4,2	1,2	1,6	6,9	4	1	0,4	<0,1	1,75	By.V
19-MK-	57,4	20,1	5,8	6,9	2,1	3,7	1,6	0,6	0,2	0,2	1,05	Y.V
19-MK-	47,8	20,4	9,9	8,4	4,8	4,3	1	1,4	0,5	0,2	1,15	Y.V
19-MK-	64,3	17,5	3,1	4,4	1,8	4,1	1,4	0,4	0,2	<0,1	2,45	Y.V

Kısaltmalar **Tablo 4.1**'deki gibidir.

Tablo 4.3 İz elementlere ait analiz sonuçları (ppm).

Örnek No	Cs	Rb	Ba	Nb	Ta	Pb	Cr	Sr	Zr	Kayaç
16-MK-10	1,37	89,11	831,52	25,30	1,50	8,76	19,73	319,16	128,80	Bd.V
19-MK-21	0,10	14,80	246,80	12,00	0,20	8,50	60,80	287,00	80,80	Bd.V
19-MK-22	0,10	11,50	197,50	8,50	<0,1	9,30	111,70	270,90	63,90	Bd.V
19-MK-27	0,80	90,70	1345,00	20,90	1,40	335,10	250,10	993,70	127,50	Bd.V
19-MK-28	<0,1	<0,1	37,40	4,10	<0,1	2,50	82,60	158,40	5,10	Bd.V
19-MK-29	1,10	118,80	602,10	27,50	2,80	8,70	5,00	220,80	186,90	Bd.V
19-MK-30	0,30	29,90	614,40	15,20	0,20	10,10	207,80	531,20	105,30	Bd.V
19-MK-31	1,20	126,20	1501,10	21,90	1,00	3,10	13,00	264,30	208,20	Bd.V
19-MK-36	0,80	85,30	548,20	26,00	3,00	24,10	10,40	521,30	152,90	Bd.V
19-MK-41	<0,1	<0,1	24,80	6,50	1,60	7,20	1027,90	10,00	12,80	Bd.V
19-MK-42	0,30	35,00	213,80	6,20	<0,1	5,90	278,90	76,60	42,10	Bd.V
19-MK-50	<0,1	4,20	503,90	10,30	0,60	8,30	107,60	259,50	109,10	Bd.V
19-MK-52	0,50	49,20	354,80	10,30	<0,1	5,90	79,20	264,80	59,00	Bd.V
16-MK-11	1,17	55,68	489,90	41,47	1,90	6,48	43,53	152,37	163,45	K.M
19-MK-07	1,60	173,70	119,40	18,50	1,00	0,40	11,60	101,50	125,80	K.M
19-MK-08	<0,1	8,10	162,60	1,20	6,90	17,70	83,40	41,30	6,80	K.M
19-MK-09	0,30	33,90	159,30	29,20	3,70	10,20	62,80	377,80	100,00	K.M
19-MK-10	2,00	219,30	4859,10	16,90	2,90	4,20	118,80	359,30	81,10	K.M
19-MK-12	1,60	168,90	3970,30	14,90	6,80	34,00	135,80	499,40	113,40	K.M
19-MK-13	0,70	78,80	370,10	22,20	2,30	48,00	68,20	109,00	121,30	K.M
19-MK-14	1,20	123,70	252,60	13,00	1,70	<0,1	10,40	200,80	112,80	K.M
19-MK-15	0,50	51,80	70,40	11,30	25,80	62,50	24,30	45,00	28,60	K.M
19-MK-16	<0,1	<0,1	109,70	14,10	17,90	33,50	25,70	50,60	39,70	K.M
19-MK-17	1,40	152,70	323,70	20,10	1,80	5,90	81,60	384,80	89,30	K.M
19-MK-18	<0,1	9,60	64,90	20,30	8,40	25,80	28,40	138,80	78,00	K.M
19-MK-19	0,80	87,00	851,40	17,00	11,90	18,30	50,70	129,80	54,70	K.M
16-MK-05	4,09	137,94	40,15	66,34	4,61	40,95	250,80	127,89	155,78	H-K.S
16-MK-06	17,73	182,84	87,89	35,13	2,09	21,62	51,32	71,77	111,33	H-K.S
16-MK-07	4,51	156,63	381,85	124,46	8,12	15,96	49,53	123,57	227,05	H-K.S

Örnek No	Cs	Rb	Ba	Nb	Ta	Pb	Cr	Sr	Zr	Kayaç
16-MK-08	4,22	198,34	227,47	20,33	2,02	35,41	49,46	82,28	246,71	H-K.S
19-MK-06	2,30	247,90	2098,30	21,30	1,80	5,80	172,50	64,50	151,70	H-K.S
19-MK-11	0,60	66,30	373,30	19,50	1,20	5,80	140,20	324,60	106,30	H-K.S
19-MK-33	1,80	193,40	513,20	48,90	2,00	7,20	67,30	199,50	23,90	H-K.S
19-MK-34	2,00	219,20	365,30	36,00	2,10	11,20	119,60	111,30	47,90	H-K.S
19-MK-35	1,70	186,80	334,00	32,50	2,00	7,20	43,90	158,00	20,10	H-K.S
19-MK-04	2,70	293,30	4073,70	17,30	2,20	4,20	203,30	302,30	138,10	By.V
19-MK-05	2,70	292,20	5498,40	18,70	2,10	7,20	210,60	324,90	156,90	By.V
19-MK-32	1,50	155,90	607,90	16,60	1,00	2,60	35,80	93,50	113,00	By.V
19-MK-37	0,30	30,90	308,80	10,30	0,90	7,80	30,10	353,10	105,70	Y.V
19-MK-38	<0,1	4,90	215,20	14,00	1,50	3,00	207,10	376,90	155,60	Y.V
19-MK-39	0,20	24,90	400,30	4,00	<0,1	7,60	84,00	274,30	129,80	Y.V

Kısaltmalar **Tablo 4.1**'deki gibidir.

Tablo 4.4 Nadir toprak elementlerine (NTE) ait analiz sonuçları (ppm).

Örnek No	Ce	Dy	Er	Eu	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Nd	Pr	Sc	Sm	Tb	Th	Tm	U	Y	Yb	Σ NTE	Kayaç
16-MK-10	53,49	2,81	1,82	1,52	3,82	2,60	0,61	28,62	0,24	23,43	6,54	5,76	4,24	0,57	21,13	0,26	2,67	15,81	1,51	177,441	Bd.V
19-MK-21	17,70	1,30	3,30	1,10	1,50	1,20	0,90	11,80	0,40	5,90	2,00	21,10	1,60	1,00	1,40	0,90	13,50	17,40	2,50	106,5	Bd.V
19-MK-22	15,50	1,40	2,60	0,80	1,30	0,60	0,50	12,00	0,30	6,00	0,40	17,30	1,40	0,60	0,60	2,30	4,00	17,80	2,30	87,7	Bd.V
19-MK-27	47,90	1,10	4,40	1,70	4,00	2,00	0,80	27,00	0,40	13,50	4,20	23,30	4,40	2,00	10,80	1,40	13,00	19,60	2,50	184	Bd.V
19-MK-28	0,70	1,80	<0,1	0,20	0,10	0,30	<0,1	4,10	<0,1	2,00	<0,1	1,00	<0,1	<0,1	6,50	0,90	3,70	2,10	0,30	23,7	Bd.V
19-MK-29	63,40	1,50	5,50	1,60	5,30	2,20	<0,1	34,30	0,40	17,10	3,60	7,50	5,80	1,90	7,00	1,80	9,60	24,40	3,00	195,9	Bd.V
19-MK-30	40,10	1,80	3,30	1,10	3,30	1,20	0,20	25,10	0,30	12,60	3,30	22,60	3,70	1,10	6,80	2,70	9,70	17,10	2,40	158,4	Bd.V
19-MK-31	68,60	3,20	3,90	1,30	5,70	2,40	0,20	38,00	0,40	19,00	5,30	5,00	6,30	1,40	14,20	1,40	7,30	21,60	2,80	208	Bd.V
19-MK-36	53,60	1,40	5,00	1,50	4,90	2,30	0,10	31,10	0,40	15,60	4,90	10,30	5,40	1,80	9,20	1,90	12,10	22,60	2,80	186,9	Bd.V
19-MK-41	0,50	1,90	0,50	0,30	0,10	<0,1	0,50	1,80	0,20	0,90	<0,1	18,50	<0,1	0,70	8,70	1,30	4,90	3,90	1,10	45,8	Bd.V
19-MK-42	2,20	1,60	2,30	0,80	0,20	0,70	0,40	3,90	0,30	2,00	<0,1	21,50	0,20	1,10	7,80	1,40	3,40	12,10	1,90	63,8	Bd.V
19-MK-50	20,00	1,60	3,00	1,10	2,00	1,30	0,30	14,40	0,30	7,20	0,80	16,90	2,20	0,60	1,90	1,90	9,40	17,00	2,20	104,1	Bd.V
19-MK-52	24,60	1,90	2,30	0,90	2,00	0,70	<0,1	17,60	0,20	8,80	1,90	16,90	2,30	0,70	0,50	0,80	9,60	11,50	1,70	104,9	Bd.V
16-MK-11	20,67	1,14	0,78	0,74	1,48	2,68	0,25	13,23	0,12	9,00	2,47	1,20	1,67	0,22	47,49	0,12	4,63	7,42	0,72	116,0431	K.M
19-MK-07	74,10	1,80	4,10	1,30	6,20	0,90	<0,1	46,10	0,30	23,10	5,80	3,90	6,80	0,90	7,10	0,70	10,40	19,10	2,30	214,9	K.M
19-MK-08	14,10	1,30	1,30	0,60	1,40	4,20	0,40	14,30	0,30	7,10	<0,1	2,50	1,50	2,40	8,10	1,30	20,20	17,90	2,30	101,2	K.M
19-MK-09	52,50	1,60	4,30	1,40	4,80	0,80	0,30	27,00	0,40	13,50	3,30	14,20	5,30	2,10	10,70	1,60	8,30	21,50	2,70	176,3	K.M
19-MK-10	29,10	1,10	3,50	1,50	2,40	0,50	0,30	17,60	0,30	8,80	4,50	19,60	2,70	2,40	12,80	2,10	11,00	15,60	2,00	137,8	K.M
19-MK-12	22,70	1,50	2,70	0,70	1,90	0,40	<0,1	19,50	0,20	9,80	1,30	16,30	2,10	2,00	6,80	1,70	18,50	6,80	1,50	116,4	K.M
19-MK-13	102,70	1,10	3,30	1,30	10,30	2,00	0,20	61,30	0,30	30,70	8,50	13,10	11,30	1,60	19,10	0,50	18,40	18,70	2,40	306,8	K.M
19-MK-14	46,80	1,80	3,60	1,30	4,70	1,30	0,20	28,60	0,30	14,30	2,30	9,90	5,10	0,90	3,60	1,90	9,60	18,90	2,20	157,3	K.M
19-MK-15	0,40	2,10	0,50	0,60	<0,1	<0,1	0,40	3,40	0,40	1,70	<0,1	0,50	<0,1	7,90	0,70	2,90	54,50	3,00	2,70	81,7	K.M
19-MK-16	22,00	2,20	1,40	1,10	2,20	<0,1	0,40	23,50	0,40	11,70	1,00	4,90	2,40	5,50	4,70	3,10	38,10	9,50	2,80	136,9	K.M
19-MK-17	59,40	2,90	3,70	1,00	5,00	0,80	0,20	51,20	0,30	25,60	2,70	18,00	5,40	1,90	10,40	2,00	15,30	13,10	2,00	220,9	K.M

Örnek No	Ce	Dy	Er	Eu	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Nd	Pr	Sc	Sm	Tb	Th	Tm	U	Y	Yb	Σ NTE	Kayaç
19-MK-18	235,10	1,30	2,40	1,60	19,60	2,00	0,20	229,80	0,40	114,90	9,60	11,20	21,60	3,60	15,50	2,40	28,90	13,30	2,70	716,1	K.M
19-MK-19	39,00	1,90	1,50	1,00	3,20	0,90	<0,1	31,20	0,30	15,60	1,90	6,80	3,60	3,10	2,60	2,00	23,50	8,90	2,20	149,2	K.M
16-MK-05	248,34	13,90	8,96	3,44	17,39	2,34	3,11	242,12	0,52	110,54	41,91	5,34	16,28	2,62	76,43	1,12	15,29	83,62	5,01	898,2724	H-K.S
16-MK-06	18,15	0,99	0,85	0,26	0,97	1,50	0,25	12,86	0,11	5,74	1,93	0,71	0,97	0,17	11,33	0,14	2,29	7,00	0,83	67,0397	H-K.S
16-MK-07	201,75	9,86	7,18	2,21	10,71	3,26	2,35	123,45	0,39	72,65	26,95	0,58	9,90	1,71	45,41	0,92	10,22	66,83	3,96	600,2702	H-K.S
16-MK-08	27,60	1,42	1,04	0,49	1,84	4,10	0,33	23,04	0,13	12,56	4,19	1,86	1,91	0,27	10,60	0,15	1,81	10,23	0,88	104,4401	H-K.S
19-MK-06	68,90	1,80	2,70	1,20	5,70	2,90	0,70	32,40	0,30	16,20	7,40	14,50	6,30	0,80	16,00	0,70	9,30	12,80	1,80	202,4	H-K.S
19-MK-11	29,40	1,70	3,40	1,30	2,90	1,10	0,20	19,00	0,30	9,50	0,30	22,30	3,20	1,80	3,10	1,70	18,80	10,80	1,90	132,7	H-K.S
19-MK-33	83,60	1,50	2,90	1,20	7,00	0,20	<0,1	52,10	0,30	26,00	7,30	2,90	7,70	1,40	22,50	0,10	1,80	19,10	2,10	239,7	H-K.S
19-MK-34	61,30	2,00	2,70	0,60	5,10	1,00	0,10	33,90	0,30	17,00	5,30	2,90	5,60	1,00	24,90	<0,1	1,30	23,80	2,30	191,1	H-K.S
19-MK-35	57,80	1,30	2,20	0,90	5,80	<0,1	<0,1	39,20	0,20	19,60	4,30	1,70	6,40	1,10	9,70	0,20	8,60	13,00	1,40	173,4	H-K.S
19-MK-04	85,10	1,30	3,20	1,90	8,50	1,60	0,30	52,10	0,30	26,00	8,30	15,50	9,40	1,40	12,70	1,30	8,80	17,10	2,40	257,2	By.V
19-MK-05	70,00	1,10	3,40	1,10	7,00	3,10	0,90	23,10	0,40	11,50	2,30	19,10	7,70	1,50	13,60	1,30	11,00	20,30	2,80	201,2	By.V
19-MK-32	33,70	1,30	3,30	0,80	3,10	1,40	0,50	15,90	0,20	8,00	1,70	11,00	3,40	1,20	5,30	0,80	2,40	13,30	1,70	109	By.V
19-MK-37	25,20	1,80	3,10	1,10	2,10	1,50	0,30	14,20	0,40	7,10	1,60	12,90	2,30	0,80	6,30	1,40	6,60	18,30	2,60	109,6	Y.V
19-MK-38	29,80	1,90	5,10	1,40	2,50	2,40	0,30	16,40	0,40	8,20	2,80	20,60	2,70	1,80	7,80	1,50	10,80	21,60	2,80	140,8	Y.V
19-MK-39	29,50	1,70	2,00	0,80	2,50	1,90	0,60	18,10	0,20	9,10	1,90	6,80	2,70	0,50	7,50	0,70	1,60	12,50	1,50	102,1	Y.V

Kısaltmalar **Tablo 4.1**'deki gibidir.

Tablo 4.5 Metalik elementlere ait analiz sonuçları (ppm).

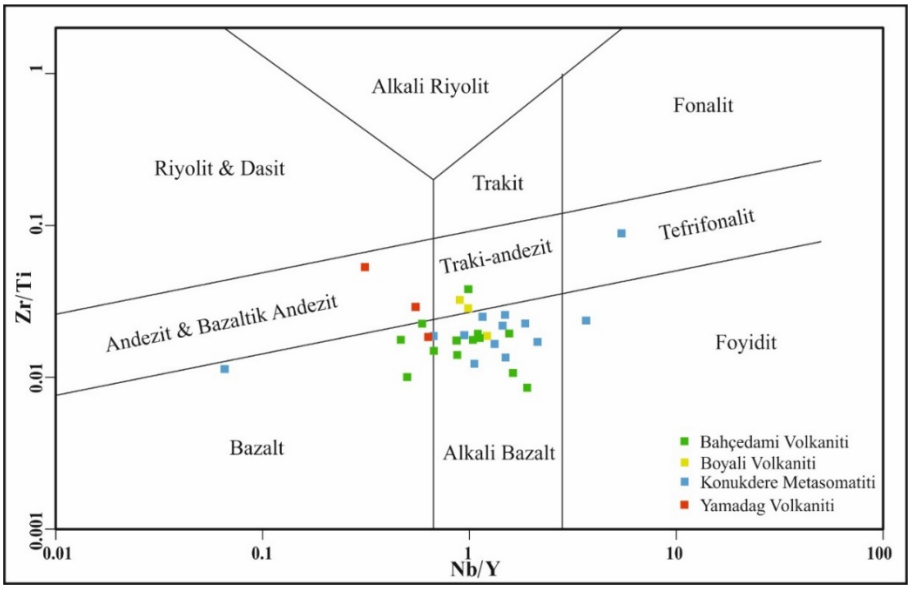
Örnek No	Cu	Pb	Zn	Mo	Fe	Co	Cd	Ni	As	Sb	Se	Mn	Kayaç
19-MK-21	34.2	8.5	74.4	2.5	38015	23.0	0.9	26.1	33.5	<0,1	<10	998.0	Bd.V
19-MK-22	25.7	9.3	50.3	1.5	31821	20.0	1.2	52.4	10.0	<0,1	<10	672.5	Bd.V
19-MK-27	16.9	335.1	587.7	0.2	>50000	37.5	2.3	47.6	79.4	8.8	<10	975.4	Bd.V
19-MK-28	6.5	2.5	15.4	4.2	5368	11.4	<0,1	71.4	9.7	2.3	<10	439.1	Bd.V
19-MK-29	2.5	8.7	87.5	0.7	49502	31.0	1.8	4.7	11.8	3.4	<10	891.2	Bd.V
19-MK-30	15.3	10.1	150.0	1.0	47826	35.6	2.3	38.4	20.9	9.8	<10	829.1	Bd.V
19-MK-31	28.9	3.1	27.3	1.8	41256	11.4	1.2	3.4	9.1	<0,1	<10	667.8	Bd.V
19-MK-36	4.6	24.1	100.9	2.7	>50000	34.7	2.2	6.3	9.4	3.8	<10	1004.5	Bd.V
19-MK-41	25.1	7.2	53.5	0.5	>50000	55.6	2.5	463.9	8.0	10.5	<10	905.5	Bd.V
19-MK-42	209.5	5.9	169.9	0.1	47758	48.2	1.8	233.7	4.1	7.7	<10	2088.4	Bd.V
19-MK-50	32.9	8.3	55.2	2.0	29252	15.5	0.7	41.8	15.1	4.3	<10	149.4	Bd.V
19-MK-52	19.4	5.9	43.5	1.5	32180	15.6	0.7	17.9	4.6	2.6	<10	420.1	Bd.V
19-MK-07	7.7	0.4	11.1	2.2	19724	16.7	0.2	77.1	24.3	8.4	<10	441.2	K.M
19-MK-08	260.4	17.7	39.8	24.2	>50000	68.8	6.2	250.2	1776.7	43.5	<10	4529.2	K.M
19-MK-09	113.4	10.2	328.4	1.6	>50000	22.6	2.5	57.7	63.4	2.4	<10	443.2	K.M
19-MK-10	8.0	4.2	50.6	1.1	>50000	20.9	2.8	52.5	29.3	7.6	<10	320.0	K.M
19-MK-12	217.0	34.0	28.4	2.8	>50000	26.1	3.5	15.5	70.0	17.4	<10	117.3	K.M
19-MK-13	640.9	48.0	242.3	4.2	>50000	201.6	2.8	685.8	808.4	29.8	<10	518.3	K.M
19-MK-14	10.1	<0,1	42.2	1.0	37319	19.4	1.4	26.5	42.9	8.9	<10	794.0	K.M
19-MK-15	280.8	62.5	87.6	2.6	>50000	23.2	22.5	136.1	436.8	43.1	<10	228.8	K.M
19-MK-16	18.2	33.5	87.4	0.4	>50000	76.5	16.9	749.9	29.5	13.9	<10	499.6	K.M
19-MK-17	6.7	5.9	35.8	0.7	>50000	24.9	1.7	26.2	21.6	1.3	<10	198.1	K.M
19-MK-18	27.8	25.8	66.7	0.3	>50000	24.4	9.1	61.2	28.1	8.7	<10	288.5	K.M
19-MK-19	2.8	18.3	59.3	1.9	>50000	20.4	9.3	84.6	51.8	15.4	<10	547.6	K.M
19-MK-06	2.9	5.8	10.2	6.9	33123	6.5	0.7	20.2	5.8	10.3	<10	1051.8	H-K.S
19-MK-11	97.4	5.8	32.3	1.9	>50000	32.9	2.4	31.4	9.7	4.5	<10	236.5	H-K.S
19-MK-33	2.0	7.2	20.6	4.1	18400	6.6	<0,1	5.2	13.4	2.3	<10	210.1	H-K.S
19-MK-34	3.3	11.2	19.8	8.2	15042	6.7	<0,1	10.9	5.7	1.1	<10	105.0	H-K.S
19-MK-35	5.8	7.2	22.6	2.7	24739	8.7	0.3	7.6	8.8	1.4	<10	191.5	H-K.S
19-MK-04	13.1	4.2	17.0	3.8	49351	17.2	1.5	24.2	16.8	13.5	<10	233.4	By.V
19-MK-05	34.7	7.2	16.5	15.0	47470	42.7	1.2	56.9	13.5	7.6	<10	1048.2	By.V
19-MK-32	2.6	2.6	19.9	2.3	28402	13.5	0.5	7.5	11.9	7.8	<10	196.0	By.V
19-MK-37	31.1	7.8	72.5	2.8	37245	19.5	1.2	11.1	8.7	1.2	<10	1005.0	Y.V
19-MK-38	41.5	3.0	85.7	2.2	>50000	49.5	2.6	110.3	5.8	<0,1	<10	1041.3	Y.V
19-MK-39	17.4	7.6	49.0	4.1	20047	12.6	<0,1	39.3	2.1	0.5	<10	452.7	Y.V

Kısaltmalar **Tablo 4.1**'deki gibidir.

4.2.1 Volkanik kayaçlara ait jeokimyasal bulgular

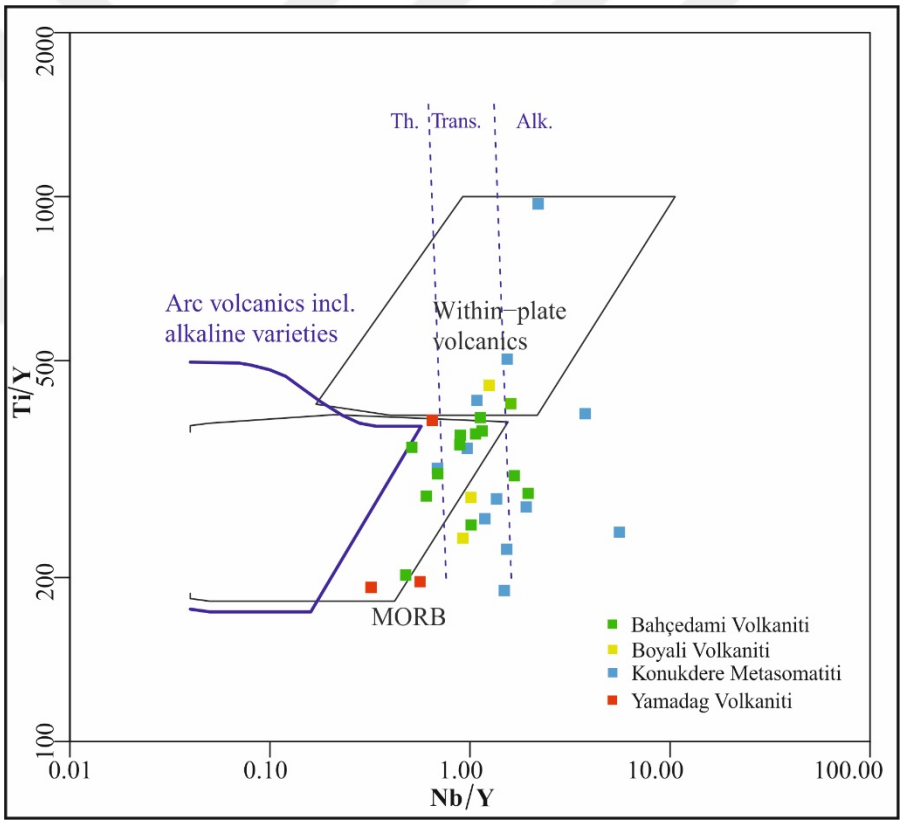
4.2.1.1 Ana ve iz element analizleri

Arazi çalışmaları sırasında sahanın genelinde yoğun bir alterasyon görülmektedir. Yapılan petrografik çalışmalarda da bu net bir şekilde ortaya koyulmuştur. XRD analizlerinde de örneklerin tamamından detay kil analizleri istenmiş ve benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu sebeple volkanik kayaçları jeokimyasal analiz sonuçlarına göre sınıflarken, altere volkanik kayaçlar için daha iyi sonuçlar veren, mobil olmayan iz elementler kullanılmıştır. Petrografi çalışmalarına göre (Bkz. Bölüm **4.1**); Bahçedamı Volkaniti genelde altere volkanik kayaç olarak tanımlanmakla birlikte, ilksel kayaca ait tanımlamaların yapılabildiği örneklerde birim bazalt, andezitik bazalt olarak tanımlanmıştır. Konukdere Metasomatiti, meta volkanik (andezit), Boyalı Volkaniti trakit ve Yamadağ Volkaniti ise bazalt olarak tanımlanmıştır. Volkanik kayaç örneklerinin tamamına yakını altere örnekler oldukları için analiz sonuçları, bazaltik kayaçları ayırt etmede kullanılan Nb/Y – Zr/Ti diyagramında kullanılmıştır (Pearce, 1996). Kayaç örneklerinin büyük çoğunluğunun alkali bazalt alanında yoğunlaştıkları görülmekle birlikte, Yamadağ Volkanitinin bazalt-andezit sınırında, Boyalı Volkanitinin de Traki-andezit alanında oldukları görülmektedir (**Şekil 4.12**). Değerler yaklaşık olarak sırasıyla; (0,4-2,5) ve (0,0085-0,03) arasında bulunmaktadır.



Şekil 4.12 İnceleme alanındaki volkanik kayaçların Nb/Y – Zr/Ti diyagramındaki dağılımları (Pearce, 1996).

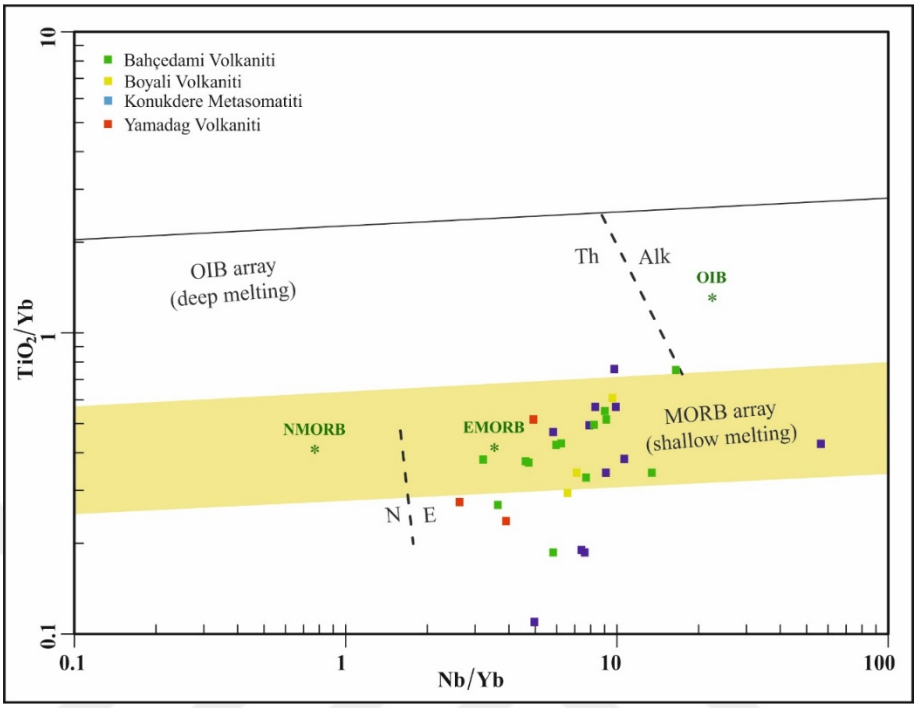
Pearce (1982), yitimli plaka sınırlarındaki bazaltların iz element özelliklerine dayanan çalışmasında, volkanik kayaçların magma tipi ve tektonik ayrım gibi özelliklerini ortaya koymuştur. İnceleme alanındaki volkanik kayaçlar için oluşturulmuş Nb/Y – Ti/Y tektonomagmatik diyagramında (**Şekil 4.13**), kayaçların magma tipi olarak, kısmen toleyitik ve alkali olmakla birlikte çoğunluğunun geçiş özellikli magma alanında yoğunlaştığı görülmekte olup, değerler yaklaşık olarak sırasıyla; (0,4-2,5) ve (180-500) arasında bulunmaktadır. Özellikle inceleme alanındaki görece genç volkanizmayı (Miyosen) temsil eden Yamadağ Volkanitinin toleyitik alana düştüğü görülmektedir. Tektonik ayrım açısından bakıldığında ise genel olarak okyanus ortası sırt bazaltı (MORB) omak üzere plaka içi volkanizması (WPV) alanlarında da dağılım sundukları söylenebilir.



Şekil 4.13 Volkanik kayaçlara ait Nb/Y – Ti/Y diyagramı (MORB: okyanus ortası sırt bazaltı, Th: toleyitik, Trans: geçişli, Alk: alkali, Pearce, 1982).

Okyanusal bazaltların kökenlerini belirlemek için, iz elementlerden faydalanarak oluşturulmuş Nb/Yb – TiO_2/Yb diyagramı (Pearce, 2008), inceleme alanındaki volkanik kayaçlar için kullanılmıştır. Örnekler çoğunlukla sığ derinliklerdeki, nispeten düşük sıcaklıkları temsil eden zenginleşmiş manto karakteriyle (EMORB)

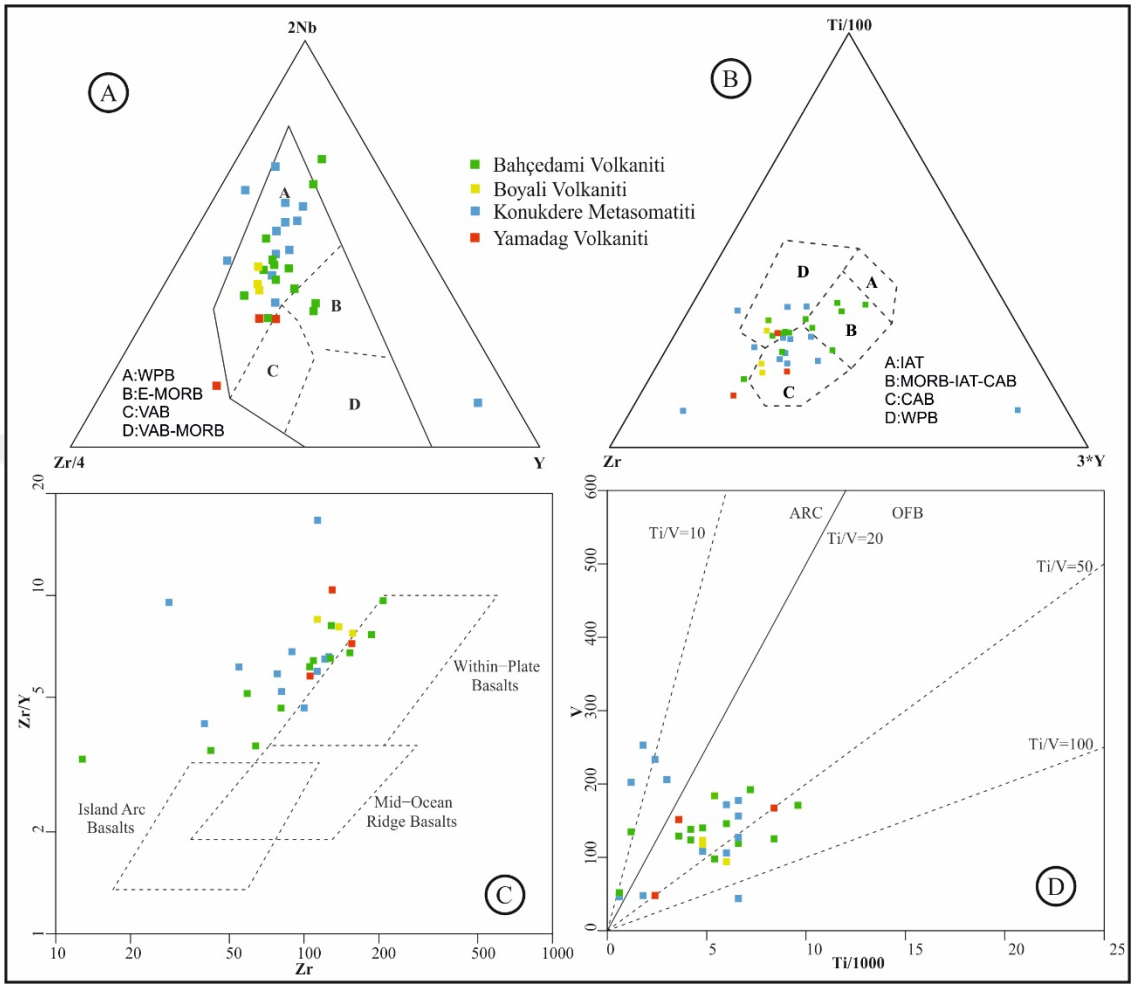
özdeşleşmekte olup, değerler yaklaşık olarak sırasıyla; (2,5-20) ve (0,2-0,75) arasında bulunmaktadır.



Şekil 4.14 Volkanik kayaçlara ait Nb/Yb – TiO_2/Yb diyagramı (OIB: okyanus adası bazaltları, NMORB: normal okyanus ortası sırt bazaltı, EMORB: zenginleşmiş okyanus ortası sırt bazaltı, Th: toleyitik, Alk: alkali, Pearce, 2008).

İnceleme alanında yer alan volkanik kayaçları meydana getiren magmanın tektonik köken olarak ayrımı farklı çalışmacılara göre de iz elementler kullanılarak, çeşitli diyagramlar oluşturulmuş ve birbirleriyle kıyaslanmışlardır (**Şekil 4.15**) . Okyanus ortası bazaltları ve kıtasal toleyitleri birbirinden ayırt etmek için oluşturulmuş Nb–Zr–Y üçgen diyagramı (Meschede, 1986) inceleme alanındaki volkanik kayaçlar için kullanıldığında, örneklerin büyük bir çoğunluğunun A:WPB (plaka içi bazaltları) bölgesinde yoğun bir dağılım gösterdiği görülmektedir (**Şekil 4.15**-A). Benzer bir şekilde Zr-Zr/Y diyagramında da (Pearce ve Norry, 1979) örnekler genel olarak plaka içi bazalt alanında yoğunlaşmaktadırlar (**Şekil 4.15**-C). Volkanik kayaçların tektonik ayrımı için oluşturulmuş, Ti-Zr-Y diyagramında (Pearce ve Cann, 1973), örnekler genel olarak, C:CAB (kalk-alkali bazalt ve D:WPB (plaka içi bazalt) alanlarında yoğunlaşmışlardır (**Şekil 4.15**-B). Ti-V değerleriyle genç ofiyolitik lavların petrojenezini belirlemek için oluşturulmuş diyagramda ise (Shervais, 1982) kayaç

örneklerinin çoğunlukla OFB (okyanus tabanı bazaltları) ile temsil edilen alanda yoğunlaştıkları görülmüştür (**Şekil 4.15**-D).



Şekil 4.15 Tektonik ayrım diyagramları. A: Nb-Zr-Y (Meschede, 1986), B: Ti-Zr-Y (Pearce ve Cann, 1973), C: Zr-Zr/Y (Pearce ve Norry, 1979) ve D: Ti-V (Shervais, 1982). (WPB: plaka içi bazalt, E-MORB: zenginleşmiş okyanus ortası sırt bazaltı, VAB: volkanik yay bazaltı, IAT: ada yayı toleyiti, CAB: kalk-alkalen bazalt, ARC: yay bazaltı, OFB: okyanus tabanı bazaltı).

Altere volkanik kayaçların kayaç sınıflaması için iyi sonuçlar veren, iz elementlerin kullanıldığı Nb/Y – Zr/Ti diyagramına göre; Bahçedamı Volkaniti ve Konukdere Metasomatiti alkali bazalt, Boyalı Volkaniti traki-andezit ve Yamadağ Volkaniti ise bazaltik andezit sonuçlarıyla petrografik tanımlamalarla oldukça uyumlu oldukları görülmüştür. Manto kökeni belirlemek için kullanılan Nb/-Ti/Y ve Nb/Yb-TiO_2/Yb diyagramlarına göre inceleme alanındaki volkanik kayaçların diyagramlardaki dağılımlarının genel olarak okyanus ortası sırt bazaltlarının zenginleşmiş kesimlerini

(MORB-EMORB) işaret ettiği görülmüştür. Örneklerin tektonik ayrım için oluşturulmuş diyagramlarında ise (Nb-Zr-Y, Ti-Zr-Y, Zr-Zr/Y ve Ti-V) tüm kayaç grupları için plaka içi bazaltların (WPB) öne çıktığı söylenebilir. (**Tablo 4.6**).

Tablo 4.6 Volkanik kayaçların, petrografik ve jeokimyasal analiz sonuçlarının karşılaştırılması.

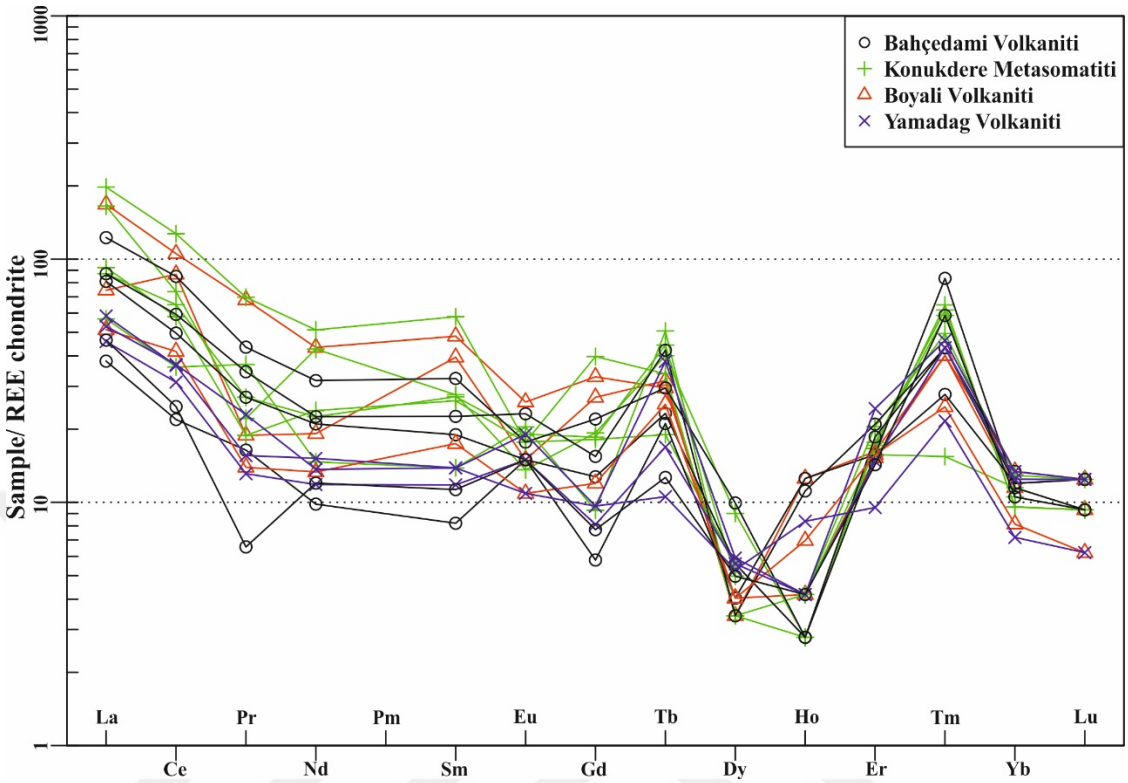
Kayaç grubu	Kayaç sınıflaması		Manto kökeni		Tektonik ayrım			
	Petrografik	Nb/Y – Zr/Ti	Nb/Y-Ti/Y	Nb/Yb – TiO_2/Yb	Nb-Zr-Y	Ti-Zr-Y	Zr-Zr/Y	Ti-V
Bahcedami Volkaniti	Andezitik bazalt	Alkali bazalt	MORB	EMORB	WPB	CAB WPB	WPB	OFB
Konukdere Metasomatiti	Meta Volkanik	Alkali bazalt						
Boyali Volkaniti	Trakit	Traki-andezit						
Yamadag Volkanitleri	Bazalt	Bazaltik andezit						

4.2.1.2 NTE analizleri

İnceleme alanında Üst Kretase – Paleosen, Paleosen ve Miyosen olmak üzere 3 dönemi temsil eden 4 farklı volkanizma bulunmaktadır. Bunlar; Üst Kretase - Paleosen yaşlı, daha çok bazaltik karakterli Bahçedamı Volkaniti ve trakitik bileşimdeki Boyalı Volkaniti, bunları uyumsuz olarak örten ve gerek Boyalı Volkaniti gerekse de Hasançelebi-Kuluncak Siyenotoyidi tarafından metasomatizmaya uğratılmış, Paleosen yaşlı Konukdere Metasomatiti ve son olarak Miyosen yaşlı bazaltik karakterli Yamadağ Volkanitidir. Volkanik kayaç örneklerinden NTE bakımından uygun olanlar kondrit değerlerine göre (Boynton, 1984) normalize edilerek, çoklu element diyagramı üzerindeki dağılımları oluşturulmuştur (**Şekil 4.16**).

Volkanik kayaç örneklerinin normalize edilmiş kondrit diyagramındaki dağılımlarına bakıldığında önceki çalışmalarda farklı yaş ve sınıflamalarla anılan kayaç gruplarının kondrit normalize edilmiş verilere göre kimyasal bileşim olarak birbirleriyle uyumlu oldukları ve tek bir kayaç grubuna benzer bir sonuç verdikleri görülmüştür (**Şekil 4.16**). Bu durum bölgedeki farklı yaştaki volkaniklerin; aynı magma odasından beslendiklerine veya değişik zamnalarda yenilendiklerine işaret sayılabilir (Çimen, 2021). Örneklerin ağır nadir toprak elementlerine (ANTE: Ho, Er, Tm, Yb, Lu) ait bolluklarının kondrit değerlerine göre; 2,79-83,33 kat, ortaç nadir toprak elementlerin

(ONTE: Sm, Eu, Gd, Tb, Dy) 3,42-50,63 kat ve hafif nadir toprak elementlerin (HNTE: La, Ce, Pr, Nd) ise 6,56-197,74 kat fazla zenginleştikleri görülmüştür.

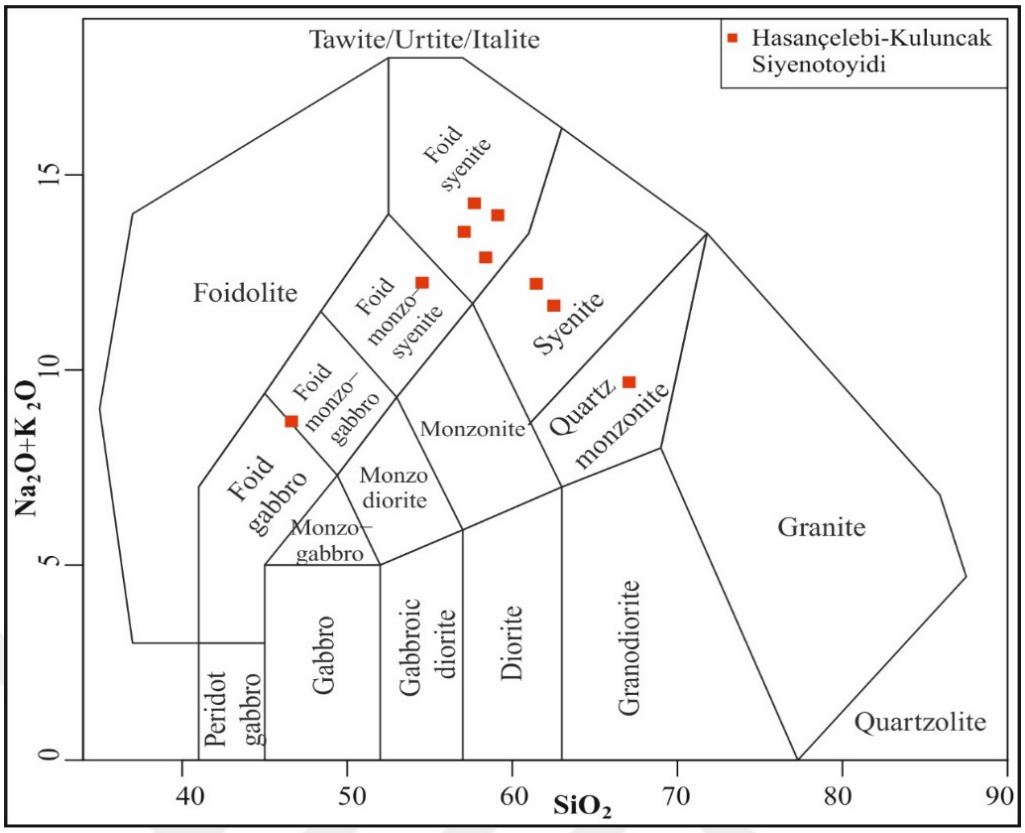


Şekil 4.16 Volkanik kayaçlara ait NTE değerlerinin kondrite göre (Boynton, 1984) normalize edilmiş çoklu element diyagramları.

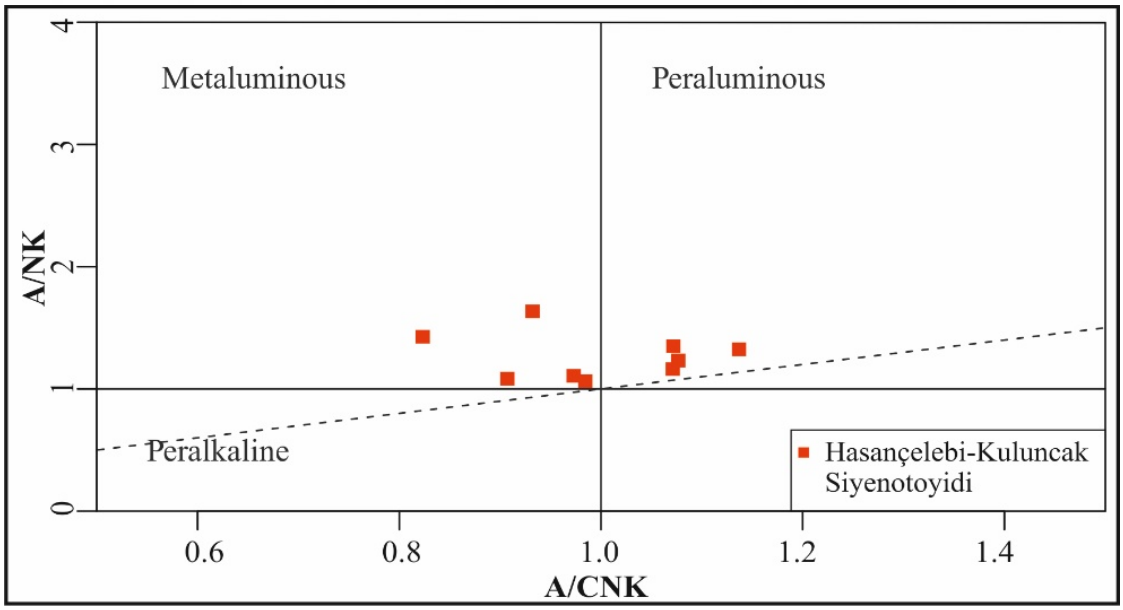
4.2.2 Plütonik kayaçlara ait jeokimyasal bulgular

4.2.2.1 Ana ve iz element analizleri

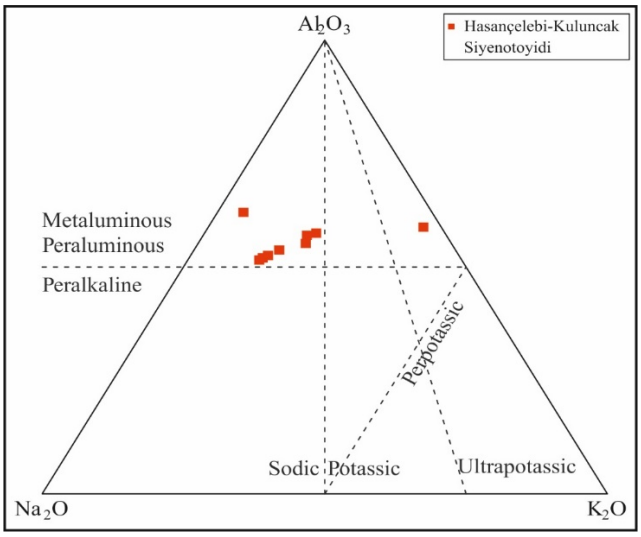
Hasançelebi – Kuluncak Siyenotoyidine ait örnekler petrografik olarak incelenmiş (Bkz. Bölüm **4.1**) ve kuvars-siyenit, siyeno-granit, diyorit ve monzo-diyorit olarak tanımlamalar yapılmıştır. İnceleme alanının kuzey batı kesimlerinde daha çok diyoritik karakterde, inceleme alanının orta kesimlerinde ise daha çok siyenitik karakterde oldukları tespit edilmiştir. Bu örneklere ait jeokimyasal sınıflamalar da yaparak, kıyaslayabilmek için örneklere ait ana element içeriklerine göre bir takım diyagramlar oluşturulmuştur. Örneklerin SiO_2 – Na_2O+K_2O diyagramındaki (Middlemost, 1994) dağılımlarına bakıldığında; 4 tanesinin, Na_2O+K_2O oranı oldukça yüksek olan foid siyenit, 2 tanesinin siyenit ve diğerlerinin de foid monzo-gabro, foid gabro ve kuvars monzonit alanlarında bulundukları görülmüştür. (**Şekil 4.17**).



Şekil 4.17 Çalışma alanındaki plütonik kayaçların (Na_2O+K_2O) – (SiO_2) diyagramındaki (Middlemost, 1994) dağılımları.

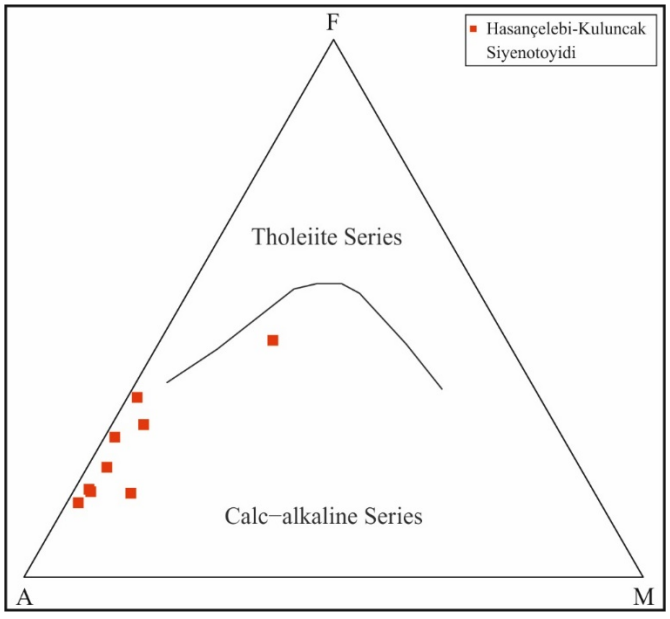


Şekil 4.18 A/CNK [Al_2O_3 / ($CaO+Na_2O+K_2O$)] - A/NK [Al_2O_3 / ($Na_2O+ K_2O$)] diyagramı (Shand, 1943).

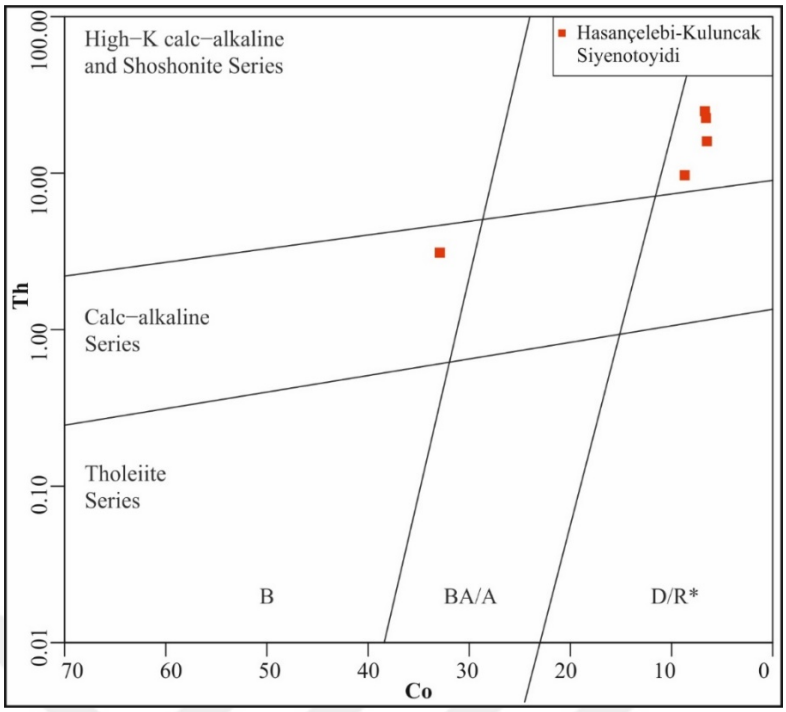


Şekil 4.19 Na_2O-Al_2O_3-K_2O üçgen diyagramı.

Ayrıca magmatik kayaçlar, bünyelerinde bulunan, Al, Ca, Na ve K elementlerinin molar dağılımlarına göre metalumina, peralumina ve peralkali olmak üzere 3'e ayrılmaktadır (Shand, 1943). A/CNK [Al_2O_3 / ($CaO+Na_2O+K_2O$)] ve A/NK [Al_2O_3 / ($Na_2O+ K_2O$)] diyagramında, inceleme alanına ait kayaç örnekleri metalumina - peralumina arasında bir dağılım göstermişlerdir (**Şekil 4.18**). Benzer bir diyagram olan Na_2O-Al_2O_3-K_2O diyagramında da örnekler, metaulumina ve peralumina olarak tanımlanmış alanda yer aldıkları görülerek, aynı sonuca ulaşılmıştır (**Şekil 4.19**).



Şekil 4.20 AFM diyagramı (Irvine ve Bragar, 1971).

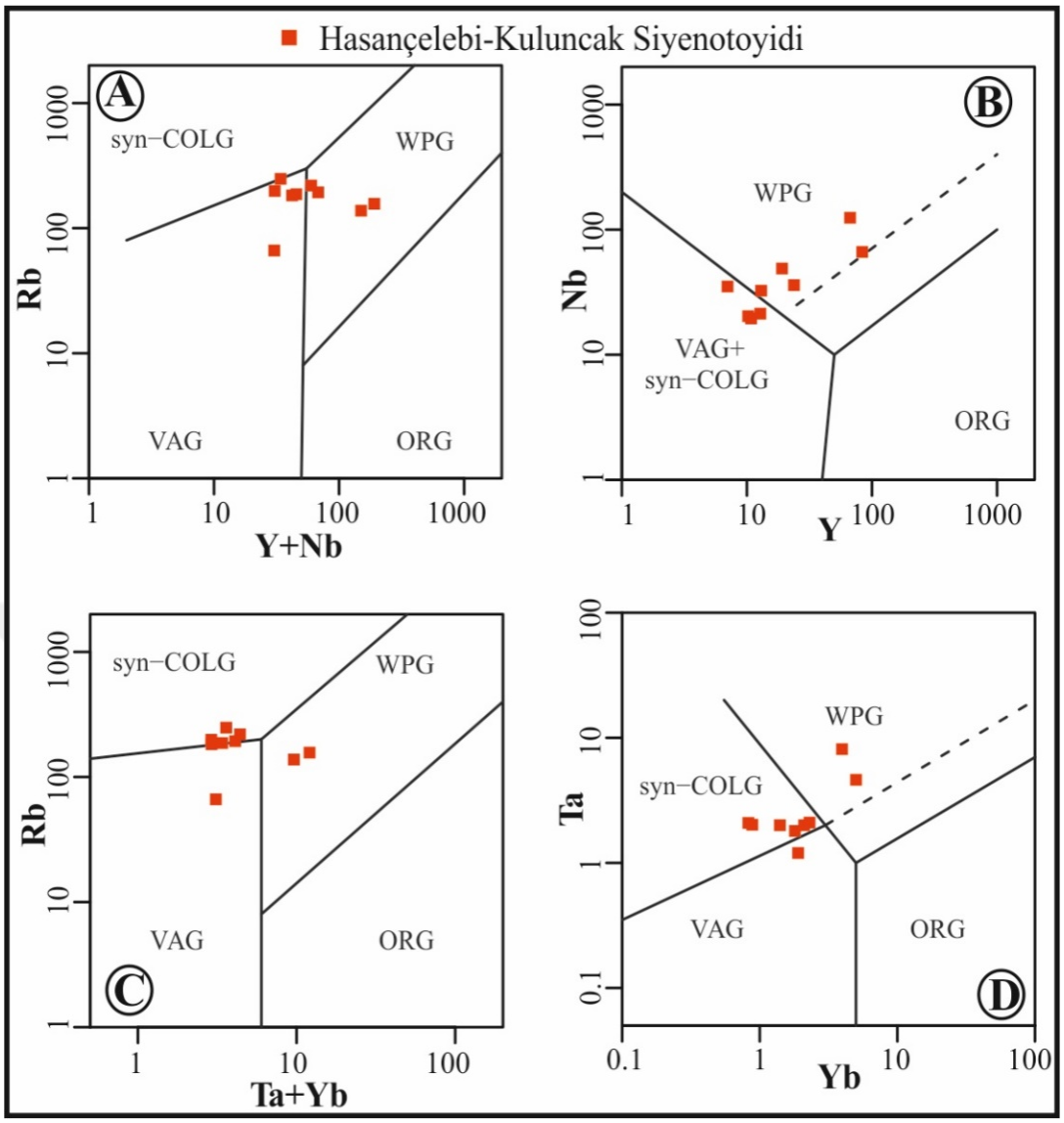


Şekil 4.21 Co –Th diyagramı (Hastie ve diğ., 2007).

A (Alkali: Na_2O+ K_2O), F (FeO ve Fe_2O_3) ve M (MgO) içeriklerine göre yapılan bir magma sınıflamasında (Irvine ve Bragar, 1971) örneklerin AFM diyagramında (**Şekil 4.20**) kalk-alkali magma alanında yer aldıkları görülmüştür. Aynı magma sınıflaması için Co – Th içeriğine göre oluşturulmuş diyagramda ise (Hastie ve diğ., 2007) benzer bir şekilde örnekler, kalk-alkali ve yüksek K içerikli kalk-alkali - şoşonitik alanda yer almışlardır (**Şekil 4.21**).

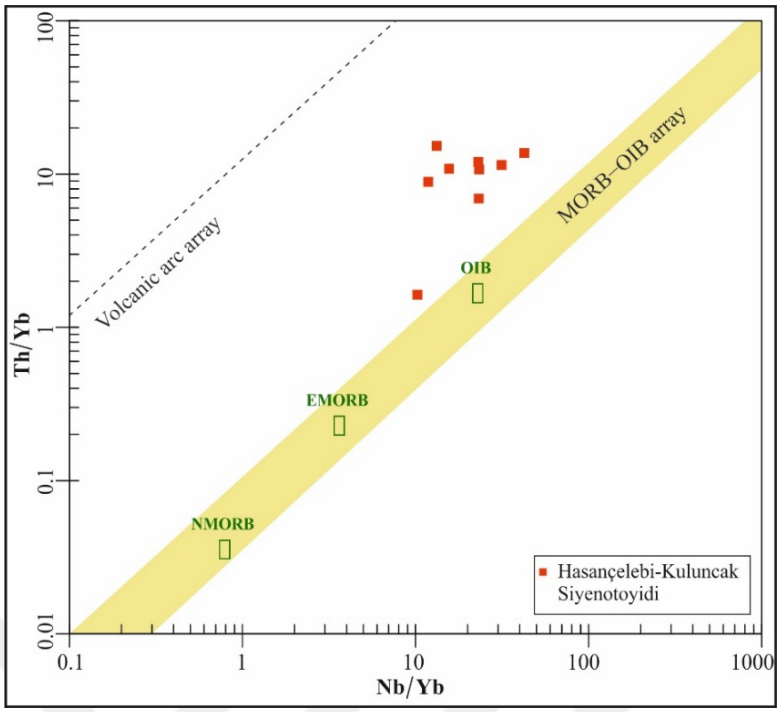
Hasançelebi-Kuluncak Siyenotoyidinin tektonik açıdan kökenin belirlemek için iz element [(Y+Nb)–Rb, Y–Nb, (Ta+Yb)–Rb ve Yb–Ta] sonuçlarına göre oluşturulmuş diyagramlarda (Pearce ve diğ. 1984) örneklerin sırasıyla; A ve B diyagramları için genel olarak, plaka içi granitleri (WPG) ve volkanik yay granitleri (VAG) alanlarında, C ve D diyagramları için ise çarpışmayla eş yaşlı granitler (syn-COLG) ve plaka içi granitleri (WPG) alanlarında konumlandıkları görülmüştür (**Şekil 4.22**).

Plütonik kayaçlar için de kullanılabilen, köken belirlemeye yönelik, iz elementlerin kullanıldığı diyagramlarda (Pearce, 2008) örnekler genel olarak, yitim etkisyle zenginleşmiş OIB (**Şekil 4.23**) ve MORB (**Şekil 4.24**) alanlarına yakın bölgelerde konumlanmışlardır. Ayrıca önceki şekillerle birlikte düşünüldüğünde MORB tabanlı bir kıtasal plaka içi bölgede yerleşim veya yitim zonu akışkanlarından etkilenmiş subra subduction ofiyolitlerinin kısmi erimesi ile oluşmuş olabilecekleri düşünülebilir.

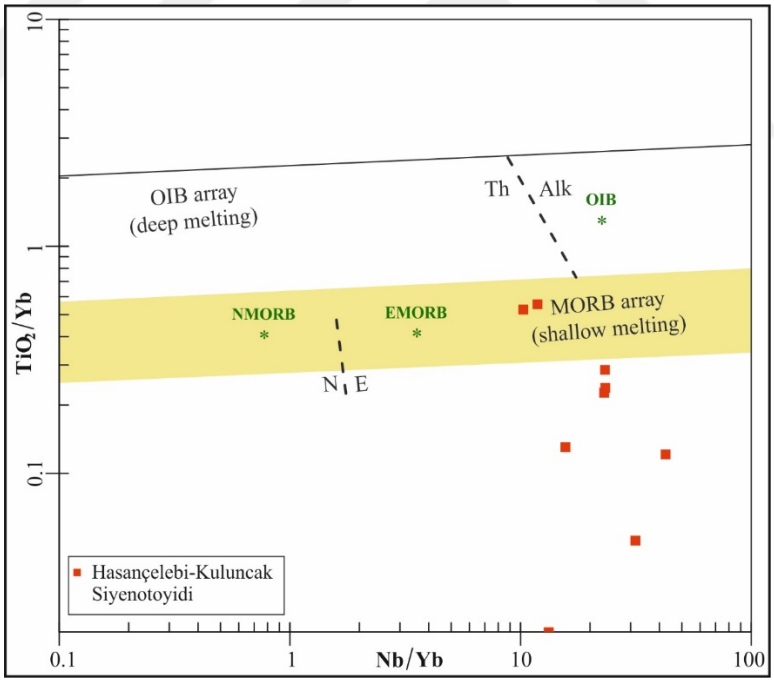


Şekil 4.22 Tektonik ayırım diyagramları (syn-COLG: Çarpışmayla eş yaşlı, WPG: Plaka içi granitleri, VAG: Volkanik yay granitleri, ORG: Okyanus sırtı granitleri. Pearce ve diğ. 1984).

Ana ve iz elementlerin yer aldığı bütün bu sınıflamalar **Tablo 4.7**'de toplu olarak verilmiştir. Plütonik kayaçlar için sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde; siyenitik ve kalk-alkali karakterde, tektonik köken olarak, daha çok çarpışmayla eş yaşlı ve plaka içi granitler, manto kökeni olarak da okyanus ortası sırt kökenli (MORB) oldukları sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.23 Nb / Yb – Th / Yb diyagramı (Pearce, 2008).



Şekil 4.24 Nb / Yb – TiO_2 / Yb diyagramı (Pearce, 2008).

Tablo 4.7 Plütonik kayaçların jeokimyasal analiz sonuçlarının karşılaştırılması.

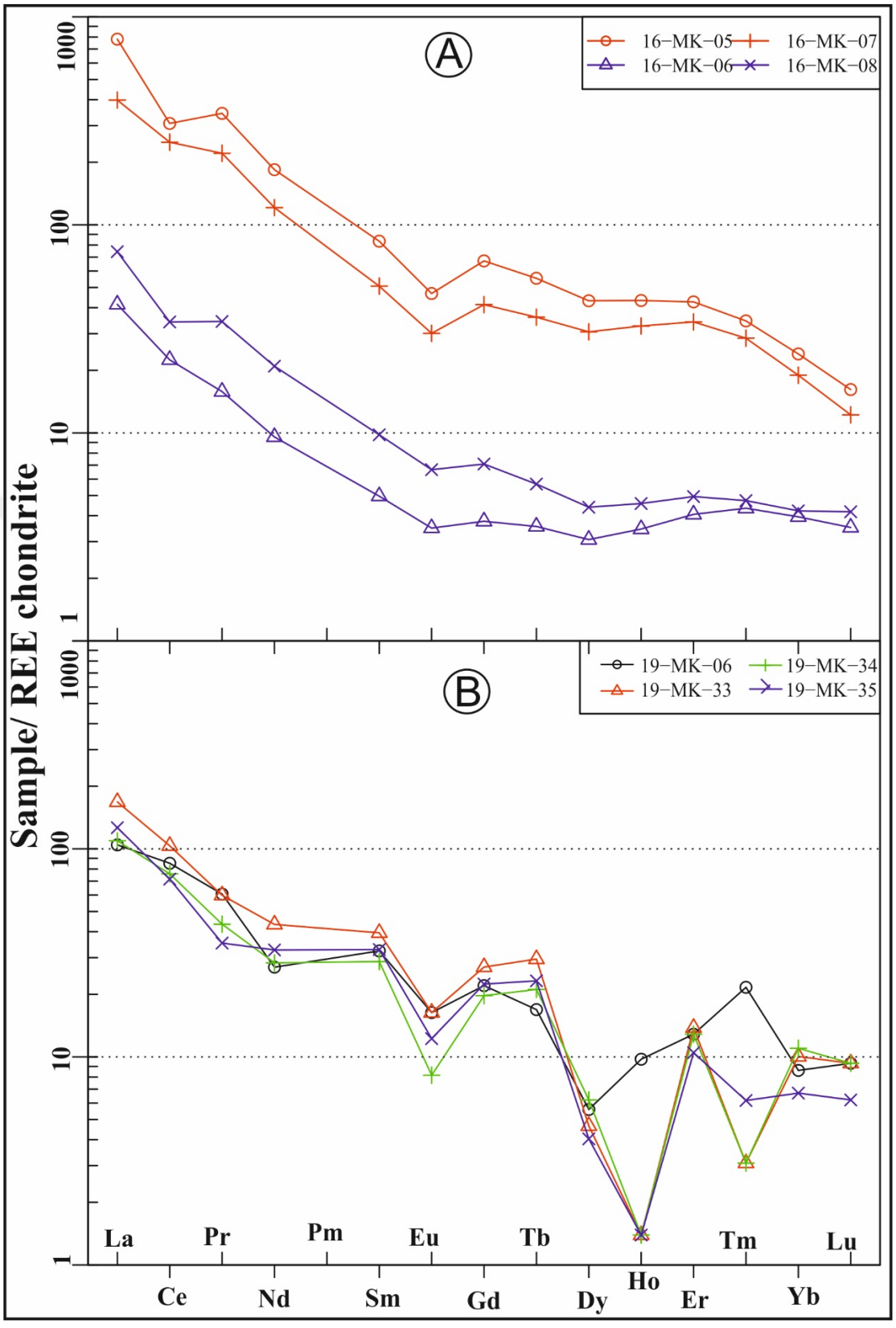
A/CNK-A/NK	Na2O-Al2O3-K2O	AFM	Co –Th	Tektonik Ayrım (Pearce vd., 1984)	Nb / Yb – Th / Yb	Nb / Yb – TiO2 / Yb
Meta-Peralumina	Metalumina	Kalk-alkanlin	Yüksek-K Kalk-alkaln	syn-COLG WPG VAG	MORB	MORB

4.2.2.2 Nadir toprak elementleri analizleri

Daha önce belirtildiği gibi Hasançelebi – Kuluncak Siyenotoyidinden alınan örneklerin petrografik analizleri sonucunda; inceleme alanının kuzey batısında daha çok diyoritik karakterde, inceleme alanının orta kesimlerinde ise daha çok siyenitik karakterde oldukları tespit edilmiştir. Bu sebeple kayaç örneklerine ait nadir toprak elemetleri (NTE) değerleri iki farklı grup için (diyoritik ve siyenitik) ayrı ayrı diyagramlar üzerinde değerlendirilmiştir (**Şekil 4.25**). Diyagramlar hazırlanırken NTE değerleri Boynton (1984) tarafından önerilmiş kondrit değerleriyle normalize edilmişlerdir (**Şekil 4.25**).

Diyagramda (**Şekil 4.25**-A) diyoritik örneklerin NTE içeriklerine göre iki farklı gruba ayrıldıkları görülmüştür. Diğer jeokimyasal analiz sonuçları da incelendiğinde bu ayrımlanmayı ortaya koyabilecek bir farklılık görülememiştir. Petrografik ve ana element dağılımlarında benzer olarak sınıflanan bu örnekler için düşük dereceli bir kısmi ergime geçirmiş olabilecekleri ve NTE içeriklerinin de bu sebeple farklı olabileceği yorumu yapılmıştır. Petrografik incelemelerde diyorit olarak tanımlanmış örneklerden görece daha fazla NTE içeren ilk grupta, ağır nadir toprak elementlerin (ANTE: Ho, Er, Tm, Yb, Lu) kondrit normalize değerlere göre 12,22-43,29 kat, görece daha az NTE içeren diğer grubun ise 3,45-4,94 kat daha fazla zenginleştikleri görülmüştür. Ortaç nadir toprak elementler (ONTE: Sm, Eu, Gd, Tb, Dy), NTE yüksek grupta 30,11-83,47 ve düşük grupta 3,49-9,80 kat fazla, hafif nadir toprak elementler (HNTE: La, Ce, Pr, Nd) ise NTE yüksek grupta 121,08-781,05 ve düşük grupta 9,56-74,33 kat faz zenginleşmişlerdir.

Petrografik incelemelerde siyenitik karakterde oldukları tespit edilen örneklere ait diyagrama bakıldığında (**Şekil 4.25**-B), benzer bir dağılım sundukları ve petrografik - jeokimyasal sonuçlarla da uyumlu oldukları görülmüştür. Örneklerin ağır nadir toprak elementlerine (ANTE: Ho, Er, Tm, Yb, Lu) ait bolluklarının kondrit değerlerine göre; 1,39-21,60 kat, ortaç nadir toprak elementlerinin (ONTE: Sm, Eu, Gd, Tb, Dy) 4,04-39,49 kat ve hafif nadir toprak elementlerinin (HNTE: La, Ce, Pr, Nd) ise 28,33-168,06 kat fazla zenginleştikleri görülmüştür.



