T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GÖKSEL (HAYRAT-TRABZON) Cu-Fe SKARN CEVHERLEŞMESİNİN MİNERALOJİK, PETROGRAFİK VE JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS

İhsan GÖKALP

ŞUBAT-2023
GÜMÜŞHANE

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GÖKSEL (HAYRAT-TRABZON) Cu-Fe SKARN CEVHERLEŞMESİNİN MİNERALOJİK, PETROGRAFİK VE JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF THE MINERALOGICAL, PETROGRAPHICAL AND GEOCHEMICAL PROPERTIES OF THE GÖKSEL (HAYRAT-TRABZON) Cu-Fe SKARN MINERALIZATION

YÜKSEK LİSANS

İhsan GÖKALP

ŞUBAT-2023
GÜMÜŞHANE

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GÖKSEL (HAYRAT-TRABZON) Cu-Fe SKARN CEVHERLEMESİNİN MİNERALOJİK, PETROGRAFİK VE JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF THE MINERALOGICAL, PETROGRAPHICAL AND GEOCHEMICAL PROPERTIES OF THE GÖKSEL (HAYRAT-TRABZON) Cu-Fe SKARN MINERALIZATION

YÜKSEK LİSANS

İhsan GÖKALP

Danışman: Prof. Dr. Ferkan SİPAHİ

ŞUBAT-2023
GÜMÜŞHANE

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum "**Göksel (Hayrat-Trabzon) Cu-Fe Skarn Cevherleşmesinin Mineralojik, Petrografik ve Jeokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi**" isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakçada belirtiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi'nin lisanslı kullanıcısı olduğu intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlediği kıstaslara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

01/02/2023

…….

İhsan GÖKALP

TEŞEKKÜR

"Göksel (Hayrat-Trabzon) Cu-Fe Skarn Cevherleşmesinin Mineralojik, Petrografik ve Jeokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi" adlı bu çalışma Gümüşhane Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışmanın her aşamasında tecrübesini ve yardımlarını benden esirgemeyen çok saygıdeğer değerli danışman hocam Prof. Dr. Ferkan SİPAHİ'ye ve yüksek lisans döneminde değerli bilgilerinden faydalandığım Doç. Dr. Mehmet Ali GÜCER hocama saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü Maden Etüt ve Arama Dairesi tarafından yürütülen "Doğu Karadeniz Yay Magmatitleri ile İlişkili Polimetal Maden Aramaları Projesi (Proje No: 2017-2021-32-13-13)" projesi kapsamında desteklenmiştir. Görev yapmış olduğum MTA Genel Müdürlüğü projesi kapsamında ilgili arazi, ofis ve laboratuvar çalışmalarında sağlamış olduğu imkanlardan dolayı MTA Genel Müdürlüğü'ne, aynı zamanda Göksel alterasyon sahasında yüksek lisans yapmama izin veren, çalışmaların yapıldığı dönemde proje başkanı olan ve tez çalışmalarımın arazi ile büro çalışmaları esnasında tüm bilgi ve birikimini benden esirgemeyen MTA Doğu Akdeniz Bölge Müdürü Jeoloji Yük. Müh. Ümit AYDIN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Aynı projede görev yapan ekip arkadaşlarım ve değerli meslektaşlarım Jeo. Müh. Cevdet İrfan EROĞLU, Jeo. Müh. Ahmet AĞAN, Dr. Jeo. Yük. Müh. Serdar KESKİN, Jeo. Müh. Tuna ÖNER, Jeo. Yük. Müh. D. Muhsin UZUNÖZ, Jeo. Müh. Hakan KILIÇASLAN, Jeo. Müh. Mustafa ATAMAN, Jeo. Müh. Ünal ÖZTÜRK, Jeo. Müh. Tuğrul KOÇAL'a saygı ve teşekkürlerimi sunarım. İnce kesitlerimin incelenmesinde vermiş olduğu katkılarından dolayı Dr. Jeo. Yük. Müh. Ezgi ULUSOY'a (MTA), Sıvı kapanım çalışmalarında çok değerli bilgilerinden faydalandığım Dr. Ebru KAVUKÇU'ya (MTA), kayaç jeokimyası çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Dr. Semiha İLHAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Tüm hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ve başarılarımda önemli katkıları bulunan değerli aileme çok teşekkür ederim.

İhsan GÖKALP

GÜMÜŞHANE – 2023

ÖZET

Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesi Trabzon ili, Hayrat ilçesi, Göksel Mahallesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Göksel skarn cevherleşmesinin yer aldığı sahada alttan üste doğru Hamurkesen Formasyonu (Liyas), Berdiga Formasyonu (Üst Jura-Alt Kretase), Çatak Formasyonu (Geç Kretase), Kaçkar Granitoyidi (Geç Kretase-Eosen (?)) yer almaktadır. Kaçkar Granitoyidi tüm bu birimleri kesmekte olup Berdiga Formasyonu'na ait kireçtaşı dokanaklarında kontakt metamorfizmaya bağlı olarak skarn cevherleşmesinin gerçekleşmesine sebep olmuştur. Çalışma alanının en genç birimleri ise tüm birimleri kesen Kretase-Eosen (?) yaşlı dayklardır.

Skarn tip cevherleşmenin endoskarn zonunda piroksen, granat, manyetit ve epidot az miktarda iken, ekzoskarn zonunda ise bu mineral fazladır. Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesinin mineral parajenezi manyetit, pirit, pirotin, sfalerit, kalkopirit, galenit, hematit, arsenopirit, mangan, molibdenit, sfen, rutil, ilmenit, makinevit (vallerite), wolframit, gümüş ve tellürden oluşmaktadır.

Göksel Cu-Fe skarn sahasındaki granitoyidler kalk-alkali bileşiminde ve metalimünyum karaktere sahip olup, genel olarak volkanik yay granitoyidler ve geç çarpışma sonrası granitoyidler ile benzerlik göstermekte ve yitim sonrası meydana geldiği düşünülmektedir.

Çalışma alanındaki granatların SEM-EDS analizi sonucuna göre andradit ve grossular andradit bileşiminde oldukları, piroksenlerin hedenberjit, diyopsit ve hedenberjitik diyopsit olduğu tespit edilmiştir. Çalışma alanındaki skarn minerallerinin bileşiminin Cu ve Fe yataklanma sınıfına uyduğu belirlenmiştir.

Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesinin ekzoskarn zonundaki granat ile epidot minerallerine uygulanan sıvı kapanım çalışmaları, granat kristallerdeki birincil kökenli iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlardan homojenleşme sıcaklıkları 340-434 ^{o}C ve tuzluluğunun %7,9-11.5 NaCl (eşdeğer tuzluluk) arasında, epidot mineralinden elde edilen homojenleşme sıcaklıklarının ise 287-312 ^{o}C arasında oldukları tespit edilmiştir. Skarn oluşumuna sebebiyet veren sıvıların NaCl-$CaCl_2$ bileşimli sıvıların varlığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Andradit, Hedenberjit, Kalkopirit, Manyetit, Trabzon

SUMMARY

Göksel Cu-Fe skarn mineralization is located in the Göksel district from the Hayrat county of the Trabzon city. Hamurkesen (Liassic), Berdiga (Upper Jurassic-Lower Cretaceous), Çatak (Late Cretaceous) formations and Kaçkar Granitoid (Late Cretaceous-Eocene (?)) find from basement to upper. The Kaçkar Granitoid cuts all these units and skarn mineralization has occurred at the limestone contacts of the Berdiga. The youngest unit in the studied area is Cretaceous-Eocene (?) dykes.

While pyroxene, garnet, epidote and magnetite were less abundant in the endoskarn zone, these minerals were more abundant in the exoskarn zone. Mineral paragenesis of the skarn mineralization form magnetite, pyrite, pyrrhotite, sphalerite, chalcopyrite, galenite, hematite, arsenopyrite, manganese, molybdenite, sphene, rutile, ilmenite, mechanite (vallerite,), wolframite, silver and tellurite.

Granitoids associated with the skarn mineralization are found to be in calc-alkaline and metaluminium character and are generally similar to volcanic arc granitoids it is thought to be post-collisional granitoids.

The garnets in the study area were in the composition of andradite and grossular andradite, and the pyroxenes were hedenbergite, diopside and hedenbergitic diopside. The compositions of these minerals matched the Cu and Fe deposits classes.

According to the fluid inclusion studies in the primary origin and two-phases (liquid+gas) inclusions of garnet and epidote from the exoskarn zone, the homogenization temperature and salinity of the garnet are from 340 to 434 ^{o}C and 7.9 to 11.5 % NaCl (equivalent salinity), respectively and homogenization temperature of the epidote is from 287 to 312 ^{o}C. Skarn-forming fluids are thought to originate from NaCl-$CaCl_2$ composition fluids.

Keywords: Andradite, Hedenbergite, Chalcopyrite, Magnetite, Trabzon

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI IV
TEŞEKKÜR V
ÖZET VI
SUMMARY VII
İÇİNDEKİLER VIII
TABLOLAR DİZİNİ X
ŞEKİLLER DİZİNİ XI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ XVI
1. GENEL BİLGİLER 1
1.1. Giriş 1
1.2. Coğrafik Bilgiler 2
1.2.1. Coğrafi Konum 2
1.2.2. Topoğrafya 3
1.2.3. İklim ve Bitki Örtüsü 4
1.3. Çalışmanın Amacı 5
1.4. Bölgesel Jeoloji 5
1.5. Önceki Çalışmalar 7
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR 11
2.1. Amaç ve Yöntemler 11
2.1.1. Arazi Çalışmaları 11
2.1.2. Laboratuvar Çalışmaları 12
2.1.2.1. İnce Kesit ve Parlak Kesitlerin Hazırlanması ve İncelenmesi 12
2.1.2.2. Kimyasal Analiz İçin Örnek Hazırlanması 13
2.1.2.3. Sıvı Kapanım Analizleri 13
2.1.2.4. Taramalı Elektron Mikroskobisi Çalışmaları (SEM) 14
2.1.3. Büro Çalışmaları 15
3. BULGULAR 16
3.1. Stratigrafi ve Petrografi 16
3.1.1. Hamurkesen Formasyonu 23
3.1.2. Berdiga Formasyonu 27
3.1.2. Çatak Formasyonu 29
3.1.3. Kaçkar Granotoyidi 33

3.1.4. Dayklar 43
3.2. Kayaç Jeokimyası 46
3.2.1. Kireçtaşı ve Mermerin Jeokimyası 46
3.2.2. Kaçkar Granotoyidi'nin Jeokimyası 47
3.3. Göksel Skarn Yatağı 56
3.3.1. Skarn Mineralojisi 62
3.3.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Mineral Kimyası 72
3.3.3. Cevher Parajenez ve Süksesyonu 77
3.3.4. Skarn Jeokimyası 87
3.3.5. Cevher Jeokimyası 88
3.4. Sıvı Kapanım 95
3.4.1. Homojenleşme sıcaklığı ve tuzluluk değerleri 99
4. TARTIŞMA 102
4.1. Sıvı Kapanım 104
4.2. Sondaj Verilerinin Değerlendirilmesi 107
5. SONUÇLAR 110
KAYNAKÇA 112
ÖZGEÇMİŞ 117

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1. Sıvı kapanım jeotermometresinde kullanılan doğruluk ölçümleri 14
Tablo 2. Petrografi tanımlaması yapılan örneklere ait bilgiler 20
Tablo 3. Petrografi ve jeokimyasal analizi yapılan örneklere ait bilgiler 21
Tablo 4. Skarn jeokimyası için alınan örneklere ait bilgiler 21
Tablo 5. Sıvı kapanım için alınan örneklere ait bilgiler 22
Tablo 6. XRD örneklerine ait bilgiler 22
Tablo 7. SEM örneklerine ait bilgiler 22
Tablo 8. Cevher parlatma çalışmalarında kullanılan örneklere ait bilgiler 22
Tablo 9. Cevher jeokimyasında kullanılan örneklere ait bilgiler 23
Tablo 10. Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesi kireçtaşı ve mermerlerin ana (%) ve iz element (ppm) analiz sonuçları 46
Tablo 11. Kaçkar Granitoyidi'ne ait kayaçların ana (%), iz element (ppm) ve nadir toprak (ppm) element analizleri 49
Tablo 12. Göksel Cu-Fe sahasında yapılan sondajlara ait özet bilgiler 59
Tablo 13. Skarn zonlarından alınan başlıca skarn örnekleri 68
Tablo 14. Sondaj ve arazi örneklerine ait XRD sonuçları 71
Tablo 15. Granat minerallerinin SEM analiz sonuçları. 75
Tablo 16. Piroksen minerallerin SEM analiz sonuçları 76
Tablo 17. Göksel sahası sondaj ve yüzeyden alınan örneklere ait cevher parlatma kesit sonuçları 77
Tablo 18. Cevher jeokimyası analiz sonuçları 90
Tablo 19. Sıvı kapanım analizi yapılan numunelerine ait bilgiler 95
Tablo 20. Granat ve epidot mineraline ait sıvı kapanımların homojenleşme sıcaklıkları 100
Tablo 21. Sıvı kapanım tuzluluk değerleri 101
Tablo 22. Göksel sahası önemli bakır (Cu) ve çinko (Zn) seviye ve tenörleri 107
Tablo 23. Göksel sahası analiz sonuçlarına göre önemli demir oksit cevherine ait cevher kalınlıkları ve tenörü. 108

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Göksel sahasının yer bulduru haritası 2
Şekil 2. Çalışma alanına ait genel görünüm. (GD'den KB'ye bakış) 3
Şekil 3. Çalışma alanının topografik haritası 4
Şekil 4. Bölgesel jeoloji haritası (Güven, 1993' ten sadeleştirilmiştir). 6
Şekil 5. MTA laboratuvarlarında SEM analiz çalışmalarında kullanılan cihaz 15
Şekil 6. Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesi ve çevresinin ölçeksiz stratigrafik dikme kesiti 17
Şekil 7. Göksel Cu-Fe skarn cevherleşme sahasının jeoloji ve numune dağılım haritası 18
Şekil 8. İnceleme alanından alınan enine jeolojik kesitler 19
Şekil 9. Hamurkesen Formasyonundan bir görünüm (x:4508403, y:623766 doğudan batıya bakış) 23
Şekil 10. Hamurkesen Formasyonuna ait andezit mikroskobik görünüm (a) 2015-THG-P105 nolu örnek çift nikol, (b) 2015-THG-P105 nolu örnek tek nikol (Pl: Plajiyoklas, Amf: amfibol, Byt: biyotit) 25
Şekil 11. Berdiga Formasyonu'na ait tabakalı kireçtaşları ve formasyon sınırından görünüm ((a) x:4508551, y:623655, (b) x: 4508400, y: 623766) 27
Şekil 12. Berdiga Formasyonu sınırlarının araziden bir görünümü 28
Şekil 13. Berdiga Formasyonu'na ait mermerlerden görünüm (a) 19.TG.P10 nolu örnek çift nikol, (b) 19.TG.P10 nolu örnek tek nikol görünümleri, (c) daha küçük kristalli mermer 19.TG.P8 nolu örnek çift nikol, (d) 19.TG.P8 nolu örnek tek nikol görünümleri (Ka:kalsit) 29
Şekil 14. Çatak Formasyonu'na ait andezitlerden görünüm (x: 4510789, y: 623460 Güneyce Yayla yolu) 30
Şekil 15. Çatak Formasyonu'ndan alınan örneklerin makroskobik görünümleri 31
Şekil 16. Andezit örneğinin tek ve çift nikol görünümleri (a) çift nikol, (b) tek nikol (Pl: Plajiyoklas, Amf : amfibol, Op: opak mineral) 32
Şekil 17. Kaçkar Granitoyidi genel görünüm (x:4508595, y: 625580 koordinatından kuzeybatıya bakış) 34
Şekil 18. Kaçkar Granitoyidi genel görünüm ((a) x:4506054, y: 625622 koordinatından kuzeye bakış (b) tonalit yakından görünüm) 34

Şekil 19. Kaçkar Granitoyidi yüzey örneklemelerinden görünümler (a) x:4506810, y: 625740, (b) x: 4506211, y: 625099, (c) ve (d) x: 4506825, y: 625750) 35
Şekil 20. Tonalit örneklerine ait makroskobik görünümler (a) 19-TG-P14, (b) 19-TG-P18, (c) 19-TG-P5, (d) 19-TG-P7, (e) 19-TG-P11 ve (f) 19-TG-P13 nolu örnekler 37
Şekil 21. Tonalitin mikroskoptaki görünümleri (a) 19.TG.P5 nolu örnek çift nikol, (b) 19.TG.P5 nolu örnek tek nikol, (c) 19.TG.P5 nolu örnek çift nikol, (d) 19.TG.P1 nolu örnek plajiyoklasladaki zonlu yapı çift nikol (Pl: Plajiyoklas, Amf : amfibol, Otz: ortoklaz, Op: opak mineral)..... 38
Şekil 22. Granodiyorit örneklerinin makroskobik görünüm (a) 19-TG-P1, (b) 19-TG-P2, (c) 19-TG-P4 ve (d) 19-TG-P12 nolu örnekler..... 39
Şekil 23. Granodiyoritin mikroskoptaki görünümleri (a) 19.TG.P1 nolu örnek amfibollerin çift nikol görünümü, (b) 19.TG.P1 nolu örnek tek nikol, (Pl: Plajiyoklas, Qz: Kuvars, Amf: amfibol, Op: opak mineral) 40
Şekil 24. Granodiyoritin mikroskoptaki görünümleri (a) 19.TG.P1 nolu örnek çift nikol görünümü, (b) 19.TG.P4 nolu örnek çift nikol, (Pl: Plajiyoklas, Qz: Kuvars, Amf: amfibol, Otz: Ortoklaz, Op: opak mineral) 40
Şekil 25. Granodiyoritin mikroskoptaki görünümleri (a) çift nikol, (b) tek nikol, (Pl: Plajiyoklas, Qz: Kuvars, Amf: amfibol, Op: opak mineral) 40
Şekil 26. Kuvarslı diyorit örneklerinin makroskobik görünüm (a) 19-TG-P3, (b) 19-TG-P6 nolu örnekler 41
Şekil 27. Kuvarslı diyorit örneklerinin mikroskobik görünümü (a) 19-TG-P6 çift nikol, (b) 19-TG-P6 nolu örnek tek nikol görünüm..... 41
Şekil 28. (a) 17-THG-9/107.P nolu granit örneği, (b) 18-THG-13A/240.P nolu granit porfir örneği, (c) 17-THG-6/8.P nolu mikrogranit örneği, (d) 17-THG-4/180.P nolu granodiyorit porfir örneği 43
Şekil 29. (a) Dasit örneğine ait makroskobik görünüm (19-TG-P15 nolu örnek), (b) dasit örneğinin çift nikol görünümü, (b) dasit örneğinin tek nikol mikroskobik görünümü (Qz: Kuvars, Amf: Amfibol, Pl: Plajiyoklas, Op: Opak mineral) 44
Şekil 30. Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesindeki kireçtaşı ve mermerin SiO2 karşı değişimi a) Al2O3, b) CaO, c) MgO, d) Na2O2, e) K2O, f) TiO2, g) P2O5, h)FeOt, d) SiO2/Al2O3'e karşı TiO2 diyagramları 47
Şekil 31. Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesindeki granitoyid 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....48
Şekil 32. Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesindeki granitoyid örneklerinin SiO2'ye karşı ana element değişimleri (semboller için Şekil 31c'ye bakınız) 52
Şekil 33.Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesindeki Kaçkar Granitoyid örneklerinin SiO2'ye karşı iz element ve bazı oranların değişimleri (semboller için Şekil 31c'ye bakınız).....53
Şekil 34. a) Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesindeki granitoyid örneklerinin, ilksel manto bileşim (Sun ve McDonough, 1989) diyagramı b) Granitoyidik kayaç örneklerinin kondrite (Boynton, 1984) göre değişim diyagramı (semboller için Şekil 31c'ye bakınız.....55
Şekil 35. Tektonik ortamlarına göre granitlerin ayrımlanma diyagramları, (a) Rb (ppm)-Y+Nb (ppm), (b) Nb (ppm)-Y (ppm), (c) Rb (ppm)-Ta+Yb (ppm) (d) Ta (ppm)-Nb (ppm) (Pearce vd., 1984).....56
Şekil 36. Ana kaya-litoloji göz önüne alınarak (MTA, 1989) Türkiye'deki skarn yataklarının ve zuhurlarının dağılımı (Yiğit, 2009). 57
Şekil 37. Berdiga Kireçtaşları ile tonalit kontağı arasında oluşan skarn (x:4506292, y:624653) 58
Şekil 38. Göksel Cu-Fe skarn sahasında yapılan sondajların lokasyon haritası 59
Şekil 39. Göksel sahasında yapılan sondajları gösterir 3D görünümler (a) jeoloji haritası (b) uydu görüntüsü (c) bakır cevherinin gösterimi.....61
Şekil 40. Skarn cevherleşme mostrası (a) kireçtaşı tonalit kontağı skarn zonu manyetit cevherleşmesi (b) manyetit+piroksen+granat+pirit cevherleşmesi (x:4508607, y: 626284).....62
Şekil 41. Yüzeyde gözlenen manyetit cevherleşme mostrası (sondajlar ile düşey devamlılığı test edilmiştir) (a) nodüler manyetit cevherleşmesi (b) manyetit+pirit+kalkopirit cevherleşmesi (x:4508783, y: 624008) 63
Şekil 42. Skarn zonu epidotlaşmalardan bir görünüm (x:4508625, y:626262) 64
Şekil 43. Cevher içermeyen ekzoskarn zonlarından görünüm (a) ve (b) piroksenit+manyetit, (c) ve (d) Granat+piroksenit+manyetit (x:4507480, y:624814) 65
Şekil 44. Cevher içermeyen (endoskarn) granat >piroksen grift skarn zonu (x:4506292, y:624653).....66

Şekil 45. Cevher içermeyen ekzoskarn zonu (a) manyetit x:4507463, y:625521 (b) granat+epidot x:4506170, y: 624512, (c) dişli kuvars yapıları x: 4506358, y: 624522, (d) kireçtaşı-skarn-tonalit kontağı x:4506286, y:624658.....67
Şekil 46. Kırık hattına bağlı oluşmuş cevherli skarn zonundan görünüm (Çok yoğun pirotin+kalkopirit+pirit içeren masif cevher zonu x: 4508677, y:623169).....68
Şekil 47. Granat örneklerinin SEM görüntüleri (a) 19-TG.27 nolu örnek EDS spot 3 andradit, EDS spot 2 grossular andradit, (b) 19-TG.27 nolu örnek EDS spot 2 andradit.....73
Şekil 48. Piroksen örneklerinin SEM görüntüleri (a) 19-TG.43 nolu örnek EDS spot2 noktası hedenberjit (b) 19-TG.50 nolu örnek EDS spot1 noktası diyopsit.....73
Şekil 49. Piroksen ve granatın bileşimlerine göre skarn tiplerinin sınıflandırılması (Einaudi vd., 1981; Meinert, 1983 ve 1992), a) Göksel sahası granatlarının (Prp: pirop, Sps: spesartin, Alm: almandin, Grs: grosüler, And: andradit) bileşimleri ve b) Piroksenlerin (Joh: johansenit, Diy: diyopsit, Hed: hedenberjit) bileşimlerindeki değişimler, İplikçi ve Köprüüstü skarn yatağı verileri Demir (2019)'dan alınmıştır.....74
Şekil 50. Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesinde minerallerin oluşum sırası 86
Şekil 51. Çalışma alanındaki skarn örneklerinin Cr- Ni diyagramınında değerlendirilmesi ve farklı sahalar ile karşılaştırılması (Dare vd., 2014'ten değiştirilmiştir. Kopuz, Karadağ ve Eğrikar verileri Sipahi vd. (2020)'den alınmıştır).....87
Şekil 52. Çalışma alanındaki skarn örneklerinin Ni/Cr'ye karşı Ti diyagramınında değerlendirilmesi ve farklı sahalar ile karşılaştırılması (Dare vd., 2014'ten değiştirilmiştir. Kopuz, Karadağ ve Eğrikar verileri Sipahi vd. (2020)'den alınmıştır).....88
Şekil 53. Yüzey kayaç örneklerine göre hazırlanmış anomali haritaları (a) Cu anomalisi, (b) Zn anomalisi, (c) V anomalisi ve (d) Pb anomalisi 92
Şekil 54.Mangan (Mn) anomali haritası 93
Şekil 55. Granotoyidden kireçtaşına doğru ilerledikçe element değişim konsantrasyonunu.....94
Şekil 56. Çeşitli ayrışma indekslerin tonalitlerden kireçtaşına doğru değişim grafiği (LAI=(Fe2O3t+MgO)/(Na2O+K2O), AI=100x(MgO+K2O)/(MgO+K2O+CaO+ Na2O), KAI=100xAl2O3/(Al2O3+Na2O+K2O+CaO*)).....95

Şekil 57. Göksel skarn cevherleşmesinde ekzoskarn zonundaki granat mineralinden sıvı kapanım görüntüleri 97
Şekil 58.Granat ve epidot minerallerine ait sıvı kapanım analizlerinden elde edilen homojenleşme sıcaklık değerlerinin histogramları 100
Şekil 59. Çalışılan granitoyidlerin tektonik ayırtman diyagramlarında dağılımları. a) Nb-Y, b) Rb-(Y+Nb) (Pearce vd., 1984) ve c) Rb/30-Hf-Ta*3 (Harris vd, 1986), (Skarn yataklarına ait plütonlar için ortalama değerler Meinert, 1985'ten alınmıştır). Semboller için Şekil 31c'ye bakınız. 103
Şekil 60. Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesindeki granitoyidlerin a) Ni'e karşı V ve b) Sc'a karşı Rb (Meinert, 1995; Meinert vd., 2005'ten değiştirilerek) diyagramlarındaki konumları. Semboller için Şekil 31c'ye bakınız..... 104
Şekil 61. Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesindeki sıvı kapanımların homojenleşme sıcaklığına (oC) göre tuzluluk (% NaCl) değerlerinin değişimi (değişik kökenli hidrotermal akışkanların ortalama sıcaklık ve tuzluluk alanları Bodnar, (1999)'dan; Eğrikar Fe-Cu skarn Sipahi vd., (2017)'den; sıvıların yönsemeleri Wilkinson (2001); Midi, Mastra ve Arzular Akaryalı (2016)'dan alınmıştır). 105
Şekil 62. Göksel Cu-Fe skarn sahası granat tuzluluk ve homojenleşme sıcaklık değerlerinin farklı yatak (Wilkinson, 2001) tipleri ile karşılaştırılması. Eğrikar Fe-Cu skarn Sipahi vd. (2017)'den, Karadağ Fe-Cu skarn Sipahi vd. (2022)'den alınmıştır..... 106
Şekil 63. Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesi granat minerallerindeki ilk buz ergime (Tmi) ve homojenleşme (ThoC) sıcaklıklarının dağılımı (Shephard vd., 1985). 106
Şekil 64. Cevherli sondaj karotları (a) Gri renkli, silisli, sert ve sağlam yapılı, kuvars damarcıklı kalkopirit-pirit-manyetit içerikli cevher örneği, (b) Yoğun manyetitli, piritli, protinli masif-yarı masif skarn cevherleşme örneği..... 107

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Alm : Almandin

AI : Ishikawa ayrışma indeksi =
[100x((MgO+K_2O) /(MgO+K_2O+CaO+Na_2O))]

And : Andradit

ANTE : Ağır nadir toprak elementleri

a.s.a. : Analiz sınırının altında

Amf : Amfibol

A.K : Ateşte Kayıp

Byt :Biyotit

Cl : Klorit

Cpy : Kalkopirit

Di : Diyopsit

EDS : Enerji Dağılım Spektrumu

G : Gaz

Grs : Grossular

Hd : Hedenberjit

HNTE : Hafif nadir toprak elementler

IDW : Inverse Distance Weighting (Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon)

Jo : Johansenit

Ka : Kalsit

KAI : Kimyasal ayrışma indeksi =
[100x Al_2O_3/(Al_2O_3+ Na2O+K_2O+CaO*)]
* Karbonat minerallerinde bulunan CaO'in çıkarılmasıyla bulunan değer

L-P-COLG : Geç Çarpışma Sonrası Granitler

LAI : Lentz ayrışma indeksi = [MgO + $^tFe_2O_3$) /(Na_2O+K_2O)]

MTA : Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü

S : Sıvı

Syn-COLG : Çarpışma ile eş yaşlı granitler

SEM : Taramalı Elektron Mikroskobu

SE : İkincil Elekron

Sps : Spessartin

Op : Opak mineraller

ORG : Okyanus sırtı granitleri

Otz : Ortoklaz

Post COLG: Çarpışma sonrası granitleri

Pl : Plajiyoklas

Py : Pirit

Prt : Pirotin

Prp : Pirop

VAG : Volkanik Yay Granitleri

XRD : X-ışınları difraksiyonu

WPG : Plaka İçi Granitler

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Çalışma alanı Alp Orojenezi'nin en karmaşık jeodinamik evrimine sahip, magmatik yay özelliğindeki Pontid'lerin Kuzey Zonu'nda (Doğu Karadeniz Bölgesi'nde) yer almaktadır. Karadeniz Bölgesi'ndeki bu zon D-B yönünde yaklaşık 350 km uzunluğa ve K-G yönlü yaklaşık 60 km genişliğe sahip olan Pontid Metalojenik Kuşağı olarak bilinmektedir (Pejatoviç, 1979; Akıncı, 1980). Pontid Metalojenik Kuşağı, içerisinde farklı yatak tiplerinin bir arada bulunduğu önemli bir metalojenik zondur. Masif sülfitler başta olmak üzere epitermal, hidrotermal, skarn ve porfiri tip yataklar bölgedeki yatak tiplerini oluşturmaktadır. Karbonatlı kayaçların (özellikle Berdiga Formasyonu) ve bunları kesen granitik intrüzyonların (özellikle Kaçkar Granotoyidi) yaygın olması nedeniyle bölge çok sayıda skarn tip yatağa ev sahipliği yapmaktadır. Bunlardan biri olarak çalışılan Göksel Cu-Fe cevherleşmesi Trabzon ili, Hayrat ilçesi, Göksel Mahallesi sınırları içerisinde yer almaktadır.

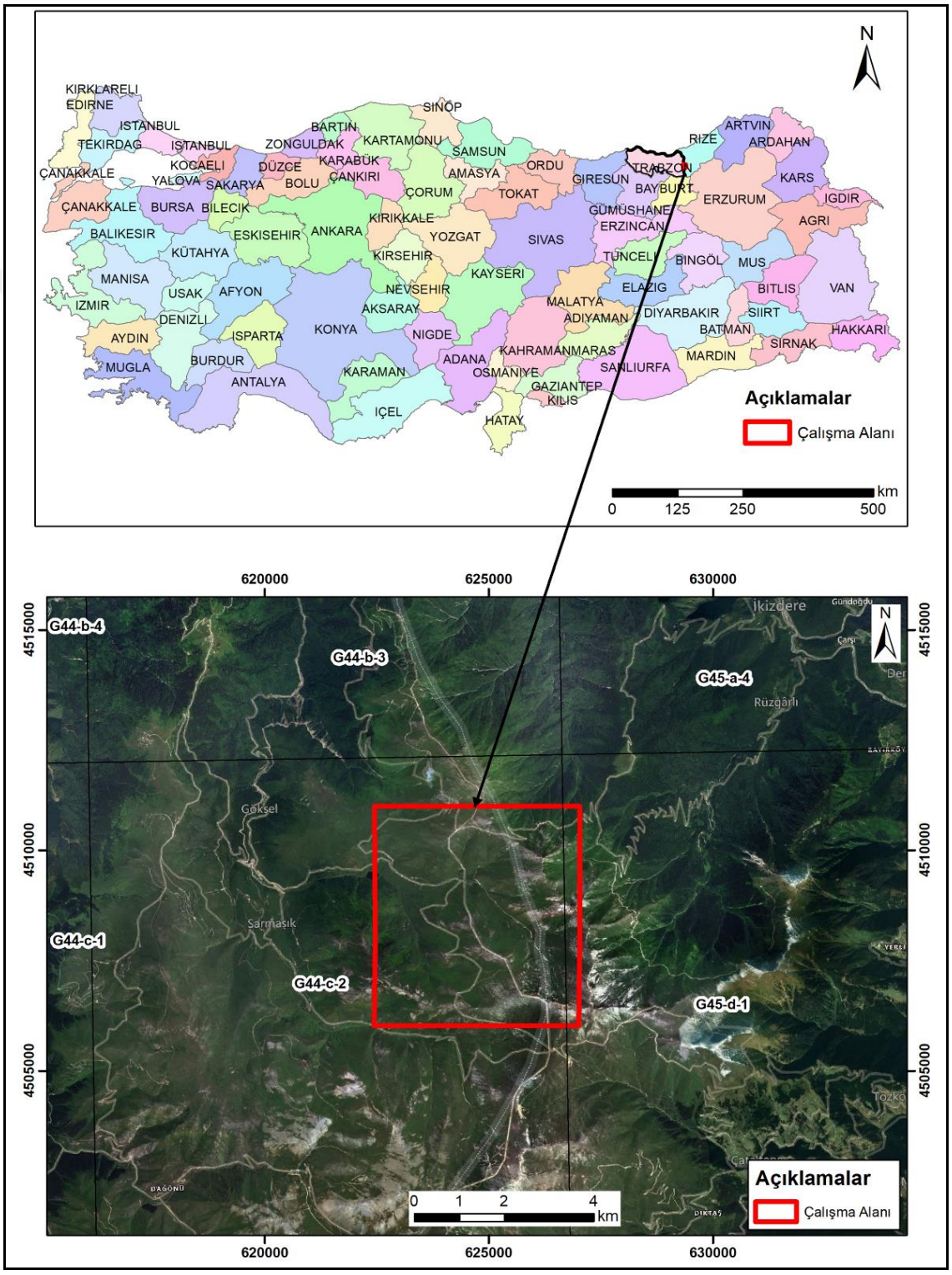
Göksel sahasındaki çalışmalar, MTA Genel Müdürlüğü Maden Etüt Daire Başkanlığı tarafından "Doğu Karadeniz Yay Mağmatitleri ile ilişkili Polimetal Maden Aramaları Projesi" ile birlikte yürütülmüştür. Tez kapsamında incelenen skarn yatağında, MTA Genel Müdürlüğü tarafından 2014-2017 yılları arasında prospeksiyon çalışmaları, 2017-2021 yılları arasında ise sahanın cevher potansiyelinin ortaya çıkarılması için karotlu maden sondajları yaptırılmıştır.

Bu çalışma da Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesinin mikroskobik çalışmalar ile petrografisi, kayaç jeokimyası ile oluşum kökenleri hakkında yorumlamaya gidilmiş, cevher ve cevherin dokusu, mineral parajenezi ile süksesyonu, skarn mineral türleri ve kimyası ile sıvı kapanım araştırmaları ile cevher oluşumunda sisteme etki eden sıvı/sıvıların kökeni hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır. Cevherleşmesinin oluşumuna sebep olan derinlik kayaçları Kaçkar Granitoyididir. Cevherleşmenin içinde oluştuğu yan kayaçları ise Berdiga Formasyonuna ait tortul kayaçlardır. Bu çalışmadan sağlanan yeni jeolojik bulgular ile bölgedeki madenlerin geliştirilmesi, aranması ve yeniden değerlendirilmesinde çok önemli bir rol oynayacaktır.

1.2. Coğrafik Bilgiler

1.2.1. Coğrafi Konum

Çalışma alanı olan saha, Doğu Karadeniz Bölümü, Trabzon ili, Hayrat ilçesinin güneydoğusu ile Rize ili, İkizdere ilçesinin güneybatı kısımlarında yer alır (Şekil 1).

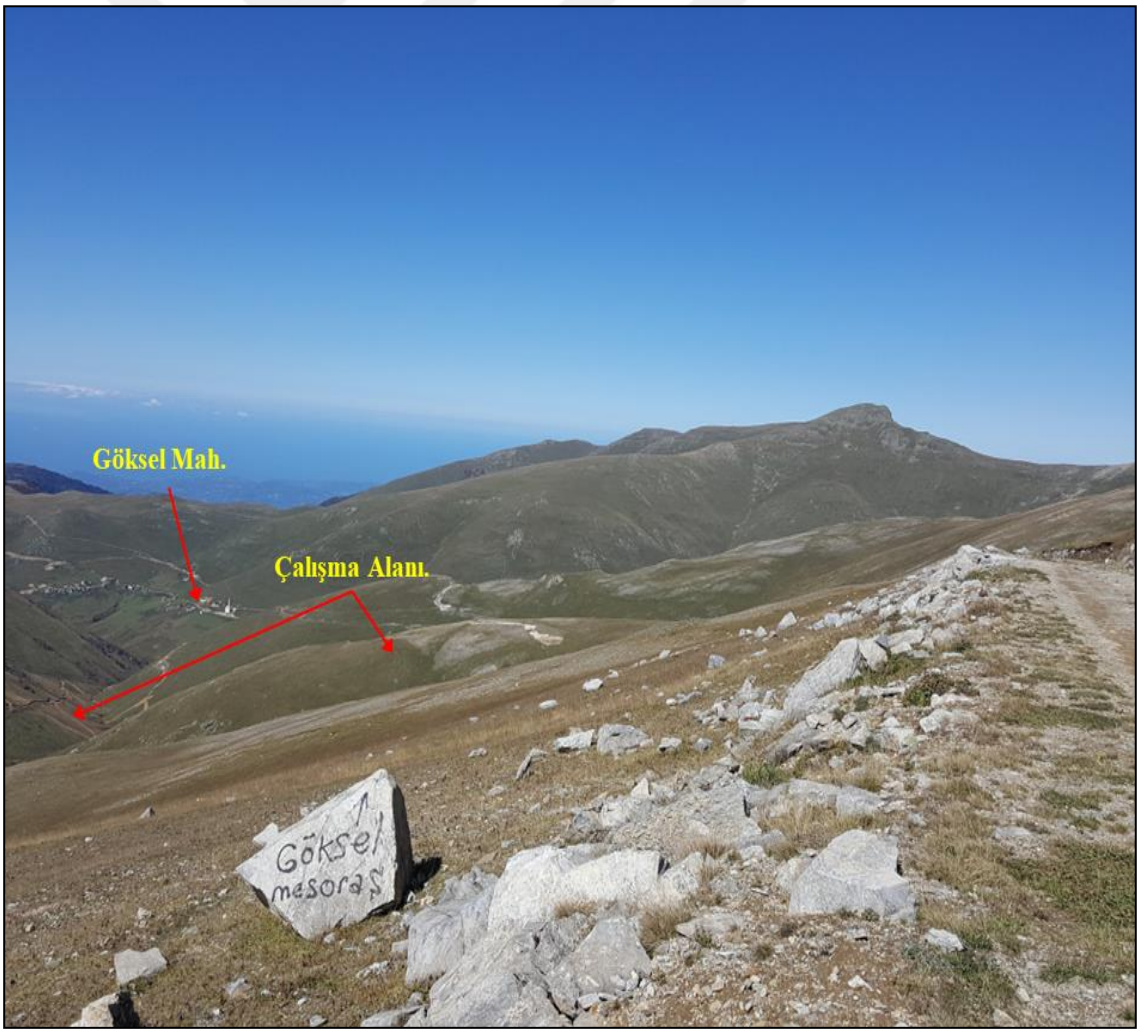


Şekil 1. Göksel sahasının yer bulduru haritası

1/25000 ölçekli Trabzon G44-c2 ve G45-d1 paftaları içinde yer alan çalışma sahası yaklaşık 23 km^2'dir. Trabzon İl'ine yaklaşık 105 km, Hayrat İlçesi'ne ise yaklaşık 30 km uzakta bulunan sahaya ulaşım iki türlü sağlanmaktadır. İlk olarak Trabzon İlinden 75 km asfalt yol ile Hayrat İlçesi'ne devamında yaklaşık 30 km toprak ve stabilize yol ile, ikinci olarak ise yaklaşık 40 km İyidere-İkizdere (Rize) ilçe asfalt yolu ve devamında yaklaşık 15 km toprak yol ile sahaya ulaşım sağlanmak mümkündür.

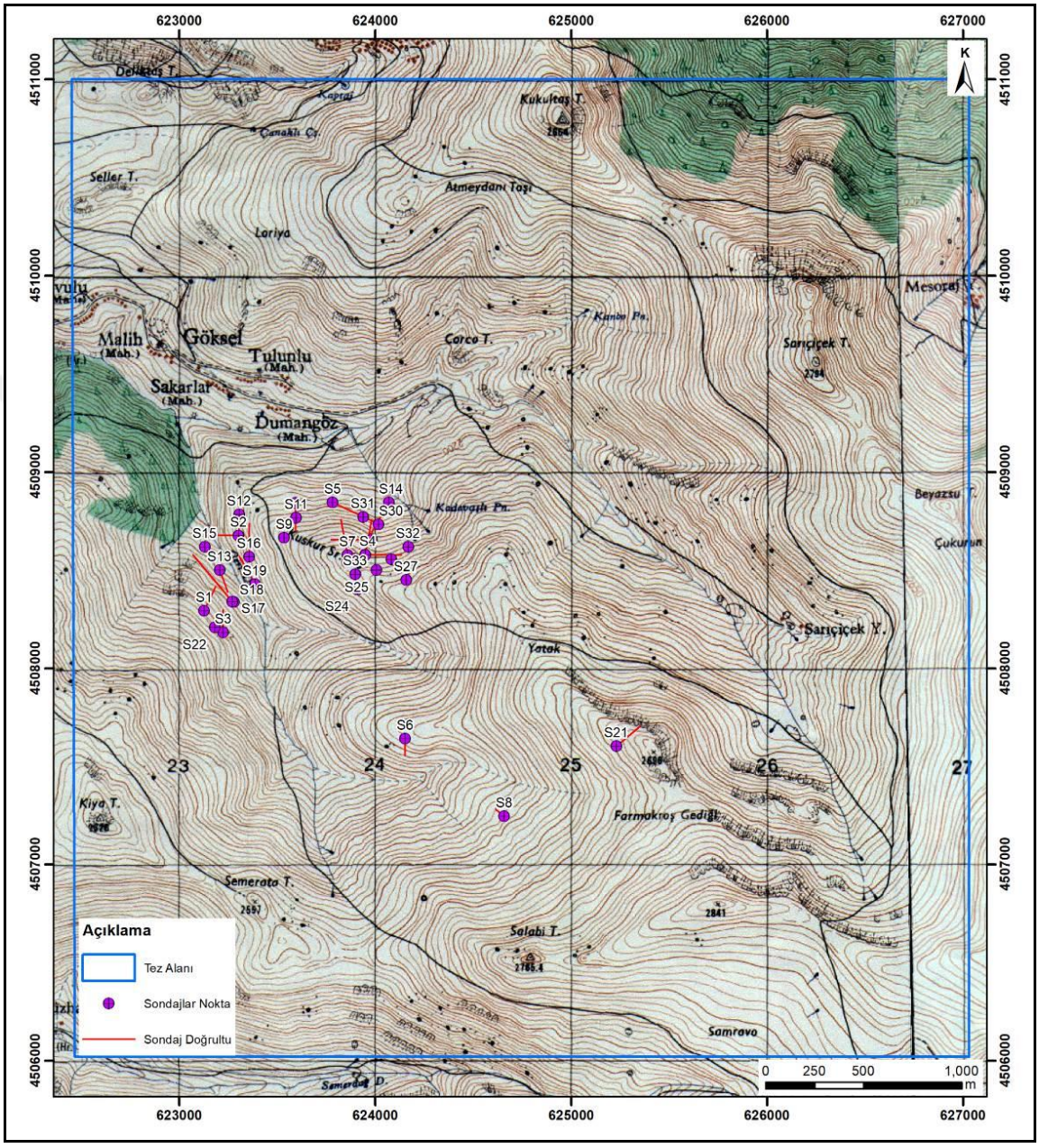
1.2.2. Topoğrafya

İnceleme alanı içinde, Göksel Mahallesi'ne bağlı yüksek kesimlerde (2000-2200 m) yerleşim yerleri mevcuttur (Şekil 2). Çalışma alanının en yüksek yeri Göksel Mahallesi ve civarındaki Bilaster Tepe (2425 m), Kilya Tepe (2626 m), Orta Tepe (2183 m), Semerata Tepe (2557 m) ve Salabi Tepe (2765,40 m)'dir. Morfolojik olarak çalışma alanı oldukça sarp ve engebeli bir yapıya sahiptir.



Şekil 2. Çalışma alanına ait genel görünüm. (GD'den KB'ye bakış)

Arazi oldukça engebeli olup akarsu ağının iyi geliştiği kesimlerde, irili ufaklı birçok dere bulunmaktadır. Bunlara ait kollar yörenin drenajını sağlamaktadır. Çalışma alanının en önemli dereleri Geri Dere ve Kadavaşlı Dere'dir (Şekil 3).



Şekil 3. Çalışma alanının topografik haritası

1.2.3. İklim ve Bitki Örtüsü

Çalışma bölgesi ve çevresinde tipik Karadeniz iklimi gözlenmektedir. Yaz mevsimi sıcak ve yağışlı, kış ayları ise ılık geçer. Çalışma alanının olduğu yörede Göksel Mahallesi'nde yükselti oldukça fazla olduğu için kış ayları soğuk geçmektedir. Yağışlar genellikle yağmur şeklinde olup, çalışma alanında ise kar şeklindedir.

Çalışma alanının çoğunluğu çayır ve mera ile kaplıdır. Yörede, 700-2000 metre kotları arasında çam, gürgen, kızılağaç, kestane ve orman gülünden ibaret çok sık bir bitki örtüsü mevcuttur. Ancak tez alanına konu olan alan, Göksel Mahallesi'nin bulunduğu yörede yükseltinin fazla olması sebebiyle bu kısım ağaçsız ve otlaklar yer almaktadır.

1.3. Çalışmanın Amacı

Bu tez kapsamında, Doğu Pontitler'in Kuzey Zonu'nda (Doğu Karadeniz Bölgesi'nde) Trabzon İl'i, Hayrat İlçesi, Göksel Mahallesi sınırları içerisinde yer alan Göksel skarn yatağının jeolojisi, petrografisi, cevher mikroskobisi özellikleri, skarn ve cevher mineralleri, kayaçların dokusu, mineralojik ve jeokimyasal özellikleri, yatağın sıvı kapanım özellikleri araştırılacaktır. Detaylı olarak mineralojik ve jeokimyasal açıdan tanımlanacak olan skarn cevherleşmesinin konumunun Doğu Karadeniz Bölümü'nün jeolojik evrimine katkı sağlayacağı öngörülmektedir. Diğer bir açıdan granitoyid ve tortul kayaçlar skarn cevherleşmesini oluşturan kayaçları olduğu için bölgede benzer özellik sunan alanların çalışılmasında önemli bilgiler sağlayacaktır. Sahadan sağlanacak yeni jeolojik veriler bölgenin ekonomisinin yeniden değerlendirilmesinde önemli katkı sağlayacaktır.

