



T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**KARADAĞ (TORUL, GÜMÜŞHANE) Fe-Cu SKARN CEVHERLEŞMESİNİN
PETROGRAFİK VE SIVI KAPANIM ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tanju AYDURMUŞ

**KASIM 2018
GÜMÜŞHANE**

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KARADAĞ (TORUL, GÜMÜŞHANE) Fe-Cu SKARN CEVHERLEŞMESİNİN
PETROGRAFIK VE SIVI KAPANIM ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tanju AYDURMUŞ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
“Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı”
Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 16.10.2018
Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 26.10.2018

KASIM 2018



KABUL ve ONAY



Prof. Dr. Ferkan SİPAHİ danışmanlığında Tanju AYDURMUŞ tarafından hazırlanan “**KARADAĞ (TORUL, GÜMÜŞHANE) Fe-Cu SKARN CEVHERLEŞMESİNİN PETROGRAFİK VE SIVI KAPANIM ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**” isimli bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy Birliği ile kabul edilmiştir.

Başkan / Üye (Danışman) : Prof. Dr. Ferkan SİPAHİ

Üye : Doç. Dr. Emre AYDINÇAKIR

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Özgür BİLİCİ

ONAY

Bu tez **05.12.18** tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ferkan SİPAHİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu çalışma Tübitak 1001 AR-GE Projesi kapsamında desteklenmiştir.

Proje No: 114Y099

TEZ BEYANNAMESİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlamış olduğum "Karadağ (Torul, Gümüşhane) Fe-Cu Skarn Cevherleşmesinin Petrografik ve Sıvı Kapanım Özelliklerinin İncelenmesi" isimli tez çalışmasında; bütün bilgi ve belgeleri genel akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı bütün bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak hazırlayıp sunduğumu, başka kaynaklardan yararlandığım bilgileri metin ve kaynaklarda eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksi durumda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 30/11/2018

Tanju AYDURMUŞ

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KARADAĞ (TORUL, GÜMÜŞHANE) Fe-Cu SKARN CEVHERLEŞMESİNİN
PETROGRAFİK VE SIVI KAPANIM ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Tanju AYDURMUŞ

Gümüşhane Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ferkan SİPAHİ

2018, 79 sayfa

Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesi Gümüşhane'nin yaklaşık 57 km güneybatısında bulunmaktadır. Karadağ (Torul, Gümüşhane) ve etrafındaki tortul ile volkanik kayalar Geç Kretase yaşlı olup, tabanda kireçtaşı mercekleri içeren andezit bulunurken, bunun üzerine bazalt gelmektedir. Bu kayalar Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinin oluşumunu sağlayan Orta-Eosen yaşlı Karadağ Granitoyidi (kuvars porfir ve diyorit) tarafından kesilmektedir. Andezitler, mikrolitik ve glomeroporfirik dokuda olup, plajiyoklas, hornblend, piroksen, epidot ve opak mineraller içermektedir. Kireçtaşları ise yeniden kristallenmiş kireçtaşları ve yer yer mermere dönüşmüş olarak bulunmaktadır. Mermerlerin arazi çalışmaları sırasında mercek şeklinde ve sakkoroid dokuda oldukları görülmüştür. Bazaltlar mikrolitik porfirik dokuya sahip olup, plajiyoklas, hornblend, piroksen ve opak

minerallerinden oluşmaktadır. Karadağ Granitoyidi ise kuvars porfir ve diyoritten oluşmaktadır. Bu kayaçlarda başlıca plajiyoklas, kuvars ve ortoklas minerallerinden oluşmaktadır.

Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinin etrafında dar bir alanda yüzeyleme veren diyorit ve Karadağ madeni güneydoğusunda geniş alan kaplayan kuvars porfirinin kireçtaşı ile volkanitlere sokulumu ile gerçekleşen kontak metamorfizma sonucu skarn zonu gelişmiştir. Granitoyid (kuvars porfir ve diyorit) ile kireçtaşı arasında gelişen ekzorskarn zonunda granat, epidot, manyetit, kalsit ve kuvars skarn mineralleri oluşmuştur. Skarn zonunda piroksen türü diyopsit, granat türü andradit ile grossular-andradittir. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinin cevher mineralleri parajenezi manyetit, pirit, hematit, kalkopirit ve altından oluşmaktadır. Ayrıca cevher minerallerinde manyetitte ve hematitlerde iğnemi, sferulitik, kravat ve tüy dokular da görülmektedir. İkincil cevher mineralleri olarak götit, limonit, dijenit, malakit ve azurit belirlenmiştir.

Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesindeki granitoyidlerin (kuvars porfir ve diyorit) yüksek ve orta K'lu kalk-alkali karakteristiklere sahip olup kuvars porfir örnekleri peralüminyum, diyoritler ise metalüminyum bileşimindedir. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesindeki granitoyidik kayaçların iz element karakteristiklerinin yay granitleri ile benzerlik göstermesi, Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesi ile ilişkisi olan granitoyidlerin yitim sonrası oluştuğunu göstermektedir.

Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesindeki ekzorskarn zonu kuvars ve kalsit minerallerinden yapılan sıvı kapanımlar birincil, ikincil ve boyunlanmış kapanımlar olarak sınıflandırılmıştır. Sıvı kapanım çalışmalarında ekzorskarn zonu için sıcaklığın kuvarslarda 175-405 °C ve tuzluluğun % 0.7-9 NaCl eşdeğeri ve kalsitte sıcaklığın 186-430 °C ve tuzluluğun 0.4-18 NaCl eşdeğeri oldukları belirlenmiş olup epitermal ve skarn kökenine sahip oldukları desteklenmektedir.

Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinde piroksen (diyopsit) ve granat (andradit ve grossular andradit) türü, bol manyetit, hematit ve az pirit bileşimli olması ve sıvı kapanım çalışmalarında elde edilen bilgiler ışığında cevherleşmenin oksitli şartlar altında sıg sokulum sonucunda oluştuğu doğrulanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ekzorskarn, Granat, Gümüşhane, Karadağ Fe-Cu Skarn, Manyetit, Piroksen, Sıvı Kapanım, Türkiye.

SUMMARY
MASTER THESIS

**INVESTIGATION OF PETROGRAĞHIC AND FLUID INCLUSION
CHARACTERISTICS OF KARADAG (TORUL-GÜMŞÜŞHANE)
FE-CU SKARN MINERALIZATION**

Tanju AYDURMUŞ

Gümüşhane University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geological Engineering Program

Adviser: Prof. Dr. Ferkan SİPAHİ

2018, 79 pages

Karadağ Fe–Cu skarn mineralization is located about 57 km southwest of Gümüşhane city. The sedimentary and volcanic rocks in Karadag (Torul-Gümüşhane) is being late Cretaceous age, andesit containing limestone lenses is found at the base and basalt unit comes over it. These rocks are cut by Mid-Eocene age Karadag granitoid (quartz porphry and diorite) which provided Fe-Cu skarn mineralization in the area. Andesites have microlitic and glomero-porphyrityc textures, and comprises of plagioclas, horblende, pyroxene, epidote and opaque minerals. Limestones are recrystallized and partially turned into marble. It was observed that marbles were in lens form and have saccharoidal texture during field studies. Basalts have microlitic porphyritic texture and consist of plagioclase, hornblende, pyroxene and opaque minerals. The Karadag Granitoid

is composed of quartz porphyry and diorite which both are mainly consist of plagioclase, quartz and orthoclase minerals. The skarn zone developed as a result of the contact metamorphism via intrusion of a diorite outcropping in a narrow area around the Fe-Cu skarn mineralization of Karadag and the intrusion of a quartz porphyry to the volcanics and limestone, which both covers a large area in the southeast of the Karadag mine.

In the exoskarn zone developed between granitoid (quartz porphyry and diorite) and limestone the skarn minerals such as garnet, epidote, magnetite, calcite and quartz were formed. In skarn zone the pyroxene type is diopside and, garnet types are andradite and grossular-andradite. The ore minerals paragenesis of Fe-Cu skarn mineralization of Karadag are composed of magnesite, pyrite, hematite, chalcopyrite and gold. Also the acicular, spherulitic, tie and hair textures are seen in ore minerals of magnetite and hematite. As secondary ore minerals, goethite, limonite, digenite, malachite and azurite have been determined.

The granitoids (quartz porhyry and diorite) in the Fe-Cu skarn mineralization of Karadag have high and medium-K-calc-alkaline characteristics; and quartz porhyry is peraluminum, while diorites are metaluminum in composition. The similarity of the trace element characteristics of granitoid rocks of Karadag Fe-Cu skarn mineralization with those of arc granites indicate that the granitoids associated with Fe-Cu skarn mineralization occurred after subduction.

The fluid inclusions prepared from quartz and calcite minerals occurring within the exzoskarn zone of Karadag Fe-Cu skarn mineralization are classified as primary, secondary and necked inclusions. In fluid inclusion studies, for exzoskarn zone the homogenization temperatures and its NaCl equivalent salinity in quartz are determined as 175-405 °C and % 0.7-9 NaCl, in calcites 186-430 °C and 0.4-18 NaCl, respectively. These result support that they have epithermal and skarn genesis.

In Karadag Fe-Cu skarn mineralization, the determined type of pyroxene (diopside) and garnet (andradite and grossular andradit), abundant magnetite, hematite and low pyrite in paragenesis, along with the data obtained from fluid inclusion studies shows and confirm that the mineralization occurred as a result of shallow intrusions under oxidized conditions.

Key Words: Exzoskarn, Garnet, Gümüşhane, Karadağ Fe-Cu Skarn, Manyetite, Pyroxene, Fluid Inclusion, Türkiye.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında Prof. Dr. Ferkan SİPAHİ yönetiminde Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Tez kapsamında Karadağ (Torul/Gümüşhane) Fe-Cu Skarn cevherleşmesinin petrografik ve sıvı kapanım özellikleri incelenmiştir.

Çalışma süresince iş yoğunluğu olmasına karşın, tezimin her aşamasında tecrübesini ve yardımını benden esirgemeyen; iyi niyetli, güler yüzlü, hoşgörüsü ile bana disiplinli çalışmayı aşılayan değerli danışman Hocam Prof. Dr. Ferkan SİPAHİ'ye minnet ve şükranlarımı sunarım.

Çalışma sürecinde bana kıymetli zamanlarından fedakârlık ederek, bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım Prof. Dr. Abdullah KAYGUSUZ, Öğr. Üyesi Dr. Cem YÜCEL, Öğr. Gör. İbrahim AKPINAR, paleontolojik çalışmalarında Yrd. Doç. Dr. Meral KAYA'ya, sıvı kapanım örneklerinin hazırlanmasında Arş. Gör. Oğuzhan GÜMRÜK'e, arazi çalışmalarında maddi ve manevi destek sağlayan jeoloji mühendisi Cüneyt DORUK'a, tezin yazımında bilgisayar bilgisinden faydalandığım jeofizik mühendisi Rasim Taylan KARA'ya, tez yazım süresince destek olan Arş. Gör. Kadir SÜNNETÇİ ve ince kesitleri hazırlayan Kaan DEDE'ye teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın başından sonuna kadar değerli vaktini bana ayıran, her kelimesinin yazımında emeği ve hakkı olan kuzenim Handan AYDURMUŞ'a, çalışmalarım sırasında gelip bana yardımcı olmaya çalışan küçük komşum, en iyi arkadaşım Zeynep Berra KARA'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Bu seviyeye gelmemde yaşamını bana adayan, zor günlerimde yanımda olan; bana güvenen, maddi manevi desteğini eksik etmeyen, elinden geldiğince en iyisini yapmaya çalışarak yanımda olan annem Hürmet AYDURMUŞ ve genç yaşta hayata gözlerini kapatan rahmetli babam Nurettin AYDURMUŞ'a sonsuz şükranlarımı sunarım.

Tezin hazırlanmasında Tübitak 1001 AR-GE kapsamındaki 114Y099 nolu projeye teşekkürü bir borç bilirim.

Tanju AYDURMUŞ

Gümüşhane, 2018

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	IV
SUMMARY	VI
TEŞEKKÜR	VIII
İÇİNDEKİLER.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XVI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Coğrafi Bilgiler.....	3
1.2.1. Coğrafi Konum.....	3
1.2.2. Topoğrafya	3
1.2.3. İklim ve Bitki Örtüsü.....	3
1.3. Bölgesel Jeoloji	4
1.4. Önceki Çalışmalar	6
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	7
2.1. Amaç ve Yöntemler.....	7
2.1.1. Arazi Çalışmaları.....	7
2.1.2. Laboratuvar Çalışmaları	7
2.1.2.1. İnce Kesit ve Parlak Kesitlerin Hazırlanması, İncelenmesi	7
2.1.2.2. Kimyasal Analiz İçin Örnek Hazırlanması	8
2.1.2.3. Sıvı Kapanım Analizleri.....	9
2.1.3. Büro Çalışmaları.....	10
3. BULGULAR	11
3.1. Stratigrafi ve Petrografi	11
3.1.1. Bazalt.....	13
3.1.2. Kireçtaşı.....	14
3.1.3. Andezit	16
3.1.4. Karadağ Granitoyidi	18
3.1.5. Kuvars Porfir	20
3.1.6. Diyorit	21

3.2.	Kayaç Jeokimya	23
3.2.1.	Kireçtaşlarının Jeokimyası	23
3.2.3.	Karadağ Granitoyidi'nin Jeokimyası.....	26
3.3.	Karadağ Skarn Cevherleşmesi.....	33
3.3.1.	Skarn Mineralojisi	34
3.3.2.	Cevher Mineralleri, Parajenez ve Süksesyon	38
3.3.3.	İkincil Cevher Mineralleri	45
3.3.4.	Cevher Mineralleri Oluşum Sırası (Süksesyon).....	47
3.4.	Sıvı Kapanım.....	48
3.4.1.	Homojenleşme Sıcaklığı ve Tuzluluk Değerleri	55
4.	TARTIŞMA.....	57
5.	SONUÇLAR	70
6.	KAYNAKLAR.....	72
ÖZGEÇMİŞ		

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 3.1. Karadağ ve çevresindeki plütonik kayaların modal analiz sonuçları.....	19
Tablo 3.2. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesi yakınındaki kireçtaşı, yeniden kristallenmiş kireçtaşı ve mermerin jeokimyasal analiz sonuçları	24
Tablo 3.3. Karadağ Granitoyidi'ne ait ana (%) ve iz element (ppm) analizleri.....	28
Tablo 3.4. Karadağ Fe-Cu Skarn cevherleşmesinde minerallerin oluşum sırası	48
Tablo 3.5. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinde ekzoskarn zonundaki kuvars ve kalsit minerallerine ait mikrotermometrik veriler.....	50
Tablo 3.6. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinde ekzoskarn zonundaki kuvars ve kalsit minerallerine ait % NaCl eş değeri tuzluluk verileri.....	55
Tablo 4.1. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinin diğer Fe ve Fe-Cu skarn yatakları ile karşılaştırılması.....	68

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Çalışma alanının yer bulduru haritası	1
Şekil 1.2.	Çalışma alanındaki eski işletmelere ait pasa ve cüruf yığınlarının görünümü.....	2
Şekil 1.3.	Çalışma alanındaki Karadağ Fe-Cu Skarn Cevherleşmesi'nin genel görünümü.....	2
Şekil 1.4.	a) MTA 2011'den değiştirilerek b) Karadeniz Bölgesi'ndeki Metalojenik Kuşakları gösteren harita.....	5
Şekil 2.1.	a) Aşındırıcı tozlar ile kesitlerin hazırlanması b) Alimünyum oksit tozu ve elmas solüsyonun kullanılması c) Sıvı kapanım ölçümlerinin yapılması.....	10
Şekil 3.1.	Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesi ve çevresinin stratigrafik kolon kesiti.....	11
Şekil 3.2.	İnceleme alanının jeolojik haritası, Karadağ Fe- Cu skarn cevherleşmesi ve skarn mineral birlikteliklerini gösteren harita	12
Şekil 3.3.	Çalışma sahasındaki bazaltlardan bir görünüm	13
Şekil 3.4.	Bazaltın mikroskopta çift nikoldeki görünümü. a) Epidotlaşma ve kloritleşme gösteren piroksen mineralinin görünümü (Örn.No.: S-4), b) Yarı öz şekilli ve porfiritik doku gösteren plajiyoklas minerali (Örn. No.: S-5), c) Çift nikolde iri kristalli, yarı öz şekilli, albit ikizi ve zonlu yapı gösteren plajiyoklas minerali (Örn. No.: S-32), d) Elek dokulu plajiyoklas ve amfibol mineralinin görünümü (Örn. No.: S-4).	14
Şekil 3.5.	Karadağ Fe-Cu skarn sahasındaki kireçtaşlarının görünümü. a) kireçtaşı içinde manyetit ve hematit bantları (siyah renkli), b) kireçtaşının arazideki görünümü ve c) Mermere dönüşmüş kireçtaşının ince kesitte çift nikoldeki görünümü (Örn. No.: S-33).....	15
Şekil 3.6.	Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinde kireçtaşından alınan biyomikritte belirlenen fosillerin mikroskopta tek nikoldeki görüntüleri. a) Globotruncana ventricosa (White), b) Globotruncana angusticarinata Gondolfi.....	16
Şekil 3.7.	İnceleme sahasındaki andezitlere ait bir görünüm.....	17
Şekil 3.8.	Andezitin mikroskoptaki görünümü a) Çift nikolde hornblend mineralinin görünümü (Örn. No.: S-42), b) Glomerofirik doku gösteren plajiyoklas ve piroksen mineralleri görünümü (Örn. No.: S-42), c) Klorite ve opak minerale dönüşmüş piroksen minerali görünümü (Örn. No.: S-17) ve d) Çift nikolde epidotlaşmış, kloritleşmiş amfibol mineralinin görünümü (Örn. No.: S-18).....	18

Şekil 3.9. Karadağ Fe-Cu Skarn cevherleşmesinde görülen granitoyidlere ait kayaç örneklerinin QAP diyagramındaki konumları (Streckeisen, 1976).....	19
Şekil 3.10. Karadağ sahasındaki kuvars porfirin arazideki görünümü	20
Şekil 3.11. Karadağ'daki kuvars porfir'in ince kesit görüntüleri. a) Öz şekilsiz kuvars mineralinin tek nikol görüntüsü (Örn. No.: S-6), b) Üzeri serizitleşmiş özşekilsiz ortoklas mineralinin tek nikol görüntüsü (Örn. No.: S-6)	21
Şekil 3.12. Karadağ madeni etrafında yüzeyleme veren diyoritin arazideki görünümü.....	22
Şekil 3.13. Diyorit örneğinin ince kesitte çift nikoldeki görünümeleri. a) Plajiyoklas ve hornblend minerali (Örn. No.: S-35), b) Piroksen minerali (Örn. No.: S-39), c) Elek dokulu plajiyoklas mineralleri (Örn. No.: S-39)	23
Şekil 3.14. Karadağ Fe-Cu skarn yatağındaki kireçtaşlarının SiO_2 karşı değişim diyagramları a) Al_2O_3 , b) Fe_2O_3 ve c) K_2O , d) $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 'e karşı TiO_2	26
Şekil 3.15. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesine ait granitoyidik kayaç örneklerinin sınıflama diyagramındaki yerleri a) SiO_2 'e karşı $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ diyagramındaki (Middlemost, 1994) ve b) SiO_2 'e karşı K_2O (Le Maitre, 1989) ve c) AFM (Irvine ve Baragar, 1971) ve d) Shand (1947) değiştirilerek kullanılmıştır	27
Şekil 3.16. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesindeki granitoyidik kayaç örneklerinin SiO_2 'ye karşı ana oksit değişim diyagramları (semboller için Şekil 3.15a'ya bakınız).	30
Şekil 3.17. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesindeki granitoyidik kayaç örneklerin SiO_2 'ye karşı iz element değişim diyagramları (semboller için Şekil 3.15a'ya bakınız).	31
Şekil 3.18. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesindeki granitoyidik kayaç örneklerinin a) ilksel mantoya bileşimine (Sun ve McDonough, 1989) ve b) kondrit bileşimine (Boynton, 1984) ait değişim diyagramları. (semboller için Şekil 3.15a'ya bakınız).	33
Şekil 3.19. a) Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesine ait arazi görünümü b) Skarn zonunun arazideki görünümü c) Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesindeki eski işletmelere ait maden görünümü c) Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinde eski işletmelerden arda kalan curufun yakından görünümü	34
Şekil 3.20. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinin enine kesiti	35
Şekil 3.21. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesi ekzoskarn zonunda a) Granat-epidot-kalsit-kuvars-hematit birlikteliği, b) Epidot-kalsit birlikteliği ve c) Fe cevherinin arazideki görünümü	36
Şekil 3.22. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinde ekzoskarn zonundan alınan örneklerin mikroskoptaki görünümü. a) Ekzoskarn zonunda granatların arasını kalsit ve kuvars minerallerinin doldurması (Örn. No.: S-53), b) Granat-epidot-kuvars birlikteliği (Örn. No.: 17,), c) Parçalanmış granat ve bunların arasını dolduran kuvars ve çok az hematit (Örn. No.: 26), d)	

Çok az manyetitle birlikte küçük granat ve bunların arasını dolduran kuvars ve (Örn. No.: 21-M), e) Manyetit, kuvars ve hematit birlikteliği (Örn. No.: 21b) ve f) Granatlar arasında küçük piroksen ve epidot minerali (Örn. No.: 23)	37
Şekil 3.23. Oksidasyon zonunda görülen ikincil cevher minerallerinin arazideki görünümü	38
Şekil 3.24. Manyetitin cevher mikroskobisindeki görünümüleri. a) ve b) şekilli manyetitin görünümü (Örn. No.: 13), c) Limonitleşmiş ve hematitleşmiş manyetit (Örn. No.: 13), d) Manyetit üzerinde nadir olarak görülen ilmenit oluşumları (Örn. No.: 13), e) Yarı öz şekilli hematitleşmiş manyetitler (Örn. No.: 21-F) ve f) Manyetit içerisinde ve çatlaklarında kalkopiritler (Örn. No.: 13)	40
Şekil 3.25. Hematitin cevher mikroskobisindeki görünümüleri. a) İğnemsî çubuksu spekülait hematit lataları (Örn. No.: 26), b) Yarı özşekilli – düzensiz şekilli geniş yüzeyli hematit taneleri (Örn. No.: 21-E), c) Gang içerisinde tüy dokusu gösteren limonitleşmiş hematit (Örn. No.: 21-E), d) Öz şekilsiz hematit tanesi üzerinde kalkopirit ve malakit oluşumları (Örn. No.: 20), e) Öz şekilsiz ve yarı öz şekilli pirit taneleri üzerinde limonitle birlikte hematit oluşumu (Örn. No.: 20), f) konsantrik halkalar şeklinde gelişen hematit oluşumları (Örn. No.: 20-M)	41
Şekil 3.26. İlmenitin parlak kesitlerde görünümüleri. a) İskeletimsi dokuda kısmen hematitleşen manyetit üzerindeki ilmenitler (Örn. No.: 13) ve b) Kısmen hematitleşen yarı özşekilli bir manyetit tanesi üzerinde ilmenit oluşumları (Örn. No.: 13)	42
Şekil 3.27. Piritin cevher mikroskobisinde görünümüleri. a) Kataklastik doku gösteren üzeri limonitleşmiş pirit tanesi (Örn. No.: 20-E), b) Öz şekilsiz pirit tanesi ve kenarında malakit oluşumu (Örn. No.: 20), c) Öz şekilsiz pirit tanesi ve kenarında limonit oluşumu (Örn. No.: S-33), d) Kataklastik doku gösteren pirit taneleri (Örn. No.: 21-F)	43
Şekil 3.28. Kalkopiritin cevher mikroskobundaki görünümüleri. a) Manyetit içerisinde öz şekilsiz kalkopirit taneleri (Örn. No.: 13), b) Kalkopirit etrafında dijenit gelişimi (Örn. No.: 26) ve c) Gang içerisinde saçınımlı kalkopirit taneleri (Örn. No.: 20)	44
Şekil 3.29. Hematitleşmiş manyetit taneleri arasında boşlukta altın tanesi (Örn. No.: 21-F), b) Gang içerisinde üçgenimsi köşeli altın tanesi (Örn. No.: S-57)	45
Şekil 3.30. İkincil cevher minerallerinin mikroskoptaki görünümüleri a) Hematitleşmiş manyetitler üzerinde konsantrik halkalar şeklinde götit ve lepidokrozit-limonit oluşumları (Örn. No.: 20-M), b) Kalkopirit etrafında gelişen dijenitler (Örn. No.: 20), c) Kalkopiritin içinde dijenit oluşumu (Örn. No.: 20), d) Manyetit tanesi üzerinde hematit damarcıkları, limonit ve azurit ile birlikte küçük kalkopiritler (Örn. No.: S-47.1), e) Düzensiz şekilli piritler üzerinde ve kırıklarda malakit, azurit, hematit oluşumları (Örn. No.: 20), b), f) Gangın kırıklarında hematitten gelişen götit oluşumları (Örn. No.: 21-F)	46

Şekil 3.31. Karadağ skarn cevherleşmesinde ekzoskarn zonundaki kuvars ve kalsit minerallerinden birincil sıvı kapanım görüntüleri. a) Gaz fazın sıvı fazla oranı fazla kapanım (Örn. No.: S-60), b) Boyunlanmış sıvı kapanım (Örn. No.:S-49), c) Üç fazlı sıvı kapanım (Örn. No.:S-60), d) İkincil kökenli sıvı kapanım (Örn. No.: S-60), d) Kümelenmiş sıvı kapanım (Örn. No.: S-60)	49
Şekil 3.32. Kuvars ve kalsit minerallerine ait sıvı kapanımların homojenleşme sıcaklıklarının histogramları	54
Şekil 4.1. Çalışma alanındaki granitoyid örneklerinin üçgen diyagramlardaki konumları a) Nb-Y, b) Rb-(Y+Nb) (Pearce ve diğ., 1984) ve c) Rb/30-Hf-Ta*3 (Harris ve diğ., 1986), (Çeşitli skarn yataklarına eşlik eden plütonik kayalar için ortalama değerler Meinert, 1985'den alınmıştır. (Semboller için Şekil 3.15a'ya bakınız).	58
Şekil 4.2. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesindeki granitoidlerin ve Fe-, Au-, Cu-, Zn-W-, Mo- ve Sn-skarnlara eşlik eden granitoidlerin diyagramlardaki konumları a) Ni'e karşı V ve b) Sc'a karşı Rb (Meinert, 1995; Meinert ve diğ., 2005'ten değiştirilerek). Semboller için Şekil 3.15a'ya bakınız.	59
Şekil 4.3. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesine ait sıvı kapanımların homojenleşme sıcaklığına (°C) ile tuzluluk (% NaCl) değerlerinin dağılımı (farklı kökenli hidrotermal akışkanların ortalama sıcaklık ve tuzluluk alanları Bodnar, (1999)'dan; Eğrikar verileri Sipahi ve diğ. (2017)'den; sıvıların gelişim yönsemeleri Wilkinson (2001); Midi, Mastra ve Arzular sahalarının verileri Akaryalı (2016)'den alınmıştır).....	60
Şekil 4.4. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesi kuvarslardaki tuzluluk (% NaCl) ve Homojenleşme sıcaklıklarının (°C) çeşitli yatak tiplerinde görülen karakteristik tuzluluk (% NaCl) ve sıcaklık (°C) değerleri (Wilkinson, 2001) ile karşılaştırılması (Eğrikar verileri Sipahi ve diğ. (2017)'den alınmıştır).....	61
Şekil 4.5. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinin ekzoskarn minerallerindeki homojenleşme (Th°C) ve son buz ergime (Tm _{buz}) sıcaklıklarının dağılımı (Akıska ve Demirela (2014)'den değiştirilerek; Eğrikar verileri Sipahi ve diğ. (2017)'den alınmıştır).....	62
Şekil 4.6. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmelerinin ekzoskarn minerallerindeki İlk buz ergime (Tm _i) ve homojenleşme (Th°C) sıcaklıklarının dağılımı (Shephard ve diğ. (1985)'den değiştirilerek; Eğrikar verileri Sipahi ve diğ. (2017)'den alınmıştır).....	63
Şekil 4.7. Karadağ Fe-Cu skarn yatağı, Eğrikar Fe-Cu skarn yatağı ve Kara Fe skarn yatağının; İlk buz ergime (Tm _i), tuzluluk ve homojenleşme sıcaklık (Th°C) değerleri.....	64

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al	: Altın
Amf	: Amfibol
A.K.	: Ateşte Kayıp
ANTE	: Ağır Nadir Toprak Elementler
Az	: Azurit
Dij	: Dijjenit
Ep	: Epidot
G	: Gaz
Grn	: Granat
Gt	: Götit
Hm	: Hematit
HNTE	: Hafif Nadir Toprak Elementler
ICP-MS	: İndüktif Eşleşmiş Plazma –Kütle Spektrometrisi
İl	: İlmenit
K	: Katı
Ka	: Kalsit
Kl	: Klorit
Kpy	: Kalkopirit
Ku	: Kuvars
Lep	: Lepidokrozit
Lm	: Limonit
Mlc	: Malakit
My	: Manyetit
Pir	: Piroksen
PY	: Pirit
REE	: Nadir Toprak Element
S	: Sıvı
Syn- COLG	: Çarpışma Öncesi Granitoyidleri
VAG	: Volkanik Yay Granitoyidler

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İlgili araştırma, Doğu Karadeniz Bölgesi'nin Kuzey-Güney Geçiş Zonu'nda Gümüşhane sınırları içinde (Şekil 1.1) Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesini kapsamaktadır. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesi granatoyidin kireçtaşına sokulumu ile gelişen ekzoskarn tipinde olup, saha içerisinde geniş alanlar kaplamaktadır. Eski madencilik faaliyetlerinden arda kalan kalıntılar ve mostralardan hareketle Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesi işletiminin bölgede çok eski tarihlere dayandığı anlaşılmaktadır. Ayrıca sahada eskiden kalma birçok yarma kuyu, galeri ve 1-2 km²'lik bir alanı kaplayan pasa ve cüruf yığınlarının varlığı işletimin eski tarihlere dayandığını desteklemektedir (Şekil 1.2 ve Şekil 1.3).



Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası



Şekil 1.2. Çalışma alanındaki eski işletmelere ait pasa ve cüruf yığınlarının görünümü



Şekil 1.3. Çalışma alanındaki Karadağ Fe-Cu Skarn Cevherleşmesi'nin genel görünümü

Bu çalışmada Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinin cevher ve skarn mineral türleri, cevherin dokusu, mineral parajenezi ve süksesyonu, kayaç jeokimyası ve sıvı kapanım çalışmalarıyla cevher oluşumunda etkili olan sıvıların kökeni ortaya konulmaya çalışılmıştır. Skarn cevherleşmesinin oluşumunda etkili olan granitoyid ve tortul kayaçlar yan kayaçlar olup, bu çalışma ile elde edilen yeni jeolojik bulgular bölgede mevcut madenlerin aranması, geliştirilmesi ve yeniden değerlendirilmesinde çok önemli bir rol oynayacaktır.

1.2. Coğrafik Bilgiler

1.2.1. Coğrafi Konum

Çalışma sahası, Doğu Karadeniz Bölgesi, Gümüşhane İl sınırlarının GB'da bulunan Galis Köyü'nde olup, 1/25.000 ölçekli Trabzon H42-C3 paftasında yer alan yaklaşık 12 km²'lik bir alanı kaplayan Karadağ cevherleşmesidir. Çalışma alanı Gümüşhane İli'ne yaklaşık 57 km uzaklıktadır. 45 km asfalt bir yol sonrası ulaşılan Galis Köyü'nden sonra yaklaşık 12 km stabilize yol takip edildikten sonra Karadağ cevherleşmesine ulaşılmaktadır.

1.2.2. Topoğrafya

Çalışma sahası, topoğrafya açısından oldukça engebeli bir yapıya sahiptir. Derin vadiler ve yüksek tepelerden oluşmaktadır.

Akarsu yatağı bakımından oldukça zengin bir görünüme sahip Karadağ sahası ve çevresinde akarsular kuzey güney yönünde akmaktadır. Bölgenin en önemli akarsuları; Galis Dere, Karadağ Dere ve Maden Dere'dir. Ayrıca bu derelere bağlanan farklı debilerdeki irili ufaklı birçok tali dereler mevcuttur. Halkın geçimi için önemli bir yere sahip tarım sektöründeki sulama ihtiyacını karşılayan bu akarsular üzerinde, turistik açıdan önemli bir yere sahip tatlı su balıkçılığı da yapılmaktadır.

