



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ADAÖREN - BOYALICA (DURSUNBEY-
BALIKESİR) YÖRESİ KROMİT
CEVHERLEŞMESİNİN JEOLojİK VE
METALojENİK İNCELENMESİ**

Gülşah USTA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim

Haziran-2025
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Gülşah USTA tarafından hazırlanan “Adaören - Boyalıca (Dursunbey-Balıkesir) Yöresinin Kromit Cevherleşmesinin Jeolojik ve Metalojenik İncelenmesi” adlı tez çalışması 19/06/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Unvanı Adı SOYADI
(Üniversitesi)

.....

Danışman

Unvanı Adı SOYADI
(Üniversitesi)

.....

Üye

Unvanı Adı SOYADI
(Üniversitesi)

.....

Üye

Unvanı Adı SOYADI
(Üniversitesi)

.....

Üye

Unvanı Adı SOYADI
(Üniversitesi)

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması KTUN BAP tarafından 231007068 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Gülşah USTA

Tarih: 19/06/2025

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ADAÖREN - BOYALICA (DURSUNBEY-BALIKESİR) YÖRESİ KROMİT CEVHERLEŞMESİNİN JEOLJİK VE METALojENİK İNCELENMESİ

Gülşah USTA

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Alican ÖZTÜRK

2025, 139 Sayfa

Bu çalışma, Balıkesir ili, Dursunbey ilçesi, Adaören Mahallesi ve Boyalıca Mahallesi civarındaki yaklaşık 74 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Bu çalışma kapsamında Batı Anadolu bölgesinde ofiyolitler içerisinde gözlemlenen kromit cevherleşmelerinin jeolojik, mineralojik, petrografik ve jeokimyasal incelenmesi ve cevherleşmenin oluşum ortamları ile ekonomik boyutlarının araştırılması amaçlanmıştır.

İnceleme alanlarından toplam 37 adet cevher ve yankayaç numunesi alınmış, bu numunelerden seçilen 27 adet numune inceleme alanında bulunan krom laboratuvarında 0.90 mikron ve altına inecek şekilde kırılıp öğütülerek analiz için pudra haline getirilmiştir. Boyalıca Mahallesi civarındaki inceleme alanından alınan 7 adet ve Adaören Mahallesi civarındaki inceleme alanından alınan 20 adet kromit ve yan kayaç numunelerin tüm kayaç ana oksit ve iz element analizleri yaptırılarak jeokimyasal ve jeostatistiksel değerlendirmeler yapılmıştır. Ayrıca yan kayalardan petrografik ince kesitler ve kromit cevher numunelerinden parlak/parlatma kesitleri yapılarak mikroskobik incelemeleri ayrıntılı olarak incelenmiş ve detay veriler elde etmek için SEM analizi yapılmıştır.

Kromit numunelerinden yapılan kimyasal analizlere göre kromitler % 9.43-50.4 arasında Cr₂O₃ içermektedir. Kromit cevherleşmesine ait numunelerin analiz sonuçlarına göre rasyo (Cr/Fe oranı) değerinin 1.17 ile 3.11 aralığında olduğu ve ortalamasının 2.09 olduğunu göstermektedir. Kromit numunelerinin ortalama Cr₂O₃ içeriği % 25.80, ortalama Al₂O₃ içeriği % 2.59, ortalama MgO içeriği % 28.25 ve ortalama TiO₂ içeriği ise % 0.083 civarındadır. Kromit numuneleri içerisindeki % Cr₂O₃ ile ana oksit % MgO, % Fe₂O₃ ve % Al₂O₃ oranlarının karşılaştırmalı diyagramları üzerinde değerlendirme yapılmıştır. Buna göre, kromit cevherinin içerdiği Al₂O₃ ve Fe₂O₃ oranları arttıkça Cr₂O₃ oranı da artmakta ve MgO oranı azaldıkça Cr₂O₃ oranı artmaktadır. Kromit numuneleri içerisindeki ana oksit değerlerinden Cr₂O₃, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ ile pozitif korelasyon gösterirken MgO ile negatif korelasyon göstermektedir.

Numunelerin kimyasal analiz verileri doğrultusunda yapılan korelasyon katsayıları baz alınarak oluşturulan cluster (küme) analiz sonucuna göre kromit cevher numunelerinde 5, yan kayaç numunelerinde ise 6 ana grup belirlenmiştir. Kromit cevher numunelerinin analiz değerlerine göre Cr₂O₃; V ile çok kuvvetli pozitif korelasyona, Fe₂O₃ ve Zr ile kuvvetli pozitif korelasyona, Ni ile kuvvetli negatif korelasyona sahip olduğu tespit edilmiştir. Kromit cevher numunelerinin analiz sonuçlarına göre MgO, SiO₂ ve Cr₂O₃ açısından EF > 25 değerlerinin olduğu numunelerin mevcut olduğu, bu da yüksek zenginleşmeye işaret ettiği belirlenmiştir. Temel bileşen analizi (PCA) değerlendirmesinde ise Cr₂O₃, Fe₂O₃, Al₂O₃ ve V olmak üzere ana oksit ve iz elementinin birlikte hareket ettiği, TiO₂, MnO, Gd ve Zn olmak üzere ana oksit ve iz elementinin birlikte pozitif korelasyon gösterdiği, Sr, Sn, Re, Dy, Tb, Eu, Hf,

W, Zr, Cl, S, Co, Ga, Ni, CaO, SiO₂ ve MgO ana oksit ve iz elementlerinin ortama sonradan geldiği tespit edilmiştir.

Yapılan SEM analizlerine göre parlatma örneğinde gözlenen mineralin S içeriği % 36.80-40.71 aralığında ve Ni içeriği % 44.97-61.95 aralığında değişim gösterdiği tespit edilmiş olup SEM analizleri sonuçlarına göre 2 adet kromit numunesi içerisinde bulunan mineralin millerit olduğu kanaatine varılmıştır.

Kromit numunelerine ait kimyasal analiz sonuçlarına göre TiO₂-Cr₂O₃ diyagramında ofiyolitik kromit ve stratiform kromit sınır ayrımı yapılmış olup kromit minerallerinin hepsi ofiyolitik kromit sınırları içerisinde kaldığı tespit edilmiştir. Cr₂O₃, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ içeriklerine göre hazırlanan üçgen diyagramında analiz sonuçlarının ferrikrom sınır bölgesinde yer aldığı görülmektedir. İnceleme alanlarındaki kromit cevherleşmelerinin boninitik magmada ve yay gerisinde olduğu tespit edilmiştir. Kromit numunelerine ait kimyasal analiz sonuçlarına göre TiO₂-Al₂O₃ diyagramında 2 adet numunenin ada yayı ve dalma batma zonu peridotitleri sınırlarının ortak kısmına ve 8 adet numunenin ada yayı sınırlarına düştüğü tespit edilmiştir. İnceleme alanlarından alınan kromit cevherleşmesine ait numunelerde yapılan analiz sonuçlarına göre bölgenin Podiform (Alpin) tipi krom yataklanması olduğunu göstermektedir.

Bu veriler ışığında inceleme alanlarındaki kromit cevherleşmelerinin boninitik magmada ve yay gerisinde olduğu, Podiform tip krom yataklanma özelliği gösterdiği, analiz sonuçlarına göre ferrikrom sınır bölgesinde yer aldığı, rasyo değerinin yüksek olduğu tespit edildiğinden metalürji sanayisinde paslanmaz çelik, metal ve silah yapımında kullanılan ferrokrom üretiminde kullanılabileceği kanaatine varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dursunbey, jeokimya, kromit, maden yatakları, ofiyolit, podiform, ultrabazik, ultramafik.

ABSTRACT

MS THESIS

GEOLOGICAL AND METALLOGENIC INVESTIGATION OF CHROMITE MINERALIZATION IN ADAÖREN - BOYALICA (DURSUNBEY-BALIKESİR) REGION

Gülşah USTA

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Geological Engineering**

Advisor: Doç. Dr. Alican ÖZTÜRK

2025, 139 Pages

This study covers an area of approximately 74 km² in the vicinity of Adaören Neighborhood and Boyalica Neighborhood of Dursunbey district of Balıkesir province. The aim of this study is to investigate the geological, mineralogical, petrographic and geochemical characteristics of chromite mineralizations observed in ophiolites in the Western Anatolia region and to investigate the formation environments and economic dimensions of the mineralization.

A total of 37 ore and wall rock samples were taken from the study areas, 27 of these samples were crushed and ground to 0.90 microns and below in the chrome laboratory in the study area and turned into powder for analysis. Whole rock major oxide and trace element analyses were performed on 7 chromite and wall rock samples taken from the study area around Boyalica Neighborhood and 20 chromite and wall rock samples taken from the study area around Adaören Neighborhood, and geochemical and geostatistical evaluations were made. In addition, petrographic thin sections were made from wall rocks and bright/polishing sections were made from chromite ore samples, and microscopic examinations were examined in detail and SEM analysis was performed to obtain detailed data.

According to chemical analysis of chromite samples, chromites contain 9.43-50.4 % Cr₂O₃. According to analysis results of samples belonging to chromite mineralization, ratio (Cr/Fe ratio) value is between 1.17 and 3.11 and its average is 2.09. Average Cr₂O₃ content of chromite samples is 25.80 %, average Al₂O₃ content is 2.59 %, average MgO content is 28.25 % and average TiO₂ content is around 0.083 %. Evaluation was made on comparative diagrams of % Cr₂O₃ and main oxide % MgO, % Fe₂O₃ and % Al₂O₃ ratios in chromite samples. Accordingly, as Al₂O₃ and Fe₂O₃ ratios contained in chromite ore increase, Cr₂O₃ ratio also increases and as MgO ratio decreases, Cr₂O₃ ratio increases. Among the main oxide values in chromite samples, Cr₂O₃ shows positive correlation with Al₂O₃ and Fe₂O₃, while it shows negative correlation with MgO.

According to the cluster analysis results created based on the correlation coefficients made in accordance with the chemical analysis data of the samples, 5 main groups were determined in chromite ore samples and 6 main groups were determined in wall rock samples. According to the analysis values of chromite ore samples, it was determined that Cr₂O₃ had a very strong positive correlation with V, a strong positive correlation with Fe₂O₃ and Zr, and a strong negative correlation with Ni. According to the analysis results of chromite ore samples, it was determined that there were samples with EF > 25 values in terms of MgO, SiO₂ and Cr₂O₃, indicating high enrichment. In the principal component analysis (PCA) evaluation, it was determined that the main oxide and trace elements, namely Cr₂O₃, Fe₂O₃, Al₂O₃ and V, moved together, the main oxide and trace elements, namely TiO₂, MnO, Gd and Zn, showed a positive

correlation, and the main oxide and trace elements, namely Sr, Sn, Re, Dy, Tb, Eu, Hf, W, Zr, Cl, S, Co, Ga, Ni, CaO, SiO₂ and MgO, came into the environment later.

According to the SEM analysis, it was determined that the S content of the mineral observed in the polishing sample varied between 36.80-40.71 % and the Ni content varied between 44.97-61.95 %, and according to the results of the SEM analysis, it was concluded that the mineral found in the 2 chromite samples was millerite.

According to the chemical analysis results of chromite samples, ophiolitic chromite and stratiform chromite boundary distinction was made in TiO₂-Cr₂O₃ diagram and it was determined that all chromite minerals remained within the ophiolitic chromite boundaries. In the triangle diagram prepared according to Cr₂O₃, Al₂O₃ and Fe₂O₃ contents, it is seen that the analysis results are located in the ferrichrome boundary region. It was determined that chromite mineralizations in the study areas were formed in boninitic magma and behind the arc. According to the chemical analysis results of chromite samples, it was determined that 2 samples in the TiO₂-Al₂O₃ diagram fell on the common part of the island arc and subduction zone peridotite boundaries and 8 samples fell on the island arc boundaries. According to the analysis results of the chromite mineralization samples taken from the study areas, it is shown that the region is a Podiform (Alpine) type chromite deposit.

In the light of these data, it was concluded that the chromite mineralizations in the study areas were formed in boninitic magma and behind the arc, showed podiform type chrome deposit feature, were located in the ferrichrome border region according to the analysis results, and had a high ratio value, thus they could be used in the production of ferrochrome used in stainless steel, metal and weapon production in the metallurgical industry.

Keywords: Dursunbey, chromite, geochemistry, ore deposits, ophiolite, podiform, ultrabasic, ultramafic.

ÖNSÖZ

Bu çalışma Konya Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı 2022-2025 akademik yılları arasında “Yüksek Lisans Tezi” olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmanın yürütülmesi esnasında, çalışmalarına yöne veren, öneri, katkı ve yardımlarını esirgemeyen ve bana her türlü desteği sağlayan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Alican ÖZTÜRK’e teşekkürlerimi sunarım. Bu çalışmada desteklerini esirgemeyen Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projelerine (BAP) teşekkürlerimi sunarım. Mesleğe ilk adımlarımı yanında attığım, değerli deneyimler kazandığım ve mesleki hayatımda gelişmem için her türlü desteği sağlayan Sayın Aydın ERGÜDEN’e en içten teşekkürlerimi sunarım. Arazi çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Jeoloji Mühendisi Burak ÖZALTIN’a teşekkürlerimi sunarım. Yüksek lisans tez çalışmamda yardımlarını esirgemeyen meslektaşım Jeoloji Mühendisi Esra OKUR’a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen değerli aileme çok teşekkür ederim.

Gülşah USTA
KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
EKLER	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xviii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı	1
1.2. İnceleme Alanı.....	2
1.2.1. İklim ve bitki örtüsü.....	3
1.2.2. Morfoloji	3
1.2.3. Ekonomik durum	4
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	15
3.1. Materyal	15
3.1.1. Krom minerali ve oluşumu	15
3.1.1.1. Tabakalı (Stratiform-Bushveld) Tip Krom Yatakları	17
3.1.1.2. Alpin (Podiform) Tipi Krom Yatakları	18
3.2. Yöntem.....	20
3.2.1. Arazi çalışmaları	20
3.2.2. Laboratuvar çalışmaları.....	20
3.2.3. Büro çalışmaları.....	23
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	24
4.1. Genel Jeoloji.....	24
4.1.1. Stratigrafi.....	25
4.1.1.1. Adaören Mahallesi civarındaki inceleme alanının jeolojisi	27
4.1.1.1.1. Tekerler mermeri (Mzt).....	27
4.1.1.1.2. Piribeyler şisti (Kp)	27
4.1.1.1.3. Kırkkavak melanjı (Kk).....	29
4.1.1.1.3.1. Kırkkavak melanjı içerisinde gözlemlenen andezit	30
4.1.1.1.3.2. Kırkkavak melanjı içerisinde gözlemlenen diyabaz.....	31

4.1.1.2. Boyalıca Mahallesi civarındaki inceleme alanının jeolojisi	32
4.1.1.2.1. Karagöz kireçtaşı formasyonu (Mzka)	32
4.1.1.3. Adaören Mahallesi ve Boyalıca Mahallesi civarındaki inceleme alanlarının üst kesiminin jeolojisi	33
4.1.1.3.1. Gınık peridotiti (Kgp).....	33
4.1.1.3.1.1. Gınık peridotiti içerisinde gözlemlenen serpantininit	34
4.1.1.3.1.2. Gınık peridotiti içerisinde gözlemlenen serpantinleşmiş ultramafik kayalar	36
4.1.1.3.2. Gökçedağ Formasyonu (Ng).....	37
4.1.1.3.3. Alüvyon	39
4.1.2. Yapısal jeoloji.....	39
4.1.3. Jeolojik evrim	39
4.2. Cevherleşme	43
4.2.1. Boyalıca Mahallesi civarında bulunan ocaklar	43
4.2.1.1. Karaçam ocak	44
4.2.1.2. Kablo ocak.....	44
4.2.1.3. 9 Nolu ocak.....	45
4.2.1.4. Güler ocak.....	45
4.2.1.5. 2 Nolu ocak.....	46
4.2.1.6. Beylik ocak	46
4.2.1.7. Çeşme ocak.....	47
4.2.1.8. 4 Nolu ocak.....	47
4.2.2. Adaören Mahallesi civarında bulunan ocaklar	48
4.3. Jeokimya	49
4.3.1. Jeokimyasal analizler ve kromitlerin sınıflandırılması	49
4.3.1.1. Kromit cevher numunelerinin analizleri ile belirlenen ana oksit değerleri	49
4.3.1.2. Kromit cevher numunelerinin analizleri ile belirlenen iz element değerleri	52
4.3.1.3. Kromit cevher numunelerinin analiz sonuçlarına ait korelasyon katsayıları baz alınarak oluşturulan cluster analizindeki yakınlık durumları	54
4.3.1.4. Kromit cevher numunelerinin analizleri ile belirlenen ana oksit ve iz element değerlerin korelasyon ilişki analizi.....	55
4.3.1.5. Kromit cevher numunelerinin zenginleştirme faktörü (EF) değerlerinin box plots değerlendirmesi.....	57
4.3.1.6. Kromit cevher numunelerinin temel bileşen analizi (principal components analysis (PCA))	59
4.3.1.7. Yan kayalar numunelerin analizleri ile belirlenen ana oksit değerleri	60
4.3.1.8. Yan kayalar numunelerin analizleri ile belirlenen iz element değerleri.....	61
4.3.1.9. Yan kayalar numunelerinin analiz sonuçlarına ait korelasyon katsayıları baz alınarak oluşturulan cluster analizindeki yakınlık durumları.....	62
4.3.1.10. Yan kayalar numunelerinin analizleri ile belirlenen ana oksit ve iz element değerlerin korelasyon ilişki analizi.....	63
4.3.1.11. Yan kayalar numunelerinin zenginleştirme faktörü (EF) değerlerinin box plots değerlendirmesi.....	65
4.3.1.12. Yan kayalar numunelerinin temel bileşen analizi (principal components analysis (PCA))	67
4.3.2. Cevher mineralojisi ve petrografisi.....	68
4.4. Ekonomik Jeoloji.....	81
4.4.1. Krom cevherinin kullanım alanları	81
4.4.2. Dünya krom üretimi	82

4.4.3. Türkiye krom üretimi	83
4.4.4. İnceleme alanlarındaki krom üretimi	85
5. TARTIŞMA	88
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	103
6.1. Sonuçlar	103
6.2. Öneriler	106
KAYNAKLAR	108
EKLER	121



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Kromit cevherleşmesine ait ana oksit (%) sonuçları ve istatistiksel analiz özetleri	49
Çizelge 4.2. Kromit cevherleşmesine ait element (%) değerleri ve bu değerler üzerinden hesaplanan rasyo değerleri.....	51
Çizelge 4.3. Kromit cevherleşmesine ait iz oksit (%) sonuçları ve istatistiksel analiz özetleri	52
Çizelge 4.4. Kromit cevherleşmesine ait korelasyon tablosu	55
Çizelge 4.5. Kromit cevherleşmesinin yan kayaçlarına ait ana oksit (%) sonuçları ve istatistiksel analiz özetleri	60
Çizelge 4.6. Kromit cevherleşmesinin yan kayaçlarına ait iz element (%) sonuçları ve istatistiksel analiz özetleri	61
Çizelge 4.7. Yan kayaçlara ait korelasyon tablosu	63
Çizelge 4.8. Yıllar itibariyle Türkiye’de üretilen tüvenan krom miktarları	83
Çizelge 4.9. Yıllar itibariyle Türkiye geneli yıllık bazda ferro krom ve krom cevherlerinin maden ihracat miktarları.....	83

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. İnceleme alanlarının yer bulduru haritası	2
Şekil 3.1. Numunelerin kırılıp öğütülerek pudra haline getirilmesi	20
Şekil 3.2. Leica DM2500P marka mikroskop	21
Şekil 3.3. Edax Ametek materials analysis division marka makine.	21
Şekil 4.1. Kuzeybatı ve Batı Anadolu'nun basitleştirilmiş jeoloji haritası	24
Şekil 4.2. Adaören Mahallesi civarının stratigrafik dikme kesiti	27
Şekil 4.3. Boyalıca Mahallesi civarındaki inceleme alanının kuzey batısında bulunan radyolarit ve mangan oluşumlar	28
Şekil 4.4. Andezit numunesinin ince kesitteki tek nikol ve çift nikol görünümü	29
Şekil 4.5. Andezit numunesinin ince kesitteki tek nikol ve çift nikol görünümü	30
Şekil 4.6. Diyabaz kayaç numunesinin ince kesitteki tek nikol ve çift nikol görünümü	31
Şekil 4.7. Boyalıca Mahallesi civarındaki Karaçam tepesinde gözlemlenen manyezit cevherleşmesi	32
Şekil 4.8. Boyalıca Mahallesi civarındaki Karaçam tepesinde gözlemlenen manyezit cevherleşmesi	33
Şekil 4.9. Serpantinit numunesinin ince kesitteki tek nikol ve çift nikol görünümü	34
Şekil 4.10. Serpantinit numunesinin ince kesitteki tek nikol ve çift nikol görünümü	35
Şekil 4.11. Serpantinleşmiş ultramafik kayaç numunesinin ince kesitteki tek nikol ve çift nikol görünümü	36
Şekil 4.12. Boyalıca Mahallesi civarındaki inceleme alanına ait stratigrafik dikme kesiti	37
Şekil 4.13. Türkiye'nin tektonik bölümleri	40
Şekil 4.14. Boyalıca Mahallesi civarındaki karaçam ocaktaki cevher mostrası	43
Şekil 4.15. Boyalıca Mahallesi civarındaki kablo ocaktaki cevher mostrası	43
Şekil 4.16. Boyalıca Mahallesi civarındaki 9 nolu ocaktaki cevher mostrası	44
Şekil 4.17. Boyalıca Mahallesi civarındaki Güler ocaktaki cevher mostrası	44
Şekil 4.18. Boyalıca Mahallesi civarındaki 2 nolu ocaktaki cevher mostrası	45

Şekil 4.19. Boyalıca Mahallesi civarındaki beylik ocaktaki cevher mostrası	45
Şekil 4.20. Boyalıca Mahallesi civarındaki çeşme ocaktaki cevher mostrası	46
Şekil 4.21. Boyalıca Mahallesi civarındaki 4 nolu ocaktaki cevher mostrası	46
Şekil 4.22. Adaören Mahallesi civarındaki inceleme alanındaki açık işletme ocağı.....	47
Şekil 4.23. Adaören Mahallesi civarındaki inceleme alanındaki eski yeraltı işletme ocakları	47
Şekil 4.24. Kromit numuneleri içerisindeki % Cr_2O_3 ile ana oksit % MgO , % Fe_2O_3 ve % Al_2O_3 oranlarının karşılaştırmalı diyagramları	50
Şekil 4.25. Kromit numuneleri içerisindeki % Cr_2O_3 ile iz elementlerin (ppm) karşılaştırmalı diyagramları	53
Şekil 4.26. Kromit cevher numuneleri üzerinde yapılan analiz sonuçlarına ait korelasyon katsayıları baz alınarak oluşturulan cluster analizindeki yakınlık durumları	53
Şekil 4.27. Kromit cevher numunelerinin zenginleştirme faktörü (EF) değerlerinin box plots grafiği	57
Şekil 4.28. Kromit cevher numunelerinin temel bileşen analizi (PAC).....	59
Şekil 4.29. Yan kayaç numuneleri üzerinde yapılan analiz sonuçlarına ait korelasyon katsayıları baz alınarak oluşturulan cluster (küme) analizindeki yakınlık durumları	61
Şekil 4.30. Yan kayaç numunelerinin zenginleştirme faktörü (EF) değerlerinin box plots grafiği	65
Şekil 4.31. Yan kayaç numunelerinin temel bileşen analizi (PAC).....	67
Şekil 4.32. Cevher mikroskobunda gang minerallerinin aralarında kırıklı çatlaklı kromit tanelerinin görünümü	69
Şekil 4.33. Cevher mikroskobunda gang minerallerinin aralarında kromit ve manyetit minerallerine ait görünüm.....	69
Şekil 4.34. Cevher mikroskobunda gang minerallerinin aralarında limonit mineraline ait görünüm.....	70
Şekil 4.35. Cevher mikroskobunda gang minerallerinin aralarındaki mangan mineraline ait görünüm	70
Şekil 4.36. Cevher mikroskobunda kırıklı çatlaklı kromit tanelerinin ve gang mineralinin görünümü	71
Şekil 4.37. Cevher mikroskobunda gang minerallerinin aralarında kırıklı çatlaklı kromit taneleri, millerit ve gang mineralinin görünümü	71
Şekil 4.38. Kromit tanelerinin görünümü ve kromit mineralinin SEM analiz sonucu ...	72

Şekil 4.39. Kromit ve millerit tanelerinin görünümü ve millerit mineralinin SEM analiz sonucu.....	73
Şekil 4.40. Kromit ve millerit tanelerinin görünümü ve millerit mineralinin SEM analiz sonucu.....	73
Şekil 4.41. Kromit ve millerit tanelerinin görünümü ve millerit mineralinin SEM analiz sonucu.....	74
Şekil 4.42. Cevher mikroskobunda kırıklı çatlaklı kromit tanelerinin ve gang mineralinin görünümü	74
Şekil 4.43. Cevher mikroskobunda gang minerallerinin aralarında kırıklı çatlaklı kromit tanelerinin ve millerit minerallerinin görünümü	75
Şekil 4.44. Cevher mikroskobunda gang minerallerinin aralarında kromit tanelerinin görünümü	76
Şekil 4.45. Cevher mikroskobunda gang minerallerinin aralarında kırıklı çatlaklı kromit taneleri, hematit ve gang minerallerinin görünümü	76
Şekil 4.46. Cevher mikroskobunda gang minerallerinin aralarında kromit mineraline ait görünüm.....	77
Şekil 4.47. Cevher mikroskobunda gang minerallerinin aralarında kromit ve millerit minerallerine ait görünüm.....	77
Şekil 4.48. Kromit tanelerinin görünümü ve kromit mineralinin SEM analiz sonucu ...	78
Şekil 4.49. Kromit ve millerit tanelerinin görünümü ve millerit mineralinin SEM analiz sonucu.....	78
Şekil 4.50. Kromit ve millerit tanelerinin görünümü ve millerit mineralinin SEM analiz sonucu.....	79
Şekil 4.51. Kromit ve millerit tanelerinin görünümü ve millerit mineralinin SEM analiz sonucu.....	79
Şekil 4.52. Krom zenginleştirme tesisine ait genel görünüm.....	84
Şekil 4.53. Krom zenginleştirme tesisine ait görünüm	85
Şekil 4.54. Konsantre tesisi iş akım şeması.....	86
Şekil 5.1. Stratiform kromitin manto podiform kromit ile olası bağlantısı ve magmatik model ile podiform kromitin oluşum süreçleri	91
Şekil 5.2. $TiO_2-Cr_2O_3$ diyagramında ofiyolitik kromit ve stratiform kromit sınır ayrımı	94
Şekil 5.3. $TiO_2-Al_2O_3$ diyagramı	94
Şekil 5.4. $TiO_2-Al_2O_3$ diyagramı (tektonik ortamların sınırları)	95

Şekil 5.5. Kromit numelerinin $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3$ Stevens üçgen diyagramında sınıflandırılması	95
Şekil 5.6. Yay peridotitlerinin ve kromitlerinin evrimi için önerilen tektonik modeli gösteren şematik diyagramlar	100



EKLER

EK-1 Adaören Mahallesi civarındaki inceleme alanının jeoloji haritası 121

EK-2 Boyalıca Mahallesi civarındaki inceleme alanının jeoloji haritası.....122



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

ppm	: milyonda bir birim
ppb	: milyarda bir birim
vb.	: ve benzerleri
vd.	: ve diğerleri
%	: yüzde değer
km	: kilometre
m	: metre
ark.	: diğerleri
°C	: santigrad derece

Kısaltmalar

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
B	: Batı
D	: Doğu
IAT	: Ada Yayı Bazaltı
İMİB	: İstanbul Maden İhracatçıları Birliği
G	: Güney
GB	: Güneybatı
K	: Kuzey
KB	: Kuzeybatı
KD	: Kuzeydoğu
MAPEG	: Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
MORB	: Okyanus Ortası Sırt Bazaltı
N	: Kuzey
NE	: Kuzeydoğu
NNE	: Kuzey-Kuzeydoğu
OIB	: Okyanus Ada Bazaltı
PGE	: Platin Grubu Element
W	: Batı

1. GİRİŞ

1762 yılında J. G. Lehman tarafından Rusya’da keşfedilen krom cevheri, 1797 yılında Paris Politeknîği profesörü Vaquelin tarafından analiz edilmiş ve renginden dolayı Yunanca renk anlamına gelen ‘krıma’ adı verilmiştir. Krom cevheri ilk olarak; 1797 yılında Rusya’da, 1827 yılında Amerika’da, 1848 yılında Türkiye’de, 1874 yılında Yeni Kaledonya’da, 1903 yılında Hindistan’da ve 1906 yılında Rodezya’da keşfedilmiştir.

Türkiye’de ise ilk olarak, Bursa ili, Harmancık ilçesi, Kozluca Mahallesi yakınlarında Amerikalı bilim insanı Lawrence Smith tarafından 1848 yılında krom cevheri keşfedilmiştir. İlk zamanlarda boya, porselen ve tuğla imalatında kullanılan krom cevherinin 1880 yılından sonra sanayide kullanım alanı genişlemiştir. 19. yüzyılının ortalarında ise dünyada krom üreten tek ülke konumuna gelmiştir. Batı Anadolu’nun kuzeydoğu bölgesinde üretilmeye başlayan krom cevherine ihtiyaç dünyadaki metalurji ve kimya sanayisinin gelişmesiyle beraber artış göstermiştir.

Ülkemizde 1879 yılında açılan krom ocaklarının yıllık üretim miktarı yaklaşık 1000 ton civarında iken yıllar itibariyle krom üretimi artış göstermiştir. 2024 yılında ülkemizde krom üretim miktarı ise yaklaşık 9.300.745 ton/yıl olarak gerçekleşmiştir.

Bu çalışma, Balıkesir ilinin güneydoğusunda yer alan Boyalıca Mahallesi ve Adaören Mahallesi civarındaki yaklaşık 74 km²’lik bir alanı kapsamaktadır. ‘‘Boyalıca (Dursunbey-Balıkesir) Yöresi Kromit Cevherleşmesinin Jeolojik ve Metalojenik İncelenmesi’’ başlıklı bu çalışma Konya Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı’nda 2022-2025 yılları arasında yüksek lisans tez çalışması olarak hazırlanmıştır.

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, Batı Anadolu bölgesinde ofiyolitler içerisinde gözlenen krom cevherleşmelerinin jeolojik, mineralojik, petrografik ve jeokimyasal olarak incelenmesi ve cevherleşmenin oluşum ortamları ile ekonomik boyutlarının araştırılması amaçlanmıştır.

1.2.1. İklim ve bitki örtüsü

Balıkesir ili, coğrafi konumundan dolayı denizel ve karasal iklim özellikleri göstermektedir. Çalışma alanı, Balıkesir ilinin iç kesiminde yer almaktadır. Bu nedenle iklim karasallık eğilimi göstermekte olup kışlar soğuk geçmektedir.

Dursunbey meteoroloji verileri dikkate alındığında; yıllık ortalama 12.3°C 'dir. Temmuz ayında en yüksek sıcaklık 40.2°C olarak tespit edilmiştir. Şubat ayında ise en düşük sıcaklık -16°C olarak tespit edilmiştir. Yıllık yağış miktarı toplamı yaklaşık 541 mm olarak tespit edilmiştir. Günlük en yüksek yağış ise Nisan ayında 99.9 mm olarak ölçülmüştür.

Dursunbey meteoroloji verilerine göre yıllık ortalama bağıl nem % 66.3 olarak tespit edilmiştir. En düşük bağıl nem % 3 ile Ekim ayında ölçülmüştür. İlçede kar yağışlı günler sayısı toplam 22 gün, kar örtülü günler sayısı ortalama toplam 15.7 gün, sisli günler sayısı ortalama toplam 32.5 gün, ortalama dolulu günler 1.6 gün ve ortalama kırılgılı günler sayısı toplam 44.6 gündür. Maksimum kar karınlığı 47 cm ile Ocak ayında gözlenmiştir. Açık yüzey buharlaşması yıllık ortalama 943.2 mm olarak tespit edilmiştir. Açık yüzey buharlaşması ise maksimum 40 mm olarak Nisan ayında ölçülmüştür. Dursunbey ilçesinde 1. Derece hâkim rüzgâr yönü kuzey (N) yönünden, 2. Derece hâkim rüzgâr yönü kuzeydoğu (NE), 3. Derece hâkim rüzgâr yönü ise kuzey-kuzeydoğu (NNE) ve 4. Derece hâkim rüzgâr yönü batı (W) olduğu tespit edilmiştir.

İnceleme alanlarında Karaçam ve Meşe ağaç türleri yer almakta olup yer yer dikim sahaları, makilik ve tarlalar da mevcuttur. İnceleme alanları içerisinde sürekli akış gösteren dereler bulunmamaktadır.

1.2.2. Morfoloji

Balıkesir bölgesi Kuzeybatı Anadolu üzerinde yer almaktadır. Yüzey şekilleri açısından karakteri, üzerinde bir takım dağ ve tepe dizilerinin yer aldığı, muhtelif yükseltilerdeki yaylalar ve ovalar bulunur. Dağ ve tepe dizileri ve çukur sahalar kuzeybatı-güneydoğu istikametinde uzanmaktadırlar.

1.2.3. Ekonomik durum

Dursunbey ilçe toprakları genellikle dağlık ve ormanlıktır. Bundan dolayı bitkisel üretim çok gelişmemiştir. İlçe halkının ana geçim kaynağı hayvancılık, ormancılık ve madenciliktir. İlçede, Kavak yetiştiriciliği gelişmiş olup kereste üreten çok sayıda atölye bulunmaktadır. Buğday, arpa, çavdar, yulaf, mercimek, nohut, elma en çok üretilen tarım ürünleridir.

İnceleme alanları olan Boyalıca Mahallesi ve Adaören Mahallesi civarında faaliyetleri devam eden maden firması bulunmaktadır. Bu nedenle, yöre halkının çoğu maden firmasında çalışmaktadır. Bu da yöre halkının köyden şehre göç etmesinin önüne geçmektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Balıkesir ili ve çevresinde yapılan önceki çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Ketin (1959), Türkiye’deki magmatik süreçlerin özellikleri, kimyasal bileşimleri ve kronolojik oluşumları ortaya konulmuştur.

Kalafatçioğlu (1962), Bilecik, Kütahya (Tavşanlı ve Harmancık ilçeleri) ve Bursa (İnegöl ilçesi) arasındaki bölgenin jeolojisini anlatan makalesinde, Paleozoik yaşlı mermerler ve muhtelif şistlerden oluşan kayaçların en yaşlı olduğu, bu serinin en altında gnaysların gözlemlendiği, KD-GB istikametli olduğu, bu serinin metamorfizma derecesinin muhtelif olduğunu, metamorfik seri üzerine Permiyen istifinin geldiğini, Permiyen istifinin fosilli olduğu; Permiyen kayaçlarının kalkerden oluştuğu ve geniş alanlar kapladığını, daha yaşlı formasyonlar üzerinde diskordan olarak bulunduğunu, bölgenin Permiyen sonunda genç Varistik orojenez ile yeniden su üstüne çıktığı, bölgenin kuzeyindeki asitik sokulum kayaçlarının da bu devreye ait olduğunu, bu devreye ait ofiyolitik seri kayaçlarının da olduğunu, bölgede bulunan fosilsiz kalın kalker ve mermer serilerinin bir kısmının Paleozoyik’e ait olduğunu belirtmiştir.

Kalafatçioğlu (1964), Balıkesir ve Kütahya arasındaki bölgenin stratigrafisine değinilen makalesinde, Paleozoik mermerlerin en yaşlı birim olduğu, çeşitli şistlerden meydana gelen bir seri olduğunu belirterek bölgenin güneyinde yüzeylenen granitlerin ise Laramiyen orojenezi ile ilişkili olduğuna dair görüşlerin bulunduğunu, Miyosen’de başlayan volkanik aktivitelerin ise Pliyosen’de yoğunlaştığını belirtmiştir.

Tekeli ve ark. (1969) tarafından yapılan bu çalışmada, Gökçedağ ve civarının jeolojik özellikleri ortaya konulmuştur. Söz konusu çalışmada, kuzey kesiminde ve güney kesiminde gözlemlenen metamorfik kayaçların birbirinden farklı olduğunu, söz konusu bölgedeki kayaçları kuzey platform ve güney platform olacak şekilde 2’ye ayırarak inceleme yapıldığı, bu incelemede araştırmacılar kuzey ve güney platformlarındaki kayaçları genel özellikleri, birbirleriyle olan dokanak ilişkileri ve bölgedeki krom ve manganez cevherleşmeleri hakkında bilgi vermişlerdir.

Özkoçak (1969), Orhaneli Ultramafik Masifinin Ve Yakın Çevresinin Jeolojik Etüdü adlı çalışmasında Orhaneli ilçesinin kuzeyi bölgesini araştırarak bölgedeki

metamorfikleri, alt metamorfik seri ve üst metamorfik seri olarak ayırmıştır. Metamorfik serilerin üzerinde diskordans olarak Permo-Karbonifer serisi ve Permien Çatal Tepe kalkerinin bulunduğunu, üzerilerine yine diskordans olarak Geç Jura-Erken Kretase yaşlı bej renkli kalkerler ve Geç Kretase yaşlı dolerit ve ultramafik kayalarının bulunduğunu belirtmişlerdir. Tersiyer yaşlı granodiyorit ve dasitik, andezitik volkanizmanın üzerinde ise konglomera, tuf ve traverten olduğu tespit etmiştir.

Özocak (1970), Balıkesir ili, Dursunbey ilçesine dahilinde bulunan Alaçam Dağı'nda maden prospeksiyonu ve kurşun cevheri üzerine yaptığı çalışmada, bölgedeki granit kantağında pnömatolitik tipte kurşun, çinko, bakır, demir, pirit ve pirrotin ile manyezit yataklarının olduğu tespit etmiştir. Araştırmacı, Güğü Köyü Demirboku mevkiinde yaptığı kurşun cevheri üzerine ki araştırmasında granit sokulumu ile iki mikalı şistlerin kesildiğini, granitle aynı yaşta olan riyodasidik bir volkanizmanın ve kuvars filonlarının ise bu şistleri kestiğini tespit etmiştir.

Dericioğlu (1972), Dursunbey-Sarıkaya bölgeleri arasında yapılan incelemede, şistlerle aralanmalı mermerler içerisinde gelişen bakır, kurşun ve çinko cevherleşmelerinin kontakt pnömatolitik özellikte olduğunu tespit etmiştir.

Granciansky (1972), Bölgenin stratigrafik ve yapısal durumunu incelemiştir. Yaptığı bu çalışmada bölgeyi üstten alta doğru peridotit nap, çeşitli cins ve kökenli ekayların meydana getirdiğini belirterek karışık bir kitle ve otokton seri olmak üzere üst üste gelmiş üç ana birime ayırmıştır.

Lisenbee (1972), Bursa Yakınındaki Orhaneli Ultramafik Masifinin Yapısal Düzeni adlı çalışmada masif mermer, grafitik mikaşist, beyaz mikalı şist ve metamorfize olmuş bazik lav blokları, radyolarit, glokofanlı ve lavsonitli mavişistlerin Paleozoyik veya Mesozoyik yaşında olabileceğini belirtmiştir. Üzerinde ters fay veya diskordans bir dokanakla grovak serisinin, üstünde ise Orta-Geç Jura yaşlı transgresif konglomera ile Geç Jura-Erken Kretase yaşlı denizel şelf oluşumlu kireçtaşının bulunduğunu, Geç Kretase yaşlı yerel kumtaşı ve kireçtaşı, diyabaz ve tuf ara katkıları ile blok şist ve mermer içeren birimin üzerinde şariyaj ile ultramafik-gabro karmaşığının geldiğini belirtmiştir.

Turgay (1973), Balıkesir ili, Dursunbey ilçesi, Demirboku sırtında yapılan incelemesinde kurşun varlığını I.P yöntemiyle etüt etmiştir. Yapılan rezistivite, metal

faktör ve frekans etki haritalarında, incelenen alanın batı ve kuzeybatı hattından başlayıp daralarak önce güneye sonra da güneybatıya genişleyerek batıya doğru yöneldiğini ve yay şeklinde bir anomali uzanımının olduğunu belirtmiştir.

Takashima (1974), Dursunbey-Balıkesir Pb-Zn Yataklarının Jeolojisi adlı makalesinde kurşun ve çinko maden yataklarının, granitik batolitlerin etrafındaki skarnlaşmış metamorfik zonda oluştuğunu ortaya koymuştur.

Yılmaz (1975), Alaçam Dağları granitlerinin petrojenetik yapılan incelemede, granitlerde iri taneli holokristalen ve porfiri olmak üzere iki ayrı faz gözlemlendiği, kristalleşme esnasında fenokristallerde ve artık magmada dasit, riolit gibi lavlardaki ile aynı sırada meydana geldiğini ortaya koymuştur. Kimyasal analiz sonuçlarına göre granitlerin kalk-alkalin tipte olduğunu, magmatik bir farklılaşmanın ürünleri olduğunu belirtmiştir. Granitlerde bazik kapanımlar olduğunu ve kenar zonlarında ise kalsiyum, magnezyum ve demir bakımından zenginleşmenin olduğunu belirtmiştir. Kristalleşmeye 700°C sıcaklıkta başlayan bu anateksitik granitlerde 545°C sıcaklıkta kristalleşmenin tamamlandığını tespit etmiş ve granitlerin yaşını 330–360 my olarak ortaya koymuştur.

Akat ve ark. (1978), Dursunbey-Orhaneli-Susurluk-Kepsut arasındaki bölgenin jeolojisi hakkında yapılan incelemede, ayrıntılı bir stratigrafik kesit oluşturulmuştur. Paleozoyik yaşlı Kocadere metamorfitlelerinin tabanda bulunduğunu, kuvars, biyotit şist, kuvars-albit-muskovit şist, kalkşist, kuvars-albit-serisit-klorit şist, bazik ve granat şistlerden oluştuğunu, söz konusu birimin üzerine Jura yaşlı Kayacıklar kireçtaşlarının geldiğini, kristalize kireçtaşlarından oluşan bu karışık yapıli birimin üzerine kuzeydoğu güneybatı uzanımlı bir bindirme ile Geç Kretase yaşlı melanjin bulunduğunu belirtmişlerdir. Çataldağ granitinin bölgedeki en genç birim olduğu, Çataldağ granitinin Tersiyer yaşlı magmatizmanın ürünü olduğu, Kayacıklar kireçtaşları ile dokanaklarında kontak metasomatizma izlerine gözlemlendiği tespit edilmiştir. Ayrıca bölgedeki tektonizma ve tektonizmanın etkileri hakkında bilgi vermişlerdir. Bölgede yüzeyleyen Çataldağ granitinin olası vollastonit içeriği, kenar zonlarında gözlemlenen granit tektoniğinin iç kesimlerinde görülmediği, bu nedenle granitin düşük sıcaklıklı bir sığ oluşum olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Kayhan (1978), Kütahya J21-A1 paftası üzerinde bulunan yaklaşık 40 km²'lik alanda yapılan incelemede, Paleozoyik yaşlı metamorfik birimler, Kretase yaşlı yeşil renkli

kayaçlar, Geç Kretase yaşlı kireçtaşı, Paleosen yaşlı granit ve Miyosen yaşlı andezit şeklinde bir stratigrafik istif sıralaması ortaya koymuştur. Bölgede gözlemlenen galen, sfalerit, manyetit, kalkopirit, pirit gibi maden cevherleşmelerinin granit intrüzyonu ve gelişimine bağlı olarak oluştuğunu ileri sürmüştür.

Akdeniz ve Konak (1979), Demirci (Manisa), Simav (Kütahya), Tavşanlı (Kütahya), Emet (Kütahya), Dursunbey (Balıkesir) civarında yapılan incelemede, bölgedeki Menderes Masifi'nin çekirdek kısmını oluşturan migmatitik kayaçların temel kayaç olduğunu ve bunların üzerinde mermer ve şistlerden oluşan örtü birimlerinin diskordans olarak geldiğini belirtmişlerdir.

Ercan ve ark. (1985), Simav ilçesi ve çevresinde yapılan çalışmada Senozoyik yaşlı volkanizmanın bölgesel etkilerini tartışmışlardır. Batı Anadolu bölgesinde Miyosen ve Kuvaterner arasında oluşan karasal volkanizmanın kalkalkali, geçişli ve alkali nitelikli ürünlerinin beraber olduklarını belirtmişlerdir. Simav ilçesi ve çevresinde yüzeyleyen volkanitlerin, kalkalkali karakterden alkali bazaltik karaktere geçişli olarak dönüştüklerini yer ve zaman ilişkileri açısından incelemişlerdir.

Emre (1986), "Orhaneli Ofiyolit'inin Jeolojisi ve Petrolojisi" başlıklı doktora tez çalışmasında Orhaneli ofiyolitinin İzmir-Ankara-Erzincan Kenet Kuşağı ile olan ilişkisini ve okyanus içi ve kıtaya yerleşim etkilerini, ofiyolit yerleşimi öncesi ve sonrası buna bağlı oluşan metamorfizma koşullarını saha ve laboratuvar incelemeleri ile ortaya koymuştur.

Tamer ve ark. (1986), Balıkesir ilinde gözlemlenen manganez oluşumları hakkında bilgi verilmiştir. Yapılan çalışmada mangan cevherleşmelerinin çoğunun radyolaryalı çörtler içerisinde gözlemlendiğini, ancak Çatdere bölgesindeki manganların mavi şistler içinde gözlemlendiğinden metamorfik mangan olduğunu ortaya koymuşlardır.

Ercan ve ark. (1987), Manisa ve Balıkesir illeri arasında yaklaşık 9000 km²'lik alanda yapılan incelemede, söz konusu alanda yüzeyleyen bazik volkaniklerin 5 farklı evrede meydana geldiği, bu bazik volkaniklerinin Tersiyer yaşlı olduğunu belirtmişlerdir. Söz konusu volkanik kayaçların kökenleri petrografik ve jeokimyasal olarak incelenmiştir. Yapılan incelemeler neticesinde ise, volkanik kayaçların bazalt görünümlü olduğu, bir kısmının ise bazalt olmadığını, kalk-alkalen kuvars, andezit ve latit türde volkanikler olduklarını ortaya koymuşlar olup bu kayaçlara yalancı bazalt olarak adlandırmışlardır.

Baş (1987), Kütahya (Domaniç ve Tavşanlı ilçeleri) bölgesinde yapılan çalışmada, Batı Anadolu'daki Senozoyik yaşlı volkanizmanın etkilerine değinilmiştir. Stratigrafik kesit, tabandan doğru olarak Orta-Geç Miyosen yaşlı volkanizmanın ürünü olan dasit, riyoit ve bunların üzerine ardalanmalı gelen Pliyosen yaşlı andezit ve bazaltik andezitler olarak tanımlamıştır.

Ercan ve ark. (1990), Balıkesir-Bandırma Arasının Jeolojisi ve Tersiyer Volkanizmasının Petrolojisi ve Bölgesel Yayılımı adlı makalede, Tersiyer volkanizmasının Kuzeybatı Anadolu'daki kayaçların petrolojik jeokimyasal özellikleri ve bölgedeki yayılımı ayrıntılı incelenmiştir. Söz konusu bölgede Tersiyer'in Paleojen yaşlı Ilica-Samlı granitleri ve Çataldağ granit-granodiyoriti ile temsil edildiğini tespit etmişlerdir.

Savaşın ve Güleç (1990), Batı Anadolu'nun tektonik değişiminin magmatik aktivite üzerindeki etkilerini, Geç Miyosen'e kadar süren sıkışmalı rejimin kalk-alkalen volkanik malzemelerinin ve onların eşleniği plütonitlerin Menderes Masifi'nin metamorfizmaları içerisinde yerleştiğini ortaya koymuşlardır. Geç Miyosen'den itibaren etkili olan gerilmeli rejimin, alkali volkanik kayaçlar, plütonları ana grabenler ile birbirine bağlayan faylar boyunca meydana gelmiş gabroyik dayklarla karakterize edildiğini ortaya koymuşlardır. İz element ve izotop analizlerine bağlı olarak, manto ile kabuk malzemelerinin karışımından kalk-alkalen volkaniklerinin türediğini, mantodan ise alkali volkaniklerin türediğini belirtmişlerdir.