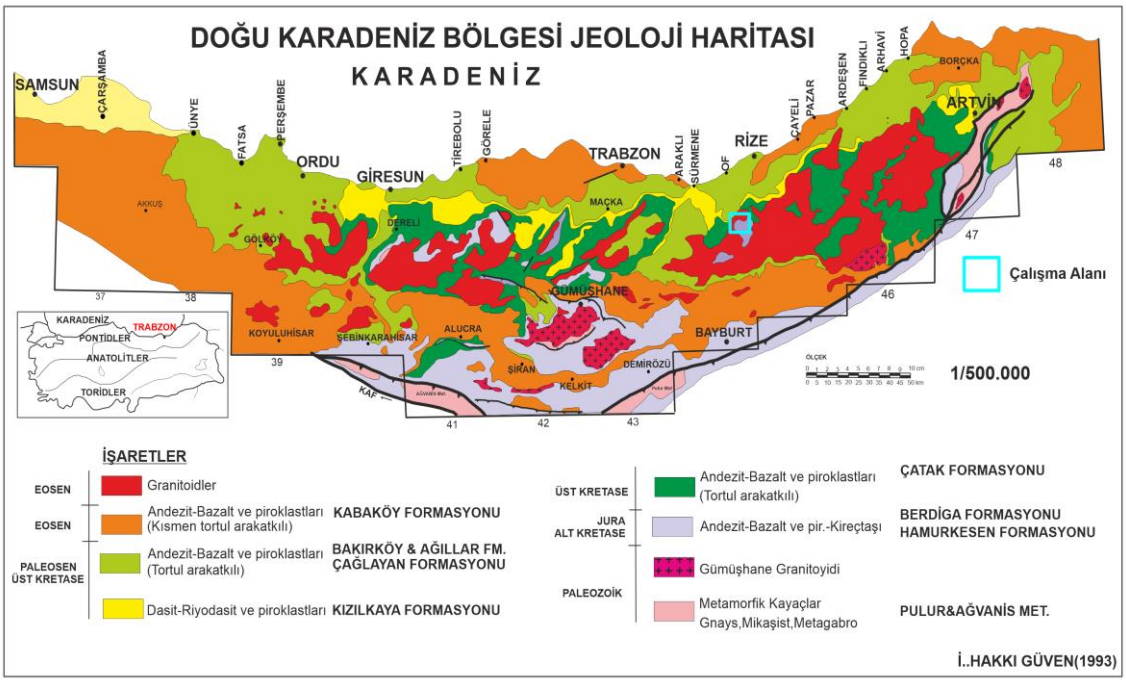
1.4. Bölgesel Jeoloji

İnceleme alanı, Alp Orojeneziyle etkilenen Doğu Pontid Jeotektonik Kuşağı'nda yer alır. Pontidler Liyas'tan Pliosen'e kadar geçen zaman aralığında mağmatik yay özelliğinde kalmış, bunun sonucunda volkanik kayaçlar gelişmiştir (Akın, 1978; Şengör ve Yılmaz 1981; Okay, 1989; Okay ve Şahintürk, 1997; Yılmaz vd., 1997a; Arslan vd. 1997; Şengör vd., 2003; Sipahi, 2005; Sipahi ve Sadıklar, 2014; Sipahi vd. 2014).

Doğu Pontid'lerde, üç ana volkanik devre (Liyas, Kretase ve Eosen ve sonrası) belirlenmiştir (Adamia vd., 1977; Şengör ve Yılmaz, 1981; Kazmin vd., 1986; Korkmaz vd., 1995; Çamur vd., 1996; Arslan vd., 1997). Doğu Pontidlerde Kretase yaşlı kayaçlar litolojik olarak kuzey ve güney bölgelerde farklılık gösterdiği için Özsayar vd., (1981) tarafından Kuzey ve Güney Zon olarak ikiye ayrılmıştır. Buna göre inceleme alanı Doğu Pontidlerin Kuzey Zonu'nda yer almaktadır. Çalışma alanının bölgesel jeolojisi incelendiğinde Kuzey Zon'da izlenen volkanik kayaçlar Güney Zon'da yerini ağırlıklı olarak tortul kayaçlara bırakır. Liyas'tan Pliyosen'e kadar geçen süreçte yitime bağlı olarak oluşmuş toleyitik, alkalen ve kalkalkalen nitelikli volkanizma bölgede yayılım gösterir. Magmatik faaliyetlerin duraklama dönemlerinde ise tortul istifler birikmiştir

(Güven, 1998) (Şekil 4). Paleozoik yaşlı temel kayaçlar, Liyas'ta başlayan kalın bir Mesozoik istif ile transgresif olarak örtülmüştür. Liyas'ta başlayan volkanik aktivite, karbonat platformunun oluştuğu Geç Jura-Erken Kretase döneminde durgunlaşmış, Geç Kretase döneminde tekrar yoğun bir şekilde bazik ve asitik karakterli periyotlar halinde devam etmiştir. Paleozoik temel kayaçları üzerinde izlenen Hamurkesen Formasyonu (Liyas), Berdiga Formasyonu (Geç Jura-Erken Kretase) tarafından uyumlu şekilde örtülmektedir. Geç Kretase dönemi Kuzey ve Güney zonlarda farklı ortam koşulları altında gelişmiştir. Kuzey Zon yoğun bir mağmatik aktivitenin etki alanında bulunmasına karşın, Güney Zon daha az magmatik aktivite ile durgun bir ortam özelliği sunmaktadır. Bu sebeple Geç Jura-Erken Kretase karbonatlar, Kuzey Zon'da kalın bir Geç Kretase volkano-sedimanter istif ile örtülürken, Güney Zon'da aynı karbonat platformu üzerine fliş karakterli sedimanter bir seri gelir. Geç Kretase ile Paleosen arasında uyumlu ve kesintisiz bir geçiş vardır. Geç Kretase devresi sonunda sakinleşen magmatik aktivite Eosen'den itibaren tekrar başlayarak etkin bir şekilde devam etmiştir.

Çalışma alanında Eosen, Kuzey Zon'da volkanik ağırlıklı Kabaköy Formasyonu, Güney Zon'da filiş özelliğinde Kelkit Formasyonu ile temsil edilmektedir. Her iki formasyon Mesozoik birimleri üzerine uyumsuz olarak oturmaktadır. Granitoyitik sokulum kayaçlar, Mesozoik ve Senozoik yaşlı birimlerle kontak zonu oluşturmaktadır (Sipahi, 1996; 2011; Saraç, 2003; Sipahi vd. 2017, 2020, 2022; Yılmaz, 2016; Aydurmuş, 2018; Demir, 2019, Demir ve Dişli 2020; Sivrikaya, 2022).



Şekil 4. Bölgesel jeoloji haritası (Güven, 1993' ten sadeleştirilmiştir).

Geç Kretase döneminde, Doğu Pontidler'de geniş alanlar kaplayan bu yay magmatizması ürünlerinin geliştiği bir dönem olup birçok polimetal maden yataklarını içermektedir. Bu dönem çoğunlukla olgun yay dönemi olarak tanımlanmıştır (Konak vd., 2001).

1.5. Önceki Çalışmalar

İnceleme alanı ve yakın çevresinde çok fazla jeoloji ve maden jeolojisi çalışma araştırması yapılmıştır. Bu çalışmalardan özellikle cevherleşme ve skarn cevherleşmesi ile ilgili olanları kısaca aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

Sawa vd. (1970), Doğu Karadeniz Bölgesi'nin jeolojisi ve tektoniği hakkında genel bilgiler vermekte ve bölgedeki maden yataklarını stokvork, masif, damar ve kontakt tip olarak 4'e ayırmaktadır.

Lahusen (1972), Erzurum ili, İspir ilçesi, Ulutaş Bakır-Molibden sahası hakkında ön rapor yazmıştır. Ulutaş sahasındaki, volkanik ve sedimanter kayaçlar, içinde mermer adeseli şistten ibaret olan metamorfik tabanın üzerinde diskordan olarak bulunurlar. Bu üstteki kayaçlar alt (Eosen öncesi) ve üst (Eosen ve daha genç) volkanik-sedimanter serisi olarak ayrılmışlardır. Granodiyorit ve kuvars monzonit bu seriyi kesmiştir. Kalkopirit ve molibdenit cevherleşmesi 4 km kadar kuzey-doğu uzanımlı bir yapının ortalarında olduğu tespit edilmiş ve haritaya işlenmiştir. Sahada skarn cevherleşmesi cevher sahasının batı kısmını sınırladığını ve cevherleşme ve alterasyon jenetik olarak kuvars-monzonitle ilgili olduğunu belirtmiştir.

Türk-Japon Ekibi (1974), MTA ile Japon hükümeti arasında ortaklaşa yürütülen çalışmada (Geological Survey, of Trabzon Area, Northheastern Turkey, 1974); Karadeniz sahil şeridinin kuzeydoğusunda Trabzon İli civarında 2500 km^2 lik alanda jeoloji ve jeokimya çalışması yapılmıştır. Cu, Pb, Zn, As, Cd, S, Ag, Co, Mo, Sb ve Ni elementlerinin jeokimyasal anomali haritaları hazırlanmıştır. Haritalamaya göre beş değerlendirme sınıfı altında, on beş anomali sahası harita üzerinde gösterilmiştir. Raporda bütün veriler değerlendirilmiş ve ileri ki yıllar için detay jeolojik haritalama, detay jeokimyasal ve jeofizik çalışmalar önerilmiştir.

Van (1976), “Doğu Karadeniz demir ihbar sahaları” adlı çalışmasında Ordu’dan Artvin’e kadar uzanan granitik sokulumların volkanik kayaçları ve kireçtaşlarını keserek dokanaklarında skarn tipte birçok demir cevherleşmesine yol açtığını belirtmiştir. Araştırmacı bu yörelerdeki demir cevherleşmelerinin prospeksiyon çalışmalarını yaparak bunların yüksek tenörlü, küçük rezervli olduklarını tespit etmiştir.

Gümrükçü ve Takaoğlu (1976), Trabzon Of-Dumlusu (Kotarakdere) yatağının jeolojisi ve rezerv raporu çalışmasında, sahada ekonomik değerde cevher içeren, “kireçtaşı arakatkılı asidik-bazik seri” ile bunların üzerine diskordan olarak gelen aglomera, tüf, tüfit serisi, ayrıca bu serileri kesen mikrogranit daykı ile asidik bazik serinin, dasit ve dasitik tüf üyesi içinde iki adet kalkopiritli masif pirit merceği saptanmıştır.

Topaloğlu (1977), Giresun-Dereli-Kurtulmuş köyü demir zuhuru çevresinde 0.8 km^2’lik alanın 1/2.000 ölçekli ayrıntılı jeoloji haritasını yapmıştır. Araştırmacı, manyetitten oluşan demir cevherleşmesinin mermerler ile fillat-aktinolit şist karmaşığı dokanağındaki skarn zonlarında yer aldığını ve cevherleşmelerin yer yer pirit, pirotin ve kalkopirirt içerdiğini belirtmiştir. Araştırmacı, zuhurda ortalama % 48.26 Fe ve % 10.48 SiO_2 içerikli görünür + muhtemel 360.000 ton demir rezervi bulunabileceğini ortaya koymuştur.

Türk-Japon Ekibi (1977), MTA ile Japon hükümeti arasında ortaklaşa yürütülen çalışmada (Geological Survey, of Trabzon Area, Northheastern Turkey, 1977); Karadeniz sahil şeridinin kuzeydoğusunda Trabzon ili civarında bakır, kurşun ve çinko cevherleşmelerinin ortaya konulması için jeolojik, jeofizik ve sondaj çalışmaları yapılmıştır.

Güner vd. (1983), yapmış oldukları çalışmada Rize-Kartiba ve Çayeli çevresinde sahanın 700 km^2’lik alanın 1/25000 ölçekli ayrıntılı jeoloji harita alımını gerçekleştirmiştir ve Kartiba demir cevherinin granitik kayaçlarla volkanik sedimanter birimin dokanağında geliştiğini söylemiştir. Araştırmacılar granitik sokulumda porfiri tip cevher, batolitin yan kayaç ile dokanaklarında ise metazomatik tip cevherleşmelerin oluştuğunu ortaya koymuştur.

Gülibrahimoğlu vd. (1985), Trabzon-Köprübaşı Arpalı ve Çaykara (Ögene) demir zuhurlarının küçük boyutlu olması ve demir oluşumları içinde silis oranının yüksek olması nedeniyle ekonomik olmadıklarını belirtmişlerdir.

Hasançebi (1993), “Dağbaşı (Araklı-Trabzon) Granitoyidine Bağlı Cevherleşmenin İncelenmesi’’ başlıklı yüksek lisans tez çalışmasında, Dağbaşı ve çevresinde yüzeylenen granitoyide bağlı olarak gelişen cevherleşmeler, bu

cevherleşmelerin oluşum ısıları ve altın içeriklerinin saptanması amaçlamıştır. Cevherleşmelerin granitoyide bağlı olarak skarn ve hidrotermal tipi cevherleşmeler olduğunu belirtmiştir. Cevher mineralleri olarak pirit, kalkopirit ve sfalerit bulunmaktadır. Skarn tipi cevherleşmeler kristalize kireçtaşı- granitoyid dokanağında ya da dokanağa yakın yerlerde oluştuğunu belirlemiştir. Sıvı kapanım çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda sadece kuvars ve sfalerit kristallerinde gözlenen sıvı kapanımlarının homojenleşme sıcaklıkları belirlenmiştir. Sıvı kapanım çalışmaları ile hidrotermal cevherleşmelerin bulunduğu zuhurdan alınan sfalerit kristallerinin homojenleşme sıcaklıkları 225^0 C- 270°C, kuvars kristallerinin homojenleşme sıcaklıkları ise 180°C- 250°C arasında değiştiği saptamıştır. Skarn tipi cevherleşmelerin bulunduğu zuhurlardan elde edilen kuvars kristallerindeki sıvı kapanımların homojenleşme sıcaklıklarının 320 °C- 400°C arasında değiştiği belirlen miştir.

Aslaner vd. (1995), "Dogu Pontid Metallojenik Kuşağı" adlı çalışmasında yöredeki cevherleşmeleri Geç Kretase yaşlı granitik sokulumlara bağlı Cu, Mo ve skarn yatakları olmak üzere üç ana gruba ayırmışlardır. Araştırmacılar skarn mineralizasyonlarını granitoyidlerle Alt Bazik kompleks arasındaki kontaktlarda oluştuğunu ve en önemli skarn oluşumlarını Giresun (Donguldere, Eğrikar, Kelete, Sekü, Dereli), Ordu (Çambaşı), Trabzon (Arpalı, Ögene, Zemberek Yayla), Rize (İkizdere, Aupdağı, Kartiba) ve Artvin (Demirköy) yörelerinde olduğunu belirtmişlerdir.

Çuvalcı vd. (1997), Of (Trabzon)-İyidere-Derepazarı (Rize) Güneyi Yöresi Genel Jeokimya raporunda, Doğu Karadeniz Metalojenik Provensini jeokimyasal çalışmalarla bölgesel ve lokal eşik değerlerin saptanması, mineralize zonların tespiti ve ekonomik olabilecek cevherleşmelerin ortaya konulması amaçlanmıştır. Raporda Doğu Karadeniz Bölgesi'nin Metalojenik Provensini ortaya koymak için yapılan çalışmaların devamı olarak 1993 yılında 93/19h proje numarası ile gerçekleştirilen bu çalışma Trabzon G44-b1, b2, b3, b4, a3 ve Trabzon F44-c3 1/25.000 ölçekli paftalarını kapsamaktadır. Sahadan 1 km ara ile alınan örneklerin için Cu, Pb, Zn, Ni, As, Mo, Co, analizleri yapılmıştır. Püskürük kayaçlara ait örneklerin bakır eşik değeri 80 ppm, intrüzif kayaçlara ait örneklerin bakır eşik değeri 79 ppm alınmıştır.

Yılmaz (2016), "Eğrikar (Torul, Gümüşhane) Fe-Cu skarn cevherleşmesinin petrografik ve jeokimyasal açıdan incelenmesi" isimli yüksek lisans tez çalışmasında, monzogranit türü kayaçların kireçtaşı ve volkanik kayaçlara sokulum yapması sonucunda sahada skarn cevherleşmesinin geliştiğini belirtmiştir. Eğrikar Fe-Cu skarn yatağında silikat mineralleri olarak piroksen ve granatların oluştuğunu, bol miktarda

manyetit, hematit ve çok az miktarda piritin cevher minerali olarak bulunduğunu tespit etmiştir. Sıvı kapanım çalışmalarından sağlanan sıcaklık ve tuzluluk değerleri sahanın oksitli şartlar altında sığ sokulumdan kaynaklı oluştuğu sonucunu vermiştir.

Ağan vd. (2017), Trabzon-Rize (Doğu Karadeniz Bölgesi) metalik madenlerini incelemiş ve bölgede Rize-Çayeli-Madenköy; Trabzon-Sürmene-Kutlular; Giresun-Tirebolu-Harkköy; Giresun-Espiye-Lahanos; Giresun-Bulancak; Ordu-Piraziz ve alt bölgelerin de madenlerin olduğunu belirterek yöredeki maden zuhur ve yatakların jenetik nitelikleri ile ele almayı ön planda tutan jeolojik haritalamanın yeniden yapılması yoluyla açığa kavuşabileceğini ortaya koymuşlardır.

Aydurmuş (2018), "Karadağ (Torul, Gümüşhane) Fe-Cu skarn cevherleşmesinin petrografik ve sıvı kapanım özelliklerinin incelenmesi" başlıklı yüksek lisans tez çalışmasında, Cevherleşmedeki granitoyidlerin diyorit ve kuvars porfir türü kayaçlardan oluştuğunu, yüksek-orta K'lu kalk-alkali bileşiminde olduğunu, diyoritler metalüminyum, kuvars porfir örneklerinin ise peralüminyum bileşimine sahip olduklarını tespit etmiştir. Granitoyidik kayaçların iz element değerlerinin sonucunda Karadağ Fe-Cu skarn yatağının oluşumunu sağlayan granitoyidin yay granitlerine benzediğini ve yitim sonrası oluştuğu sonucuna varmıştır.

Demir (2019), "Dağbaşı skarn yataklarının jeolojik, mineralojik ve jeokimyasal özelliklerinin (Araklı-Trabzon) incelenmesi" adlı araştırmasında, Dağbaşı granitoyidi yüksek K'lu (%2.38-3.75 K_2O), kalk-alkali, peralümin-metalümin geçişli (A/CNK=0.88-1.23) olup volkanik yay granitoyidi özelliği gösterdiğini, skarn zonları boyunca granodiyorit bileşimli olan Dağbaşı granitoyidinin çeşitli ana ve iz element içerikleri Fe-Cu-Zn tipi skarn oluşturan granitoyitlere benzerlikler sunduğu sonucuna varmıştır.

Sivrikaya (2022), Köprüyanı (Maçka, Trabzon) Cu-Skarn cevherleşmesinin jeolojisi ve mineral kimyası özellikleri adlı yüksek lisans tez çalışmasında, granat grubu minerallerin Eğrikar (Gümüşhane) Fe-Cu skarn cevherleşmesi ile güney zonda yer alan Gümüşdamla (Bayburt) Fe skarn cevherleşmesinde gözlenen granat mineralleri ile benzer bileşime sahip oldukları, ancak Ca-Fe içeriklerinin Eğrikar (Gümüşhane) Fe-Cu skarn ve Gümüşdamla (Bayburt) Fe skarn granatlarına göre ise nispeten yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca yine bu çalışmada Köprüyanı cevherleşmesinin Cu-skarn türünde ve bölgede var olan skarn cevherleşmelerinin parajenez, süksesyon ve mineral kimyası verileri ile benzerlik gösterdiği sonucuna varmıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Amaç ve Yöntemler

Doğu Pontitler'in (Doğu Karadeniz Bölümü'nün) Kuzey Zonu'nda Trabzon İli, Hayrat İlçesi Göksel Mahallesi sınırları içerisinde yer alan Göksel Cu-Fe skarn sahasının fizikokimyasal şartlarının belirlenerek bölgedeki benzer özellikteki skarn yataklarının bulunması için kriterlerin saptanması çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Bu kapsamda sahanın detay jeoloji haritası yapılmış, sahadan alınan örneklerin mineralojik-petrografik analizleri sonucu kayaçların dokusu, mineralojisi ve sınıflaması araştırılmış, tüm kayaç jeokimyası analizleri ile sağlanan bulgulardan oluşum şartları araştırılmıştır. Cevher içeren örneklerde cevher mikroskobisi analiz çalışmalarıyla cevherleşmenin mineral parajenezi ve süksesyonu belirlenmiş, skarn mineralleri olan piroksen, granat ve epidotlardan yapılan sıvı kapanım ölçümleri ile cevherleşmenin oluşum sıcaklığını tespit etme çalışmaları yürütülmüştür. Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesinin mineralojik, petrografik ve jeokimyasal özelliklerinin incelenmesi için yapılan bu araştırma arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları ile üç aşamada tamamlanmıştır.

2.1.1. Arazi Çalışmaları

Bu çalışma, MTA Genel Müdürlüğü Maden Etüt ve Arama Dairesi'nin "Doğu Karadeniz Yay Magmatitleri ile İlişkili Polimetal Maden Aramaları Projesi" ile eş zamanlı olarak yürütülmüştür.

Yapılan arazi çalışmaları ile Göksel Cu-Fe skarn sahasındaki kayaç tipleri, litoloji (formasyon) sınırları, alterasyon tipleri belirlenmiştir. Mevcut yapısal unsurlar tabaka, fay, çatlak, vd. belirlenmiş ve gerekli ölçüm işleri (doğrultu ve eğim) yapılarak bu düzlemsel yapıların konumları belirlenmiş ve sahanın 1/10000 ölçekli detay jeoloji haritası yapılmıştır.

Arazi çalışmalarında mineralojik, petrografik ve jeokimyasal çalışmalar için mostralardan toplam 62 adet kayaç numunesi ve cevher jeokimyası için ise 58 adet örnek alınmıştır. Araziden alınan örnek yerlerini gösterir harita jeoloji haritası ile birlikte stratigrafi bölümünde verilmiştir.

2017 - 2021 yılları arasında MTA ile birlikte yürütülen çalışma sahasında cevherleşmenin düşey boyutunun takibi amacı ile 34 adet 15.841,10 m karotlu maden

sondajı yapılmış ve sondajlarından toplamda 13370 adet jeokimya, 169 adet petrografi, 116 adet parlatma, 31 adet X-Ray Difraction (XRD) analizleri için karot örneği alınmıştır. Sondaj karotlarından alınan bu örneklerden bazıları bu tez çalışması kapsamında kullanılmıştır.

2.1.2. Laboratuvar Çalışmaları

2.1.2.1. İnce Kesit ve Parlak Kesitlerin Hazırlanması ve İncelenmesi

Arazi çalışmaları boyunca çalışma alanından alınan mostra ve sondaj numunelerinden petrografik ve mineralojik analizlerin yapılabilmesi için 62 adet ince kesit, cevherleşmenin mineraloji ve parajenezini ortaya koymak için 48 adet parlak kesit yapılmıştır.

Mineralojik ve petrografik analizler için MTA Genel Müdürlüğü (Ankara), Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı laboratuvarlarında kesitler yaptırılmıştır. Numunelerden 0.5x2x4 boyutlarında plakalar kesilerek pürüzsüzleştirilmiş ve 0.1x2.5x5 cm'lik cam üzerine Kanada Balzamı kullanılarak yapıştırılmıştır. Cam üzerine yapıştırılan numune, SiC tozlarla 0.03 mm kalınlığa kadar inceltilerek petrografik kesitler hazırlanmıştır. Hazırlanan ince kesit örnekleri MTA Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı laboratuvarlarında Leica marka DM2700P model polarizan mikroskopta dokusal ve mineralojik açıdan incelenerek kayaç adlaması yapılmıştır. Ayrıca gerekli görülen ince kesit örneklerinden mikroskoba takılı Leica marka DMC4500 fotoğraf makinası ile fotoğraflar çekilmiştir.

Cevher örneklerinin parlak kesitleri MTA, Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı laboratuvarlarında hazırlanmıştır. Cevherli kesitlerin parlatılması MTA'da aynı bölümün, numune hazırlama laboratuvarında yapılmıştır. Bu işlem için seçilen numuneler uygun boyutlarda hazırlanmış ve çeşitli boyutlardaki tozlarla aşındırılıp, inceleme yapılacak yüzeyleri alüminyum oksit tozu ile parlatılmıştır. Bu şekilde hazırlanan parlak kesitlerin Leica marka DM2700P model üstten aydınlatmalı cevher mikroskopta gliserinli ortam da mineral parajenezi ve süksesyonu belirlenmiştir. Mikroskopta incelenen mineraller Leica marka DMC4500 fotoğraf makinesi ile fotoğraflanmıştır.

Seçilen örneklerin XRD analizleri MTA'da Bruker D8 Advance, Panalytical X'Pert Powder ve Philips PW 1830 marka model cihazlar ile gerçekleştirilmiştir. Standart kalitatif XRD analizlerinde numuneler Ni filtreli Cu X-ışın tüplü cihazlar ile 2-70° arasında analiz edilmiştir. Kil grubu mineralleri ayırt etmek için zenginleştirme

işlemi uygulanarak Ni filtreli Cu X-ışın tüplü cihazlar ile 2-40° arasında etilen glikollü ve fırınlamalı (350°C ve 550°C) olarak analiz edilmiştir. Elde edilen X-ışını difraktogramları Hanawalt metodu kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışma sahasında yapılan sondaj karotlarından 5 adet, yüzey kayaç örneklerinde ise 7 adet XRD örneği alınmıştır. Bu numunelere X-Işını Kırımı yöntemi ile Kalitatif Detay Kil Analizi test tekniği uygulanmıştır. Yöntemde difraktogramlardan elde edilen veriler yüksek sayım değerinden düşük sayım değerine göre sıralanmaktadır. Mineral sıralaması kantitatif (nicel) bir değer ifade etmemektedir.

2.1.2.2. Kimyasal Analiz İçin Örnek Hazırlanması

Petrografik incelemelerin ardından, uygun görülen Kaçkar Granitoyidi'ne ait 15 adet örnek ile Berdiga Formasyonuna ait 3 adet örnek, cevher parlatma için alınan 34 adet örnek, skarn (garnet, piroksen), yan kayaç (tonalit, kireçtaşı) ve cevherden (manyetit, kalkopirit) alınan 14 adet örneğin ana, iz ve nadir toprak element analizleri ile yüzey anomali haritalarının oluşturulmasında kullanılan 56 adet örneğin baz ve değerli metal analizleri, MTA Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı laboratuvarlarında yapılmıştır. Numuneler tek çeneli kırıcı ile parçalanmış ve ardından halkalı öğütücü yardımı ile tane boyutu 200 mesh'den daha küçük oluncaya kadar öğütülmüştür. Ana ve iz elementlerinin analiz değerleri için Spectro marka X–LAB 2000 model Polarize Enerji Dispersif X Işınları Floresans Spektrometresi (PEDXRF) cihazı ile Thermo XSERIES II ICP-MS ve ICP-OES cihazları kullanılmıştır.

2.1.2.3. Sıvı Kapanım Analizleri

Göksel Cu-Fe sahasında sıvı kapanımı çalışmalarında kullanılmak için 4 adet (granat, epidot ve piroksen) örnek alınmıştır. Sıvı kapanım analizleri maden yatakları açısından oldukça önemlidir. Yapılan incelemeler/analizler, basınç-sıcaklık özellikleri ile sıvının bileşimi hakkında veri vermektedir (Touret, 2001). Kayaç içerisinde oluşan sıvı kapanımların basınç ve sıcaklık değişikliklerine, özellikle kayaç oluşturan mineral topluluklarından veya bileşenlerin/minerallerin bileşimlerinden, daha duyarlı oldukları saptanmıştır. Sıvı kapanım çalışmalarında en önemli prensip, kapanımda bir sızma (leakage) veya hacimde bir değişiklik olmaksızın, kapanlanan sıvının bir yoğunluğu veya molar hacminin olduğu ve bunların sabit kabul edilmesidir (Roedder, 1984).

Çalışma sahasında, arazi çalışmaları esnasında sıvı kapanım analizleri için numuneler alınmıştır. Sıvı kapanım çalışmaları MTA Genel Müdürlüğü Maden Analizleri ve Teknoloji Dairesi, Mineraloji ve Petrografi Araştırmaları Koordinatörlüğü

laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda Linkam MDSG 600 (motorize) ısıtma ve soğutma sistemi kullanılmıştır. Isıtma ve soğutma tablası, Leica DM 2500 M model mikroskoba monte edilmiş ve 20x ve 50x büyütmeli objektifler kullanılarak incelenmiştir. Linkam MDSG 600 (motorize), programlanabilen otomatik bir sistemdir. Programlanabilmesi için bilgisayar ortamında Linksys32 isimli software program kullanılmaktadır. Linkam tablası -196 ºC ile 600 ºC sıcaklık aralığında çalışma imkânı sunmaktadır. Isıtma ve soğutma hızı 0.1 ºC/dakikadan, 150 ºC/dakika ya kadar çıkabilmektedir. Soğutma işlemlerinde sıvı azot (N_2) kullanılmaktadır.

Şeffaf örneklerin (kalsit, kuvars, epidot, granat, turmalin, demir içeriği düşük sfalerit) incelemelerinde PL-A662 model PIXELINK marka kameradan yararlanılmıştır. Sentetik saf H_2O, H_2O-CO_2 ve H_2O-NaCl sıvı kapanım standartları ile cihaz kalibre edilmektedir. Kullanılan standartlar ile yapılan analizlerde sıvı kapanım jeotermometresi için doğruluk (accuracy) ölçümleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Sıvı kapanım jeotermometresinde kullanılan doğruluk ölçümleri

Ölçümler	**Kısaltmalar**	**Doğruluk (ºC)**
H_2O homojenleşme sıcaklığı	Th_{H2O}	± 4.0
H_2O son buz ergime	Tm_{H2O}	± 0.1
CO_2 ergime sıcaklığı	Tm_{CO2}	± 0.3
Klarat ergime sıcaklığı	Tm_{Cla}	± 0.1
H_2O-NaCl ötektik sıcaklık	Te	± 0.8

Şeffaf mineral kesitlerinin kalınlıkları yaklaşık 0.2-0.3 mm'dir. Koyu renkli mineraller için ise özellikle granatları içeren örneklerin kesitleri yaklaşık 0.1 mm'ye kadar inceltilmiştir. İki fazlı (sıvı+gaz) kapanımların mikrotermometrik analizlerinde tuzluluk değerleri Bodnar (1993)'ın formülü ile hesaplanmıştır:

Tuzluluk (%NaCl eşdeğeri) $=0.00+1.78\theta- 0.0442\theta^2+0.000557\theta^3$'dür.

Formülde θ'nın yerine son buz ergime sıcaklık değeri konularak tuzluluk değeri hesaplamaları yapılmaktadır.

2.1.2.4. Taramalı Elektron Mikroskobisi Çalışmaları (SEM)

SEM'de elektronlar örnekteki atomlarla etkileşim yapıp örnek yüzeyinin topografyası ve kompozisyon bileşimi hakkında bilgiler içerebilen birbirinden farklı sinyaller üretir. Elektron demeti örnek yüzeyini tarar ve demetin konumu, algılanan sinyalle eşleştirilerek görüntü oluşturmasını sağlamaktadır.

Yüksek vakum koşulları altında numunelerin yüzeylerinden ikincil elektron (SE), geri saçılmış elektron (BSE) ve karışık (SE+BSE) sinyal görüntüleri alınmış ve

fotoğraflar çekilmiştir. Numuneler için istenilen yerden standartsız yarı kantitatif nokta analizi yapılmıştır. Seçilen 6 adet kayaç örneklerinin SEM analizleri MTA'da FEI INSPECT F50 cihaz ile görüntü alınmış, fotoğraf çekimi ve mikrokimyasal (EDS) analizi gerçekleştirilmiştir (Şekil 5).

Şekil 5. MTA laboratuvarlarında SEM analiz çalışmalarında kullanılan cihaz

2.1.3. Büro Çalışmaları

Büro çalışmaları kapsamında, arazi, laboratuvar ve büro çalışmalarından sağlanan veriler ve bunların sonuçları değerlendirilmiştir. Öncelikli olarak Göksel Cu-Fe skarn sahası ile ilgili olarak literatür ve kaynak taraması yapılmış ve elde edilen bilgiler detaylı bir şekilde incelenmiştir. Saha ve sondaj çalışmaları ile mikroskobik analizler neticesinde araştırma sahasının jeoloji haritası tamamlanmıştır. Açılan sondajlar ve arazi çalışmaları neticesinde kayaçların stragrafik ilişkileri incelenerek Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesinin jeolojik özellikleri ortaya konulmuştur. Harita ve kesitler bilgisayara aktarılıp çeşitli çizim programları kullanılarak hazırlanmıştır. Ayrıca örneklerin analizleri neticesinde elde edilen veriler, mineralojik, petrografik ve kimyasal analiz sonuçları değerlendirilip şekil ve grafik çizimleri bilgisayar ortamına aktarılarak anlamlı sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan tüm bu araştırmalar birlikte değerlendirilip Gümüşhane Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına göre tez haline getirilmiştir.

3. BULGULAR

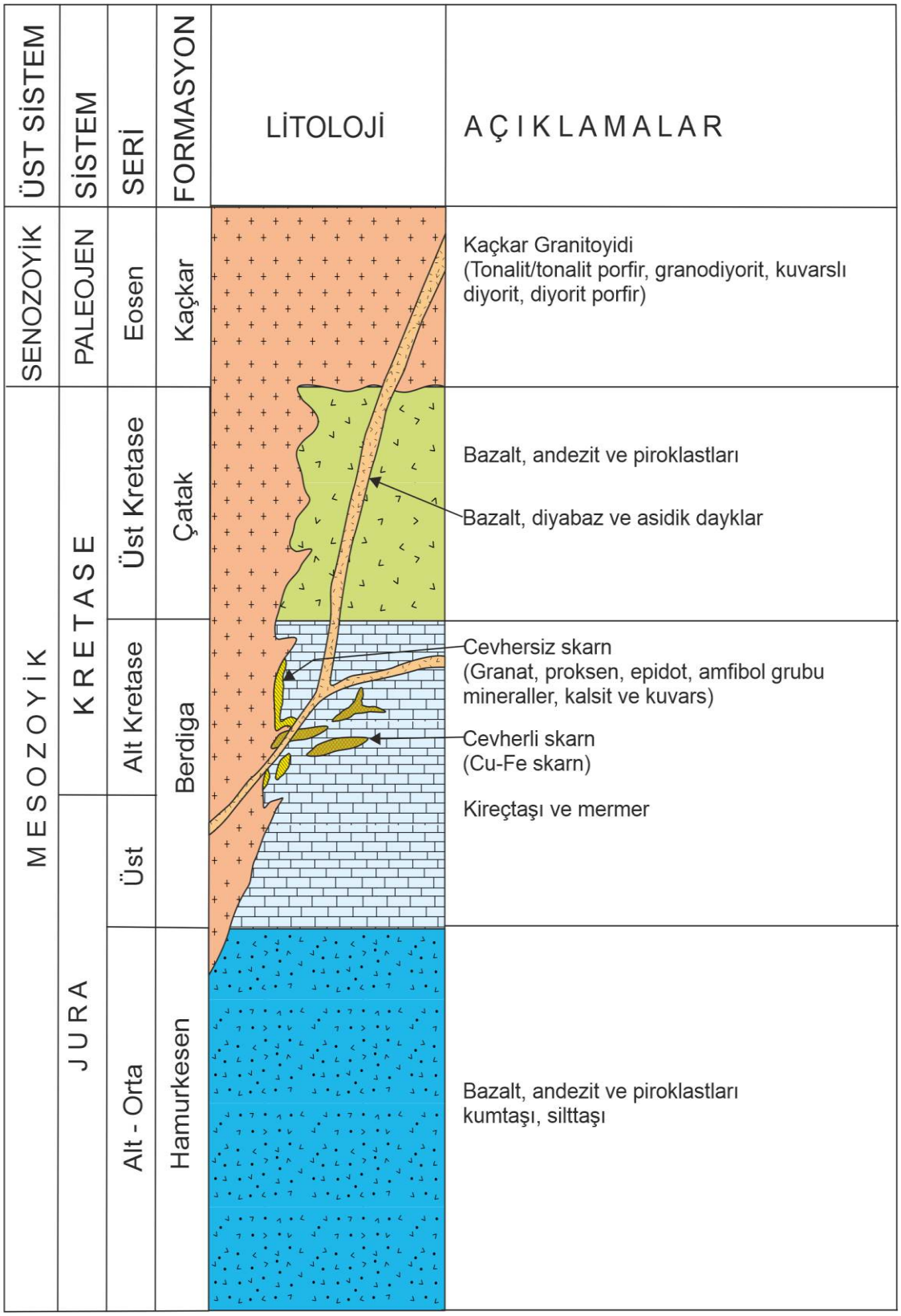
3.1. Stratigrafi ve Petrografi

Çalışma alanı Liyas'tan başlayan ve Eosen sonlarına kadar periyotlar halinde gelişimini sürdüren aktif bir magmatizmanın etkisi altında kalmış ve magmatizmanın ürünü olan volkanik, volkano-tortul ve intrüzif kayaçlar yaygın olarak gözlenmektedir. Volkanik faaliyetlerin durakladığı dönemlerde ise tortul istifler birikmiştir.

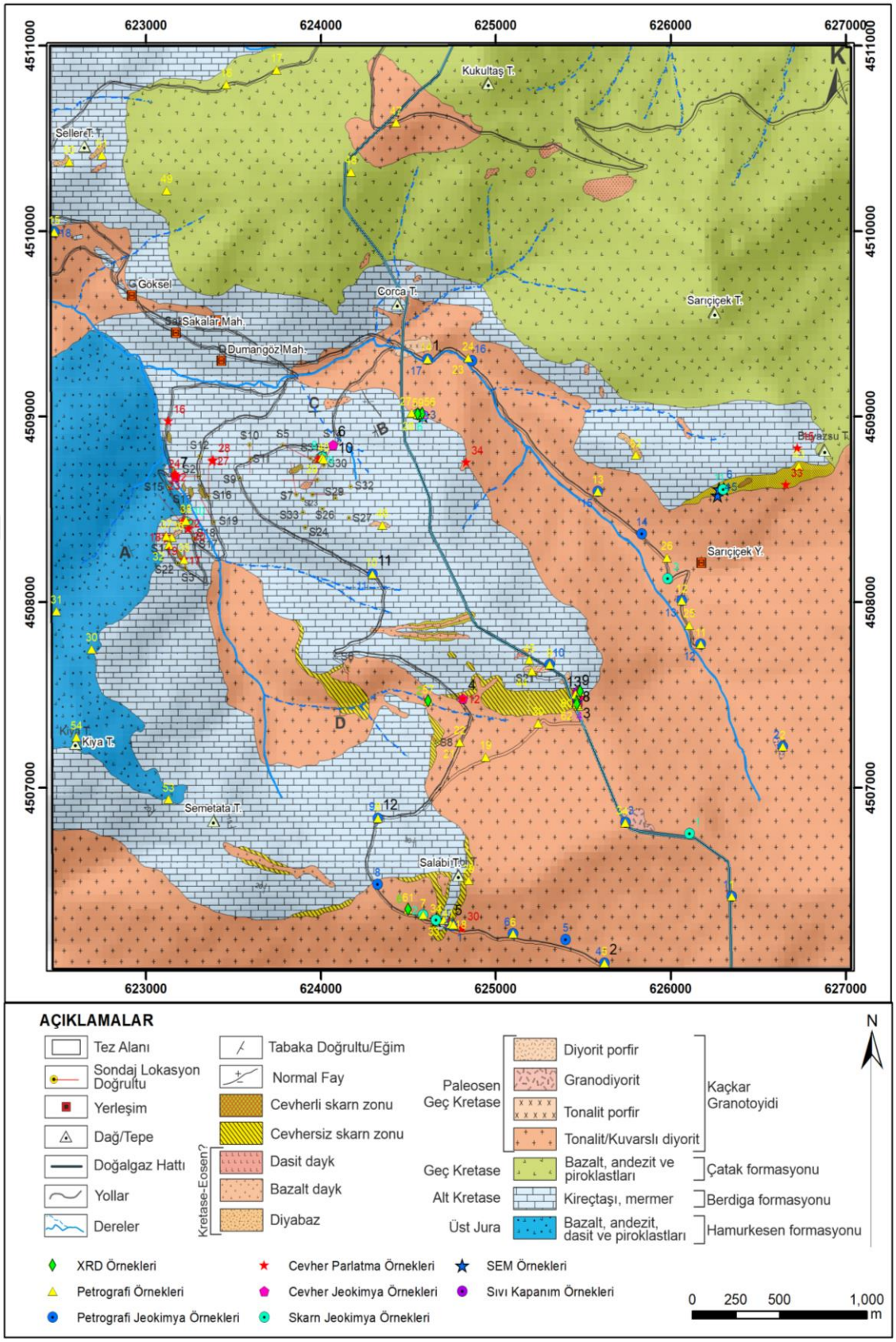
Göksel skarn cevherleşmesinin yer aldığı sahada alttan üste doğru Liyas yaşlı bazalt, andezit ve bunların piroklastiklerinden oluşan Hamurkesen Formasyonu, Üst Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşı ve mermerlerden oluşan Berdiga Formasyonu, Geç Kretase yaşlı bazalt, andezit ve piroklastik kaya türünden oluşan Çatak Formasyonu, Geç Kretase-Eosen (?) yaşlı tonalit, tonalit porfir, granodiyorit, kuvarslı diyorit, diyorit porfir, granit-granit porfir, mikrogranit ve granodiyorit porfir bileşimli derinlik kayaçlarının oluşturduğu Kaçkar Granitoyidi yer almaktadır (Şekil 6-7-8). Kaçkar Granitoyidi tüm bu birimleri kesmekte olup Berdiga Formasyonuna ait kireçtaşı dokanaklarında kontakt metamorfizmaya bağlı olarak skarn cevherleşmesi gerçekleşmiştir. Çalışma alanının en genç birimleri ise tüm birimleri kesen Kretase-Eosen (?) yaşlı dasit, bazalt ve diyabaz türü dayklardır.

Çalışma sahası ve çevresinin stratigrafik birimler detaylı olarak çalışılmış, alttan üste (yaşlıdan gence) doğru sıralanmıştır. Teze konu olan sahadaki stratigrafik birimler aşağıdaki gibi sıralanır (Şekil 6-7-8):

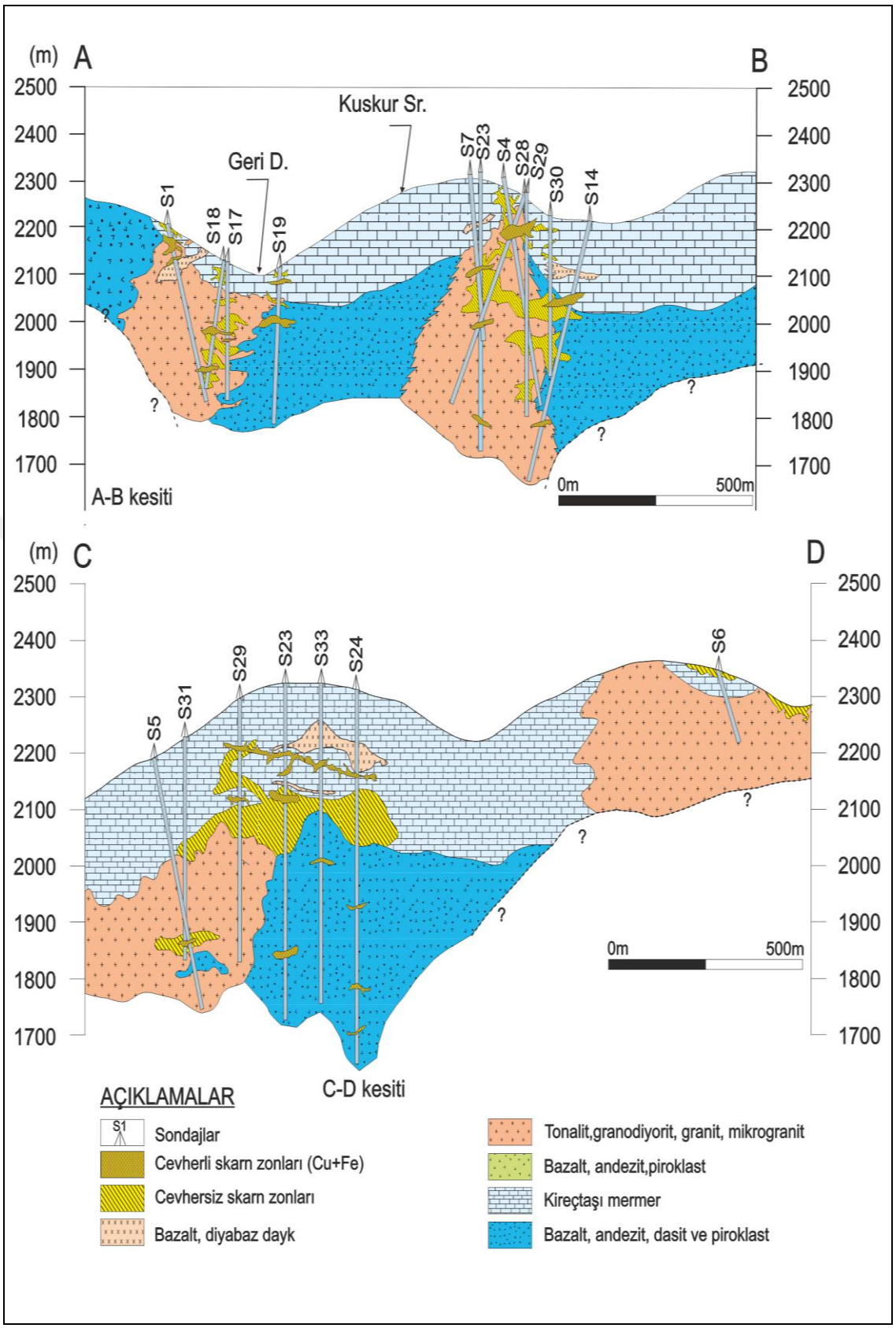
1. Hamurkesen Formasyonu (Alt-Orta Jura)
2. Berdiga Formasyonu (Geç Jura- Alt Kretase)
3. Çatak Formasyonu (Üst Kretase)
4. Kaçkar Granotoyidi (Üst Kretase-Eosen)
5. Dasit, Bazalt ve Diyabaz Dayklar (Kretase-Eosen?)