1.2.3. İklim ve Bitki Örtüsü

Doğu Karadeniz Bölgesi iklim kuşağında yer alan inceleme sahası denizden uzak ve yüksek oluşu nedeni ile karasal iklim özelliklerine sahiptir. Yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve kar yağışlıdır. Bölgedeki yükselti farkı, yağış ve sıcaklık dağılımını önemli

ölçüde etkilediğinden dolayı vadinin genelinde kar örtüsü yılın büyük bir bölümünde yerde görünmektedir.

Yükseklik ve sıcaklık farkından dolayı bitki örtüsünün fazla gelişmediği çalışma alanının alçak kesimlerinde çam ve köknar ormanları, yüksek kesimlerde ise iğne yapraklı ormanlar yer almaktadır. Tepe noktaları ise tamamen çıplak olup çayırlarla kaplıdır.

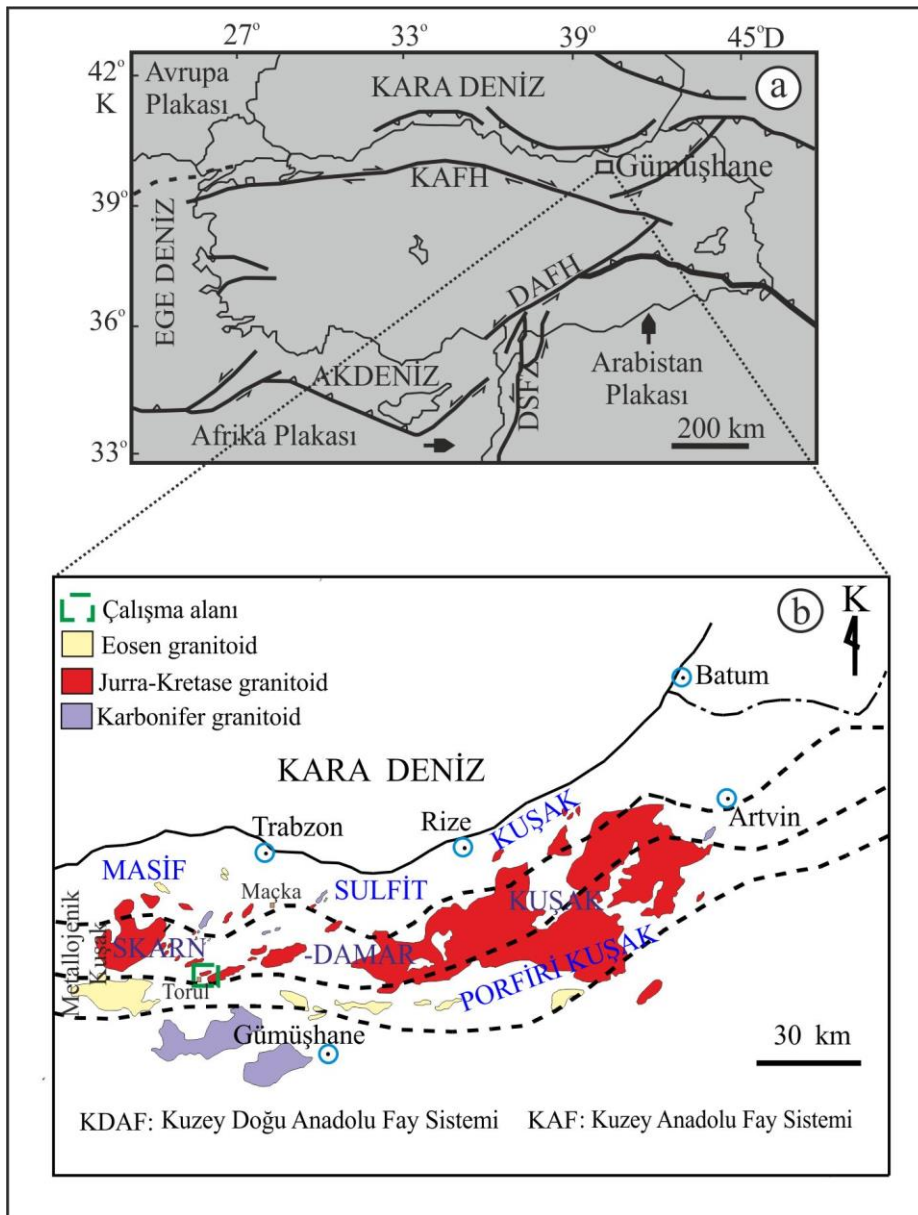
1.3. Bölgesel Jeoloji

Ketin (1966), Türkiye'nin orojenik gelişimini göz önüne alarak Doğu Pontidler (Karadeniz Bölgesi), Anatolid ve Torid Kuşağı, Kenar Kıvrımları olarak 4 ana tektonik birim altından incelemiştir. Daha sonra yapılan çalışmalardan Ketin ve Canitez (1972) daha önce Pontidler olarak adlandırılan kuşağı Doğu ve Batı Pontidler olmak üzere ikiye ayırmıştır. Doğu Karadeniz'de yer alan Geç Kretase yaşlı kayaçlar ise kuzey ve güney kesimlerde farklılıklar gösterdikleri için güney zon ve kuzey zon olarak bölümlendirilmiştir (Akın, 1978; Gedikoğlu ve diğ., 1979; Özsayar ve diğ., 1981). Bektaş (1986) ise Doğu Karadeniz magmatik yayını kuzeyden güneye doğru farklı magmatik, tektonik ve sedimantolojik evrim aşamalarına göre kuzey, güney ve eksen zonu olarak üç alt zonda incelemiştir.

Bölgede egemen olan magmatizma ve volkanizmaya bağlı olarak gelişen maden yatakları yerli ve yabancı araştırmacıların ilgisini çekmektedir (Schulz-Westrum, 1961; Pejatoviç, 1979; Türk-Japon Ekibi, 1985; Sipahi, 2011; Aydınçakır, 2014; Akaryalı, 2010; Sipahi ve Sadıklar, 2014; Kaygusuz ve diğ., 2014; Sipahi ve diğ., 2014; Akaryalı, 2016; Akaryalı ve Akbulut, 2016; Yılmaz, 2016; Sipahi ve diğ., 2017; Demir ve diğ., 2017). Mevcut çalışmalar genelde bölgede ekonomik önem taşıyan cevherleşmelerdedir. Çalışma alanının içinde bulunduğu Doğu Karadeniz metal provenzi Tetis Okyanus kabuğunun Paleozoyik-Miyosen zamanında gerçekleşen yitimin'e bağlı olarak gelişmiş magmatik yay üzerindedir (Dixon ve Pereira, 1974; Şengör ve Yılmaz, 1981; Çağatay ve Eastoe, 1995). Tetis-Avrasya metalojeni kuşağı içerisinde yer alan bu zon, Doğu Avrupa, Kuzeydoğu Türkiye, Kafkaslar, İran ve Orta Asya'ya kadar uzanır (Jankoviç, 1980).

Doğu Karadeniz Bölgesinde farklı tip maden yatakları D-B yönüne paralel şekilde yerleşmiş ve bölgenin jeolojik evrimine bağlı olarak gelişmiştir (Tüysüz ve diğ., 1994; Akçay ve diğ., 1998; Tüysüz ve Akçay, 2000; Lermi, 2003; Saraç, 2003; Akaryalı, 2010; Sipahi, 1996, 2005 ve 2011; Çiftçi, 2011; Sipahi ve Sadıklar, 2010; 2014; Sipahi ve diğ.,

2014; Akaryalı, 2016; Akaryalı ve Akbulut, 2016; Yılmaz, 2016; Sipahi ve diğ., 2017; Demir ve diğ., 2017). Bu yataklar içerisinde ekonomik değere sahip en önemli cevherleşmeler porfiri Cu (Au, Mo) yatakları, skarn yatakları, volkanizmaya bağlı olarak gelişmiş masif sülfür yatakları ve epitermal Au-Ag yataklarıdır (Tüysüz, 1995; Akçay ve Tüysüz, 1998; Akçay ve Arar, 1999; Tüysüz ve Akçay, 2000; Saraç, 2003; Akaryalı, 2010; Sadıklar ve diğ., 2007; Sipahi, 1996, 2011; Sipahi ve Sadıklar, 2010; Çiftçi, 2011; Akaryalı ve Tüysüz, 2013; Sipahi ve diğ., 2014; Akaryalı, 2016; Akaryalı ve Akbulut, 2016; Yılmaz, 2016; Sipahi ve diğ., 2017; Demir ve diğ., 2017; (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. a) MTA 2011'den değiştirilerek b) Karadeniz Bölgesi'ndeki Metalojenik Kuşakları gösteren harita (Pejatoğlu, 1971).

1.4. Önceki Çalışmalar

Araştırmacılar (Çoğulu, 1975; Pejatović, 1979; Bektaş, 1986; Arslan ve diğ., 1997; Tüysüz, 2000; Lermi, 2003, Akaryalı, 2010; Sipahi, 2011; Sipahi ve Sadıklar, 2014; Sipahi ve diğ., 2014; Kaygusuz ve diğ., 2014; Sipahi ve diğ., 2018) Karadeniz Bölgesi'nin magmatik bir yay karakteri gösterdiği konusunda hem fikirdir. Bu yay üzerinde ise volkanizma, plütönizma ve tektonizma ile ilişkili maden yataklarının oluştuğunu kabul etmektedirler.

Bosch ve diğ. (1974) Karadağ ve çevresinde yaptıkları çalışmada sahada skarn cevherleşmesi, damarcık cevherleşmesi yanında dissemine pirit ve skarn minerallerinin; manyetit, hematit, malakit, azurit, krizokal ve hemimorfit olduğunu belirtmişlerdir. Skarn zornlarındaki örneklerde jeokimyasal analiz sonucu 27700 ppm Cu, 22400 ppm Zn ve 4000 ppm Pb tesbit etmişlerdir.

Çınar ve diğ. (1983) Karadağ ve çevresinde yaptıkları çalışmada sahada esas cevherleşmenin kristalize kireçtaşları içinde skarn zornlarında olduğunu kireçtaşlarının da daha çok tavan seviyelerinde 3-4 m kalınlığında geliştiğini belirlemişlerdir. Yapılan bu çalışmaya göre; manyetit, kalkopirit, pirit, galenit, sfalarit ile malakit, azurit ve limonit cevher mineralleri, cevherleşmeye eşlik eden skarn mineralleri ise granat, epidot, diyopsit, vollastonit ve vezüvyanit'tir. Ayrıca kuvars, kalsit ve barit belirlenmiştir. Cevherli skarn zonundan alınan bir örneğin kimyasal analiz sonucunda %21.45 Cu, %4.93 Pb, %0.45 Zn olarak belirlenmiştir.

Güner ve diğ. (1985) tarafından Karadağ civarında yapılan çalışmada; sahada volkanik tortul ve intrüzif kayalar ve birimlerin bir kısmını kesen granit, kuvarslı diyorit, kuvars porfir intrüzifleri olduğunu belirtmişlerdir. Cevherleşmenin genç granitik intrüzyonlara bağlı olduğunu skarn, porfiri ve damartip olmak üzere üç çeşit cevherleşme olduğunu belirtmişlerdir. Alınan örneklerde jeokimyasal analiz en yüksek değer ppm cinsinden 450 Cu, 480 Pb, 7 Ag, 28 Mo, 10 Sn, 30 Sb, 123 Zn değerleri saptanmıştır.

Skarn yatağının oluşumunda etkili olan ve proje sahası içerisinde yüzeyleme veren granitoidik kayalar üzerinde yapılan araştırmalar sınırlı sayıdadır. Yalnızca; Torul granitoidi (Kaygusuz, 2000; Kaygusuz ve diğ., 2008; 2012; 2013) ve Zigana Plütonu (Karslı, 1996) ile ilgili detay araştırmalar yapılmış olup, proje alanı içerisindeki granitoidik bileşimli kayalar üzerinde sınırlı sayıda ve petrografik amaçlı çalışma yapılmıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Amaç ve Yöntemler

Bu çalışmanın temel amacı, Karadağ Fe-Cu skarn sahasındaki cevherleşmenin jeolojik haritası, mineralojisi, petrografisi, cevher parajenezi, yan kayaç jeokimyası ve sıvı kapanım özelliklerini inceleyerek oluşumunu açıklamaya çalışmaktır. Çalışma alanının jeolojik gelişimine katkı sağlayacak ve bu cevherleşmenin oluşumunu hakkında bilgi verecek bu çalışma arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları olmak üzere üç farklı aşamada gerçekleştirilmiştir.

2.1.1. Arazi Çalışmaları

Saha çalışmaları kapsamında öncelikle mostra veren birimlerin görülmesine, dokanak ilişkileri ve yapısal unsurların tanımlanmasına yönelik incelemeler yapılmıştır. Daha sonraki süreçte çalışma alanının değişik yerlerinde mosta veren birimlerden 160'a yakın kayaç ve cevher numunesi alınmıştır. Alınan bu kayaç numunelerinden 50 tanesi plütonik, 55 tanesi volkanik, 25 tanesi kireçtaşı ve 30 tanesi de cevher skarn minerallerinden oluşmaktadır. Önceki çalışmalar göz önüne alınarak çalışma sahasının 1/25000 ölçekli jeoloji haritası revize edilerek maden sahası içerisindeki kayaçların dokanak sınırlarında önemli derecede düzeltmeler ve değişiklikler yapılmıştır.

2.1.2. Laboratuvar Çalışmaları

2.1.2.1. İnce Kesit ve Parlak Kesitlerin Hazırlanması, İncelenmesi

Arazi çalışmaları sırasında alınan kayaç numunelerinden 160 tanesinin ince kesitleri hazırlanmış ve bu ince kesitlerin mikroskopta kapsamlı olarak incelenmiştir (doku, bileşim, modal analizler, adlama). Alınan kayaç numuneleri mineralojik, petrografik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan ince kesitler Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü ince kesit hazırlama laboratuvarında Buehler Petrothin cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İnce kesit hazırlama aşamasında kayaç numunesinin taze yüzeyinden alınan 0.5x2x4 cm boyutundaki küçük plakaların bir tarafı aşındırıcı tozlar yardımıyla pürüzleştirilerek kesilmiş cam üzerinde Kanada balzamu

kullanılarak yapıştırılmıştır. Cam üzerine yapışmış olan plaka aşındırıcı tozlar kullanılarak 0.03 mm kalınlığına gelene kadar inceltilerek mineralojik ve petrografik özelliklerini belirlemek için hazırlanmıştır. Karadağ Fe – Cu skarn sahasından alınan cevher ve yan kayaç numunelerinden cevher mineral parajenezi ve süksesyonunu belirlemek için 25 adet parlak kesitler hazırlanmıştır. Arazi çalışmaları sırasında alınan cevherli kayaç numuneleri amaca yönelik olarak 2x2x1 cm boyutlarında kesilmiştir. Kesilen plaka şeklindeki kayaçlar aşındırıcılar yardımıyla (400, 600, 800,1000) cam üzerinde belirli zaman aralıklarında parlatma işlemi gerçekleştirilmiş ve son olarakta 0.1 mikron boyutundaki alimünyum oksit tozu kullanılarak yüzey parlatılmıştır.

Yapılan ince kesitler polarizan mikroskopu kullanılarak incelenmiştir. Cevher ve yan kayaç numunelerinden yapılan parlak kesitler ise üstten aydınlatmalı cevher mikroskobu kullanılarak cevherleşmenin parajenezi ve süksesyonu belirlenmiştir.

2.1.2.2. Kimyasal Analiz İçin Örnek Hazırlanması

Laboratuarda yapılan mikroskobik incelemeler sonucu ayrışma oranı göreceli olarak daha düşük 9 adet granitoid ve 3 adet kireçtaşı örneğinin ana, iz ve nadir toprak element analizleri ACME (Kanada) analitik kimya laboratuvarında yapılmıştır.

Seçilen kayaç numuneleri, ilk olarak tek çeneli kırıcı kullanılarak istenilen boyut elde edilene kadar kırılmış daha sonra boyutu 200 mesh'den daha küçük olacak biçimde halkalı öğütücü kullanılarak öğütülmüştür. Analize gönderilecek örnekler yaklaşık 1-2 kg ağırlığa sahip örnekler içerisinde çeyrekleme yapılarak elde edilmiştir. Ana ve iz element içerikleri, 0.2 g toz kayaç örneğinin 1.5 g LiBO₂ ile çözündürülüp daha sonra 100 mg %5'lik HNO₃ de çözündürüldükten sonra ICP-MS kullanılarak ölçülmüştür. REE içerikleri ise 0.25 g toz kayaç örneği 4 farklı asit içerisinde çözündürülmüş, ICP-MS kullanılarak analiz edilmiştir. Ateşte kayıp oranı toz örneklerin 1000 C'de yakılması sonucu oluşan ağırlık farkından hesaplanmıştır. Toplam Fe içeriği Fe₂O₃ cinsinden ifade edilmiştir. Dedeksiyon limitleri, ana oksitler için % ağırlık olarak 0.002 ile 0.04, iz elementler için 0.1 ile 0.8 ppm ve NTE için 0.01 ile 3ppm arasında bir değer almaktadır.

2.1.2.3. Sıvı Kapanım Analizleri

İnceleme alanından arazi çalışmaları sırasında sıvı kapanımına uygun örnekler alınmıştır. Alınan örneklerin parlatılmış kesitleri Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü ince kesit hazırlama laboratuvarında hazırlanmıştır. Sıvı kapanım hazırlama sürecinde 2x1 cm boyutunda küçük plakalar kesilmiştir. Kesilen bu plakalar çeşitli boyutlardaki aşındırıcılar (100, 200, 400, 600, 800, 1000) yardımıyla belirli dakikalarda parlatma işlemine tabi tutulmuştur. Son olarak da 0.1 mikron boyutundaki alimünyum oksit tozu ve elmas solüsyon ile yüzey parlatılmıştır. Bu işlemlerden sonra 28x48x1 mm özel kesilmiş cam üzerine yapıştırıcı (uhu502) ile yapıştırılmıştır. Yapıştırılan kayaç örneği makineler yardımıyla mineralin şeffaflığına göre belirli bir inceliğe gelene kadar inceltilmiştir. Cam üzerine yapışmış inceltilmiş kesit tekrar aşındırıcılar (100, 200, 400, 600, 800, 1000) ile belirli dakikalarda parlatılma işlemine tabi tutulmuştur (Şekil 2.1). Son olarak da 0.1 mikron boyutundaki alimünyum oksit tozu ve elmas solüsyon kullanılarak mineralin şeffaflığına göre yaklaşık olarak belirli bir inceliğe getirilip çift taraflı parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu aşamalardan sonra aseton ve etil alkol kullanılarak kesit camdan ayrılmıştır.

Hazırlanan kesitlerde sıvı kapanım ölçümleri Gümüşhane Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Jeoloji Mühendisliği Laboratuvarı Sıvı Kapanım Ünitesi'nde gerçekleştirilmiştir. Sıvı kapanım çalışması için kullandığımız cihaz Linkam MDSG 600 (motorize) ısıtma ve soğutma teflon tablası Zeiss imager A2M polarizon mikroskopa monte edilmiştir (Şekil 2.1). İncelemeler sırasında 10x, 20x ve 50x büyütme objektifler kullanılmıştır. Linkam MDSG 600 tam otomatik ve programlanabilen bir sisteme sahiptir. Bilgisayar ortamına Linksys32 isimli yazılım kullanılmıştır. Linkam MDSG 600 °C (motorize) tablasının sıcaklık aralıkları -200 ile 600 arasında değişmektedir. Isıtma ve soğutma hızı 0.1 °C/dk'dan 150 °C'ya kadar çıkmaktadır. Soğutma işleminde sıvı azot (N₂) kullanılmıştır. Cihaz sentetik saf H₂O ve H₂O-NaCl sıvı kapanım standartlarına uygun test edilmiştir. Bu standartlar doğrultusunda yapmış olduğumuz ölçümlerin sıvı kapanım termometresi için doğruluk ölçümleri; H₂O homojen sıcaklığı (Th_{H₂O}) ± 2.0 °C, H₂O son buz ergime (Tm_{H₂O}) ± 2.0 °C ve H₂O-NaCl ötektik sıcaklık (Tmi) ± 0.8 °C olarak bulunmuştur.



Şekil 2.1. a) Aşındırıcı tozlar ile kesitlerin hazırlanması b) Alimünyum oksit tozu ve elmas solüsyonun kullanılması c) Sıvı kapanım ölçümlerinin yapılması

2.1.3. Büro Çalışmaları

Ofis çalışmalarında öncelikli olarak, tez çalışması konusu ile ilgili kaynak taraması yapılmış, elde edilen kaynaklar ayrıntılı bir şekilde gözden geçirilmiştir. Daha sonra yapılan saha ve mikroskobik analizler neticesinde araştırma sahasının jeoloji ve petrografi haritası tekrar düzenlenmiştir. Yapılan düzenleme sonucunda kayaçların stragrafik ilişkileri belirlenerek Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinin özellikleri ortaya konulmuştur. Elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarılıp petrografik, mineralojik ve kimyasal analiz sonuçları değerlendirilerek grafik ve tablo çizimleri yapılmıştır. Bu araştırmalar birleştirilip yorumlanarak Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak tez haline getirilmiştir.

3. BULGULAR

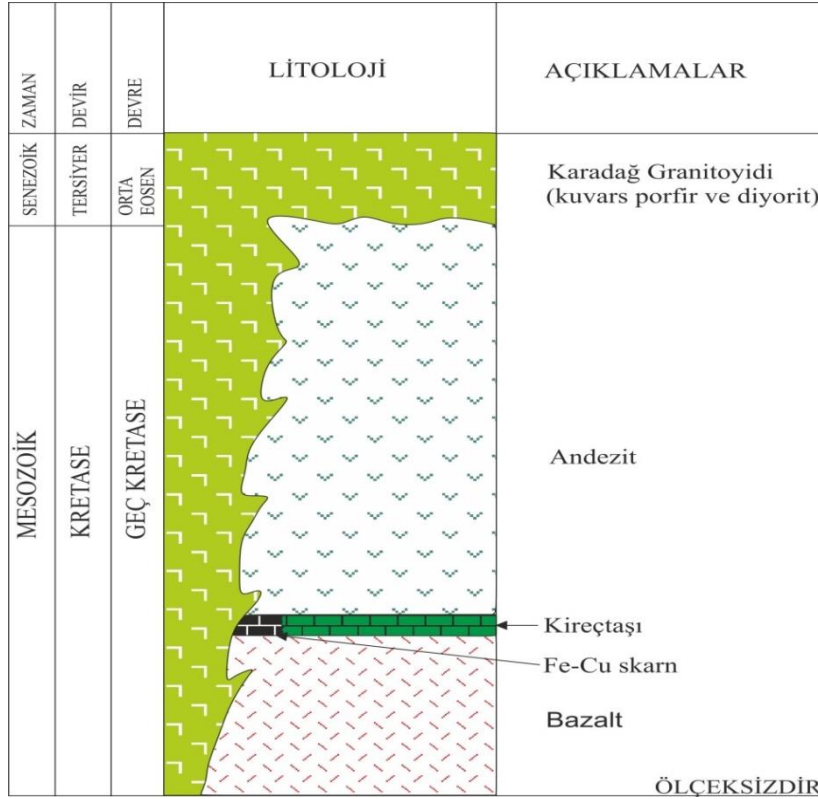
3.1. Stratigrafi ve Petrografi

Karadağ Fe – Cu skarn cevherleşmesinin yer aldığı sahada volkanik, tortul ve intruzif kayalar egemendir. Çalışma sahasında tabanda bazalt üzerine andezit gelmektedir. Tüm bu birimleri Karadağ Granitoyidi (kuvars porfir ve diyorit) kesmektedir. Karadağ Fe - Cu skarn cevherleşmesi Karadağ Granitoyidi ile kireçtaşı dokanağında oluşmuştur (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2).

İnceleme sahası ve etrafındaki stratigrafik alanlar yaşlıdan gence doğru şu şekilde sıralanmaktadır:

- 1) Bazalt
- 2) Andezit (Kireçtaşı mercikleri içerir.)
- 3) Karadağ granitoyidi (kuvars porfir ve diyorit)

} Geç Kretase
}
} Orta Eosen



Şekil 3.1. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesi ve çevresinin stratigrafik kolon kesiti

3.1.1. Bazalt

Çalışma alanındaki bazaltlar Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinin KD tarafında mostra verirler. Bazaltlar makroskobik olarak koyu gri, koyu yeşil renkte olup, petrografik incelemeler sonucunda mikrolitik porfirik dokuya sahip olduğu görülmüştür. Plajiyoklas (serizitleşmiş), amfibol (kloritleşmiş), piroksen (kloritleşmiş, epidotlaşmış) ve opak minerallerinden oluşmaktadır (Şekil 3.3).



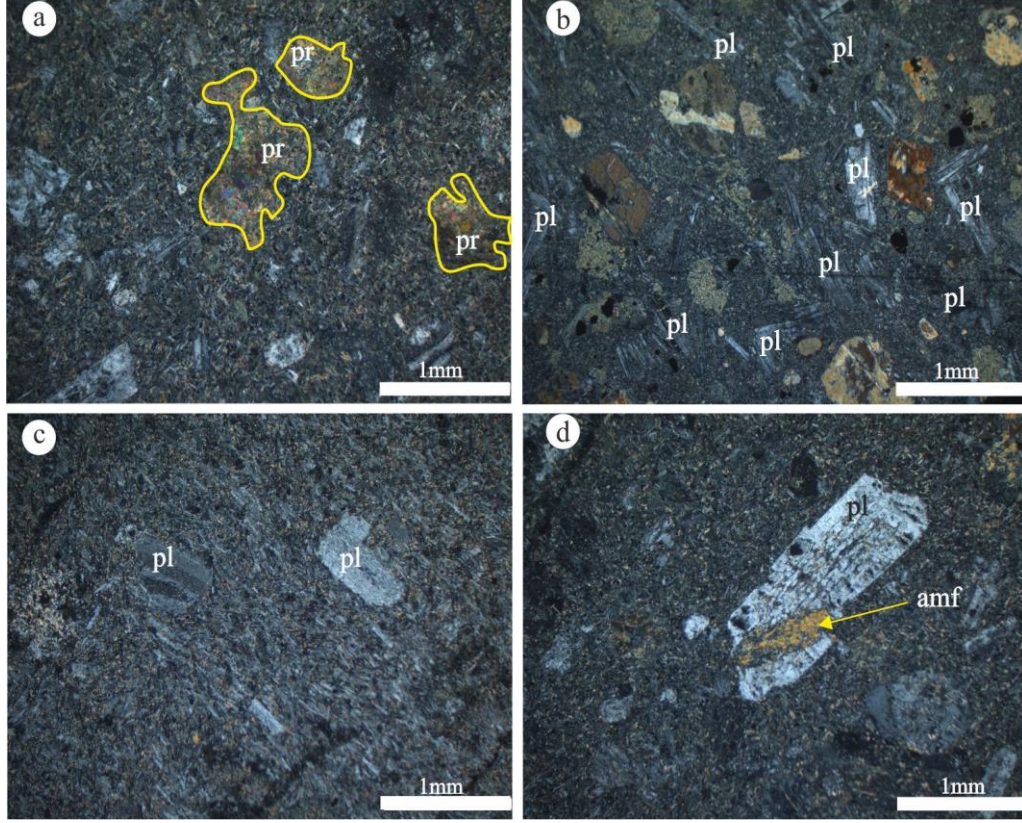
Şekil 3.3. Çalışma sahasındaki bazaltlardan bir görünüm

Plajiyoklaslar, öz ve yarı öz şekilli iri kristaller, hamurda da küçük kristaller şeklinde bulunmaktadır. Sönme açlarına göre yapılan cins tayininde (010'a dik kesitlerde) An içeriğinin 60-70 aralığında değiştiği cinsinin de labrador olduğu belirlenmiştir. Kayaçta %50-55 oranında bulunur. Mikroskopta plajiyoklasların çoğunun ayrıışmış olduğu görülmektedir. Çoğunda serizit oluşmuştur (Şekil 3.4b, c, d).

Amfibol, öz şekilli ve yarı özşekilli olup hamurda da küçük kristaller halinde bulunur. Ayrıışma sonucunda çoğu kloritleşmiştir. Kayaçta %10-15 oranında bulunur (Şekil 3.4d).

Piroksen, öz şekilli kristaller halinde bulunmaktadır. Piroksen minerali ayrıışma sonucu klorit ve epidota dönüşmüştür. Yaklaşık olarak da %5-10 oranında görülür (Şekil 3.4a).

Opak mineraller, kayaçta mikrokristaller şeklindedir. Kayaç içerisinde %5-8 oranında bulunurlar.

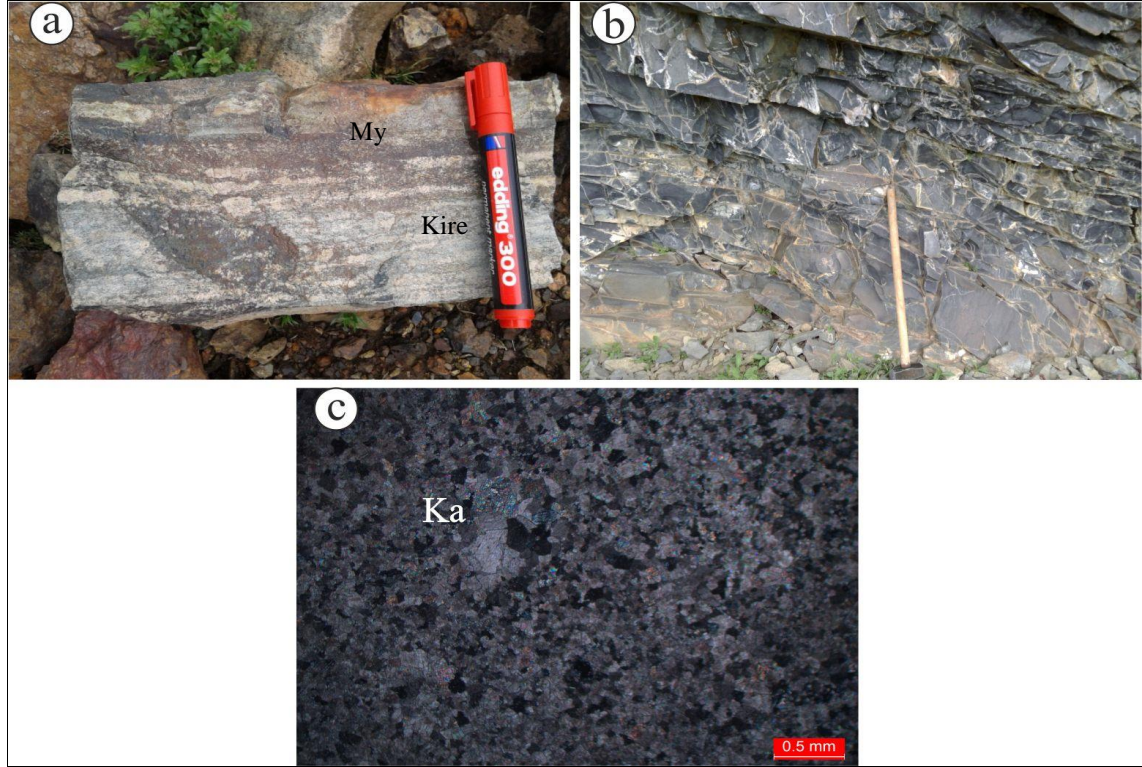


Şekil 3.4. Bazaltın mikroskopta çift nikoldeki görünümü. a) Epidotlaşma ve kloritleşme gösteren piroksen mineralinin görünümü (Örn.No.: S-4), b) Yarı öz şekilli ve porfiritik doku gösteren plajiyoklas minerali (Örn. No.: S-5), c) Çift nikolde iri kristalli, yarı öz şekilli, albit ikizi ve zonlu yapı gösteren plajiyoklas minerali (Örn. No.: S-32), d) Elek dokulu plajiyoklas ve amfibol mineralinin görünümü (Örn. No.: S-4). Pr: Piroksen, Pl: Plajiyoklas, Amf: Amfibol.