Savaşın ve ark. (1994), Batı Anadolu'daki Neojen-Kuvaterner magmatizmasını ve bu magmatizma ile ilişkili oluşan cevherleşmelerin özellikleri hakkında inceleme yapılmıştır. Batı Anadolu'nun tektonik evrimini, söz konusu tektonizmanın magmatik aktivite üzerindeki tesirini, tektonizma tesiri altında gelişen magmatizma malzemelerini ve cevherleşmelerini karşılaştırmalı olarak ayrıntılı incelemişlerdir.

Arık (1995), Balıkesir ili, Kepsut ilçesi ve civarının jeolojisini ve stratigrafisini ayrıntılı bir şekilde incelemiştir. Bölgede bulunan vollastonit, talk oluşumları ile kurşun, çinko ve bakır cevherleşmelerinin petrografik özelliklerini ortaya koyarak muhtemel rezerv miktarlarını belirlemiştir.

Akyüz (1995), Manyas, Susurluk, Kepsut ilçeleri ve civarında gözlemlenen birimleri jeolojik, petrografik ve jeokimyasal yönden araştırarak bölgedeki tektonik birlikleri

tanımlamıştır. Bölgedeki tektonik birlikleri başlıca İzmir-Ankara Zonu, Sakarya Zonu, Anatolid Grubu ve Tektonizma sonrası olarak adlandırmıştır. Paleo-Tetis okyanusunun güneye dalması ile Sakarya Zonu oluştuğunu, Sakarya Zonu birliklerinin Karakaya Kompleksi, Hodul Birimi, Nilüfer Formasyonu ve Orhanlar Grovağı'ndan; İzmir-Ankara Zonu birliklerinin Senomaniyen-Maestrihtiyen yaşlı Ovacık Melanjı, Maestrihtiyen-Geç Paleosen yaşlı Bornova filişinden oluştuğunu, Orhaneli Birimi'nin Anatolid-Torid bloğunun kuzey uç bölgesini temsil ettiğini, bölgede gözlemlenen Ilıca-Samlı ile Çataldağ granodiyoritlerinin tektonizma sonrasında meydana gelen ürünler olduğunu belirtmiştir. Söz konusu alanın tektonik evriminin Paleo-Tetis okyanusunun ve Neo-Tetis okyanusunun kapanması, Miyosen sonrası Anadolu levhasının batıya doğru ilerlemesi olarak 3 farklı evrede olduğunu savunmuştur.

Gültaşlı (1996), Orhaneli Ultramafik Karmaşığı'nın Mineralojisi, Petrografisi ve Kökeni adlı çalışmasında bölgenin kuzeyindeki ofiyolit diziliminde bulunan tektonitleri, ultramafikleri ve mafik-ultramafik tabakalı kümülatları incelemiştir. Ofiyolit dizisindeki levha dayklarının ve ofiyolitlere ait yastık bazaltların olmaması nedeni ile bu ofiyolit in eksik dizilimli olduğunu tespit etmiştir. Orhaneli Ofiyolitik Karmaşığının çok küçük dünit mercekleri içeren harzburjitler ve serpantinitleten oluşa tektonitler ile veriltil, kümülat dünit, klinopiroksenitlerden oluşa kümülatlar olmak üzere altı kaya türü olduğunu belirtmiştir. Ofiyolitik Karmaşıktaki bulunan tek mafik kaya gabroların da kümülatlar içerisinde olduğunu belirtmiştir. Dünitler içerisindeki stratiform karakterdeki kromit cevher yataklarını Orhaneli Ofiyolitik Karmaşığı içerisindeki konumlarını harita üzerinde yerlerini belirtmiştir. Jeokimyasal yöntemler ile ofiyolitik karmaşığının ve kromitlerin oluşum kökenleri hakkında bilgi verilmiştir. Yaptığı çalışma sonucunda ofiyolit karmaşığını oluşturan ultramafik ve mafik kayaların, üst mantonun kısmi ergimesi ve kristal ayrışması ile oluştuğunu ortaya koymuştur.

Oygür (1997), Balıkesir ili, Sındırgı ve Mumcu ilçeleri civarında Paleozoyik yaşlı metamorfitle ile Miyosen yaşlı andezitik volkanitler arasında oluşa bir epitermal cevherleşmenin jeokimyasal özelliklerini araştırmıştır. Cevherleşme ile tektonizma arasındaki ilişkiyi açıklayarak, söz konusu cevherleşmenin Simav grabenini dik olarak enine kesen basit transfer faylara bağılı olarak geliştiğini belirtmiştir.

Genç (1998), Balıkesir ili, Dursunbey ilçesinin yaklaşık 50 km güneybatısında yüzeyleyen "Bigadiç Magmatik Kompleksi" olarak adlandırdığı birimin evrimini

araştırmıştır. Batı Anadolu'da yayılım gösteren Oligosen-Orta Miyosen magmatizmasının bölgedeki ekstrüzif ve intrüzif kayalarla zaman ve yer açısından ilişkili olduğunu belirtmiştir. Bölgedeki magmatik faaliyetlerin Evciler graniti ve AVT (Alt Volkanik Topluluk) ile başladığını, Geç Miyosen-Pliyosen yaşlı ÜVT (Üst Volkanik Topluluk) ile son bulduğunu belirtmiştir. Evciler graniti ve AVT (Alt Volkanik Topluluk) kayalarının kuzey güney doğrultulu sıkışma rejimi altında litosferik manto kökenli bir magmadan oluştuğunu öne sürmüştür. Bu kayaları oluşturan magmanın Oligosen-Erken Miyosen döneminde kıta kabuğu tarafından kırletildiğini ve birimlerin çarpışma sonrası tektonizma sonucu oluşan ürünleri olduğunu ileri sürmüştür.

Bacak ve Uz (2003), Dağardı güneyi (Kütahya) ofiyoliti'nin jeolojisi ve jeokimyasal özellikleri adlı çalışma da, söz konusu bölgenin temelinde yeşilist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş Eğrigöz metamorfiklerinin olduğunu, bölgedeki ofiyolitik kayaların yaşının Senomaniyen-Maestrihtiyen yaşlı olduğunu ve bazik lavlar, spilitik diyabazlar, metadiyabazların petrografik ve jeokimyasal özellikleri açısından okyanus ortası sırt ortamı özelliği gösterdiği, metadiyabazlarda glokofan ve lavsonitin varlığının, bu kayaların dalım sırasında yüksek basınç düşük sıcaklık metamorfizması etkisinde olduğunu, bazik lav ve diyabazların ilksel manto kaynağının % 5-15'lik tüketimi ile oluştuklarını belirtmişlerdir.

Bayburtoğlu ve ark. (2003), Balıkesir ili, Dursunbey ilçesi, Dereharmanı civarındaki alanı kapsayan çalışmalarında altın cevherleşmesinin jeolojisi ve petrolojik özelliklerini araştırmışlardır. Çalışma alanının Pontitler ve Anatolidleri birbirinden ayıran ofiyolitlerle temsil edildiğini belirtmişlerdir. Kuzeydoğu güneybatı doğrultulu kenet kuşağı içerisinde bulunduğunu, bölgede birçok kalk-alkelen bileşimli granitoyid sokulumu bulunduğunu, bu intrüzyonların değişik türlerde cevherleşmelerin oluşumuna sebep olduğunu belirtmişlerdir.

Altunkaynak (2007), Kuzeybatı Anadolu'daki çarpışmayla ilişkili dilim kopması ile oluşan magmatizmanın özelliklerine değinmiştir. İzmir-Ankara-Erzincan kenet zonu boyunca ve kuzey kesimindeki doğu batı gidişli çarpışma sonrası Eosen yaşlı magmatizma ile ilişkili ayrıntılı açıklama yapılmıştır. Araştırmaya göre, bölgedeki granitoyidler oluşturan mantodan şekillenen eriyikler kıtasal kirlenme, fraksiyonel kristallenme ve özümseme ile şekil değiştirmiştir. Söz konusu granitoyidlerin

jeokimyasal ve jeokronolojik verileri Alpin tipi çarpışma zonundaki dilim kopması ile oluştuğunu belirtmiştir.

Orhan ve Mutlu (2009), Balıkesir ili, Susurluk ilçesi bölgesindeki skarn yatağının oluşumu, granat ve piroksenlerin bileşimlerine göre tipik özellikte oksitlenmiş vollastonit skarn özelliği gösterdiğini belirtmiştir. Skarn zonları dünyadaki diğer oksitlenmiş vollastonit skarnlar gibi vollastonitçe zengin olduğu, bakır dışında diğer metallerce fakir oluşumlar ile karakteristik özellikte olduğunu, çalışma alanındaki vollastonit ve bakır cevherlerinin granitoyidin farklı kristallenme evrelerinde oluştuğunu belirtmişlerdir. Skarn yatağında, granitoyidin sıg derinliklere doğru yükselerek devam eden kristalizasyonu retrograd evre ürünlerinin (epidot, biyotit, amfibol, vs.) oluşmamasına sebep olduğunu öne sürmüşlerdir.

Başol (2009), Büyükorhan granitoyidinin petrografik özellikleri ve bölgedeki kayaçlar ile olan ilişkisini incelemiştir.

Altunkaynak ve ark. (2012), Batı Anadolu bölgesindeki Oligo-Miyosen yaşlı granitoyid magmatizmasının yer, zaman ve jeokimyasal evrimi bakımından incelemede bulunmuştur.

Yüksel ve ark. (2014), Kuzeybatı Anadolu'daki Ofiyolit Tabanı Metamorfik Kayaçlarından Yeni Bulgular (Gediz-Kütahya) adlı makalesinde, Muratdağı Melanjının Neotetis'e ait ofiyolitik kayaçları içerdiği, ultramafik kayaçlar ve volkanik-sedimanter kayaçlar (melanj) ile temsil edildiğini, Alp-Himalaya kuşağı içinde yer alan Batı Anadolu bölgesindeki bu ofiyolitik kayaçların, ultramafitleri ve melanjları arasında tektonik olarak ofiyolit tabanı metamorfik kayaçlarının bulunduğunu belirtmişlerdir. Yapılan araştırmada, Kuzeybatı Anadolu bölgesinde allokon ofiyolitik kayaçlar altında meydana gelen ve 100 metreyi aşmayan kalınlıklara sahip bu ofiyolit tabanı metamorfik kayaçların genellikle amfibolitler ile temsil edildiğini, ofiyolit tabanı metamorfik kayaçların, okyanusal litosferin okyanus içi ortam koşullarında yitirilmesi sırasında oluştuğunu ileri sürmüşlerdir. Bölgede yüzeyleyen metamorfik kayaçlardaki hornblendlerin $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ yaş analizi ile 100.7 ± 1.3 my plato yaşına sahip olması nedeniyle Neotetis Okyanusu'nun bu bölgedeki kapanma döneminin Albiyen sonu (Alt Kretase-Üst Kretase sınırı) olduğunu belirtmişlerdir.

Kandemir (2021), Demirciler (Dursunbey, Balıkesir) radyolarit ve çörtlerle ilişkili manganez oluşumlarının jeokimyasal özellikleri adlı çalışmasında, Paleozoyik yaşlı mikaşistden yapılı Hindikler şistlerinin bölgedeki temel kayaçları oluşturduğunu, bu kayaçların üzerine diskordans olarak Jura-Kretase yaşlı Budağan kireçtaşının geldiğini, olistolitler içeren İmranlar formasyonunun Budağan kireçtaşı üzerinde bindirmeli bir kontakla yerleştiğini belirtmiştir. Kretase yaşlı Dağardı melanjinin Budağan kireçtaşını ve İmranlar formasyonu tektonik olarak üzerlediğini, Dağardı melanji üzerinde ise Kretase yaşlı Gınık peridotitinin tektonik olarak bulunduğunu, masif dünit, harzburgit, serpatinitten meydana geldiğini, Miyosen yaşlı Gökçedağ formasyonunun ise diğer birimler üzerine diskordans olarak geldiğini belirtmiştir.

Batı Anadolu kromititleri ile ilişkili yapılan çalışmaların bazıları aşağıda özetlenmiştir:

Kovenko (1945), Bursa bölgesindeki enjeksiyon tipindeki kromit yatakları adlı çalışmasında, kromit cevher oluşumlarının meydana geldiği ultramafik kayaçlara Paleozoyik yaşı verildiği belirtmiştir.

Kaaden (1959), Güneybatı Anadolu peridotit masifi içerisinde bulunan kromit cevher yataklarından temin edilen örnekler üzerinde yapılan kimyasal analizler ile kromit yatakları arasındaki farklılıklarını araştırmıştır. Bu araştırmaya göre farklı kromit yataklarının birbirleri içinde ayrılabilceğini ileri sürmüştür.

Borchert (1961), Bursa bölgesinde yaptığı çalışmalarda Kromit ve yataklandığı ultramafikler için Alpin dönemini olduğunu savunmuştur.

Tankut (1980), Orhaneli Masifindeki ultramafik kayaların düzgün katmanlı olduğunu, bunlara paralel olarak kromitlerin oluştuğunu belirtmiştir. Ofiyolit masifinin ultramafik, klinopiroksenit-verlit ve kromitit ardalıması şeklinde meydana geldiği ve çok az gabro içerdiğini ileri sürmüştür. Yapılan incelemede, kayaların MgO ve Al₂O₃ oranlarının yüksek ve kromitlerin krom ve magnezyum içeriği bakımından zengin, demir oranlarının değişmediğini ve bu nedenle Alp tipi karmaşıkların kimyasal bileşimleri ile benzer özellik gösterdiğini belirtmiştir.

Başı (1988), Karaismailler, Eskere ve Kerte (Beyağaç-Denizli) Bölgesinde Maden Tetkik Arama Enstitüsü adına yapılan incelemede, bölgenin 1/25.000 ölçekli jeoloji

haritası hazırlanarak bölgede bulunan kromit yatakları jeolojik açıdan ayrıntılı olarak araştırmıştır.

Uçurum ve ark. (2000), Bursa, Eskişehir, Fethiye ve Köyceğiz bölgelerinde bulunan kromitlerin ve yan kayaçlarının PGE dağılımlarını araştırdıkları çalışmalarında; PGE, altın, kobalt, nikelin serpantinleşme sürecinde ve sonrasında kromit ve yan kayaçlarda, çatlaklar, küçük faylar ile kırıklar boyunca sülfürlü minerallerin hezlewoodit (NiS), pentlandit (FeNiS) ve bravoit (FeNiCoS) şeklinde kristallendiğini belirtmiştir. Kavak, Harmancık, Sarıkaya ve Sazlı kromititlerinde Pt, Cu, Ni, Zn, Pd, Ir, Au, Co, Rh, V, Fe ve Cr değerleri kondirite normalize edildiğinde ise, Dalaman ve Harmancık cevherleşmesinin Au, Pt, Pd, Rh, ve Ir içeriği açısından zenginleştiğini ileri sürmüşlerdir.

Uysal ve ark. (2005, 2007), Muğla ili, Ortaca bölgesi kromititlerinin yitim zonu ile ilişkili boninitik bir magmadan kristallendiğini belirtmiştir. Kromit kütesini içeren harzburjitik yan kayaçların kromiti oluşturan boninitik magmadan etkilenerek kimyalarının değiştiğini belirtmiştir.

Uysal ve ark. (2009), Eskişehir ili, Kavak ve Dağküplü kromititlerin de yapılan incelemede, PGE içeriklerinin 109-533 ppb arasında değişiklik gösterdiğini saptamışlardır. PGE içeriği toplamı ve Pd/Ir oranlarının düşük olması, kromitlerin tipik ofiyolitik kromititler olduğunu belirtmişlerdir. Laurit taneleri, amfibol ve klinopiroksen mineraller arasındaki ilişki kristalizasyonun alkalilerce zengin sıvılar içeren yitim zonu üstü magmalardan kaynaklandığını belirtmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Tez çalışması “arazi”, “laboratuvar” ve “büro” çalışmaları olmak üzere 3 aşamada gerçekleştirilmiştir. İnceleme alanlarında gözlenen ofiyolitler içerisinde bantlar şeklinde yerleşmiş olan kromit cevherleşmelerinin mineralojik, petrografik ve jeokimyasal olarak incelenmiş ve numuneler alınmıştır. Alınan bu numunelerden ince kesitler yaptırılarak detaylı petrografik çalışmalar ve bu numuneler üzerinde tüm kayaç kimyası çalışmaları yapılmıştır.

3.1. Materyal

3.1.1. Krom minerali ve oluşumu

Krom, periyodik cetvelde VI-A grubunda yer almaktadır. Krom, atom numarası 24 olan bir metalik elementtir. Kromun esas minerali kromittir. Kromit, FeCr_2O_4 bileşimine sahip spinel grubu bir mineraldir. Kromit, özgül ağırlığı $3.8\text{-}4.9\text{ gr/cm}^3$ ve sertliği 8 olan bir mineraldir. Kromitin formülü $(\text{Fe}, \text{Mg})^{2+}(\text{Cr}, \text{Fe}, \text{Al})^{3+}_2\text{O}_4$ olarak verilmektedir.

Krom madeninin endüstriyel amaçla kullanıldığı tek mineral kromittir. Kromit minerali haricinde 90’a yakın krom içeren mineral bulunmaktadır. Kromit dışında en çok bilinen uvarovit (krom granat), kemererit (krom klorit) ve fuksit (krom mika) mineralleridir.

Fe^{+2} , Mg^{+2} ile yer değiştirir, Cr^{+3} ise Al^{+3} ve Fe^{+3} ile yer değiştirir. Cr^{3+} iyonunun oksijene ilgisi olup magmatik diferansiyasyon esnasında Fe, Mg ve Al ile beraber hareket ederek ayrımlanmakta ve söz konusu bu elementlerle beraber çeşitli minerallerin yapısına girmektedir. Kromitin yüzey alterasyonu ile yeşil renkli, $\text{Ca}_3\text{Cr}_2(\text{SiO}_4)_3$ bileşimli Cr-granat minerali olan uvarovit ve mor renkli Cr-klorit minerali olan kemererit oluşmaktadır.

Kromit yatakları, erken magmatik evrede fraksiyonel kristalleşme evresinde oluşmaktadır. Ofiyolitik komplekslerin bazik ve ultrabazik kayaçlarının içerisinde bulunmaktadır.

Ofiyolitler içerisinde bulunan kromit oluşumları ile ilgili birçok araştırma vardır. Bunlar;

Soğuk ekstrüzyon model; ultrabazik magma, yerkabuğunun derinliklerine yerleşerek kristalleşmiştir. Tektonik hareketler esnasında kütlelerden kopan parçalar soğumuş halde yüzeye çıkmaktadır. Bu nedenle yan kayaçlarda metamorfizma gözlenmez (Roever, 1957; Kaaden, 1959).

Ofiyolitik model; bazaltik magma, derin bir denizin dibine yayılım gösterir. Napın üst kısmında hızlı soğuma sonucunda lavik bir kabuk meydana gelmektedir. Bu kabuk altında ise yavaş soğuma ile katılan taneli bazik ve ultrabazik kayaçlar meydana gelmektedir (Routhier, 1946; Dubertret, 1952; Brunn, 1956).

Ultrabazik akıntı modeli; bazaltik bir denizaltı akıntısı öncelikle gelişmiştir. Bu jasp ve çeşitli sediman ara katkılı bazaltlar üzerine ise peridotitik magma yayılmıştır (Routhier, 1953).

Ofiyolitik modelde peridotitlerle lavlar arasında bulunan gabrolar, ultrabazik akıntı modelinde peridotitleri kesen dayklar şeklinde ortaya çıkmaktadır. Her iki modelde de sıvı haldeki magmanın akıntısı söz konusudur. Ancak, magmanın bileşimi, bazik lavların yeri ve volkanizma açısından birbirlerinden farklıdır. Bursa ili, Orhaneli bölgesindeki ultrabazik masifi, ultrabazik akıntı modeline benzemektedir. Bazaltik magma bir erozyon yüzeyi üzerine yayılmıştır. Volkanizma esnasında aralıklı denizel şartlar hâkim olup ve doleritlerle arakatkılı olan sedimanlar oluşmuştur. Bursa-Orhaneli bölgesi daha sonra tekrar erozyona maruz kalmıştır. Çeşitli kayaçlardan oluşan yüzey üzerine ultrabazik magma yayılmıştır.

Ofiyolitik serinin tüm birimlerini ve çeşitli tipteki kromit cevher yataklarını her zaman bir masifte görmek mümkün olmamaktadır. Kromitli masiflerde aşağıdan yukarıya doğru beş zon ile ayırt edilmektedir.

- a) Taban zonu; Hâkim kayaç dünitir. Genellikler yüksek rasyolu kromit yataklarını oluştururlar. Kromit çoğunlukla masif olup düzensiz kütleler ve tabakalı yataklar şeklindedir.
- b) Alt geçiş zonu; Dünit ve harzburjit aralanması şeklinde oluşan zonda dünit içerisinde şeritli kromit bulunmaktadır. Kromit yataklarının şeritli yapısı, yan kayaçtaki tabakalanmaya paralel haldedir. Bursa-Orhaneli bölgesindeki kromit yatakları bu zona aittir.
- c) Monoton zon; Piroksenli peridotitlerden (harzburjit, lerzolit, verlit, vb.) hâkim kayaçtır. Tali olarak dünitte oluşmuş olan bu zon çok az tabakalanma göstermektedir. Genellikle kromit içermezler.

- d) Üst geçiş zonu; Piroksenli monoton zon ile gabro içerikli üst zon arasındaki geçiş zonudur. Harzburjit, dünit, verlit, piroksenolit, olivinli gabro, anortozit bantlarının ardalanması şeklinde bulunmaktadır. Bu zon iyi tabakalanma göstermektedir. Genellikle refrakter kromit yatağı içermektedir. Kromit yatakları dünitler içerisinde bulunmaktadır.
- e) Üst zon; Gabro, dolerit veya daha asitik kayalardan meydana gelmektedir. Jeosenklinal sıradağlarına bağlı olarak ofiyolitik serinin en üst kısmını oluşturmakta olup kromit içermezler.

Kromit yatakları taban zonu, alt geçiş zonu ve üst geçiş zonuna bağlıdır. Ancak tektonik olaylara bağlı olarak dikey ve yanal yönde değişimler söz konusudur.

Kromit yatakları, ultramafik kayalarla ilişkili olarak meydana gelmiş kristallenme ile ayrışım yatakları şeklinde oluşmaktadır. Ayrılmış kromit eriyiklerinin yan kayalar içerisine sokulum yaparak oluşan enjeksiyon tipi yataklar da bulunmaktadır.

Kromit yataklarının ilişkili oldukları ultramafik kayaları; tabakalı (stratiform) tip krom yatakları ve alpin (podiform) tipi krom yatakları olmak üzere 2 gruba ayrılmıştır. Tabakalı (stratiform) tip krom yataklarının en iyi örnekleri Güney Afrika Cumhuriyet'ndeki Bushveld masifinde gözlemlendiğinden bu yataklara Bushveld tipi krom yatakları da denilmektedir. Mercekler, torba, bezelye, yığın veya cep şeklindeki yataklara ise alpin (podiform) tipi krom yatakları denilmektedir. Alpin (podiform) tipi krom yatakları, dünitik bir kılıfa sarılmış ard arda dizilmiş kütleler şeklindedir. Fay zonlarına yerleşmiş kromit kütleleri de bulunmaktadır.

Kromit yataklarında nodüler, bantlı, leopar tipi, saçılımlı ve masif cevher yapıları gözlenmektedir. Yan kayaç içerisinde dağılmış kromit tanelerine saçılımlı, boyutları birkaç santimetre olan kromit kümelerinin halkalar şeklinde olanına leopar tipi, halkaların içi dolu olanına nodüler, kromit bakımından zengin ve fakir zonların ardalanması şeklinde oluşan cevherlere bantlı, saf kromit kristal yığılmasından meydana gelen cevhere masif kromit denilmektedir.

3.1.1.1. Tabakalı (Stratiform-Bushveld) Tip Krom Yatakları

Tabakalı tip krom yatakları, magmanın fraksiyonel kristalleşmesi sırasında çöken kromitlerin dünitlerle ardalanarak oluşturdukları tabakamsı yataklara denir. Bu

tabakamsı yapıların kalınlıkları birkaç santimetre ile birkaç metre arasında değişmekte olup geniş yayılımlar gösterebilir.

Tabakalı tip krom yataklarının tenörleri düşük, Alpin tipi krom yataklarına göre Fe^{+2} bakımından zengin, Mg bakımından ise daha fakir, TiO_2 oranı ise 0.3'den daha yüksektir. Rasyo (Cr/Fe oranı) ise 3'den azdır. Al_2O_3 içeriği çok düşük olup Cr_2O_3/Al_2O_3 oranı ise yüksektir.

Tabakalı tip krom yatakları, kıtasal plaka içi bölgelerde gözlemlenen tabakalı ultramafik masiflerle ilişkilidir. Tabakalı ultramafik masifler, kırıklar boyunca aniden yükselmiş ve üstündeki litosferik basıncın kalması ile erimiş astenosfer malzemesinin ayrımlanması neticesinde oluşmuştur. Tabanda ultramafik kayalardan üst seviyelere doğru granitoyitlere kadar değişen çeşitli kayaç türlerinin içeren, tabakalı iç yapılı, büyük boyutlu ve Alt Prekambriyen yaşlı masiflerdir. Bu masiflerde gözlemlenen tabakalı yapıların içerdikleri krom yataklarının magmatik eriyik içerisindeki mineralleri gravite yoluyla ayrılmaları ile belirli seviyelerde zenginleşmeleri sonucu oluşmuşlardır. Bu krom yataklarının yan kayaçlarla eş zamanlı olarak magmanın kristallenmesi sırasında kromitlerin ayrımlanarak kristallenmesi şeklinde oluştuğu ve oluştuğu yerlerde bulunduğu ve önemli deformasyon geçirmediği bilinmektedir.

Dünyada bilinen krom yataklarının yaklaşık % 90'ı tabakalı tip krom yatakları şeklindedir. En tipik örnekleri Bushveld masifinde bulunmaktadır.

3.1.1.2. Alpin (Podiform) Tipi Krom Yatakları

Alp Orojenez Kuşağı boyunca gözlemlenen ofiyolitik karmaşıklar ve/veya ofiyolitli melanjlara şeklinde tanımlanan birimler içerisinde yer aldığından ve mercer, cep, bezelye, yığın veya torba şeklinde bulunduklarından dolayı Alpin tipi krom yatakları denir.

Çarpışmalı yaklaşan plaka sınırlarında devrik kıvrımlar ve üzerlemeler şeklinde kıtasal plakalar üzerine sürüklenmiş okyanusal kabuk malzemeli oluşumlardır. Bu ofiyolitik karışıklar içerisinde harzburjit ve dünitlerden oluşan ultramafik tektonik seviyesinde dünitik bir kılıfla sarılmış halde bulunur.

Ofiyolitlerin yerleşmesi sırasına etkili olan tektonik hareketlerle ilişkili olarak mercerli yapılar oluşmuştur. Ofiyolitik dizi içerisinde peridotitlerin tektonik bölümünde ve kümülatlara geçiş zonlarında bulunurlar. Bu krom yatakları da yan kayaçları ile eş zamanlı oluşmuştur. Daha çok harzburjitlerin, daha az ise dünitlerin içerisinde bulunur.

Cevher kütleleri ise dünitik bir kılıf ile sarılmış olup kılıfın kalınlığı birkaç santimetre ile birkaç metre arasında değişmektedir. Tabakalı tip krom yataklarından farklı olarak nodüler yapılar da gözlenmektedir.

Alpin tipi krom yatakları, okyanus ortası sırt bölgelerinde, okyanusal kabuğun oluşumu esnasında, astenosfer seviyesinde üst mantonun kısmi erimesi ve oluşan eriyiklerin kristallenmesi sırasında kristallenme ile ayrılarak oluştuğu, plaka hareketlerine bağlı olarak kıtasal plakalar üzerine taşınmış (allokton) oldukları ve bu sırada ileri derecede deformasyon geçirdikleri tüm araştırmacılar tarafından kabul edilmektedir.

Thayer (1964) ve Arai (1997) tarafından yapılan çalışmalarda podiform kromitlerin orojenik kuşakların etkili olduğu alanlarda bulunan ofiyolitler içindeki tektonikler ve ultramafik kümülatlar içerisinde kısmen pod (kese) ve cep gibi mercek veya iğ şeklinde yapılar halinde düzensiz şekilli, süreksiz ve sınırlı miktarda yayılım gösterdikleri savunulmaktadır.

Dickey (1975) tarafından yapılan çalışmada podiform tip kromit yataklarının oluşumu tektonik ve kümülat süreçlerle ilişkilidir. Alt kesimlerde tektonik harzburjitler içerisinde bulunan kromitit kütlelerinin varlığı, üstte tektonit ve kümülat sınırında oluşan kromitit bant ve merceklerinin ağırlıklarından dolayı harzburjit içine alta doğru batmış olduğu, kromit ve yan kayaç peridotit arasındaki yoğunluk farkından dolayı kromititin dünit merceği oluştuktan sonraki süreçte harzburjit içine battığı savunulmaktadır.

Moutte (1982) tarafından yapılan çalışmada kromit bantlarının oluşumunu bazik magmanın farklılaşarak kristallenmesi esnasında, ani düşen basınç neticesinde ergiyen Cr bakımından doygun hale geldiği savunulmaktadır.

Zhou ve Robinson (1997) tarafından yapılan çalışmalarda podiform kromitlerin yeni gelişmekte olan okyanus ortası sırt bölgesinde ve yeni oluşan okyanusal kabuk bölgesinde oluşmak yerine, yitimli yaklaşan plaka sınırlarında, üstteki plakanın derin kesimlerinde bulunan üst manto malzemesi veya eski okyanusal kabuğunun, yiten plaka içerisinde serbestleşen suyun etkisiyle kısmi ergimeye uğradığı ada yayı bölgelerinde oluştuğu, kromitlerin kimyasal bileşiminin mafik magmalar ile üst manto malzemesi arasında meydana gelen reaksiyonlara bağlı geliştiği, yan kayaçta erime arttıkça kromitlerin kromca zengin hale geldiği, alüminyumca zengin kromitlerin ise kısmi erimenin az olduğu yay gerisi bölgelerde oluştuğu savunulmaktadır.

Alpin tipi krom yatakları, tabakalı tip krom yataklarına göre Mg bakımından daha zengin ve Fe^{+3} bakımından daha fakirdir. TiO_2 oranı ise 0.3'den daha düşüktür. $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ oranları ise çok geniş aralığa sahiptir. Cr_2O_3 ve Al_2O_3 içeriklerinin yüksek ve Fe_2O_3 içeriklerinin düşük olması ise karakteristik özelliğidir. Cr/Fe oranı ise 2 ile 4.5 arasındadır.

Alpin tip (podiform) kromit yatakları, belirgin süreksiz kromit konsantrasyonları olup genellikle dünitte çevrelenmiştir. Tipik olarak nodüler ve dairesel kromit ile karakterize edilir. Şekil, boyut ve dağılım açısından çok düzensiz olabilirler. Podiform kromit yatakları genellikle harzburgitlerle ilişkilidir. Podiform kromitler için uygun tektonik ortamlar arasında ada yayları, yay arkası havzalar ve hızlı yayılan sırtlar yer almaktadır (Johnston, 1936; Thayer, 1964; Leblanc ve Nicolas, 1992; Arai ve Matsukage, 1998).

3.2. Yöntem

3.2.1. Arazi çalışmaları

Arazi çalışmaları kapsamında Balıkesir ili, Dursunbey ilçesi, Boyalıca Mahallesi civarında yaklaşık 74 km²'lik bir alanda çalışılmıştır. Bu alanda 1/25.000 ölçekli detaylı jeolojik haritası yapılmış ve bölgedeki stratigrafik istif ortaya çıkarılmıştır. Litolojik birimlerden o birimleri temsil edecek özellikte ve sayıda numuneler alınmıştır. Özellikle kromit cevherleşmesi açısından önemli olan birimlerde ayrıntılı jeolojik ve yapısal incelemeler yapılarak ve bölgeyi temsil edebilecek sayıda ve nitelikte numuneler alınmıştır.

Numune alımı sırasında yerinde gözlemler (renk, mineral parajenezi, dokusu, alterasyonun türü ve şiddeti, tane boyu dağılımı, vb.) yapılmış, numune alımında jeolog çekici, balyoz ve benzeri teçhizat kullanılmış, düzlemsel ve çizgisel yapılar pusula ile ölçülmüş ve numune yerleri 1/25.000'lik harita ve GPS kullanılarak not edilmiştir.

3.2.2. Laboratuvar çalışmaları

İnceleme alanlarından toplam 37 adet cevher ve yan kayaç numunesi alınmış, bu numunelerden seçilen 27 adet numune inceleme alanında bulunan krom laboratuvarında

0.90 mikron ve altına inecek şekilde kırılıp öğütülerek analiz için pudra haline getirilmiştir (Şekil 3.1.). Boyalıca Mahallesi civarındaki inceleme alanından alınan 7 adet ve Adaören Mahallesi civarındaki inceleme alanından alınan 20 adet kromit ve yan kayaç numunelerin tüm kayaç ana oksit ve iz element analizleri yaptırılarak jeokimyasal yorum ve değerlendirme yapılmıştır.



Şekil 3.1. Numunelerin kırılıp öğütülerek pudra haline getirilmesi.

Arazi çalışmaları esnasında derlenen taze kayaç örneklerinden mineralojik bileşim ve petrografik özelliklerin belirlenebilmesi amacıyla ince kesit, parlatma kesiti, uygun numunelerden XRD analizleri yapılmıştır. Leica DM2500P marka mikroskopta petrografik olarak incelenen kesitlerde yapısal ve dokusal özellikler, mineral parajenezleri, mineral oluşum sırası vb. özellikler belirlenmiş ve kayaç adlamaları yapılmıştır (Şekil 3.2.). Edax Ametek materials analysis division marka makinede SEM analizleri (taramalı elektron mikroskobu analizi) yapılmıştır (Şekil 3.3.).



Şekil 3.2. Leica DM2500P marka mikroskop.



Şekil 3.3. Edax Ametek materials analysis division marka makine.

Araziden alınan kayaç/cevher örneklerinden ince kesitler/parlak kesitler, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Laboratuvarında yaptırılmıştır. Kimyasal analizler ise Necmettin Erbakan Üniversitesi (Konya) Laboratuvarında yaptırılmıştır.

Bütün bu petrokimyasal analizler sonucunda, krom cevherleşmesi hakkında yorum yapılmıştır.

3.2.3. Büro çalışmaları

Arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen veriler büro çalışmaları boyunca yorumlanmış ve tez yazım aşamasına geçilmiştir. Saha verileri ve elde edilen analiz sonuçları bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Verilerin matematiksel değerlendirilmesi için Corel Draw, Netcad ve Xlstat programları kullanılarak yapılmıştır. Tüm kayaç jeokimyasından elde edilen veriler uygun diyagramlarda yorumlanmıştır. Çizimler için Netcad 8 programı kullanılmıştır.

Mineral parajenezleri, yapısal ve dokusal özellikleri ile kayaçların oluşum şartları ve zamanı hakkında bilgiler elde edilmiştir. Ayrıca, kimyasal analizlerle bölgedeki kayaçların kökeni ve oluşum mekanizması belirlenmiştir. Yine kimyasal analizlerde belirlenen olası metalik zenginleşmelerle ilgili yorumlar yapılmıştır. Kimyasal analizlerde elde edilen sonuçlar parametrik istatistiksel (ortalama, standart sapma, standart hata, ana kitle aritmetik ortalamasının güven aralığı, vb), kümelenme (korelasyon, regresyon, cluster) ve faktör analizleri ile değerlendirilmiş ve sahadaki elementlerin birbirleri ile olan ilişkileri, bu sahada bulunmalarında rol oynayan ana faktörler belirlenmiştir.

Elde edilen tüm veriler Konya Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü yüksek lisans tez yazım kurallarına göre Microsoft Word programı kullanılarak yazılmıştır.

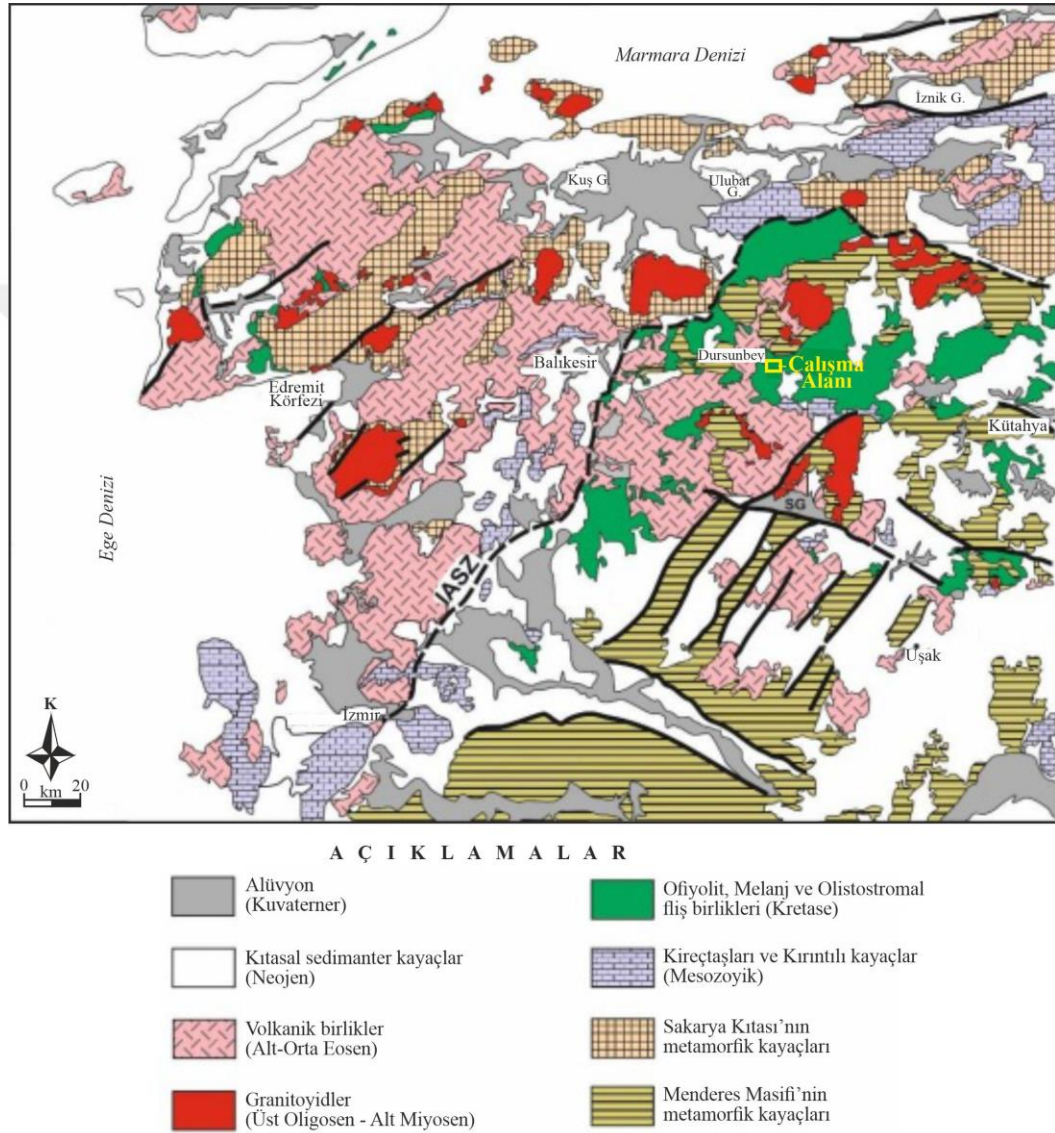
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Genel Jeoloji

Geç Kretase yaşlı ofiyolitik melanjlara, Batı Anadolu'da geniş mostralara vermektedir. Balıkesir bölgesinde Yayla Melanjı (Krushensky, 1976), Kütahya bölgesinde Dağardı (Kırkkavak) melanjı (Akdeniz ve Konak, 1979), Bozüyük ve Bilecik bölgesinde Arifler melanjı ve Biga Yarımadasında ise Çetmi ofiyolit melanjı (Okay ve ark., 1990) olarak isimlendirilmiştir. Söz konusu bu karmaşık topluluklar birbirleri ile ilksel ilişkisi olmayan çökel, metamorfik ve ofiyolit topluluğuna ait bazik ve ultrabazik kayalardan meydana gelmiştir. Dünit, harzburgit, diyabaz, gabro, radyolarit, metakumtaşı, çamurtaşı, mermer, çeşitli şist blokları ve değişik yaşta ve boyutta kireçtaşı bloklarından oluşmaktadır. Melanj özelliğindeki bu birim içerisinde yer alan kayalar taşınmış ve tektonik dokanaklı olup aralarında yanal, düşey geçişlilik ve stratigrafik istiflenme göstermemektedir (Şekil 4.1.).

Adaören Mahallesi civarındaki inceleme alanında temeli Jura-Kretase yaşlı Tekerler formasyonu oluşturur. Tekerler formasyonu kalın bir mermer istifinden oluşmaktadır. Birim, kirli beyaz, mavimsi ve gri renkli, iri kristalleşmiş mermerlerden oluşmuştur. Tekerler formasyonu üzerinde Geç Kretase yaşlı Piribeyler Şisti yer almaktadır. Birim, mikalı şist, mikalı kuvars şist, bazik volkanik kökenli mavi şist ve kalkıştillerden oluşmaktadır. Kretase yaşlı Kırkkavak Melanjı olarak bilinen bir diğer adı ile Dağardı Melanjı, Piribeyler Şisti üzerinde konkordan olarak yer almaktadır. İnceleme alanının güney kesiminde yer alan, Boyalıca Mahallesi ve civarının temel kayalarını ise Jura-Kretase yaşlı Karagöz Kireçtaşı formasyonu oluşturmaktadır. İnceleme alanlarındaki Kırkkavak melanjı ve Karagöz Kireçtaşı formasyonlarının üzerinde, masif dünit, serpantinit, harzburgitten oluşan Kretase yaşlı Gınık Peridotiti tektonik olarak yer almaktadır. Bu birimler üzerinde tektonik dokanakla Kırkkavak melanjı yer alır. Kırkkavak melanjı, Geç Kretase yaşlıdır. Serpantinitten oluşan bir matriks içerisinde radyolaryalı çört, mermer, mavişist, talkşist, kireçtaşı, amfibolit, ve mafik kaya bloklarından oluşmaktadır. Kırkkavak melanjı üzerinde tektonik bir dokanakla harzburgit, serpantin ve dünitte oluşan Gınık peridotiti yer alır. Gınık peridotiti, Geç Kretase yaşlıdır. Serpantinitler içerisindeki damarlarda kromit oluşumu ve yer yerde manyezit oluşumu gözlenmektedir. Gınık peridotiti içerisinde yüzeye

yakın kısımlarda kromitler saçınımlı ve bantlı, yapılan sondajlar doğrultusunda derine doğru ise masif halde cevherleştiği gözlenmektedir. Gınık peridotiti üstünde nonkorformite olarak Miyosen yaşlı Gökçedağ formasyonu yer alır. Gökçedağ formasyonu, marn, konglomera, silttaşı, kiltası, kireçtaşı, kumtaşı ve tüften oluşmaktadır.



Şekil 4.1. Kuzeybatı ve Batı Anadolu'nun basitleştirilmiş jeoloji haritası (Genç, 1998 ve Bingöl, 1989).

4.1.1. Stratigrafi

İnceleme alanı, Balıkesir ilinin, Dursunbey ilçesine bağlı Boyalıca ve Adaören Mahalleleri civarında, Kütahya İ21-C1, İ21-C4, İ21-D1 ve J21-B1 paftaları içerisinde

yer alır. Tekeli ve ark. (1969) tarafından yapılan çalışmada, Dursunbey bölgesinin kuzeyinde geniş alanlarda metamorfik kaya topluluğunun gözlemlendiği, güney kesiminde ise sınırlı bir alanda metamorfizma özellikleri farklı olan kayaların bulunduğu, bu sebeple, kuzey kesim ve güney kesim olarak incelendiği belirtilmiştir.

Metamorfik birimlerin hepsi Torid-Anatolid platformu (Şengör ve Yılmaz, 1981) olarak adlanan Mesozoyik Platformu'nun en kuzey kısmına aittir. Okay (1984) tarafından bölgede yapılan çalışmada, kuzey kesimdeki metamorfikler Tavşanlı Zonu içerisinde Orhaneli Birliği olarak, güney kesimdeki birimleri Afyon Zonu olarak adlandırmıştır. Bu iki zon, Batı Anadolu'daki Anatolid-Torid Bloğu'nun kuzey kenarını oluşturan önemli jeolojik birimlerdir. Tavşanlı Zonu yüksek basınç-düşük sıcaklık metamorfizması geçirmiş mavişistlerin yaygın olduğu bir bölgedir. Bu zon, Neotetis Okyanusu'nun kuzeye doğru dalma-batması sonucu oluşmuştur. Afyon Zonu ise Tavşanlı Zonu'nun güneyinde yer alır ve genellikle yeşilşist fasiyesi koşullarında metamorfizma geçirmiş kayaçlardan oluşmaktadır. Tavşanlı Zonu'na göre daha düşük dereceli metamorfizma özelliklerine sahiptir. Tavşanlı Zonu ve Afyon Zonu arasındaki sınır, bir tektonik dokanak veya bindirme fayı niteliği göstermektedir. Kuzey kesimdeki metamorfik kaya toplulukları, güney kesimine göre geniş alanlarda gözlenmektedir.

Adaören Mahallesi civarındaki yaklaşık 20 km²'lik inceleme alanı Tavşanlı Zonu içerisinde ve Boyalıca Mahallesi civarındaki yaklaşık 54 km²'lik inceleme alanı ise Afyon Zonu içerisinde yer almaktadır.

İnceleme alanının kuzey kesiminde yer alan, Adaören Mahallesi ve civarının temel kayaçları Tekerler Mermerleri oluşturmaktadır. Jura-Kretase yaşlı Tekerler formasyonu, kalın bir mermer istifinden oluşmaktadır. Birim, kirli beyaz, mavimsi ve gri renkli, iri kristalleşmiş mermerlerden oluşmuştur. Tekerler formasyonu üzerinde Geç Kretase yaşlı Piribeyler Şisti yer almaktadır. Birim, mikalı şist, mikalı kuvars şist, bazik volkanik kökenli mavi şist ve pelajik killi kireçtaşlarından oluşmaktadır. Kretase yaşlı Kırkkavak Melanjı olarak bilinen bir diğer adı ile Dağardı Melanjı, Piribeyler Şisti üzerinde yer almaktadır. İnceleme alanının güney kesiminde yer alan, Boyalıca Mahallesi ve civarının temel kayaçlarını ise Jura-Kretase yaşlı Karagöz Kireçtaşı formasyonu oluşturmaktadır. İnceleme alanlarındaki Kırkkavak melanjı ve Karagöz Kireçtaşı formasyonlarının üzerinde masif dünit, serpantin ve harzburjitten oluşan Kretase yaşlı Gınık Peridotiti tektonik olarak yer almaktadır. Gınık Peridotiti, dünit bakımından zengin ultramafik kayaçlar olup içinde krom yataklanmaları gözlenmektedir. Birimler üzerine uyumsuz olarak Miyosen yaşlı Gökçedağ Formasyonu

gözlemlenmektedir. Bölgede en genç birim tutturulmamış kum, silt ve çakıllardan oluşan alüvyondur.

4.1.1.1. Adaören Mahallesi civarındaki inceleme alanının jeolojisi

4.1.1.1.1. Tekerler mermeri (Mzt)

Birim kirli beyaz, gri, beyaz ve mavimsi renkli iri kristalleşmiş mermerlerden oluşmaktadır. Masif mermerler daha çok tabana yakın yerlerde gözlemlenmiştir. Birim, inceleme alanının en alt birimini oluşturmaktadır. Birimin tipik özellikleri Tekerler köyünün kuzeyinde gözlemlendiğinden ismi buradan alınmıştır (Tekeli ve ark., 1969). Tekerler Mermeri, inceleme alanının kuzey kesiminde yüzeilenmektedir.

Piribeyler Şisti, konkordan bir dokanak ile Tekerler Mermeri üzerinde yer almaktadır (Tekeli ve ark., 1989). Birim içerisinde fosil izine rastlanmamıştır. Birim, Geç Jura-Alt Kretase yaşlıdır. Tekerler Mermeri, sığ denizel bir ortamda çökelmiş karbonatlı kayalardan oluşmaktadır.