Şekil 4.25 Plütonik kayaçlara ait NTE değerlerinin kondrite göre normalize edilmiş çoklu element diyagramları (A: inceleme alanının kuzey doğusundan alınan fazla altere olmamış örnekler. B: inceleme alanının orta – güney kesimlerinden alınmış yoğun altere örnekler).

4.3 XRD Bulguları

Çalışma sahasından alınan örneklerin hemen hemen tamaında, arazi bulgularıyla ve ince kesit incelemelerinde de tespit edilmiş yoğun bir alterasyon gözlenmektedir. X ışınları ile yapılan incelemelerde bu alterasyonların tipini belirlememize yardımcı olabilecek kil minerallerinin ve diğer alterasyon ürünü minerallerin tespiti amaçlanmıştır (**Tablo 4.8**).

Tablo 4.8 Litolojileri temsilen seçilmiş örneklerde XRD ile tespit edilen mineraller.

Örnek No	Kayaç Gr/Fm	Petrografik Tanımlama	XRD İle Belirlenmiş Mineraller
16-MK-03		Altere Bazalt	Pl, Cal, Chl, Kln, Ilt
16-MK-04		Altere Bazalt	Pl, Qz, Cal, Ntr, Ilt, Kln
16-MK-05	H-K. S	Diyorit	Pl, Afs, Cal, Aeg, Nph, Anl, Ntr
16-MK-06	H-K. S	Diyorit	Pl, Afs, Aeg, Nph, Anl, Cal, Bhm, Ilt
16-MK-07	H-K. S	Monzo-diyorit	Pl, Aeg, Amp, Ntr, Nph, Anl
16-MK-08	H-K. S	Diyorit	Pl, Aeg, Afs, Nph, Anl
16-MK-10	B.V	Altere Riyolit	Pl, Ms, Ilt, Chl, Mnt(Sme), Vrm, Cal, Aeg, Hem
16-MK-11	K.M	Altere Andezit	Pl, Cal, Qz, Ms, Ilt, Afs, Plg, Vrm, Chl, Kln
19-MK-01	S.F	Killi Kireçtaşı	Cal, Qz, Sme, Ank
19-MK-02	S.F	Kumtaşı/Silttaşı	Cal, Qz, Sme, Ank
19-MK-03	S.F	Kumtaşı/Silttaşı	Cal, Qz, Sme, Ank, Py
19-MK-04	By. V	Trakit - Latit	Fsp, Qz, Mic-Ilt, Hem, Dol-Ank
19-MK-05	By. V	Trakit	Fsp, Qz, Mic-Ilt, Dol-Ank, Mfr
19-MK-06	H-K. S	Kuvars-Siyenit	Fsp, Cal, Mic-Ilt, Qz, Dol-Ank
19-MK-07	K.M	Meta Volkanik	Fsp, Cal, Qz, Mic-Ilt, Kln
19-MK-08	K.M	Cevherleşmiş	Qz, Cal
19-MK-09	K.M	Meta Volkanik	Pl, Sme, Chl, Mic-Ilt, Mag, Srp
19-MK-10	K.M	Meta Volkanik	Fsp, Chl, Qz, Mic-Ilt, Mag
19-MK-11	H-K. S	Meta Siyenit	Anl, Chl, Mar(Scp), Mic-Ilt, Mag
19-MK-12	K.M	Cevherleşmiş	Fsp, Sme, Qz, Py Mic-Ilt, Mar(Scp)
19-MK-13	K.M	Meta Volkanik	Fsp, Cal, Mic-Ilt, Chl, Qz
19-MK-14	K.M	Meta Andezit	Cal, Fsp, Sme, Mic-Ilt, Kln
19-MK-15	K.M	Cevherleşmiş	Mag, Ttn-Mag, Hem, , Gth, Qz
19-MK-16	K.M	Meta Bazalt	Cal, Qz, Sme, Mag
19-MK-17	K.M	Meta Volkanik	Mnt(Sme), Cal, Mar(Scp), Mag
19-MK-18	K.M	Meta Volkanik	Anl, Mnt(Sme), Fsp, Cal, Mfr
19-MK-19	K.M	Meta Volkanik	Cal, Chl, Sme, Qz, Kln, Mic-Ilt, Mag
19-MK-20		Kireçtaşı	Cal
19-MK-21	Bd.V	Bazalt	Afs, Pl, Opl CT, Mnt(Sme), Cal, Mic-Ilt
19-MK-22	Bd.V	Altere Bazalt	Mnt(Sme), Cal, Afs, Pl, Opl CT, Amp
19-MK-23		Kireçtaşı	Dol

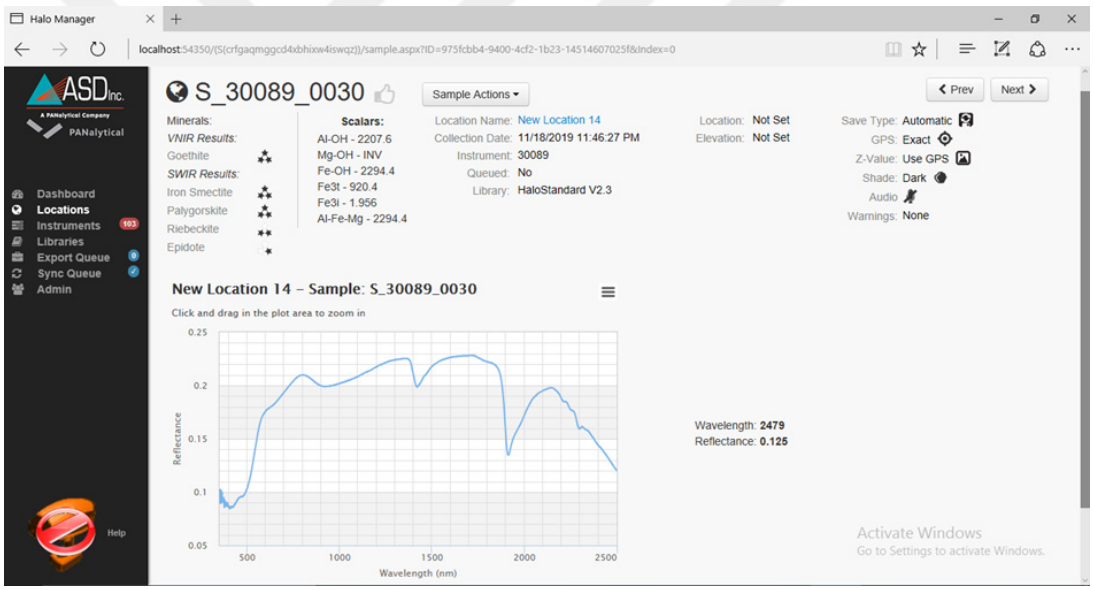
Örnek No	Kayaç Gr/Fm	Petrografik Tanımlama	XRD İle Belirlenmiş Mineraller
19-MK-24		Kireçtaşı	Cal, Dol, Qz
19-MK-25	K.O	Ofiyolit/Listvenit	Chl, Zeo, Amp, Dol
19-MK-26	K.O	Serpantinit/Harzburjit	Srp, Mgs
19-MK-27	Bd.V	Bazalt	Px, Chl, Kln, Afs, Pl, Dol, Mic-Ilt, Cal, Chl/Mnt
19-MK-28	Bd.V	Altere Bazalt	Chl, , Px, Afs, Pl, Kln, Cal, Dol, Mnt
19-MK-29	Bd.V	Meta Volkanik	Cal, Pl, Qz, Afs, Chl, Mic-Ilt, Kln
19-MK-30	Bd.V	Meta Bazalt	Cal, Afs, Srp, Pl, Qz, Chl, Mic-Ilt
19-MK-31	Bd.V	Andezitik bazalt	Pl, Qz, Afs, Cal, Chl, Mic-Ilt, Kln, Chl/Mnt
19-MK-32	By. V	Trakit	Pl, Afs, Qz, Chl
19-MK-33	H-K. S	Kuvars-Siyenit	Pl, Afs, Qz, Amp
19-MK-34	H-K. S	Siyeno-Granit	Qz, Pl, Afs, Chl, Mic-Ilt
19-MK-35	H-K. S	Kuvars-Siyenit	Pl, Afs, Qz, Amp
19-MK-36	Bd.V	Bazalt	Afs, Pl, Cal, Qz, Mnt(Sme), Chl, Kln, Mic-Ilt
19-MK-37	Y.V	Bazalt	Afs, Pl, Cal
19-MK-38	Y.V	Bazalt	Afs, Pl, Px, Dol
19-MK-39	Y.V	Bazalt	Opl, CT, Afs, Pl
19-MK-40	K.O	Altere Serpantinit	Chl, Kln, Srp, Mic-Ilt
19-MK-41	K.O	Cevherleşmiş	Lz(Srp), Atg(Srp), A.M, Cal, Chl, Kln, Mag-Mfr
19-MK-42	Bd.V	Altere Volkanik	Cal, A.M, Anl, Mnt(Sme), Kln, Mic-Ilt
19-MK-43	K.O	Serpantinit	Atg(Srp), Lz(Srp), A.M, Mfr
19-MK-44	K.K.Ü	Kumtaşı/Silttaşı	Qz, Atg(Srp), Lz(Srp), Cal, A.M, Kln
19-MK-45	A.Ü	Kuvarsit	Qz, A.M, Dol
19-MK-46	A.Ü	Kireçtaşı	Dol, Qz
19-MK-47	A.Ü	Killi Kireçtaşı	Dol, Mnt(Sme), Qz
19-MK-48		Killi kireçtaşı	Cal, Qz, Sme
19-MK-49		Kireçtaşı	Dol, Cal, Qz, Mic-Ilt
19-MK-50	Bd.V	Bazalt	Pl, Mnt(Sme), Mic-Ilt, Cal
19-MK-51		Kireçtaşı	Dol, Cal, A.M, Qz
19-MK-52	Bd.V	Bazalt	Pl, Mnt(Sme), A.M, Py, Qz

Kısaltmalar: Aeg:Egirin, Afs:Alkali feldispat, Amp:Amfibol, Anl:Analsim, Ank:Ankerit, Atg:Antigorit, Bhm:Böhmit, Cal:Kalsit, Chl:Klorit, Dol:Dolomit, , Fsp:Feldispat, Gth:Götit, Hem:Hematit, Ilt:İllit, Kln:Kaolinit, Lz:Lizardit, Mag:Manyetit, Mar:Marialit (Skapolit), Mfs:Manyeziyoferrit, Mgs:Manyezit, Mic-Ilt:Mika-İllit, Mnt:Montmorillonit, Ms:Muskovit, Ntr:Natrolit, Nph:Nefelin, Opl:Opal, Opl-CT:Opal Kristobalit-Tridimit, Pl:Plajiyoklaz, Plg:Paligorskit, Px:Piroksen, Srp:Serpantin, Sme:Smektit, Vrm:Vermikülit, Zeo:Zeolit (Whitney, D.L, Evans, B.W, 2010). Diğer kısaltmalar Tablo 4.1'deki gibidir.

4.4 Spektral Bulgular

4.4.1 Spektroradyometre ölçümleri

Çalışma sahasına ait uydu görüntülerinden ve jeoloji haritasından, gerek daha önceden belirlenen gerekse de arazi çalışmaları sırasında belirlenen noktalardan alınan kayaç örnekleri üzerinde, spektral imzalarını (yansıma – dalga boyu eğrisi) tespit edebilmek için spektroradyometrik ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde, ölçüm noktasına ait bir spektral imza kayıt edilmiştir (**Şekil 4.26**). Ayrıca ölçüm yapılan Halo cihazının çalışma prensibi gereği; VNIR ve SWIR bölgelerde ayrı ayrı olmak üzere mineraller tespit edilmiştir. Bu mineraller, cihazın veri tabanında bulunan farklı spektral kütüphaneler sayesinde; *** (çok güvenilir), ** (orta güvenilir) ve * (az güvenilir) gibi bir puanlama sistemiyle sınıflandırılmışlardır (**Tablo 4.9**).



Şekil 4.26 Spektroradyometrik ölçümden elde edilen spektral imza ve eşleştirilen mineralleri gösteren sonuç arayüzü

Tablo 4.9 Spektroradyometre analizinde tespit edilen mineraller.

Örnek No	Petrografik Tanımlama	VNIR			SWIR		
		***	**	*	***	**	*
16-MK-04	Altere Bazalt	Fh, Gth					
16-MK-05	Diyorit				Ntr		
16-MK-10	Altere Riyolit	Fh, Gth			Mg-Ilt		
19-MK-01	Killi Kireçtaşı					Cal	Mg-Ilt
19-MK-02	Kumtaşı/Silttaşı					Cpt, Kut	Cal, Dol, Mg-Ilt, Ank, Lz
19-MK-04	Trakit - Latit	Gth			Mg-Ilt		
19-MK-05	Trakit	Gth			Mg-Ilt	Mnt	
19-MK-06	Kuvars-Siyenit	Gth	Hem		Mg-Ilt, Ilt/Sme, Bei		
19-MK-07	Meta Volkanik	Gth			Mg-Ilt, Hal, Bei, Rec	Lzl, Mbr	Dck
19-MK-08	Cevherleşmiş	Gth	Hem		Cbz, Vrm, Nnt(Fe-Sme), Kut	Dpt, Cal, Hzn	Mnt, Ax
19-MK-09	Meta Volkanik	Gth			Mnt, Plg, Fe-Sme, Fe-Sap, Hbt	Rbk	Ep
19-MK-10	Meta Volkanik	Gth			Stp	FeMg-Chl, Bt	Plg, Ms, Mg-Ilt, K-Ilt, Phl, Ax
19-MK-11	Meta Siyenit	Gth			Cpt, Kln, Mnt, Php-Ca, Anl, Crr, Hal	Mg-Ilt, FeMg-Chl, Tur, Vrm	
19-MK-12	Cevherleşmiş	Gth, Hem			Cbz, Php, Hzn, Fh, Jrs, Stb, Fe-Sme, Plg		Gbs, Dyp, Sm, Tur
19-MK-13	Meta Volkanik	Gth			Cpt, Hrm, Hul	Cal, Mg-Ilt, Fe-Chl, FeMg-Ch	Dpt, Pn, Gp, Vrm, Phl, Mg-Chl, Nnt(Fe-Sme)
19-MK-14	Meta Andezit	Gth			Vrm	Cal	Mnt, Mg-Ilt
19-MK-15	Cevherleşmiş	Gth, Hem, Fh			Mnt, Brl,	Mgs, Cbz, Bx	Gp
19-MK-16	Meta Bazalt	Gth, Fh			Fe-Sme, Hbt, Php-Ca, Gm-Na	Cal	Mg-Ilt
19-MK-17	Meta Volkanik		Fh		Cpt, Hal, Php-Ca, Hbl	Mnt, Mnt	
19-MK-18	Meta Volkanik	Gth, Hem			Ilt/Sme, Anl, Fe-Sap, Cpt, Hal	Ep, Br, Kut	Cal, Mnt
19-MK-19	Meta Volkanik	Gth, Fh			Mnt, Fe-Sme, Plg, Hul, Mg-Ilt	Cal, Fe-Sap, FeMg-Chl, Ep	
19-MK-20	Kireçtaşı				Cal, Vrm, Fe-Sap	Plg,	Mg-Ilt
19-MK-21	Bazalt	Gth			Fe-Sme, Plg, Php-Ca, Crr		
19-MK-22	Altere Bazalt	Gth			Cpt*, Ph, FeMg-Chl, Fe-Smektit, Plg		
19-MK-23	Kireçtaşı	Gth			Dol, Cal, Ank, Vrm		Mnt
19-MK-24	Kireçtaşı	Hem	Gth				
19-MK-25	Ofiyolit/Listvenit	Fh, Gth		Hem	Cbz, Vrm, Ntr, Fe-Sap, Crr	Atg	

Kısaltmalar: Ank: Ankerit, Anl: Analsim, Atg: Antigorit, Ax: Aksinit, Azr: Azurit, Bei: Beidellit, Brc: Brusit, Brl: Beril, Bt: Biyotit, Bx: Boraks, Cal: Kalsit, Cbz: Şabazit, Cctl: Klinokrizotil, Cpt: Klinoptilolit, Crr: Korrensit, Czo: Klinozoisit, Dck: Dikit, Dol: Dolomit, Dpt: Diyoptaz, Ep: Epidot, Fe-Chl: Fe-Klorit, FeMg-Chl: FeMg-Klorit, Fe-Mnt: Fe-Montmorillonit, Fe-Sap: Fe-Saponit, Fe-Sme: Fe-Smektit, Fh: Ferrihidrit, Gbs: Gibsit, Gm-Na: Gimelinit-Na, Gp: Jips, Gth: Götit, Hal: Halloysit, Hbl: Hornblend, Hbt: Hidrobiyotit, Hem: Hematit, Hrm: Harmotom, Hul: Höylandit, Hzn: Hidrozinkit, Ilt/Sme: İllit/Smektit, Jrs: Jarosit, K-Ilt: K-İllit, Kln: Kaolinit, Kln-PX: Kaolinite-PX, Kln-WX: Kaolinite-WX, Kut: Kutnohorit, Lz: Lizardit, Lzl: Lazulit, Mbr: Montebrazit, Mg-Chl: Mg-Klorit, Mg-Ilt: Mg-İllit, MgCO3: Manyezit, Mnt: Montmorillonit, Ms: Muskovit, NH3-Sme: NH3-Smektit, Nnt(Fe-Sme): Nontranit, Ntr: Natrolit, Octl: Ortokrizotil, Pen: Peninit, Phe: Fenjit, Phl: Flogopit, Php: Filipsit, Php-Ca: Filipsit-Ca, Plg: Paligorskit, Rbk: Riebekit, Rec: Rektorit, Sm: Simitsonit, Stb: Stilbit, Stp: Stilpnomelan, Tur: Turmalin, Vrm: Vermikülit. *** (çok güvenilir), ** (orta güvenilir) ve * (az güvenilir).

Tablo 4.9'in devamı

Örnek No	Petrografik Tanımlama	VNIR			SWIR		
		***	**	*	***	**	*
19-MK-26	Serpantinit/Harzburjit				Octl, Mg-Ilt, Vrm	Cctl	
19-MK-27	Bazalt	Fh			Cpt, Mg-Chl, Mg-Ilt, Fe-Sap	FeMg-Chl	
19-MK-28	Altere Bazalt		Fh		Vrm, Mg-Ilt	FeMg-Chl	
19-MK-29	Meta Volkanik	Gth			Mg-Ilt	Fe-Chl	Vrm
19-MK-30	Meta Bazalt	Hem, Fh		Gth	Mnt, Kln-PX, Cal, Hul, Hal, Php-Ca, Mg-Chl	Rec	Mg-Ilt, FeMg-Chl, Ax, Tur, Azr
19-MK-31	Andezitik bazalt	Gth	Fh		Mnt, Mg-Ilt	Fe-Chl, Plg	Bt, Vrm, Cal
19-MK-32	Trakit	Fh, Gth			Cpt, FeMg-Chl	Ms	Gp, Kln-WX
19-MK-33	Kuvars-Siyenit	Fh, Gth		Hem	Mnt, Kln-PX, Php-Ca	Kln-WX	Gp, Czo, Tur, Dpt, Dol
19-MK-34	Siyeno-Granit	Fh, Gth			Mnt		
19-MK-35	Kuvars-Siyenit	Fh, Gth		Hem	Mnt		
19-MK-36	Bazalt	Gth			Php-Ca, Mg-Chl, FeMg-Chl, Hbl, Ax	Azr	Tur
19-MK-37	Bazalt				Mnt, Cpt, Tur		
19-MK-38	Bazalt	Gth			Cpt, Vrm, Fe-Sme, Pn		
19-MK-39	Bazalt				Mnt, Brl		
19-MK-40	Altere Serpantinit				Octl, Mg-Chl	Brc, Ms	Atg
19-MK-41	Cevherleşmiş				Octl	FeMg-Chl	
19-MK-42	Altere Volkanik	Gth			Stp	Vrm	Pen
19-MK-43	Serpantinit				Octl		
19-MK-44	Kumtaşı/Silttaşı	Gth, Fh			Ilt/Sme	Vrm, Kln-WX	
19-MK-45	Kuvarsit	Hem			Ilt/Sme	Mnt	
19-MK-46	Kireçtaşı	Gth			Dol		
19-MK-47	Killi Kireçtaşı	Hem			Dol		
19-MK-48	Killi kireçtaşı	Fh, Gth			Mnt, Cal	NH3-Sme	Ph
19-MK-49	Kireçtaşı				Plg	Dol	
19-MK-50	Bazalt	Fh			Fe-Sme, Fe-Mnt, Mnt		
19-MK-51	Kireçtaşı	Fh, Gth				Dol	
19-MK-52	Bazalt	Hem					

Kısaltmalar: Ank: Ankerit, Anl: Analsim, Atg: Antigorit, Ax: Aksinit, Azr: Azurit, Bei: Beidellit, Brc: Brusit, Brl: Beril, Bt: Biyotit, Bx: Boraks, Cal: Kalsit, Cbz: Şabazit, Cctl: Klinokrizotil, Cpt: Klinoptilolit, Crr: Korrensit, Czo: Klinozoisit, Dck: Dikit, Dol: Dolomit, Dpt: Diyoptaz, Ep: Epidot, Fe-Chl: Fe-Klorit, FeMg-Chl: FeMg-Klorit, Fe-Mnt: Fe-Montmorillonit, Fe-Sap: Fe-Saponit, Fe-Sme: Fe-Smektit, Fh: Ferrihidrit, Gbs: Gibsit, Gm-Na: Gimelinit-Na, Gp: Jips, Gth: Götit, Hal: Halloysit, Hbl: Hornblend, Hbt: Hidrobiyotit, Hem: Hematit, Hrm: Harmotom, Hul: Höylandit, Hzn: Hidrozinkit, Ilt/Sme: İllit/Smektit, Jrs: Jarosit, K-Ilt: K-İllit, Kln: Kaolinit, Kln-PX: Kaolinite-PX, Kln-WX: Kaolinite-WX, Kut: Kutnohorit, Lz: Lizardit, Lzl: Lazulit, Mbr: Montebrazit, Mg-Chl: Mg-Klorit, Mg-Ilt: Mg-İllit, MgCO3: Manyezit, Mnt: Montmorillonit, Ms: Muskovit, NH3-Sme: NH3-Smektit, Nnt(Fe-Sme): Nontranit, Ntr: Natrolit, Octl: Ortokrizotil, Pen: Peninit, Phe: Fenjit, Phl: Flogopit, Php: Filipsit, Php-Ca: Filipsit-Ca, Plg: Paligorskit, Rbk: Riebekit, Rec: Rektorit, Sm: Simitsonit, Stb: Stilbit, Stp: Stilpnomelan, Tur: Turmalin, Vrm: Vermikülit. *** (çok güvenilir), ** (orta güvenilir) ve * (az güvenilir).

4.4.2 Spektral Analizler (Eşleştirmeler)

İnceleme alanından alınan kayaç örnekleri üzerinde laboratuvar ortamında yapılan spektroradyometre analizlerinde elde edilen spektral verilerin bilinen bir takım spektral kütüphanelerle karşılaştırmaları yapılmıştır.Yapılan karşılaştırmalar sonucu elde edilen sonuçlar jeolojik bilgiler ve diğer analiz sonuçları (petrografi ve XRD) ile birlikte değerlendirilerek kesinleştirilmiştir. Spektral analizi yapılan kayaç örneklerine ait sonuçlar **Tablo 4.10**'da "Spektral Analiz" sütununda verilmiştir. Ayrıca bu sütunda yer alan sonuç spektraları ve kayaç spektraları karşılaştırmalı olarak, her bir örnek için ayrı ayrı EK 1'de verilmiştir.

Tablo 4.10 Spektral analizi yapılan örneklerin diğer analizlerle karşılaştırmalı tablosu.

Örnek No	Petrografik	XRD (Kalitatif Mineral Analizi)	Spektral Analiz (Kayaç/Ecostress)	Spektral Analiz (Mineral)	SWIR (***)
16-MK-03	Altere Bazalt	Pl, Cal, Chl, Kln, Ilt	-	-	
16-MK-04	Altere Bazalt	Pl, Qz, Cal, Ntr, Ilt, Kln	-	-	
16-MK-05	Diyorit	Pl, Afs, Cal, Aeg, Nph, Anl, Ntr	Trakit (Eco)	Nefelin (USGS)	Ntr
16-MK-06	Diyorit	Pl, Afs, Aeg, Nph, Anl, Cal, Bhm, Ilt	-	-	
16-MK-07	Monzo-diyorit	Pl, Aeg, Amp, Ntr, Nph, Anl	Biyotit granit (Eco)	Bitovnit/Feldispat (USGS)	
16-MK-08	Diyorit	Pl, Aeg, Afs, Nph, Anl	Biyotit granit (Eco)	-	
16-MK-10	Altere Riyolit	Pl, Ms, Ilt, Chl, Mnt(Sme), Vrm, Cal, Aeg, Hem	Muskovit-biyotit Granit (Eco)	İllit (USGS)	Mg-Ilt
16-MK-11	Altere Andezit	Pl, Cal, Qz, Ms, Ilt, Afs, Plg, Vrm, Chl, Kln	-	-	
19-MK-01	Killi Kireçtaşı	Cal, Qz, Sme, Ank	Kırmızı sleyt (Eco)	Demirli Kumtaşı (JHU)	
19-MK-02	Kumtaşı/Silttaşı	Cal, Qz, Sme, Ank	Kırmızı sleyt (Eco)	Demirli Kumtaşı (JHU)	
19-MK-03	Kumtaşı/Silttaşı	Cal, Qz, Sme, Ank, Py	Kırmızı sleyt (Eco)	Demirli Kumtaşı (JHU)	
19-MK-04	Trakit - Latit	Fsp, Qz, Mic-Ilt, Hem, Dol-Ank	Kuvars serizit şist (Eco)	Rektorit (İllit-Smektit) (USGS)	Mg-Ilt
19-MK-05	Trakit	Fsp, Qz, Mic-Ilt, Dol-Ank, Mfr	Aplit (Eco)	Pertit/Feldispat (USGS)	Mg-Ilt
19-MK-06	Kuvars-Siyenit	Fsp, Cal, Mic-Ilt, Qz, Dol-Ank	Aplit (Eco)	Montmorillonit (USGS)	Mg-Ilt, Ilt/Sme, Bei
19-MK-07	Meta Volkanik	Fsp, Cal, Qz, Mic-Ilt, Kln	Fillit (Eco)	İllit (USGS)	Mg-Ilt, Hal, Bei, Rec
19-MK-08	Cevherleşmiş	Qz, Cal	Dasit (Eco)	Götit (USGS)	Cbz, Vrm, Nnt(Fe-Sme), Kut
19-MK-09	Meta Volkanik	Pl, Sme, Chl, Mic-Ilt, Mag, Srp	Aplit (Eco)	Kaolinit/Smektit (USGS)	Mnt, Plg, Fe-Sme, Fe-Sap, Hbt
19-MK-10	Meta Volkanik	Fsp, Chl, Qz, Mic-Ilt, Mag	Monzonit (Eco)	Bitovnit/Feldispat (USGS)	Stp
19-MK-11	Meta Siyenit	Anl, Chl, Mar(Scp), Mic-Ilt, Mag	Hornblend siyenit (Eco)	Kaolinit/Smektit (USGS)	Cpt, Kln, Mnt, Php-Ca, Anl, Crr, Hal
19-MK-12	Cevherleşmiş	Fsp, Sme, Qz, Py Mic-Ilt, Mar(Scp)	Dasit (Eco)	Götit/Limonit (USGS)	Cbz, Php, Hzn, Fh, Jrs, Stb, Fe-Sme, Plg
19-MK-13	Meta Volkanik	Fsp, Cal, Mic-Ilt, Chl, Qz	Alkali granit (Eco)	Korrensit(Chl/Sme/Vrm)(USGS)	Cpt, Hrm, Hul
19-MK-14	Meta Andezit	Cal, Fsp, Sme, Mic-Ilt, Kln	Andezit porfir (Eco)	Vermikülit (USGS)	Vrm
19-MK-15	Cevherleşmiş	Mag, Ttn-Mag, Hem, , Gth, Qz	Dasit (Eco)	Götit (USGS)	Mnt, Brl,
19-MK-16	Meta Bazalt	Cal, Qz, Sme, Mag	Öjit-mika peridotit (Eco)	Andezin (Plj/Feld) (USGS)	Fe-Sme, Hbt, Php-Ca, Gm-Na
19-MK-17	Meta Volkanik	Mnt(Sme), Cal, Mar(Scp), Mag	Trakit (Eco)	Mikroklin (USGS)	Cpt, Hal, Php-Ca, Hbl
19-MK-18	Meta Volkanik	Anl, Mnt(Sme), Fsp, Cal, Mfr	Aplit (Eco)	Montmorillonit (USGS)	Ilt/Sme, Anl, Fe-Sap, Cpt, Hal
19-MK-19	Meta Volkanik	Cal, Chl, Sme, Qz, Kln, Mic-Ilt, Mag	Aplit (Eco)	Pertit/Feldispat (USGS)	Mnt, Fe-Sme, Plg, Hul, Mg-Ilt
19-MK-20	Kireçtaşı	Cal	Oolitik kireçtaşı (Eco)	Fosilli kireçtaşı (JHU)	Cal, Vrm, Fe-Sap
19-MK-21	Bazalt	Afs, Pl, Opl CT, Mnt(Sme), Cal, Mic-Ilt	Amigdaloyidal bazalt (Eco)	Pertit/Feldispat (USGS)	Fe-Sme, Plg, Php-Ca, Crr
19-MK-22	Altere Bazalt	Mnt(Sme), Cal, Afs, Pl, Opl CT, Amp	Amigdaloyidal bazalt (Eco)	Nontronit/Smektit (JPL)	Cpt*, Ph, FeMg-Chl, Fe-Sme, Plg
19-MK-23	Kireçtaşı	Dol	Enkrinal kireçtaşı (Eco)	Kireçtaşı (Ecostress JPL)	Dol, Cal, Ank, Vrm
19-MK-24	Kireçtaşı	Cal, Dol, Qz	Kumtaşı (Eco)	Kumtaşı (Ecostress JPL)	

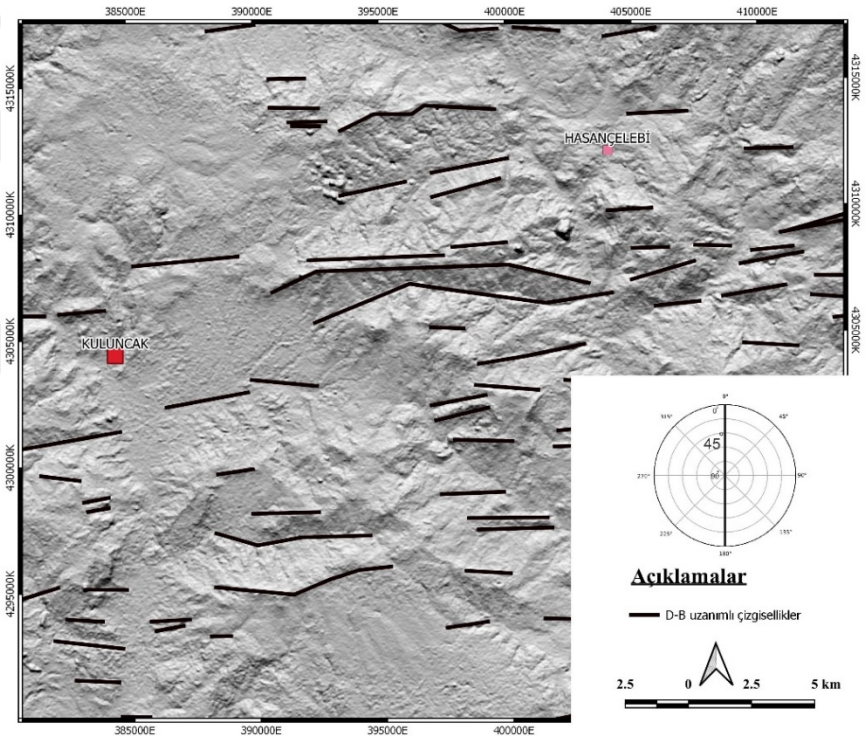
Örnek No	Petrografik	XRD (Kalitatif Mineral Analizi)	Spektral Analiz (Kayaç/Ecostress)	Spektral Analiz (Mineral)	SWIR (***)
19-MK-25	Ofiyolit/Listvenit	Chl, Zeo, Amp, Dol	Öjit-mika peridotit (Eco)	Vermikülit (JPL)	Cbz, Vrm, Ntr, Fe-Sap, Crr
19-MK-26	Serpantinit/Harzb.	Srp, Mgs	Mika Peridotit (Eco)	Serpantin (Ecostress JPL)	Octl, Mg-Ilt, Vrm
19-MK-27	Bazalt	Px, Chl, Kln, Afs, Pl, Dol, Mic-Ilt, Cal, Chl/Mnt	Öjit-mika peridotit (Eco)	Korrensit(Chl/Sme/Vrm)(USGS)	Cpt, Mg-Chl, Mg-Ilt, Fe-Sap
19-MK-28	Altere Bazalt	Chl, , Px, Afs, Pl, Kln, Cal, Dol, Mnt	Öjit-mika peridotit (Eco)	Korrensit(Chl/Sme/Vrm)(USGS)	Vrm, Mg-Ilt
19-MK-29	Meta Volkanik	Cal, Pl, Qz, Afs, Chl, Mic-Ilt, Kln	Mika Dasit porfir (Eco)	İllit (USGS)	Mg-Ilt
19-MK-30	Meta Bazalt	Cal, Afs, Srp, Pl, Qz, Chl, Mic-Ilt	Andezit porfir (Eco)	Montmorillonit (USGS)	Mnt, Kln-PX, Cal, Hul, Hal, Php-Ca, Mg-Chl
19-MK-31	Andezitik bazalt	Pl, Qz, Afs, Cal, Chl, Mic-Ilt, Kln, Chl/Mnt	Aplit (Eco)	Montmorillonit (USGS)	Mnt, Mg-Ilt
19-MK-32	Trakit	Pl, Afs, Qz, Chl	Öjit-mika peridotit (Eco)	Mikroklin (USGS)	Cpt, FeMg-Chl
19-MK-33	Kuvars-Siyenit	Pl, Afs, Qz, Amp	Aplit (Eco)	Montmorillonit (USGS)	Mnt, Kln-PX, Php-Ca
19-MK-34	Siyeno-Granit	Qz, Pl, Afs, Chl, Mic-Ilt	Aplit (Eco)	Montmorillonit (USGS)	Mnt
19-MK-35	Kuvars-Siyenit	Pl, Afs, Qz, Amp	Kuvars felsit porfir (Eco)	Pertit/Feldispat (USGS)	Mnt
19-MK-36	Bazalt	Afs, Pl, Cal, Qz, Mnt(Sme), Chl, Kln, Mic-Ilt	Kuvars felsit porfir (Eco)	Erionit/Zeolit (USGS)	Php-Ca, Mg-Chl, FeMg-Chl, Hbl, Ax
19-MK-37	Bazalt	Afs, Pl, Cal	Amigdaloyidal bazalt (Eco)	Mikroklin (USGS)	Mnt, Cpt, Tur
19-MK-38	Bazalt	Afs, Pl, Px, Dol	Amigdaloyidal bazalt (Eco)	Mikroklin (USGS)	Cpt, Vrm, Fe-Sme, Pn
19-MK-39	Bazalt	Opl, CT, Afs, Pl	Hornblend siyenit (Eco)	Hyalit/Opal (USGS)	Mnt, Brl
19-MK-40	Altere Serpantinit	Chl, Kln, Srp, Mic-Ilt	Serpantin (Eco)	Krizotil (USGS)	Octl, Mg-Chl
19-MK-41	Cevherleşmiş	Lz(Srp), Atg(Srp), A.M, Cal, Chl, Kln, Mag-Mfr	Serpantin (Eco)	Krizotil (USGS)	Octl
19-MK-42	Altere Volkanik	Cal, A.M, Anl, Mnt(Sme), Kln, Mic-Ilt	Öjit-mika peridotit (Eco)	Korrensit(Chl/Sme/Vrm)(USGS)	Stp
19-MK-43	Serpantinit	Atg(Srp), Lz(Srp), A.M, Mfr	Serpantinit (Eco)	Serpantin (USGS)	Octl
19-MK-44	Kumtaşı/Silttaşı	Qz, Atg(Srp), Lz(Srp), Cal, A.M, Kln	Kırmızı kumtaşı (Eco)	Kumtaşı (Mikalı) (JHU)	Ilt/Sme
19-MK-45	Kuvarsit	Qz, A.M, Dol	Kuvarsit (Eco)	Montmorillonit (USGS)	Ilt/Sme
19-MK-46	Kireçtaşı	Dol, Qz	Dolomit mermer (Eco)	Fosilli kireçtaşı (JHU)	Dol
19-MK-47	Killi Kireçtaşı	Dol, Mnt(Sme), Qz	Çörtlü kireçtaşı (Eco)	Fosilli kireçtaşı (JHU)	Dol
19-MK-48	Killi kireçtaşı	Cal, Qz, Sme	Enkrinal kireçtaşı (Eco)	Fosilli kireçtaşı (JHU)	Mnt, Cal
19-MK-49	Kireçtaşı	Dol, Cal, Qz, Mic-Ilt	Enkrinal kireçtaşı (Eco)	Fosilli kireçtaşı (JHU)	Plg
19-MK-50	Bazalt	Pl, Mnt(Sme), Mic-Ilt, Cal	Aplit (Eco)	Pertit/Feldispat (USGS)	Fe-Sme, Fe-Mnt, Mnt
19-MK-51	Kireçtaşı	Dol, Cal, A.M, Qz	Enkrinal kireçtaşı (Eco)	Fosilli kireçtaşı (JHU)	
19-MK-52	Bazalt	Pl, Mnt(Sme), A.M, Py, Qz	Aporiyolit (Eco)	Hematit (USGS)	

Kısaltmalar **Tablo 4.7 ve 8**'deki gibidir. Tabloda, "Spektral Analiz (Mineral)" ve "Spektral Analiz (Kayaç) sütunlarındaki sonuç spektralarına ait bütün yansıma dalga boyu eğrileri EK 1'de bütün örnekler için verilmiştir.

5. UZAKTAN ALGILAMA

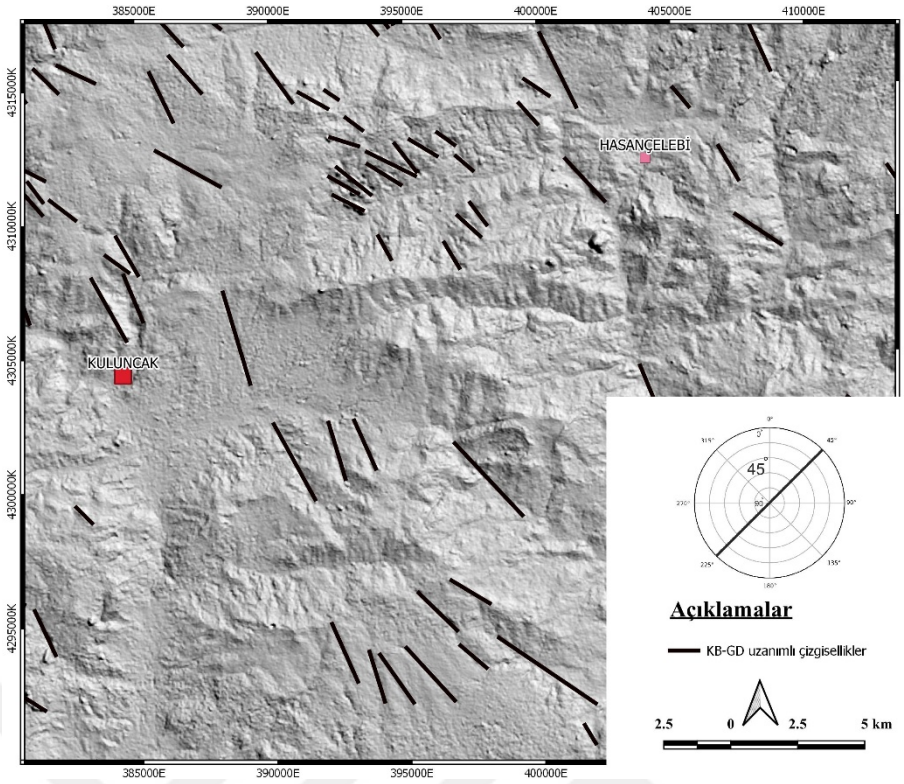
5.1 Çizgisellik analizi

İnceleme alanında önceki çalışmalarla ortaya koyulan ve saha gözlemleriyle de varlıkları bilinen tektonik hatlar uzaktan algılama yöntemleriyle de analiz edilmiştir. ASTER uydusuna ait VNIR aralıkta bulunan band 3N (nadir-viewing) ve band 3B (backward-viewing) bantları sayesinde stereoskopik görüntü elde edilebilmektedir. Bu amaçla ASTER araştırma ekibi, görüntülere bulut maskesi uygulayıp, eksik pikselleri de uygun yazılımlarla tamamlayarak, sürüm 3 sayısal yükseklik modeli (Digital Elevation Model V003) verilerini oluşturmuşlardır (Abrams vd., 2020).

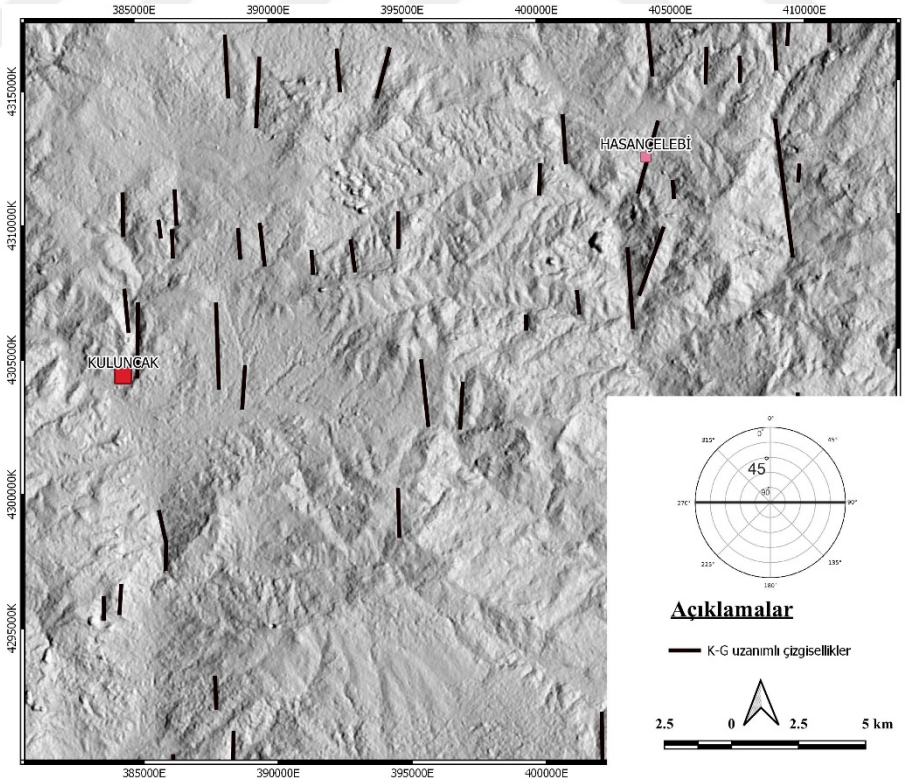


Şekil 5.1 ASTER DEM üzerine K-G doğrultuda ve 45º'lik yükseklik açısıyla ışık düşürülerek tespit edilen D-B uzanımlı çizgisellikler.

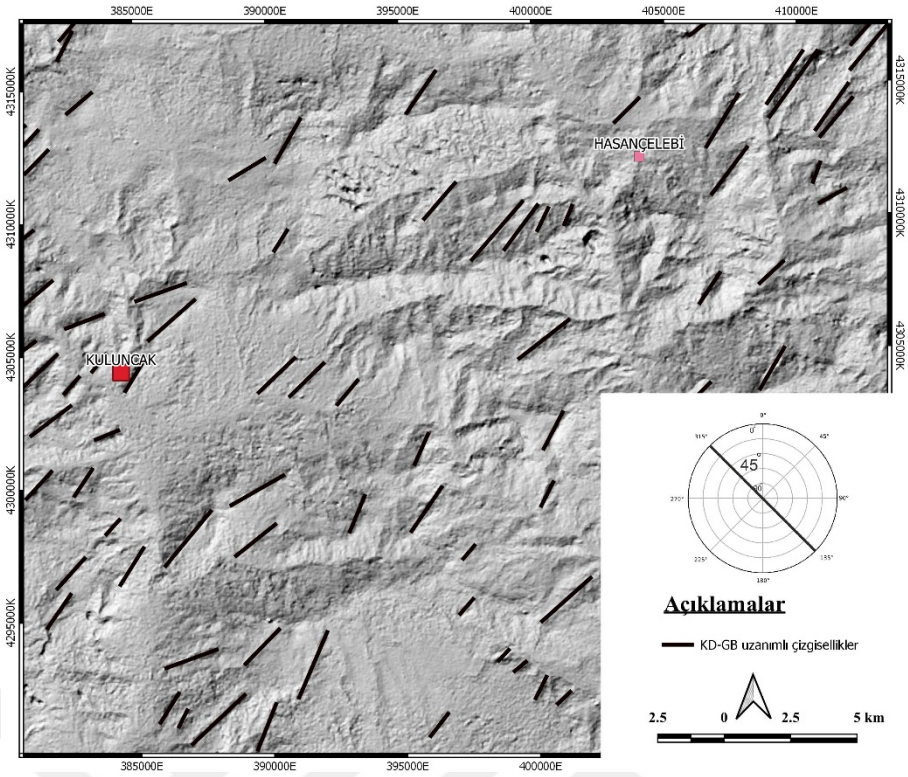
Analiz, açık kaynak kodlu Qgis yazılımı kullanılarak, inceleme alanına ait AST14DEM v003 verisi (NASA/METI/AIST., 2001) üzerinde gerçekleştirilmiştir. DEM görüntüsü raster analiz aracı yardımıyla gölgeli kabartma haritasına dönüştürülmüştür. Sonrasında, ana (K, D, G, B) ve ara yönlerden (KD, GD, GB, KB) DEM görüntüsüne ışık düşürülmüştür. Işık, 45º yükseklik açısı (altitude) sabit bırakılıp, kuzeyle yaptığı açı (azimut) değiştirilerek, kullanılmıştır. Oluşan gölgelenmeler yardımıyla ışık yönüne dik çizgisellikler belirlenmiştir (**Şekil 5.1-5**).



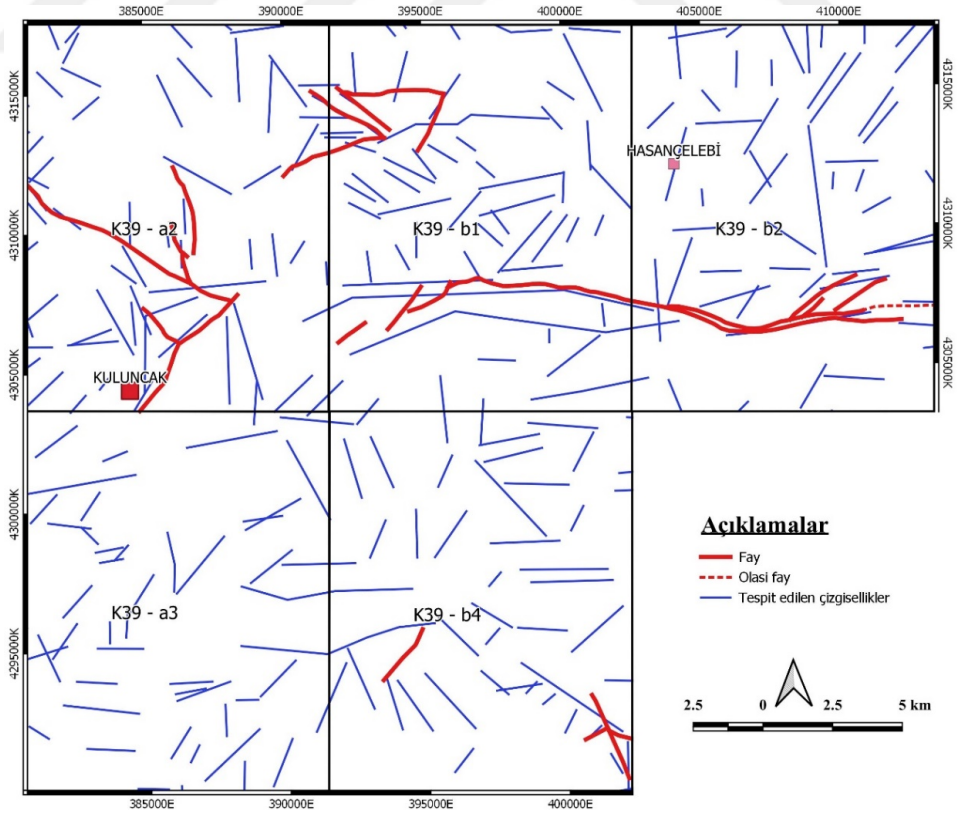
Şekil 5.2 ASTER DEM üzerine KD-GB doğrultuda ve 45º'lik yükseklik açısıyla ışık düşürülerek tespit edilen KB-GD uzanımlı çizgisellikler.



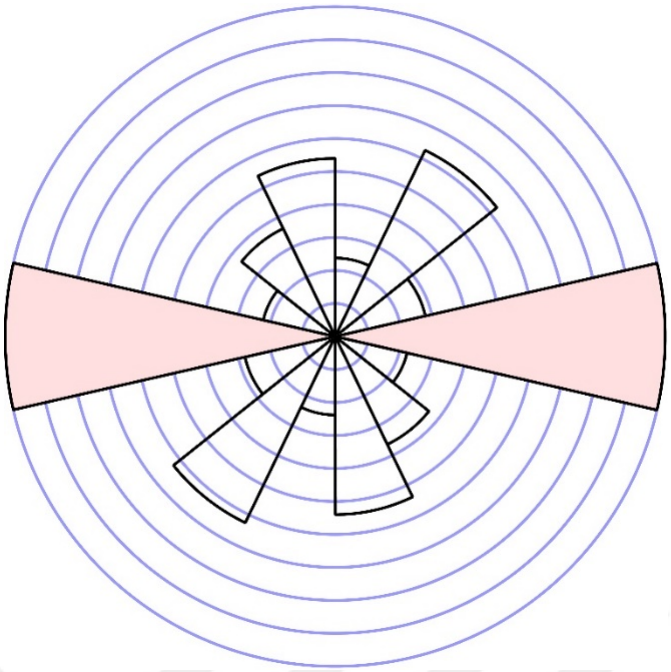
Şekil 5.3 ASTER DEM üzerine D-B doğrultuda ve 45º'lik yükseklik açısıyla ışık düşürülerek tespit edilen K-G uzanımlı çizgisellikler.



Şekil 5.4 ASTER DEM üzerine KB-GD doğrultuda ve 45º'lik yükseklik açısıyla ışık düşürülerek tespit edilen KD-GB uzanımlı çizgisellikler.



Şekil 5.5 ASTER DEM üzerine bütün ara ve ana yönlerden 45º'lik yükseklik açısıyla ışık düşürülerek tespit edilen çizgiselliklerin tamamı ve ana tektonik hatlar.

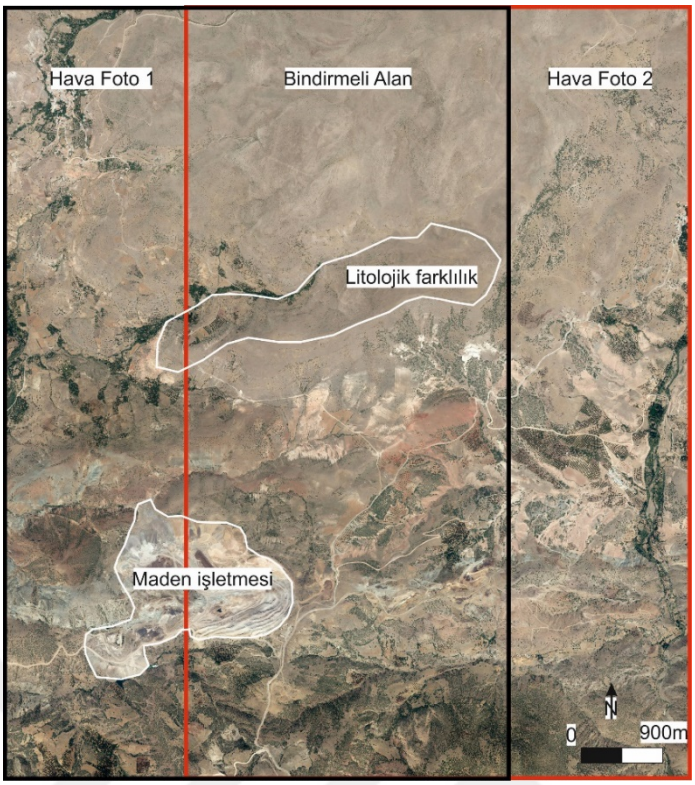


Şekil 5.6 DEM görüntüsünden elde edilen çizgiselliklerin doğrultularını ve hâkim doğrultuyu gösteren gül diyagramı.

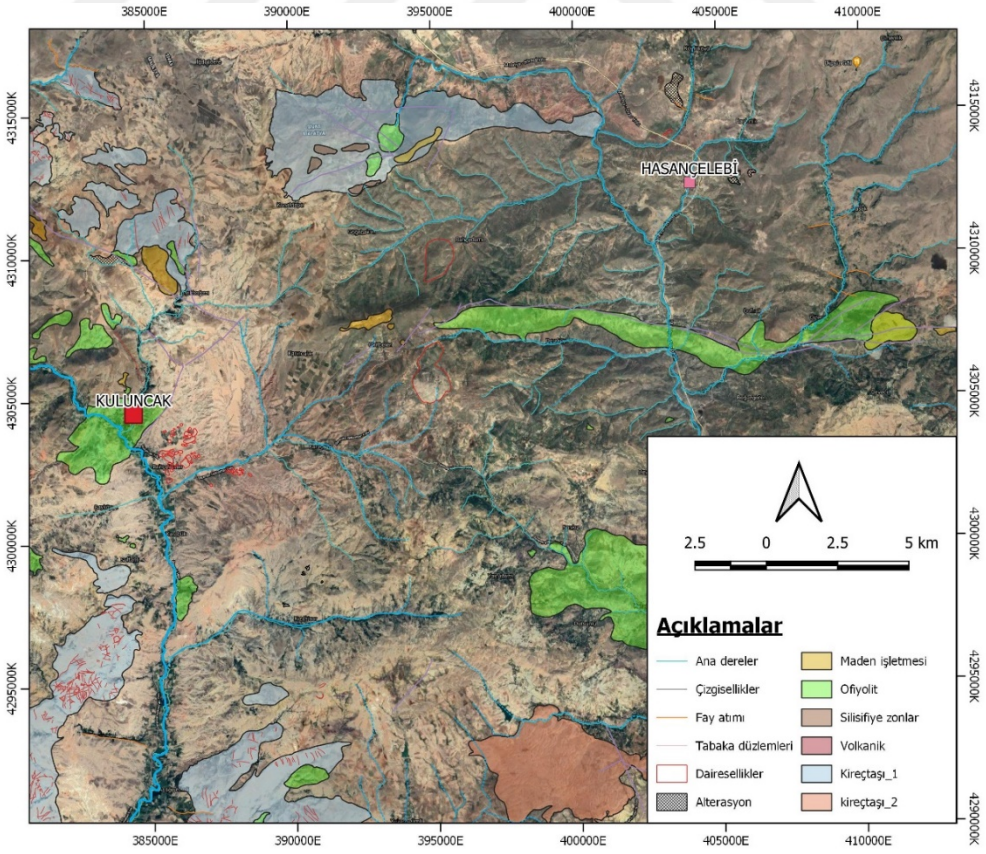
ASTER DEM verilerinden elde edilen gölgeli kabartma görüntüler üzerine ana ve ara yönlerde ışık düşürülerek yapılan çizgisellik analizinde, önceki çalışmalarda ortaya çıkarılmış ve varlığı bilinen süreksizliklerin (özellikle COF) doğrultuları ile uyumlu olarak hâkim doğrultu yaklaşık D-B olarak tespit edilmiştir (**Şekil 5.6**).

5.2 Görsel yorumlama

Tez projesi kapsamında HGM'den inceleme alanının tamamını kapsayan, sayısal ve renkli hava fotoğrafları temin edilmiştir (**Şekil 5.7**). 3 bant (RGB) olan görüntüler JPG formatında sayısal olarak bilgisayarda ve gerek duyulan hallerde çıktıları alınarak stereoskop ile incelenmişlerdir. Bir takım jeolojik ve yapısal unsurlar, litolojik farklılıklar, belirgin çizgisellikler, insan eliyle oluşturulmuş, hava fotoğrafında da fark edilebilen bazı yapılar (maden işletmesi vb.) ve alterasyon olduğu düşünülen alanlar görüntüler üzerine çizilerek bölgeye ait bir görsel yorumlama çalışması yapılmıştır (**Şekil 5.8**).



Şekil 5.7 Ortak alanlı hava fotoğrafı çifti.



Şekil 5.8 Hava fotoğraflarından görsel yorumlama ile elde edilmiş, litolojik ayrım ve yapısal unsurlar haritası.

5.3 ASTER

Çalışmamızda, multispektral bir UA sistemi olan ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) verileri kullanılmıştır. NASA tarafından kontrol edilen, Terra Platformu üzerinde yer alan 5 sistemden (diğerleri; Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES), Multi-angle Imaging SpectroRadiometer (MISR), and Measurement of Pollution in the Troposphere (MOPITT) birisidir. Aralık 1999'da fırlatılan ve aralıksız 20 senedir veri toplamaya devam etmekte olan ASTER, Japonya Ekonomi Ticaret ve Endüstri Bakanlığı (METI) ile NASA'nın ortak bir projesidir. Japon havacılık şirketleri METI adına ASTER'in alt sistemlerini kurarken, NASA Terra Platformunu ve Atlas 2AS isimli fırlatma aracını hazırlamıştır. Her iki kuruluş da cihazın kalibrasyonu, programlanması, verilerin arşivlenmesi, işlenmesi ve dağıtılmasından sorumludurlar.

ASTER jeolojik haritalama için tasarlanmış bir sistemdir. Nisan 2008'de SWIR alt sisteminin algılayıcı soğutma sisteminde bir arıza meydana gelmiştir ve bu tarihten sonra SWIR veri alınamamıştır. Eylül 2016'dan itibaren de veri arşivindeki tüm ASTER çekimleri ve onlardan üretilmiş bütün veriler ücretsiz olarak herkesin erişimine açılmıştır.

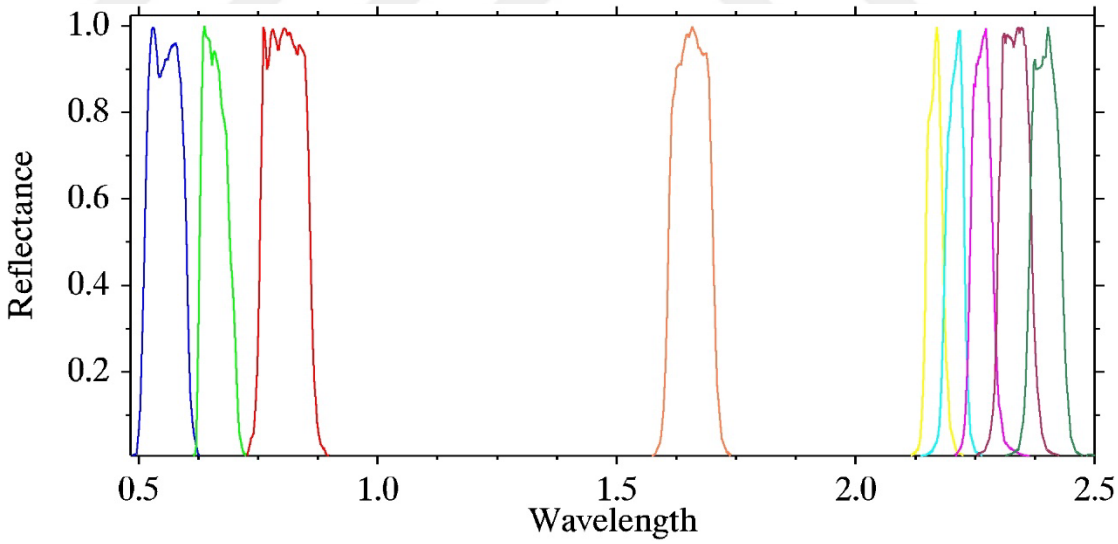
Genel amaçlı bir görüntüleme aracı olarak, ASTER'den elde edilen veriler, arazi kullanımı / arazi örtüsü, kentsel izleme, kentsel ısı haritası çalışmaları, sulak alan çalışmaları, tarım izleme, ormancılık vb. gibi çok sayıda bilimsel disiplinde kullanılmaktadır. 1500 aktif volkanın ve 3000 vadi buzulunun izlenmesi için önemli kaynaklar ayrılmıştır. Bunlarla birlikte, aslında ASTER verilerinin kullanıldığı en önemli alan daha çok jeolojik uygulamalar olan; litolojik haritalama, mineral zenginleşmeleri ve alterasyon araştırmaları olmuştur.

ASTER algılayıcı bantları 520 – 11650 nm aralığında, 3 adet görünür yakın kızılötesi (VNIR), 6 adet yakın kızıl ötesi (SWIR) ve 5 adet ısıl kızıl ötesi (TIR) bant olamk üzere toplam 14 banttan oluşan bir multispektral UA sistemidir (Abrams vd. 2002). VNIR 15m, SWIR 30m ve TIR 90 m yersel çözünürlüğe sahiptir. VNIR ve SWIR alanda 8 bit, TIR alanda ise 12 bitlik radyometrik çözünürlük sunan ASTER 16 günlük zamansal çözünürlüğe sahiptir (**Tablo 5.1**)

Tablo 5.1 ASTER algılayıcı sisteminin belirgin özellikleri.

Algılayıcı	Bant No.	Spektral Aralık (μm)	Çözünürlük		
			Yersel (m)	Radyometrik (bit)	Zamansal (gün)
VNIR	1	0.52-0.60	15	8	16
	2	0.63-0.69			
	3N	0.78-0.86			
	3B	0.78-0.86			
SWIR	4	1.60-1.70	30		
	5	2.145-2.185			
	6	2.185-2.225			
	7	2.235-2.285			
	8	2.295-2.365			
	9	2.360-2.430			
TIR	10	8.125-8.475	90	12	
	11	8.475-8.825			
	12	8.925-9.275			
	13	10.25-10.95			
	14	10.95-11.65			

Yerbilimlerinde ve özellikle de alterasyon minerallerinin tespit edilmesinde yoğunlukla VNIR ve SWIR bölgede bulunan bantlar kullanılmaktadır (**Şekil 5.9**).



Şekil 5.9 ASTER sensörünün VNIR ve SWIR bölgedeki bantlarına ait yansıma dalga boyu eğrileri.

ASTER verilerini ham veriler ve geometrik – radyometrik düzeltmeler uygulanmış birinci seviye ışıma verileri ve atmosferik ve cross-talk düzeltme uygulanmış ikinci seviye yansıma verileri olarak temelde ikiye ayırabiliriz.

Çalışmamızda AST_07XT kodlu (NASA/METI/AIST., 2006), seviye 2 verileri kullanılmıştır (**Tablo 5.2**). 1. seviye ve 2. seviye verilerin tamamının temeli kendisi de 1. seviye verisi olan L1A (AST_L1A) versidir. L1A verisi algılayıcının radyometrik kapasitesine göre (VNIR, SWIR: DN=1-255, TIR: DN=1-4095) kayıt edilen parlaklı (ışıma) değerlerinden oluşur. L1A verisi radyometrik ve geometrik katsayıları hesaplanmış fakat henüz görüntüye uygulanmadığından orijinal veri değerlerini içeren bir üründür. Bu ürün ve kılavuz verileri (radyometrik ve geometrik yeniden örnekleme katsayıları) kullanılarak ürün L1B ürününe dönüşütürülür. L1T ürünleri de tıpkı L1B ürünleri gibi radyometrik ve geometrik katsayıları kullanarak düzeltmeleri görüntüye uygulanmış, hassas arazi düzeltmesi yapılmış ve görüntü, kullanılacak projeksiyona kayıt edilerek kuzey yönlenmesi yapılmış bir üründür. Bu özelliklerinden dolayı kullanıma hazır bir veri çeşidi olarak kabul edilir.L1B ürününden farklı olarak, veri içeriğinde VNIR bölgede 3B (backlooking) bandını içermez. (USGS, 2005 AST_L1T Product User's Guide).

Tablo 5.2 ASTER bilim ekibi tarafından algoritmalar kullanılarak oluşturulmuş farklı seviye ve tipteki veri ürünleri.

Kısaltma	**Seviye**	**ASTER Ürünleri**	**Çözünürlük (m)**
AST_L1T	L1T	Algılayıcıda Kayıt Edilen Işıma - Hassas Topografik Düzeltilmiş	15, 30, 90
AST_L1BE	1B	Algılayıcıda Kayıt Edilen Işıma - Hızlandırılmış	15, 30, 90
AST_L1AE	1A	Yeniden Oluşturulmuş İşlenmemiş Aygıt Verileri - Hızlandırılmış	15, 30, 90
AST_07	2	Yüzey Yansıması - VNIR & SWIR	15, 30
AST_07XT	2	Yüzey Yansıması - VNIR & Crosstalk Düzeltilmiş SWIR	15, 30
AST_09	2	Yüzey Işıması - VNIR & SWIR	15, 30
AST_09XT	2	Yüzey Işıması - VNIR & Crosstalk Düzeltilmiş SWIR	15, 30
AST_09T	2	Yüzey Işıması TIR	90
AST_08	2	Yüzey Kinetik (Devinimsel) Sıcaklık	90
AST_05	2	Yüzey Yayılırlığı	90
AST14OTH	3	Algılayıcıda Kayıt Edilen Işıma - Orthorectified	15, 30, 90

Kısaltma	Seviye	ASTER Ürünleri	Çözünürlük (m)
AST_L1B	1B	Algılayıcıda Kayıt Edilen Işıma	15, 30, 90
AST14DMO	3	Digital Elevation Model & Registered Radiance at the Sensor – Ortorektifiye Edilmiş	15, 30, 90
AST_L1A	1A	Yeniden Oluşturulmuş İşlenmemiş Aygıt Verileri	15, 30, 90
AST14DEM	3	Sayısal Yükseklik Modeli	30
ASTGTM	3	ASTER Küresel Sayısal Yükseklik Modeli	30

5.3.1 Bant oranlamaları ve kombinasyonlar

Enerji kaynağından yeryüzüne iletilen EMR, etkileşimde bulunduğu cisimlerden yansıyarak dalga boylarına göre, toplayıcı algılayıcılarda kayıt edilirler. Bu kayıt sonucunda aynı cisimlere ait farklı bantlarda farklı parlaklık değerlerine karşılık gelen bir matriks oluşturulur. Daha sonra parlaklık değerlerine karşılık gelen bu matriksler görüntülere dönüştürülürler. Elde edilen bu görüntülerde herhangi bir materyale vurgu yapılmak istenildiğinde bant oranlama tekniği kullanılır. Bunun için cismin en fazla yansıma yaptığı dalga boyuna karşılık gelen bant görüntüsü, en az yansıma yaptığı (en fazla absorbe edilen) dalga boyuna karşılık gelen bant görüntüsüne oranlanır. Başka bir değişle; görüntüdeki bir pikselin, spektral aralıkta en yüksek değeri en düşük değerine bölünür. Böylece görüntülerde, cisimlerden elde edilen spektral farklılıklar arttırılırken, topografya ve gölge etkileri de azaltılmış olur. Spektrumdaki dalga boylarındaki farklı yansıma ve soğurulmalara, bazı element ve iyonların varlığı, bu iyonların yükleri ve bu bileşenler arasındaki kimyasal bağların geometrilerindeki farklılıklar sebep olmaktadır. Özellikle spektrumun görünür, yakın ve kısa dalga kızılötesi bölgelerinde demir oksit, hidroksit ve kil mineralleri gibi hidrotermal alterasyon ürünü mineraller büyük ölçüde kimyasal farklılıklarından dolayı (iyon varlığı, iyon yükü ve iyonik bağ geometrisi vb.) spektrumun kimi bölgelerinde yüksek yansıma verirken, kimi bölgelerinde de yüksek soğurulma özelliği gösterirler.

5.3.1.1 ASTER VNIR bölgede yapılan bant oranlamaları

Bölüm 5.3'de belirtildiği gibi ASTER UA sistemi esasen jeolojik haritalama için tasarlanmıştır. Bu sebeple; özellikle VNIR bölgenin tamamı ile SWIR bölgenin nispeten kısa dalga boylu bölgesi; Fe^{+2} (siderit), Fe^{+3} (hematit, götit), demir silikat (fayalit), demir oksitler (hematit, manyetit), gossan (demir şapka) ve laterit gibi ana

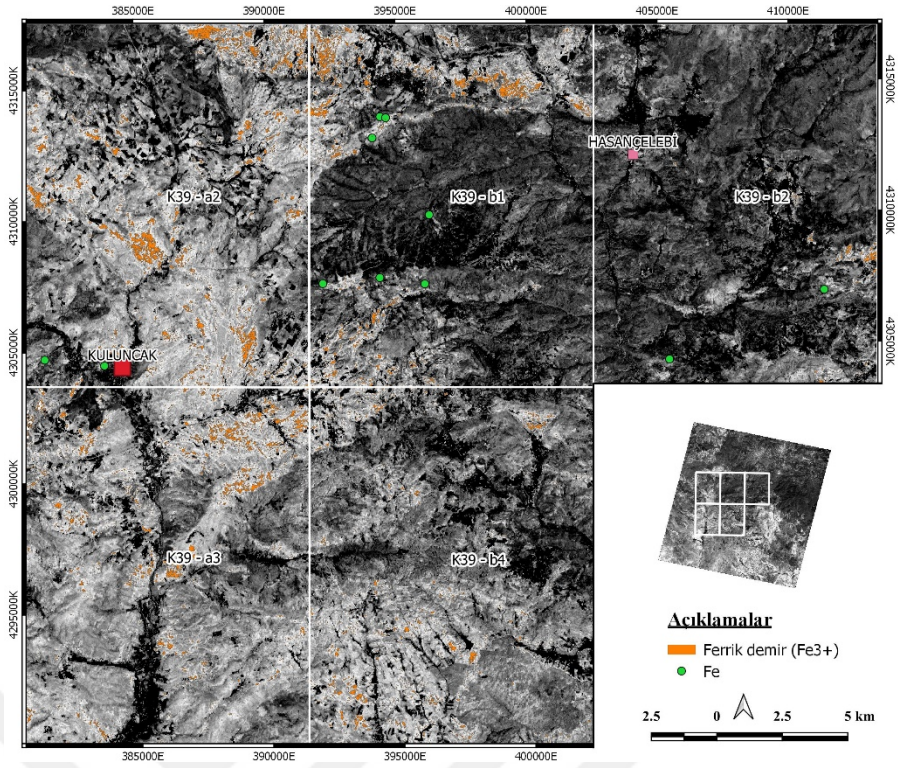
bileşeni demir olan oluşumlara karşı yüksek yansıma verdiklerinden bu minerallerin tanımlanmasını ve haritalanmasını kolaylaştırırlar. Ayrıca VNIR bölge bitkilerin bünyesinde yer alan klorofil maddesine karşı yüksek yansıma verdiğinden (band 2 ve 3) bu bölge bitki sınıflaması açısından önemli olmakla birlikte çalışmalarımızda bu bölge daha çok bitki maskelemesi oluşturmak için kullanılmıştır.

İnceleme alanı, Anadolu'daki demir yatakları arasında önemli bir yeri olan Hasançelebi demir oluşumlarını da içerisine aldığından ASTER görüntüleri üzerinde demire karşı yüksek yansıma verebilen dalga boylarında birçok bant oranlama işlemi (**Tablo 5.3**) yapılarak demir içeren oluşumların spektral olarak vurgulanması amaçlanmıştır.