3.1.2. Kireçtaşı

İnceleme alanının Maden Dere etrafında mostra veren kireçtaşları KD doğrultulu ve GD eğimli olup tabanında bazaltlar ve üzerinde andezitler bulunmaktadır. Çoğunlukla beyazımsı gri ve grimsi renkli, yer yer yeniden kristallenmiş ve mermere dönüşmüştür (Şekil 3.5c). Kireçtaşlarında tabakalanma yer yer ince – orta lamine olup üst seviyelere doğru orta tabakalı özellik göstermektedir. Arazi çalışmaları sırasında mermerlerin mercek şeklinde ve sakkoroid dokuda oldukları görülmüştür (Şekil 3.5b). Mermerlerde iri kalsit mineralleri arasında küçük bantlar şeklinde manyetit ve hematit oluşumları görülmektedir

(Şekil 3.5a). Karadağ granitoyidi kontağına doğru mermerlerde kalsit tanelerinin irileştiği, kireçtaşıda granat oluşumları, manyetit ve hematit damarcıkları, yer yer epidot bantları görülmektedir. Sadece kalsit mineralinden oluşan ve az da olsa fosil içeren kireçtaşları ise biyomikrit olarak adlandırılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.5. Karadağ Fe-Cu skarn sahasındaki kireçtaşlarının görünümü. a) kireçtaşı içinde manyetit ve hematit bantları (siyah renkli), b) kireçtaşının arazideki görünümü ve c) Mermere dönüşmüş kireçtaşının ince kesitte çift nikoldeki görünümü (Örn. No.: S-33). My: Manyetit, Hm: Hematit, Ka: Kalsit

Bu birime ait paleontolojik inceleme Y.Doç.Dr. Meral KAYA (Atatürk Üniversitesi) tarafından yapılmış ve sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Örn. No: S-19b ve S-19

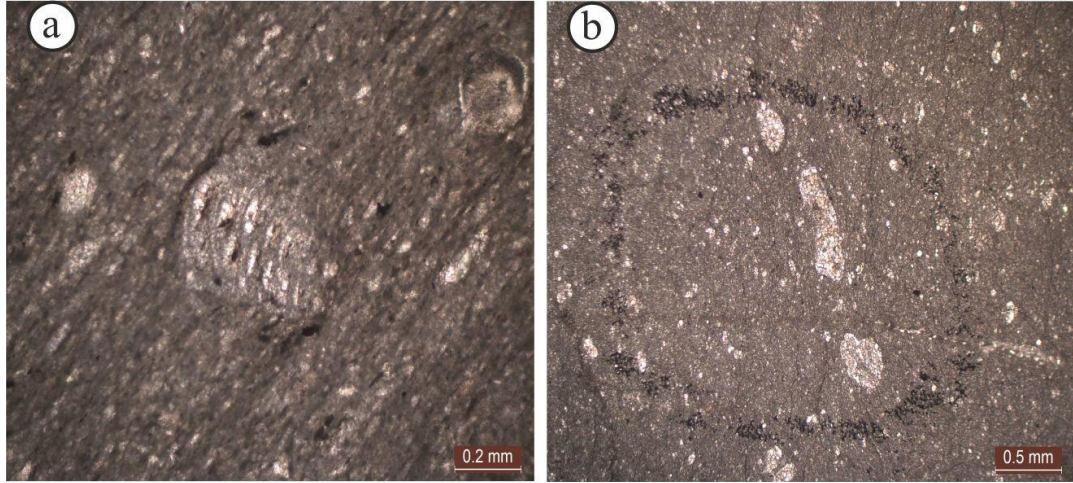
Alındığı yer: Cilaz Tepe batısı

Bentik Foraminifer: *Textulariid form*

Plantik Foraminifer: *Globotruncana ventricosa* (White), *Globotruncana angusticarinata* Gondolfi (Şekil 3.6).

Yaş: Alt Kampaniyen (Üst Kretase)

Kayaç adı: Biyomikrit



Şekil 3.6. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinde kireçtaşından alınan biyomikritte belirlenen fosillerin mikroskopta tek nikoldeki görünüşleri. a) Globotruncana ventricosa (White), b) Globotruncana angusticarinata Gondolfi

3.1.3. Andezit

Çalışma alanındaki andezitler jeolojik haritanın orta ve batı kısmında büyük bir bölümünde yüzeylemektedir. Andezitler makroskobik olarak koyu gri, gri ve yeşil renkte olup petrografik incelemeler sonucunda mikrolitik ve glomeraporfirik dokuya sahiptir. Andezitler çatlaklı bir yapıya sahip olup bu çatlaklar boyunca yer yer cevherleşme görülmektedir. Hidrotermal alterasyonlar sonucunda kloritleşme, kalsitleşme ve daha çok intruzif kayaç dokanağına yakın yerlerde epidotlaşma ve silişleşme yaygın olarak görülmektedir. Andezitler plajiyoklas, hornblend, amfibol, piroksen, epidot ve opak minerallerinden oluşmaktadır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. İnceleme sahasındaki andezitlere ait bir görünüm

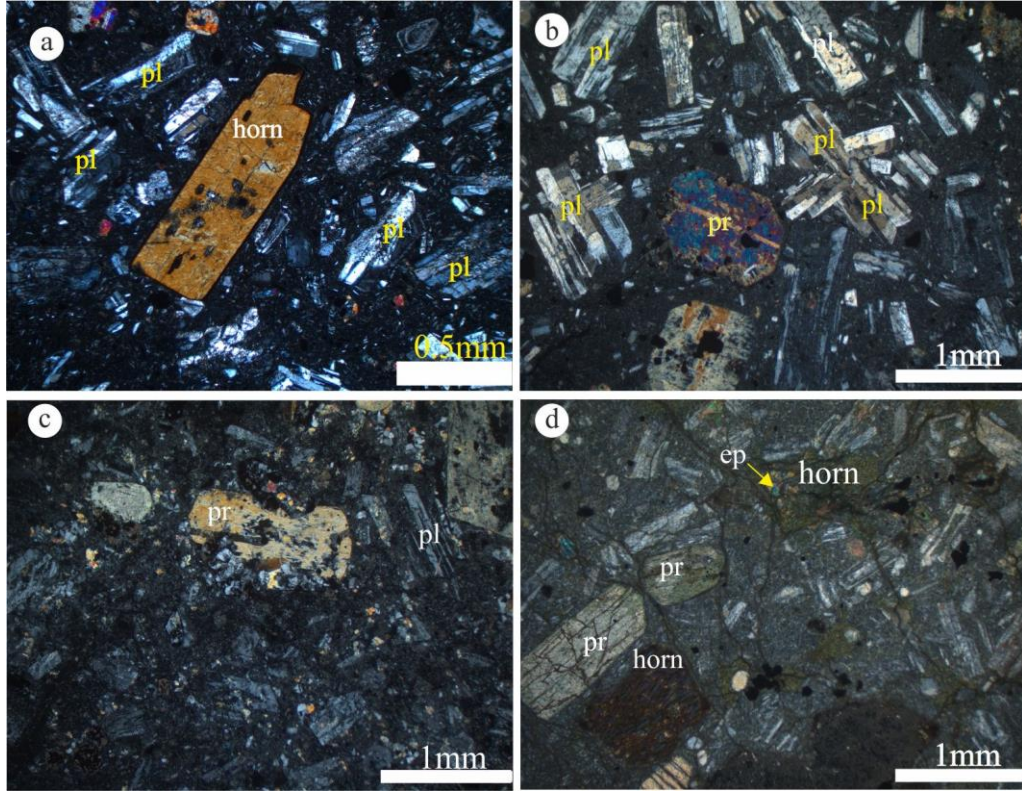
Plajiyoklas, öz ve yarı öz şekilli olup hamurda da genellikle küçük kristaller şeklinde görülür. Albit ikizlenmesine sahip olan plajiyoklaslar yer yer zonlu yapı gösterir ve kayaçta %45-50 oranındadır. Sönme açılarına göre yapılan cins tayininde (010'a dik kesitlerde) An içeriğinin 40-50 arasında değiştiği ve cinsinin andezin olduğu belirlenmiştir. Plajiyoklas genel olarak serizitlemiştir (Şekil 3.8a, b, c).

Amfibol, genellikle öz ve yarı özşekilli olarak görülmektedir. Kayaçta yaklaşık %10-15 arasında bulunur. Amfibollerin türü hornblendtir. Hornblend mineralleri üzerinde bazılarında ayrışma sonucu kloritleşme ve epidotlaşma gelişmiştir (Şekil 3.8a, d).

Piroksen, öz şekilli ve yarı öz şekillidirler. İçerisinde ve kenarları boyunca kapanımlar vardır. Yaklaşık olarak da %5-10 oranında bulunur(Şekil 3.8b, c).

Epidot, genellikle yarı öz şekilli olarak görülmektedir. Çift nikolde canlı renklerde, tek nikolde ise fıstık yeşilidir. Kayacın kırık ve çatlakları boyunca gelişmiştir. Kayaçta %3-5 arasında bulunur (Şekil 3.8d).

Opak mineraller ise kayaçta %2-3 oranında olup, çift ve tek nikolde siyahtırlar.



Şekil 3.8. Andezitin mikroskoptaki görünümü a) Çift nikolde hornblend mineralinin görünümü (Örn. No.: S-42), b) Glomerofirik doku gösteren plajiyoklas ve piroksen mineralleri görünümü (Örn. No.: S-42), c) Klorite ve opak minerale dönüşmüş piroksen minerali görünümü (Örn. No.: S-17) ve d) Çift nikolde epidotlaşmış, kloritleşmiş amfibol mineralinin görünümü (Örn. No.: S-18). Horn: Hornblend, Pl: Plajiyoklas, Pr: Piroksen, Ep: Epidot

3.1.4. Karadağ Granitoyidi

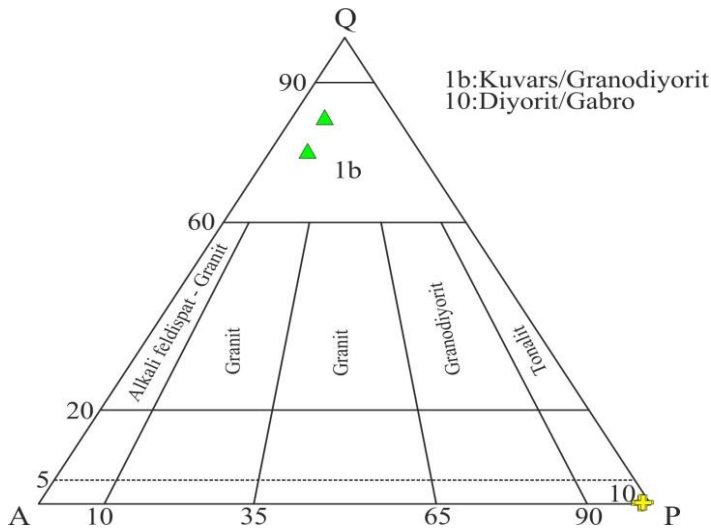
İnceleme alanında Karadağ madeni etrafında kuvars porfir ve diyorit, Cilaz Tepe civarındakiler diyorit olarak bulunmaktadır. Bu granitoyidik kayalar Özdoğan (1992) tarafından kuvars porfir ve diyorit, Çınar ve diğ. (1983) ile Güner ve diğ. (1985) tarafından kuvars porfir ve kuvarslı diyorit adı ile isimlendirilmiştir.

Karadağ Granitoyidi'ne ait 5 adet örneğin modal analizleri (Tablo 3.1) yapılmış olup, modal analize dayalı QAP diyagramına (Streckeisen, 1976) aktarıldığında (Şekil 3.9), granitoyidin kuvars porfir ve diyorit bileşimli kayalardan meydana geldiği görülmektedir. İnceleme sahasındaki granitoyidlerin büyük bir bölümü kuvars porfir ve diyorit daha az oranda da diyorit bileşimli kayalardan oluştuğu gözlenmiştir.

Bu kayaçların yaşı daha önce Özdoğan (1992) tarafından Üst Kratese, Çınar ve diğ. (1983) ile Güner ve diğ. (1985) tarafından Üst Kratese – Tersiyer olarak yaşlandırılmıştır. Bu kayaçlarda Tubitak 114Y099 nolu proje kapsamında U-Pb zirkon çalışması yapılmış ve arazi çalışmalarında alınan S-35 nolu diyorit örneği $44.51 \pm 0.59\text{My}$ ve S-80-72 nolu kuvars porfir örneği $44.27 \pm 0.46\text{My}$ yaşlı olup Karadağ Granitoyidi Orta Eosen olarak yaşlandırılmıştır (Sipahi ve diğ., 2018). İncelemelerin sonucunda bu kayaçların Orta-Geç Maastrichtiyen yaşlı kireçtaşlarını (biyomikrit) kestikleri tespit edilmiştir. Bu kayaçlar ayrıca andezit ve bazaltları da kesmektedir. Granitoidlerin arazi ve mikroskop gözlemlerinde çoğu yerlerde altere oldukları tespit edilmiştir (Şekil 3.10 ve 3.13).

Tablo 3.1. Karadağ ve çevresindeki plütonik kayaçların modal analiz sonuçları

Kayaç adı	Diyorit			Kuvars Porfir	
	S-35	S-36	S-39	SG1	SG
Mineraller					
Plajiyoklas	75.00	73.70	70.10	5.1	6.1
Kuvars	0.20	0.30	0.30	82.2	74.6
Ortoklas	0.80	0.90	0.90	12	18.3
Piroksen	18.10	20.40	12.80	-	-
Hornblend	3.10	1.60	12.70	-	-
Opak	2.8	3.1	3.2	0.7	1
TOPLAM	100	100	100	100	100



Şekil 3.9. Karadağ Fe-Cu Skarn cevherleşmesinde görülen granitoidlere ait kayaç örneklerinin QAP diyagramındaki konumları (Streckeisen, 1976).

3.1.5. Kuvars Porfir

Bu birim Karadağ maden sahasında küçük bir alanda görülürken, Güneydoğusunda büyük bir alanda yüzeyleme vermiştir. Kayaçlar grimsi, beyaz ve açık kahverengimsi renktedir. Volkanitlerle dokanak halinde olup, dokanaklar örtülüdür. Bol kırıklı bir yapıya sahip olup kırıklarında turmalin, pirit, limonit ve hematitler görülmektedir (Şekil 3.10). Turmalinler bantlı, bireşik ve ışınsal yapıda olup koyu renkte bulunmaktadır. Mikroskobik olarak iri taneli dokuda olup modal mineralojik bileşimleri kuvars, ortoklas, plajiyoklas ve opak minerallerden oluşmaktadır (Şekil 3.11).



Şekil 3.10. Karadağ sahasındaki kuvars porfirin arazideki görünümü

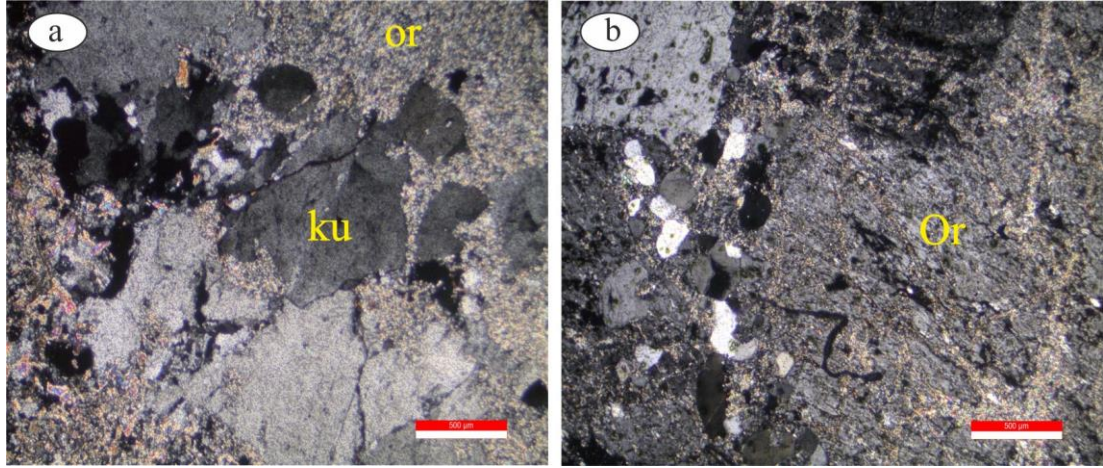
Kuvars porfir modal mineralojik bileşimi %72.6 - 82.6, ortoklas %12 - 18.3, plajiyoklas %5.1 - 6.1 ve opak mineraller %0.7 - 1 oranında bulunmaktadır (Tablo 3.1).

Kuvarslar, yarı öz şekilli ve öz şekilsiz kristaller halinde yer almaktadırlar. Bazıları kırıklı yapıdadır.

Ortoklaslar, orta ve öz şekilsiz kristaller halinde karlspat ikizli ve kısmen de serizitleşmişlerdir.

Plajiyoklas, çok küçük kristaller şeklinde olup, albit ikizli ve kısmen de serizitleşmişlerdir.

Opak mineraller öz şekilsiz küçük kristaller olarak bulunmaktadır.



Şekil 3.11. Karadağ'daki kuvars porfir'in ince kesit görüntüleri. a) Öz şekilsiz kuvars mineralinin tek nikol görüntüsü (Örn. No.: S-6), b) Üzeri serizitleşmiş özşekilsiz ortoklas mineralinin tek nikol görüntüsü (Örn. No.: S-6), Ku: Kuvars, Or: Ortoklas

3.1.6. Diyorit

Karadağ Granitoyidi'ne ait bu birim Karadağ madeni sahasında dar bir alanda yüzeyleme vermiştir. Kayaç koyu grimsi renkte olup volkanitlerle direkt dokanak halindedirler. Dokanaklar açık ve nettir (Şekil 3.12). Mikroskopik olarak orta ve ince taneli dokudadırlar (Şekil 3.13).

Diyoritin modal mineralojik bileşimi plajiyoklas %70.10 – 75, piroksen %12.8 – 20.4, horblend %16 – 12.7, kuvars %0.2 – 0.3, ortoklas %0.8 -0.9 ve opak mineraller %2.8 – 3.2 oranlarında yer almaktadır (Bkz. Tablo 3.1).



Şekil 3.12. Karadağ madeni etrafında yüzeyleme veren diyoritin arazideki görünümü

Plajiyoklas, öz ve yarı öz şekilli olup bazılarında elek dokusu vardır. Plajiyoklas kristallerinde albit ikizlenmeleri görülmektedir. Albit ikizi gösteren kristallerin (010)'a dik kesitlerinde yapılan cins tayinlerine göre bileşimleri andezin (An_{38-48}) olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.13a, b, c).

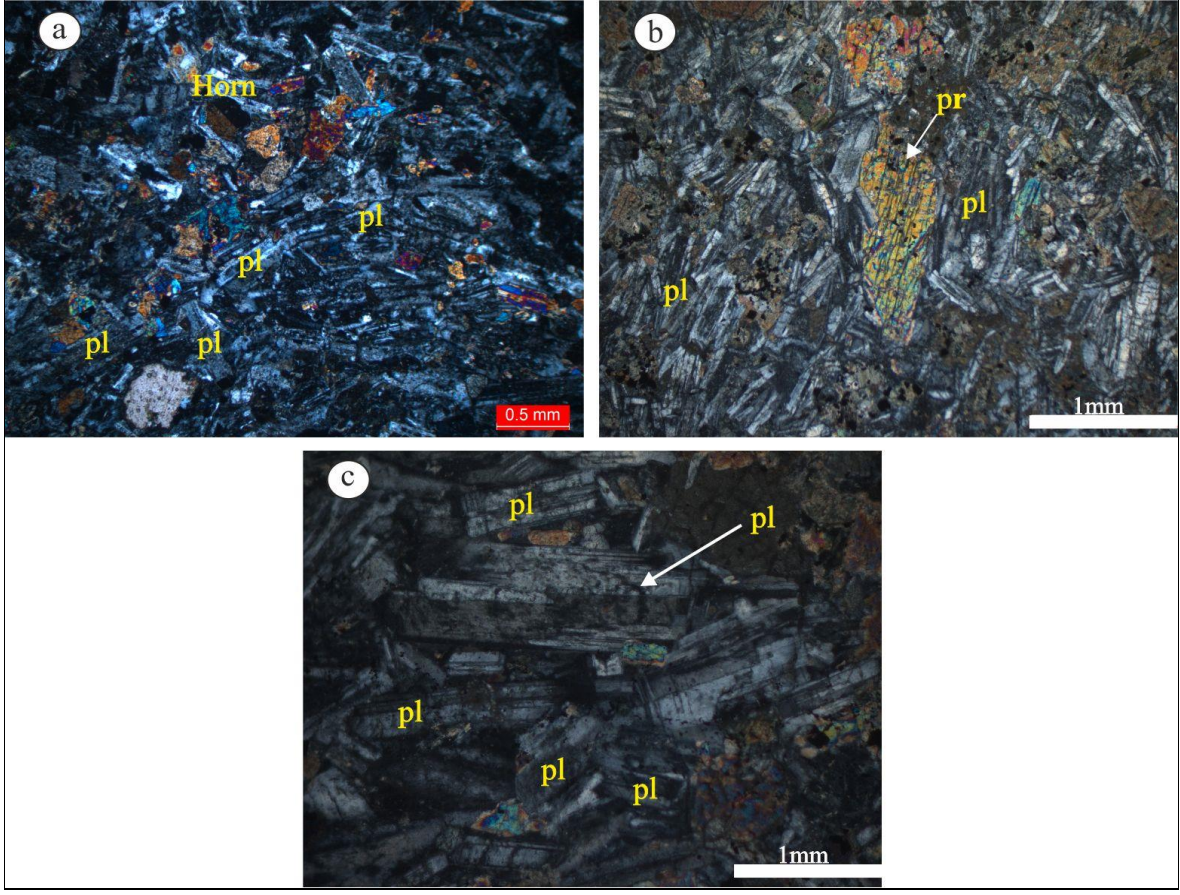
Piroksen, öz şekilsiz kristaller halinde olup, tek yönde dilinim gösterirler. Ayrışma sonucu klorit ve epidota dönüşmüştür (Şekil 3.13b).

Hornblend, yarı öz şekilli kristaller halinde olup, bazıları da kloritleşmişler (Şekil 3.13b).

Ortoklas, küçük ve öz şekilsiz kristaller halinde olup killeşmişler.

Kuvars, öz şekilsiz küçük kristaller halinde bulunmaktadır.

Opak mineraller, küçük özşekilsiz kristaller halinde yer almaktadırlar.



Şekil 3.13. Diorit örneğinin ince kesitte çift nikoldeki görünüşleri. a) Plajiyoklas ve hornblend minerali (Örn. No.: S-35), b) Piroksen minerali (Örn. No: S-39), c) Elek dokulu plajiyoklas mineralleri (Örn. No.: S-39), Horn: Hornblend, Pr: Piroksen, Pl: Plajiyoklas

3.2. Kayaç Jeokimya

3.2.1. Kireçtaşlarının Jeokimyası

Çalışma sahasında Fe-Cu skarnlaşmasının geliştiği kireçtaşları, yeniden kristalleşmiş kireçtaşı ve mermer örneklerinin ana ve iz element özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir. Kireçtaşı, mermere (skarn zonuna uzak) göre daha yüksek Ca ve daha düşük Mg değerlerine sahiptir. Kireçtaşı metamorfizmasıyla, yeniden kristalleşmiş kireçtaşı oluşurken SiO_2 (% 41.30), Al_2O_3 (% 18.45), Fe_2O_3 (% 7.32) ve K_2O (% 1.24) eklenmiştir (Tablo 3.2, Şekil 3.14).

Tablo 3.2. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesi yakınındaki kireçtaşı, yeniden kristallenmiş kireçtaşı ve mermerin jeokimyasal analiz sonuçları

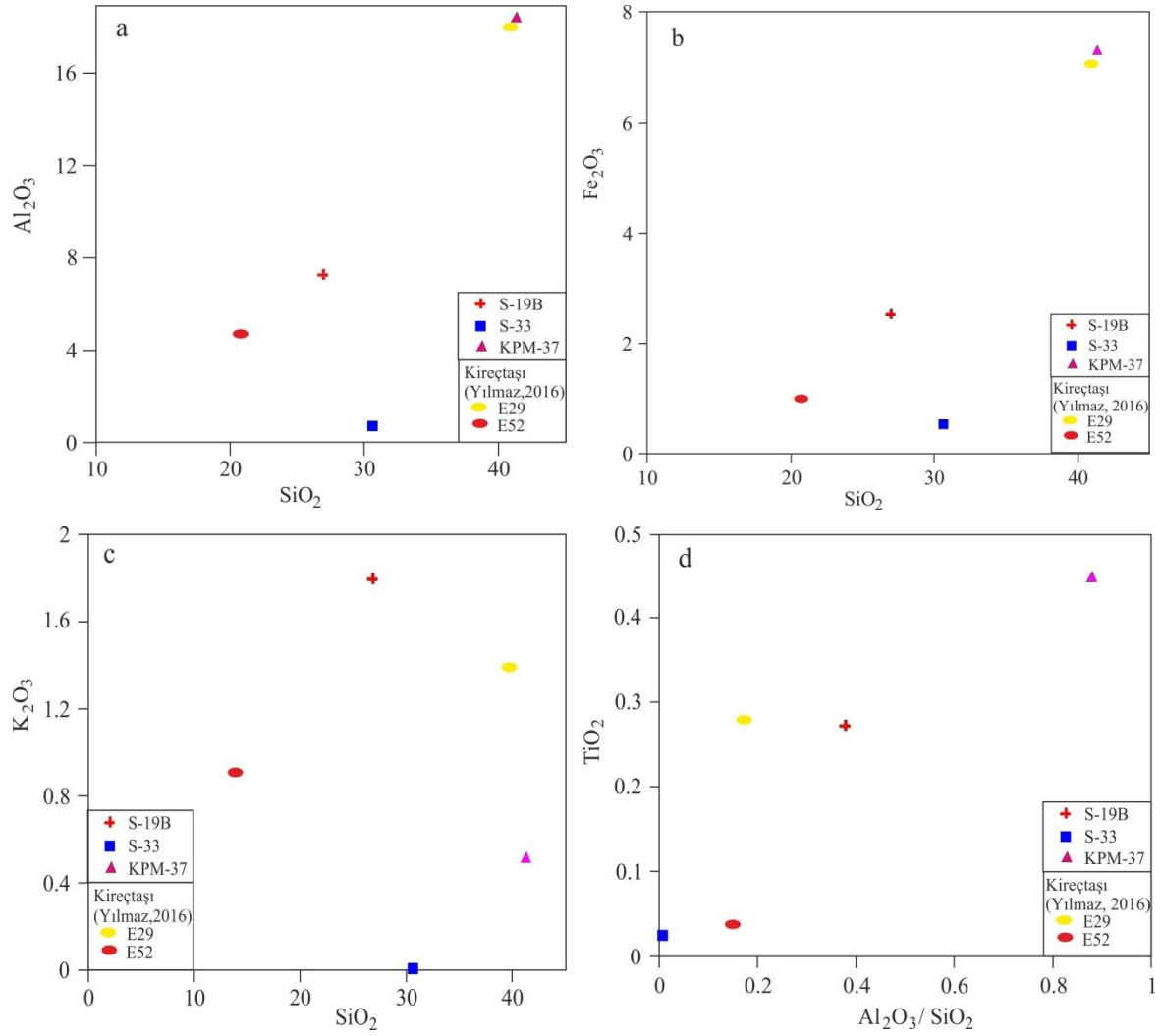
	Kireçtaşı	Yeniden kristallenmiş kireçtaşı	Mermer
Örnek no.	S-19B	KPM-37	S-33
SiO ₂	26.92	41.30	30.66
Al ₂ O ₃	7.31	18.45	0.72
Fe ₂ O _{3t}	2.53	7.32	0.54
MgO	1.95	1.24	19.18
CaO	31.55	24.98	29.16
Na ₂ O	0.96	0.02	0.02
K ₂ O	1.81	0.51	<0.01
TiO ₂	0.38	0.88	<0.01
P ₂ O ₅	0.07	0.24	0.01
MnO	0.04	1.46	0.07
Cr ₂ O ₃	0.004	0.003	<0.002
A.K.	26.3	2.3	19.6
Toplam	99.82	98.70	99.96
Ba	179	241	2
Sc	7	19	<1
Co	6.1	8.4	1.4
Cs	2.8	1.0	<0.1
Ga	6.8	25.0	<0.5
Hf	1.8	2.7	<0.1
Nb	3.7	4.5	<0.1
Rb	30.2	17.2	0.2
Sn	<1	2	<1
Sr	515.4	294.8	66.1
Ta	0.1	0.2	<0.1
Th	2.1	2.6	<0.2
U	1.2	3.7	0.6
V	58	213	14
W	<0.5	38.5	<0.5
Zr	64.7	109.9	2.1
Y	10.6	28.1	0.9
La	11.3	119.6	0.9
Ce	17.7	123.8	1.3
Pr	2.26	13.19	0.15

t: Toplam demir Fe₂O₃ cinsinden verilmiştir.

Tablo 3.2'nin devamı

	Kireçtaşı	Yeniden kristallenmiş kireçtaşı	Mermer
Örnek no.	S-19B	KPM-37	S-33
Nd	8.9	40.3	0.8
Sm	1.63	5.70	0.12
Eu	0.53	2.27	0.05
Gd	1.74	5.48	0.23
Tb	0.28	0.81	0.03
Dy	1.70	4.82	0.19
Ho	0.31	0.97	<0.02
Er	0.93	2.63	0.11
Tm	0.15	0.42	0.02
Yb	0.96	2.73	0.10
Lu	0.15	0.43	<0.01
Top. C	7.18	0.03	4.86
Top. S	0.11	<0.02	0.11
Mo	0.3	3.1	<0.1
Cu	11.0	131.2	13.5
Pb	8.3	3107.4	24.5
Zn	49	6975	90
Ni	15.8	15.6	2.9
As	6.2	45.8	84.7
Sb	0.2	6.0	7.2
Bi	0.1	1.2	0.6
Au	1.1	1.2	1.1
Hg	<0.01	0.03	<0.01

Top. C: Toplam karbon, Top. S: Toplam kükürt

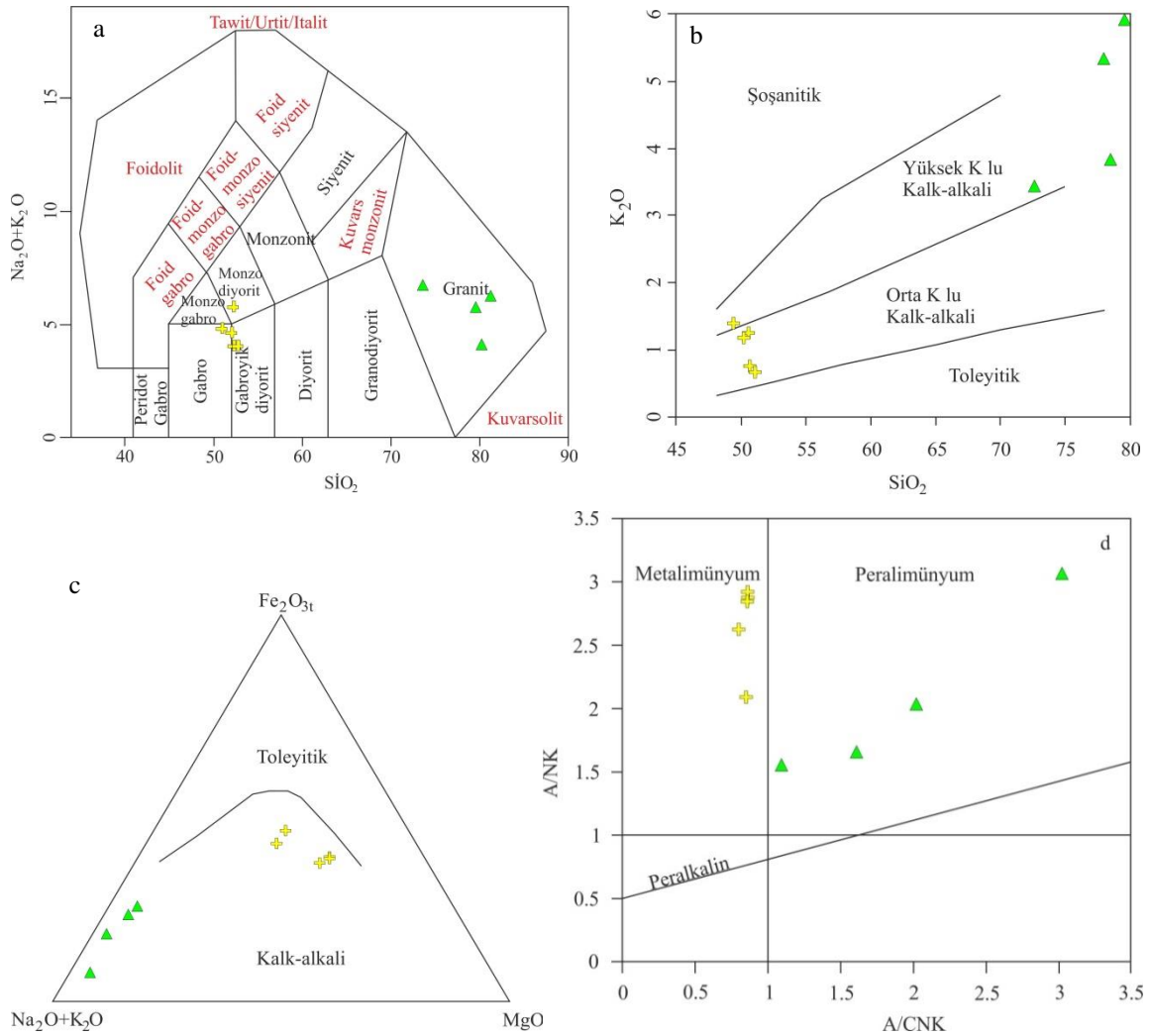


Şekil 3.14. Karadağ Fe-Cu skarn yatağındaki kireçtaşlarının SiO_2 karşı değişim diyagramları a) Al_2O_3 , b) Fe_2O_3 ve c) K_2O , d) $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 'e karşı TiO_2

3.2.3. Karadağ Granitoyidi'nin Jeokimyası

Çalışma sahasındaki Fe-Cu skarn cevherleşmesinin oluşumuna neden olan Karadağ granitoyidlerinin ana ve iz element (Tablo 3.3) özellikleri incelenmiştir. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinin yakınından alınan granitoyid örnekleri; Middlemost (1994)'un sınıflama diyagramına aktarıldığında, Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinin doğusundan alınan örneklerin granit alanına, Karadağ madeninin etrafından ve kuzeyinden alınan örneklerin ise gabroyik diyorit, gabro, monzodiyorit alanına düştüğü görülmektedir (Şekil 3.15a). Çalışma alanından alınan örneklerin kimyasal sınıflaması, petrografik sınıflama ile karşılaştırıldığında da aynı sonuca ulaşılmış olup bunlar diyorit ve kuvars porfir olarak adlandırılmıştır. $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ diyagramında (Le Maitre, 1989) örneklerin biri şoşonitik

bileşiminde iken diğerleri orta K'lu ve yüksek K'lu kalk-alkali bileşimindedirler (Şekil 3.15b). AFM (Irvine ve Baragar, 1971) diyagramında ise örneklerin tamamı kalk-alkali olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 3.15c). Karadağ granitoidinin A/CNK [molar $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$] diyagramında (Shand, 1947 değiştirilerek) değerleri kuvars porfir ve diyorit örnekleri A/CNK= 1.09 - 3.02 arasında olup, peralümin karaktere; diyorit örnekleri ise A/CNK=0.8 – 0.87 arasında olup metalimünyum karaktere sahiptirler (Şekil 3.15d).