Şekil 6. Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesi ve çevresinin ölçeksiz stratigrafik dikme kesiti



Şekil 7. Göksel Cu-Fe skarn cevherleşme sahasının jeoloji ve numune dağılım haritası



Şekil 8. İnceleme alanından alınan enine jeolojik kesitler

Haritada örnek numarası olarak verilen noktaların detay bilgileri Tablo 2-9'da detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 2. Petrografi tanımlaması yapılan örneklere ait bilgiler

Numune Harita No	Numune Rumuz	y	x	Mikroskopta Petrografik Tanımlama
1	19-TG.P1	626349	4506413	Granodiyorit
2	19-TG.P2	626640	4507220	Granodiyorit
3	19-TG.P3	625742	4506813	Kuvarslı Diyorit
4	19-TG.P4	625740	4506810	Granodiyorit
5	19-TG.P5	625622	4506054	Tonalit
6	19-TG.P6	625099	4506211	Kuvarslı Diyorit
7	19-TG.P7	624585	4506313	Tonalit
8	19-TG.P8	624327	4506833	Mermer
9	19-TG.P9	625308	4507663	Diyorit Porfir
10	19-TG.P10	624295	4508150	Mermer
11	19-TG.P11	626172	4507773	Tonalit
12	19-TG.P12	626064	4508008	Granodiyorit
13	19-TG.P13	625583	4508597	Tonalit
14	19-TG.P14	624609	4509310	Tonalit
15	19-TG.P15	622475	4509995	Dasit
16	19-TG.P16	623460	4510789	Andezit
17	19-TG.P17	623746	4510869	Andezit
18	19-TG.P18	624742	4506265	Tonalit
19	2014-THG-P05	624941	4507164	Mikrotonalit
20	2014-THG-P06	625243	4507346	Granodiyorit
21	2014-THG-P07	624794	4507245	Toanalit
22	2014-THG-P08	624794	4507245	Kuvarslı Diyorit
23	2014-THG-P09	624842	4509315	Toanalit
24	2014-THG-P10	624842	4509315	Tonalit Porfir
25	2014-THG-P11	626106	4507875	Toanalit
26	2014-THG-P12	625979	4508239	Toanalit
27	2014-THG-P13	624519	4509019	Dasit
28	2014-THG-P14	624558	4509010	Granatfels
29	2014-THG-P15	624845	4506499	Epidotfels
30	2014-THG-P16	622688	4507746	Altere piroklastik kayaç
31	2014-THG-P17	622348	4507946	Melaandezit
32	2014-THG-P18	623131	4508309	Granatfels
33	2014-THG-P19	624704	4506285	Granatfels
35	2014-THG-P22	623217	4508228	Kontak Metamorfik Kayaç (fels)
36	2014-THG-P23	623148	4508348	Diyorit
37	2014-THG-P24	623116	4508355	Kontak Metamorfik Kayaç (fels)
38	2014-THG-P25	623228	4508438	Diyorit
39	2014-THG-P26	624006	4508779	Dasit
40	2014-THG-P27	624015	4508770	Altere bazik kayaç
41	2014-THG-P28	624758	4506260	Granat-fels
42	2014-THG-P29	625472	4507439	Granat-fels
43	2014-THG-P30	626732	4508733	Epidot kuvars klorit fels
44	2015-THG-P01	625207	4507627	Altere volkanik kayaç
45	2015-THG-P02	625191	4507688	Dasit
46	2015-THG-P03	624351	4508415	Altere bazalt
47	2015-THG-P04	624431	4510584	Andezit
48	2015-THG-P05	624173	4510319	Kumtaşı
49	2015-THG-P06	623118	4510218	Andezit
50	2015-THG-P101	622561	4510374	Altere gabroik bileşimli damar kayacı
51	2015-THG-P102	622748	4510409	Altere gabroik bileşimli damar kayacı
52	2015-THG-P103	625800	4508793	Diyabaz
53	2015-THG-P104	623129	4506937	Dasit

Tablo 2. (Devamı)

Numune Harita No	Numune Rumuz	y	x	Mikroskopta Petrografik Tanımlama
54	2015-THG-P105	622602	4507271	Andezit
55	2015-THG-P106	625457	4507503	Altere kayaç
56	2015-THG- P156	624581	4509015	Piroksenit
57	2015-THG- P157	624614	4507466	Piroksenit
58	2015-THG- P158	625483	4507517	Piroksenit
59	2015-THG- P159	624554	4509012	Granatfels
60	2015-THG- P160	625464	4507463	Granatfels
61	2015-THG- P161	624500	4506344	Granatfels
62	2015-THG- P162	625465	4507449	Epidotfels

Tablo 3. Petrografi ve jeokimyasal analizi yapılan örneklere ait bilgiler

Numune Harita No	Numune Rumuz	y	x	Mikroskopta Petrografik Tanımlama
1	19-TG.1	626349	4506413	Granodiyorit
2	19-TG.2	626640	4507220	Granodiyorit
3	19-TG.4	625742	4506813	Kuvarslı Diyorit
4	19-TG.5	625622	4506054	Tonalit
5	19-TG.6	625398	4506180	Tonalit
6	19-TG.7	625099	4506211	Kuvarslı Diyorit
7	19-TG.8	624749	4506257	Tonalit
8	19-TG.10	624324	4506479	Tonalit
9	19-TG.11	624327	4506833	Mermer
10	19-TG.12	625308	4507663	Diyorit Porfir
11	19-TG.13	624295	4508150	Mermer
12	19-TG.14	626172	4507773	Tonalit
13	19-TG.15	626064	4508008	Granodiyorit
14	19-TG.17	625834	4508368	Granodiyorit
15	19-TG.18	625583	4508597	Tonalit
16	19-TG.19	624863	4509300	Granodiyorit
17	19-TG.20	624609	4509310	Tonalit
18	19-TG.21	622475	4509995	Dasit

Tablo 4. Skarn jeokimyası için alınan örneklere ait bilgiler

Numune Harita No	Numune Rumuz	y	x
1	19-TG.3	626108	4506752
2	19-TG.9	624585	4506313
3	19-TG.16	625982	4508126
4	19-TG.22	624742	4506265
5	19-TG.41	624554	4509010
6	19-TG.42	624554	4509010
7	19-TG.29	624658	4506286
8	19-TG.39	624008	4508783
9	19-TG.40	624010	4508780
10	19-TG.47	623238	4508427
11	19-TG.51	626300	4508606
12	19-TG.24	624739	4506265
13	19-TG.25	624738	4506264
14	19-TG.44	624585	4509004

Tablo 5. Sıvı kapanım için alınan örneklere ait bilgiler

Numune Harita No	Numune Rumuz	y	x	Açıklama
1	19-TG.SK-4	625467	4507511	Piroksenit
2	2015-THG-SK-1	624554	4509012	Granat
3	2015-THG-SK-2	625464	4507463	Granat -Epidot
4	2015-THG-SK-3	625465	4507449	Epidot Fels

Tablo 6. XRD örneklerine ait bilgiler

Numune Harita No	Numune Rumuz	y	x
1	2015-THG- XRD151	624581	4509015
2	2015-THG- XRD152	624614	4507466
3	2015-THG- XRD153	625483	4507517
4	2015-THG- XRD154	624554	4509012
5	2015-THG- XRD155	625464	4507463
6	2015-THG- XRD156	624500	4506344
7	2015-THG- XRD157	625465	4507449

Tablo 7. SEM örneklerine ait bilgiler

Numune Harita No	Numune Rumuz	y	x
1	19-TG.27	624736	4506266
2	19-TG.28	624661	4506287
3	19-TG.43	624584	4509005
4	19-TG.50	626268	4508574
5	19-TG.52	626305	4508610
6	19-TG.53	626277	4508609

Tablo 8. Cevher parlatma çalışmalarında kullanılan örneklere ait bilgiler

Numune Harita No	Numune Rumuz	y	x	Numune Harita No	Numune Rumuz	y	x
1	19-TG.P19	624736	4506266	18	2014-THG-Par9	623116	4508355
2	19-TG.P20	623169	4508677	19	2014-THG-Par10	623120	4508340
3	19-TG.22	624742	4506265	20	2014-THG-Par11	623243	4508396
4	19-TG.23	624740	4506266	21	2014-THG-Par12	623228	4508438
5	19-TG.26	624735	4506265	22	2014-THG-Par13	623215	4508430
6	19-TG.30	625469	4507442	23	2014-THG-Par14	623164	4508690
7	19-TG.33	625480	4507495	24	2014-THG-Par15	623175	4508680
8	19-TG.34	625480	4507495	25	2014-THG-Par16	624006	4508779
9	19-TG.35	625467	4507503	26	2014-THG-Par17	623990	4508769
10	19-TG.36	625468	4507504	27	2014-THG-Par18	623380	4508760
11	19-TG.37	625464	4507505	28	2014-THG-Par19	623385	4508765
12	19-TG.38	624814	4507480	29	2014-THG-Par20	622750	4501444
13	19-TG.45	623169	4508677	30	2014-THG-Par21	624809	4506241
14	19-TG.49	624742	4506265	31	2014-THG-Par22	624758	4506260
15	2014-THG-Par5	626725	4508828	32	2014-THG-Par23	624741	4506265
16	2014-THG-Par7	623129	4508975	33	2014-THG-Par25	626659	4508632
17	2014-THG-Par8	623217	4508228	34	2014-THG-Par26	624833	4508752

Tablo 9. Cevher jeokimyasında kullanılan örneklere ait bilgiler

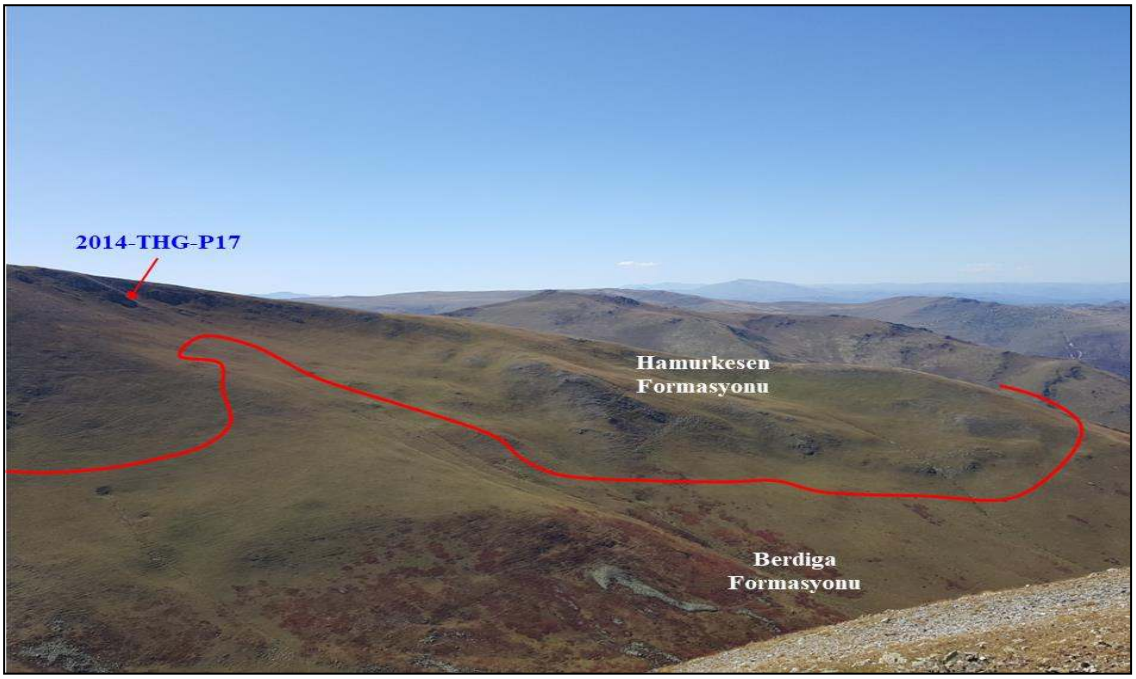
Numune Harita No	Numune Rumuz	Kısaltma Rumuz	y	x
1	19.TG.P14	TG.P14	624609	4509310
2	19.TG.P5	TG.P5	625622	4506054
3	19-TG.30	TG.30	625469	4507442
4	19-TG.38	TG.38	624814	4507480
5	19-TG.26	TG.26	624735	4506265
6	19-TG.24	TG.24	624070	4508845
7	19-TG.25	TG.25	623169	4508677
8	19-TG.36	TG.36	625468	4507504
9	19-TG.37	TG.37	625464	4507505
10	19-TG.48	TG.48	624070	4508845
11	19.TG.P10	TG.P10	624295	4508150
12	19.TG.P8	TG.P8	624327	4506833
13	19-TG.34	TG.34	625480	4507495

3.1.1. Hamurkesen Formasyonu

Sahada, en alt seviyede gözlenen volkano-sedimanter seri Hamurkesen Formasyonudur (Ağar, 1977). Çalışma alanının batı kesiminde gözlenmektedir. K-G uzanımlı yüzeylenimi bulunan bazik-andezitik volkanik kayalardan oluşmaktadır.

Genellikle kahverengimsi gri mor renkli andezit, bazalt ve piroklastlardan oluşan volkanitler içinde yer yer silttaşı ve kumtaşı ara katkıları bulunur. Granitoyidlerin etkildiği volkanitler parçalanmış ve şiddetli ayrışmaya uğramışlardır.

Çalışma alanında gözlenen birim içerisinde 3 adet yüzey örneğinden petrografi örneği alınmıştır. 2014-THG-P17 nolu örnek melaandezit olarak isimlendirilmiştir Şekil 9).



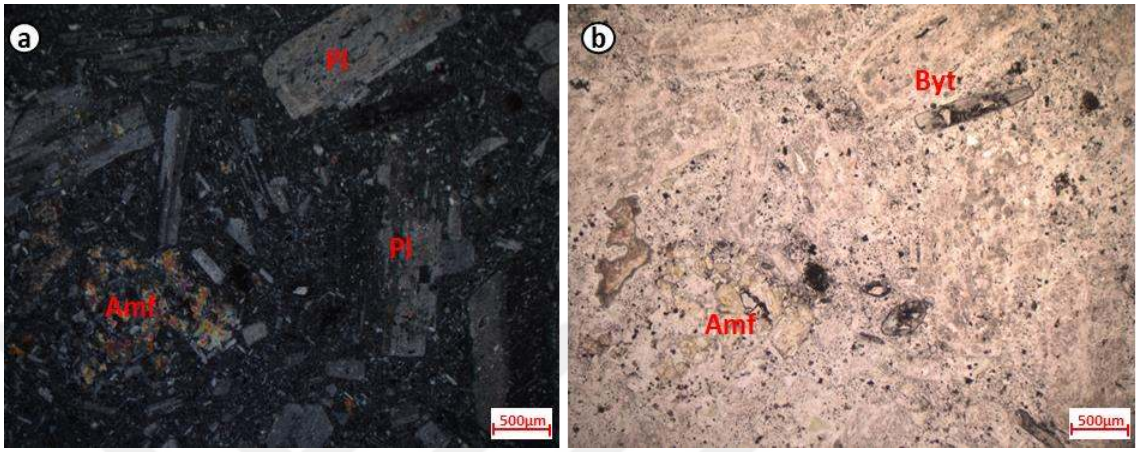
Şekil 9. Hamurkesen Formasyonundan bir görünüm (x:4508403, y:623766 doğudan batıya bakış)

Makroskobik olarak kahverengimsi gri renkli, ince taneli masif görünümlü porfiritik dokuya sahiptir. Örnekte yer yer fenokristaller kümelenmiş olup glemeroporfirik dokuludur. Plajiyoklas, amfibol fenokristalleri ve hamur ana bileşenleri oluşturmaktadır. Plajiyoklaslar orta taneli yarı özşekilli, killeşmiş epidotlaşmıştır. Kuvars orta taneli korrede olmuştur. Amfiboller küçük taneli, yarı özşekilli, tamamen altere olmuş, dış kısımlar opaklaşmış, iç kısımlar epidotlaşmış az karbonatlaşmıştır. Hamur kuvars mikrokristalleri, plajiyoklas mikrolitleri ile ince taneli opak minerallerden oluşmuştur. Tali bileşenler opak mineraller olup küçük taneli özşekilsiz olarak gözlenmektedir. Örnekte alterasyonlar orta derecede, killeşme, epidotlaşma, karbonatlaşma ve az opaklaşma şeklindedir.

2014-THG-P16 nolu örnek altere piroklastik kayaç olarak isimlendirilmiştir. Makroskobik olarak açık yeşilimsi gri renkli ince taneli masif dokulu olarak gözlenmektedir. Mikroskobik olarak vitroklastik dokuya sahiptir. Plajiyoklaslar, amfibol, kayaç parçaları ve hamur ana bileşenleri oluşturmaktadır. Plajiyoklas küçük taneli, yarı özşekilli, özşekilsiz, kırıklı parçalar halinde az epidotlaşmış olarak gözlenmektedir. Amfiboller küçük taneli, yarı öz şekilli ve öz şekilsiz olarak gözlenmektedir. Kayaç parçaları orta tane boyunda, yarı yuvarlak şekilli, volkanik kayaç türündedir. Hamur ince taneli yoğun kloritleşmiş, killeşmiş, epidotlaşmış, silisleşmiş olup kalıntı olarak volkan camı şekilleri içermektedir. Tali bileşenleri opak mineraller olup küçük taneli ve özşekilsizdirler. İleri derecede alterasyona uğramış kloritleşme, epidotlaşma ve silisleşme hakim alterasyondur.

Hamurkesen Formasyonu'ndan alınan 2015-THG-P105 nolu örnek andezit olarak isimlendirilmiştir. Kayaç makroskobik olarak açık gri renkli, ince taneli porfiritik dokulu olarak gözlenmektedir. Mikroskobik incelemelere göre porfirik dokulu olup ana bileşen fenokristaller plajiyoklas, amfibol mineralleri ve az oranda piroksen minerallerinden oluşmaktadır (Şekil 10). Plajiyoklaslar küçük -orta taneli, ksenomorfik-hipidiyomorfik, prizmatik yassı levhamsı şekilli, yaygın killeşme, serizitleşme izlenmekte olup homojen bir dağılım sergilemektedir. Amfibol mineralleri küçük orta az oranda iri taneli, hipidiyomorfik az oranda ksenomorfik, altıgen formlara yakın şekilli kenarları ve çatlakları boyunca değişen oranlarda opaklaşmalar izlenmekte, açık sarıdan zeytin yeşiline değişen pleokroizma izlenmekte ve hetorojen bir dağılım göstermektedir. Piroksen mineralleri küçük orta taneli, ksenomorfik az oranda hipidiyomorfik, sekizgen formlara yakın şekilli, büyük ölçekte karbonatlaşmış ve heterojen bir dağılım göstermektedirler. Hamur ise tanesel dokulu, plajiyoklas, amfibol ve piroksen minerallerinden oluşmakta olup yaygın olarak killeşme, serizitleşme,

karbonatlaşma ve opaklaşma izlenmektedir. Tali bileşen olan opak mineraller az oranda küçük taneli, ksenomorfik ve heterojen dağılım sunmaktadır. Örnekte süreksizlik olarak boşluklar yer almaktadır. Boşluklar az oranda küçük tane boylarında, düzensiz şekilli, orta kısımları silis minerallerince dolguludur. Hamur kısmında izlenen boşlukların etrafında sarımsı kahve renkli opak boyamalar izlenmektedir.



Şekil 10. Hamurkesen Formasyonuna ait andezit mikroskobik görünüm (a) 2015-THG-P105 nolu örnek çift nikol, (b) 2015-THG-P105 nolu örnek tek nikol (Pl: Plajiyoklas, Amf: amfibol, Byt: biyotit)

Göksel Cu-Fe sahasında yapılan sondajlardan da petrografik incelemeler için örnekler alınmıştır. Sahada yapılan sondajlardan 17-THG-2 nolu sondajın 145,20. metresinden alınan 17-THG-2/145,20.P (volkanik kumtaşı) nolu örnek, 17-THG-10 nolu sondajın 224,40. metresinden alınan 17-THG-10/225.P (volkanik kumtaşı) nolu örnek, 17-THG-10 nolu sondajın 246,10. metresinden alınan 17-THG-10/247.P (çakıllı kumtaşı) nolu örnek, 19-THG-4 nolu sondajın 251. metresinden alınan 19-THG-4/251.P (bazalt) nolu örnek Hamurkesen Formasyonu'na ait litolojiler olarak değerlendirilmiştir.

17-THG-2/145,20.P ve 17-THG-10/225.P nolu örnekler volkanik kumtaşı olarak isimlendirilmiştir. Kayaç (karot) örnekleri makroskobik olarak açık kahverengimsi gri renkli, ince taneli, kırıntılı dokulu olarak gözlenmektedir. Mikroskobik olarak kırıntılı dokuya sahip kuvars, plajiyoklas, serizit, klorit grubu mineraller ve opak mineraller ana bileşenleri oluşturmaktadır. Kuvarslar küçük taneli, allatriyomorf, plajiyoklas küçük orta taneli, hipidiyomorf ve tanesel, serizit ince taneli, klorit grubu mineraller ince taneli, opak mineraller küçük taneli allotriyomorf olarak gözlenmektedir. Tane boyu 0,02 mm-0,6 mm aralığında bağlayıcısı serizit, iyi boylanmalı, yuvarlak- yarı yuvarlak olup homejen dağılım sergilemektedir. Serizitleşme ve kloritleşme alterasyonuna sahip olup düşük derecelidir. Örneklerde ince taneli kuvars, serizit ve kilden oluşan matriks içerisinde çok ince kum, kum tanelerinin köşeleri yuvarlaklaşmış, bazıları kemirilmiştir.

17-THG-10/247.P nolu örnek çakıllı kumtaşı olarak isimlendirilmiştir. Kayaç (karot) örnekleri makroskobik olarak açık yeşilimsi gri renkli, ince-orta-iri taneli, kırıntılı dokulu olarak gözlenmektedir. Mikroskobik olarak kırıntılı dokuya sahip kuvars, plajiyoklas, alkali feldispat, kayaç parçası ve opak mineraller ana bileşenleri oluşturmaktadır. Kuvars küçük-orta-iri taneli, allotriyomorf, plajiyoklas küçük-orta taneli, hipidiyomorf, allotriyomorf, alkali feldispat küçük-orta-iri taneli, allotriyomorf, kayaç parçası orta-iri taneli, opak mineraller küçük taneli, idiyomorf, hipidiyomorf, allotriyomorf olarak gözlenmektedir. Örnekte kuvars, alkali feldispat, plajiyoklas ve kayaç parçaları bazı kısımlarında birbiriyle dokanak şeklinde bazı kısımlarında ise silis ile çimentolanmış olarak izlenmektedir. Kayacın genel dokusu kırıntılıdır. Bileşenlerin tane boyu ölçülmüş ve kuvars taneleri kum-kaba kum boyutunda (0.36 mm ile 0.92 mm arasında), plajiyoklaslar kaba kum-çok kaba kum boyutunda (0,52 mm ile 1,08 mm arasında), kayaç parçaları çok kaba kum, ince çakıl boyutunda (1,6 mm ile 2,4 mm ve daha iri), çört taneleri ise çok kaba kum boyutunda (1 mm ile 1,6 mm arasında) tespit edilmiştir. Kayaç parçalarının daha iri boyutta olanları da mevcuttur. Bunlar ile birlikte ışınsal ve radyal gelişmiş silisleşmeler, opak mineraller izlenmiştir. Kayaç parçaları volkanik kökenlidir. Çakıl boyutu kayaç parçalarının oranı dikkate alınarak örnek çakıllı kumtaşı olarak adlandırılmıştır.

19-THG-4/251.P nolu örnek bazalt olarak isimlendirilmiştir. Kayaç (karot) örneği makroskobik olarak koyu gri renkli, ince-orta-iri taneli, masif dokulu olarak gözlenmektedir. Mikroskobik olarak intergranüler dokuya sahip, plajiyoklas ve piroksen ana bileşenleri opak mineraller ise tali bileşenleri oluşturmaktadır. Plajiyoklas orta-iri taneli, yarı özşekilli, homojen dağılımlı, piroksenler orta taneli, öz-yarı özşekilli ve homojen dağılım göstermektedir. Tali bileşenler olarak opak mineraller ince-orta taneli, özşekilsiz, homojen dağılımlı, hamur mikrolitik olup, örnekte ucu açık kılcal çatlak süreksizlikleri izlenmektedir. Hafif bir yönlenme gözlenen örnekte eser miktarda piroksen mikrokristal olarak izlenmektedir. Kayaç plajiyoklas mineralleri arasındaki ince taneli piroksen ve opak minerallerinden oluşmakta olup yer yer opak kapanımlarca boyanmıştır.

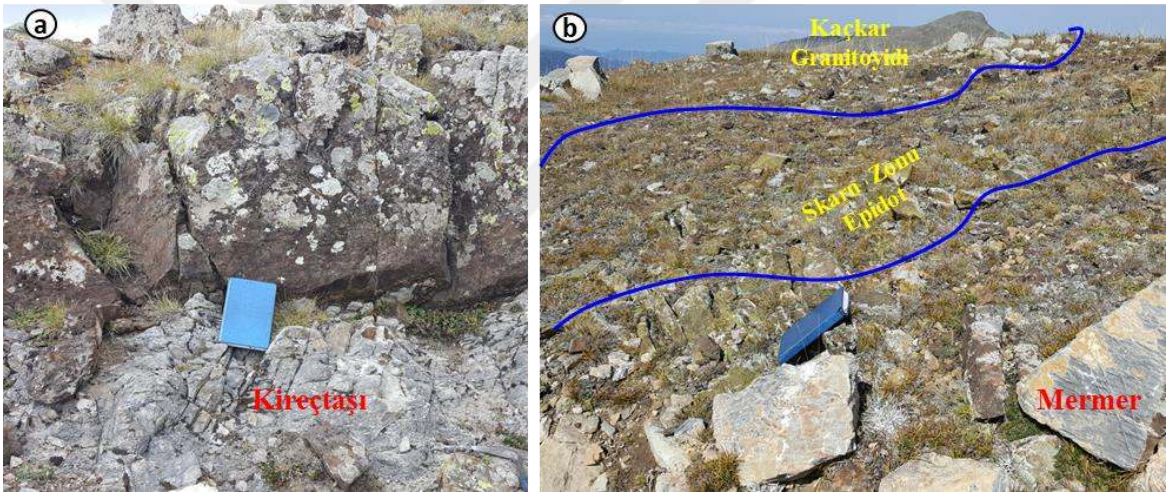
Sahada yapılan sondajlarda Hamurkesen Formasyonuna ait birimler içerisinde alınan karot örneklerinde cevher mineralleri olarak kromit, manyetit, pirotin, pirit ve makinavit gözlenmiştir. Kromitler özşekilsizdir. Manyetitler de öz şekilsiz olup bazılarının içerisinde kromit tespit edilmiştir.

3.1.2. Berdiga Formasyonu

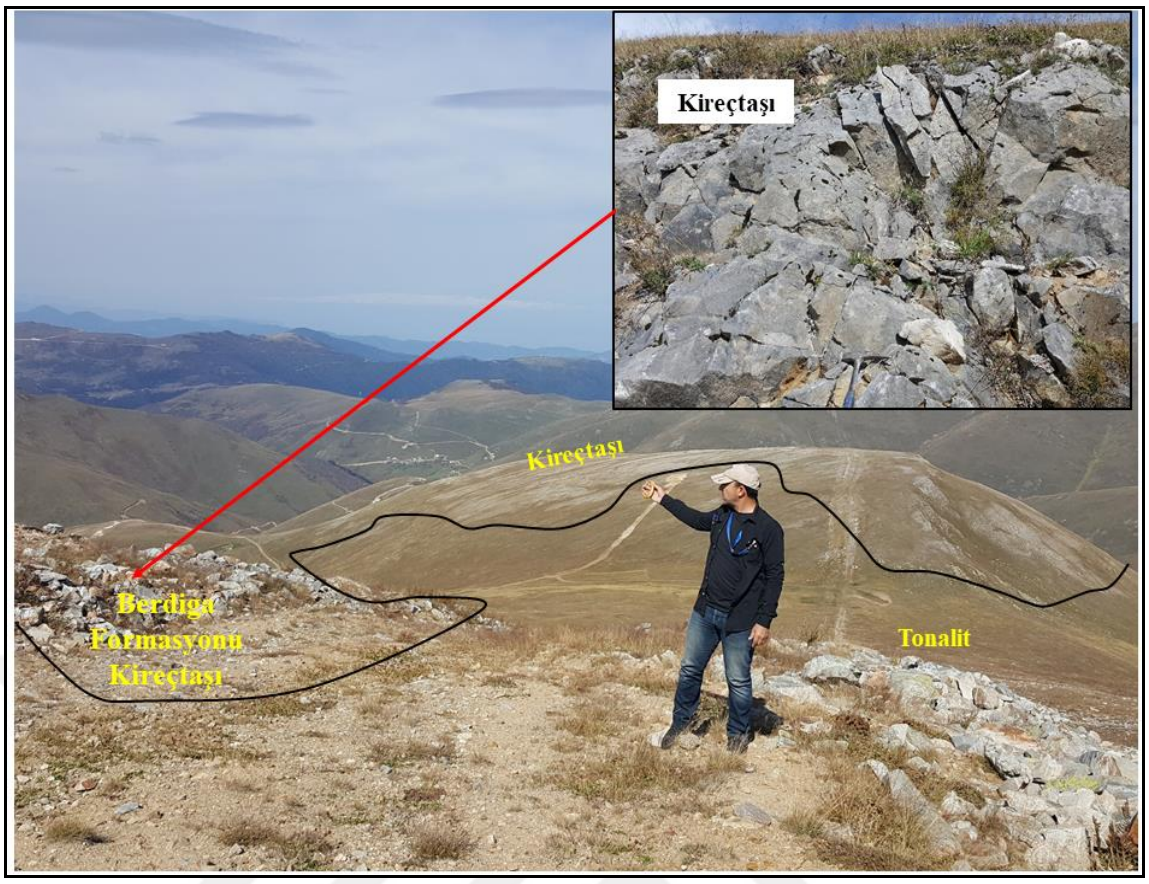
İnceleme alanındaki volkanik kayalarla granitoyidler arasında yer alan neritik karbonatlar Berdiga Formasyonu olarak değerlendirilmiştir. Pelin (1977) tarafından tanımlanan bu formasyon ismini Berdiga Dağı'ndan (Alucra güneyi) almıştır. Granitoyidler ve volkanitler arasında yüzeylenimi bulunan kireçtaşları şiddetli kontakt metamorfizmaya uğramıştır.

Çalışma alanı olan Göksel Cu-Fe cevherleşme sahasında, Dumangöz Mahallesi civarı ve güneyinde, Göksel Mahallesi'nin kuzeyinde, Sematata Tepesi'nde, Salabi Tepesi'nin kuzeybatısında ve Beyazsu Tepe'nin batısında geniş bir alanda yüzlek vermektedir (Şekil 11-12). Sahada yapılan sondajların çoğu Berdiga Formasyonu'na ait kireçtaşları içerisinde yapılmıştır.

Genellikle gri renkli, masif yapılı olan kireçtaşlarında tabakalanma yer yer ince – orta tabakalı ve üst kısımlara doğru orta tabakalı özellik göstermektedir.

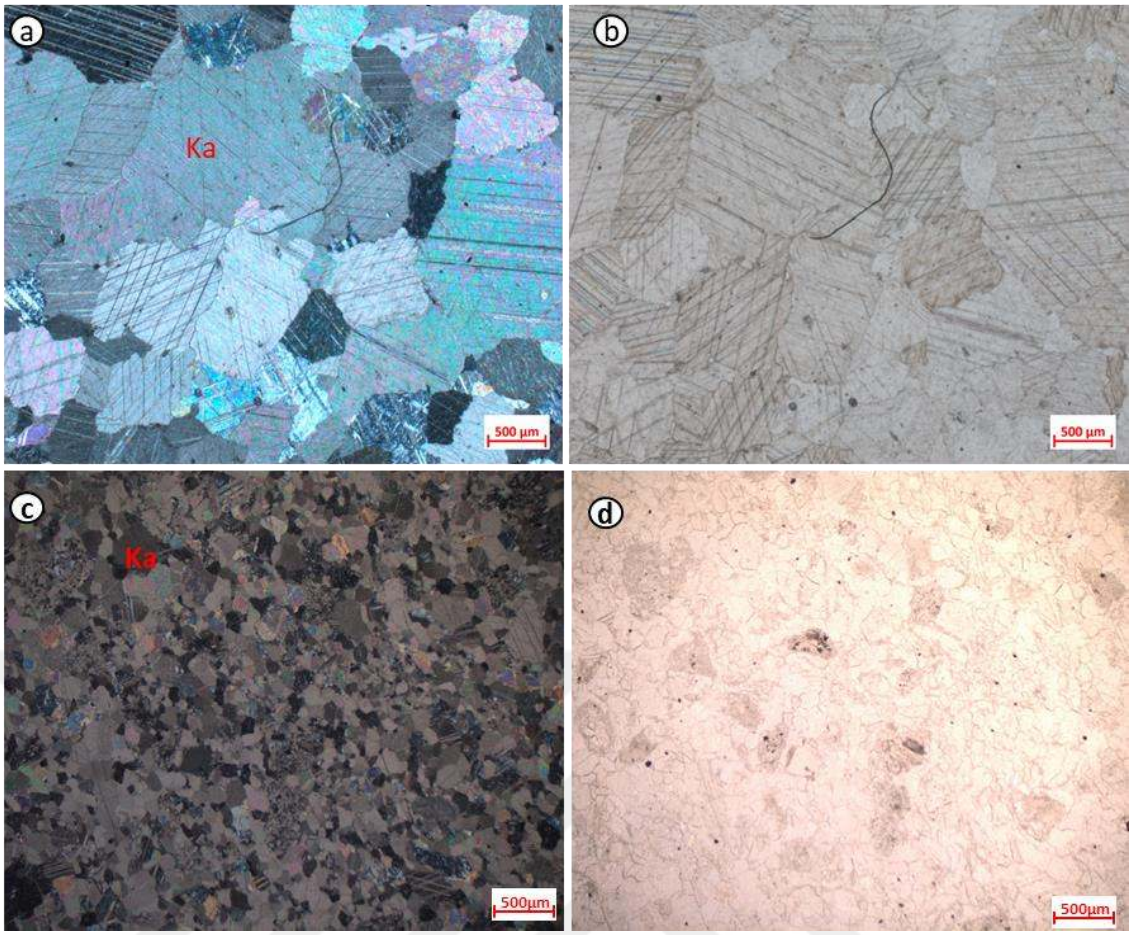


Şekil 11. Berdiga Formasyonu'na ait tabakalı kireçtaşları ve formasyon sınırından görünüm ((a) x:4508551, y:623655, (b) x: 4508400, y: 623766)



Şekil 12. Berdiga Formasyonu sınırlarının araziden bir görünümü

Birim, genellikle beyazımsı gri ve grimsi renkli olup yer yer yeniden kristallenmiş veya mermere dönüşmüştür. Orta taneli, granoblastik dokulu olarak gelişmiş kayacın bileşiminin hemen hemen tamamı, yer yer basınç ikizlenmelerinin gözlendiği karbonat minerallerinden oluşmaktadır. Bunun yanında az oranda yarı öz şekilli kuvars kristali içermektedir (Şekil 13a-b). Kaçkar Granitoyidi'nden daha uzakta yer alan yine de metamorfizmadan etkilenmiş daha küçük kristalli, mermerin de granoblastik dokuya sahip oldukları ve kalsit kristallerinden meydana geldiği belirlenmiştir (Şekil 13c-d). Kalsitler rombohedrik dilinimlere ve polisentetik ikizlere sahiptir. Yüksek girişim rengi inci grisi pembe tonlar arasıdır. Tane kenarları düzensiz girinti çıkıntılar halindedir.

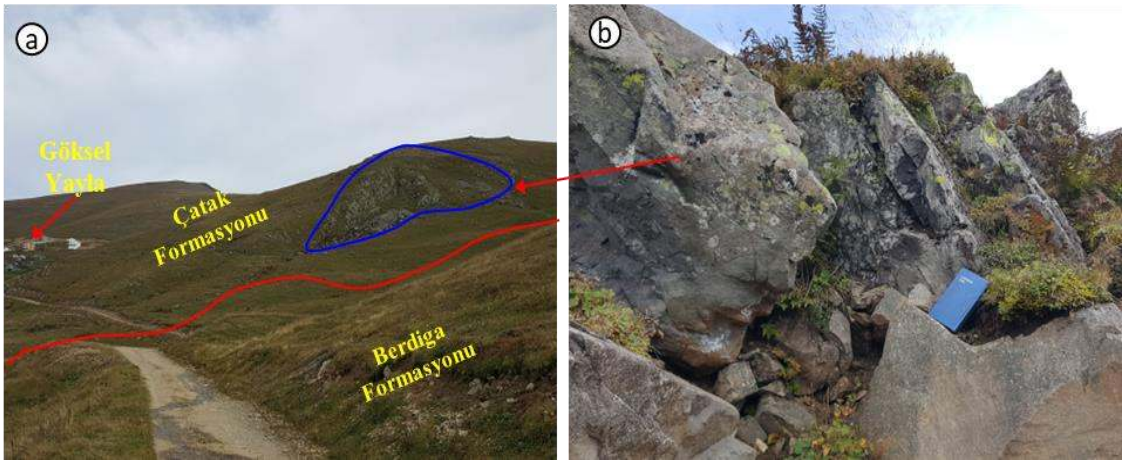


Şekil 13. Berdiga Formasyonu'na ait mermerlerden görünüm (a) 19.TG.P10 nolu örnek çift nikol, (b) 19.TG.P10 nolu örnek tek nikol görünümleri, (c) daha küçük kristalli mermer 19.TG.P8 nolu örnek çift nikol, (d) 19.TG.P8 nolu örnek tek nikol görünümleri (Ka:kalsit)

Kesin yaş verebilecek fosil bulunamayan kireçtaşlarının, Geç Jura- Erken Kretase kireçtaşlarına benzerlikleri, Turoniyen-Santoniyen yaşlı Çatak Formasyonunun tabanında izlenmeleri nedeniyle Geç Jura-Erken Kretase kireçtaşı horizonuna karşılık gelebileceği düşünüldüğünden Geç Jura-Erken Kretase yaşında olduğu kabul edilmiştir (Keskin vd., 1991; Korkmaz, 1993; Gürsoy vd., 1993; Güven, 1993, 1998; Akdeniz vd., 1994; Okay ve Şahintürk, 1997; Kurt vd., 2006).

3.1.2. Çatak Formasyonu

Çalışma alanında Berdiga Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelen bazik özellik sunan volkano-sedimanter seri Çatak Formasyonu olarak isimlendirilmiştir (Güven, 1990). Doğu Pontidlerin Kuzey Zonu'nda çok geniş alanlarda görülmektedir. Birim çoğunlukla inceleme alanının kuzey kesiminde yaygındır. Çalışma alanında sahanın kuzey-kuzeydoğusunda, Güneyce Yayla yolu üzerinde, Sarıçiçek Tepe ve Kukultaş Tepe civarında yüzlek vermektedir (Şekil 14).



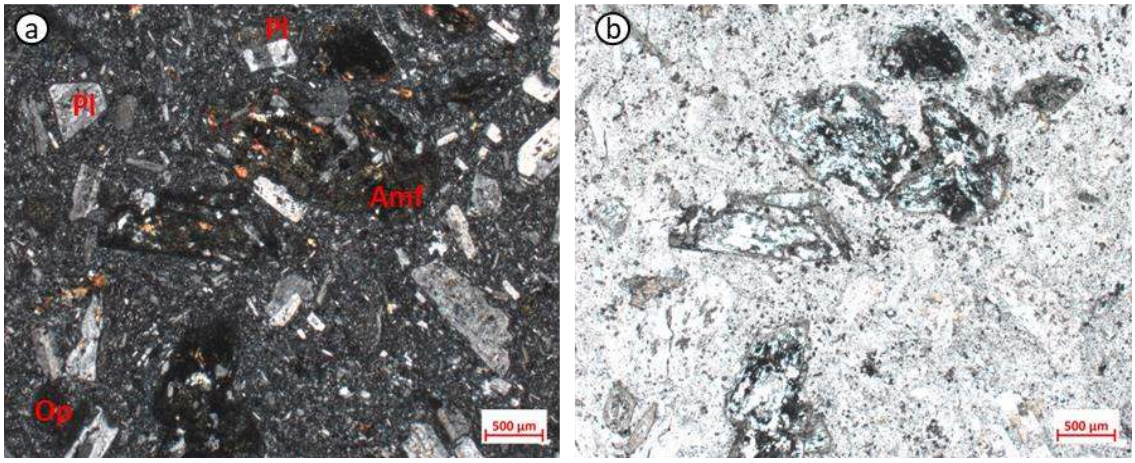
Şekil 14. Çatak Formasyonu'na ait andezitlerden görünüm (x: 4510789, y: 623460 Güneyce Yayla yolu)

Başlıca bazalt, andezit ve piroklastları ile kumtaşı, silttaşı, marn, şeyl ve kırmızı-bordo renkli killi kireçtaşı tabaka veya seviyelerinin ardalanmasından oluşan Çatak Formasyonu bazik özellikte volkano-tortul istiftir. Formasyonda bazaltlar siyah, yeşil-koyu yeşil renklerde, çoğunlukla masif görünümlü, gaz boşluklu amigdoloidal, intersertal ve yer yer ofitik dokuludur.

Çalışma alanında formasyona ait birimden yüzeyden 4 adet petrografi örneği alınmıştır. Bunlardan 19-TG-P16 ve 19-TG-P17 rumuzlu örnek andezit olarak adlandırılmıştır (Şekil 15).

Şekil 15. Çatak Formasyonu'ndan alınan örneklerin makroskobik görünümleri

Kayaç örnekleri makroskobik olarak koyu gri-yeşilimsi gri olarak gözlenmektedir. Hipokristalen porfirik dokulu kayaç, volkan camından oluşan hamur içinde dağılım gösteren fenokristallerden oluşmaktadır. Fenokristal bileşiminin büyük bölümü, seriate dokulu gelişmiş, irili-ufaklı, yarı özşekilli, prizmatik plajiyoklas kristallerinden oluşmaktadır. Plajiyoklaslarda zonlu doku belirgin olup killeşme yoğundur. Mafik bileşenleri, kayacın ~ % 20 sını kapsamakta olup irili – ufaklı, yeşilimsi- kahve renkli yarı özşekilli amfibolden oluşmaktadır. Genel olarak amfibollerde kloritleşme ve epidotlaşma belirgin şekilde izlenmektedir. Kayaç genelinde; bir miktar ince taneli, yarı özşekilli opak mineral kristalleri saçınımlı olarak gözlenmektedir (Şekil 16).



Şekil 16. Andezit örneğinin tek ve çift nikol görünümleri (a) çift nikol, (b) tek nikol (Pl: Plajiyoklas, Amf : amfibol, Op: opak mineral)

2015-THG-P06 nolu örnek andezit olarak isimlendirilmiştir. Kayaç örneği makroskobik olarak açık gri renkli, çok ince taneli, masif dokulu olarak gözlenmektedir. Mikroskobik olarak porfirik dokuya sahip, amfibol, plajiyoklas ve mafik mineral psödomorfları ana bileşen fenokristallerini oluşturmaktadır. Opak mineraller ise tali bileşenlerini alt zemin ise hamurdan oluşturmaktadır. Amfibol mineralleri orta-az oranda küçük taneli, ksenomorfik-hipidiyomorfik, altıgen formlara yakın şekilli, kenarları boyunca değişen oranlarda opaklaşma, az oranda karbonatlaşma (çatlaklar boyunca), epidotlaşma, bazılarında basınç ikizleri izlenmekte ve homojen dağılım sergilemektedir. Plajiyoklas mineralleri küçük taneli, hipidiyomorfik, prizmatik-yassı levhamsı, değişen oranlarda killeşme, zonlu doku izlenmekte ve hetorojen dağılım göstermektedir. Mafik mineraller psödomorfları (piroksen?) küçük orta taneli, ksenomorfik- çok az oranda hipidiyomorfik, sekizgen formlara yakın şekilli, büyük ölçüde karbonatlaşma, daha az oranda epidotlaşma ve uralitleşme izlenmekte olup heterojen dağılım sunmaktadır. Hamur tanesel dokulu, plajiyoklas, amfibol ve piroksen minerallerin mikrolitlerinden oluşmakta, yaygın olarak killeşme, serizitleşme, opaklaşma, az oranda karbonatlaşma izlenmektedir. Opak mineraller ise çok küçük taneli, ksenomorfik dokulu homojen dağılım sunmaktadır.

2015-THG-P05 nolu örnek kumtaşı olarak isimlendirilmiştir. Kayaç örneği makroskobik olarak orta gri renkli, çok ince taneli, masif dokulu olarak gözlenmektedir. Mikroskobik olarak kırıntılı dokuya sahip, detritik taneler ana bileşenleri olusturmaktadır. Detritik taneler mineral parçaları (feldispat grubu mineraller, amfibol grubu mineraller, opaklaşmış mafik mineral psödomorfları, karbonat, opak mineraller), kayaç parçaları (olası andezitik bileşimli) ve az oranda fosil kavkı parçalarından oluşmaktadır. Mineral parçaları küçük-orta taneli, ksenomorfik-hipidiyomorfik, yassı

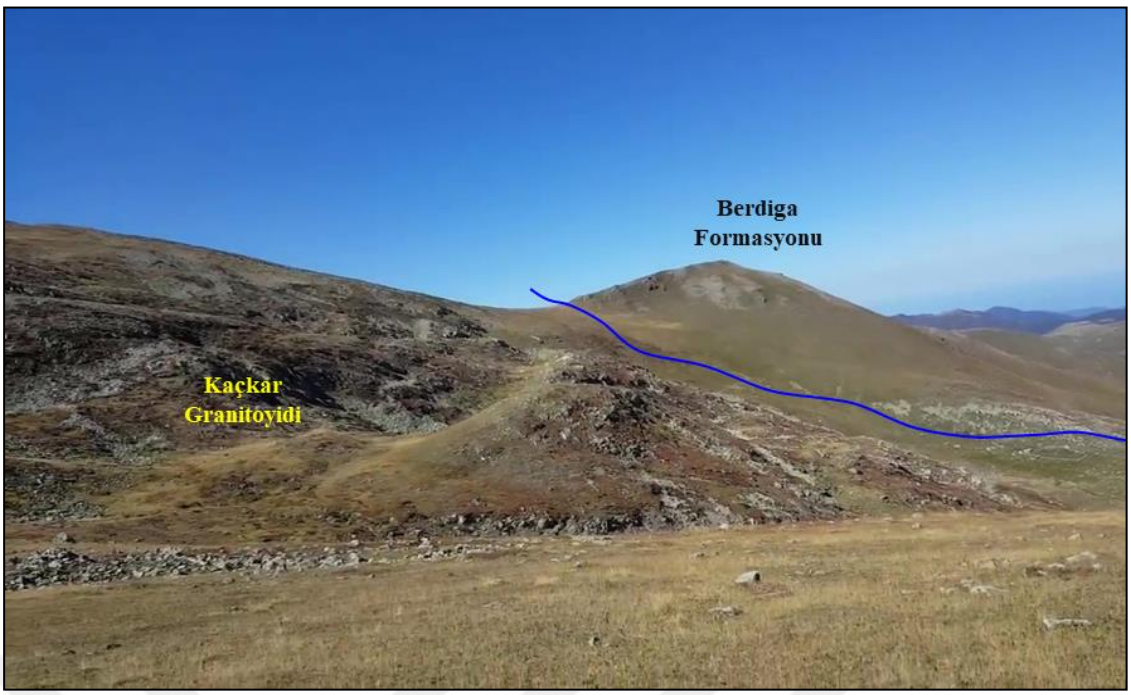
levhamsı formlara yakın şekilli (feldspat grubu mineraller), altıgen formlara yakın şekilli (amfibol), levhamsı formlara yakın (biyotit) şekillidir. Feldspat grubu minerallerde yoğun killeşme, serizitleşme, az oranda epidot, klorit ve karbonatlaşma, amfibol minerallerinin kenarları boyunca opaklaşma, mafik mineral psödomorflarında yoğun opaklaşma alterasyonları izlenmekte, feldspat, amfibol ve opak minerallerin dağılımı homojen, karbonat ve mafik mineral psödomorflarının dağılımı heterojendir. Kayaç parçaları orta tane boylarında, fenokristal (feldspat ve amfibol) ve hamur (olası feldspat ve kuvars minerallerinden oluşan tanesel dokulu) kısmından oluşan volkanik kayaç parçaları izlenmekte olup, kayaç parçalarının mineralojik ve dokusal olarak andezitik bileşimli olduğu düşünülmektedir. Fosil kavkıları küçük-orta-iri taneli, bazıları tamamiyle mikritleşmiş olup, bazıları ise kavkıları mikritleşmiş, orta kısımları kumtaşını oluşturan mineral, kayaç parçaları ve matriks ile dolgulanmış ve heterojen dağılım sunmaktadır. Matriks yer yer tane destekli, yer yer de kırıntılar arasında az oranda bağlayıcı malzeme izlenmekte olup, bağlayıcı malzeme yer yer karbonat, yer yer opak, yer yer de olası serizit-kil(?) minerallerinden oluşmakta, matriks kısmı tane destekli alanların izlenmesi nedeniyle heterojen dağılım sunmaktadır.