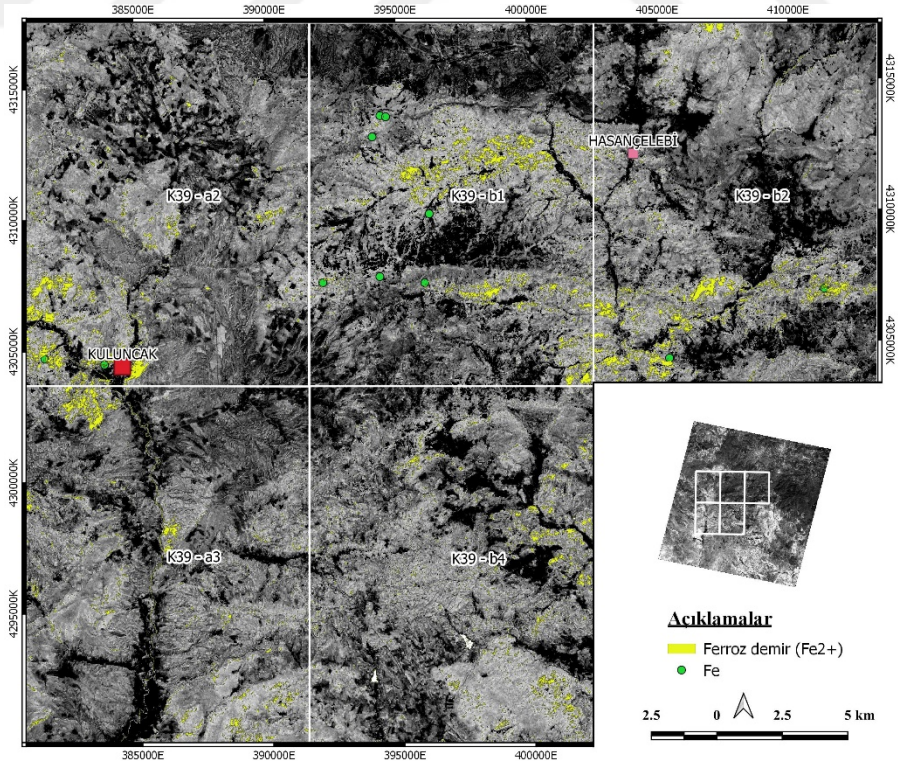
Elde edilen oranlama görüntülerinin daha iyi anlaşılması için ENVI'de koşut yüz / paralel yüz (parallelepiped) algoritması kullanılarak denetimli sınıflamalar oluşturulmuştur. Sınıflamalar yapılırken, ilgi alanı (ROI) aracı kullanılarak, oran görüntülerinde en fazla yansıma veren pikseller öğretim (tarining) verileri olarak algoritmaya tanımlanmışlardır. Bu işlemler yapılırken, oluşturulacak sınıflar için eşik değerler oran görüntülerin ortalama temel istatistik değerleri hesaplanarak seçilmiştir. İşlemler sonucunda renklendirilmiş alanlar yansımanın en fazla olduğu alanlar olarak sınıflandırılmışlardır (**Şekil 5.10-15**).

Tablo 5.3 Demir içerikli minerallere ait ASTER bant oranlamaları (Kalinowski ve Oliver, 2004).

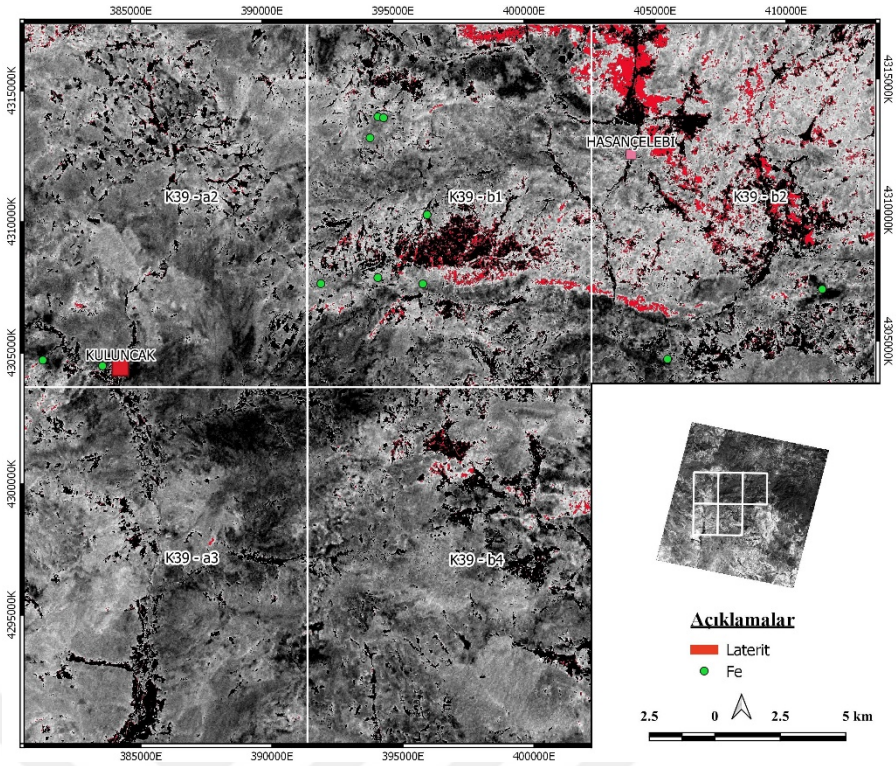
Fe3+ içeren mineraller (hematit, götit)	2/1	Şekil 5.10
Fe2+ içeren mineraller (siderit)	5/3 + 1/2	Şekil 5.11
Laterit	4/5	Şekil 5.12
Demir Şapka	4/2	Şekil 5.13
Demir Silikatlar (biot, chl, amph)	5/4	Şekil 5.14
Demir Oksitler	4/3	Şekil 5.15



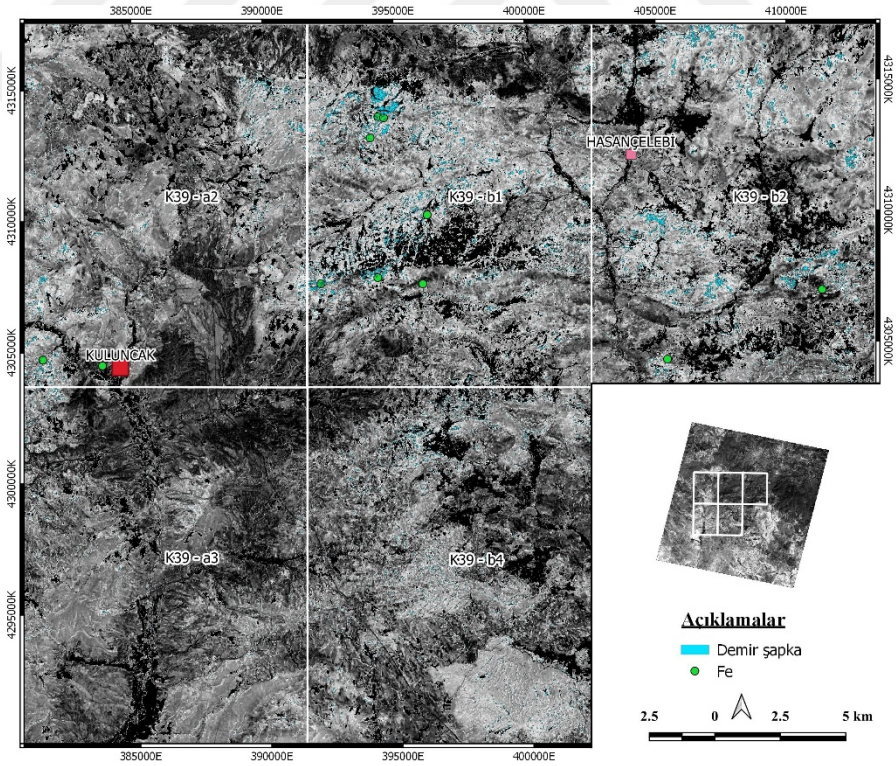
Şekil 5.10 ASTER B2/B1 (Ferrik demir (Fe^{3+}) içeren hematit ve götit) bant oranlaması ve elde edilen sınıflama dağılımı (yeşil noktalar bölgede varlığı bilinen demir zuhur, yatak ve işletmelere ait konumları göstermektedir).



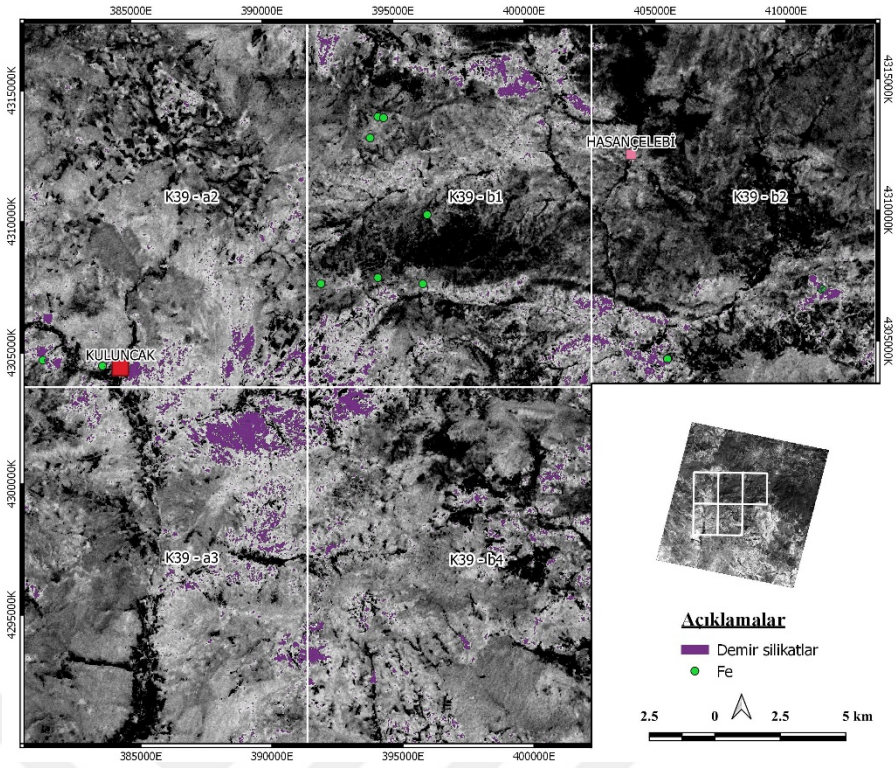
Şekil 5.11 ASTER (B5/B3)+(B1/B2) (Ferroz demir (Fe^{2+}) içeren siderit) bant matematiği ve elde edilen sınıflama dağılımı.



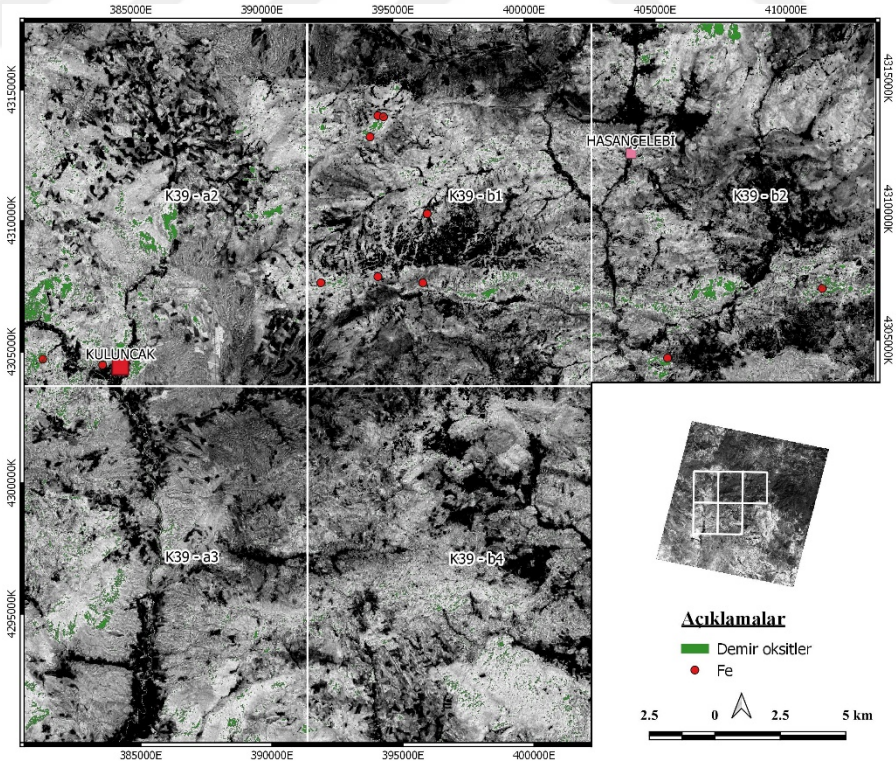
Şekil 5.12 ASTER B4/B5 (laterit) bant oranlaması ve elde edilen sınıflama dağılımı.



Şekil 5.13 ASTER B4/B2 (demir şapka) bant oranlaması ve elde edilen sınıflama dağılımı.

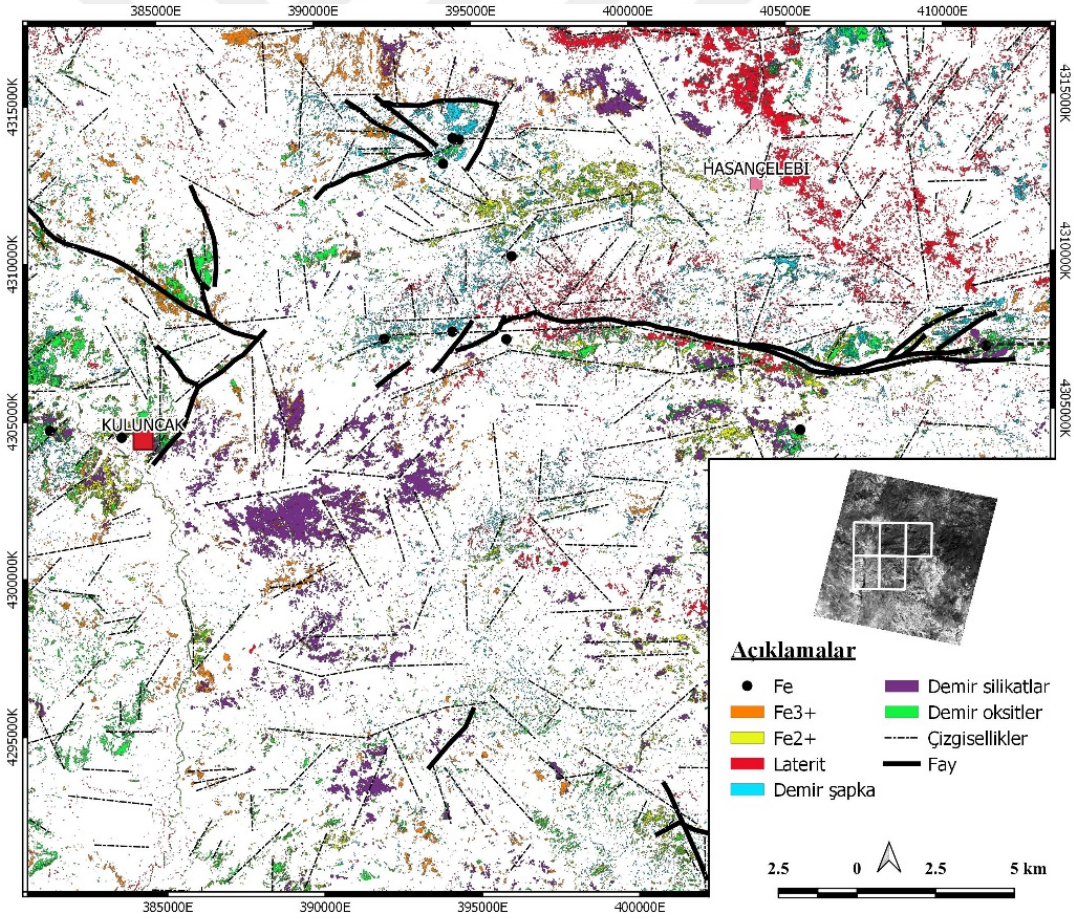


Şekil 5.14 ASTER B5/B4 (demir silikatlar) bant oranlaması ve elde edilen sınıflama dağılımı.

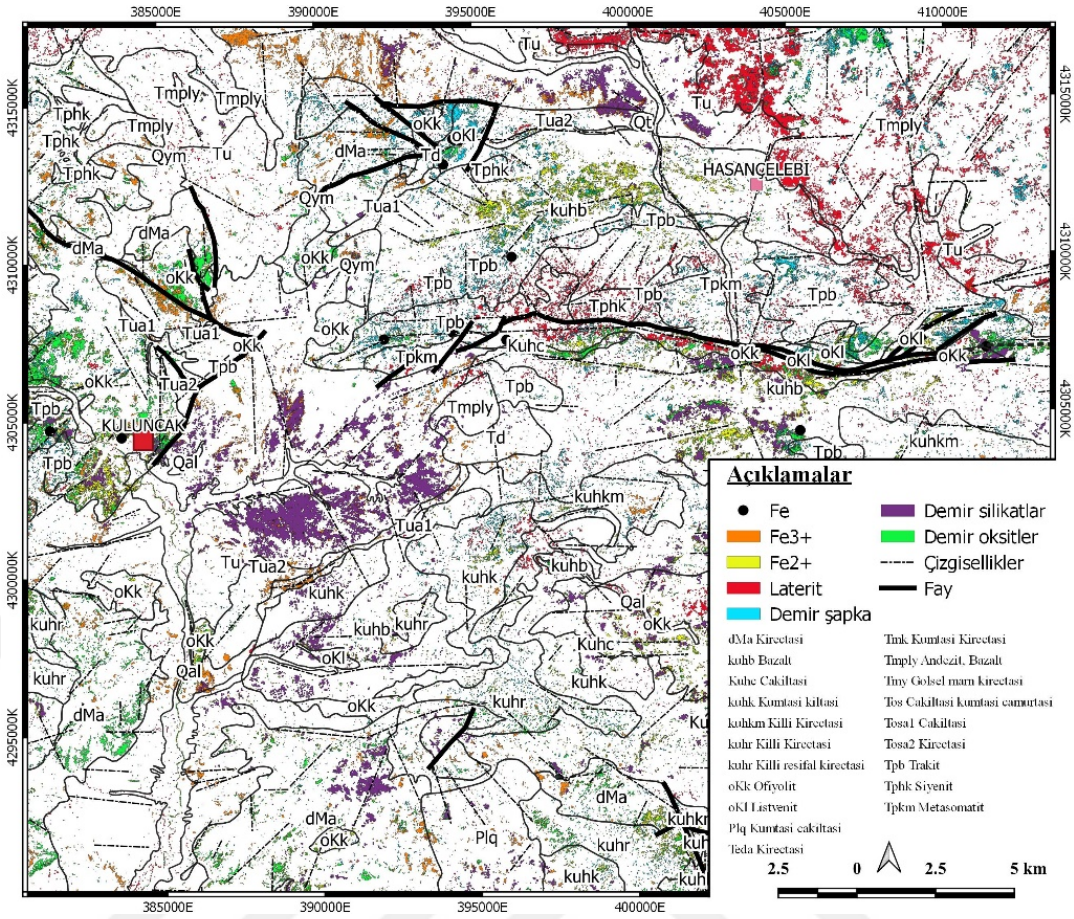


Şekil 5.15 ASTER B4/B3 (demir oksitler) bant oranlaması ve elde edilen sınıflama dağılımı.

İnceleme alanını içerisine alan ASTER bantlarına, demir içerikli minerallerle ilgili bant matematiği (bant oranlama vb.) işlemleri uygulanmıştır. Elde edilen oranlanmış bantların paralel yüz (parallelepiped) algoritmasıyla sınıflama dağılımları oluşturulmuştur. Bu sınıflama dağılımları, varlığı daha önceden bilinen demir zuhur, yatak ve işletmelerin konumları, inceleme alanındaki çizgisellikler - faylarla (**Şekil 5.16**) ve litoloji sınırlarıyla (**Şekil 5.17**) karşılaştırılabilmesi için birleştirilmişlerdir. Bütün sınıflamalar içerisinde demir zuhurlarının, çoğunlukla; demir oksitler, Fe^{2+} ve demir silikatlara ait sınıflama dağılımlarıyla ve aynı zamanda inceleme alanının ortasında bulunan, yaklaşık D-B uzanımlı COF ile büyük ölçüde uyumlu oldukları görülmüştür. Oluşumlar ve uzaktan algılama ile tespit edilen demir dağılımları daha çok inceleme alanındaki ofiyolitik kayaçlarla ve onların çevresindeki volkanik kayaçlarla ilişkili oldukları görülmüştür.



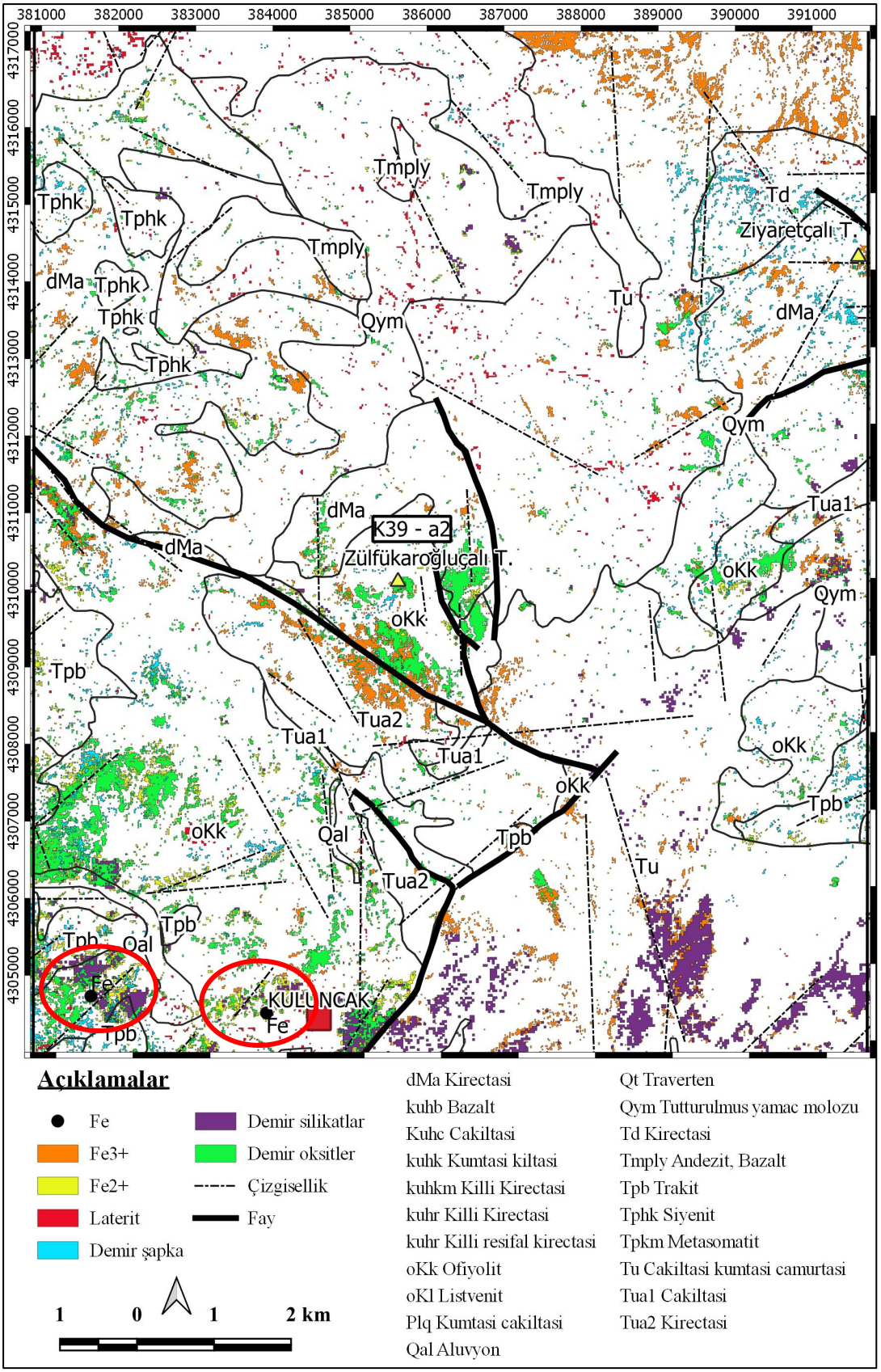
Şekil 5.16 ASTER bant oranlamalarıyla elde edilen demir içeren oluşumların toplu dağılımı.



Şekil 5.17 ASTER bant oranlamalarıyla elde edilen demir içeren oluşumların toplu dağılımı ve litoloji sınırları.

ASTER oran görüntülerden elde edilen demir dağılımları daha detaylı bir değerlendirme için birleştirilmiş ve inceleme alanını oluşturan 5 adet 1/25.000 ölçekli demir dağılım haritaları oluşturulmuştur. Oluşturulan haritalarda, varlığı bilinen demir oluşumlarının bant oranlamarıyla elde edilen demirli oluşum dağılımlarıyla, litoloji sınırlarıyla ve de çizgisellik/faylarla olan ilişkileri ve uyumları incelenmiştir.

Malatya K39-a2 paftasında, Kuluncak ilçe merkezi ve hemen batısında yer alan bölgede, varlığı bilinen ve haritada siyah noktalarla gösterilen, 2 adet demir oluşumu bulunmaktadır (**Şekil 5.18**). Bu oluşumların, paftanın genelinde bilinen oluşumlar ve onların demir dağılım sınıflarıyla olan ilişkileri göz önünde bulundurulduğunda, özellikle batı uçtaki oluşumun daha çok trakitik bileşimdeki (Tpb) litoloji sınırıyla ve demir silikatları ifade eden mor renkli dağılım sınıfı ile anlamlı bir ilişki sunduğu söylenebilir. Bant oranlama çalışmalarından elde edilen bu veri doğrultusunda, bu paftada mor renkli dağılımın volkanik kayaçlarla bir arada bulunduğu alanların demir oluşumları için potansiyel alanlar olduğu sonucuna varılabilir.



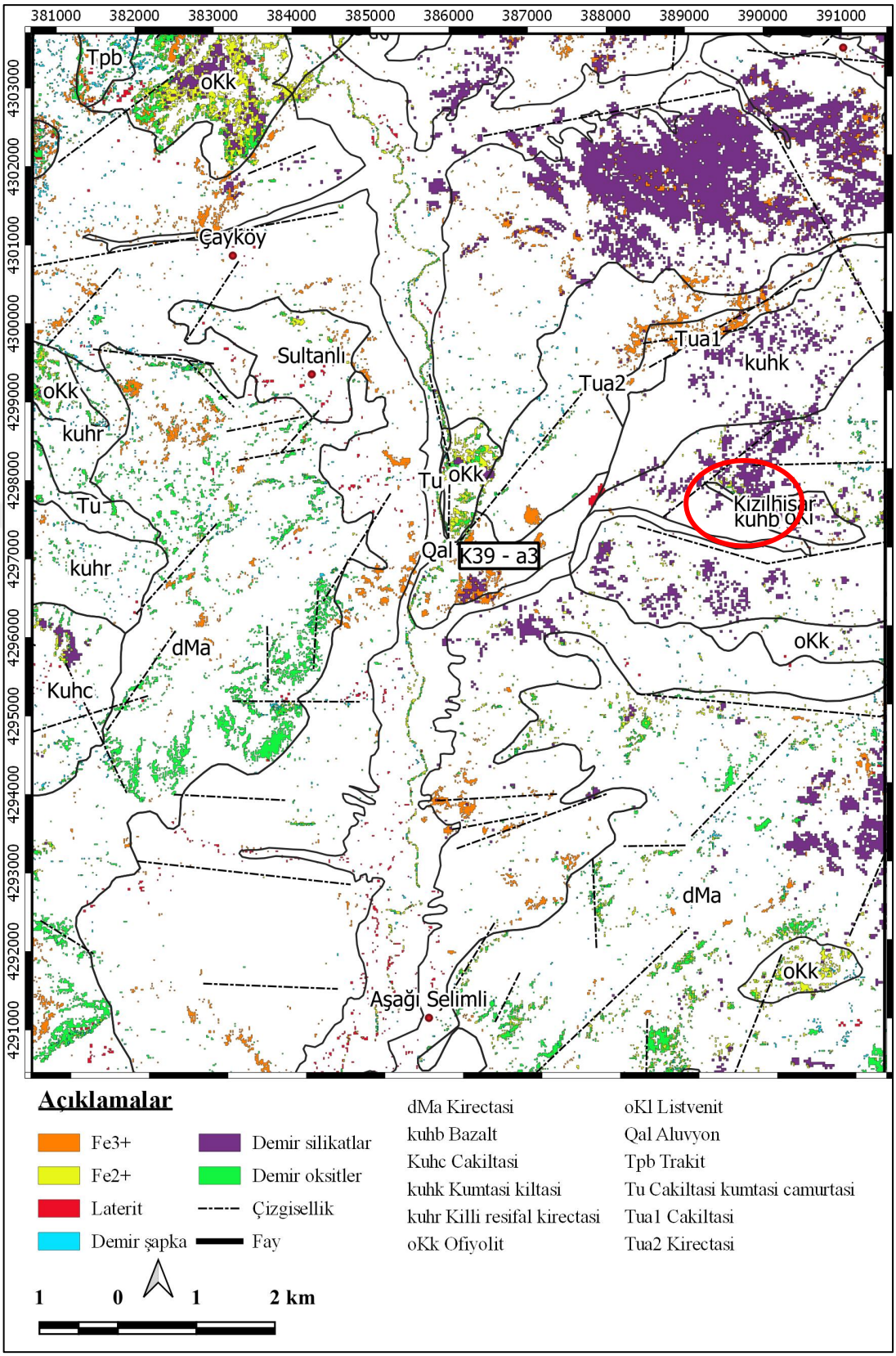
Şekil 5.18 ASTER VNIR bölgede bant oranlamalarıyla elde edilmiş, Malatya K39-a2 paftası demir dağılım haritası.

K39-a3 paftasında önceden bilinen herhangi bir demirli oluşum bulunmaktadır. Ayrıca paftada hâkim litoloji karbonatlı ve kırıntılı kayaçlar olarak görülmekle birlikte, **Şekil 5.18** için yapılan değerlendirme dikkate alındığında, Kızılhisar köyü civarındaki bazaltik litoloji ve mor renkli demir silikat dağılımının bir arada bulunduğu bölge demir cevherleşmeleri için potansiyel bir alanı işaret edebilir (**Şekil 5.19**).

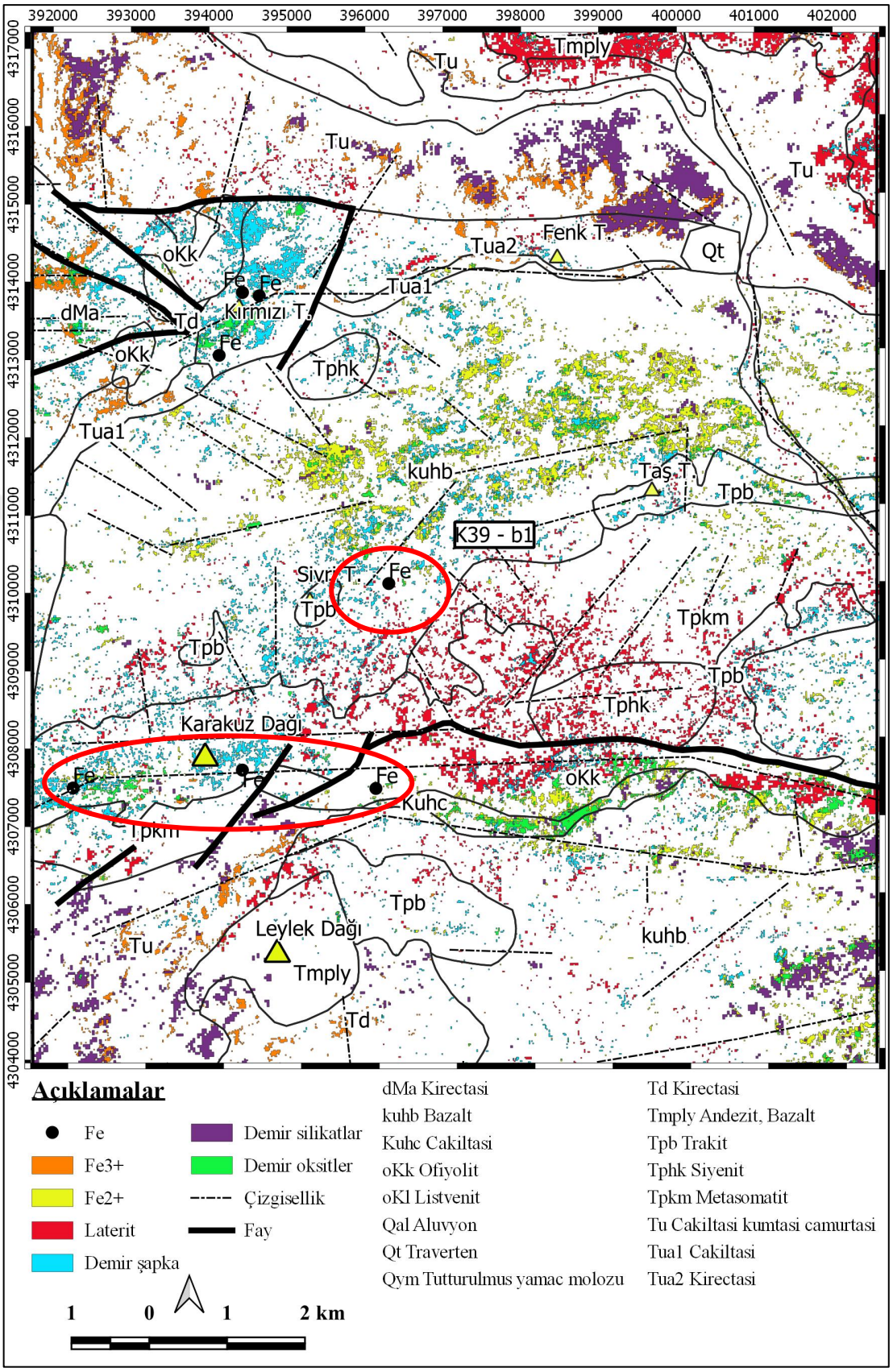
K39-b1 paftası inceleme alanı içerisinde farklı birçok litolojinin bir arada bulunduğu çalışma için önemli bir paftadır. Pafta içerisinde özellikle; bazaltik bileşimdeki Bahçedamı Volkaniti (kuhb), benzer bileşimde fakat daha genç yaşlı Yamadağ Volkaniti (Tmply), alkali bileşimde ve birbirlerinin eşlenikleri olduğu düşünülen, siyenitik bileşimdeki Hekimhan-Hasançelebi Siyenotoyidi (Tphk) ve trakitik bileşimdeki Boyalı Volkaniti (Tpb) ile Kuluncak Ofiyolitine (oKk) ait yüzlekler bulunmaktadır (**Şekil 5.20**). Ayrıca paftada varlığı bilinen demir oluşumlarıda oldukça fazladır. Bu oluşumların özellikle Kırmızı Tepe ve Karakuz Dağı civarında mavi renkle ifade edilen demir şapka dağılımı ile uyumlu oldukları görülmektedir. Karakuz Dağı civarındaki varlığı bilinen oluşumların, dağın hemen güney eteklerinden geçen fayın civarında konumlanmış olmaları, oluşumların fayla da ilişkili olabileceklerini düşündürmektedir. Bu tespit doğrultusunda mavi renkli demir şapka dağılımlarının bulunduğu alanlar demir oluşumları açısından potansiyel alanlar olarak düşünülebilir.

İnceleme alanının en doğusunda yer alan K39-b2 paftasında fayların, volkanik ve ofiyolitik kayaçların yoğun olduğu bir bölgedir (**Şekil 5.21**). Paftada varlığı bilinen demir oluşumlarına bakıldığında; oluşumların paftanın güneyinde bulunan fay civarında, ofiyolitik kayaçlarla (oKk) ve bazaltik kayaçlarla (kuhb) birlikte, demir oksit ve demir silikat dağılımlarının bir arada bulundukları alanlarda konumlandıkları görülmektedir. Bu sebeple fay boyunca benzer demir oksit ve demir silikat dağılımlarının bulunduğu alanlar potansiyel alanlar olarak düşünülebilir.

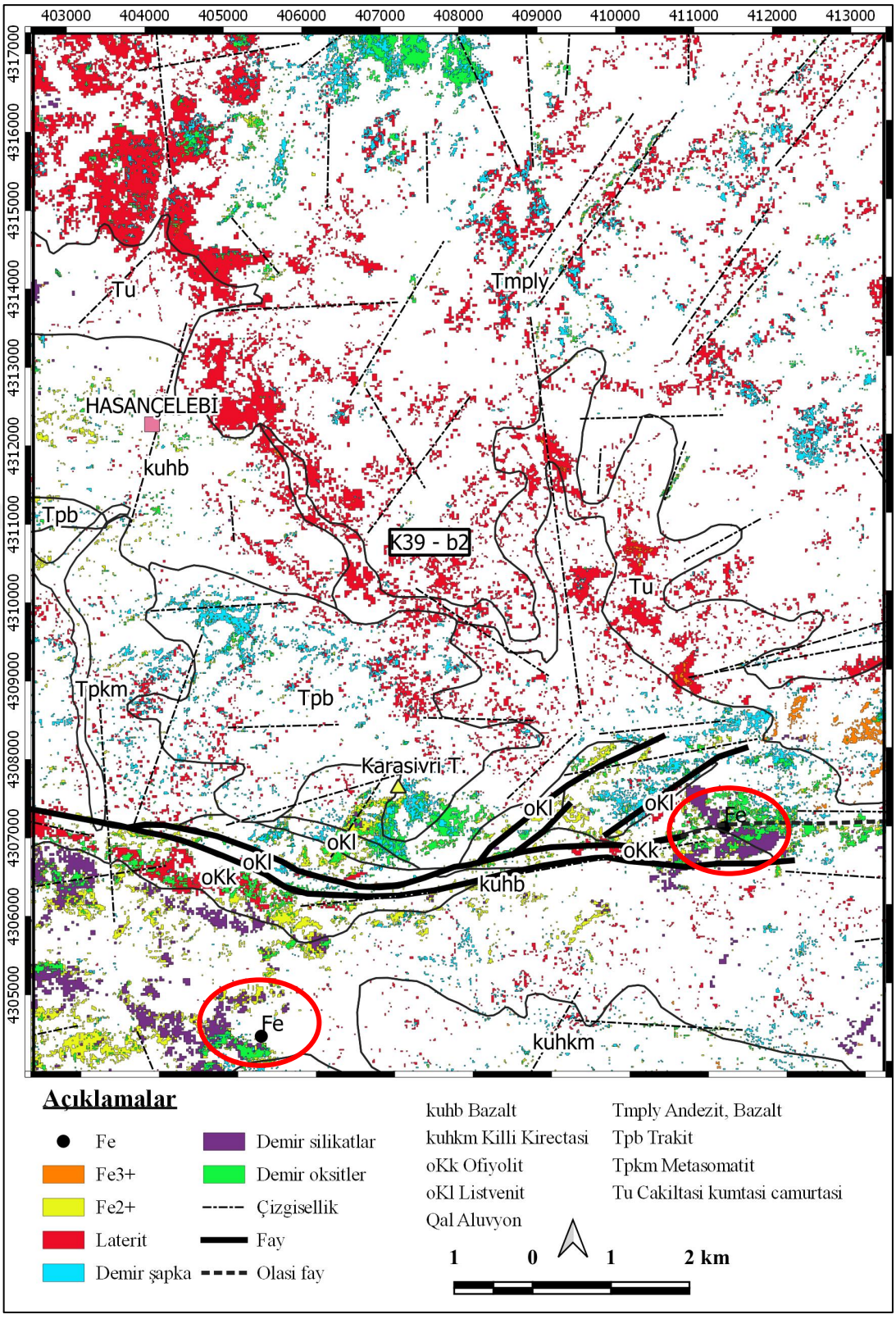
İnceleme alanının güney doğusunu temsil eden K39-b4 paftası hemen batısında yer alan a3 paftası gibi bilinen demir oluşumu bulunmamakla birlikte daha çok sedimanter kayaçların görüldüğü bir bölgedir (**Şekil 5.22**). Diğer paftalarda, birliktelikleri üzerinden çıkarımlar yapılan litolojik sınırlar ve bant oranlama dağılımları düşünüldüğünde çok belirgin bir potansiyel alan önerilmemekle birlikte, hemen Yayladam kuzeyindeki volkanik kayaçla (kuhb) birlikte çok az miktarda bulunan ve yeşil renkle ifade edilen demir oksit dağılımı potansiyel bir oluşum olarak düşünülebilir.



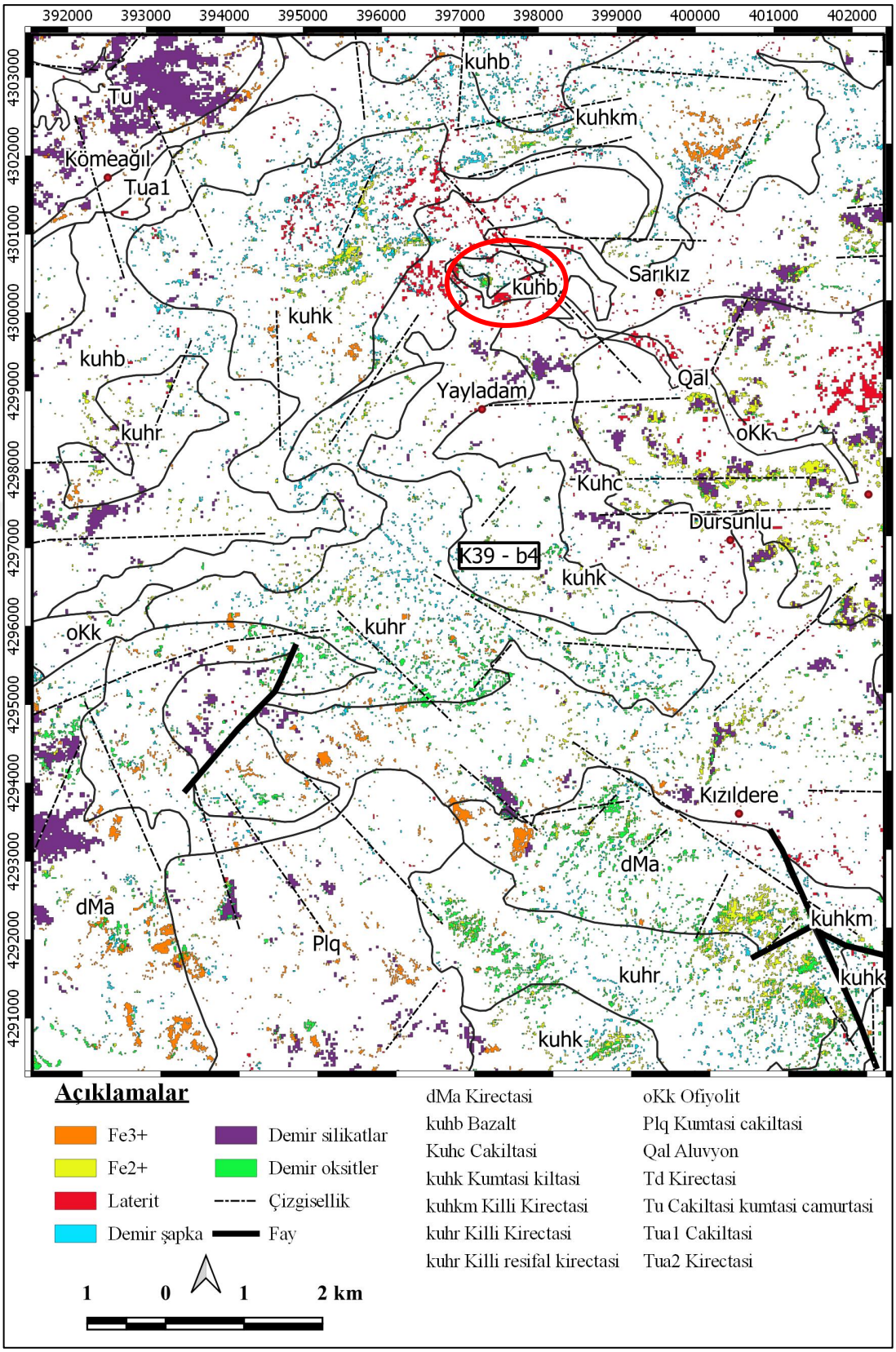
Şekil 5.19 ASTER VNIR bölgede bant oranlamalarıyla elde edilmiş, Malatya K39-a3 paftası demir dağılım haritası.



Şekil 5.20 ASTER VNIR bölgede bant oranlamalarıyla elde edilmiş, Malatya K39-b1 paftası demir dağılım haritası.



Şekil 5.21 ASTER VNIR bölgede bant oranlamalarıyla elde edilmiş, Malatya K39-b2 paftası demir dağılım haritası.



Şekil 5.22 ASTER VNIR bölgede bant oranlamalarıyla elde edilmiş, Malatya K39-b4 paftası demir dağılım haritası.

5.3.1.2 ASTER SWIR bölgede yapılan bant oranlamaları

SWIR bölgede yer alan bantlar, absorpsiyon özellikleri bakımından hidroksil (OH) içeren silikat mineralleri ve karbonatlı minerallerle karakterizedirler. Bu mineral birliktelikleri genel olarak hidrotermal alterasyon mineralleri olarak adlandırılmaktadırlar. Daha çok porfiri bakır yatakları ile karakterize edilen ve cevheri, dıştan içe doğru; propillitik (epidot, klorit ve amfibol), arjilik (alunit, kaolinit, propillit) ve fillik (serizit, muskovit, illit, simektit) adı verilen bir zonlanmayla sarar bir şekilde modellenir.

Hidrotermal alterasyon genel olarak, hidrotermal akışkanların yan kayaçlar ile etkileşime girmesi sonucu akışkanın özelliklerine (Eh, PH, sıcaklık) göre kayaçların, renk, doku, minerlizasyon ve kimyasal olarak geçirdiği değişimleri kapsayan bir süreç olarak tanımlanabilir.

Akışkanlar genelde sıcak, nispeten yüksek pH ve indirgen Eh özelliklerinin de yardımıyla yan kayaçlardaki hareketli iyonları bünyelerine alarak, hareketliliği daha düşük iyonlarca zengin yeni minerallerin (feldispatların serisitleşmesi, killeşmesi ve mafik minerallerin kloritleşmesi vb.) oluşumunu sağlarlar. Burada hareketliliği yüksek iyonların (K^{+}, Ca^{++}, Na^{+}, F^{-}, B^{3+}, $SO_4^{=}$) ilave etkisine metasomatizma, ilave olunan iyonca zengin, oluşturulan yeni minerale de iyon ön ekiyle (K-metasomatizması) ismi verilir.

Çalışma sahasında alterasyonlar belirlenirken; öncelikle kayacın arazideki durumu incelenmiştir. Bu yapılırken, kayacın ilksel bileşimi tespit edilip, el örneği düzeyinde mineral değişimleri, ilksel minerallerle birlikte belirlenmeye çalışılmıştır. Alterasyonun, kayacın tamamını mı, bir bölümünü mü, yoksa sadece kırık, çatlak ve eklemler gibi süreksizlikler boyunca mı geliştiği anlaşılmaya çalışılmıştır. Bu gözlemler, mikroskobik olarak ince kesitlerle de desteklendikten sonra alterasyon varlığı tespit edilen kayaç örnekleri üzerinde XRD (detay kil) analizleri yapılarak, önceki gözlem ve incelemelerde tanımlanamayan alterasyon bileşeni birincil ve ikincil mineral parajenezleri ve dolayısıyla alterasyon tipleri tanımlanmaya çalışılmıştır.

Çalışma sahasında siyenitik karakterdeki plütonik kütle kendisinden yaşlı volkanik kayaçlarla kontakt yaparak bir metosomatizma oluşumuna sebep olmuştur. Gelişen metasomatizma sonucunda yaygın alterasyonların serisitleşme ve killeşme olduğu,

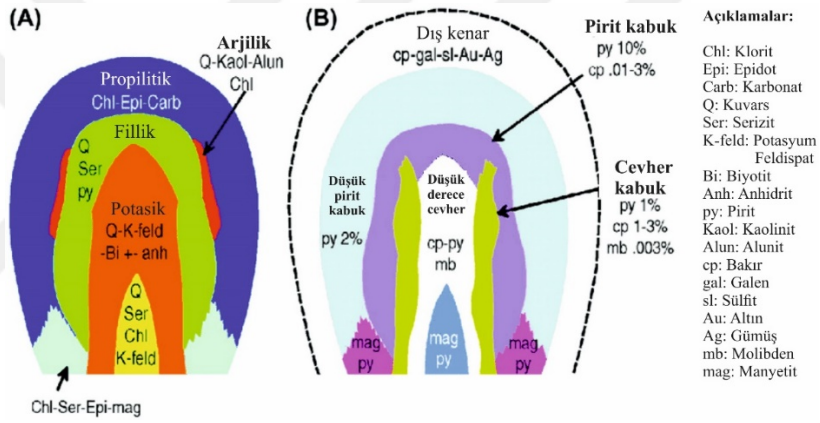
gerek saha gözlemleriyle gerekse de mineralojik-petrografik (ince kesit, XRD) incelemelerle ortaya koyulmuştur.

Yerbilimlerinde, alterasyonların adlandırılması yapılırken standart bir uygulama olmamakla birlikte, alterasyon sonucu oluşan ikincil minerallerin varlığına, bolluğuna ve farklılığına göre ya da birincil kayacın türüne göre bir adlama yapılır. Bu yapılırken, eğer ikincil mineralizasyonda belirli elementlerde zenginleşme varsa alterasyon o elementin adıyla anılır, örneğin ortama silis getirimi fazla ise buna silisleşme adı verilir. İkincil mineralizasyonda bolluk olarak öne çıkan bir mineral belirginleşmesi mevcutsa, alterasyon bu mineral adıyla tanımlanır (kloritleşme, serizitleşme vb). İkincil mineral dağılımında birden fazla mineral öne çıkıyorsa, bu sefer skarnlaşma gibi ikincil minerallerin tamamını temsil edebilecek özel adlamalar kullanılır. İlksel kayacın türüne göre yapılan adlamalarda, tüm kayaç gruplarında gözlenebilen karbonatlaşma, silisleşme gibi adlamalar kullanılırken, listvenit gibi sadece belirli tür kayaç grupları (ultramafik) için kullanılan alterasyon adlamaları vardır.

Yaygın olarak kullanılan alterasyon tanımlarından **serisitleşme (Fillik alterasyon)**; nispeten asidik, düşük sıcaklıkta akışkanların feldispat minerallerini (ortoklaz, plajiyoklaz gibi) ince taneli beyaz mika (muskovit, Na-K illit, paragonit) killerine (serisite) dönüşümü için kullanılan bir adlamadır. Akışkanla etkileşime girme sonucunda SiO_2 ve K^+ açığa çıkar. **Killeşme (Arjilik alterasyon)**; akışkanlarla etkileşime giren yan kayacı oluşturan feldispatların ve serisitleşme ile oluşmuş serisitlerin; kaolen, smektit ve illit grubu kil minerallerine dönüşmesine killeşme denir. Alterasyon ürünü olarak yan kayaçta; montmorillonit (smektit grubu) ve illit gözleniyorsa alterasyon, orta killi**,** ilaveten kaolinit, dikit ve profillit de gözleniyorsa ileri killi alterasyon olarak adlandırılır. Yan kayaç; klorit, epidot ve karbonat mineralleri gibi minerallerden oluşuyorsa **propilitik alterasyon** olarak tanımlanır. **Potasik Alterasyon**; nispeten asidik akışkanlarla etkileşime giren yan kayaçta meydana gelen serisitleşme ve killeşme sonrasında silis ve potasyum açığa çıkmaktaydı. Açığa çıkan silis ve potasyum ortamdan uzaklaşamaz ise hidrotermal akışkanda miktarları artacak, serisitleşme ve killeşmenin tersi bir dönüşüme sebep olacaktır. Sonuç olarak kayaçta ikincil K-feldispat ve biyotit gibi potasyumca zengin minerallerin oluşumu gerçekleşecektir. Ayrıca bu tersine dönüşüm potasyumca zengin bir çözeltinin ortama ilave olmasıyla da gerçekleşebilmektedir. **Kloritleşme**; hidrotermal akışkanın etkisiyle yan kayaç içerisindeki biyotit, amfibol ve piroksen gibi

mafik minerallerin klorit mineraline dönüşmesidir. Bu dönüşüm esnasında da serisitleşmede olduğu gibi önemli miktarda silis ve potasyum açığa çıkmaktadır. **Silisleşme** ise özellikle serizitleşme ve killeşme tipi alterasyonlar sonucu çözeltiler içerisinde çözülü halde silis miktarı önemli ölçüde artmaktadır. Yüksek basınç ve sıcaklık değerleri altında silisin çözünürlülüğü de yüksek olup, değerler çökelmeyi başlatacak seviyeyelere düştüğünde hiderotermal akışkan içerisindeki çözülü silis de sistem içerisinde yer alan kırık ve çatlaklar boyunca çökelerek, ikincil kuvars ve opal minerallerini oluşturacak ve alterasyon tipi de silisleşme olarak olarak tanımlanacaktır.

Porfiri bir sistemde, hidrotermal faaliyetler sonucunda içten dışa doğru zonlu bir yapıda oluşabilen alterasyon zonları ve bu zonları temsil eden mineraller **Şekil 5.23**'de verilmiştir.



Şekil 5.23 Porfiri bir sistemde hidrotermal alterasyon zonlanması ve bu zonları temsil eden mineraller (Lowell ve Guilbert 1970'den değiştirilerek).

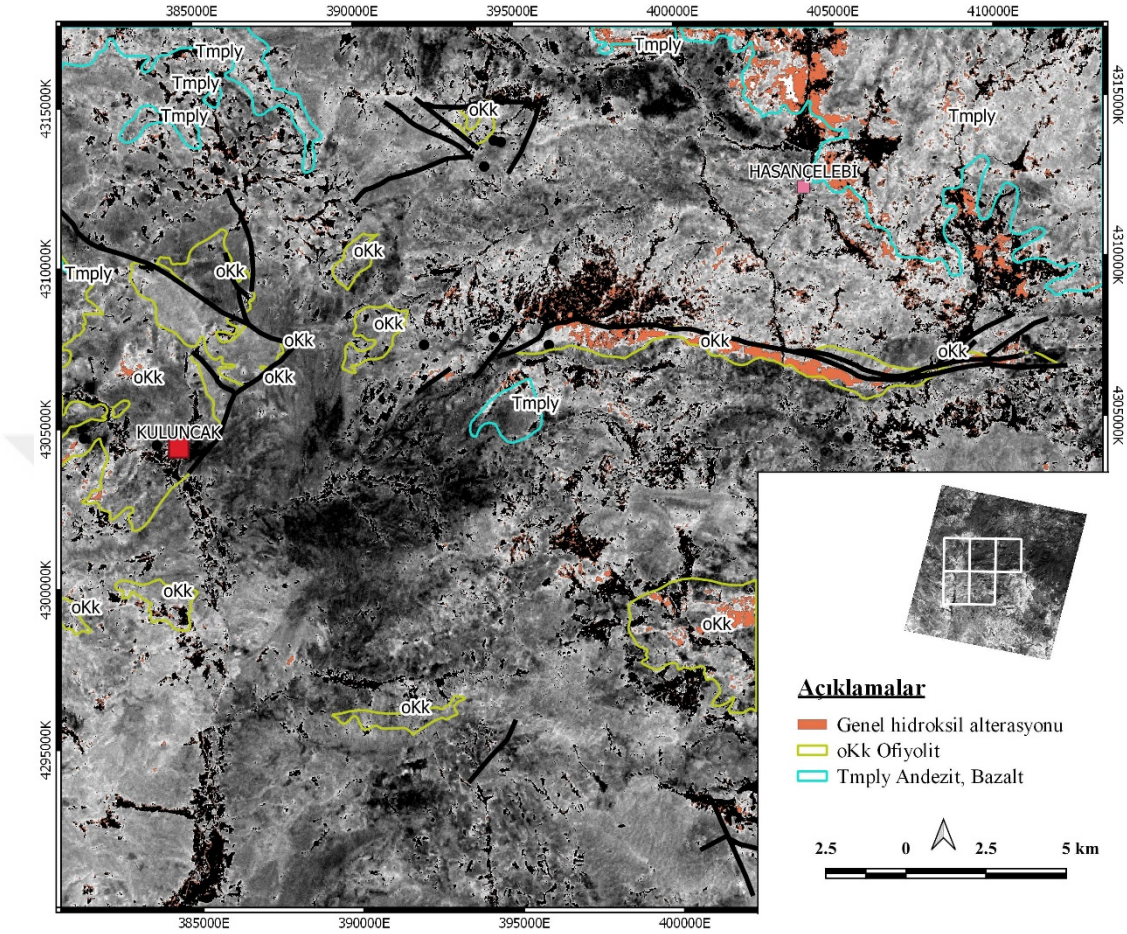
Genelleştirilmiş OH alterasyonu

OH içeren silikatlar ASTER Bant 5-6 ve 7 de yüksek absorpsiyon sunduklarından genel hidroksil alterasyonu için;

$$\text{Hidroksil Endeksi} = \frac{(B4)}{(B5+B6+B7)} \qquad [5.1]$$

endeksi kullanılmıştır. Yapılan bant matematiği işlemi sonucunda elde edilen görüntüde kontrollü sınıflama uygulanarak, hidroksil alterasyonu için hedef pikseller sınıflandırılmıştır. Ortaya çıkan sonuç görüntüde alterasyon olarak belirlenen alanların

yoğunlukla, ofiyolitler ve Yamadağ Volkaniti olarak tanımlanan bazaltik/andezitik kayaçlarla uyumlu bir dağılım sundukları görülmüştür.



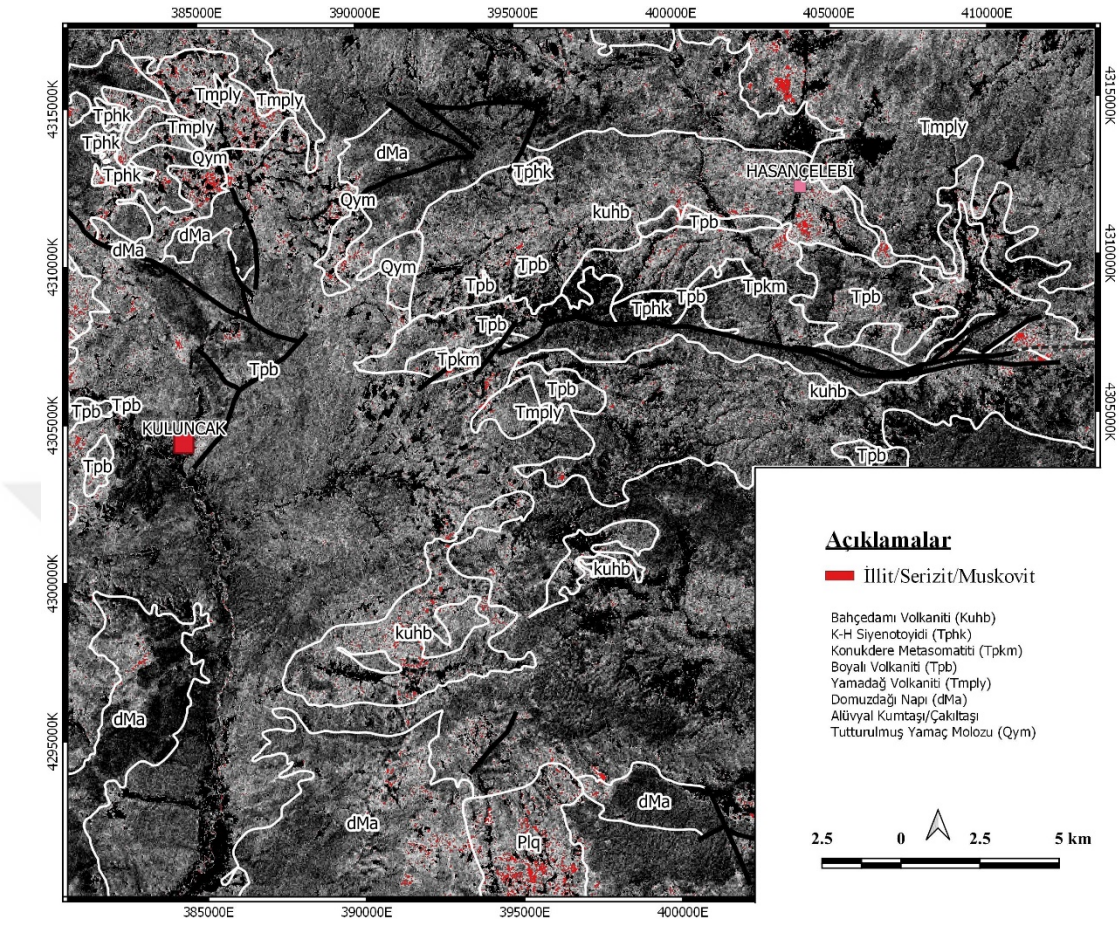
Şekil 5.24 ASTER (B4)/(B5+B6+B7) bant matematiği kullanılarak oluşturulmuş sınıflama dağılımı ve bu dağılımla uyumlu litoloji sınırları.

Fillik alterasyon (Serisitleşme)

Serisitleşme; nispeten asidik, düşük sıcaklıkta akışkanların feldispat minerallerini (ortoklaz, plajiyoklaz gibi) ince taneli beyaz mika (muskovit, Na-K illit, paragonit) killerine (serisite) dönüşümü için kullanılan bir adlamadır. Akışkanla etkileşime girme sonucunda SiO_2 ve K^+ açığa çıkar.

İllit grubu olarak da bilinen muskovit-serizit-illit-smektit mineralleri, fillik (serizitik) alterasyonu karakterize eden mineral birlikteliğidir. Bu mineraller, ASTER Bant 6'ya karşılık gelen 2,20 μm dalga boyunda hassas bir Al-OH absorpsiyonuna sahiptirler. Bu absorpsiyon özelliğine bağlı olarak; fillik endeksi (Rowan ve Mars 2003, Rowan vd. 2005 ve Ninomiya 2003a) formüldeki gibi [5.2] oluşturulmuştur.

$$\text{Fillik Endeksi} = \frac{(B5+B7)}{(B6)} \text{ ve } \frac{(B4+B7)}{(B6)} \qquad [5.2]$$



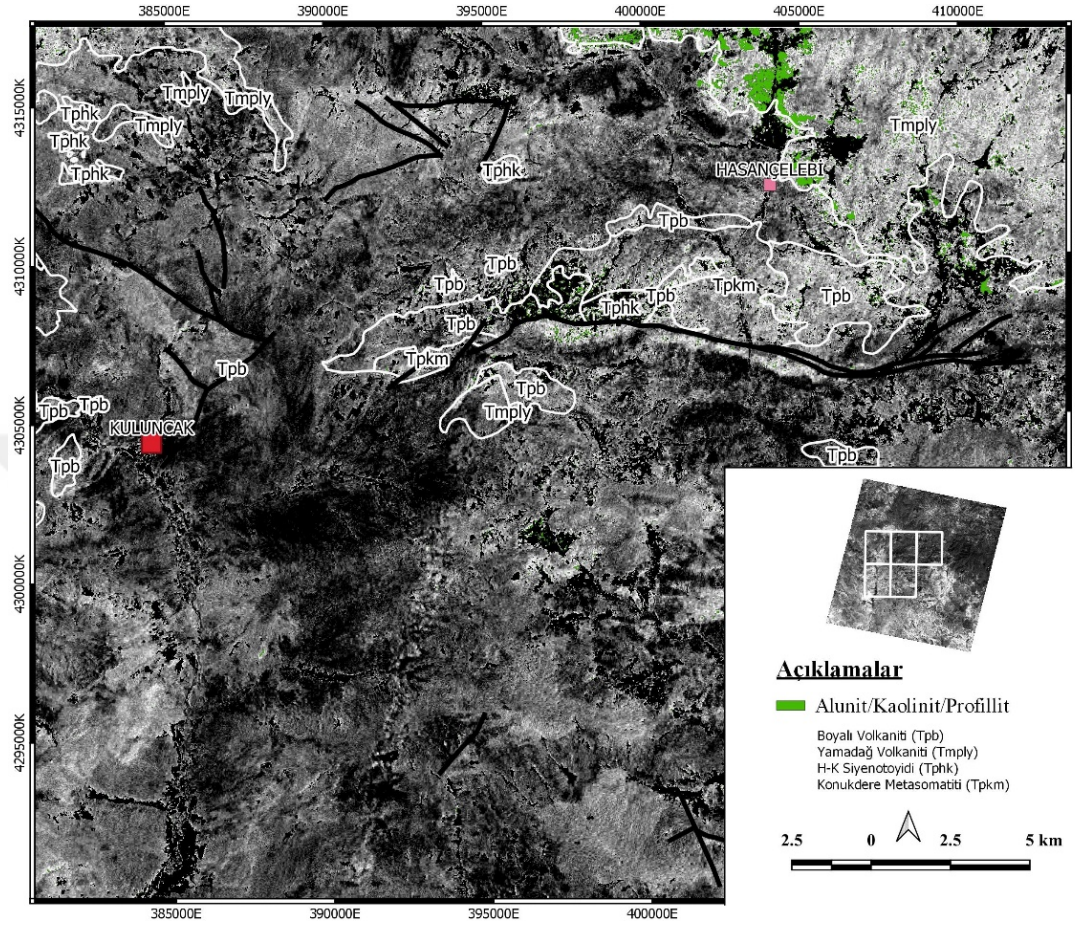
Şekil 5.25 ASTER (B5+B7)/(B6) bant matematiği kullanılarak oluşturulmuş sınıflama dağılımı ve jeoloji haritasında bu minerallerle uyumlu litoloji sınırları.

İnceleme alanına ait görüntülere endeks uygulandığında, sedimanter alanlar gözardı edilecek olursa, alterasyon zonuna ait anahtar minerallerin daha çok; Bahçedamı Volkaniti (Kuhb) ve Yamadağ Volkaniti (Tmply) olarak haritalanmış alanlarda dağılım gösterdiği görülmüştür. (**Şekil 5.25**).

Arjilik alterasyon (Killeşme)

Akışkanlarla etkileşime giren yan kayacı oluşturan feldispatların ve serisitleşme ile oluşmuş serisitlerin; kaolen, smektit ve illit grubu kil minerallerine dönüşmesine killeşme denir. Alterasyon ürünü olarak yan kayaçta; montmorillonit (smektit grubu) ve illit gözleniyorsa alterasyon, **orta killi,** ilaveten kaolinit, dikit ve profillit de gözleniyorsa **ileri killi** alterasyon olarak adlandırılır. Yan kayaç; klorit, epidot ve

karbonat mineralleri gibi minerallerden oluşuyorsa **propilitik** alterasyon olarak tanımlanır.



Şekil 5.26 ASTER (B4+B6)/(B5) bant matematiği kullanılarak oluşturulmuş sınıflama dağılımı ve jeoloji haritasında bu dağılımla uyumlu litoloji sınırları.

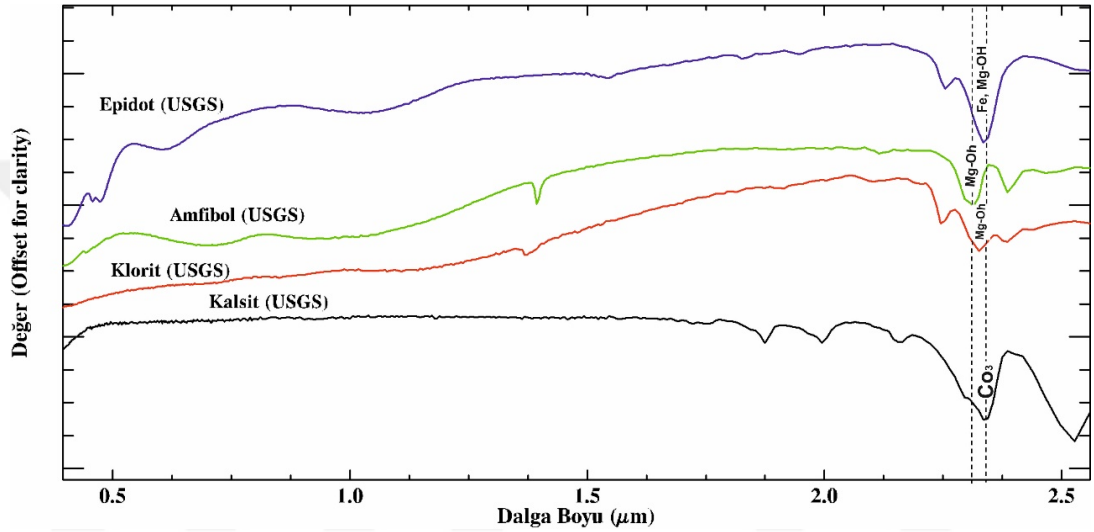
Cevherli zonu saran en dış zon ile en iç zon arasında bulunan bu killeşmiş zon; profillit, kaolen ve alunit ile karakterize edilir. Bu mineral birlikteliği, profillit grubu olarak da bilinmektedir. Bu minerallerin hepsi ASTER Bant 5 (2.17µm)'te yüksek absorpsiyon özelliği sunmaktadırlar. Bu sebeple Mars ve Rowan, (2006) ve Ninomiya, Y. (2003a) arjilik alterasyonu temsil eden anahtar mineraller için endeksler önermişlerdir [5.3].

$$\text{Arjilik Endeksi} = \frac{(B4+B6)}{(B5)} \text{ ve } \frac{(B4*B7)}{(B5*B5)} \qquad [5.3]$$

Önerilen endeksler uygulandıktan sonra, sonuç görüntüde yüksek yansıma veren piksellerin, Yamadağ Volkaniti ve Boyalı Volkaniti olarak haritalanmış alanlarda dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. (**Şekil 5.26**).

Propilitik alterasyon

Cevherli zonu saran en dış alterasyon zonlanmasıdır. İnceleme alnında, SWIR bölgenin nispeten uzun dalga boylarında (B6, B7, B8 ve B9) belirgin ve benzer absorpsiyon özellikleri gösteren; kalsit - dolomit (CO_3) minerallerini içeren karbonatlı kayaçlar ve epidot, klorit ve amfibol (Fe, Mg-OH) minerallerini içeren, altere ultramafik kayaçlar bir arada bulunmaktadır. Mafik minerallerin bir arada bulundukları bu mineral birlikteliğine klorit grubu da denilmektedir.



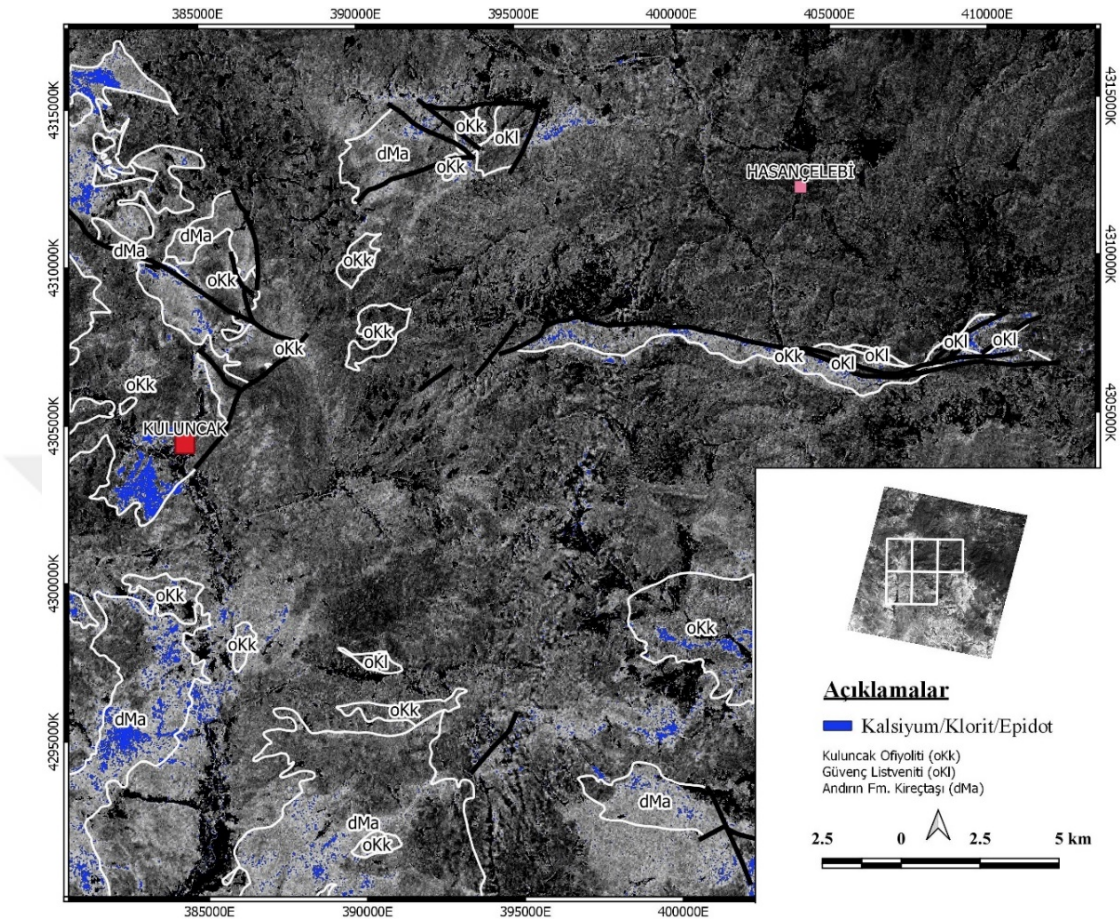
Şekil 5.27 Karbonatlı ve mafik minerallerin, netlik için dengelenmiş spektral eğrileri.