Şekil 3.15. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesine ait granitoidik kayaç örneklerinin sınıflama diyagramındaki yerleri a) SiO₂'e karşı Na₂O+K₂O diyagramındaki (Middlemost, 1994) ve b) SiO₂'e karşı K₂O (Le Maitre, 1989) ve c) AFM (Irvine ve Baragar, 1971) ve d) Shand (1947) değiştirilerek kullanılmıştır

Tablo 3.3. Karadağ Granitoyidi'ne ait ana (%) ve iz element (ppm) analizleri

	Diyorit					Kuars Porfir			
Örnek No.	S-35	S-36	S-39	S-61	S-41B	KPM-34	KPM-36	S-5	S-G
SiO ₂	51.11	50.75	50.29	50.64	49.45	72.62	77.94	79.8	78.45
Al ₂ O ₃	17.54	17.63	17.74	18.07	19.74	13.85	12.73	11.24	13.53
Fe ₂ O _{3t}	7.7	7.77	7.48	8.32	8.54	2.57	1.35	0.54	1.36
MgO	7.85	7.97	7.66	5.21	5.05	0.59	0.22	0.32	0.29
CaO	7.99	7.9	7.9	7.64	8.56	2.07	0.02	0.11	0.03
Na ₂ O	3.25	3.17	3.29	4.36	3.31	3.16	0.28	0.2	0.15
K ₂ O	0.68	0.77	1.19	1.26	1.4	3.45	5.34	5.94	3.85
TiO ₂	0.74	0.77	0.74	1.12	0.91	0.19	0.06	0.06	0.07
P ₂ O ₅	0.13	0.13	0.14	0.27	0.15	0.05	0.03	0.02	0.05
MnO	0.1	0.11	0.13	0.09	0.11	0.08	<0.01	<0.01	0.01
Cr ₂ O ₃	0.025	0.026	0.028	0.016	0.004	0.004	0.004	<0.002	0.006
A.K.	2.7	2.8	3.2	2.8	2.6	1.2	1.9	1.6	2.1
Toplam	99.81	99.79	99.78	99.79	99.82	99.83	99.87	99.83	99.89
Sc	23	23	23	24	32	4	3	3	3
Ba	150	194	189	375	226	825	766	302	615
Be	<1	<1	2	<1	<1	<1	4	<1	<1
Co	28.2	30.2	30.6	26.6	25	2.2	0.4	<0.2	0.6
Cs	7.8	7.2	3.9	1.1	4	0.8	2.1	3.6	2.2
Ga	18	17.3	18.2	15.2	15.9	14.7	18.2	19.3	22.5
Hf	2.7	2.4	3	3.8	2.1	2.9	5.7	5.8	5
Nb	1.8	1.9	2.1	9.2	3.4	7	15.3	13.5	15.9
Rb	26.9	25.5	14.4	18.9	38.6	99.8	161.1	205.2	129.3
Sn	<1	<1	<1	<1	<1	2	4	5	7
Sr	605.5	615	616.9	632.8	508.1	154.5	15.9	19.1	4.2
Ta	<0.1	0.1	<0.1	0.4	0.1	0.6	1.1	1.4	1.4
Th	1.6	1.4	2	2.8	1.4	10.9	8.5	7.6	2.1
U	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5	2.6	3.4	2.2	1.9
V	168	165	166	162	248	28	9	<8	28
W	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.9	1.3	1.7	1.6
Zr	90	92.6	106.1	141.9	79.8	99	131	117	119.8
Y	13.8	14.7	16	22.3	19.5	13.3	27	31.9	14.3
La	9.9	9.9	10.6	22.5	9.8	27.2	5.2	3.3	5.3
Ce	22.9	24.6	24.3	48.5	20.6	46.9	10.6	5.4	9.8
Pr	2.92	2.98	3.24	5.41	2.77	4.76	1.25	0.58	1.19
Nd	13.3	12.1	13.9	23	11.1	15	5.1	2.9	3
Sm	3.01	3.15	3.03	4.69	2.94	2.47	1.2	1.06	0.98
Eu	1	1.08	1.13	1.64	0.99	0.54	0.25	0.1	0.08
Gd	2.91	3.14	3.11	4.33	3.41	2.27	1.92	2.42	1.18
Tb	0.49	0.52	0.5	0.7	0.6	0.33	0.46	0.6	0.26
Dy	2.93	3.2	2.9	4.01	3.36	2.16	4.16	4.6	2.14

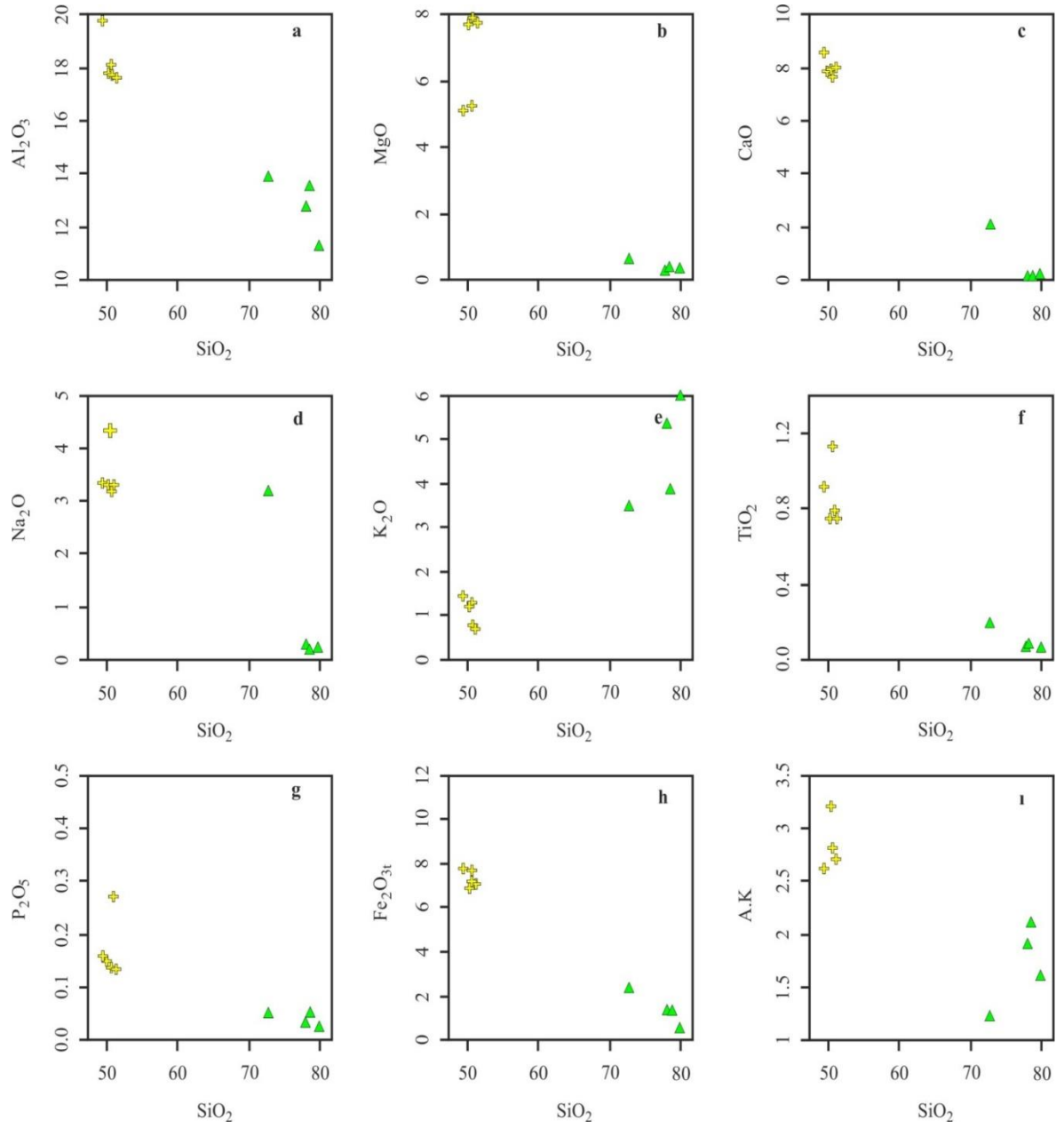
t: Toplam demir Fe₂O₃ cinsinden verilmiştir, A.K.: Ateşte kayıp

Tablo 3.3'ün devamı

Örnek No.	Diyorit					Kuars Porfir			
	S-35	S-36	S-39	S-61	S-41B	KPM-34	KPM-36	S-5	S-G
Ho	0.56	0.63	0.62	0.86	0.72	0.4	0.9	1.15	0.5
Er	1.76	1.77	1.61	2.45	2.2	1.39	2.97	3.93	1.69
Tm	0.28	0.28	0.27	0.36	0.3	0.22	0.51	0.61	0.26
Yb	1.75	1.77	1.79	2.63	2.01	1.53	3.47	4.54	1.92
Lu	0.24	0.27	0.24	0.38	0.33	0.27	0.56	0.68	0.32
Top.C	<0.02	0.03	0.04	0.06	0.06	0.06	<0.02	0.03	0.03
Top.S	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Mo	0.4	0.3	0.6	0.4	0.4	6.1	5.2	1.3	4.6
Cu	10	32.4	47	12	30.7	9.5	11.3	4.2	14.7
Pb	1.3	2	2.5	3.1	2	7.4	21.4	20.5	2.8
Zn	25	28	53	49	28	37	6	8	4
Ni	96	99.4	87.4	35.2	9.3	5.4	7.5	1.5	4.2
As	4.3	4.7	6.8	6.4	10.5	2.7	2.2	1.9	2.2
Cd	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1
Bi	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.3	0.1	0.2
Ag	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.5	<0.1
Au	<0.5	0.6	<0.5	1.3	0.7	<0.5	<0.5	0.6	2.3

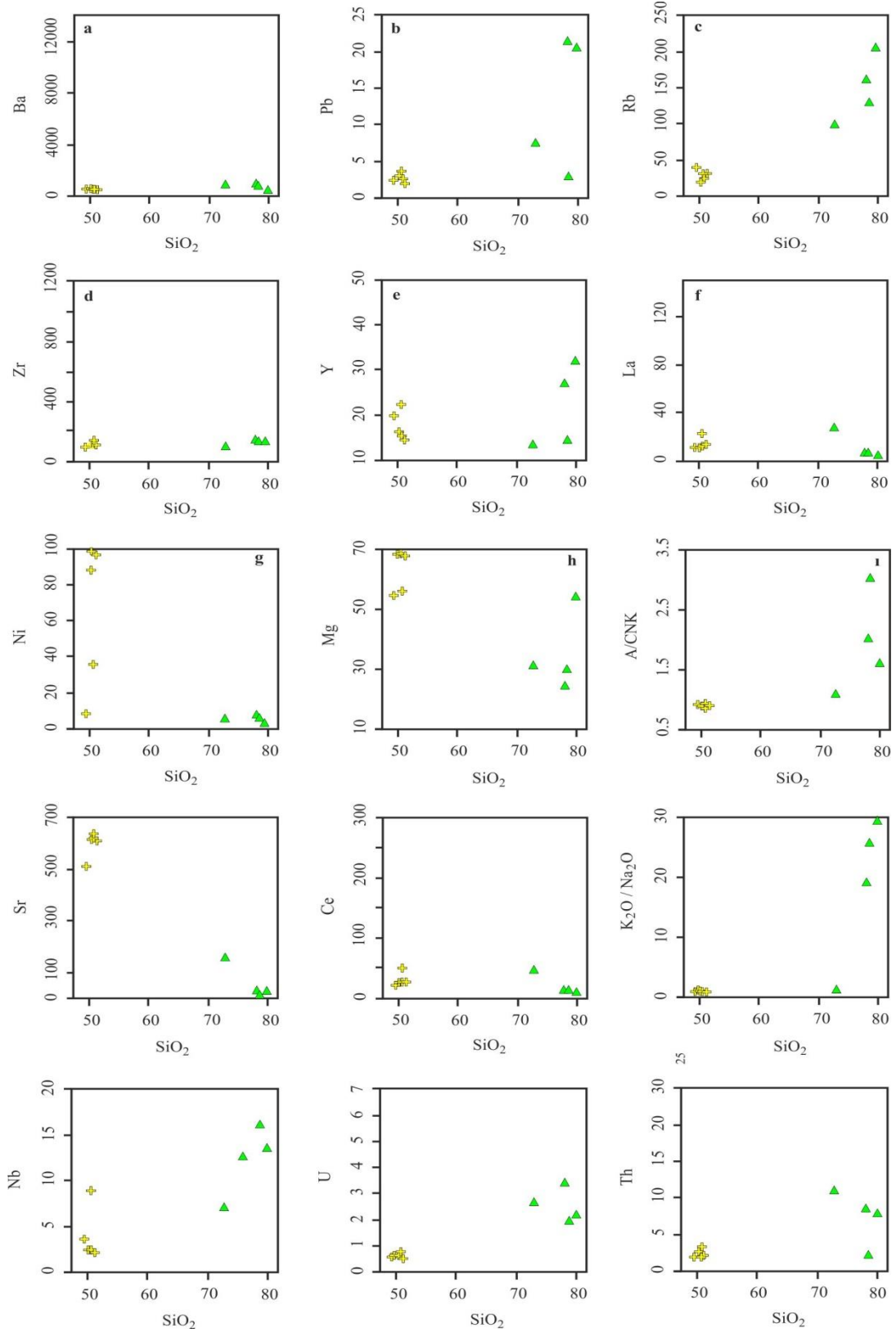
Top. C: Toplam karbon, Top. S: Toplam kükürt

SiO₂'e karşı hazırlanan ana oksit değişim diyagramlarında Al₂O₃, CaO, TiO₂, P₂O₅ ve Fe₂O_{3t}'de negatif yönseme gözlenir. K₂O ve Na₂O ise oldukça düzensiz bir değişim görülmektedir (Şekil 3.16).



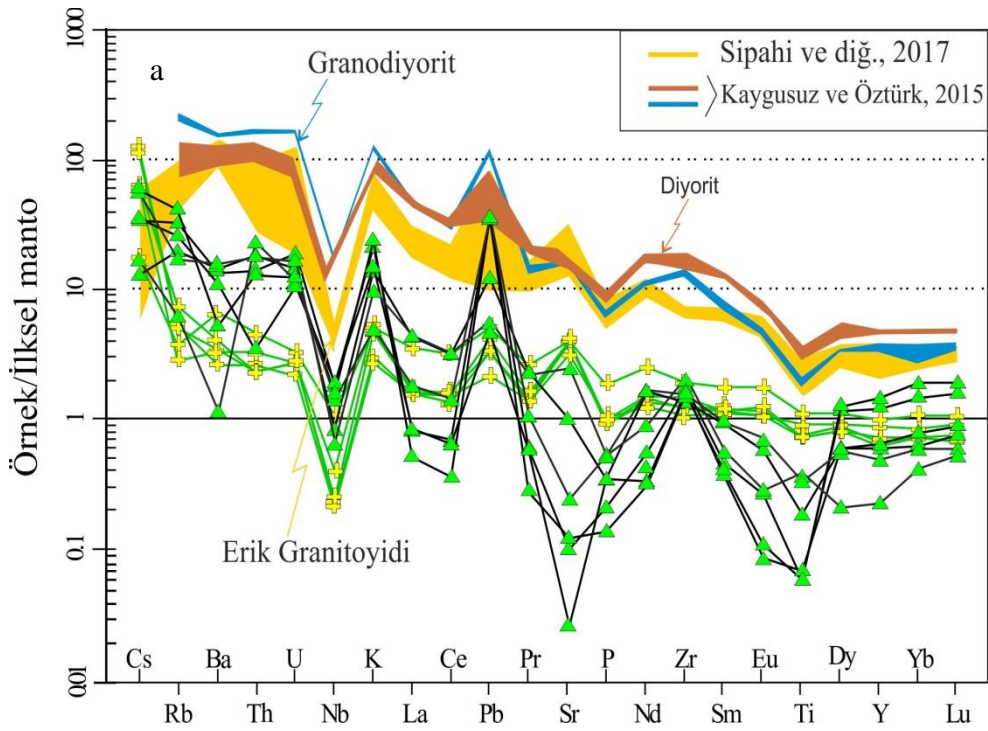
Şekil 3.16. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesindeki granitoidik kayaç örneklerinin SiO_2 'ye karşı ana oksit değişim diyagramları (semboller için Şekil 3.15a'ya bakınız).

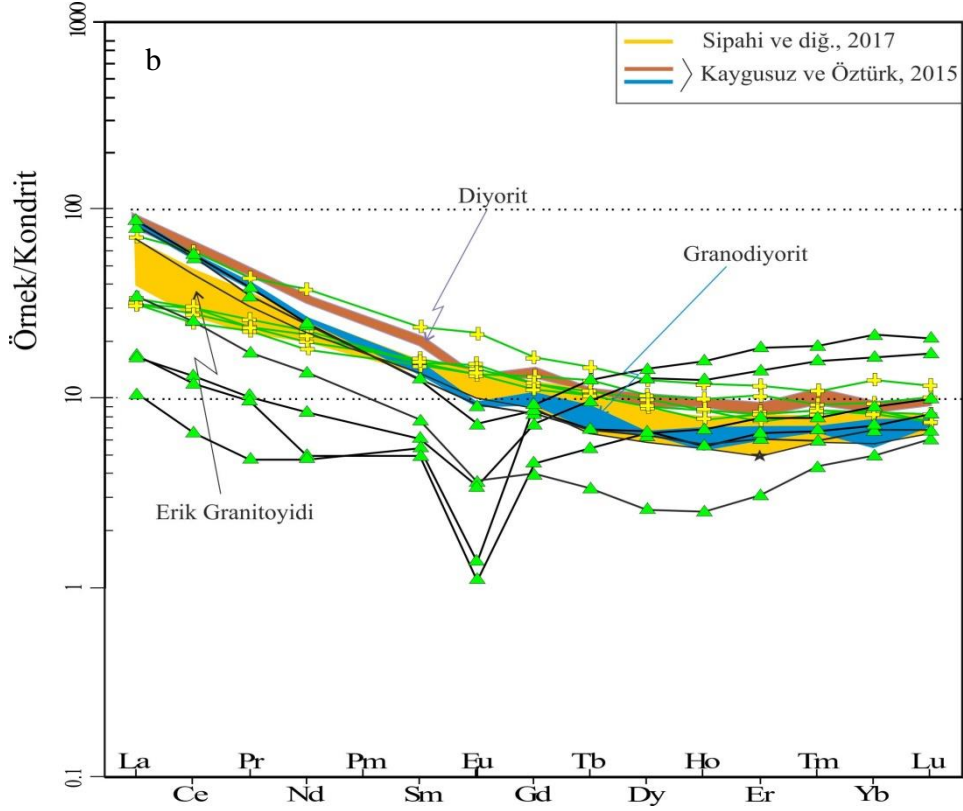
Diyoritte ve kuvars porfirde SiO_2 'e karşı iz element değişim diyagramlarında Sr ve Ni negatif bir de korelasyon görülürken, Rb, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, Pb'de ise pozitif bir dağılım görülür. Ba, Zr, Y, La, Ce, Nb, U, Th' de ise dağınık şekil görülmektedir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesindeki granitoidik kayaç örneklerin SiO_2 'ye karşı iz element değişim diyagramları (semboller için Şekil 3.15a'ya bakınız).

Granitoidlerin ilksel mantoya (Sun ve McDonough, 1989'dan) göre normalize edilmiş iz element dağılımında genel olarak bir zenginleşme görülmektedir (Şekil 3.18). Zenginleşmelerin özellikle Rb, Ba ve Th gibi büyük iyon yarıçaplı elementlerde olduğu gözlemlenir. Nb, P ve Ti elementlerinde ise negatif anomali görülür (Şekil 3.18a). Granitoid örneklerinin kondirit (Boynton, 1984)'e göre normalize edilmiş nadir toprak element diyagramının dağılımları genelde birbirine benzer olup hafif nadir toprak elementler (HNTE) ağır nadir toprak elementlerine (ANTE) göre kuvars porfir örnekleri hariç daha fazla zenginleşme göstermektedir (diyoritte $(La/Sm)_N = 1.98-3.02$; $(Gd/Lu)_N = 1.78-1.61$) ve kuvars porfirde $(La/Sm)_N = 1.96-6.93$; $(Gd/Lu)_N = 0.42-1.04$. Diyorit örneklerinin $(La/Lu)_N$ değerlerinin 3.08-6.15 arasında olup Eu anomali (Eu/Eu^*) göstermezler. Kuvars porfirler ise $(La/Lu)_N$ değerleri 0.50-10.45 arasında Eu değerleri 0.19-0.70 arasında negatif anomali gösterirler (Şekil 3.18b). Kuvars porfir örnekleri diğerlerine göre HNTE ve ANTE bakımından daha fakirdir.





Şekil 3.18. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesindeki granitoyidik kayaç örneklerinin a) ilksel mantoya bileşimine (Sun ve McDonough, 1989) ve b) kondrit bileşimine (Boynton, 1984) ait değişim diyagramları. (semboller için Şekil 3.15a'ya bakınız).

3.3. Karadağ Skarn Cevherleşmesi

Karadağ madeni yakınında kuzey güney istikametinde mostra veren granitoyidin kireçtaşı ve volkanitlere sokulumu sonucu kontak metamorfizması ve granitoyid (kuvars porfir ve diyorit) ile kireçtaşı arasında skarn zonu gelişmiştir (Şekil 3.20). Karadağ skarn cevherleşmesinde mineral birlikteliklerinin genel özelliklerinin belirlemeye çalışılmıştır (Şekil 3.19).

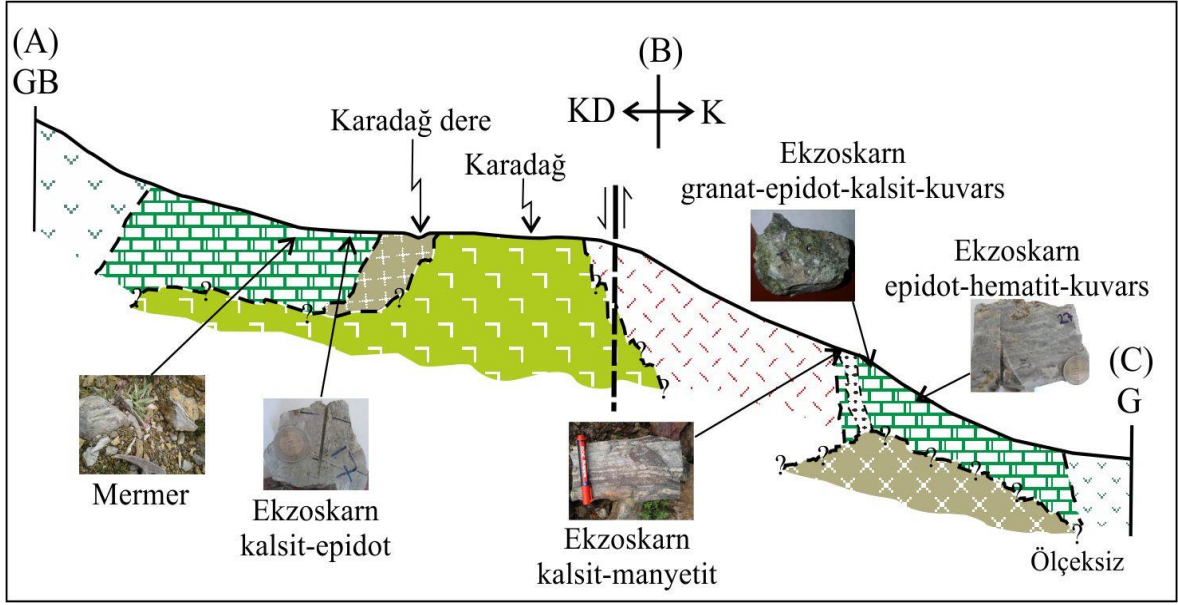


Şekil 3.19. a) Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesine ait arazi görünümü b) Skarn zonunun arazideki görünümü c) Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesindeki eski işletmelere ait maden görünümü c) Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinde eski işletmelerden arda kalan curufun yakından görünümü

Karadağ madeni ve etrafında mostra veren kayalar içerisindeki cevherleşme iki ayrı grup olarak belirlenmiştir: a) Granitoyidik (kuvars porfir ve diyorit) kayalar ile andezit ile kireçtaşı kontağında gelişen skarn tip cevherleşme ve b) bölgedeki volkanik kayalardan bazaltlara bağlı hidrotermal damar tip (muhtemelen epitermal) cevherleşme. Bunlardan Karadağ skarn cevherleşmesi ayrıntılı olarak incelenmiştir.

3.3.1. Skarn Mineralojisi

Karadağ Fe-Cu Skarn cevherleşmesinden elde edilen örneklerin çalışmaları sonucunda granat, manyetit, hematit, epidot, pirit, kuvars, kalsit, klorit ve limonit mineralleri tespit edilerek granitoyid ve kireçtaşı arasında ekzoskarn zonunda olduğu görülmüştür (Şekil 3.20).

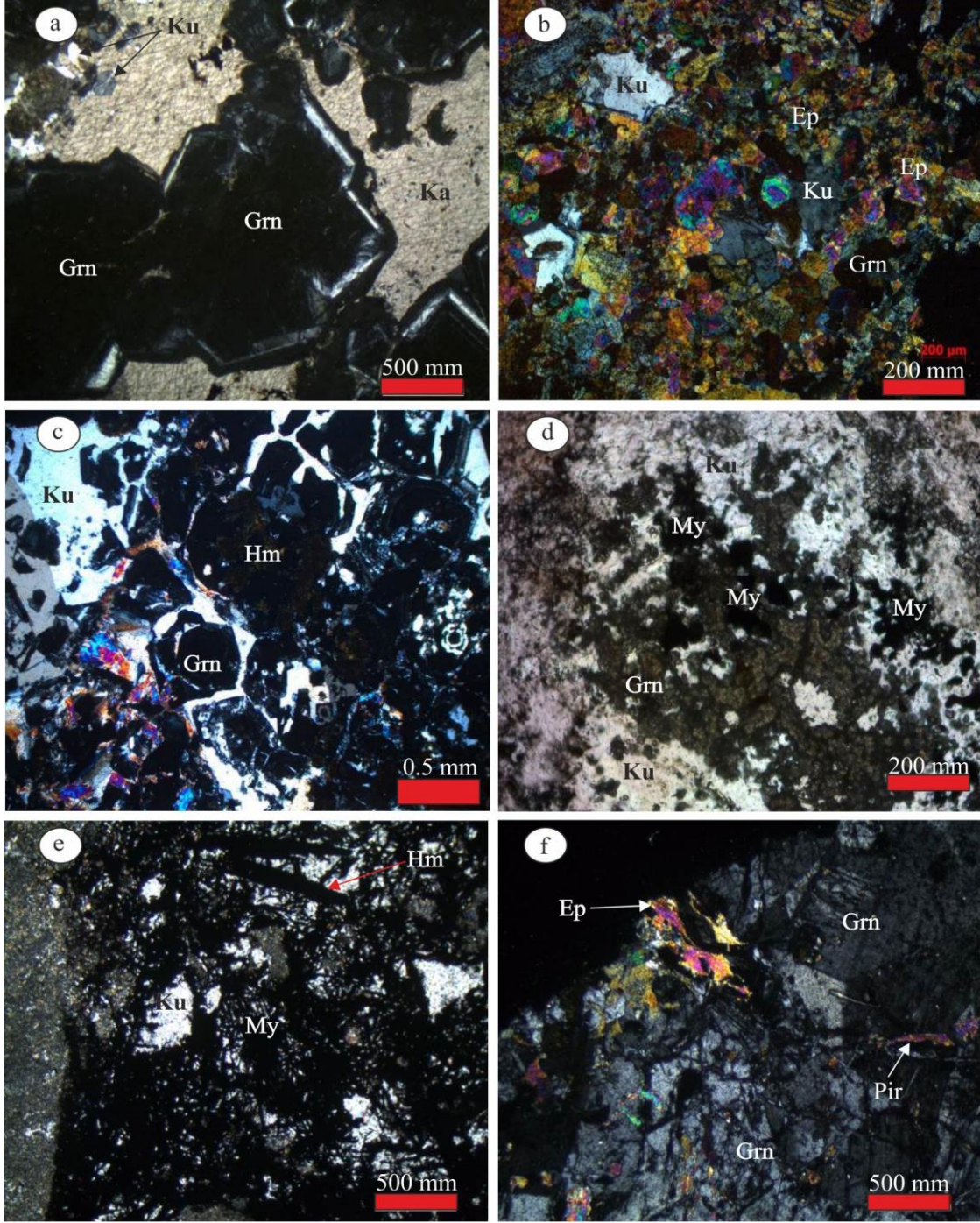


Şekil 3.20. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinin enine kesiti

Ekzokarn zonunda, granat, epidot, manyetit, kalsit ve kuvars gelişmiştir (Şekil 3.21). Granat gibi susuz ve yüksek sıcaklık mineralleri ilerleyen evrede oluşmuştur. Ayrıca granatların arasında manyetit, hematit, kalsit ve kuvars mineralleri bulunmaktadır (Şekil 3.22). Epidot, granatların bir kısmının yerini almıştır (Şekil 3.22b). Epidot gibi sulu mineraller gerileyen evrede gelişir (Einaudi ve Burt, 1982; Meinert, 1992; 1997; Meinert ve diğ., 2005; Orhan ve diğ., 2010; Sipahi, 2011; Sipahi ve diğ., 2017). Epidotlar genellikle ilerleyen evreye ait granat üzerine büyüyerek gelişirler (Einaudi, 1982; Murakami, 2005). Çalışma alanında ayrıca diyorit, andezit ve kireçtaşı içinde epidot mineralleri bulunmaktadır. Kireçtaşı içinde epidot mercekleri bulunmaktadır. Murakami (2005) gerileyen evrede minerallerin bazen damarlar şeklinde de geliştiğini belirtmiştir. Ayrıca bu skarn cevherleşmesinde ilerleyen evreye ait granatların arasında kalıntı ve içinde kapanım şeklinde çok küçük piroksen minerali mikroskopta görülmüştür (Şekil 3.22f). Kuvars ve kalsit granat, manyetit ve epidotların arasını doldurmaktadır.