Çatak Formasyonu çalışma alanı ve yakın çevresinde tektonik hareketliliklere bağlı olarak parçalanan ve aktivite kazanmış olan karbonat platformu üzerine uyumlu olarak çökelmiştir. Formasyonun yaşı Turoniyen-Santoniyen olarak değerlendirilmiştir (Kurt vd., 2006).

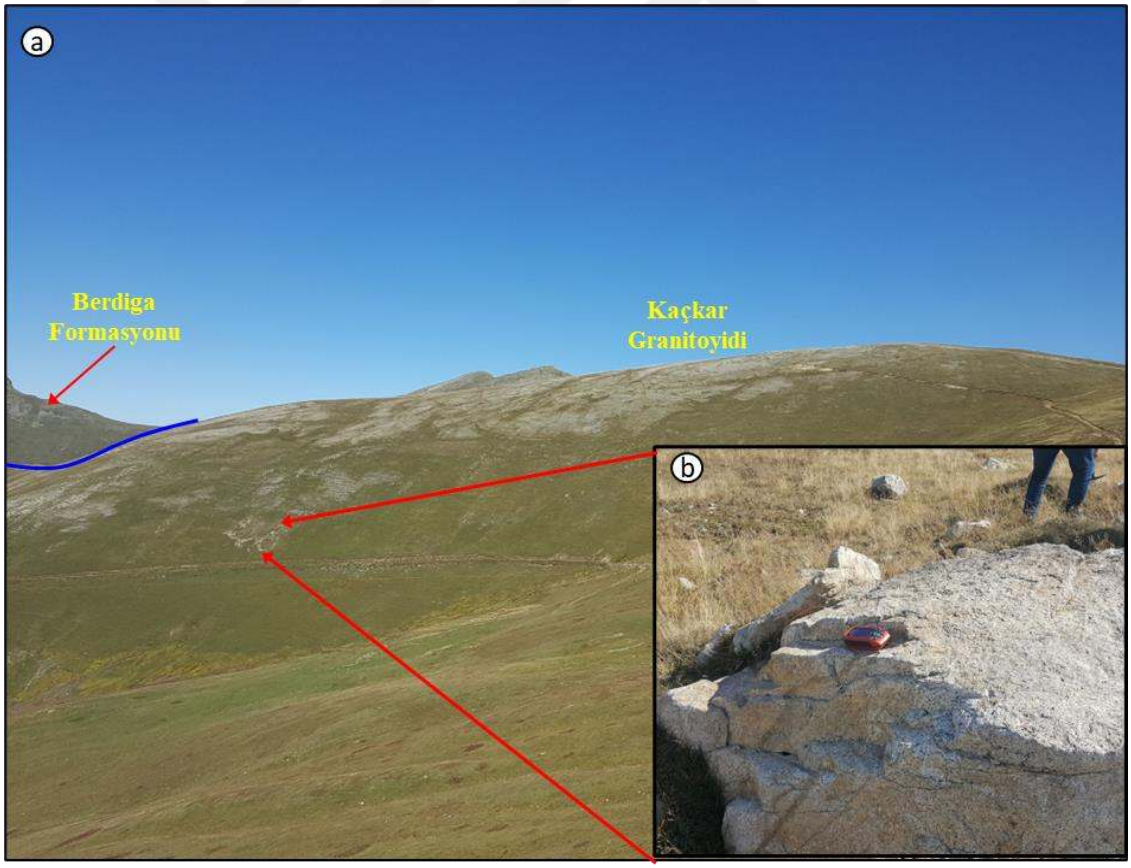
3.1.3. Kaçkar Granotoyidi

Çalışma bölgesinde geniş alanda yüzeylenen granitoyidlerden oluşan birimin en yoğun olduğu alanlar çalışma alanının güney kesimleridir. Büyük ölçüde Geç Kretase yaşlı birimlerin içine sokulum yapan ve granitten gabroya kadar geniş bir litolojik değişim gösteren intrüzif kompleks, yaşa bakılmaksızın Kaçkar Granitoyidi olarak değerlendirilmiştir (Güven, 1993).

Göksel Cu-Fe skarn sahasında Semerata Tepenin güneyinde, Şalabi Tepe, Sarıçiçek Yayla, Corca Tepe güneyi, Göksel Mahallesi batısı ve Kukultaş Tepe güneybatısında yüzlek vermektedir (Şekil 17-18).



Şekil 17. Kaçkar Granitoyidi genel görünüm (x:4508595, y: 625580 koordinatından kuzeybatıya bakış)



Şekil 18. Kaçkar Granitoyidi genel görünüm ((a) x:4506054, y: 625622 koordinatından kuzeye bakış (b) tonalit yakından görünüm)

Çalışma sahasında Kaçkar Granitoyidi'nden petrografik tanımlamaları yapılabilinmesi için yüzeyden 21 adet ve yapılan sondajlardan ise 4 adet örnek alınmış ve incelenmiştir (Şekil 19).

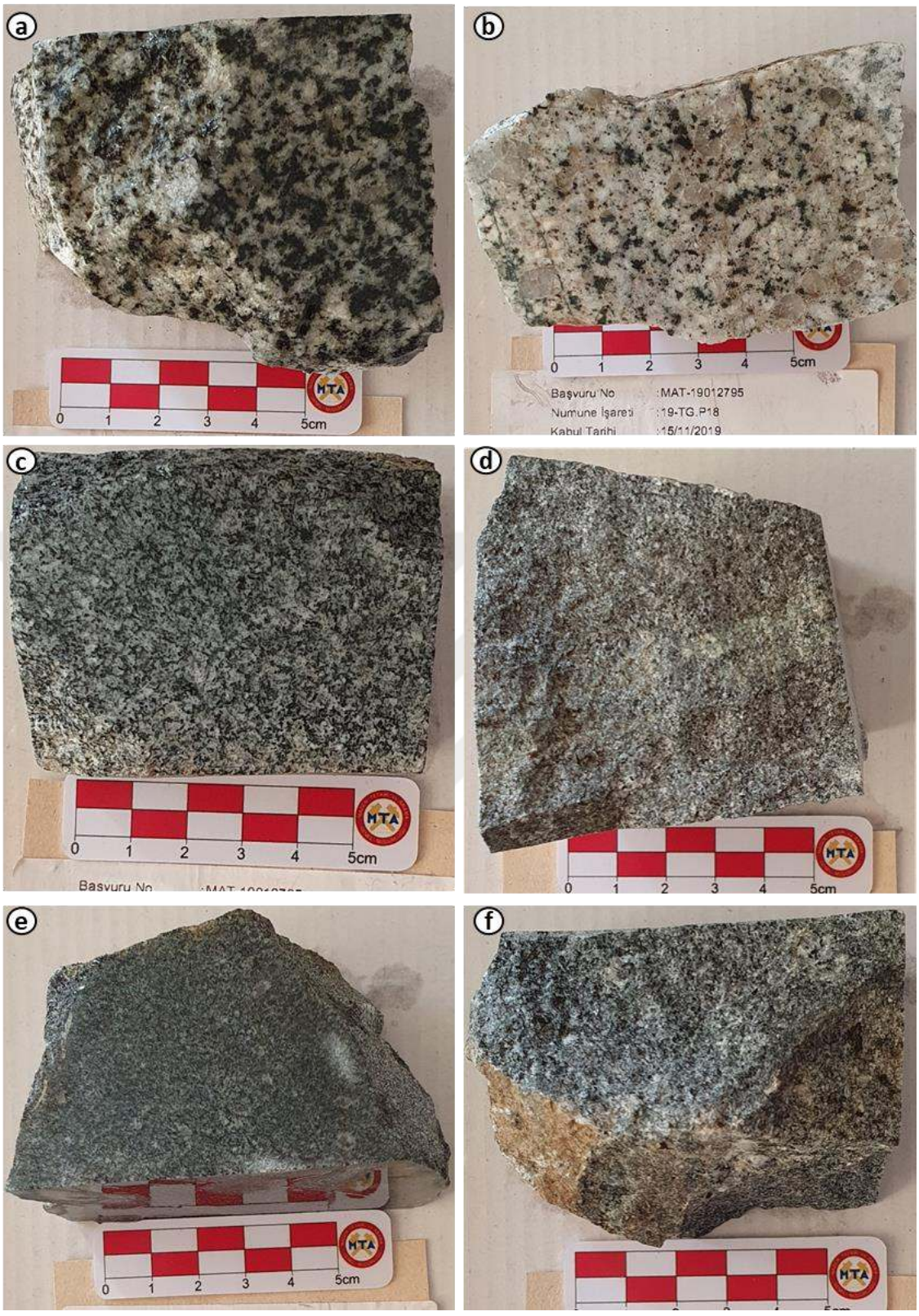
Şekil 19. Kaçkar Granitoyidi yüzey örneklemelerinden görünümler (a) x:4506810, y: 625740, (b) x: 4506211, y: 625099, (c) ve (d) x: 4506825, y: 625750)

Tonalit: Kaçkar Granotoyidi kapsamında değerlendirilen tonalit örnekleri iri kristalli ve ince kristalli olmak üzere iki farklı şekilde gözlenmektedir. İri kristalli tonalitler kayacın merkezinden, daha ince kristalli tonalitler ise kenar kısmından alınmıştır. Alınan örneklerin makroskobik görünümleri Şekil 20a-b-c-d-e-f'de verilmiştir.

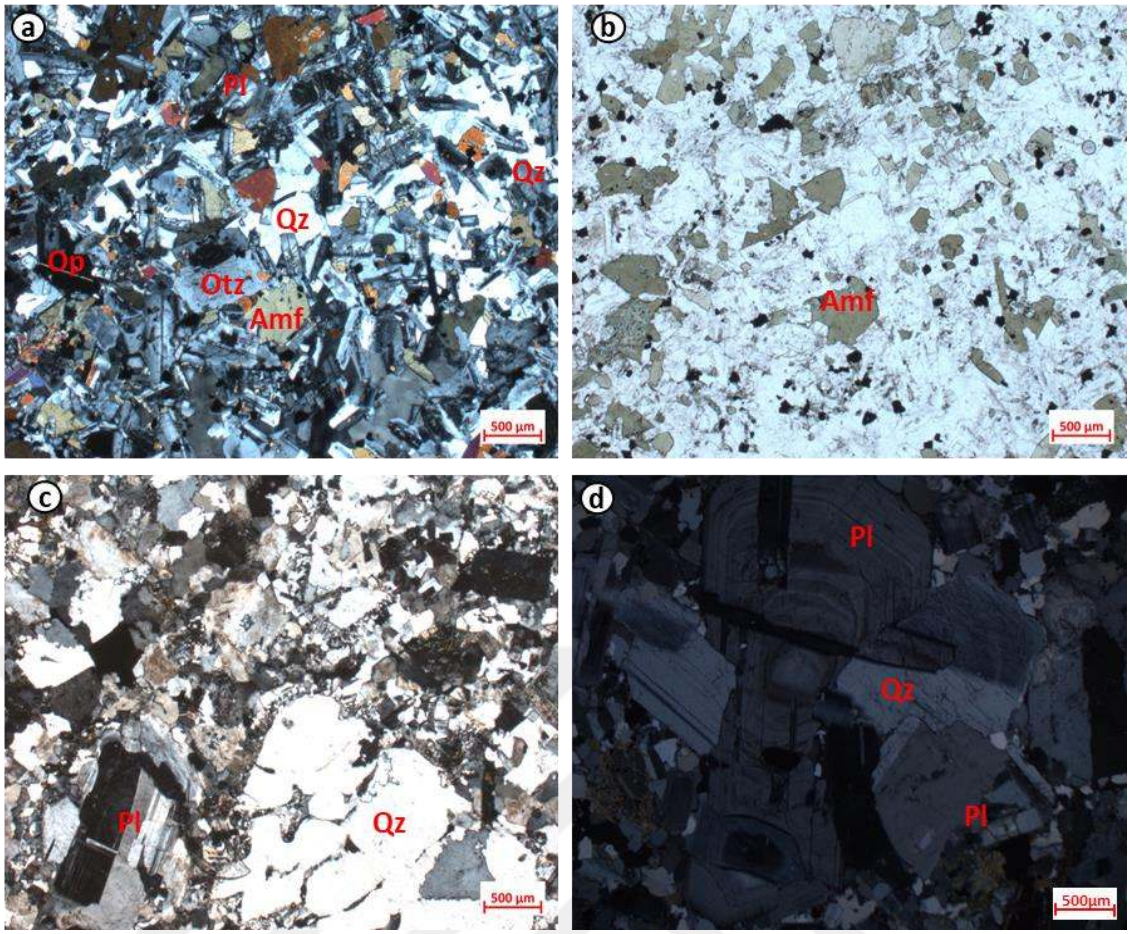
İri kristalli tonalitler orta taneli holokristalen tanesel dokuludur. Kayacın ana bileşimi; plajiyoklas ve kuvars kristalleri oluşturmaktadır. Plajiyoklas kristalleri orta – iri taneli, yarı özşekilli kristaller şeklinde gözlenmektedir (Şekil 21 a-b-c-d). Genellikle zonlu dokulu olarak gözlenmekte olup uygun yüzeyli örneklerde; plajiyoklaslarda Micheal Levy yöntemiyle sönme açısı cins tayini yapılmıştır. Ölçümlere göre iri kristalli plajiyoklaslarda yapılan cins tayini ile labrador (An_{52-59}) daha küçük kristalli plajioklazlarda andezin (An_{38-48}) ve oligoklaz (An_{25-29}) olduğu belirlenmiştir. Killeşme

ve serisitleşme feldispatlar da olağan gözlenen bozunma tipleridir. Dalgalı sönmeli gözlenen kuvars kristalleri iri taneli yuvarlağımsı kristaller ve irili – ufaklı özşekilsiz kristaller olmak üzere iki formda izlenmektedir. İri taneli kuvars formlarında poikilitik doku olağandır. Ayrıca yer yer ortoklas ve kuvars kristalleri sınırından itibaren mirmekitik doku gelişimi izlenmektedir. Kayacın mafik mineral içeriğini; yoğunlukla irili ufaklı, yarı özşekilli – özşekilli amfibol kristalleri oluşturmaktadır. Kahverengi – yeşil renklerinde gözlenmekte olan amfiboller genel olarak 20-30^{o} arası sönme açısına sahiptir. Amfibollerde kloritleşme olağandır. Az oranda, ince taneli, yarı özşekilli kahverenkli biyotit içermektedir. Biyotitler yer yer opasitleşmiştir. Kayaç içinde ince taneli, kırık-çatlaklarında itibaren uralitleşmiş kalıntı şeklinde gözlenen klinopiroksen kritalleri gözlenmektedir. Renksiz, soluk yeşilimsi renklerde gözlenen klinopiroksenler ~40^{o} sönme açısına sahiptir. Kayaç içinde tali olarak; çok ince taneli, yarı özşekilli, prizmatik apatit ve zirkon kristalleri gözlenmektedir. Kayaç genelinde; ince taneli, yarı özşekilli opak mineral kristalleri %2-3 oranında, saçınımlı olarak gözlenmektedir (Şekil 21 a-b).

Kayaçların daha çok dış kenarından alınan ince kristalli tonalitler ince taneli, holokristalen tanesel dokulu kayacın ana bileşimini; plajiyoklas ve kuvars mineralleri oluşturmaktadır (Şekil 20 c-d-e-f). Plajiyoklas kristalleri; ince-uzun prizmatik kristaller halindedir. Yer yer zonlu dokunun gözlendiği plajiyoklaslarda uygun yüzeyli örneklerde; Micheal Levy yöntemiyle sönme açısına göre oligoklaz – andezin bileşimleri tespit edilmiştir. Orta taneli kuvars mineralleri özşekilsiz ve dalgalı sönmelidir. Plajiyoklaslarda killeşme ve epidotlaşma belirgindir. Kayacın mafik bileşenleri yaklaşık olarak % 50 oranında gözlenmektedir. İrili – ufaklı, yarı özşekilli – özşekillli amfibol kristalleri yeşil renkli olarak gözlenir ve yaklaşık 20-30^{o} sönme açısına sahiptir. Bunun yanında az oranda kahverenkli biyotit ve uralitleşmiş klinopiroksen gözlenmektedir. Kayaç genelinde mafik minerallerde kloritleşme ve epidotlaşma belirgindir. Tali olarak; ince taneli, yarı özşekilli titanit ve çok ince taneli, yarı özşekilli-prizmatik apatit içermektedir. Kayaç genelinde; ince taneli, yarı özşekilli opak mineral kristalleri %2-3 oranında, saçınımlı olarak gözlenmektedir.



Şekil 20. Tonalit örneklerine ait makroskobik görünümler (a) 19-TG-P14, (b) 19-TG-P18, (c) 19-TG-P5, (d) 19-TG-P7, (e) 19-TG-P11 ve (f) 19-TG-P13 nolu örnekler

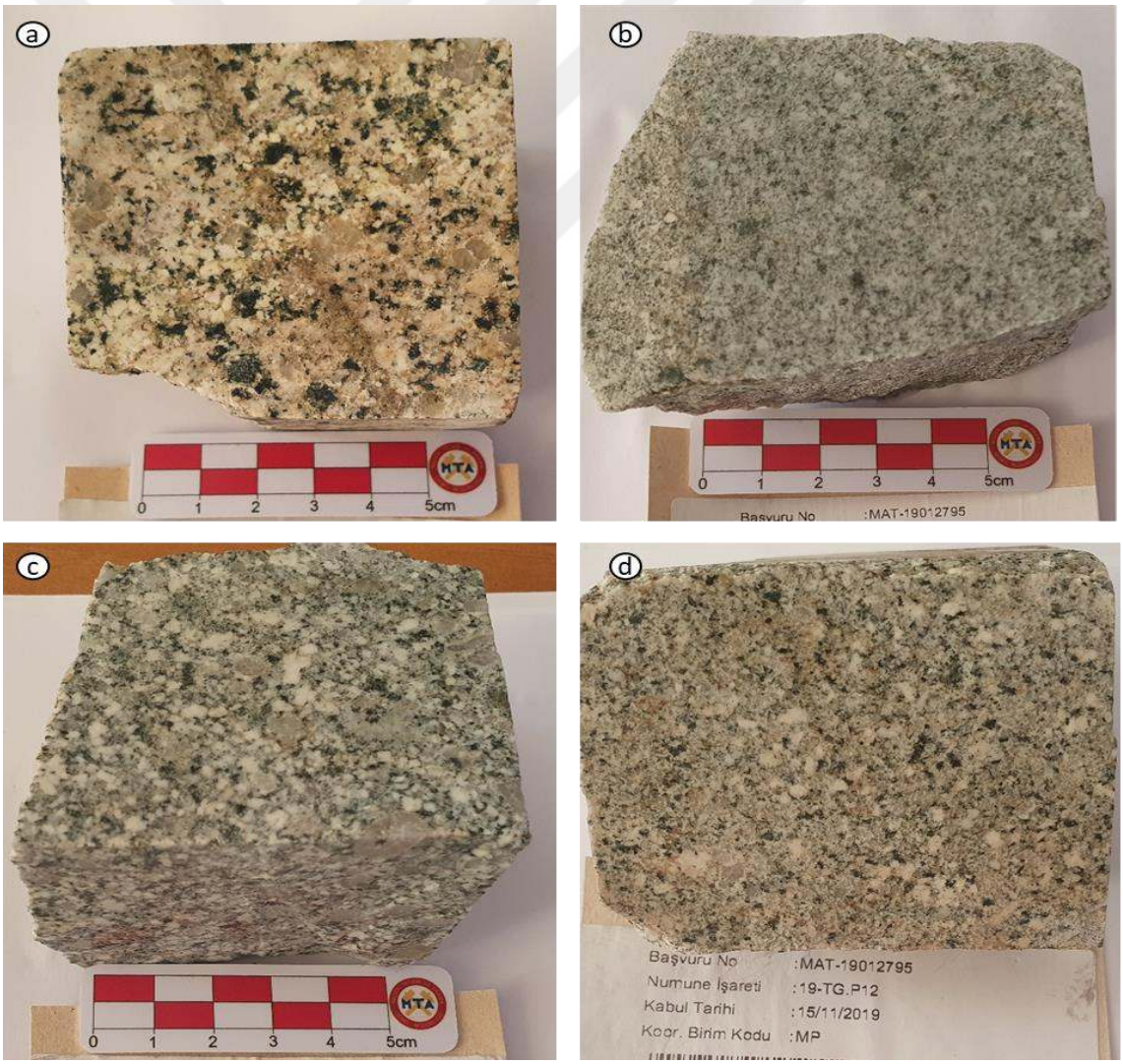


Şekil 21. Tonalitin mikroskoptaki görünümleri (a) 19.TG.P5 nolu örnek çift nikol, (b) 19.TG.P5 nolu örnek tek nikol, (c) 19.TG.P5 nolu örnek çift nikol, (d) 19.TG.P1 nolu örnek plajiyoklasladaki zonlu yapı çift nikol (Pl: Plajiyoklas, Amf : amfibol, Otz: ortoklaz, Op: opak mineral)

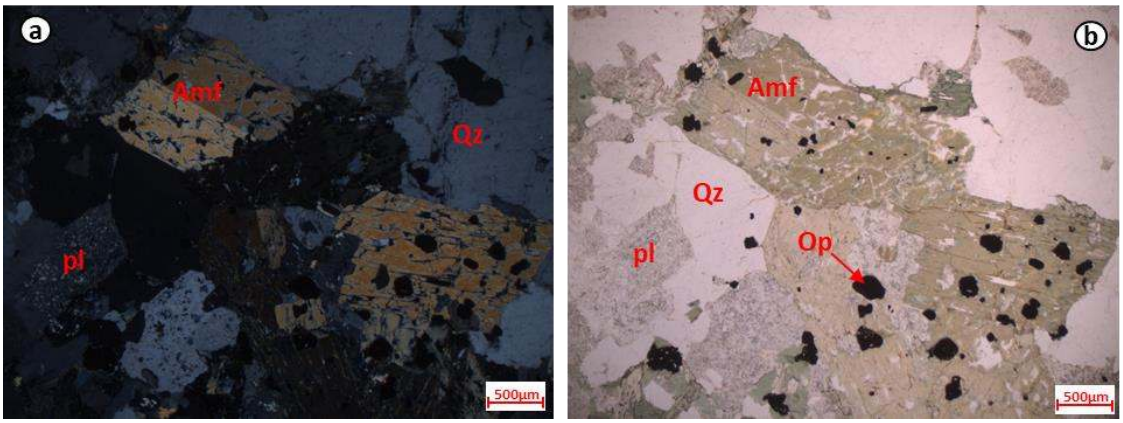
Tonalit Porfir: 2014-THG-P10 nolu örnek tonalit porfir olarak isimlendirilmiştir. Kayaç örneği makroskobik olarak açık gri renkli, ince taneli, masif dokulu olarak gözlenmektedir. Mikroskobik olarak holokristalin porfirik dokuya sahip, plajiyoklas, kuvars ve amfibol ana bileşenleri opak mineraller ise tali bileşenleri oluşturmaktadır. Plajiyoklas küçük-orta tane boyunda, yarı özşekilli, killeşmiş, serizitleşmiş, epidotlaşmış fenokristaller halinde, kuvars orta tane boyunda özşekilsiz, amfibol küçük taneli, yarı özşekilli, bazı taneler kloritleşmiş, biyotit küçük taneli yarı özşekilli, yaygın kloritleşmiş, opak mineral küçük taneli, yarı öz şekilli sfen küçük taneli, yarı özşekilli olarak gözlenmiştir. Örnekte plajiyoklas ve kuvars mineralleri fenokristaller halinde ya da kuvars içerisinde nispeten daha küçük taneli plajiyoklas ve amfibol mineralleri kapanım olarak (poiklitik doku) izlenmektedir.

Granodiyorit: Makroskobik olarak kahverengi, gri ve yeşilimsi gri olarak gözlenmektedir (Şekil 22 a-b-c-d). Holokristalen tanesel dokulu, orta taneli kayacın ana bileşimini plajiyoklas, kuvars ve az oranda ortoklaz kristalleri oluşturmaktadır.

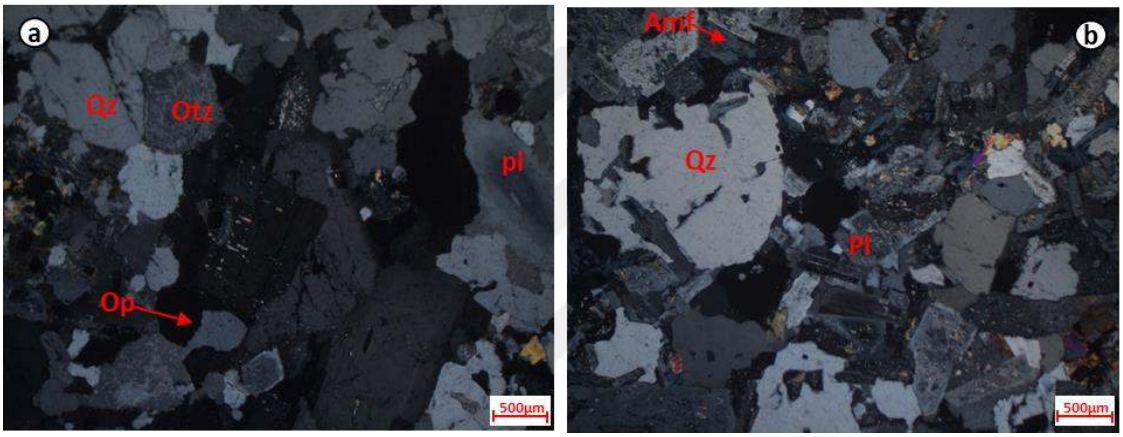
Plajiyoklas kristalleri orta taneli ve yarı özşekilli prizmatik kristaller halindedir. Zonlu dokunun yaygın olduğu plajiyoklaslarda; zonlu doku göstermeyen, uygun yüzeyli örneklerde; Micheal Levy yöntemiyle sönme açısına göre labrador (An_{57-59}) ve andezin ($An_{30,5-32}$) bileşimleri tespit edilmiştir. Kaya az oranda, özşekilsiz ortoklaz içermektedir. Ortoklaslardan itibaren yoğun killeşme ve plajiyoklaslarda epidotlaşma gözlenmektedir. Dalgalı sönmeli olarak gözlenen kuvarslar özşekilsiz, irili-ufaklı kristaller halindedir. Amfibol türü mafik mineraller kayacın ~ %20 sini oluşturmaktadır. İrili-ufaklı, yarı özşekilli - özşekilli (altıgen) gözlenen amfibol mineralleri yer yer yoğun şekilde kloritleşmiş ve epidotlaşmıştır. Tali olarak; ince taneli, yarı özşekilli titanit, az oranda allanit ve çok ince taneli, yarı özşekilli-prizmatik apatit ve zirkon içermektedir. Kayaç genelinde; ince taneli, yarı özşekilli-özşekilli (kübik) opak mineral kristalleri %2-3 oranında, saçınımlı olarak gözlenmektedir (Şekil 23-24-25).



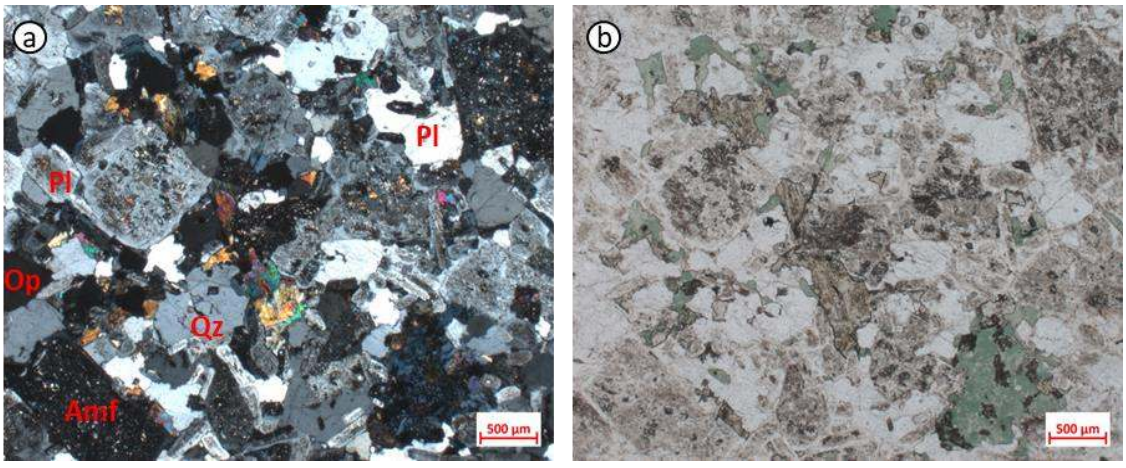
Şekil 22. Granodiyorit örneklerinin makroskobik görünüm (a) 19-TG-P1, (b) 19-TG-P2, (c) 19-TG-P4 ve (d) 19-TG-P12 nolu örnekler



Şekil 23. Granodiyoritin mikroskoptaki görünümleri (a) 19.TG.P1 nolu örnek amfibollerin çift nikol görünümü, (b) 19.TG.P1 nolu örnek tek nikol, (Pl: Plajiyoklas, Qz: Kuvars, Amf: amfibol, Op: opak mineral)



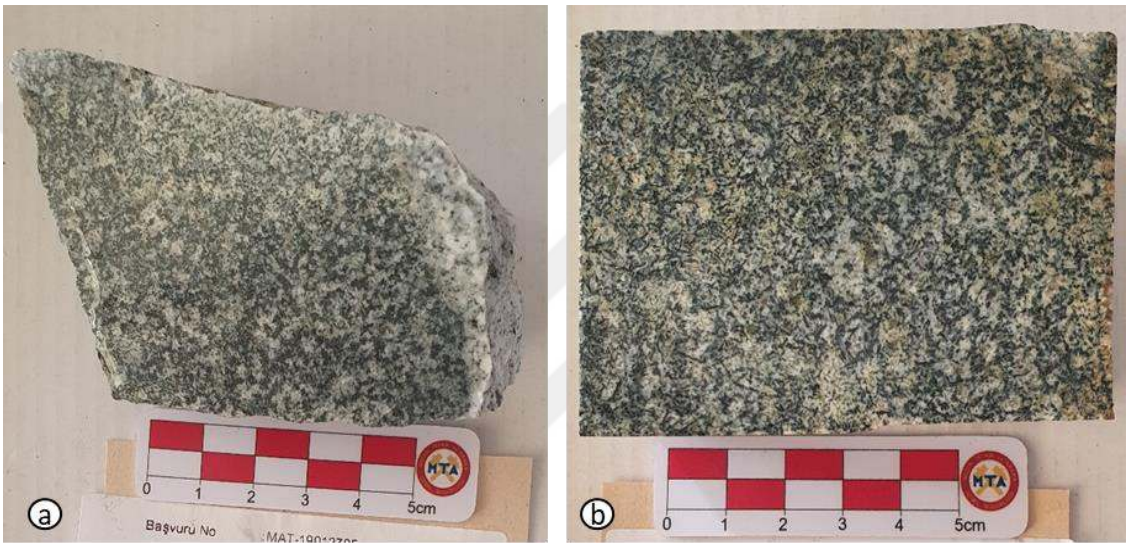
Şekil 24. Granodiyoritin mikroskoptaki görünümleri (a) 19.TG.P1 nolu örnek çift nikol görünümü, (b) 19.TG.P4 nolu örnek çift nikol, (Pl: Plajiyoklas, Qz: Kuvars, Amf: amfibol, Otz: Ortoklaz, Op: opak mineral)



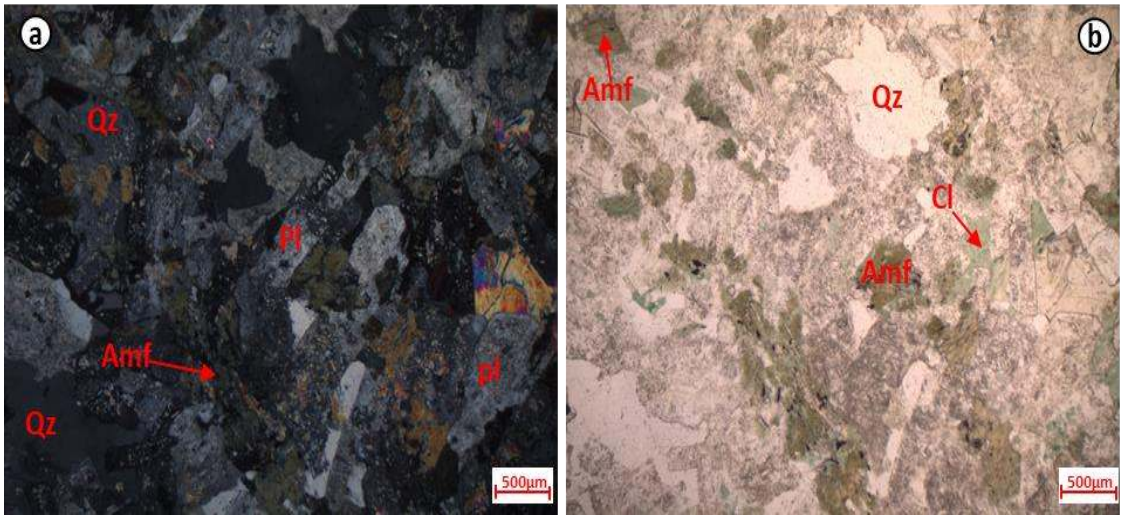
Şekil 25. Granodiyoritin mikroskoptaki görünümleri (a) çift nikol, (b) tek nikol, (Pl: Plajiyoklas, Qz: Kuvars, Amf: amfibol, Op: opak mineral)

Kuvarslı Diyorit: Makroskobik olarak yeşilimsi gri renkli olarak gözlenmektedir (Şekil 26 a-b). Holokristalen tanesel dokulu, ince taneli kayacın ana bileşimini; ince

taneli, plajiyoklas kristalleri oluşturmaktadır. Yarı özşekilli-prizmatik plajiyoklaslarda zonlu doku yaygındır. Küçük taneli plajiyoklaslardan yapılan söneme açısı tayini ile paljiyoklazların cinsinin andezin (An_{36}) olduğu belirlenmiştir. Yoğun killeşme ve kısmen serisitleşme plajiyoklaslarda olağandır. Amfibol türü mafik mineral kristalleri kayacın bileşiminin ~ % 50 sini oluşturmaktadır. Amfiboller ince taneli, yarı özşekilli – özşekilli (altıgen), yeşil renkli gözlenmekte olup yoğun epidotlaşmış, kloritleşmiş ve uralitleşmiştir. Kayaç içinde az oranda gözlenen kuvarslar özşekilsiz ve dalgalı sönmelidir. Kayaç genelinde; ince taneli, yarı özşekilli opak mineral kristalleri %1-2 oranında, saçınımlı olarak gözlenmektedir (Şekil 27a-b).



Şekil 26. Kuvarslı diyorit örneklerinin makroskobik görünüm (a) 19-TG-P3, (b) 19-TG-P6 nolu örnekler



Şekil 27. Kuvarslı diyorit örneklerinin mikroskobik görünümü (a) 19-TG-P6 çift nikol, (b) 19-TG-P6 nolu örnek tek nikol görünüm

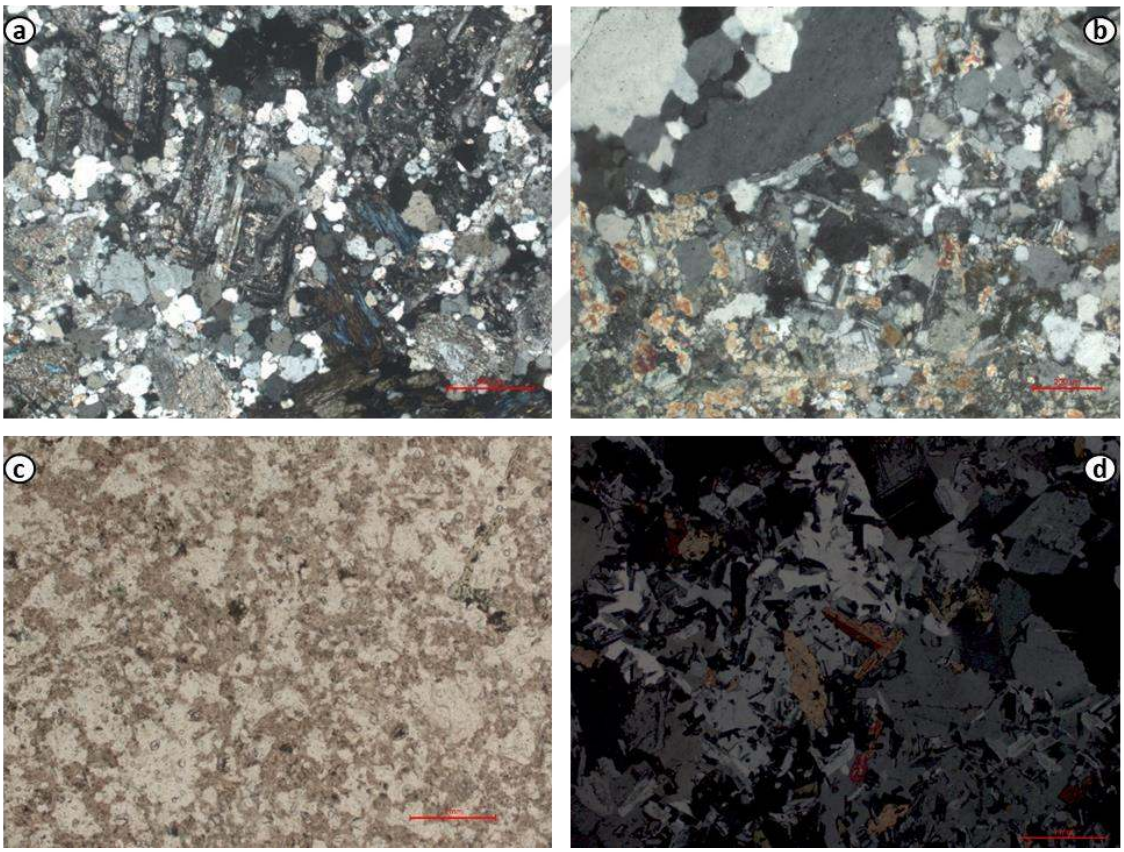
Granit/Granit porfir/Mikrogranit/Granodiyorit porfir: Yüzeyde gözlenmemekte ve Kaçkar Granitoyidi'ne ait ve sondajlardan alınan örnekler 17-THG-9/107.P (sondajın 107. metresinden alınmıştır, 18-THG-13A/240.P (240. metreden), 17-THG-6/8.P (8. metreden) ve 17-THG-4/180.P (180. metreden) nolu alınan örnekler sırasıyla granit, granit porfir, mikrogranit ve granodiyorit porfir olarak isimlendirilmiştir (Şekil 28). Granit örneği (karot) makroskobik olarak çok açık gri renkli, orta-iri taneli, tanesel dokulu olarak gözlenmektedir. Mikroskobik olarak hipidiyomorf tanesel dokuya sahiptir. Plajiyoklas, kuvars, amfibol grubu mineraller, klorit mineralleri, epidot mineralleri ana bileşenleri, tali mineral olarak opak mineraller, titanit mineralleri ve apatit mineraller gözlenmiştir (Şekil 28a). Plajiyoklas mineralleri orta-iri-küçük taneli, hipidiyomorf prizmatik şekilli kristaller halinde, alkali feldspat mineralleri orta taneli, allotriyomorf kristaller halinde, kuvars mineralleri orta-iri taneli, allotriyomorf kristaller halinde amfibol grubu mineraller orta-küçük taneli hipidiyomorf-idiyomorf prizmatik altıgen şekilli kristaller halinde, klorit mineralleri orta taneli hipidiyomorf levhamsı-yapraksı şekilli kristaller halinde, epidot grubu mineraller orta-küçük taneli allotriyomorf- hipidiyomorf kristaller halinde gözlenmektedir. Plajiyoklas minerallerinde killeşme ve epidotlaşma görülür. Klorit mineralleri olası biyotit minerallerinin alterasyonu neticesinde oluşum sunarlar.

Granitporfir örneği (karot) makroskobik olarak çok açık yeşilimsi gri renkli, orta-ince taneli, masif-porfirik dokulu olarak gözlenmektedir. Mikroskobik olarak holokristalin porfirik dokuya sahiptir. Ana bileşen fenokristalleri plajiyoklas, kuvars minerallerinden tali bileşenler ise opak minerallerden oluşmaktadır (Şekil 28b). Plajiyoklas mineralleri orta taneli hipidiyomorf prizmatik şekilli kristaller halinde, kuvars mineralleri orta taneli, allotriyomorf kristaller halinde, opak mimeraller küçük taneler gözlenmektedir. Holokristalin hamur plajiyoklas mikroklin, kuvars minerallerinden oluşmaktadır. Örnekte feldspat grubu mineraller kısmen killeşmiş, karbonatlaşmış durumdadır. Olası dinamik deformasyon etkilerine bağlı olarak yer yer kırılma-parçalanmalar dikkati çekmektedir.

Mikrogranit örneği (karot) makroskobik olarak çok açık gri renkli, ince taneli, masif dokulu olarak gözlenmektedir. Mikroskobik olarak holokristalin tanesel dokuya sahiptir. Ana bileşen fenokristalleri kuvars, plajiyoklas, alkali feldspat, klorit minerallerinden tali bileşenler ise opak minerallerden oluşmaktadır (Şekil 28c). Kuvars küçük-orta taneli, allotriyomorf, plajiyoklas küçük-orta taneli, hipidiyomorf, allotriyomorf, alkali feldispat küçük taneli, allotriyomorf, klorit mineralleri küçük taneli, allotriyomorf olarak gözlenmektedir. Mineraller homojen bir dağılım

sunmaktadır. Serizitleşme, kloritleşme ve killeşme olarak düşük derecede alterasyon izlenmektedir.

Granidiyorit porfir örneği (karot) makroskobik olarak sarımsı yeşil renkli, ince taneli, masif dokulu olarak gözlenmektedir. Mikroskobik olarak porfirik dokuya sahiptir. Ana bileşenler fenokristalleri kuvars, plajiyoklas, alkali feldspat, amfibol grubu mineral, klorit, epidot minerallerinden tali bileşenler ise opak minerallerden oluşmaktadır (Şekil 28d). Örnekte genel olarak damar dokusu izlenmektedir. Kuvars, felspat ve amfibol minerallerinden oluşan tanesel dokulu hamur içerisinde plajiyoklas ve kuvars fenokristalleri izlenmektedir. Alkali feldspat miktarı kuvars ve plajiyoklasa nazaran daha az orandadır. Amfibol yoğun olarak izlenmektedir.

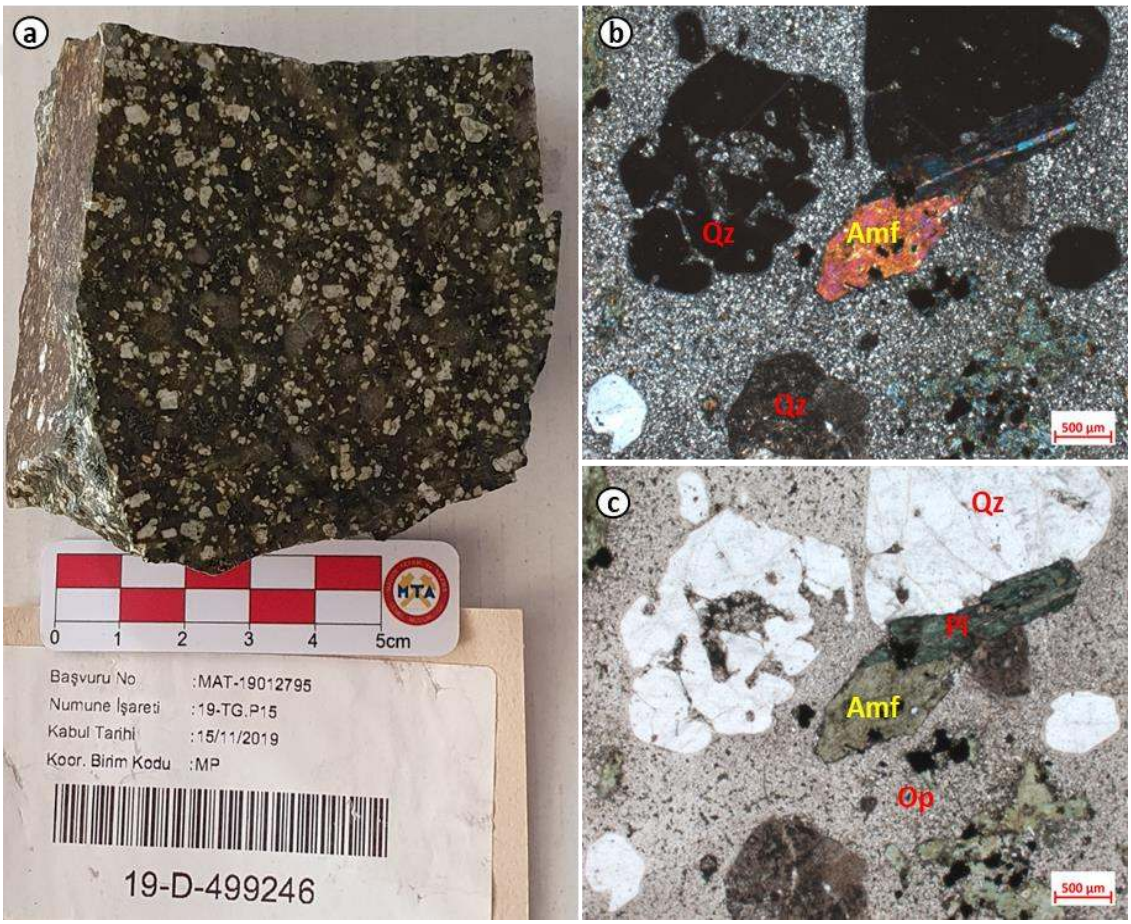


Şekil 28. (a) 17-THG-9/107.P nolu granit örneği, (b) 18-THG-13A/240.P nolu granit porfir örneği, (c) 17-THG-6/8.P nolu mikrogranit örneği, (d) 17-THG-4/180.P nolu granodiyorit porfir örneği

3.1.4. Dayklar

Çalışma alanının en genç birimleri tüm birimleri kesen Kretase-Eosen? yaşlı dasit, bazalt ve diyabaz türü dayklardır. Tüm birimleri kesen dayklar çalışma alanında küçük alanlarda yüzlek vermektedir. Yapılan petrografik incelemeler ile daykların isimlendirilmeleri yapılmıştır ve ayrı ayrı verilmiştir.