4.1.1.1.2. Piribeyler şisti (Kp)

Birim, silisli şeyl kökenli mikalı şist, çört kökenli mikalı kuvars şist, kalkşist ve bazik volkanik kökenli mavi şistlerden oluşmaktadır. Birimin en tipik kaya topluluğunu bazik volkanik kökenli mavi şistler oluşturmaktadır. Birimin taban seviyelerinde mikalı şist ve mikalı kuvars şistler, üst seviyelere doğru bazik volkanit kökenli mavi şistler görülmektedir. Birim, metamorfik istif görünümündedir. Piribeyler Şisti, inceleme alanının kuzey – kuzeydoğusunda gözlenmektedir. Birimin tipik özellikleri Piribeyler köyü ve civarında gözlemlendiğinden birim ismini buradan almıştır (Tekeli ve ark.,1969).

Piribeyler Şisti, Tekerler Mermeri üzerinde konkordan olarak yer almaktadır. Piribeyler formasyonunun üst dokanağında bulunan Kırkkavak Melanjı ile olan ilişkisi belirgin değildir (Tekeli ve ark.,1969). Birim, Geç Kretase yaşlıdır (Şekil 4.2.). Tekeli ve ark. (1969) tarafından yapılan çalışmada birimin kökenini oluşturan kayaların pelajik karakterli volkanik katkılı bir istifi temsil ettiği belirtilmiştir.

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	FORMASYON	SİMGELER	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK	Kuvaterner	Holosen	Alüvyon	Qa		Akarsuyun kenarlarında görülen kum ve çakıllardır.
	Neojen	Miyosen	Gökçedağ	Ng		Birimin alt seviyeleri kumlu ve çakıllı olup üstte doğru tüfit, marn, çamurtaşı ve gölsel kireçtaşı oluşmuştur.
	Kretase	Üst Kretase	Gıncık Peridotiti	Kgp		Birim dünit, harzburgit, serpantin gibi ultramafik kayalar krom ve manyezit cevherleşmesi
			Kırkkavak Melanjı	Kk		Bindirme Fayı
MESOZOYİK	Jura - Kretase	Üst Jura - Alt Kretase	Piribeyler Şisti	Kg		Birim, iri kristalleşmiş mermerlerden oluşmuştur.
	Tekerler Mermeri			Mzt		

Şekil 4.2. Adaören Mahallesi civarının stratigrafik dikme kesiti (Tekeli ve ark., 1969'dan düzenlenerek alınmıştır.)

4.1.1.1.3. Kırkkavak melanji (Kk)

Birim, kirli sarı, yeşil, kahverengi ve bordo rengi ile tanınır. Birim, mavi-yeşil renkli şist, volkanit, volkanotortul, çört, radyolarit, pelajik kireçtaşı, mermer ve serpantinitten meydana gelmektedir. Kırkkavak melanji, peridotitlerin ayrışma ve bozunması nedeniyle serpantinitle dönüşmüştür (Akdeniz ve Konak, 1979). Kırkkavak Melanji içerisindeki serpantinitle şisti bir dokuya sahiptir. Kırkkavak Melanji inceleme alanının batısında ve doğusunda gözlenmektedir. Kırkkavak Melanji, Kırkkavak Mahallesi ve civarında tipik mostralar gözlemlendiğinden birim ismini buradan almıştır (Tekeli ve ark., 1969).

Piribeyler Şisti üzerinde konkordan olarak Kırkkavak Melanji yer almaktadır. Kırkkavak Melanji üzerinde tektonik olarak Gınık Peridotiti yer almaktadır (Tekeli ve ark., 1969). Geç Kretase yaşlı Kırkkavak Melanji'nın üzerine aynı yaşlı Gınık Peridotiti nap şeklinde gelmektedir. Kırkkavak Melanji içerisinde radyolarit ve çamurtaşı düzeylerinde ekonomik potansiyele sahip mangan cevherleşmesi gözlenmektedir (Şekil 4.3.). Tavşanlı Zonu içerisinde bulunan ofiyolitik melanj özelliğindeki bu kayalar Anatolid-Torid Bloku'nun Geç Kretase'de bir dalma batma zonu içerisine dalan ve daha sonra tekrar yüzeye yükselen bölümünü temsil etmektedir (Okay, 2011).

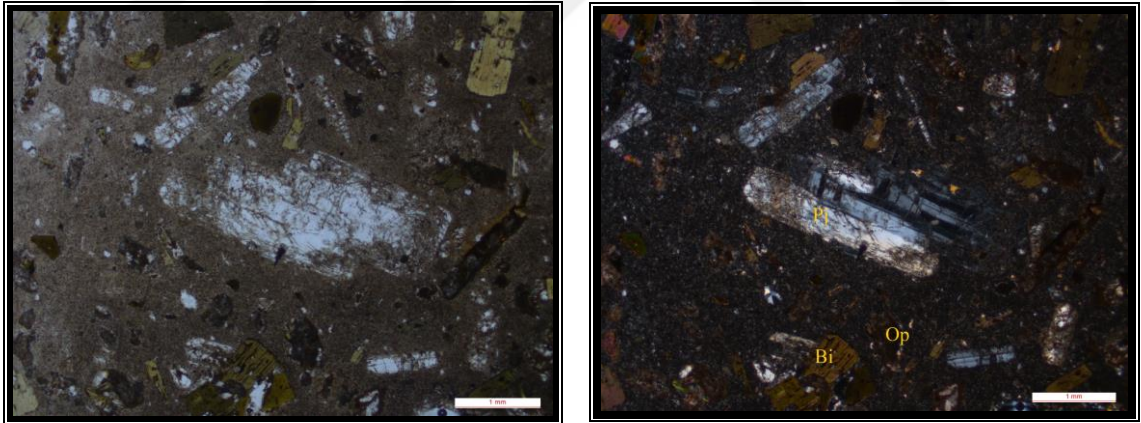


Şekil 4.3. Boyalıca Mahallesi civarındaki inceleme alanının kuzey batısında bulunan radyolarit ve mangan oluşumları.

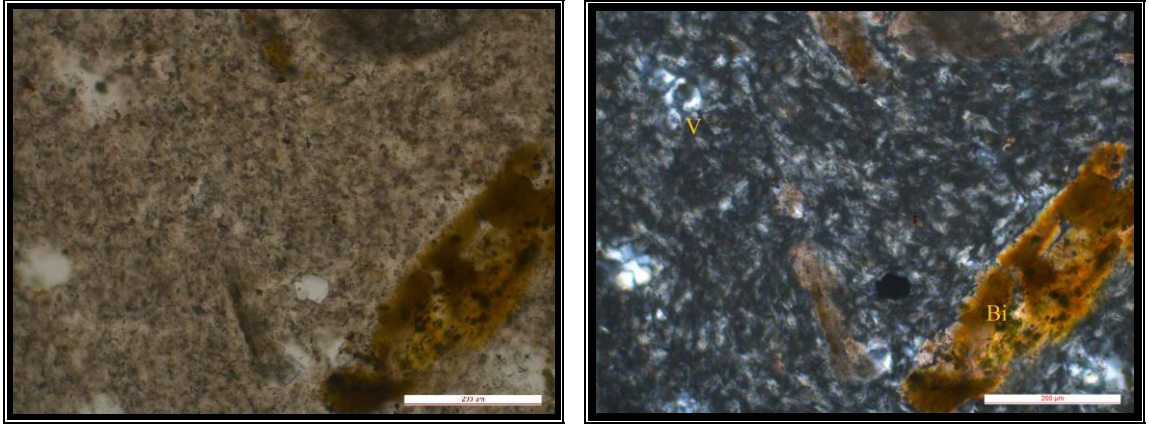
4.1.1.1.3.1. Kırkkavak melanji içerisinde gözlemlenen andezit

Adaören Mahallesi civarındaki inceleme alanında yer yer andezit yüzeylenmektedir. Arazi görünümü orta açık gri renkli, ince taneli ve masif dokulu gözlenmektedir.

Mikroskobik incelemede ise kayacın porfirik dokulu olduğu ve ana bileşenlerin fenokristaller (plajiyoklaz grubu mineraller, biyotit, az miktarda altere mineral izleri) ve hamurdan oluşmaktadır. Plajiyoklaz grubu mineraller, küçük-orta taneli, hipidiyomorfik kristaller şeklindedir (Şekil 4.4.). Biyotit, küçük taneli, levhamsı, bazı tanelerinde kenarlarından itibaren opasitleşme bulunmaktadır. Altere mineral izleri, küçük-orta taneli, hipidiyomorfik kristaller şeklinde, bir kısmı tamamen killeşmiş, bir kısmı yoğun opaklaşmış mineral izleri gözlenmektedir. Hamur, kristalitler ve az miktarda volkan camı içermektedir (Şekil 4.5.). Tali bileşenler, opak mineral olup küçük taneli, hidipiyomorfik-allotriyomorfik kristaller halinde bulunmaktadır. Orta-ileri derecede killeşme, karbonatlaşma ve silisleşme alterasyonu gözlenmektedir.



Şekil 4.4. Andezit numunesinin ince kesitteki tek nikol ve çift nikol görünümü (Pj: plajiyoklas, Bi: biyotit, Op: opak mineral).

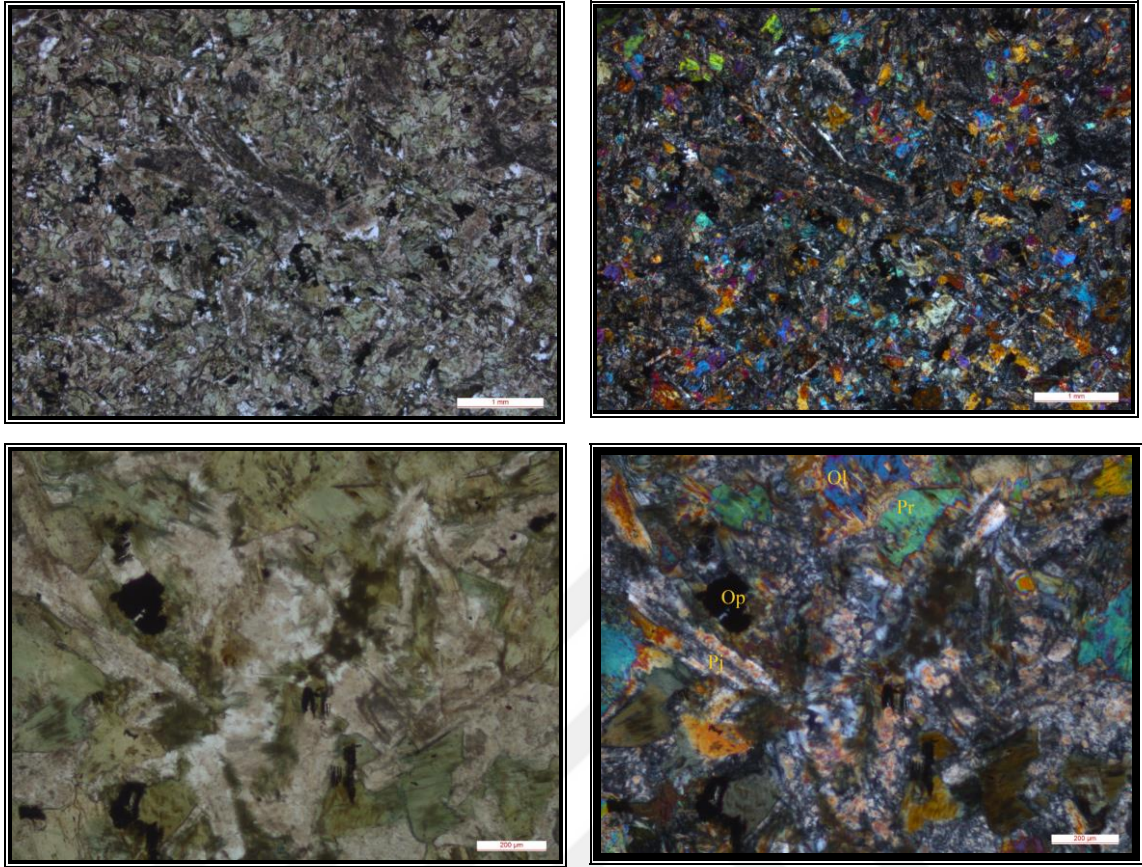


Şekil 4.5. Andezit numunesinin ince kesitteki tek nikol ve çift nikol görünümü (Bi: biyotit, V: volkanik cam).

4.1.1.1.3.2. Kırkkavak melanji içerisinde gözlemlenen diyabaz

Adaören Mahallesi civarındaki inceleme alanındaki arazi görünümleri grimsi zeytin yeşili renkli, ince taneli ve masif dokulu gözlenmektedir.

Mikroskobik incelemede kayaç hipokristalin porfirik dokulu ve ana bileşen olarak ise fenokristaller ve hamurdan oluşmaktadır. Fenokristaller, piroksen grubu (klinopiroksen veya ojit) ve plajiyoklaz grubu (feldispat) minerallerden oluşmaktadır. Piroksen grubu mineraller, küçük taneli, hipidiyomorfik kristaller halinde bulunmaktadır. Plajiyoklaz grubu mineraller, küçük taneli, hipidiyomorfik kristaller halinde bulunmaktadır. Hamur, plajiyoklaz grubu mineraller ve piroksen grubu mineraller hem mikrolit ve hem de latalar şeklindedir. Tali bileşenler, opak mineraller olup küçük taneli, hipidiyomorfik-idiyomorfik kristaller halinde, yer yer minerallerin dilinim izlerinde bulunmaktadır. Orta-ileri derece killeşme, silisleşme, kloritleşme ve uralitleşme alterasyonu gözlenmektedir (Şekil 4.6.).



Şekil 4.6. Diyabaz kayaç numunesinin ince kesitteki tek nikol ve çift nikol görünümü (Pj: plajiolklas, Pr: piroksen, Ol: olivin, Op: opak mineral).

4.1.1.2. Boyalıca Mahallesi civarındaki inceleme alanının jeolojisi

4.1.1.2.1. Karagöz kireçtaşı formasyonu (Mzka)

Birim, bej, beyaz renkli, midye kabuğu kırılmalı, silis bantlı ve yumrulu kireçtaşlarından oluşmaktadır. Karagöz Kireçtaşı, Boyalıca Mahallesi ve civarındaki inceleme alanının güney doğusunda yüzeylemektedir. Birim, Karagöz Mahallesinde tipik olarak gözlemlendiğinden ismini buradan almıştır.

Karagöz Kireçtaşı formasyonu üzerine Gınık Peridotiti bindirmeli olarak gelmektedir. Birim, Geç Jura-Erken Kretase yaşlıdır. Akdeniz ve Konak (1979) tarafından yapılan çalışma da Karagöz Kireçtaşı formasyonu, Budağan Kireçtaşı ile eşdeğer olduğunu belirtmişlerdir.

4.1.1.3. Adaören Mahallesi ve Boyalıca Mahallesi civarındaki inceleme alanlarının üst kesiminin jeolojisi

4.1.1.3.1. Gınık peridotiti (Kgp)

Birim, dünit, harzburjit, serpantinit gibi ultramafik kayalardan oluşmaktadır. Genelde kahverengi ve koyu yeşil renklidir. Gınık Peridotiti, Adaören Mahallesi civarındaki inceleme alanının doğusunda ve Boyalıca Mahallesi civarındaki inceleme alanının kuzey ve batısında yaygın olarak gözlenmektedir. Kınık Mahallesi civarında bulunan Gınık Dere Vadisi boyunca yüzeyletiğinden dolayı birime Gınık Peridotiti adı verilmiştir (Tekeli ve ark., 1969).

İnceleme alanı olan Boyalıca bölgesindeki Karaçam Tepe’de peridotitlerin ayrışmasından oluşan demir şapka gözlenmektedir. Demirşapka, bordo renkli ve sislileşmiş kayalardan oluşmaktadır. Birim içerisinde diyabaz-gabro dayklarına rastlanmaktadır.

Birim, Kırkkavak Melanjı üzerinde nap olarak yer almaktadır. Gınık Peridotiti üzerine diskordan olarak Gökçedağ Formasyonu gelmektedir. Birim, Geç Kretase yaşlıdır.

Birim içerisinde kromit cevherleşmesi ve manyezit cevherleşmesi gözlenmektedir (Şekil 4.7. ve Şekil 4.8.). İnceleme alanında kromit cevherleşmesi ekonomik bir öneme sahip olup işletilmektedir.



Şekil 4.7. Boyalıca Mahallesi civarındaki Karaçam tepesinde gözlemlenen manyezit cevherleşmesi.



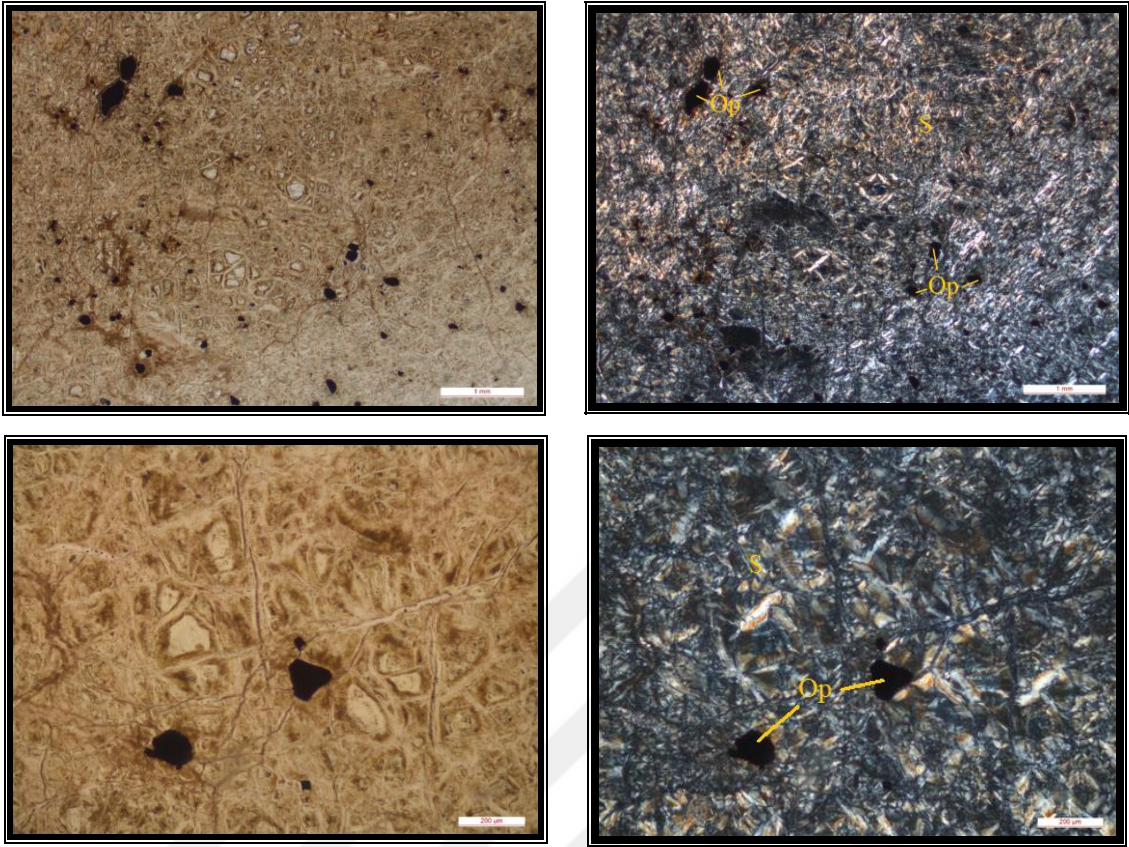
Şekil 4.8. Boyalıca Mahallesi civarındaki Karaçam tepesinde gözlemlenen manyezit cevherleşmesi.

4.1.1.3.1.1. Gınık peridotiti içerisinde gözlemlenen serpantinit

Adaören Mahallesi civarındaki inceleme alanında arazi görünümleri açık yeşilimsi gri renkli, ince taneli ve masif dokulu gözlenmektedir.

Mikroskobik incelemede ise kayalık yoğun alterasyondan dolayı ilksel yapı ve dokusunu büyük oranda kaybetmiş olmasına rağmen örnekte kalıntı halde ağ dokusu izlenmiştir.

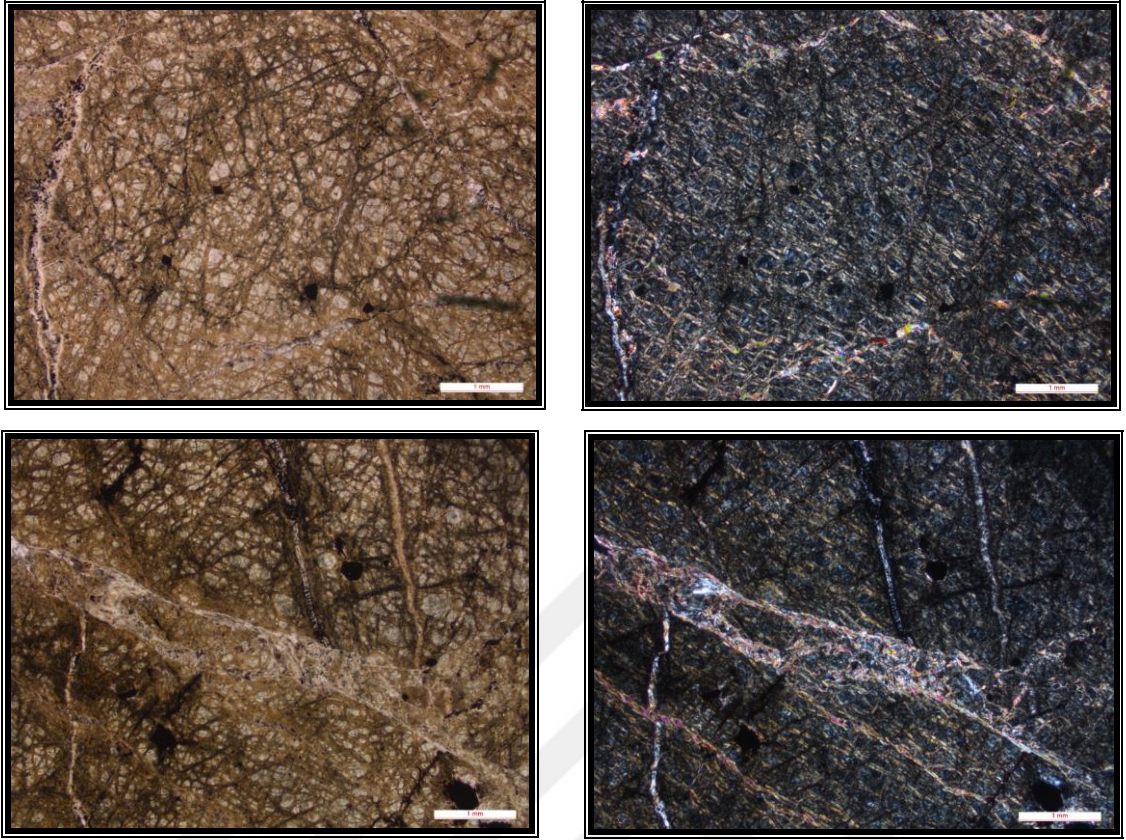
Serpantinleşmiş mafik mineral psudomorfları (içlerinde kalıntı izlenmemesine rağmen bu tanelerin olivin grubu mineraller ve/veya piroksen grubu mineraller olduğu düşünülmektedir) ve az miktarda opak mineraller bileşenlerinden oluşmaktadır. Mafik mineral psudomorfları, küçük taneli ve yoğun miktarda serpantinleşmiş mafik mineral izleri gözlenmektedir. Opak mineral, küçük taneli, hidipiyomorfik-idiyomorfik kristaller halinde bulunmaktadır. Süreksizlikler, dolgulu kırıklar halinde olup ölçülebilen yaklaşık kalınlığı 0,08 mm-0,48 mm arası olan, bazen serpantin grubu mineral, bazen karbonat dolgulu halde bulunmaktadır. İleri derece serpantinleşme ve opaklaşma alterasyonu gözlenmektedir (Şekil 4.9.).



Şekil 4.9. Serpantinit numunesinin ince kesitteki tek nikol ve çift nikol görünümü (S: serpentinit, Op: opak mineral).

Boyalıca Mahallesi civarındaki inceleme alanında arazi görünümü orta mavimsi gri renkli, ince taneli ve masif dokulu gözlenmektedir.

Mikroskobik incelemede ise kayaç ilksel dokusunu yitirmiş olup ağsı doku izlenmiştir. Serpantin grubu mineraller ve az miktarda opak mineral bileşenlerinden oluşmaktadır. Örnekte izlenen serpantin grubu minerallerin içinde kalıntı izlenmemesine rağmen primerlerinin olivin grubu mineraller ve/veya piroksen grubu mineraller olduğu düşünülmektedir. Serpantin grubu mineraller, küçük taneli, hipidiyomorfik-idiyomorfik kristaller halinde bulunmaktadır. Opak mineral, küçük taneli, hidipiyomorfik-idiyomorfik kristaller halinde izlenmiş olup bir kısmının kromit olduğu düşünülmektedir. Dolgulu kırıklar halinde süreksizlik gözlenmiştir. Dolgulu kırıklar, ölçülebilen yaklaşık kalınlığı 0,08 mm-1,2 mm arası olan, kesiti boydan boya kesen, bazen karbonat, bazen de karbonat+talk dolgulu halde bulunmaktadır. İleri derece serpantinleşme ve opaklaşma alterasyonu gözlenmektedir (Şekil 4.10.).



Şekil 4.10. Serpantinit numunesinin ince kesitteki tek nikol ve çift nikol görünümü.

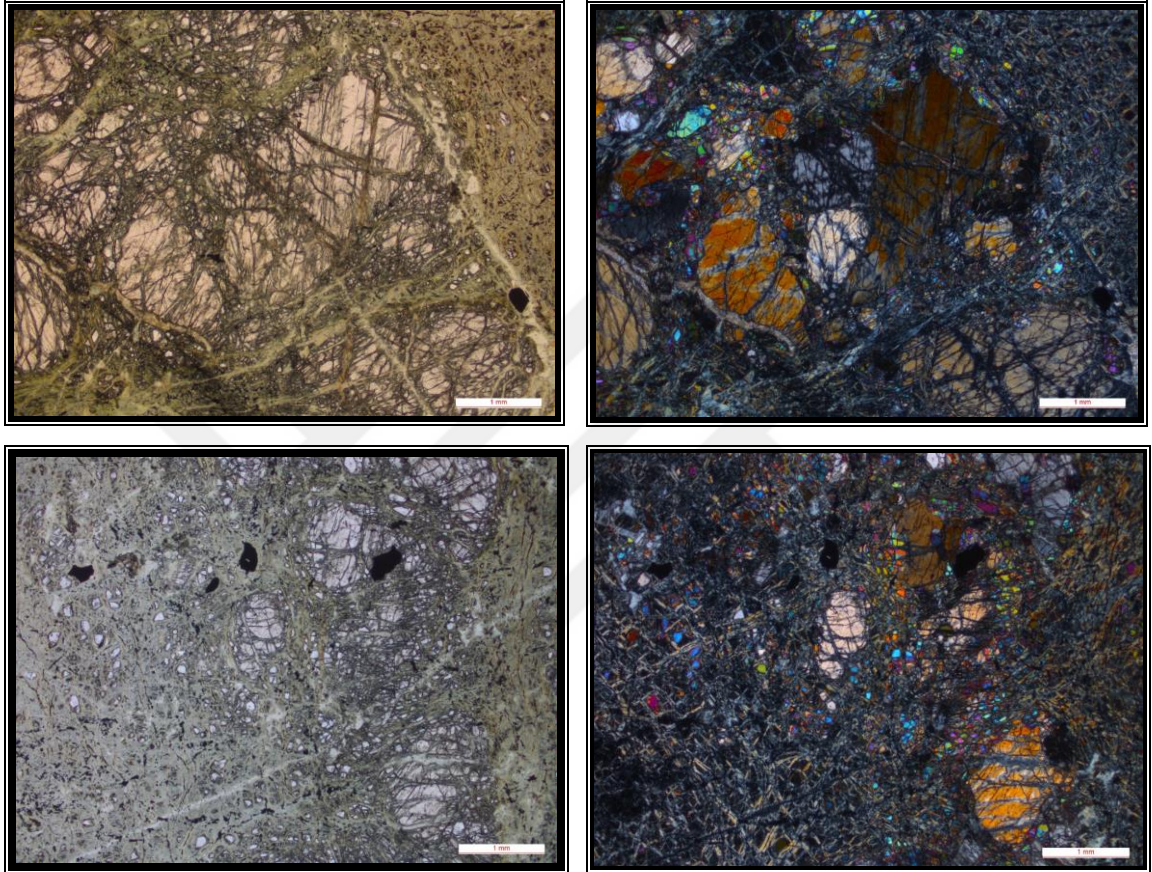
4.1.1.3.1.2. Gıncık peridotiti içerisinde gözlemlenen serpantinleşmiş ultramafik kayalık

Arazi görünüşleri koyu yeşilimsi gri renkli, ince taneli ve masif dokulu gözlenmektedir.

Mikroskobik incelemede kayalık yoğun alterasyona maruz kaldığı için ilksel yapı ve dokusunu büyük oranda kaybetmiştir. Sadece kalıntı halde ağ dokusu gözlenmiştir. Serpantinleşmiş mafik mineral izleri, piroksen grubu mineraller, olivin grubu mineraller, opak mineraller bileşenlerinden oluşmaktadır. Piroksen grubu mineraller, küçük-orta taneli, allotriyomorfik kristaller halinde belirlenmiş olup genelde kalıntı halde kalarak kenarlarından itibaren karbonatlaşma ve serpantinleşme göstermektedir. Olivin grubu mineraller, genelde reliktler halinde saptanmış olup kenarlarından itibaren yoğun serpantinleşme tespit edilmiştir. Opak mineral, küçük taneli, hidropiyomorfik-idriyomorfik kristaller halinde izlenmiş olup birçok tanesinin kromit olduğu

düşünülmektedir. İleri derecede serpantinleşme, opaklaşma ve az miktarda karbonatlaşma alterasyonu gözlenmektedir (Şekil 4.11.).

Kalıntı halde izlenen olivin grubu mineraller, piroksen grubu mineraller ve kromit olduğu düşünülen tanelerden dolayı kayacın kökeninin ultramafik olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.11. Serpantinleşmiş ultramafik kayaç numunesinin ince kesitteki tek nikol ve çift nikol görünümü.

4.1.1.3.2. Gökçedağ Formasyonu (Ng)

Birimin alt seviyeleri kumlu ve çakıllı olup üste doğru tüfit, marn, çamurtaşı ve gölsel kireçtaşıdan oluşmaktadır. Birim, kirlili beyaz, sarı, bej renklidir. Gökçedağ formasyonu, Boyalıca Mahallesi civarındaki inceleme alanının kuzeydoğusunda ve Adaören Mahallesi civarındaki inceleme alanının ise kuzey ve batısında gözlenmektedir. Birim yaygın olarak Gökçedağ Mahallesi batısında gözlemlendiğinden ismini buradan almıştır.

Gökçedağ formasyonu, Gınık Peridotiti üzerine diskordan olarak gelmektedir. Birim, Miyosen yaşlıdır (Akat ve ark., 1978) (Şekil 4.12.).

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	FORMASYON	SİMGELER	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK	Kuvaterner	Holosen	Alüvyon	Qa		Akarsuyun kenarlarında görülen kum ve çakıllardır.
	Neojen	Miyosen	Gökçedağ	Ng		Birimin alt seviyeleri kumlu ve çakıllı olup üste doğru tıfıt, marn, çamurtaşı ve gölsel kireçtaşıdan oluşmuştur.
						Uyumsuzluk
MESOZOYİK	Kretase	Üst Kretase	Gınık Peridotiti	Kgp		Birim dünit, harzburgit, serpentin gibi ultramafik kayalar krom ve manyezit cevherleşmesi
	Jura - Kretase	Üst Jura - Alt Kretase	Karagöz Kireçtaşı	Mzka		Birim orta-kalın tabakalı, bej, beyaz renkli, midye kabuğu kırıklı, silisbant ve yumru kireçtaşıdır.
						Bindirme Fayı

Şekil 4.12. Boyalıca Mahallesi civarındaki inceleme alanına ait stratigrafik dikme kesiti (Tekeli ve ark., 1969'dan düzenlenerek alınmıştır.)

4.1.1.3.3. Alüvyon

Kuvarterner yaşlı alüvyonlar, tutturulmamış kum, çakıl, silt tanelerinden oluşmaktadır.

4.1.2. Yapısal jeoloji

İnceleme alanlarının üzerinde ofiyolit nap yer almaktadır. Ofiyolitler, Miyosen istifleri tarafından örtülmektedir. Tekeli ve ark. (1969) tarafından yapılan çalışmada ofiyolitlerin Paleosen'de yerleştiği belirtilmiştir. Okay (1986) tarafından yapılan çalışmada inceleme alanlarının üzerinde bulunan Kırkkavak Melanjı ve peridotit nap arasındaki ilişkiyi tedrici yanal geçiş olarak değerlendirmiştir.

İnceleme alanlarını da kapsayan bölgede ilk postorojenik evrenin deformasyonunun Büyük Orhan Granodiyoriti'nin intrüzyonuna bağlı olarak gelişmiştir (Tekeli ve ark., 1969). Kontakt metamorfizma ile birlikte yapılarda dikleşme ve kubbeleşmeler meydana gelmiştir. Miyosen yaşlı çökellerde geniş kıvrımlanma ve genellikle normal faylanma gözlenmektedir.

4.1.3. Jeolojik evrim

Geç Karbonifer-Permiyen'de Gondwana'nın kuzey kesiminde Avustralya'nın doğusundan itibaren (doğu akdenize doğru) ilerleyen riftleşme ile Neotetis Okyanusu açılmaya başlamıştır (Şengör ve ark., 1980; Göncüoğlu ve ark., 2000; Stampfli ve Borel, 2002). Neotetis Okyanusu açılmaya başlamasıyla Kimmeriyen kıtası Gondwana'dan ayrılmaya başlamıştır. Türkiye'nin büyük bölümünü oluşturan Toroslar bu kıtanın üzerindedir. Güneydoğu Anadolu bölgesi ise bu açılma esnasında Neotetis Okyanusu'nun güneyinde kalmıştır. Paleotetis'in kuzeye doğru dalmasıyla birlikte Lavrasya'nın güney kenarında Erken Triyas'ın sonlarına doğru yay ardı havzası olarak Küre Okyanusu açılmaya başlamıştır. Küre Okyanusu, Geç Triyas'da güneye doğru oluşan dalma batma ile kapanmaya başlamış ve Orta Jura'da ise tamamen kapanmıştır.

Kuzey Anadolu'da (Orta Pontidler) bulunan Küre Kompleksi bu okyanusun açılıp kapanması esnasında oluşan birimleri kapsamaktadır. Sakarya zonunda bir kuşak halinde uzanan Karakaya Kompleksi Permo-Triyas yaşlı değişik tektono-stratigrafik

birimlerden oluşmaktadır. Söz konusu kuşağın güney sınırı batıda Karaburun Yarımadası'nın kuzey kesiminden başlayıp, doğu-kuzeydoğuya doğru Balıkesir, Kütahya, Eskişehir, Tuz Gölü, Tokat, Erzincan boyunca kuzeydoğuda Artvin'e kadar uzanmaktadır (Koçyiğit, 1987). Kuzey kesimi ise, batıda Marmara Denizi'nin güney kıyıları, Bolu ve İnebolu boyunca uzanmaktadır. Alt Karakaya Kompleksi, Paleozoyik sonu veya Triyas'ta yeşilist ve mavişist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş mafik lav, şeyl, mafik piroklastik kaya ve kireçtaşı aralanması şeklinde meydana gelmiştir. Üst Karakaya Kompleksi ise deforme olmuş Permiyen veya Triyas yaşlı klastik, volkanik kayalardan oluşmaktadır.

Geç Triyas-Erken Jura'da, Küre Okyanusu ve Meliata-Maliak Okyanuslarının güneye doğru dalması olayı ile Vardar Okyanusu ve İzmir-Ankara-Erzincan Okyanusu açılmaya başlamıştır. Jura başında, Sakarya Zonu'nun saate göre ters yönde dönmeye başlamasıyla İntrapontid Okyanusu açılmaya başlamıştır. Böylelikle Sakarya Zonu, Lavrasya kenarından ayrılmıştır. Geç Kretase'de İzmir-Ankara-Erzincan Okyanusu ve İntrapontid Okyanusu kuzeye doğru dalarak kapanmaya başlamıştır.

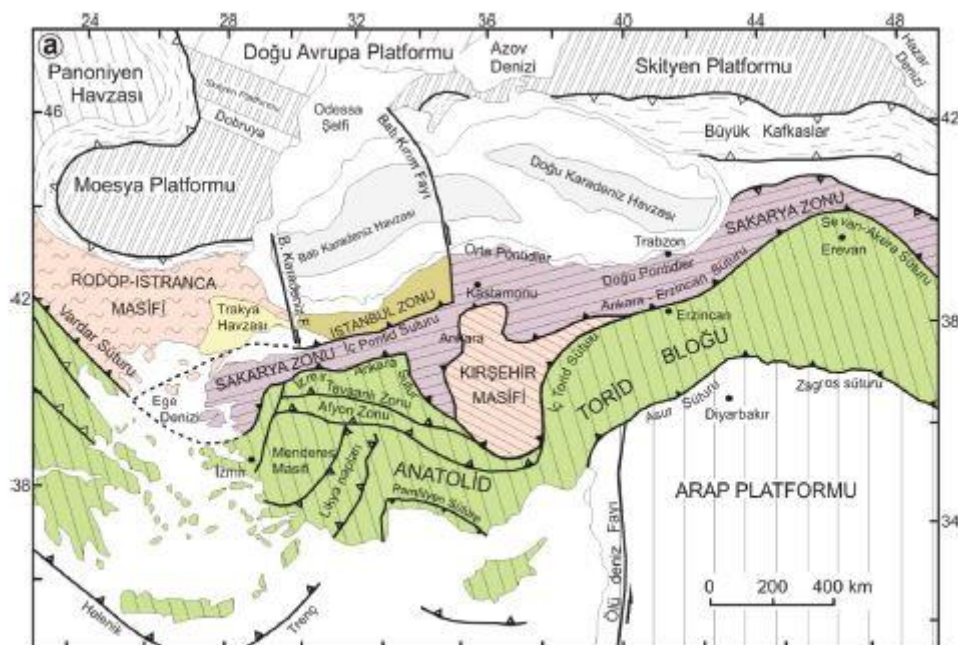
İstanbul Zonu'nun Geç Kretase'de başlayan güneye doğru kayması neticesinde Erken Eosen'de kıta-kıta çarpışmasıyla İstanbul zonu ve Sakarya zonu kenetlenmiştir. Bu kenetlenme ile beraber Pontidler meydana gelmiştir. Geç Kretase'de Sakarya Zonu'nun altına doğru dalmaya başlayan İzmir-Ankara-Erzincan Okyanusu Erken Eosen'de kapanmıştır. Menderes-Torid ve Kırşehir blokları Pontidler ile çarpışmış, İzmir-Ankara-Erzincan ofiyolitik kenet zonu meydana gelmiştir. Kırşehir Masifi'nin yapısal evriminin Menderes Masifi'ne benzemediği yapılan çalışmalar ile ortaya konmuştur (Seymen, 1981, 1982). Kırşehir bloğu ile Menderes-Torid platformu iki parça olarak düşünülmüş ve araya Neotetis'in bir kolu olan İç Toros Okyanusu yerleşmiştir (Görür ve ark., 1985). Menderes-Torid ve Kırşehir blokları üzerine Geç Kretase'de ofiyolitik naplar yerleşmeye başlamıştır. Kampaniyen-Maastrichtiyen boyunca Bozkır ofiyolitik napı Menderes-Torid platformu üzerine ilerlemeye başlamış, platformun ofiyolit örtülerinin altında çökelmiştir. Pontidler de dalma batma ile ilişkili yay volkanizması Erken-Orta Eosen'de devam etmiştir. Kalkalkalen andezitik lavlar, volkanik fliş çökelleri ve piroklastik kayalar şeklinde bu birimler günümüzde gözlenmektedir. Menderes Masifi ve Kırşehir Masifi ilerleyen naplar altında metamorfizmaya uğramıştır.

Geç Eosen-Erken Miyosen döneminde Türkiye orojenik kuşağı kuzey-güney yönde sıkışmaya maruz kalmıştır. Anatolidler yükselmiş ve örtü kayaçları aşınmaya

başlamıştır. Orta-Geç Miyosen döneminde Çüngüş havzası kapanmış, Bitlis kenet kuşağı boyunca Arabistan ve Avrasya birbirine doğru yaklaşmaya başlamıştır. Arabistan ve Avrasya'nın birbirine yaklaşması ile doğu Anadolu yığılma karmaşığı çarpışmadan sonra kısalıp kalınlaşarak ilk başlarda karşılayabilmiştir. Bölge hızlı bir şekilde yükseldikten sonra ve kalınlaşması zorlandıkça, yana doğru ilerleyerek uzaklaşmaya başlamıştır. Torid-Anatolid platformunun kenarları boyunca batıya doğru yanal yönde harekete başlamıştır. Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu transform fayları ile Anadolu levhası böylelikle meydana gelmiştir.

İnceleme alanları, İzmir-Ankara Sütur Zonu (İASZ) içerisinde yer almaktadır. Kuzeybatısında Tavşanlı Zonu ve kuzeyinde Sakarya Zonu yer alır (Okay ve ark., 1998). Şengör ve Yılmaz (1981) tarafından Sakarya Kıtası olarak adlandırılmıştır. Güneyde ise Menderes Masifi ve Afyon Zonu bulunmaktadır. İzmir-Ankara zonunda Mesozoyik zamandaki Neotetis Okyanusu'nun kalıntılarını gözlenmektedir (Şekil 4.13.).

Üzerinde yer aldığı İzmir-Ankara Sütur Zonu, Geç Kretase ve Alt Eosen zaman aralığında kuzeye doğru batan, kuzeyde Sakarya Kıtası ve güneyde Anatolid-Torid Platformu arasında sıkışmış Neotetis Okyanusu’nun kuzey kolunun (Vardar Okyanusu) kalıntıları gözlenmektedir (Şengör ve Yılmaz, 1981 ve Yılmaz, 1990).



Şekil 4.13. Türkiye'nin tektonik bölümleri (Okay ve Tüysüz, 1999).

İzmir–Ankara Sütur Zonu’ndan allokton olarak değişik bölgelere yerleşmiş farklı boyutlarda ve çok sayıda ofiyolit kütleleri Batı Anadolu’da bulunmaktadır. Batı Anadolu’da bulunan Alp-Himalaya kuşağı içerisinde kalan bu ofiyolitlerin ve diğer bölgelerdeki çoğu ofiyolitlerin tabanında, okyanus içi ortamda ofiyolitinin okyanusal litosferden sıyrılması sırasında meydana gelen, altta melanj ve üstte peridotitler arasında tektonik olarak bulunan metamorfik taban kayaçları bulunmaktadır. Bu ofiyolit tabanının metamorfik kayaçlarının varlığı Neotetis okyanusu ile ilişkili olup birçok araştırmacı tarafından tanımlanmıştır (Çelik ve Delaloye, 2003; Çelik ve Delaloye, 2006; Çelik, 2007; Dilek ve Whitney, 1997). Kretase yaşlı ofiyolitlerin ve ilişkili metamorfik kayaçların yer aldığı Doğu Akdeniz’deki bu okyanusal basenler hususunda farklı görüşler vardır. Bazı araştırmacılar tarafından bu Kretase ofiyolitlerinin, Geç Kretase-Paleojen döneminde Toros karbonat platformunun kuzeyinde bulunan tek bir Tetis okyanusundan oluştuğunu (Ricou ve ark., 1975), bazı araştırmacılar ise Neotetis okyanusunu güney ve kuzey kollarına ayırarak, güney kolundan Antalya ofiyolitinin ve kuzey kolundan ise Likya, Beyşehir, Pozantı-Karsantı, Divriği, Mersin ve Alihoca ofiyolitlerinin oluştuğunu belirtmişlerdir (Robertson ve Woodcock, 1980; Şengör ve Yılmaz, 1981, Görür ve ark., 1984; Parlak ve ark., 2005; Parlak ve ark., 2006).

Kuzeybatı Anadolu ve Toros kuşağındaki allokton ofiyolit levhaları altında meydana gelen bu ofiyolit tabanı metamorfik kayaçları çoğunlukla amfibolitik kayaçlar ile temsil edilmekte olup kalınlıkları 500 metreyi geçmemektedir (Spray, 1984). Söz konusu bu amfibolitik kayaçlar, okyanusal bazaltik kayaçlar ve sedimanter kayaçların granülit-amfibolit fasiyesinden yeşilist fasiyesine kadar değişiklik gösteren metamorfizma koşullarında meydana gelmektedir. İlk kez Williams ve Smith (1973) tarafından Kanada’daki ofiyolitlerde ofiyolit tabanı metamorfik kayaçları tanımlanmıştır. Bu ofiyolit tabanı amfibolitik metamorfik kayaçların Likya Naplarındaki üç değişik jeokimyasal ortamı temsil ettiklerini belirtmektedir (Çelik ve Delaloye, 2003). Bu jeokimyasal ortamlar, Ada Yayı Bazaltı (IAT), Okyanus Ada Bazaltı (OIB) ve Okyanus Ortası Sırt Bazaltı (MORB) şeklindedir. Ofiyolit tabanı metamorfik kayaçlar, okyanusal litosferin okyanus içi ortam koşullarında yitirilmesi sürecinde oluşmaktadır. Bu kayaçlardan tespit edilecek yaş verileri okyanusal litosferin yitim zamanını, Neotetis Okyanusu’nun kapanma yaşını ya da bu yitim sırasında oluşan kayaçların (ofiyolit tabanı metamorfikleri) soğuma yaş verilerinin elde edilmesini sağlamaktadır (Dilek ve ark., 1999; Parlak ve Delaloye, 1999; Çelik ve ark., 2006).

4.2. Cevherleşme

İnceleme alanlarında gözlemlenen kromit cevherleşmesi ofiyolitlere bağlı olarak gelişmiştir. İnceleme alanlarındaki kromit cevherleri bantlı, dissemine ve masif yapıda gözlenmektedir. Kromit numunelerinden yapılan kimyasal analizlere göre, kromitler % 9.43-50.4 arasında Cr_2O_3 içermektedir. İnceleme alanlarından alınan kromit numunelerinin ortalama Cr_2O_3 içeriği % 25.80'dir. İnceleme alanlarında açık işletme ve kapalı işletme yöntemleri ile madencilik faaliyetleri devam etmektedir. Söz konusu madencilik faaliyetlerine paralel olarak, rezerv geliştirme çalışmaları da sondajlı olarak devam etmektedir.

İnceleme alanlarında birden çok üretim yapılan ocak alanı olsa da aslında bunlar büyük bir ocağın kısımları olarak değerlendirilebilir. İnceleme alanlarında kromit rezervinin yoğun olmasından dolayı üretim yapılabilecek birden çok ayna gözlenmektedir. Ayrıca, inceleme alanlarında cevherleşmeye ait birçok mostra gözlenmektedir. Kromit cevherleşmesinin oluşumu nedeniyle bu mostraların bulunduğu lokasyonlarda rezerv geliştirme çalışması kapsamında arama faaliyetlerinin (sondaj, yarma, vb.) yapılması sonucunda keşfedilmeyi bekleyen kromit cevherleşmesinden bahsedilebilir. Söz konusu inceleme alanında gözlenen bu mostralar rezerv potansiyeli hakkında ipucu vermektedir. Günün ekonomik koşullarına bağlı olarak üretim stratejisi belirlenmekte ve buna bağlı olarak madencilik faaliyetleri devam etmektedir.

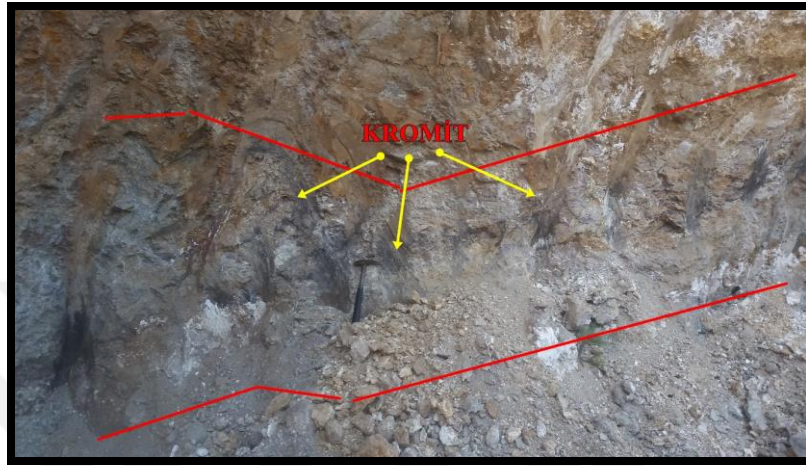
Boyalıca Mahallesi civarındaki inceleme alanında önceden çalışılmış 12 adet açık ve yeraltı işletme ocakları ve hala çalışmaya devam eden toplam 8 adet açık işletme ocağı bulunmaktadır. Adaören Mahallesi civarındaki inceleme alanında ise 1 adet yeraltı işletme ve 1 adet açık işletme ocağı bulunmaktadır.