Şekil 3.21. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesi ekzoskarn zonunda a) Granat-epidot-kalsit-kuvars-hematit birlikteliği, b) Epidot-kalsit birlikteliği ve c) Fe cevherinin arazideki görünümü. Ka: Kalsit, Hm: Hematit



Şekil 3.22. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinde ekzoskarn zonundan alınan örneklerin mikroskoptaki görünümü. a) Ekzoskarn zonunda granatların arasını kalsit ve kuvars minerallerinin doldurması (Örn. No.: S-53), b) Granat-epidot-kuvars birlikteliği (Örn. No.: 17.), c) Parçalanmış granat ve bunların arasını dolduran kuvars ve çok az hematit (Örn. No.: 26), d) Çok az manyetitle birlikte küçük granat ve bunların arasını dolduran kuvars ve (Örn. No.: 21-M), e) Manyetit, kuvars ve hematit birlikteliği (Örn. No.: 21b) ve f) Granatlar arasında küçük piroksen ve epidot minerali (Örn. No.: 23). Pir: Piroksen, Grn: Granat, My: Manyetit, Hm: Hematit, Ep: epidot, Ku: Kuvars, Ka: Kalsit.

Skarn zonunda cevher mineralleri olarak manyetit, kalkopirit ve pirit minerallerinin dışında malakit, azurit, hematit, limonit ve götit gibi ikincil cevher mineralleri de görülmektedir (Şekil 3.23). İkincil cevher mineralleri oksidasyon sonucu oluşmuş ve oluşmaya devam etmektedir.



Şekil 3.23. Oksidasyon zonunda görülen ikincil cevher minerallerinin arazideki görünümü. Mlc: Malakit, Az: Azurit, Hm: Hematit, Lm: Limonit, Kl: Klorit

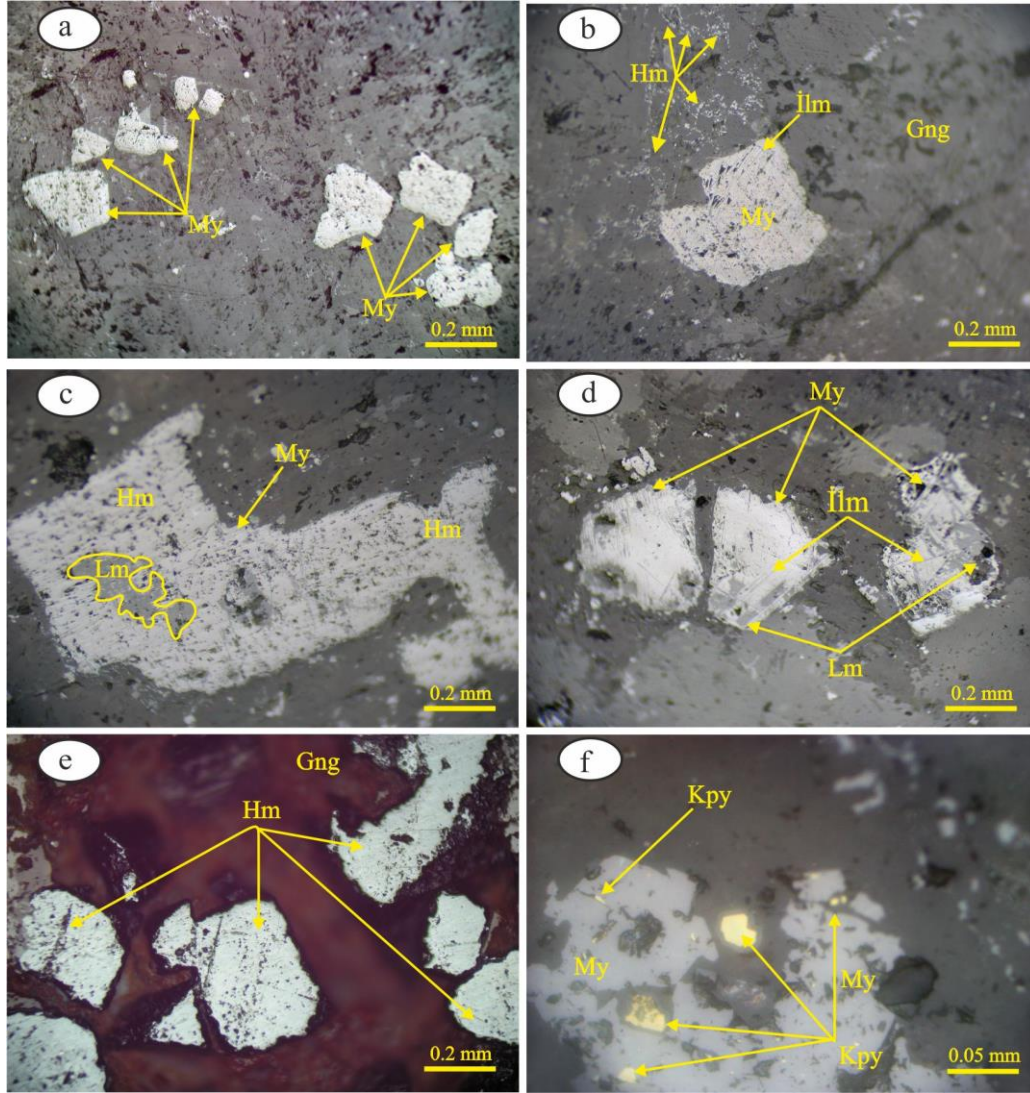
3.3.2. Cevher Mineralleri, Parajenez ve Süksesyon

Karadağ etrafında yüzeyleyen kayaçlar içerisinde ve bu kayaçlara bağlı olarak granitoyidik kayaçlar ile kireçtaşı ve / veya andezit kontağında gelişen skarn tip cevherleşmenin (burada mevcut maden pasalarında, yan kayaçlarında ve cevherli mostralarından alınan örneklerin incelenmesi sonucunda) endoskarn zonunda klinopiroksen, granat, epidot, manyetit az miktarda iken, ekzoskan zonunda yine piroksen azalmakta; granat, epidot, manyetit ise artmaktadır. Karadağ Fe- Cu skarn cevherleşmesinin mineral parajenezi cevher oluşum sırası (süksesyon) manyetit, pirit, hematit, kalkopirit ve altın şeklindedir. Ayrıca alterasyon oksidasyon mineralleri olarak götit, limonit, dijenit, malakit ve azurit gelişmiştir. Skarn mineralleri olarak ise kuvars ve kalsit (en yaygın olmak üzere) epidot, granat, diyopsit, aktinolit – tremolit ve amfibol tespit edilmiştir.

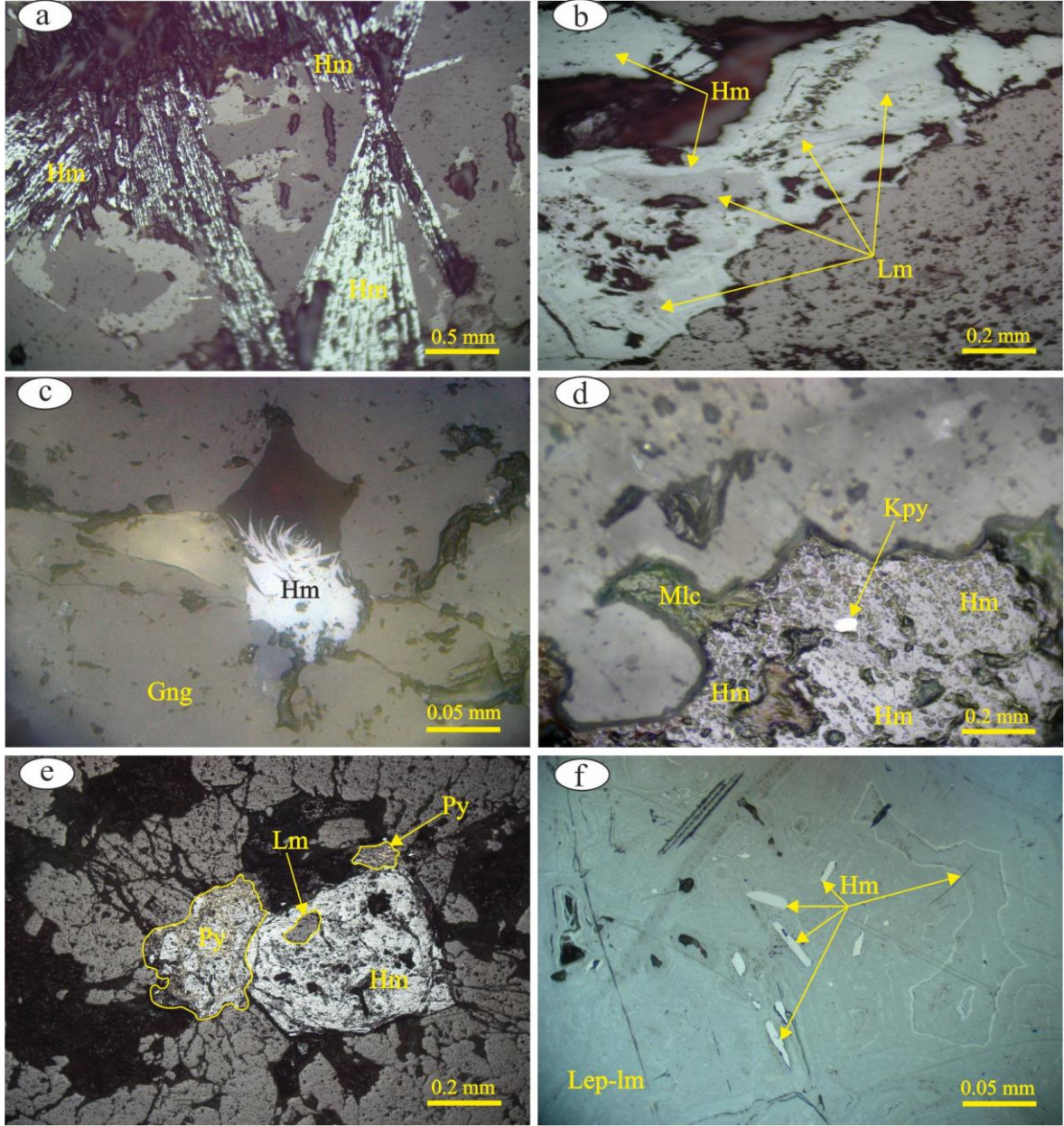
Manyetit, çoğunlukla orta - iri boyutlarda yarı öz şekilli ve nadiren de öz şekilsiz olarak da bulunmaktadır (Şekil 3.24). Gri – açık renk tonlarında masif yapıli halinde bulunur. Gang içerisinde küçük taneler halinde öz şekilli ve yarı öz şekilli saçınımlı olarak bulunur (Şekil 3.24a, b ve c). Manyetit tanelerinin çoğu alterasyon sonucu hematite dönüşmüşlerdir (Şekil 3.24c ve e). Hematitleşmiş taneler beyaz ve gri renklerde görülmüştür. Bazı manyetit taneleri üzerinde ve kenarları boyunca limonitleşmede yaygın olarak bulunmaktadır (Şekil 3.24d ve c). Manyetitlerin mineral ve tane boyutları 0.05 mm’den – 1.0 mm’ye kadar değişmektedir. Manyetitler iki fazda oluşmuştur. Birinci fazda oluşan manyetitler öz şekilli ve yarı öz şekilli alterasyon sonucunda hematite dönüşmüşlerdir (Şekil 3.24e ve c). İçerisinde nadir olarak görülen ızgara ve çubuk şeklinde ilmenit oluşumları da mevcuttur (Şekil 3.24d). İkinci fazda oluşan manyetitler ise köşeli, yuvarlatılmış, karemsi, diktörgeimsi, üçgenimsi ve öz şekilsiz olup içerisinde küçük boyutlarda pirit ve kalkopirit kapanımları bulundurlar (Şekil 3.24f).

Hematitler, açık beyaz ve açık gri renk tonlarında manyetit tanelerinden ortamın sıcaklığındaki düşüşler sonucu oluşmuşlardır (Şekil 3.25). Dolayısıyla bunların bazıları yarı öz şekilli ve öz şekilsiz olarak görülür. Bazı durumlarda oldukça büyük tekdüze hematit kristalleri manyetitten şekillenebilir ve bu kristaller sık sık kapanım olarak küçük manyetit kalıntıları içerirler. Hematitlerde görülen cevher dokuları parlak, çubuksu latalar, iğnemi ve sferulitik, kravat şekilde dokudur. Bunlar spekülait türü hematitlerdir. Spekülaitler hematite göre parlak, geniş yüzeyli, iğnemi ve çubuksu olarak görülmektedir. Bunun yanı sıra iskelet ve düzlemsel yapıda geniş yüzeyli olan hematitler de mevcuttur (Şekil 3.25a). Bu tür levhamsı ve çizgisel oluşumlar hematitin hidrotermal kökenli olduğunu göstermektedir. Yüksek sıcaklıkta oluşan hematitler iri kristallidir (Şekil 3.25b, d ve e). Hematitin kontak metasomatik skarn oluşumları izometrik (eş ölçülü)’ dir. İncelenen parlak kesitlerde hematitin iki farklı şekilde oluştuğu belirlenmiştir. Bunlar; 1) Gang içerisinde çok küçük boyutlarda bulunan yoğun saçınımlı hematitler manyetitin bozuşması sonucu gelişmiştir. İğnemi şekilli ince latalar halindeki bazı hematit oluşumları bazen gang içerisinde değişik yönlerde akma dokusu ve tüy dokusu göstermektedir (Şekil 3.25c ve f). Buna karşın bazı ince hematit çubukları ise lepidokrozite veya limonite dönüşmüş geniş yüzeyli taneler içerisinde gözlenmektedir. Tane kenarları veya çatlak – kırık yüzeyleri boyunca konsantrik halkalar şeklinde gelişen hematit oluşumları da mevcuttur (Şekil 3.25f). 2) Öz şekilsiz ve yarı öz şekilli pirit taneleri üzerinde hematit ve limonit oluşumları vardır (Şekil 3.25e ve d). Hematitler değişik boyutlarında

gözlenmektedir. Çubuksu lataların genişliği 0.01 mm'den – 0.005 mm arasında, boyları ise 0.5 mm'den– 4.0 mm'ye kadar değişmektedir. Geniş yüzeyli düzensiz kenarlı hematitlerin boyutları ise 0.1 mm– 1.6 mm arasında değişmektedir.



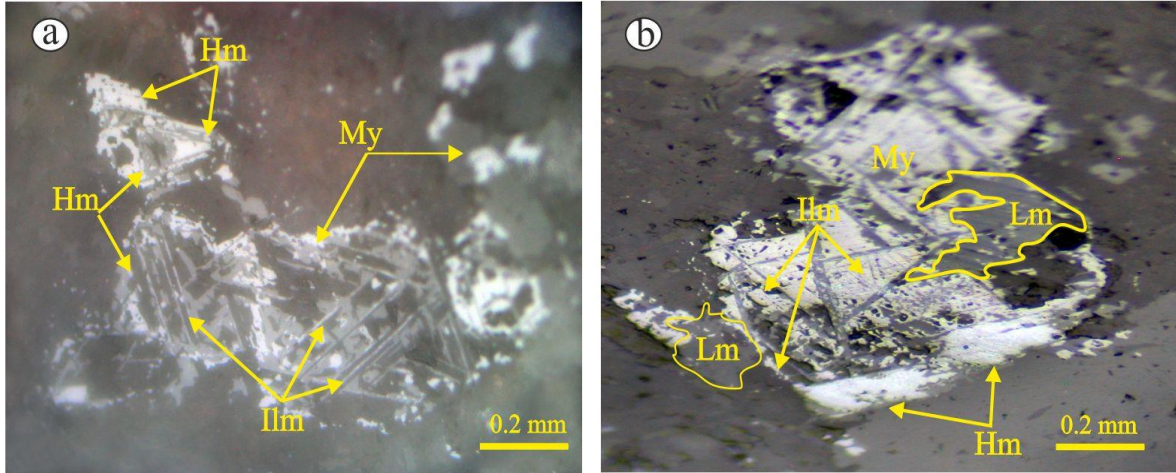
Şekil 3.24. Manyetitin cevher mikroskobisindeki görünüşleri. a) ve b) şekilli manyetitin görünümü (Örn. No.: 13), c) Limonitleşmiş ve hematitleşmiş manyetit (Örn. No.: 13), d) Manyetit üzerinde nadir olarak görülen ilmenit oluşumları (Örn. No.: 13), e) Yarı öz şekilli hematitleşmiş manyetitler (Örn. No.: 21-F) ve f) Manyetit içerisinde ve çatlaklarında kalkopiritler (Örn. No.: 13), My: Manyetit, Hm: Hematit, Lm: Limonit, Ilm: İlmenit, Kpy: Kalkopirit, Gng: Gang.



Şekil 3.25. Hematitin cevher mikroskobisindeki görünüşleri. a) İğnemsî çubuksu spekülarit hematit lataları (Örn. No.: 26), b) Yarı özşekilli – düzensiz şekilli geniş yüzeyli hematit taneleri (Örn. No.: 21-E), c) Gang içerisinde tüy dokusu gösteren limonitleşmiş hematit (Örn. No.: 21-E), d) Öz şekilsiz hematit tanesi üzerinde kalkopirit ve malakit oluşumları (Örn. No.: 20), e) Öz şekilsiz ve yarı öz şekilli pirit taneleri üzerinde limonitle birlikte hematit oluşumu (Örn. No.: 20), f) konsantrik halkalar şeklinde gelişen hematit oluşumları (Örn. No.: 20-M). Hm: Hematit, Lm: Limonit, Kpy: Kalkopirit, Mlc: Malakit, Py: Pirit, Lep: Lepidokrozit

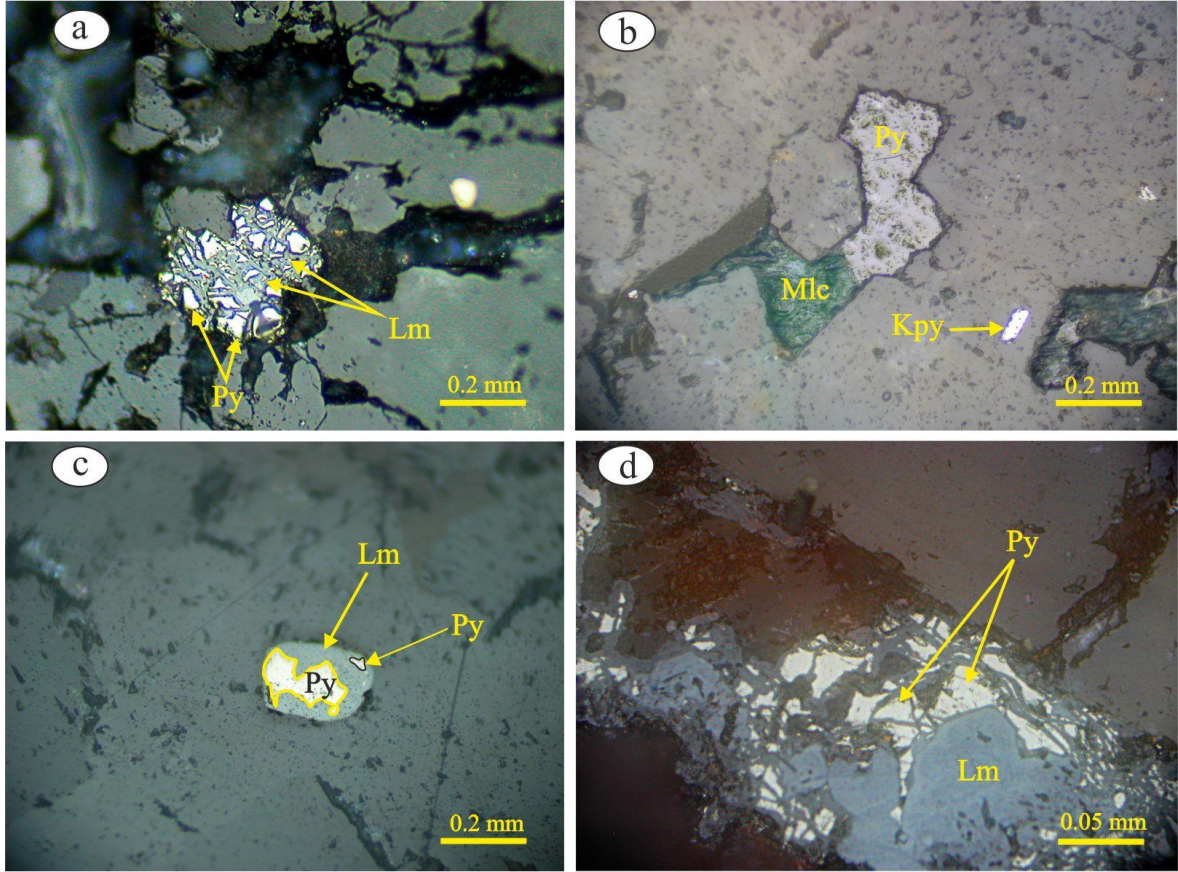
İlmenit, incelenen örneklerde siyah, kahverengimsi renklere kısmen hematitleşen bazı manyetit taneleri üzerinde nadir olarak kafes ve ızgara şekilli dokular gösteren

Çubuklar olarak gelişmiştir (şekil 3.26a). İlmenit ile birlikte bu taneler üzerinde limonit oluşumları belirgindir (şekil 3.26b). Çok kk boyutlarda ve nadir olarak görülmeleri örneklerdeki manyetit tıtan içeriğini düşük olabileceğine işaret etmektedir.



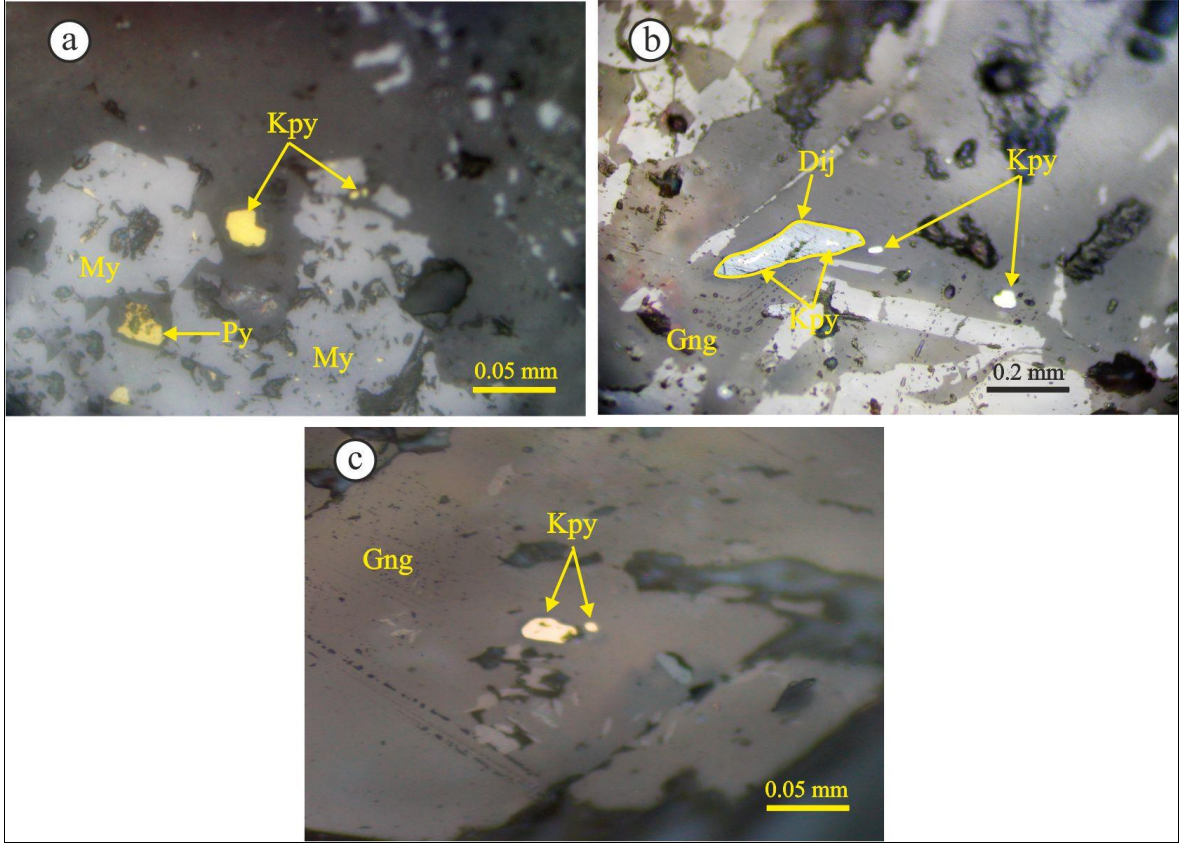
şekil 3.26. İlmenitin parlak kesitlerde görünümleri. a) İskeletimsi dokuda kısmen hematitleşen manyetit üzerindeki ilmenitler (rn. No: 13) ve b) Kısmen hematitleşen yarı özşekilli bir manyetit tanesi üzerinde ilmenit oluşumları (rn. No: 13). Hm: Hematit, My: Manyetit, Gng: Gang, Lm: Limonit

Pirit, genel olarak kk, orta, iri ve çok iri boyutlarda kırıklı – parçalı yapıda köşeli görünümünde açık sarı – krem sarısı renklere yoğun altere olmuş hematitleşmiş, limonitleşmiş çoğunlukla öz şekilsiz kısmen yarı öz şekilli ve nadirinde öz şekilli taneler olarak görülür (şekil 3.27). Mineral tane boyutları 0.05 mm - 0.2 mm'ye kadar değişmektedir. Piritlerin oluşumu iki farklı evrede gerçekleşmiştir. Birinci evrede piritler öz şekilli ve iri boyuttadır. Tektonik gerilmelerden etkilenen bazı piritler kataklastik doku göstermektedir (şekil 3.27a ve d). İkinci evrede oluşan piritler ise öz şekilsiz ve yarı öz şekilli pirit tanelerinin kenarlarında ve boşluklarda malakit, limonit oluşumu gelişmiş ve gang içerisinde öz şekilsiz taneler şeklinde bulunmaktadır (şekil 3.27b ve c).



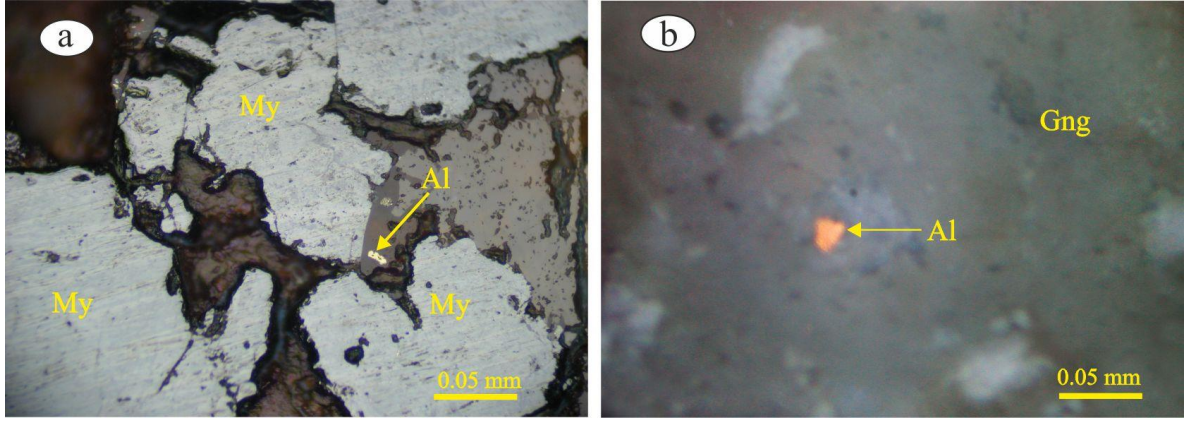
Şekil 3.27. Piritin cevher mikroskobisinde görünüşleri. a) Kataklastik doku gösterenüzeri limonitleşmiş pirit tanesi (Örn. No.: 20-E), b) Öz şekilsiz pirit tanesi ve kenarında malakit oluşumu (Örn. No.: 20), c) Öz şekilsiz pirit tanesi ve kenarında limonit oluşumu (Örn. No.: S-33), d) Kataklastik doku gösterenpirit taneleri (Örn. No.: 21-F). Py: Pirit, Lm: Limonit, Mlc: Malakit, Lm: Limonit

Kalkopirit, açık sarı renklere ve yüksek parlaklıkta görülmekte ve çok küçük boyutlarda saçınımlı düzensiz şekilli, kısmen yarı öz şekilli – öz şekilli taneler olarak bulunmaktadır (Şekil 3.28). Mineral boyutları 0.01 mm -0.6 mm arasında değişmektedir. Çoğunlukla girintili çıkıntılı kenarlara sahip olan kalkopiritler etrafında oksidasyon ürünü olarak dijenit oluşmuştur (Şekil 3.28b). Kalkopiritlerin oluşumu iki farklı evrede gerçekleşmiştir. Birinci evrede çok küçük boyutlarda saçınımlı düzensiz şekilli taneler halinde yer almaktadır (Şekil 3.28c). İkinci evrede ise kısmen yarı öz şekilli – öz şekilli taneler bulunmaktadır. Bazı kalkopiritler manyetit içinde kapanımlar olarak bulunmaktadır (Şekil 3.28a). Bazılarında gang içerisinde çok küçük boyutlarda saçınımlı taneler olarak görülmektedir (Şekil 3.28c).