Dasit: Yüzeyden alınan 19-TG.P15 ve 2014-THG-P13 nolu örneklerin petrografi incelemeleri sonucu kayaçlar dasit olarak isimlendirilmiştir. Kayaç makroskobik olarak kahverengimsi gri renkli olarak sergilemektedir (Şekil 29a). Hipokristalen porfirik dokulu kayaç, volkan camından oluşan hamur içinde dağılım gösteren fenokristallerden oluşmaktadır. Fenokristal bileşimini; yarı özşekilli, körfez dokulu kuvars ve seriate dokulu gelişmiş plajiyoklas kristallerinden oluşmaktadır. Volkan camında devitrifikasyon ve feldispatlardan itibaren kısmen serisitleşme ve killeşme gözlenmektedir. Kayacın mafik mineral bileşimini; yarı özşekilli, kahvemsi yeşil renkte amfibol mineralleri oluşturmaktadır. Kayaç genelinde; bir miktar ince taneli, yarı özşekilli opak mineral kristalleri saçınımlı olarak gözlenmektedir (Şekil 29b-c).



Şekil 29. (a) Dasit örneğine ait makroskobik görünüm (19-TG-P15 nolu örnek), (b) dasit örneğinin çift nikol görünümü, (b) dasit örneğinin tek nikol mikroskobik görünümü (Qz: Kuvars, Amf: Amfibol, Pl: Plajiyoklas, Op: Opak mineral)

2014-THG-P13 nolu dasit olarak alınan örnek ise makroskobik olarak çok açık gri renkli, ince taneli, masif dokulu olarak gözlenmektedir. Mikroskobik olarak porfirik dokuya sahiptir. Ana bileşen plajiyoklas, kuvars, piroksen fenokristalleri ve mikrofenokristalleri ile hamurdan oluşmaktadır. Tali bileşenler ise opak minerallerden

oluşmaktadır. Plajiyoklas mineralleri orta taneli yarı özşekilli, kuvars mineralleri orta taneli korrede olmuş, piroksen küçük taneli yarı özşekilli olarak gözlenmektedir. Hamur felsik dokulu olup kuvars ve feldspat mikrolitlerinden oluşmuştur. Örnekte yer yer fenokristaller kümelenmiştir (glemeroporfirik doku).

Bazalt: Sahadan alınan 2015-THG-P03, 2014-THG-P27 nolu örnekler bazalt olarak isimlendirilmiştir. Makroskobik olarak orta gri renkli, çok ince taneli, masif dokulu olarak gözlenmektedir. Mikroskobik olarak porfirik ve ofitik dokuya sahiptir. Ana bileşen olarak piroksen mineralleri, mafik mineral psödomorfları ve az oranda plajiyoklas minerallerinden, alt zemin hamurdan ve tali bileşenler olan opak minerallerden oluşmaktadır. Piroksen mineralleri küçük-orta-iri taneli, kenomorfik-hipidiyomorfik sekizgen formlara yakın şekilli, yaygın uralitleşme gözlenmekte, mafik mineral psödomorfları orta taneli ksenomorfik az oranda hipidiyormorfik altıgen-sekizgen yassı levhamsı formlara yakın şekilli, tamamıyla tremolit-aktinolit minerallerine dönüşmüş ve homojen dağılım göstermektedir. Plajiyoklas mineralleri az oranda küçük-orta taneli ksenomorfik, bol çatlaklı olup, çatlak hatları boyunca kloritleşmiştir. Hamur ofitik dokulu, plajiyoklas, piroksen minerallerinin mikrolitlerinden oluşmakta olup killeşme ve uralitleşme izlenmektedir. Fenokristal olarak mafik minerallerin miktarı fazla, plajiyoklas miktarı çok az olup, hamurda mineraller aynı miktardadır. Örnekte orta derecede alterasyon gözlenmiştir.

Diyabaz: Sahadan alınan ve çok küçük bir alanda gözlenen 2015-THG.P103 nolu örnek diyabaz olarak isimlendirilmiştir. Makroskobik olarak orta gri renkli, çok ince taneli, masif dokulu olarak gözlenmektedir. Mikroskobik olarak porfirik ve ofitik dokuya sahiptir. Ana bileşenleri plajiyoklas, piroksen ve kuvars minerallerinden tali bileşenler opak minerallerden oluşmaktadır. Plajiyoklas mineralleri küçük-çok az oranda orta taneli, hipidiyomorfik, prizmatiktir. Yaygın killeşme serizitleşme ve az oranda kloritleşme izlenmekte olup homojen dağılım sunmaktadır. Piroksen mineralleri küçük çok az oranda orta taneli, ksenomorfik, yoğun ve değişen oranlarda uralitleşme, kloritleşme, az oranda epidotlaşma görülmekte ve homojen bir dağılım sunmaktadır. Kuvars mineralleri küçük taneli, ksenomorfik şekilli ve dağılımı homojendir. Örnek minerolojik ve dokusal özellikleri, plajiyoklas minerallerin boyutlarının damar kayaçlarda izlenen 0.05-1 mm arasında olması nedeniyle diyabaz olarak adlandırılmıştır.

3.2. Kayaç Jeokimyası

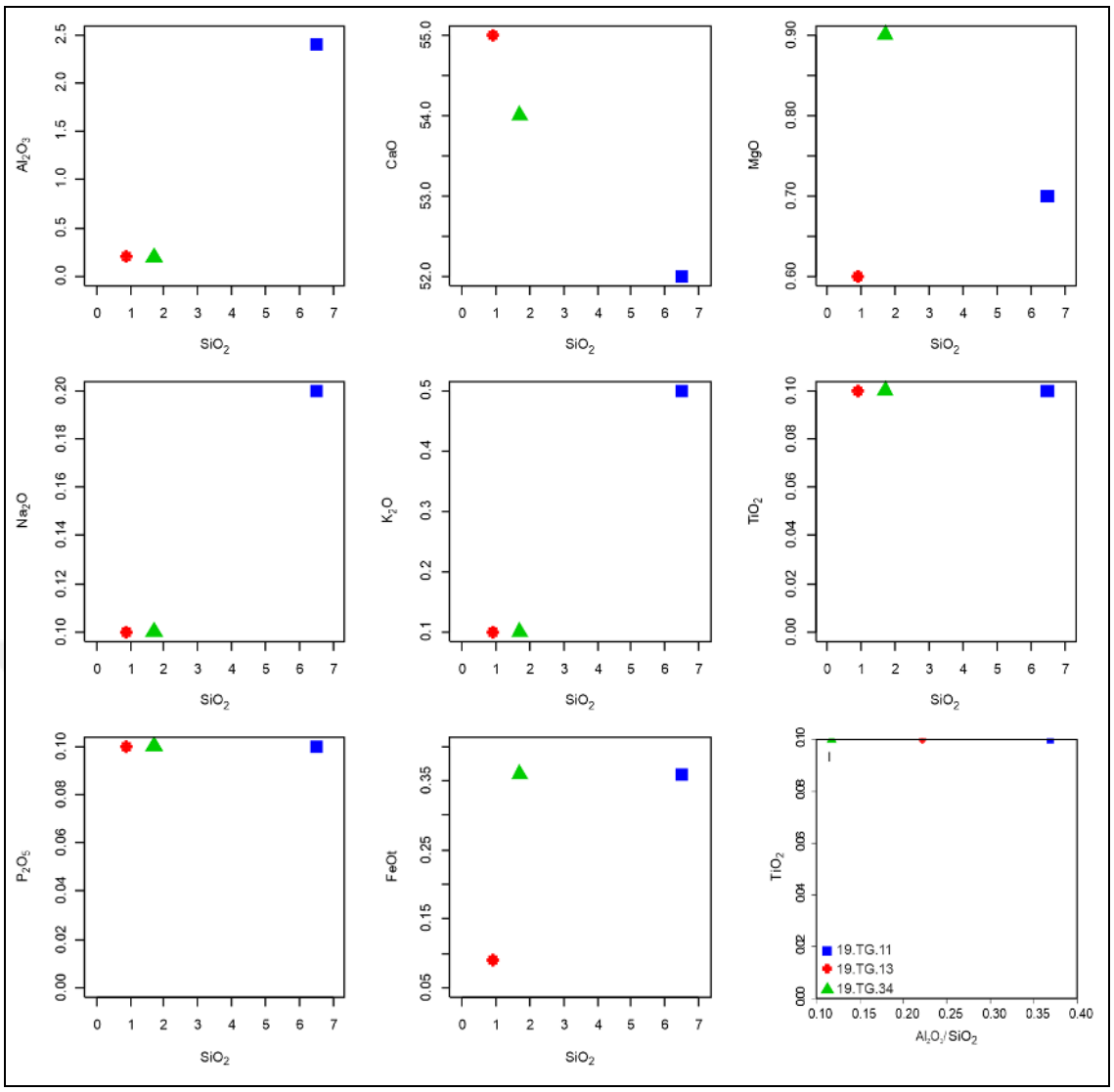
Göksel Cu-Fe skarn sahasında Berdiga Formasyonuna ait kireçtaşı/mermerlerden ve Kaçkar Granitoyidi'ne ait kayaçlardan örnekler alınmış ve tüm kayaç analizleri yapılmıştır.

3.2.1. Kireçtaşı ve Mermerin Jeokimyası

Sahada, Cu-Fe skarnlaşmasının oluştuğu kireçtaşları, yeniden kristalleşmiş veya mermere dönüşmüştür. 2 adet mermer örneği ve 1 adet kireçtaşı örneği analiz ettirilmiştir. Mermer örneklerinin ana ve iz element analizleri yapılmış kireçtaşı örneğinin ise ana element ve cevher elementlerinin analizi yapılmış ve özellikleri Tablo 10'da verilmiştir. Mermer örneklerinden 19-TG.11 nolu örnek cevhersiz skarn zonuna yaklaşık 300 metre, 19-TG.13 nolu örnek ise cevhersiz skarn zonuna yaklaşık 350 metre mesafeden alınmıştır. Mermerler yüksek kalsiyum ve daha düşük magnezyum değerlerine sahiptir. İki mermer örneği incelendiğinde skarn zonuna yakın olan mermerin Ca içeriğinin nispeten azaldığı, Si, Al, Fe, Mg, Zn, Pb ve Cu değerlerinin arttığı görülmektedir. Skarn zonuna yakın olan 19-TG.11 nolu örneğinin kısmen de olsa Fe içeriğinin daha fazla artığı gözlenmiştir. 19.TG.34 nolu örnek ise temiz kireçtaşı örneği olup yüksek Ca değerine sahiptir (Tablo 10, Şekil 30).

Tablo 10. Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesi kireçtaşı ve mermerlerin ana (%) ve iz element (ppm) analiz sonuçları

Örnek No.	**SiO_2**	**Al_2O_3**	**Fe_2O_3**	**CaO**	**MgO**	**Na_2O**	**K_2O**	**TiO_2**	**P_2O_5**	**MnO**	**A.Za**	**Toplam**
19-TG.11	6.5	2.4	0.4	52	0.7	0.2	0.5	<0.1	<0.1	<0.1	37.1	99.8
19-TG.13	0.9	0.2	0.1	55.1	0.6	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	42.65	99.65
19-TG.34	1.7	0.2	0.4	54	0.9	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	42.2	99.4
Örnek No.	**Ce**	**Dy**	**Er**	**Eu**	**Gd**	**Ho**	**La**	**Lu**	**Nd**	**Pr**	**Sc**	**Sm**
19-TG.11	29.4	1.7	0.6	0.3	1.9	0.3	23.2	0.1	10.7	2.9	3	2
19-TG.13	2.8	1.1	0.5	0.3	1.1	0.3	2.2	0.1	2.1	1.5	2.5	1.3
19-TG.34	a.e	a.e	a.e	a.e	a.e	a.e	a.e	a.e	a.e	a.e	a.e	a.e
Örnek No.	**Th**	**Tm**	**Y**	**Yb**	**Hf**	**Tb**	**U**	**Te**	**Rb**	**Ba**	**Cr**	**Sn**
19-TG.11	3.2	0.1	11.9	0.7	3	1.4	1.7	<10	15	71	13	<10
19-TG.13	2.8	0.1	1.9	0.5	2.9	1.2	3.1	<10	11	9	6	<10
19-TG.34	a.e	a.e	a.e	a.e	a.e	a.e	a.e	a.e	a.e	a.e	a.e	a.e
Örnek No.	**Mn**	**W**	**Sr**	**Li**	**B**	**Hf**	**V**	**S**	**Zn**	**As**	**Bi**	**Cd**
19-TG.11	1	<10	387	<10	<10	1	1	0.07	8	0.1	<0,1	<0,1
19-TG.13	1	<10	244	<10	<10	1	0	-	<3	0.1	<0,1	<0,1
19-TG.34	a.e	a.e	a.e	a.e	a.e	a.e	<5	a.e	a.e	<3	a.e	a.e
Örnek No.	**Co**	**Cu**	**Ga**	**Ge**	**In**	**Mo**	**Sb**	**Tl**	**Be**	**Ni**	**Cs**	**Rb**
19-TG.11	1.9	2.9	3.3	0.5	<0,1	0.4	0.2	0.2	0.6	14.2	0.8	15
19-TG.13	1.4	2.1	1.7	0.4	<0,1	0.4	0.2	0.2	0.5	15.4	0.5	6
19-TG.34	<5	21	a.e	a.e	a.e	<5	<5	a.e	a.e	<5	a.e	a.e
Örnek No.	**Nb**	**Ta**	**Pb**	**Zr**								
19-TG.11	2.1	0.3	4.1	23								
19-TG.13	1.6	0.3	2.5	6								
19-TG.34	a.e	a.e	<5	a.e								



Şekil 30. Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesindeki kireçtaşı ve mermerin SiO_2 karşı değişimi a) Al_2O_3, b) CaO, c) MgO, d) Na_2O_2, e) K_2O, f) TiO_2, g) P_2O_5, h)FeO_t, d) SiO_2/Al_2O_3'e karşı TiO_2 diyagramları

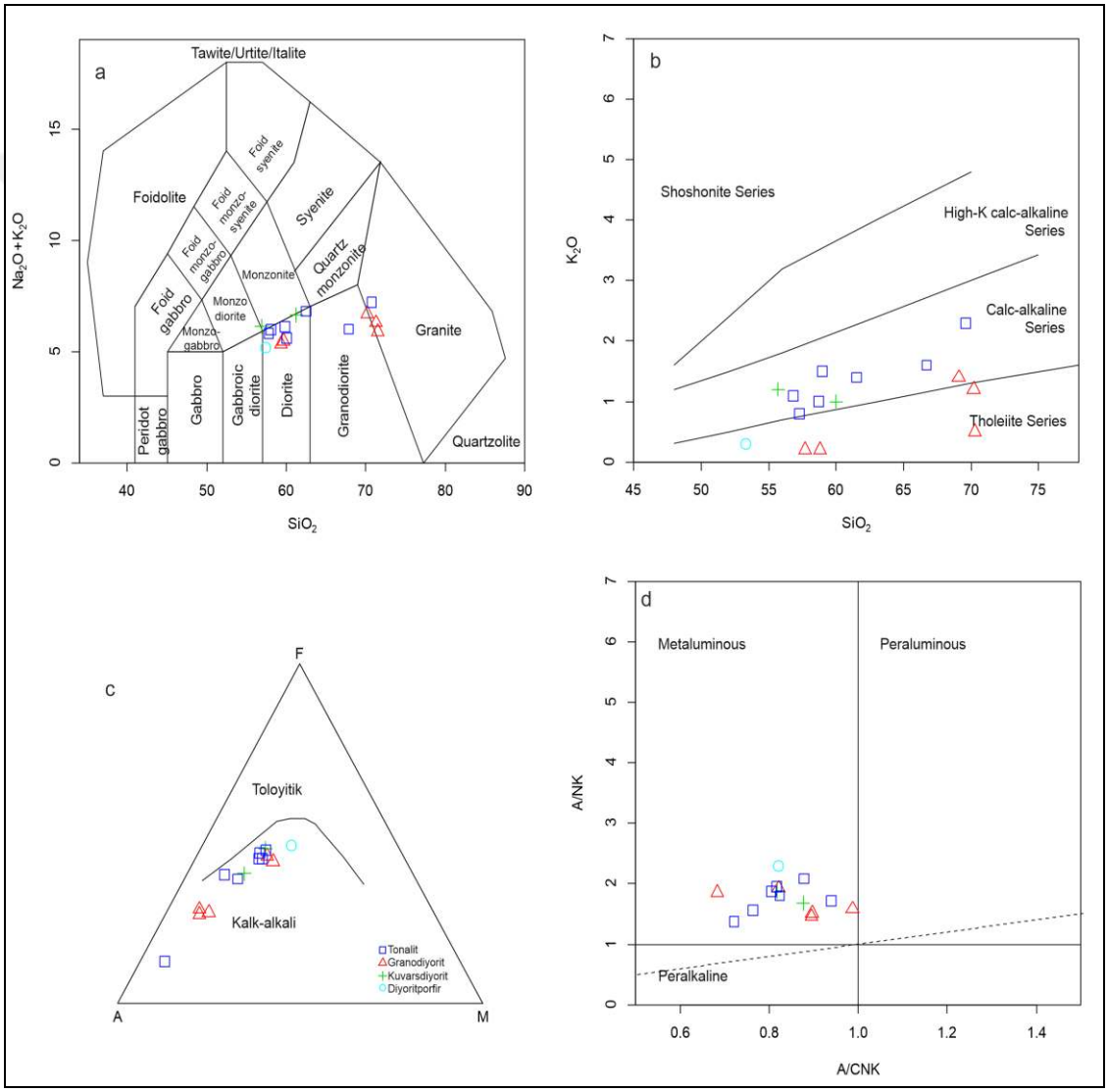
3.2.2. Kaçkar Granotoyidi'nin Jeokimyası

İnceleme sahasındaki Cu-Fe skarn cevherleşmesine sebep olan Kaçkar Granitoyidine ait 15 adet örneğin ana, iz ve nadir toprak element (Tablo 11) analiz sonuçları incelenmiştir. Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesinin yakınından ve yakın çevresinden alınan numuneler; Middlemost (1994)'un adlandırma diyagramında ve petrografik sınıflama ile karşılaştırıldığında tonalit olarak isimlendirilen kayaçlar granit ve diyorit olarak, granodiyorit olarak isimlendirilen örnekler granodiyorit ve diyorit, kuvarslı diyorit olarak isimlendirilen örnekte diyorit olarak adlandırılmıştır (Şekil 31a).

Mikroskobik incelemede tonalit olarak isimlendirilen örneklerin Middlemost (1994)'un kimyasal sınıflamasında farklılık göstermesinin sebebi, sahanın alterasyon sahası olmasından kaynaklı olarak plajiyoklas ve hornblend minerallerinin az ayrışma

göstermesi olabilir. Bu çalışmada granit alanına düşen örnekler için mikroskobik çalışmalar dikkate alınmış ve adlanmada tonalit isimlendirmesi kullanılmıştır.

K_2O-SiO_2 diyagramında (Le Maitre, 1989) örneklerin çoğunluğunun kalk-alkali bileşiminde olduğu görülmüştür (Şekil 31b). Yine AFM (Irvine ve Baragar, 1971) diyagramında da numuneler kalk-alkali olarak nitelendirilmiştir (Şekil 31c). Çalışma sahasında alınan örneklerin A/CNK [molar $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$] diyagramında (Shand, 1947'den değiştirilerek) değerleri A/CNK=1.16 – 1.65 arasında olup metalimünyum karaktere sahiptirler (Şekil 31d).



Şekil 31. Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesindeki granitoyid örneklerinin sınıflama diyagramındaki yerleri a) SiO_2'e karşı Na_2O+K_2O 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.

Tablo 11. Kaçkar Granitoyidi'ne ait kayaçların ana (%), iz element (ppm) ve nadir toprak (ppm) element analizleri

	Tonalit							**Granodiyorit**					**Kuvarslı Diyorit**		**Diyorit Porfir**
Örnek No.	**19-TG.5**	**19-TG.6**	**19-TG.8**	**19-TG.10**	**19-TG.14**	**19-TG.18**	**19-TG.20**	**19-TG.1**	**19-TG.2**	**19-TG.15**	**19-TG.17**	**19-TG.19**	**19-TG.4**	**19-TG.7**	**19-TG.12**
SiO_2	66.7	61.5	69.6	58.7	56.8	59	57.3	69.1	70.3	70.2	57.7	58.8	55.7	60	53.3
Al_2O_3	15.1	16	14.3	16.8	17.1	17.1	17.4	14.7	14.7	14.4	15.7	16.9	17.2	17	17.8
$Fe_2O_3^t$	4.8	5.6	1.2	7.1	7.8	7	7.2	3.2	2.8	2.8	6.6	7	8.3	6	8.6
CaO	4	5.9	5.2	6.1	6.7	6.2	6.8	3.5	3.1	3.6	8	6.5	6.5	5.1	7.7
MgO	1.2	2	0.6	2.6	2.8	2.4	2.8	0.9	1.1	0.9	3.1	2.8	2.9	2.2	4
Na_2O	4.3	5.3	4.8	5	4.6	4	5.1	5.2	5.3	5	5	5.2	4.8	5.5	4.5
K_2O	1.6	1.4	2.3	1	1.1	1.5	0.8	1.4	0.5	1.2	0.2	0.2	1.2	1	0.3
TiO_2	0.4	0.5	0.2	0.6	0.8	0.7	0.8	0.3	0.3	0.2	0.6	0.7	0.9	0.7	1
P_2O_5	0.1	0.2	0.1	0.2	0.4	0.3	0.4	0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.3
MnO	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1
A.Za	1.15	1.05	1.15	1.35	1.25	1.1	0.8	0.8	1.25	0.85	2.3	0.95	1.85	1.6	1.9
Toplam	**99.45**	**99.55**	**99.55**	**99.55**	**99.55**	**99.4**	**99.5**	**99.3**	**99.55**	**99.35**	**99.6**	**99.55**	**99.75**	**99.6**	**99.5**
Ce	18.5	37.8	48.7	48.7	47.8	48.7	53.8	48.9	51.6	63.6	41.7	49.3	46.5	54.8	36.3
Dy	1.8	3.8	3.4	4.1	4	4.1	4.3	3.7	4	3.1	3.5	4.2	4.8	4.5	4.4
Er	0.7	1.4	1.2	1.4	1.4	1.4	1.5	1.3	1.4	1.1	1.2	1.4	1.6	1.5	1.5
Eu	0.2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6
Gd	1.6	3.4	3.4	3.9	3.9	3.9	4.2	3.4	3.7	3.3	3.5	4	4.5	4.5	4.2
Ho	0.2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
La	10	22.3	25.5	27.9	22.3	25	28.7	26.4	27.7	36.4	20.6	24.4	22	25.7	16.5
Lu	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Nd	8.3	15.3	19.9	20.6	23.2	23.1	24.6	19.8	21.3	22.4	19.3	23.9	24.5	28	21.7
Pr	1.7	3.3	3.9	4	4.2	4.2	4.4	4	4.1	4.5	3.7	4.2	4.2	4.7	3.7
Sc	6.1	20.7	8.1	21.1	17.3	17.7	16.9	9.6	9.9	8.7	17.4	16.7	23.7	17.5	22.3
Sm	1.7	3.3	3.5	3.9	4.3	4.2	4.2	3.6	3.9	3.4	3.6	4.2	4.8	4.8	4.3
Th	2.1	3.8	4.8	5.1	3.6	4.7	3.6	4.7	4.6	4.9	3.7	3.7	4.3	4	3
Tm	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2
Y	16.1	31.6	28.9	33.6	30.2	33.6	36.1	30.9	36.4	24.2	25.5	33.4	39.8	38.5	34.1
Yb	0.7	1.5	1.4	1.5	1.4	1.5	1.6	1.4	1.5	1.2	1.2	1.5	1.6	1.6	1.4

Tablo 11. (Devamı)

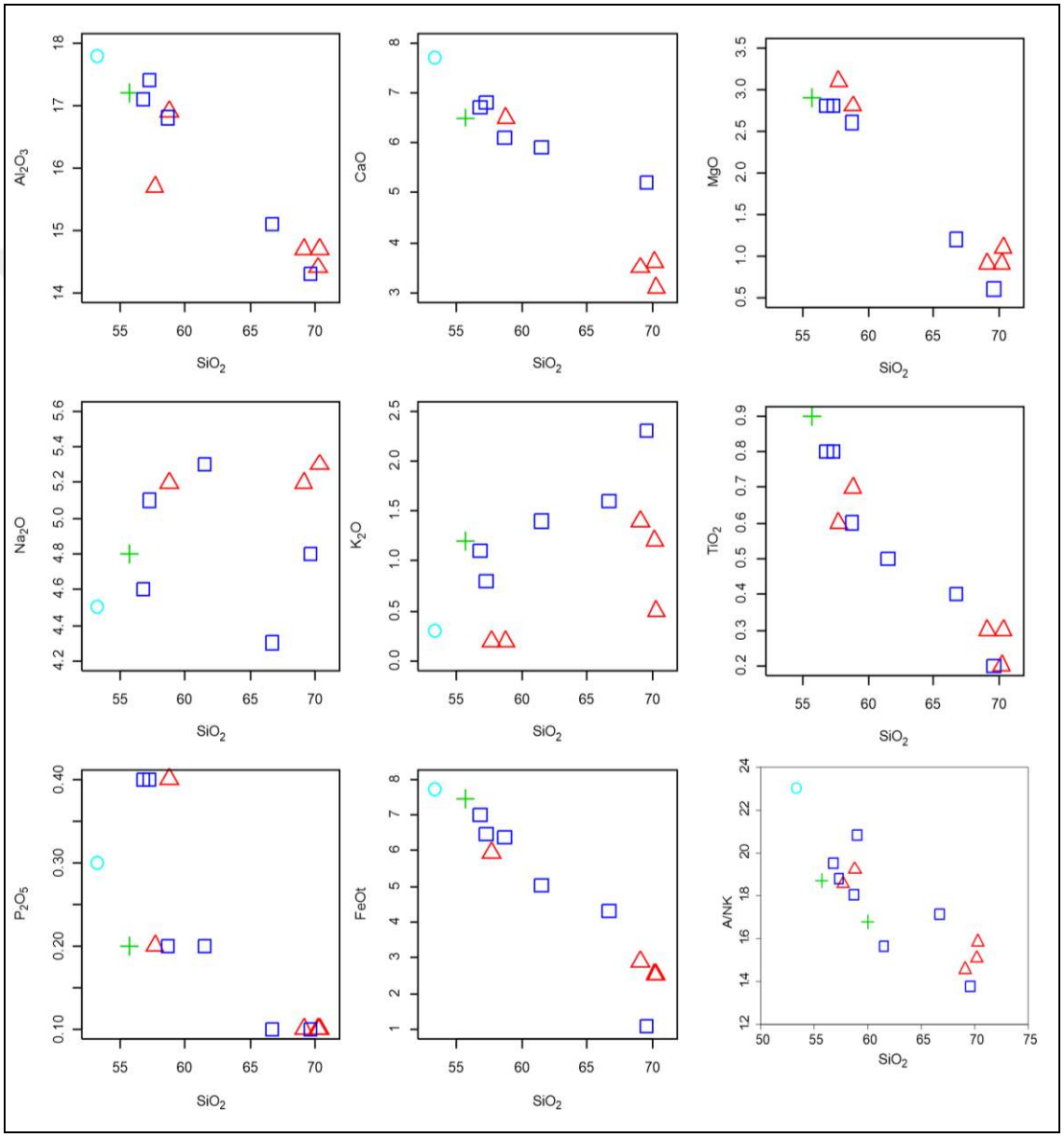
	Tonalit							Granodiyorit					Kuvarslı Diyorit		Diyorit Porfir
Örnek No.	**19-TG.5**	**19-TG.6**	**19-TG.8**	**19-TG.10**	**19-TG.14**	**19-TG.18**	**19-TG.20**	**19-TG.1**	**19-TG.2**	**19-TG.15**	**19-TG.17**	**19-TG.19**	**19-TG.4**	**19-TG.7**	**19-TG.12**
Hf	1.7	3.7	3.3	3.5	3.7	3.8	3.5	3.5	3.6	3.4	3.7	3.5	3.9	3.6	3.9
Tb	0.8	1.7	1.5	1.7	1.8	1.9	1.7	1.7	1.7	1.5	1.6	1.7	1.6	1.8	1.8
U	0.8	1.6	1.7	3.9	1.6	1.6	1.9	1.7	1.9	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5
Te	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Rb	19	19	46	29	37	33	22	40	18	27	10	10	42	25	10
Ba	298	926	885	467	455	558	386	631	284	429	214	292	621	571	355
Cr	90	123	212	89	90	127	62	194	271	207	82	75	102	99	46
Sn	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
W	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Sr	99	267	215	330	328	304	272	214	306	232	340	312	312	384	536
Li	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
B	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
V	33	169	35	143	238	168	154	44	56	36	177	185	263	160	304
S	a.s.a.	0.04	a.s.a.	a.s.a.	0.03	0.04	0.13	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	0.03	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	0.05
Zn	170	12	6	24	41	34	24	47	10	12	21	18	25	101	31
As	0.1	0.1	0.7	1.5	0.9	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.2	0.1	1	1.8
Bi	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Cd	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Co	3.9	9.1	2.2	9.2	11.8	9	10.2	4.6	4.6	3.7	10.1	9.1	12	9.3	12.7
Cu	47.2	4.5	5.4	15.7	24	7.1	19.7	18.5	5.5	5.1	3.6	5.8	5.2	6.8	7.6
Ga	5.9	13	10.5	14.2	13	12.7	12.4	11.7	11.1	10.1	11.2	12.5	15.4	13.8	13.3
Ge	0.6	1.2	0.6	1.4	1.2	1.2	1.2	0.9	0.8	0.8	1	1.2	1.7	1.3	1.4
In	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Mo	2	3	4.9	2.3	2.5	3.4	1.9	4.2	5.8	4.7	1.8	2	2.5	2.4	1.3
Sb	0.1	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.4
TI	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Be	0.4	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.8	0.8	0.7	0.8	0.7	0.9	0.9	0.7
Ni	2.7	4.9	4.8	3.6	3.7	3.8	3.2	4.5	5.7	4.7	5.5	3.1	4.4	4.4	3.1
Cs	0.3	0.6	0.8	0.8	1.3	1.1	0.7	0.7	0.8	0.7	0.6	0.5	0.6	0.9	1.7

Tablo 11. (Devamı)

	Tonalit							Granodiyorit					Kuvarslı Diyorit		Diyorit Porfir
Örnek No.	**19-TG.5**	**19-TG.6**	**19-TG.8**	**19-TG.10**	**19-TG.14**	**19-TG.18**	**19-TG.20**	**19-TG.1**	**19-TG.2**	**19-TG.15**	**19-TG.17**	**19-TG.19**	**19-TG.4**	**19-TG.7**	**19-TG.12**
Rb	19	19	45	29	37	33	22	40	18	27	7	7	42	25	10
Ba	298	926	885	467	455	558	386	631	284	429	214	292	621	571	355
Nb	3.7	5	7.3	5.7	7.3	7.7	7.7	7.7	7.3	6.1	6.8	7.8	7.4	8.9	6.2
Ta	0.2	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4
Pb	2.6	4.7	8.4	10	5.3	5.9	6.4	6.3	4.9	5.7	5.2	4.9	5.6	6.6	4.9
Zr	16	58	32	42	49	60	47	46	52	38	62	41	62	48	74
Al	25.23	23.29	22.48	24.49	25.66	27.66	23.23	20.91	16.00	19.63	20.25	20.41	26.62	23.19	26.06
KAl	32.65	30.77	8.89	36.98	38.61	37.43	36.18	24.06	23.93	22.22	33.33	37.04	39.90	34.09	40.76
LAl	1.02	1.13	0.25	1.62	1.86	1.71	1.69	0.62	0.67	0.60	1.87	1.81	1.87	1.26	2.63

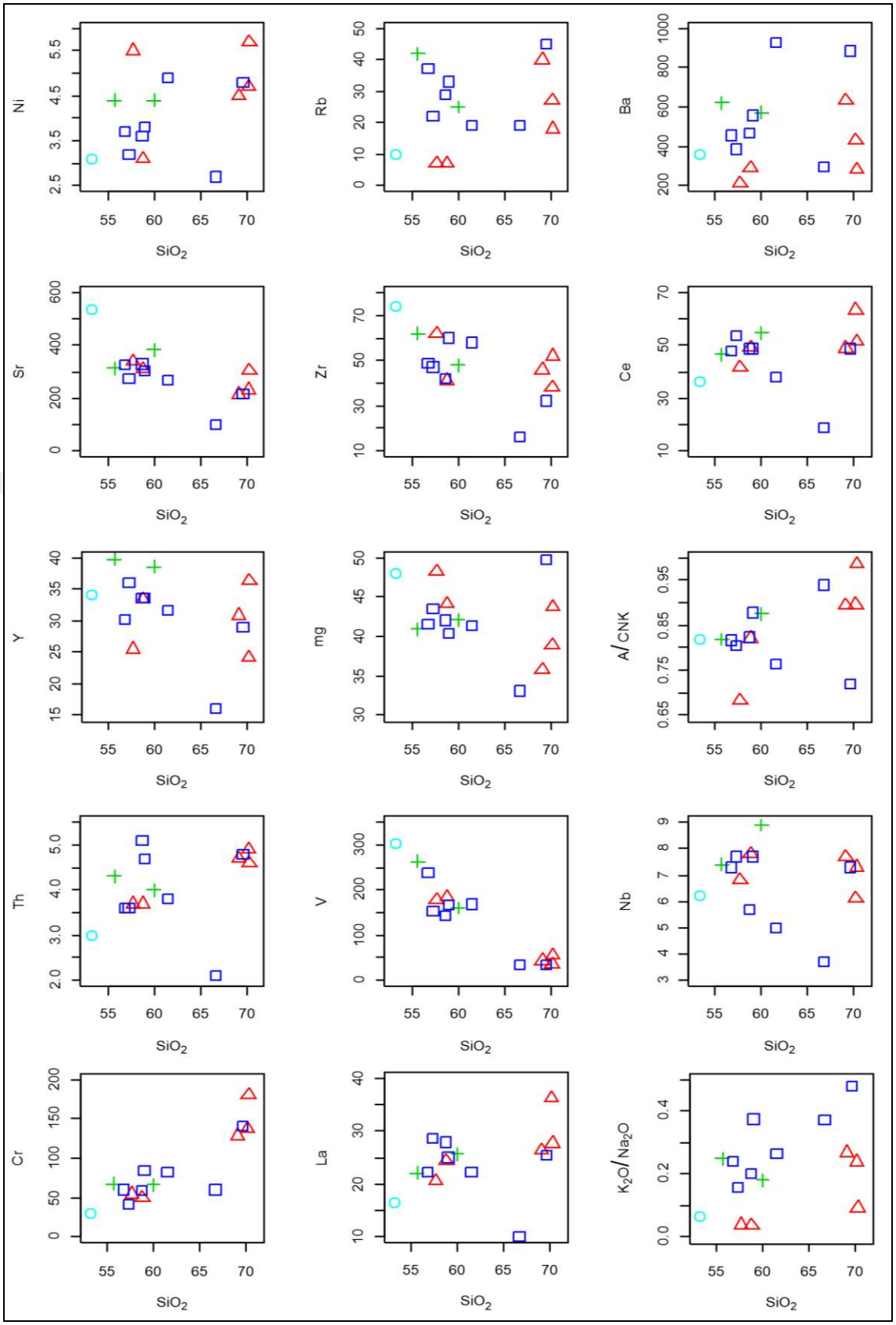
A.Za: Ateşte zayiat, a.s.a.: Analiz sınırı altında, KAI=[100xAl_2O_3/(Al_2O_3+Na_2O+K_2O+CaO*), Al=100x(($MgO+K_2O$)/($MgO+K_2O$+CaO+Na_2O), LAI= ($Fe_2O_3^l$+MgO)/(Na_2O+K_2O)

SiO_2'e karşı hazırlanan ana oksit değişim diyagramlarında TiO_2, Fe_2O_{3t}, CaO, MgO ve Al_2O_3'te negatif yönseme görülmektedir. K_2O, TiO_2 ve Na_2O ise oldukça düzensiz bir değişim görülmektedir (Şekil 32). İncelenen örneklerin SiO_2'e karşı değişim grafiklerinde Na, K ve P hariç genel olarak doğrusala yakın bir dağılım görülmekte olup, fraksiyonel kristallenmenin kayaçların oluşumunda etkili olduğu anlaşılmaktadır.



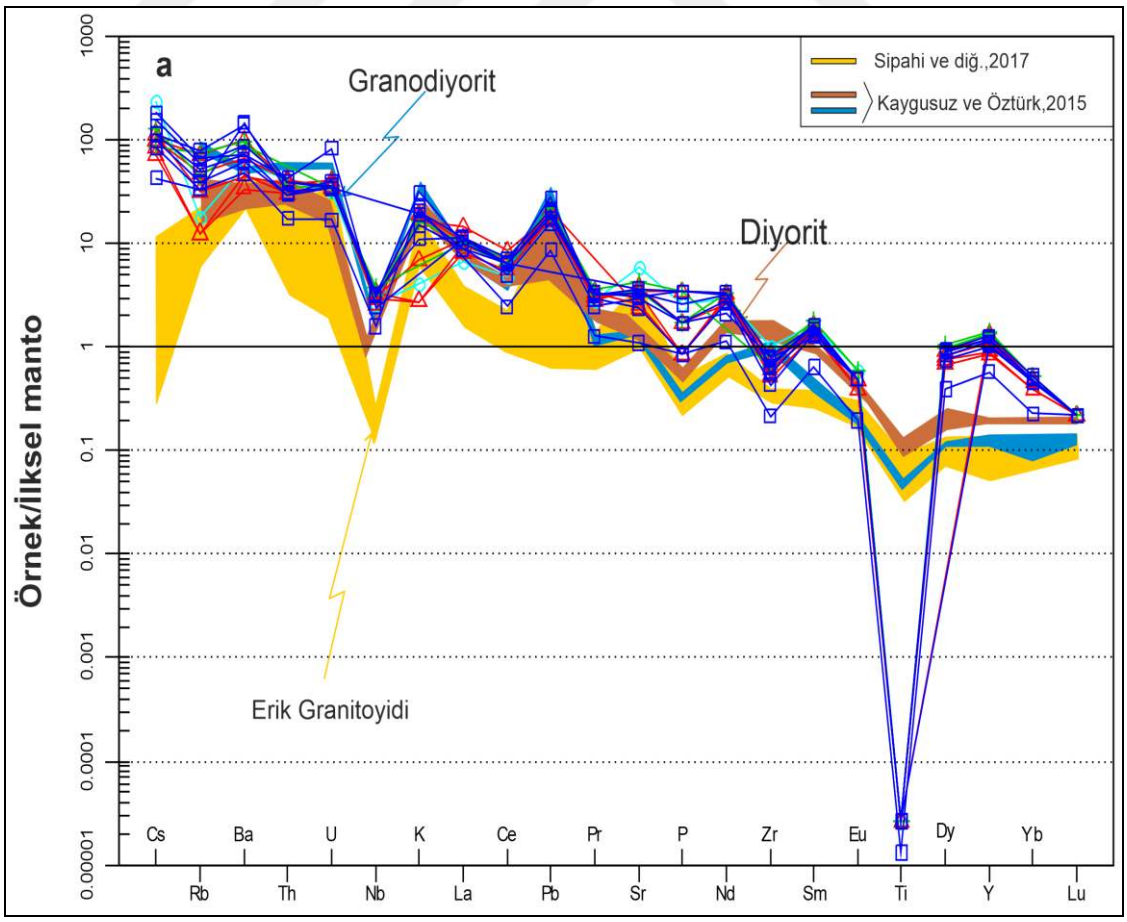
Şekil 32. Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesindeki granitoyid örneklerinin SiO_2'ye karşı ana element değişimleri (semboller için Şekil 31c'ye bakınız)

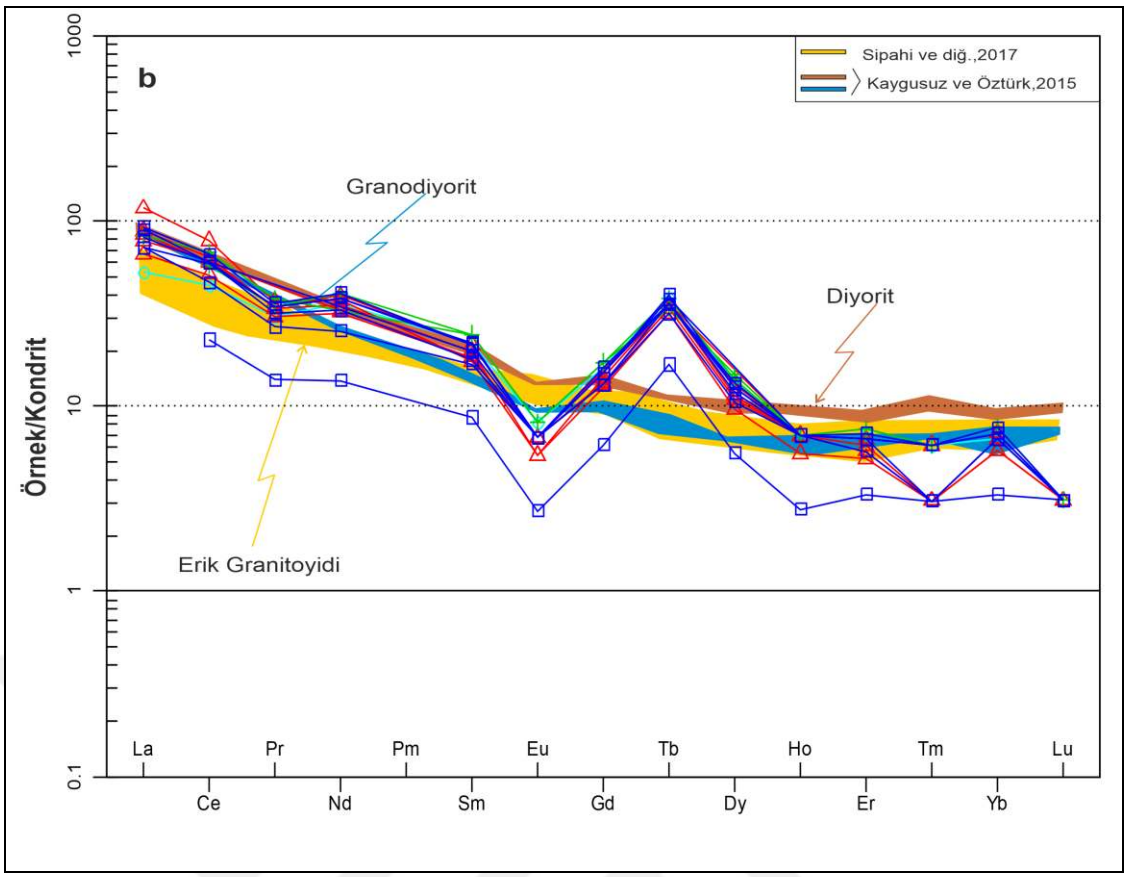
Tonalit, granodiyorit, kuvarslı diyorit ve diyorit porfir SiO_2'e karşı iz element değişimlerinde Sr ve Mg'da negatif korelasyon görülürken, Th, Ce, Nb, K_2O/Na_2O, Ba, Pb, Zr, Y ve La ise dağınık şekil görülmektedir (Şekil 33). Sr ve Mg da görülen doğrusal değişim de fraksiyonel kristallenmeyi desteklemektedir.



Şekil 33.Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesindeki Kaçkar Granitoyid örneklerinin SiO_2'ye karşı iz element ve bazı oranların değişimleri (semboller için Şekil 31c'ye bakınız).

Sahadan alınan örneklerin ilksel mantoya (Sun ve McDonouhg, 1989'dan) göre normalize edilen iz element dağılım grafiklerinde genel anlamda bir zenginleşme mevcuttur (Şekil 34a). Özellikle U, Ba ve K gibi büyük iyon yarıçaplı elementlerde zenginleşme olduğu görülmektedir. Ba, U ve K gibi elementlerdeki artış yani zenginleşme kabuk etkisine dikkat çekmektedir. P, Nb ve Ti elementlerinde ise negatif değişim görülmektedir (Şekil 34a). Kayaçların iz element dağılımları genellikle yay granitleri ile benzer özelliktedir. Kayaç örneklerinin kondirit (Boynton, 1984)'e göre normalleştirilmesi ile elde edilen nadir toprak element diyagramınındaki dağılımları genelde benzer şekilde olup hafif nadir toprak elementler (HNTE) ağır nadir toprak elementlerine (ANTE) göre daha fazla zenginleşme göstermektedir (tonalit $(La/Sm)_N$= 5.88-6.83; $(Gd/Lu)_N$= 16.00-42.00), granodiyoritte $(La/Sm)_N$= 7.33-10.71; $(Gd/Lu)_N$= 34.00-40.00), kuvarslı diyorit $(La/Sm)_N$= 4.58-5.35; $(Gd/Lu)_N$= 45) ve diyorit porfirde $(La/Sm)_N$= 3.84; $(Gd/Lu)_N$= 42). Tonalit örneklerinin $(La/Lu)_N$ değerleri 100-287, granodiyorit örneklerinin $(La/Lu)_N$ değerlerinin 206-364, kuvarslı diyorit ve diyorit porfir örneklerinin $(La/Lu)_N$ değerleri 165-257 arasında olup negatif Eu anomalisi (Eu/Eu*) gösterirler.

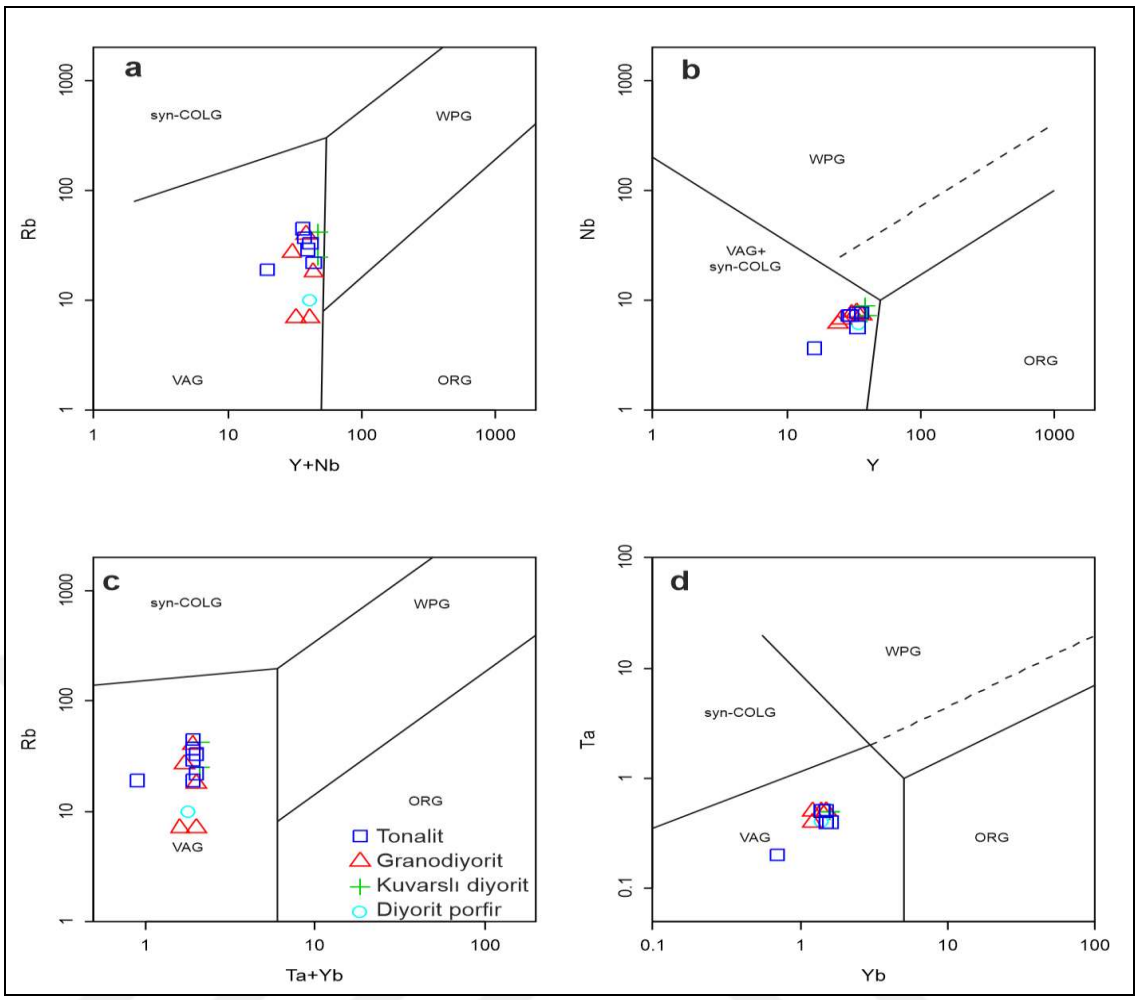




Şekil 34. a) Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesindeki granitoyid örneklerinin, ilksel manto bileşim (Sun ve McDonough, 1989) diyagramı b) Granitoyidik kayaç örneklerinin kondrite (Boynton, 1984) göre değişim diyagramı (semboller için Şekil 31c'ye bakınız

Örneklerin NTE dağılımlarının orta kısmına doğru çukurumsu ve hafif nadir toprak elementler kısmının yukarıya konkav özellik göstermesi kayaçların gelişiminde hornblend ayrımlaşmasının etkili olabileceğini belirtmektedir. Özellikle Eu'da negatif anomali görülmesi, bu kayaçların gelişiminde plajiyoklas ayrımlaşmasının önemli rol oynadığına dikkat çekmektedir. Şekil 34'te ANTE değerlerinin yataya yakın bulunması ilksel mantoda granatın bulunmadığının işareti olarak kabul edilmektedir. İlaveten tonalit, granodiyorit, kuvarslı diyorit ve diyorit porfir bileşimli bu kayaçların gelişiminde fraksiyonel kristallenmenin etkili olduğu görülmektedir.