4.2.1. Boyalıca Mahallesi civarında bulunan ocaklar

İnceleme alanından alınan numunelerde yapılan analiz sonucuna göre cevherin ortalama Cr_2O_3 içeriği % 21 civarındadır.

4.2.1.1. Karaçam ocak

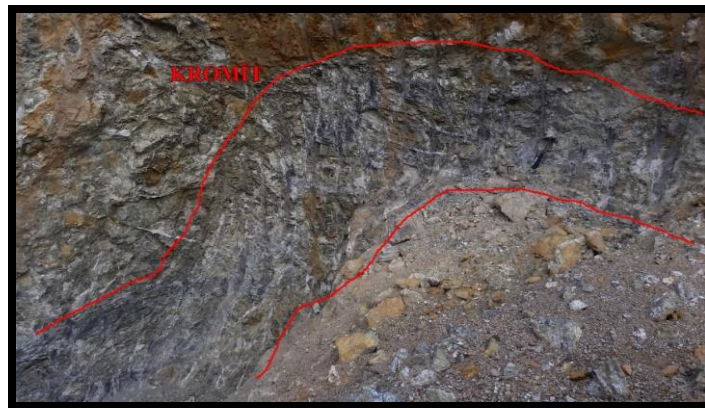
İnceleme alanının merkezinde bulunan ocakta kromit damarı 325/38 KD istikametinde bulunmaktadır. Cevher masif özellik göstermektedir (Şekil 4.14.).



Şekil 4.14. Boyalıca Mahallesi civarındaki karaçam ocaktaki cevher mostrası.

4.2.1.2. Kablo ocak

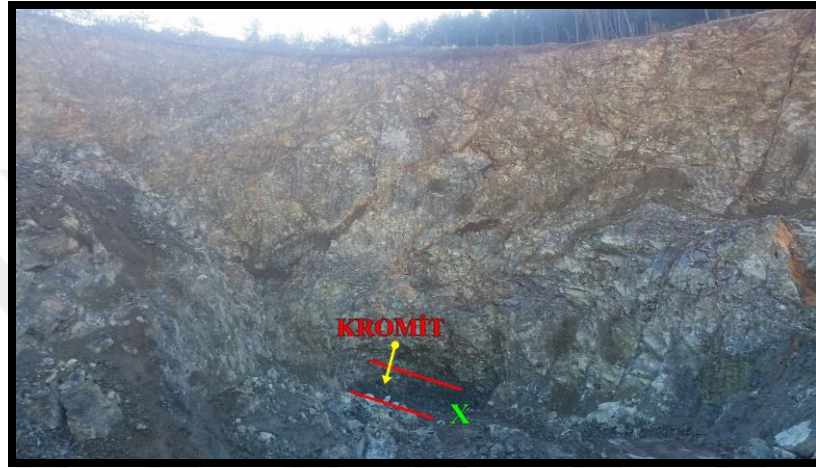
İnceleme alanının kuzeybatısında bulunan cevher 290/35 KD istikametinde ve masif bantlı yapıda gözlenmektedir. Cevher kalınlığı 1-1.5 m. arasında değişiklik göstermektedir. Cevher, % 12-14 Cr_2O_3 içeriğe sahiptir (Şekil 4.15.).



Şekil 4.15. Boyalıca Mahallesi civarındaki kablo ocaktaki cevher mostrası.

4.2.1.3. 9 Nolu ocak

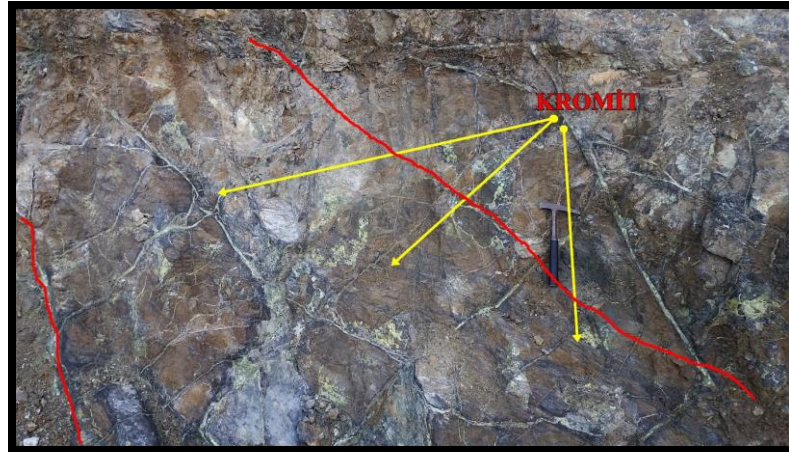
İnceleme alanındaki 9 nolu olarak adlandırılan açık işletme ocağında cevher 10/45 KB istikametinde bulunmaktadır. Cevher, yer yer bantlı ve masif olarak değişiklik göstermektedir. Cevher, % 10-12 Cr_2O_3 içeriğe sahiptir. Cevher kalınlığı 1.80–2 m. arasında değişmektedir (Şekil 4.16.).



Şekil 4.16. Boyalıca Mahallesi civarındaki 9 nolu ocaktaki cevher mostrası.

4.2.1.4. Güler ocak

İnceleme alanındaki Güler ocaktaki cevher bantlı yapıda olup tabana doğru devam etmektedir. Cevher 30/35 KB istikametindedir. Cevher kalınlığı 1–1.2 m. arasında değişiklik göstermektedir (Şekil 4.17.).



Şekil 4.17. Boyalıca Mahallesi civarındaki Güler ocaktaki cevher mostrası.

4.2.1.5. 2 Nolu ocak

İnceleme alanındaki 2 nolu ocaktaki cevher bantlı yapıda olup 350/75 GB istikametindedir. Cevher kalınlığı 0.5-1 m. arasında değişiklik göstermektedir (Şekil 4.18.).



Şekil 4.18. Boyalıca Mahallesi civarındaki 2 nolu ocaktaki cevher mostrası.

4.2.1.6. Beylik ocak

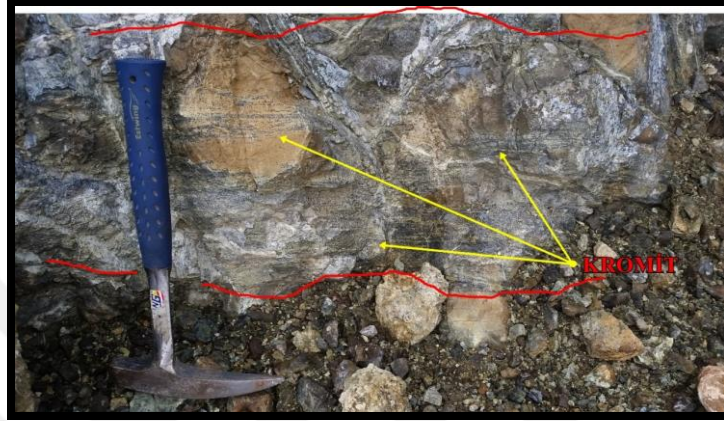
İnceleme alanının kuzeydoğusunda bulunan Beylik ocağındaki cevher tabana doğru 2-2.5 m. kalınlıkla devam ettiği gözlenmektedir. Cevher, bantlı yapıda olup K55B doğrultulu 85 GB eğimlidir. Cevher, % 12-14 Cr_2O_3 içeriğe sahiptir (Şekil 4.19.).



Şekil 4.19. Boyalıca Mahallesi civarındaki beylik ocaktaki cevher mostrası.

4.2.1.7. eşme ocak

İnceleme alanındaki eşme ocaktaki asıl cevher döküntü altında olmakla birlikte bazı yerlerde yüzeylendiği gözlenmektedir. Cevher, 340/38 KB istikametinde ve bantlı yapıya sahiptir (Şekil 4.20.).



Şekil 4.20. Boyalıca Mahallesi civarındaki çeşme ocaktaki cevher mostrası.

4.2.1.8. 4 Nolu ocak

İnceleme alanında 4 nolu olarak adlandırılan ocaktaki cevherin bir kısmı ocak tabanında biriken suyun altında kalmıştır. Cevher, 320/ 45 B istikametinde olup cevher kalınlığı 1.2-2 m. arasında değişmektedir. Cevher bantlı yapıda gözlemlenmiştir. Cevher, % 18-20 Cr_2O_3 içeriğe sahiptir (Şekil 4.21.).



Şekil 4.21. Boyalıca Mahallesi civarındaki 4 nolu ocaktaki cevher mostrası.

4.2.2. Adaören Mahallesi civarında bulunan ocaklar

İnceleme alanındaki açık işletme ocağında cevher dissemine, masif, bantlı ve nodüllü yapıda gözlenmektedir. İnceleme alanı çevresinde andezitler yüzeylenmekte olup, yer yer diyabaz daykları izlenmektedir. İnceleme alanından alınan numunelerde yapılan analiz sonucuna göre cevherin ortalama Cr_2O_3 içeriği % 27 civarındadır. İnceleme alanında açık ve yeraltı işletme yöntemiyle madencilik faaliyetleri devam etmektedir (Şekil 4.22.).



Şekil 4.22. Adaören Mahallesi civarındaki inceleme alanındaki açık işletme ocağı.

İnceleme alanında açık işletme yöntemi ile yapılan madencilik faaliyetleri esnasında geçmiş dönemlerde yeraltı işletme yöntemi ile açılan ocaklar açığa çıkmaktadır (Şekil 4.23.).



Şekil 4.23. Adaören Mahallesi civarındaki inceleme alanındaki eski yeraltı işletme ocakları.

4.3. Jeokimya

4.3.1. Jeokimyasal analizler ve kromitlerin sınıflandırılması

İnceleme alanlarından toplam 19 adet kromit ve 8 adet yan kayaç numunesi üzerinde kimyasal analizler yapılmıştır. Boyalıca Mahallesi ve Adaören Mahallesi civarlarındaki inceleme alanları aynı literatürde olduğu için alınan numuneler bir arada değerlendirilmiştir.

4.3.1.1. Kromit cevher numunelerinin analizleri ile belirlenen ana oksit değerleri

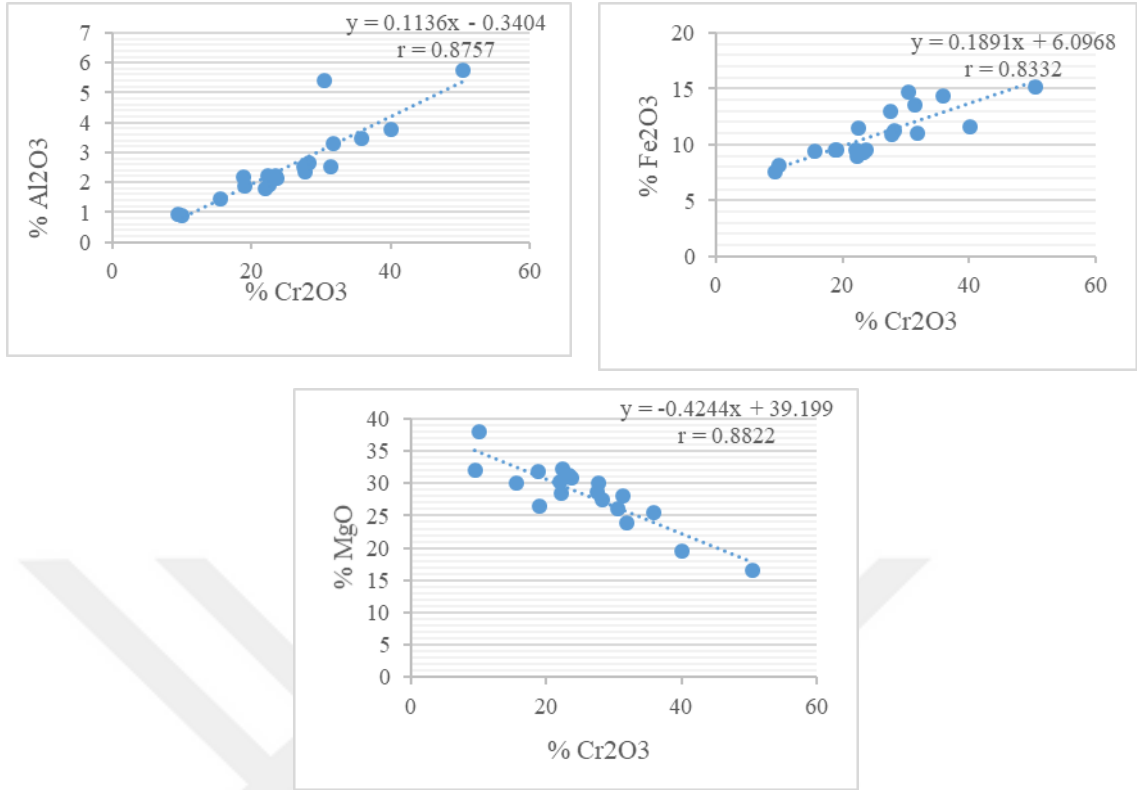
Boyalıca Mahallesi civarındaki inceleme alanından 4 adet ve Adaören Mahallesi civarındaki inceleme alanından 15 adet olmak üzere kromit numuneleri alınmış olup kimyasal analizleri yapılarak ana oksit değerleri tespit edilmiştir (Çizelge 4.1.).

İnceleme alanlarından alınan kromit numunelerinden yapılan kimyasal analizlere göre, kromitler % 9.43-50.4 arasında Cr_2O_3 içermektedir. İnceleme alanlarına ait kromit numunelerinin ortalama Cr_2O_3 içeriği % 25.80, ortalama Al_2O_3 içeriği % 2.59, ortalama MgO içeriği % 28.25 ve ortalama TiO_2 içeriği ise % 0.083 civarındadır.

Çizelge 4.1. Kromit cevherleşmesine ait ana oksit (%) sonuçları ve istatistiksel analiz özetleri (**Min.:** Minimum değer, **Max.:** Maksimum değer, **Ort.:** Aritmetik ortalama, **St.Sap.:** Standart sapma, **L.B.M. (95%):** Anakitle aritmetik ortalama alt sınırı, **U.B.M. (95%):** Anakitle aritmetik ortalama üst sınırı)

	Numune	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂
Boyaltıcı Bölgesi	B4	26.40	1.86	31.60	19.00	9.53	3.52	0.0001	0.0001	0.0001	0.0947
	B6	28.40	2.22	29.00	22.30	9.00	7.67	0.0001	0.0001	0.0001	0.0864
	B8	30.00	1.44	36.10	15.60	9.39	5.49	0.0001	0.0055	0.0001	0.0721
	B9	27.50	2.65	28.20	28.20	11.20	0.192	0.0528	0.0001	0.0001	0.1006
Adaören Bölgesi	C2	32.20	1.90	24.50	22.50	11.50	0.0001	0.09	0.0001	0.0001	0.0827
	C12	28.10	2.50	22.40	31.40	13.60	0.0001	0.0729	0.0001	0.0001	0.1017
	C13	23.80	3.29	16.20	31.80	11.00	0.0001	0.0714	0.0001	0.0001	0.1346
	C14	28.60	2.53	22.90	27.50	13.00	0.0001	0.0796	0.0233	0.0001	0.1063
	C15	25.50	3.45	16.70	35.80	14.30	0.0292	0.0777	0.0001	0.0001	0.1188
	C16	19.50	3.78	9.48	40.10	11.60	13.6	0.0001	0.0054	0.0001	0.0001
	C17	30.20	1.78	28.30	22.10	9.55	4.27	0.0001	0.0001	0.0001	0.0852
	C18	32.00	0.93	40.50	9.43	7.61	4.09	0.0001	0.0001	0.0001	0.0292
	C19	31.80	2.18	35.30	18.80	9.47	1.27	0.158	0.0001	0.0001	0.0789
	C20	16.60	5.74	7.36	50.40	15.20	0.36	0.165	0.0001	0.0001	0.1548
	C21	31.20	2.20	26.30	23.40	9.31	0.0001	0.0502	0.0001	0.0001	0.0874
	C22	38.00	0.89	35.40	10.00	8.18	0.0316	0.0754	0.0001	0.0001	0.0290
	C23	26.10	5.41	19.20	30.50	14.70	2.29	0.0819	0.0001	0.0001	0.1166
	C24	30.80	2.13	25.70	23.70	9.49	0.0517	0.0729	0.0001	0.0001	0.0001
	C25	30.00	2.36	25.60	27.70	10.90	0.176	0.0635	0.0001	0.0001	0.1009
Min		16.60	0.89	7.36	9.43	7.61	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Max.		38.00	5.74	40.50	50.40	15.20	13.600	0.165	0.023	0.000	0.155
Mean/Ort.		28.25	2.59	25.30	25.80	10.98	2.265	0.059	0.002	0.000	0.083
St. D/St.Sap		4.78	1.29	8.83	9.93	2.25	3.581	0.050	0.005	0.000	0.042
L.B.M (95%)/ O.A.S. (95%)		25.94	1.97	21.05	21.01	9.89	0.539	0.034	-0.001	0.000	0.063
U.B.M (95%)/ O.Ü.S. (95%)		30.55	3.21	29.56	30.59	12.06	3.991	0.083	0.005	0.000	0.103

Kromit numuneleri içerisindeki % Cr₂O₃ ile ana oksit % MgO, % Fe₂O₃ ve % Al₂O₃ oranlarının karşılaştırmalı diyagramları yapılmıştır (Şekil 4.24.). Buna göre, kromit cevherinin içerdiği Al₂O₃ ve Fe₂O₃ oranları arttıkça Cr₂O₃ oranı da artmakta ve MgO oranı azaldıkça Cr₂O₃ oranı artmaktadır. Kromit numuneleri içerisindeki ana oksit değerlerinden Cr₂O₃, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ ile pozitif korelasyon gösterirken MgO ile negatif korelasyon göstermektedir.



Şekil 4.24. Kromit numuneleri içerisindeki % Cr_2O_3 ile ana oksit % MgO , % Fe_2O_3 ve % Al_2O_3 oranlarının karşılaştırmalı diyagramları.

İnceleme alanlarından alınan kromit cevherleşmesine ait numunelerin analiz sonuçlarına göre rasyo (Cr/Fe oranı) değerinin 1.17 ile 3.11 aralığında olduğu ve ortalamasının 2.09 olduğunu göstermektedir (Çizelge 4.2.).

Çizelge 4.2. Kromit cevherleşmesine ait element (%) değerleri ve bu değerler üzerinden hesaplanan rasyo değerleri

	Numune	Mg	Al	Si	Cr	Fe	Cr/Fe
Boyalıca Bölgesi	B4	18.4	1.14	17.2	15.7	8.75	1.79
	B6	17.3	1.22	14.2	18.2	8.79	2.07
	B8	18.9	0.808	18	11.9	7.74	1.54
	B9	18.1	1.52	14.3	22.8	9.72	2.35
Adaören Bölgesi	C2	21.3	1.1	12.6	17.3	9.4	1.84
	C12	18.6	1.49	11.5	24.5	11.5	2.13
	C13	17.5	2.13	9.33	28.2	10.4	2.71
	C14	20.7	1.61	12.9	23.4	11.8	1.98
	C15	17.2	2.02	8.62	27.8	11.8	2.36
	C16	12.4	2.12	4.73	28.4	12	2.37
	C17	21.4	1.11	15.7	18.7	9.02	2.07
	C18	19.6	0.499	19.2	6.61	5.5	1.20
	C19	19.7	1.21	17.4	18.8	8.6	2.19
	C20	11.4	3.3	3.71	37.9	12.2	3.11
	C21	22.7	1.4	14.8	19.7	8.31	2.37
	C22	23.1	0.475	16.7	6.99	5.98	1.17
	C23	16.7	3.17	10.1	26.1	14.6	1.79
	C24	22	1.34	14.3	19.7	8.38	2.35
	C25	20.3	1.41	13.6	22.2	9.34	2.38

4.3.1.2. Kromit cevher numunelerinin analizleri ile belirlenen iz element değerleri

Boyalıca Mahallesi civarındaki inceleme alanından 4 adet ve Adaören Mahallesi civarındaki inceleme alanından 15 adet olmak üzere kromit numuneleri alınmış olup kimyasal analizleri yapılarak iz element değerleri tespit edilmiştir (Çizelge 4.3.).

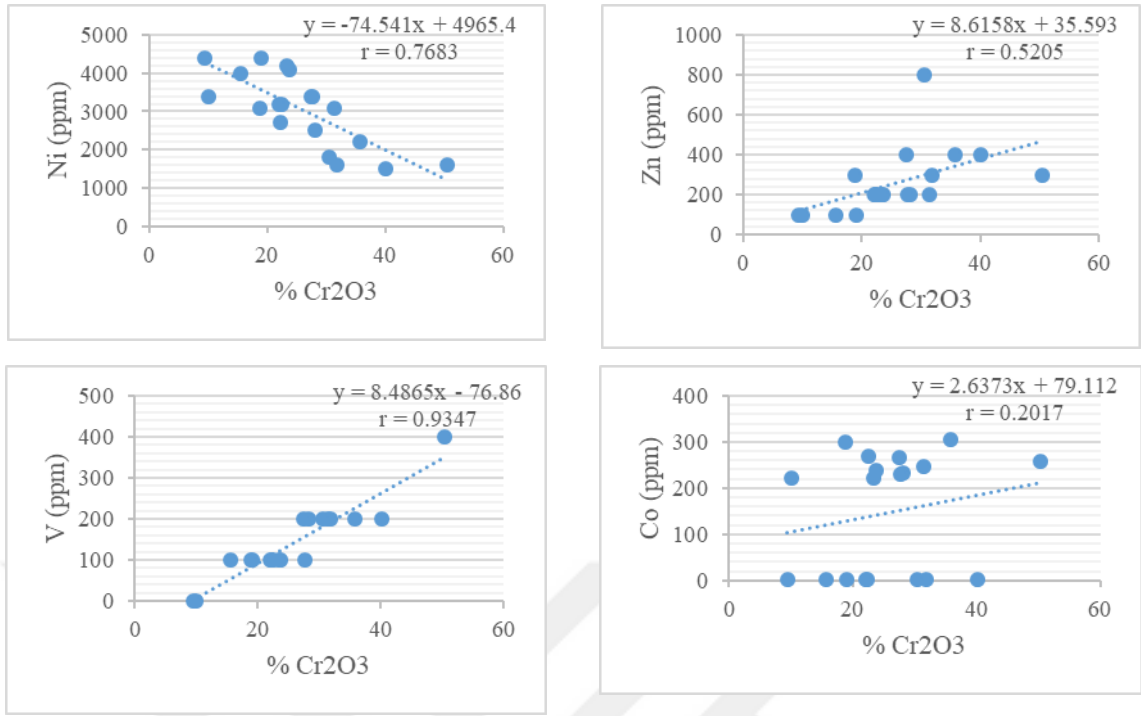
İnceleme alanlarından alınan kromit numunelerinden yapılan kimyasal analizlere göre, ortalama Eu içeriği % 0.69, ortalama Zr içeriği % 0.37, ortalama Ni içeriği % 0.30, ortalama Zn içeriği % 0.03, ortalama V içeriği % 0.01, ortalama Gd içeriği % 0.04 ve ortalama S içeriği ise % 0.05 civarındadır.

Çizelge 4.3. Kromit cevherleşmesine ait iz element (%) sonuçları ve istatistiksel analiz özetleri (**Min.:** Minimum değer, **Max.:** Maksimum değer, **Ort.:** Aritmetik ortalama, **St.Sap.:** Standart sapma, **L.B.M. (95%):** Anakitle aritmetik ortalama alt sınırı, **U.B.M. (95%):** Anakitle aritmetik ortalama üst sınırı).

	Numune	Cl	Ni	Zn	S	Zr	Sr	Re	Gd	V	Sn	Tb	Dy	Eu	Hf	Co	Ga	W
Boyalıca Bölgesi	B4	0.02	0.44	0.01	0.01	0.38	0.0099	0.0021	0.03	0.01	0.0027	0.32	0.05	0.90	0.0093	0.0001	0.0004	0.0001
	B6	0.01	0.27	0.02	0.01	0.41	0.0176	0.0019	0.04	0.01	0.0031	0.33	0.04	0.99	0.0086	0.0001	0.0001	0.0001
	B8	0.02	0.40	0.01	0.01	0.38	0.0108	0.0042	0.04	0.01	0.0031	0.30	0.04	0.90	0.0110	0.0001	0.0001	0.0003
	B9	0.02	0.25	0.02	0.02	0.35	0.0037	0.0008	0.04	0.02	0.0027	0.09	0.02	0.48	0.0058	0.0232	0.0017	0.0007
Adaören Bölgesi	C2	0.01	0.32	0.02	0.12	0.33	0.0007	0.0008	0.04	0.01	0.0023	0.07	0.01	0.37	0.0001	0.0270	0.0020	0.0001
	C12	0.01	0.31	0.02	0.14	0.38	0.0001	0.0012	0.06	0.02	0.0028	0.10	0.02	0.52	0.0001	0.0246	0.0024	0.0001
	C13	0.02	0.16	0.03	0.10	0.38	0.0006	0.0009	0.03	0.02	0.0001	0.32	0.01	1.06	0.0001	0.0001	0.0030	0.0032
	C14	0.06	0.34	0.04	0.17	0.37	0.0009	0.0016	0.05	0.02	0.0001	0.12	0.01	0.58	0.0102	0.0266	0.0040	0.0001
	C15	0.01	0.22	0.04	0.12	0.38	0.0012	0.0010	0.05	0.02	0.0024	0.09	0.02	0.58	0.0084	0.0304	0.0025	0.0030
	C16	0.01	0.15	0.04	0.01	0.49	0.0143	0.0042	0.04	0.02	0.0041	0.57	0.06	1.61	0.0061	0.0001	0.0001	0.0068
	C17	0.02	0.32	0.02	0.02	0.38	0.0033	0.0023	0.04	0.01	0.0027	0.24	0.03	0.82	0.0069	0.0001	0.0023	0.0001
	C18	0.01	0.44	0.01	0.01	0.30	0.0051	0.0016	0.03	0.00	0.0023	0.18	0.04	0.57	0.0006	0.0001	0.0006	0.0043
	C19	0.01	0.31	0.03	0.00	0.35	0.0051	0.0008	0.04	0.01	0.0032	0.07	0.02	0.38	0.0081	0.0299	0.0029	0.0001
	C20	0.01	0.16	0.03	0.00	0.43	0.0012	0.0029	0.04	0.04	0.0028	0.08	0.02	0.67	0.0083	0.0258	0.0032	0.0025
	C21	0.01	0.42	0.02	0.06	0.36	0.0008	0.0001	0.03	0.01	0.0029	0.10	0.02	0.47	0.0075	0.0222	0.0032	0.0036
	C22	0.03	0.34	0.01	0.04	0.27	0.0006	0.0012	0.04	0.00	0.0025	0.02	0.02	0.17	0.0024	0.0221	0.0003	0.0001
	C23	0.02	0.18	0.08	0.01	0.44	0.0105	0.0001	0.07	0.02	0.0033	0.43	0.07	1.25	0.0051	0.0001	0.0006	0.0038
	C24	0.01	0.41	0.02	0.09	0.36	0.0008	0.0006	0.04	0.01	0.0024	0.09	0.02	0.41	0.0070	0.0239	0.0030	0.0001
	C25	0.01	0.34	0.02	0.09	0.37	0.0009	0.0006	0.04	0.01	0.0032	0.11	0.01	0.47	0.0068	0.0231	0.0029	0.0001
Min		0.01	0.15	0.01	0.00	0.27	0.0001	0.0001	0.03	0.00	0.0001	0.02	0.01	0.17	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Max.		0.06	0.44	0.08	0.17	0.49	0.0033	0.0042	0.07	0.04	0.0041	0.57	0.07	1.61	0.0110	0.0304	0.0040	0.0068
Mean/Ort.		0.02	0.30	0.03	0.05	0.37	0.0006	0.0015	0.04	0.01	0.0026	0.19	0.03	0.69	0.0059	0.0147	0.0019	0.0015
St. D/ St.Sap		0.01	0.10	0.02	0.05	0.05	0.0008	0.0012	0.01	0.01	0.0010	0.15	0.02	0.35	0.0036	0.0130	0.0013	0.0020
L.B.M (95%)/ O.A.S. (95%)		0.01	0.26	0.02	0.03	0.35	0.0002	0.0009	0.04	0.01	0.0021	0.12	0.02	0.52	0.0042	0.0085	0.0012	0.0006
U.B.M (95%)/ O.Ü.S. (95%)		0.02	0.35	0.03	0.08	0.40	0.0010	0.0021	0.05	0.02	0.0030	0.26	0.03	0.86	0.0076	0.0210	0.0025	0.0025

Kromit numuneleri içerisindeki % Cr_2O_3 ile iz elementleri olan Ni (ppm), Zn (ppm), V (ppm) ve Co (ppm) oranlarının karşılaştırmalı diyagramları yapılmıştır (Şekil 4.25.).

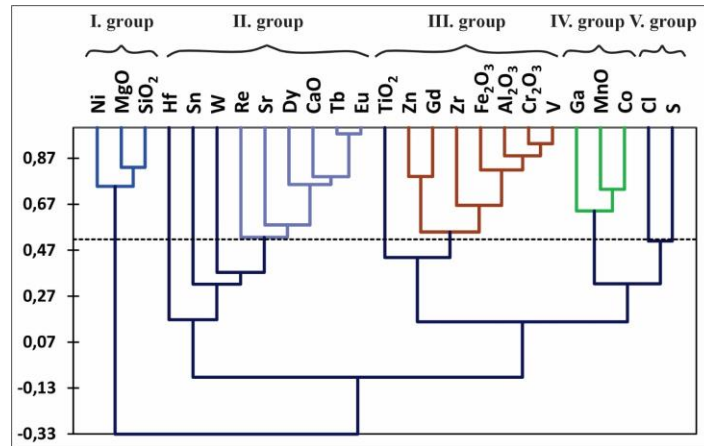
Buna göre, kromit cevherinin içerdiği Zn ve V oranları arttıkça Cr_2O_3 oranı da artmakta ve Ni oranı azaldıkça Cr_2O_3 oranı artmaktadır. Kromit numuneleri içerisindeki iz element değerlerinden Zn, Co, V ile pozitif korelasyon, Ni ile negatif korelasyon göstermektedir.



Şekil 4.25. Kromit numuneleri içerisindeki % Cr₂O₃ ile iz elementlerin (ppm) karşılaştırmalı diyagramları.

4.3.1.3. Kromit cevher numunelerinin analiz sonuçlarına ait korelasyon katsayıları baz alınarak oluşturulan cluster analizindeki yakınlık durumları

Kromit cevher numuneleri üzerinde mevcut durumdaki bileşenler göz önüne alınarak kümelenme durumlarının tespiti için korelasyon katsayı değerleri baz alınarak cluster (küme) analiz metodu uygulanmış ve analiz sonucunda 5 ana grup belirlenmiştir (Şekil 4.26.). Buna göre;



Şekil 4.26. Kromit cevher numuneleri üzerinde yapılan analiz sonuçlarına ait korelasyon katsayıları baz alınarak oluşturulan cluster (küme) analizindeki yakınlık durumları.

1. Grup; (MgO-SiO₂)-Ni

MgO ve SiO₂ ana oksitleri önce bir araya gelmiş olup daha sonra ortama Ni elementi katılmıştır.

2. Grup; (Tb-Eu)-CaO-Dy-Sr-Re-W-Sn-Hf

Tb ve Eu elementleri önce bir araya gelmiş olup daha sonra ortama CaO, Dy, Sr, Re, W, Sn, Hf elementleri katılmıştır.

3. Grup; (((Cr₂O₃-V)-Al₂O₃-Fe₂O₃-Zr)-(Zn-Gd))-TiO₂

Cr₂O₃ ile V önce bir araya gelmiş olup sonra ortama Al₂O₃, Fe₂O₃, Zr gelmiş ve daha sonrada Zn ve Gd elementleri birlikte ortama katılmış ve en son TiO₂ ortama eklenmiştir.

4. Grup; ((MnO-Co)-Ga)

MnO ile Co önce bir araya gelmiş olup sonra ortama Ga katılmıştır.

5. Grup; (Cl-S)

3. Grup ana oksit ve elementler bir araya geldikten sonra ortama 4. Grup ve 5. Grup elementler eklenmiş, daha sonra 2. Grup elementler ortama katılmıştır. Oluşan bu gruba en son ise 1. Grup ana oksit ve elementler katılmıştır. 1. Grup elementlerinin ortama en son katılması alterasyon olduğunu göstermektedir.

4.3.1.4. Kromit cevher numunelerinin analizleri ile belirlenen ana oksit ve iz element değerlerin korelasyon ilişki analizi

İnceleme alanlarından alınan kromit cevher numunelerinin analizleri sonucu elde edilen ana oksit ve iz element değerlerinin birbirleriyle olan ilişkileri basit korelasyon analizleriyle değerlendirilmiştir (Çizelge 4.4.). Buna göre;

Çizelge 4.4. Kromit cevherleşmesine ait korelasyon tablosu (0.6-0.849 arası kuvvetli pozitif korelasyon, 0.85 - 0.99 arası çok kuvvetli pozitif korelasyon, -0.6 - -0.849 arası kuvvetli negatif korelasyon, -0.85 - -0.99 arası çok kuvvetli negatif korelasyon).

	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MnO	TiO ₂	Cl	Ni	Zn	S	Zr	Sr	Re	Gd	V	Sn	Tb	Dy	Eu	Hf	Co	Ga	W
MgO	1,00	-0,82	0,83	-0,88	-0,66	-0,31	-0,13	-0,41	0,24	0,70	-0,45	0,13	-0,82	-0,07	-0,42	-0,17	-0,90	-0,06	-0,47	-0,22	-0,64	-0,20	0,18	-0,09	-0,52
Al ₂ O ₃		1,00	-0,85	0,88	0,84	0,01	0,46	0,52	-0,15	-0,79	0,80	-0,07	0,73	-0,07	0,03	0,56	0,88	0,10	0,30	0,18	0,47	0,12	0,04	0,20	0,47
SiO ₂			1,00	-0,95	-0,79	-0,07	-0,33	-0,37	0,12	0,79	-0,58	-0,24	-0,71	0,12	-0,13	-0,36	-0,89	0,05	-0,26	0,04	-0,45	0,00	-0,12	-0,32	-0,48
Cr ₂ O ₃				1,00	0,83	0,03	0,40	0,48	-0,18	-0,77	0,54	0,16	0,73	-0,12	0,15	0,38	0,93	0,03	0,17	-0,07	0,38	0,12	0,20	0,37	0,39
Fe ₂ O ₃					1,00	-0,22	0,51	0,61	0,09	-0,66	0,72	0,35	0,53	-0,24	-0,05	0,77	0,78	-0,07	0,03	-0,05	0,21	0,04	0,32	0,35	0,22
CaO						1,00	-0,63	-0,46	-0,26	-0,18	0,00	-0,54	0,58	0,65	0,73	-0,20	-0,03	0,49	0,81	0,73	0,76	0,21	-0,68	-0,67	0,44
MnO							1,00	0,41	0,06	-0,34	0,34	0,25	-0,09	-0,57	-0,40	0,41	0,46	-0,16	-0,56	-0,56	-0,44	-0,07	0,73	0,62	-0,13
TiO ₂								1,00	0,11	-0,39	0,37	0,20	0,19	-0,13	-0,21	0,32	0,56	-0,31	-0,14	-0,30	0,01	0,11	0,16	0,42	-0,13
Cl									1,00	0,17	0,21	0,51	-0,22	-0,15	-0,12	0,27	-0,14	-0,67	-0,15	-0,23	-0,16	0,19	0,16	0,28	-0,28
Ni										1,00	-0,61	0,04	-0,62	-0,05	-0,12	-0,41	-0,75	-0,02	-0,35	-0,05	-0,51	0,13	0,04	-0,05	-0,45
Zn											1,00	0,04	0,60	0,05	-0,20	0,79	0,51	0,01	0,36	0,33	0,46	0,14	-0,03	0,14	0,38
S												1,00	-0,21	-0,53	-0,40	0,25	0,07	-0,61	-0,42	-0,63	-0,37	-0,23	0,54	0,63	-0,24
Zr													1,00	0,37	0,43	0,31	0,65	0,34	0,72	0,51	0,83	0,37	-0,35	-0,10	0,47
Sr														1,00	0,45	-0,12	-0,21	0,34	0,56	0,56	0,53	0,28	-0,66	-0,42	0,01
Re															1,00	-0,23	0,16	0,25	0,50	0,41	0,52	0,34	-0,45	-0,44	0,19
Gd																1,00	0,28	0,09	0,01	0,16	0,09	0,04	0,28	0,09	0,04
V																	1,00	-0,09	0,19	-0,09	0,38	0,08	0,12	0,31	0,35
Sn																		1,00	0,24	0,54	0,20	0,20	-0,12	-0,50	0,16
Tb																			1,00	0,80	0,97	0,11	-0,84	-0,58	0,53
Dy																				1,00	0,73	0,21	-0,74	-0,75	0,48
Eu																					1,00	0,15	-0,76	-0,44	0,58
Hf																						1,00	0,02	0,06	-0,18
Co																							1,00	0,66	-0,34
Ga																								1,00	-0,19
W																									1,00

MgO; SiO₂ ve Ni ile kuvvetli pozitif korelasyona; Cr₂O₃ ve V ile çok kuvvetli negatif korelasyona; Al₂O₃, Fe₂O₃, Zr ve Eu ile kuvvetli negatif korelasyona sahiptir.

Al₂O₃; Cr₂O₃ ve V ile çok kuvvetli pozitif korelasyona; Fe₂O₃, Zn ve Zr ile kuvvetli pozitif korelasyona; SiO₂ ve Ni ile kuvvetli negatif korelasyona sahiptir.

SiO₂; Ni ile kuvvetli pozitif korelasyona; Cr₂O₃ ve V ile çok kuvvetli negatif korelasyona; Fe₂O₃ ve Zr ile kuvvetli negatif korelasyona sahiptir.

Cr₂O₃; V ile çok kuvvetli pozitif korelasyona; Fe₂O₃ ve Zr ile kuvvetli pozitif korelasyona; Ni ile kuvvetli negatif korelasyona sahiptir.

Fe₂O₃; TiO₂, Zn, Gd ve V ile kuvvetli pozitif korelasyona; Ni ile kuvvetli negatif korelasyona sahiptir.

CaO; Sr, Re, Tb, Dy, Eu ile kuvvetli pozitif korelasyona; MnO, Co ve Ga ile kuvvetli negatif korelasyona sahiptir.

MnO; Co ve Ga ile kuvvetli pozitif korelasyona sahiptir.

Cl; Sn ile kuvvetli negatif korelasyona sahiptir.

Ni; Zn, Zr ve V ile kuvvetli negatif korelasyona sahiptir.

Zn; Zr ve Gd ile kuvvetli pozitif korelasyona sahiptir.

S; Ga ile kuvvetli pozitif korelasyona; Sn ve Dy ile kuvvetli negatif korelasyona sahiptir.

Zr; V, Tb ve Eu ile kuvvetli pozitif korelasyona sahiptir.

Sr; Co ile kuvvetli negatif korelasyona sahiptir.

Tb; Eu ile çok kuvvetli pozitif korelasyona; Dy ile kuvvetli pozitif korelasyona; Co ile kuvvetli negatif korelasyona sahiptir.

Dy; Eu ile kuvvetli pozitif korelasyona; Co ve Ga ile kuvvetli negatif korelasyona sahiptir.

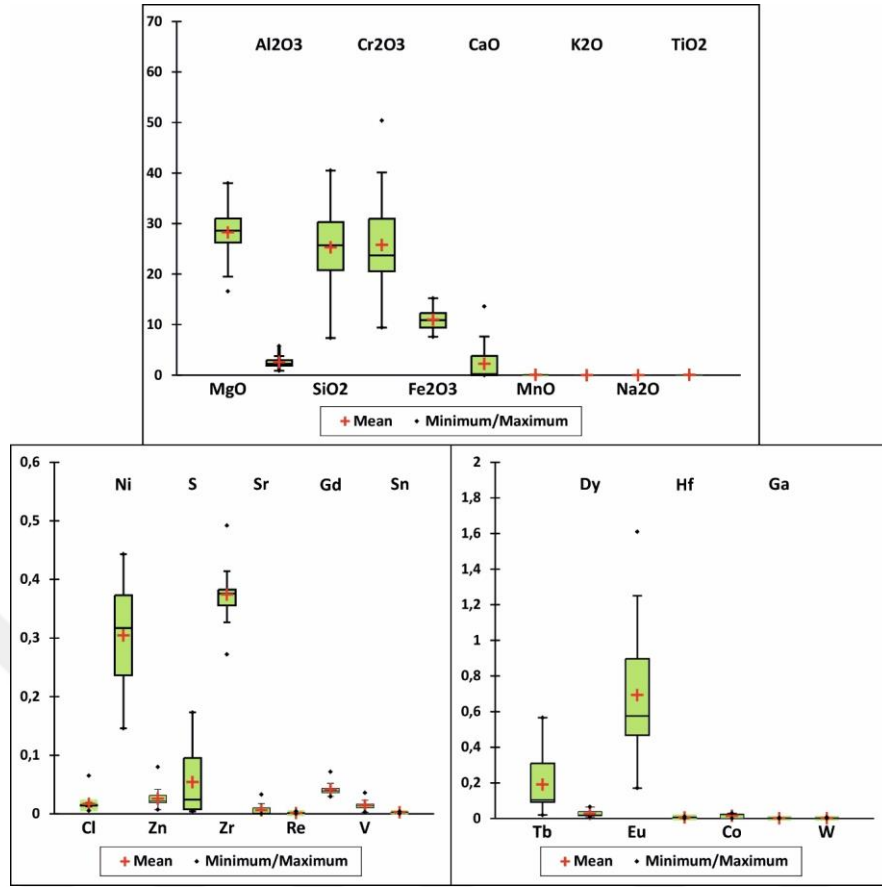
Eu; Co ile kuvvetli negatif korelasyona sahiptir.

Co; Ga ile kuvvetli pozitif korelasyona sahiptir.

4.3.1.5. Kromit cevher numunelerinin zenginleştirme faktörü (EF) değerlerinin box plots değerlendirmesi

İnceleme alanlarından alınan kromit cevher numunelerinin analiz sonuçlarına ait ana oksit ve iz elementlerinin dağılım ve ilişkilerini ortaya koymak amacıyla box plots grafiği üzerinden değerlendirme yapılmıştır (Şekil 4.27.).

Buna göre, Al_2O_3 , SiO_2 , Cr_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , Ni, S, Zr, Tb, Eu için EF değerlerinin veri aralıkları geniş aralık göstermektedir. Diğerleri ise ortalama değerlere yakın bir aralıkta olduğu gözlemlenmiştir. Cr_2O_3 değerlendirmesinde ise bir değer (numune no: C20) standart değerlerinin dışında yüksek bir değere sahip olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.27. Kromit cevher numunelerinin zenginleştirme faktörü (EF) değerlerinin box plots grafiği.

Yine, kromit cevher numunelerinin analizi yapılan ana oksit ve iz element değerleri üzerinde yapılan EF hesaplamaları sonucunda MgO için 16.60 ile 38 (ortalama 28.24), Al_2O_3 için 0.889 ile 5.740 (ortalama 2.591), SiO_2 için 7.360 ile 40.50 (ortalama 25.302), Cr_2O_3 için 9.430 ile 50.40 (ortalama 25.802), Fe_2O_3 için 7.610 ile 15.20 (ortalama 10.975), CaO için 0 ile 13.60 (ortalama 2.265), MnO için 0 ile 0.165 (ortalama 0.059), K_2O için 0 ile 0.023 (ortalama 0.002), Na_2O için 0, TiO_2 için 0 ile 0.155 (ortalama 0.083), Cl için 0.005 ile 0.065 (ortalama 0.017), Ni için 0.146 ile 0.443 (ortalama 0.304), Zn için 0.007 ile 0.080 (ortalama 0.026), S için 0.004 ile 0.173 (ortalama 0.054), Zr için 0.272 ile 0.492 (ortalama 0.374), Sr için 0 ile 0.033 (ortalama 0.006), Re için 0 ile 0.004 (ortalama 0.002), Gd için 0.030 ile 0.072 (ortalama 0.042), V için 0.003 ile 0.036 (ortalama 0.014), Sn için 0 ile 0.004 (ortalama 0.003), Tb için 0.020 ile 0.566 (ortalama 0.192), Dy için 0.008 ile 0.065 (ortalama 0.027), Eu için 0.171 ile 1.610 (ortalama 0.694), Hf için 0 ile 0.011 (ortalama 0.006), Co için 0 ile 0.030

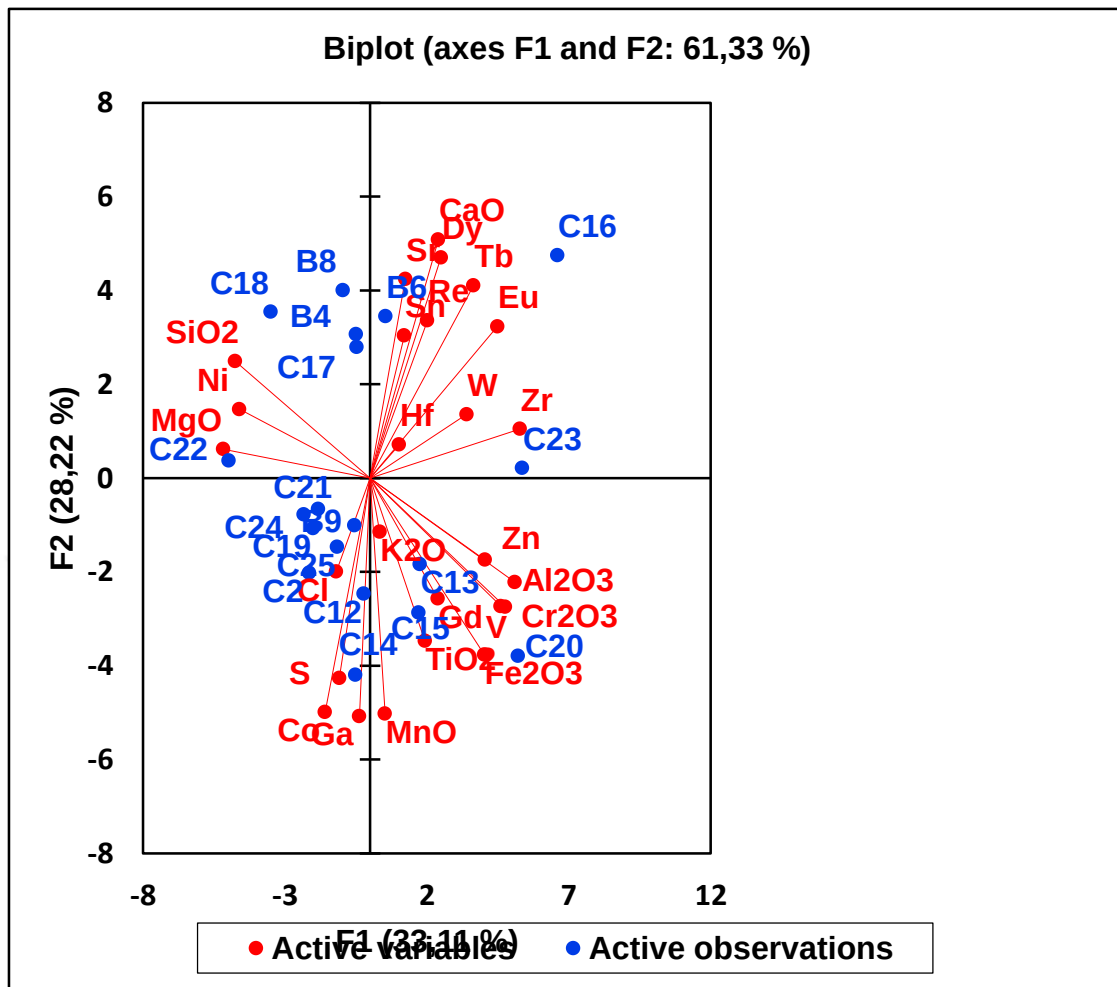
(ortalama 0.015), Ga için 0 ile 0.004 (ortalama 0.002), W için 0 ile 0.007 (ortalama 0.002) değerleri tespit edilmiştir.