Şekil 3.28. Kalkopiritin cevher mikroskobundaki görünüşleri. a)Manyetit içerisinde öz şekilsiz kalkopirit taneleri (Örn. No.: 13), b) Kalkopirit etrafında dijenit gelişimi(Örn. No.: 26) ve c) Gang içerisinde saçınımlı kalkopirit taneleri (Örn. No.: 20). Kpy: Kalkopirit, Py: Pirit, My: Manyetit, Dij: Dijenit, Gng: Gang

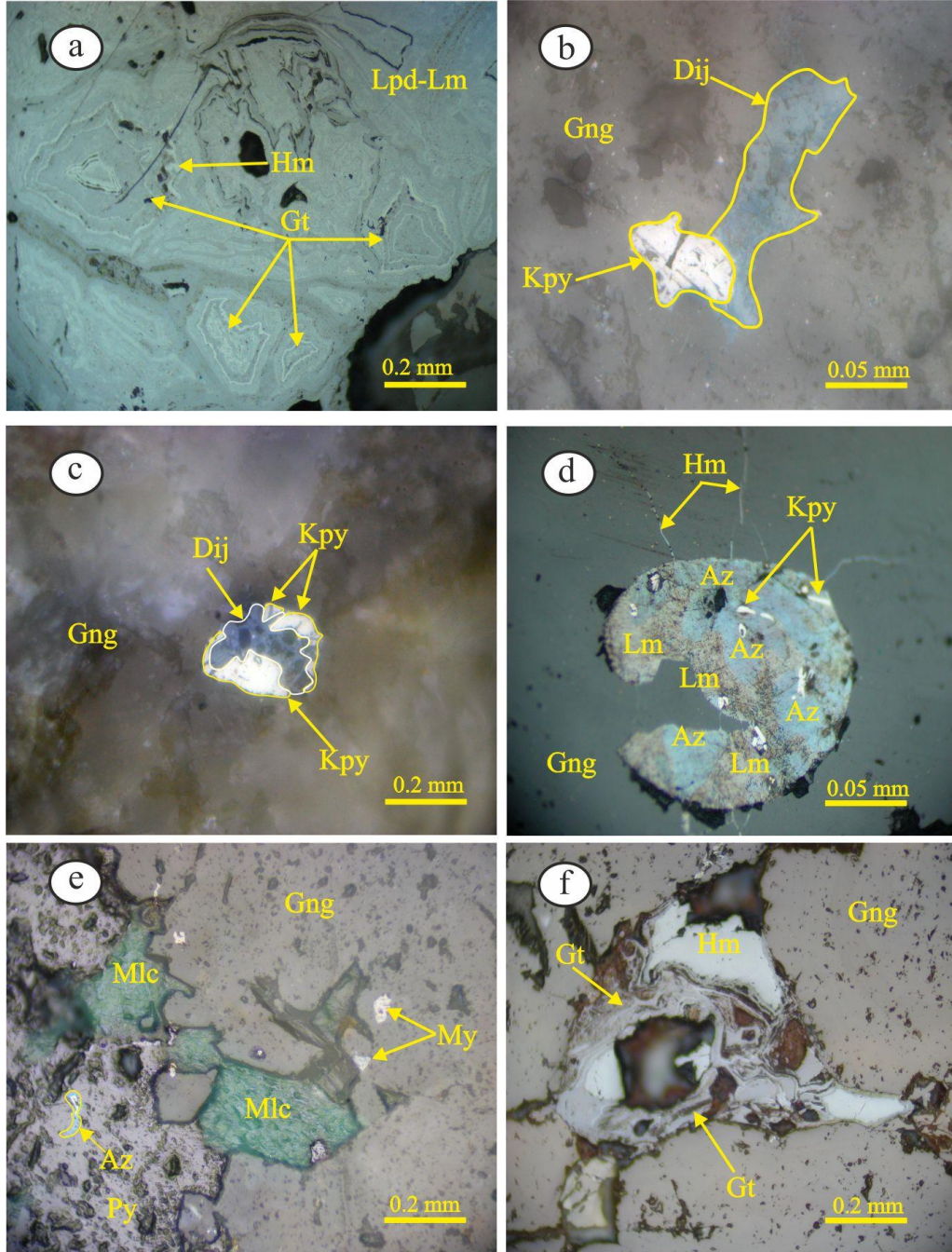
Altın, incelenen parlak kesitler içerisinde nadir olarak bulunan altın bazalttan (S-57) ve skarn zonundan (21F) alınan örneklerde bulunmaktadır. Çok küçük boyutlarda yumurta sarısı renklerde ve yüksek yansıtma özelliğine sahip taneler olarak izlenir. Skarn zonundan (21F) alınan örnekte hematitleşmiş manyetit taneleri arasında görülür (Şekil 3.29a). Bazalt (S-57) örneğinde gang içerisinde üçgenimsi köşeli şekilde bulunmaktadır (Şekil 3.29b). Tane boyutları 0.01 mm – 0.025 mm arasında değişmektedir.



Şekil 3.29. Hematitleşmiş manyetit taneleri arasında boşlukta altın tanesi (Örn. No: 21-F), b) Gang içerisinde üçgenimsi köşeli altın tanesi (Örn. No.: S-57). Al: Altın, My: Manyetit, Gng: Gang

3.3.3. İkincil Cevher Mineralleri

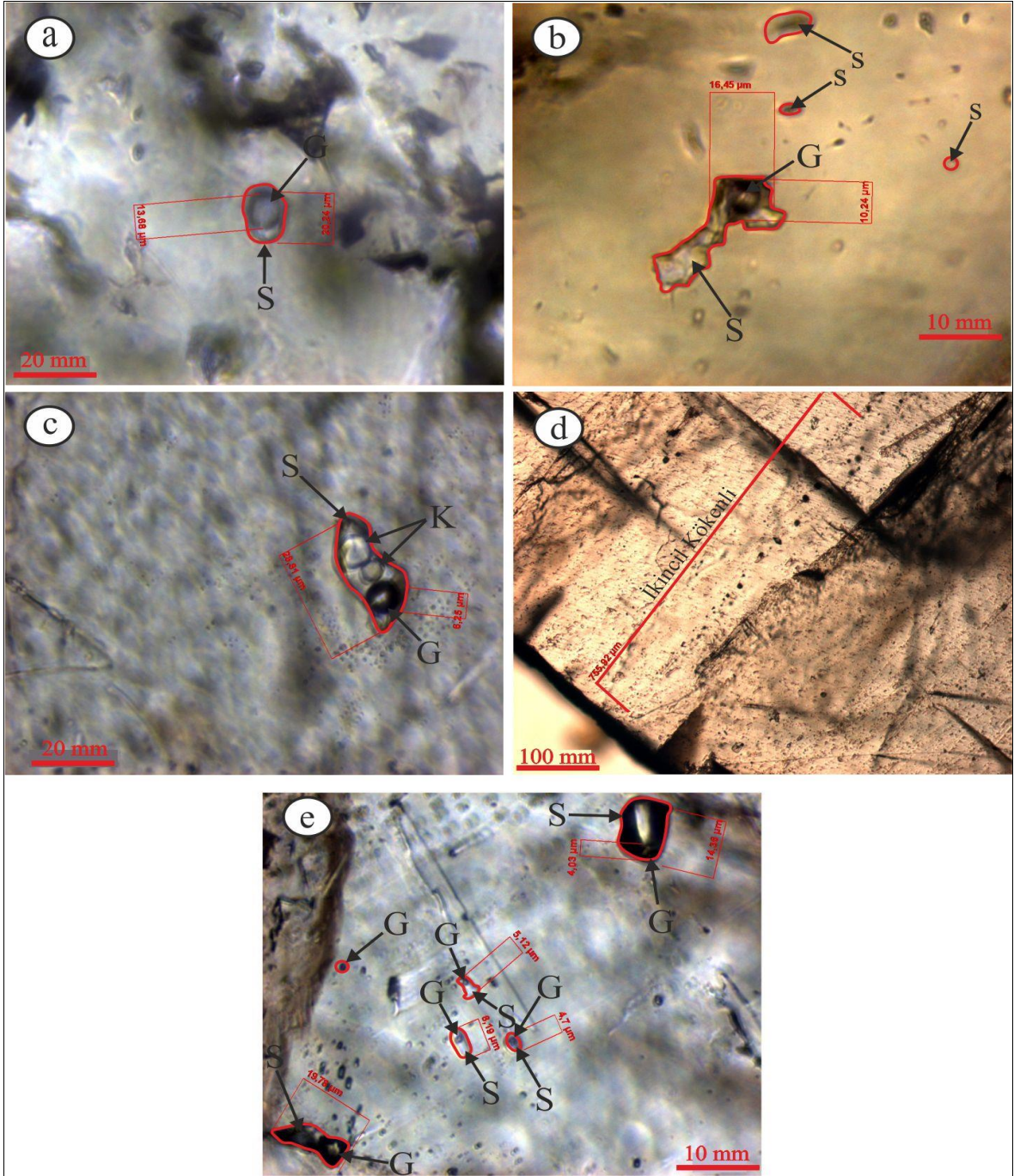
İncelenen parlak kesitlerde alterasyon mineralleri lepidokrozit, hematit, limonit, dijenit, götit, azurit, malakit olarak belirlenmiştir. Lepidokrozit ve / veya limonite dönüşmüş manyetitler üzerinde hematit ve hematitlerin üzerinde limonit oluşumları belirgindir. Hematite dönüşmüş manyetitler üzerinde ise konsantrik halkalar şeklinde götit oluşumları mevcuttur (Şekil 3.30a ve f). Konsantrik götit halkalarının bazıları da hematitlerden oluşmaktadır. Dijenit ise kalkopiritin etrafında ve kırıklarında gelişmiştir (Şekil 3.30b ve c). İkincil cevher mineralleri olarak öz şekilsiz piritlerin üzerinde azurit; kenarları ve kırıkları boyunca malakitler; bazılarında ise limonit ve götit gelişmiştir (Şekil 3.30e ve a). Curuf malzemesinden alınan bir örnekte olası bir manyetit tanesi üzerinde hematit damarcıkları, limonit ve azurit ile birlikte küçük kalkopiritler görülmüştür (Şekil 3.30d).



Şekil 3.30. İkincil cevher minerallerinin mikroskoptaki görünüşleri a) Hematitleşmiş manyetitler üzerinde konsantrik halkalar şeklinde götit ve lepidokrozit-limonit oluşumları (Örn. No.: 20-M), b) Kalkopirit etrafında gelişen dijenitler (Örn.No.: 20), c) Kalkopiritin içinde dijenit oluşumu (Örn.No.:20), d) Manyetit tanesi üzerinde hematit damarcıkları, limonit ve azurit ile birlikte küçük kalkopiritler (Örn. No.: S-47.1), e) Düzensiz şekilli piritler üzerinde ve kırıklarda malakit, azurit, hematit oluşumları (Örn. No.: 20), b), f) Gangın kırıklarında hematitten gelişen götit oluşumları (Örn. No.: 21-F). Gt: Götit, Lm: Limonit, Lep: Lepidokrozit, Hm: Hematit, Dij: Dijenit, Kpy: Kalkopirit, Gng: Gang, Mlc: Malakit, Az: Azurit

3.3.4. Cevher Mineralleri Oluşum Sırası (Sükseyon)

Karadağ Fe-Cu skarn tip cevherleşmede oluşan skarn minerallerinden piroksen, granat ve epidot sokulum yapan plütonik kayaç içerisinde endoskarn zonunda oluşmuşlardır. Bunlardan piroksen ilk önce oluşan silikat minerali olarak endoskarnın son evrelerinde başlayıp ekzoskarnın I. fazının ortalarına kadar devam etmiştir (Tablo 3.4). Granat minerali ise yine endoskarnın son evrelerinde oluşmaya başlayıp ve ekzoskarnın I. fazın tamamı boyunca oluşmaya devam etmiş ve II. fazın ortalarında oluşumunu tamamlamıştır. Diğer silikatlı skarn minerallerinden epidot ise endoskarnın son evrelerinde ve egzokarnın I. fazın erken döneminde az miktarda oluşmaya başlamış; I. fazın ortalarından II. fazın ilk evrelerine kadar önemli miktarda oluşmuş ve II. fazın ortalarında oluşumunu bitirmiştir. Skarn cevherleşmesinde gözlenen cevher minerallerinde manyetit ilk önce oluşan cevher minerali olarak az miktarda endoskarn zonunda önemli miktarda ise ekzoskarnın I. ve II. fazlarında olduğu gözlenir (Tablo 3.4). Manyetit'ten sonra en fazla bulunan pirit ise ikinci I. fazın ortalarından II. fazın sonuna kadar oluşumu devam etmiştir ve az miktarda oksidasyon zoonunda görülmektedir. Üçüncü sırada oluşan cevher minerali kalkopirit ise piritin ve manyetit'in kırık be boşluklarını dolduran mineral olarak egzokarnın I. fazın son evrelerinde II. faz boyunca devam ederek oksidasyon evresinde görülür. Mineral parajenizinde önemli miktarda bulunan hematit ise ekzoskarnın II. fazından başlayarak oksidasyon zonu boyunca olduğu gözlemlenir. Mineral parajenizinde az rastlanan altın ekzoskarnın II. fazın son evreleri ile oksidasyon zoonunun ilk evreleri aralığında olduğu görülür. Dijenit kalkopiritin oksidasyonu sonucu; limonit, götit-lepidokrozit piritin ve hematitin oksidasyonu sonucu; azurit ve malakit ise bakırlı mineral olan pirit ve kalkopiritin alterasyonu sonucu oksidasyon zonunda gelişmiştir. İncelenen skarn cevherleşmesinin silikat minerali parajenizinde II tip kuvars görülür. Kuvars I endoskarnın son evresinde başlayıp ekzoskarnın son evresine kadar devam etmiştir. Kuvars II ise oksidasyon zonunda görülür. Diğer gang minerali olan kalsit ise endoskarnın son evresinden ekzoskarnın II. fazın sonuna kadar oluşumu devam etmiştir. Diğer alterasyon minerali olan klorit ise ekzoskarnın son evrelerinden başlayarak oksidasyonun zonun son evresine kadar görülmektedir.



Şekil 3.31. Karadağ skarn cevherleşmesinde ekzoskarn zonundaki kuvars ve kalsit minerallerinden birincil sıvı kapanım görüntüleri. a) Gaz fazın sıvı fazla oranı fazla kapanım (Örn. No.: S-60), b) Boyunlanmış sıvı kapanım (Örn. No.:S-49), c) Üç fazlı sıvı kapanım (Örn. No.:S-60), d) İkincil kökenli sıvı kapanım (Örn. No.: S-60), e) Kümelenmiş sıvı kapanım (Örn. No.: S-60). S: Sıvı, K: Katı, G: Gaz

Birincil kökenli kapanımlar genel olarak izole (tek başına) veya küçük küme/ gruplar şeklinde görülmektedir. Kalsit mineralinden yapılan kesitte boyunlanmış ve tek sıra halinde dizilmiş ikincil kökenli sıvı kapanımlara da rastlanılmıştır.

Sıvı kapanım çalışmalarında skarn mineral kristallerinin bazılarında, özellikle birincil kökenli kapanımlarda boyunlanmış (necking down) kapanımlar gözlenmiştir. Kalsit mineralinde boyunlanmış kapanımların birincil kökenli iki fazlı durumda oldukları görülmüştür. Fakat böyle kapanımlarda mikrotermometrik ölçümler yapılmamıştır. Yapılan incelemelerde bazı birincil kökenli iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımları yavru/içelti mineraller (daughter mineral) de içerdiği görüldü fakat yavru/içelti minerallerin bileşimi tespit edilememiştir.

Şeffaf- yarı şeffaf kuvars ve kalsit kristallerindeki birincil kökenli iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlarda yapılan mikrotermometrik analizler sonucu elde edilen homojenleşme sıcaklıkları (Th °C) Tablo 3.5 verilmiştir.

Ölçümü yapılan kapanımların tamamı sıvı faza homojenleşmiştir (Şekil 3.32). Ayrıca kapanımlardaki gaz fazın sıvı faza oranı fazla olan sıvı kapanımlar da görülmüştür.

Tablo 3.5. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinde ekzoskarn zonundaki kuvars ve kalsit minerallerine ait mikrotermometrik veriler

Örnek No	Mineralin Türü	Kapanım Türü (Tipl)	Homojenleşme Fazı	Homojenleşme Sıcaklığı Th (°C)
S-48	Kuvars	iki fazlı	sıvı faza	405
		iki fazlı	sıvı faza	337
		iki fazlı	sıvı faza	336
		iki fazlı	sıvı faza	335
		iki fazlı	sıvı faza	405
		iki fazlı	sıvı faza	335
		iki fazlı	sıvı faza	335
		iki fazlı	sıvı faza	335
		iki fazlı	sıvı faza	338
		iki fazlı	sıvı faza	345
		iki fazlı	sıvı faza	240
		iki fazlı	sıvı faza	238
		iki fazlı	sıvı faza	247
		iki fazlı	sıvı faza	230

Tablo 3.5'in devamı

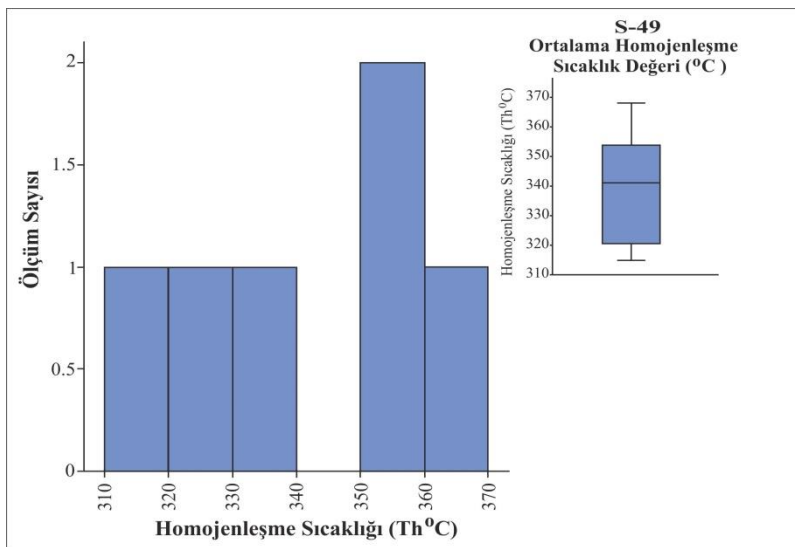
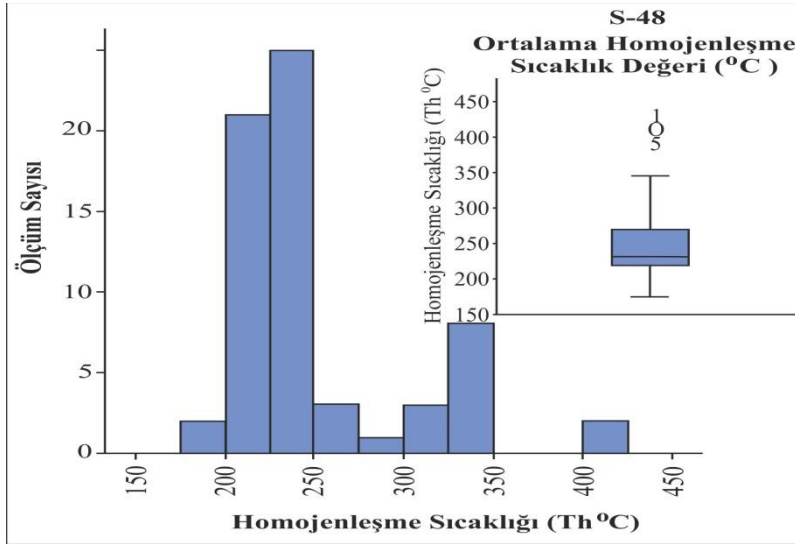
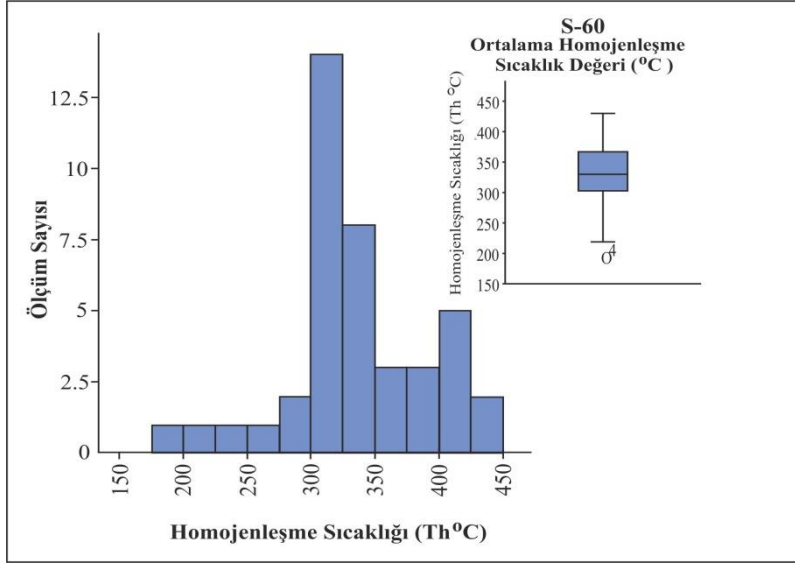
Örnek No	Mineralin Türü	Kapanım Türü (TipI)	Homojenleşme Fazı	Homojenleşme Sıcaklığı Th (°C)
S-48	Kuvars	iki fazlı	SIV1 faza	230
		iki fazlı	SIV1 faza	245
		iki fazlı	SIV1 faza	244
		iki fazlı	SIV1 faza	243
		iki fazlı	SIV1 faza	224
		iki fazlı	SIV1 faza	234
		iki fazlı	SIV1 faza	227
		iki fazlı	SIV1 faza	224
		iki fazlı	SIV1 faza	235
		iki fazlı	SIV1 faza	234
		iki fazlı	SIV1 faza	247
		iki fazlı	SIV1 faza	224
		iki fazlı	SIV1 faza	272
		iki fazlı	SIV1 faza	272
		iki fazlı	SIV1 faza	270
		iki fazlı	SIV1 faza	210
		iki fazlı	SIV1 faza	210
		iki fazlı	SIV1 faza	220
		iki fazlı	SIV1 faza	210
		iki fazlı	SIV1 faza	210
		iki fazlı	SIV1 faza	218
		iki fazlı	SIV1 faza	218
		iki fazlı	SIV1 faza	218
		iki fazlı	SIV1 faza	231
		iki fazlı	SIV1 faza	216
		iki fazlı	SIV1 faza	225
		iki fazlı	SIV1 faza	231
		iki fazlı	SIV1 faza	210
		iki fazlı	SIV1 faza	227
		iki fazlı	SIV1 faza	230
		iki fazlı	SIV1 faza	227
		iki fazlı	SIV1 faza	231
		iki fazlı	SIV1 faza	230
		iki fazlı	SIV1 faza	231
		iki fazlı	SIV1 faza	232

Tablo 3.5'in devamı

Örnek No	Mineralin Türü	Kapanım Türü (TipI)	Homojenleşme Fazı	Homojenleşme Sıcaklığı Th (°C)
S-48	Kuvars	iki fazlı	sıv1 faza	231
		iki fazlı	sıv1 faza	290
		iki fazlı	sıv1 faza	175
		iki fazlı	sıv1 faza	223
		iki fazlı	sıv1 faza	217
		iki fazlı	sıv1 faza	219
		iki fazlı	sıv1 faza	220
		iki fazlı	sıv1 faza	219
		iki fazlı	sıv1 faza	189
		iki fazlı	sıv1 faza	202
		iki fazlı	sıv1 faza	202
		iki fazlı	sıv1 faza	202
		iki fazlı	sıv1 faza	237
		iki fazlı	sıv1 faza	310
		iki fazlı	sıv1 faza	313
		iki fazlı	sıv1 faza	313
S-49	Kuvars	iki fazlı	sıv1 faza	351,8
		iki fazlı	sıv1 faza	353,8
		iki fazlı	sıv1 faza	314,9
		iki fazlı	sıv1 faza	330,4
		iki fazlı	sıv1 faza	368,1
		iki fazlı	sıv1 faza	320,6
S-60	Kalsit	iki fazlı	sıv1 faza	219
		iki fazlı	sıv1 faza	375
		iki fazlı	sıv1 faza	380
		iki fazlı	sıv1 faza	186
		iki fazlı	sıv1 faza	343
		iki fazlı	sıv1 faza	425
		iki fazlı	sıv1 faza	420
		iki fazlı	sıv1 faza	367
		iki fazlı	sıv1 faza	363
		iki fazlı	sıv1 faza	385
		iki fazlı	sıv1 faza	430
		iki fazlı	sıv1 faza	314
		iki fazlı	sıv1 faza	277

Tablo 3.5'in devamı

Örnek No	Mineralin Türü	Kapanım Türü (TipI)	Homojenleşme Fazı	Homojenleşme Sıcaklığı Th (°C)
S-60	Kalsit	iki fazlı	sıvı faza	280
		iki fazlı	sıvı faza	305
		iki fazlı	sıvı faza	314
		iki fazlı	sıvı faza	314
		iki fazlı	sıvı faza	314
		iki fazlı	sıvı faza	314
		iki fazlı	sıvı faza	331
		iki fazlı	sıvı faza	332
		iki fazlı	sıvı faza	330
		iki fazlı	sıvı faza	333
		iki fazlı	sıvı faza	334
		iki fazlı	sıvı faza	331
		iki fazlı	sıvı faza	303
		iki fazlı	sıvı faza	304
		iki fazlı	sıvı faza	302
		iki fazlı	sıvı faza	303
		iki fazlı	sıvı faza	305
		iki fazlı	sıvı faza	301
		iki fazlı	sıvı faza	270
		iki fazlı	sıvı faza	331
		iki fazlı	sıvı faza	365,4
		iki fazlı	sıvı faza	402
		iki fazlı	sıvı faza	402
		iki fazlı	sıvı faza	402
		iki fazlı	sıvı faza	402
		iki fazlı	sıvı faza	402
		iki fazlı	sıvı faza	300
		iki fazlı	sıvı faza	300
		iki fazlı	sıvı faza	245



Şekil 3.32. Kuvars ve kalsit minerallerine ait sıvı kapanımların homojenleşme sıcaklıklarının histogramları

Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinde ekzoskarn zonundan alınan iki adet kuvars mineralinde ise 71 adet ölçüm yapılmış olup; S-48 nolu örnekte 175-405 °C ve S-49 nolu örnekte 314.9-320.6 arasında homojenleşme değerleri bulunmuştur. S-60 nolu örneğe ait kalsit mineralinde ise 41 adet ölçüm yapılmış ve 186-430 °C homojenleşme değerleri belirlenmiştir. Tüm kapanımların homojenleşme sıcaklığı sıvı fazda gerçekleşmiştir. Ölçüm yapılan kapanımların 405 °C ve üzerindeki sıcaklıklara çıkıldığında kapanımların bir kısmının bozulduğu ve/veya karardığı saptanmıştır (decrepitation).

3.4.1. Homojenleşme Sıcaklığı ve Tuzluluk Değerleri

Homojenleşme sıcaklıklarının ölçüldüğü birincil kökenli iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlar sıvı azot kullanılarak dondurulmuştur. Sıvı kapanımların ölçülebilen ergime sıcaklıkları (T_m °C) ve bunlara karşılık gelen % NaCl eşdeğerleri Bodnar (1993)'ın eşitliği kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.6. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinde ekzoskarn zonundaki kuvars ve kalsit minerallerine ait % NaCl eş değeri tuzluluk verileri

Örnek No	Kapanım Türü	T_{mi} (°C)	T_m (°C)	Homojenleşme Sıcaklığı T_h (°C)	% NaCl Eşdeğeri
S-48	Kuars	-15.42	-5.4	405	8.4
		-15.42	-5.4	405	8.4
		-4.3	-0.2	240	0.4
		-7.3	-1	247	1.7
		-8.7	-2.2	230	3.7
		-11.4	-4.7	230	7.5
		-8.4	-1.8	245	3.1
		-13.4	-0.7	234	1.2
		-12.4	-4.7	227	7.5
		-4.8	-2.8	224	4.7
		-4.2	-1.1	247	1.9
		-7	-2.8	224	4.7
		-8	-2.4	218	4
		-9.9	-3.5	231	5.7
		-8.9	-2.4	225	4
		-9.7	-3.9	231	6.3
			-1.5	210	2.6
		-10.8	-3.5	227	5.7

Tablo 3.6'in devamı

Örnek No	Kapanım Türü	T _{mi} (°C)	T _m (°C)	Homojenleşme Sıcaklığı Th (°C)	% NaCl Eşdeğeri
S-48	Kuars	-9.5	-4.2	230	6.7
			-3.1	227	5.1
			-5.8	231	9
		-4.7	-3.1	230	5.1
		-5.1	-3.8	232	6.2
		-6.4	-2.9	231	4.8
		-3.9	-0.8	223	1.4
		-4.1	0.4	220	0.7
S-49	Kuars		-1.89	351.8	3.2
		-36.5	-5.4	314.9	8.4
		-37.2	-2.9	330.4	4.8
		-47.4	-4.4	320.6	7.02
S-60	Kalsit	-9.9	-0.2	219	0.4
		-13.2	-10.8	380	14.8
		-9.5	-4.7	363	7.5
		-17.2	-4.1	334	6.6

Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinde ekzoskarn zonundan alınan iki adet kuvars minerallerinden 30 adet ve bir adet kalsit mineralinden 4 adet ölçüm yapılmış T_m (°C) sonucuna göre, kapanımları tuzluluğu kuvarslar için % 0.7 – 9 ve kalsit için % 0.4-14.8 NaCl eş değeri arasındadır.

4. TARTIŞMA

Çalışma alanındaki yeniden kristallenmiş kireçtaşlarında Ca ve Mg değerleri dolomitik olan mermerlerin değerlerine (Lentz ve Suzuki, 2000) yakındır. Kireçtaşından mermere doğru gidildikçe CaO (veya CO₂) değerinde % 7 azalma olurken MgO değerinde % 88 artış olmuştur. Kireçtaşına göre Fe-Cu skarn yatağına doğru, yeniden kristalleşmiş kireçtaşında CaO değerinin azalma, MgO değerinde artış olması birçok skarn cevherleşmeleri ile alakalıdır (Barton ve diğ., 1991; Lentz ve Suzuki, 2000). Kireçtaşındaki Fe/Mg (1.30) oranı yeniden kristalleşmiş kireçtaşının Fe/Mg (0.27) oranından fazladır. Ayrıca kireçtaşındaki Ba, V, Cu, Pb, Zn, Ni, As ve Au gibi iz bulucu elementler yeniden kristalleşmiş kireçtaşına göre artmıştır (Tablo 3. 2).

Karadağ Granitoyidi ana oksitlerinde SiO₂'ye karşı gözlenen düzgün negatif korelasyonlar fraksiyonel kristallenmenin bir sonucu olarak düşünülebilir (Şekil 3. 16). Karadağ Granitoyidi iz element değişim diyagramlarında SiO₂'ye karşı Ba, Zr, Y, La, Ce, Nb, U, Th'de görülen dağınık görünüm kabuksal kirlenmeye bağlı olarak gelişmiş olabilir (Şekil 3. 17).

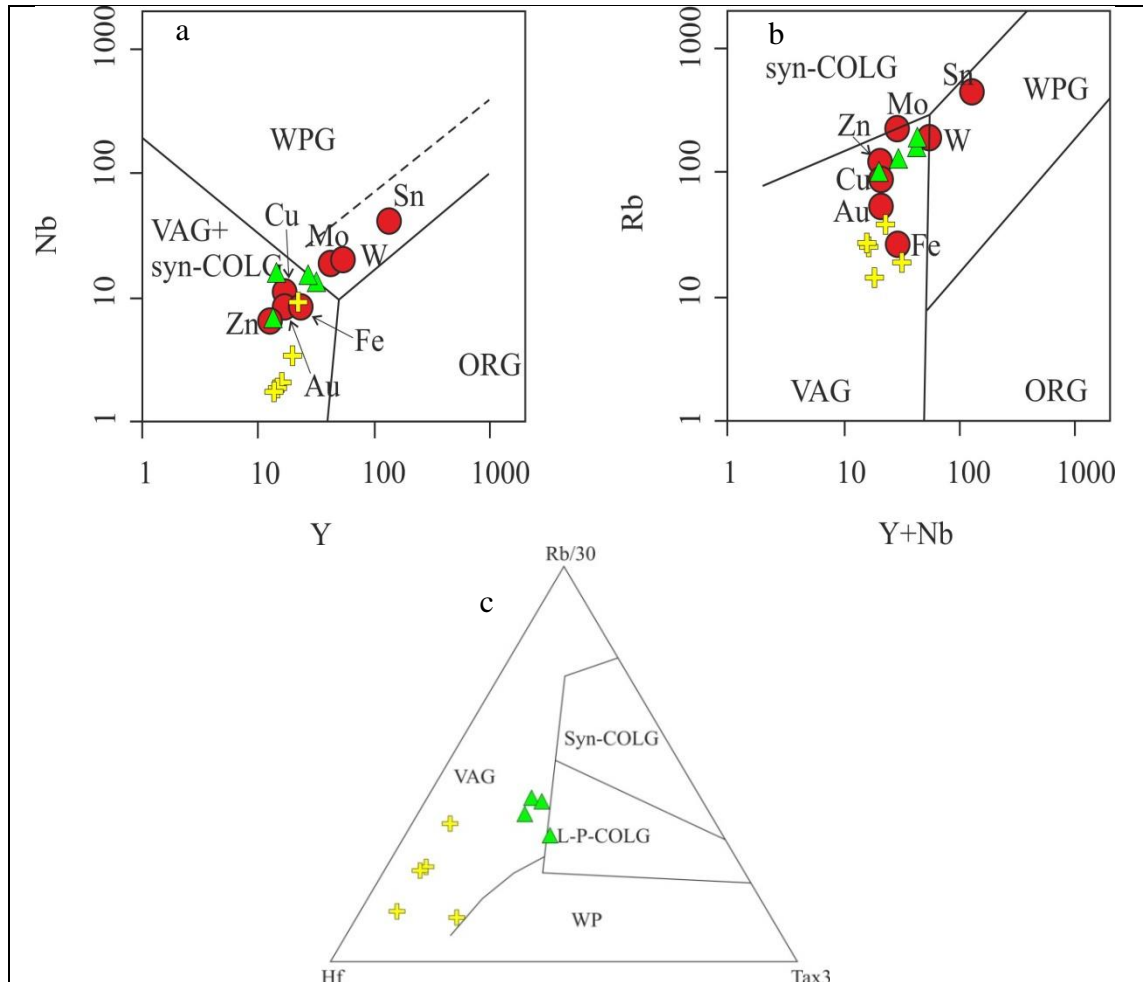
Çalışma sahasındaki granitoid kayaçlarının iz element dağılımları genellikle yay granitleri ile benzerlik gösterir. Granitoidlerin iz element dağılımları Eosen yaşlı Erik Granitoyidi (Sipahi ve diğ., 2017) ile Diyorit ve Granodiyorit (Kaygusuz ve diğ., 2015)'e göre karşılaştırıldığında daha fakir oldukları görülür (Şekil 3. 18). Diyoritler dışında kalan diğer örneklerde Eu'da negatif anomalisi gözlenmesi bu kayaçların oluşumunda plajiyoklas fraksiyonlaşmasının etkin olduğunu gösterir. ANTE değerlerinin yataya yakın dağılımları ilksel mantoda granat mineralinin bulunmadığının işaretidir.