Çalışma alanında gözlenen Kaçkar Granitoyidi kayaçlarının tektonik konumunu belirleyebilmek için Pearce vd. (1984) tarafından önerilen ve Rb (ppm)'a karşı Y+Nb (ppm) değerlerinin kullanıldığı diyagramlar kullanılmıştır. Buna göre çalışma alanımızdaki örneklerin volkanik yay granitleri (VAG) ve çarpışma ile eş yaşlı granitler alanlarına düştüğü görülmektedir (Şekil 35)



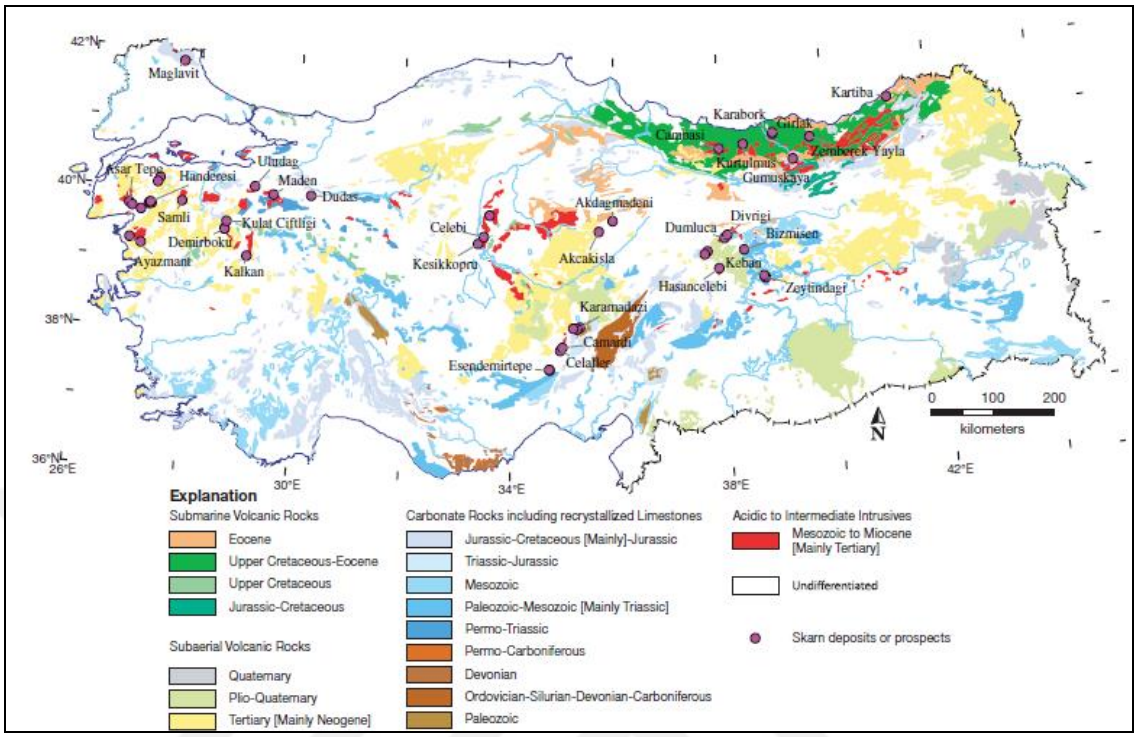
Şekil 35. Tektonik ortamlarına göre granitlerin ayrımlanma diyagramları, (a) Rb (ppm)-Y+Nb (ppm), (b) Nb (ppm)-Y (ppm), (c) Rb (ppm)-Ta+Yb (ppm) (d) Ta (ppm)-Nb (ppm) (Pearce vd., 1984)

3.3. Göksel Skarn Yatağı

Skarn terimi, genellikle karbonatça zengin kayaçların orijinal hallerinin ornatılması ile nispeten yüksek sıcaklıkta oluşmuş genellikle Fe, Al, muhtemelen Mn'ca zengin kaba taneli kalsiyum veya mağnezyum silikat alterasyonu olarak tanımlanmaktadır. Skarn başlangıçta İsveç'te manyetit ve kalkopirit yataklarıyla ilişkili orta taneli, kalksilikat gang mineralleri (granat + piroksen + epidot) için kullanılmıştır (Geijer ve Magnusson, 1952). Modern (güncel) skarn terimi, karbonatça zengin kayaların yerini metasomatik süreçler etkisiyle alarak oluşan mineral birlikteliği ve potansiyel ekonomik değeri gözetmeksizin kalsiyum, demir, magnezyum, alüminyum ve manganezce zengin orta-taneli kalksilikat kayaları için kullanılmaktadır (Einaudi vd., 1982).

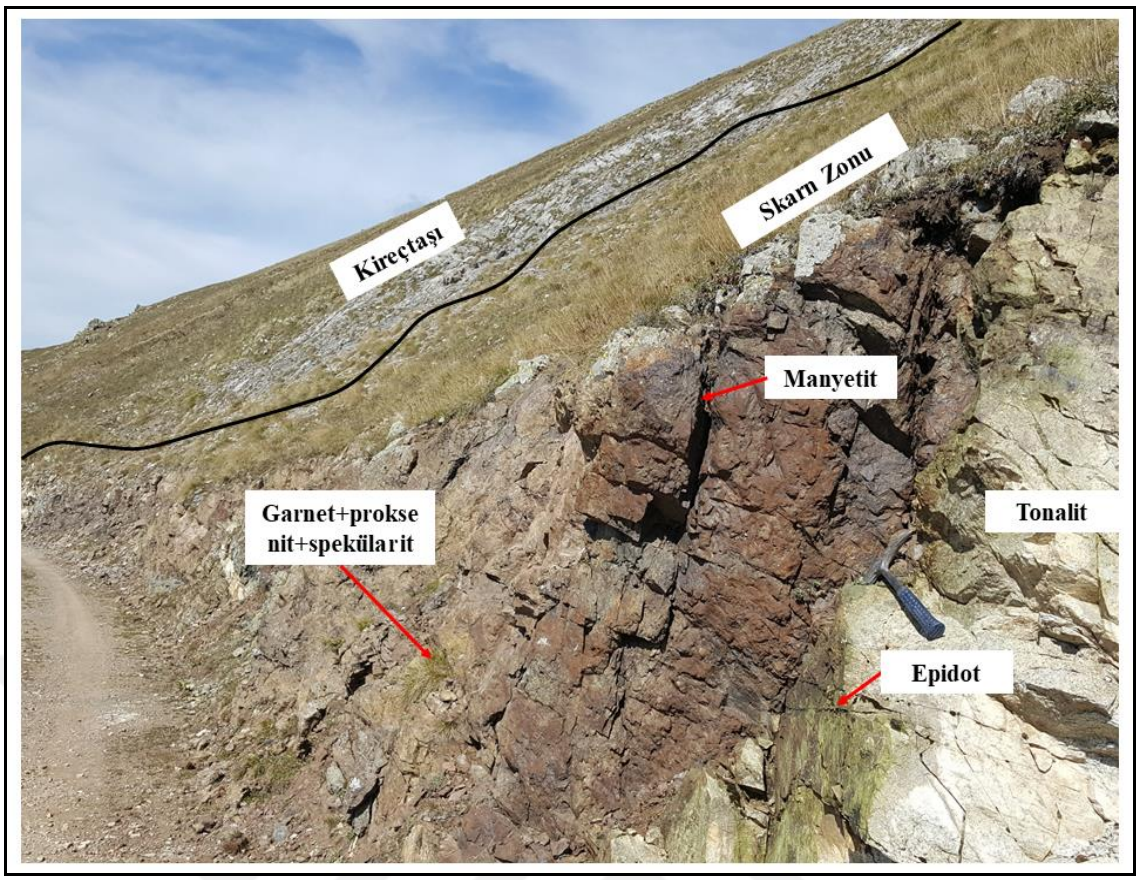
Ülkemizde başlıca 3 bölgede skarn tip cevherleşme mevcuttur. Biga Yarmadası, İç Anadolu Bölgesi, Orta-Doğu Karadeniz Bölgesi'dir (Şekil 36). Doğu Karadeniz Bölgesi'nde oluşan skarn tip cevherleşmelerinde genelde demir-skarn cevherleşmesi

öne çıkmaktadır. Baz metal cevherleşmesi olarak Erzurum-İspir-Ulutaş skarn Cu-Zn cevherleşmesi yörede gözlenen en iyi örnektir.



Şekil 36. Ana kaya-litoloji göz önüne alınarak (MTA, 1989) Türkiye'deki skarn yataklarının ve zuhurlarının dağılımı (Yiğit, 2009).

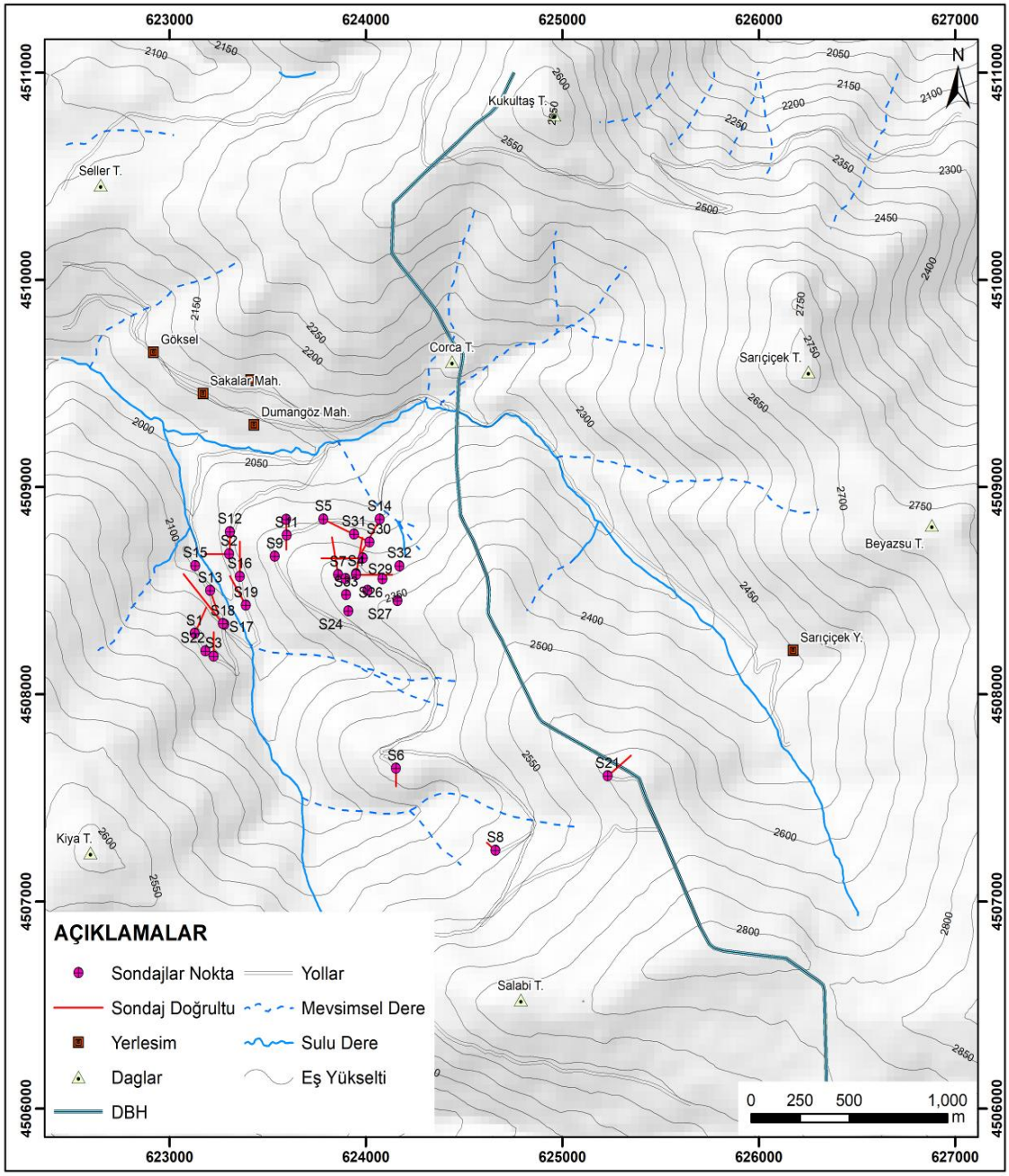
Trabzon-Hayrat-Göksel sahasında gözlenen Cu-Fe skarnı genel olarak gri, bejimsi gri, orta katmanlı, killi, kumlu yer yer silisli kısımlar içeren, bol makro fosilli, sığ ve şelf ortamda çökelmiş Berdiga Formasyonu olarak adlandırılmış kireçtaşlarına, tonalit, granodiyorit, kuvarslı diyorit, diyorit porfir, granit/mikrogranit ve granit porfir özellikte olan Kaçkar Granitoyidi'nin sokulum yapması ile kireçtaşı ve granitoyid kontağında skarn cevherleşmesi gerçekleşmiştir (Şekil 37).



Şekil 37. Berdiga Kireçtaşları ile tonalit kontağı arasında oluşan skarn (x:4506292, y:624653)

Kireçtaşı ile tonalitin dokanak oluşturduğu kısımlarda granat, piroksen ve epidotça zengin skarn zonunun oluştuğu gözlenmektedir. Cu-Fe cevherleşmesinin olduğu kesimde ise dokanak gözlenmemekte, sokulum kayacından uzak bölümde kireçtaşı içerisindeki tabaka düzlemleri ve kırık-çatlaklar vasıtasıyla dolaşan hidrotermal çözeltilerin çökelmesi sonucu oluşmuşlardır.

Göksel sahasında yüzeyde gözlenen skarn cevherleşmesinin derinlik devamını ve cevherin zengin zonlarını takip etmek için 2017-2021 yılları arasında MTA 34 farklı lokasyonda 15.841,10 metre sondaj yapılmıştır (Tablo 12) (Şekil 38-39).



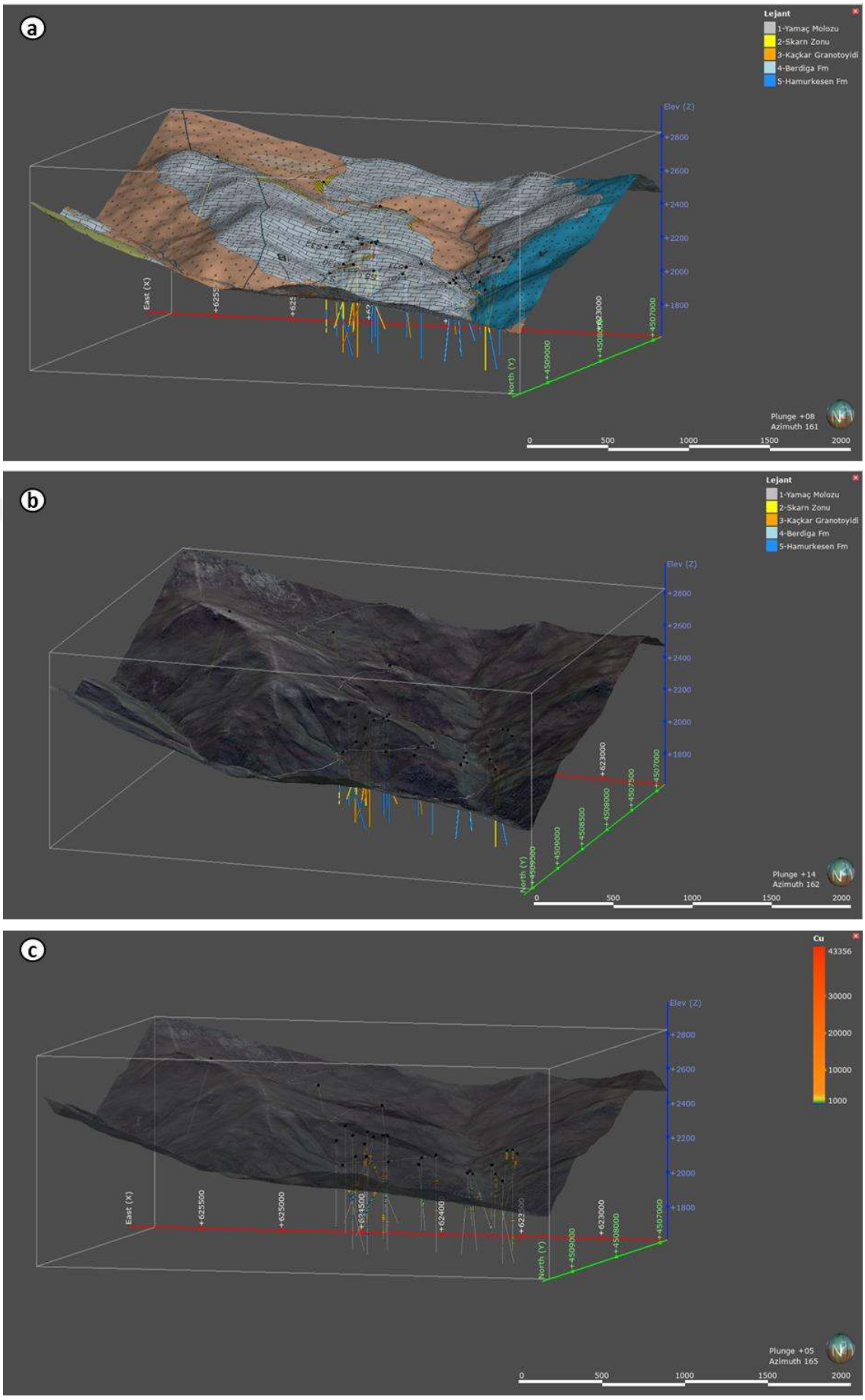
Şekil 38. Göksel Cu-Fe skarn sahasında yapılan sondajların lokasyon haritası

Tablo 12. Göksel Cu-Fe sahasında yapılan sondajlara ait özet bilgiler

Sondaj Rumuz	Sondaj No	x	y	Z (m)	Derinlik (m)	Doğrultu	Eğim
S1	17-THG-1	4508293	623128	2215	405.70	25	70
S2	17-THG-2	4508677	623303	2125	361.00	270	70
S3	17-THG-3	4508183	623224	2219	343.00	360	70
S4	17-THG-4	4508580	623950	2315	523.00	10	70
S5	17-THG-5	4508845	623783	2198	522.00	115	60
S6	17-THG-6	4507642	624153	2414	252.80	180	70
S7	17-THG-8	4508577	623858	2321	436.00	350	65
S8	17-THG-9	4507246	624659	2487	170.00	310	70
S9	17-THG-10	4508665	623535	2228	566.50	0	90
S10	18-THG-12	4508843	623594	2188	422.00	180	70
S11	18-THG-13A	4508767	623597	2219	418.00	0	90
S12	18-THG-15	4508784	623307	2139	338.00	180	70

Tablo 12. (Devamı)

Sondaj Rumuz	Sondaj No	x	y	Z (m)	Derinlik (m)	Doğrultu	Eğim
S13	18-THG-17	4508500	623207	2113	346.00	160	70
S14	19-THG-1	4508845	624070	2172	540.00	210	70
S15	19-THG-2	4508620	623131	2084	479.00	0	90
S16	19-THG-3	4508568	623358	2127	493.50	360	70
S17	19-THG-4	4508337	623279	2148	312.00	0	90
S18	19-THG-5	4508340	623272	2149	627.00	320	60
S19	19-THG-6	4508429	623388	2120	477.00	330	70
S20	19-THG-7	4508576	623950	2316	538.00	90	70
S21	19-THG-8	4507605	625231	2656	451.50	50	70
S22	20-THG-22	4508209	623182	2226	585.00	0	90
S23	20-THG-23	4508558	623896	2324	596.00	0	90
S24	20-THG-24	4508402	623910	2311	663.00	0	90
S25	21-THG-26	4508500	624008	2336	704.90	0	90
S26	21-THG-27	4508556	624084	2319	653.60	0	90
S27	21-THG-28	4508451	624160	2365	622.50	0	90
S28	21-THG-29	4508656	623984	2280	478.70	0	90
S29	21-THG-29A	4508656	623984	2280	497.90	270	65
S30	21-THG-30	4508734	624018	2214	327.80	0	90
S31	21-THG-31	4508772	623940	2219	386.30	0	90
S32	21-THG-34	4508619	624170	2294	506.40	0	90
S33	20-THG-25	4508480	623899	2320	561.00	0	90

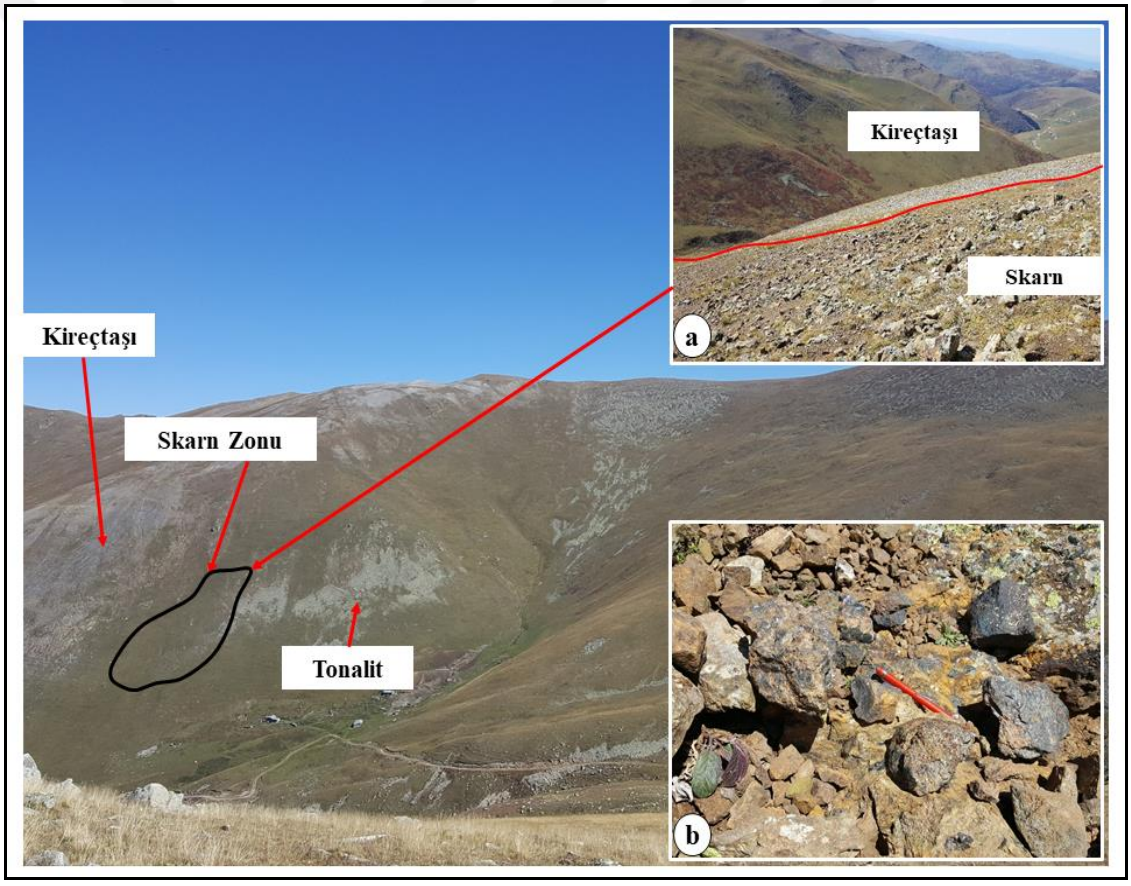


Şekil 39. Göksel sahasında yapılan sondajları gösterir 3D görünümler (a) jeoloji haritası (b) uydu görüntüsü (c) bakır cevherinin gösterimi

3.3.1. Skarn Mineralojisi

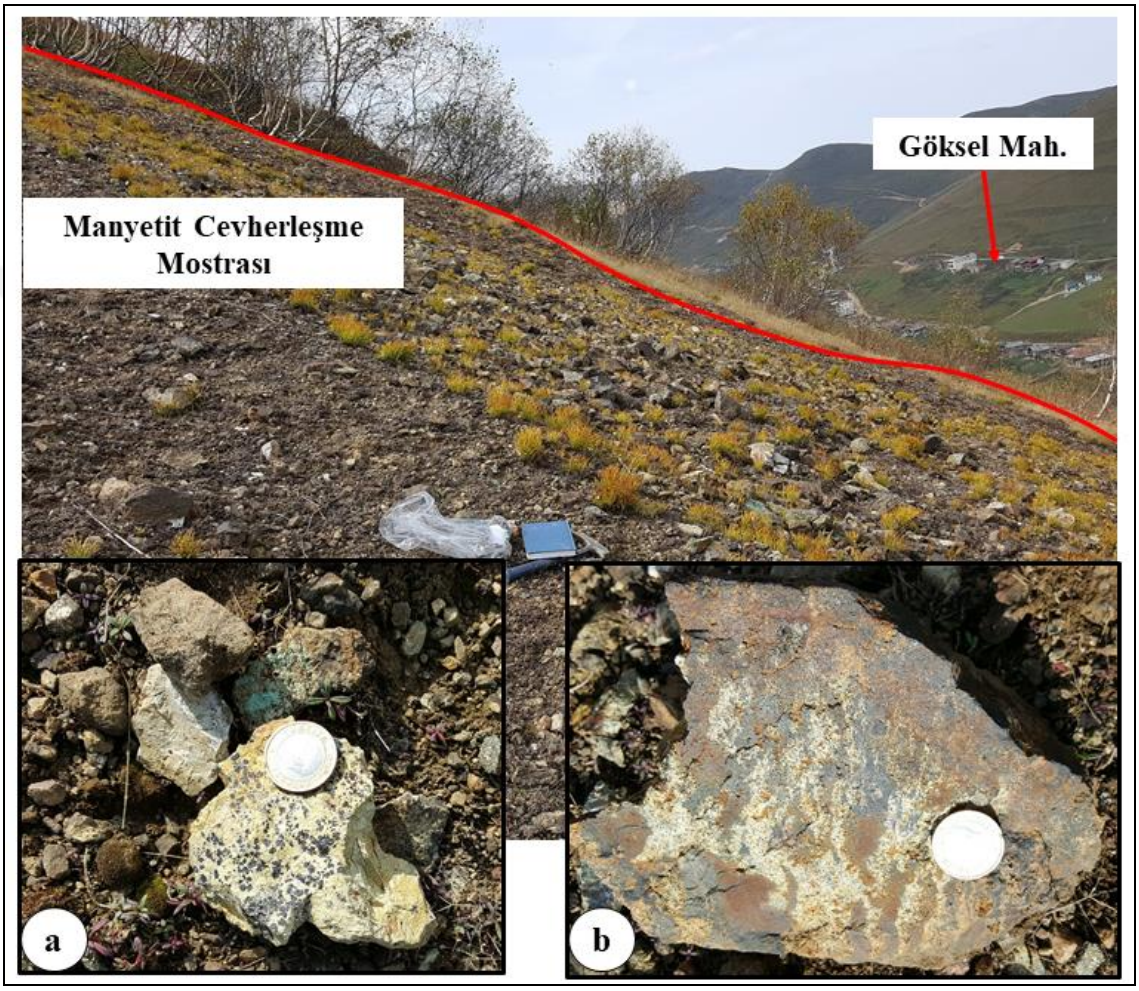
Çalışma alanında Kaçkar Granitoyidleri Berdiga Formasyonu'na ait kireçtaşlarını kesmiş ve yüzeyde sınırlar boyunca kontakt metamorfizma (skarn) etkisi göstermişlerdir. Sahada ağırlıklı olarak ekzoskarn görülmektedir. Ekzoskarnlarda en bol bulunan silikat mineralleri granat, piroksen, epidot, kuvars, klorit, talk mineralleri ile kalsit mineralleridir. Cevher mineralleri de daha çok ekzoskarnlarda görülmekte ve bunlar kalkopirit, manyetit, pirotin, pirit, sfalerit ile oksidasyon mineralleri olarak malahit, kovellin, kalkozin, markazit, hematit ve limonit görülmektedir.

Sahada 4 lokasyonda en büyüğü 30x50 ebatlarında yer yer yoğun manyetitli, malahitli ve bazı zonlarda da kalkopirit, kovellin, sfalerit, pirotin ve pirit minerallerinden oluşan cevherli bölgeler tespit edilmiştir (Şekil 40).



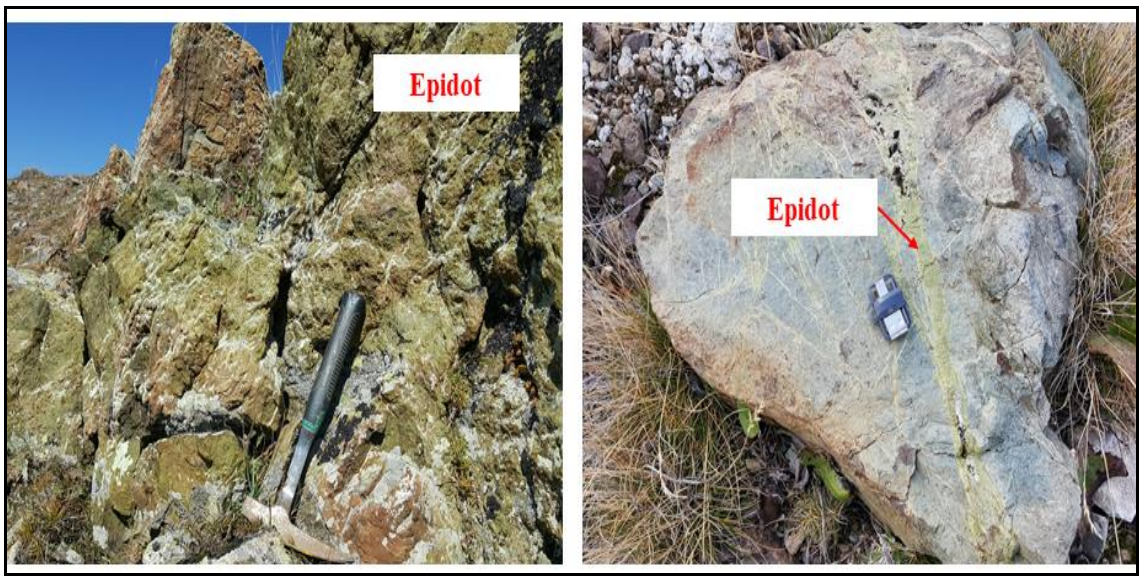
Şekil 40. Skarn cevherleşme mostrası (a) kireçtaşı tonalit kontağı skarn zonu manyetit cevherleşmesi (b) manyetit+piroksen+granat+pirit cevherleşmesi (x:4508607, y: 626284)

Yüzeyde belirlenen altere-tektonik zonların düşey yönde devamlılığını ve cevher içeriğini belirlemek amacıyla yapılan sondajlarda da skarn tip bakır ve demir cevherleşmelerinin varlığı tespit edilmiştir. Kireçtaşı ve granodiyorit arasında gelişen skarn zonları yoğun epidotlu ve granatlı olup manyetitleşmeler yaygındır. Manyetit cevheri arazide genellikle kahverengi-siyahımsı renkli, dağılgan yapılı, kırıklı ve yer yer dissemine piritli olarak yüzlek vermektedir (Şekil 41).



Şekil 41. Yüzeyde gözlenen manyetit cevherleşme mostrası (sondajlar ile düşey devamlılığı test edilmiştir) (a) nodüler manyetit cevherleşmesi (b) manyetit+pirit+kalkopirit cevherleşmesi (x:4508783, y: 624008)

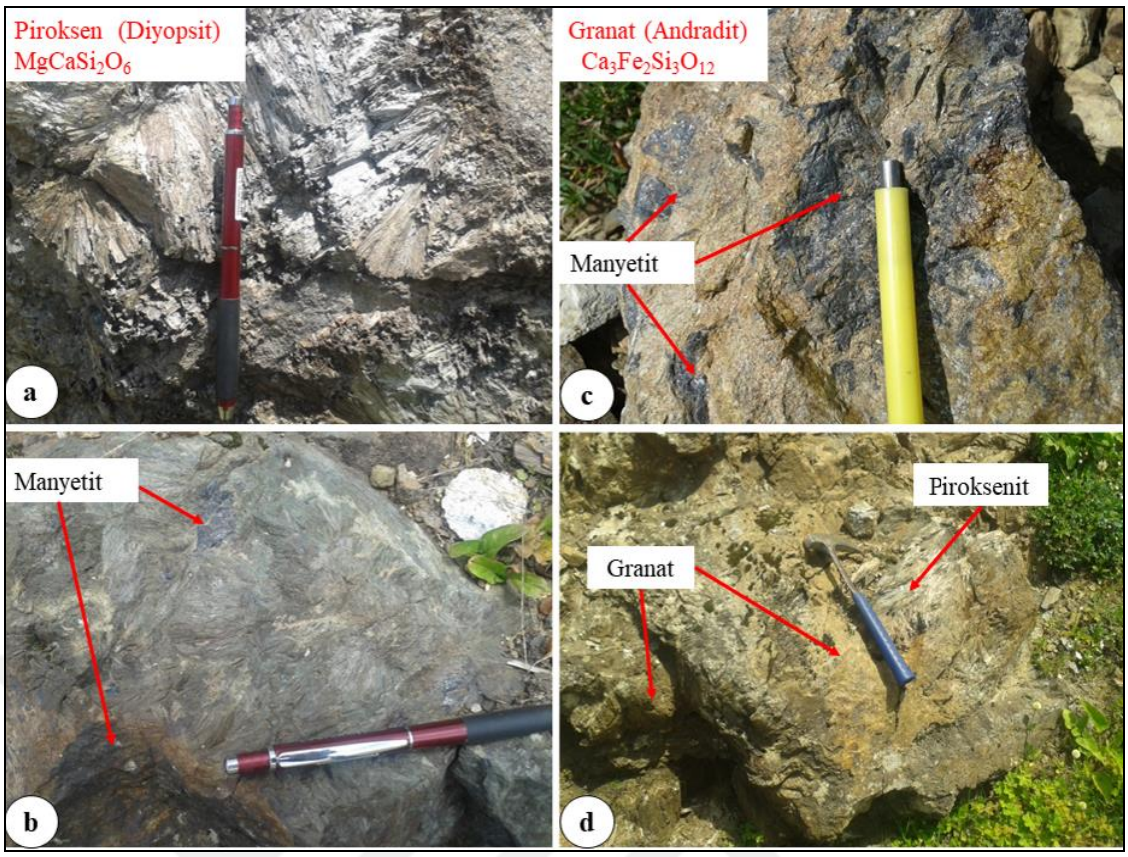
Yüzeyde epidotlu ekzoskarn zonundan alınan kayaç örnekler epidot kuvars klorit-fels ve epidot fels olarak tanımlanmış ve masif felsik doku göstermektedirler. Kayaçlar ilksel doku ve mineralojik bileşimini bütünüyle kaybetmiş olup, felsik doku gelişmiş ve (küçük taneli, ksenomorfik, homojen dağılımlı, genellikle iç içe büyüme gösteren) ikincil klorit, kuvars, epidot, sfen ve albit mineralleri oluşmuştur (Şekil 42).



Şekil 42. Skarn zonu epidotlaşmalardan bir görünüm (x:4508625, y:626262)

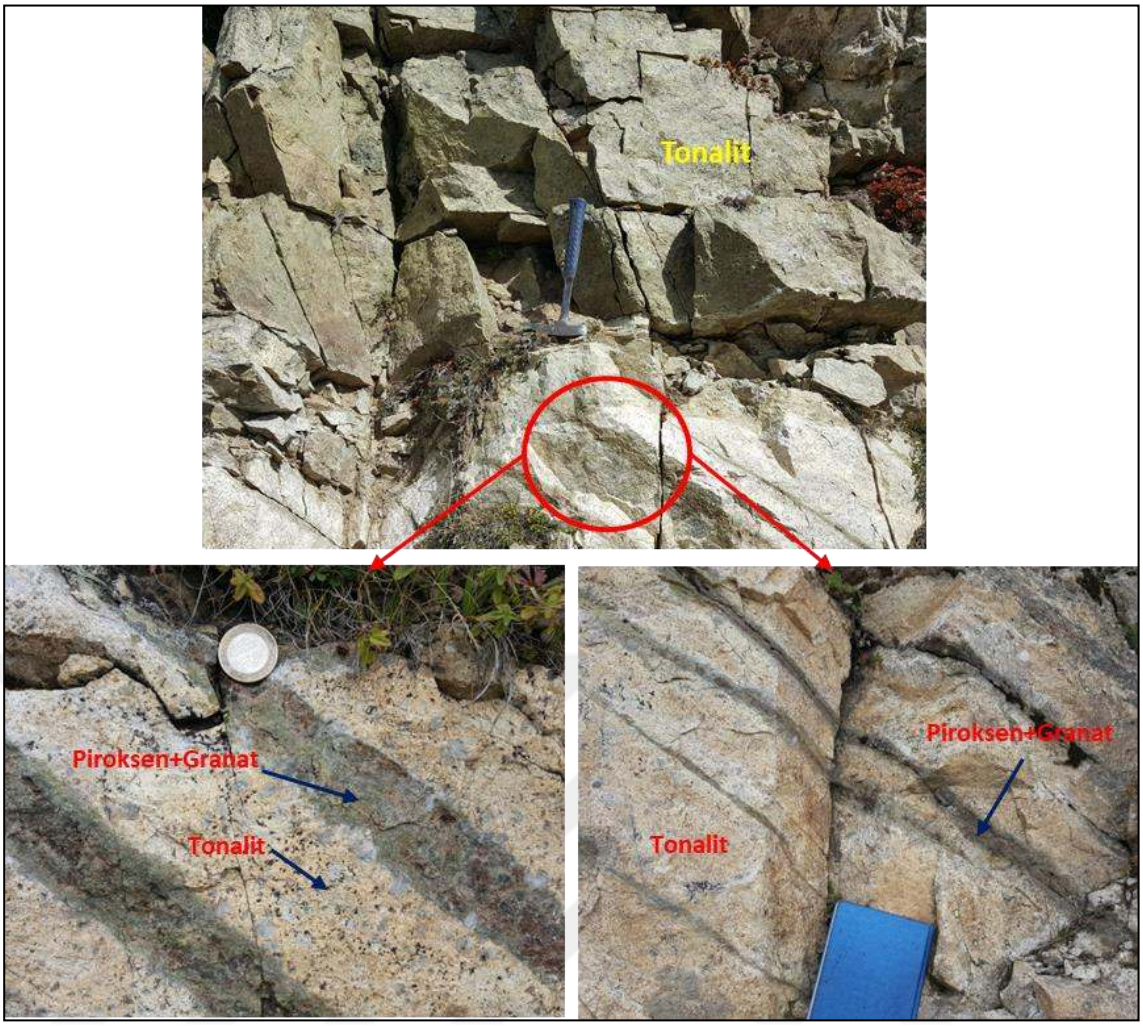
Arazide yüzeyde granatça zengin ekzoskarn zonlarından alınan örnekler genellikle granoblastik dokuya sahip olup ana bileşenleri granatlardan oluşmaktadır. Granat mineralleri küçük-orta taneli olduğu grossular/andradit bileşiminde oldukları tespit edilmiştir. Granat minerallerinin boşluklarında kuvars ve opak mineralleri yer almaktadır.

Yüzeyde piroksenli kayaçlardan alınan örnekler piroksenit olarak isimlendirilmiştir. Masif dokulu ana bileşen olarak piroksen, kuvars tespit edilmiştir. Piroksenlerin türü diyopsittir (Şekil 43). Kayaç piroksen minerallerinden oluşmakla birlikte yer yer ikincil karbonat ve kuvars mineralleri izlenmektedir. Kayaçlara yapılan XRD analiz sonuçlarına göre piroksen, kuvars, kalsit, dolomit ve talk mineralleri saptanmıştır. Piroksenler ışınsal, yelpaze şekilli, yer yer zonlu yapıda olup iç içe büyüme dokusu göstermektedirler. Ayrıca piroksenlerde talk oluşumları da gözlenmektedir.



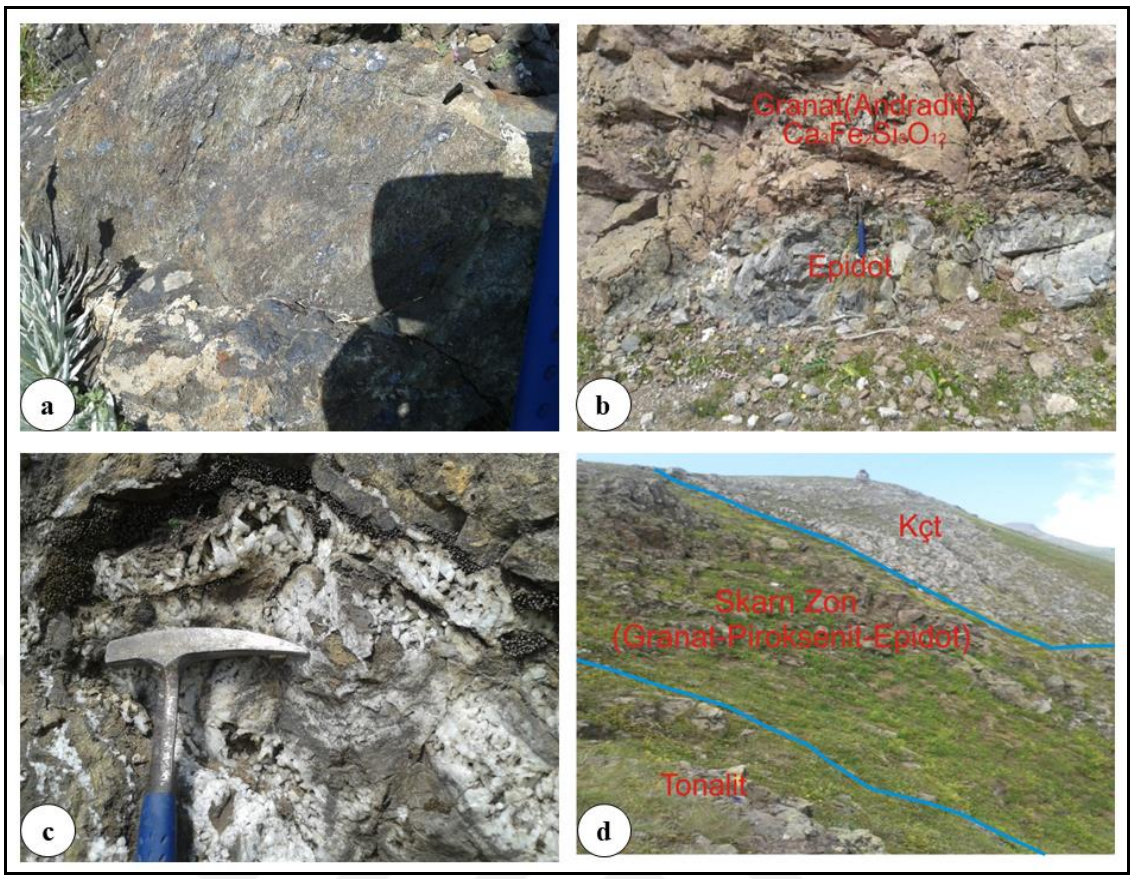
Şekil 43. Cevher içermeyen ekzoskarn zonlarından görünüm (a) ve (b) piroksenit+manyetit, (c) ve (d) Granat+piroksenit+manyetit (x:4507480, y:624814)

Sahada tonalit ile kireçtaşının dokanak yaptığı kısımlarda zon genişliği 50 metreye kadar ulaşan granat, piroksen ve epidotça zengin, demir dışında mineralizasyon içermeyen, yer yer masif özellik sunan endoskarn zonları da gelişmiştir. Bu zonlarda piroksen mineralleri, granat mineralleri ve yer yer manyetit ile spekülarit bulunmaktadır (Şekil 44). Yapılan sem analizlerinde granat mineralinin andradit ve grossular andradit türünde, piroksen minerallerinin diyopsit ve hedenberjitik diyopsit bileşiminde oldukları tespit edilmiştir.