MnO, K₂O, Na₂O, TiO₂, Cl, Ni, Zn, S, Zr, Sr, Re, Gd, V, Sn, Tb, Dy, Eu, Hf, Co, Ga ve W için EF değerlerinin çoğu < 2'dir. Bu da bu ana oksit ve iz elementler açısından az zenginleşme durumunun olduğunu göstermektedir. MgO, SiO₂ ve Cr₂O₃ açısından ise EF > 25 değerlerinin olduğu numuneler mevcuttur, bu da yüksek zenginleşmeye işaret etmektedir.

4.3.1.6. Kromit cevher numunelerinin temel bileşen analizi (principal components analysis (PCA))

İnceleme alanlarından alınan kromit cevher numunelerinin analiz sonuçlarına ait ana oksit ve iz elementlerinin dağılım ve ilişkilerini ortaya koymak amacıyla temel bileşen analizi (PCA) yapılmıştır (Şekil 4.28.).

Buna göre; birinci faktör (F1) % 33.11, ikinci faktör (F2) % 28.22 olarak belirlenmiştir. C13, C15, C20 ve C23 olarak adlandırılan numunelerin Cr₂O₃, Fe₂O₃, Al₂O₃ ve V içeren değerlerinin yüksek olduğu, C18 ve C22 olarak adlandırılan numunelerin SiO₂, MgO ve Ni içeren değerlerinin yüksek olduğu, B4, B8 ve C17 olarak adlandırılan numunelerin benzer özellik gösterdiği, Cr₂O₃, Fe₂O₃, Al₂O₃ ve V olmak üzere ana oksit ve iz elementinin birlikte hareket ettiği, TiO₂, MnO, Gd ve Zn olmak üzere ana oksit ve iz elementinin birlikte pozitif korelasyon gösterdiği, Sr, Sn, Re, Dy, Tb, Eu, Hf, W, Zr, Cl, S, Co, Ga, Ni, CaO, SiO₂ ve MgO ana oksit ve iz elementlerinin ortama sonradan geldiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.28. Kromit cevher numunelerinin temel bileşen analizi (PAC).

4.3.1.7. Yan kayaç numunelerin analizleri ile belirlenen ana oksit değerleri

Boyalıca Mahallesi civarındaki inceleme alanından 3 adet ve Adaören Mahallesi civarındaki inceleme alanından 5 adet olmak üzere yan kayaç numuneleri alınmış olup kimyasal analizleri yapılarak ana oksit değerleri tespit edilmiştir (Çizelge 4.5.).

İnceleme alanlarından alınan yan kayaç numunelerinden yapılan kimyasal analizlere göre, % 10.10-33.20 arasında MgO, % 0.24-13.60 arasında Al₂O₃, % 33.20-55.40 arasında SiO₂, % 0.33-1.41 arasında Cr₂O₃, % 5.32-9.88 arasında Fe₂O₃, % 0.13-10.60 arasında CaO içermektedir. İnceleme alanlarına ait yan kayaç numunelerinin ortalama SiO₂ içeriği ise % 39.69, ortalama MgO içeriği % 28.44, ortalama Fe₂O₃ içeriği % 7.21, ortalama CaO içeriği % 2.58, ortalama Al₂O₃ içeriği % 2.20 ve Cr₂O₃ içeriği % 0.62 civarındadır.

Çizelge 4.5. Kromit cevherleşmesinin yan kayaçlarına ait ana oksit (%) sonuçları ve istatistiksel analiz özetleri (**Min.:** Minimum değer, **Max.:** Maksimum değer, **Ort.:** Aritmetik ortalama, **St.Sap.:** Standart sapma, **L.B.M. (95%):** Anakitle aritmetik ortalama alt sınırı, **U.B.M. (95%):** Anakitle aritmetik ortalama üst sınırı)

	Numune	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂
Boyalıca Bölgesi	B3	32.80	0.36	34.80	0.47	9.88	0.14	0.123	0.0001	0.0001	0,0001
	B10	29.40	0.25	36.80	0.61	6.89	1.41	0.0001	0.0002	0.0001	0,0001
	B11	26.60	0.24	39.30	1.41	5.32	10.60	0.0001	0.0125	0.0001	0,0001
Adaören Bölgesi	C3	33.20	0.57	33.20	0.51	5.73	0.13	0.039	0.0869	0.0001	0,0001
	C5	31.00	1.01	39.20	0.36	7.19	0.33	0.0565	0.123	0.0001	0,0209
	C6	32.30	0.72	38.90	0.73	7.43	0.94	0.0001	0.0001	0.0001	0,0001
	C7	10.10	13.60	55.40	0.33	7.66	6.40	0.0001	0.0886	5.27	0,9391
	C10	32.10	0.87	39.90	0.53	7.60	0.66	0.0001	0.0086	0.0001	0,0001
Min		10.10	0.24	33.20	0.33	5.32	0.13	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Max.		33.20	13.60	55.40	1.41	9.88	10.60	0.1230	0.1230	5.2700	0.9391
Mean/Ort.		28.44	2.20	39.69	0.62	7.21	2.58	0.0274	0.0400	0.6588	0.1201
St. D/St.Sap		7.72	4.61	6.78	0.34	1.38	3.85	0.0445	0.0507	1.8632	0.3310
L.B.M (95%)/ O.A.S. (95%)		21.98	-1.66	34.02	0.33	6.06	-0.64	-0.0098	-0.0023	-0.8988	-0.1567
U.B.M (95%)/ O.Ü.S. (95%)		34.89	6.06	45.36	0.91	8.37	5.79	0.0646	0.0823	2.2165	0.3968

4.3.1.8. Yan kayaç numunelerin analizleri ile belirlenen iz element değerleri

Boyalıca Mahallesi civarındaki inceleme alanından 3 adet ve Adaören Mahallesi civarındaki inceleme alanından 5 adet olmak üzere yan kayaç numuneleri alınmış olup kimyasal analizleri yapılarak iz element değerleri tespit edilmiştir (Çizelge 4.6.).

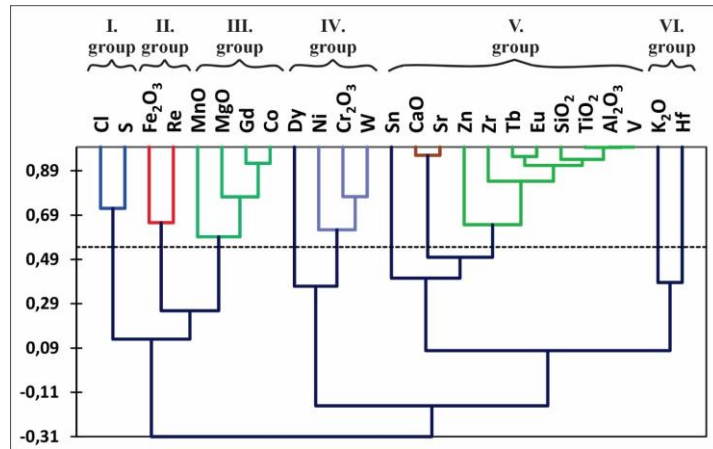
İnceleme alanlarından alınan yan kayaç numunelerinden yapılan kimyasal analizlere göre, ortalama Cl içeriği % 0.02, ortalama Ni içeriği % 0.21, ortalama Zn içeriği % 0.004, ortalama S içeriği % 0.05, ortalama Zr içeriği % 0.24, ortalama V içeriği % 0.0034 ve ortalama Eu içeriği ise % 0.186 civarındadır.

Çizelge 4.6. Kromit cevherleşmesinin yan kayaçlarına ait iz element (%) sonuçları ve istatistiksel analiz özetleri (**Min.**: Minimum değer, **Max.**: Maksimum değer, **Ort.**: Aritmetik ortalama, **St.Sap.**: Standart sapma, **L.B.M. (95%)**: Anakitle aritmetik ortalama alt sınırı, **U.B.M. (95%)**: Anakitle aritmetik ortalama üst sınırı)

	Numune	Cl	Ni	Zn	S	Zr	Sr	Re	Gd	V	Sn	Tb	Dy	Eu	Hf	Co	Ga	W
Boyalıca Bölgesi	B3	0.01	0.13	0.007	0.02	0.25	0.0001	0.0010	0.0361	0.0001	0.0022	0.0001	0.016	0.082	0.0001	0.0377	0.0001	0.0001
	B10	0.02	0.38	0.001	0.01	0.26	0.0062	0.0007	0.0193	0.0001	0.0022	0.0098	0.075	0.187	0.0001	0.0212	0.0001	0.0009
	B11	0.02	0.31	0.002	0.01	0.25	0.0253	0.0002	0.0001	0.0001	0.0020	0.0396	0.017	0.198	0.0013	0.0077	0.0001	0.0011
Adaören Bölgesi	C3	0.02	0.23	0.003	0.09	0.23	0.0009	0.0004	0.0244	0.0001	0.0019	0.0001	0.008	0.052	0.0001	0.0240	0.0001	0.0001
	C5	0.04	0.20	0.005	0.06	0.21	0.0021	0.0003	0.0296	0.0019	0.0016	0.0001	0.011	0.025	0.0015	0.0344	0.0001	0.0001
	C6	0.03	0.23	0.004	0.10	0.21	0.0071	0.0009	0.0188	0.0010	0.0001	0.0089	0.027	0.193	0.0001	0.0272	0.0001	0.0001
	C7	0.02	0.01	0.009	0.01	0.35	0.0226	0.0008	0.0001	0.0222	0.0027	0.1070	0.019	0.575	0.0001	0.0001	0.0012	0.0001
	C10	0.03	0.22	0.004	0.10	0.21	0.0051	0.0014	0.0152	0.0013	0.0009	0.0259	0.027	0.174	0.0001	0.0290	0.0001	0.0001
	Min	0.01	0.01	0.001	0.01	0.21	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.008	0.025	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	Max.	0.04	0.38	0.009	0.10	0.35	0.0253	0.0014	0.0361	0.0222	0.0027	0.1070	0.075	0.575	0.0015	0.0377	0.0012	0.0011
	Mean/Ort.	0.02	0.21	0.004	0.05	0.24	0.0087	0.0007	0.0180	0.0034	0.0017	0.0239	0.025	0.186	0.0004	0.0227	0.0002	0.0003
	St. D/St.Sap	0.01	0.11	0.002	0.04	0.05	0.0098	0.0004	0.0128	0.0076	0.0008	0.0364	0.021	0.172	0.0006	0.0129	0.0004	0.0004
	L.B.M (95%)/ O.A.S. (95%)	0.01	0.12	0.002	0.01	0.20	0.0005	0.0004	0.0072	-0.0030	0.0010	-0.0065	0.007	0.042	-0.0001	0.0119	-0.0001	0.0000
	U.B.M (95%)/ O.Ü.S. (95%)	0.03	0.31	0.006	0.08	0.28	0.0168	0.0010	0.0287	0.0097	0.0024	0.0544	0.043	0.329	0.0009	0.0334	0.0006	0.0007

4.3.1.9. Yan kayaç numunelerinin analiz sonuçlarına ait korelasyon katsayıları baz alınarak oluşturulan cluster analizindeki yakınlık durumları

Yan kayaç numuneleri üzerinde mevcut durumdaki bileşenler göz önüne alınarak kümelenme durumlarının tespiti için korelasyon katsayı değerleri baz alınarak cluster (küme) analiz metodu uygulanmış ve analiz sonucunda 6 ana grup belirlenmiştir (Şekil 4.29.). Buna göre;



Şekil 4.29. Yan kayaç numuneleri üzerinde yapılan analiz sonuçlarına ait korelasyon katsayıları baz alınarak oluşturulan cluster (küme) analizindeki yakınlık durumları.

1. Grup; (Cl-S)

2. Grup; (Fe₂O₃-Re)

Fe₂O₃ ile Re bir araya gelmiştir.

3. Grup; (Gd-Co)-MgO-MnO

Gd ile Co önce bir araya gelmiş olup sonra ortama MgO ve MnO eklenmiştir.

4. Grup; (Cr₂O₃-W)-Ni-Dy

Cr₂O₃ ile W önce bir araya gelmiş olup sonra ortama Ni ve Dy eklenmiştir.

5. Grup; (((TiO₂-Al₂O₃-V)-SiO₃)-(Tb-Eu))-Zr-Zn)-(CaO-Sr)-Sn

TiO₂, Al₂O₃ ve V önce bir araya gelmiş olup sonra ortama SiO₃ gelmiş ve daha sonra Tb ve Eu elementleri birlikte ortama katılmış, bu ortama sırası ile Zr ve Zn katılmış, daha sonra ise CaO ve Sr birlikte ortama katılmış ve en son Sn ortama eklenmiştir.

6. Grup; (K₂O-Hf)

5. Grup ana oksit ve elementler bir araya geldikten sonra ortama 6. Grup elementler eklenmiş, daha sonra 4. Grup elementler ortama katılmıştır. 3. Grup ve 2. Grup ana oksit ve elementler bir araya geldikten sonra ortama 1. Grup elementler eklenmiştir. Daha sonra oluşan bu grup birlikte 4. Grup, 5. Grup ve 6. Grup ana oksit ve elementlerden oluşan gruba katılmıştır.

4.3.1.10. Yan kayaç numunelerinin analizleri ile belirlenen ana oksit ve iz element değerlerin korelasyon ilişki analizi

İnceleme alanlarından alınan yan kayaç numunelerinin analizleri sonucu elde edilen ana oksit ve iz element değerlerinin birbirleriyle olan ilişkileri basit korelasyon analizleriyle değerlendirilmiştir (Çizelge 4.7.). Buna göre;

Çizelge 4.7. Yan kayaçlara ait korelasyon tablosu (0.6-0.849 arası kuvvetli pozitif korelasyon, 0.85 - 0.99 arası çok kuvvetli pozitif korelasyon, -0.6 - -0.849 arası kuvvetli negatif korelasyon, -0.85 - -0.99 arası çok kuvvetli negatif korelasyon).

	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MnO	K ₂ O	TiO ₂	Cl	Ni	Zn	S	Zr	Sr	Re	Gd	V	Sn	Tb	Dy	Eu	Hf	Co	Ga	W
MgO	1,00	-0,95	-0,94	0,11	0,02	-0,61	0,36	-0,32	-0,96	0,32	0,57	-0,58	0,53	-0,92	-0,75	0,06	0,71	-0,95	-0,55	-0,96	0,03	-0,93	0,04	0,84	-0,96	-0,05
Al ₂ O ₃		1,00	0,94	-0,37	0,14	0,37	-0,25	0,42	1,00	-0,23	-0,75	0,75	-0,33	0,86	0,55	0,10	-0,55	1,00	0,45	0,91	-0,14	0,90	-0,21	-0,68	1,00	-0,26
SiO ₂			1,00	-0,21	0,08	0,49	-0,42	0,32	0,94	-0,07	-0,64	0,66	-0,31	0,77	0,68	0,13	-0,68	0,95	0,29	0,95	-0,07	0,93	-0,04	-0,71	0,94	-0,14
Cr ₂ O ₃				1,00	-0,56	0,70	-0,35	-0,47	-0,35	-0,19	0,55	-0,56	-0,22	-0,14	0,56	-0,39	-0,49	-0,37	-0,12	-0,01	0,04	-0,07	0,40	-0,35	-0,34	0,78
Fe ₂ O ₃					1,00	-0,46	0,62	-0,23	0,13	-0,25	-0,54	0,62	-0,09	0,09	-0,39	0,66	0,51	0,14	0,01	-0,05	0,00	0,04	-0,39	0,48	0,13	-0,53
CaO						1,00	-0,44	-0,05	0,40	-0,39	-0,01	0,01	-0,57	0,52	0,96	-0,41	-0,85	0,37	0,37	0,66	-0,10	0,55	0,40	-0,84	0,40	0,63
MnO							1,00	0,10	-0,24	-0,40	-0,31	0,32	-0,12	-0,17	-0,57	0,00	0,79	-0,26	0,25	-0,46	-0,39	-0,51	0,04	0,64	-0,25	-0,38
K ₂ O								1,00	0,40	0,25	-0,42	0,34	0,08	0,16	-0,02	-0,50	0,04	0,42	0,31	0,20	-0,51	0,05	0,39	-0,12	0,39	-0,40
TiO ₂									1,00	-0,27	-0,74	0,74	-0,37	0,89	0,57	0,08	-0,56	1,00	0,49	0,92	-0,12	0,91	-0,20	-0,70	1,00	-0,22
Cl										1,00	0,26	-0,27	0,72	-0,60	-0,30	0,09	0,09	-0,21	-0,69	-0,27	0,05	-0,27	0,22	0,32	-0,28	-0,27
Ni											1,00	-0,99	0,05	-0,50	-0,13	-0,28	0,05	-0,75	-0,24	-0,56	0,57	-0,51	0,21	0,15	-0,73	0,70
Zn												1,00	-0,11	0,53	0,13	0,34	-0,04	0,75	0,24	0,56	-0,48	0,54	-0,23	-0,14	0,74	-0,67
S													1,00	-0,70	-0,52	0,32	0,29	-0,33	-0,80	-0,41	-0,29	-0,39	-0,18	0,48	-0,38	-0,59
Zr														1,00	0,63	-0,03	-0,55	0,85	0,74	0,85	0,12	0,86	-0,25	-0,77	0,89	0,13
Sr															1,00	-0,27	-0,94	0,55	0,31	0,81	-0,04	0,74	0,26	-0,91	0,58	0,51
Re																1,00	0,12	0,10	-0,34	0,08	0,23	0,21	-0,70	0,28	0,09	-0,44
Gd																	1,00	-0,55	-0,17	-0,81	-0,06	-0,76	-0,09	0,93	-0,56	-0,44
V																		1,00	0,44	0,91	-0,14	0,90	-0,18	-0,68	1,00	-0,26
Sn																			1,00	0,42	0,04	0,33	0,06	-0,45	0,49	0,29
Tb																				1,00	-0,08	0,96	-0,09	-0,86	0,92	0,04
Dy																					1,00	0,12	-0,33	-0,06	-0,12	0,51
Eu																						1,00	-0,29	-0,82	0,92	0,03
Hf																							1,00	-0,03	-0,22	0,35
Co																								1,00	-0,71	-0,43
Ga																									1,00	-0,22
W																										1,00

MgO; Gd ve Co ile kuvvetli pozitif korelasyona; Al₂O₃, SiO₂, TiO₂, Zr, V, Tb, Eu ve Ga ile çok kuvvetli negatif korelasyona; CaO ve Sr ile kuvvetli negatif korelasyona sahiptir.

Al₂O₃; SiO₂, TiO₂, Zr, V, Tb, Eu ve Ga ile çok kuvvetli pozitif korelasyona; Zn ile kuvvetli pozitif korelasyona; Ni ve Co ile kuvvetli negatif korelasyona sahiptir.

SiO₂; TiO₂, V, Tb, Eu ve Ga ile çok kuvvetli pozitif korelasyona; Zn, Zr ve Sr ile kuvvetli pozitif korelasyona; Ni, Gd ve Co ile kuvvetli negatif korelasyona sahiptir.

Cr₂O₃; CaO ve W ile kuvvetli pozitif korelasyona sahiptir.

Fe₂O₃; MnO, Zn ve Re ile kuvvetli pozitif korelasyona sahiptir.

CaO; Sr ile çok kuvvetli pozitif korelasyona; Tb ve W ile kuvvetli pozitif korelasyona; Co ile kuvvetli negatif korelasyona sahiptir.

MnO; Gd ve Co ile kuvvetli pozitif korelasyona sahiptir.

TiO₂; Zr, V, Tb, Eu ve Ga ile çok kuvvetli pozitif korelasyona; Zn ile kuvvetli pozitif korelasyona; Ni ve Co ile kuvvetli negatif korelasyona sahiptir.

Cl; S ile kuvvetli pozitif korelasyona; Zr ve Sn ile kuvvetli negatif korelasyona sahiptir.

Ni; W ile kuvvetli pozitif korelasyona; Zn ile çok kuvvetli negatif korelasyona; V ve Ga ile kuvvetli negatif korelasyona sahiptir.

Zn; V ve Ga ile kuvvetli pozitif korelasyona; W kuvvetli negatif korelasyona sahiptir.

S; Zr ve Sn ile kuvvetli negatif korelasyona sahiptir.

Zr; V, Eu ve Ga ile çok kuvvetli pozitif korelasyona; Sr, Sn ve Tb ile kuvvetli pozitif korelasyona; Co ile kuvvetli negatif korelasyona sahiptir.

Sr; Tb ve Eu ile kuvvetli pozitif korelasyona; Gd ve Co ile çok kuvvetli negatif korelasyona sahiptir.

Re; Hf ile kuvvetli negatif korelasyona sahiptir.

Gd; Co ile çok kuvvetli pozitif korelasyona; Tb ve Eu ile kuvvetli negatif korelasyona sahiptir.

V; Tb, Eu ve Ga ile çok kuvvetli pozitif korelasyona; Co ile kuvvetli negatif korelasyona sahiptir.

Tb; Eu ve Ga ile çok kuvvetli pozitif korelasyona; Co ile çok kuvvetli negatif korelasyona sahiptir.

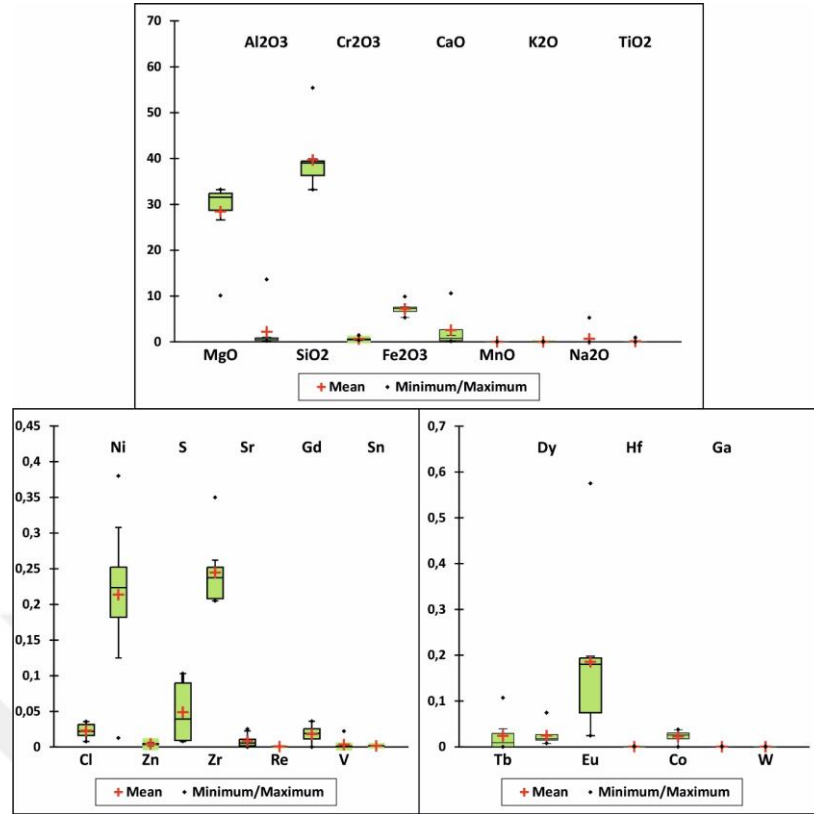
Eu; Ga ile çok kuvvetli pozitif korelasyona; Co ile kuvvetli negatif korelasyona sahiptir.

Co; Ga ile kuvvetli negatif korelasyona sahiptir.

4.3.1.11. Yan kayaç numunelerinin zenginleştirme faktörü (EF) değerlerinin box plots değerlendirmesi

İnceleme alanlarından alınan yan kayaç numunelerinin analiz sonuçlarına ait ana oksit ve iz elementlerinin dağılım ve ilişkilerini ortaya koymak amacıyla box plots grafiği üzerinde değerlendirme yapılmıştır (Şekil 4.30.).

Buna göre, MgO, SiO₂, CaO, Cl, Ni, S, Zr, Tb, Eu için EF değerlerinin veri aralıkları geniş aralık göstermektedir. Diğerleri ise ortalama değerlere yakın bir aralıkta olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.30. Yan kayaç numunelerinin zenginleştirme faktörü (EF) değerlerinin box plots grafiği.

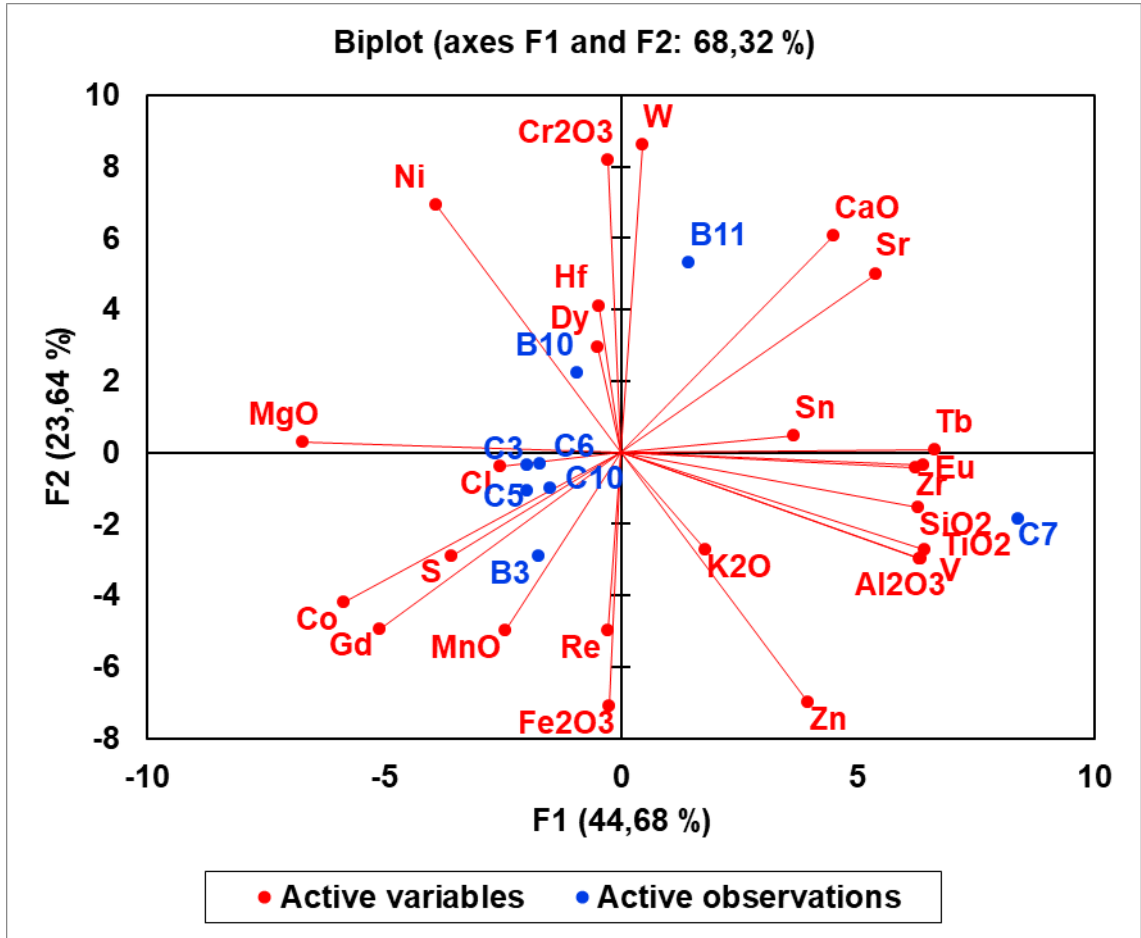
Yine, yan kayaç numunelerinin analizi yapılan ana oksit ve iz element değerleri üzerinde yapılan EF hesaplamaları sonucunda MgO için 10.10 ile 33.20 (ortalama 28.438), Al_2O_3 için 0.238 ile 13.60 (ortalama 2.201), SiO_2 için 33.20 ile 55.40 (ortalama 39.688), Cr_2O_3 için 0.329 ile 1.410 (ortalama 0.618), Fe_2O_3 için 5.320 ile 9.880 (ortalama 7.213), CaO için 0.133 ile 10.60 (ortalama 2.576), MnO için 0 ile 0.123 (ortalama 0.027), K_2O için 0 ile 0.123 (ortalama 0.040), Na_2O için 0 ile 5.270 (ortalama 0.659), TiO_2 için 0 ile 0.939 (ortalama 0.120), Cl için 0.008 ile 0.036 (ortalama 0.023), Ni için 0.013 ile 0.380 (ortalama 0.213), Zn için 0.001 ile 0.009 (ortalama 0.004), S için 0.008 ile 0.103 (ortalama 0.049), Zr için 0.205 ile 0.350 (ortalama 0.245), Sr için 0 ile 0.025 (ortalama 0.009), Re için 0 ile 0.001 (ortalama 0.001), Gd için 0 ile 0.036 (ortalama 0.018), V için 0 ile 0.022 (ortalama 0.003), Sn için 0 ile 0.003 (ortalama 0.002), Tb için 0 ile 0.107 (ortalama 0.024), Dy için 0.008 ile 0.075 (ortalama 0.025), Eu için 0.025 ile 0.575 (ortalama 0.186), Hf için 0 ile 0.002 (ortalama 0), Co için 0 ile 0.038 (ortalama 0.023), Ga için 0 ile 0.001 (ortalama 0), W için 0 ile 0.001 (ortalama 0) değerleri tespit edilmiştir.

MgO ve SiO₂ açısından EF > 25 değerlerinin olduğu numuneler mevcut olup bu durum yüksek zenginleşmeye işaret etmektedir. Al₂O₃, Fe₂O₃ ve CaO açısından EF > 2 değerlerinin olduğu ve diğer ana oksit ve iz elementler bakımından EF < 2 değerlerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda ana oksit ve iz elementler bakımından az zenginleşme durumunun olduğunu göstermektedir.

4.3.1.12. Yan kayaç numunelerinin temel bileşen analizi (principal components analysis (PCA))

İnceleme alanlarından alınan yan kayaç numunelerinin analiz sonuçlarına ait ana oksit ve iz elementlerinin dağılım ve ilişkilerini ortaya koymak amacıyla temel bileşen analizi (PCA) yapılmıştır (Şekil 4.31.).

Buna göre; birinci faktör (F1) % 44.68, ikinci faktör (F2) % 23.64 olarak belirlenmiştir. C7 olarak adlandırılan numunelerin SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Zr, Eu, V ve Tb içeren değerlerinin yüksek olduğu, B3, C3, C5, C6 ve C10 olarak adlandırılan numunelerin Cl ve S içeren değerlerinin yüksek olduğu, SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Zr, Eu, V ve Tb olmak üzere ana oksit ve iz elementlerinin birlikte hareket ettiği, K₂O ve Zn olmak üzere ana oksit ve iz elementinin birlikte pozitif korelasyon gösterdiği, MnO, Fe₂O₃, MgO, Cr₂O₃, K₂O, CaO, Sr, Re, Co, Ni, Gd ve Zn ana oksit ve iz elementlerinin ortama sonradan geldiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.31. Yan kayaç numunelerinin temel bileşen analizi (PCA).

4.3.2. Cevher mineralojisi ve petrografisi

Kromit minerali, $(\text{Fe}, \text{Mg})(\text{Cr}, \text{Al})_2\text{O}_4$ kimyasal bileşimine sahip kübik kristal sisteminde, % 12'ye kadar ZnO, % 8'e kadar V ve biraz Mn içermektedir. Kromit mineralinin rengi siyahtır. Fiziksel özelliği yarı metalik, çizgi rengi kahverengidir. Kromit mineralinde dilinim görülmez. Tek nikelde rengi koyu gri, kahverengimsi gri renklidir.

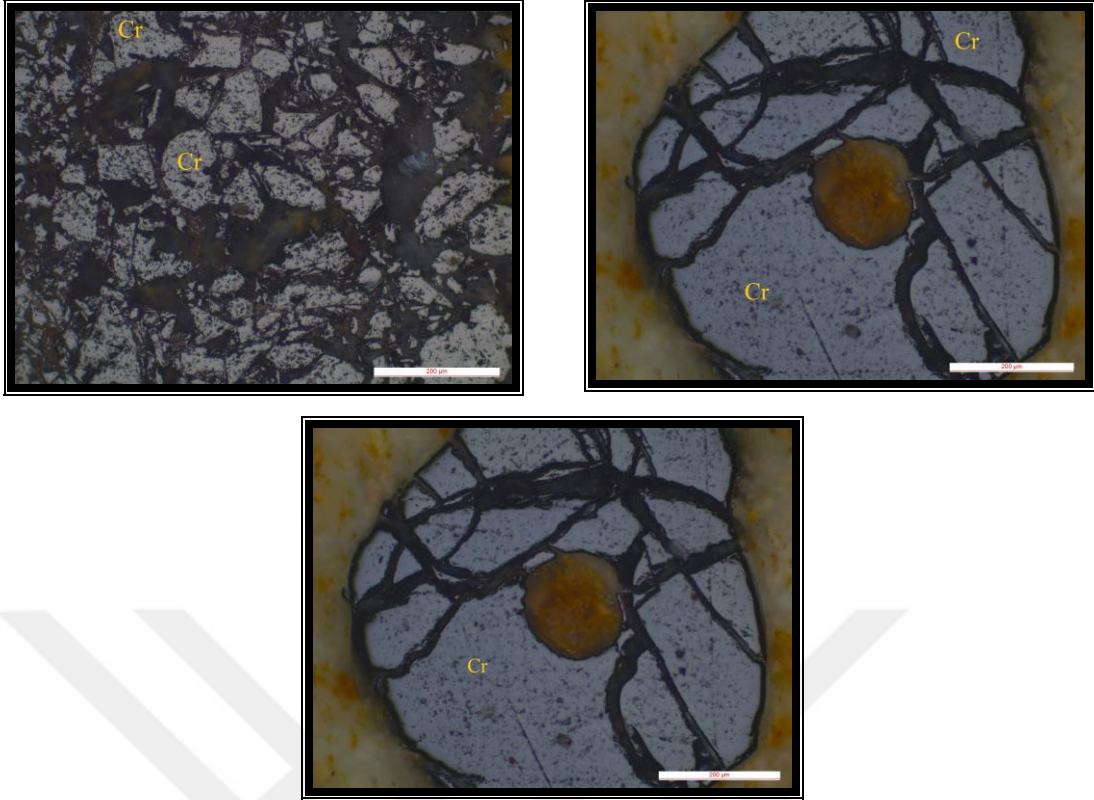
Manyetit minerali, $\text{Fe}_2\text{O}_4(\text{Fe}^{+2}\text{O}.\text{Fe}^{+3}_2\text{O}_3)$ kimyasal bileşimine sahip kübik kristal sisteminde oluşmuştur. Manyetit mineralinin rengi siyahtır. Fiziksel özelliği kuvvetli manyetik, opak, yarı metalik cilalı ve ayırınca çelik grisi oluşudur. Manyetit mineralinde dilinim belirgin değildir. Tek nikelde rengi gri, kahverengimsi (Ti pembemsi, Mn sarımsı yeşil, Al ve Mg sarımsı, Cr koyu gri ton vermektedir) renklidir.

Millerit minerali, NiS kimyasal bileşimine sahip monoklinik kristal sisteminde oluşmuştur. Millerit mineralinin rengi sarıdan kahverengiye kadar değişiklik gösterebilir. Fiziksel özelliği opak, kuvvetli metalik bronz sarısı renktedir. Tek nikolde rengi saf sarı renklidir.

Limonit minerali, $\text{FeO(OH).nH}_2\text{O}$ kimyasal bileşimine sahiptir. Limonit minerali, sarımsı kahverengi, siyah veya kırmızımsı kahverengi renklidir. Tipik olarak opak olup ışığı iletmez. Limonit çift kırılmaz ve polarize ışık ile bakıldığında çift görüntü göstermez. Fiziksel özelliği çizgi rengi sarı-kahverengi, düzensiz kırılma eğilimli, üzüm benzeri (botryoidal) veya sarkıt bir görünüme sahip nodüller şeklindedir.

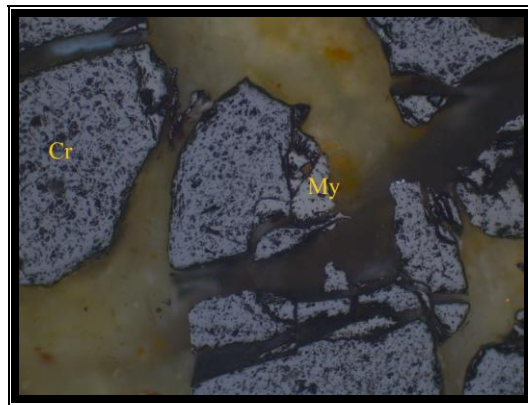
Mangan veya manganез kimyasal bir elementtir. Manganın simgesi Mn olup doğada minerallerde demirle beraber bulunmaktadır. Mangan minerali, siyah rengi, prizmatik kristalleri ve kahverengi çizgi rengi ile tanınır. Mangan minerali, demire benzeyen gümüşü gri bir metal olup sert ve çok kırılmandır. Monoklinik kristal sisteminde oluşmuştur. Mangan, +2 ile +7 arasında değişiklik gösteren çeşitli oksidasyonlarla farklı özelliklere sahip bileşik oluşturabilir. Mangan bileşiklerinden bazıları manyetik özellik göstermektedir.

Parlatma örneğinde çoktan aza doğru kromit, eser oranda manyetit, limonit ve mangan minerali tespit edilmiştir. Kromit, genelde yarıözşekilli-özşekilli taneler halinde gözlenmiş olup bu tanelerden ölçülebilen tane boyu aralığı 30 mikron-> 600 mikron'dur (Şekil 4.32.).



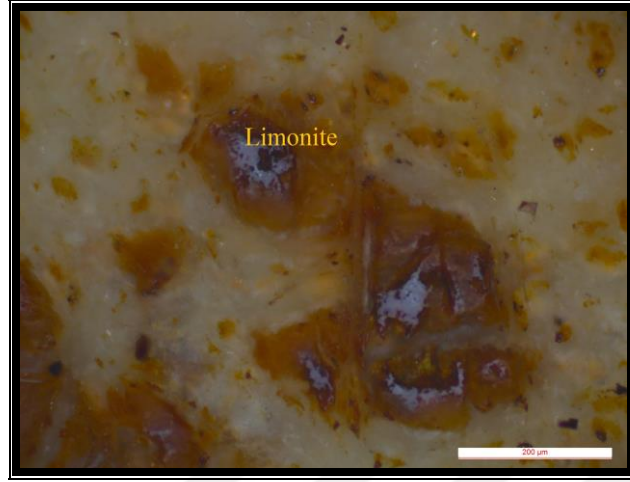
Şekil 4.32. Cevher mikroskobunda gang minerallerinin aralarında kırıklı çatlaklı kromit tanelerinin görünümü (Cr: kromit).

Manyetit, örnekte yarıözşekilli-özşekilli taneler halinde bulunmakta olup bazı tanelerinde az miktarda hematite dönüşüm göstermektedir (Şekil 4.33.). Ayrıca bazı tanelerinin (bu tanelerin içinde kalıntı izlenmemesine rağmen) kromitten dönüşüm olduğu düşünülmektedir.



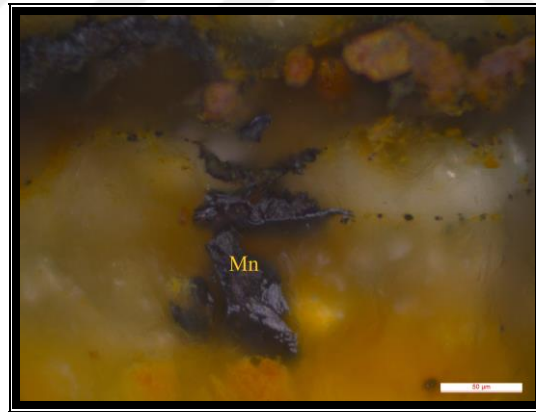
Şekil 4.33. Cevher mikroskobunda gang minerallerinin aralarında kromit ve manyetit minerallerine ait görünüm (Cr: kromit, My: manyetit).

Limonit, gang minerallerinin aralarında ve tane sınırlarında hem özşekilsiz taneler halinde hem de submikroskopik taneler ve boyamalar şeklinde izlenmiştir (Şekil 4.34.).



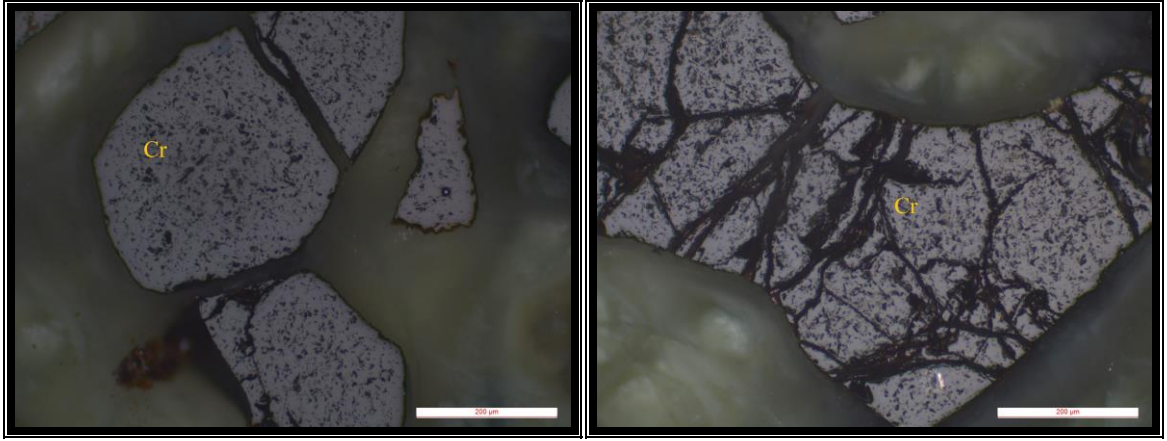
Şekil 4.34. Cevher mikroskobunda gang minerallerinin aralarında limonit mineraline ait görünüm.

Mangan minerali, küçük ve özşekilsiz taneler halinde gang minerallerinin aralarında ve bazen de kırık çatlak dolgusu şeklinde gözlenmiştir (Şekil 4.35.).



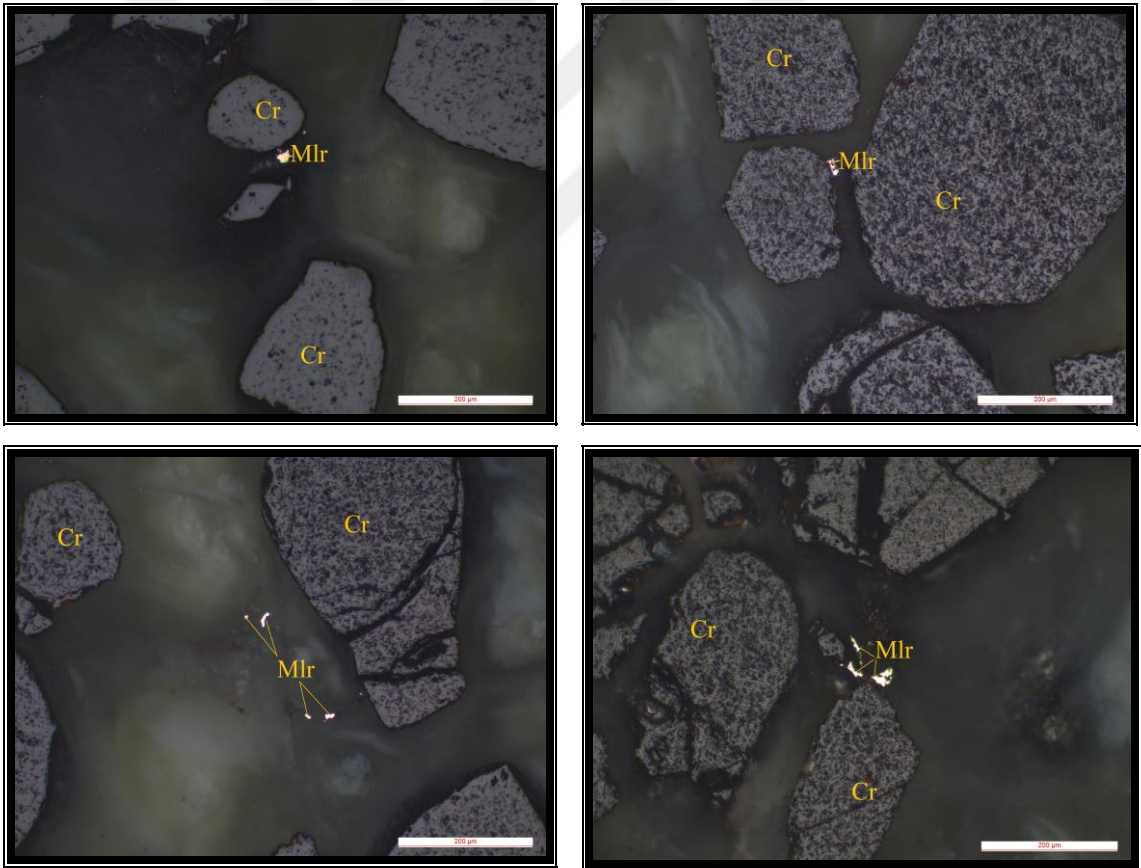
Şekil 4.35. Cevher mikroskobunda gang minerallerinin aralarındaki mangan mineraline ait görünüm (Mn: mangan).

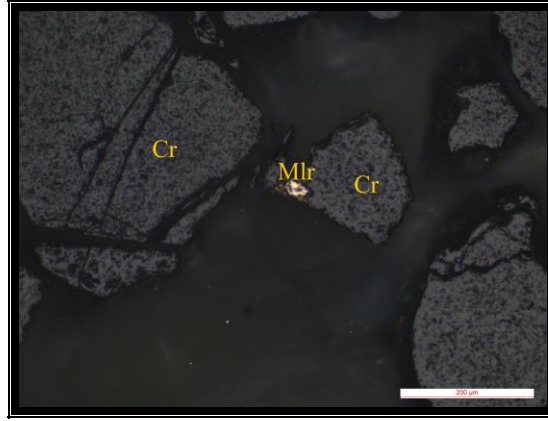
Parlatma örneğinde bol miktarda kromit ve çok az miktarda millerit tespit edilmiştir. Kromit, örnekte genelde yarıözşekilli-özşekilli taneler halinde (bu tanelerden ölçülebilen tane boyu aralığı şu şekildedir: 50 mikron->600 mikron) gözlenmiştir (Şekil 4.36.).



Şekil 4.36. Cevher mikroskobunda kırıklı çatlaklı kromit tanelerinin ve gang mineralinin görünümü (Cr: kromit).

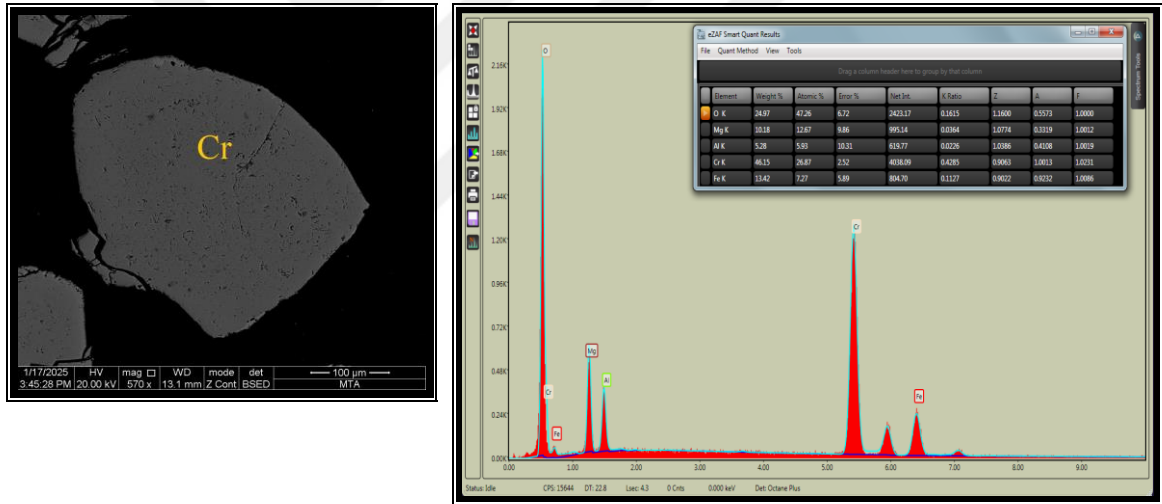
Millerit, genelde küçük ve özşekilsiz taneler halinde gang minerallerinin aralarında ve yer yer de kromitin kenarında bulunmaktadır (Şekil 4.37.).