Bu minerallerden epidot, klorit ve amfibol benzer (Fe, Mg-OH) içeriklerinden dolayı yaklaşık 2,30 – 2,35 µm'de yüksek absorpsiyon göstermektedirler (**Şekil 5.27**). Bu sebeple propilitik alterasyonu oluşturan bu mineraller için formül [5.4] önerilmiştir (Mars ve Rowan, 2006).

$$\text{Propillitik Endeksi} = \frac{(B7)+(B9)}{(B8)} \text{ ve } \frac{(B6)+(B9)}{(B7)+(B8)} \qquad [5.4]$$

Benzer bir şekilde karbonat içerikli mineraller de aynı aralıkta yüksek absorpsiyon gösterdiklerinden, bu minerallere ait spektral imzalar absorpsiyon aralığı bakımından birbirlerine benzerdirler ve bant oranlama işlemlerinde bu farklı mineraller için yakın ve ortak pikseller ön plana çıkmaktadır. Bu benzerliğin farkında olarak, mineralleri belirgin hale getirmek için bant matematiği işlemleri kullanılmıştır. İşlemler sonucunda elde edilen görüntülerde yüksek yansıma veren pikseller sınıflandırılmıştır. Sonrasında inceleme alanına ait jeoloji haritasında bu minerallerin temsil ettiği

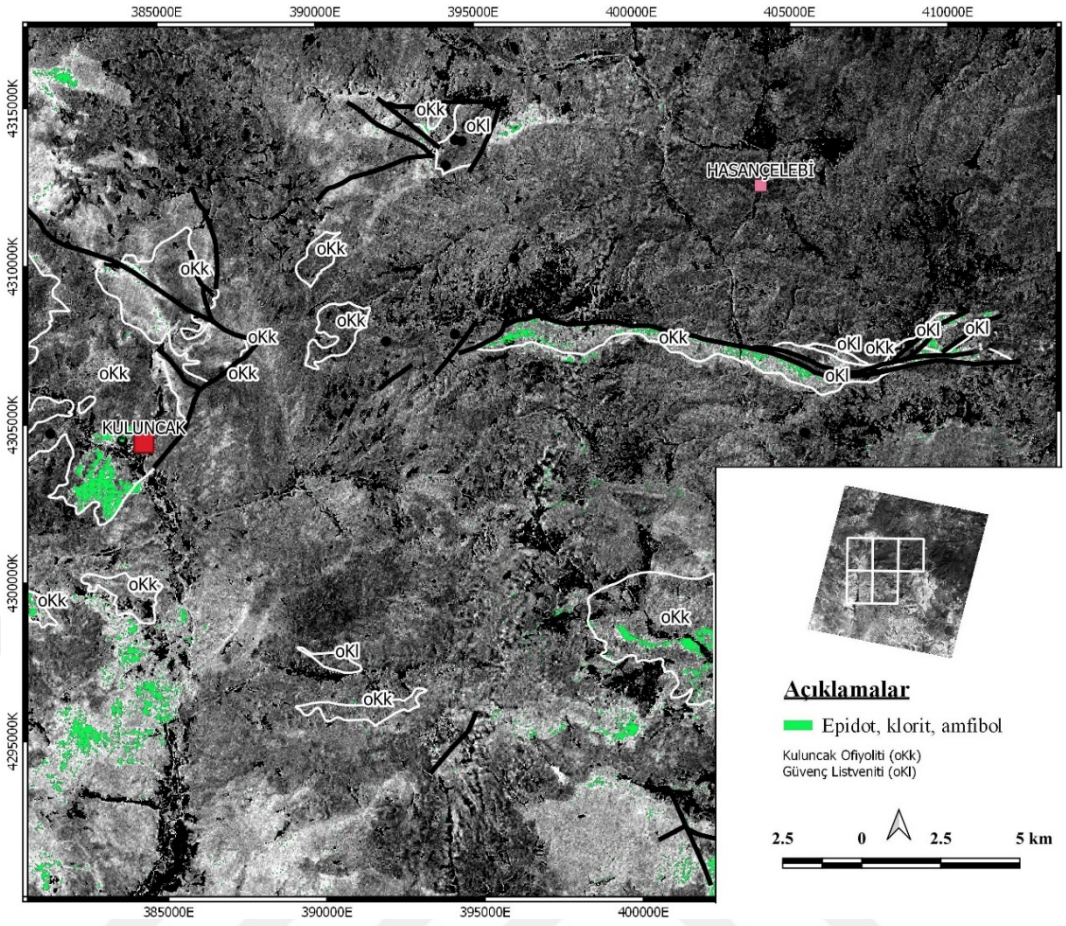
kayaçların litoloji sınırlarıyla karşılaştırılmaları yapılarak, (**Şekil 5.28**) bir yorumlamaya gidilmiştir.



Şekil 5.28 ASTER (B7+B9)/(B8) bant matematiği kullanılarak oluşturulmuş sınıflama dağılımı ve jeoloji haritasında bu dağılımla uyumlu litoloji sınırları.

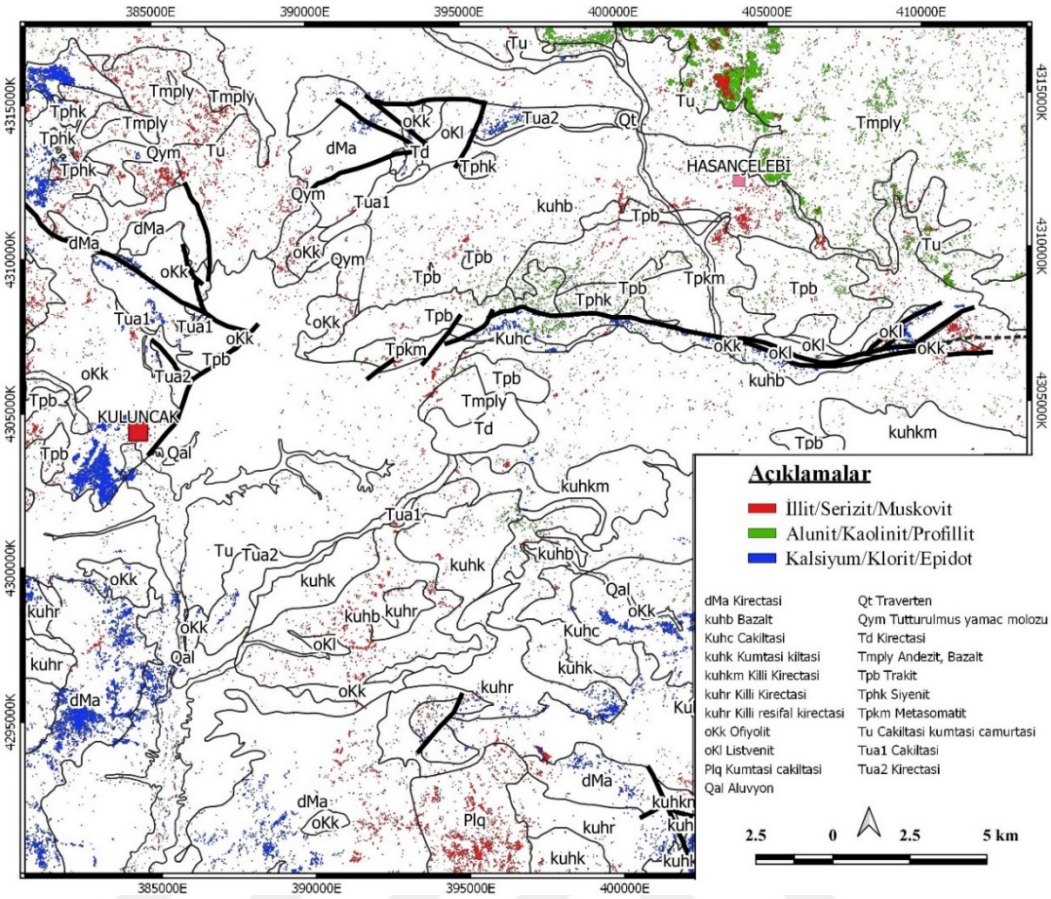
Genel olarak, inceleme alanının tabanında bulunan Triyas - Kretase yaşlı karbonatlı (Ca, Mg) kayaçlarla, Kretase yaşlı ofiyolitik kayaçlar ve bunların ileri derece alterasyonları sonucu oluşmuş listvenitik kayaçlara ait litoloji sınırlarının belirgin bir şekilde propilitik alterasyonu temsil eden minerallere ait dağılımlarla uyumlu oldukları görülmüştür.

Benzer bir çalışma bu sefer sadece mafik mineralleri vurgulamak için yapılmıştır. Öncekinden farklı olarak karbonatlı kayaçları temsil eden mineraller işlem dışı bırakılmaya çalışılmıştır. Bu fark büyük ölçüde oran görüntüye yansıyarak, daha çok mafik minerallerin (epidot, klorit, amfibol) vurgulandığı ve ofiyolitik kayaçlara ait litoloji sınırları ile de uyumlu bir görünüm sunmuştur (**Şekil 5.29**).



Şekil 5.29 ASTER (B6+B9)/(B7+B8) bant matematiği kullanılarak oluşturulmuş sınıflama dağılımı ve bu dağılımla uyumlu litoloji sınırları.

İnceleme alanında; fillik (illit/serizit/muskovit), arjilik (alunit/kaolinit/profillit) ve propilitik (klorit/epidot) alterasyon zonlarının herbiri, zonlanmayı temsil eden anahtar mineraller için özel olarak geliştirilmiş endeksler görüntülere uygulanmış ve mineral haritaları oluşturulmuştur. Oluşturulan bu mineral dağılım haritaları, litoloji sınırlarıyla birleştirildiğinde hedeflenen alterasyon zonu ya da alterasyon mineralinin hangi kayaç litolojisiyle doğrudan ilişkili olduğu ortaya koyulmuştur. Yapılan bu mineral dağılım haritaları ve oluşumlarıyla ilgili olarak doğrudan ilişkili oldukları litoloji sınırları tek bir harita üzerinde birleştirilerek, alterasyon endeksleri (bant işlem ve oranlamaları) kullanılarak inceleme alanına ait bir alterasyon haritası oluşturulmuştur (**Şekil 5.30**). Buna göre; fillik alterasyonun daha çok Bahçedamı Volkaniti (Kuhb) ve Konukdere Metasomatitiyle (Tpkm), arjilik alterasyonun trakitik bileşimli Boyalı Volkaniti (Tpb), Yamadağ Volkaniti (Tmply), Hasançelebi-Kuluncak Siyenotoyidi (Tphk) ve Konukdere Metasomatitiyle (Tpkm) son olarak, propillitik alterasyonun da Kuluncak Ofiyolitiyle (oKk) ilişkili olduğu görülmüştür.



Şekil 5.30 İnceleme alanına ait görüntülerden alterasyon endeksleriyle tespit edilen minerallerin dağılımları ve ilişkili oldukları litolojiler.

5.3.2 Temel Bileşen Dönüşümü

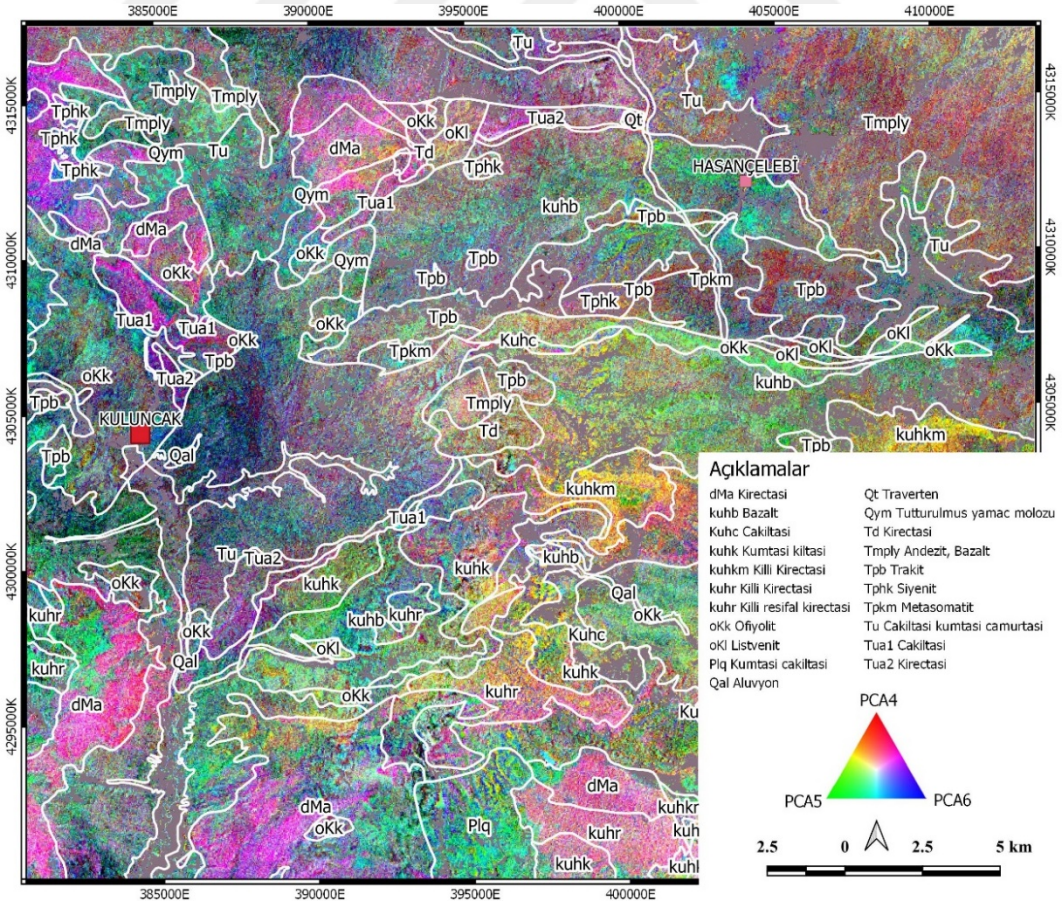
Temel bileşen dönüşümü (TBD), diğer adıyla temel bileşen analizi (Principle Component Analysis TBA/PCA) çok boyutlu ve aralarında ilişki/benzerlik barındıran veriler için kullanılan çok güçlü istatistiksel bir tekniktir. Görüntü işlemede çok boyutlu veri, multispektral veri olarak düşünülebilir. Kavramsal olarak TBA; iki eksenli ve noktalar kümesinden oluşan bir doğrunun birbirine dik (ortagonal) iki bileşenine ayrılması sonucu oluşturulan yeni eksenleridir. Görüntü işleme özelinde; birbirleriyle ilişkili, çok bantlı görüntülerden benzer verilerin çıkarılarak daha az ama benzer olmayan veriler içeren yeni bantların oluşturulması işlemidir. Oran görüntülerin oluşturulmasına benzer bir şekilde herhangi bir algılayıcı tarafından ölçülen spektral yansımadaki parlaklığın farklılığına sebep olan topografik gölgelenme ve albedo etkisi gibi ışıma etkilerini tüm bantlarda baskılayarak jeolojik malzemelerin spektral özelliklerini vurgulayan bir yöntemdir. TB bantlarının bant

sayıları arttıkça spektral varyans da artmakta olup, topografik gölgelenmeler ve albedo etkisi ilk bantta en fazla olmakla birlikte giderek azalır.

İnceleme alanımızın ASTER görüntüsüne ait SWIR bantlara TBD uygulanmıştır. Dönüşüm sonucunda albedo ve topografik etkileri azaltılmış, spektral varyansı yüksek bantlardan oluşan (**Tablo 5.4**: PCA4-5-6), jeolojik özellikleri ortaya çıkarma amaçlı bir RGB görüntü oluşturulmuştur (**Şekil 5.31**). Görüntüde açık mavi, mavimsi yeşil, sarı ve sarımsı yeşil tonların volkanik kayaçları, açık yeşil ve kırmızımsı mor tonların ofiyolitik kayaçları, koyu yeşil tonların karbonatlı kayaçları ve pembemsi kırmızı tonların da daha çok kırıntılı kayaçları temsil ettiği görülmüştür.

Tablo 5.4 Temel bileşenlerin swir bantlar tarafından yüklemelerini gösteren tablo.

Eigenvector	PCA1	PCA2	PCA3	PCA4	PCA5	PCA6
Band 4	0.548813	0.806100	-0.207942	0.054088	0.053316	0.000266
Band 5	0.422598	-0.153536	0.563575	-0.393690	0.568516	0.044923
Band 6	0.429933	-0.156541	0.465700	0.323898	-0.569134	-0.380726
Band 7	0.392224	-0.272599	-0.236538	-0.388434	-0.447406	0.604026
Band 8	0.322697	-0.369547	-0.585641	-0.177895	0.164932	-0.597894
Band 9	0.278208	-0.302076	-0.152777	0.744745	0.350227	0.361533



Şekil 5.31 Spektral farklılığı fazla olan temel bileşenlerden oluşturulmuş görüntü.

Hidrotermal alterasyon minerallerinin tespit edilebilmesi için multispektral görüntülere TBD uygulanabilmektedir. Bu dönüşümü temel alan ilk önemli çalışmalardan biri Crosta ve Moore (1989)'un "Feature-Orientated Principle Component Selecting" (FPSC) adını verdikleri, özellik odaklı temel bileşen seçimi yaptıkları çalışmalarıdır. Çalışmalarında hedef mineralin spektral tepkisi ile TBD'yi hesaplamada kullanılan özvektör matrisinden elde edilen sayısal değerler (DN) arasında bir ilişki hesaplamışlardır ve bu hesaplama hangi TB'nin hedef minerali daha belirgin olarak ortaya çıkarabildiğini açıklar. Yöntem Loughlin (1991) tarafından geliştirilerek, Landsat bantları üzerine uygulanmıştır. Demir oksitler ve hidroksitler için bant 1, 3, 4 ve 5'e dönüşüm uyguladıklarında TB3 ve TB4 ile hidroksilce zengin mineraller ve karbonatlar için bant 1, 4, 5 ve 7'ye uyguladıklarında ise TB3 ve TB4 ile uyumlu olduklarını görerek, hedef mineraller için bu TB'leri kullanmışlardır.

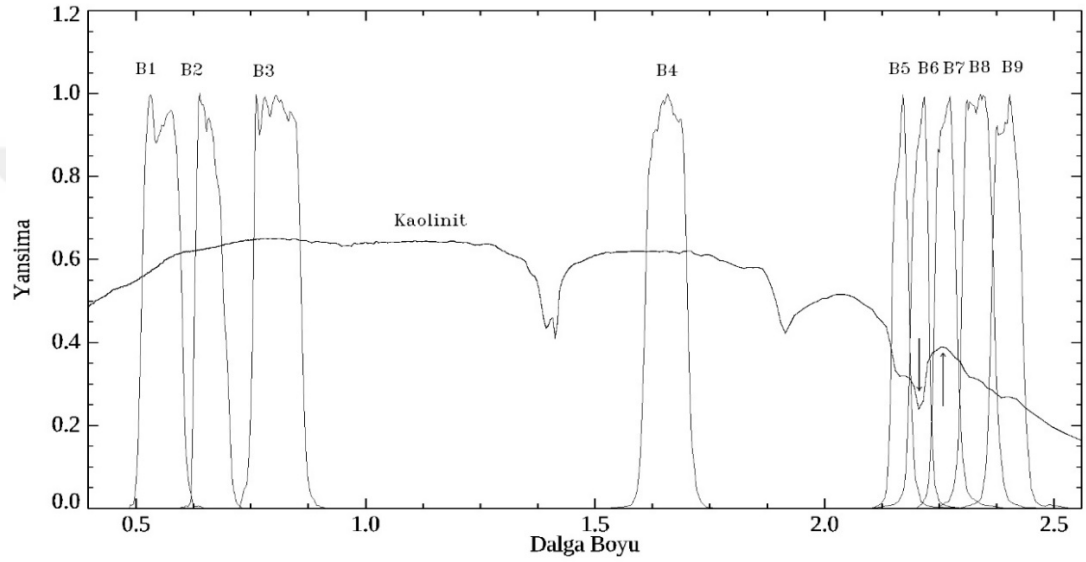
ASTER'in gelişimiyle birlikte Crosta vd., (2003) TBA yöntemini önemli bir hidrotermal alterasyon mineralleri için kullanmışlardır. Yöntemi kullanırken, alterasyon minerallerinden kaolinit mineralinin yüksek yansıma verdiği ASTER bantlarından 4 ve 7 ile yüksek emilim gösterdiği 1 ve 6 bantlarını seçmişlerdir. Özetle kaolinit minerali için bant 1, 4, 6 ve 7'ye temel bileşen dönüşümü uygulanmıştır. Dönüşüm sonucunda en çok kontrastı veren TB (özvektör/DN değeri – ve + yönde en çok olan) kaolinit minerali için en çok veriyi içeren TB olarak seçilmiştir. En fazla kontrastı verdiği için seçilen TB ve bant birlikteliğinde eğer kaolinitin yüksek yansıma yaptığı bantlar olan 4 veya 7 deki değer pozitif çıkması gerekirken negatif çıkar ise görsel olarak daha anlaşılır olabilmesi, başka bir değişle yüksek parlaklıkların kaoliniti gösterebilmesi için TB'yi (-) ile çarpmayı önermişlerdir. Çalışmalarında kaolinit mineraliyle birlikte diğer hidrotermal alterasyon zonlarını temsil eden önemli mineraller için de yüksek yansıma ve emilim gösteren bantlarda TBA temelinde aynı tekniği kullanarak alterasyon minerallerine ait dağılım haritalarını yapmışlardır.

Tablo 5.5 TBA'nde kullanlan bantlar (Crosta vd., 2003).

Alterasyon Mineralleri	Kaolinit	Alunit	İllit (Muskovit-Serizit)	Kaolinit Simektit	Klorit (Bu çalışma)
ASTER Bantları	1	1	1	1	1
	4	3	3	4	5
	6	5	5	6	7
	7	7	6	9	8

5.3.2.1 Kaolinit

Çalışmamızda daha önceden bant oranlama tekniğiyle tespitini yaptığımız kaolinit mineralinin spektral olarak en çok veri barındıran temel bileşenlerini bulmak için Crosta vd., (2003)'te önerildiği gibi (**Tablo 5.5**) TBA'nde, yüksek yansıma veren bant 4 ve 7 ile yüksek emilim gösteren bant 1 ve 6 (**Şekil 5.32**) kullanılarak dönüşümler hesaplanmıştır (**Tablo 5.6**).

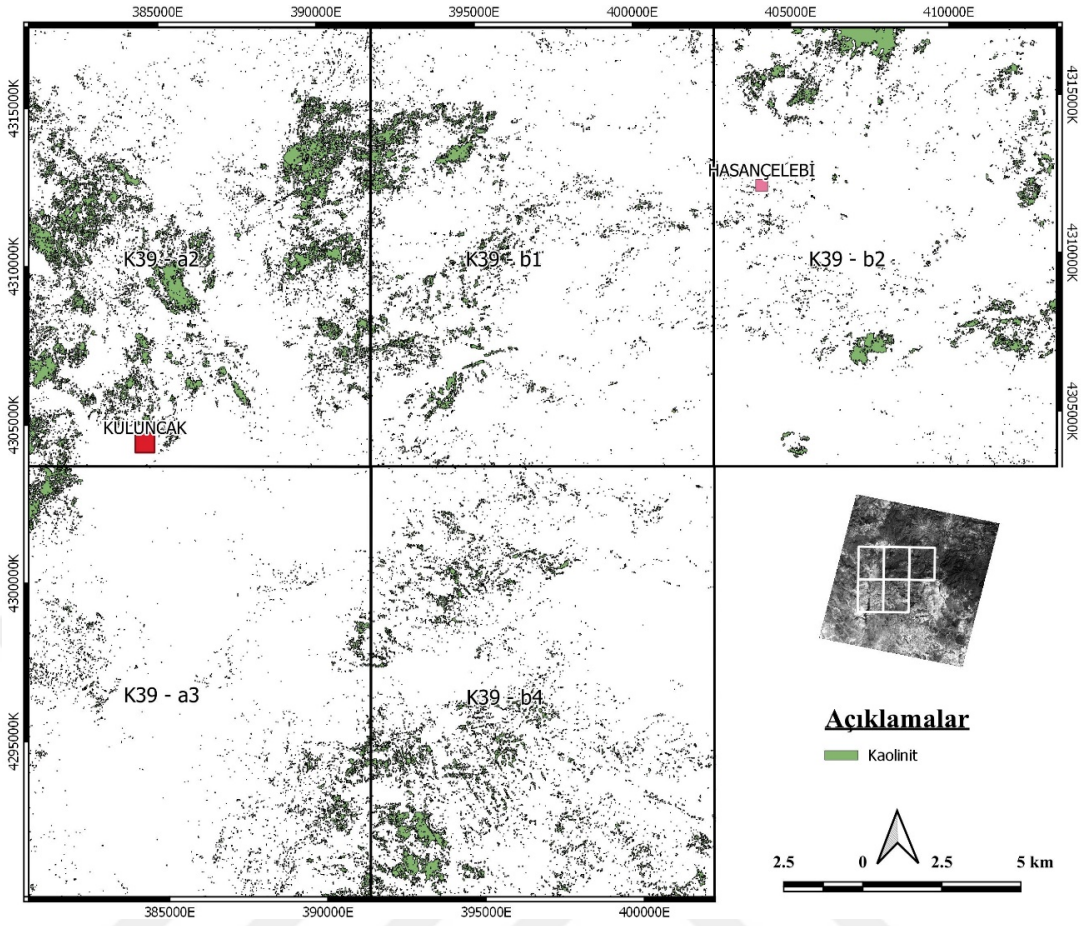


Şekil 5.32 Kaolinit mineraline ait yansıma dalga boyu eğrisi ve ASTER bantları.

Tablo 5.6 Kaolinit minerali için ASTER 1, 4, 6 ve 7 bantlarının TBA sonrası hesaplanan özvektör istatistikleri.

Özvektör	TBA 1	TBA 2	TB 3	TB 4
Band 1	0.325900	0.853124	0.385049	-0.133060
Band 4	0.658163	-0.302519	-0.121316	-0.678665
Band 6	0.499193	-0.362511	0.568685	0.544049
Band 7	0.459800	0.221915	-0.716671	0.475100

TB 3'ün hem pozitif (+) hem de negatif (-) yönde en fazla kontrastı verdiği görüldüğünden, kaolinite ait en fazla spektral veriyi TB 3'ün içerdiğini söyleyebiliriz.

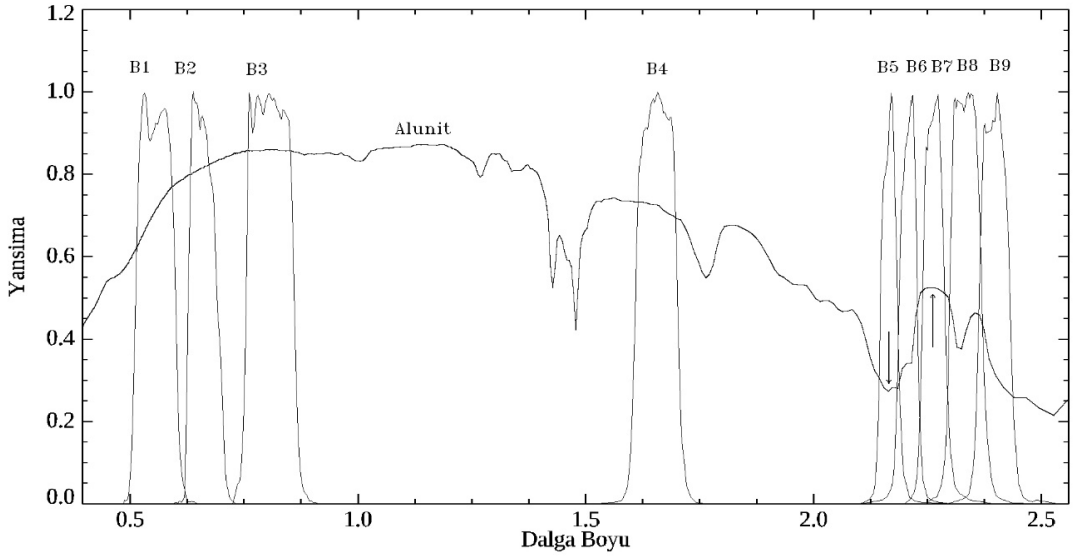


Şekil 5.33 Özvektör istatistiklerine (Crosta vd., 2003) göre kaolinit minerali için tespit edilen TB3'ün -1 ile çarpılması sonucu elde edilen görüntüye, kontrollü sınıflama uygulanarak elde edilmiş kaolinit dağılım haritası.

TB 3'ün kaolinit minerali bakımından en fazla spektral bilgi içeren bileşen olduğu tespit edilerek koyu piksellerin hedef minerali vurguladığı anlaşılmıştır. Bu sebeple parlak piksellerin kaoliniti temsil edebilmesi ve kolay anlaşılması için görüntü (-1) ile çarpılmıştır (Loughlin, 1991). Parlak pikselleri bir renkle ifade etmek için görüntü üzerinde, bant oranlamalarında da kullanılan kontrollü bir sınıflama dağılımı, koşut yüz algoritması kullanılarak oluşturulmuştur (**Şekil 5.33**).

5.3.2.2 Alunit

Benzer bir dönüşüm alunit minerali hedeflenerek yapılmıştır. Alunit minerali için Crosta vd., 2003'e göre yüksek yansıma veren, bant 3 ve 7 ile yüksek emilim gösteren bant 1 ve 5 (**Şekil 5.34**) kullanılarak dönüşümler yapılmıştır (**Tablo 5.7**).



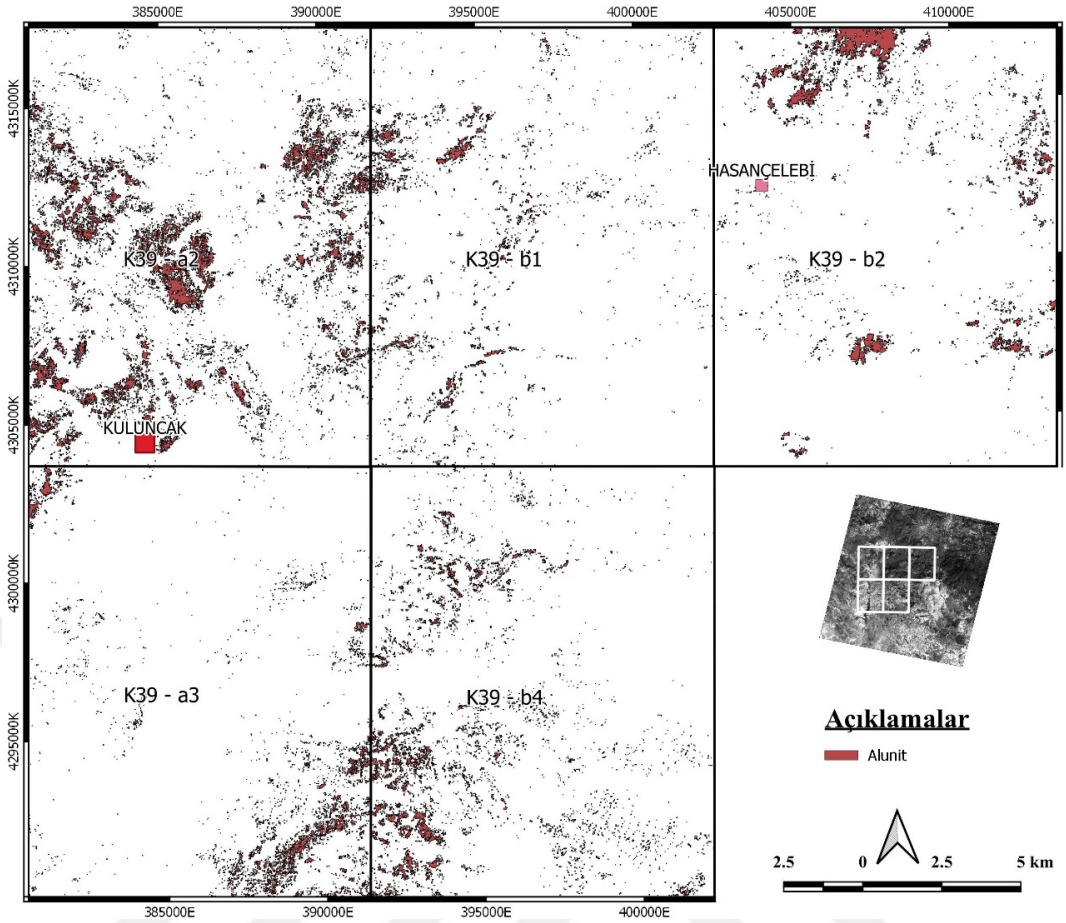
Şekil 5.34 Alunit mineraline ait yansıma dalga boyu eğrisi ve ASTER bantları.

Tablo 5.7 Alunit minerali için ASTER 1, 3, 5 ve 7 bantlarının TBA sonrası hesaplanan özvektör istatistikleri.

Özvektör	TBA 1	TBA 2	TB 3	TB 4
Band 1	0,351967	0,344534	-0,140308	0,858912
Band 3	0,612668	0,597815	-0,100019	-0,5072
Band 5	0,516063	-0,654302	-0,551398	-0,039089
Band 7	0,484187	-0,30952	0,816253	0,059086

Yapılan dönüşüm analizi ve sonrasında hesaplanan özvektör yüklemelerine göre; TB3'ün, bant 5 tarafından negatif ve 0,551398 değerde, bant 7 tarafından ise popzitif ve 0,816253 değerde yüklenerek hem negatif (-) hem de pozitif (+) yönde en fazla kontrastı ve kaolinite ait en fazla spektral veriyi içerdiği anlaşılmıştır.

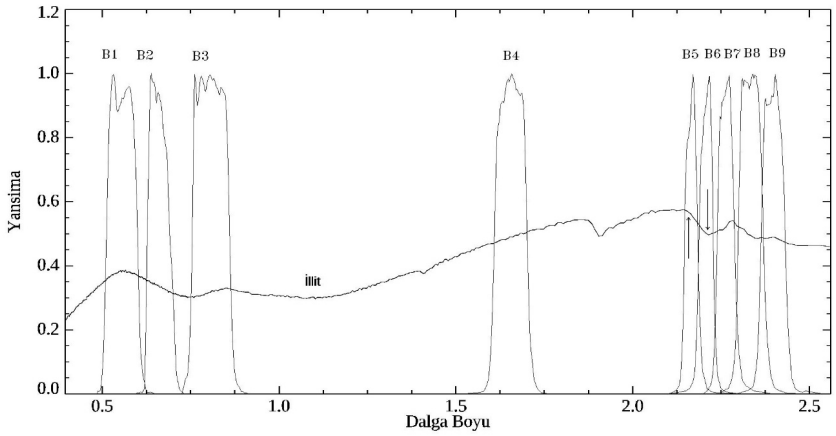
TB 3'de parlak piksellerin aluniti temsil ettiği anlaşıldığından, parlak pikselleri bir renkle ifade debilmek ve görsel olarak hedef mineralin dağılımını daha iyi vurgulayabilmek için kontrollü bir sınıflama dağılımı koşut yüz algoritması kullanılarak oluşturulmuştur (**Şekil 5.35**).



Şekil 5.35 Crosta tekiniğine göre oluşturulmuş alunit dağılım haritası.

5.3.2.3 İllit

İllit minerali hedeflenerek yapılan dönüşümde, Crosta vd., 2003'e göre yüksek yansıma veren, bant 1 ve 5 ile yüksek emilim gösteren bant 3 ve 6 (**Şekil 5.36**) kullanılarak dönüşümler hesaplanmıştır.

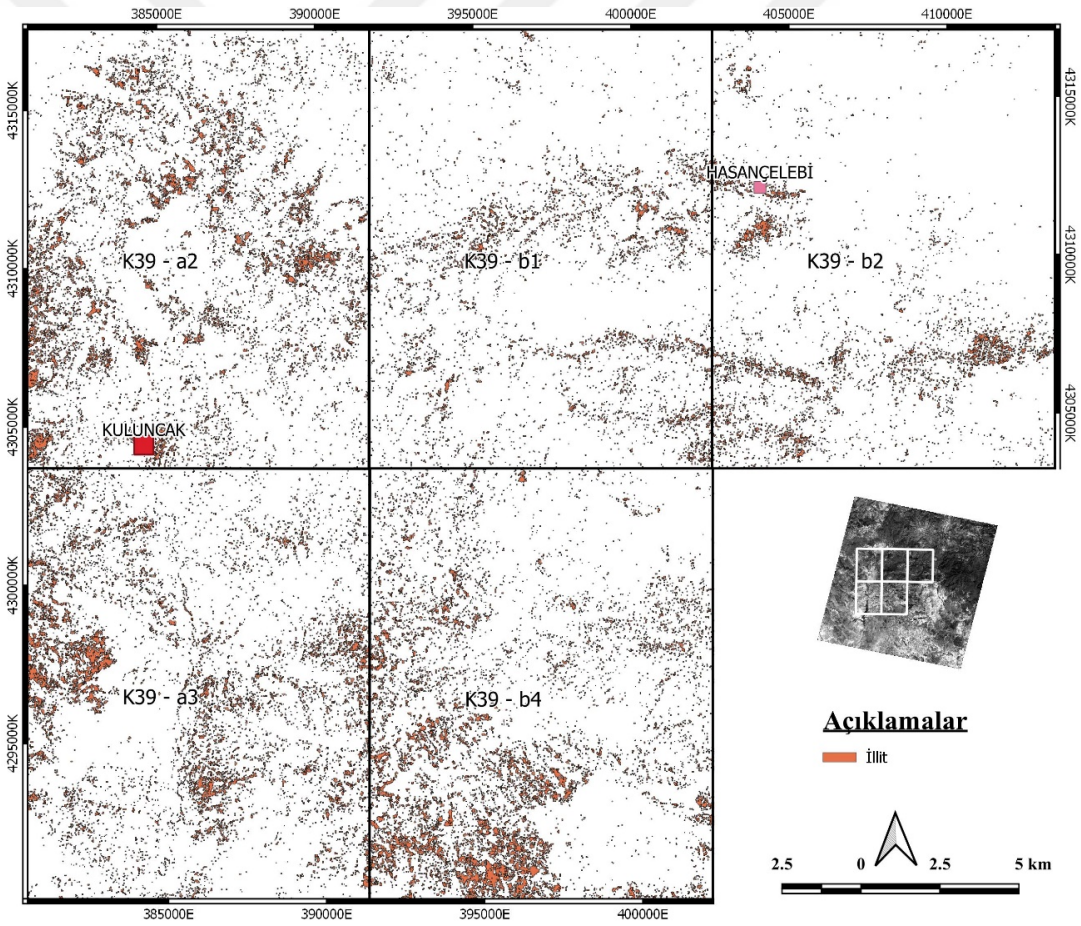


Şekil 5.36 İllit mineraline ait yansıma dalga boyu eğrisi ve ASTER bantları.

Yapılan dönüşüm analizi ve sonrasında hesaplanan özvektör yüklemelerine göre; TB4'ün, bant 5 tarafından negatif ve 0,725071, bant 6 tarafından ise popzitif ve 0,687505 yüklenerek hem negatif (-) hem de pozitif (+) yönde en fazla kontrastı ve illit mineraline ait en fazla spektral veriyi içerdiği anlaşılmıştır (**Tablo 5.8**).

Tablo 5.8 İllit minerali için ASTER 1, 3, 5 ve 6 bantlarının TBA sonrası hesaplanan özvektör istatistikleri.

Özvektör	TBA 1	TBA 2	TB 3	TB 4
Band 1	-0,343852	-0,360679	-0,866079	0,039800
Band 3	-0,598489	-0,626818	0,498884	0,005061
Band 5	-0,509875	0,462332	-0,023427	-0,725071
Band 6	-0,513424	0,513088	0,021758	0,687505



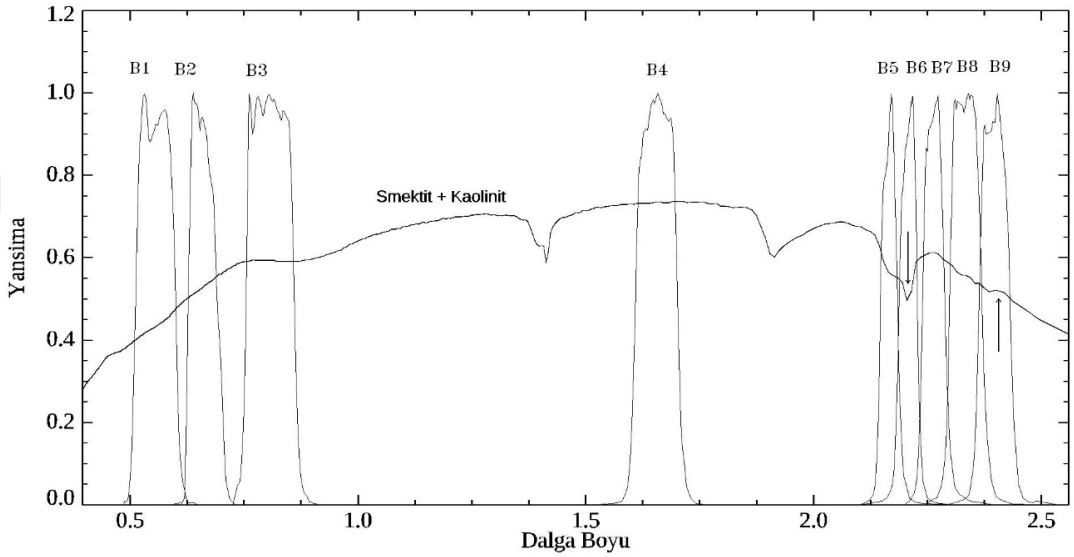
Şekil 5.37 Crosta tekiniğine göre oluşturulmuş illit dağılım haritası.

Yapılan dönüşüm sonucunda Crosta Tekniği'ne göre TB 4'de parlak piksellerin illiti temsil ettiği anlaşıldığından, parlak pikselleri vurgulayan bir sınıflama

oluşturulmuştur. Oluşturulan sınıflamada parlak pikseller bir renkle ifade edilerek illit mineraline ait bir dağılım haritası oluşturulmuştur (**Şekil 5.37**).

5.3.2.4 Kaolinit - Smektit

Kaolinit - smektit karışımı hedeflenerek yapılan bir diğer TBA'de hedef için Crosta vd., 2003'e göre yüksek yansıma veren, bant 4 ve 9 ile yüksek emilim gösteren bant 1 ve 6 (**Şekil 5.38**) kullanılarak dönüşümler yapılmıştır (**Tablo 5.9**).

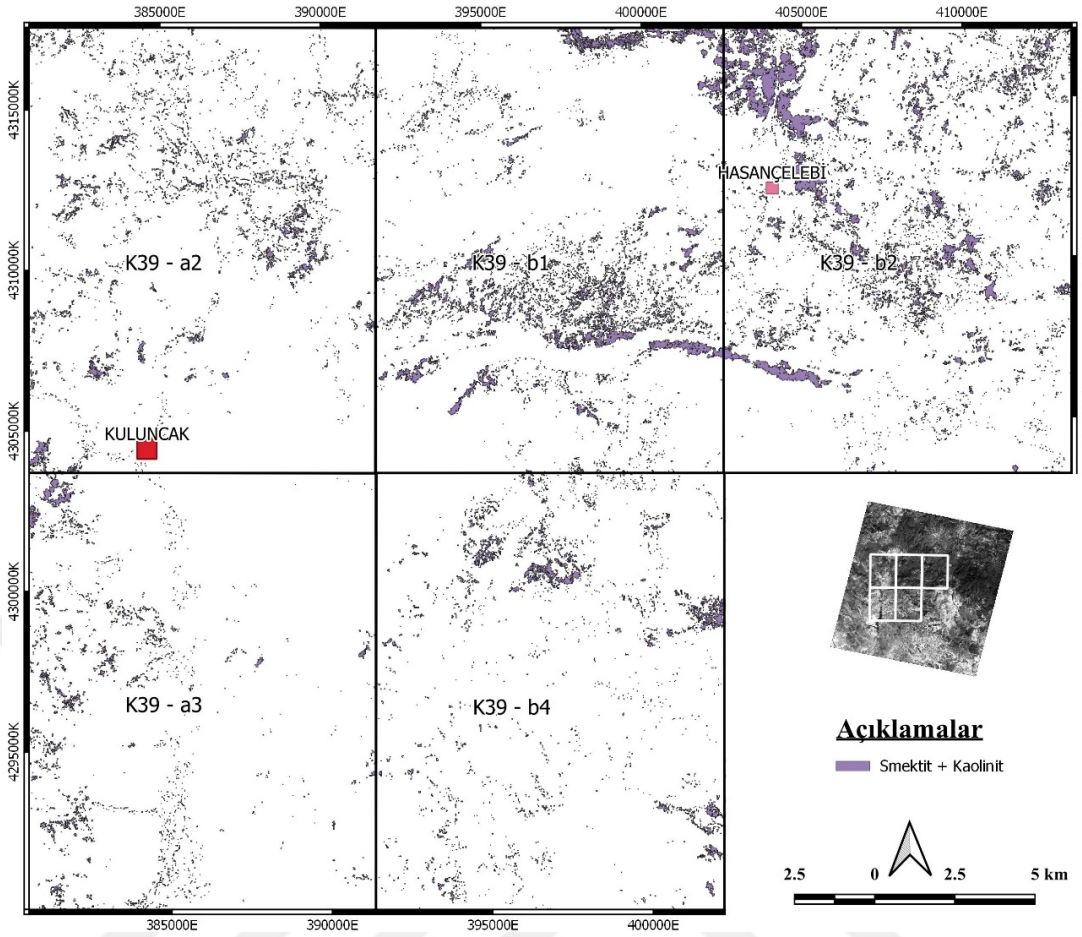


Şekil 5.38 Smektit+Kaolinit için yansıma dalga boyu eğrisi ve ASTER bantları.

Yapılan dönüşüm analizi ve sonrasında hesaplanan özvektör yüklemelerine göre; TB3'ün, bant 4 tarafından negatif ve 0.595017 değerde, bant 6 tarafından ise popzitif ve 0.789462 değerde yüklenerek hem negatif (-) hem de pozitif (+) yönde en fazla kontrastı ve hedefe ait en fazla spektral veriyi içerdiği anlaşılmıştır.

Tablo 5.9 Kaolinit + smektit için ASTER 1, 4, 6 ve 9 bantlarının TBA sonrası hesaplanan özvektör istatistikleri.

Özvektör	TBA 1	TBA 2	TB 3	TB 4
Band 1	0.343402	0.929312	0.102625	0.089005
Band 4	0.695905	-0.223459	-0.595017	0.334271
Band 6	0.528063	-0.292861	0.789462	0.110144
Band 9	0.344877	-0.026014	-0.110335	-0.931777

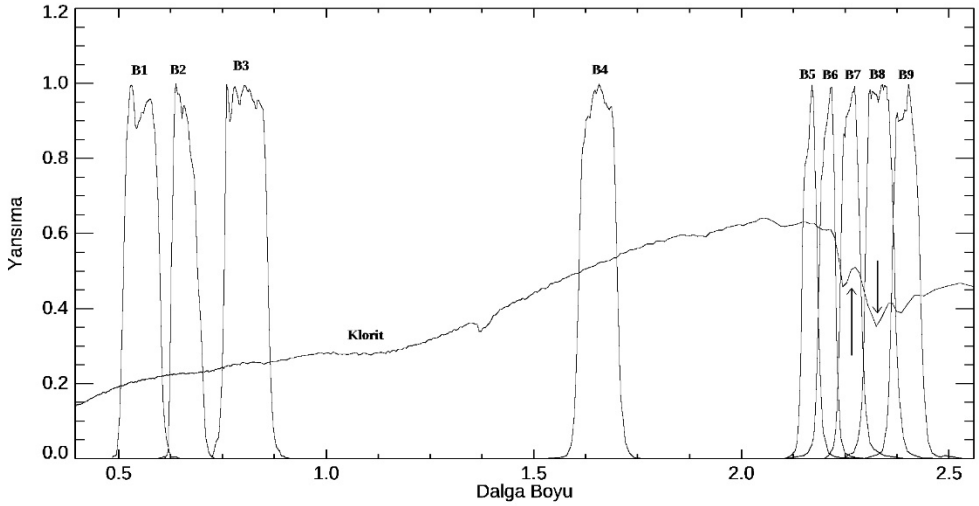


Şekil 5.39 Crosta tekiniğine göre oluşturulmuş smektit+kaolinit dağılım haritası.

TB 3'ün kaolinit + smektit bakımından en fazla spektral bilgiyi içeren bileşen olduğu tespit edilerek koyu piksellerin hedef minerali vurguladığı anlaşılmıştır. Bu sebeple parlak piksellerin hedefi temsil edebilmesi ve kolay anlaşılması için görüntü (-1) ile çarpılmıştır (Loughlin, 1991). Parlak pikselleri bir renkle ifade etmek için görüntü üzerinde, bant oranlamalarında da kullanılan kontrollü bir sınıflama dağılımı, koşut yüz algoritması kullanılarak oluşturulmuştur (**Şekil 5.39**).

5.3.2.5 Klorit

Klorit minerali için TBA seçimi yapılırken, bant 1 ve 8 emilim bantı, 5 ve 7 ise yansıma bantları olarak seçilmiştir (**Şekil 5.40**).



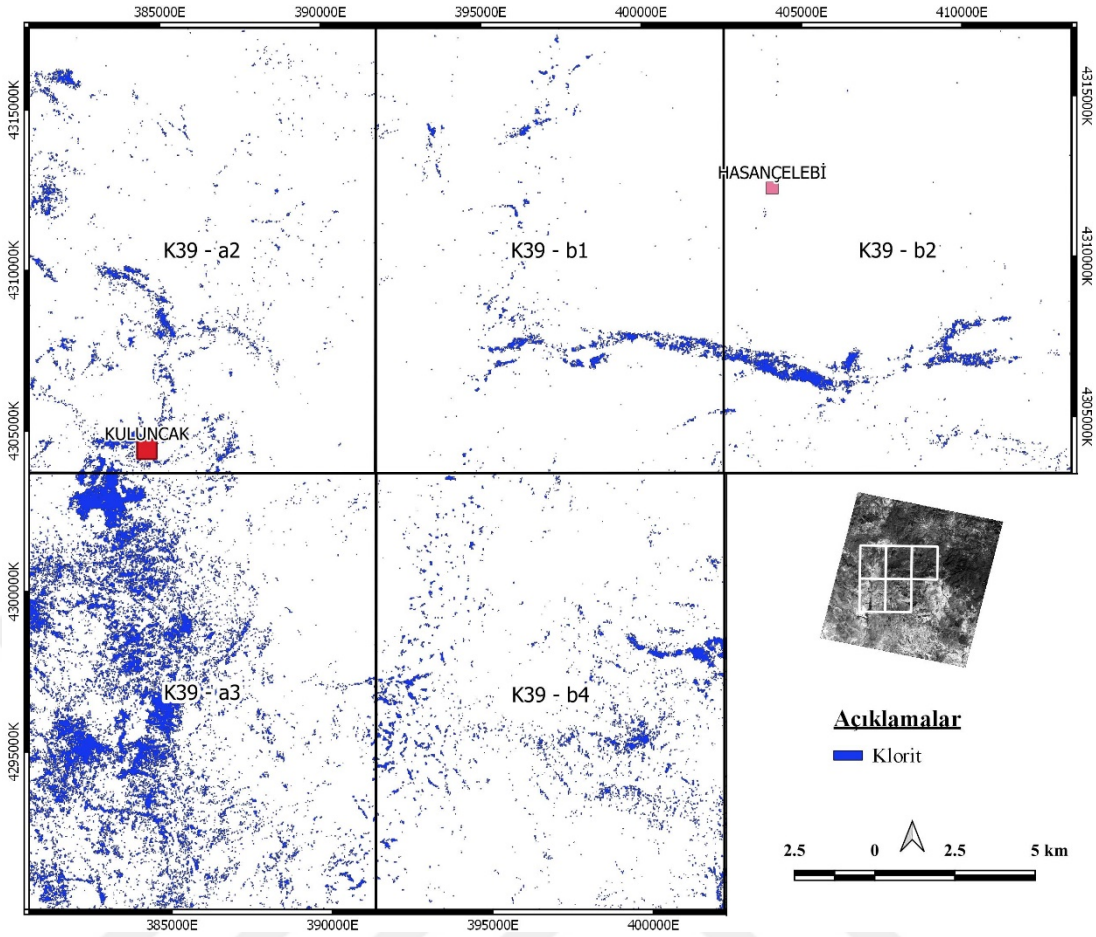
Şekil 5.40 Klorit için yansıma dalga boyu eğrisi ve ASTER bantları.

Yapılan dönüşümde TB3, negatif (-0.661819) ve pozitif (0.725021) değer olarak en fazla yüklenen bileşen olarak tepit edilmiştir (**Tablo 5.10**).

Tablo 5.10 Klorit için ASTER 1, 5, 7 ve 8 bantlarının TBA sonrası hesaplanan özvektör istatistikleri.

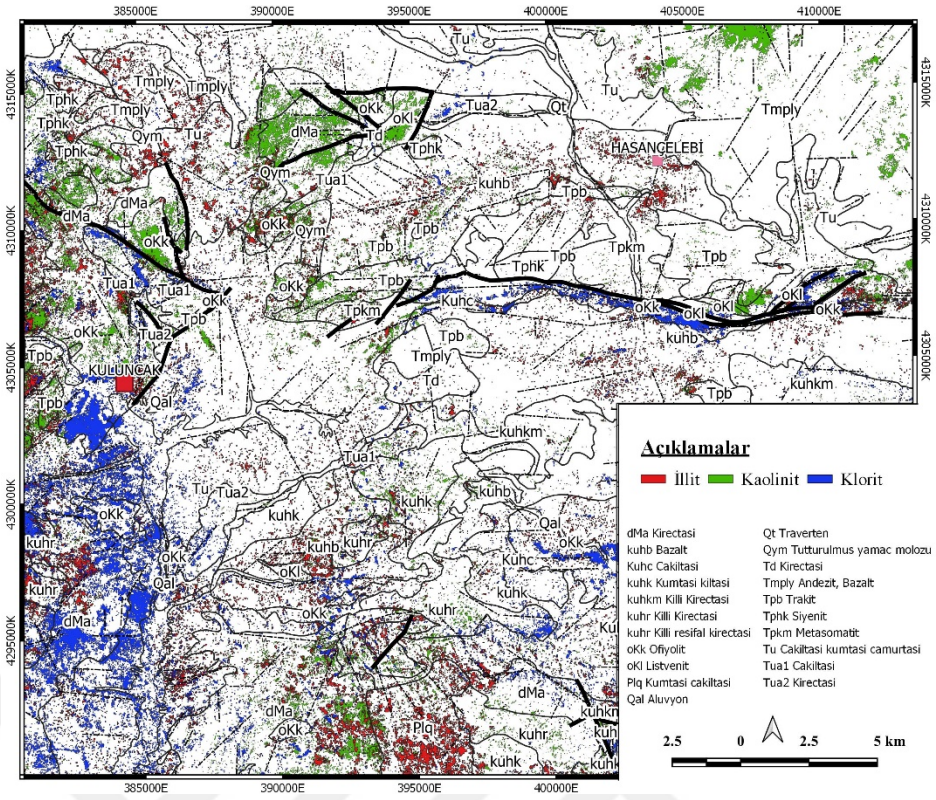
Özvektör	TBA 1	TBA 2	TB 3	TB 4
Band 1	-0.379036	-0.920585	-0.092741	-0.015903
Band 5	-0.589523	0.164229	0.725021	0.315967
Band 7	-0.549893	0.256614	-0.166548	-0.777193
Band 8	-0.454325	0.244337	-0.661819	0.543951

Crosta tekniği ile bant seçimi yapılmış ve sonrasında bu bantlara dönüşüm uygulanmıştır. Dönüşüm sonucu hesaplanan özvektör istatistiğine göre seçilen klorit minerali için kullanılmış ve parlak pikseller sınıflandırılmıştır (**Şekil 5.41**)



Şekil 5.41 Crosta tekiniğine göre oluşturulmuş klorit dağılım haritası.

Hidrotermal alterasyon mineralleri hedeflenerek yapılan TBA sonrasında Crosta Tekniği kullanılarak minerallerin absorpsiyon özelliklerine göre herbirisi için TB seçimi yapılmış ve sınıflama dağılımları oluşturulmuştur. Bütün alterasyon minerallerini ve alterasyonlarla ilişkili olabilecek litoloji sınırlarını bir arada görebilmek amacıyla elde edilen sınıflama dağılım haritaları tek bir görüntüde birleştirilmiştir (**Şekil 5.42**). Elde edilen görüntülerde; smektit-kaolinitin; bazaltik bileşimdeki Yamadağ Volkaniti (Tmply) ve Kuluncak Ofiyoliti (oKk)'nin inceleme alanında yaklaşık D-B uzanımlı ofiyolitik dilim ile uyumlu olduğu görülmüştür. Kaolinit ve alunitin, smektit-kaolinite benzer şekilde Yamadağ Volkaniti (Tmply) ile uyumlu fakat Kuluncak Ofiyoliti (oKk)'nin Kuluncak civarındaki mostralarıyla uyumlu oldukları, illitin ise nispeten az yoğunlukta olarak, Bahçedamı Volkaniti (Kuhb) ve Yamadağ Volkaniti (Tmply) ile uyumlu olduğu görülmüştür.



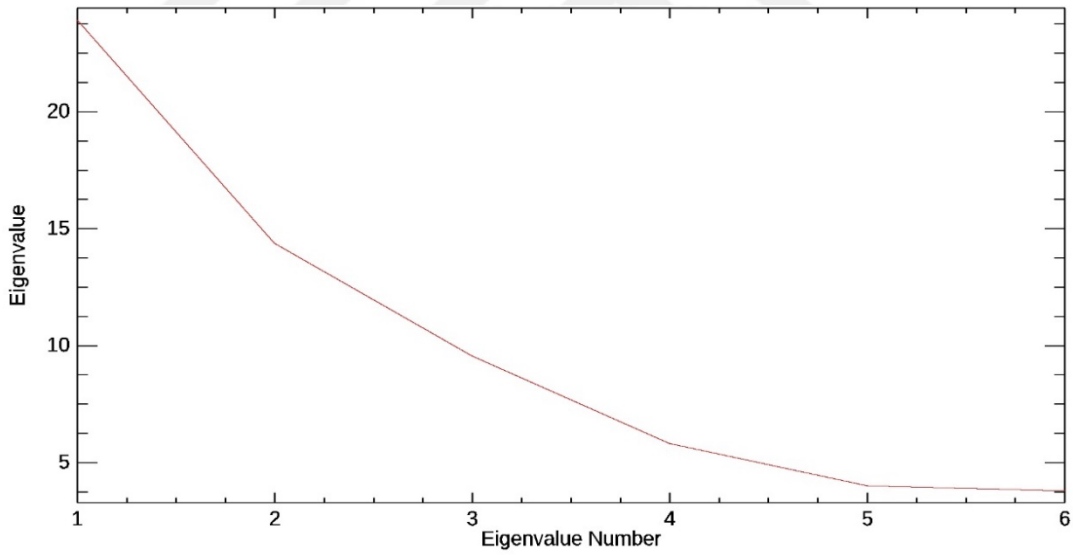
Şekil 5.42 Crosta tekniğine göre dönüştürülmüş ve sınıflandırılmış mineral dağılım haritası.

5.3.3 Minimum Gürültü Oranlama

Temel bileşen analizinde bileşen sayısının arttırılmasıyla herzaman varyansı yüksek görüntüler elde edilemediğini fark eden Green vd., (1988); PCA da olduğu gibi maksimum varyans içeren bantları tespit etmek yerine görüntü kalitesinde yüksek öneme sahip sinyal-gürültü oranını kullanarak maksimum gürültü içeren bantları tespip edip, kaldırarak varyansı yüksek görüntüler elde edebilmek için Minimum Gürültü Fraksiyonu (Minimum Noise Fraction, MNF) algoritmasını tasarlamışlardır. İki ardışık veri azaltma işleminden oluşan bir algoritmadır (Green vd., 1988). Birincisi, bir korelasyon matrisi ile temsil edilen verilerdeki gürültü tahminine dayanmaktadır. Bu dönüşüm, verilerdeki gürültüyü varyansa göre ilişkisiz hale getirir (decorrelation) ve yeniden ölçeklendirir. İkinci işlemde ise standart PCA kullanılarak orijinal korelasyonları hesaba katar ve ham veri kümesindeki tüm bantlardaki varyans hakkında ağırlıklı bilgiler içeren ve gürültüsü azaltılmış bir dizi bileşen oluşturur. Çoğunlukla, bir veri setindeki yüzey yansıtma varyasyonunun çoğu, ilk birkaç bileşende bulunur, geri kalan bileşenlerde ise esas olarak gürültüden kaynaklanan varyans bulunur (Boardman, 1993).

İnceleme alanına ait ASTER görüntüsüne, tıpkı PCA dönüşümünde hidrotermal alterasyon minerallerinin tespit edildiği gibi jeolojik farklılıklar ve ayırt edilebilen mineralleri vurgulamak için MNF algoritması kullanılmıştır. ASTER, SWIR bantlarına uygulanan dönüşümde öncelikle bütün bantlar ENVI yazılımı içerisinde tanımlı MNF algoritmasında dönüştürülerek toplamda 6 MNF görüntüsü elde edilmiştir. Jeolojik spektral bilginin tamamının dönüşüme etki edebilmesi için optimum veri elde edilebilecek aralıktaki bütün bantlar (~ 1,6-2,5µm) dönüşümde kullanılmıştır.

MNF Özdeğer grafiği (**Şekil 5.43**), MNF dönüşümü yapılmış her bir bant için özdeğerini gösterir. Daha büyük özdeğerler, dönüştürülmüş bantta daha yüksek veri varyansını, başka bir değişle spektral çeşitliliği gösterir. Özdeğerler 1'e yaklaştığında, gürültü varyanstan ilişkisizlendirilip yeniden ölçeklendirilerek düşük özdeğere sahip çıktı bantlarında sadece gürültü bırakılmış olur. Veri boyutluluğu, özdeğer eğrisinin eğiminin nerede kırıldığını ve değerlerin 1'e yaklaştığını bularak öz değerlerden belirlenebilir.



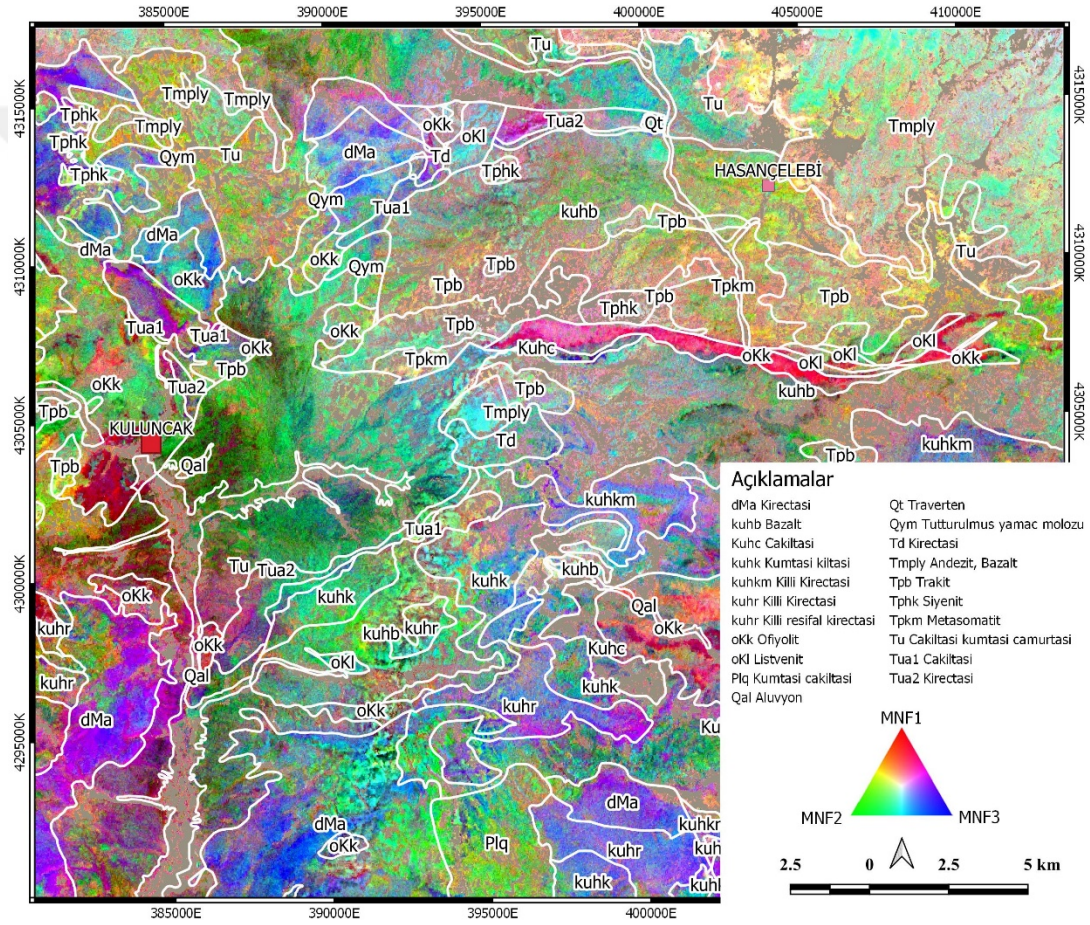
Şekil 5.43 MNF özdeğer grafiği.

MNF dönüşümü yapıldıktan sonra dönüşüme ait özdeğer tablosuna (**Tablo 5.11**) bakıldığında, özdeğer-bant eğrisinde özdeğerlerin ilk üç bantta nispeten yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. İlk üç banda ait RGB kompozit görüntüsü veri varyansının yüksek olduğu bantlar olarak jeolojik farklılıkların gösterilmesinde kullanılmıştır (**Şekil 5.44**). Elde edilen görüntüde litolojik farklılıklar renklerle çok net bir şekilde

ortaya koyulmuştur. Sarı, açık yeşil ve açık mavi alanlar magmatik kayaçların, koyu yeşil alanlar kırıntılı kayaçların, kırmızımsı alanlar ofiyolitik kayaçların ve mor alanlar ise karbonatlı kayaçların gözlendiği alanlarla uyumlu bir şekilde oldukları görülmektedir.

Tablo 5.11 MNF dönüşümü yapılmış bantlara ait özdeğer tablosu.

MNF Bant	1	2	3	4	5	6
Özdeğer	23,932914	14,369136	9,551006	5,809711	3,996915	3,787632

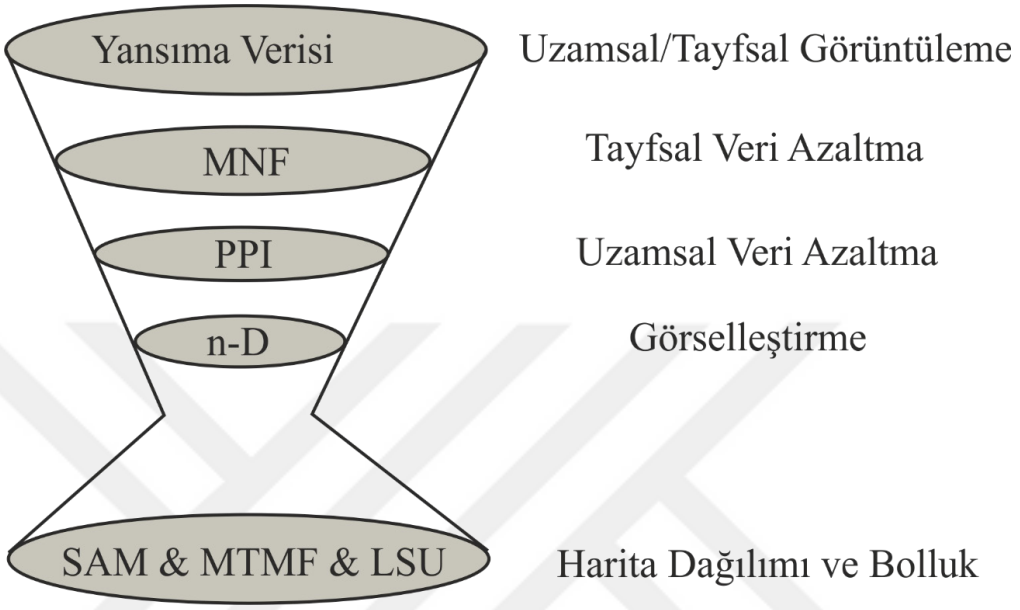


Şekil 5.44 Özdeğer grafiğine göre en fazla varyansa sahip MNF bantlarından oluşturulmuş kompozit görüntü ve litoloji sınırları.

5.3.4 Spektral kum saati akışı

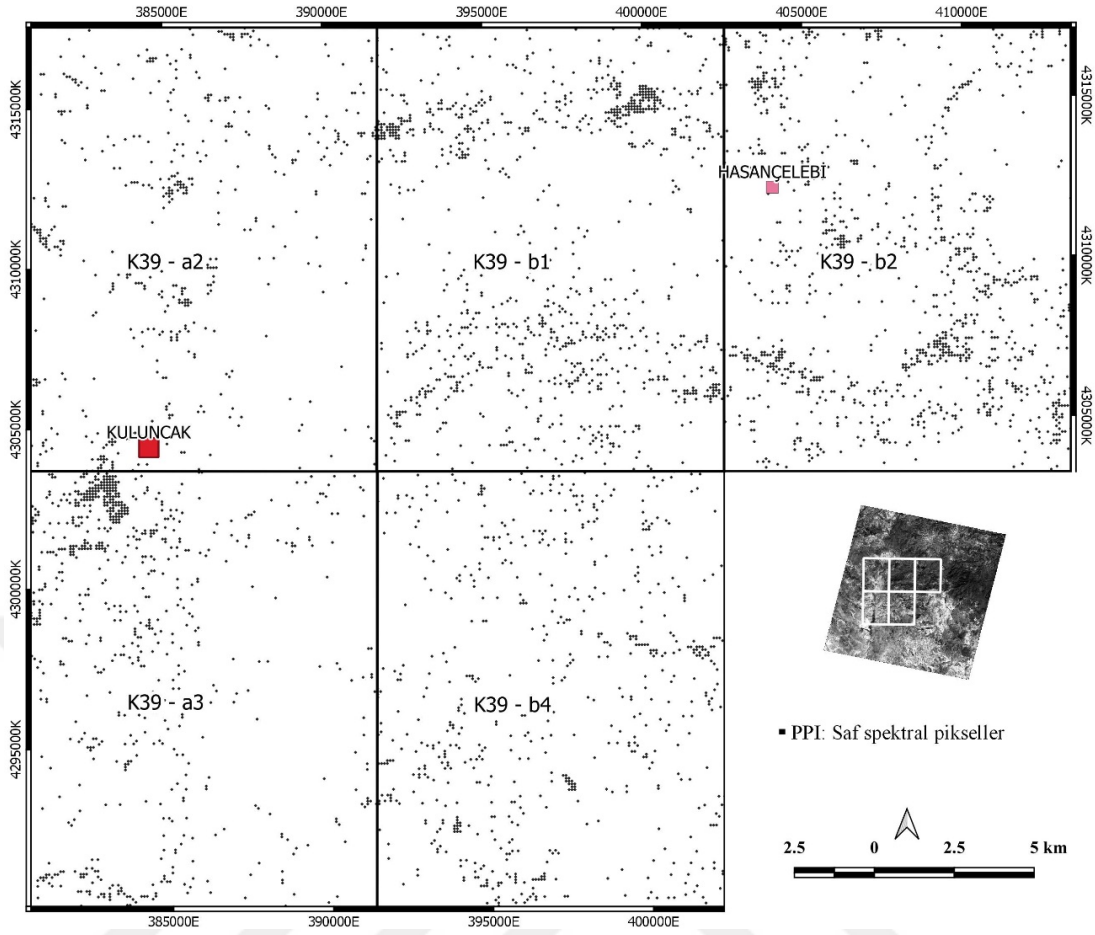
MNF dönüşümü yapılırken kullanılan yazılımda, içerisinde dönüşüm sonucu elde edilen ve spektral farklılığı yüksek bantların girdi olarak kullanıldığı bir akış bulunmaktadır (Exelis Visual Information Solutions. 2010). Akış spektral kum saati

sihirbazı (spectral hourglass wizard) olarak adlandırılmaktadır (**Şekil 5.45**). Akışta; MNF bantlarından, bir dizi spektral analiz algoritması kullanılarak son üyeler (endmember) elde edilmiştir. Sonrasında, görüntülerden çıkarılan bu son üyeler, sınıflama algoritmaları kullanılarak nihayi spektral dağılım haritası oluşturulmuştur.