İncelenen Orta Eosen yaşlı granitik kayaçlar Nb (ppm)'a karşı Y (ppm) diyagramında (Pearce ve diğ., 1984) plaka içi granit alanına düşen örneklerin tamamı volkanik yay granitleri (VAG+sy-COLG) altında yer almaktadır (Şekil 4. 1a). Bu diyagramda, inceleme konusu kayaçlardan diyorit ve kuvars-porfirler, Cu, Au, Zn ve Fe skarnlarla ilişkili granitik kayaçlarla (Meinert, 1985) benzerlikler sunarken diyoritler ise düşük Nb içerikleriyle farklılık göstermektedir. Çalışma konusu kayaçlar Rb (ppm)'e karşı Y+Nb (ppm) diyagramında (Pearce ve diğ., 1984) yine örneklerin tamamı volkanik yay granitleri (VAG) alanında yer almaktadır (Şekil 4. 1b). Bu diyagramda diyorit ve kuvars porfirler Cu, Au, Zn, W ve Fe skarnlarla (Meinert, 1985) ilişkili granitlerle benzerlik

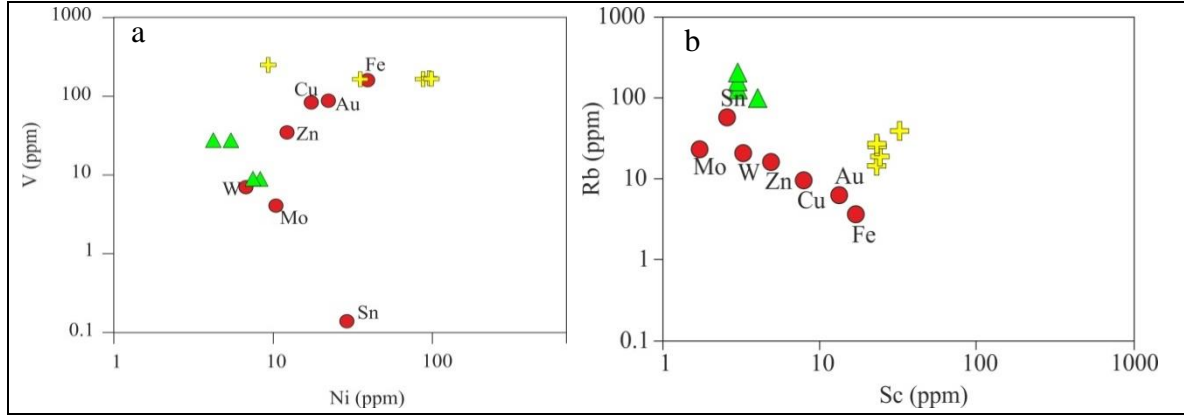
sunarken diyoritler daha çok Fe ve Au skarnlarıyla ilişkili granitik kayaçlarla benzerlikler sunmaktadır.

İncelenen Orta Eosen yaşlı granitik kayaçlar, Rb/30 – Hf – Ta/3 üçgen diyagramında (Harris ve diğ., 1986) nispeten düşük Ta ve Rb değerleriyle bir tane granit örneği hariç tamamı volkanik yay granitleri (VAG) alanında yer almaktadırlar (Şekil 4. 1c).

Ni'e karşı V ve Sc'a karşı Rb diyagramlarında (Meinert, 1995) diyorit örnekleri Fe-Cu skarn alanlarına yakın bulunurken; kuvars porfir örnekleri ise W-Zn (Şekil 4. 2a) ve Sn (Şekil 4. 2b) skarn arasında yer almaktadır. Ni ve V değerleri kalsik Fe skarnlara eşlik eden plütonlarda en yüksek değerlerde, Au, Cu, Zn ve W skarnlara (Meinert ve diğ., 2005) doğru giderek azalmaktadır.



Şekil 4.1. Çalışma alanındaki granitoid örneklerinin üçgen diyagramlardaki konumları a) Nb-Y, b) Rb-(Y+Nb) (Pearce ve diğ., 1984) ve c) Rb/30-Hf-Ta*3 (Harris ve diğ., 1986), (Çeşitli skarn yataklarına eşlik eden plütonik kayaçlar için ortalama değerler Meinert, 1985'den alınmıştır. (Semboller için Şekil 3.15a'ya bakınız).

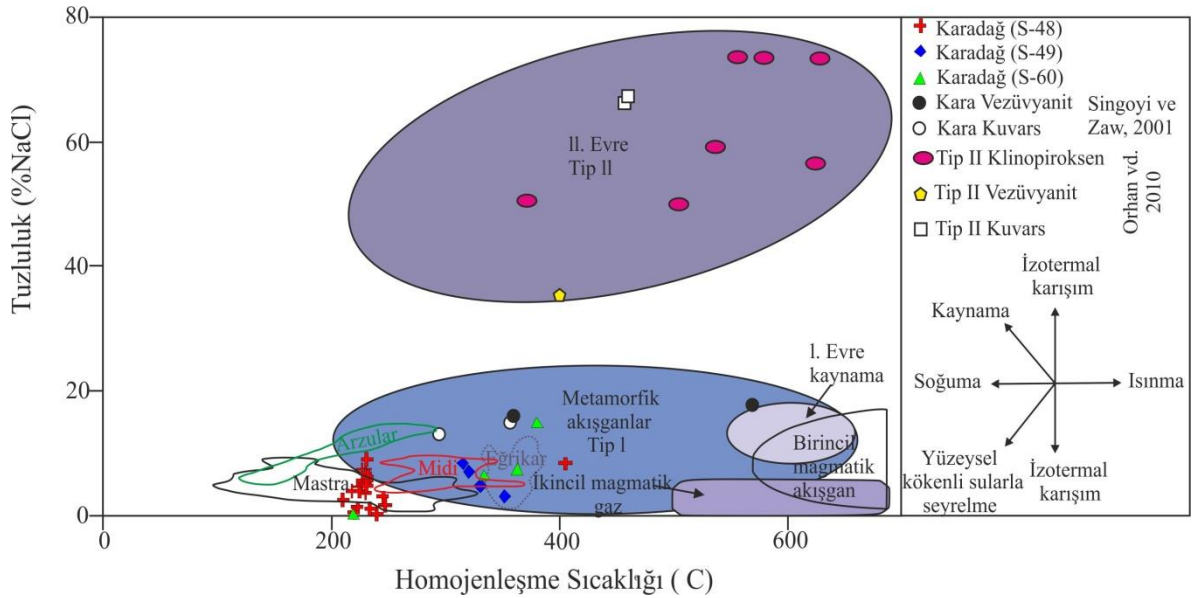


Şekil 4.2. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesindeki granitoidlerin ve Fe-, Au-, Cu-, Zn-W-, Mo- ve Sn-skarnlara eşlik eden granitoidlerin diyagramlardaki konumları a) Ni'e karşı V ve b) Sc'a karşı Rb (Meinert, 1995; Meinert ve diğ., 2005'ten değiştirilerek). Semboller için Şekil 3.15a'ya bakınız.

Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinin cevher mineralleri manyetit, hematit, kalkopirit, pirit, altın ve nabit bakırdır. Skarn mineralleri ise piroksen, granat, epidot, klorit, kuvars ve kalsittir. Granat gibi susuz ve yüksek sıcaklık mineralleri ilerleyen evrede ekzoskarn zonunda oluşmuştur. Ayrıca granatların arasında manyetit, hematit, kalsit ve kuvars mineralleri yer almaktadır (Şekil 3. 21). Epidot, granatların bir kısmının yerini almıştır (Şekil 3. 22b). Epidot gibi sulu mineraller retrograd evrede gelişir (Einaudi ve Burt, 1982; Meinert, 1992; 1997; Meinert ve diğ., 2005; Orhan ve diğ., 2010; Sipahi, 2011; Sipahi ve diğ., 2017). Epidotlar genellikle prograd evreye ait granat üzerine büyüyerek gelişirler (Einaudi, 1982; Murakami, 2005). Çalışma sahasında diyorit, andezit ve kireçtaşı da epidot mineralleri bulunmaktadır. Kireçtaşı içinde epidot mercekleri bulunmaktadır. Murakami (2005) retrograd evrede minerallerin bazen damarlar şeklinde de geliştiğini belirtmiştir. Ayrıca bu skarn yatağında prograd evreye ait granatların arasında kalıntı ve içinde kapanım şeklinde çok küçük piroksen mineralleri mikroskopta görülmüştür (Şekil 3. 22f). Granat, manyetit ve epidotların arasını kuvars ve kalsit doldurmaktadır.

Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinde homojenleşme sıcaklıkları ve tuzluluk değerlerine ait veriler birlikte değerlendirildiğinde çözeltilerin metamorfik akışkanlar tip-I alanına düştüğü belirlenmiştir (Şekil 4. 3). Tip-I kapanım içeren kuvars ve özellikle kalsit mineralinin sıvı ve gaz fazınca zengin olan kapanımların homojenleşme (230-405°C) sıcaklık değerleri “metamorfik akışkanlar” alanına düşmektedir. Çalışma sahasındaki kuvars ve kalsit minerallerinden yapılan sıvı kapanımlarından elde edilen sonuçlarda homojenleşme sıcaklık ve tuzluluk değerleri, Susurluk skarn yatağındaki (Orhan ve diğ.,

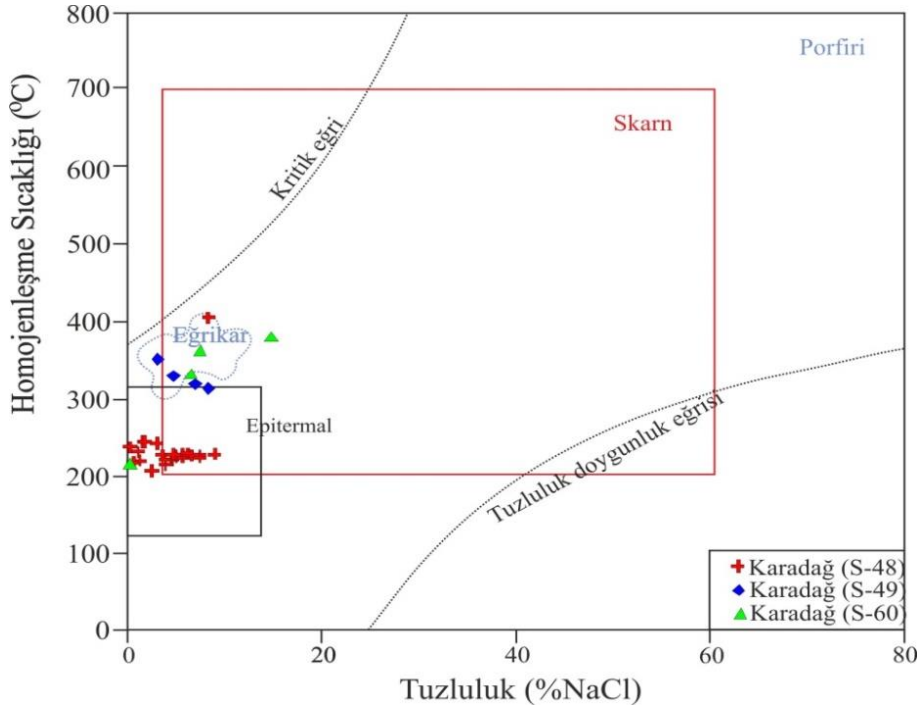
2010) proksimal zonda vezüvyanite ait Tip-I kapanımın homojenleşme sıcaklığı ($>437^{\circ}\text{C}$) ve tuzluluğu (ortalama %11.1 NaCl eşdeğeri) ile Kara Magnetit-Şeelit skarndaki (Singoyi ve Zaw, 2001) II. Evre'ye ait vezüvyanitlerdeki (Tip I kapanım) homojenleşme sıcaklık ($\text{Th}=362\text{-}571^{\circ}\text{C}$) ve tuzluluk (%16.3-17.8 NaCl eş değeri) ile III. Evreye ait kuvarslardaki homojenleşme sıcaklık ($\text{Th}=295.5\text{-}359^{\circ}\text{C}$) ve tuzluluk (% 13.4-15.3 NaCl eş değeri) değerlerine sahip olup "Metamorfik Akışkanlar" alanına düşmektedirler (Şekil 4.3). Karadağ Fe-Cu skarnda belirlenen Tip-I kapanımların homojenleşme sıcaklığı ile %NaCl eş değeri tuzluluk verileri çeşitli sıvıların gelişim yönsemeleri (Wilkinson, 2001) ile karşılaştırma yapıldığında izotermal karışımın ve az da olsa yüzeysel kökenli sularla seyrelmenin etkisi olduğu görülmektedir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesine ait sıvı kapanımların homojenleşme sıcaklığına ($^{\circ}\text{C}$) ile tuzluluk (% NaCl) değerlerinin dağılımı (farklı kökenli hidrotermal akışkanların ortalama sıcaklık ve tuzluluk alanları Bodnar, (1999)'dan; Eğrikar verileri Sipahi ve diğ. (2017)'den; sıvıların gelişim yönsemeleri Wilkinson (2001); Midi, Mastra ve Arzular sahalarının verileri Akaryalı (2016)'dan alınmıştır).

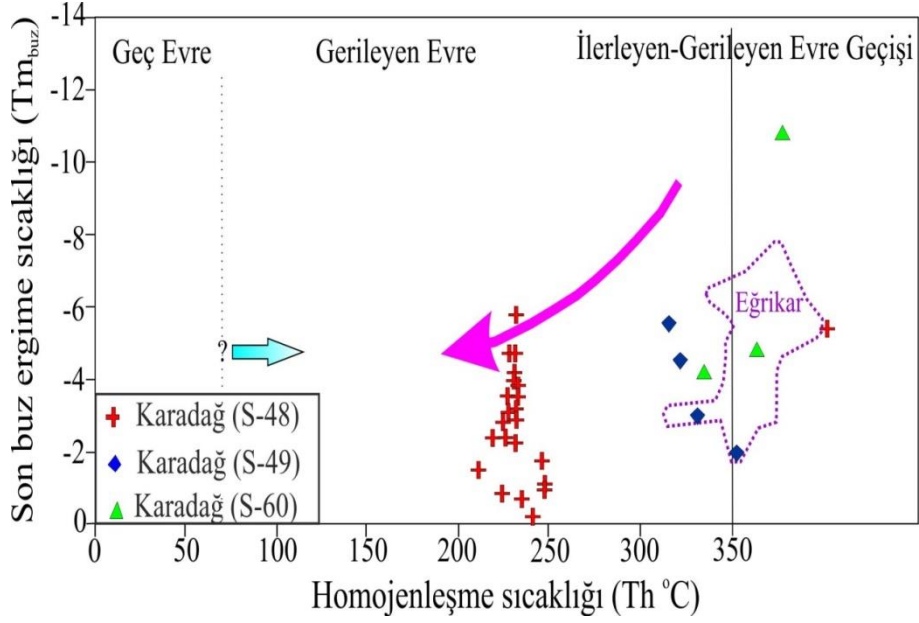
Karadağ Fe-Cu skarndaki kalsit ve kuvarslardan elde edilen Tip-I sıvı kapanımların homojenleşme sıcaklığı ile % NaCl eş değeri tuzluluk değerleri diğer skarn çeşitleriyle karşılaştırıldığında, skarnlaşma kritik eğrinin altında ($175\text{-}405^{\circ}\text{C}$ ve % 0.7-14.8 NaCl eşdeğeri tuzluluk) skarn ve epitermal alanına düşmektedir. Bazı değerlerin epitermal ve

skarn alanından uzak yerlere düşmesi ekzoskarn zonunun son evresinde olduğu ya da yüzeysel sıvıların etkisi olduğu düşünülmektedir (Şekil 4.4).



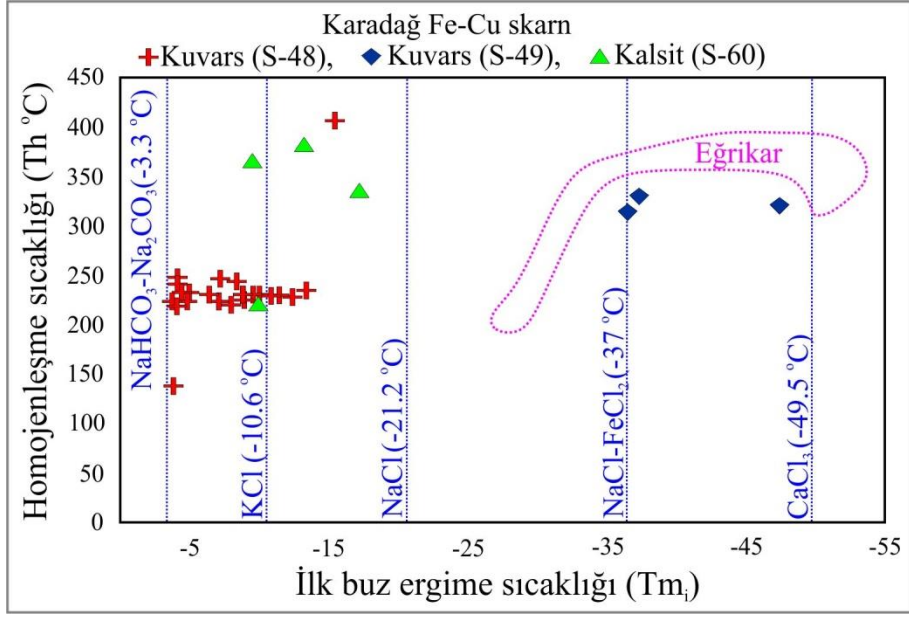
Şekil 4.4. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesi kuvarslardaki tuzluluk (% NaCl) ve Homojenleşme sıcaklıklarının (°C) çeşitli yatak tiplerinde görülen karakteristik tuzluluk (% NaCl) ve sıcaklık (°C) değerleri (Wilkinson, 2001) ile karşılaştırılması (Eğrikar verileri Sipahi ve diğ. (2017)'den alınmıştır).

Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinden alınan kuvars ve kalsit minerallerinde belirlenen Tip-I (S+G) kapanımların homojenleşme sıcaklığı (Th) ile son buz ergime sıcaklık (Th) değerleri arasındaki ilişki değerlendirildiğinde ekzoskarn minerallerini oluşturan sıvının ilerleyen-gerileyen evre geçişi ile gerileyen evre alanına düştükleri görülmektedir (Şekil 4.5).



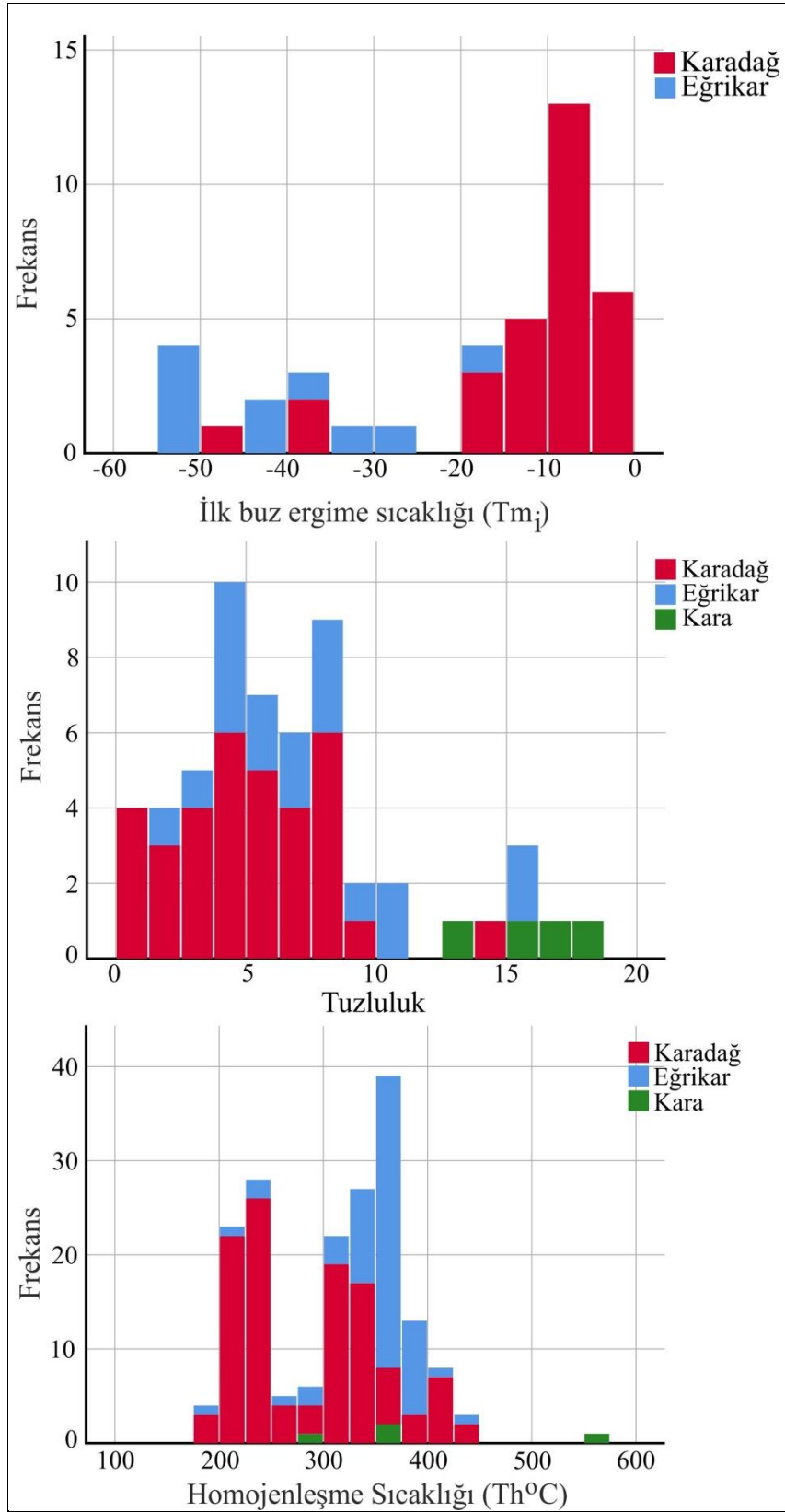
Şekil 4.5. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinin ekzoskarn minerallerindeki homojenleşme (T_h °C) ve son buz ergime ($T_{m_{buz}}$) sıcaklıklarının dağılımı (Akıska ve Demirela (2014)'den değiştirilerek; Eğrikar verileri Sipahi ve diğ. (2017)'den alınmıştır)

Kuars ve kalsit minerallerinden elde edilen ilk buz ergime değerleri sırasıyla -3.8/-15.42; -36.5/-47.4 ve -9.5/-17.2 arasında olup (Shephard ve diğ., 1985) sistemde $\text{NaHCO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \pm \text{NaCl} - \text{FeCl}_2 \pm \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$ bileşimli sıvıların olduğu düşünülmektedir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmelerinin ekzoskarn minerallerindeki İlk buz ergime (T_{m_i}) ve homojenleşme ($Th^{\circ}C$) sıcaklıklarının dağılımı (Shephard ve diğ. (1985)'den değiştirilerek; Eğrikar verileri Sipahi ve diğ. (2017)'den alınmıştır)

Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesi ilk buz ergime (T_{m_i}) değerleri kuvars mineralinde -3.9 ile -47.4, kalsit mineralinde -9.5 ile -17.2 aralıklarında değişmektedir. Kuvars ve kalsit minerallerine ait ilk buz ergime (T_{m_i}) değerleri 0 ile -20 arasında yoğunlaşırken, iki örneğin -35 ile -40 arasında ve bir örneğin ise -45 ile -50 arasında değiştiği dikkati çekmektedir. Eğrikar Fe-Cu skarn cevherleşmesinin ilk buz ergime (T_{m_i}) değerleri hedenberjit mineralinde -34.2 ile -50.9, kuvars mineralinde ise -19.10 ile -42.10 aralıklarında değişmektedir. Kuvars minerali -15 ile -30 arasında dar bir alanda değişim gösterirken hedenberjit -30 ile -55 arasında olup geniş bir alanda değişim göstermektedir. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinin ilk buz ergime (T_{m_i}) değerleri genelde dar bir alanda ve düşük aralıklarda gerçekleşirken Eğrikar Fe-Cu skarn cevherleşmesinin ilk buz ergime (T_{m_i}) değerleri geniş bir alanda ve yüksek aralıklarda gerçekleşmiştir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Karadağ Fe-Cu skarn yatağı, Eğrikar Fe-Cu skarn yatağı ve Kara Fe skarn yatağının; İlk buz ergime (Tm_i), tuzluluk ve homojenleşme sıcaklık (Th^{°C}) değerleri

Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinin tuzluluk değerleri kuvars mineralinde 0 ile 10, kalsit mineralinde ise 0 ile 15 arasında değişim göstermektedir. Eğrikar Fe-Cu skarn cevherleşmesinin tuzluluk verileri hedenberjit 0 ile 16.25 arasında iken kuvars minerali 0 ile 11.25 arasındadır. Kara (Tazmanya) Fe skarn cevherleşmesinin tuzluluk değerleri ise 12.5 ile 17.5 arasında değişim göstermektedir. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinde tuzluluk değerleri düşük iken Eğrikar Fe-Cu skarn cevherleşmesi nispeten daha yüksek, Kara (Tazmanya) Fe skarn cevherleşmesinin tuzluluk değerleri ise yüksek aralıklarda değişim göstermektedir (Şekil 4.7).

Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinin homojenleşme sıcaklığı kuvars mineralinde 175-430°C arasında, kalsit mineralinde 186-430°C değişiklik göstermektedir. Eğrikar Fe-Cu skarn cevherleşmesinde homojenleşme sıcaklığı hedenberjit mineralinde 240.9-400°C, kuvars mineralinde 199-395.2°C ve epidot mineralinde ise 365-376°C arasındadır. Kara (Tazmanya) Fe skarn cevherleşmesinin ise 295.2-571°C arasındadır. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesi Eğrikar Fe-Cu skarn cevherleşmesi ile benzer sıcaklık aralıklarında geliştiği, Kara (Tazmanya) Fe skarn cevherleşmesi ise daha yüksek sıcaklık aralıklarında oluşum göstermektedir (Şekil 4.7).

Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinin skarn mineralojisi ile Türkiye’de Özdil (Trabzon) Fe-Cu skarn (Aslan, 1991; Sadıklar, 1993), Karamadazı (Kayseri) Fe skarn (Kuşcu ve diğ., 2002), Çambaşı (Ordu) Fe-Cu skarn (Saraç, 2003), Susurluk (Balıkesir) Fe skarn (Orhan, 2008), Ayazmant (Balıkesir) Fe-Cu skarn (Oyman, 2010), Arnastal (Gümüşhane) Fe skarn (Sipahi, 2011), Sivrikaya (Rize) Fe skarn (Demir ve diğ., 2017), Eğrikar (Gümüşhane) Fe-Cu skarn (Yılmaz, 2016; Sipahi ve diğ., 2017), Kopuz (Gümüşhane) Fe skarn (Sipahi ve diğ., 2018) ve dünyada Kara (Tazmanya) Fe skarn (Zaw ve Singoyi 2000), Pena Colarado (Meksika) Fe skarn (Zürcher ve diğ., 2001), Edong (Çin) Cu-Fe ve Fe skarn (Xie ve diğ., 2015) yatakları skarn mineralojisi bakımından birçok yönden benzer özellik göstermektedir (Tablo 4.1).

Fe ve Fe-Cu skarn yataklarının yan kayaçları genelde aynı olup kireçtaşıdan meydana gelmektedir. Örneğin Türkiye’de Çambaşı (Ordu) Fe-Cu skarn cevherleşmesinin yan kayacı kireçtaşı ve trakiandezit, Sivrikaya (Rize) Fe skarn yatağının dolomitik ve Eğrikar (Gümüşhane) Fe-Cu ve Kopuz (Gümüşhane) Fe skarn cevherleşmelerinin, yan kayaçları kireçtaşlarından oluşmaktadır. Dünyada Kara (Tazmanya) Fe-skarn yatağının yan kayacı kireçtaşı ve kumtaşı, Pena Colarado (Meksika) Fe skarn yatağınınki volkano sedimanter, Edong (Çin) Cu-Fe ve Fe skarn yatağınınki dolomitten oluşmaktadır (Tablo

4.1). Karadağ (Gümüşhane) Fe-Cu skarn cevherleşmesinin yan kayacı ise kireçtaşından oluşmaktadır (Tablo 4.1). Fe ve Fe-Cu skarn yataklarının oluşmasına sebep olan sokulum kayaları ise genelde granit ve monzonit bileşimli kayalardan oluşurken sadece Pena Colorado (Meksika) Fe skarn ve Edong (Çin) Cu-Fe ve Fe skarn yataklarının sokulum kayacı diyoritten oluşmaktadır. Karadağ (Gümüşhane) Fe-Cu skarn cevherleşmesinin oluşmasına sebep olan sokulum kayacı ise kuvars porfir ve diyorittir (Tablo 4. 1). Fe ve Fe-Cu skarn yataklarının oluşmasına sebebiyet veren sokulum kayalarının yaşlarında da değişiklik söz konusudur. Karadağ (Gümüşhane) Fe-Cu skarn, Eğrikar (Gümüşhane) Fe-Cu skarn Eosen yaşlı iken Karamadazı (Kayseri) Fe skarn, Kara (Tazmanya) Fe-Cu skarn, Edong (Çin) Cu-Fe ve Fe skarn yataklarının ise Tersiyer yaşlı, diğer Fe ve Fe-Cu skarn yatakları ise Kretase yaşlıdır. Tablo 4.1’de karşılaştırması yapılan skarn zonlarındaki sıcaklık değeri 200-600 °C arasında değişmekte iken Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesi ekzoskarn zonundan elde ettiğimiz sıcaklık değerlerinin 412-503 °C arasında olduğu görülmüştür. Bu da, ekzoskarn zonunun sıcaklık değerinin diğer yatakların ekzoskarn zonlarıyla benzerlik gösterdiğine dikkat çekmektedir.

Çambaşı ve Ayazmant Fe-Cu skarn, Susurluk Fe skarn yataklarının ve Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinin granat türü grossüler-andradit, Pena Colorada (Meksika) Fe skarn yatağı grossülarit iken, diğerleri ise andradittir. Susurluk Fe skarn, Karamadazı Fe skarn, Kopuz Fe skarn ve Sivrikaya Fe skarn yataklarının piroksen türü diyopsit-hedenberjit iken Eğrikar Fe-Cu skarn yatağının piroksen türü hedenberjittir. Kara (Tazmanya) Fe skarn, Pena Colorada (Meksika) Fe skarn ve Edong (Çin) Cu-Fe ve Fe skarn yataklarında az da olsa hedenberjit tespit edilmiştir. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesi ve diğer Fe skarnların piroksen türü ise diyopsit olarak belirlenmiştir. Özdil Fe skarn ile Çambaşı Fe-Cu skarn yataklarında klinozoyisit-epidot bulunurken, Susurluk Fe skarn, Edong (Çin) Cu-Fe ve Fe skarn yatakları hariç Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesi ve diğer skarn yataklarında epidot minerali bulunmaktadır. Sadece Pena Colorada (Meksika) Fe skarn yatağında Fe’li epidotlar bulunmaktadır (Tablo 4.1).