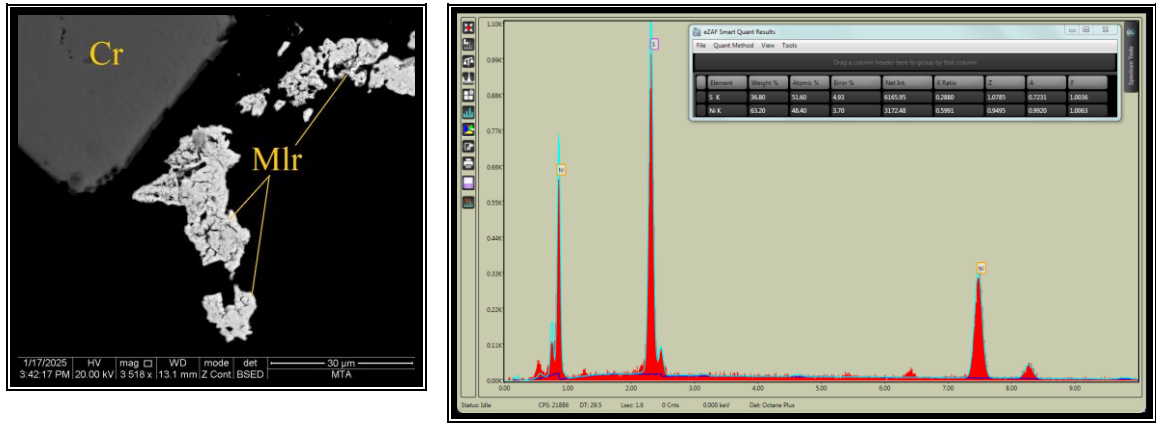
Şekil 4.37. Cevher mikroskobunda gang minerallerinin aralarında kırıklı çatlaklı kromit taneleri, millerit ve gang mineralinin görünümü (Cr: kromit, Mlr: millerit).

Kromit tanesi üzerinde yapılan SEM analizinde Cr içeriği % 46.15, Mg içeriği % 10.18 ve Al içeriği % 5.28 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.38.).



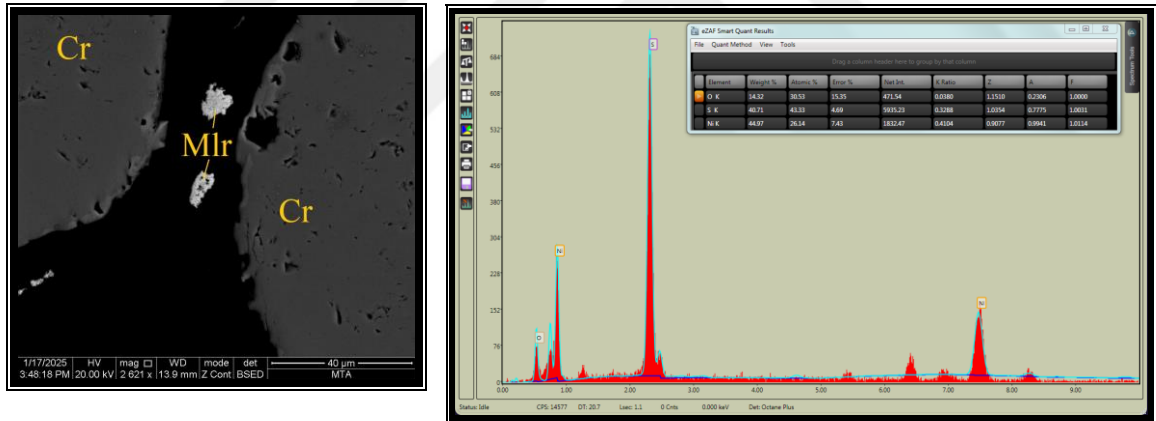
Şekil 4.38. Kromit tanelerinin görünümü ve kromit mineralinin SEM analiz sonucu (Cr: kromit).

Kromit numunesi içerisinde tespit edilen millerit mineralinin SEM analizine göre S içeriği % 36.80 ve Ni içeriği % 61.20 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.39.).



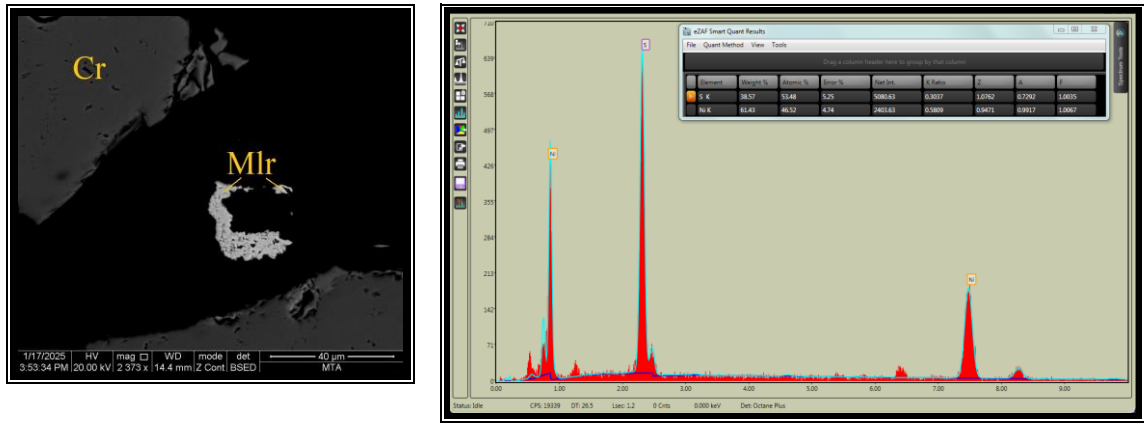
Şekil 4.39. Kromit ve millerit tanelerinin görünümü ve millerit mineralinin SEM analiz sonucu (Cr: kromit, Mlr: millerit).

Kromit numunesi içerisinde tespit edilen bir başka millerit mineralinin SEM analizine göre S içeriği % 40.71 ve Ni içeriği % 44.97 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.40.).



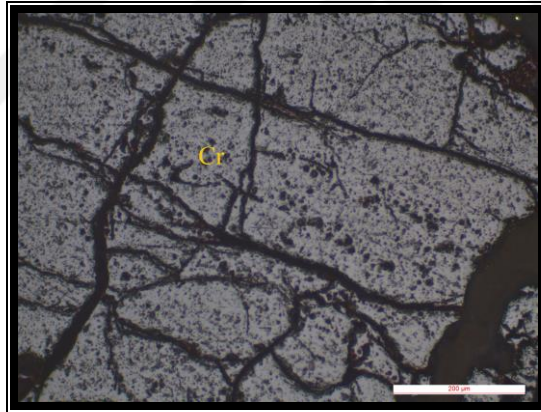
Şekil 4.40. Kromit ve millerit tanelerinin görünümü ve millerit mineralinin SEM analiz sonucu (Cr: kromit, Mlr: millerit).

Aynı kromit numunesi içerisinde tespit edilen bir başka millerit mineralinin SEM analizine göre S içeriği % 38.57 ve Ni içeriği % 61.43 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.41.).



Şekil 4.41. Kromit ve millerit tanelerinin görünümü ve millerit mineralinin SEM analiz sonucu (Cr: kromit, Mlr: millerit).

Parlatma örneğinde masife yakın oranda kromit ve çok az miktarda millerit tespit edilmiştir (Şekil 4.42. ve Şekil 4.43.). Kromit, iri ve yarıözşekilli-özşekilli taneler halindedir.

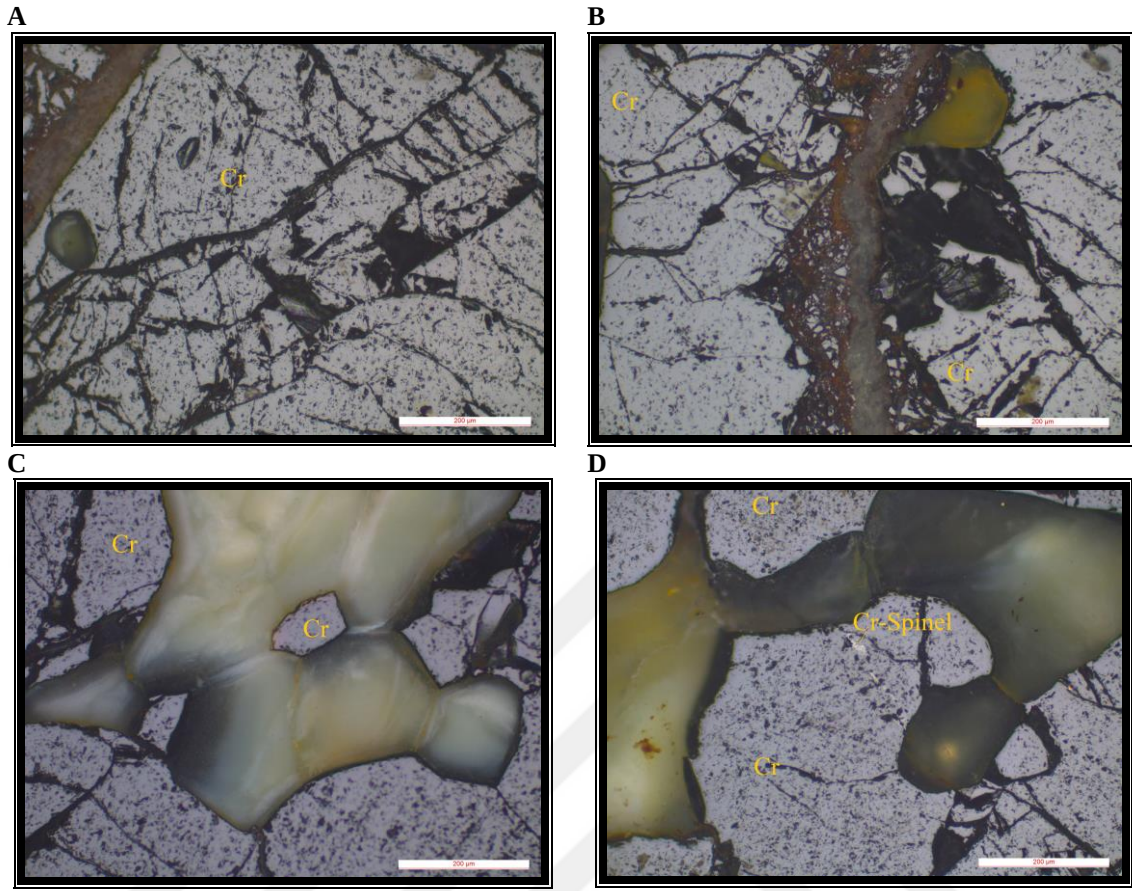


Şekil 4.42. Cevher mikroskobunda kırıklı çatlaklı kromit tanelerinin ve gang mineralinin görünümü (Cr: kromit).

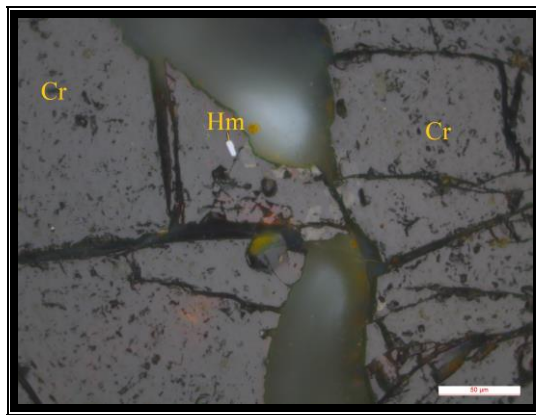


Şekil 4.43. Cevher mikroskobunda gang minerallerinin aralarında kırıklı çatlaklı kromit tanelerinin ve millerit minerallerinin görünümü (Cr: kromit, Mlr: millerit).

Parlatma örneğinde masife yakın oranda kromit ve eser miktarda hematit (ince taneli) tespit edilmiştir. Kromit, çoğunlukla yarıözşekilli-özşekilli tanelerdir ve bazı tanelerinde az miktarda (bazen kırık çatlaklarından itibaren) kromspinele dönüşüm belirlenmiştir (Şekil 4.44. ve Şekil 4.45.).

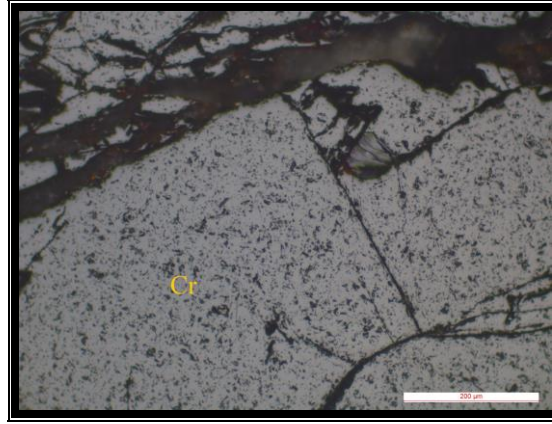


Şekil 4.44. Cevher mikroskobunda gang minerallerinin aralarında kromit tanelerinin görünümü (A , B , C: Kırıklı çatlaklı kromit ve gang minerali, D: Kırıklı çatlaklı kromit, krom spinel ve gang minerali (Cr: kromit, Cr-Spinel: krom spinel)).



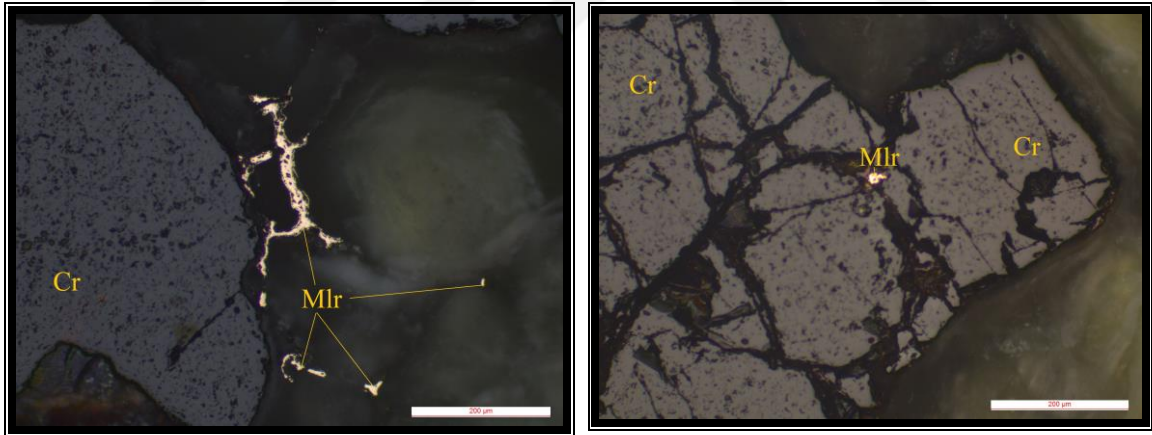
Şekil 4.45. Cevher mikroskobunda gang minerallerinin aralarında kırıklı çatlaklı kromit taneleri, hematit ve gang minerallerinin görünümü (Cr: kromit, Hm: hematit).

Parlatma örneğinde masife yakın oranda kromit ve eser miktarda millerit tespit edilmiştir. Kromit, yarıözşekilli-özşekilli ve iri tanelerdir (Şekil 4.46.).



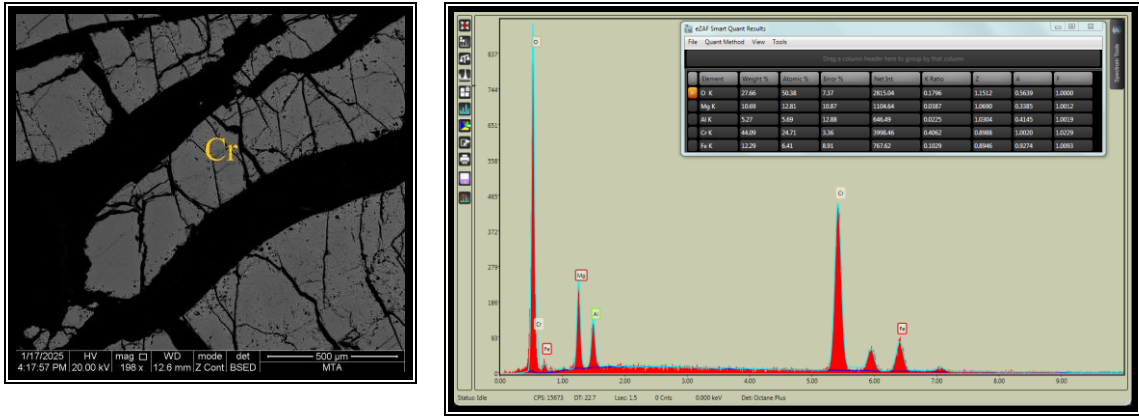
Şekil 4.46. Cevher mikroskobunda gang minerallerinin aralarında kromit mineraline ait görünüm (Cr: kromit).

Millerit, örnekte gang minerallerinin aralarında ve kromitin içinde gözlenmiştir (Şekil 4.47.).



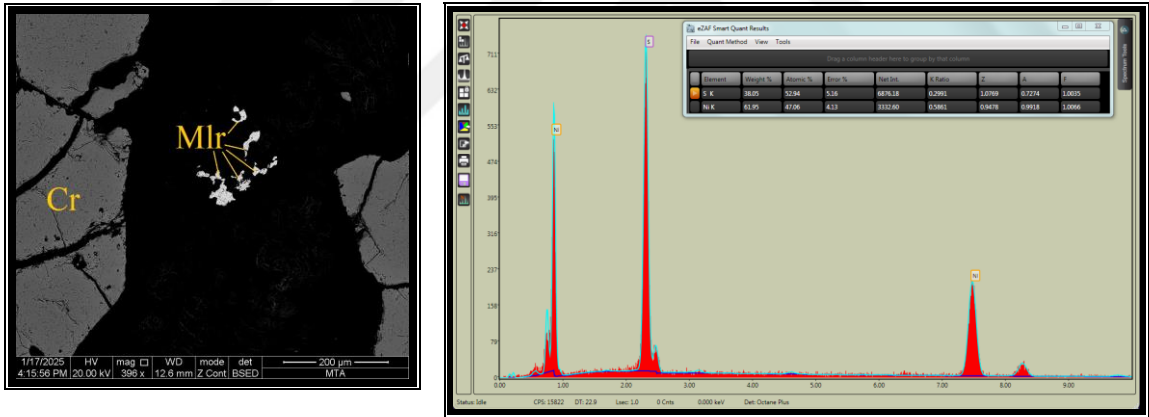
Şekil 4.47. Cevher mikroskobunda gang minerallerinin aralarında kromit ve millerit minerallerine ait görünüm (Cr: kromit, Mlr: millerit).

Kromit tanesi üzerinde yapılan SEM analizinde Cr içeriği % 44.09, Mg içeriği % 10.69 ve Al içeriği % 5.27 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.48.).



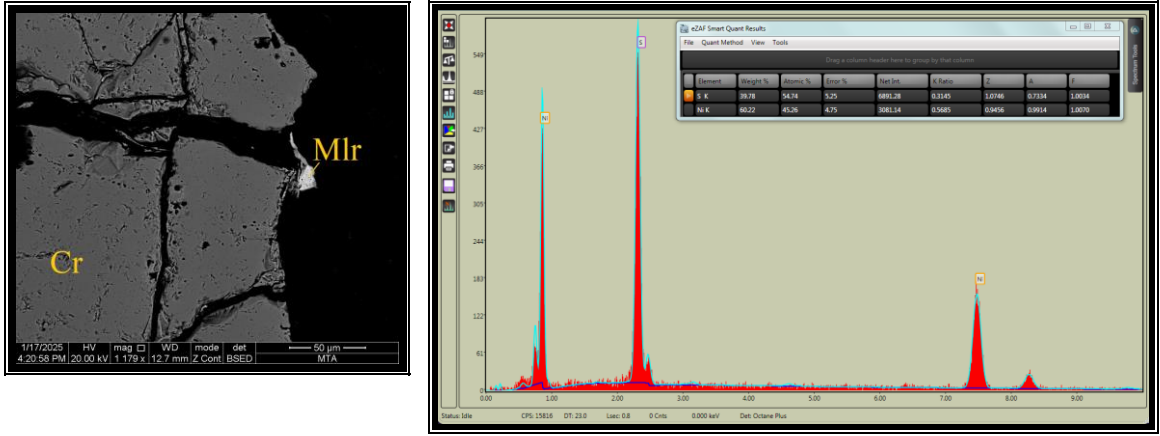
Şekil 4.48. Kromit tanelerinin görünümü ve kromit mineralinin SEM analiz sonucu (Cr: kromit).

Kromit numunesi içerisinde tespit edilen millerit mineralinin SEM analizine göre S içeriği % 38.05 ve Ni içeriği % 61.95 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.49.).



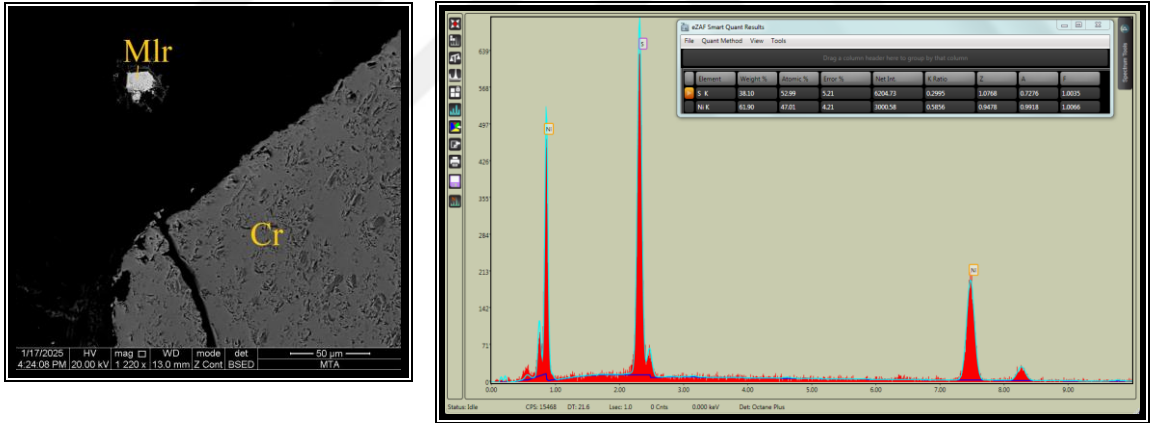
Şekil 4.49. Kromit ve millerit tanelerinin görünümü ve millerit mineralinin SEM analiz sonucu (Cr: kromit, Mlr: millerit).

Kromit numunesi içerisinde tespit edilen bir başka millerit mineralinin SEM analizine göre S içeriği % 39.78 ve Ni içeriği % 60.22 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.50.).



Şekil 4.50. Kromit ve millerit tanelerinin görünümü ve millerit mineralinin SEM analiz sonucu (Cr: kromit, Mlr: millerit).

Aynı kromit numunesi içerisinde tespit edilen bir başka millerit mineralinin SEM analizine göre S içeriği % 38.10 ve Ni içeriği % 61.90 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.51.).



Şekil 4.51. Kromit ve millerit tanelerinin görünümü ve millerit mineralinin SEM analiz sonucu (Cr: kromit, Mlr: millerit).

Millerit (nikel blende), bir nikel sülfür (NiS) minerali olup iğnemi yapısı, soluk pirinç sarısından bronz sarısı rengi ve pirit veya pirotin ile ilişkisi olmaması nedeniyle pentlanditten (Ni_9S_8) ayrılır. Olivin içerisinde eser miktarda bulunan kükürt ve nikelin metamorfizma sırasında olivinden ayrılması ile oluşmaktadır. Millerit, bir metamorfik mineral olup serpantin ultramafikleri içinde pentlanditin yerini almıştır. Metamorfizma esnasında pentlandit mineralinden kükürtün uzaklaştırılması ile oluşmuştur. Millerit mineralinin pentlandite göre nikel içeriği yüksektir. Nikel sülfür minerali olan

pentlandit % 25-41 aralığında nikel içermektedir. Millerit ise % 44-65 aralığında nikel içermektedir (Boldt, 1967; Caneb, 2007). Yapılan Sem analizlerine göre kromit numunelerinin içerisinde bulunan mineralin millerit olduğu kanaatine varılmıştır.

4.4. Ekonomik Jeoloji

4.4.1. Krom cevherinin kullanım alanları

Ekonomik bakımdan en önemli olan mineral kromittir. Kromitin tenörüne bağlı olarak; % 40'dan az olanlara 3. kalite, % 40-46 arasında olanlara 2. kalite ve % 46'dan fazla olanlara 1. kalite olarak sınıflandırılır. Ayrıca, element içerikleri de göz önüne alınarak kimyasal bileşimleri ve fiziksel özelliklerine bağlı olarak kullanım alanlarına göre sınıflandırılırlar. Kromit minerali, refrakter, metalürji ve kimya sanayisinde kullanılmaktadır.

Alpin tip krom yataklarının Cr/Fe oranı (rasyo) tabakalı (stratiform) tip krom yataklarına göre daha yüksek olduğundan metalürji sanayisinde kullanılmaktadır. Metalürji sanayisinde kromit cevherinin kullanım alanı ise, paslanmaz çelik, metal ve silah yapımında kullanılan ferrokrom üretimidir. Kromit, çelik üretiminde demir içerisine eklenerek sertliği, kimyasal bozunmaya ve aşınmaya karşı dayanıklılığı arttırdığı için kullanılmaktadır. Metalürji sanayisinde kullanılacak Cr_2O_3 içeriği % 46-48, SiO_2 içeriği % 6-8, Al_2O_3 % 8-15, MgO içeriği % 15-20, CaO içeriği % 0.5-2, rasyonun (Cr/Fe) 2.6-3 aralığında ve tane boyunun 0-2 mm. aralığında olması gerekmektedir.

Ferrokromun % 90 paslanmaz ve ısıya dirençli çelik yapımında kullanılmaktadır. Paslanmaz çelikler % 10-40 arasında kromit içermektedir. Kromit, çeliğe başlıca yüksek karbonlu ferrokrom şeklinde eklenmektedir. Kromit, bu nedenle savunma sanayinin en önemli hammaddelerinden biri olmakla birlikte stratejik öneme sahiptir.

Alpin tip krom yatakları, refrakter sanayinde kullanılan yataklardır. Refrakter sanayinde kullanılacak kromit cevherinin tenörünün % 30-40 aralığında, Al_2O_3 içeriğinin % 25-32 aralığında, $Cr_2O_3+Al_2O_3$ toplamının % 60, SiO_2 içeriğinin ise % 10'un altında olması gerekmektedir.

Stratiform tip krom yataklarının Cr_2O_3 içeriği ve Cr/Fe oranı düşük, FeO içeriği yüksek olduğundan genelde kimya sanayisinde kullanılmaktadır. Kimya sanayisinde

kullanılacak kromit cevherinin tenörünün % 48, SiO₂ içeriği % 6-7 aralığında, rasyosunun (Cr/Fe) 3/1 olması gerekmektedir.

Kimya endüstrisinde ise sodyum bikromat, kromik asit ve boya hammaddesi yapımında kullanılmaktadır. Krom kimyasalları; boyalar, konserve kutuları, katalizör, sondaj çamuru, su işleme, temizleme vb. alanlarda kullanılır.

Kromun çeşitli alaşımları denizaltı, mermi, gemi, uçak ve silahlarla ilgili destek sistemlerinde kullanılır. Ayrıca kullanıldığı yerlere estetik bir görünüm kazandırması nedeniyle otobüslerde, şehir içerisinde otobüs duraklarının, cadde ve sokak aydınlatma sistemlerinde, binalarda merdiven korkuluklarının yapımında kullanılmaktadır. Kromun alaşımları ise ısıya dayanıklı, yüksek verimli türbin motorlarının yapımında kullanılmaktadır.

Dünya'da kullanılan kromit cevherinin sektörlere göre % 50-60 arasında metalürji sanayisinde, % 20-25 arasında refrakter sanayisinde ve % 15-25 arasında kimya sanayisinde kullanılmaktadır.

4.4.2. Dünya krom üretimi

Alpin tip krom yatakları, İspanya, İtalya, Yunanistan, Türkiye, İran, Pakistan, Filipinler ve Yeni Kaledonya hattı üzerinde Alp Orojenez kuşağı bölgesinde gözlenmektedir. Tabakalı (stratiform) tip krom yatakları ise Bushveld kompleksi (Güney Afrika Cumhuriyeti), Stillwater kompleksi (Montana-ABD), Muskox kompleksi (Kanada), Great Dyke (Zimbabve) gözlenmektedir.

Tabakalı (stratiform) tip krom yatakları dünya rezervinin yaklaşık % 70'ine sahip iken üretimdeki payları % 30 civarındadır. Alpin tip krom yataklarının tenörlerinin ve rasyosunun yüksek olması nedeniyle üretimdeki payı tabakalı tip krom yataklarına göre daha fazladır.

Dünya krom rezervi, 2019 yılı itibariyle 570 milyon ton civarındadır. Dünya krom üretiminde ilk dört sırada bulunan ülkeler Güney Afrika Cumhuriyeti, Kazakistan, Hindistan ve Türkiye'dir. Söz konusu bu ülkeler dünya rezervinin yaklaşık %80'ine sahiptir. Dünyanın krom üretimi, 2019 yılında yaklaşık 44 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Dünyada krom üretiminin yaklaşık % 54'ünü Güney Afrika Cumhuriyeti karşılamaktadır. Krom ihracatı yapan başlıca ülkeler Güney Afrika Cumhuriyeti, Türkiye, Kazakistan, Arnavutluk ve Umman'dır. Krom cevheri ithalatının çoğunu ise Çin karşılamaktadır. Diğer ithalatçılar ise Rusya, Japonya, Hindistan ve

Güney Kore ülkeleridir. Dünyada ferrokrom üretiminin çoğu ve ithalatı Çin tarafından sağlanmaktadır.

4.4.3. Türkiye krom üretimi

Kromitler, ofiyolitik dizi içerisinde peridotitik kayalara bağlı olarak dağılım göstermektedir. Ülkemizdeki peridotitler çoğunlukla harzburjit, dünit ve bunların serpantinleşmiş kısımlarından oluşmaktadır. Alpin tipi kromit yatakları, tabakalı (stratiform) tip kromit yataklarına göre aranması ve işletilmesi daha zordur.

Ülkemizde bulunan Alpin tipi kromit yataklarının yüzeydeki ve derindeki görünüşleri değişkenlik göstermektedir. Yüzeyde gözlenen kromit mostraları derindeki kromit cevheri hakkında doğru bilgi vermemektedir. Söz konusu yüzeyde gözlenen kromit oluşumları için yarma ve sondaj gibi arama çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Düzensiz halde bulunan mercek şeklindeki kromit yataklarını aramaya kromit mostralarının yoğun olduğu bölgelerde başlanması gerekmektedir. Arama çalışmaları sırasında başvuru jeokimyasal prospeksiyonlar ve jeofizik çalışmaları kromit cevherinin aranmasında yeterli bilgi vermemektedir. İşletmeye geçmeden önce sık ve derin sondajlar yapılarak kromit cevherinin rezervinin hesaplanması ve bu rezerve göre gerekli yatırımların yapılması işletmeciler firmaların ekonomik zarara uğramaması açısından önemlidir. İşletme aşamasında ise rezerv geliştirmeye yönelik bu sondajların devamlılığına önem verilmesi gerekmektedir.

Türkiye, dünya krom rezervi ve üretiminde önemli bir yere sahiptir. Krom cevheri, ülkemiz için stratejik bir madendir. 2019 yılı itibarıyla Türkiye'nin krom rezervi 25 milyon ton civarındadır. Türkiye'de krom üretiminin çoğunu Elâzığ (Guleman yatakları), Antalya, Adana, Bursa (Orhaneli yatağı), Eskişehir, Muğla, Denizli, Burdur, Erzincan (Kopdağı yatakları), Sivas ve Kayseri illerindeki krom yataklarından sağlamaktadır.

Türkiye'de krom üretimi geçmiş yıllarda genellikle açık işletme yöntemi ile yapılmakta ise de günümüzde büyük çoğunlukla yeraltı işletme yöntemi ile krom üretimi yapılmaktadır. Yıllar itibarıyla ülkemizde üretilen krom miktarı ise dış piyasadaki fiyat dalgalanmaları nedeni ile değişkenlik göstermektedir (Çizelge 4.8.).

Çizelge 4.8. Yıllar itibariyle Türkiye’de üretilen tüvenan krom miktarları (MAPEG maden istatistik verileri).

Maden Adı	2024 Yılı	2023 Yılı	2022 Yılı	2021 Yılı	2020 Yılı
Krom	9.300.745,97	8.159.767,46	8.278.123,88	6.960.682,89	6.164.598,10
(tüvenan)	2019 Yılı	2018 Yılı	2017 Yılı	2016 Yılı	2015 Yılı
(ton/yıl)	8.666.114,28	10.757.198,90	7.849.500,00	6.066.022,00	8.301.218,00

Krom cevherinin çoğu kırma-eleme ve zenginleştirme işlemlerinden sonra konsantre veya triyaj işlemi yapılarak parça olarak ihraç edilmektedir. Türkiye’de % 45 Cr₂O₃ tenörün altındaki krom cevheri bir dönem işletilemez iken günümüzde % 7-10 Cr₂O₃ tenörlü krom madeni gelişen teknoloji sayesinde işletilebilmektedir. Düşük tenörlü krom madeni zenginleştirme tesislerinde kırılıp öğütüldükten sonra zenginleştirilmekte ve uygun pazar koşullarında satılmaktadır. Türkiye krom cevherinin çoğunu Çin, Rusya, Hindistan başta olmak üzere Hollanda ve İtalya’ya ihraç etmektedir.

Ülkemiz aynı zamanda krom cevherini işleyerek ferrokrom üretimi de yapmaktadır. Krom ve demir alaşımı olan ferrokrom paslanmaz çelik üretiminin ana maddesidir. Ülkemiz ferrokrom üretiminde dünyada altıncı sıradadır. Türkiye’de ferrokrom tesisleri Gaziantep, Hatay, Kahramanmaraş, Adana ve Osmaniye illerinde yer almaktadır. Üretilen ferrokromun büyük bir kısmı ise Çin, ABD, Almanya, İtalya ve İspanya ülkelerine ihraç edilmektedir. Ülkemizde üretilen ferrokrom ve krom cevherlerinin yıllık maden ihracat miktarları dış piyasadaki talep ve fiyat doğrultusunda yıllar itibariyle değişkenlik göstermektedir (Çizelge 4.9.).

Çizelge 4.9. Yıllar itibariyle Türkiye geneli yıllık bazda ferro krom ve krom cevherlerinin maden ihracat miktarları (İMİB ihracat istatistik verileri).

Ürün Adı	2024 Yılı	2023 Yılı	2022 Yılı	2021 Yılı	2020 Yılı	2019 Yılı
Ferro Krom (kg/yıl)	69.624.894,00	81.146.701,04	98.469.608,20	162.485.872,00	105.365.258,00	104.853.302,07
Krom Cevherleri (kg/yıl)	1.370.360.059,65	1.462.979.718,12	1.356.690.732,05	1.446.040.746,55	926.475.808,00	1.290.442.049,38

Ülkemizde krom madeni gelecekte yaşanacak rezerv artışı, yeni teknolojik buluşlar, üretim artışı, tedarik zincirindeki gelişmeler, fiyat politikası, dış ticaret gibi nedenlerden dolayı kritik maden olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca, savunma sanayisinde önemli bir maden olması nedeni ile de stratejik maden olarak değerlendirilmektedir.

4.4.4. İnceleme alanlarındaki krom üretimi

Boyalıca Mahallesi civarında bulunan inceleme alanında krom cevherinin üretimi açık işletme yöntemi ile Adaören Mahallesi civarında bulunan inceleme alanında ise krom cevheri açık ve yeraltı işletme yöntemi ile üretimi gerçekleştirilmektedir. Üretimin yanı sıra krom arama ve geliştirme faaliyetleri de eş zamanlı devam etmektedir.

Üretilen kromun tenörü yüksek olması halinde triyaj (ayıklama) yapılarak parça halinde veya tenörünün düşük olması halinde Boyalıca Mahallesi civarında bulunan krom konsantre tesisinde zenginleştirilerek Çin'e ihraç edilmektedir.

İnceleme alanlarında ortalama % 7-10 Cr_2O_3 içeren tüvenan cevher üretilerek krom konsantre tesisine beslenmektedir (Şekil 4.52.). Tesise giren ortalama % 7-10 içerik krom tüvenan cevheri zenginleştirilerek % 46-48 içerik krom konsantre elde edilmektedir.



Şekil 4.52. Krom zenginleştirme tesisine ait genel görünüm

İnceleme alanlarında üretilen tüvenan krom cevheri krom zenginleştirme tesisinin stok sahasına getirilmektedir. Üretilen cevher tenörlerine göre stok sahasında stoklanmakta ve tesise ait laboratuvar da analizleri yapılmaktadır. Planlanan tesis besleme tenörüne göre tüvenan cevher stok sahasında harmanlanarak tesise beslenmektedir. Tesiste -1 mm.'ye ufalanan cevherler sallantılı masalarda zenginleştirilerek susuzlandırılmaktadır (Şekil 4.53.).

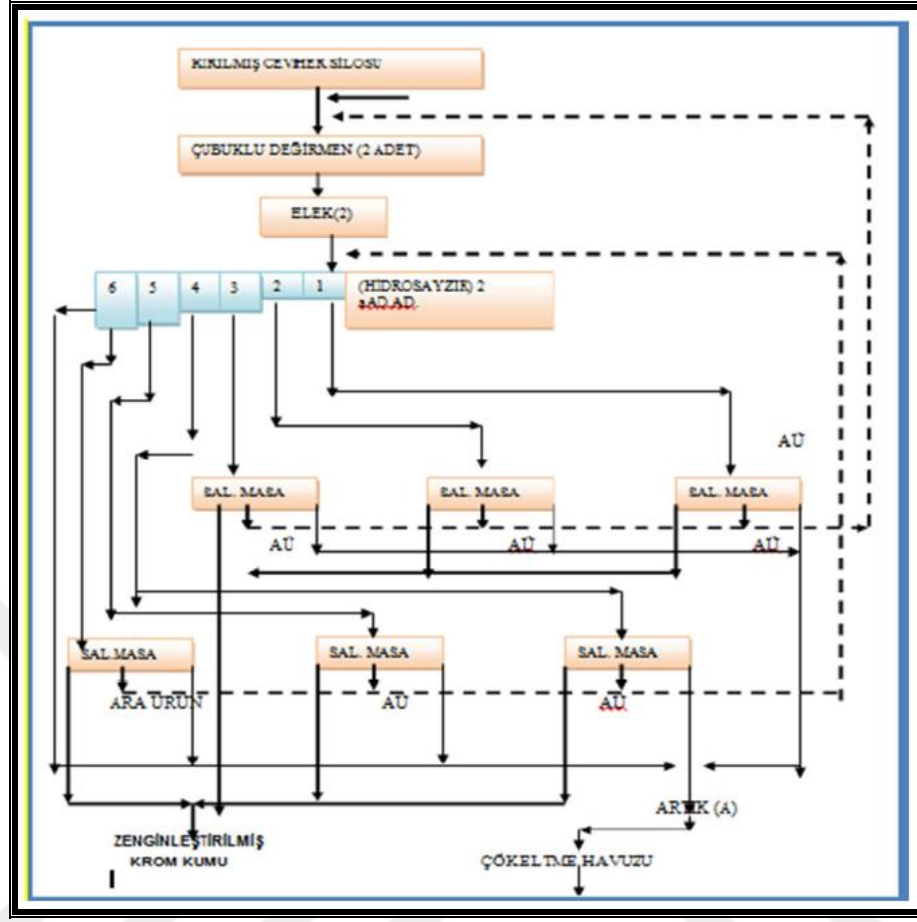


Şekil 4.53. Krom zenginleştirme tesisine ait görünüm.

Değirmen-sallantılı masa proste krom, esas mineral olan kromun serbest kalması için krom madeni kırıcıdan geçirilerek öncelikle kırılır ve değirmene verilir. Kırılmış maden değirmende öğütüldükten sonra elekten geçirilerek hidrosizer ile sallantılı masalara verilir. Sulu ortamda ağırlık farkından faydalanılarak sallantılı masalarda krom ayrılır. Söz konusu işlemler aşamasında kimyevi ve elektrolitik işlemler vb. kullanılmamaktadır.

Sallantılı masalarda işlem tamamlandıktan sonra oluşan konsantre krom, atık ve ara ürün proste farklı yollar izlemektedir. Çıkan ara ürün tekrar işlenmek üzere ara ürün değirmene gönderilmektedir.

Atık, susuzlandırma dikey helezonuna gönderilmektedir. Ayrılan atık kamyonlarla atık depolama alanına nakledilmektedir. Helezondan ayrılan ince ve sulu kısım ise tikiere gönderilmektedir. Tikilerin dibinde biriken yoğun ve ince kısım (şlam) pres filtreye iletilmektedir. Tikinreden taşan su ise geri dönüşüm temiz su havuzuna gönderilmektedir. Pres filtreden geçen temiz su, su havuzuna ve susuzlandırılmış atık ise kamyonlarla depolama alanına gönderilmektedir. Proses suları betonarme havuzda toplanarak dinlendirilmekte ve pompa ile temiz su ile sisteme geri iletilmektedir (Şekil 4.54.).



Şekil 4.54. Konsantre Tesisi İş Akım Şeması

Tesisten çıkan minimum % 46-48 Cr_2O_3 içerik konsantre kromit ise stok sahasında stoklanmaktadır. Piyasa ihtiyacına bağlı olarak kromit kamyonlara yüklenerak yurt içi veya yurt dışı firmalara satılmaktadır.

5. TARTIŞMA

Kromit mineralinin oluşumu, birden fazla elementin ve jeolojik ortamın etkileşimiyle gerçekleşmektedir. Krom, demir, alüminyum, magnezyum, titanyum ve silisyum gibi elementler bu oluşumda doğrudan veya dolaylı olarak rol oynamaktadır. Bu elementlerin oranları, kromitin endüstriyel değerini ve kullanım alanlarını belirleyen kritik faktörlerdendir. Kromit, başlıca krom içerikli mineral olup, doğal olarak tek krom kaynağını oluşturur ve bu nedenle metalurji, refrakter üretimi ve alaşım üretimi gibi endüstrilerde büyük öneme sahiptir (González-Jiménez ve ark., 2014; Ullah ve ark., 2020; Yang ve ark., 2021).

Kromitlerin iki ana türe ayrılabilceği yaygın olarak kabul edilmektedir. Bunlar, kıtasal kabukta yer alan stratiform kromitler ve okyanus mantosundaki podiform (ofiyolitik/ophiolitic) kromitlerdir (Thayer, 1964; Zhou ve ark., 1994; Arai, 2021).

Stratiform ve podiform kromitlerin oluşum mekanizmaları uzun yıllardır araştırılmasına rağmen, hâlâ tartışmaları devam etmektedir. Stratiform kromitlerin, bir kabuk odasında magma kristalleşmesinin sonucu olarak oluştuğu geniş çapta kabul edilir, ancak kromit doygunluğuna sahip magmaların kökeni karmaşık ve çeşitlidir (Yudovskaya ve Kinnaird, 2010; Veksler ve ark., 2015; Latypov ve ark., 2024). Podiform kromitler için ise, bunların okyanus mantosu-kabuk geçiş bölgesinde peridotit-magma etkileşimlerinin ürünü olduğu kabul edilmektedir (Zhou ve ark., 2014; Arai ve Miura, 2016).

Stratiform kromitler, genellikle büyük yatay uzantılara sahip, kıtasal kabukta yer alan, ultramafik ve mafik kayaçlarla sürekli tabakalar halinde bulunan, dünyanın çoğu kaynaklarını barındıran yataklar olarak bilinir (Jenkins ve Mungall, 2018; Langa ve ark., 2021; Latypov ve ark., 2024).

Podiform kromitler ise, genellikle peridotitler içinde dünitik zarflar ile/veya zarfsız, düzensiz pod benzeri gövdeler olarak bulunan ve çapları bezelye boyutundan yüzlerce metreye kadar değişen büyük gövdeler olarak tanımlanır. Bunlar, fanerozoik orojenik kuşaklarda yer alır (Uysal ve ark., 2018; Hu ve ark., 2022; Bo ve ark., 2023; Zhang ve ark., 2024; Cai ve ark., 2025).

Podiform kromitler, mafik-ultramafik magmaların kristalleşme ürünleri olarak, manto erimesi, eriyik-kaya etkileşimi ve sonrasındaki magmatik farklılaşma süreçleri hakkında önemli bilgiler sunar (Pagé ve Barnes, 2009; Arai ve Miura, 2016).

Yüksek oranda kısmi erime, magma karışımı ve eriyik-kaya etkileşimi gibi mekanizmalar, kromitlerin oluşumunda önerilmiştir (Zhou ve ark., 2014; Arai ve Miura, 2016). Kromitlerde ve ilişkili peridotitlerde ultra-yüksek basınç minerallerinin keşfi, podiform kromititlerin oluşum modellerini daha da karmaşıklştırmaktadır (Yang ve ark., 2007, 2021; Das ve ark., 2017; Lian ve ark., 2017). Bu keşif, geleneksel teorilere meydan okur ve oluşum ortamlarının ve ilişkili tektonik ve magmatik süreçlerin potansiyel karmaşıklığını vurgular (Arai, 2013; Zhou ve ark., 2014; Griffin ve ark., 2016).

Podiform kromititlerin oluşumu tam olarak anlaşılmamıştır ve bu oluşumun açıklanması için birkaç model önerilmiştir. Sürekli beslenen bir eriyiğin magmatik yollar boyunca dolaşarak fraksiyonel kristalleşmesi, ana model sınıfı olarak kabul edilmiştir (Lago ve ark., 1982; Leblanc ve Ceuleneer, 1992; Thayer 1964). Diğer süreçler ise üst mantoda magma oluşumu sırasında çok aşamalı kısmi erime, magma ayrışması, eriyik/taş reaksiyonu ve magma karışımı gibi olayları da içerebilmektedir (Leblanc ve Ceuleneer, 1992; Paktunc ve ark., 1990). Bu modeller, eriyik/kayaç etkileşimi ve sonrasında eriyik/eriyik karışımının, podiform kromititlerin oluşumundaki en önemli süreçler olduğunu varsaymaktadır (Arai ve Yurimoto, 1994; Kelemen, 1990; Zhou ve ark., 1996).

Lago ve ark. (1981), podiform kromititlerin temel olarak, mantoda magma iletim yollarını dolduran kumüller olarak oluştuğunu keşfetmişlerdir. Bu süreçte yer alan kromit doygunluğuna sahip magma, bir olivin-kromit kotektik magmanın, mantodaki iletim yolunda peridotit (harzburgit) ile etkileşime girerek oluşan, nispeten silika açısından zengin bir magma ile karışmasından üretilmiştir (Arai ve Yurimoto, 1994; Zhou ve ark., 1994).

Ofiyolitik (Podiform) kromititlerin kökeniyle ilgili standart model, kromititlerin, mafik bir eriyik ile tükenmiş manto harzburgitinin arasındaki bir eriyik-kaya reaksiyonunun sonucu olduğu magmatik modeldir. Ancak, son zamanlarda yapılan çalışmalar, birçok ofiyolitik kromitit içerisinde su içeren fazların bulunduğunu göstermiştir. Bu durum, hidrotermal süreçlerin kromititlerin oluşumunda rol oynamış olabileceği ihtimalini gündeme getirmiştir. Sonuç olarak, kromititlerin oluşumu için çeşitli hidrotermal modeller önerilmiştir (Rollinson, 2025).

Son zamanlarda González-Jiménez ve ark. (2014), ofiyolitik kromititlerin genellikle, manto peridotitlerindeki eriyik/kayaç reaksiyonu ile oluşan, birbirine bağlı, yüksek poroziteli dünit kanallarındaki ağlar içinde oluştuğunu öne sürmüşlerdir. Bu

yüksek poroziteli ve yüksek geçirgenlikli kanallarda yeni bazaltik eriyiklerin karışımı ve kristalleşmesi, kromitlerin oluşumu için ideal bir ortam sağladığını belirtmişlerdir. Ayrıca kromitlerin farklı dokuları, boyutları ve türleri, bu yüksek poroziteli eriyik kanalları ağında, farklı eriyik/kayaç oranlarında ve eriyik ile ana peridotitler arasındaki sıcaklık farklarının bir yansıması olarak eriyik akışını gösterdiğini ve peridotitlere nüfuz eden hidrolik kırılma ile Cr içeren sıvılardan kromit oluşumunu desteklediğini ifade etmişlerdir.