Şekil 5.45 Spektral Kum Saati akış şeması (Url-6: www.l3harrisgeospatial.com/docs/spectralhourglasswizard.html).

MNF dönüşümü yapılarak spektral olarak veri azaltıldıktan sonra uzamsal olarak da veriyi azaltmak için Piksel Saflık Endeksi (PPI) hesaplanarak görselleştirilmiştir (**Şekil 5.46**). PPI, multispektral ve hiperspektral verilerdeki "spektral olarak en saf" veya aşırı pikselleri bulmak için kullanılır. Spektral olarak en saf pikseller tipik olarak karıştırma son üyelerine karşılık gelir. PPI, n-boyutlu dağılım çizimlerini rastgele bir birim vektör üzerine tekrar tekrar yansıtarak hesaplanır. Her bir yansımadaki uç pikseller kaydedilir ve her pikselin uç noktalardaki toplam işaretlenme sayısı not edilir. Eşik değeri, yansıtılan vektörün uçlarında kaç pikselin aşırı olarak işaretlendiğini tanımlamak için kullanılır. Eşik değeri, verilerdeki gürültü seviyesinin yaklaşık 2-3 katı olmalıdır (bu, MNF dönüştürülmüş veriler kullanılırken 1'dir). Daha büyük eşikler, PPI'nin daha uç pikseller bulmasına neden olur, ancak bunların "saf" son üye olma olasılığı daha düşüktür. Böylece inceleme alanında spektral olarak en saf pikseller bulunmuş olur.

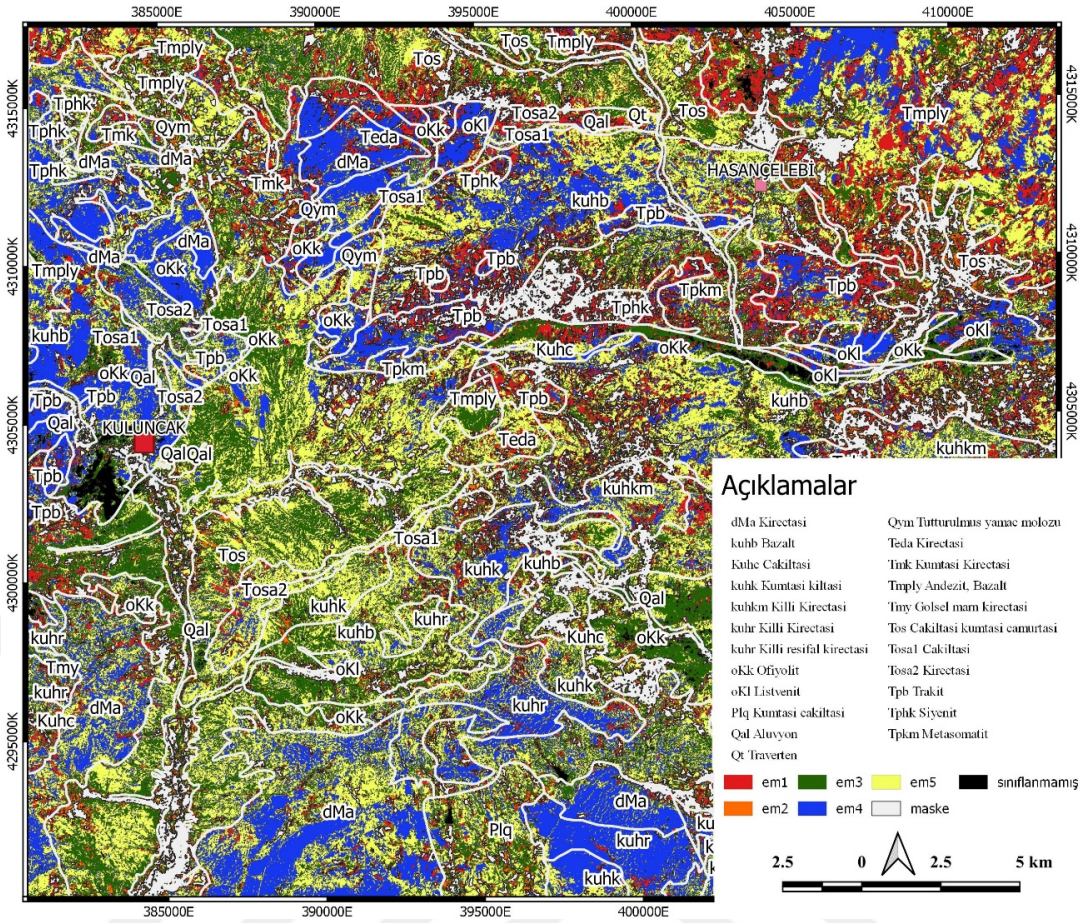


Şekil 5.46 Piksel Saflık İndeksi (PPI) hesaplanarak oluşturulmuş, spektral olarak en saf pikselleri vurgulayan görüntü.

Akışta son aşama olarak; spektral açı eşleyicisi (SAM) kullanılarak son üyeler belirlenmiş ve haritalanmışlardır (**Şekil 5.47**).

Tablo 5.12 Son üyelerin nokta ve % dağılımları.

Sınıf	em1	em2	em3	em4	em5	Maske	Sınıflanmamış
Nokta	662.289	221.391	766.930	879.580	1.432.423	574.087	47.996
Dağılım	14,45%	4,83%	16,73%	19,19%	31,24%	12,52%	1,05%



Şekil 5.47 SAM kullanılarak haritalanmış son üyeler.

MNF dönüşümünden sonra gürültüsü uzaklaştırılmış bantlar ve saf pikseller referans alınarak oluşturulmuş, spektral olarak farklılık gösteren sınıflama dağılımları (**Tablo 5.12**) inceleme alanının jeoljisine göre oluşturulmuş litoloji sınırlarıyla karşılaştırılmıştır. Yapılan eşleştirmelerde sınıflamaların nispeten yoğunlaştığı alanlar dikkate alındığında; em1(kırmızı) sınıfının siyenitik, trakitik ve bazaltik kayaçlarla, em3 (yeşil) sınıfının ofiyolitik kayaçlarla, em4 (mavi) sınıfının karbonatlı kayaçlarla ve em5 (sarı) sınıfının da kırıntılı/karbonatlı kayaçlarla büyük ölçüde uyumlu oldukları ortaya çıkmıştır.

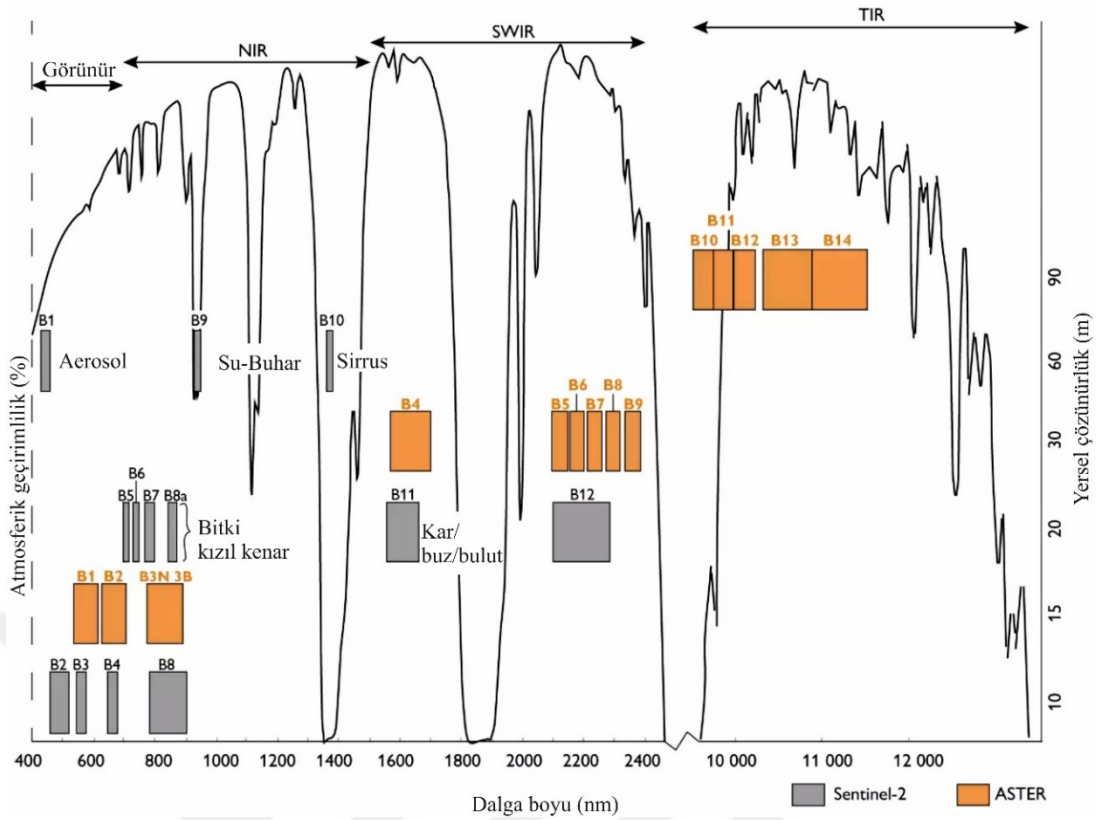
5.4 Sentinel-2A

Sentinel-2A uydusu; Avrupa Uzay Ajansı (ESA)'nın yer gözlem programı olan "Copernicus" kapsamında 2015 yılında yörüngeye yerleştirilmiş, bir multi spektral uzaktan algılama sistemidir. Yer kürenin yansıyan radyansını (parlaklığını) görünür yakın kızılötesi (VNIR) ve kısa dalga kızılötesi (SWIR) bölgede yer alan 13 adet spektral bant ölçmektedir. Spektral bantların yersel çözünürlükleri 10 – 60 m arasında değişmektedir. Yer yüzününde 290 km genişliğinde bir alanı 2 ila 10 gün arasında tekrar tarayabilmekte olup, 12 bit radyometrik çözünürlüğe sahiptir (**Tablo 5.13**). Daha çok görünür bölgede spektral çözünürlüğü yüksek olan sistem yoğunlukla tarım, bitkisel sınıflama, su kalitesi ve acil durum izleme gibi alanlarda tercih edilmektedir (Url-5: https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides).

Tablo 5.13 Sentinel 2A uydusunun özellikleri.

Band	Açıklama	Dalga Boyu (µm)	Çözünürlük (m)
1	Kıyılar ve Aerosol	0.433 – 0.453	60
2	Mavi (B)	0.458 – 0.523	10
3	Yeşil (G)	0.543 – 0.578	
4	Kırmızı (R)	0.650 – 0.680	
5	Bitki Örtüsü Kızıl Sınır	0.698 – 0.713	20
6	Bitki Örtüsü Kızıl Sınır	0.733 – 0.748	
7	Bitki Örtüsü Kızıl Sınır	0.773 – 0.793	
8	NIR (Yakın Kızıl Ötesi)	0.785 – 0.900	10
8A	Narrow NIR (Daraltılmış Yakın Kızıl Ötesi)	0.855 – 0.875	20
9	Su buharı (Water vapour)	0.935 – 0.955	60
10	SWIR – Cirrus (Kısa Dalga Kızıl Ötesi)	1.365 – 1.385	
11	SWIR-1 (Kısa Dalga Kızıl Ötesi-1)	1.565 – 1.655	20
12	SWIR-2 (Kısa Dalga Kızıl Ötesi-2)	2.100 – 2.280	

Sentinel 2A uydusunun özellikle VNIR bölgedeki bant avantajı kullanılarak, bu bölgede yüksek absorpsiyon özelliği sunan, demirli oluşumlar tespit edilmeye çalışılmıştır. İnceleme alanına ait Sentinel 2A görüntüleri ESA'nın açık erişimli merkezinden temin edilmiş olup atmosfer etkisi giderilmiş (BOA) Sentinel 2A-L2 (ikinci seviye) görüntüleri kullanılmıştır (Copernicus Sentinel data., 2019).



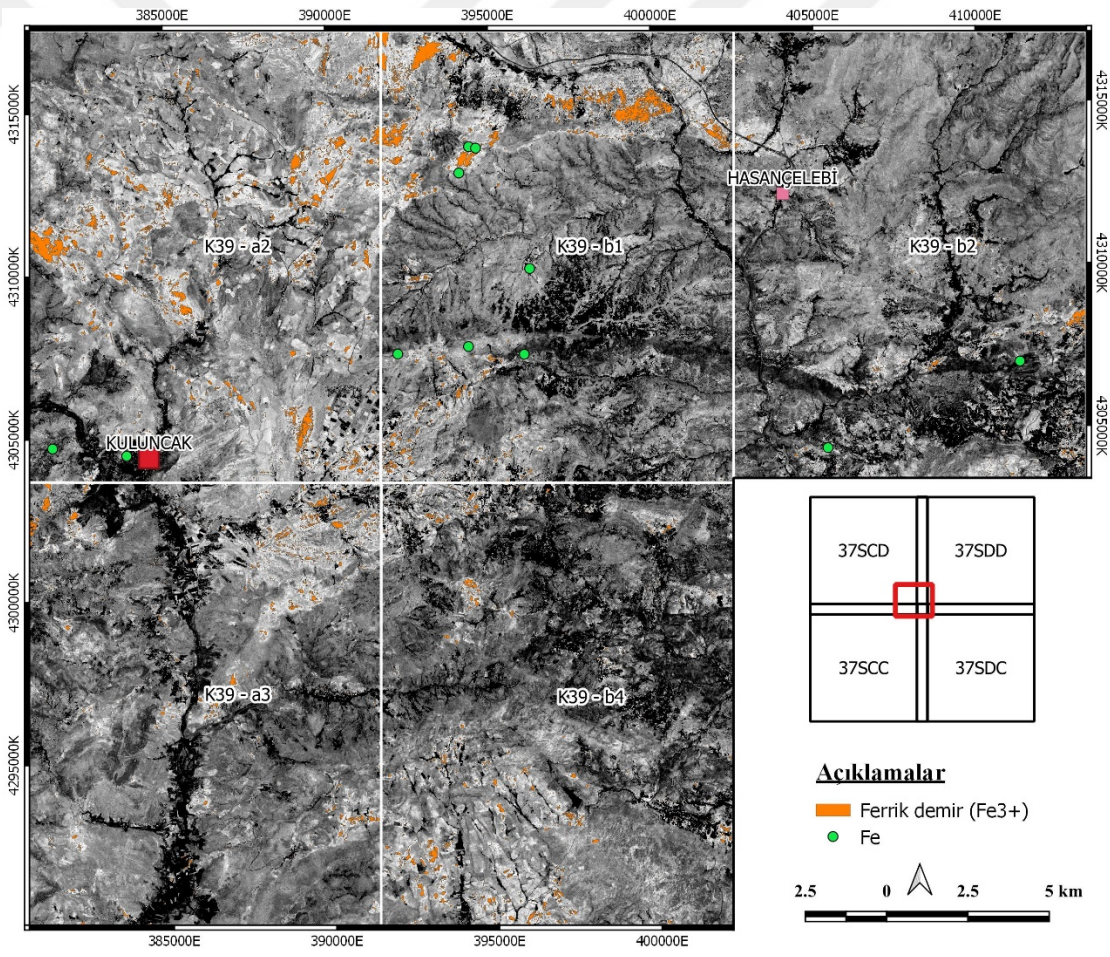
Şekil 5.48 Sentinel-2 ve ASTER bant yansımalarını ve dalga boylarını karşılaştırmalı gösteren grafik (Salehi vd 2019).

İnceleme alanı 4 adet Sentinel 2A görüntüsünün neredeyse ortasında yer aldığından, öncelikle bu 4 görüntü birleştirilmiş ve yersel çözünürlükleri eşitlenerek, özellikle VNIR bölgedeki bant avantajı kullanılarak, demirli oluşumları tespit etmeye yönelik bir takım bant oranlama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Oranlamalar, Kalinowski ve Oliver, (2004)'ün ASTER bantları için geşliştirdikleri oranlamalar (Bkz. **Tablo 5.3**) temel alınarak hesaplanmış ve oluşturulmuşlardır.

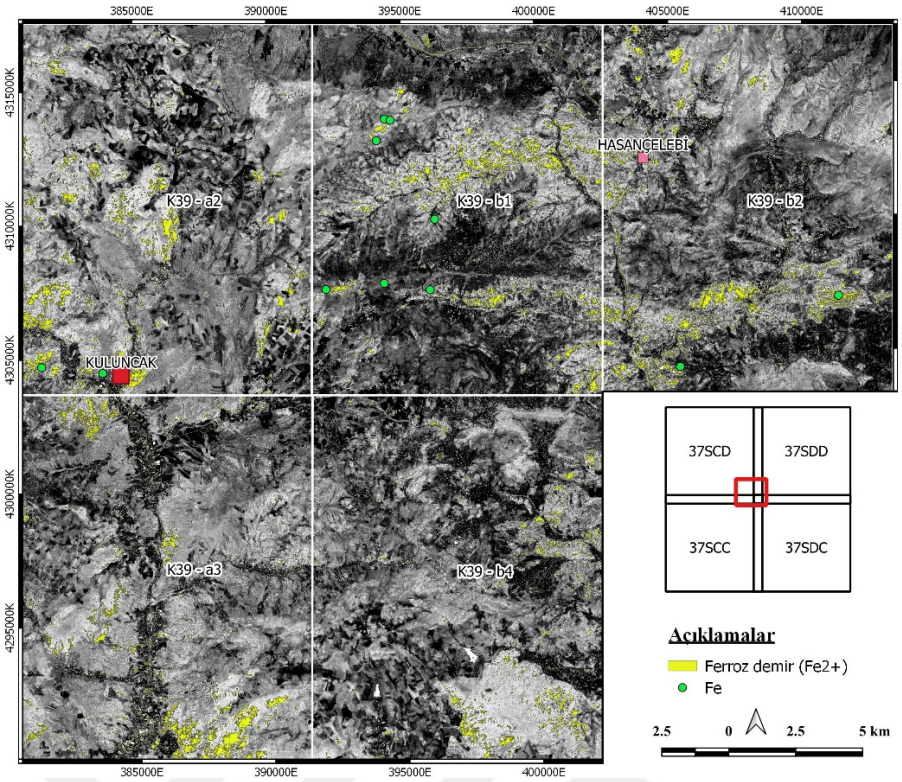
Tablo 5.14 Demir içerikli minerallere ait Sentinel 2A bant oranlamaları (Kalinowski ve Oliver (2004)'den hesaplanmışlardır).

Fe3+ içeren mineraller (hematit, götit)	12/8 + 3/4	Şekil 5.49
Fe2+ içeren mineraller (siderit)	4/3	Şekil 5.50
Laterit	11/12	Şekil 5.51
Demir Şapka	11/4	Şekil 5.52
Demir Silikatlar (biot, chl, amph)	12/11	Şekil 5.53
Demir Oksitler	11/8	Şekil 5.54

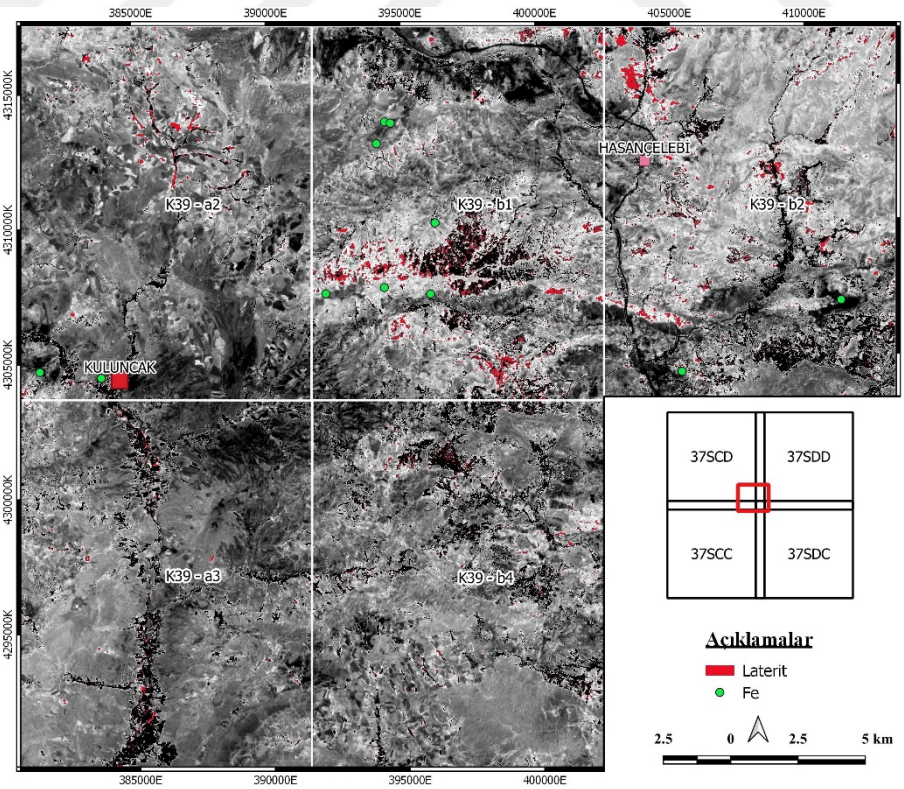
ASTER görüntülerinin VNIR bölgedeki bantlarında yapılan bant oranlama ve sonrasındaki sınıflama işlemlerinin benzerleri Sentinel 2A görüntüler için de tekrarlanmıştır. Elde edilen oranlama görüntülerinin daha iyi anlaşılması için ENVI uygulamasında yer alan parallelepiped algoritması kullanılarak denetimli sınıflamalar oluşturulmuştur. Sınıflamalar oluşturulurken, ilgi alanı (ROI) aracı kullanılarak, oran görüntülerinde en fazla yansıma veren pikseller öğretim (tarining) verileri olarak algoritmaya tanımlanmışlardır. Bu işlemler yapılırken, oluşturulacak sınıflar için eşik değerler oran görüntülerin ortalama temel istatistik değerleri hesaplanarak seçilmiştir. İşlemler sonucunda renklendirilmiş alanlar yansımanın en fazla olduğu alanlar olarak sınıflandırılmışlardır.



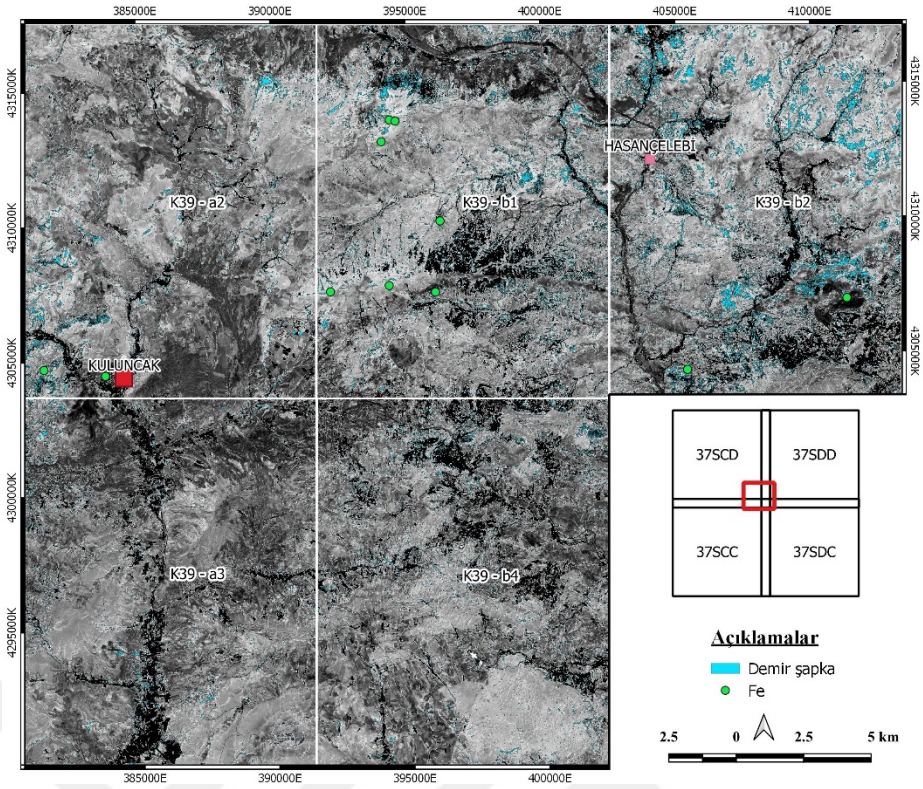
Şekil 5.49 Sentinel 2A B4/B3 (Ferrik demir (Fe^{3+}) içeren hematit ve götit) bant oranlaması ve elde edilen sınıflama dağılımı.



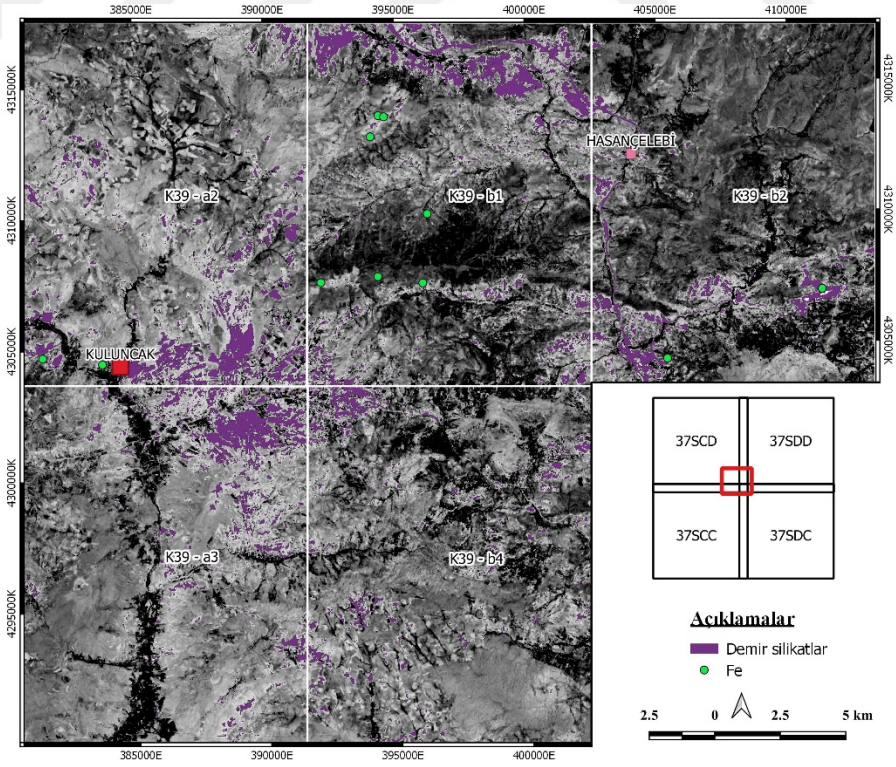
Şekil 5.50 Sentinel 2A (B12/B8)+(B3/B4) (Ferroz demir (Fe^{2+}) içeren siderit) bant matematiği ve elde edilen sınıflama dağılımı.



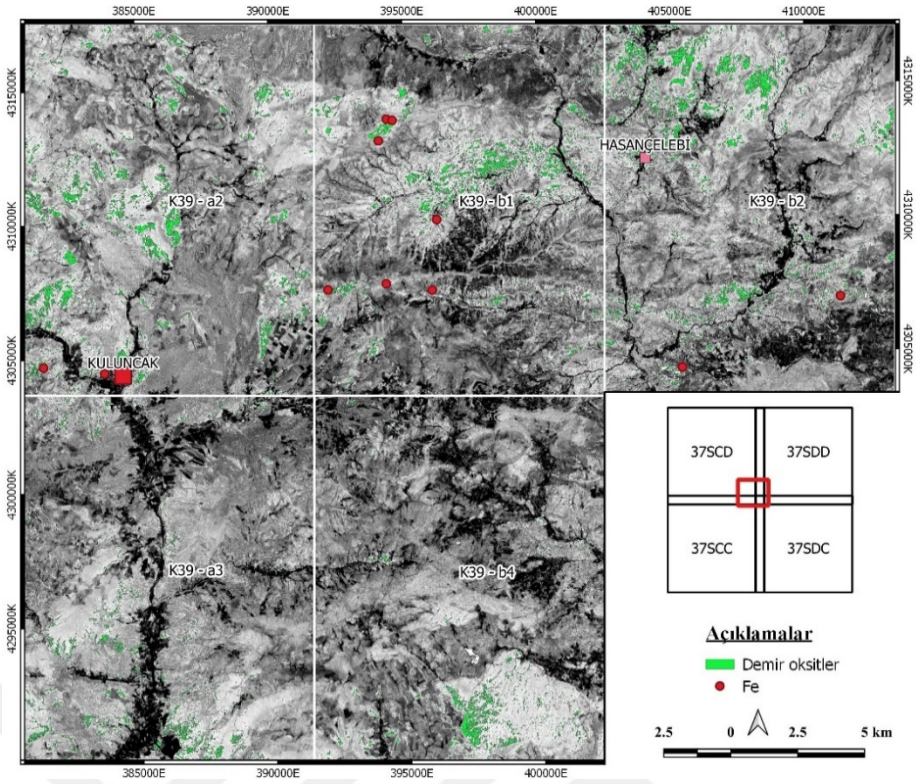
Şekil 5.51 Sentinel 2A B11/B12 (laterit) bant oranlaması ve elde edilen sınıflama dağılımı.



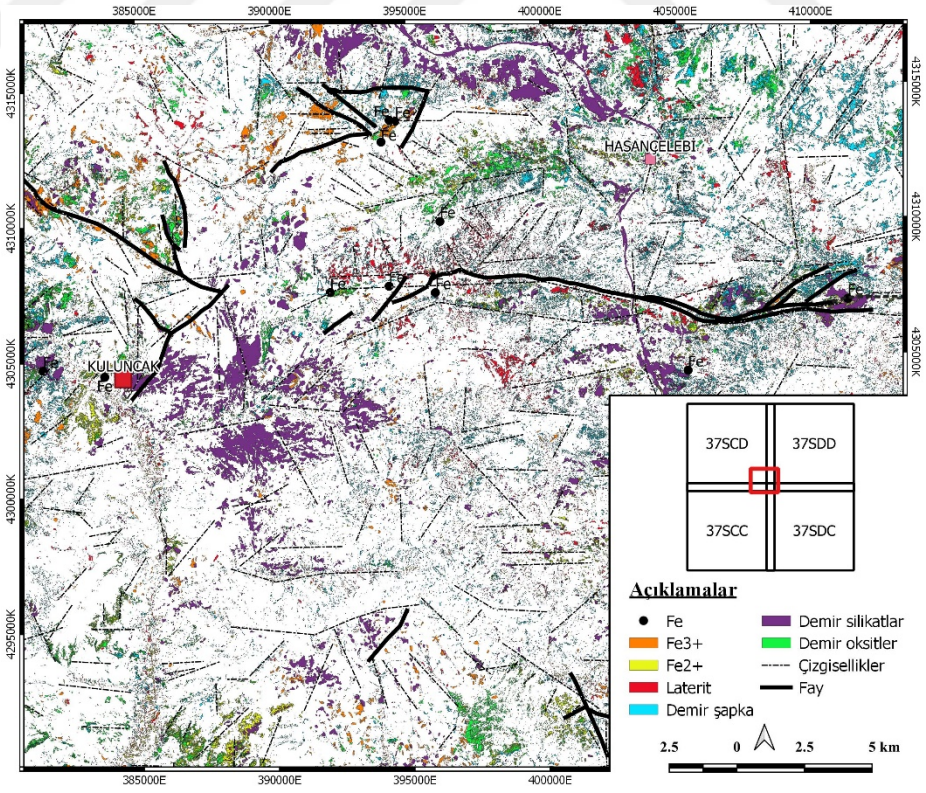
Şekil 5.52 Sentinel 2A B11/B4 (demir şapka) bant oranlaması ve elde edilen sınıflama dağılımı.



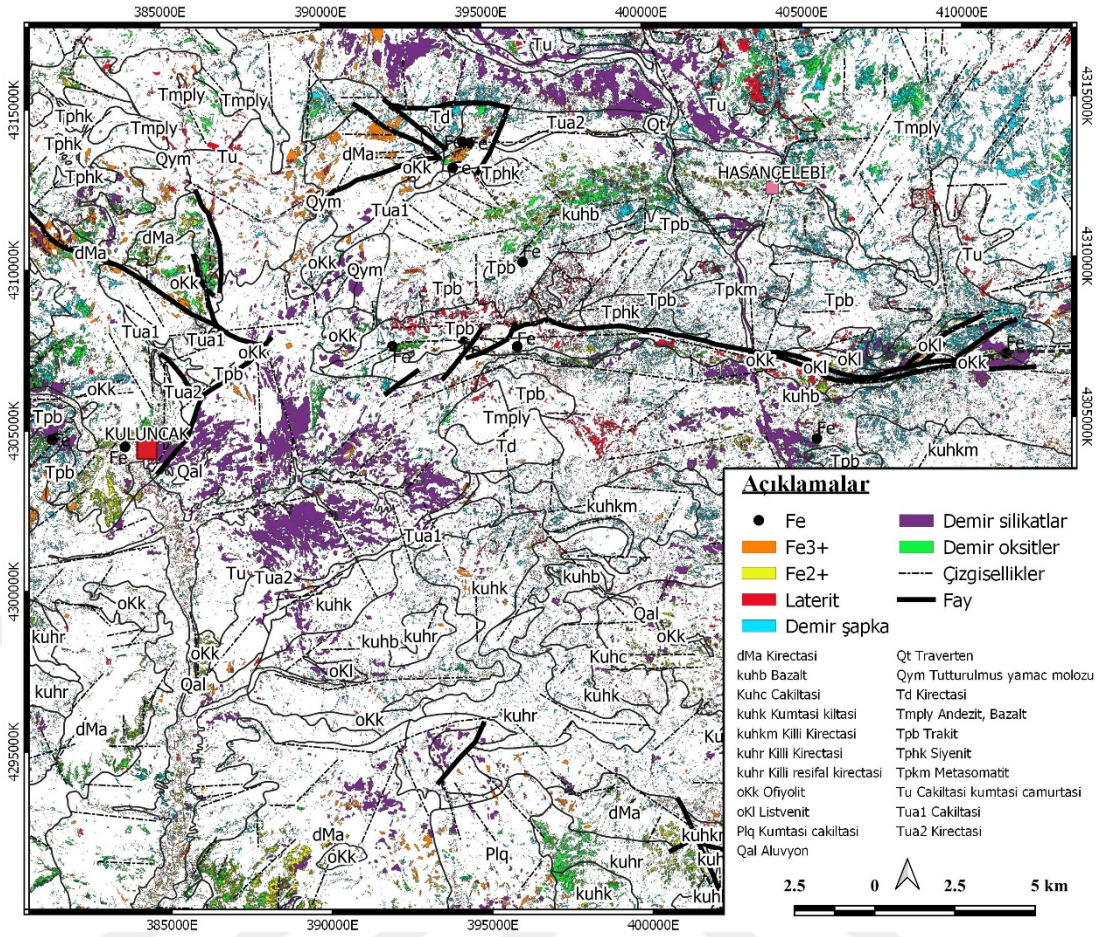
Şekil 5.53 Sentinel 2A B12/B11 (demir silikat) bant oranlaması ve elde edilen sınıflama dağılımı.



Şekil 5.54 Sentinel 2A B11/B8 (demir oksitler) bant oranlaması ve elde edilen sınıflama dağılımı.

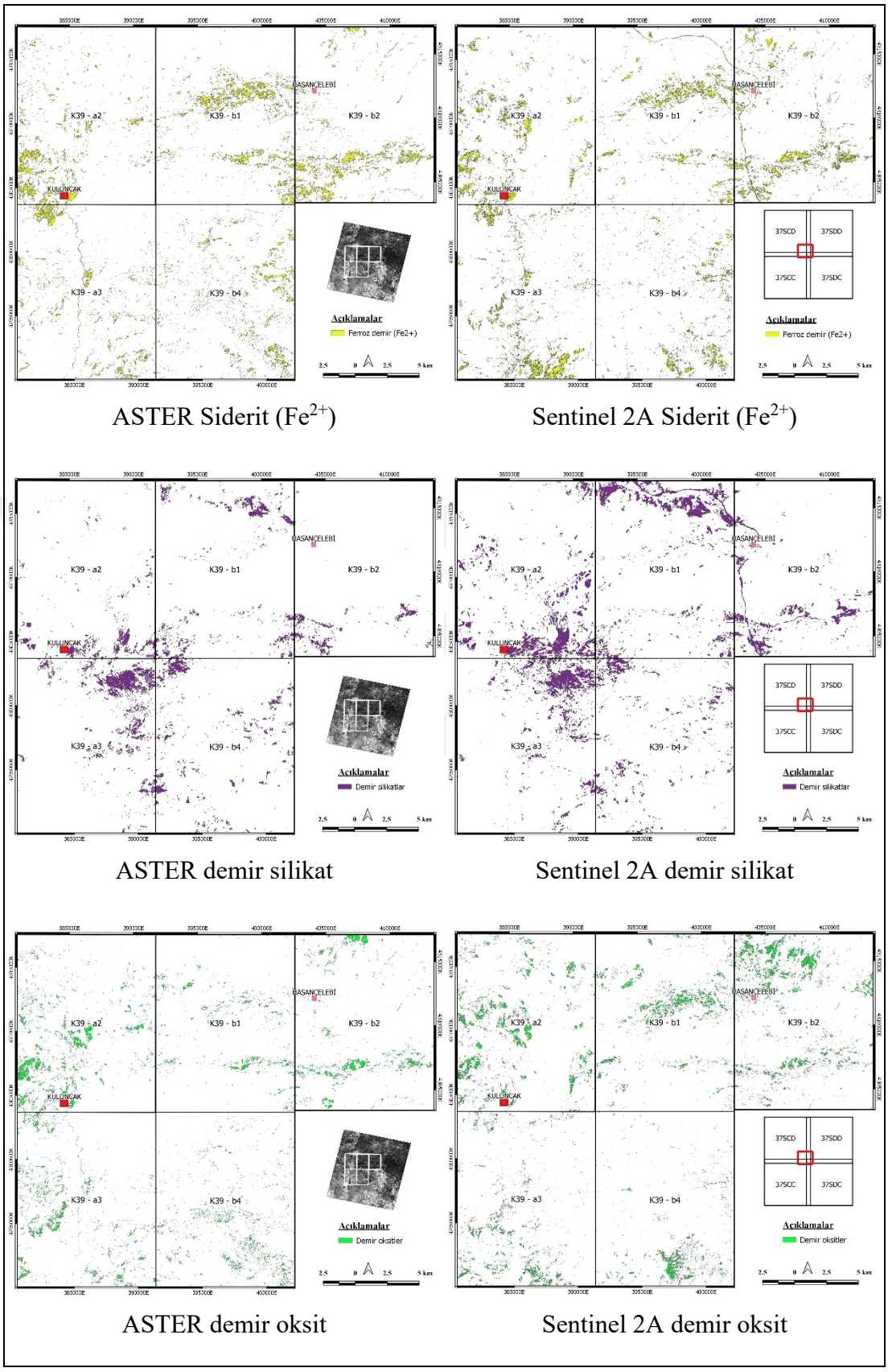


Şekil 5.55 Sentinel 2A bant oranlamalarıyla elde edilen demir oluşumlarının toplu dağılımı.



Şekil 5.56 Sentinel 2A bant oranlamalarıyla elde edilen demir oluşumlarının toplu dağılımı ve litoloji sınırları ile olan ilişkileri.

Sentinel 2A görüntülerinin analizlerinden elde edilen demirli oluşumlara ait sınıflama dağılımlarının, ASTER'den elde edilen sınıflama dağılımlarıyla büyük ölçüde uyumlu oldukları ortaya koyulmuştur. ASTER oran görüntülerde olduğu gibi, Sentinel 2A görüntülerde de bütün demirli oluşumlar içerisinde; Fe^{2+}, demir silikat ve demir oksitli dağılımlar, bilinen demir oluşumlarıyla ve aynı zamanda COF ile uyum göstermektedir (**Şekil 5.55**). Mevcut oluşumlar ve oran görüntüler ile tespit edilen demir dağılımlarının daha çok ofiyolitik kayaçlarla ve onların çevresindeki volkanik kayaçlarla ilişkili oldukları söylenebilir (**Şekil 5.56**). Ayrıca demirli oluşumlar her iki uydu görüntüsünde kendi aralarında karşılaştırıldıklarında; büyük ölçüde ortak olmakla birlikte, Sentinel 2A görüntülerden elde edilen sınıflama dağılımlarının, ASTER görüntülerden elde edilen sınıflama dağılımlarına göre, ortak alanlarda daha yoğun ve biraz daha fazla yüzey alanını kapladıkları görülmüştür (**Şekil 5.57**). Benzer bant aralıklarına rağmen Sentinel 2A uydusunun spektral çözünürlüğünün ASTER uydusuna göre daha düşük olmasının buna sebep olduğu düşünülmektedir.



ASTER Siderit (Fe^{2+}) Sentinel 2A Siderit (Fe^{2+})

ASTER demir silikat Sentinel 2A demir silikat

ASTER demir oksit Sentinel 2A demir oksit

Şekil 5.57 ASTER ve Sentinel 2A oran görüntülerde demirli oluşumların karşılaştırılması.

6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu tez çalışması kapsamında Malatya ili, Hekimhan, Kuluncak ilçeleri ve Hasançelebi arasındaki bölgede, 1/100.000 ölçekli K39 paftasının kuzey kesimlerine karşılık gelen, 1/25.000 ölçekli Malatya K39-a2,a3,b1,b2,b4 paftaları çalışılmıştır. Bölgenin jeolojisi ve alterasyon zonları, gerek klasik yöntemler, gerekse de uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak çalışılmıştır.

İnceleme alanında yüzeyleyen kayaç litolojilerinden 60 adet örnek alınmıştır. Örneklerden; kayaç tanımlamalarını ve sınıflamalarını yapmak için petrografik amaçlı ince kesitler yaptırılarak incelenmiştir. Petrografik incelemelerden elde edilen sonuçların önceki çalışmalarla uyumlu oldukları görülmüştür.

Jeokimyasal analizlere ait sonuçlar, plütonik kayaçlar ve volkanik kayaçlar için ayrı ayrı olmak üzere, iki ana başlık altında incelenmişlerdir. Analiz sonuçları, çeşitli iz ve ana element diyagramlarında kullanlarak sınıflama, tektonik köken ve magma tipi bakımından değerlendirilmişlerdir. Altere volkanik kayaçların sınıflandırılması için iyi sonuçlar veren, iz elementlerin kullanıldığı Nb/Y – Zr/Ti diyagramına göre; Bahçedamı Volkaniti ve Konukdere Metasomatiti alkali bazalt, Boyalı Volkaniti traki-andezit ve Yamadağ Volkaniti ise bazaltik andezit sonuçlarıyla petrografik tanımlamalarla oldukça uyumlu oldukları görülmüştür. Manto kökeni belirlemek için kullanılan Nb/-Ti/Y ve Nb/Yb-TiO_2/Yb diyagramlarına göre inceleme alanındaki volkanik kayaçların diyagramlardaki dağılımlarının genel olarak okyanus ortası sırt bazaltlarının zenginleşmiş kesimlerini (MORB-EMORB) işaret ettiği görülmüştür. Örneklerin tektonik ayrım için oluşturulmuş diyagramlarında ise (Nb-Zr-Y, Ti-Zr-Y, Zr-Zr/Y ve Ti-V) tüm kayaç grupları için plaka içi bazaltların (WPB) öne çıktığı söylenebilir.

Volkanik kayaç örneklerinin normalize edilmiş kondrit diyagramındaki dağılımları değerlendirildiğinde, önceki çalışmalarda farklı yaş ve sınıflamalarla gruplara ayrılan kayaçların, kondrit normalize edilmiş diyagramda tek bir kayaç grubu gibi dağılım sundukları görülmüştür. NTE sonuçları kondrite göre normalize edildiğinde; ağır nadir toprak element (ANTE: Ho, Er, Tm, Yb, Lu) bolluklarının, 2,79-83,33 kat, ortaç nadir toprak element (ONTE: Sm, Eu, Gd, Tb, Dy) bolluklarının 3,42-50,63 kat ve hafif

nadir toprak element (HNTE: La, Ce, Pr, Nd) bolluklarının ise 6,56-197,74 kat daha fazla zenginleştikleri görülmüştür.

Plütonik kayaçların sınıflandırılmasında kullanılan, SiO_2 – Na_2O+K_2O diyagramında örneklerin 4 tanesinin, Na_2O+K_2O oranı oldukça yüksek olan foid siyenit, 2 tanesinin siyenit ve diğerlerinin de foid monzo-gabro, foid gabro ve kuvars monzonit oldukları tespit edilmiştir. Bir diğer sınıflama olan A/CNK [Al_2O_3 / ($CaO+Na_2O+K_2O$)] - A/NK [Al_2O_3 / ($Na_2O+ K_2O$)] ve Na_2O-Al_2O_3-K_2O diyagramlarında ise örnekler benzer bir şekilde her iki diyagramda da metalumina - peralumina arasında bir dağılım göstermişlerdir. Magmanın köken sınıflaması için oluşturulan AFM diyagramında örneklerin kalk-alkali magma alanında yer aldıkları görülmüştür. Benzer bir magma kökeni sınıflaması için Co – Th içeriğine göre oluşturulmuş diyagramda ise örnekler benzer bir şekilde, kalk-alkali ve yüksek K içerikli kalk-alkali - şoşonitik alanda yer almışlardır. Tektonik açıdan köken belirlemek için iz element [(Y+Nb) – Rb, Y – Nb, (Ta+Yb)-Rb ve Yb – Ta] sonuçları değerlendirilmiştir. Buna göre; örneklerin plaka içi granitler (WPG), volkanik yay granitleri (VAG) ve çarpışmayla eş yaşlı granitlerin (syn-COLG) kesişiminde bir bölgede konumlandıkları görülmüştür. Manto kökenini belirlemek için oluşturulmuş, Nb / Yb – Th / Yb ve Nb / Yb – TiO_2 / Yb diyagramlarda ise örneklerin genel olarak okyanus ortası sırtı (MORB) alanlarına yakın bölgelerde konumlanmışlardır.

Petrografik incelemelerde diyorit olarak tanımlanmış örneklerden görece daha fazla NTE içeren ilk grupta, ağır nadir toprak elementlerin (ANTE: Ho, Er, Tm, Yb, Lu) kondrit normalize değerlere göre 12,22-43,29 kat, görece daha az NTE içeren diğer grubun ise 3,45-4,94 kat daha fazla zenginleştikleri görülmüştür. Ortaç nadir toprak elementler (ONTE: Sm, Eu, Gd, Tb, Dy), NTE yüksek grupta 30,11-83,47 ve düşük grupta 3,49-9,80 kat fazla, hafif nadir toprak elementler (HNTE: La, Ce, Pr, Nd) ise NTE yüksek grupta 121,08-781,05 ve düşük grupta 9,56-74,33 kat faz zenginleşmişlerdir.

Petrografik incelemelerde siyenitik karakterde oldukları tespit edilen örneklere ait diyagrama bakıldığında, benzer bir dağılım sundukları ve petrografik - jeokimyasal sonuçlarla da uyumlu oldukları görülmüştür. Örneklerin ağır nadir toprak elementlerine (ANTE: Ho, Er, Tm, Yb, Lu) ait bolluklarının kondrit değerlerine göre; 1,39-21,60 kat, ortaç nadir toprak elementlerinin (ONTE: Sm, Eu, Gd, Tb, Dy) 4,04-

39,49 kat ve hafif nadir toprak elementlerinin (HNTE: La, Ce, Pr, Nd) ise 28,33-168,06 kat fazla zenginleştikleri görülmüştür.

İnceleme alanı, NTE içeriği bakımından potansiyel bir saha olarak bilinmekte olup, bu çalışma kapsamında da NTE bollukları oldukça zengin olarak (~ 2 – 800 kat) tespit edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre; inceleme alanında yer alan, özellikle de plütonik kayaçların, NTE açısından oldukça önemli olduğu görülmüştür. İleri teknoloji ürünlerde hammadde olarak kullanımı gittikçe yaygınlaşan NTE'nin, gelecekte ülke ekonomisine önemli katkı sağlayabileceği düşünülmektedir. Bu sebeple; her ne kadar NTE bulguları uzaktan algılama çalışmalarıyla doğrudan tespit edilemiyor olsa da NTE içeren kayaç gruplarını belirlemeye yönelik benzer uzaktan algılama çalışmaları farklı sahalarda da yürütülmelidir.

Aynı örneklerden XRD ve spektroradyometre analizleri de birbirlerini doğrulama amaçlı olarak yapılmıştır. Spektral ölçümlerde tespit edilen doğruluğu yüksek mineraller ile spektral analizlerde saha spektralarıyla eşleşen kütüphane spektralarına karşılık gelen mineraller ve mineral gruplarının, özellikle alterasyon zonlarını temsil eden kil minerallerinin XRD ile tespit edilen mineral ve mineral grupları ile büyük ölçüde uyumlu oldukları görülmüştür.

ASTER DEM verilerinden elde edilen gölgeli kabartma görüntüler üzerine ana ve ara yönlerde ışık düşürülerek çizgisellik analizi yapıldığında, hâkim doğrultu yaklaşık D - B olarak bulunmuş olup, inceleme alanında varlığı önceden bilinen önemli süreksizliklerle uyumlu bir sonuç elde edilmiştir.

İnceleme alanı, Anadolu'da demir yatakları arasında önemli bir yeri olan Hasançelebi demir oluşumlarını da içerisine almaktadır. Bu sebeple, ASTER görüntüleri üzerinde demire karşı yüksek yansıma verebilen dalga boylarında birçok bant oranlama işlemi yapılarak, demir içeren oluşumların spektral olarak vurgulanması amaçlanmıştır. VNIR bölge bantları kullanılarak elde edilen oranlanmış görüntülerin paralel yüz (parallelepiped) algoritmasıyla sınıflama dağılımları oluşturulmuştur. Bütün sınıflamalar içerisinde demir zuhurlarının, çoğunlukla; demir oksitler, Fe^{2+} (siderit) ve demir silikatlara ait sınıflama dağılımlarıyla ve aynı zamanda inceleme alanının ortasında bulunan, yaklaşık D-B uzanımlı COF ile büyük ölçüde uyumlu oldukları görülmüştür. Oluşumlar ve uzaktan algılama ile tespit edilen demir dağılımları daha

çok inceleme alanındaki ofiyolitik kayaçlarla ve onların çevresindeki volkanik kayaçlarla ilişkili oldukları tespit edilmiştir.

Demir oluşumlarıyla ilgili benzer bir analiz Sentinel 2A görüntülerin VNIR bölgesinde de yapılmıştır. Analizlerinden elde edilen demirli oluşumlara ait sınıflama dağılımlarının, ASTER'den elde edilen sınıflama dağılımlarıyla büyük ölçüde uyumlu oldukları görülmüştür. Demirli oluşumların ASTER ve Sentinel 2A sonuçları detaylı olarak karşılaştırılmışlardır. Sonuçlar büyük ölçüde benzer olmakla birlikte, özellikle demir oksitte, Sentinel 2A dağılımlarının, ASTER dağılımlarına göre daha geniş alan kapladıkları (daha fazla piksel) görülmüştür. Bu farklılığın sebebi, Sentinel 2A uydusunun NIR bandının, ASTER NIR bandına göre spektrumda daha fazla alan kapsamasıdır. (ASTER NIR: 0,78-0,86µm ~ 80nm, Sentinel 2A NIR: 0,785-0,900µm ~ 115nm) Bu sebeple benzer çalışmalarda ASTER görüntülerinin kullanılmasının daha güvenilir sonuçlar sunacağı düşünülmektedir.

İllit grubu olarak da bilinen muskovit-serizit-illit-smektit mineralleri, fillik (serizitik) alterasyonu karakterize eden mineral birlikteliğidir. Bu mineraller, ASTER Bant 6'ya karşılık gelen 2,20 µm dalga boyunda hassas bir Al-OH absorpsiyonuna sahiptirler. Bu absorpsiyon özelliğine bağlı olarak; fillik endeksi (Rowan ve Mars 2003, Rowan vd. 2005 ve Ninomiya 2003a) ilgili minerallere duyarlı bantlarla oluşturulmuştur. İnceleme alanına ait görüntülere endeks uygulandığında, sedimanter alanlar gözardı edilecek olursa, alterasyon zonuna ait anahtar minerallerin daha çok; Bahçedamı Volkaniti (Kuhb) ve Yamadağ Volkaniti (Tmply) olarak haritalanmış alanlarda dağılım gösterdiği görülmüştür.

Cevherli zonu saran en dış zon ile en iç zon arasında bulunan arjilik zon; profillit, kaolen ve alunit ile karakterize edilir. Bu minerallerin hepsi ASTER Bant 5 (2.17µm)'te yüksek absorpsiyon özelliği sunmaktadırlar. İlgili mineraller için hassas bantlarla oluşturulmuş indeksle (Mars ve Rowan, 2006, Ninomiya, Y. 2003a) oluşturulmuş görüntüde yüksek yansıma veren piksellerin, Yamadağ ve Boyalı Volkaniti olarak haritalanmış alanlarda dağılım gösterdikleri tespit edilmiştir.

Propilitik alterasyon zonu cevherli zonu saran en dış alterasyon zonlanmasıdır. İnceleme alnında, SWIR bölgenin nispeten uzun dalga boylarında (ASTER B6, B7, B8 ve B9) belirgin ve benzer absorpsiyon özellikleri gösteren; kalsit - dolomit (CO_3) minerallerini içeren karbonatlı kayaçlar ve epidot, klorit ve amfibol (Fe, Mg-OH)

minerallerini içeren, altere ultramafik kayaçlar bir arada bulunmaktadır. Bu minerallerle ilgili bantlarla oluşturulmuş indeks görüntüde yapılan sınıflamada; Triyas - Kretase yaşlı karbonatlı kayaçlarla, Kretase yaşlı ofiyolitik kayaçlarla ve bunların ileri derece alterasyonları sonucu oluşmuş listvenitik kayaçlarla belirgin bir şekilde uyumlu oldukları sonucuna varılmıştır.

İnceleme alanına ait ASTER SWIR bantlarına TBD uygulanmıştır. Dönüşüm sonucunda albedo ve topografik etkileri azaltılmış, spektral varyansı yüksek bantlardan oluşan, jeolojik özellikleri ortaya çıkarma amaçlı bir RGB kompozit görüntü oluşturulmuştur. Kombinasyon görüntüde; açık mavi, mavimsi yeşil, sarı ve sarımsı yeşil tonların volkanik kayaçaları, açık yeşil ve kırmızımsı mor tonların ofiyolitik kayaçları, koyu yeşil tonların karbonatlı kayaçları ve pembemsi kırmızı tonların da daha çok kırıntılı kayaçları temsil ettiği görülmüştür.

ASTER'in gelişimiyle birlikte Crosta vd., (2003) TBA yöntemini önemli bir hidrotermal alterasyon mineralleri için kullanmışlardır. İnceleme alanında bulunan hidrotermal alterasyon mineralleri hedeflenerek yapılan TBA sonrasında Crosta Tekniği kullanılarak minerallerin absorpsiyon özelliklerine göre herbirisi için TB seçimi yapılmış ve sınıflama dağılımları oluşturulmuştur. Bant oranlaması ve TBA karşılaştırıldığında kaolinitlerin, kloritlere göre Crosta'nın tanımladığı TBA' de daha yoğun olarak gözlendiği ortaya çıkarılmıştır.

ASTER'in özellikle SWIR bantların sunduğu litolojik farklılıklarının ortaya çıkarılmasına ek olarak alterasyon mineralleri için de önemli tespitler yapıp yoğunlaşmalar hakkında bilgi vermesi de jeolojik uzaktan algılamanın önemli bilimsel getirilerinden birisini oluşturur. Özellikle çizgisellikler, dairesel yapılar ve alterasyon minerallerinin bir arada gözlendiği bölgeler önemli hedef sahaları oluşturabilecektir. Bu gibi bölgelere hem jeofizik hem de sondaj çalışmalarının yönlendirilmesi maden arama çalışmalarının ilerlemesi açısından akıllı seçimler olacaktır.

İnceleme alanına ait ASTER SWIR bantlarına, tıpkı PCA dönüşümünde hidrotermal alterasyon minerallerinin tespit edildiği gibi jeolojik farklılıkları ve ayırt edilebilen mineralleri vurgulamak için MNF dönüşümü uygulanmıştır. MNF dönüşümü yapıldıktan sonra elde edilen bantlar arasında ilk üç bantta ve ihtiyaç duyulması halinde 4. Bantta, gürültünün en az ve spektral varyansın en yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu bantlarla bir RGB kombinasyonu oluşturulmuş ve jeolojik farklılıklar

belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen görüntüde litolojik farklılıklar renklerle çok net bir şekilde ortaya koyulmuştur. Sarı, açık yeşil ve açık mavi alanlar magmatik kayaçların, koyu yeşil alanlar kırıntılı kayaçların, kırmızımsı alanlar ofiyolitik kayaçların ve mor alanlar ise karbonatlı kayaçların gözlendiği alanlarla uyumlu bir şekilde oldukları görülmektedir.

MNF dönüşümünden sonra spektral kum saati akışı kullanılarak (spektral saflık endeksi) saf pikseller belirlenmiş ve bunlardan yola çıkılarak gürültüsü ayrıştırılmış bantlardan, SAM algoritması kullanılarak spektrak farklılığı olan pikseller sınıflandırılmıştır. Elde edilen sınıflama görüntüsü litoloji sınıflarıyla karşılaştırılmıştır. Sınıflamaların nispeten yoğunlaştığı alanlar dikkate alındığında; em1(kırmızı) sınıfının siyenitik, trakitik ve bazaltik kayaçlarla, em3 (yeşil) sınıfının ofiyolitik kayaçlarla, em4 (mavi) sınıfının karbonatlı kayaçlarla ve em5 (sarı) sınıfının da kırıntılı/karbonatlı kayaçlarla büyük ölçüde uyumlu oldukları ortaya koyulmuştur.

PCA ve MNF dönüşümleri ile oluşturulmuş kombinasyon görüntüler, litolojik ayrımlama bakımından karşılaştırıldığında, özellikle de ofiyolitik kayaçların tespit edilmesinde MNF tekniğinin saha bulgularıyla birebir örtüşen sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu sebeple ofiyolitik kayaçların haritalanmasında MNF dönüşümünün daha doğru sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Abrams, M., Ashley, R., Rowan, L., Goetz, A., Kahle, A. (1977). Mapping hydrothermal alteration in the Cuprite mining district, Nev., using aircraft scanner imagery for the 0.46–2.36 micron spectral region. *Geology*, 5, 713–718.

Abrams, M., Hook, S., & Ramachandran, B. (2002). ASTER user handbook, version 2. Jet propulsion laboratory, 4800, 135.

Abrams, M., Crippen, R., & Fujisada, H. (2020). ASTER Global Digital Elevation Model (GDEM) and ASTER Global Water Body Dataset (ASTWBD). *Remote Sensing*, *12*(7), 1156. MDPI AG. Retrieved from http://dx.doi.org/10.3390/rs12071156

Additional data analyses were done using ENVI version 5.6. (2021). Exelis Visual Information Solutions, Boulder, Colorado.

Atabey, E., Bağırsakçı, S., Canpolat, M., Gökkaya, K. Y., Günal, S. ve Kılıç, N. (1994). Gürün, Kangal (Sivas)-Darende, Hasançelebi (Malatya) arasının jeolojisi. *MTA Derleme* Rapor No. 9760 (yayımlanmamış).

Baldridge, A. M., S.J. Hook, C.I. Grove and G. Rivera. (2009). The ASTER Spectral Library Version 2.0. *Remote Sensing of Environment*, vol 113, pp. 711-715.

Beyazpirinç, M., Akçay, A. E., Metin, Y., Taptık, M. A., Öcal, H., Çobankaya, M., ... & Rızaoğlu, T. (2010). Doğu Toroslar'ın jeodinamik evrimi (Sivas-Malatya-Kahramanmaraş-Kayseri) 2008 yılı arazi raporu. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlügü, Rapor, (11331).

Bertoldi, L., Massironi, M., Visona, D., Caros, R., Montomoli, C., Gubert, F., Naletto, G., Pelizzo, M. (2011). Mapping the Buraburi granite in the Himalaya of Western Nepal: Remote sensing analysis in a collisional belt with vegetation cover and extreme variation of topography. *Rem Sens. Environ*., 115, 1129–1144.

Bierwirth, P. (2002). Evaluation of ASTER satellite data for geological applications. Consultancy Report to Geoscience Australia.

Boardman, J. W. (1993). Automating spectral unmixing of AVIRIS data using convex geometry concepts. In *Proc. Summaries 4th Annu. JPL Airborne Geosci. Workshop* (Vol. 1, pp. 11-14).

Booth, M. G., Robertson, A. H. F., Taslı, K., İnan, N. (2014). Late Cretaceous to Late Eocene Hekimhan Basin (Central Eastern Turkey) as a supra-ophiolite sedimentary/magmatic basin related to the later stages of closure of Neotethys. *Tectonophysics*, 635 (2014) 6–32.

Boynton, W.V. (1984). Geochemistry of Rare Earth Elements: Meteorite Studies. In: Henderson, P., Ed., *Rare Earth Element Geochemistry*, Elsevier, New York, 63-114.

Bozkaya, Ö., ve Yalçın, H. (1992). Hekimhan Havzası Üst Kretase- Tersiyer İstifinin Jeolojisi. *TPJD Bülteni*, C.4/1,59-80.

Boztuğ, D., ve Yılmaz. S. (1992). Konukdere metasomatitinin (Hekimhan-Hasançelebi. KB Malatya) petrolojisi. 45. *Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri*, 38-39.

Boztuğ, D., and Arehar, G.B. (2006). Oxygen and sulfur isotope geochemistry revealing a significant crustal signature in the genesis of the post-collisional granitoids in central Anatolia, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 30 403–416.

Clark, R.N., G.A. Swayze, A.J. Gallagher, T.V.V. King, and W.M. Calvin. (1993). The U. S. Geological Survey, Digital Spectral Library: Version 1: 0.2 to 3.0 microns, U.S. Geological Survey Open File Report 93-592, 1340 pages.

Copernicus Sentinel data (2019). Retrieved from ASF DAAC [06 04 2020], processed by ESA.

Crosta, A.P., and Moore, J. McM. (1989). Enhancement of Landsat Thematic Mapperimagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State Brazil: a prospecting case history in greenstone belt terrain. *Proceedings of the 9th Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology*, Calgary (Ann Arbor, MI: Environmental Research Institute of Michigan), pp. 1173–1187.

Crosta, A.P., De Souza, C., Azevedo, F. (2003). Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis. *Int. J. Remote Sens*., 24, 4233–4240.

Çimen, O. (2021). Kişisel görüşme. *Munzur Üniversitesi,* Tunceli.

Dilek, Y., and Furnes, H. (2019). Tethyan ophiolites and Tethyan seaways. *Journal of the Geological Society*, 176(5), 899-912.

Exelis Visual Information Solutions. (2010). ENVI Classic Help. Boulder, Colorado: Exelis Visual Information Solutions. pages used.

Ge, W., Cheng, Q., Jing, L. Armenakis, C. (2018). Ding, H. Lithological discrimination using ASTER and Sentinel-2A in the Shibanjing ophiolite complex of Beishan orogenic in Inner Mongolia, China. *Adv. Space Res.,* 62, 1702–1716.

Garfunkel, Z., (2004). Origin of the Eastern Mediterranean basin: a reevaluation. *Tectonophysics,* 391, 11-34.

Green, A. A., Berman, M., Switzer, P. and Craig, M. D. (1988). A transformation for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 26, no. 1, pp. 65-74, Jan. 1988, doi: 10.1109/36.3001.

Goetz, A., Billingsley, F., Elston, D., Lucchitta, I., Shoemaker, E., Abrams, M., Gillespie, A., Squires, R. (1975). Applications of ERTS Images and Image Processing to Regional Problems and Geologic Mapping in Northern Arizona, *NASA/JPL Technical Reports,* 32-1597, NASA: Pasadena, CA, USA.

Gomez, C., Delacourt, C., Allemand, P., Ledru, P., Wackerle, R. (2005). Using ASTER remote sensing data set for geological mapping, in Namibia. *Phys. Chem. Earth,* 30, 97–108.

Görür, N. (1988). Timing of opening of the Black Sea basin. *Tectonophysics*, 147, 247-262.

Grove, C. I., Hook, S. J., and Paylor, E. D. (1992). Laboratory reflectance spectra for 160 minerals 0.4 - 2.5 micrometers: JPL Publication 92-2, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA.

Gürer, Ö.F. (1992). Hekimhan-Hasançelebi (Malatya) dolayının jeoloji incelemesi. *İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü* (Doktora Tezi), 323s., İstanbul.

Gürer, Ö.F. (1994). Hekimhan-Hasançelebi yöresinin Üst Kretase stratigrafisi ve havza evrimi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, C.37, Sayı 2,135-148.

Gürer, Ö.F. (1996). Hekimhan yöresindeki alkali magmatik kayaların jeolojik ve petrolojik incelenmesi. *Tr. J. Of Earth Sciences* 5, 71-88 TÜBİTAK

Hastie, A.R., Kerr, A.C., Pearce, J.A. & Mitchell, S.F. (2007). Classification of altered volcanic island rocks using immobile trace elements: development of the Th-Co discrimination diagram. *Journal of Petrology* 48, 2341−2357.

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

HGM. (2019) Renkli sayısal hava fotoğrafı (152 adet).

Hubbard, B. E., Crowley, J. K., and Zimbelman, D. R. (2003). Comparative alteration mineral mapping using visible to shortwave infrared (0.4-2.4/spl mu/m) hyperion, ali, and aster imagery. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing,* 41(6), 1401-1410.

Irvine, T.N. and Baragar, W.R.A. (1971). A Guide to the Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8, 523-548.

İnan, S., Öztürk, A., & Gürsoy, H. (1993). Ulaş-Sincan (Sivas) yöresinin stratigrafisi. *Doğa-Türk Yerbilimleri Dergisi*, 2, 1-15.

İzdar, K.E. ve Ünlü, T. (1977). Hekimhan-Hasançelebi-Kuluncak Bölgesinin Jeolojisi. *Uluslararası 6. Ege Jeolojisi Kollogyumu*, 303-330, İzmir.

Jacobson, H.S., Kendiroğlu, Z., Boğaz, R., Özdemir, C., Gürel, A.N. (1970). Geology and mineral deposits of Hekimhan-Hasancelebi iron district, Turkey. Turkey Investigation Report (IR) TU-16, *U. S. Geological Survey*, Open file report : 72 – 186.

Jolivet, L., (2001). A comparison of geodetic and finite strain in the Aegean, geodynamic implications. Earth and Planetary Science Letters 187, 95-104.

Kalinowski, A., Oliver, S., (2004). ASTER mineral index processing manual. Tech. rep., Geoscience Australia. October 2004.

Ketin. İ. (1966). Anadolu'nun tektonik birlikleri. *MTA Derg*.. 66. 23-24. Ankara.

Kruse, F., Boardman, A., Lefko, A.;,Heidebrecht, K., Shapiro, A., Goetz, A. (1993). The spectral image processing system (SIPS)-Interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data. *Remote Sens. Environ*., 44, 145–163.

Kuşcu, İ., Yılmazer, E., Demirela, G., Gülenç, N., Kuşcu, G., Kaymayçı, N., Gökçe, H., Salış, B., Marschik, R. (2007). "Hasançelebi-Hekimhan (Malatya) Bölgeleri Demiroksit Yataklarının Demiroksit-Bakır-Altın (DOBA) Yatakları Açısından İncelenmesi ve Bakır-Altın Potansiyellerinin Araştırılması (TÜBİTAK ÇAYDAG 103Y023). *Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu*, Ankara.

Leo, G, W., Marvin, R, F., and Mehnert, H, H. (1974). Geologic framework of the Kuluncak - Sofular area, East - Central Turkey, and K - Ar ages of igneous rocks, *Geological Society of America Bulletin*, 85/11, 1785-1788.

Leo, G.W., Avcı, M., Kılıç, M., Önder, E., Altunlu, E. (1971). Kuluncak-Sofular Sahasındaki Mineral Kaynakları ve Jeolojisi. *MTA Derleme* No:4907 (yayınlanmamış).

Loughlin, W.P. (1991). Principal Component Analysis for Alteration Mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57, 1163-1169.

Lowell JD. and Guilbert JM. (1970). Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits. Econ Geol. 65:373–408.

Mars, J., Rowan, L. (2006). Regional mapping of phyllic- and argillic-altered rocks in the Zagros magmatic arc, Iran, using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data and logical operator algorithms. *Geosphere*, 2, 161–186.

Mazer, A. S., M. Martin, M. Lee, and J. Solomon. (1988) "Image Processing Software for Imaging Spectrometry Analysis." *Remote Sensing of Environment* 24, No. 1: 201-210.

Meerdink, S. K., Hook, S. J., Roberts, D. A., & Abbott, E. A. (2019). The ECOSTRESS spectral library version 1.0. *Remote Sensing of Environment*, 230 (111196), 1–8.

Meschede, M. (1986). A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with Nb–Zr–Y diagram. *Chem. Geol*. 56, 207–218.

Metin, Y., Vergili, Ö., Çörekçioğlu, E., Öcal, H., Taptık, M. A., Çobankay, M., Duygu, L., Tunçdemir, V., Duran, S., Bağcı, U., Rızaoğlu, T., Uçar, L., Sevimli, U. İ. (2013). Doğu Toroslar'ın Kuzey Kesiminin Jeodinamik Evrimi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: , 263 s., Ankara (yayımlanmamış).

Middlemost, E.A.K. (1994). Naming minerals in the magma/igneous rock system, *Earth Science Review*, 37:215-224

Moore, F., Rastmanesh, F., Asadi, H., Modabberi, S. (2008) Mapping mineralogical alteration using principal-component analysis and matched filter processing in the Takab area, north-west Iran, from ASTER data. *Int. J. Remote Sens.,* 29, 2851–2867.

NASA/METI/AIST/Japan Spacesystems and U.S./Japan ASTER Science Team (2001). *ASTER DEM Product* [AST14DEM_00305192005082601_1178]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. Accessed 2021-06-06 from https://doi.org/10.5067/ASTER/AST14DEM.003.

NASA/METI/AIST/Japan Spacesystems and U.S./Japan ASTER Science Team (2006). *ASTER On-Demand L2 Surface Reflectance VNIR and SWIR Crosstalk-Corrected* [AST_07XT_00305192005082601_20200416060309_30009]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. Accessed 2021-06-06 from https://doi.org/10.5067/ASTER/AST_07XT.003.

Ninomiya, Y. (2003a) Rock type mapping with indices defined formultispectral thermal infrared ASTER data: case studies. *Proc SPIE* 4886:123–132

Ninomiya, Y., Fu, B., Cudahy, T. (2005). Detecting lithology with Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer (ASTER) multispectral thermal infrared "radiance-at-sensor" data. *Remote Sens. Environ*., 99, 127–139.

Okay, A.I. (2008). Geology of Turkey: A Synopsis. *Anschnitt*, 21, 19-42.