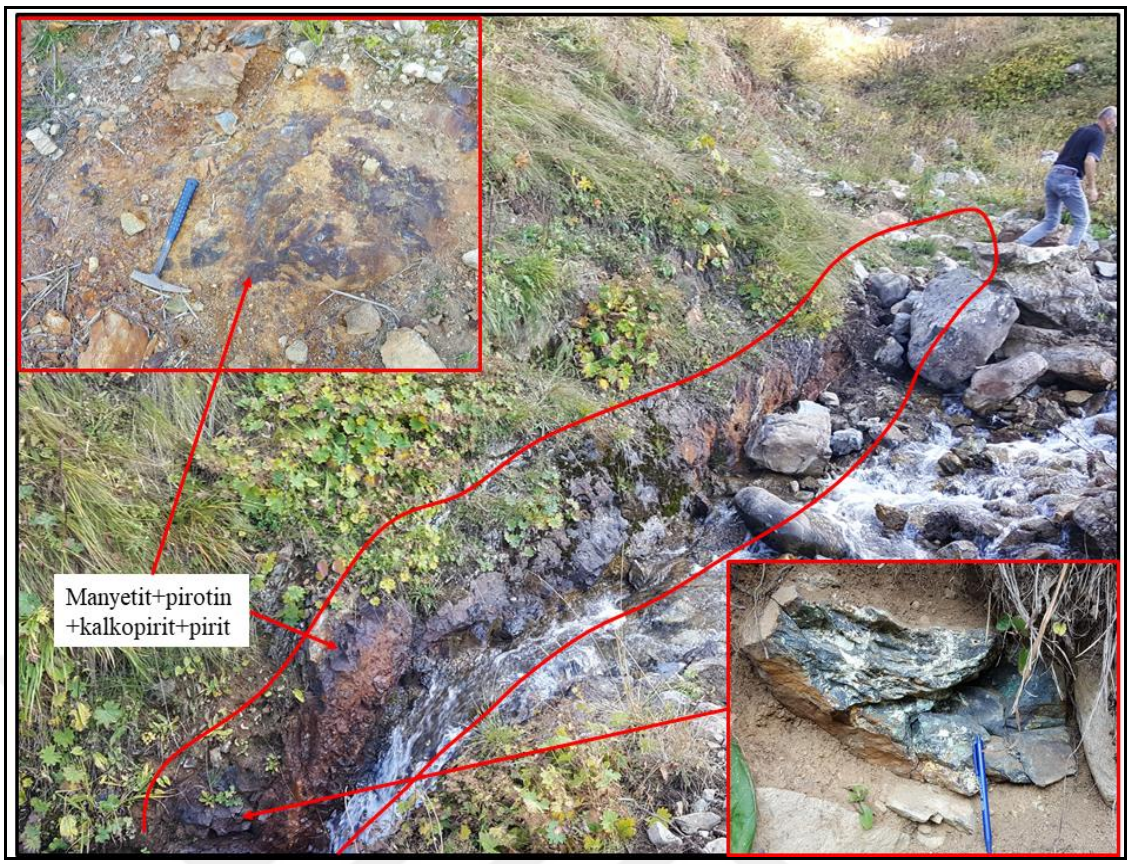
Şekil 44. Cevher içermeyen (endoskarn) granat >piroksen grift skarn zonu (x:4506292, y:624653)

Karbonatlı kayaçlar ile granitoyidik intrüzyonun dokanak oluşturduğu kısımlarda granat, piroksen ve epidotça zengin skarn zonunun oluştuğu gözlenmektedir (Şekil 45). Cu-Fe cevherleşmesinin zengin olduğu kesimde ise dokanak gözlenmemekte, sokulum kayacından uzak bölümde karbonatlı birimler içerisindeki tabaka düzlemleri ve kırık-çatlaklar vasıtasıyla dolaşan hidrotermal çözeltilerin çökelmesi (S içeriğinin artması) sonucu oluşmuşlardır. Karbonatlı kayaçlar ile granitoyid arasında gelişen skarn zonu yoğun piroksen, epidotlu ve granatlı olup manyetitleşmeler yaygındır.



Şekil 45. Cevher içermeyen ekzoskarn zonu (a) manyetit x:4507463, y:625521 (b) granat+epidot x:4506170, y: 624512, (c) dişli kuvars yapıları x: 4506358, y: 624522, (d) kireçtaşı-skarn-tonalit kontağı x:4506286, y:624658

Cu-Fe cevheri bakımında zengin kısımlar direkt dokanakta gözlenmemekte, yer yer kireçtaşı tabakaları arasında mercekler şeklinde ve kireçtaşı içindeki kırık-çatlakları doldurmuş olarak gözlenmektedir. Bu bölgelerde cevher yer yer masif sülfit cevherleşmesi olarak gözlenmektedir. Kırık ve çatlak hatlarında oluşan cevherleşmede pirotin minerali masif kısımlarda baskın mineraldir. Bunun yanında kalkopirit, pirit, manyetit, maghemit, yer yer sfalerit ve az da olsa molibdenit gözlenmektedir (Şekil 46).



Şekil 46. Kırık hattına bağlı oluşmuş cevherli skarn zonundan görünüm (Çok yoğun pirotin+kalkopirit+pirit içeren masif cevher zonu x: 4508677, y:623169)

Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesi sahasında skarn zonlarından alınan örneklerde mineralojik ve petrografik incelemeler sonucu elde edilen bulgular toplu olarak Tablo 13'te verilmiştir.

Tablo 13. Skarn zonlarından alınan başlıca skarn örnekleri

Numune Harita No	**Numune İşareti**	**x**	**y**	**Tanımlama**
28	2014-THG-P14	624558	4509010	Granatfels
29	2014-THG-P15	624845	4506499	Epidotfels
32	2014-THG-P18	623131	4508309	Granatfels
33	2014-THG-P19	624704	4506285	Granatfels
35	2014-THG-P22	623217	4508228	Kontak Metamorfik Kayaç (fels)
37	2014-THG-P24	623116	4508355	Kontak Metamorfik Kayaç (fels)
41	2014-THG-P28	624758	4506260	Granat-fels
42	2014-THG-P29	625472	4507439	Granat-fels
43	2014-THG-P30	626732	4508733	Epidot kuvars klorit fels
56	2015-THG- P156	624581	4509015	Piroksenit
57	2015-THG- P157	624614	4507466	Piroksenit
58	2015-THG- P158	625483	4507517	Piroksenit
59	2015-THG- P159	624554	4509012	Granatfels
60	2015-THG- P160	625464	4507463	Granatfels
61	2015-THG- P161	624500	4506344	Granatfels
62	2015-THG- P162	625465	4507449	Epidotfels

Tablo 13'te verilen numune tanımlamaları detaylı olarak ayrı ayrı açıklanmıştır.

2014-THG-P14 nolu ekzoskarn örneği: Makroskobik olarak koyu sarımsı kahve renkli, masif dokulu, ince-orta tane büyüklüğündedir. Mikroskobik inceleme de felsitik dokuya sahip, ana bileşenleri granat ve kuvars minerallerinden oluşmaktadır. Kuvars mineralleri küçük taneli, yarı özşekilli, tali bileşenler opak mineraller olup küçük taneli, özşekilsiz, çatlak ve boşlukları doldurmuştur. Skarn kayaç adı Granatfels olarak isimlendirilmiştir.

2014-THG-P15 nolu ekzoskarn örneği: Makroskobik olarak koyu sarımsı yeşil renkli, masif dokulu, ince tane büyüklüğündedir. Mikroskobik inceleme de felsitik dokuya sahip, ana bileşenleri epidot, amfibol, kalsit ve granat minerallerinden oluşmaktadır. Epidotlar küçük-orta taneli, yarı özşekilli, amfibol mineralleri, küçük taneli, lifsi şekilli, tremolit-aktinolit türünde, kalsit küçük taneli, yarı özşekilli, granat mineralleri ise küçük taneli yarı özşekilli olarak izlenmektedir. Opak mineraller küçük taneli, özşekilsiz, sfen ise küçük taneli yarı öz şekilli olarak gözlenmektedir. Skarn kayaç adı ***Epidot-Fels*** olarak isimlendirilmiştir.

2014-THG-P19 nolu ekzoskarn örneği: Makroskobik olarak koyu sarımsı kahve renkli, masif dokulu, ince-orta tane büyüklüğündedir. Mikroskobik inceleme de felsitik dokuya sahip, ana bileşenleri granat, kuvars, talk ve karbonat minerallerinden oluşmaktadır. Granat orta taneli öz şekilli, Kuvars mineralleri küçük taneli, yarı özşekilli, Talk küçük tane boyunda özşekilsiz, karbonat mineralleri küçük tane boyunda öz şekilsiz olarak izlenmektedir. Tali bileşenler opak mineraller olup küçük taneli, özşekilsiz, çatlak ve boşlukları doldurmuştur. Skarn kayaç adı ***Granat-Fels*** olarak isimlendirilmiştir.

2014-THG-P22 nolu ekzoskarn örneği: Makroskobik olarak koyu yeşilimsi gri renkli, masif dokulu, ince-orta tane büyüklüğündedir. Mikroskobik inceleme de felsitik dokuya sahip olduğu, ana bileşenleri, piroksen (genellikle özşekilsiz), granat (yarı özşekilsiz), kuvars, plajiyoklas, epidot minerallerinden oluşmaktadır. Tali bileşenleri opak mineraller olup ince taneli, yer yer mineral sıralamasında ve bazısı da birkaç hat boyunca dizilim gösteren özşekilsiz taneler halindedir. Süreksizlik olarak damarlar yer almakta olup damarlar kalınlığı 0,08-2,4 mm arası kalınlıkta kuvars dolguludur. ***Kayaç*** *Kontak Metamorfik Kayaç (Fels)* olarak isimlendirilmiştir.

2014-THG-P24 nolu ekzoskarn örneği: Makroskobik olarak orta sarı yeşil renkli, masif dokulu, ince-orta tane büyüklüğündedir. Mikroskobik inceleme de felsitik dokuya sahip olduğu, ana bileşenleri piroksen mineralleri (genellikle özşekilsiz), granat mineralleri (yarı özşekilli-özşekilsiz), az miktarda epidot minerallerinden oluşmaktadır.

Tali bileşenleri opak mineraller ve malahit olarak gözlenmiştir. Süreksizlikler çatlak ve boşluklardan oluşmaktadır. Çatlaklar 0,01-0,08 mm arası kalınlıkta olup çatlak-boşluklar (boşluklar düzensiz şekillidir) klorit, malahit? (ve boyaması) dolguludur. ***Kayaç Kontak Metamorfik Kayaç (Fels)*** olarak isimlendirilmiştir.

2014-THG-P28 nolu ekzoskarn örneği: Makroskobik olarak orta zeytin yeşili kahve renkli, masif dokulu, küçük tane büyüklüğündedir. Mikroskobik inceleme de granoblastik dokuya sahip olduğu, ana bileşenleri granat minerallerinden oluşmaktadır. Granat mineralleri küçük -orta taneli ksenomofik-çoğunlukla hipidiyomorfik; prizmatik şekilli, çatlaklı yapıda; homojen dağılımlıdır. Başlıca (olası grossular/andradit bileşimindeki) granat minerallerinden oluşan örnekte ayrıca az/çok az oranda, (granat mineralleri arasında boşluklarda gelişim sunan) kuvars mineralleri, (özellikle granat minerallerinin sınırları ve çatlakları boyunca gelişim sunan) opak mineraller ile (özellikle granat mineralleri içinde olası sıra kapanımlar halinde, çok küçük taneli yer yer sub-mikroskobik) kuvars, serisit/serisitleşmiş olası feldspat ve olası piroksen? mineralleri mevcuttur. Kayaç *Granat Fels* olarak isimlendirilmiştir.

2014-THG-P29 nolu ekzoskarn örneği: Makroskobik olarak koyu yeşilimsi gri renkli, masif dokulu, küçük tane büyüklüğündedir. Mikroskobik inceleme de granoblastik dokuya sahip olduğu, ana bileşenleri granat minerallerinden oluşmaktadır. Granat mineralleri küçük -orta taneli ksenomofik yer yer hipidiyomorfik; prizmatik şekilli, zonlu ve çatlaklı yapıda, homojen dağılımlı yoğun oranda altere olmuş. Başlıca (olası grossular/andradit bileşimindeki) granat minerallerinden oluşan örnekte ayrıca, (özellikle granat mineralleri arasında boşluklarda ve çatlaklar boyunca gelişim sunan) kuvars mineralleri, opak mineraller ile yer yer az oranda biyotit/klorit ve serisit mineralleri mevcuttur. Granat mineralleri genellikle yoğun oranda altere olmuş, çok küçük taneli/sub-mikroksobik olası biyotit/klorit, serisit ve silis minerallerine dönüşmüştür. Nispeten daha az oranda alterasyona maruz kalmış granat minerallerinde ise, (2014-THG-P28) olası sub-mikroskobik mineraller kapanımlarının varlığı izlenmiştir. Kayaç *Granat Fels* olarak isimlendirilmiştir.

2014-THG-P30 nolu ekzoskarn örneği: Makroskobik olarak grimsi zeytin yeşili, yeşil renkli, masif dokulu, küçük tane büyüklüğündedir. Mikroskobik inceleme de felsitik dokuya sahip olduğu, ana bileşenleri klorit, kuvars, epidot, sfen, ve albit minerallerinden oluşmaktadır. Örnek ilksel dokusu ve mineralojik bileşimini bütünüyle kaybetmiş olup, örnekte felsik doku gelişmiş ve (küçük taneli, ksenomorfik, homojen dağılımlı, genellikle iç içe büyüme gösteren) ikincil klorit, kuvars, epidot mineralleri oluşmuştur. Kayaç *Epidot Kuvars Klorit Fels* olarak isimlendirilmiştir.

2015-THG- P156 / 2015-THG- P157 / 2015-THG- P158 nolu ekzoskarn örnekleri: Makroskobik olarak koyu yeşilimsi gri yeşil renkli, masif dokulu, ince tane büyüklüğündedir. Mikroskobik inceleme de holokristalin dokuya sahip olduğu, ana bileşenleri piroksen ve kuvars minerallerinden oluşmaktadır. Piroksen ince-orta taneli, yarı öz şekilli ve homojen bir dağılım kuvars ise öz şekilsiz heterojen bir dağılım sunmaktadır. İnce taneli piroksen mineralleri yapılan XRD analizine göre piroksenin türü diyopsit olarak belirlenmiştir. Piroksenlerde talklaşma izlenmektedir. Ayrıca XRD analizi sonucuna göre örneklerde amfibol, feldspat, kalsit ve talk mineralleri tespit edilmiştir. Kayaçlarda ayrıca ikincil kuvars mineralleri ve opak mineraller de izlenmiştir. Kayacın adı *Piroksenit* olarak isimlendirilmiştir.

Göksel Cu-Fe skarn sahasında yapılan sondaj karotlarından 5 adet, yüzey kayaç örneklerinde ise 7 adet XRD örneği alınmıştır. Bu numunelere X-Işını Kırımı yöntemi ile Kalitatif Detay Kil Analizi test tekniği uygulanmıştır. Yöntemde difraktogramlardan elde edilen veriler yüksek sayım değerinden düşük sayım değerine göre sıralanmaktadır. Mineral sıralaması kantitatif (nicel) bir değer ifade etmemektedir. Sondaj ve arazide mostradan alınan örneklere ait analiz sonuçları Tablo 14'de verilmiştir.

Tablo 14. Sondaj ve arazi örneklerine ait XRD sonuçları

Örnek Rumuzu/ Metresi	**y**	**x**	**Açıklama**	**Analiz Sonuçu (Mineral Adı)**
2015-THG-XRD-151	624581	4509015	Piroksen	Willemseit Kalsit Kuvars Diopsit
2015-THG-XRD-152	624614	4507466	Piroksen	Actinolit Crossit Feldispat Grubu Mineral Diopsit Kuvars
2015-THG-XRD-153	625483	4507517	Piroksen	Crossit? Kalsit Diopsit Feldspat Grubu Mineral Kuvars
2015-THG-XRD-154	624554	4509012	Granat	Granat Grubu Mineral (Andradit) Uvarovit Hematit Kuvars
2015-THG-XRD-155	625464	4507463	Granat	Granat Grubu Mineral Andradit Kuvars
2015-THG-XRD-156	624500	4506344	Granat	Granat Grubu Mineral Andradit Klorit Grubu Mineral Kuvars
2015-THG-XRD-157	625465	4507449	Epidot Fels	Epidot Klorit Grubu Mineral

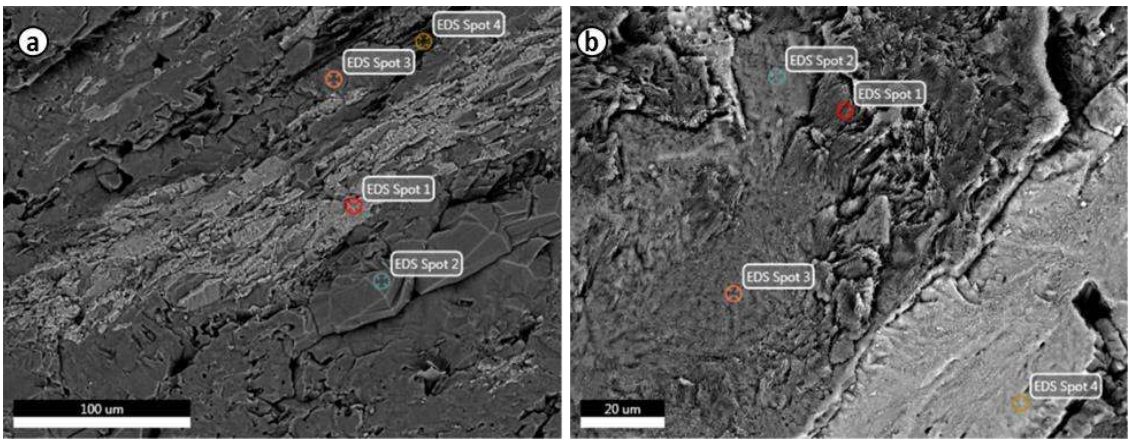
Tablo 14 (Devamı)

Örnek Rumuzu/ Metresi	y	x	Açıklama	Analiz Sonucu (Mineral Adı)
THG-1/27.X (27. m)	623128	4508293	Tonalit	Granat mineralleri, kuvars, plajiyoklas, klorit, kristobalit, jips, illit, kaolinit
THG-3/11.X (11. m)	623224	4508183	Tonalit Kireçtaşı Kontağı Cevherleşme zonu	Kuvars, klorit, alkali feldispat, kalsit, dolomit, kaolinit
THG-4/11.X (160. m)	623950	4508580	Dasit	Kuvars, alkali feldispat, plajiyoklas, pirit, amfibol, jips, klorit, kaolinit
THG-10/152.X (152. m)	623535	4508665	Kireçtaşı	Dolomit, kalsit, klorit, kaolinit

3.3.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Mineral Kimyası

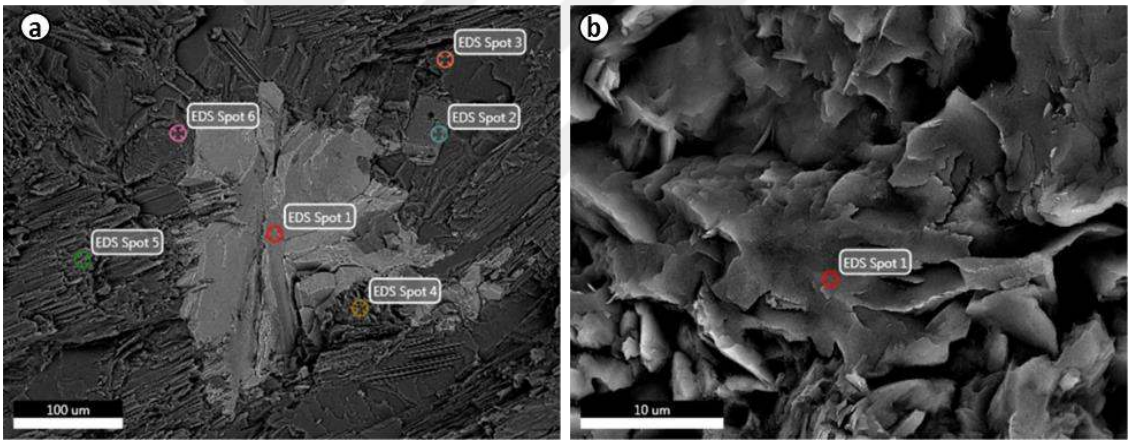
Skarn tip yataklar üzerine yapılan daha önceki çalışmalarda skarn zonlarında en fazla bulunan granat ve piroksen minerallerinin kimyasal bileşimleri ile skarn yataklarının cevherleşme içerikleri arasında bir ilişkinin varlığı tespit edilmiştir. Bu ilişkiden hareketle piroksen ve granat minerallerinin bileşimine göre üçlü diyagramlar yapılmıştır (Burt, 1972, 1982; Einaudi vd., 1981; Nakona vd., 1994; Nakona, 1998; Meinert vd., 2005). Granat mineralleri için (pirop+spesartin+almandin)-grosüler-andradit uç bileşenleri, piroksenler için ise johansenit-hedenberjit ve diyopsit uç bileşenleri kullanılmaktadır. Göksel sahasında skarn zonlarından alınan örneklerinin taramalı elektron mikroskobu ile SEM analizleri yapılıp, görüntüleri alınmış ve mikrokimyasal (EDS) analizi gerçekleştirilmiştir. Kimyasal bileşimlerine göre granat ve piroksenlerin türleri tespit edilmiştir. Kimyasal bileşimleri hesaplanan örnekler üçlü diyagramlara atılmış ve skarn oluşumunda etkili olan akışkanların evrimi hakkında bilgi edinilmeye çalışılmış ve skarn tipi belirlenmiştir. Ayrıca farklı sahadaki (Dağbaşı skarn sahası) skarnlar ile karşılaştırılmıştır.

Göksel sahasında alınan granatların andradit ve grossular andradit bileşiminde oldukları tespit edilmiştir (Şekil 47, Tablo 15).



Şekil 47. Granat örneklerinin SEM görüntüleri (a) 19-TG.27 nolu örnek EDS spot 3 andradit, EDS spot 2 grossular andradit, (b) 19-TG.27 nolu örnek EDS spot 2 andradit

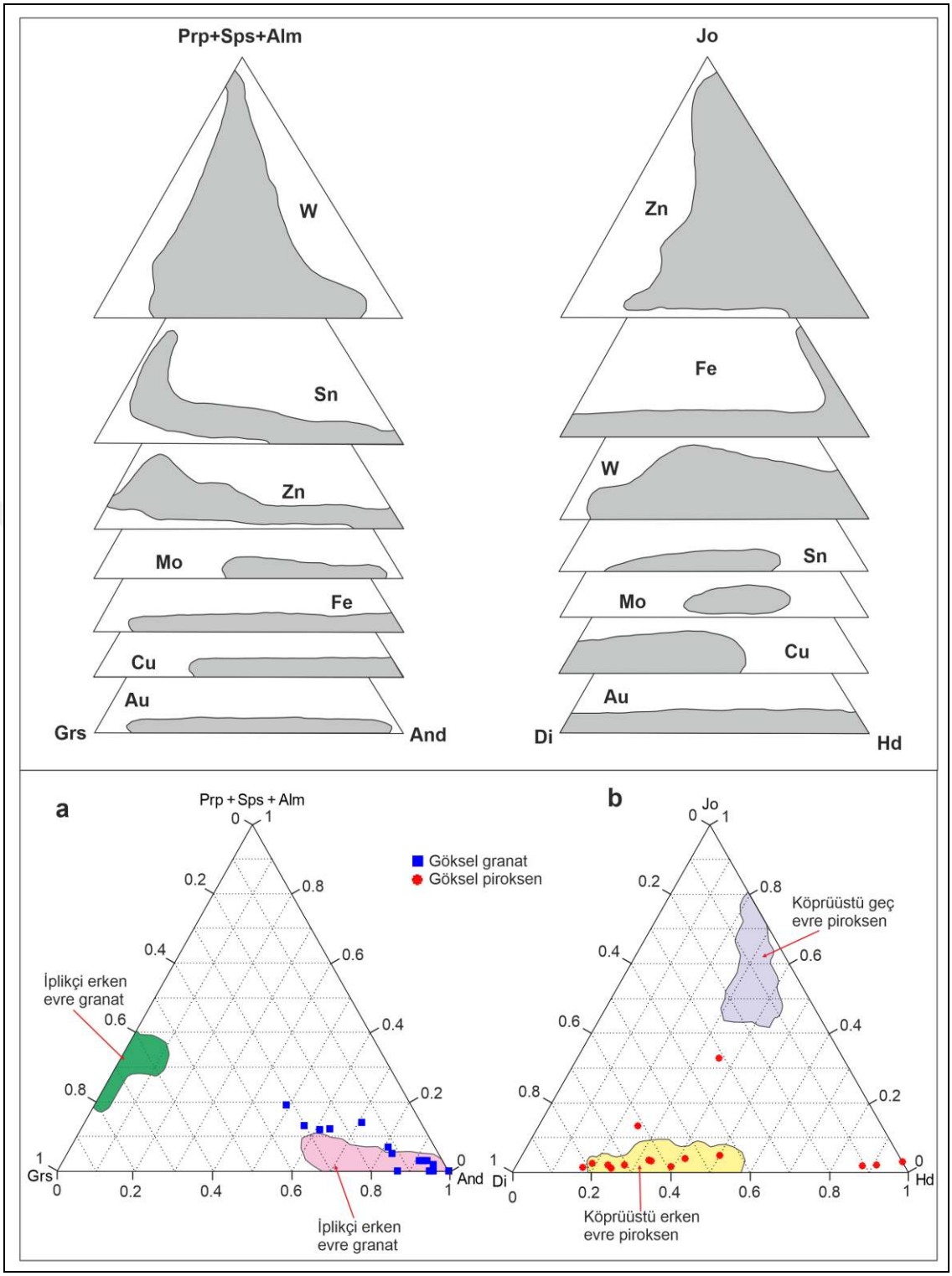
Piroksenlerin hedenberjit, diyopsit ve hedenberjitik diyopsit olduğu tespit edilmiştir (Şekil 48) (Tablo 16).



Şekil 48. Piroksen örneklerinin SEM görüntüleri (a) 19-TG.43 nolu örnek EDS spot2 noktası hedenberjit (b) 19-TG.50 nolu örnek EDS spot1 noktası diyopsit

Göksel skarn sahasındaki granat ve piroksenler Dağbaşı (Araklı-Trabzon) skarn yatağındaki granat ve piroksenler ile karşılaştırılmıştır. Buna göre Dağbaşı İplikçi skarn yatağındaki erken evre granatlarına benzerlik göstermiştir (Şekil 49). Piroksenlerin ise Dağbaşı Köprüüstü skarn yatağı erken evre piroksen örneklerinin bileşimi ile benzerlik gösterdiği görülmüştür (Şekil 49).

Einaudi vd. (1981) ve Meinert (1983 ve 1992)'in granat ve piroksen için Cu ve Fe skarn yatakları sınıflamalarına göre bu çalışmadaki granat ve piroksen minerallerinin Cu ve Fe yataklanma sınıfına uyduğu görülmüştür (Şekil 49).



Şekil 49. Piroksen ve granatın bileşimlerine göre skarn tiplerinin sınıflandırılması (Einaudi vd., 1981; Meinert, 1983 ve 1992), a) Göksel sahası granatlarının (Prp: pirop, Sps: spesartin, Alm: almandin, Grs: grosüler, And: andradit) bileşimleri ve b) Piroksenlerin (Joh: johansenit, Diy: diyopsit, Hed: hedenberjit) bileşimlerindeki değişimler, İplikçi ve Köprüüstü skarn yatağı verileri Demir (2019)'dan alınmıştır.

Tablo 15. Granat minerallerinin SEM analiz sonuçları.

Örn. No.	**19-TG-27**						**19-TG-28**		**19-TG-43**					**19-TG-52**			**19-TG-53**
Nokta	EDS1-2	EDS-2-2	EDS-2-3	EDS3-2	EDS4-2	EDS5-3	EDS2-2	EDS4-1	EDS1-3	EDS1-4	EDS2-2	EDS3-5	EDS4-5	EDS1-2	EDS2-1	EDS3-1	EDS2-2
SiO_2	28.66	37.85	33.62	38.32	34.66	34.16	35.46	37.55	38.73	35.09	36.42	36.32	35.21	36.74	37.71	36.41	36.00
TiO_2	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	0.34	a.s.a.	0.84	0.29	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.
Al_2O_3	a.s.a.	1.48	1.03	1.86	1.1	0.93	2.89	5.73	2.74	7.77	8.60	9.68	6.62	a.s.a.	1.83	1.52	1.89
FeO^t	37.18	26.78	30.14	27.64	28.99	29.13	26.05	34.7	18.73	18.56	18.59	17.54	22.12	29.36	27.40	29.01	28.76
MnO	1.19	0.65	1.09	0.39	0.47	0.48	0.89	a.s.a.	0.90	0.94	0.59	0.53	0.88	0.59	0.54	0.49	0.63
CaO	32.97	33.25	34.12	31.78	34.78	35.3	34.7	21.68	38.91	36.80	35.51	35.93	30.90	33.31	32.53	32.56	32.72
F	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	4.27	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.
Toplam	100.00	100.00	100.00	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
12 oksijen ve 8 katyona göre hesaplanmıştır																	
Si	2.39	3.08	2.76	3.13	2.83	2.79	2.88	3.10	3.10	2.79	2.89	2.87	2.58	3.02	3.08	2.98	2.94
Ti	-	-	-	-	-	-	-	0.02	-	0.05	0.02	-	-	-	-	-	-
Al	-	0.14	0.10	0.18	0.11	0.09	0.28	0.56	0.26	0.73	0.80	0.90	0.57	-	0.18	0.15	0.18
Fe^{3+}	-	0.14	-	0.32	-	-	-	1.20	-	-	-	-	-	0.05	0.20	0.09	0.03
Fe^{2+}	2.59	1.69	2.07	1.56	1.98	1.99	1.77	1.19	1.25	1.23	1.23	1.16	1.36	1.97	1.67	1.89	1.93
Mn	0.08	0.04	0.08	0.03	0.03	0.03	0.06	-	0.06	0.06	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.03	0.04
Ca	2.94	2.90	3.00	2.78	3.05	3.09	3.02	1.92	3.33	3.13	3.02	3.04	2.43	2.93	2.84	2.85	2.87
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.01	-	-	-	-
	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
And	1.00	0.49	0.95	0.91	0.95	0.96	0.86	0.81	0.83	0.63	0.61	0.56	0.70	1.00	0.91	0.93	0.92
Grs	0.00	0.32	0.03	0.06	0.05	0.04	0.13	0.12	0.12	0.24	0.27	0.30	0.15	0.00	0.05	0.04	0.05
Sps	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Alm	0.00	0.19	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.07	0.05	0.12	0.12	0.13	0.14	0.00	0.03	0.03	0.03
Prp	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

a.s.a.: Analiz sınırının altında, And: Andradit, Grs: Grossular, Sps: Spessartin, Alm: Almandin, Prp: Pirop

Tablo 16. Piroksen minerallerin SEM analiz sonuçları

Örn. Nu.	19-TG-27-eds2-4	19-TG-27-eds3-3	19-TG-27-eds3-4	19-TG-27-eds4-1	19-TG-27-eds5-4	19-TG-28-eds4-3	19-TG-28-eds5-1	19-TG-43-eds2-2	19-TG-43-eds2-4	19-TG-43-eds2-5	19-TG-50-eds7-1	19-TG-53-eds2-1	19-TG-53-eds2-2	19-TG-53-eds2-3	19-TG-53-eds3-1
SiO_2	31.15	61.15	66.45	45.51	57.89	52.07	52.08	36.42	40.62	51.31	35.96	53.94	37.10	36.99	54.66
TiO_2	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	0.29	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.
Al_2O_3	0.67	a.s.a.	a.s.a.	2.10	1.31	1.33	1.76	8.60	3.47	1.38	22.95	0.635	2.34	2.109	1.336
FeO^t	20.55	17.2	8.04	12.99	19.10	7.26	6.71	18.59	28.69	12.68	14.51	21.53	26.17	28.54	12.97
MnO	18.76	1.77	0.75	6.91	1.82	0.71	0.96	0.59	1.36	1.38	0.75	2.142	0.57	0.66	1.08
MgO	10.23	18.4	21.70	18.05	14.08	13.19	15.77	a.s.a.	24.31	13.94	24.96	11.02	1.82	1.24	18.88
CaO	16.45	1.41	3.05	9.56	5.80	25.43	22.71	35.51	1.55	19.31	0.87	10.74	31.99	30.45	11.07
Na_2O	2.19	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.
Toplam	100	100	100	95.10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
6 oksijen ve 4 katyona göre hesaplanmıştır															
Si	1.22	2.31	2.43	1.79	2.22	1.94	1.92	1.44	1.51	1.93	1.26	2.11	1.50	1.50	2.02
Al	0.03	0.00	0.00	0.10	0.19	0.06	0.08	0.40	0.15	0.07	0.95	0.03	0.23	0.10	0.06
Fe^{3+}	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.06	0.08	0.00	0.83	0.07	0.00	0.00	0.00	0.89	0.00
Ti	-	-	-	-	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-
Fe^{2+}	0.67	0.54	0.25	0.10	0.61	0.17	0.13	0.62	0.06	0.33	0.43	0.70	0.88	0.08	0.40
Mn	0.62	0.06	0.02	0.23	0.06	0.02	0.03	0.02	0.04	0.04	0.02	0.07	0.02	0.02	0.03
Mg	0.60	1.04	1.18	1.06	0.81	0.73	0.87	0.00	1.35	0.78	1.31	0.64	0.11	0.08	1.04
Ca	0.69	0.06	0.12	0.40	0.24	1.02	0.90	1.51	0.06	0.78	0.03	0.45	1.38	1.33	0.44
Na	0.17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Toplam	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Wo	25.1	3.36	7.61	19.01	13.90	50.84	44.83	70.33	2.64	38.87	1.84	24.09	57.75	55.38	22.92
En	21.73	61.23	75.27	49.96	46.94	36.71	43.33	0.00	57.48	39.03	73.09	34.39	4.57	3.15	54.37
Fs	47.11	35.41	17.12	31.03	39.16	12.45	11.84	29.67	39.88	22.10	25.08	41.51	37.68	41.48	22.72
Ac	6.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Hd	35.56	33.19	16.94	24.90	41.48	23.05	18.75	96.86	39.08	32.57	24.28	49.68	87.27	90.81	27.19
Jo	32.88	3.45	1.60	13.41	4.00	2.28	2.71	3.14	1.88	3.58	1.26	5.00	1.91	2.14	2.28
Di	31.56	63.36	81.47	61.69	54.52	74.67	78.54	0.00	59.04	63.85	74.46	45.31	10.82	7.053	70.53
Mn/Fe	0.92	0.10	0.09	0.54	0.10	0.10	0.14	0.03	0.05	0.11	0.05	0.10	0.02	0.02	0.08

a.s.a.: Analiz sınırının altında, FeO^t: Toplam demir, Hd: Hedenberjit, Jo: Johansenit, Di: Diyopsit

3.3.3. Cevher Parajenez ve Süksesyonu

Göksel Cu-Fe skarn cevherleşme sahasında kireçtaşı ile granitoyidik intrüzyonun dokanak oluşturduğu kısımlarda endoskarn ve ekzoskarnların geliştiği ayrıca Cu-Fe cevherleşmesinin olduğu kesimlerde ise dokanak gözlenmemekte, sokulum kayacından uzak bölümde kireçtaşı içerisindeki tabaka düzlemleri ve kırık-çatlak sistemlerinde dolaşan hidrotermal çözeltilerin indirgen (S içeriğinin artması) ortamda çökelmesi sonucu oluştuğu görülmüştür.

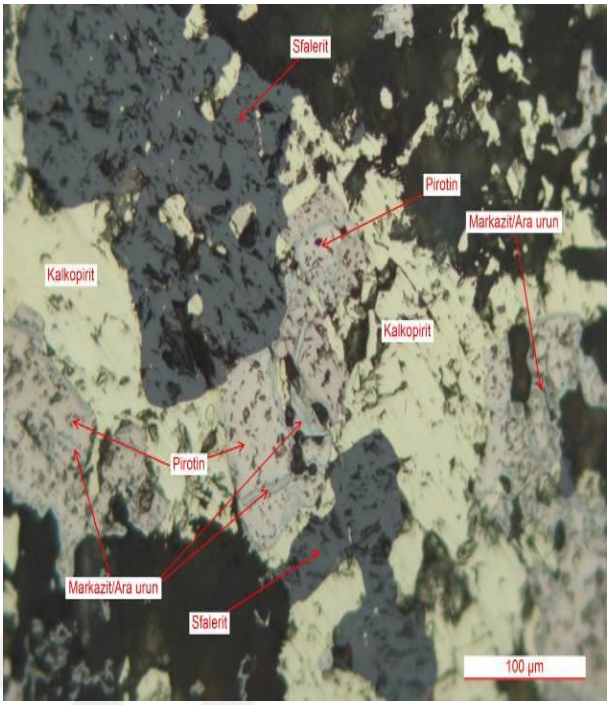
Skarn tip cevherleşmenin endoskarn zonunda piroksen, granat, manyetit ve epidot az miktarda, ekzoskan zonunda ise bu minerallerin daha fazla olduğu gözlenmiştir. Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesinin mineral parajenezi manyetit, pirit, pirotin, sfalerit, kalkopirit, galenit, hematit, arsenopirit, az miktarda mangan, molibdenit, sfen, rutil, ilmenit, makinevit (vallerite), wolframit, gümüş ve tellür şeklindedir. Ayrıca, oksidasyon mineralleri olarak hematit, limonit, maghemit, markazit, kovellin ve malahit minerallerinin olduğu tespit edilmiş (Tablo 17). Yine skarn zonlarında kuvars ve kalsit mineralleri oldukça fazla gözlenmektedir.

Çalışma alanında cevher parajenezini ve süksesyonunu belirlemek için sondajlardan ve yüzeyden alınan numunelerin detaylı incelemeleri tablo olarak hazırlanmış ve detaylı olarak verilmiştir (Tablo 17).

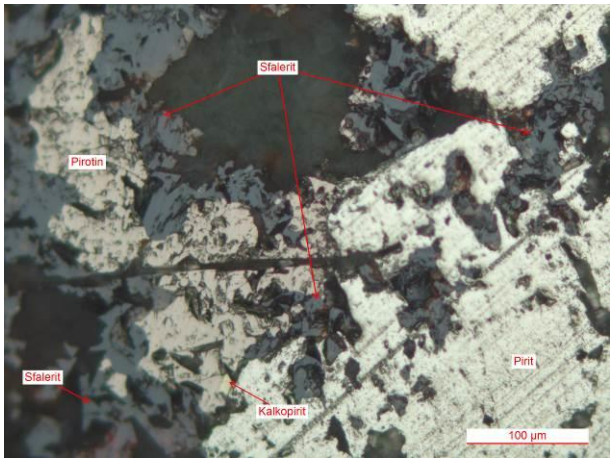
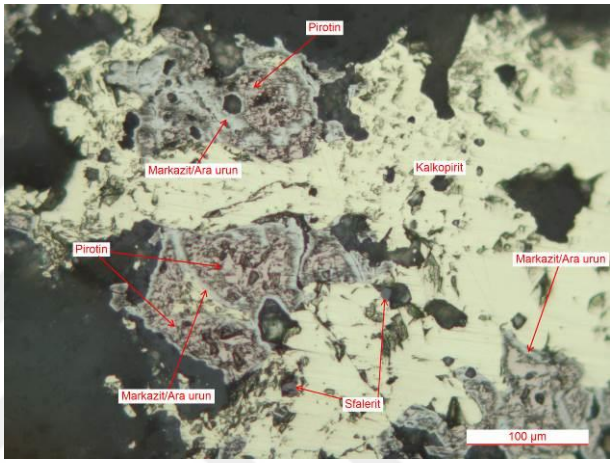
Tablo 17. Göksel sahası sondaj ve yüzeyden alınan örneklere ait cevher parlatma kesit sonuçları

Örnek Rumuz	Mineralojik Bileşim	Fotoğraf
19-TG.P19	Örnekte az miktarda manyetit ve çok az miktarda hematit tespit edilmiştir. Manyetitler parlak kesitte birikim şeklinde izlenmiş olup kenarları, çatlakları boyunca hematite dönüşüm göstermektedir. Manyetitler yer yer de öz şekilsiz olarak gang minerallerin aralarında görülmüştür. Hematitler genellikle çatlaklarda izlenmiş ve devamlılığı olmayan damarcık şeklindedir. Hematitler bazen de öz şekilsiz taneler ve çok ince tanelerden oluşan küçük topluluklar halinde izlenmiştir.	

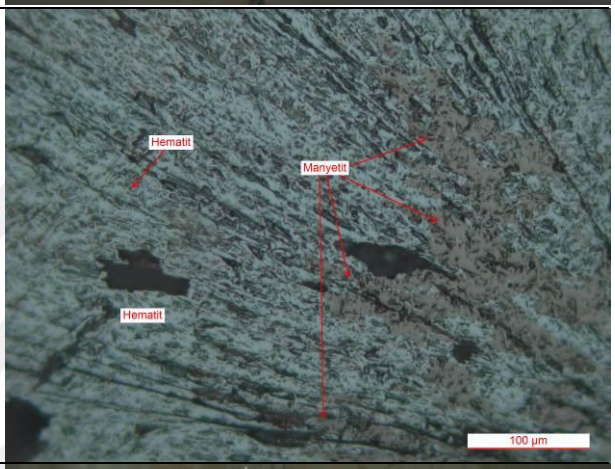
Tablo 17. (Devamı)

19-TG.P20	Örnekte bol miktarda pirotin ile az miktarda kalkopirit, limonit ve eser miktarda sfalerit ve pirit saptanmıştır. Pirotinler, kenarları çatlakları ve bazende iç kısımdan itibaren markazit/ara ürüne dönüşmüştür. Kalkopiritler pirotinlerin aralarında ve yer yer de etrafında izlenmiştir. Kalkopirit ayrıca devamlılığı olmayan bir hat boyunca belirlenmiştir. Limonitler genellikle çatlak dolgusu şeklindedir. Limonitler yer yer pirotinlerin ve kalkopiritlerin aralarında olup yer yer de pirotinleri ve kalkopiritleri kat eden çatlak dolgusu şeklindedir. Sfaleritler kalkopiritler ile birlikte pirotinlerin aralarında gözlenmiş olup bazılarının içinde çok ince kalkopirit belirlenmiştir. Piritler yarı öz şekilli taneler halinde olup pirotinlerin içinde izlenmiştir.	
19-TG.32	Örnekte az miktarda hematit ve molibdenit tespit edilmiştir. Hematitler ince taneli, yer yer öz şekilli (çubuk) olup gang minerallerinin aralarında birikimler ve topluluklar halinde izlenmiştir. Hematitler bazen de submikroskobik boyamalar halindedir. Molibdenit ince tanelidir ve genellikle kıvrılmış, bükülmüş çubuğumsu şekilli tanelerden oluşan küçük topluluklar halinde belirlenmiştir.	
19-TG.23	Örnekte eser miktarda sfen, rutil, mangan mineralleri, ilmenit ve pirotin tespit edilmiştir. Sfenler yarı öz şekilli-öz şekilsiz ve bazen çok küçük topluluklar halindedir. Rutiller çok ince özşekilsiz taneler halinde ve bir iki yerde mineral izi içinde çok ince taneli olarak izlenmiştir. Mangan minerali çok ince taneli-submikroskobiktir ve gang minerallerinin aralarında, kılcal çatlaklarda belirlenmiştir. İlmenit mineral izi içinde çok incee birkaç tanedir. Pirotin yaklaşık 15 mikron olarak görülmüştür.	

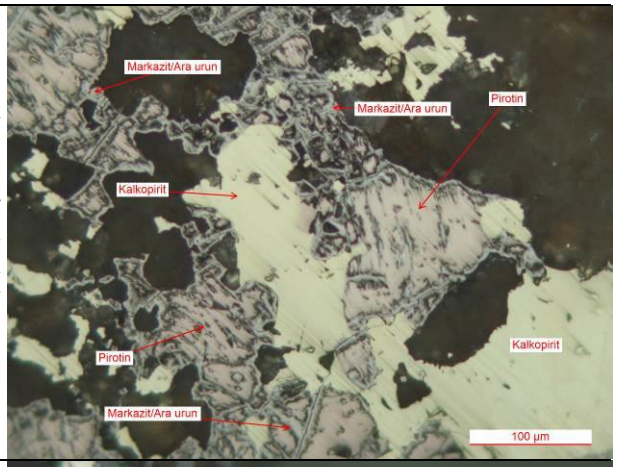
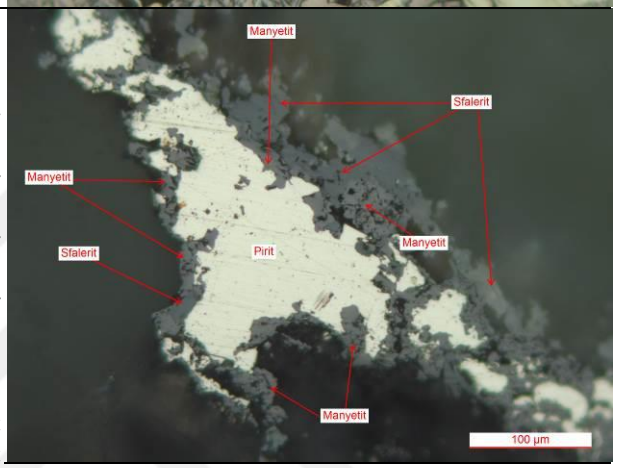
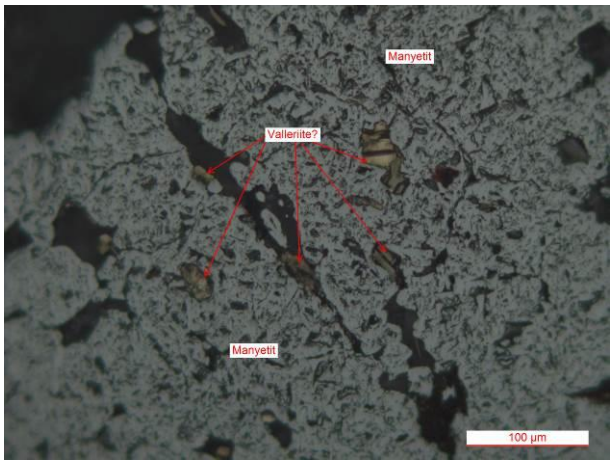
Tablo 17. (Devamı)

19-TG.24	Örnekte cevher mineralleri olarak çoktan aza pirit, pirotin, kalkopirit, sfalerit belirlenmiştir. Piritler (bazıları çok az oranda markazite dönüşüm göstermektedir) genelikle gang minerallerinin aralarında birikim halinde ve yer yer de yarı özşekilli taneler ve devamlılığı izlenmeyen damarcık şeklinde gözlenmiştir. Pirotinler gang minerallerinin aralarında ve bazen piritlerin kenarında izlenmiş olup bazen de damarcık şeklinde (yer yer sfaleritle birlikte aynı damarda ve bazende prit ve kalkopirit birlikte bir hat boyunca veya damarcık şeklinde) kalkopirit ve sfalerit piritlerin aralarında tespit edilmiştir.	
19-TG.25	Örnekte bol miktarda pirotin, az miktarda kalkopirit, limonit ile eser miktarda sfalerit, pirit saptanmıştır. Pirotinler gang minerallerinin aralarında birikimler halinde izlenmiş olup kenarları, çatlakları boyunca markazit/ara ürüne dönüşüm göstermektedir. Kalkopiritler pirotinlerin aralarında gang minerallerinin aralarında bazen de pirotin ile birlikte damarcık şeklinde izlenmiştir. Limonitler çatlak dolgusu ve damarcıklar şeklinde gözlenmiştir. Sfaleritler yer yer kalkopirit ve pirotinlerin kenarlarında ve bazende kalkopirit içinde tespit edilmiştir. Piritler özşekilsiz bazen de yarı öz şekilli olup pirotinlerin içinde yer almıştır.	
19-TG.26	Örnekte cevher minerali olarak manyetit ve hematit belirlenmiştir. Manyetitler, gang minerallerinin aralarında birikimler halinde izlenmiş olup genellikle az oranda martitleşmiştir. Hematitler gang minerallerinin aralarında çok ince taneli yer yer boyamalar halinde tespit edilmiştir. Manyetitler yer yer çubuğumsu şeklinde izlenmiş olup hematit psedomorfuna benzerdir. Bu nedenle primer mineral hematit olup hematitler muşketofitleşme sonucu manyetite dönüşmüştür.	