Özdil Fe skarn yatağı hariç Fe ve Fe-Cu skarn yataklarının hepsi bol miktarda manyetit içermektedir. Çambaşı Fe-Cu skarn yatağı hariç Kopuz Fe skarn, Eğrikar Fe-Cu skarn cevherleşmesi, Arnastal ve Camiboğazı Fe skarn yatağı, Özdil Fe skarn yataklarında bol miktarda hematit bulunurken diğer Fe ve Fe-Cu skarn yataklarında az miktarda hematit bulunmaktadır. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinde ise bol miktarda manyetit bulunmaktadır. Kopuz Fe skarn, Arnastal ve Camiboğazı Fe skarn, Karamadazı Fe skarn,

Kara (Tazmanya) Fe skarn, Pena Colorada (Meksika) Fe skarn yataklarında kalkopirit bulunmazken, Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesi dahil olmak üzere diğer Fe ve Fe-Cu skarn yataklarında az da olsa kalkopirit bulunmaktadır. Sadece Edong (Çin) Cu-Fe skarn yatağında pirit bol miktarda bulunurken, Karadağ (Gümüşhane) Fe-Cu skarn cevherleşmesi dahil olmak üzere diğer Fe ve Fe-Cu skarn yataklarında az oranda bulunmaktadır. Arnastal ve Camiboğazı (Gümüşhane) Fe skarn ve Kara (Tazmanya) Fe skarn yatakları yüksek dereceli oksitlenme görülürken Pena Colorada (Meksika) Fe skarn yatağı ise indirgenmiş orta dereceli oksitli ve diğer Fe ve Fe-Cu skarn yatakları oksitlenmiş şartlar altında oluşmuştur (Tablo 4. 1). Karadağ (Gümüşhane) Fe- Cu skarn cevherleşmesinin skarn minerallerinin diyopsit ve andradit olması cevher minerallerinden manyetit ve hematit bol bulunması, pirit ve kalkopiritin az oranda bulunması yatağın oksitli şartlar altında oluştuğunu işaret etmektedir.

Tablo 4.1. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinin diğer Fe ve Fe-Cu skarn yatakları ile karşılaştırılması.

Skarn Yatağı Adı	Karadağ Fe-Cu (Gümüşhane)	Kopuz (Gümüşhane)	Fe Eğrikar Fe-Cu (Gümüşhane)	Sivrikaya Fe (Rize)	Arnastal Camiboğazı (Gümüşhane)	ve Fe Özdil Fe (Trabzon)	Çambaşı Fe-Cu (Ordu)
Yan kayaç	Kireçtaşı	Kireçtaşı	Kireçtaşı	Dolamitik kireçtaşı	Kireçtaşı	Kireçtaşı	Kireçtaşı-Trakiandezit
İntrüzyon	Kuvars porfir-diyorit	Monzogranit-granodiyorit	Granitoyid	Granitoyid	Monzonit-granit	Granitoyid	Monzonit
İntrüzyon Yaşı	Orta Eosen	Geç Kretase	Orta Eosen	Geç Kretase	Geç Kretase (Kaygusuz ve diğ., 2014)	Jura-Erken Kretase	Geç Kretase
Skarn türü	Ekzoskarn	Ekzoskarn	Ekzoskarn	Ekzoskarn	Ekzoskarn	Ekzoskarn	Ekzoskarn
Sıcaklık	412-503°C (diyopsit-andradit; diyopsit-Gr andradit) 220-430°C (Ku ve Ka sıvı kapanım)	334°-434°C (diyopsit-andradit) 224-350°C(Ku sıvı kapanım)	200-425°C (Hd,Ep ve Ku sıvı kapanım) 245-428°C (Granat-epidot)	166°-462°C	329°-558°C (Vezüvyanit-diyopsit)	400°-600°C	
Granat türü	Andradit-(Ad ₇₂₋₁₀₀ Gr ₀₂₋₂₇) Gr andradit (Ad ₀₉₋₁₀₀ Gr ₀₋₉₃ Sp ₀₋₀₅)	Andradit (Ad ₇₂₋₁₀₀ Gr ₀₀₋₂₃) Gr andradit (Ad ₂₃₋₁₀₀ Gr ₀₀₋₇₇)	Andradit-(Ad ₉₁₋₉₉ Gr ₀₁₋₀₇) Gr Andradit (Ad ₄₄₋₉₅ Gr ₀₅₋₅₄)	Andradit (Ad ₇₉₋₉₉ Gr ₀₀₋₁₈)	Andradit (Ad ₇₂₋₁₀₀ Gr ₀₋₂₈)	Andradit (Ad ₇₃₋₉₉ Gr ₁₋₂₇)	Grossular-Andradit (Ad ₁₋₅₀ Gr ₄₃₋₉₂)
Klinopiroksen türü	Diyopsit	Diyopsitik hedenberjit	Hedenberjit	Diyopsitik hedenberjit (Di ₆₉₋₇₇ Hd ₂₂₋₂₉)	Diyopsit (Di ₉₇₋₉₉ Hd ₁₋₃ Jo ₀)	Diyopsit (Di ₅₅₋₆₄ Hd ₃₀₋₄₁ Jo ₃₋₇)	Diyopsit
Epidot	Epidot	Epidot	Epidot	Epidot	Epidot	Klinozoyisit-epidot	Klinozoyisit-epidot
Manyetit	bol	bol	bol	bol	bol	yok	bol
Hematit	bol	bol	bol	bol	bol	bol	yok
Kalkopirit	az	yok	az	az	yok	az	az
Pirit	az	az	az	az	az	az	az
Oksitleyici/İndirgeyici	Oksitlenmiş	Oksitlenmiş	Oksitlenmiş	Oksitlenmiş	Yüksek derecede oksitlenmiş	Oksitlenmiş	Oksitlenmiş
Kaynaklar	Bu çalışma ve Sipahi ve diğ., (2018)	Sipahi ve diğ., (2018)	Yılmaz (2016) ve Sipahi ve diğ., (2017a; 2017b)	Demir ve diğ., (2017)	Sipahi (2011)	Aslan (1991) ve Sadıklar (1993)	Saraç (2003)

Tablo 4.1 devamı

Skarn Yatağı Adı	Karamadazı (Kayseri)	Fe Susurluk (Balıkesir)	Fe Ayazmant (Balıkesir)	Fe-Cu Kara Fe (Tazmanya)	Pena Colorado (Meksika)	Fe Edong (Çin)	Fe Edong (Çin) Cu-Fe
Yan kayaç	Kireçtaşı	Kireçtaşı	Kireçtaşı	Kireçtaşı-Kumtaşı	Volkano Sedimanter	Dolomit	Dolomit
İntrüzyon	Granit-monzodiyorit	Granitoyid	Granit	Graniti	Diyoriti	Diyorit, Granit ve Monzonit	Diyorit ve Kuvars diyorit
İntrüzyon Yaşı	Paleozoyik-Mezozoyik (Hersiniyen)	Tersiyer (?)	Geç Oligosen	Devoniyen	Geç Kretase-Erken Tersiyer	Erken Kretase	Erken Kretase
Skarn türü	Endo- ve ekzoskarn	Ekzoskarn	Endo- ve ekzoskarn	Ekzoskarn	Endoskarn	Ekzoskarn	Ekzoskarn
Sıcaklık		396.5°-600°C	300°-576°C (Piroksen-Manyetit)	450°-600°C 350°-240°C (Klinoproksen-sıvı kapanım)	Yaklaşık 590°C (Granat-Piroksen)		
Granat türü	Granat	Grossular-Andradit	Grossular-Andradit (Ad ₈₄₋₈₉ -Gr ₇₅₋₇₉)	Andradit (Ad ₇₅₋₁₀₀) (Gr ₀₋₂₅)	Grossularit (Ad ₃ Am ₃₆ Gr ₆₁)	Andradit (Ad ₃₇₋₁₀₀ Gr ₀₋₆₂)	Andradit (Ad ₂₉₋₉₆ Gr ₀₋₆₈)
Klinopiroksen türü	Diyopsit- Hedenberjit	Diyopsit-Hedenberjit	Diyopsit (Di ₆₅₋₇₅)	Diyopsit (Di ₇₅₋₁₀₀ Hd ₀₋₂₅)	Diyopsit (Di ₆₂₋₉₄ Hd ₅₋₃₃ Jo ₁₋₅)	Diyopsit (Di ₆₁₋₁₀₀ Hd ₀₋₃₈)	Diyopsit (Di ₅₄₋₉₈ Hd ₂₋₄₅)
Epidot	Epidot	Yok	Epidot	Epidot	Fe-Epidot	yok	yok
Manyetit	bol	bol	bol	bol	bol	bol	bol
Hematit	az	bol	az	az	az	az	az
Kalkopirit	yok	az	az	yok	yok	az	orta
Pirit	az	az	az	az	az	az	bol
Oksitleyici/İndirgeyici	Oksitlenmiş	Oksitlenmiş	Oksitlenmiş	Yüksek dereceli oksitlenme	İndirgenmiş dereceli oksitlenme	orta Nispeten oksitlenmiş ortamlarda	Nispeten oksitlenmiş ortamlarda
Kaynaklar	Kuşçu (2002)	Orhan (2008)	Oyman (2010)	Zaw ve Singoyi (2000)	Zürcher ve diğ. (2001)	Xie ve diğ. (2015)	Xie ve diğ. (2015)

5. SONUÇLAR

Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinin oluşumunun çalışıldığı bu tezde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Çalışma sahasındaki volkanik kayalar andezit ve bazalt, plütonik kayalar ise kuvarsporfir ve diyorittir. Ayrıca volkanik kayalarda ardalanmalı olarak kireçtaşı bulunmaktadır.

2. Andezitler plajiyoklas, hornblend, amfibol, piroksen ve epidot, bazaltlar plajiyoklas, amfibol ve piroksen; kuvars porfirler kuvars, ortoklas ve plajiyoklas mineralleri ve diyorit ise plajiyoklas, piroksen, hornblend, kuvars ve ortoklas minerallerinden oluşmaktadır.

3. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesi ekzoskarn zonunda oluşmuş olup, skarn mineralleri ise; granat, epidot, manyetit, kalsit ve kuvars minerallerinden ibarettir.

4. Karadağ Fe-Cu skarn cevher minerallerinin dokusu iğnemsî, sferulitik, kravat ve tüy dokusu, mineral parajenezi manyetit, pirit, hematit, kalkopirit ve altından oluşmaktadır. Ayrıca alterasyon ve oksidasyon mineralleri olarak götit, ilmenit, dijenit, malakit ve azurit tespit edilmiştir.

5. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesi ile ilişkili granitoidler yüksek K'lu kalk-alkali ve orta K'lu kalk-alkali karaktere sahiptirler. Kuvars porfirler peralimünyum, diyoritler ise metalimünyum özelliğine sahiptirler. Karadağ granitoidik kayaların iz element karakteristikleri, genel olarak yay granitleri ile benzerlik gösterirken Karadağ Fe-Cu skarn sahasındaki Fe- Cu cevherleşmesi ile ilişkisi olan granitoidlerin yitim sonrası meydana geldiği düşünülmektedir.

6. Karadağ Fe- Cu skarn cevherleşmesinde kuvarslarda ve kalsitte yapılan sıvı kapanım çalışmalarında sıcaklığın ekzoskarn zonu için kuvarslarda 175-405 °C ve tuzluluğun % 0.7-9 NaCl (eşdeğeri tuzluluk) arasında, kalsitte ise 186-430 °C ve tuzluluğun % 0.4-14.8 NaCl (eşdeğeri tuzluluk) arasında oldukları belirlenmiştir. Kuvars ve kalsitten yapılan sıvı kapanımlardan elde edilen homojenleşme sıcaklığı epitermal ve skarn kökeni desteklemektedir.

7. Kuvars ve kalsit minerallerinden elde edilen ilk buz ergime değerleri sistemde $\text{NaHCO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \pm \text{NaCl} - \text{FeCl}_2 \pm \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$ bileşimli sıvıların olduğu belirtilmektedir.

8. Karadağ Fe-Cu skarn cevherleşmesinin skarn ve cevher minerallerinin türü ve yapılan sıvı kapanım çalışmalarından elde edilen sonuçlarda, bu cevherleşmenin oksijenli şartlar altında sığ sokulum sonucu oluşumunu desteklemektedir.

6. KAYNAKLAR

- Akaryalı, E., 2010, Arzular (Gümüşhane KD-Türkiye) Altın Yatağının Jeolojik, Mineralojik, Jeokimyasal ve Kökensel İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Akaryalı, E., 2016. Geochemical, fluid inclusion and isotopic (O, H and S) constraints on the origin of Pb–Zn±Au vein-type mineralizations in the Eastern Pontides Orogenic Belt (NE Turkey). Ore Geology Reviews, 74, 1–14.
- Akaryalı, E. ve Akbulut, K., 2016. Constraints of C-O-S isotope compositions and the origin of the Ünlüpınar volcanic-hosted epithermal Pb-Zn±Au deposit, Gümüşhane, NE Turkey, Journal of Asian Earth Science, 117, 119-134.
- Akaryalı, E. ve Tüysüz, N., 2013. The genesis of the slab window-related Arzular low sulfidation epithermal gold mineralization (Eastern Pontides, NE Turkey). Geoscience Frontiers, 4-4, 409-421.
- Akçay, M., Gündüz, Ö. ve Çoban, H., 1998. A Multi-phase Intrusion around the Gümüşhane Village (Artvin) and Associated Mineralisation Types: A Geologic and Associated Approach, Geosound, 33,1-18.
- Akçay, M. ve Tüysüz, N., 1998. Murgul Cu Madeni Çevresinde Ağır Elementlerin Yanal Dağılımı ve Çevresel Kirlilik Üzerine Etkileri, Geosound, 30, 725-741
- Akçay, M. ve Arar, M., 1999. Geology, Mineralogy and Geochemistry of the Çayeli Massive Sulphide Ore Deposit, Rize, NE Turkey, *Mineral Deposits: Processes to Processing*, Stanley et al. (eds), Balkema, Rotterdam, 459-462.
- Akın, H., 1978. Geologie, magmatismus and Lager-Staettenbidung im Ostpontischen Gebirge-Tukei ausder Sicht der Platten tektonic. Geologische Rundschau 68, 253-283.
- Akıskaya, S. ve Demirela, G., 2014. Handeresi, Bağırkaçdere ve Fırıncıkdere (Kalkın, Yenice - ÇANAKKALE) Pb-Zn±Cu Distal Skarn Yataklarında Akışkanların Kökeni. Yerbilimleri, 35, 3, 199-218.
- Arslan, M., Tüysüz, N., Korkmaz, S. ve Kurt, H., 1997, Geochemistry and petrogenesis of the Eastern Pontide volcanic rocks: Northeast Turkey. Chemie der Erde-Geochemistry, 57, 2-3, 157-187.
- Aslan, Z., 1991, Özdil (Yomra-Trabzon) Yöresinin Petroğrafisi, Skarn Olusukları ve Granit-Piroksen Ritmikleri, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bil. Enst., Trabzon, 74 s.

- Aydınçakır, E., 2014. The Petrogenesis of Early-Eocene non-adakitic volcanism in NE Turkey: Constraints on geodynamic implications. Lithos, 208, 361-377.
- Bektaş, O., 1986. Paleostress Trajectories and Polyphase Rifting in Arc of Eastern Pontides, MTA Bulletin, 103-104, 1-15.
- Barton, M.D., Ilchik, R.P. ve Marikos. M.A., 1991. Metasomatism. Reviews in Mineralogy, 26, 321-350.
- Bodnar, R.J., 1993. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions. Geochimica et Cosmochimica Acta, 57, 683-684.
- Bodnar, R.J., 1999. Hydrothermal solutions. Encyclopedia of geochemistry, Marshall, C.P. ve Fairbridge, R.W. (eds.), Lancaster, Kluwer Academic Publishers, ss. 333-337.
- Boydton, W.V., 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements; meteorite studies. Rare earth element geochemistry, Henderson, P. (ed.), Elsevier Sci. Publ. Co., Amsterdam, ss. 63-114.
- Bosch, L., Giles, D., Gryns, A., Hirayama, K., Kuijpers, E., Lumiaha, K., Nair, M., Talic, S. ve Thoarnout, F., 1974. Merzifon-İspir sahası jeokimyasal anomalilerinin detay etüdü. Birleşmiş Milletler Rap. IV, New York.
- Çağatay, M.N. ve Eastoe, C.J., 1995. A Sulfur Isotope Study of Volcanogenic Massive Sulphide Deposits of the Eastern Black Sea Province, Turkey. Mineralium Deposita, 30, 55-66.
- Çınar, S., Türk, O., Er, M., Güç, A., Musaoğlu, A., Gümüşel, A., Özdemir, M. ve Kurtoglu, T., 1983. Gümüşhane ili ve güneybatı yöresinin 1: 25 000 ölçekli jeolojisi ile maden zuhurlarına ilişkin rapor. MTA Rap., 1982 (yayımlanmamış), Ankara.
- Çiftçi, E., 2011. Sphalerite associated with pyrrhotite-chalcopyrite ore occurring in the Kotana Fe-skarn deposit (Giresun, NE Turkey): exolutions or replacement. Turk. J. Earth Sci., 20, 307-320.
- Çoğulu, E., 1975. Gümüşhane ve Rize Bölgelerinde Petrografik ve Jeokronolojik Araştırmalar, İTÜ Kütüphanesi, İstanbul, 1034.
- Demir, Y., Uysal, I., Kandemir, R. ve Jauss, A., 2017. Geochemistry, fluid inclusion and stable isotope constraints (C and O) of the Sivrikaya Fe-skarn mineralization (Rize, NE TURKEY), Ore Geology Reviews, 91, 153-172.
- Dixon, J.C. ve Pereira, J., 1974. Plate Tectonics and Mineralization in the Tethyan Region, Min. Deposita, 9, 185-198.

- Einaudi, M.T., 1982. Descriptions of skarn associated with porphyry copper plütons, South western North America. *Advances in geology of the porphyry copper deposists, South western North America*, Titley, S.R. (ed.), Tucson, University of Arizona, 185-210.
- Einaudi, M.T. ve Burt, D.M., 1982. A Special Issue Devotedt o Skarn Deposits, Introduction-Terminology, Classification and Composition of Skarn Deposits, *Economic Geology*, 77, 4, 745-754.
- Gedikoğlu, A., Pelin, S. ve Özsayar, T., 1979. Tectonic Evolution of the Eastern Pontide in Mesozoic, *Geocome – I*, Abstracts, s. 68.
- Güner, S., Er, M., Gümüşel, A. ve Boğuşlu, M., 1985. Gümüşhane Eski Gümüşhane yöresindeki cevherleşmelere ait jeoloji raporu: MTA Rap., 230, 525 (yayımlanmamış), Ankara.
- Harris, N.B.W., Pearce, J.A. ve Tindle, A.G., 1986. Geochemical Characteristics of Collision-Zone Magmatism, *Geol. Soc. Lond. Spec. Pub.*, 19, 67-81.
- Irvine, I.C. ve Baragar, W.R.A., 1971. A guide to chemical classification of the common volcanic rocks, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8, 523-548.
- Jankovic, S., 1980. Porphyry copper and massive-sulfide ore deposits in the northeastern Mediteranean. In, Ridge JD (ed) Proch Fifth Quadrenial IAGOD Symposium, Schweizerbart, Stuttgart, 431-444.
- Karşlı, O., 1996, Zigana Granitoyidi'nin (Maçka-Trabzon) mineralojik ve jenetik açıdan incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bil. Enst, Trabzon, 125 s.
- Kaygusuz, A., 2000, Torul ve Çevresinde Yüzeyleyen Kayaçların Petrografik ve Jeokimyasal İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ, Fen. Bil. Enst., Trabzon, 235 s.
- Kaygusuz, A., Siebel, W., Şen, C. ve Satır, M., 2008. Petrochemistry and Petrology of I-type Granitoids in an Arc Setting: The Composite Torul Pluton, Eastern Pontides, NE Turkey. *Int. J. Earth Sci.* 97, 739 –764.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Wolfgang, S., Sipahi, F. ve İlbeyli, N., 2012a. Geochronological Evidence and Tectonic Significance of Carboniferous Magmatism in the Southwest Trabzon Area, Eastern Pontides, Turkey, *International Geology Rew.*, 54, 15, 1776-1800.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., İlbeyli, N., Sipahi, F. ve Aydınçakır, E., 2012b. Doğu Pontid Kuzey Zonunda Yüzeyleyen Paleozoyik Yaşlı granitlerin U-Pb Zirkon Yaşlandırması, Sr-Nd-Pb-O İzotop Sistematiikleri ve Jeodinamik Evrimi, Tübitak Projesi, Proje No: 109Y052.
- Kaygusuz, A., Sipahi, F., İlbeyli, N., Arslan. M., Chen, B. ve Aydınçakır, E., 2013. Petrogenesis of the Late Cretaceous Turnagöl Intrusion in the Eastern Pontides:

Implications for Magma Genesis in the Arc Setting. Geoscience Frontiers, 4, 423-438.

Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel, W., Sipahi, F., İlbeyli, N. ve Temizel, İ., 2014. LA-ICP MS zircon dating and whole-rock Sr-Nd-Pb-O isotope geochemistry of the Camiboğazı pluton, Eastern Pontides, NE Turkey: Petrogenesis and tectonic implications of arc-related I-type magmatism, Lithos, 192-195, 271-290.

Ketin, İ. ve Canitez, N., 1972. Yapısal Jeoloji, İTÜ Kütüphanesi, 520, İstanbul.

Ketin, İ., 1966. Türkiye'nin Tektonik Birlikleri, MTA yay. Ankara No: 66, 20-34.

Kuşcu, İ., Gençlioğlu-Kuşcu, G., Meinert, L.D. ve Floyd, P.A., 2002. The Geochemical characteristics of the Çelebi Granitoid, Kırıkkale-Turkey and comparison with world skarn granitoids. Journal of Geochemical Exploration, 76, 175-194.

Lermi, A., 2003, Midi Pb-Zn Yatağı'nın Jeolojik, Mineralojik, Jeokimyasal ve kökensel İncelemesi (Karamustafa / Gümüşhane), KD-Türkiye, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Ens., Trabzon, 321 s.

Le Maitre, R.W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre, J., Le Bas, M.J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorensen, H., Streckeisen, A., Wooley, A.R. ve Zanettin, B.A., 1989. Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms, Blackwell, Oxford, ss. 93.

Lentz, D.R. ve Suzuki, K., 2000. A low-F, pegmatite-related Moskarn from the South western Grenville Province, Ontario, Canada: phase equilibria and petrogenetic implications, Econ. Geol., 95, 1319-1337

Meinert, L.D., 1985. Compositional variation of igneous rocks associated with skarn deposits-chemical evidence for a genetic connection between petrogenesis and mineralization, Mineralogical Association of Canada Short Course Series, 23, 401-418.

Meinert, L.D., 1992. Skarn and skarn deposits, Geoscience Canada, 19, 145-162.

Meinert, L. D., 1995. Compositional variation of igneous rock associated with skarn deposits-chemical evidence for a genetic connection between petrogenesis and mineralization, Mineralogical Association of Canada Short Course Series, 23, 401-418.

Meinert, L.D., 1997. Application of Skarn Deposit Zonation Models to Mineral Exploration, Explor. Mining Geol., 6, 2, 185-208.

Meinert, L. D., Diple, G. M. ve Nicolescu, S., 2005. World Skarn Deposits, Society of Economic Geologist Inc., Economic Geology 100th Anniversary Volume, 299-336.

- Middlemost, E.A.K., 1994. Naming Materials in the Magma/Igneous Rock System, Earth Sci. Rev., 37, 215-224.
- Murakami, H., 2005. How to Study Skarn Type Deposits, A short term expert seminar, submitted to: Remote Sensing Center. MTA.
- Orhan, A., 2008, Susurluk Skarn Yataklarının Mineralojik ve Jeokimyasal Özellikleri (Balıkesir-Batı Anadolu), Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 258 s.
- Orhan, A., Mutlu, H. ve Hanılçı, N., 2010, Susurluk (Balıkesir) “Oksidasyon Tip” W-Skarnının Mikrotermometrik Özellikleri. MTA Dergisi, 141, 55-71.
- Oyman, T., 2010. Geochemistry, Mineralogy and Genesis of the Ayazmant Fe–Cu Skarn Deposit in Ayvalık, (Balıkesir), Turkey. Ore Geology Reviews, 37, 175–201.
- Özdoğan, K., 1992. Karadağ (Torul-Gümüşhane) ve Yakın Çevresinin Jeolojisi-Mineralojisi-Petrografisi ve Maden Zuhurlarının Jenetik İncelenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 172 s.
- Özsayar, T., Pelin, S. ve Gedikoğlu, A., 1981, Doğu Pontidler’de Kretase, KTÜ Yer Bilimleri Dergisi, 1, 65-114.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W. ve Tindle, A.G., 1984. Trace Element Discrimination Diagram for the Tectonic Interpretation of Granitic Rocks, J. Petrol., 25, 956–983.
- Pejatoğlu, S., 1971, Doğu Karadeniz-Küçük Kafkasya Bölgesindeki Metalojenik Zonlar ve Bunların Metalojenik Özellikleri. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 77, 10-21.
- Pejatoğlu, S., 1979. Metallogeny of the Pontid – Type Massive Sulfide Deposits, Spec. Publ. No: 177, MTA Yayını, Ankara, 98 s.
- Roedder, E., 1984. Fluid inclusions. Reviews in Mineralogy, 12, 12- 45.
- Sadıklar, M.B., 1993. Granat-pyroxene-rhytmite bei Özdil-Trabzon, NE-Türkei. Chemie de Erde, 53, 341–353.
- Sadıklar, M.B., Sipahi, F., Bernhardt, H.J. ve Uysal, İ., 2007. The formation of the Fe skarn deposit between Camiboğazı and Arnastal (Gümüşhane, NE Turkey): Evidence from mineral chemistry. 17 th Goldschmidt Conference, Geochimica et Cosmochim Acta, 71, 19, 1, August, s. AS65 (SCI).
- Saraç, S., 2003. Doğu Karadeniz Bölgesi Demirli Skarn yataklarının Karşılaştırmalı Mineralojik ve Jeokimyasal Özellikleri, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Ens., Trabzon, 269 s.

- Schultze-Westrum, H.H., 1961. Giresun Civarındaki Aksu Deresinin Jeolojik Profili, MTA Enstitüsü Yayını, 57, 63-71.
- Shepherd, T.J., Rankin, A.H. ve Alderton, D.H.M., 1985. A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies. Blackie, Glasgow, 239 s.
- Shand, S.J., 1947. The Eruptive Rocks, 3rd edn., New York, John Wiley, 444 s.
- Streckeisen, A., 1976. To Each Plutonic Rock its Proper Name, Earth Science Review, 12, 1-33.
- Singoyi, B. ve Zaw, K., 2001, A petrological and fluid inclusion study of magnetite scheelite skarn mineralization at Kara, Northwestern Tasmania, Implications for ore genesis, Chemical Geology, 173, 239-253.
- Sipahi, F., 1996, Camiboğazı ve Sarıtaş Yaylaları Arasındaki Bölgenin Petrografi ve Maden Yatakları Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 81 s.
- Sipahi, F., 2005, Zigana Dağı (Torul-Gümüşhane) Volkanitlerindeki Hidrotermal Ayrışmaların Mineraloji ve Jeokimyası, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 250 s.
- Sipahi, F., 2011. Formation of Skarns at Gümüşhane (Northeastern Turkey). Neues Jahrbuch für Mineralogy-Abhandlungen, 188, 2, 169-190.
- Sipahi, F. ve Sadıklar, M.B., 2010. Zigana (Gümüşhane, KD-Türkiye) Volkanitlerinin Alterasyon Mineralojisi ve Kütle Değişimi, Türkiye Jeoloji Bülteni, 53, 97-128.
- Sipahi, F. ve Sadıklar, M.B., 2014. Geochemistry of Dacitic Volcanics in the Eastern Pontide (NE Turkey). Geochemistry International, 52, 4, 296-315.
- Sipahi, F., Sadıklar, M.B. ve Şen, C., 2014. The Geochemical and Sr-Nd isotopic Characteristics of Murgul (Artvin) Volcanics in the Eastern Black Sea Region (NE Turkey). Chemie der Erde, 74, 331-342.
- Sipahi, F., Akpınar, İ., Eker, Ç.S., Kaygusuz, A., Vural, A. ve Yılmaz, M., 2017. Formation of the Eğrikar Gümüşhane Fe-Cu skarn type mineralization in NE Turkey U Pb zircon age lithogeochemistry mineral chemistry fluid inclusion and O H C S isotopic compositions, Journal of Geochemical Exploration, 182, part A, 32-52.
- Sipahi, F., 2017. Kalınçam Tonya Trabzon KD Türkiye Yöresi Geç Kretase Yaşlı Volkanitlerin Jeokimyası ve Petrojenezi, Güfbed/Gustij, 7, 2, 102-127.
- Sipahi, F., Kaygusuz, A., Eker, Ç.S., Vural, A. ve Akpınar, İ., 2018. Late Cretaceous arc igneous activity the Eğrikar Monzogranite example, International Geology Review, 60, 3, 382-400.

- Streckeisen, A., 1976. To Each Plutonic Rock its Proper Name, Earth Science Review, 12, 1-33.
- Sun, S.S. ve McDonough, W.F., 1989. Chemical and Isotope Systematics of Oceanic Basalts; Implication for Mantle Compositions and Processes. Magmatism in the Ocean Basins, Saunders A.D., Nory M.J. (eds), Geol. Soc. London. Spec. Pub., 42, 313-345.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan Evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach, Tectonophysics, 75, 181-241.
- Türk-Japon Ekibi, 1985. The Republic of Turkey Report on The Cooperative Mineral Exploration of Gümüşhane Area, Phase 1, 72 s.
- Tüysüz, N., Özdoğan, K., Er, M., Yılmaz, Z. ve Ağan, A., 1994, Pontit Adayayında Carlin Tipi Kaletaş (Gümüşhane) Altın Altın Zuhuru, Türkiye Jeoloji Bülteni, 37, 41-46.
- Tüysüz, N., 1995. Lahanos (Espiye-Giresun) Masif Sülfid Yatağına Ait Cevher Mineralleri ve Dokularının Cevher Oluşumu Açısından İncelenmesi, Yerbilimleri, 26, 79-92.
- Tüysüz, N. ve Akçay, M., 2000. Doğu Karadeniz Bölgesindeki Altın Yataklarının Karşılaştırılmalı İncelenmesi, Cumhuriyetin 75. yılı Yer Bilimleri ve Madencilik Kongresi, Bildiriler Kitabı, 625-645.
- Tüysüz, N., 2000. Geology, Lithogeochemistry and Genesis of the Murgul Massive Sulfide Deposit, NE-Turkey. Chemie der Erde, 60, 231-250.
- Van den Kerkhof, A.M. ve Hein, U.F., 2001. Fluid inclusion petrography, Lithos, 55, 27-47.
- Wilkinson, J.J., 2001. Fluid Inclusions in Hydrothermal ore Deposits, Lithos, 55, 229-272.
- Xie, G., Mao, J., Zhu, Q., Yao, L., Li, Y., Li, W. ve Zhao, H., 2015. Geochemical constraints on Cu-Fe and Fe skarn deposits in the Edong district, Middle-Lower Yangtze River metallogenic belt, China. Ore Geology Reviews, 64, 425-444.
- Yılmaz, M., 2016. Eğrikar (Torul, Gümüşhane) Fe-Cu Skarn Cevherleşmesinin Petrografik ve Jeokimyasal Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane, 99 s.
- Zaw, K. ve Singoyi B., 2000. Formation of magnetite-scheelite skarn mineralization at Kara, Northwestern Tasmania: evidence from mineral chemistry and stable isotopes. Economic Geology, 95, 1215-1230.

Zürcher, L., Ruiz, J. ve Barton, M.D., 2001, Paragenesis, elemental distribution and stableisotopes at the Peña Colorada iron skarn, Colima, México. Economic Geology, 96, 535-557.

ÖZGEÇMİŞ

Tanju AYDURMUŞ, 18.04.1988 yılında Gümüşhane’de doğdu. İlkokulu Dibekli Köyü İlkokulu’nda, orta öğrenimini Gümüşhane Dumlupınar İlköğretim Okulu’nda tamamlayan Aydurmuş, 2005 yılında Gümüşhane Lisesi eşit ağırlık bölümünden mezun oldu. 2009 yılında girdiği ÖSS sınavı sonucu Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Maden Teknolojisi Programını kazanıp, 2011 yılında mezun oldu. 2012 yılında girdiği DGS sınavı sonucu ile Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nü kazandı. 2015 yılında bahar döneminde mezun olup, 2015 güz döneminde Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans programına başladı. Aydurmuş Koza Holding Gümüşhane Mastra Altın Madeni’nde Maden Jeoloğu olarak çalışmaktadır.