Özkan, M., Celik, O., Ozyavas. (2018). A. Lithological discrimination of accretionary complex (Sivas, northern Turkey) using novel hybrid color composites and field data. *J. Afr. Earth Sci*., 138, 75–85.

Özgenç, I., and Ilbeyli, N. (2008). Geochemical constraints on petrogenesis of Late Cretaceous alkaline magmatism in east-central Anatolia (Hasancelebi–Basören, Malatya), Turkey. *Miner Petrol*, 95:71–85.

Parlak, O., Yılmaz, H., and Boztuğ, D. (2006). Origin and tectonic significance of the metamorphic sole and isolated dykes of the Divriği ophiolite (Sivas, Turkey): evidence for slab break-off prior to ophiolite emplacement. *Turkish Journal of Earth Sciences,* 15(1), 25-45.

Pearce, J.A. and Cann, J.R. (1973). Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth and Planetary Science Letters* 19, 290-300.

Pearce, J. A., and M. J. Norry. (1979) "Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y, and Nb variations in volcanic rocks." *Contributions to mineralogy and petrology* 69.1: 33-47.

Pearce, J. A. (1982). Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In R. S. Thorpe (Ed.), *Andesites* (pp. 525–548). New York, NY: Wiley.

Pearce, J.A., Harris, N.B.W. and Tindle, A.G. (1984). Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology 25*: 956-983.

Pearce, J. A. (1996). A users guide to basalt discrimination diagrams. In D. A. Wyman (Ed.), Trace element geochemistry of volcanic rocks: *Applications for massive sulphide exploration* (Vol. 12, pp. 79–113). St. John's: Geochemistry, Geological Association of Canada, Short Course Notes.

Pearce, J.A. (2008). Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and search for Archean oceanic crust. *Lithos* 100, 14–48

Pour, A., Hashim, M. (2011). Identification of hydrothermal alteration minerals for exploring of porphyry copper deposit using ASTER data, SE Iran. *J. Asian Earth Sci.,* 42, 1309–1323.

Pournamdari, M., Hashim, M., Pour, A. (2015). Spectral transformation of ASTER and Landsat TM bands for lithological mapping of Soghan ophiolite complex, South Iran. *Adv. Space Res*., 54, 694–709.

QGIS Development Team. (2021). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. http://qgis.osgeo.org

Qiu, F., Abdelsalam, M., Thakkar, P. (2006). Spectral analysis of ASTER data covering part of the Neoproterozoic Allaqi-Heiani suture, Southern Egypt. *J. Afr. Earth Sci*., 44, 169–180.

Rızaoğlu, T., Bağcı, U., Parlak, O., Robertson, A.H.F., Metin, Y., Vergili, Ö., Booth, M., (2010). Tectonic Setting of Ophiolitic Rocks From The Hekimhan-Kuluncak (Malatya) Region, SE Turkey. 7th International Symposium On Eastern Mediterranean Geology, 18-22 October, 2010. Adana-Turkey, p 5.

Robertson, A. H. F., Parlak, O., Metin, Y., Vergili, Ö., Taslı, K., İnan, N., & Soycan, H. (2013b). Late Palaeozoic–Cenozoic tectonic development of carbonate platform, margin and oceanic units in the Eastern Taurides, Turkey. *Geological Society*, Special Publications. Vol. 372, pp. 167–218, London.

Rockwell, B., Hofstra, A. (2008). Identification of quartz and carbonate minerals across northern Nevada using ASTER thermal infrared emissivity data-Implications for geologic mapping and mineral resource investigations in well-studied and frontier areas. *Geosphere*, 4, 218–246.

Rothery, D., (1987). Improved discrimination of rock units using Landsat Thematic Mapper imagery of the Oman Ophiolite. *J. Geol. Soc. Lond*., 144, 587–597.

Rowan, L., Mars, J. (2003). Lithologic mapping in the Mountain Pass, California area using ASTER data. *Remote Sens. Environ*., 84, 350–366.

Rowan, L., Mars, J., Simpson, C. (2005). Lithologic mapping of the Mordor, NT, Australia ultramafic complex by using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER). *Remote Sens. Environ*., 99, 105–126.

Sabins, F. (1975). Remote Sensing: Principles and Interpretation; *W. H. Freeman*: San Francisco, CA, USA, p. 426.

Sabins, F. (1999). Remote sensing for mineral exploration. *Ore Geol. Rev*., 14, 157–183.

Salisbury, J. W., Walter, L. S., Vergo, N., and D'Aria, D. M., (1991b). Infrared (2.1-25 micrometers) Spectra of Minerals: Johns Hopkins University Press, 294 pp.

Salehi, S., Mielke, C., Brogaard Pedersen, C. & Dalsenni Olsen, S. (2019). Comparison of ASTER and Sentinel-2 spaceborne datasets for geological mapping: a case study from North-East Greenland. Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin 43, e2019430205. https://doi.org/10.34194/GEUSB-201943-02-05.

Shand, S.J. (1943) Eruptive Rocks. Their Genesis Composition. Classification, and Their Relation to Ore-Deposits with a Chapter on Meteorite. *John Wiley & Sons*, New York.

Shervais, J. W. (1982). Ti-V plots and the petrogenesis of modern ophiolitic lavas. *Earth and Planetary Science Letters*, 59, 101–118.

Testa, F., Villanueva, C., Cooke, D., Zhang, L. (2018). Lithological and hydrothermal alteration mapping of epithermal, porphyry and tourmaline breccia districts in the Argentine Andes using ASTER imagery. *Remote Sens*., 10, 203.

Uçurum, A. (1992). Hasançelebi kuzeyinin (KB Malatya) jeolojisi ve volkanitlerin mineraloji-petrografik ve jeokimyasal incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Cumhuriyet Üniversitesi*, Sivas, (yayımlanmamış), 124s.

Url-1 <*https://earthdata.search.nasa.gov*>, alındığı tarih: 27.10.2020.

Url-2 <*https://apps.sentinel-hub.com*>, alındığı tarih: 06.04.2020.

Url-3 <*https://www.mta.gov.tr/ucretli-isler/liste/test-ve-analizler/test/index.php>,* alındığı tarih: 01.14.2021.

Url-4 <*https://www.malvernpanalytical.com*> alındığı tarih: 08.20.2019.

Url-5 <*https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides*>, alındığı tarih: 06.04.2020.

Url-6 <https://www.l3harrisgeospatial.com/docs/spectralhourglasswizard.html>, alındığı tarih: 05.03.2021.

Van Der Meer, F., Vazquez-Torres, M., Van Dijk, P. (1997). Spectral characterization of ophiolite lithologies in the Troodos Ophiolite complex of Cyprus and its potential in prospecting for massive sulfide deposits. *Int. J. Remote Sens*., 18, 1245–1257.

Volesky, J., Stern, R., Johnson, P. (2003). Geological control of massive sulfide mineralization in the Neoproterozoic Wadi Bidah shear zone, southwestern Saudi Arabia, inferences from orbital remote sensing and field studies. *Precambrian Res.,*123, 235–247.

Watts, D., Harris, N. (2005). Mapping granite and gneiss in domes along the North Himalayan antiform with ASTER SWIR band ratios. *Geol. Soc. Am. Bull*., 117, 879–886.

Whitney, D.L. and Evans, B.W. (2010) Abbreviations for Names of Rock-Forming Minerals. *American Mineralogist*, 95, 185-187.

Yajima, T., Yamaguchi, Y. (2013). Geological mapping of the Francistown area in northeastern Botswana by surface temperature and spectral emissivity information derived from ASTER thermal infrared data. *Ore Geol. Rev*., 53, 134–144.

Yalçın, H., Gündoğdu, M.N., Gaurgoud, A., Vidal, P., Uçurum, A. (1998). Geochemical characteristics of Yamadağı volcanics in Central East Anatolia: An example from collision-zone volcanism. Journal of Volcanology and Geothermal Research. *Special issue, Volcanism in Anatolia*, 85, 303-326.

Yalçın, H., Bozkaya, Ö. (2002). Hekimhan (Malatya) çevresindeki Üst Kretase yaşlı volkaniklerin alterasyon mineralojisi ve jeokimyası: deniz suyu-kayaç etkileşimine bir örnek. *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi Seri A-Yerbilimleri*, 19, 81-98.

Yamaguchi, Y., Naito, C. (2003). Spectral indices for lithologic discrimination and mapping by using the ASTER SWIR bands. *Int. J. Remote Sens*., 24, 4311–4323.

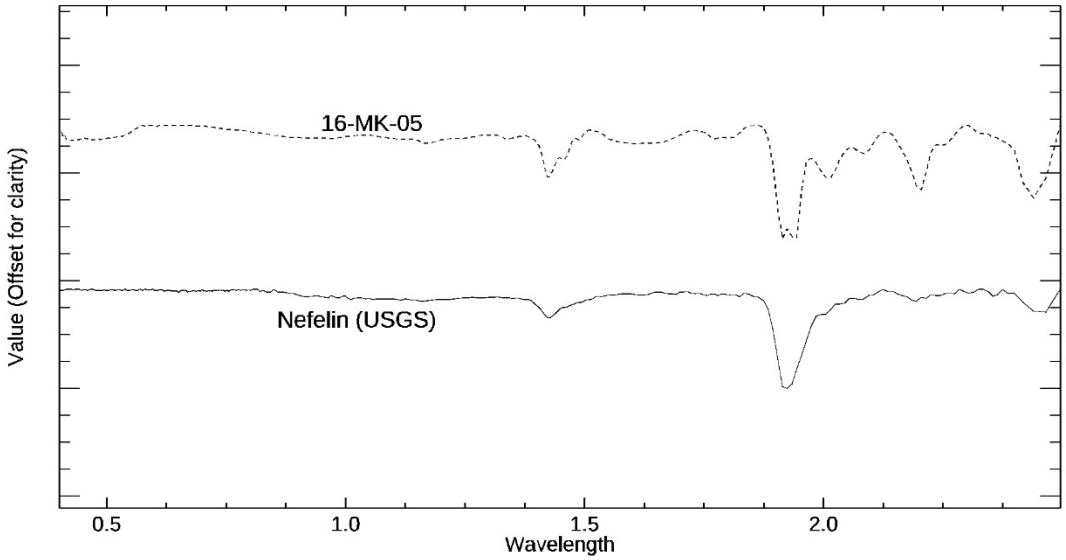
Yılmaz, H., Bilgin, R., Baysal, M., Türkyılmaz, B. (1998). Hasançelebi (Hekimhan-Malatya) batısının Jeolojisi. *MTA Maden Etüt ve Arama Dairesi arşivi.*

Yılmaz, S. (1991). Hekimhan-Hasançelebi (KB Malatya) yöresi jeolojisi ve magmatitlerin mineralojik-petrografik ve jeokimyasal incelenmesi. *Cumhuriyet Üniversitesi*, Yüksek Lisans Tezi, (yayınlanmamış), 256s.