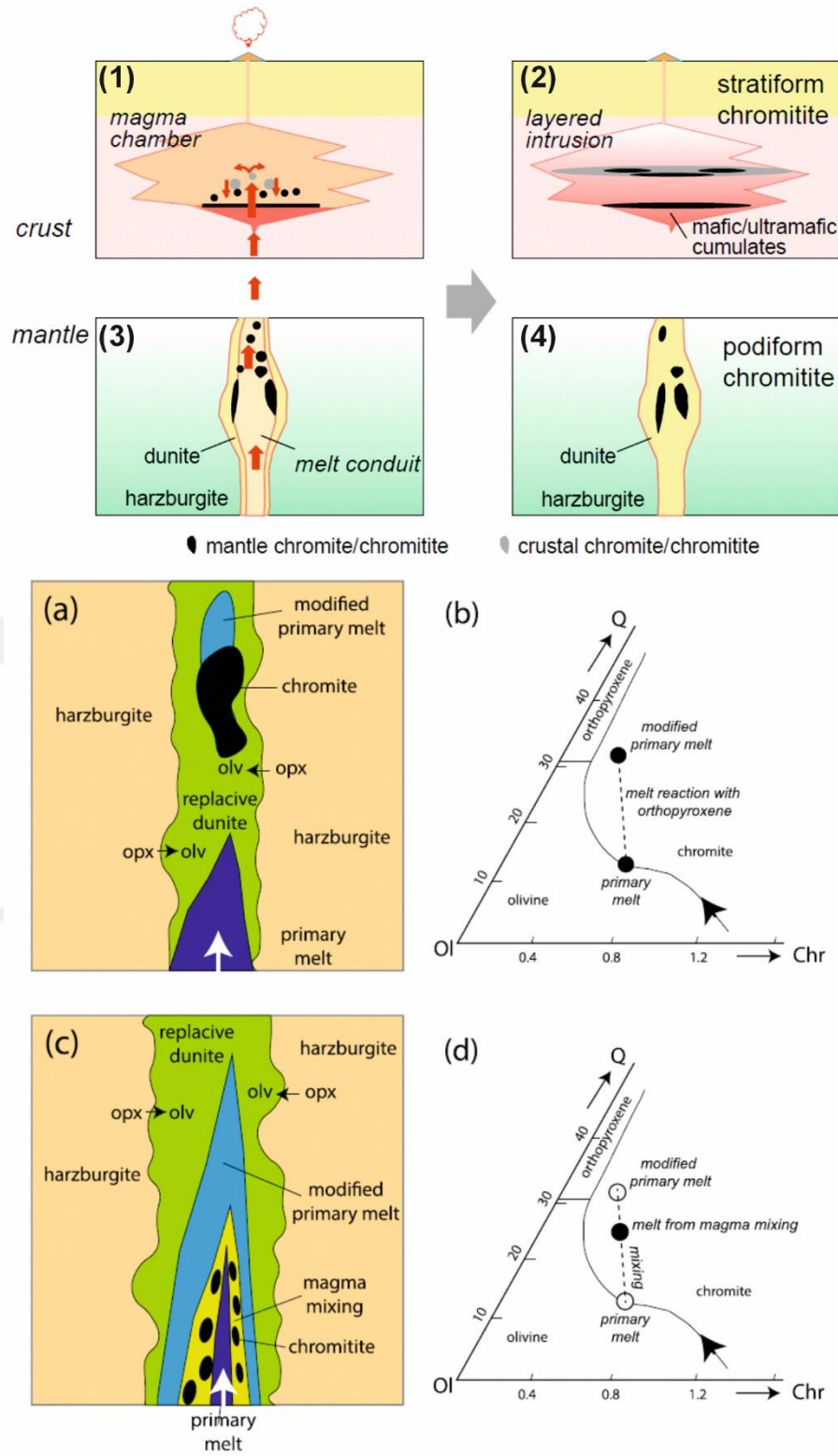
Podiform kromitlerden gelen kromit barındıran eriyik kapanımlar büyük olasılıkla peridotit-eriyik reaksiyonu aşamasında üretilir, ancak erimiş maddenin kromit tarafından tutulmasının kesin mekanizmasının bilinmemektedir. Stratiform kromitlerden gelen kromit barındıran eriyik kapanımlarının başlangıçta mantoda peridotit-eriyik reaksiyonu yoluyla oluştuğunu öne sürmektedir (Şekil 5.1.-1;2) (Arai, 2021). Erimiş maddeleri içeren kromit taneleri muhtemelen manto kanalı boyunca genç podiform kromitleri oluşturmuştur (Şekil 5.1.-3;4). Mantoda magma kanalı boyunca oluşan genç kromitler (podiform kromit) daha sonra gelen magma tarafından parçalanarak askıda kalan kromit taneleri halinde kabuk magma odasına taşınmış, bunun sonunda yeniden çöktürülerek tabakalı kromitin bir parçası haline gelmiştir (Arai, 2021).

Standart magmatik model, Kelemen (1990) ve Kelemen ve arkadaşlarının (1995) tükenmiş manto peridotitlerinde dünitik damarların kökenine dair erken çalışmalarına dayanmaktadır ve daha sonra Zhou ve arkadaşlarının (1996) ve Arai ve Miura (2016) tarafından kromititlerin kökeni için geliştirilmiştir. Tipik olarak, podiform kromititler, tükenmiş manto harzburgitinin içinde bir dünit örtüsüyle çevrelenmiştir. Standart modele göre, bu durum, mafik bir eriyiğin, tükenmiş manto harzburgiti boyunca, çatlaklar boyunca perkolasyon yapması sonucunda meydana gelir. Düşük basınçlarda, bu eriyik ortopiroksen ile dengeye gelmez ve ortopiroksen tüketilerek yerine olivin gelir (Şekil 5.1a). (a) panelde; mafik bir eriyik (birincil eriyik) manto harzburgiti boyunca bir çatlak boyunca hareket etmektedir. Bu süreçte, mafik eriyik ortopiroksen tüketir ve olivin çökeltirerek yer değiştiren dünit oluşmaktadır. Bu reaksiyonun net etkisi, birincil eriyiğin bileşimini değiştirmek ve onu daha silisli hale getirmektir, bu da kromit çökmesini başlatmaktadır. Bu reaksiyon sonucu oluşan ikincil eriyik, birincil eriyikten daha silisli hale gelir. Olivin-kromit-silika sisteminde, birincil eriyik olivin-kromit kotektik boyunca evrilir. Ancak, harzburgitik ana kayaçta ortopiroksen ile reaksiyona girdiğinde, daha silisli olan ikincil eriyik, olivin-kromit kotektik hattından çıkarak kromit stabilite alanına geçer ve kromit kristalleşmesi başlar (Şekil 5.1b). (b) panelde;

bu, Irvine (1975, 1977) tarafından yapılan petrografik ve deneysel çalışmalara dayanan ve Zhou ve arkadaşları (1996) tarafından değiştirilmiş, kısmi şematik bir olivin (Ol)-silika (Q)-kromit (Chr) faz diyagramı ile açıklanmıştır. Diyagram, olivin, kromit ve ortopiroksenin kararlılık alanlarını göstermektedir. Eksenlerdeki değerler katyon yüzdesidir. Birincil eriyik, olivin-kromit kotektik (birliktelik/komşuluk) boyunca evrilir, ancak ortopiroksen absorbe ettikçe silisli hale gelir (değiştirilmiş birincil eriyik) ve kotektikteki eğrilik nedeniyle, kotektikten çıkarak kromit kararlılık alanına geçer ve kromit çökmesini başlatmaktadır.

Ayrıca, birincil eriyik ile daha önce oluşmuş bazı ikincil eriyiklerin karışması da mümkün olabilir (Şekil 5.1c), (c) panelde; ayrıca, birincil eriyik ile değiştirilmiş birincil eriyik arasındaki karışım, birincil eriyikten daha silisli olan eriyikler oluşturur ve bu da kromit kristalleşmesini başlatmaktadır. Bu da birincil eriyik bileşiminin kromit stabilize alanına kaymasına ve kromit kristalleşmesinin başlamasına neden olabilir (Şekil 5.1d) (d) panelde; (c)'de gösterilen karışım süreci, olivin-silika-kromit diyagramında gösterilmektedir (Rollinson, 2025).

Diğer taraftan, hidrotermal bir model savunucuları, ofiyolitlerdeki manto kesimlerinde bulunan kromitlerin, su içeren bir eriyik veya sıvı fazın varlığında oluştuğuna dair son bulgulara dikkat çekmektedir (Matveev ve Ballhaus, 2002; Arai ve Miura, 2016; Johan ve ark., 2017; Su ve ark., 2020, 2021a). Bu durumu destekleyen kanıtlar arasında, kromit ile birlikte kristalleşen ve hem inklüzyonlar hem de arayer mineralleri olarak bulunan su içeren silikat fazları (örneğin; Oman ofiyoliti - Ahmed ve Arai, 2002; Lorand ve Ceulneer, 1989; Rollinson, 2008; Rospabé ve ark., 2017, 2021) yer almaktadır. Ayrıca, su içeren fazları içeren karmaşık, çok fazlı inklüzyonlar, kromitlerde eski eriyik inklüzyonları olarak yorumlanmaktadır (Borisova ve ark., 2012; Rollinson ve ark., 2018; Rollinson, 2025).



Şekil 5.1. Stratiform kromitin manto podiform kromit ile olası bağlantısı (Arai, 2021) ve magmatik model ile podiform kromitin oluşum süreçleri (Rollinson, 2025).

İnceleme alanındaki kayaç, kromit ve kromit-yankayaç özelliklerine (morfolojik ve yapısal özellikler, makro ve mikro dokusal özellikler) baktığımızda; masif-saçılımlı ve bantlı kromitler oluşumları ile onlarla temas halindeki serpantinleşmiş dünit ve yer yer harzburjit oluşumlarının bu teoriye benzer yapıda ve bu bulgularla uyumlu olduğu düşünülmüştür.

Türkiye'deki Kretase ofiyolitlerinin yitim zonları ile ilişkili oldukları birçok araştırmada belirtilmektedir (Yalınız ve Göncüoğlu, 1999; Parlak ve ark., 2002, 2004, 2009; Robertson, 2002, 2004; Göncüoğlu ve ark., 2010). Kromit cevherleri üzerinde yapılan araştırmalar doğrultusunda ofiyolitlerle ilişkili kromit cevherleşmesinin adayayı veya yay önünden (boninitik magma) yay gerisi bir ortama doğru oluşum sergiledikleri belirtilmektedir (Uçurum ve ark., 2000, 2006; Uysal ve ark., 2007; Uysal, 2008). Yitim zonları ile ilişkili oluşan kromit cevherleşmesinin yüksek Cr# (> 60) içeriğine sahip olduğu ifade edilmektedir (Zhou ve ark., 1996).

Ofiyolit barındıran kromitit gövdeleri manto kesitinde ve Moho geçiş bölgesinde dağınık halde bulunabilir. Birkaç çalışma, aynı ofiyolit kompleksinde heterojen Cr# içeren kromititlerin bir arada bulunduğunu bildirmektedir (Uysal ve ark., 2016; Qiu ve ark., 2018; Liu ve ark., 2019). Bu nedenle kromititlerin yüksek-Al ($\text{Cr\#} < 0.50$), orta ($0.50 < \text{Cr\#} < 0.70$) ve yüksek Cr ($\text{Cr\#} > 0.70$) olarak sınıflandırılması söz konusudur (Uysal ve ark., 2016), ancak bazı yazarlar yalnızca yüksek-Cr ($\text{Cr\#} > 0.60$) ve yüksek-Al ($\text{Cr\#} < 0.60$) kromititleri arasında ayırım yapmaktadır (Leblanc ve Nicolas, 1992; Zhou ve ark., 1998; Xiong ve ark., 2017). Klasik genetik modellere göre, Cr-fakir kromitleri okyanus ortası sırtlarında (Uysal ve ark., 2009; Arai ve Miura, 2015), yay gerisi ortamlarda (González-Jiménez ve ark., 2011) veya ofiyolit komplekslerinin supra-Moho kümülat dizisinde oluşur ve burada piroksenit ve peridotit kümülatlarına dönüşümlü uyumlu katmanlar olarak ortaya çıkarlar (Stowe, 1994; Garuti ve ark., 2012). Öte yandan, yüksek kromit içeren krom yatakları daha yüksek magnezyum içeriğine sahip magmalardan (boninitik eriyikler gibi)/ (SSZ) ortamlarında meydana gelirken, yüksek alüminyum içeren kromit yatakları toleyitik eriyiklerden meydana gelmişlerdir (Zhou ve Robinson, 1997; Zhou ve ark., 2001). İnceleme alanlarından alınan kromit cevherleşmesine ait numunelerin Al_2O_3 (ortalama % 2.59) değerlerinin düşük ve MgO (ortalama % 28.25) değerlerinin yüksek olması krom yataklanmasının yüksek magnezyum içeriğine sahip magmalardan meydana geldiğini göstermektedir. İnceleme alanlarında kromitler daha çok bantlı ve saçınımlı yapıda olduğundan Cr_2O_3 (ortalama % 25.80) içeriğinin düşük olması ise normaldir. İnceleme alanlarından alınan kromit

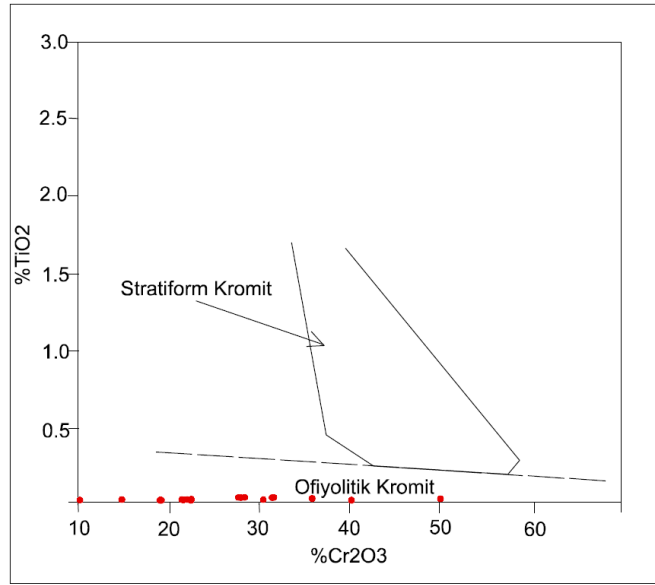
cevherleşmesine ait numunelerde yapılan analiz sonuçlarına göre bölgenin Podiform (Alpin) tipi krom yataklanması olduğunu göstermektedir.

Stratiform tip krom yataklarının rasyo (Cr/Fe oranı) değerinin 1.5-2 arasında, podiform tip krom yataklarının rasyo değeri ise 2'den büyüktür (Tathavadkar ve ark., 2004). İnceleme alanlarından alınan kromit cevherleşmesine ait numunelerin analiz sonuçlarına göre rasyo (Cr/Fe oranı) değerinin ortalamasının 2.09 olduğunu göstermektedir. Kromit cevherleşmesine ait numunelerin analiz sonuçlarına göre inceleme alanlarının Alpin tip (podiform) krom yatağı özelliği taşıdığını göstermektedir.

Kromit bileşimine dayanarak, podiformlu kromit yatakları yüksek Cr ve yüksek Al tiplerine sınıflandırılabilir. Kromit $Cr\# [= 100 * Cr / (Cr + Al)]$ değerleri > 60 olan ilk tip, genellikle bir dalma-batma zonu/suprasubdüksiyon zonu/supra subduction zone (SSZ) ortamında boninitik magmalar ve refrakter manto peridotiti arasındaki etkileşimler yoluyla oluştuğu şeklinde yorumlanır (Rollinson ve Adetunji, 2013; Zhou ve ark., 2014). Buna karşılık, kromit $Cr\#$ değerleri < 60 olan ikinci tipin, daha çok okyanus ortası sırtı/ mid-ocean ridge (MOR) benzeri bir ortamdan gelen toleyitik eriyiklerle ilişkili olduğu ileri sürülmektedir (Arai ve Miura, 2015; Zhou ve ark., 2014). Dahası, yüksek-Al kromitinin artık dalma başlangıcı sırasında oluştuğuna inanılmaktadır (Rui ve ark., 2022; Zhang ve ark., 2024). PGE elementleri, kromitlerin oluşumunda rol oynayan manto süreçlerinin (kükürt doygunluk durumu, oksijen fugasitesi/kaçığı) fiziko-kimyasal koşullarını anlamak için değerli petrojenetik araçlar olabilir (Ahmed ve Arai, 2002; Jannessary ve ark., 2012; Su ve ark., 2020, 2023).

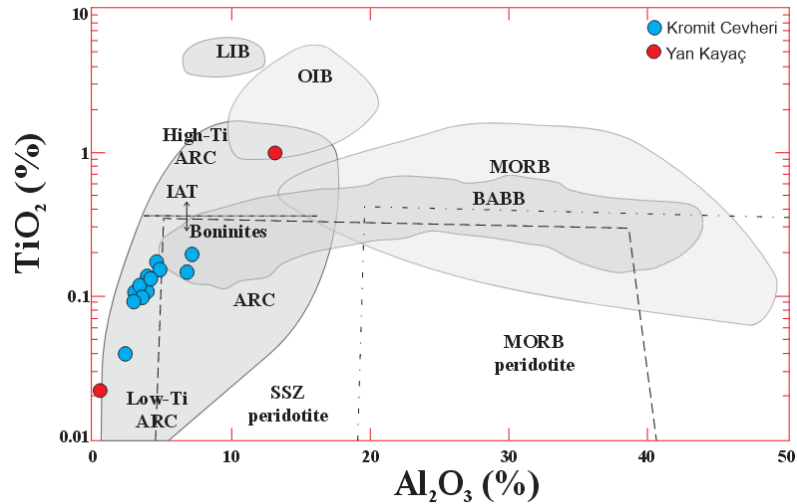
Kromitlerin kimyasal bileşimi, magmatik oluşumu göstermek için yaygın olarak bir gösterge olarak kullanılır ve tektonik ortam hakkında ipuçları sağlayabilmektedir (Kamenetsky ve ark., 2001). Neredeyse tüm kromitlerin yüksek $Cr\#$ değeri, boninitik magma ile ilişkilendirilebilir (Johnson ve ark., 1985).

İnceleme alanındaki kromit numunelerinin kimyasal karakterini ortaya koymak için TiO_2 - Cr_2O_3 diyagramından faydalanılmıştır. Kromit numunelerine ait kimyasal analiz sonuçlarına göre TiO_2 - Cr_2O_3 diyagramında ofiyolitik kromit ve stratiform kromit sınır ayrımı yapılmış olup kromit minerallerinin hepsi ofiyolitik kromit sınırları içerisinde kaldığı tespit edilmiştir (Şekil 5.2.).



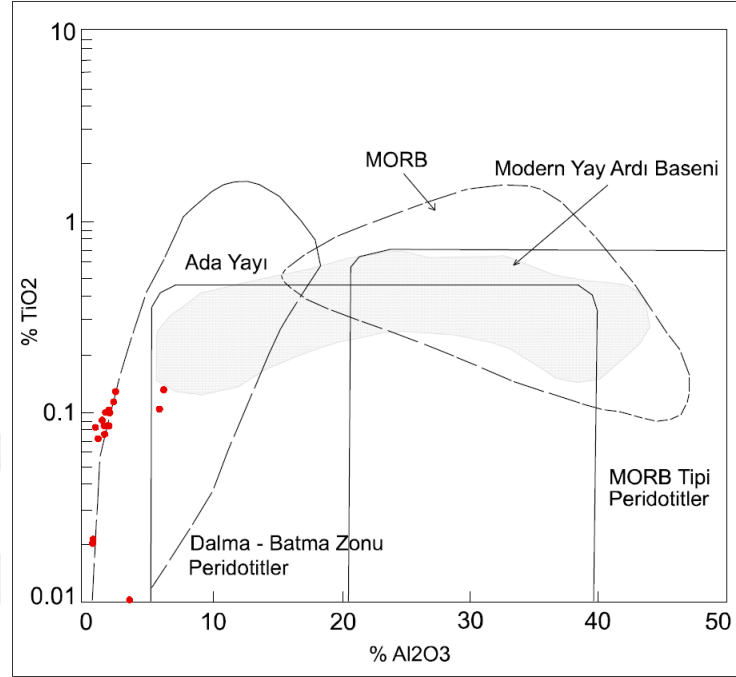
Şekil 5.2. $\text{TiO}_2\text{-Cr}_2\text{O}_3$ diyagramında ofiyolitik kromit ve stratiform kromit sınır ayrımı (Arai ve ark., 2004).

Farklı tektonik ortamlardan peridotitleri ayırt etmek için $\text{TiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ diyagramında faydalanılmıştır. İnceleme alanlarından alınan kromit cevher numuneleri genel olarak düşük Ti içerikli yay alanında, 2 adet numune ise boninitik alanına düşmektedir. Yan kayaç numunelerinden 1 adet numune okyanus adaları bazaltı alanına ve 1 adet numune ise düşük Ti içerikli yay alanına düşmektedir (Şekil 5.3.).



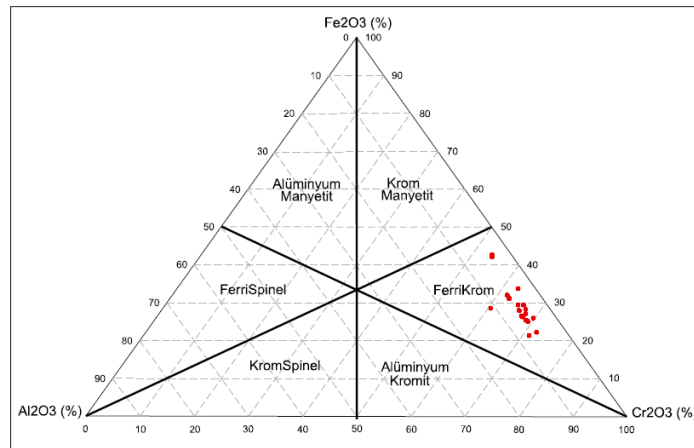
Şekil 5.3. $\text{TiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ diyagramı (Kamenetsky ve ark., 2001). (**MORBS**: mid-ocean ridge basalts/okyanus ortası sırt bazaltları, **IAT** = island arc tholeiites/ada yayı toleyiti, **BABB** = back-arc basin basalts/yay-ardı havza bazaltları, **OIB** = ocean islands basalts/okyanus adaları bazaltları, **LIP** = large igneous province (basalts)/büyük magmatik bölge (bazaltlar), **ARC**/Yay, **High-Ti ARC**/Yüksek Ti içerikli yay, **Low-Ti ARC**/Düşük Ti içerikli yay, **MORB peridotite**/MORB peridotit, **SSZ peridotite**/SSZ (yitim zonu) peridotit, **Boninites**/Boninitler, **HCK**= Hatip-Çayırbağı bölgesindeki ofiyolitik kayaçlar, **AK**= Altnekin bölgesindeki ofiyolitik kayaçlar, **YK**= Yükselen bölgesindeki ofiyolitik kayaçlar).

Kromit numunelerine ait kimyasal analiz sonuçlarına göre TiO_2 - Al_2O_3 diyagramında 2 adet numunenin ada yayı ve dalma batma zonu peridotitleri sınırlarının ortak kısmına ve 8 adet numunenin ada yayı sınırlarına düşmektedir (Şekil 5.4.).



Şekil 5.4. TiO_2 - Al_2O_3 diyagramı (tektonik ortamların sınırları) (Kamenetsky, 2001).

Kromit numunelerine ait kimyasal analiz sonuçlarına göre elde edilen Cr_2O_3 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 değerleri % 100'e tamamlanarak üçgen diyagramında (Stevens, 1944) gösterilmiştir. Cr_2O_3 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 içeriklerine göre hazırlanan üçgen diyagramında analiz sonuçlarının ferrikrom sınır bölgesinde yer aldığı görülmektedir (Şekil 5.5.).



Şekil 5.5. Kromit numelerinin Fe_2O_3 - Al_2O_3 - Cr_2O_3 Stevens üçgen diyagramında sınıflandırılması (Stevens, 1944).

Silikat, baz metal sülfürleri (BMS'ler) ve platin grubu mineralleri (PGM'ler) gibi kromitlerin içindeki mineral kapanımların varlığı, kromit kristalleşmesinin basıncı, sıcaklığı ve derinliği hakkında ek petrojenetik bilgi sunar (Melcher ve ark., 1997; Borisova ve ark., 2012). Kromit cevher numunelerinin Al, Fe, Si içerikleri ile eser element bileşimlerinin (Sc, Ti, V, Mn, Co, Ni, Zn ve Ga) kromit cevherinin kullanım alanlarının belirlenmesi ve kromit oluşumlarının magmatik ayrışma süreçleri ile jeotektonik ortamını ayırt etmede etkili olduğu ifade edilmiştir (Pagé ve Barnes, 2009).

Ni elementi bir magmatik eriyik içerisinde Ni içeren mineralleri oluşturabildiği gibi Fe ve Mg elementlerinin yerine geçerek kromit ve olivin yapısında girebilmektedir. İyonik özellikleri Ni elementine benzeyen Co elementi ise Ni elementinin yer aldığı tüm minerallerin yapısına girebilmektedir (Faure, 1994).

Ni elementi magmatik eriyikler içerisinde pentlandit mineralini oluşturmasının yanı sıra, diğer mineraller içerisinde Fe ve Mg'un yerini alarak özellikle olivin, kromit, az oranda piroksen ve manyetit yapısına girmektedir. Co elementi, iyonik yarıçapı ve elektronegatiflik değerlerinin benzerliği nedeniyle Ni'in bulunduğu tüm minerallerin yapılarına girmektedir (Baş ve Terzioğlu, 1986). Podiform tip kromitlerin ana bileşeni kromit ve olivindir. V ve Zn, kromit için uyumlu, olivin minerali için uyumsuz elementlerdir. Magmatik ayrışma sırasında Zn ve V elementleri kromit ile pozitif bir korelasyon göstermesi kromit cevherinin modal mineralojik özelliğinden kaynaklanmaktadır (Zhou ve ark., 1998).

İnceleme alanlarından alınan kromit cevher numunelerinin üzerinde gerçekleştirilen korelasyon, cluster (küme) ve temel bileşen analizlerine (PCA) göre de Ni, Co, V, Zn element değerlerine karşı % Cr_2O_3 değerlerinin dağılımlarına bakıldığında, Zn, Co ve V elementleri ile pozitif korelasyon, Ni ile negatif korelasyon göstermektedir.

Bu değerlendirmeler doğrultusunda kromit, özellikle mafik ve ultramafik kayalarda, yani yüksek demir, magnezyum ve bazik elementler içeren ortamlarda oluşur. Bu ortamlarda, Zn, V, Zr ve Cr gibi elementler birbirine benzer jeokimyasal koşullarda çökelme eğiliminde olabilir. Özellikle vanadyum ve zirkonyum, bazik ortamlar ve magmatik kayalarda daha yaygın olarak bulunur ve bu ortamlar da kromit minerallerinin yoğunlaşmasını teşvik eder. Bu elementlerin, magmatik kayalar ve ultrabazik ortamlarda bir arada bulunmaları, bu elementlerin aynı magmatik süreçlere dâhil olmalarından kaynaklanabilir. V ve Zr gibi elementler, genellikle magmatik kristalleşme sürecinde, özellikle yüksek sıcaklıkta, kromit gibi minerallerle birlikte

çökelmeye meyilli olabilir. Bu da bu elementler arasında pozitif bir korelasyon yaratabilir. V ve Zr, genellikle spinel yapısında yer alabilen elementlerdir. Bu nedenle kromit oluşumunda bu elementlerin de birlikte kristalleşmesi mümkün olabilir. Ayrıca, Zn ve Cr'in benzer fiziksel ve kimyasal koşullarda birlikte çökeltme eğilimleri, özellikle yüksek sıcaklık ve basınç altında daha belirgin hale geldiğini bize göstermektedir.

Kromit ve sülfürlü mineraller arasında doğrudan bir ilişki olmamakla birlikte, bu minerallerin ortak bir magmatik ortamda veya yüksek sıcaklık ve basınç koşullarında çökmesi mümkündür. Krom, genellikle oksit formunda bulunan bir elementken, sülfürlü mineraller sülfürlü bileşikler içerir. Ancak, krom ve sülfürlü mineraller, özellikle krom içeren sülfür bileşikleri ve kromit minerali oluşum sürecinde benzer ortamları paylaşabilirler ve bazen birbirleriyle etkileşimde bulunarak bir arada çözünme veya kristalleşme eğiliminde olabilirler.

Kromit ve millerit, farklı kimyasal bileşimlere sahip mineraller olsalar da, özellikle mafik ve ultrabazik kayalar gibi benzer jeolojik ortamlar içinde bir arada bulunabilirler. Kromit, Cr^{3+} ve Fe^{2+} içeren bir oksit mineralidir, millerit ise NiS formunda bir sülfürlü mineraldir. Bu iki mineralin birlikte oluşması, sülfürlü minerallerin ve magmatik süreçlerin etkisiyle, özellikle sülfürlü gazlar ve eriyiklerin bulunduğu ortamlarda mümkündür.

Nikel sülfür cevherlerindeki başlıca nikel minerali pentlandittir (NiFeS) daha az yaygın nikel sülfürleri arasında millerit (NiS), violarit (Ni_2FeS_4), polidimit (Ni_3S_4), siegenit ($(\text{Co,Ni})_3\text{S}_4$) ve heazlewoodit (Ni_3S_2) bulunur. Pentlandit esas olarak köpük flotasyonu ile elde edilir ve pentlanditin flotasyon davranışı iyi bilinir ve tanımlanmıştır. Ancak literatürde milleritin flotasyon davranışı hakkında çok az veri bulunmaktadır (Bulatovic, 1976). Millerit nispeten nadir bir sülfür mineralidir ve çoğunlukla pentlanditin yerine hidrotermal yataklarda bulunur. Bulatovic (2007), millerit, gersdorffit ve nikolitin pentlandite benzer flotasyon özelliklerine sahip olduğunu ancak oksijen varlığında daha kolay oksitlenme eğiliminde olduğunu iddia eder. Ayrıca, nikel sülfür minerallerinin genel olarak pH 9.5'ten büyük değerlerde kireçle çöktürülebileceğini, milleritin ise pH 10'a kadar çökmediğini iddia eder.

Heazlewoodit, millerit ve Ni-Fe alaşımları ofiyolit kromitleri içindeki en yaygın ikincil baz metal mineralleridir (Klein ve Bach, 2009). Pentlanditin heazlewoodite dönüşümü 550 °C'nin altında gerçekleşirken, Ni-Fe alaşımlarının oluşumunun indirgeyici koşullar altında 360-445 °C olduğu tahmin edilmektedir (Tzamos ve ark., 2016). Godlevskite, serpantinleşmiş masifler içinde yaygın bir diğer

ikincil baz metal mineraldir (BMM) ve serpantinleşme sırasında birincil sülfitlerin veya heazlewooditin yerini aldığı düşünülmektedir (Klein ve Bach, 2009). Dahası, heazlewoodit ve godlevskite, ultramafik kayaların hidrotermal alterasyonu sonucu oluşan steatitleşmesi sırasında olduğu gibi fO_2 ve fS_2 artarsa millerit ile yer değiştirebilir (Klein ve Bach, 2009).

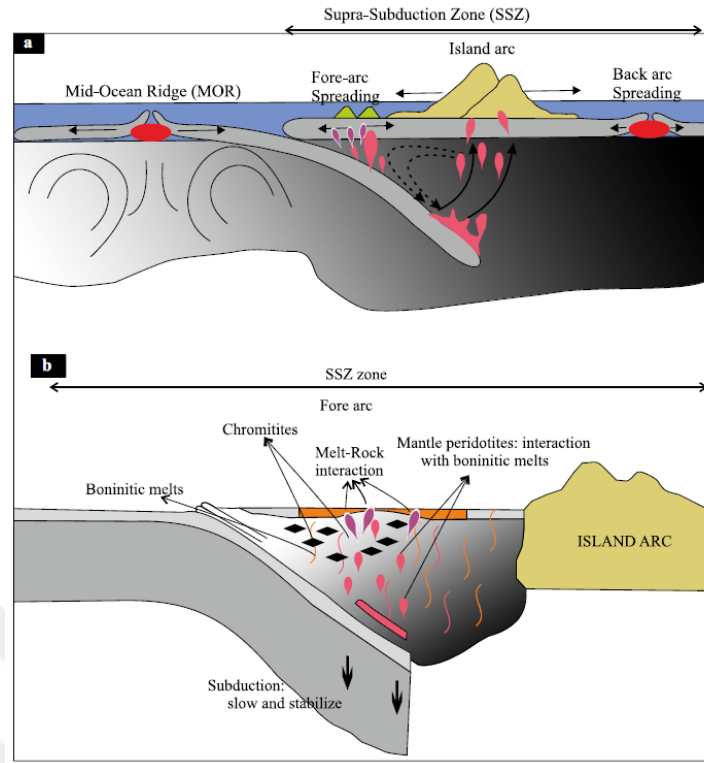
Nikel sülfür minerali olan pentlandit % 25-41 aralığında nikel içermektedir. Millerit ise % 44-65 aralığında nikel içermektedir (Boldt, 1967; Caneb, 2007). İnceleme alanlarından alınan kromit cevher numuneleri üzerinde yapılan SEM analizlerine göre S içeriği % 36.80-40.71 aralığında ve Ni içeriği % 44.97-61.95 aralığında değişim göstermektedir. SEM analizleri sonuçlarına göre 2 adet kromit numunesi içerisinde bulunan mineralin millerit olduğu kanaatine varılmıştır. Millerit mineralinin bulunması magmatik ve metamorfik süreçler esnasında yer kabuğunda bulunan kimyasal elementlerin etkileşime girerek millerit oluşumuna neden olduğu, kromit alterasyonu ile üretilen gözenekleri millerit mineralinin doldurduğu düşünülmektedir. Serpantinleşme gibi düşük sıcaklık süreçleri, peridotit gibi ultramafik kayaların kimyasal dönüşümünü sağlayarak nikel içeren sülfürlü mineraller ile birlikte millerit mineralinin ortaya çıkması da muhtemel bir olasılıktır.

Subdüksiyon taklidinin ilk aşamalarında, birçok ofiyolitteki boninitik magmaların varlığı, yay önü ortamlarında oluşumuna işaret eder. Podiform kromitlerin kökenine ilişkin mevcut anlayış, bunların SSZ manto kamalarında, peridotitlerle erimiş kaya reaksiyonu geçiren ark/yay toleyitik veya boninitik magmalardan kromit çökmesiyle oluştuğudur (Zhou ve ark. 1996; Rollinson, 2005; Rollinson ve Adetunji, 2013; González-Jiménez ve ark. 2013). Insergueix-Filippi ve arkadaşları (2000), subdüksiyon başlangıcının en erken aşamalarında boninitik magmatizmanın varlığını açıklar; bu, manto kamasındaki yüksek sıcaklıkların tutulması, okyanus ortası sırtı bazaltları/mid-ocean ridge basalts (MORB) magmatizmanın kademeli olarak yok olması ve ark magmatizmanın başlangıcıyla kısmen eşzamanlıdır. Podiform kromitlerin şu anda SSZ kamalarında peridotitlerin sulu erimesiyle oluştuğu düşünülmekte ve yüksek-Cr kromitinin SSZ manto kamalarında sulu erimeler ve harzburjitler arasındaki reaksiyonla üretilebileceğine dair önemli kanıtlar bulunmaktadır (Zhou ve ark., 1996).

Podiform kromitlerin oluşumu ve bunların kompozisyonel özellikleri SSZ (Cr-zengin kromitit) veya okyanus ortası sırtı (MOR) (Al-zengin kromitit) ile bağlantılıdır (Dick ve Bullen, 1984; Kamenetsky ve ark., 2001; Arai ve ark., 2006). Bu ortamlarda, mafik magmaların kristalleşmesi veya eriyik-kayaç etkileşimi, ofiyolitik dizilerin manto

kısımında podiform kromitlerin oluşumuna yol açacaktır (Zhou ve ark., 1994; Xiong ve ark., 2017). Jeokimyasal özellikleri açısından, Cr-zengin ve Al-zengin kromitlerin ana eriyikleri sırasıyla boninitik ve toleyitik afinitelere sahiptir (Maurel ve Maurel, 1982; Uysal ve ark., 2009). Bazen, her iki tür de aynı kompleks içinde veya yakın mesafede bir arada bulunabilir; bu, Tetis ofiyolitlerinde oldukça yaygın bir olgudur (Xiong ve ark., 2017, 2018).

Podiform kromitlerde bulunan en yaygın magmatik silikatlar, daha az miktarda amfibol ve flogopit eşliğinde olivin ve piroksendir (Melcher ve ark., 1997; Uysal ve ark., 2009). Podiform kromitlerde, Ni-Fe-Cu sülfürleri ve platin grubu mineralleri (PGM) gibi bir dizi aksesuar magmatik faz bulunabilir ve bu da onları yüksek sıcaklıklarda oluşumlarına yol açan süreçleri çözmek için potansiyel bir araç haline getirir (Melcher ve ark., 1997; Uysal ve ark., 2009). Ancak, ofiyolitler birçok durumda düşük T alterasyonuna ve metasomatik süreçlere veya yüksek dereceli metamorfizmaya maruz kalırlar ve bu durum kromit gövdelerini etkileyerek mineralojik değişikliklere neden olabilir (Zaccarini ve ark., 2005; González-Jiménez ve ark., 2015; Xiong ve ark., 2021). Birincil silikatlar serpantin, talk, klorit ve daha az ölçüde ikincil Cr taşıyan garnet'e dönüşür (Tsoupas ve Economou-Eliopoulos, 2008; Kapsiotis ve ark., 2017; Farré-de-Pablo ve ark., 2021). Spinel ve PGM genellikle hidrotermal ve metamorfik üst baskılara karşı daha az duyarlı olsalar da (Sideridis ve ark., 2022), benzersiz dokular üretebilir ve birincil kompozisyonel ve mineralojik topluluklarını değiştirebilirler (Zaccarini ve ark., 2005; Kapsiotis ve ark., 2009; Gervilla ve ark., 2012; Arai ve ark., 2020; Grieco ve ark., 2020; Farré-de-Pablo ve ark., 2021) (Şekil 5.6.).



Şekil 5.6. Yay peridotitlerinin ve kromitlerinin evrimi için önerilen tektonik modeli gösteren şematik diyagramlar (**a**) Okyanus litosferinin subdüksiyonu sırasında ön yay altındaki mantonun kısmi erimesi. **b)** Biriken mantonun subdüksiyonla erimesi (Üner, 2021).

Bu modelde, manto kaması içindeki yüksek sıcaklıkların korunması, dalma başlangıcının erken evrelerinde boninitik magmatizmanın oluşumuna yardımcı olmakta ve bu da kısmen MORB magmatizmasının kademeli olarak ortadan kalkması ve ark magmatizmasının başlangıcıyla çakışır. Bölgedeki peridotitler, Neotetis okyanus litosferinin parçalarının dalması sonucu SSZ ortamında oluşmuştur ve birkaç kez kırılmıştır (Üner, 2021).

Daha eski okyanus litosferinin daha genç bir okyanus litosferinin altına batmasıyla, astenosfer batma levhasının üzerine ilerledi ve bunun sonucunda litosferde ve ön yay okyanus tabanında basınç azalması ve erime meydana geldi, ve de yayılma meydana geldi. Oluşan eriyik, ön yay ile benzer kaya kimyasına sahip olup yüksek-Cr kromit oluşturdu. Derinlikte batma levhasının hareketi, sıvıların batma levhasından ayrılması ve bu sıvıların yükselen mantoya girmesi, daha önce tükenmiş olan harzburjitin erimesine neden oldu. LILE ve HFS elementleri ile (LILE: Large-ion lithophile elements (K, Rb, Sr, Eu elementler gibi), HFS: High-field strength elements (Hf, Zr, Ti, Nb elementler gibi)) zenginleştirilmiş klinopiroksen açısından fakir manto peridotitlerinin kısmen erimesi ve batma levhasından türeyen tortul eriyiklerin

eklenmesiyle boninitik kayaçların ana magmalarının oluşumuna yol açtığı düşünülmektedir. Sürecin devam etmesiyle, erime noktasındaki artışla (yaklaşık % 20) daha verimli bir peridotit zonu oluşur. Bu etkileşimler sonucunda boninitik magma gelişmiştir. Yüksek-Cr kromitlerinin bir başka belirticidir. Bu modelde, bir sırt ekseninde batmanın başlaması, yükselen litosfer akışını hemen durdurmaz, ancak üst kısmının kaybolan litosferle aynı yönde sapmasına neden olur (Üner, 2021). İnceleme alanlarındaki kromit cevherleşmelerinin boninitik magmada ve yay gerisinde olduğu tespit edilmiştir.



6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Adaören Mahallesi ve Boyalıca Mahallesi civarlarındaki inceleme alanlarındaki kromit cevherleşmeleri üzerinde yapılan çalışmalara istinaden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 1) İnceleme alanlarında gözlemlenen kromit cevherleşmesi ofiyolitlere bağlı olarak gelişmiştir.
- 2) İnceleme alanlarındaki kromit cevherleri bantlı, dissemine ve masif yapıda gözlenmektedir.
- 3) Kromit numunelerinden yapılan kimyasal analizlere göre, kromitler % 9.43-50.4 arasında Cr_2O_3 içermektedir. İnceleme alanlarından alınan kromit numunelerinin ortalama Cr_2O_3 içeriği % 25.80, ortalama Al_2O_3 içeriği % 2.59, ortalama MgO içeriği % 28.25 ve ortalama TiO_2 içeriği ise % 0.083 civarındadır.
- 4) Boyalıca Mahallesi civarındaki inceleme alanından alınan numunelerde yapılan analiz sonucuna göre cevherin ortalama Cr_2O_3 içeriği % 21 civarındadır.
- 5) Adaören Mahallesi civarındaki inceleme alanından alınan numunelerde yapılan analiz sonucuna göre cevherin ortalama Cr_2O_3 içeriği % 27 civarındadır.
- 6) Kromit numuneleri içerisindeki % Cr_2O_3 ile ana oksit % MgO , % Fe_2O_3 ve % Al_2O_3 oranlarının karşılaştırmalı diyagramlarına göre, kromit cevherinin içerdiği Al_2O_3 ve Fe_2O_3 oranları arttıkça Cr_2O_3 oranı da artmakta ve MgO oranı azaldıkça Cr_2O_3 oranı artmaktadır. Kromit numuneleri içerisindeki ana oksit değerlerinden Cr_2O_3 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 ile pozitif korelasyon gösterirken MgO ile negatif korelasyon göstermektedir.
- 7) İnceleme alanlarından alınan kromit cevherleşmesine ait numunelerin analiz sonuçlarına göre rasyo (Cr/Fe oranı) değerinin 1.17 ile 3.11 aralığında olduğu ve ortalamasının 2.09 olduğunu göstermektedir.
- 8) Kromit numuneleri içerisindeki % Cr_2O_3 ile iz elementleri olan Ni (ppm), Zn (ppm), V (ppm) ve Co (ppm) oranlarının karşılaştırmalı diyagramlarına göre,

kromit cevherinin içerdği Zn ve V oranları arttıkça Cr_2O_3 oranı da artmakta ve Ni oranı azaldıkça Cr_2O_3 oranı artmaktadır. Kromit numuneleri içerisindeki iz element değerlerinden Zn, Co, V ile pozitif korelasyon, Ni ile negatif korelasyon göstermektedir.

- 9) Kromit cevher numuneleri üzerinde mevcut durumdaki bileşenler göz önüne alınarak kümelenme durumlarının tespiti için korelasyon katsayı değerleri baz alınarak cluster (küme) analiz metodu uygulanmış ve 5 ana grup belirlenmiştir. Buna göre, Cr_2O_3 ile V önce bir araya gelmiş olup sonra ortama Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Zr gelmiş ve daha sonrada Zn ve Gd elementleri birlikte ortama katılmış ve en son TiO_2 ortama eklenmiştir. Daha sonra ortama diğer ana oksit ve elementlerin katıldığı belirlenmiştir.
- 10) İnceleme alanlarından alınan kromit cevher numunelerinin analizleri sonucu elde edilen ana oksit ve iz element değerlerinin birbirleriyle olan ilişkileri basit korelasyon analizleriyle değerlendirilmiştir. Buna göre, Cr_2O_3 ; V ile çok kuvvetli pozitif korelasyona; Fe_2O_3 ve Zr ile kuvvetli pozitif korelasyona; Ni ile kuvvetli negatif korelasyona sahip olduğu belirlenmiştir.
- 11) İnceleme alanlarından alınan kromit cevher numunelerinin analiz sonuçlarına ait ana oksit ve iz elementlerinin dağılım ve ilişkilerini ortaya koymak amacıyla box plots grafiği üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Buna göre, Al_2O_3 , SiO_2 , Cr_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO, Ni, S, Zr, Tb, Eu için EF değerlerinin veri aralıkları geniş aralık gösterdiği, diğerleri ise ortalama değerlere yakın bir aralıkta olduğu, Cr_2O_3 değerlendirmesinde ise bir değer (numune no: C20) standart değerlerinin dışında yüksek bir değere sahip olduğu tespit edilmiştir.
- 12) Kromit cevher numunelerinin analizi yapılan ana oksit ve iz element değerleri üzerinde yapılan EF hesaplamaları sonucunda, MnO, K_2O , Na_2O , TiO_2 , Cl, Ni, Zn, S, Zr, Sr, Re, Gd, V, Sn, Tb, Dy, Eu, Hf, Co, Ga ve W için EF değerlerinin çoğu < 2 olduğu, ana oksit ve iz elementler açısından az zenginleşme durumunun olduğunu gösterdiği, MgO, SiO_2 ve Cr_2O_3 açısından ise $\text{EF} > 25$ değerlerinin olduğu, bu da yüksek zenginleşmeye işaret ettiği belirlenmiştir.
- 13) İnceleme alanlarından alınan kromit cevher numunelerinin analiz sonuçlarına ait ana oksit ve iz elementlerinin dağılım ve ilişkilerini ortaya koymak amacıyla temel bileşen analizi (PCA) yapılmış olup bu analize göre, Cr_2O_3 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 ve V olmak üzere ana oksit ve iz elementinin birlikte hareket

ettiği, TiO_2 , MnO , Gd ve Zn olmak üzere ana oksit ve iz elementinin birlikte pozitif korelasyon gösterdiği, Sr , Sn , Re , Dy , Tb , Eu , Hf , W , Zr , Cl , S , Co , Ga , Ni , CaO , SiO_2 ve MgO ana oksit ve iz elementlerinin ortama sonradan geldiği tespit edilmiştir.

- 14) İnceleme alanlarından alınan kromit cevherleşmesine ait numunelerin Al_2O_3 (ortalama % 2.59) değerlerinin düşük ve MgO (ortalama % 28.25) değerlerinin yüksek olması krom yataklanmasının yüksek magnezyum içeriğine sahip magmalardan meydana geldiğini göstermektedir.
- 15) Kromit cevherleşmesine ait numunelerin analiz sonuçlarına göre inceleme alanlarının Alpin tip (podiform) krom yatağı özelliği taşıdığını göstermektedir.
- 16) Kromit numunelerine ait kimyasal analiz sonuçlarına göre $\text{TiO}_2\text{-Cr}_2\text{O}_3$ diyagramında ofiyolitik kromit ve stratiform kromit sınır ayrımı yapılmış olup kromit minerallerinin hepsi ofiyolitik kromit sınırları içerisinde kaldığı tespit edilmiştir.
- 17) Kromit numunelerine ait kimyasal analiz sonuçlarına göre $\text{TiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ diyagramında 2 adet numunenin ada yayı ve dalma batma zonu peridotitleri sınırlarının ortak kısmına ve 8 adet numunenin ada yayı sınırlarına düştüğü tespit edilmiştir.
- 18) Cr_2O_3 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 içeriklerine göre hazırlanan üçgen diyagramında analiz sonuçlarının ferrikrom sınır bölgesinde yer aldığı görülmektedir.
- 19) İnceleme alanlarından alınan kromit cevher numunelerinin üzerinde gerçekleştirilen korelasyon, cluster (küme) ve temel bileşen analizlerine (PCA) göre de Ni , Co , V , Zn element değerlerine karşı % Cr_2O_3 değerlerinin dağılımlarına bakıldığında, Zn , Co ve V elementleri ile pozitif korelasyon, Ni ile negatif korelasyon göstermektedir.
- 20) Kromit, özellikle mafik ve ultramafik kayalarda, yani yüksek demir, magnezyum ve bazik elementler içeren ortamlarda oluşur. Bu ortamlarda, Zn , V , Zr ve Cr gibi elementler birbirine benzer jeokimyasal koşullarda çökelme eğiliminde olabilir. Özellikle vanadyum ve zirkonyum, bazik ortamlar ve magmatik kayalarda daha yaygın olarak bulunur ve bu ortamlar da krom minerallerinin yoğunlaşmasını teşvik eder. Bu elementlerin, magmatik kayalar ve ultrabazik ortamlarda bir arada bulunmaları, bu elementlerin aynı magmatik süreçlere dâhil olmalarından kaynaklanabilir. V

ve Zr gibi elementler, genellikle magmatik kristalleşme sürecinde, özellikle yüksek sıcaklıkta, kromit gibi minerallerle birlikte çökmeye meyilli olabilir. Bu da bu elementler arasında pozitif bir korelasyon yaratabilir.