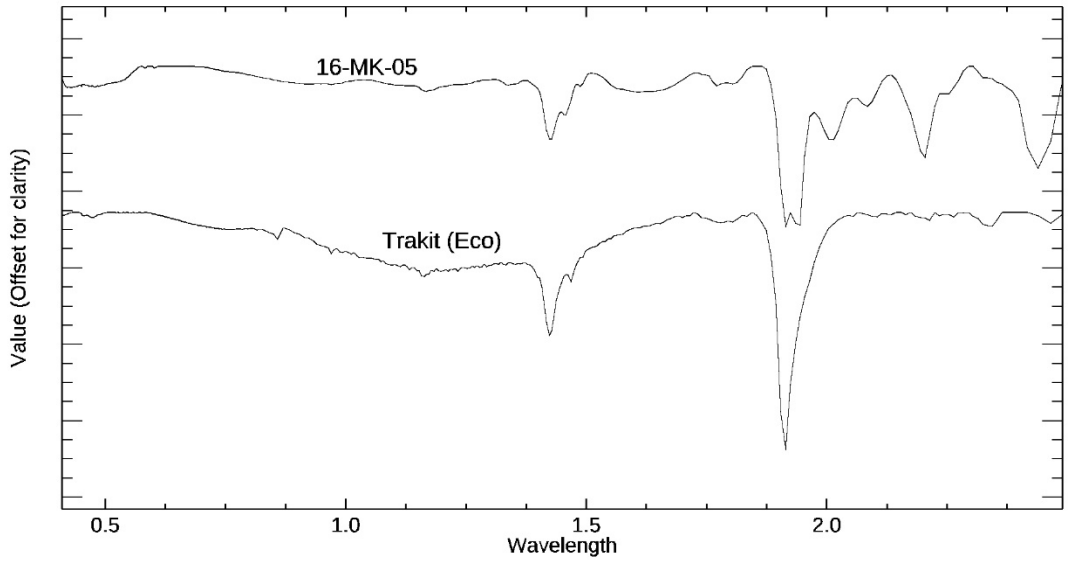
EK-1

MİNERAL VE KAYAÇ SPEKTRASI ANALİZ SONUÇLARI

Mineral spektrası



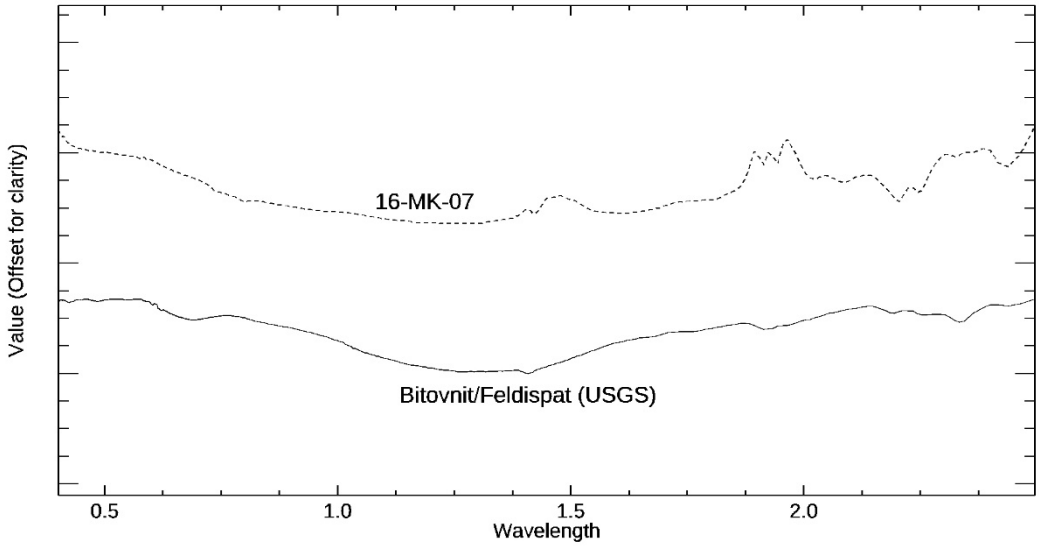
Kayaç spektrası



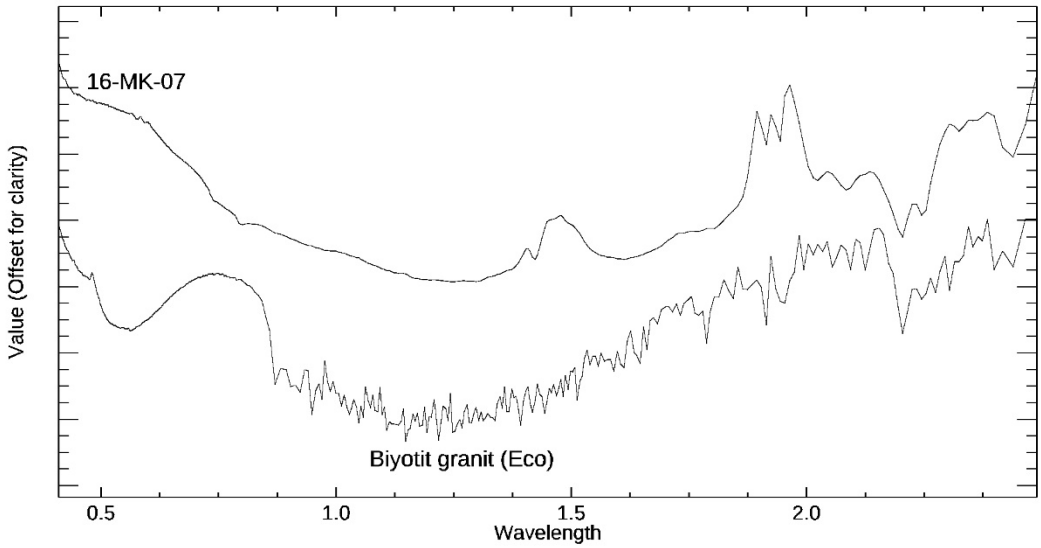
El örneği



Mineral spektrası



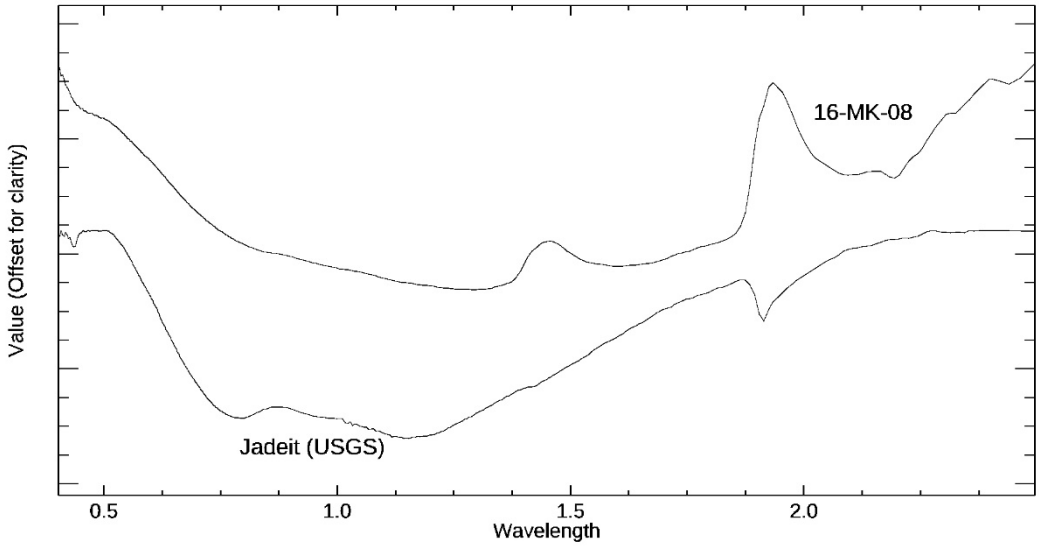
Kayaç spektrası



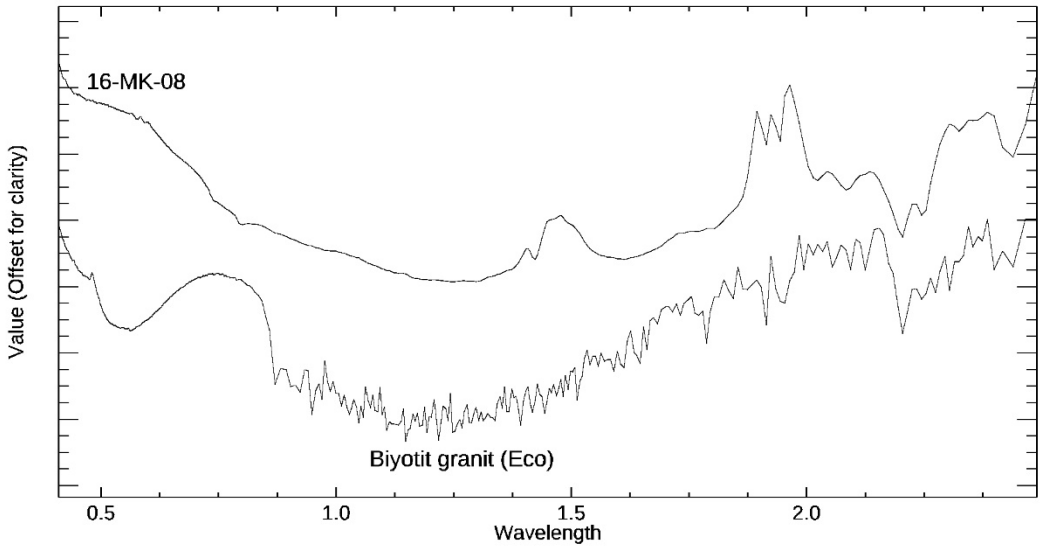
El örneği



Mineral spektrası



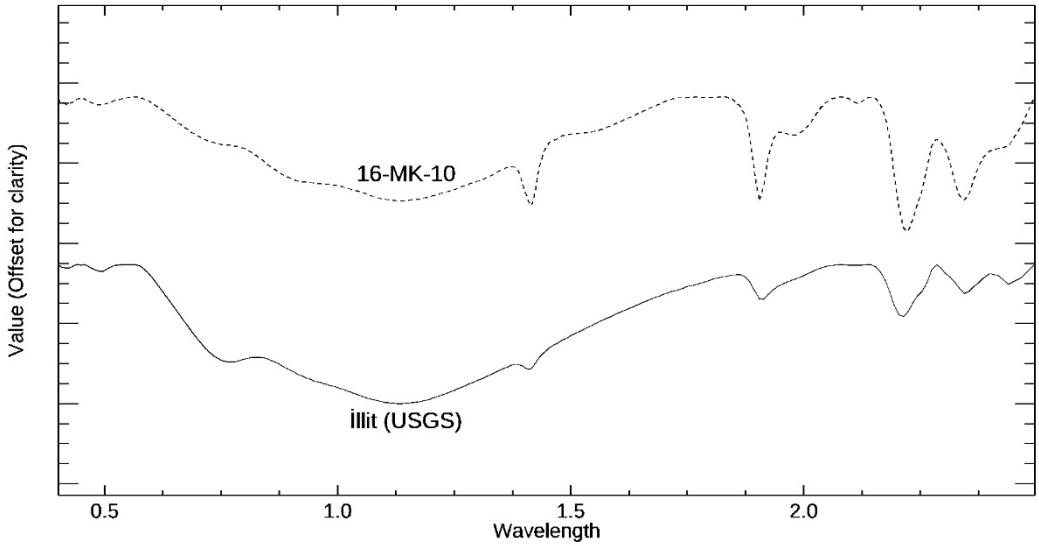
Kayaç spektrası



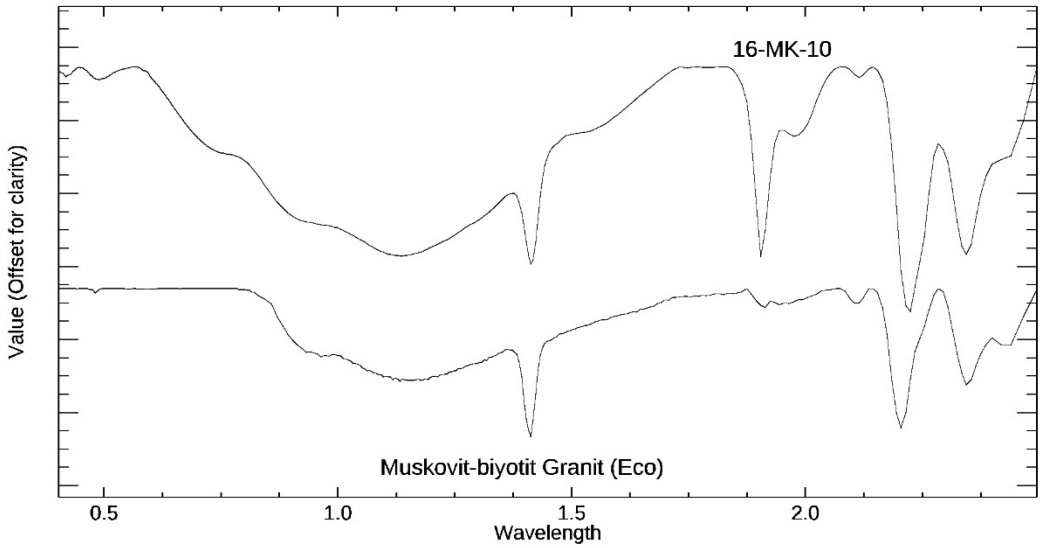
El örneği



Mineral spektrası



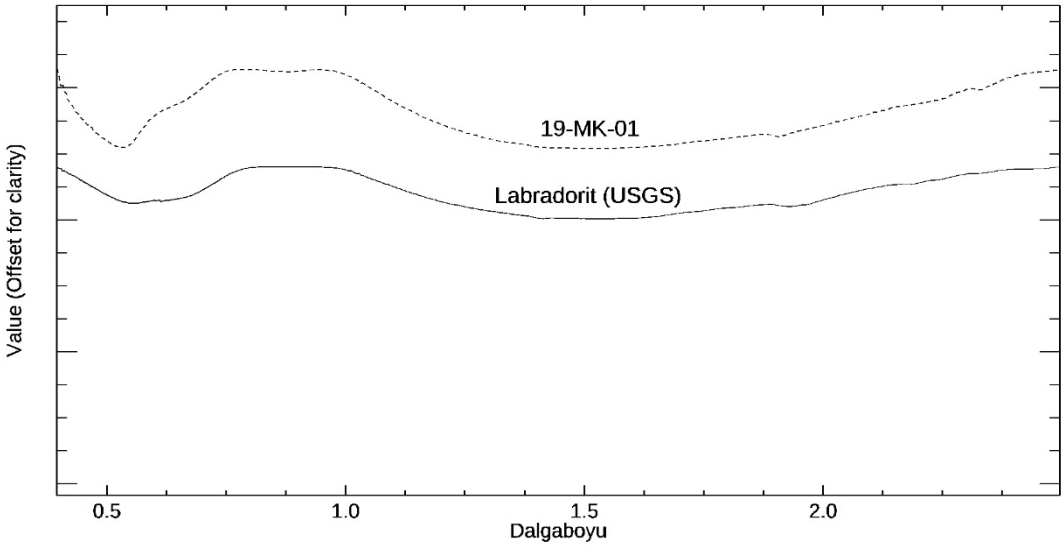
Kayaç spektrası



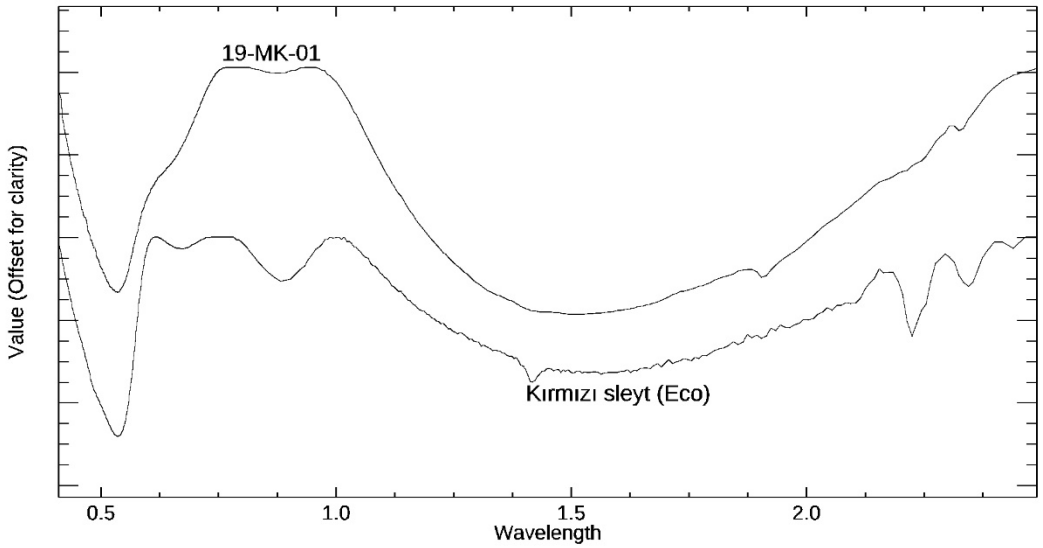
El örneği



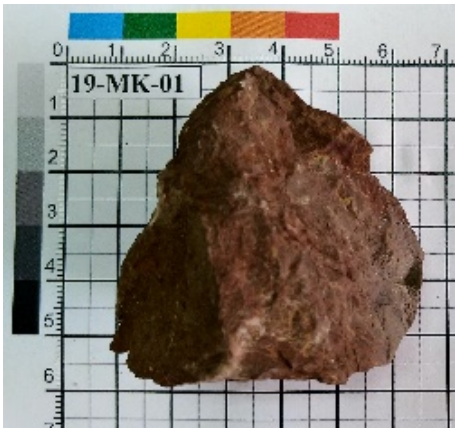
Mineral spektrası



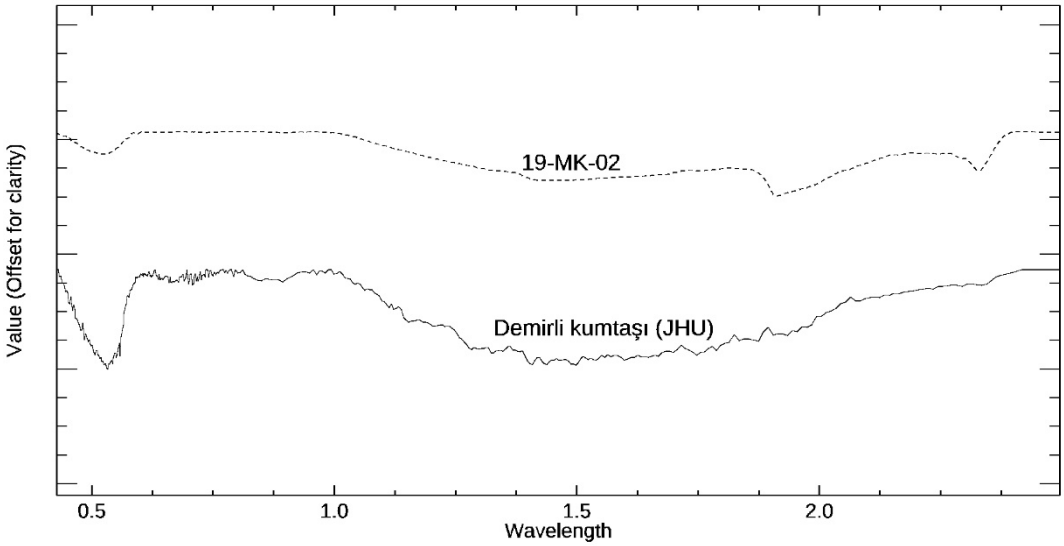
Kayaç spektrası



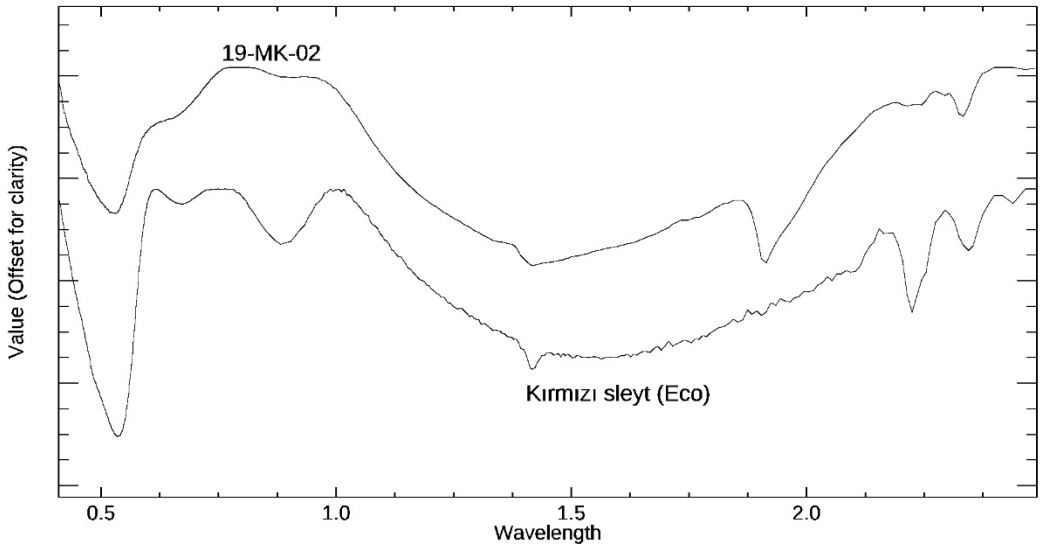
El örneği



Mineral spektrası



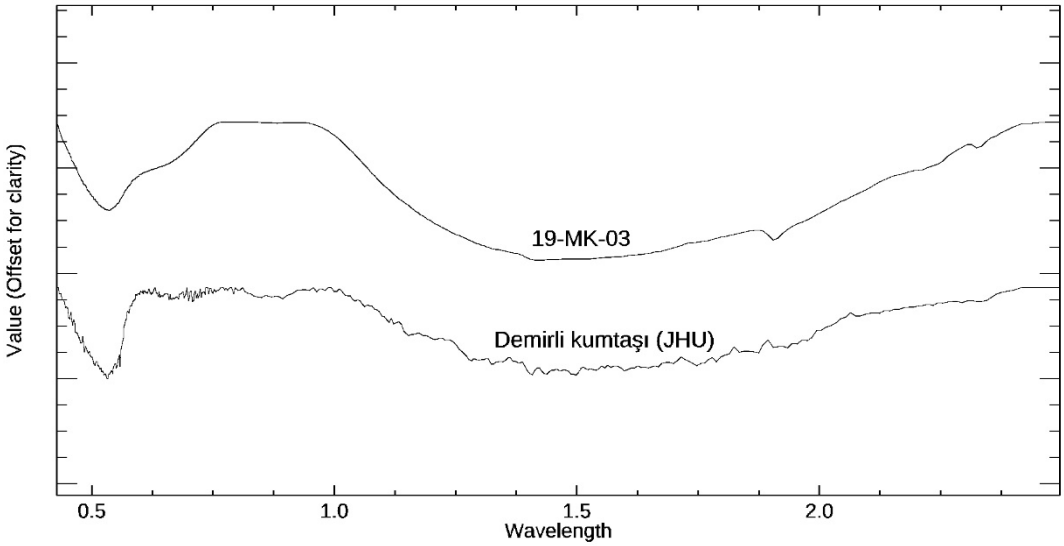
Kayaç spektrası



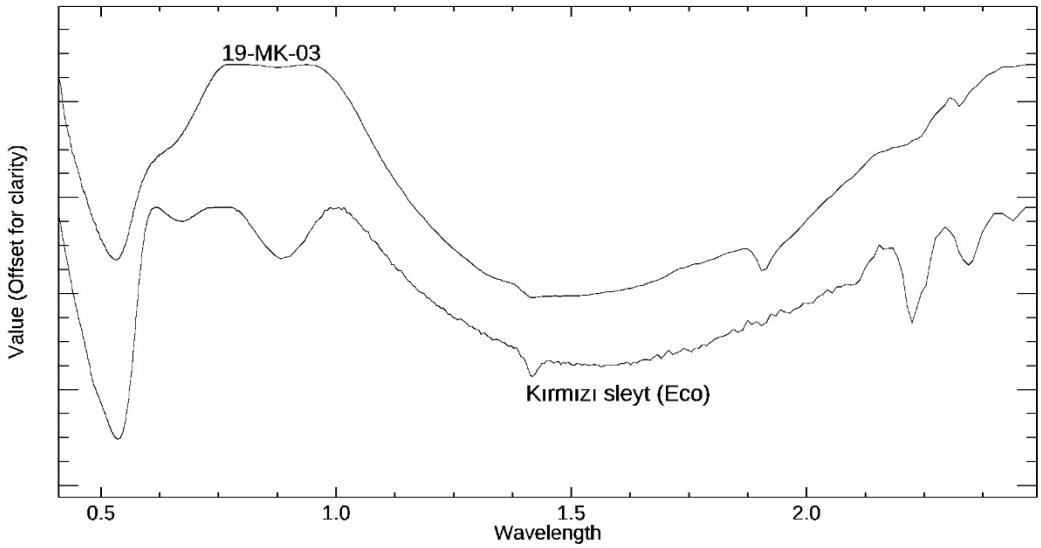
El örneği



Mineral spektrası



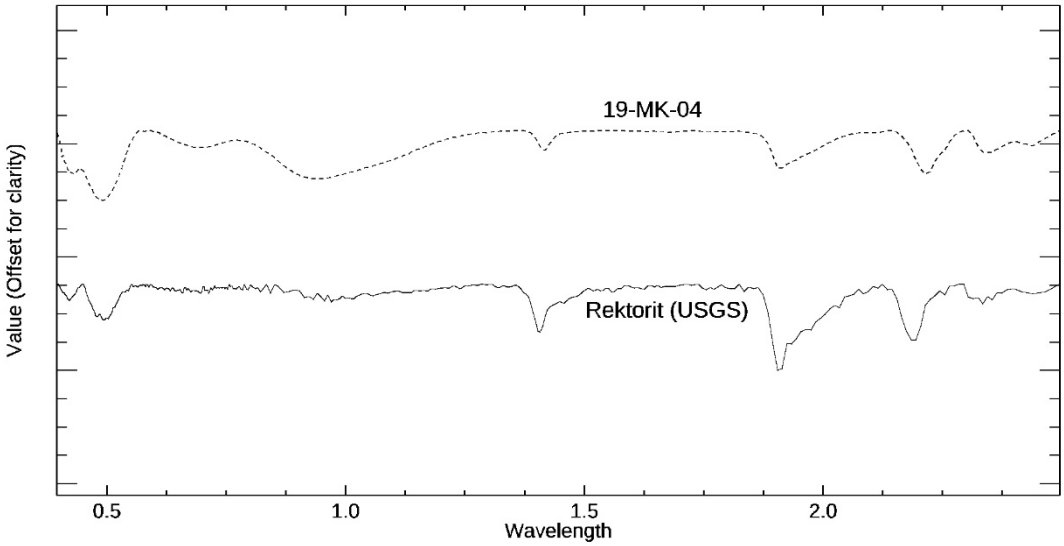
Kayaç spektrası



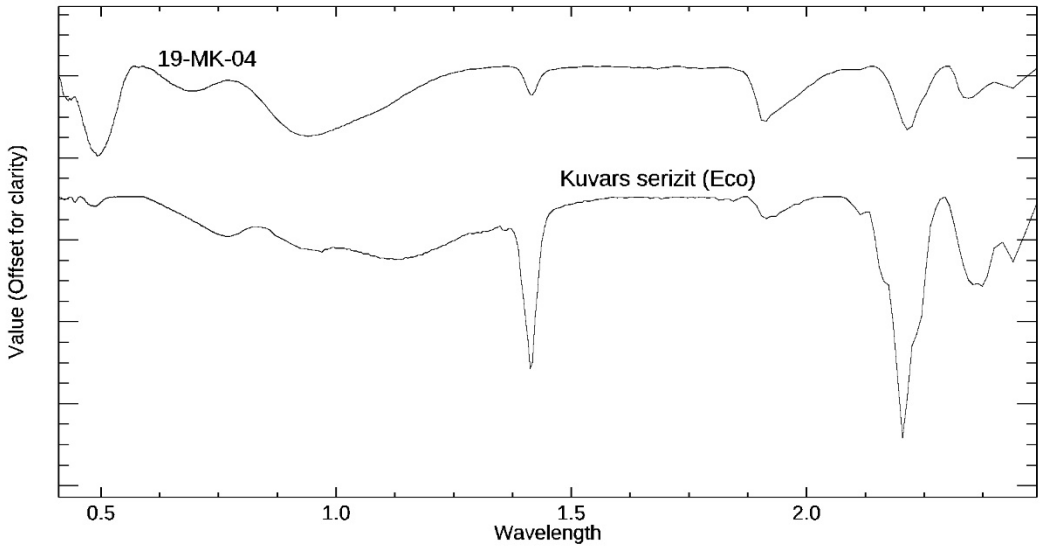
El örneği



Mineral spektrası



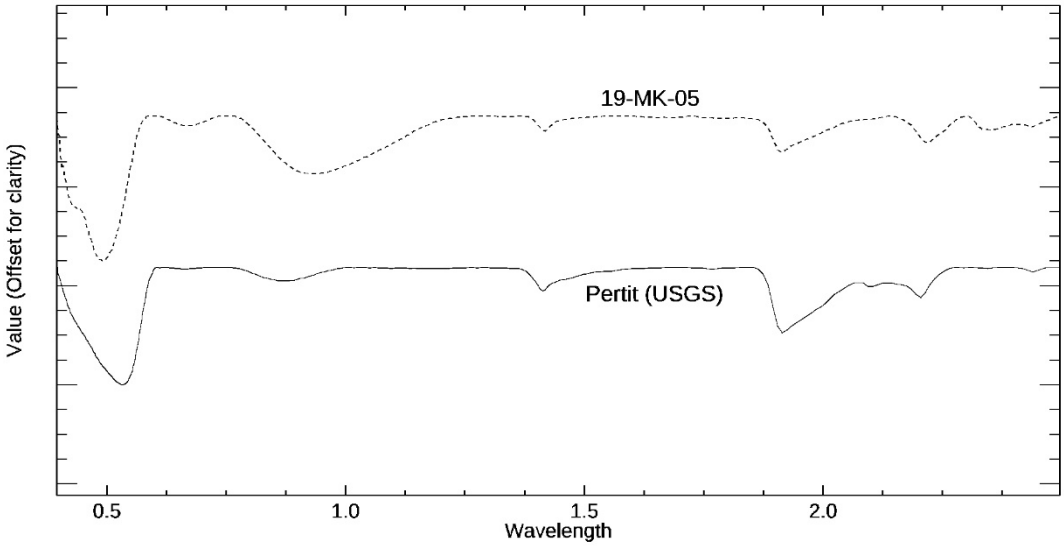
Kayaç spektrası



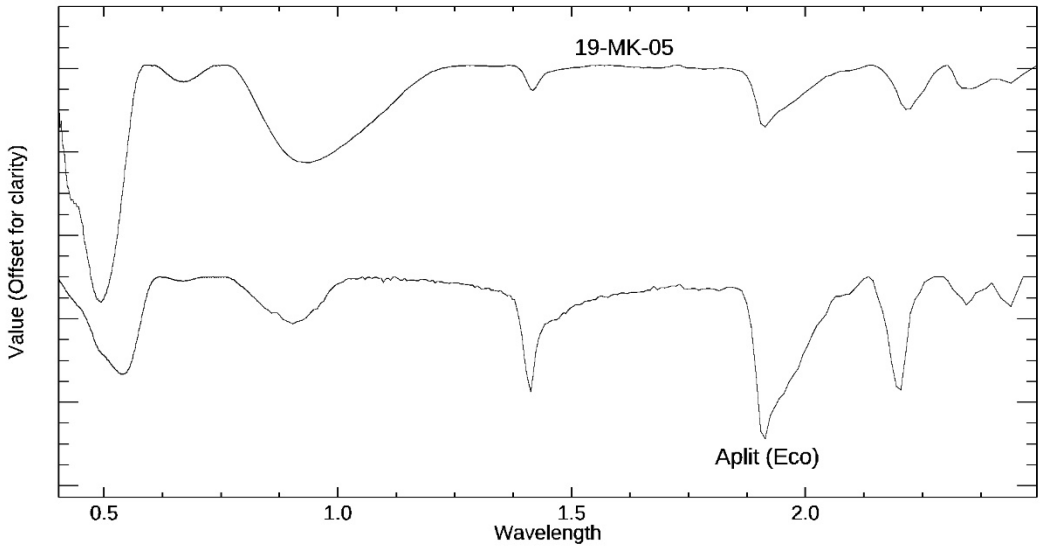
El örneği



Mineral spektrası



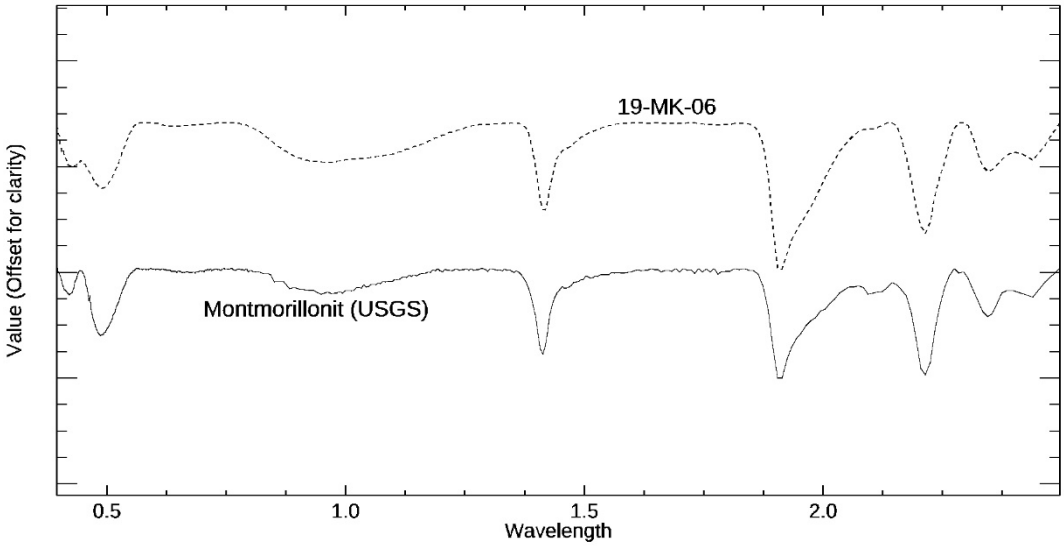
Kayaç spektrası



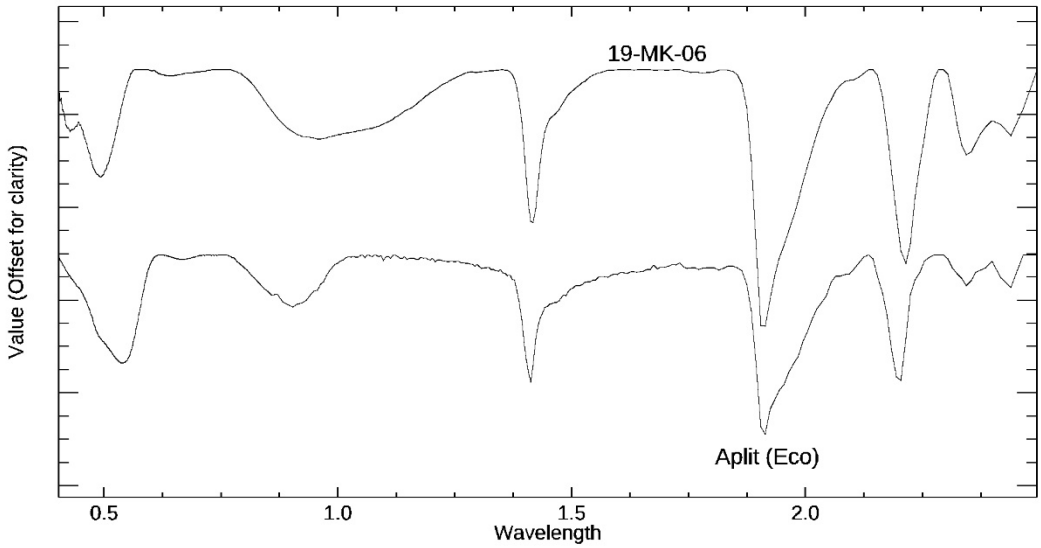
El örneği



Mineral spektrası



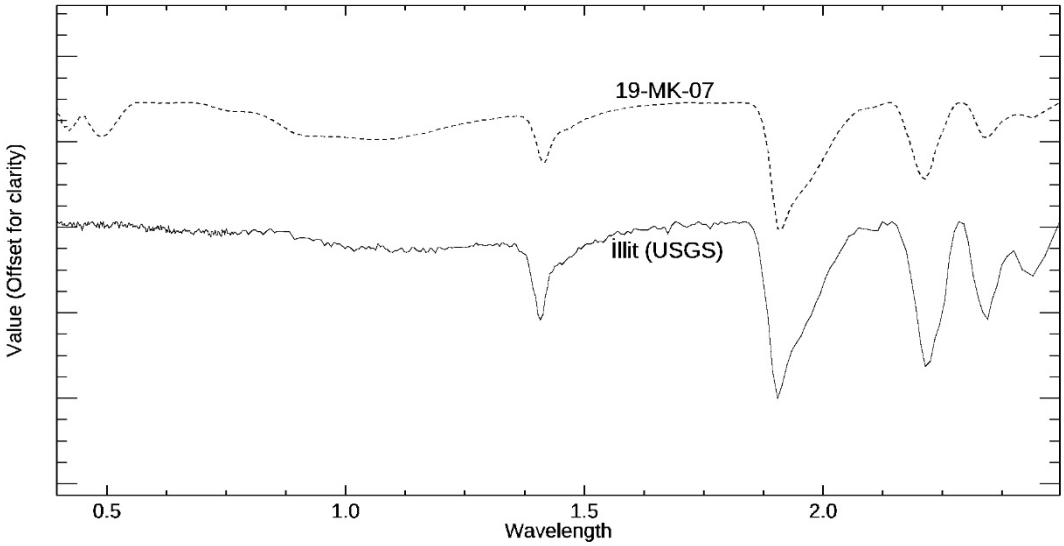
Kayaç spektrası



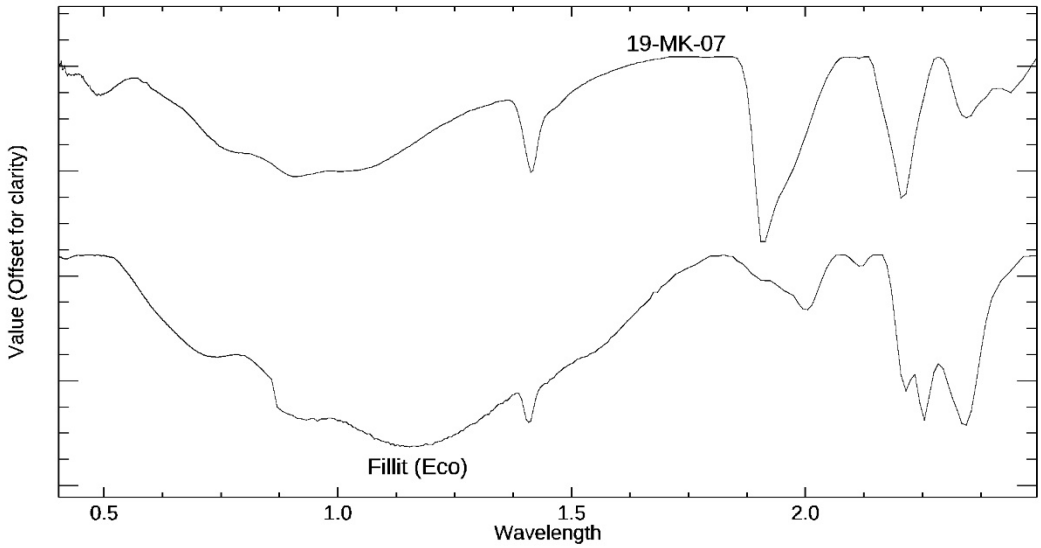
El örneği



Mineral spektrası



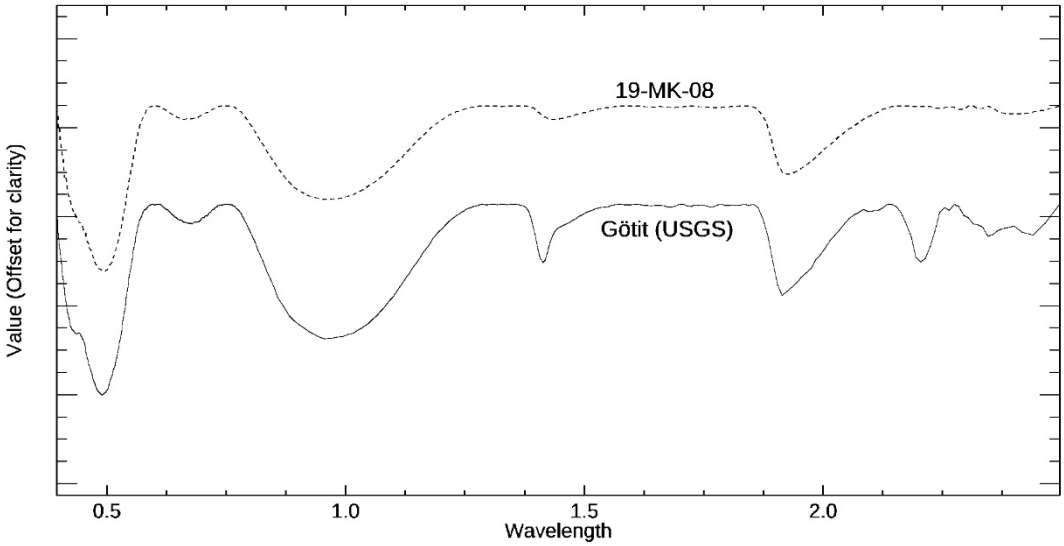
Kayaç spektrası



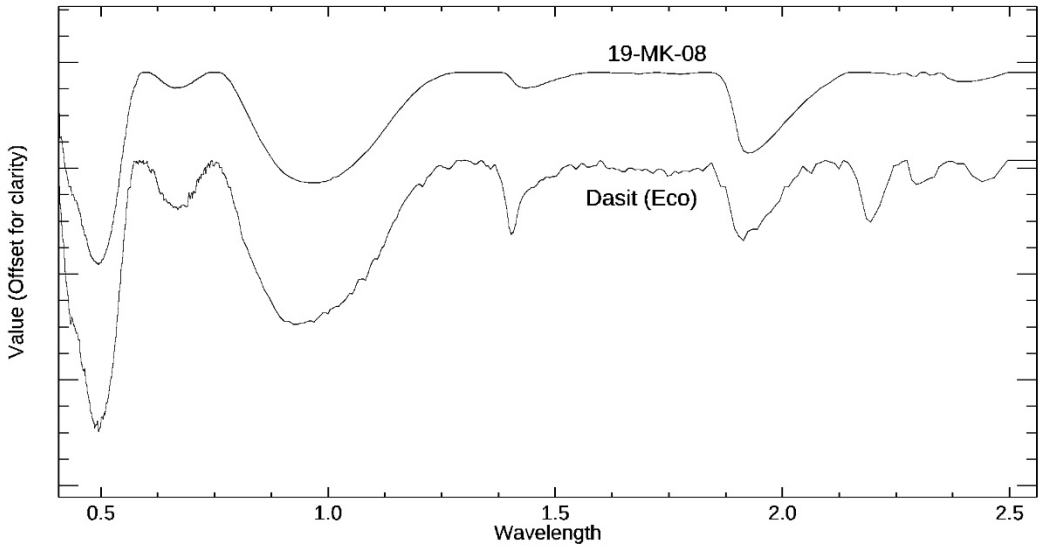
El örneği



Mineral spektrası



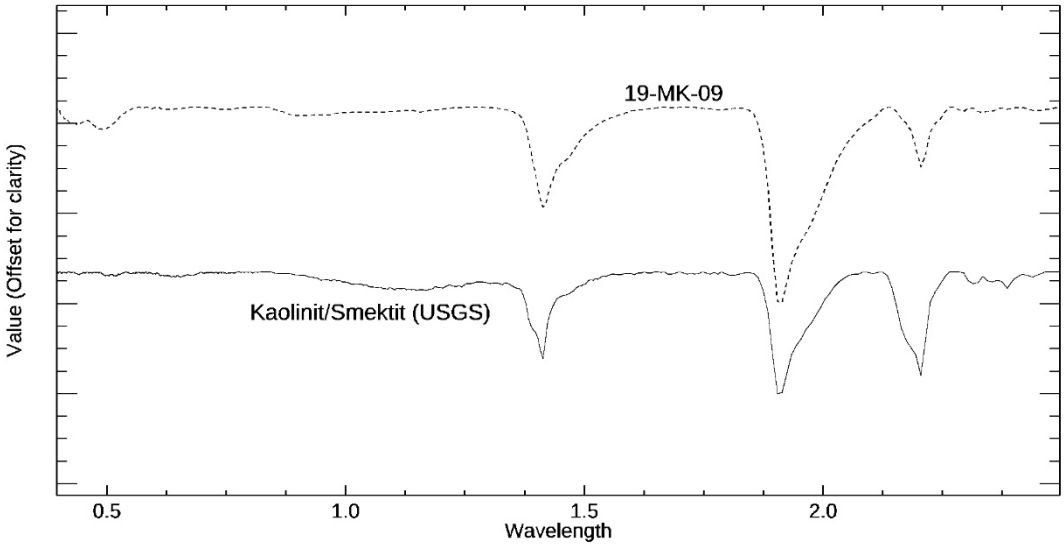
Kayaç spektrası



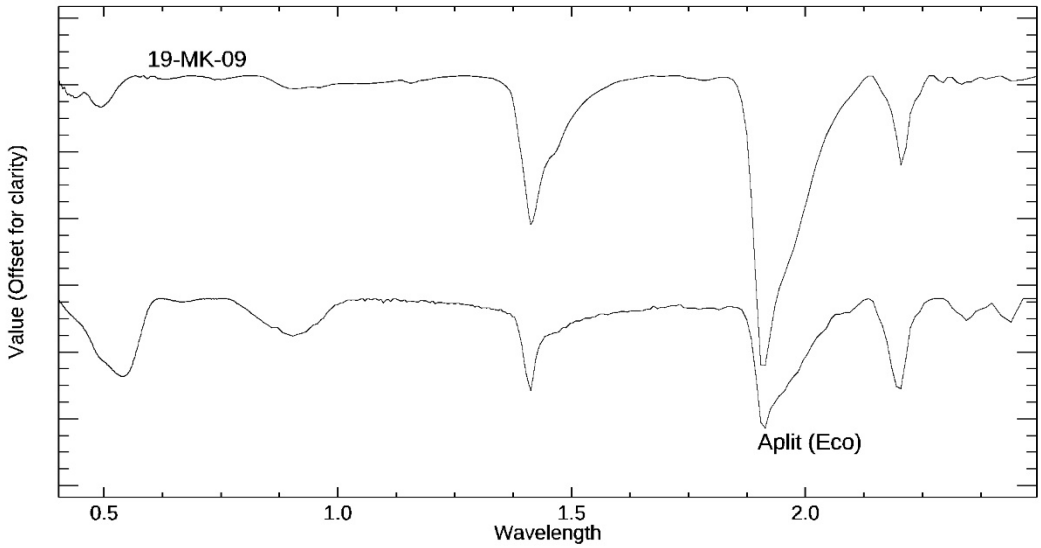
El örneği



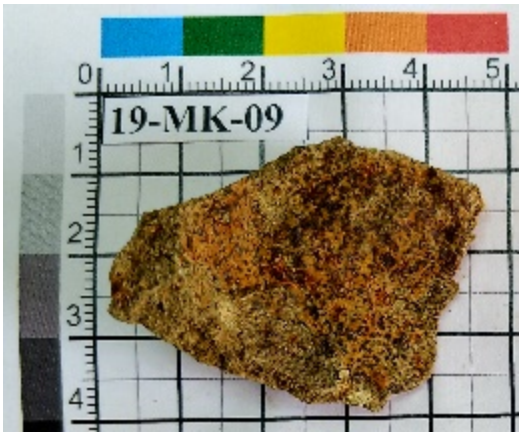
Mineral spektrası



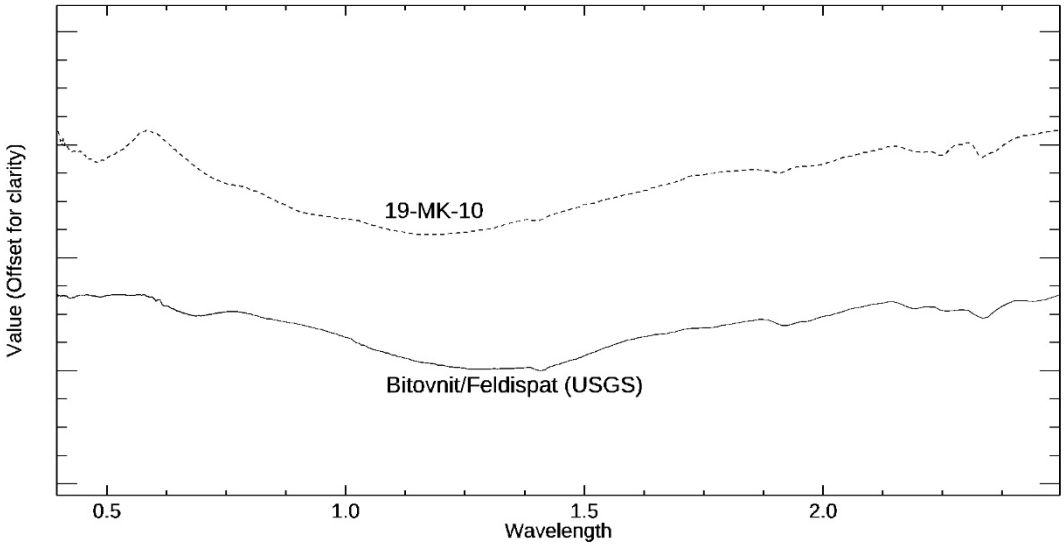
Kayaç spektrası



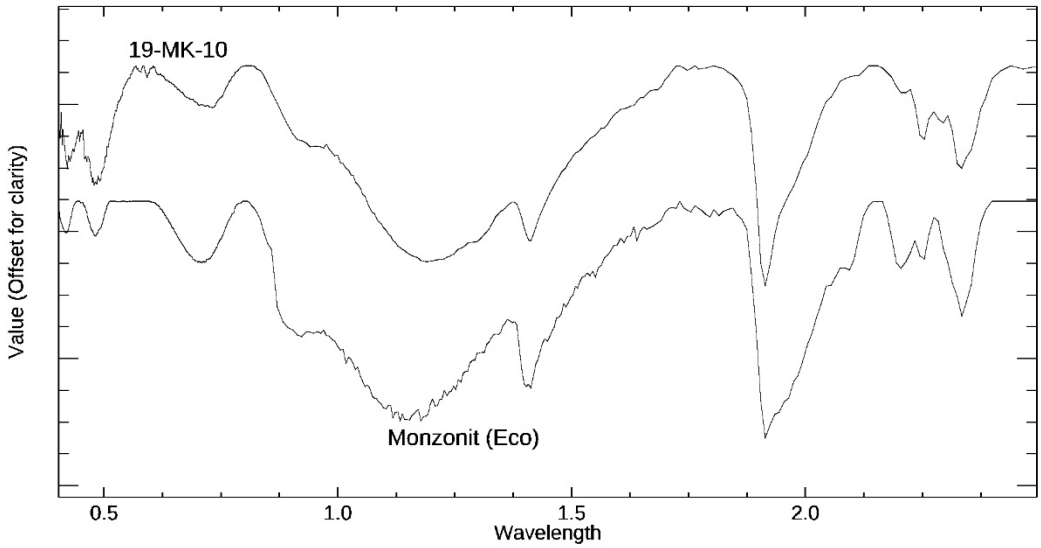
El örneği



Mineral spektrası



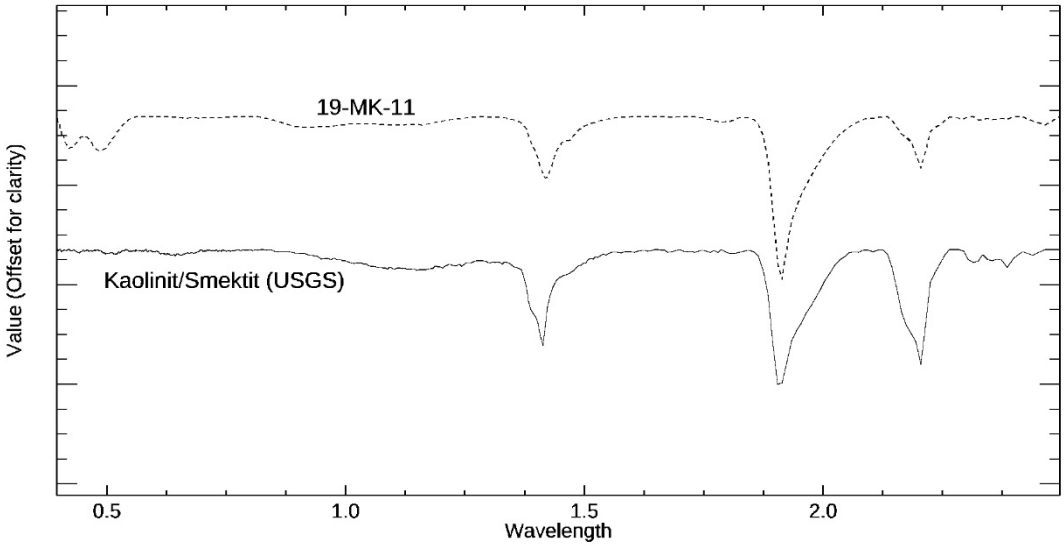
Kayaç spektrası



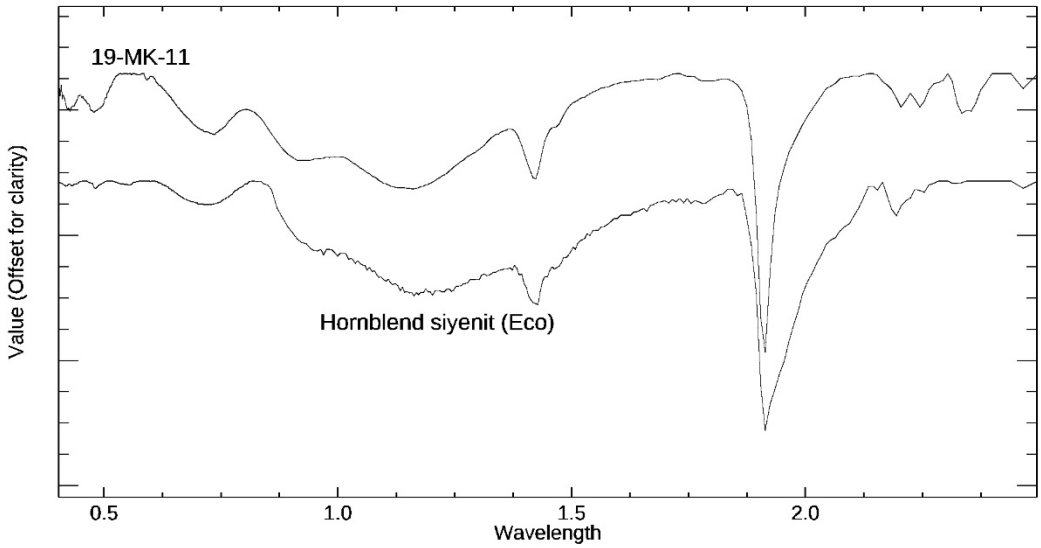
El örneği



Mineral spektrası



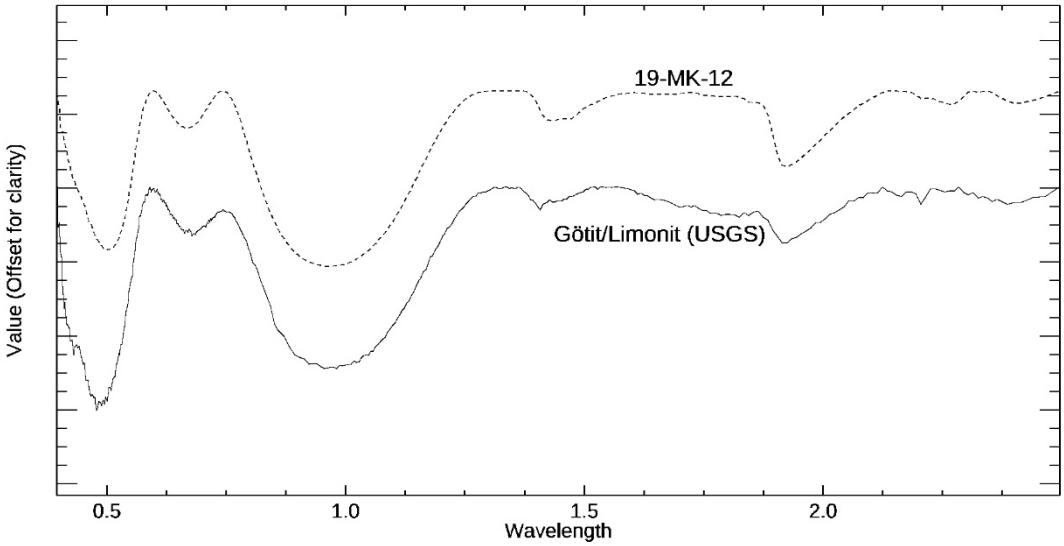
Kayaç spektrası



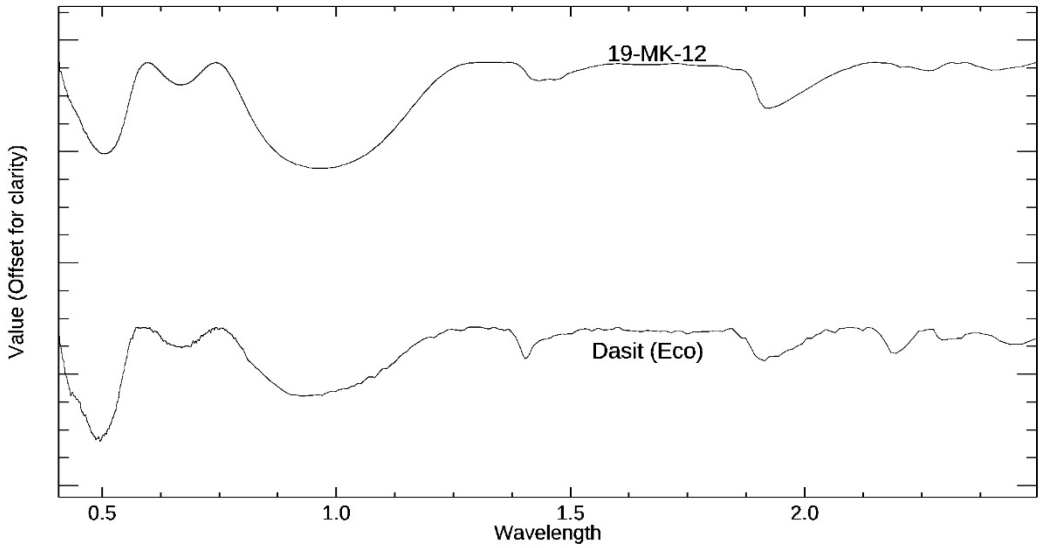
El örneği



Mineral spektrası



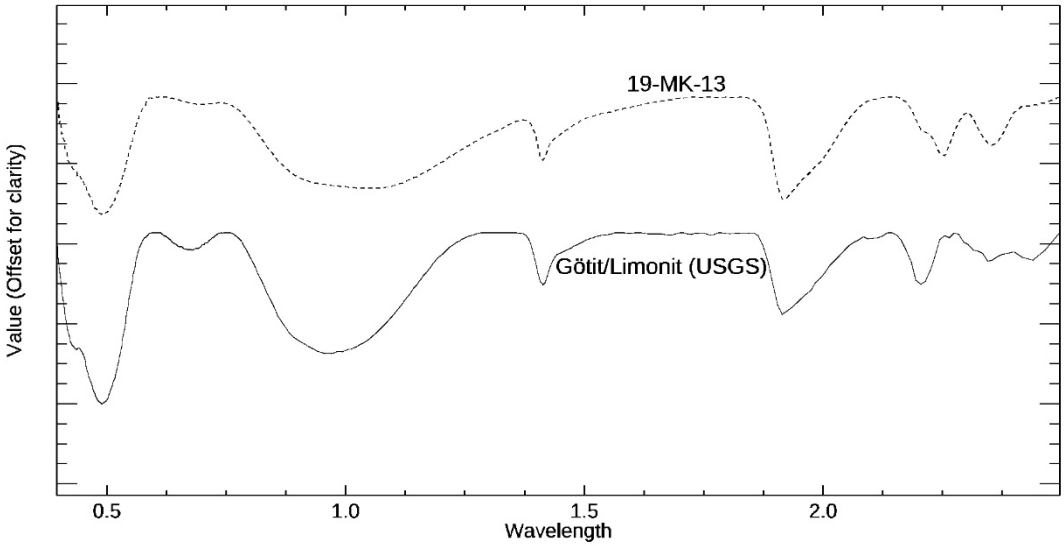
Kayaç spektrası



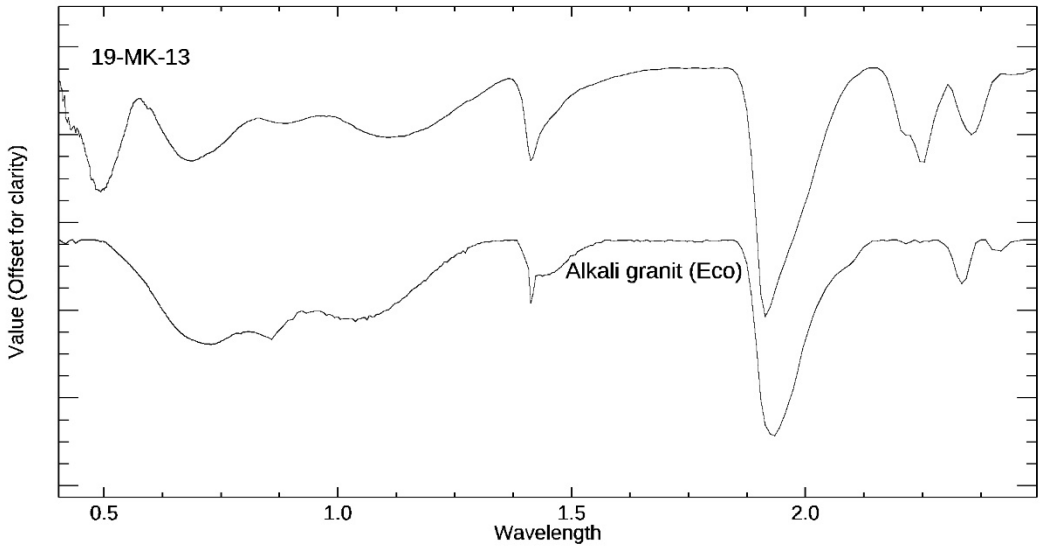
El örneği



Mineral spektrası



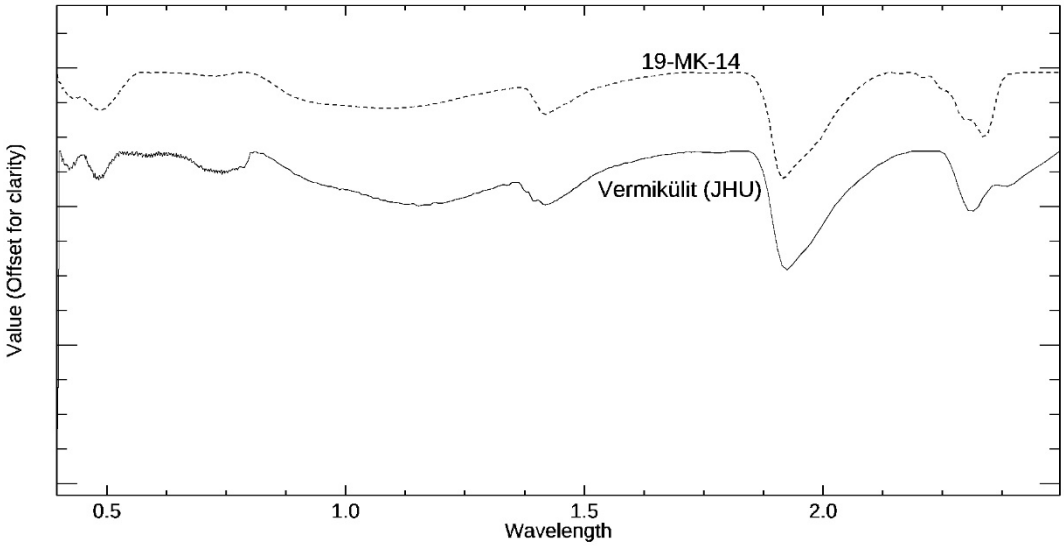
Kayaç spektrası



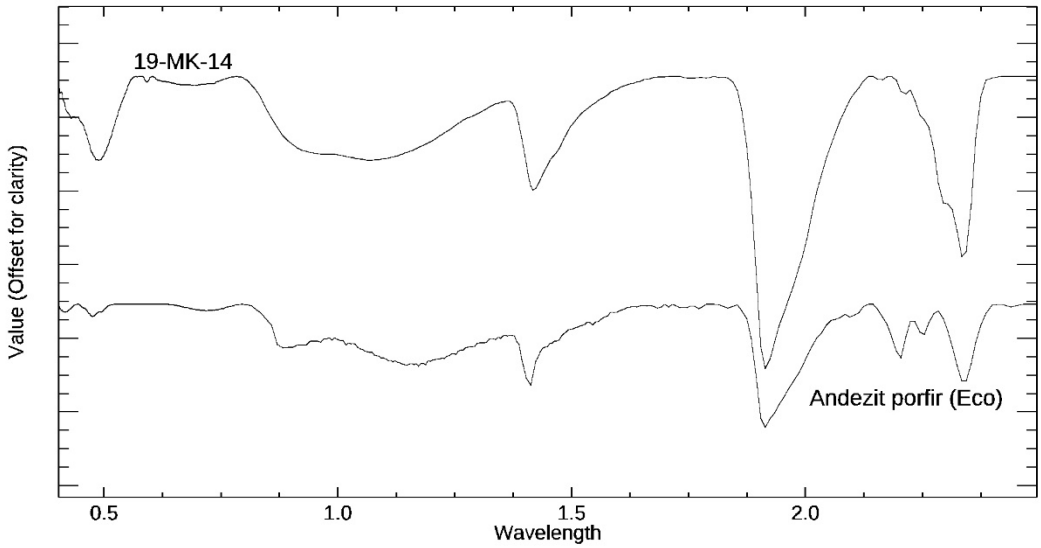
El örneği



Mineral spektrası



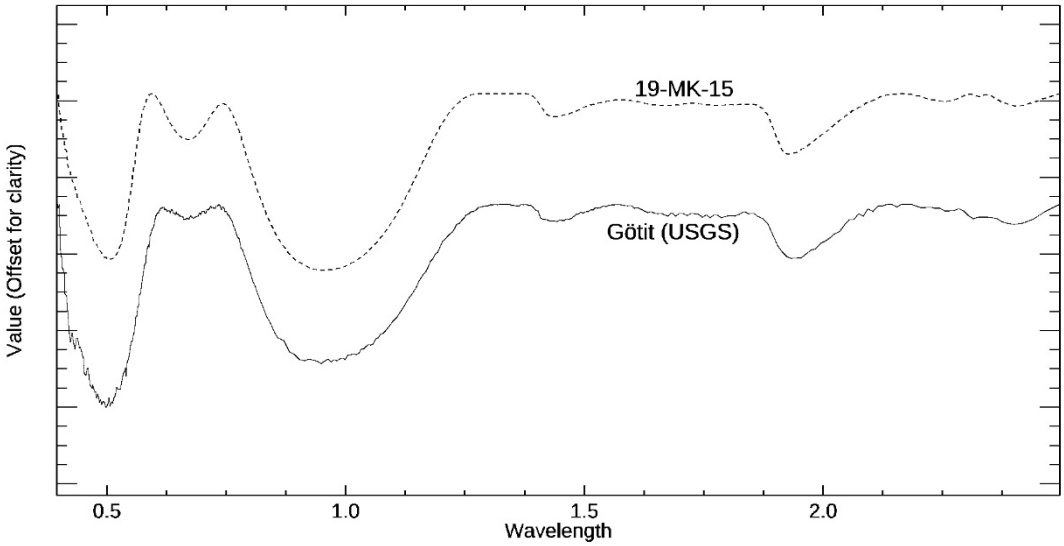
Kayaç spektrası



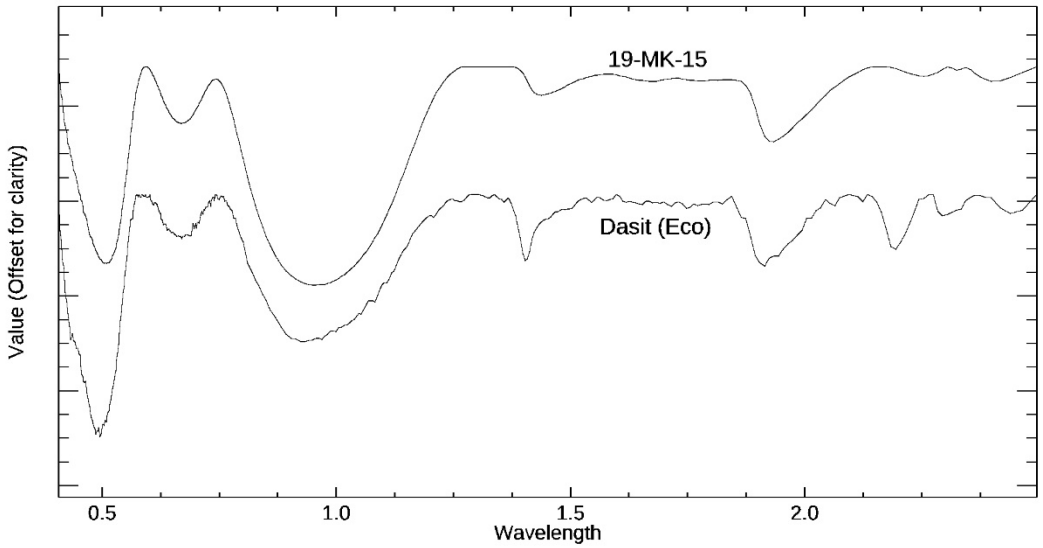
El örneği



Mineral spektrası



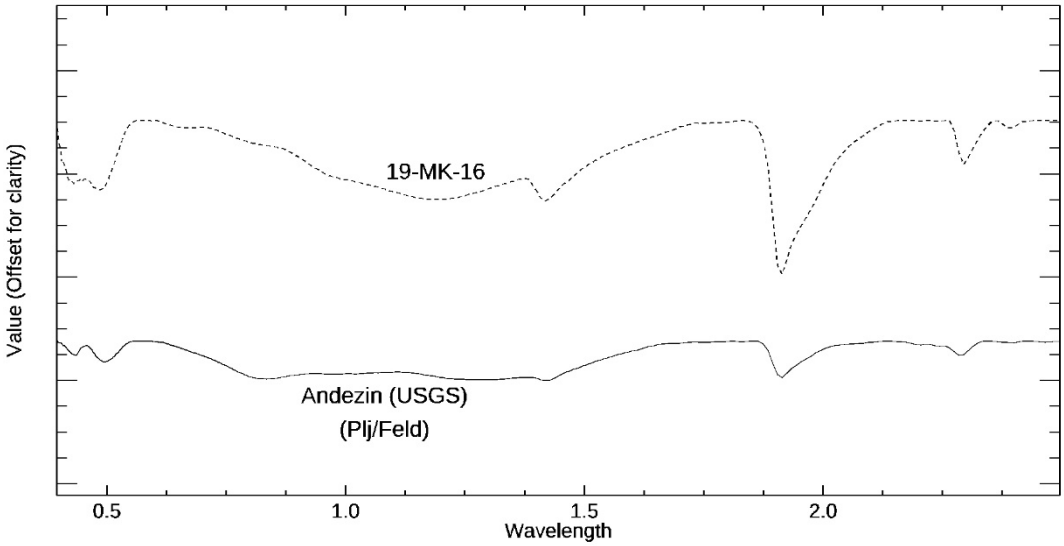
Kayaç spektrası



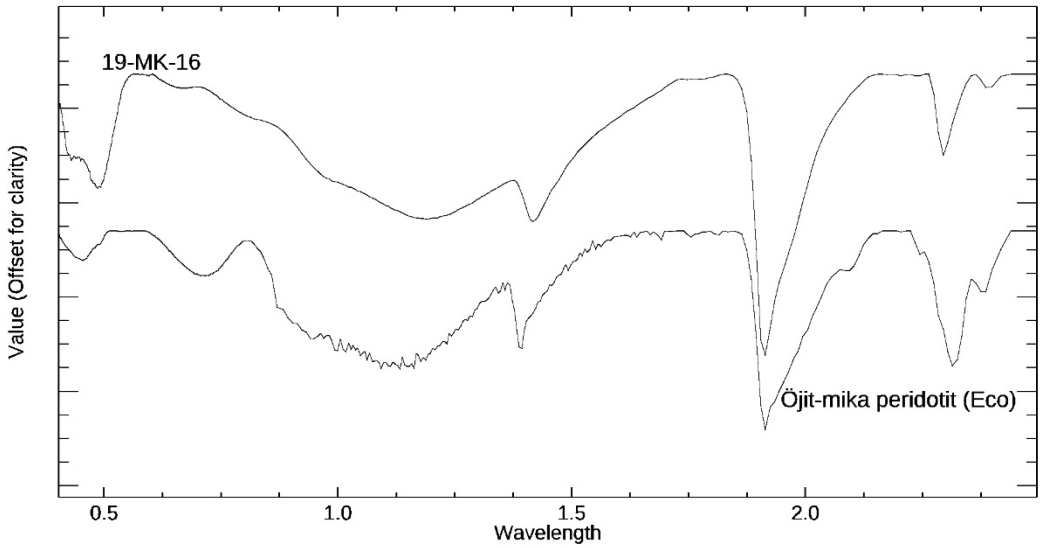
El örneği



Mineral spektrası



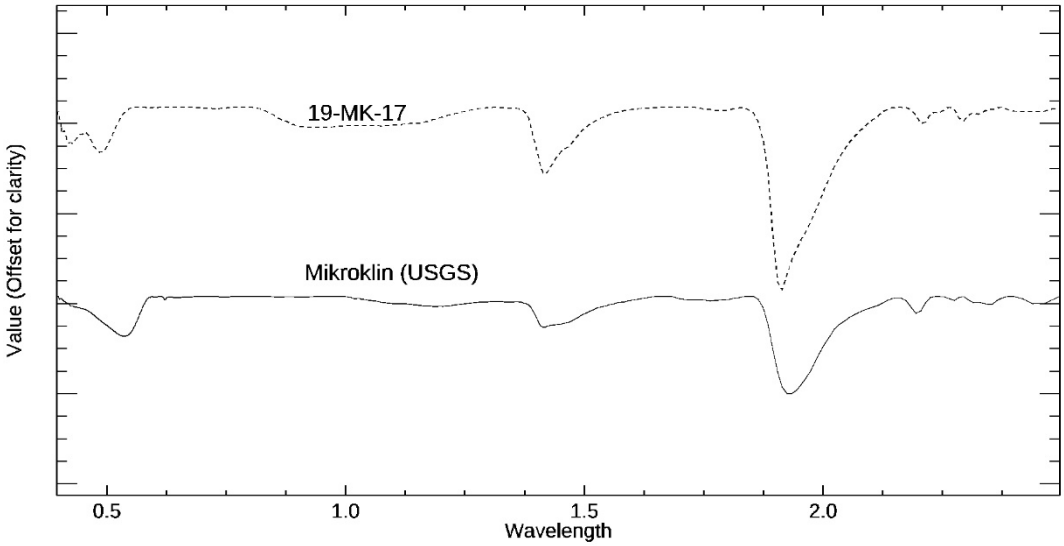
Kayaç spektrası



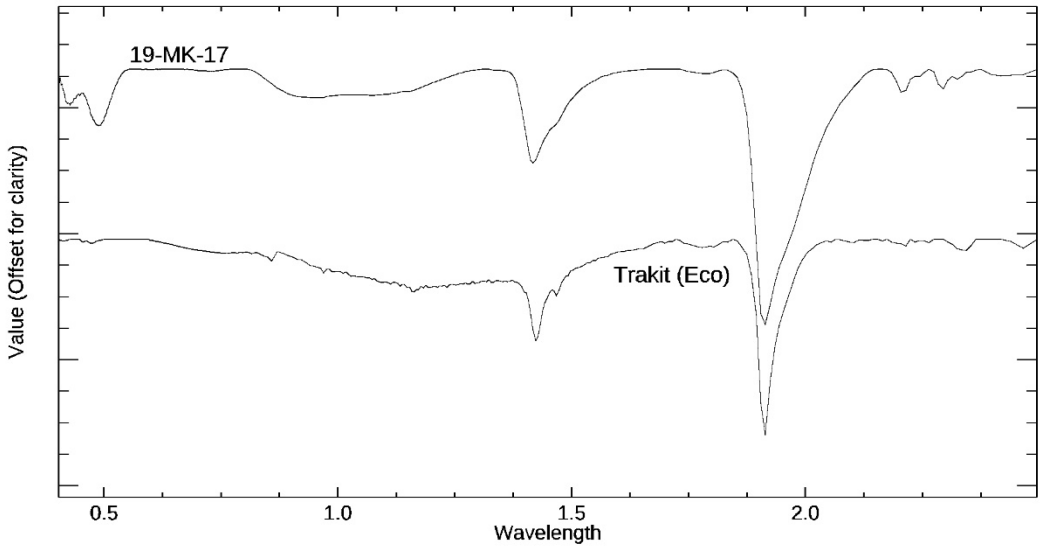
El örneği



Mineral spektrası



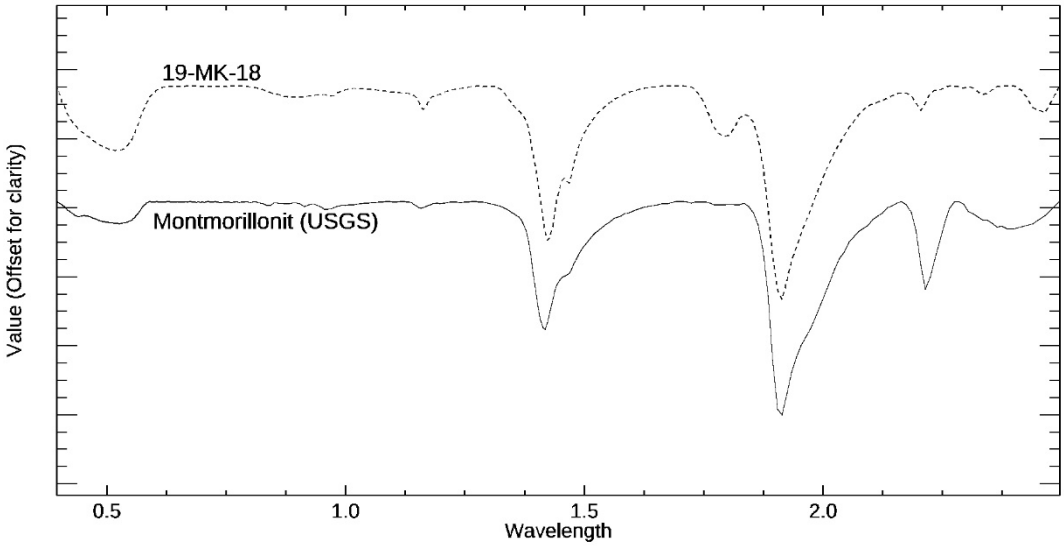
Kayaç spektrası



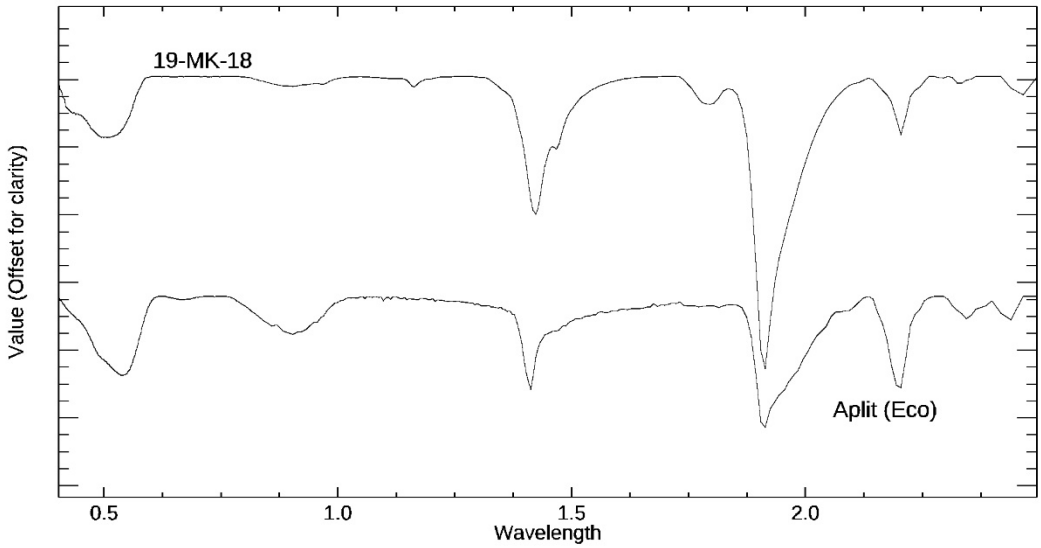
El örneği



Mineral spektrası



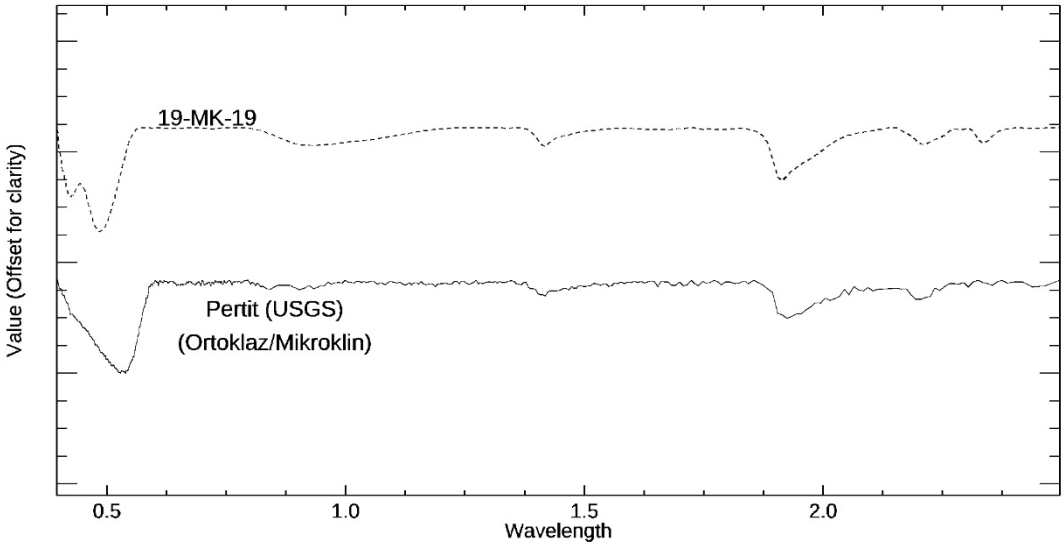
Kayaç spektrası



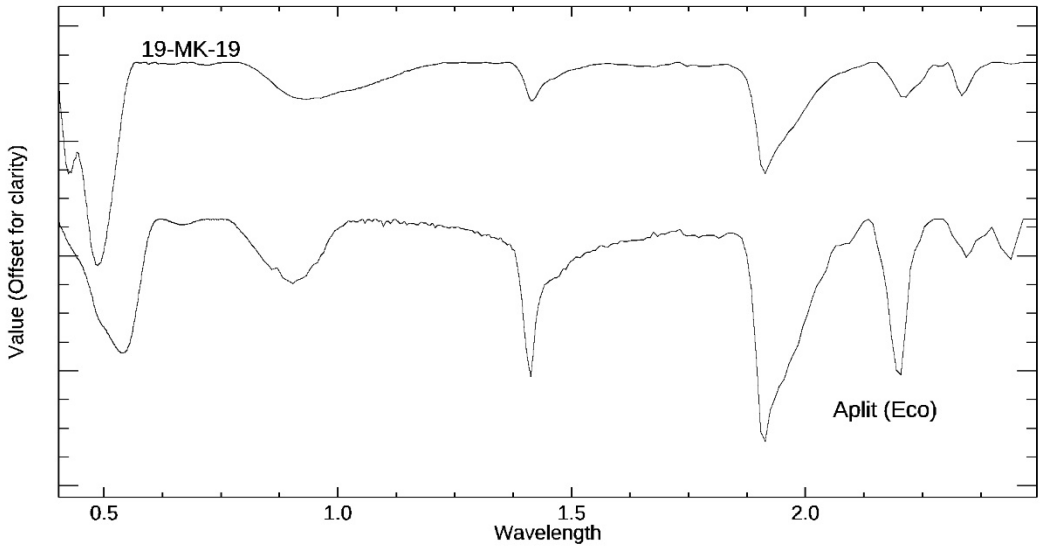
El örneği



Mineral spektrası



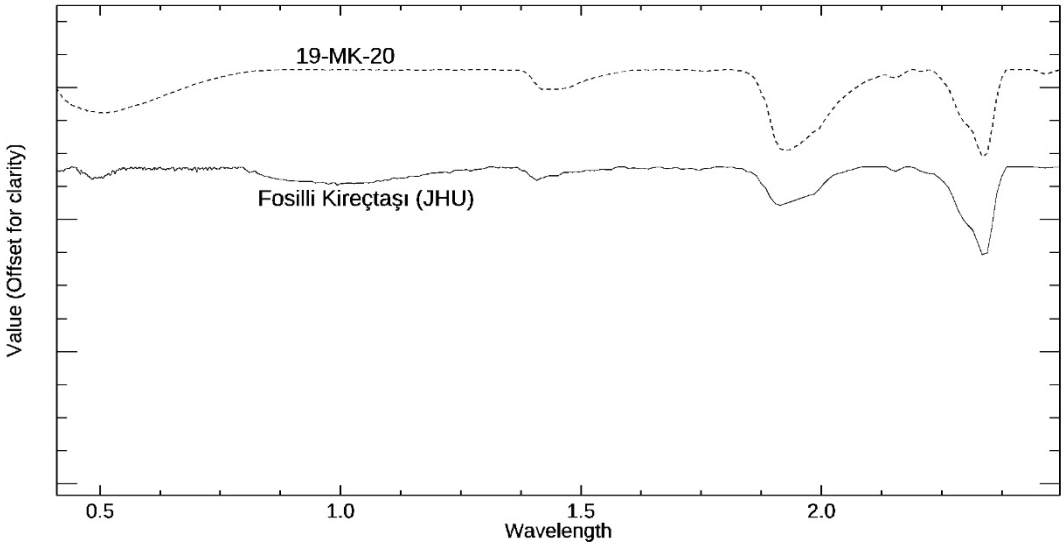
Kayaç spektrası



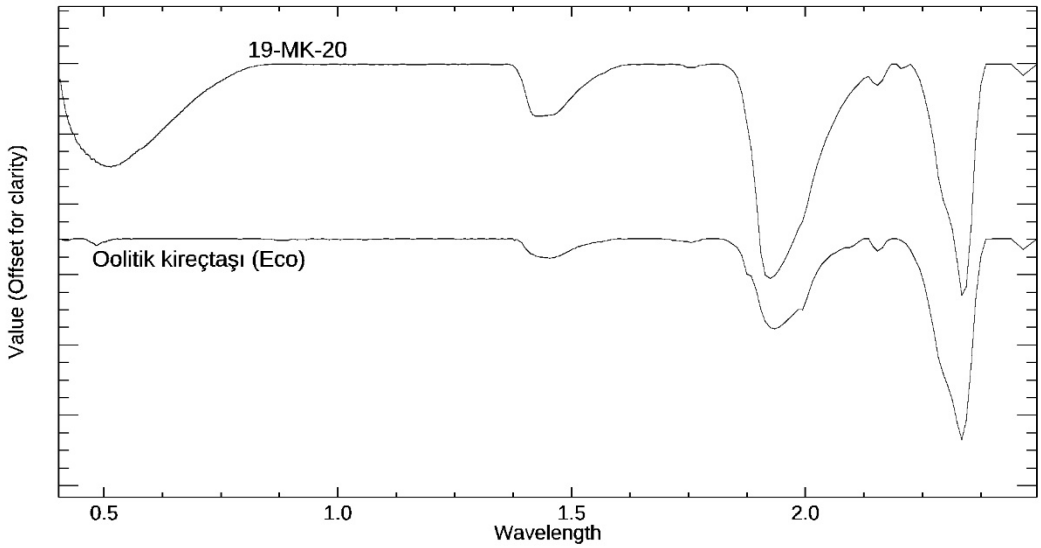
El örneği



Mineral spektrası



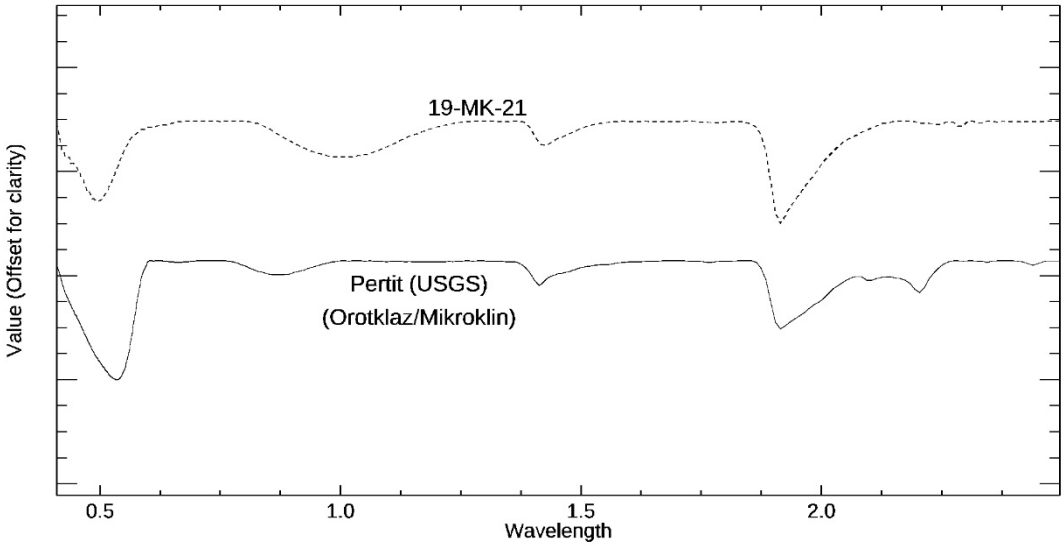
Kayaç spektrası



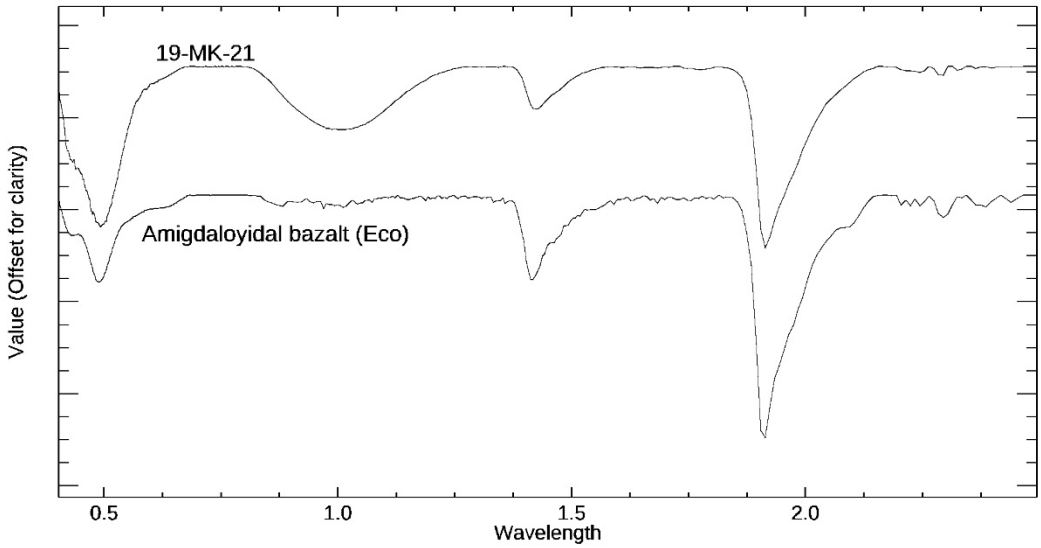
El örneği



Mineral spektrası



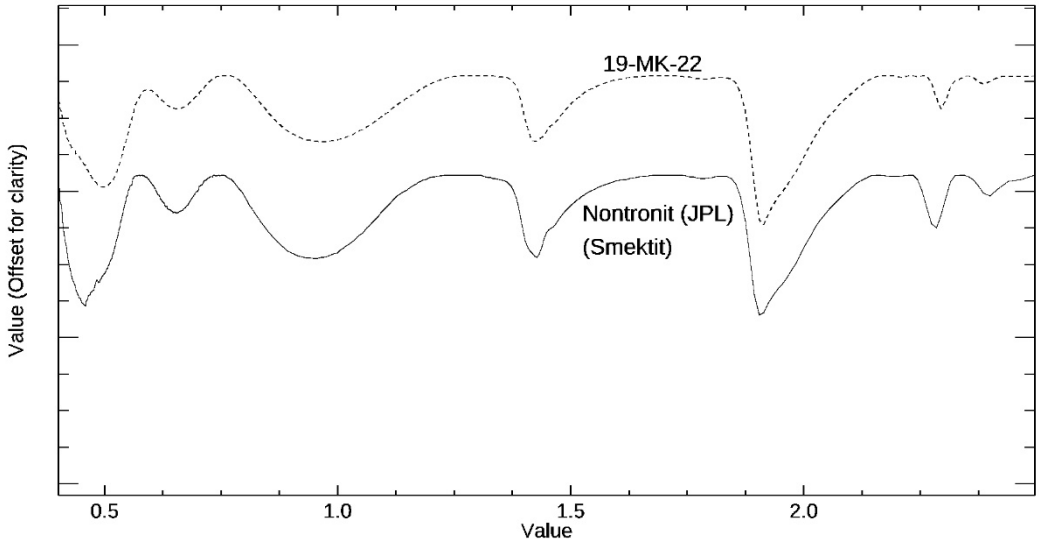
Kayaç spektrası



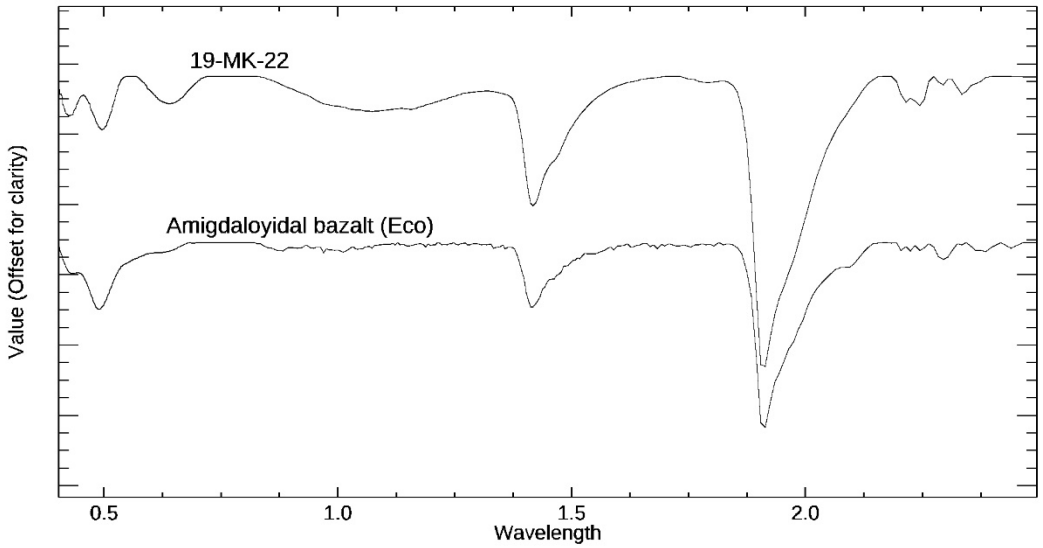
El örneği



Mineral spektrası



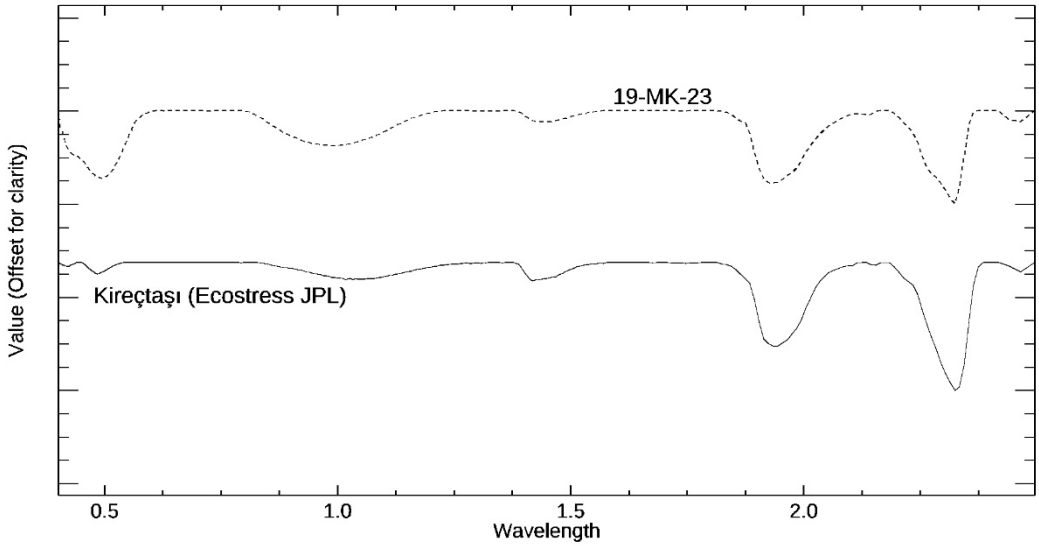
Kayaç spektrası



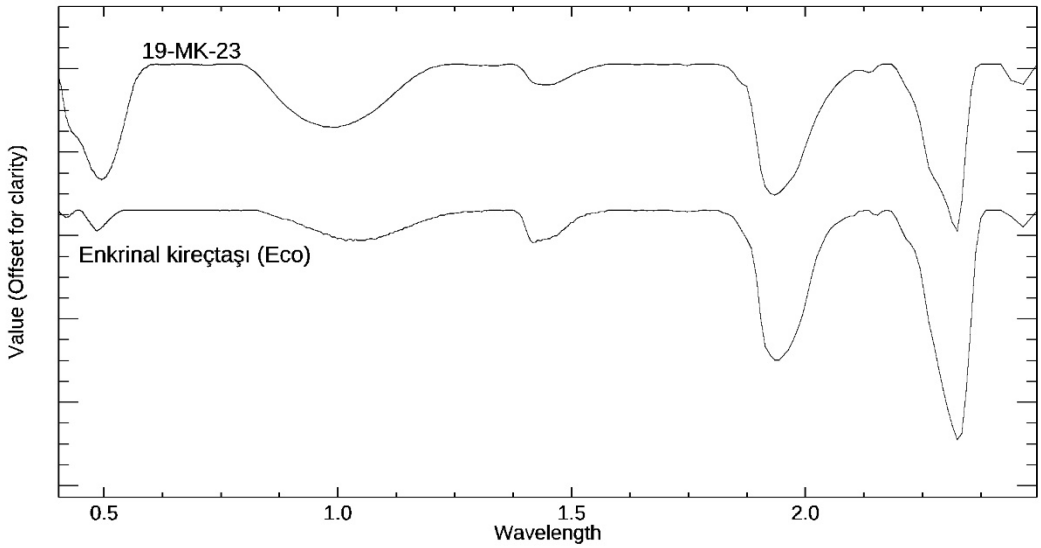
El örneği



Mineral spektrası



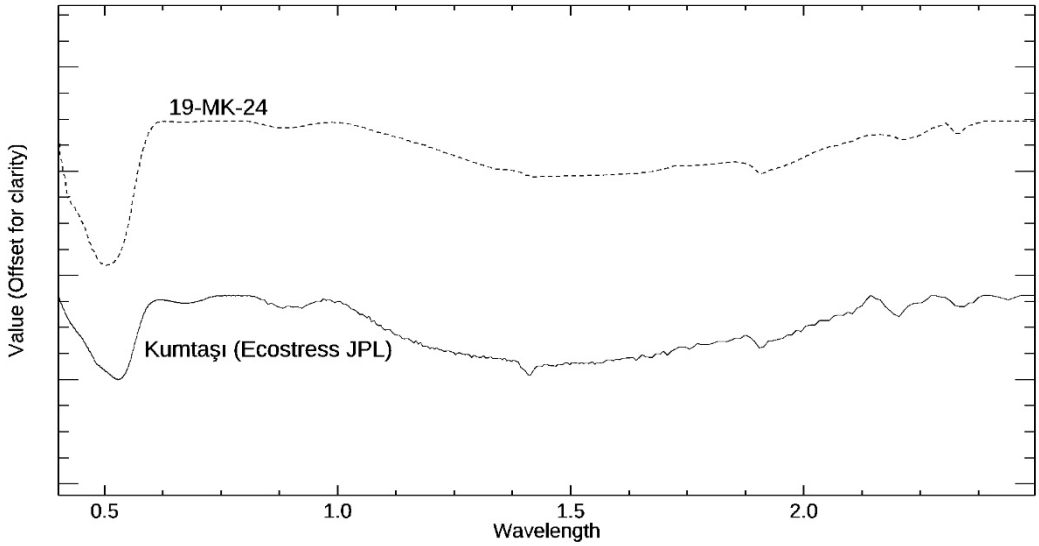
Kayaç spektrası



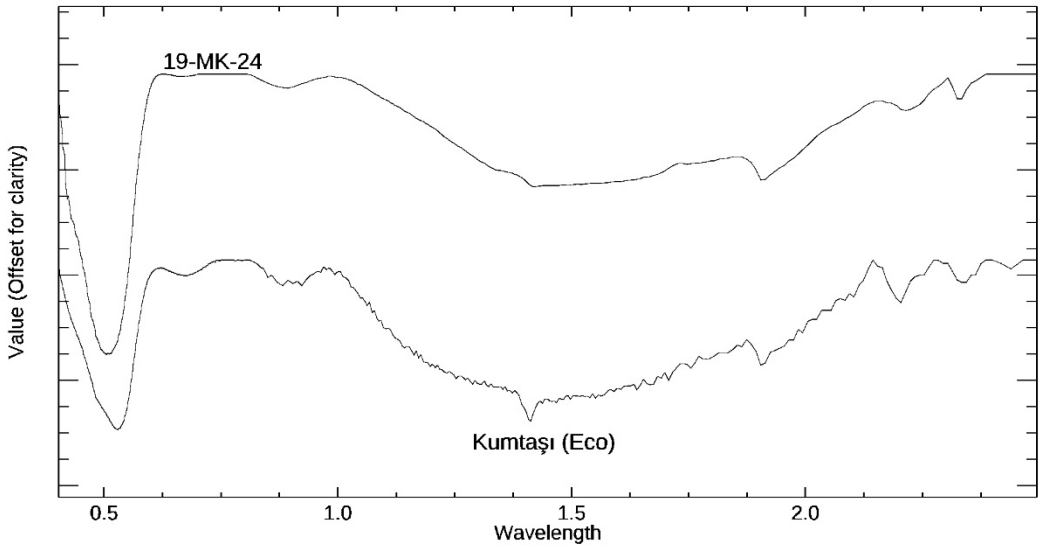
El örneği



Mineral spektrası



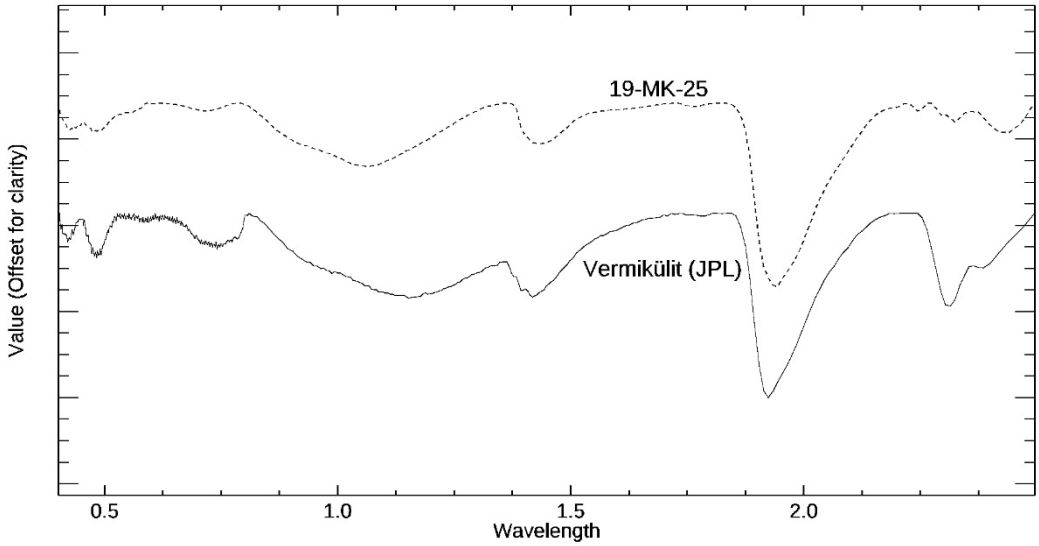
Kayaç spektrası



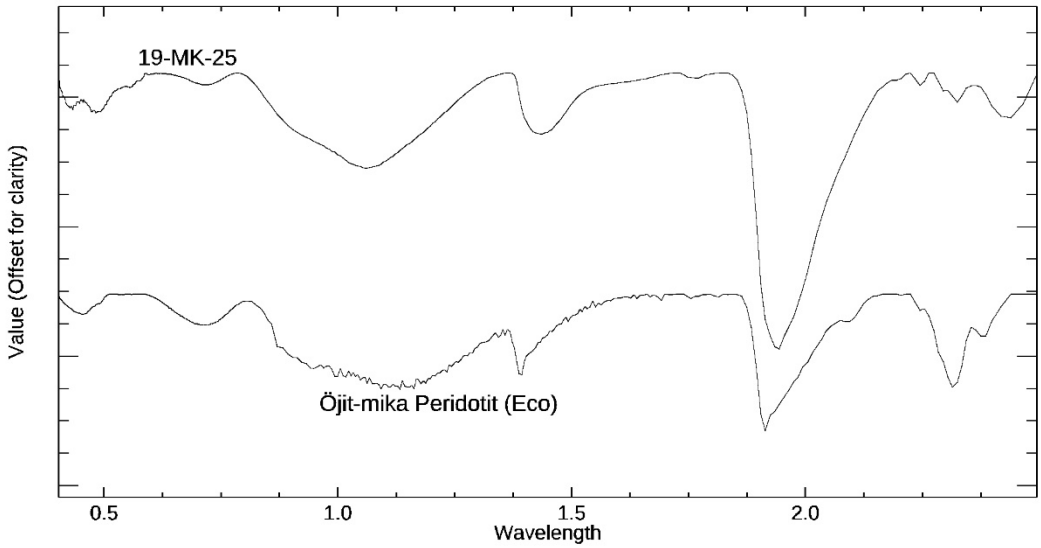
El örneği



Mineral spektrası



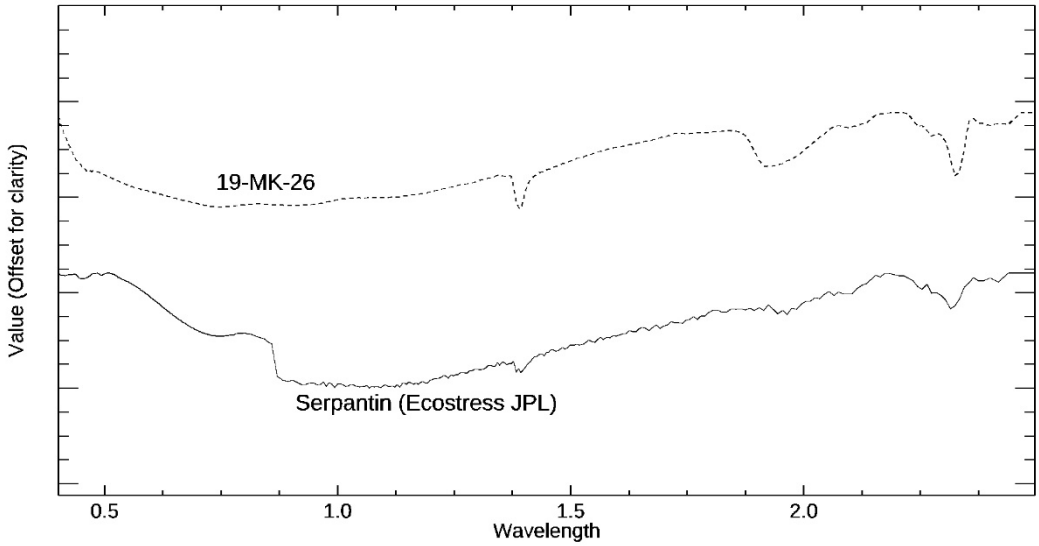
Kayaç spektrası



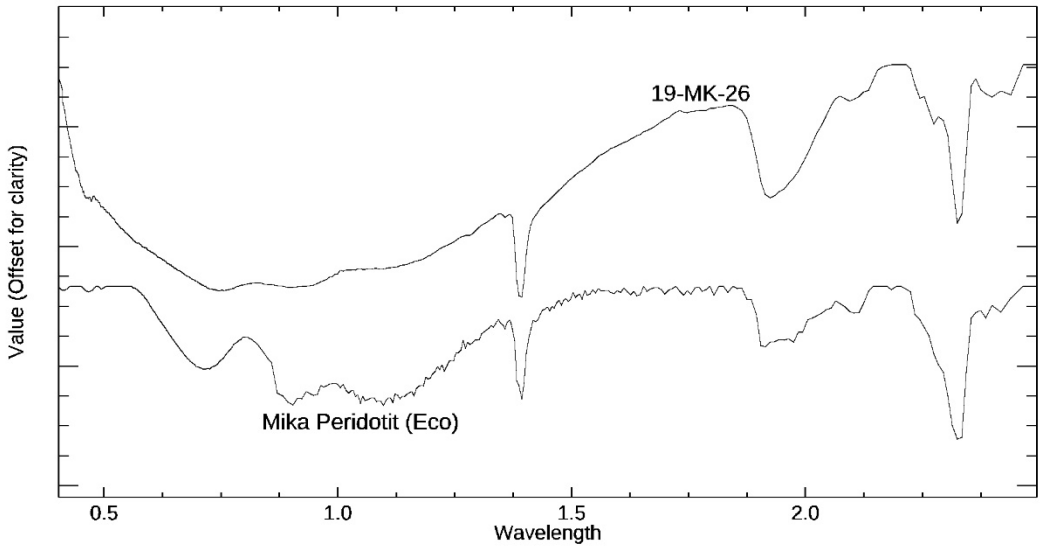
El örneği



Mineral spektrası



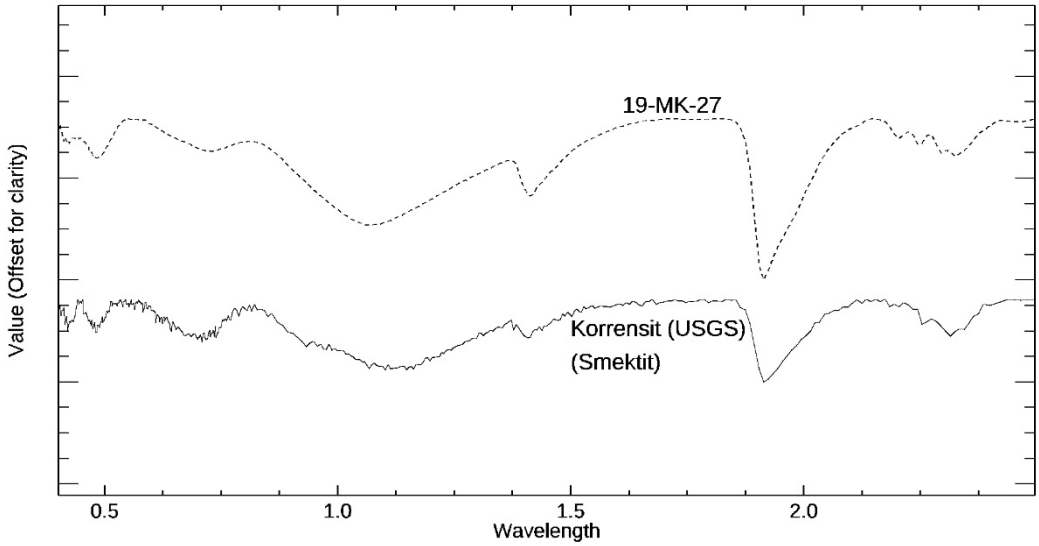
Kayaç spektrası



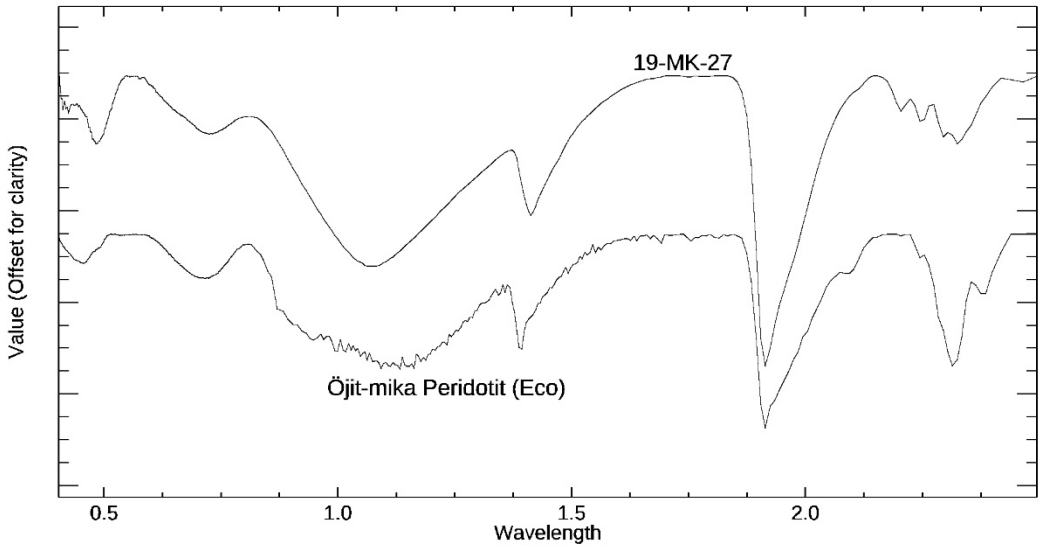
El örneği



Mineral spektrası



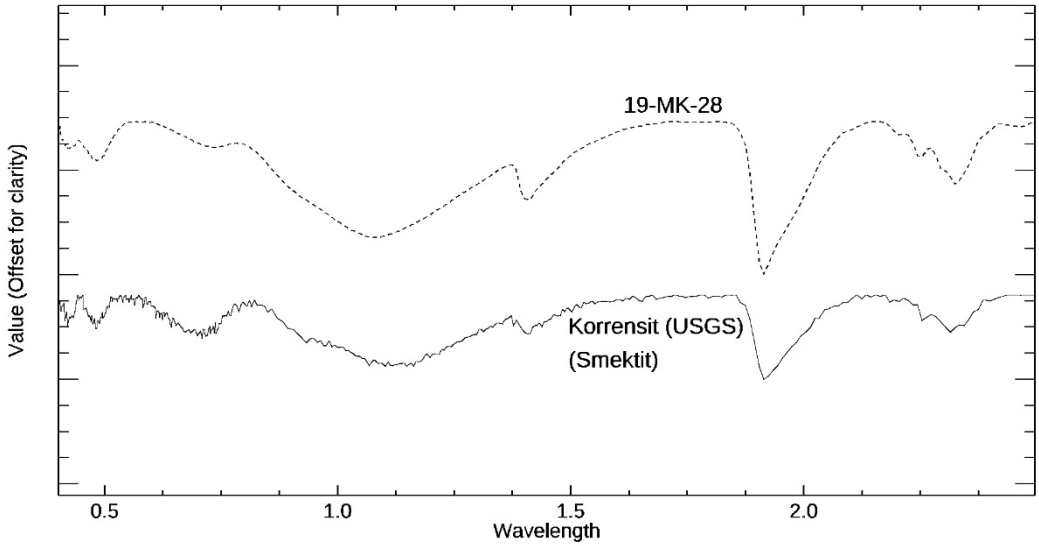
Kayaç spektrası



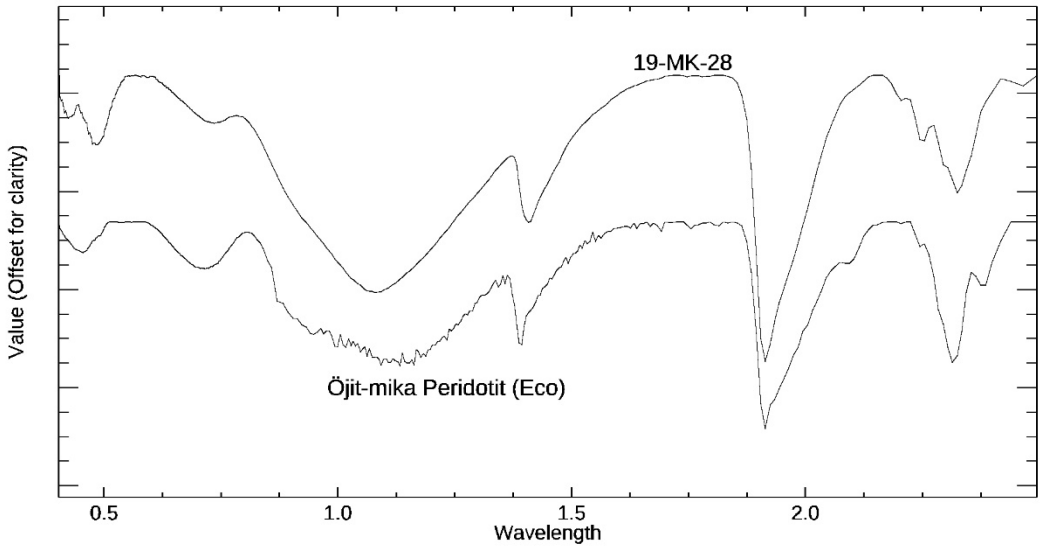
El örneği



Mineral spektrası



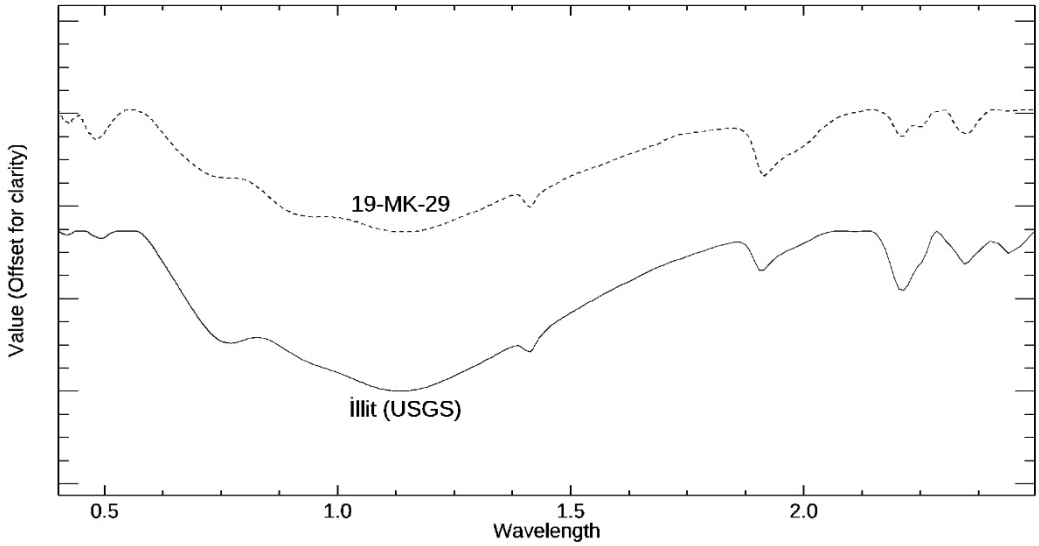
Kayaç spektrası



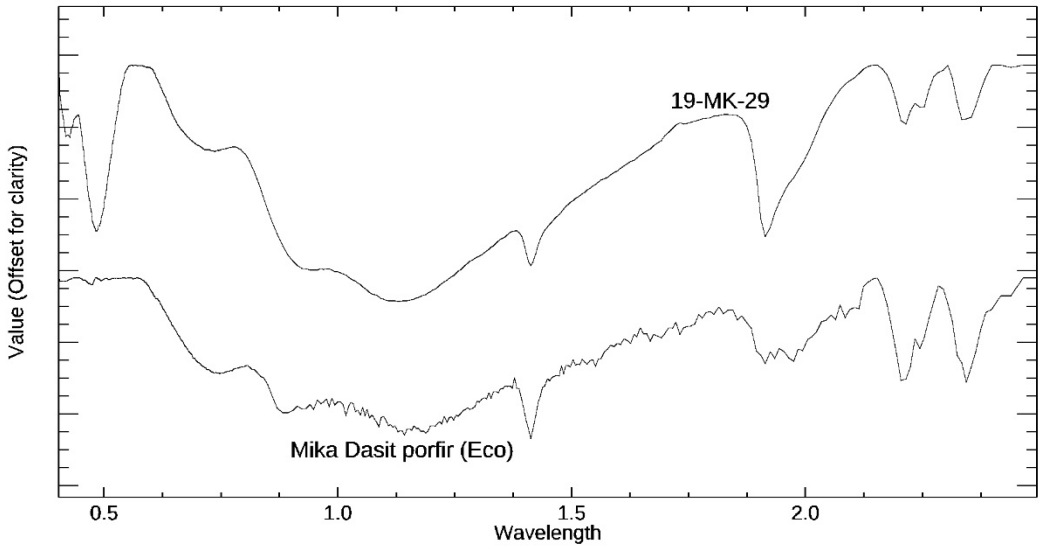
El örneği



Mineral spektrası



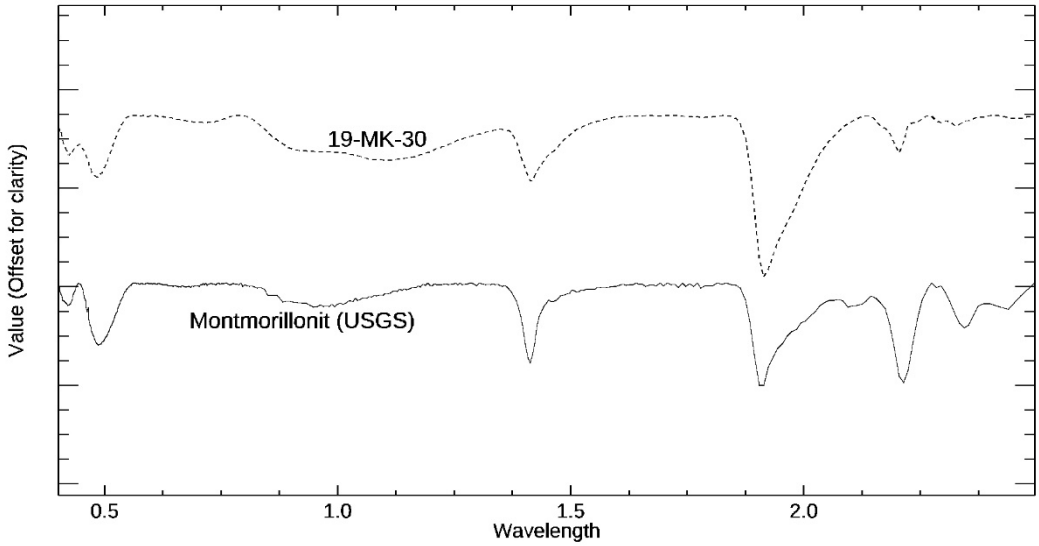
Kayaç spektrası



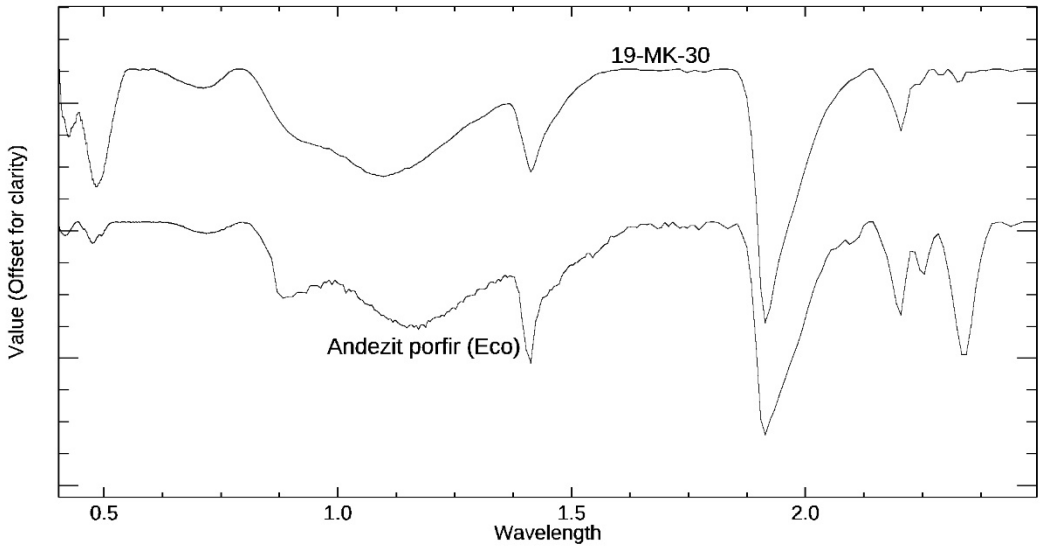
El örneği



Mineral spektrası



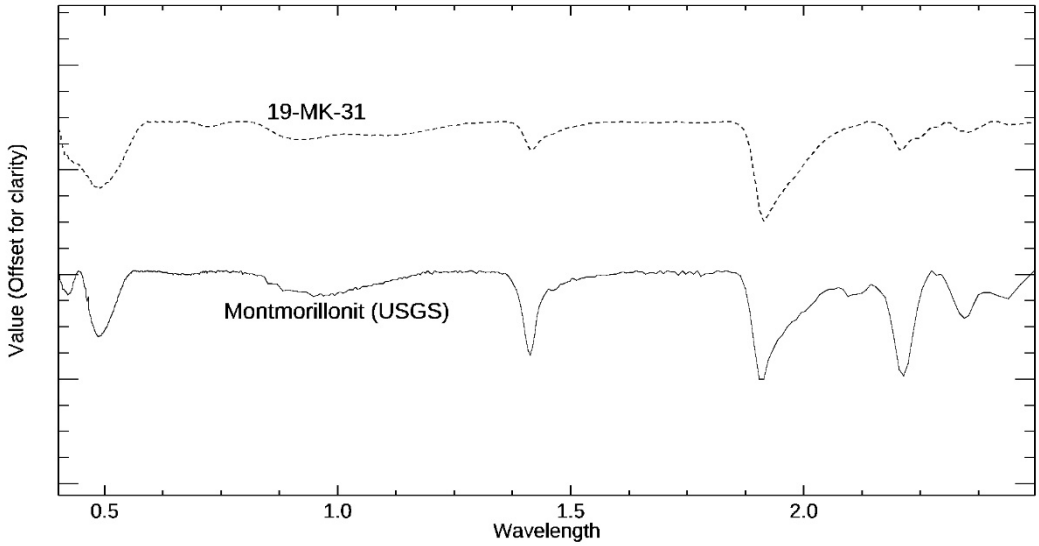
Kayaç spektrası



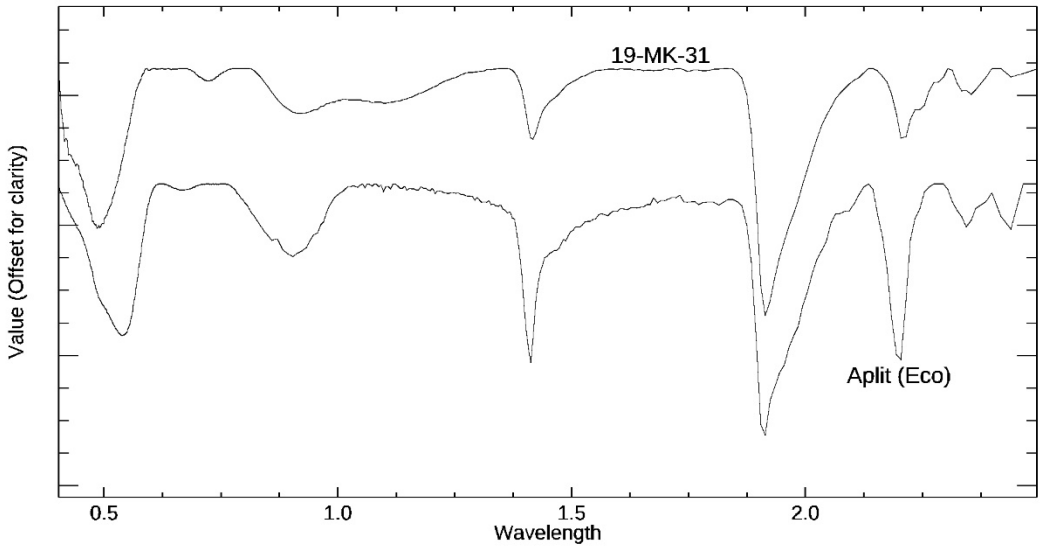
El örneği



Mineral spektrası



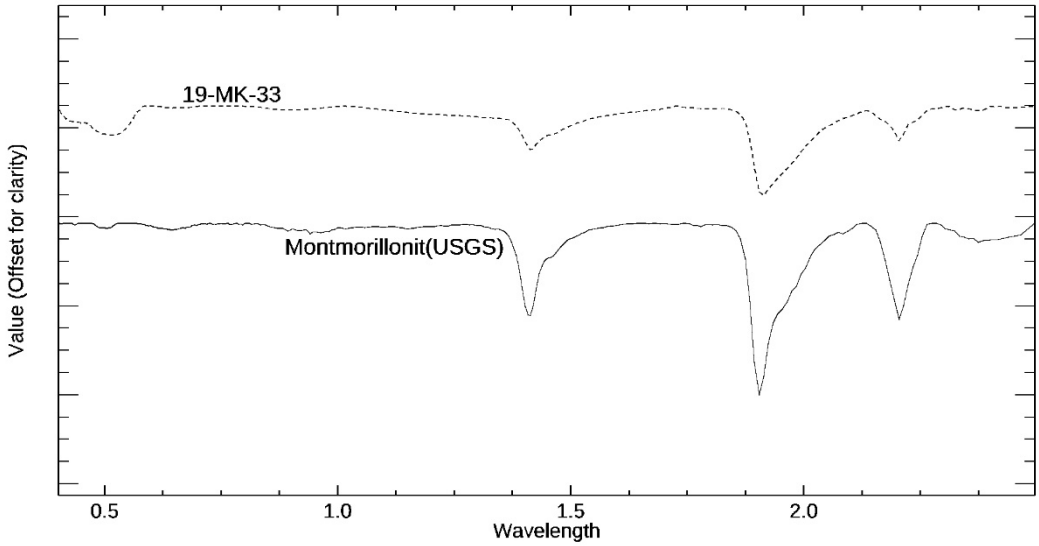
Kayaç spektrası



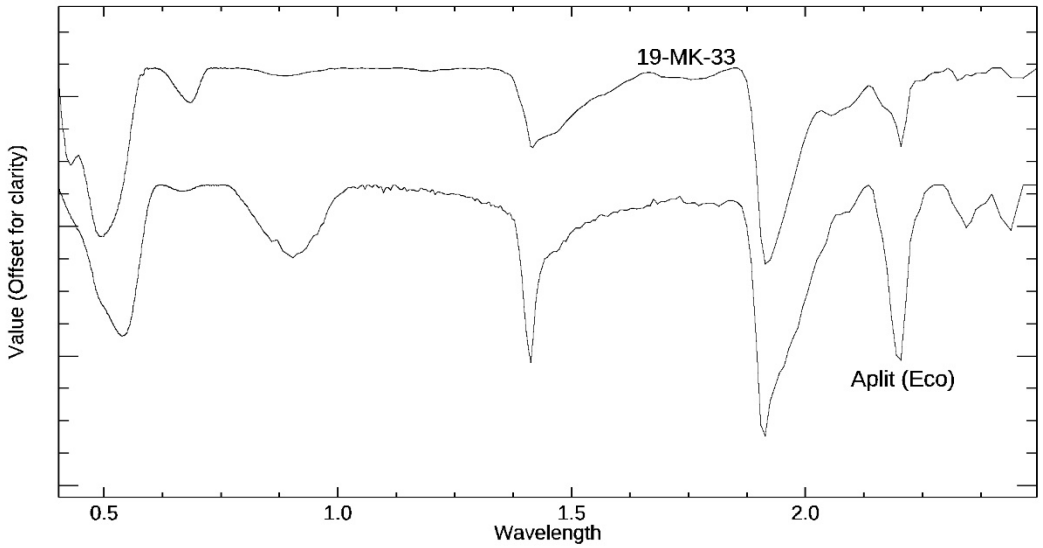
El örneği



Mineral spektrası



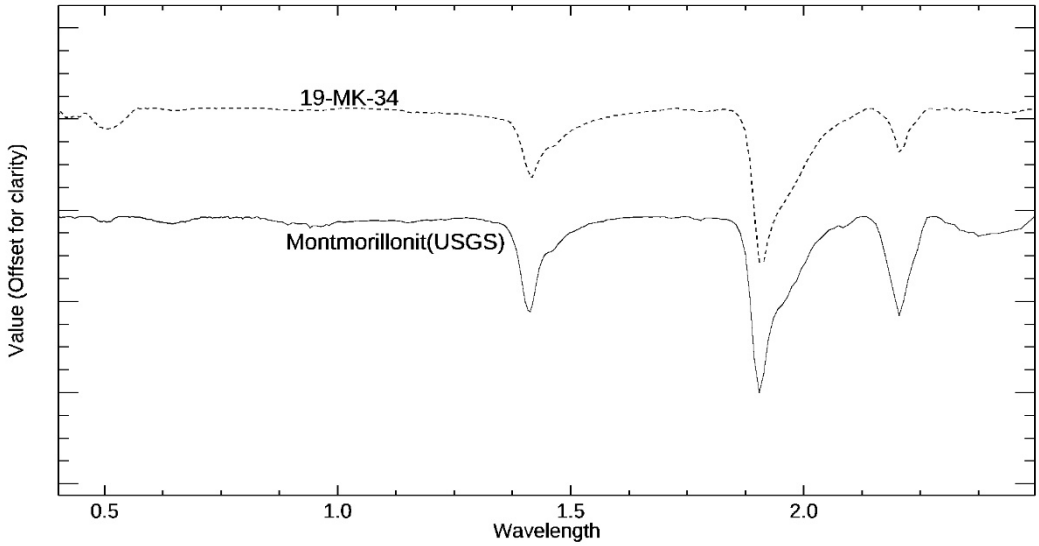
Kayaç spektrası



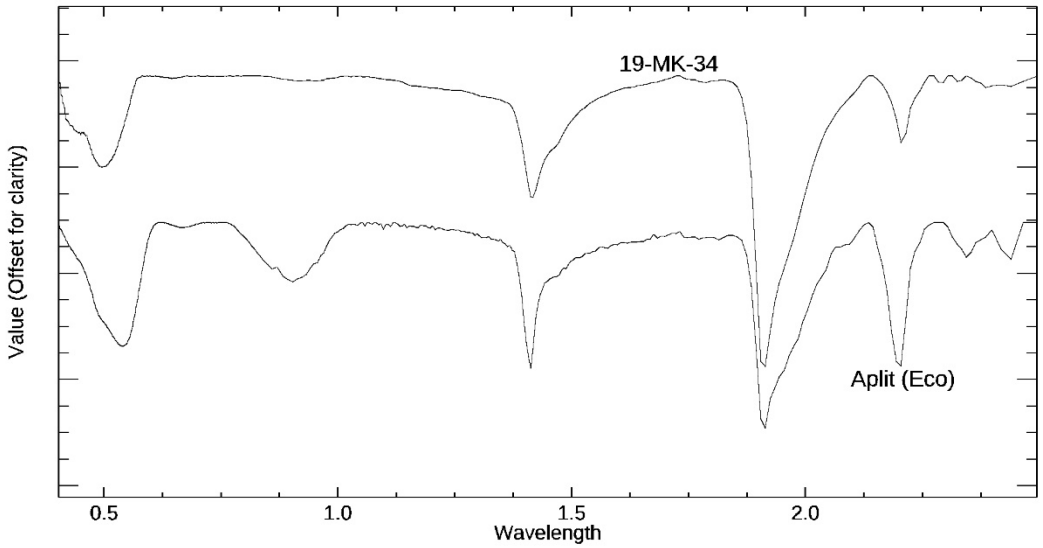
El örneği



Mineral spektrası



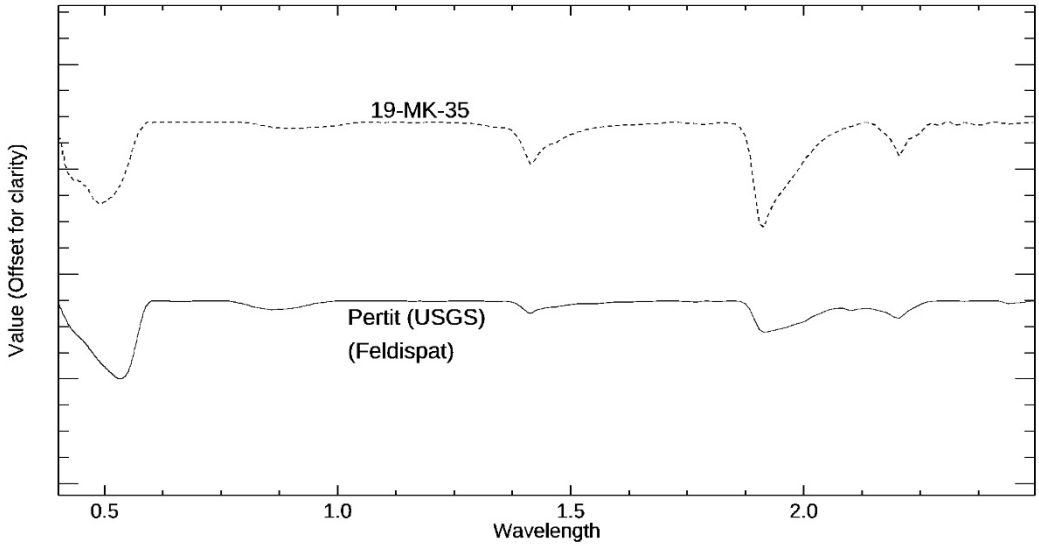
Kayaç spektrası



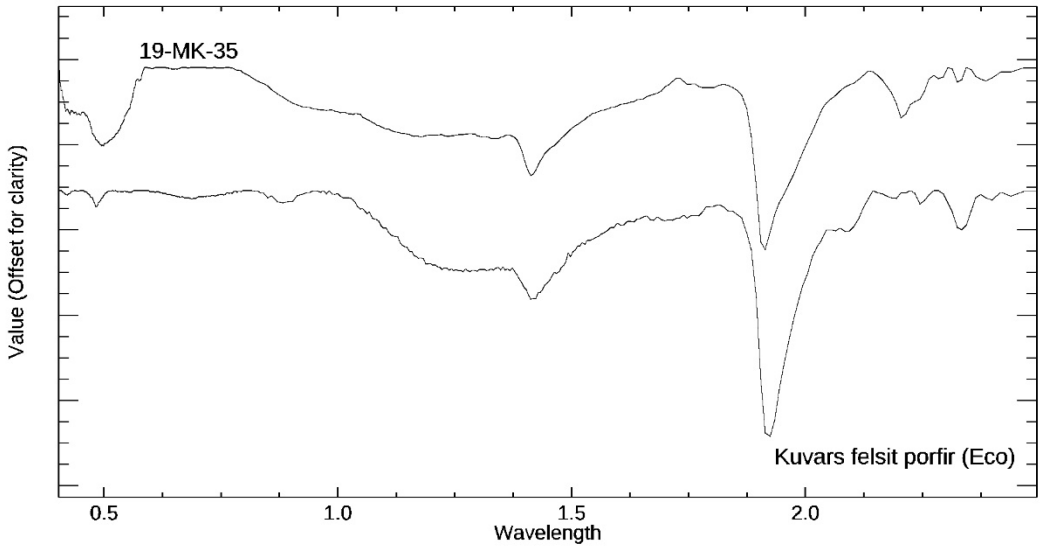
El örneği



Mineral spektrası



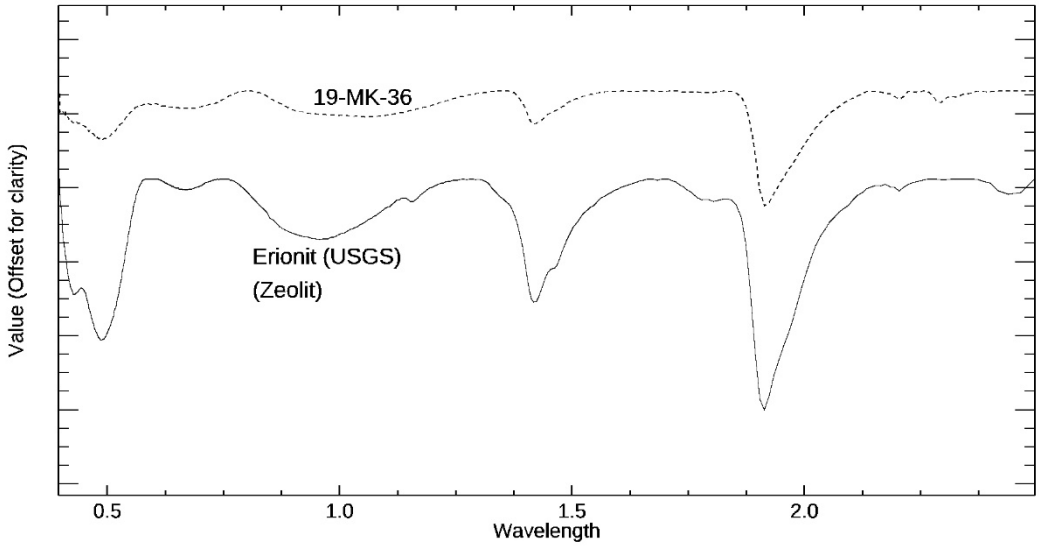
Kayaç spektrası



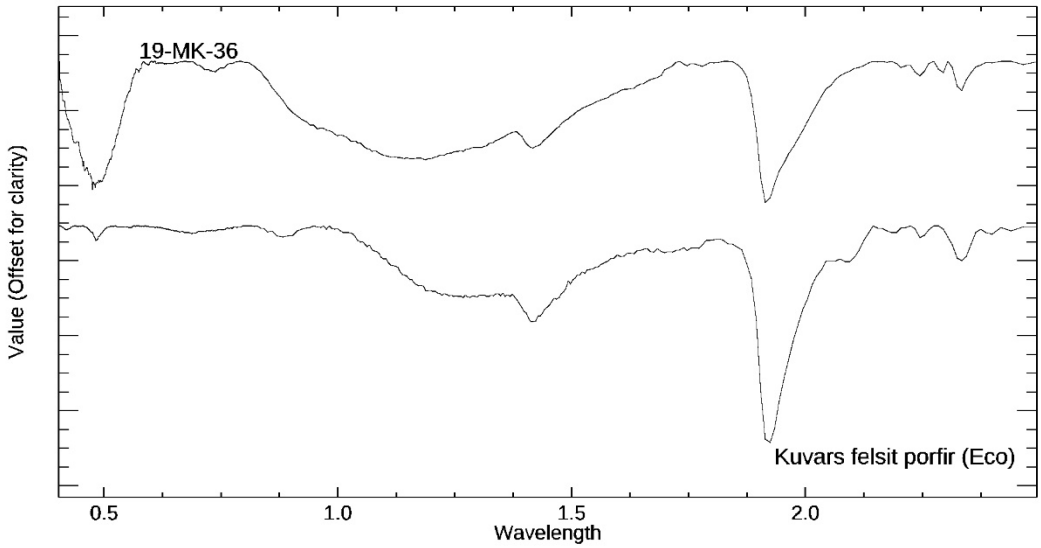
El örneği



Mineral spektrası



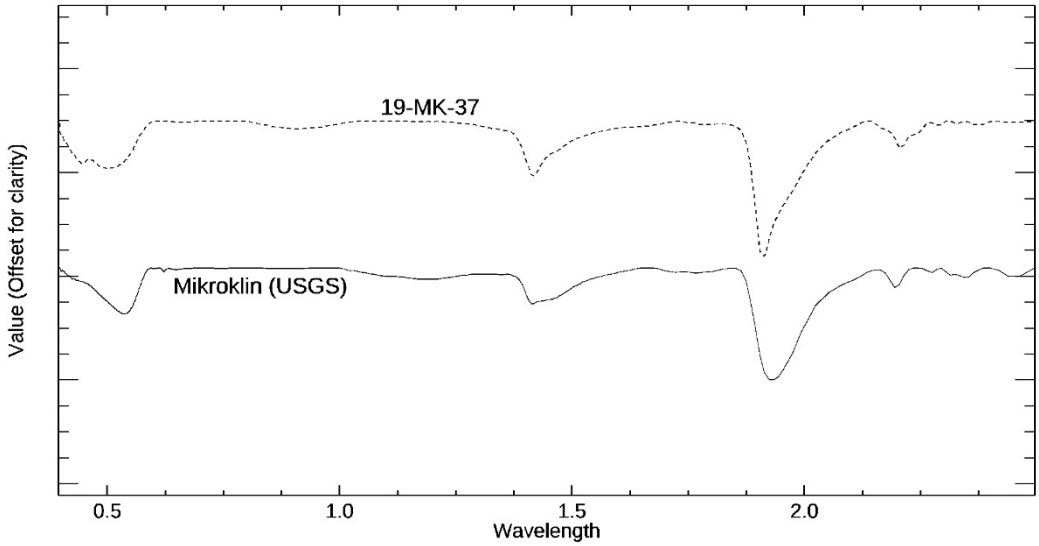
Kayaç spektrası



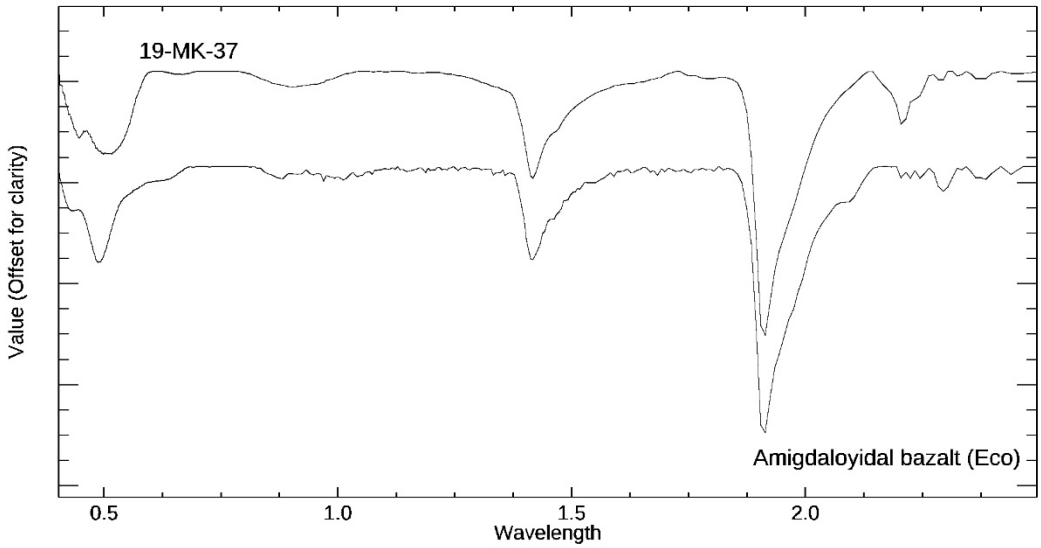
El örneği



Mineral spektrası



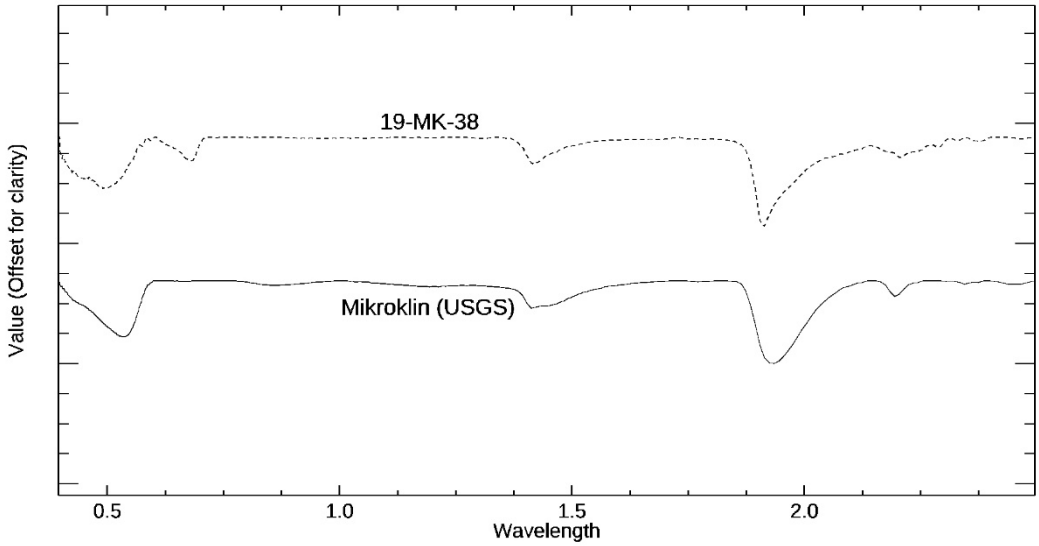
Kayaç spektrası



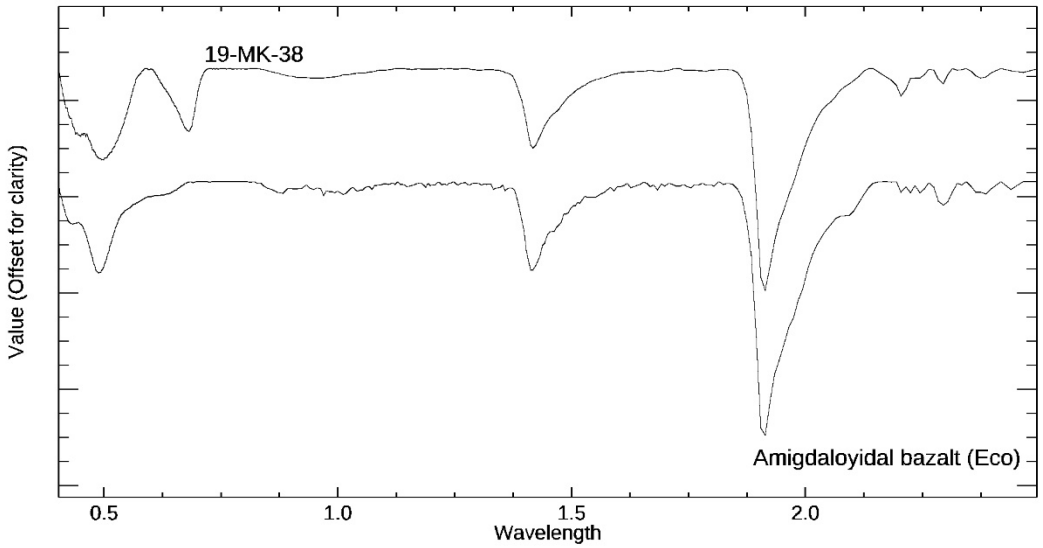
El örneği



Mineral spektrası



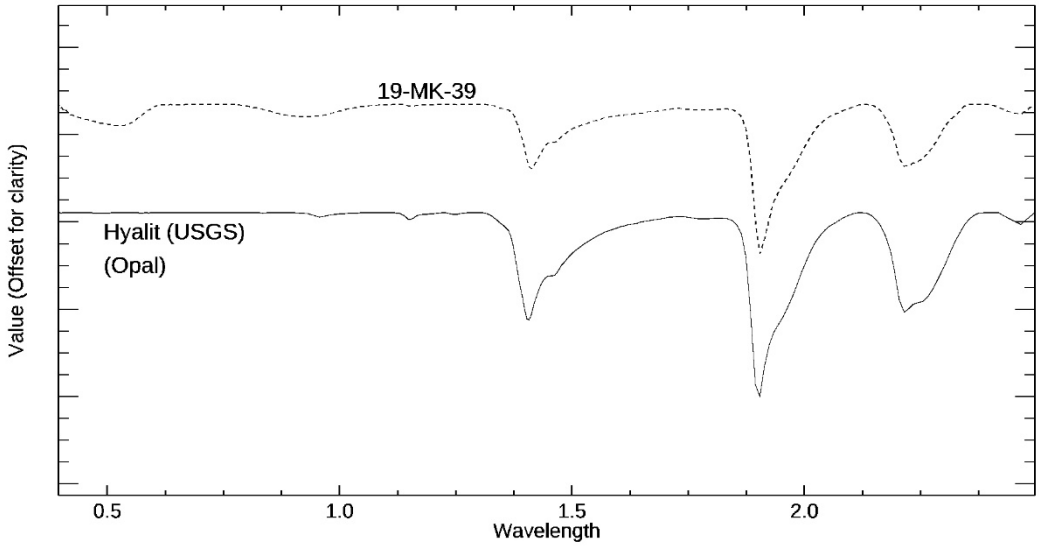
Kayaç spektrası



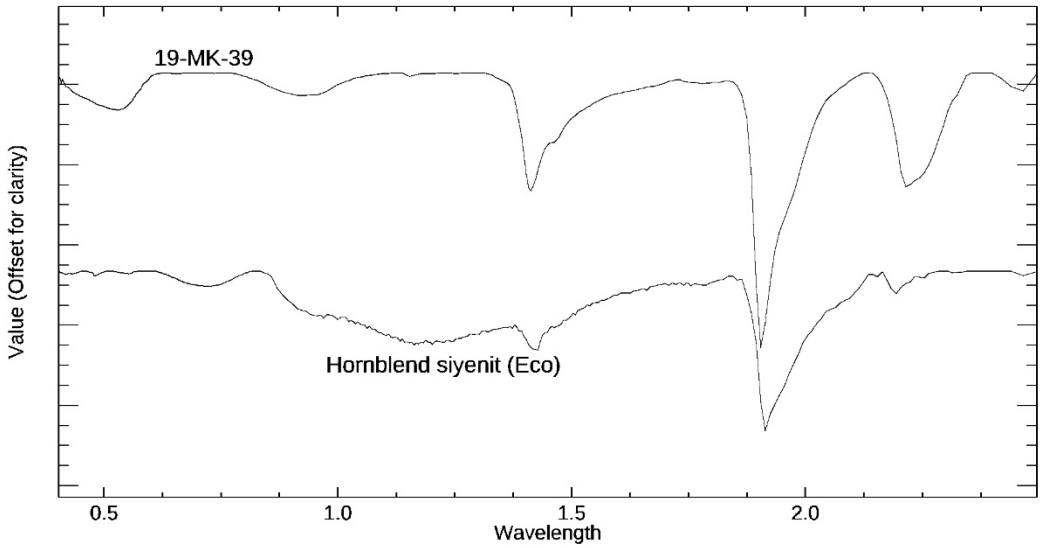
El örneği



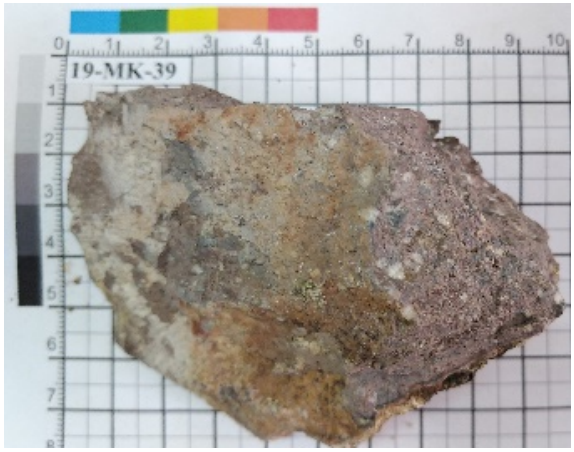
Mineral spektrası



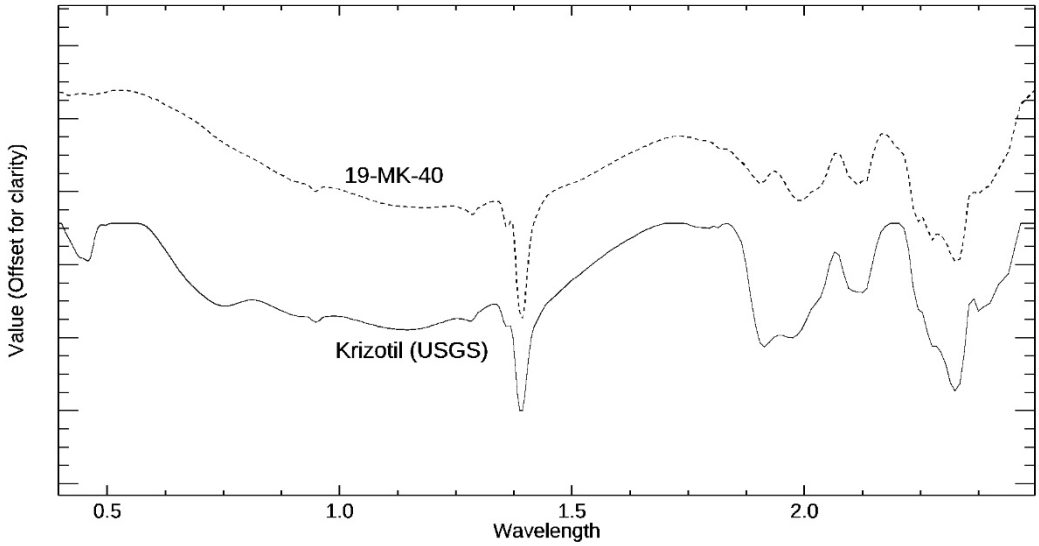
Kayaç spektrası



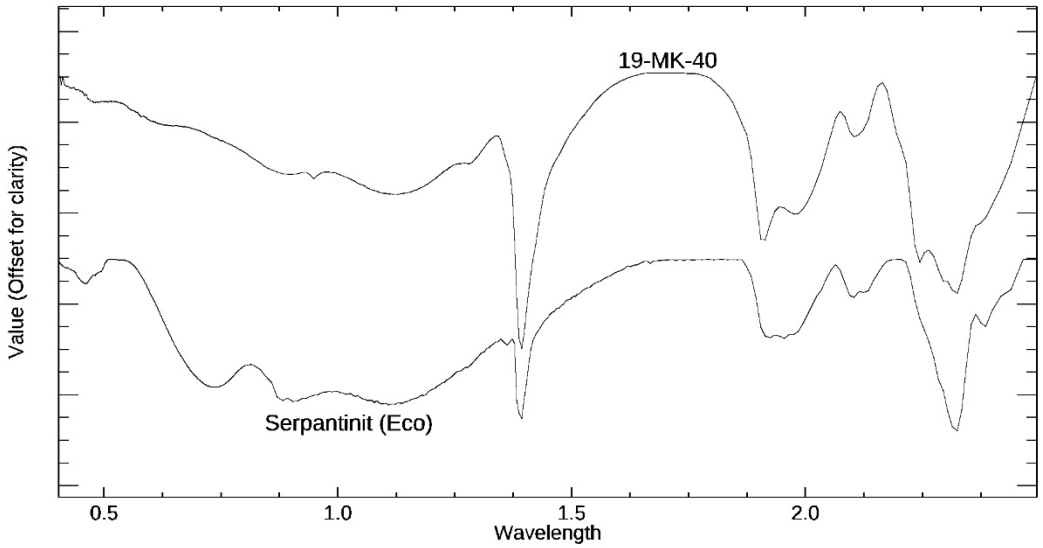
El örneği



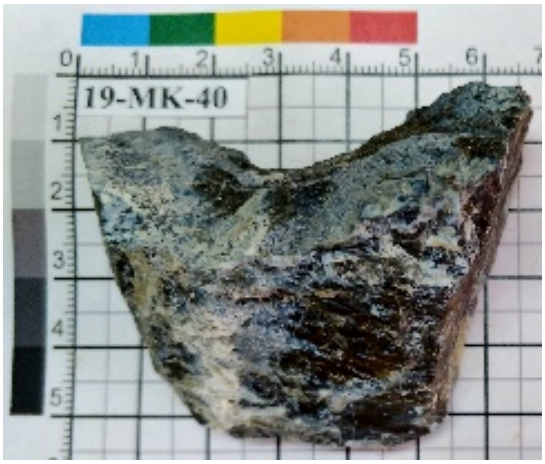
Mineral spektrası



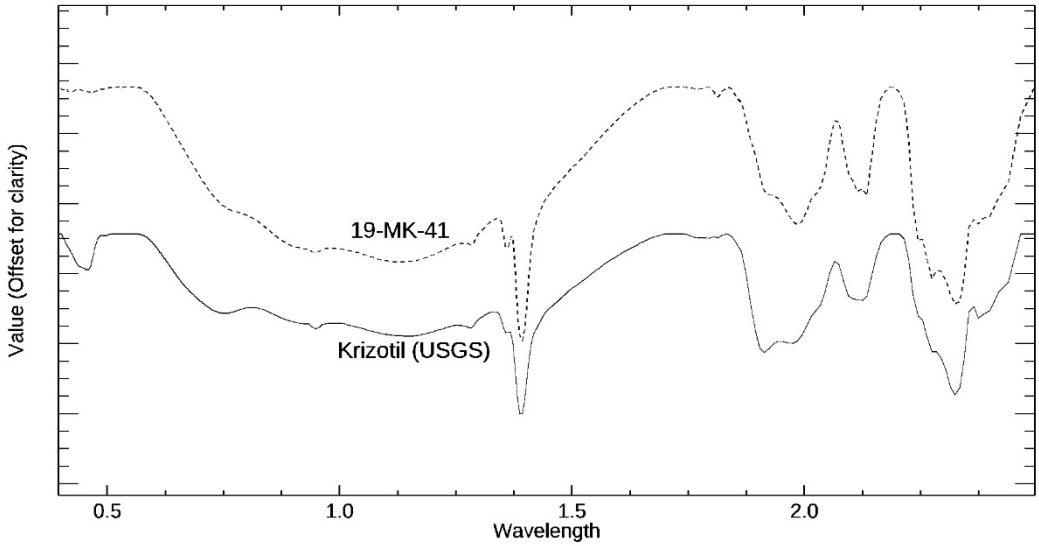
Kayaç spektrası



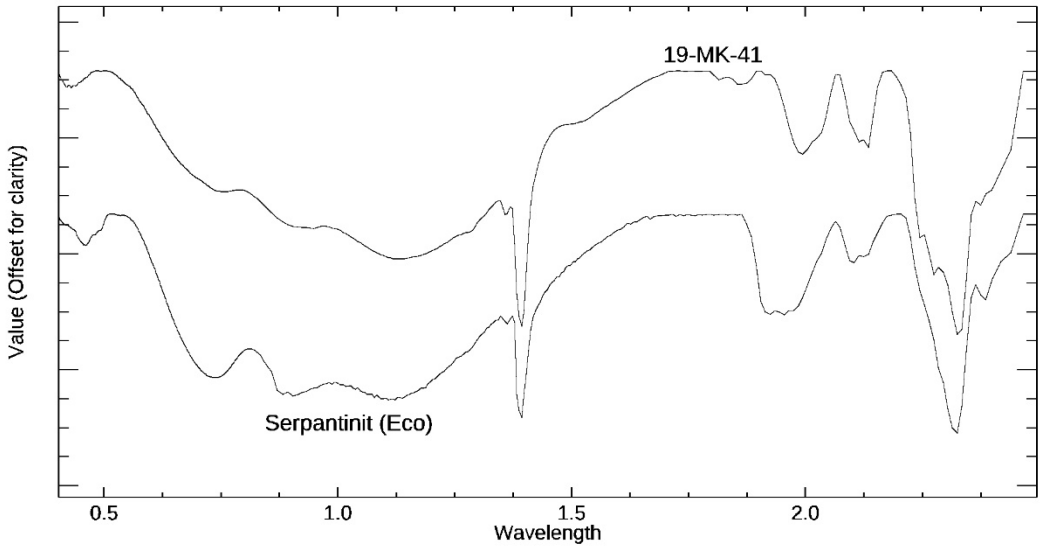
El örneği



Mineral spektrası



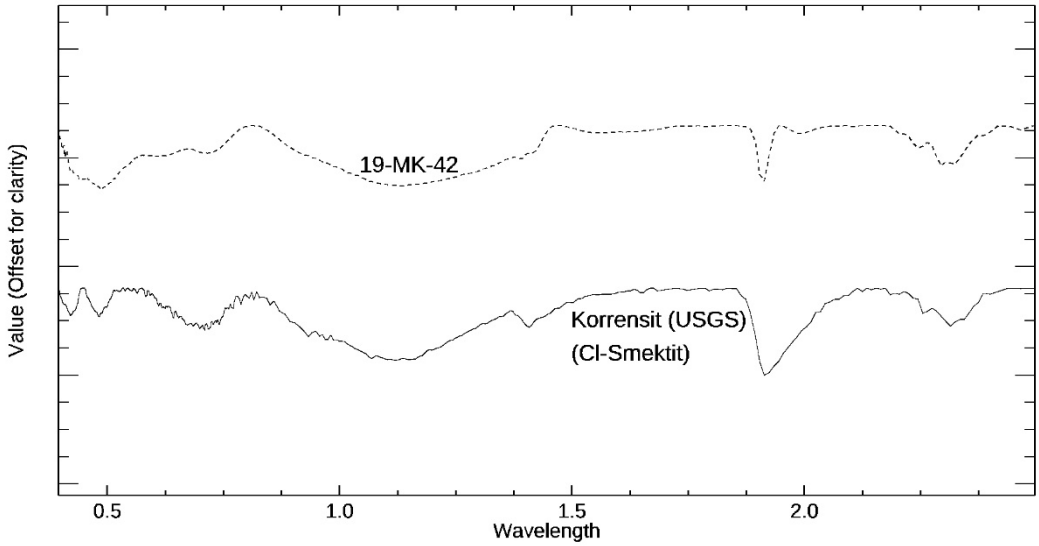
Kayaç spektrası



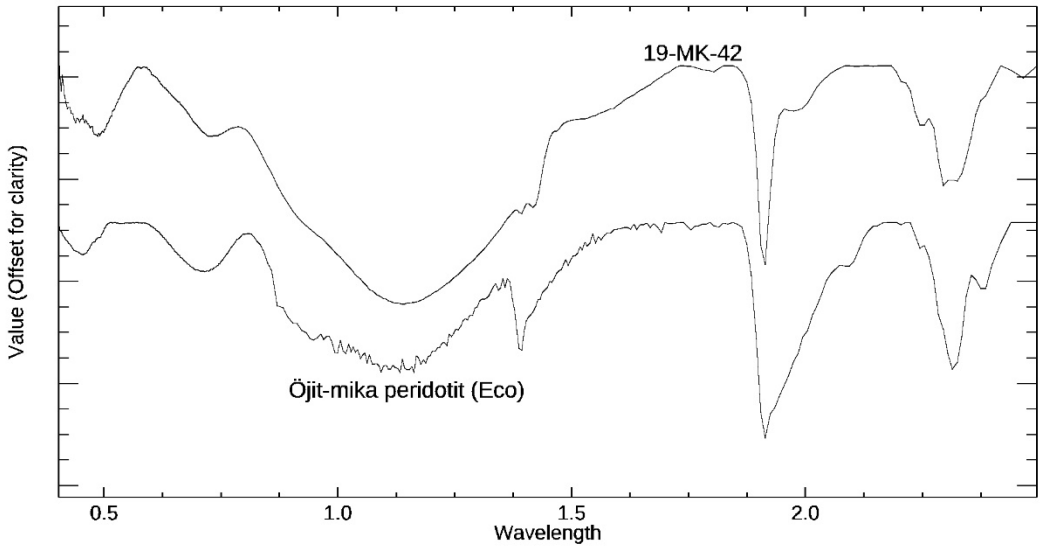
El örneği



Mineral spektrası



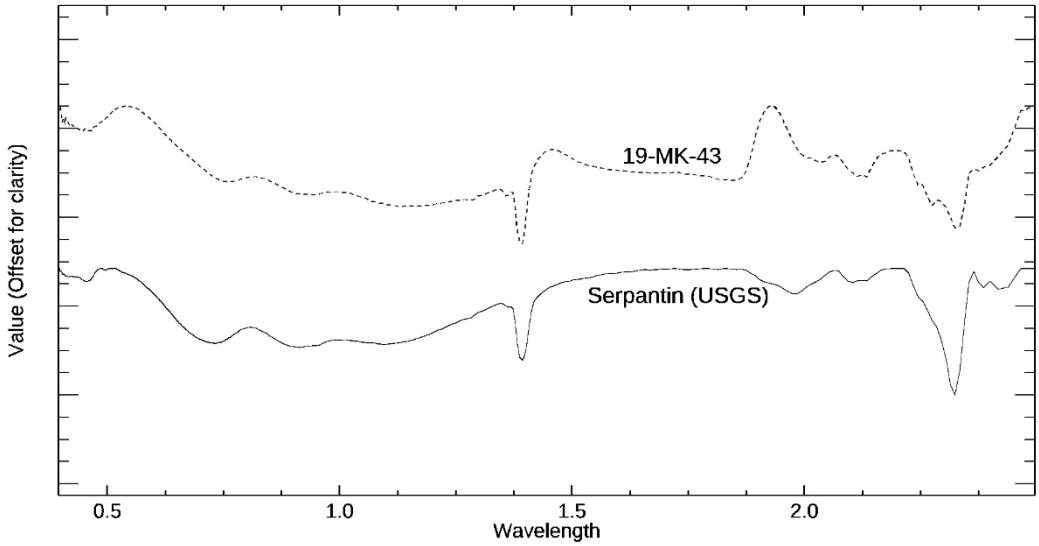
Kayaç spektrası



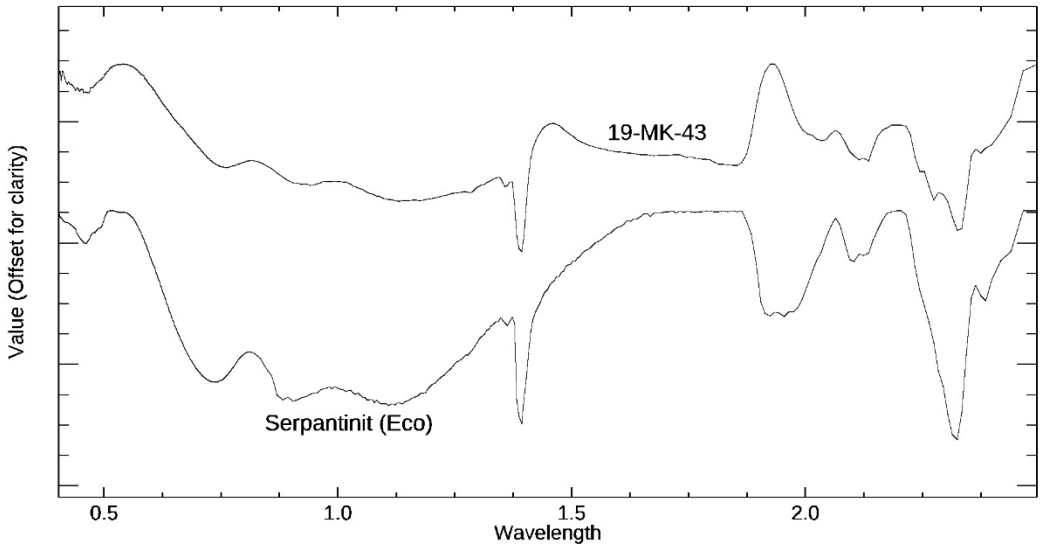
El örneği



Mineral spektrası



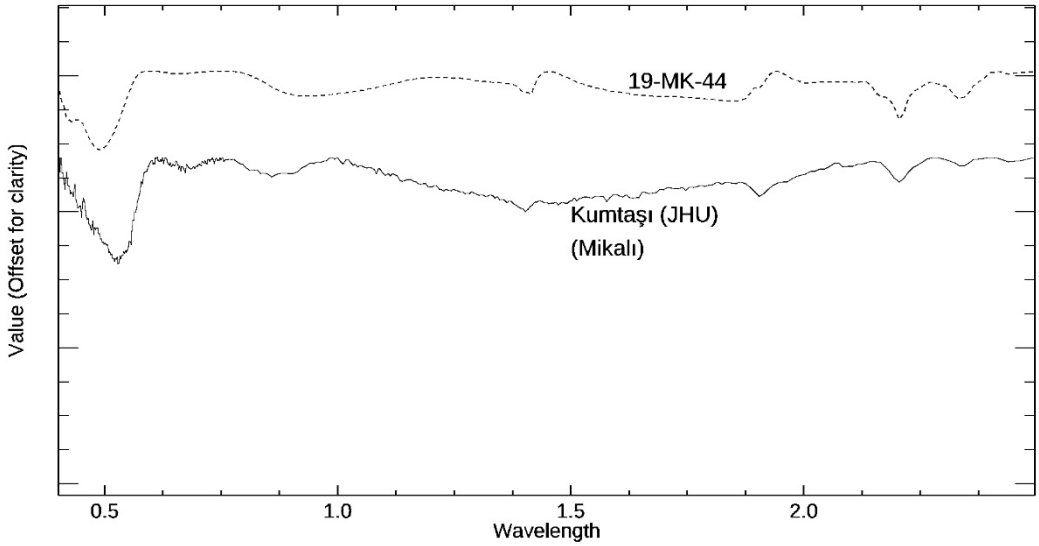
Kayaç spektrası



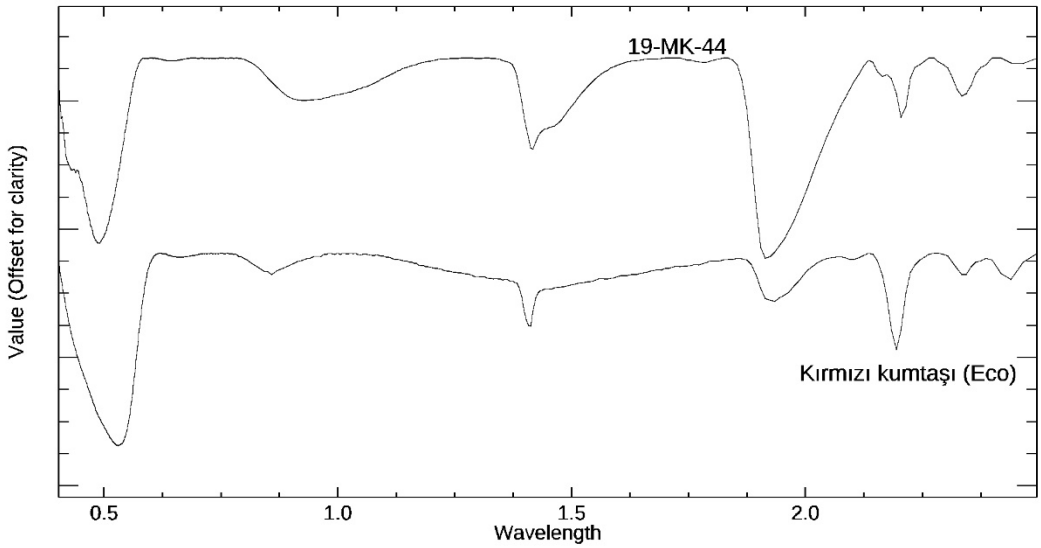
El örneği



Mineral spektrası



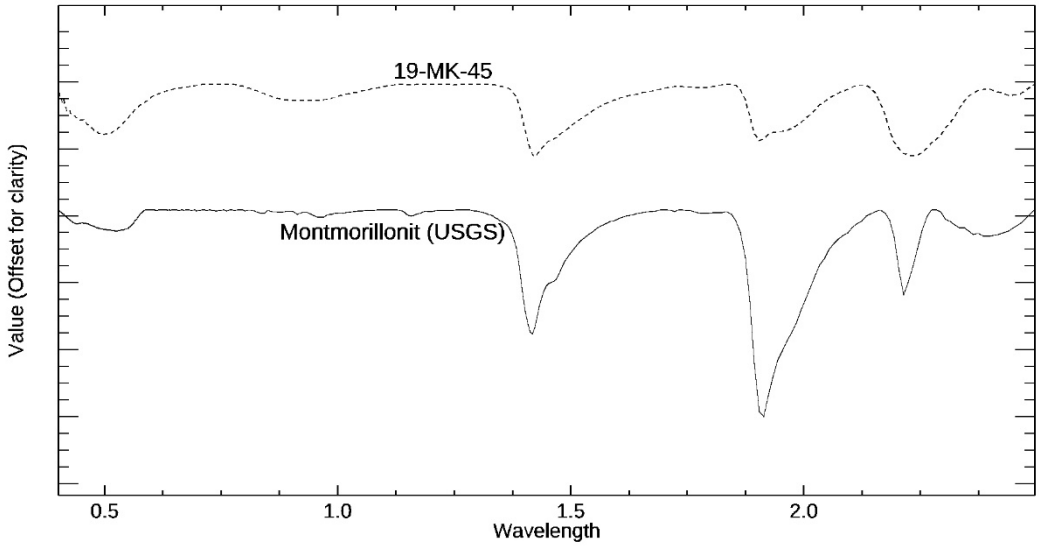
Kayaç spektrası



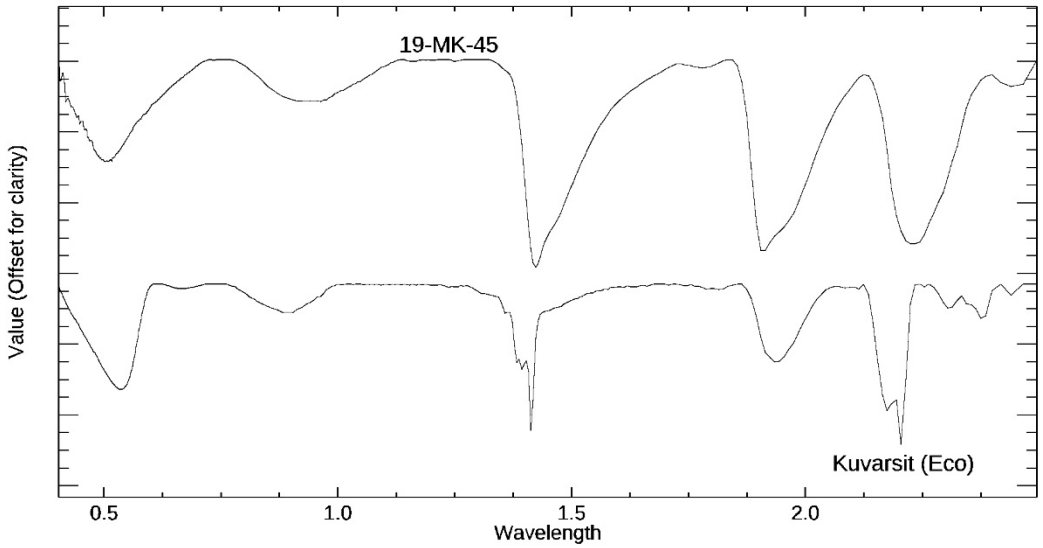
El örneği



Mineral spektrası



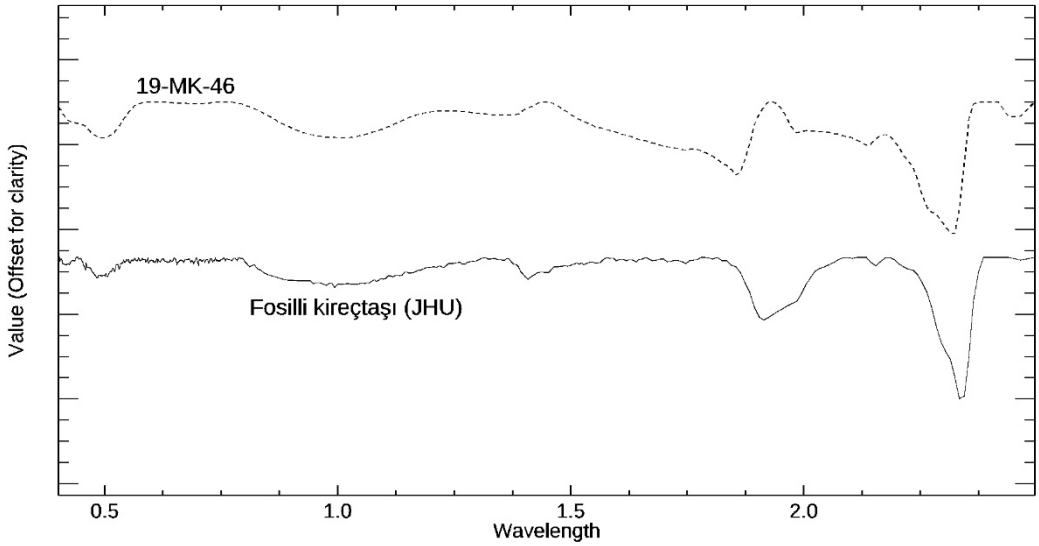
Kayaç spektrası



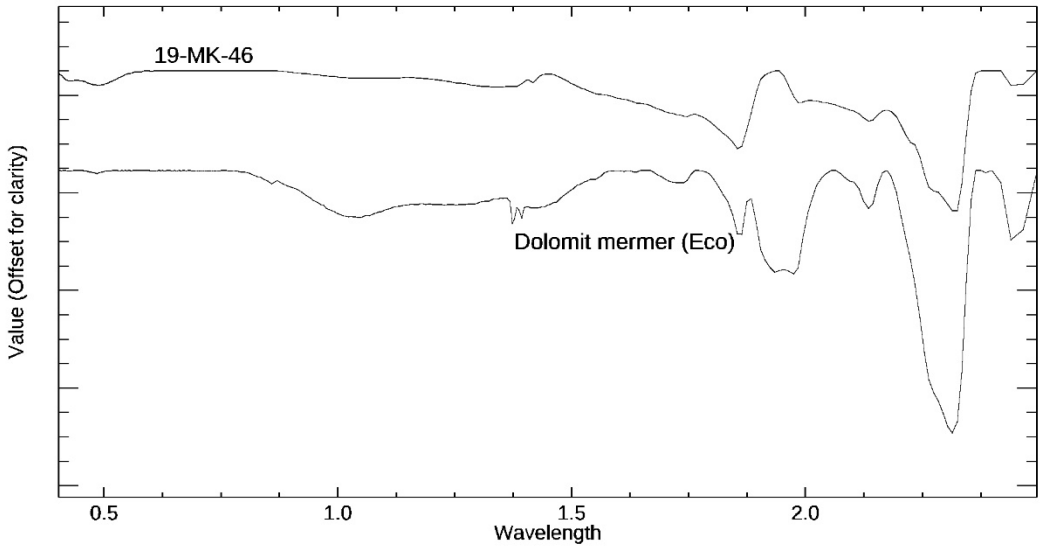
El örneği



Mineral spektrası



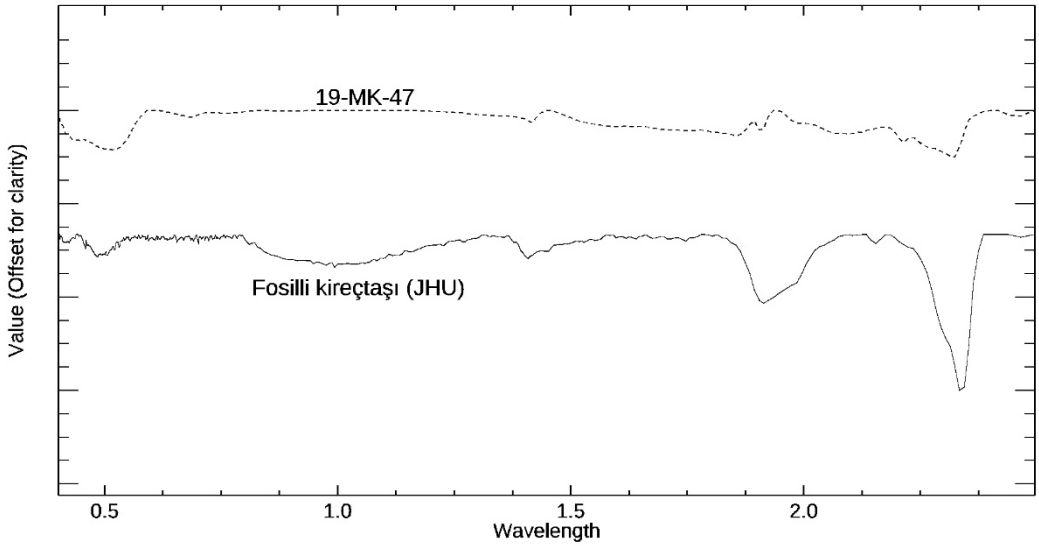
Kayaç spektrası



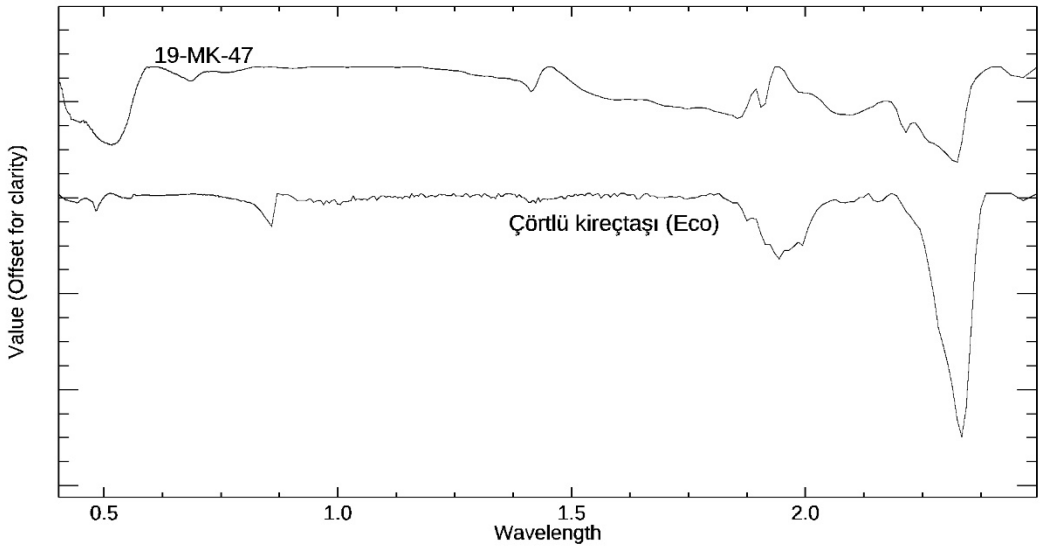
El örneği



Mineral spektrası



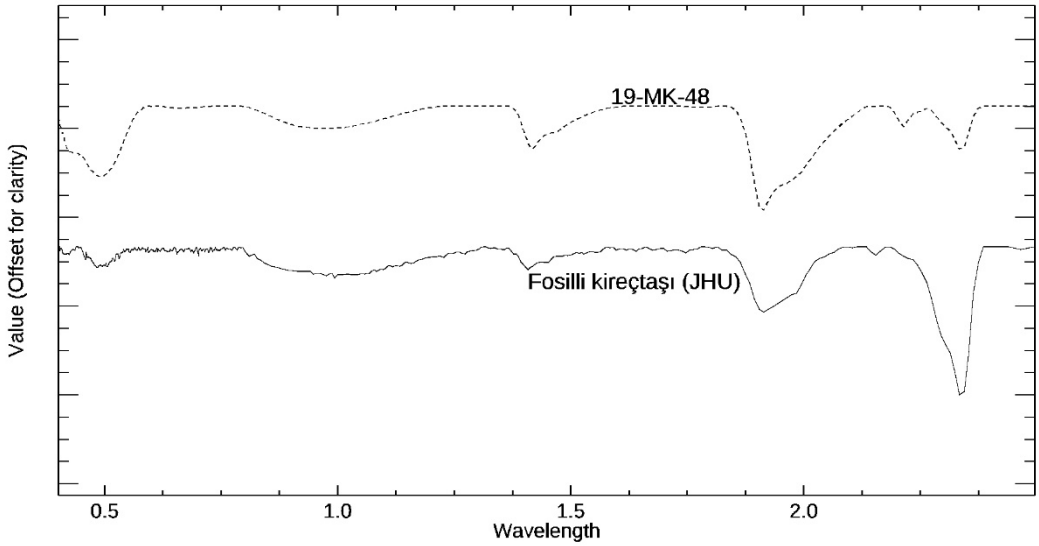
Kayaç spektrası



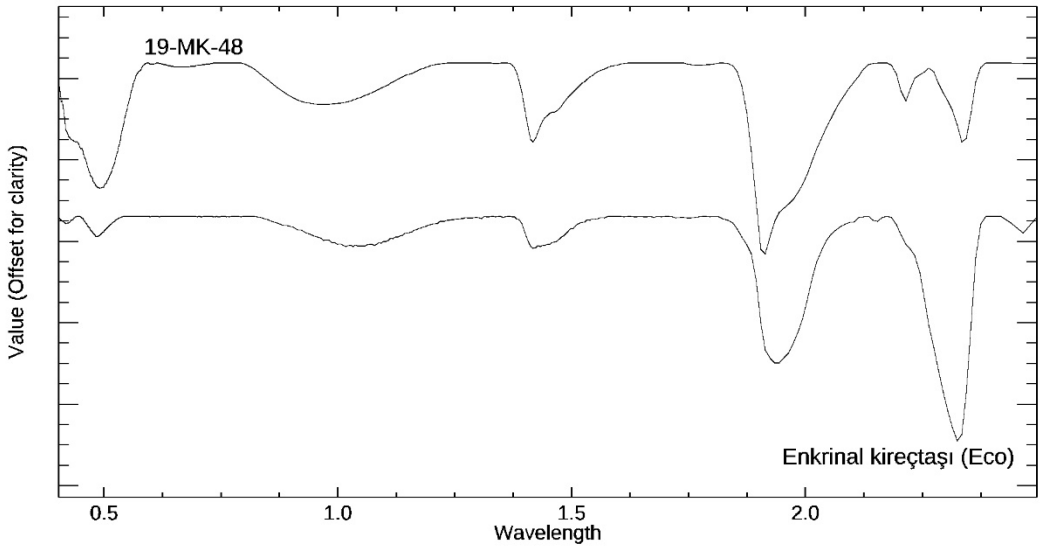
El örneği



Mineral spektrası



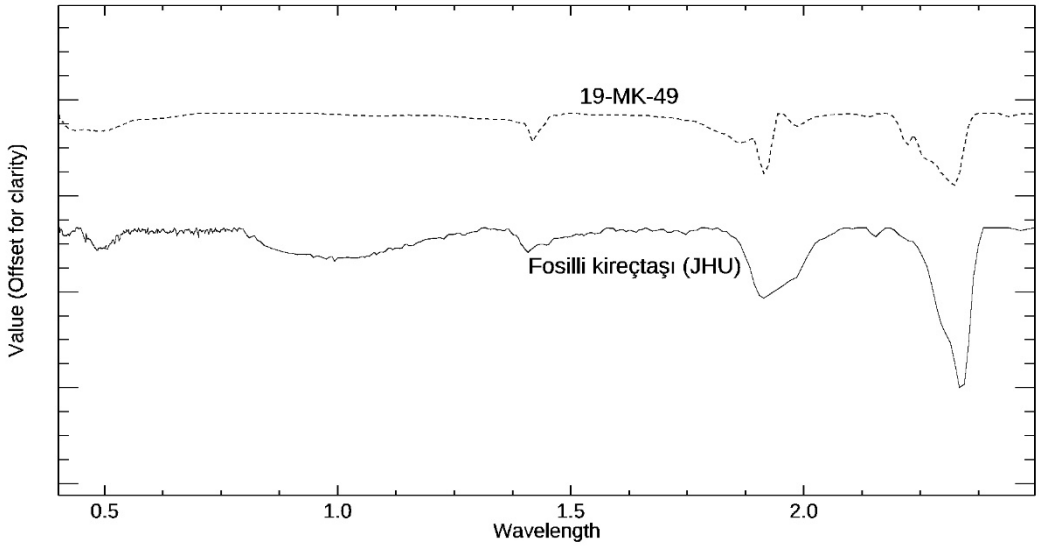
Kayaç spektrası



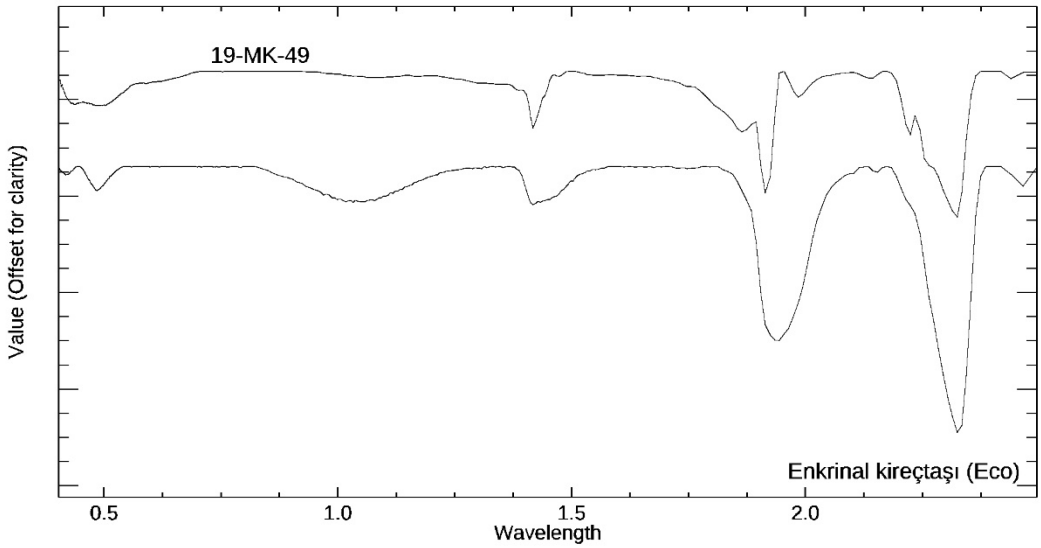
El örneği



Mineral spektrası



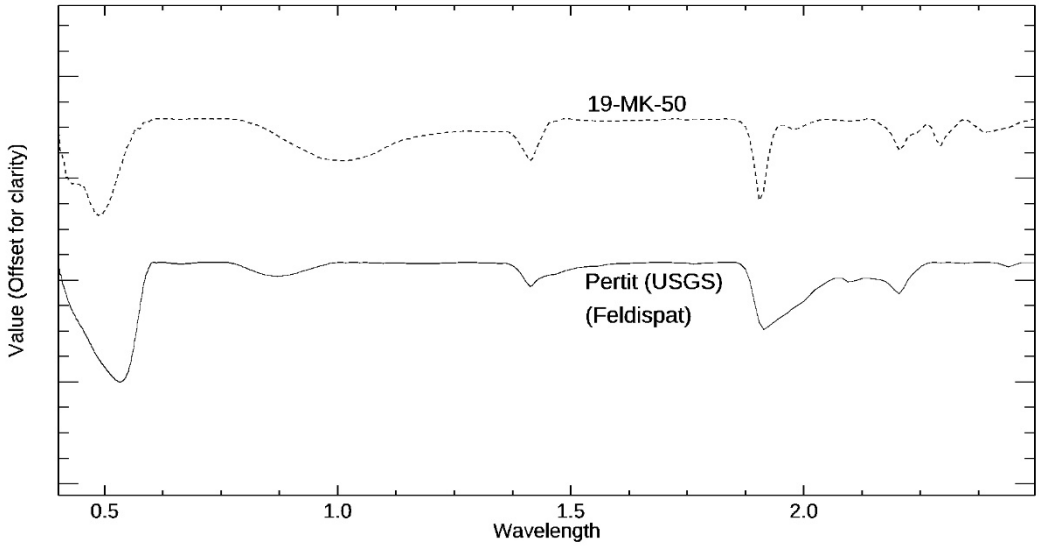
Kayaç spektrası



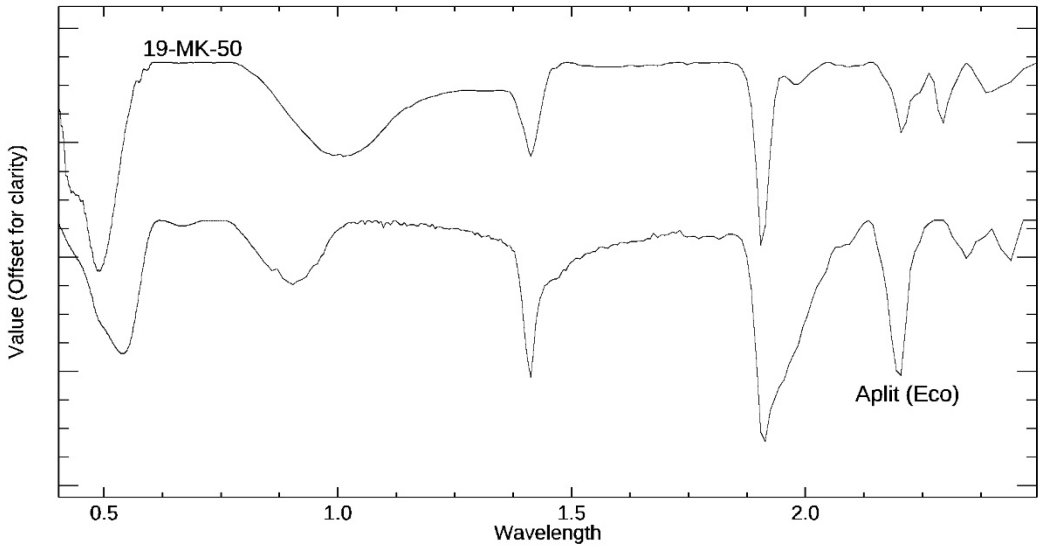
El örneği



Mineral spektrası



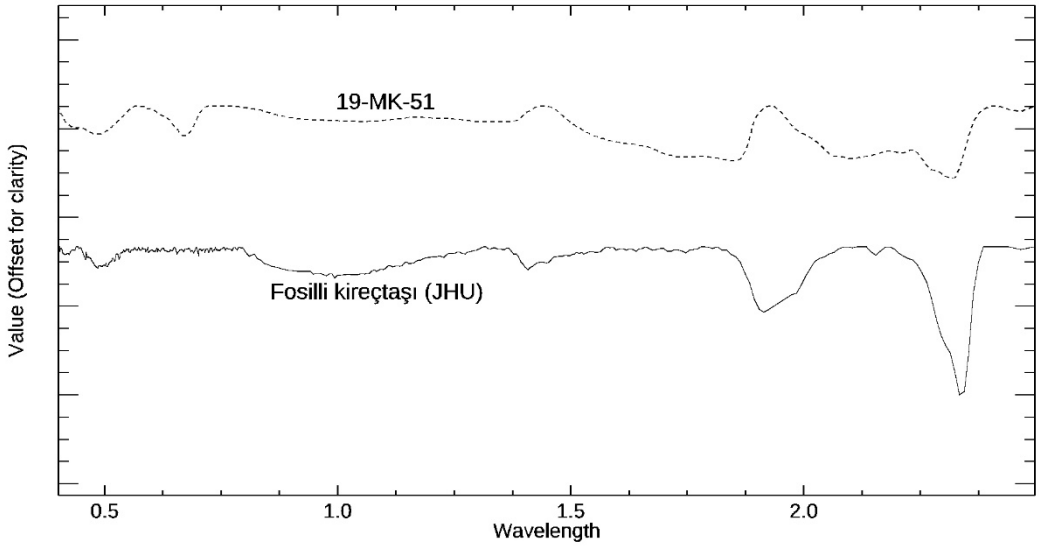
Kayaç spektrası



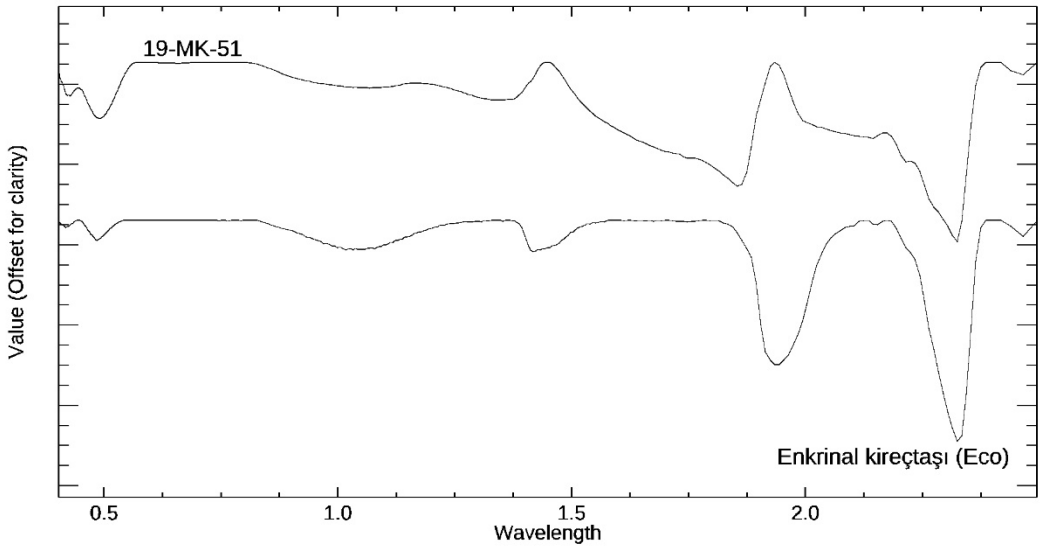
El örneği



Mineral spektrası



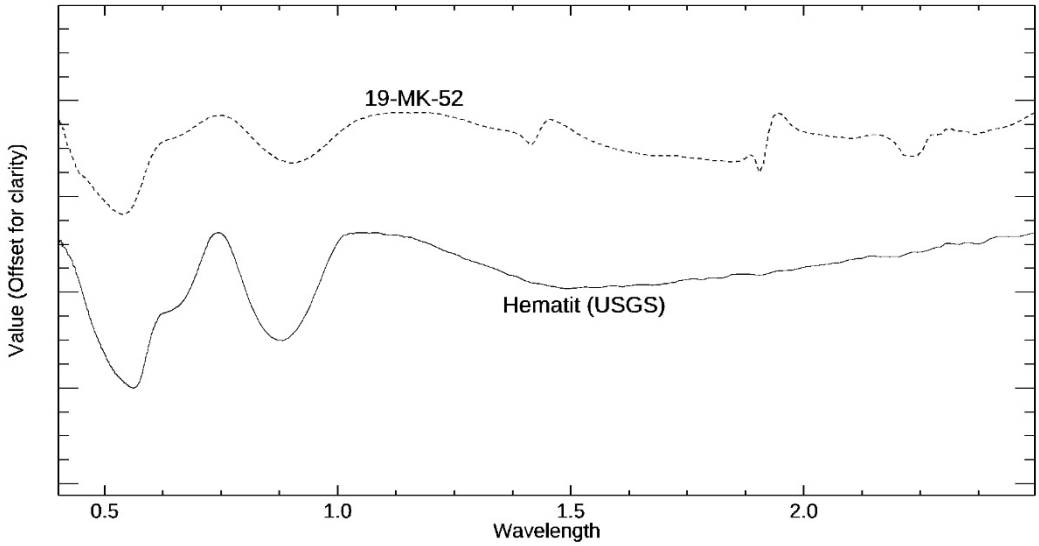
Kayaç spektrası



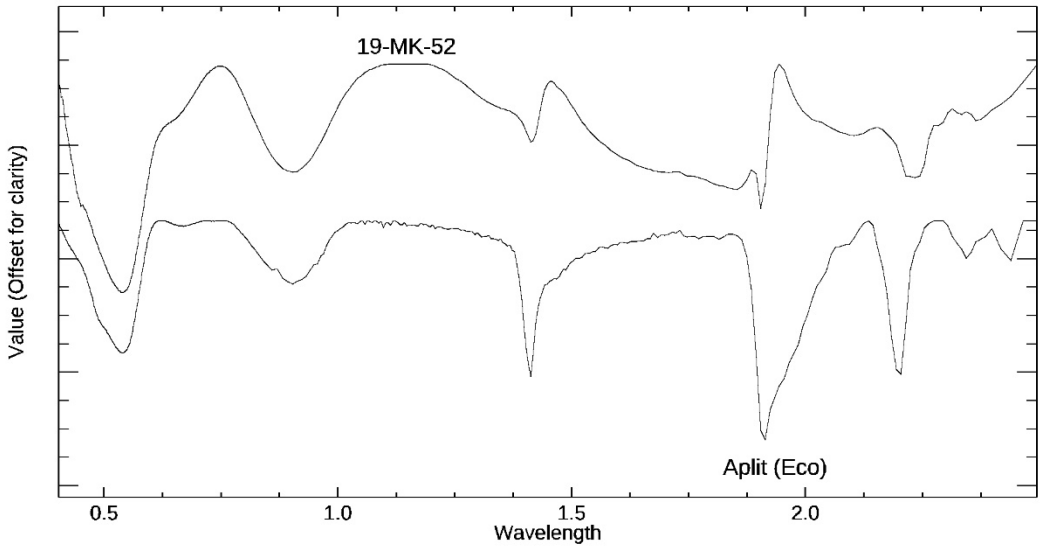
El örneği



Mineral spektrası



Kayaç spektrası



El örneği