- 21) İnceleme alanlarından alınan kromit cevher numuneleri üzerinde yapılan SEM analizlerine göre S içeriği % 36.80-40.71 aralığında ve Ni içeriği % 44.97-61.95 aralığında değişim göstermektedir. SEM analizleri sonuçlarına göre 2 adet kromit numunesi içerisinde bulunan mineralin millerit olduğu kanaatine varılmıştır.
- 22) İnceleme alanlarındaki kromit cevherleşmelerinin boninitik magmada ve yay gerisinde olduğu tespit edilmiştir.

6.2. Öneriler

Türkiye, dünya genelinde önemli krom üreticilerinden biri olup çeşitli bölgelerinde zengin kromit maden yataklarına sahiptir. Türkiye'nin jeolojik haritaları, akademik araştırmalar ve sektör raporları kromit oluşumlarının yoğunlaştığı bölgeleri anlamamıza yardımcı olabilir. Özellikle ofiyolitik kayaçların yaygın olduğu bölgeler kromit yatakları açısından potansiyel taşıyabilir. Potansiyel gördüğümüz bölgelerde saha ziyaretleri yaparak mevcut işletmeleri, terk edilmiş ocakları ve arazi yapısını incelemek yerinde olacaktır. Bu, yatakların büyüklüğü, tenörü ve işletme koşulları hakkında ilk elden bilgi sağlayabilir. Bölgedeki yerel halkla, madencilikle uğraşan kişilerle veya ilgili meslek odalarıyla iletişim kurmak, değerli bilgiler ve potansiyel iş birlikleri sağlayabilir.

Maden arama ve işletme süreçlerinde çevresel etki değerlendirmesi yapmak ve sürdürülebilir madencilik ilkelerine uygun hareket etmek önemlidir. Hali hazırda işletme faaliyetleri devam eden krom madenlerini ziyaret ederek işletme yöntemleri, üretim kapasiteleri ve karşılaştıkları zorluklar hakkında bilgi edinilebilir. Geçmiş yıllarda işletilmiş ancak şu anda atıl durumda olan krom ocaklarının potansiyelini yeniden değerlendirmek mümkün olabilir. Yeni teknolojiler veya değişen ekonomik koşullar bu ocakları tekrar cazip hale getirebilir. Ancak, bu durumda ayrıntılı jeolojik ve ekonomik analizler yapmak kritik önem taşımaktadır.

İnceleme alanlarında birden çok üretim yapılan ocak alanı olsa da aslında bunlar büyük bir ocağın kısımları olarak değerlendirilebilir. İnceleme alanlarında kromit rezervinin yoğun olmasından dolayı üretim yapılabilen birden çok ayna

gözlenmektedir. Ayrıca, inceleme alanlarında cevherleşmeye ait birçok mostra gözlenmektedir. Kromit cevherleşmesinin oluşumu nedeniyle bu mostraların bulunduğu lokasyonlar rezerv potansiyeli hakkında ipucu vermektedir. Potansiyel taşıyan ancak henüz detaylı olarak incelenmemiş alanlarda yeni arama faaliyetleri yürütmek uzun vadeli bir yatırım olabilir. Arama çalışmaları sırasında başvuru alan jeokimyasal prospeksiyonlar ve jeofizik çalışmaları kromit cevherinin aranmasında yeterli bilgi vermemektedir. İşletmeye geçmeden önce sık ve derin sondajlar yapılarak kromit cevherinin rezervinin hesaplanması ve bu rezerve göre gerekli yatırımların yapılması işletmeciler firmaların ekonomik zarara uğramaması açısından önemlidir. İşletme aşamasında ise rezerv geliştirmeye yönelik bu sondajların devamlılığına önem verilmesi gerekmektedir. Günün ekonomik koşullarına bağlı olarak üretim stratejisi belirlenmeli ve buna bağlı olarak madencilik faaliyetleri devam etmelidir.

İnceleme alanlarından üretilen kromit cevheri hali hazırda bulunan krom konsantre tesisine beslenmekte ise de ferrokrom üretimi veya özel alaşımların geliştirilmesi gibi katma değerli alanlara yönelik projelerde düşünülebilir. Ayrıca, düşük tenörlü cevherlerin ekonomik olarak işlenebilmesi için yeni ve daha verimli zenginleştirme teknolojilerini araştırılması önemli bir unsurdur. Bu, atık miktarını azaltmaya ve kaynak verimliliğini artırmaya yardımcı olabilir.

Kromit yataklarında millerit gibi sülfürlü minerallerin bulunması, bu yatakların kimyasal çeşitliliğini ve minerallerin karmaşıklığını artırır. Kromit ve millerit birlikte bulunan bölgeler, farklı minerallerin ve metallerin elde edilebileceği önemli maden alanları olabilir. Kromit yataklarında millerit bulunması bu yatakların nikel madenciliği açısından da ekonomik değerini artırabilir. Bu bağlamda nikel madenciliğine yönelik bölgede ayrıntılı jeolojik araştırmalar yapılabilir.

Kromit maden yatakları konusunda başarılı olmak için sadece jeolojik potansiyeli değil, aynı zamanda teknolojik gelişmeleri, sürdürülebilirlik ilkelerini, yasal düzenlemeleri ve pazar dinamiklerini de dikkate almak gereklidir.

KAYNAKLAR

- Ahmed, A., Arai, S., 2002, Unexpectedly high-PGE chromitite from the deeper mantle section of the northern Oman ophiolite and its tectonic implications. *Contrib. Mineral. Petrol.* 143, 263–278.
- Akat, U., Çağlayan, A. ve İvak, M., 1978, Dursunbey-Orhaneli Susurluk-Kepsut arasındaki bölgenin jeolojisi, MTA Raporu Der. no: 6618, (Yayınlanmamış).
- Akdeniz, N. ve Konak, N., 1979, Simav-Emet Tavşanlı-Dursunbey-Demirci yörelerinin jeolojisi. MTA Derleme No: 6547, 108 s (Yayınlanmamış).
- Akıncı, Ömer T., 1999, Cevher Mikroskopisi Ve Mineral Tanımlamaları, Süleyman Demirel Üniversitesi Yayınları, Yayın No:4, 275-307.
- Arai, S., Yurimoto, H., 1994, Podiform chromitites of the Tari-Misaka ultramafic complex, southwest Japan, as mantle–melt interaction products. *Econ. Geol.* 89, 1279–1288.
- Arai, S., Matsukage, K., 1998, Petrology of a chromitite micropod from Hess Deep, equatorial Pacific: a comparison between abyssal and alpine-type podiform chromitites. *Lithos* 43 (1), 1–14.
- Arai, S., Uesugi, J. ve Ahmed H. A, 2004, Upper crustal podiform chromitite from the northern Oman ophiolite as the stratigraphically shallowest chromitite in ophiolite and its implication for Cr concentration, *Contrib Mineral Petrol* 147: 145–154.
- Arai, S., Kadoshima, K. and Morishita, T., 2006, Widespread arc-related melting in the mantle section of the northern Oman ophiolite as inferred from detrital chromian spinels. *J. Geol. Soc. Lond.* 163, 869-879.
- Arai, S., 2013, Conversion of low-pressure chromitites to ultrahigh-pressure chromitites by deep recycling: A good inference. *Earth Planet. Sci. Lett.* 379, 81–87.
- Arai, S., Miura, M., 2015, Podiform chromitites do form beneath mid-ocean ridges. *Lithos* 232, 143–149.
- Arai, S., Miura, M., 2016, Formation and modification of chromitites in the mantle. *Lithos* 264, 277–295.
- Arai, S., Miura, M., Tamura, A., Akizawa, N. and Ishikawa, A., 2020, Hydrothermal chromitites from the Oman ophiolite: The role of water in chromitite Genesis. *Minerals* 10, 217.
- Arai, S., 2021, Genetic Link between Podiform Chromitites in the Mantle and Stratiform Chromitites in the Crust: A Hypothesis. *Minerals* 11 (2), 209.

- Baş, H. ve Terzioğlu, N., 1986, Jeokimya Ortamları. Türkiye jeoloji Kurumu Yerbilimleri Eğitim Dizisi, Editör, A. ERLE. 1-61; Ankara.
- Bo, R., Dilek, Y., Nasir, S., Wu, W., Cai, P., Lu, Y., Lian, D., Yang, J., 2023, Mineral and whole-rock geochemistry of high-Al podiform chromitites in the Fizh Massif of the Cretaceous Oman ophiolite: origin of hydrous N-MORB melts in a nascent forearc setting. *J. Geol. Soc.* 180 (6), jgs 2023–047.
- Boldt, J.R., 1967, The winning of nickel its geology, mining and extractive metallurgy, London; Methuen Co. Ltd., 7.
- Borisova, A.Y., Ceuleneer, G., Kamenetsky, V.S., Arai, S., B'ejina, F., Abily, B., Bindeman, I.N., Polv'e, M., De Parseval, P., Aigouy, T., Pokrovski, G.S., 2012, A New View on the Petrogenesis of the Oman Ophiolite Chromitites from Microanalyses of Chromite-hosted Inclusions. *J. Petrol.* 53 (12), 2411–2440.
- Brunn, J. H., 1956, Contribution à l'étude géologique du Pinde septentrional et d'une partie de la Macédonie occidentale, *Annales géol. Pays helléniques t. VII* (Thèse Se. Nat. Paris 1955).
- Bulatovic, S.M., 1979, Process development for treatment of nickel ore containing violarite and millerite, Report of Investigation LR2010, May.
- Bulatovic, S.M., 2007, Flotation of sulfide ores, *Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice*, Elsevier, Amsterdam.
- Cai, P.J., Lian, D.Y., Aitchison, J.C., Cluzel, D., Zhou, R.J., Rui, H.C., Bo, R.Z., Ma, H.T., Yang, J.S., Masoud, A.E., 2025, Geochemical constraints on subduction-related mantle metasomatism of the Ti'ebaghi ophiolitic lherzolite in New Caledonia. *Lithos* 496–497, 107948.
- Caneb, G., 2007, Nikel, *Madencilik Dergisi Cilti*, Sayı 5, www.maden.org.tr, 558.pdf.
- Çelik, Ö.F., and Delaloye, M., 2003, Origin of metamorphic sole rocks and their postkinematic mafic dyke swarms in the Antalya and Lycian ophiolites, SW Turkey. *Geological Journal*, 38, 235-256.
- Çelik, Ö.F. and Delaloye, M. 2006, Characteristics of ophiolite-related metamorphic rocks in the Beysehir ophiolitic mélange (Central Taurides, Turkey), deduced from whole rock and mineral chemistry. *Journal of Asian Earth Sciences*, 26, 461-476.
- Dana, E.S., Ford, W.E., 1966, *A Textbook of Mineralogy* 4th ed. John Wiley & Sons, New York.
- Das, S., Basu, A.R., Mukherjee, B.K., 2017, In situ peridotitic diamond in Indus ophiolite sourced from hydrocarbon fluids in the mantle transition zone. *Geology* 45, 755–758.

- Dick, H.J., Fisher, R.L., Bryan, W.B., 1984, Mineralogic variability of the uppermost mantle along mid-ocean ridges. *Earth Planet. Sci. Lett.* 69 (1), 88–106.
- Dickey, J.S., 1975, An hypothesis of origin for podiform chromite deposits: *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 39, 1061–1074.
- Dilek, Y. ve Whitney, D.L., 1997, Counterclockwise P–T–t trajectory from the metamorphic sole of a Neo-Tethyan ophiolite (Turkey). *Tectonophysics*, 280, 295–310.
- Dilek, Y., Thy, P., Hacker, B. ve Grundvi, S., 1999, Structure and petrology of Tauride dike intrusions (Turkey): implications for the Neotethyan ocean. *Geological Society of America Bulletin*, 111, 1192–1216.
- Dubertret, L., 1952, Géologie des roches vertes du NW de la Syrie et du Hatay (Turquie). Thèse Se. Nat. Paris. Muséum Nat. d'Hist. Nat. Notes et Mémoires sur le Moyen Orient, t. 6, Paris.
- Farre-de-Pablo, J., Proenza, J.A., Gonzalez-Jimenez, J.M., Garcia-Casco, A., Colás, V., Roque-Rosell, J., Camprubí, A., Sanchez-Navas, A., 2018, A shallow origin for diamonds in ophiolitic chromitites. *Geology* 47, 75–78.
- Farre-de-Pablo, J., Proenza, J.A., Gonzalez-Jimenez, J.M., Aiglsperger, T., Torro, L., Domenech, C., et al., 2021, Low-temperature hydrothermal Pt mineralization in uvarovite-bearing ophiolitic chromitites from the Dominican Republic. *Min. Depos.* 57, 955–976.
- Faure, G., 1994, Principles and Applications of Geochemistry, Cambridge; New York: Cambridge University Press, TN 269 S52415, 1–159 s.
- Garuti, G. et al, 2012, Chromitites of the urals (Part 1): Overview of chromite mineral chemistry and geo-tectonic setting of ophiolites, 34–50.
- Gervilla, F., Padrón-Navarta, J.A., Kerestedjian, T., Sergeeva, I., González-Jiménez, J.M., Fanlo, I., 2012, Formation of ferrian chromite in podiform chromitites from the Golyamo Kamenyane serpentinite, Eastern Rhodopes, SE Bulgaria: a two-stage process: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 162, 643–657.
- Grieco, G., Bussolesi, M., Eslami, A., Gentile, A., Cavallo, A., Lian, D., et al., 2020, Differential platinum group elements (PGE) re-mobilization at low fS_2 in Abdasht and Soghan mafic-ultramafic complexes (Southern Iran). *Lithos* 366–367.
- Griffin, W.L., Afonso, J.C., Belousova, E.A., Gain, S.E., Gong, X.H., González-Jiménez, J. M., Howell, D., Huang, J.X., McGowan, N., Pearson, N.J., Satsukawa, T., Shi, R., Williams, P., Xiong, Q., Yang, J.S., Zhang, M., O'Reilly, S.Y., 2016, Mantle Recycling: Transition Zone Metamorphism of Tibetan Ophiolitic Peridotites and its Tectonic Implications. *J. Petrol.* 57 (4), 655–684.
- González-Jiménez, J. M. et al., 2011, High-Cr and high-Al chromitites from the Sagua de Tánamo district, Mayarí-Cristal ophiolitic massif (eastern Cuba): constraints on

their origin from mineralogy and geochemistry of chromian spinel and platinum-group elements. *Lithos* 125, 101–121.

- González-Jiménez J.M., Marchesi C., Griffin W.L., Gutierrez-Narbona R., Lorand J.P., O'Reilly S.Y., Garrido C.J., Gervilla F., Pearson N.J., Hidas K., 2013, Transfer of Os isotopic signatures from peridotite to chromitite in the subcontinental mantle: insights from in situ analysis of platinum-group and base-metal minerals (Ojen peridotite massif, southern Spain). *Lithos* 164–167:224–235.
- González-Jiménez, J.M., Griffin, W.L., Proenza, J.A., Gervilla, F., O'Reilly, S.Y., Akbulut, M., Pearson, N.J., Arai, S., 2014, Chromitites in ophiolites: how, where, when, why? Part II. The crystallization of chromitites, *Lithos* 189, 140–158.
- González-Jiménez, J.M., Reich, M., Camprubí, A., Gervilla, F., Griffin, W.L., Colás, V., O'Reilly, S.Y., Proenza, J.A., Pearson, N.J., Centeno-García, E., 2015, Thermal metamorphism of mantle chromites and the stability of noble-metal nanoparticles: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 170 (2), 15. <https://doi.org/10.1007/s00410-015-1169-9>.
- Göncüoğlu, M.C., Turhan, N., Şentürk, K., Özcan, A., Uysal, S. & Yalınız, M.K. 2000, A geotraverse across northwestern Turkey: tectonic units of the Central Sakarya region and their tectonic evolution. In: Bozkurt, E., Winchester, J.A. & Piper, J.D. (eds) *Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area*. Geological Society, London, Special Publications; 173, 139–162.
- Göncüoğlu, M.C., Sayit, K. And Tekin, U.K., 2010. Oceanization of the northern Neotethys: Geochemical evidence from ophiolitic melange basalts within the İzmir-Ankara suture belt, NW Turkey. *Lithos* 116, 175–187.
- Görür, N., Oktay, F. Y., Seymen, İ. ve Şengör, A. M. C., 1984, Paleotectonic evolution of Tuz Gölü basin complex, central Turkey. In: Dixon, J. E. And Robertson, A.H. F. (eds), *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*, Geological Society, London, Special.
- Hu, W., Zhou, M., Yudovskaya, M.A., Vikentyev, I.V., Malpas, J., Zhang, P., 2022, Trace elements in chromite as indicators of the origin of the giant podiform chromite deposit at Kempirsai, Kazakhstan. *Econ. Geol.* 117 (7), 1629–1655.
- Insergueix-Filippi, D., Dupeyrat, L., Dimo-Lahitte, A., Vergely, P., and Bebien, J., 2000, Albanian ophiolites. II, Model of subduction zone infancy at a mid-ocean ridge: *Ofioliti*, v. 25, p. 47–53.
- Insergueix-Filippi, D., Dupeyrat, L., Dimo-Lahitte, A., Vergely, P., and Bebien, J., 2000, Albanian ophiolites. II, Model of subduction zone infancy at a mid-ocean ridge: *Ofioliti*, v. 25, p. 47–53.
- Insergueix-Filippi, D., Dupeyrat, L., Dimo-Lahitte, A., Vergely, P., and Bebien, J., 2000, Albanian ophiolites. II, Model of subduction zone infancy at a mid-ocean ridge: *Ofioliti*, v. 25, p. 47–53.

- Insergueix-Filippi, D., Dupeyrat, L., Dima-Lahitte, A., Vergely, P. And Bebie, J., 2000, Albanian ophiolites. II Model of subduction zone infancy at a mid-ocean ridge: *Ophioliti*, v. 25, p. 47-53.
- Irvine, T.N., 1975, Crystallization sequences in the Muskox intrusion and other layered intrusions-II. Origin of chromitite layers and similar deposits of other magmatic ores. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 39, 991–1020.
- Irvine, T.N., 1977, Origin of chromitite layers in the Muskox intrusion and other stratiform intrusions: *A new interpretation. Geology*, 5, 273–277.
- Jannessary, M.R., Melcher, F., Lodziak, J., Meisel, T.C., 2012, Review of platinum-group element distribution and mineralogy in chromitite ores from southern Iran. *Ore Geol. Rev.* 48, 278–305.
- Jenkins, M.C., Mungall, J.E., 2018, Genesis of the Peridotite Zone, Stillwater Complex, Montana, USA. *J. Petrol.* 59 (11), 2157–2189.
- Johan, Z., Martin, R.F., and Ettler, V., 2017, Fluids are bound to be involved in the formation of ophiolitic chromite deposits. *European Journal of Mineralogy*, 29, 543–555.
- Johnson, R.W., Jaques, A.L., Hickey, R.L., McKee, C.O., Chappell, B.W., 1985, Manam Island, Papua New Guinea: Petrology and geochemistry of a low-Ti basaltic island-arc volcano. *J. Petrol.* 26, 283–323.
- Johnston Jr., W.D., 1936, Nodular, orbicular, and banded chromite in Northern California. *Economic Geology*, 31, 417.
- Kaaden, G. van der., 1959, Güneybatı Türkiye'de peridotit kitleleri içinde zuhur eden kromitlerin kompozisyonu ile tektonik-magmatik vaziyetleri arasındaki münasebet hakkında. *M. T. A. Dergisi* No. 52.
- Kalafatçioğlu, A., 1964, Balıkesir-Kütahya Arasındaki Bölgesinin Jeolojisi, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, Cilt:9, No:1-2, 46-62.
- Kamenetsky, V.S., Crawford, A.J. and Meffre, S., 2001, “Factors controlling chemistry of magmatic spinel”; An Empirical Study of Associated Olivine, Cr–spinel and Melt Inclusions from Primitive Rocks, *J. Petrol.* 42, 655–671.
- Kapsiotis, A., Grammatikopoulos, T.A., Tsikouras, B., Hatzipanagiotou, K., Zaccarini, F. And Garuti, G., 2009, Chromian spinel composition and platinum-group element mineralogy of chromitites from the Milia area, Pindos ophiolite complex, Greece. *Can. Mineralogist* 47, 1037-1056.
- Kapsiotis, A., Ewing Rassios, A., Grieco, G. And Antonelou, A., 2017, Genesis of Cr-bearing hydrogrossular-rich veins in a chromitite boulder from ayios stefanos, West othris, Greece: A paradigm of micro-rodingites formation at the late stages of oceanic slab emplacement. *Ore Geol. Rev.* 90, 287-306.

- Kelemen, P.B., 1990, Reaction between ultramafic wall rock and fractionating basaltic magma: part I, phase relations, the origin of calc-alkaline magma series, and the formation of discordant dunite, *J. Petrol.* 31, 51–98.
- Kelemen, P. B., J. A. Whitehead, E. Aharonov, K. Jordahl, 1995a, Experiments on flow focusing in soluble porous media, with applications to melt extraction from the mantle, *J. Geophys. Res.*, 100, 475–496.
- Kelemen, P. B., N. Shimizu, V. J. M. Salters, 1995b, Extraction of mid-ocean ridge basalt from the upwelling mantle by focused flow of melt in dunite channels, *Nature*.
- Ketin, İ., 2007, Türkiye Jeolojisi’ne Genel Bir Bakış. İstanbul: *İTÜ Vakfı Yayınları*.
- Klein F, Bach W., 2009, Fe-Ni-Co-O-S phase relations in peridotite-seawater interactions. *J. Petrol* 50:37–59.
- Koçyiğit, A., 1987, Tectono-stratigraphy of the Hasanoglan (Ankara) region: evolution of the Karakaya orogen. *Yerbilimleri*, 14, 269-293.
- Krushensky, R.D., 1976, Neogene Calc-alkaline extrusive and intrusive rocks of the Karalar Yeşiller area, Northwest Anatolia, Turkey : *Bulletin volcanologique*, 40, 336-360.
- Lago, B., Rabinowicz, M., Nicolas, A., 1982, Podiform chromite ore bodies: a genetic model. *J. Petrol.* 23, 103–125.
- Langa, M.M., Jugo, P.J., Leybourne, M.I., Grobler, D.F., Adetunji, J., Skogby, H., 2021, Chromite chemistry of a massive chromitite seam in the northern limb of the Bushveld Igneous Complex, South Africa: correlation with the UG-2 in the eastern and western limbs and evidence of variable assimilation of footwall rocks. *Miner. Deposita* 56, 31–44.
- Latypov, R.M., Namur, O., Bai, Y., Barnes, S.J., Chistyakova, S., Holness, M.B., Iacono- Marziano, G., Kruger, W.A.J., O’Driscoll, B., Smith, W.D., Virtanen, V.J., Wang, C.Y., Xing, C.M., Charlier, B., 2024, Layered intrusions: Fundamentals, novel observations and concepts, and controversial issues. *Earth-Sci. Rev.* 249, 104653.
- Leblanc, M., Ceuleneer, G., 1992, Chromite crystallization in a multicellular magma flow: evidence from a chromitite dike in the Oman ophiolite; *Lithos* 27, 231–257.
- Leblanc, M. and Nicolas, A., 1992, “Ophiolitic chromitites”. *Int. Geology Rev.* 34, 653-686.
- Lian, D., Yang, J., Liu, F., Wu, W., Zhang, L., Zhao, H., Huang, J., 2017, Geochemistry and tectonic significance of the Gongzhu peridotites in the northern branch of the western Yarlung Zangbo ophiolitic belt, western Tibet. *Mineral. Petrol.* 111 (5), 729–746.

- Liu, Y., Chakhmouradian, A.R., Hou, Z.Q., Song, W.L., and Kynický, J., 2019a, Development of REE mineralization in the giant Maoniuping deposit (Sichuan, China): Insights from mineralogy, fluid inclusions, and trace element geochemistry: *Mineralium Deposita*, v. 54, p. 701–718.
- Lorand, J.P., and Ceuleneer, G., 1989, Silicate and base-metal sulfide inclusions in chromites from the Maqsad area (Oman ophiolite, Gulf of Oman): a model for entrapment. *Lithos*, 22, 173–190.
- Matveev, S., and Ballhaus, C., 2002, Role of water in the origin of podiform chromitite deposits. *Earth and Planetary Science Letters*, 203, 235–243.
- Matveev, S., and Ballhaus, C., 2002, Role of water in the origin of podiform chromitite deposits. *Earth and Planetary Science Letters*, 203, 235–243.
- Matveev, S., and Ballhaus, C., 2002, Role of water in the origin of podiform chromitite deposits. *Earth and Planetary Science Letters*, 203, 235–243.
- Maurel, C. and Maurel, P., 1982, Etude experimentale de la distribution de l'aluminium entre bain silicate basique et spinellechromifere. Implications petrogenetiques: Teneuren chrome des spineless. *Bulletin de Mineralogie*, 105, 197-202.
- Melcher, F., Grum, W., Simon, G., Thalhammer, T.V., Stumpfl, E.F., 1997, Petrogenesis of the ophiolitic giant chromite deposits of Kempirsai, Kazakhstan: a study of solid and fluid inclusions in chromite. *J. Petrol.* 38 (10), 1419–1458.
- Moutte, J., 1982, Chromite deposits of the Tiegabhi Ultramafic Massif, New Caledonia. *Econ. Geol.*, 77, 576-591.
- Okay, A.I., 1984a, Distribution and characteristics of the northwest Turkish blueschists. In: *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean* (ed. J.E. Dixon and A.H.F. Robertson), Geological Society Special Publication No. 17, 454-466.
- Okay, A.I., 1986, High-pressure/low-temperature metamorphic rocks of Turkey. In: *B.W. Evans and E.H. Brown (Eds.), Blueschists and eclogites*, Geol. Soc. Am. Mem., 164: 333-347.
- Okay, A.I., Siyako, M. ve Bürkan, K.A., 1990, Biga Yarımadası'nın Jeolojisi ve Tektonik Evrimi. *TPJD Bülteni*, C. 2/1, 83-121.
- Okay, A.I., Harris, N.B.W. & Kelley, S.P., 1998, Exhumation of blueschists along a Tethyan suture in northwest Turkey. *Tectonophysics*, 285, 275-299.
- Okay, A. I., 2011, Tavşanlı Zonu: Anatolid-Torid Bloku'nun Dalma-Batmaya Uğramış Kuz. Ucu. *M.T.A. Dergisi*, 142, 195-226.
- Pag'e, P., Barnes, S.J., 2009, Using Trace Elements in Chromites to Constrain the Origin of Podiform Chromitites in the Thetford Mines Ophiolite, Quebec, Canada. *Econ. Geol.* 104 (7), 997–1018.

- Paktunc, A.D., Hulbert, L.J., Harris, D.C., 1990, Partitioning of the platinum-group and other trace elements in sulfides from the Bushveld complex and Canadian occurrences of nickel–copper sulfides, *Can. Mineral.* 28, 475–488.
- Parlak, O. ve Delaloye, M., 1999, Precise $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages from the metamorphic sole of the Mersin ophiolite (southern Turkey). *Tectonophysics*, 301, 145–158.
- Parlak, O., Höck, V. and Delaloye, M., 2002, The suprasubduction zone Pozanti-Karsanti ophiolite, southern Turkey: evidence for high-pressure crystal fractionation of ultramafic cumulates. *Lithos*, 65, 2005–224.
- Parlak, O., Höck, V. Ve Delaloye, M., 2004, Oceanic crust generation in an island arc tectonic setting, SE Anatolian orogenic belt (Turkey). *Geol. Mag.* 141 (5), 583–603.
- Parlak, O., Yılmaz, H., Boztuğ, D. and Höck, V., 2005, Geochemistry and tectonic setting of the Divriği ophiolite in the east central Anatolia (Sivas, Turkey): evidence for melt generation within an asthenospheric window prior to ophiolite emplacement onto the Taurides. *International Symposium on the Geodynamics of Eastern Mediterranean: Active Tectonics of the Aegean Region*, Kadir Has University, İstanbul, p.224.
- Parlak, O., Yılmaz, H. ve Boztuğ, D., 2006, Origin and tectonic significance of the metamorphic sole and isolated dikes of the Divriği Ophiolite (Sivas, Turkey): evidence for slab break-off prior to ophiolite emplacement. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 15, 25–45.
- Parlak, O., Rızaoğlu, T., Bağcı, U., Karoğlu, F. and Höck, V., 2009, Tectonic significance of the geochemistry and petrology of ophiolites in southeast Anatolia, Turkey. *Tectonophysics*, 473, 173–187.
- Qiu, Q., Xie, Z., & Wu, L., 2018, A cyclic self-learning Chinese word segmentation for the geoscience domain. *Geomatica*, 72 (1), 16–26.
- Ricou, L. E., Argriadis, I. ve Marcoux, J., 1975, L'axe calcaire du Taurus, une alignement de fenetres arabo-africaines sous des nappes radiolaritiques, ophiolitiques et metamorphiques. *Bulletin de la Societe geologique de France*, 17, 1024–43.
- Robertson, A.H.F. ve Woodcock, N.H., 1980, Mamonia Complex, southwest Cyprus: Evolution and emplacement of a Mesozoic continental margin. *Geological Society of America Bulletin*, 90, 651–65.
- Robertson, A.H.F., 2002, Overview of the genesis and emplacement of Mesozoic ophiolites in the Eastern Mediterranean Tethyan region. *Lithos* 65, 1–67.
- Robertson, A.H.F., 2004, Development of concepts concerning the genesis and emplacement of Tethyan ophiolites in the Eastern Mediterranean and Oman regions. *Earth-Science Reviews* 66, 331–387.

- Roeber, W.P., 1957, Sind die alpinotypen peridotitmassen vielleicht Jektonisch verfrachtete Bruchstücke der peridotit-schate. *Geol. Rundschau*, 46, p. 137-146, 1957.
- Rollinson, H., 2005, Chromite in the mantle section of the Oman ophiolite: A new genetic model. *Isl. Arc* 14, 542-550.
- Rollinson, H., 2008, The geochemistry of mantle chromitite from the northern part of the Oman ophiolite: inferred parental melt compositions. *Contrib Mineral Petrol* 156:273–288.
- Rollinson, H., Adetunji, J., 2013, Mantle podiform chromitites do not form beneath mid-ocean ridges: A case study from the Moho transition zone of the Oman ophiolite. *Lithos* 177, 314–327.
- Rollinson, H., Mameri, L., Barry, T., 2018, Polyminerale inclusions in mantle chromitites from the Oman ophiolite indicate a highly magnesian parent melt. *Lithos*, 310-311, 381–391.
- Rollinson, H., 2025, The significance of water in the genesis of ophiolitic chromitites, *Lithos*, 502-503, 1-8.
- Rospabé, M., Ceuleneer, G., Benoit, M., Abily, B., Pinet, P., 2017, Origin of the dunitic mantle-crust transition zone in the Oman ophiolite: the interplay between percolating magmas and high-temperature hydrous fluids, *Geology*, 45, pp. 471-474.
- Rospabé, M., Rospabé, M., Ceuleneer, G., Le Guluche, V., Benoit, M., Kaczmarek, M.A., 2021, The chicken and egg dilemma linking dunites and chromitites in the Mantle–Crust Transition Zone beneath oceanic spreading centres: a case study of chromite-hosted silicate inclusions in dunites formed at the top of a mantle diapir (Oman ophiolite), *J. Petrol.*, 62, p.
- Routhier, P., 1946, Vulcano-Plutons sousmarins du cortège ophiolitique. *Or. Ac. Sc.*, t. 222, p. 192-194, Paris.
- Routhier, P., 1953, Etude géologique, minéralogique, et structurale des gisements et minerais de chrome du massif de Tiébaghi (Nouvelle Calédonie). *Bull. Soc. Géol. de France*, série VI, p. 169-187.
- Rui, H.C., Yang, J.S., Zheng, J.P., Lian, D.Y., Wu, W.W., Mariño, Y.V., 2022, Ti-poor high- Al chromitites of the Moa-Baracoa ophiolitic massif (eastern Cuba) formed in a nascent forearc mantle. *Ore Geol. Rev.* 144, 104847.
- Seymen, İ., 1981a, Kaman (Kırşehir) dolayında Kırşehir Masifinin stratigrafisi ve metamorfizması. *TJK Bülteni*, C.24, 7-14.
- Seymen, L., 1981b, Kaman (Kırşehir) dolayında Kırşehir Masifi'nin metamorfizması. *Türkiye Jeol. Kur. 35. Bilimsel ve Teknik Kurultayı İç Anadolu'nun Jeolojisi Sempozyumu*, s. 12 -15.

- Seymen, İ. 1982, Kaman dolayında Kırşehir Masifi'nin jeolojisi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 164 s. (Yayınlanmamış).
- Sideridis, A., Tsikouras, B., Tsitsanis, P., Koutsovitis, P., Zaccarini, F., Hauzenberger C., Tsikos, H. and Hatzipanagiotou, K., 2022, Post-magmatic processes recorded in bimodal chromitites of the East Chalkidiki meta-ultramafic bodies, Gomati and Nea Roda, Northern Greece. *Front. Earth Sci.* 10:1031239. doi: 10.3389/feart.
- Spray, J.G., 1984, Possible causes and consequences of upper mantle decoupling and ophiolite displacement. In: Gass, I.G., Lippard, S.J., and Shelton, A.W. (eds.), *Ophiolites and*.
- Stampfli, G.M. & Borel, G.D. 2002, A plate tectonic model for the Palaeozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrones. *Earth and Planetary Science Letters* 169, 17–33.
- Stevens, R.E. 1944, Composition of some chromites of the western hemisphere. *American Mineralogist*, 29 (1-2); 1-64.
- Stowe, C.W., 1994, Compositions and tectonic settings of chromite deposits through time. *Econ. Geol.*, 89, 528–546.
- Su, B.X., Robinson, P.T., Chen, C., Xiao, Y., Melcher, F., Bai, Y., Gu, X.Y., Uysal, I., Lenaz, D., 2020, The occurrence, origin, and fate of water in chromitites in ophiolites. *Am. Mineral.* 105, 894–903.
- Su, B., Liu, X., Chen, C., Robinson, P.T., Xiao, Y., Zhou, M., et al., 2021, A new model for chromite formation in ophiolites: Fluid immiscibility. *Sci. China Earth Sci.* 64, 220-230.
- Su, B.X., Pan, Q.Q., Xiao, Y., Jing, J.J., Robinson, P.T., Uysal, I., Liu, X., Liu, J.G., 2023, Mantle peridotites of ophiolites rarely preserve reliable records of paleo-oceanic lithospheric mantle. *Earth-Sci. Rev.* 244, 104544.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y. & Ketin K., 1980, Remnants of pre-Late Jurassic ocean in northern Turkey: Fragments of Permian-Triassic Paleo-Tethys? *Geological Society of America Bulletin*, Part I, 599-609.
- Şengör, A. M. C., & Yılmaz, Y., 1981, Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75 (3–4), 181–241.
- Tathavadkar V.D., Antony M.P., Jha A., 2004, An Investigation of the mineralogical properties of chemical grade chromite minerals scandinavian, *Journal of Metallurgy*, vol. 33, no:2, pp. 65-75.
- Tekeli, O., Boray, A., Akyürek, B. ve Akay, E., 1969, Gökçedağ (Dursunbey, Balıkesir) dolayının jeolojisi, MTA, 34 s., 11-24.
- Thayer, T.P., 1964, Principal features and origin of podiform chromite deposits, and some observations on the Guleman-soridag District, Turkey. *Economic Geology* 59, 1497–1524.

- Tsoupas, G., Economou-Eliopoulos, M., 2008, High PGE contents and extremely abundant PGE-minerals hosted in chromitites from the Veria ophiolite complex, northern Greece. *Ore Geol. Rev.* 33, 3–19.
- Tzamos E, Filippidis A, Michailidis K et al (2016) Mineral chemistry and formation of awaruite and heazlewoodite in the Xerolivado chrome mine, Vourinos, Greece. *Bull Geol Soc Greece* 50:2047–2056.
- Uçurum, A., Lechler, P.J. and Larson, L.T., 2000, Platinum-group element distribution in chromite ores from ophiolite complexes, western Turkey: Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy (Section B: Applied Earth Science), 109, 112-120.
- Uçurum, A., Koptagel, O. And Lechler, P.J., 2006, Main-Component Geochemistry and Platinum-Group-Element Potential of Turkish Chromite Deposits, with Emphasis on the Muğla Area. *International Geology Review*, 48, 241-254.
- Ullah, Z., Li, J., Robinson, P.T., Wu, W., Khan, A., Dac, N.X., Adam, M.M.A., 2020, Mineralogy and geochemistry of peridotites and chromitites in the Jijal Complex ophiolite along the Main Mantle Thrust (MMT or Indus Suture Zone) North Pakistan. *Lithos* 366–367, 105566.
- Uysal, I., Zaccarini, F., Garuti, G., Meisel, T., Tarkian, M., Bernhardt, H.F. and Sadiklar, M.B., 2007, Ophiolitic chromitites from the Kahramanmaraş area, southeastern Turkey: Their platinum-group elements (PGE) geochemistry, mineralogy and Os-isotope signature. *Ophioliti*, 32, 151-161.
- Uysal, I., 2008, Platinum-Group Minerals (PGM) and Other Solid Inclusions in the Elbistan-Kahramanmaraş Mantle-hosted Ophiolitic Chromitites, South-eastern Turkey: Their Petrogenetic Significance, *Turkish Journal of Earth Scier*, 17, 729-740.
- Uysal, I., Tarkian, M., Sadiklar, M.B., Zaccarini, F., Meisel, T., Garuti, G., 2009, Heidrich, S. Petrology of Al- and Cr-rich ophiolitic chromitites from the Muğla, SW Turkey: Implications from composition of chromite, solid inclusions of platinum-group mineral, silicate, and base-metal mineral, and Os-isotope geochemistry. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 158, 659–674.
- Uysal, I., Akmaz, R.M., Saka, S. And Kapsiotis, A., 2016, Coexistence of compositionally heterogeneous chromitites in the Antalya-Isparta ophiolitic suite, SW Turkey: A record of sequential magmatic processes in the sub-arc lithospheric mantle. *Lithos* 248-251, 160-174.
- Uysal, I., Kapsiotis, A., Akmaz, R.M., Saka, S., Seitz, H.M., 2018, The Guleman ophiolitic chromitites (SE Turkey) and their link to a compositionally evolving mantle source during subduction initiation. *Ore Geol. Rev.* 93, 98–113.

- Üner, T., 2021, Supra-subduction zone mantle peridotites in the Tethyan Ocean (East Anatolian Accretionary Complex–Eastern Turkey): Petrological evidence for melting and melt-rock interaction, Van Yüzüncü Yıl University, 9-19.
- Veksler, I.V., Reid, D.L., Dulski, P., Keiding, J.K., Schannor, M., Hecht, L., Trumbull, R.B., 2015, Electrochemical Processes in a Crystal Mush: Cyclic Units in the Upper Critical Zone of the Bushveld Complex, South Africa. *J. Petrol.* 56 (6), 1229–1250.
- Yalınız, K.M. ve Göncüoğlu M.C., 1999, Clinopyroxene Compositions of the Isotropic Gabbros From the Sarıkaraman Ophiolite: New Evidence on Supra-Subduction Zone Type Magma Genesis in Central Anatolia *Turkish Journal of Earth Science.* 8, 103-112.
- Yang, J.S., Dobrzhinetskaya, L., Bai, W.J., Fand, Q.S., Robinson, P.T., Zhang, J., Green, H.W., 2007, Diamond and coesite-bearing chromitites from the Luobusa Ophiolite, Tibet. *Geology* 35, 875–878.
- Yang, J.S., Wu, W.W., Lian, D.Y., Rui, H.C., 2021, Peridotites, chromitites and diamonds in ophiolites. *Nat. Rev. Earth Environ.* 2 (3), 198–212.
- Yılmaz, Y., 1990, Comparison of young volcanic associations of western and eastern Anatolia under compressional regime; a review. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 44, 69–87.
- Yudovskaya, M.A., Kinnaird, J.A., 2010, Chromite in the Platreef (Bushveld Complex, South Africa): occurrence and evolution of its chemical composition. *Mineral. Deposita* 45, 369–391.
- Williams, H. ve Smyth, W.R., 1973, Metamorphic aureoles beneath ophiolite suites and Alpine peridotites: tectonic implications with west Newfoundland examples. *American Journal of Science*, 273, 594-621.
- Xiong, F., Yang, J., Robinson, P.T., Dilek, Y., Milushi, I., Xu, X., Chen, Y., Zhou, W., Zhang, Z., Lai, S., Tian, Y., Huang, Z., 2015, Petrology and geochemistry of high Cr# podiform chromitites of Bulqiza, eastern Mirdita ophiolite (EMO), Albania. *Ore Geol. Rev.* 70, 188–207.
- Xiong, F. Et al, 2017, High-Al and high-Cr podiform chromitites from the western Yarlung-Zangbo suture zone, Tibet: implications from mineralogy and geochemistry of chromian spinel, and platinumgroup elements. *Ore Geol. Rev.* 80, 1020–1041.
- Xiong, F. et al., 2018, Compositional and isotopic heterogeneities in the Neo-Tethyan upper mantle recorded by coexisting Al-rich and Cr-rich chromitites in the Purang peridotite massif, SW Tibet (China). *J. Asian Earth Sci.* 159, 109–129.
- Xiong, F., Zoheir, B., Wirth, R., Milushi, I., Qiu, T. And Yang, J., 2021, Mineralogical and isotopic peculiarities of high-Cr chromitites: Implications for a mantle conversion Genesis of the Bulqiza ophiolite. *Lithos* 398-399.

- Zaccarini, F., Proenza, J.A., Ortega-Gutierrez, F. And Garuti, G., 2005, Platinum group minerals in ophiolitic chromitites from Tehuiztingo (Acatlan complex, southern Mexico): Implications for post-magmatic modification. *Mineral. Petrol.* 84, 147-168.
- Zaccarini, F., Garuti, G., Proenza, J.A., Campos, L., Thalhhammer, O.A.R., Aiglsperger, T., Lewis, J., 2011, Chromite and platinum-group-elements mineralization in the Santa Elena ophiolitic ultramafic nappe (Costa Rica): geodynamic implications. *Geol. Acta* 9, 407–423.
- Zhang, P.F., Zhou, M.F., Robinson, P.T., Malpas, J., Yumul Jr., G.P., Wang, C.Y., Li, J., 2024, Diversities of chromite mineralization induced by chemo-thermal evolution of the mantle during subduction initiation. *Nat. Commun.* 15, 9385.
- Zhou, M.F., Robinson, P.T., Bai, W.J., 1994, Formation of podiform chromitites by melt/ rock interaction in the upper mantle. *Mineral. Deposita* 29, 98–101.
- Zhou, M.F., Robinson, P.T., Malpas, J. ve Li, Z., 1996, Podiform Chromitites in The Luobusa Ophiolite (Southern Tibet), Implications for Melt-rock Interaction and Chromite Segregation in The Upper Mantle, *J. Petrol.*, 37, 3–21.
- Zhou, M.F., Robinson, P.T., 1997, Origin and tectonic setting of podiform chromite deposits. *Econ. Geol.* 92, 259–262.
- Zhou, M.F., Sun, M., Keays, R., Kerrich, W., 1998, Control on platinum-group elemental distributions of podiform chromites: a case study of high-Cr-and high Al chromitites from Chinese orogenic belts. *Geochimica et Cosmochimica Acta* Vol. 4., 677-688.
- Zhou, M.F., Robinson, P.T., Malpas, J., Aitchison, J., Sun, M., Bai, J.W., Hu, X.F., Yang, S.J., 2001, Melt/mantle interaction and melt evolution in the Sartohay high Al chromite deposits of the Dalabute ophiolite (NW China). *J. Asian Earth Sci.* 19, 517–534.
- Zhou, M.F., Robinson, P.T., Su, B.X., Gao, J.F., Li, J.W., Yang, J.S., Malpas, J., 2014, Compositions of chromite, associated minerals, and parental magmas of podiform chromite deposits: the role of slab contamination of asthenospheric melts in suprasubduction zone environments. *Gondwana Res.* 26, 262–283.

<http://webmineral.com>

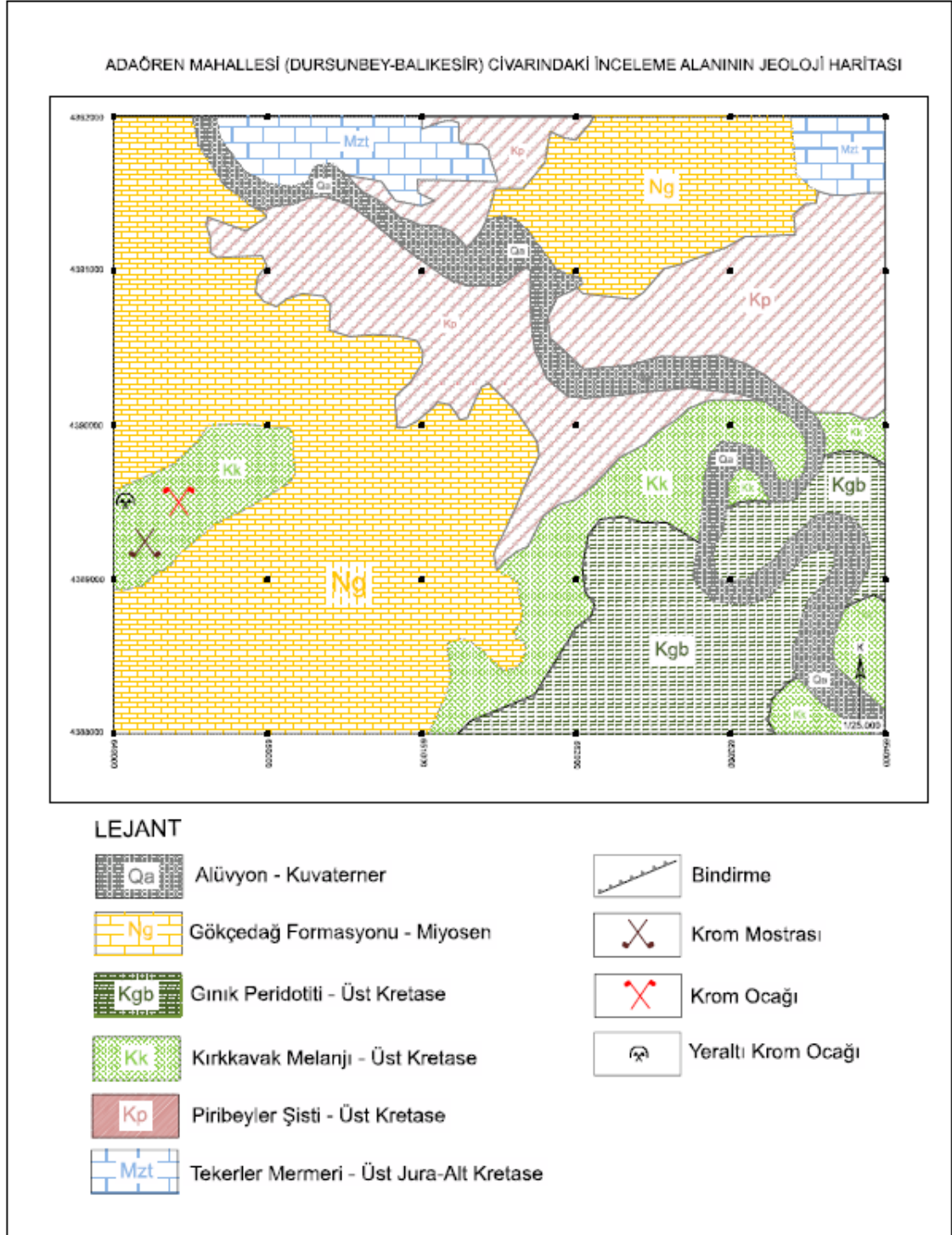
www.imib.org.tr

www.mapeg.gov.tr

www.mta.gov.tr

EKLER

EK-1 Adaören Mahallesi civarındaki inceleme alanının jeoloji haritası



EK-2 Boyalıca Mahallesi civarındaki inceleme alanının jeoloji haritası