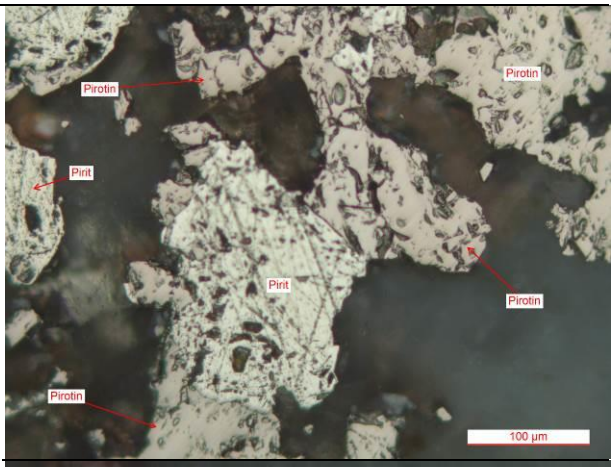
Tablo 17. (Devamı)

19-TG.34	Örnekte eser miktarda mangan minerali ve pirotin saptanmıştır. Mangan mineralleri çok ince taneli ve yer yer de submikroskobik olup çatlak hattı boyunca (küçük topluluk ve birikim şeklindedir) gözlenmiştir. Pirotinler yarı öz şekilli ve bazende taneler halinde (tane büyüklüğü 22 mikron) olup kenarları boyunca limonite dönüşüm gösterdiği belirlenmiştir. Örnekte ayrıca tamamen limonitleşmiş birkaç tane mineral izi (primeri pirotin olabilir) tespit edilmiştir.	
19-TG.35	Örnekte az miktarda hematit ile eser miktarda mangan mineralleri tespit edilmiştir. Hematitler öz şekilli (çubuk şekilli) olup topluluklar, birikimler demetler halinde izlenmiştir. Hematitler, yer yer manyetite dönüşüm göstermektedir. Mangan mineralleri çok ince taneli submikroskobiktir. Mangan mineralleri devamlılığı olmayan kılcal çatlaklarda ve küçük birikimler halinde tespit edilmiştir.	
19-TG.36	Örnekte az miktarda hematit ile eser miktarda mangan minerali, pirit, kalkopirit saptanmıştır. Hematitler ince taneli bazen çubuk şekilli olup gang minerallerinin tane sınırlarında ve bazen de gangların aralarında küçük birikimler halinde gözlenmiştir. Mangan mineralleri submikroskobik olup belli bir hat boyunca izlenmiştir. Pirit ve kalkopiritler 5-10 mikron arası tane boyunda tespit edilmiştir.	
19-TG.37	Örnekte eser miktarda mangan minerali, hematit, pirit saptanmıştır. Mangan mineralleri çok ince taneli submikroskobik kılcal çatlaklarda, gang minerallerinin aralarında küçük birikimler halinde tespit edilmiştir. Hematitler öz şekilsiz ve küçük topluluklar şeklinde izlenmiştir. Pirit 15 mikron olarak görülmüştür.	

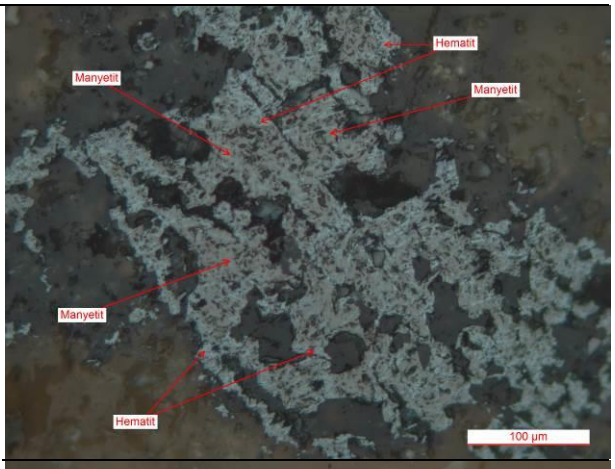
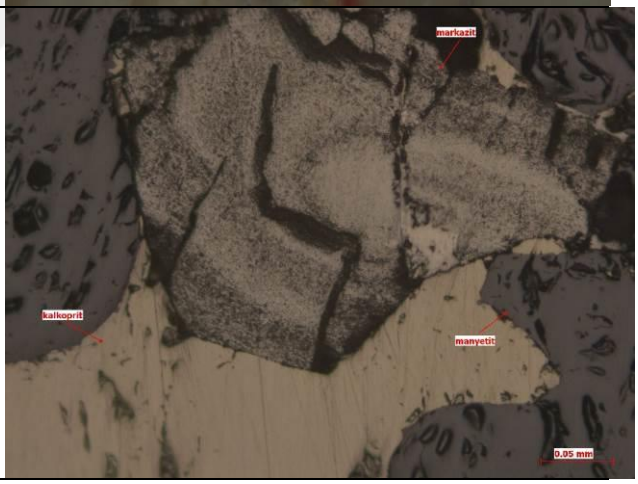
Tablo 17. (Devamı)

19-TG.45	Örnekte bol miktarda pirotin ile az miktarda kalkopirit, limonit saptanmıştır. Pirotinler kenarları, çatlakları boyunca markazit ürüne dönüşmüştür. Kalkopiritler pirotinlerin aralarında, etrafında izlenmiştir. Limonitler çatlak boşluk dolgusu olarak (yer yer pirotinleri kat etmiş şekilde) izlenmiş olup bazende kalloform dokudadır.	
19-TG.46	Örnekte bol miktarda manyetit ile çok az miktarda pirit, sfalerit, makinavit (?) ve eser miktarda rutil, kalkopirit saptanmıştır. Manyetitler yarı özşekilli-özşekilsiz olup gang minerallerinin aralarında birikimler halindedir. Piritler öz şekilsiz olup daha ince taneli manyetitler piritlerin etrafında ve bazen de aralarında belirlenmiştir. Sfaleritler yer yer piritlerin etrafında, kenarlarında, manyetitlerin aralarında ve bir yerde de devamlılığı olmayan bir hat boyunca birikim şeklinde tespit edilmiştir. Makinavitler yer yer manyetitlerin kenarında, aralarında ince taneli, levhaması şekilli olarak belirlenmiş olup yer yer de manyetitlerin çok küçük boşluklarında izlenmiştir. Rutiler çok ince taneli olup kısmen lökosenleşmiştir. Kalkopirit çok küçük tek bir tanedir. Makinavit olduğu düşünülen mineralin kimyasını belirlemek amacıyla SEM-EDS analizi yapılmıştır. Yapılan noktasal analizlerde; O=%16,96-20,83; Mg=%11,70-12,39; Al= %3,49-4,55, S=%23,94-21,45; Fe=%23,43-22,78, Cu=%20,48-17,99 arası değerler elde edilmiştir. Mineral kimyasına göre Vallerite olabileceği düşünülmüştür.	 

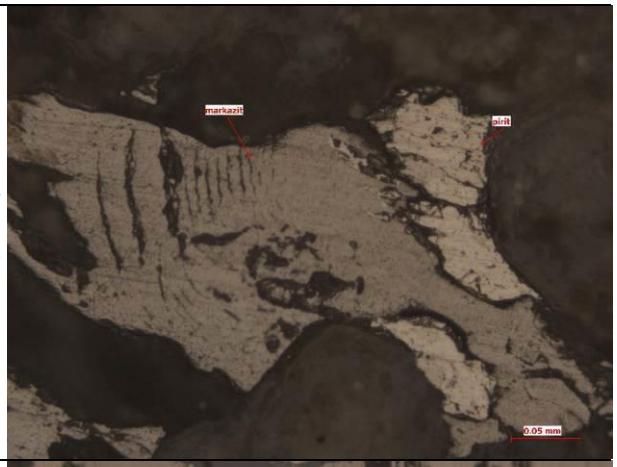
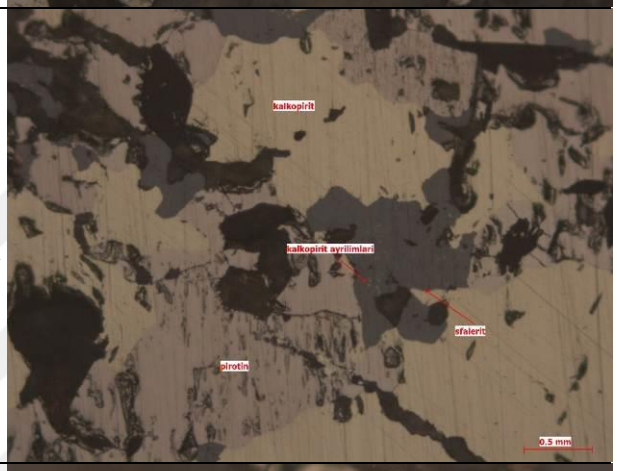
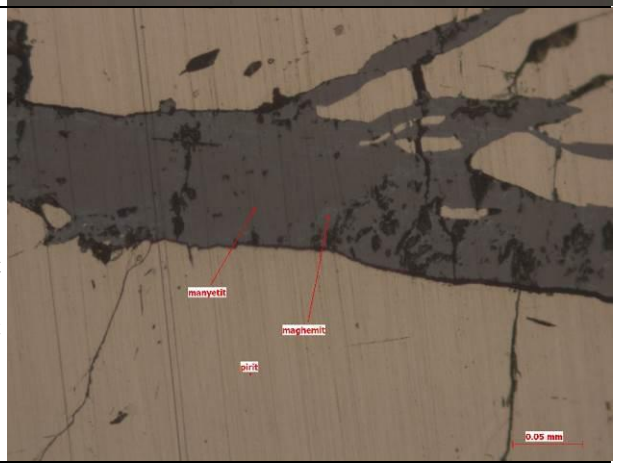
Tablo 17. (Devamı)

19-TG.47	Örnekte pirit, pirotin, kalkopirit, ilmenit ve eser miktarda limonit saptanmıştır. Piritler parlak kesitte çoğunlukla belli bir hat/damar boyunca gözlenmiş olup yer yer yarı özşekilli taneler ve yer yer de devamlılığı izlenmeyen damarcık şeklindedir. Piritlerin az bir kısmı da saçınımlı taneler halinde izlenmiştir. Pirotinler yer yer ince özşekilsiz taneler halinde olup yer yer saçınımlı olarak, yer yer de küçük topluluk şeklinde belirlenmiştir. Pirotinler bazende piritlerin etrafında aralarında birikimler şeklinde gözlenmiştir. Kalkopiritler özşekilsizdir ve bazen çok ince tanelerden oluşan küçük topluluk şeklinde tespit edilmiştir. Kalkopiritler bazende pirotinle kenetli-pirotinin kenarında izlenmiştir. İlmenitler yarı özşekilli (çubuğumsu) özşekilsiz saçınımlı taneler halinde hemen hepsi kenarları boyunca az oranda sfene ve bazen de sfen+rutile dönüşmüştür. Limonitler submikroskobik olup çatlak dolgusu şeklindedir.	
19-TG.48	Örnekte pirit, pirotin, kalkopiritle eser miktarda sfen, sfalerit, ilmenit saptanmıştır. Piritler özşekilsiz, saçınımlı taneler halinde ve bazende devamlılığı olmayan hat/damarlar boyunca dizilim gösteren taneler ve birikimler şeklinde (bazı kısımlarda da kırıklı ve ufalanmış) izlenmiştir. Pirotinler özşekilsiz olup bazen topluluk şeklinde, bazen de yarı özşekilli piritlerin etrafında gözlenmiştir. Kalkopiritler özşekilsizdir ve yer yer piritlerin aralarında (bazen ince tanelerden oluşan küçük topluluk halinde) ve piritin çatlağında belirlenmiştir. Sfenler özşeklli- yarı özşekillidir ve bazen topluluk halinde tespit edilmiştir. Sfaleritler kalkopiritin ve pirotinlerin kenarında (çok küçük) gözlenmiştir. İlmenitler birkaç yer de sfenlerin içinde (ilmenit relikler halinde kalarak sfene dönüşmüş olabilir) izlenmiştir.	

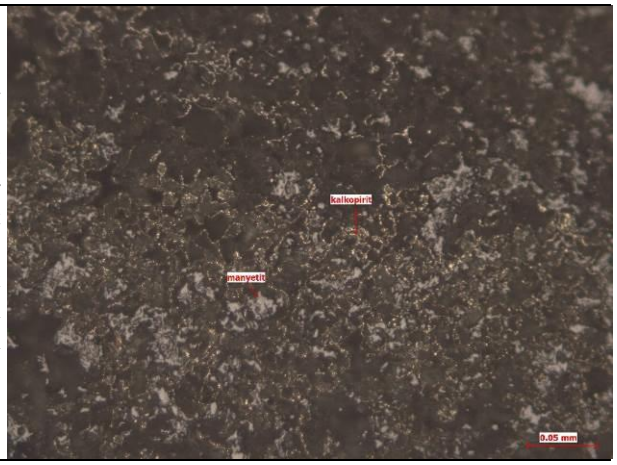
Tablo 17. (Devamı)

19-TG.49	Örnekte az miktarda manyetit ile eser miktarda hematit, mangan minerali, organik materyal saptanmıştır. Manyetitler gang minerallerin aralarında izlenmiş olup kenarları çatlak boyunca hematite dönüşmüştür. Hematitler ince tanelidir ve bazen çubuğumsu şekillidir. Hematitler yer yer küçük topluluklar halinde, yer yer gang minerallerinin arasında çok ince taneler halinde ve kılcal çatlak dolgusu şeklinde tespit edilmiştir. Mangan mineralleri çok ince taneli submikroskobik ve kılcal çatlaklarda, gang minerallerinin aralarında gözlenmiştir. Organik meteryal çok ince taneli submikroskobik olup küçük topluluklar şeklinde belirlenmiştir. Örnekteki manyetitler bazı kısımlarında çubuğumsu özşekilli olarak izlenmiştir (gang minerallerinin aralarında olmaları nedeniyle de olabilir ya da manyetitler hematitlerin muşketofitleşmesi sonucu da oluşmuş olabilir.	
17-THG-1/65.PAR 65. metreden alınan örnek	Örnek özşekilli, yarı öz şekilli ya da öz şekilsiz taneler halinde görülse de masif dokudaki manyetitten oluşmuştur. Makinavit manyetitten sonra en fazla görülen mineraldir. Makinavit lifsi, levhamsı şekillerde ya da taneler halinde görülmektedir. Az miktarda pirit ve kalkopirit tespit edilmiştir. Kalkopirit manyetitten genç olup manyetitlerin arasını doldurmuştur. Az miktarda pirotinden dönüşmüş markazit içermektedir.	

Tablo 17. (Devamı)

17-THG-3/11.PAR 11. metreden alınan örnek	Parlatma örneğinde markazit, kalkopirit, pirit ve eser miktarda molibdenit tespit edilmiştir. Kalkopiritler gang minerallerinin aralarını doldurur şekilde öz şekilsiz taneler halinde izlenmiştir.	
17-THG-4/150.PAR 150. metreden alınan örnek	Örnek masif cevherden oluşmaktadır. Başlıca izlenen cevher mineralleri pirotin, kalkopirit ve sfalerittir. Örnek ayrıca öz şekilsiz taneler halinde markazit içermektedir.	
17-THG-5/270.PAR 270. metreden alınan örnek	Parlatma örneğinde damar şeklinde arsenopirit tespit edilmiştir. Örnekte ayrıca pirit, kalkopirit ve pirotin bulunmaktadır. Arsenopirit içinde kalkopiritle kenetli eser galenit tespit edilmiştir. Kalkopirit arsenopiritten genç olup bazen arsenopirit içinde ince damarlar şeklinde izlenmiştir.	
17-THG-6/28.PAR 28. metreden alınan örnek	Parlatma örneğinde zenginleşmiş olarak özşekilsiz pirit ve piritten daha genç oluşumlu, pirit içindeki çatlaklarda, damarlarda, boşluklarda ya da çevresini tamamen kuşatmış şekilde manyetit izlenmiştir. Manyetitlerde maghemite dönüşüm tespit edilmiştir.	

Tablo 17. (Devamı)

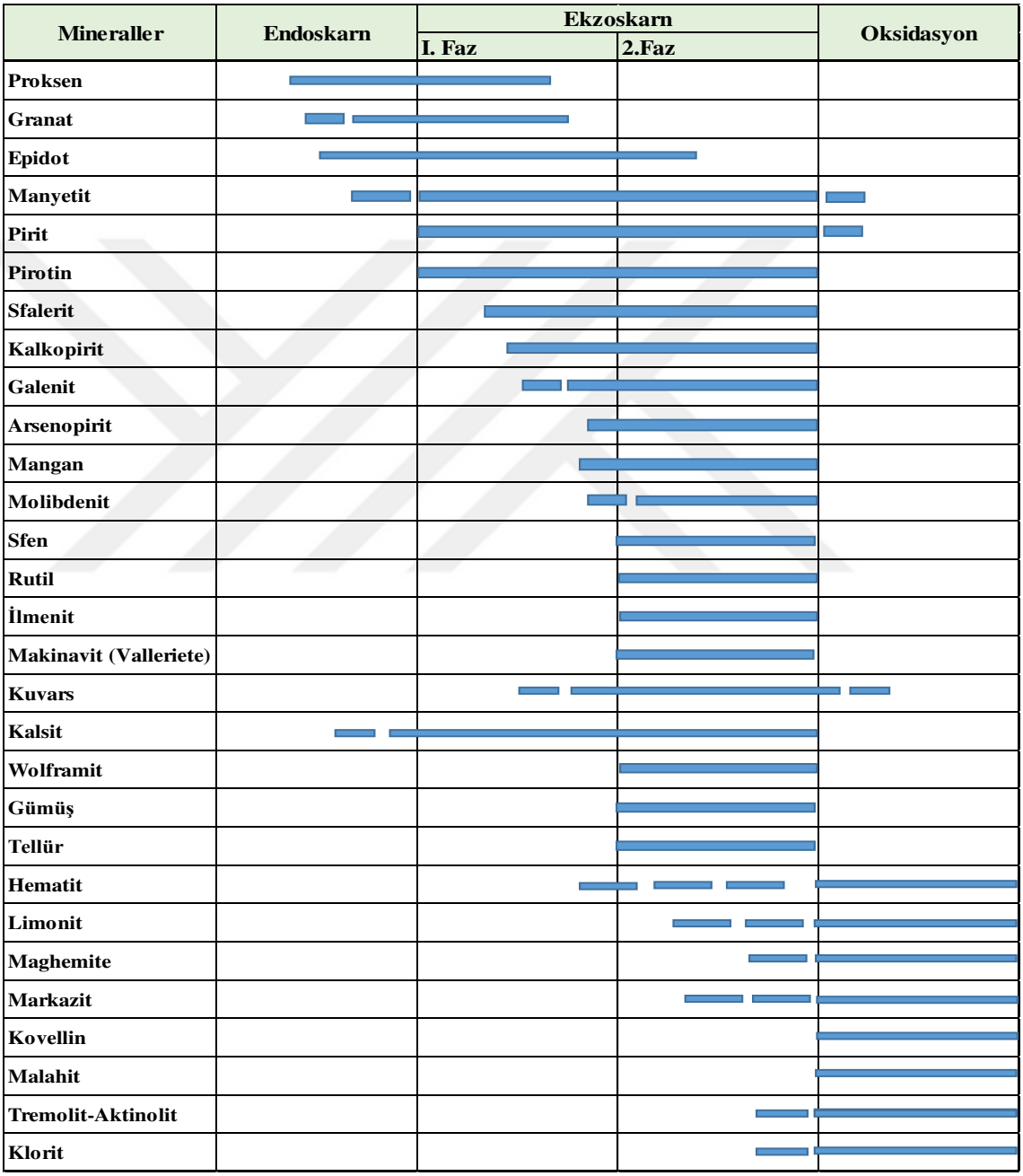
17-THG-8/281.PAR 281. metreden alınan örnek	Örnekte izlenen ana cevher minerali özşekilsiz olarak izlenen manyetittir. Daha az miktarda öz şekilsiz pirotin ve ince taneler halinde manyetit içinde kalkopirit ile özşekilsiz boşluk kuşatmış olarak lifsi kalkopirit tespit edilmiştir. Özşekilsiz olarak görülen kalkopiritle kenetli olarak eser miktarda sfalerit izlenmiştir.	

Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesinde silikatlı skarn minerallerinden piroksen, epidot ve granat sokulum yapan granitoyiddeki endoskarn zonlarında ve granitoyidik kayaçtan uzakta kireçtaşları içerisinde ekzoskarn zonlarında bulunmaktadır. Piroksen silikat minerali olarak endoskarnın son evresinde oluşmaya başlamış ve ekzoskarn zonunun birinci fazının ortasına kadar oluşmaya devam etmiştir (Şekil 50). Sahada granat silikat minerali ise yine endoskarnın son evresinde oluşmaya başlamış ve ekzoskarnın birinci fazı boyunca oluşumunu sürdürmüştür. Granat minerallerinin oluşumu ekzoskarnın ikinci fazının ortasında tamamlanmıştır. Epidot ise endoskarnın son evresinde ve ekzoskarnın birinci fazın tamamında oluşmaya başlamış; ikinci fazın ilk evresine kadar önemli miktarda oluşmuştur. Son olarak ikinci fazın ortasında oluşumunu sonlandırmıştır.

Cevherleşmede bakırdan sonra ikinci baskın mineral olarak bulunan cevher minerallerinden manyetit ilk oluşan cevher mineralidir. Manyetit az miktarda endoskarn zonunda oluşmuş, çoğunluklu olarak ekzoskarnın birinci ve ikinci fazlarında oluşmuş ve çok az olarak ise oksidasyon zonunda oluştuğu gözlenir (Şekil 50). Manyetit'ten sonra en fazla sülfürlü cevher mineralleri olarak bulunan pirit ve pirotin birinci fazda başlayıp oluşumu ikinci fazın sonuna kadar devam etmiştir. Pirit, oksidasyon zonunda çok az miktarda bulunmaktadır. Daha sonra oluşan cevher mineralleri sfalerit, kalkopirit (en baskın mineral), galen ve arsenopirit (çok az) ekzoskarnın birinci fazın ortasından ikinci faz boyunca devam etmiştir. Dördüncü sırada çok az miktarda gözlenen cevher mineralleri mangan, molibdenit, sfen, rutil, ilmenit, makinavit (valleriete), wolframit, gümüş ve tellürlerdir ve ekzoskarnın son evrelerinde kırık ve çatlaklar ile damarcıklar olarak gözlenmiş ve muhtemelen skarnın porfiri sistemini oluşturmaktadır.

Parajenizinde önemli oranda bulunan hematit ise ekzoskarnın ikinci fazından başlayarak oksidasyon zonu boyunca mevcut olduğu görülmektedir. Maghemite

muhtemelen manyetitin oksidasyonu; limonit, piritin ve hematitin oksidasyonu yine pirit ve pirotinin oksidasyonu ile markazit; kovellin, malakit ve azurit ise bakırlı mineral kalkopiritin alterasyonu ile oksidasyon zonunda gelişmiştir. Gang minerali kalsit ise endoskarnın son evresinden ekzoskarnın ikinci fazın sonuna kadar devam etmiştir. Klorit ve tremolit-aktinolit ise ekzoskarnın son evresinden oksidasyon zonunun sonuna kadar görülmektedir.

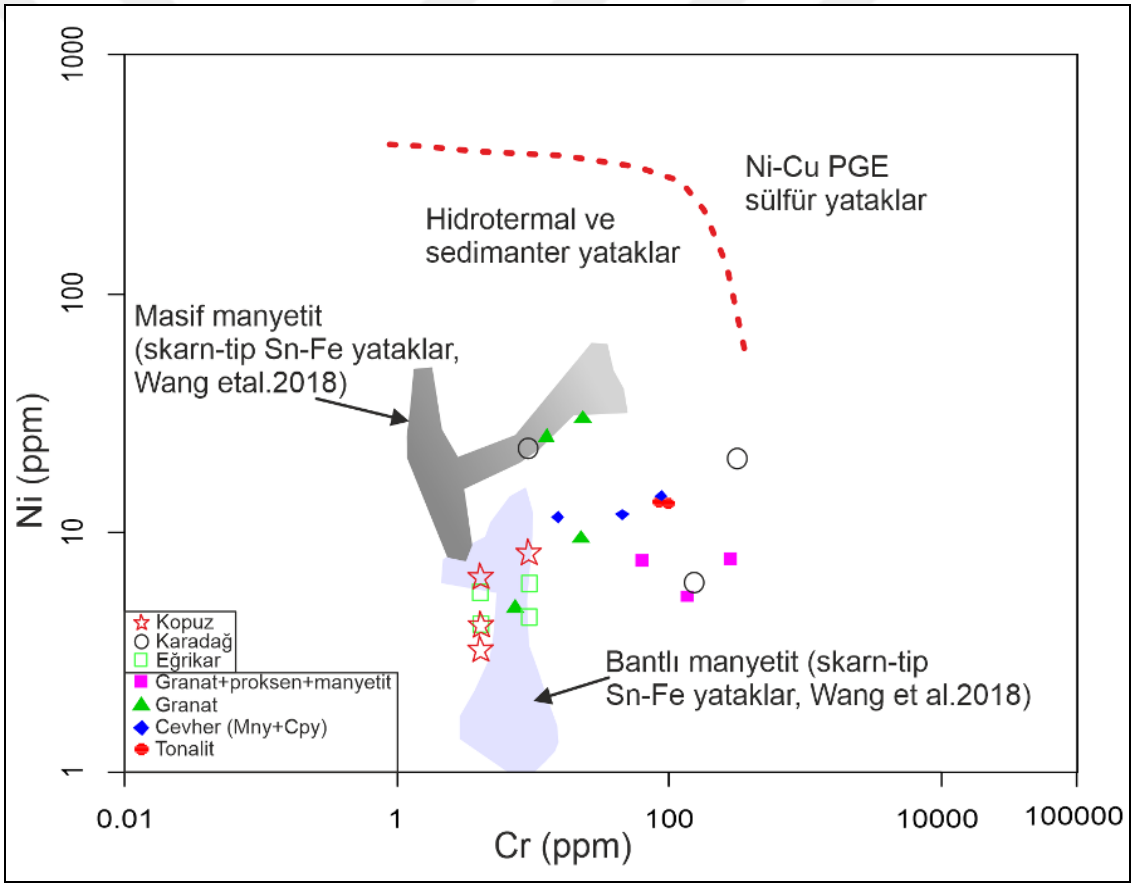


Şekil 50. Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesinde minerallerin oluşum sırası

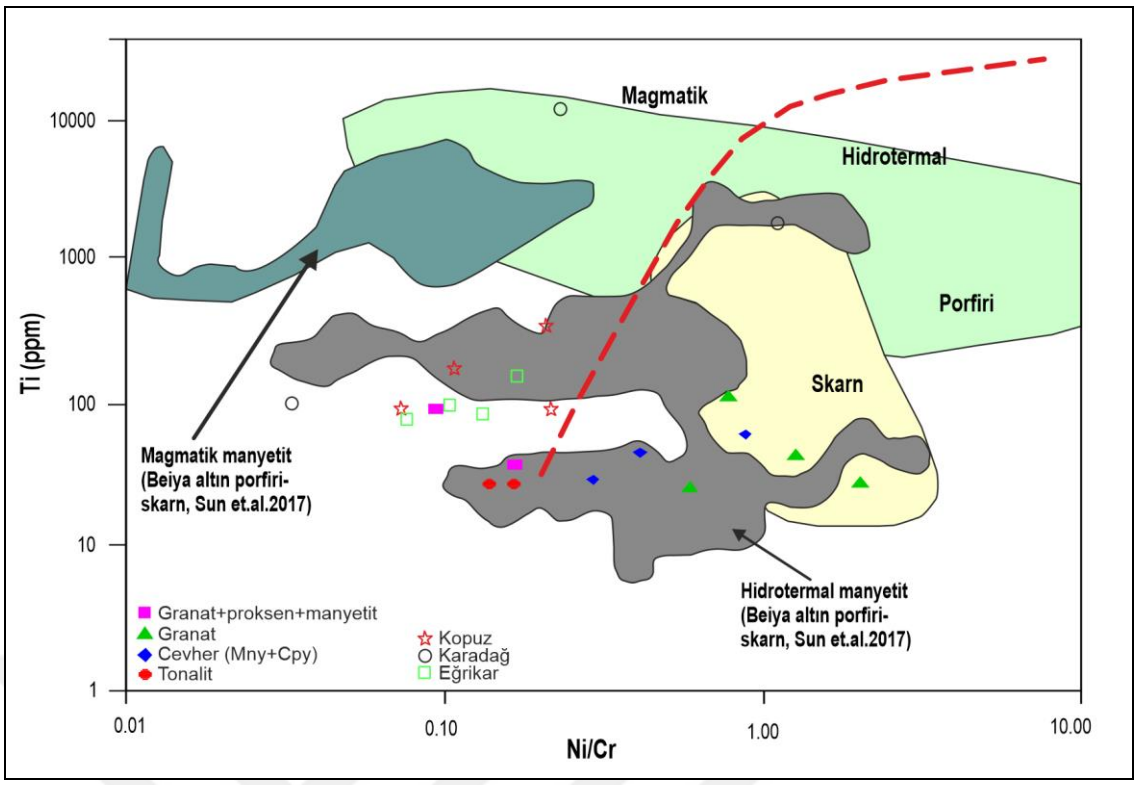
3.3.4. Skarn Jeokimyası

Göksel Cu-Fe sahasından alınan skarn örneklerinin sonuçları Dare vd. (2014) grafiğinde değerlendirildiğinde hidrotermal ve sedimanter yataklar alanına düştüğü görülmüştür. Granat minerallerinin bir kısmı masif manyetit (skarn tip Sn-Fe yataklar, Wang vd., 2018) yataklar alanına, bir kısmının ise bantlı manyetit (skarn tip Sn-Fe yataklar, Wang vd.2018) yataklar alanına düştüğü tespit edilmiştir (Şekil 51).

Çalışma alanındaki skarn örneklerinin Ni/Cr'ye karşı Ti diyagramında değerlendirildiğinde granat örneklerinin skarn alanına düştüğü endoskarndan alınan tonalit örneklerinin ve manyetitli - kalkopiritli cevher örneklerinin hidrotermal manyetit skarn alanına düştüğü, granat piroksen ve manyetitli örneklerin ise magmatik alana düştüğü görülmüştür (Şekil 52).



Şekil 51. Çalışma alanındaki skarn örneklerinin Cr- Ni diyagramının değerlendirilmesi ve farklı sahalar ile karşılaştırılması (Dare vd., 2014'ten değiştirilmiştir. Kopuz, Karadağ ve Eğrikar verileri Sipahi vd. (2020)'den alınmıştır)



Şekil 52. Çalışma alanındaki skarn örneklerinin Ni/Cr'ye karşı Ti diyagramınında değerlendirilmesi ve farklı sahalar ile karşılaştırılması (Dare vd., 2014'ten değiştirilmiştir. Kopuz, Karadağ ve Eğrikar verileri Sipahi vd. (2020)'den alınmıştır).

3.3.5. Cevher Jeokimyası

Göksel skarn sahasında cevher minerallerinin arazide dağılımı için yüzeyden sistematik olmasa da sahadaki cevherleşmeyi temsil edecek sayıda örnekler alınmış ve analizleri yapılmıştır (Tablo 18). Analiz sonuçlarına göre bilgisayarda CBS yazılımı olan ARCGIS programı kullanarak Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi (Inverse Distance Weighting-IDW) ile Cu, Zn, Pb, V ve Mn anomali haritaları yapılmıştır (Şekil 53-54). Anomali haritaları irdelendiğinde 56 örnekte yapılan analiz sonuçlarına göre en yüksek bakır değeri >10000 (>%1) ppm en düşük bakır değeri ise 20 ppm olarak ölçülmüştür. Çalışma alanının kuzeybatı ve orta kısımlarında yüksek değerler elde edildiği (anomali) bu bölgelerde MTA tarafından yapılan sondajlarda da düşey yönde Cu cevherleşmesinin devamlılığının varlığı ortaya konulmuştur. Alınan örneklerin tümünden Fe analizi yaptırılmadığı için sağlıklı Fe anomali haritası yapılamamıştır. Ancak Mn ve Fe'nin birlikte bulunmasından hareketle Mn anomali haritası yapılmış ve çalışma alanının doğu ve orta kesimlerinde anomali alanları tespit edilmiştir. Örneklerin en yüksek Mn değerinin 3000 ppm, en düşük 0.1 ppm olduğu görülmüştür. En yüksek Zn 3910 ppm, Pb 439 ppm, V 154 ppm olduğu görülmüş ve kısmen de olsa Cu anomali alanlarına benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. En yüksek

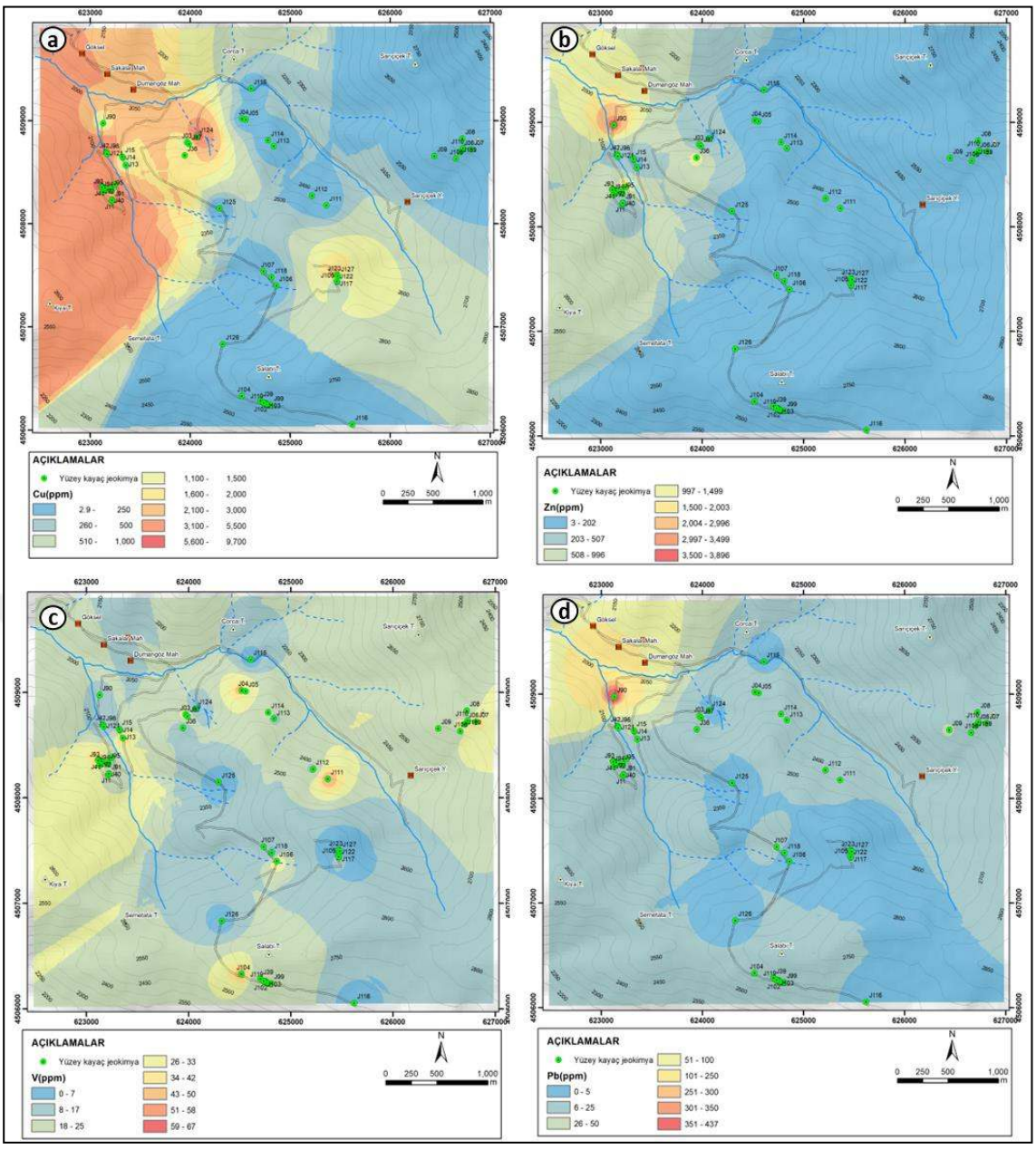
Au 305 ppb (%1'lik Cu içeren örnekte), ikinci en yüksek 40 ppb Au değerine ise As değerinin 2000 ppm olduğu örnekte belirlenmiştir (Tablo 18).

Tablo 18. Cevher jeokimyası analiz sonuçları

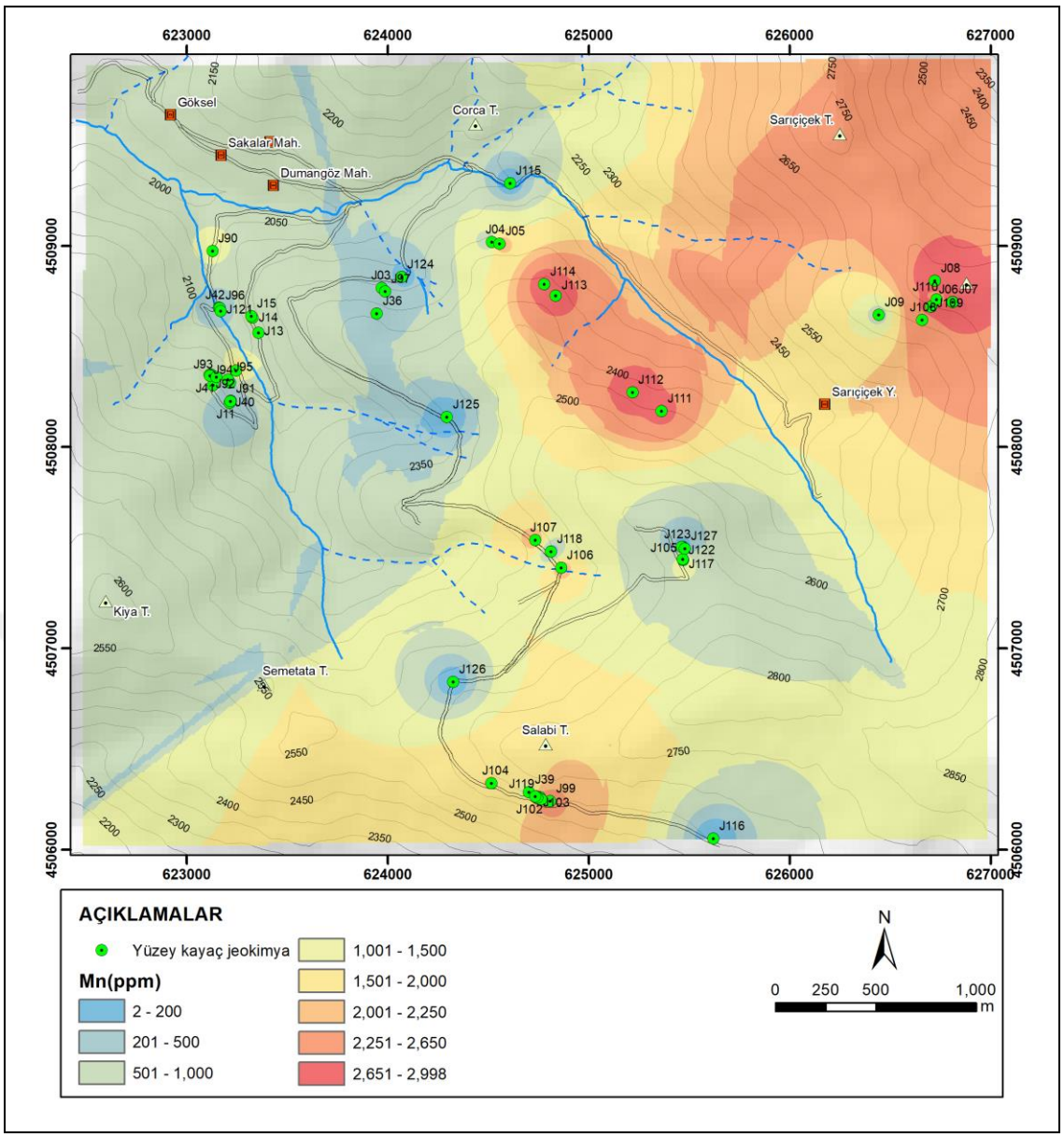
Numune No	Harita Simge	x	y	Au	Ag	As	Bi	Co	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	V	Zn
2014-THG-J03	J03	623972	4508791	20	1,0	3	5	5	190	430	5	5	8	5	33	130
2014-THG-J04	J04	624519	4509019	20	1,0	3	5	8	62	260	5	7	5	5	56	23
2014-THG-J05	J05	624558	4509010	20	1,0	3	5	5	24	2700	5	5	21	5	17	80
2014-THG-J06	J06	626813	4508721	20	1,0	5	5	14	22	3000	5	5	11	5	43	99
2014-THG-J07	J07	626813	4508721	20	1,0	3	5	10	95	3000	5	5	6	5	14	49
2014-THG-J08	J08	626724	4508826	20	1,0	3	5	13	47	3000	5	5	13	5	15	66
2014-THG-J09	J09	626445	4508657	20	1,0	3	5	12	7	770	11	5	28	5	20	140
2014-THG-J10	J10	623131	4508309	25	1,0	15	5	5	1500	510	5	6	11	5	40	120
2014-THG-J11	J11	623219	4508230	25	1,0	3	5	26	2500	300	5	7	9	5	31	86
2014-THG-J12	J12	623120	4508362	20	1.8	3	5	5	3700	1600	8	14	5	5	130	2600
2014-THG-J13	J13	623357	4508568	20	1,0	3	5	13	220	370	5	8	7	5	50	39
2014-THG-J14	J14	623328	4508642	20	1,0	10	5	5	1100	1800	5	5	23	5	15	89
2014-THG-J15	J15	623321	4508651	20	1,0	3	5	83	620	280	5	5	42	5	15	160
2014-THG-J36	J36	623946	4508664	20	1,0	3	5	6	1700	380	5	5	6	5	10	1400
2014-THG-J39	J39	624704	4506285	20	1,0	10	5	5	75	430	5	5	5	5	22	50
2014-THG-J40	J40	623213	4508220	20	1,0	3	5	9	1300	160	5	5	5	5	25	50
2014-THG-J41	J41	623114	4508358	305	32	3	5	5	>10000	57	5	5	73	5	5	290
2014-THG-J42	J42	623161	4508694	40	3.2	2000	5	98	3100	400	9	12	32	5	16	250
2014-THG-J87	J87	623245	4508380	20	3.8	3	137	25	5891	3000	27	10	17	6	18	2918
2014-THG-J88	J88	617100	4499594	20	1	3	5	12	74	1369	5	28	25	7	41	85
2014-THG-J89	J89	620652	4506928	25	3.1	3	5	11	4407	502	5	21	5	5	44	66
2014-THG-J90	J90	623129	4508975	20	18.2	11	5	88	937	1188	5	12	439	18	15	3910
2014-THG-J91	J91	623217	4508228	20	2.9	4	5	10	5705	143	5	6	5	6	12	104
2014-THG-J92	J92	623116	4508355	45	19.2	8	5	5	10000	513	5	5	7	9	10	657
2014-THG-J93	J93	623148	4508348	20	1	7	5	5	529	754	5	6	5	5	11	118
2014-THG-J94	J94	623215	4508320	20	1.3	9	5	5	1010	137	97	5	5	5	8	21
2014-THG-J95	J95	623205	4508335	20	1.6	7	5	21	2194	215	34	6	33	6	5	458
2014-THG-J96	J96	623164	4508690	20	5	69	5	105	6501	398	5	10	22	24	5	105
2014-THG-J97	J97	623989	4508774	20	1.8	10	5	9	1190	469	5	6	5	5	22	375

Tablo 18. (Devamı)

Numune No	Harita Simge	x	y	Au	Ag	As	Bi	Co	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	V	Zn
2014-THG-J99	J99	624809	4506241	20	1.0	3	5	5	6	2500	5	5	9	5	20	25
2014-THG-J100	J100	624758	4506260	20	1.0	3	5	5	9	2400	7	7	11	5	20	29
2014-THG-J101	J101	624765	4506250	20	1.0	4	5	6	4	2850	5	5	11	5	20	30
2014-THG-J102	J102	624741	4506265	20	1.0	4	5	6	8	3000	5	7	13	5	25	42
2014-THG-J103	J103	624745	4506258	20	1.0	5	5	7	8	3000	5	6	12	5	28	40
2014-THG-J104	J104	624516	4506330	20	1.0	4	5	10	24	2030	5	7	5	5	49	45
2014-THG-J105	J105	625472	4507439	20	1.0	3	5	5	5	3000	5	5	12	5	21	32
2014-THG-J106	J106	624863	4507401	20	1.0	3	5	9	7	2342	5	6	5	5	37	31
2014-THG-J107	J107	624734	4507537	20	1.0	4	5	5	6	2400	5	5	11	5	13	32
2014-THG-J108	J108	626659	4508632	20	1.0	4	5	5	8	2420	10	6	13	5	23	33
2014-THG-J109	J109	626704	4508698	20	1.0	3	5	5	8	3000	5	8	10	5	35	42
2014-THG-J110	J110	626732	4508733	20	1.0	3	5	5	5	2324	5	5	10	5	15	25
2014-THG-J111	J111	625363	4508178	20	1.0	3	5	11	10	2760	5	6	6	5	49	66
2014-THG-J112	J112	625219	4508272	20	1.0	8	5	6	3	2900	5	5	9	5	15	31
2014-THG-J113	J113	624837	4508752	20	1.0	3	5	5	9	2890	5	5	9	5	16	26
2014-THG-J114	J114	624780	4508810	20	1.0	3	5	5	9	2900	5	5	11	5	17	22
19.TG.P14	J115	624609	4509310	-	-	0.1	0.1	10.2	19.7	1	1.9	3.2	6.4	0.2	154	24
19.TG.P5	J116	625622	4506054	-	-	0.1	0.1	3.9	47.2	1	2	2.7	2.6	0.1	33	170
19-TG.30	J117	625469	4507442	<20	<1	<3	<5	16	14	1.3	<5	<5	<5	<5	11	42
19-TG.38	J118	624814	4507480	<20	<1	<3	6	<5	6	0.7	<5	<5	<5	<5	8	11
19-TG.26	J119	624735	4506265	<20	<1	7	7	10	45	0.5	<5	<5	<5	<5	10	15
19-TG.24	J120	624070	4508845	<20	3.5	21	<5	8	5464	0.1	<5	<5	31	<5	8	414
19-TG.25	J121	623169	4508677	<20	4.1	123	<5	148	4025	0.1	<5	13	8	6	<5	70
19-TG.36	J122	625468	4507504	<20	<1	4	<5	10	23	1.7	<5	<5	<5	<5	8	25
19-TG.37	J123	625464	4507505	<20	5.7	124	<5	142	7015	0.1	<5	12	8	6	<5	109
19-TG.48	J124	624070	4508845	<20	6.2	130	<5	153	7518	0.1	<5	13	9	6	<5	99
19.TG.P10	J125	624295	4508150	-	-	0.1	0.1	1.4	2.1	1	0.4	15.4	2.5	0.2	-	3
19.TG.P8	J126	624327	4506833	-	-	0.1	0.1	1.9	2.9	1	0.4	14.2	4.1	0.2	1	8
19-TG.34	J127	625480	4507495	<20	<1	<3	<5	<5	21	0.1	<5	<5	<5	<5	<5	3

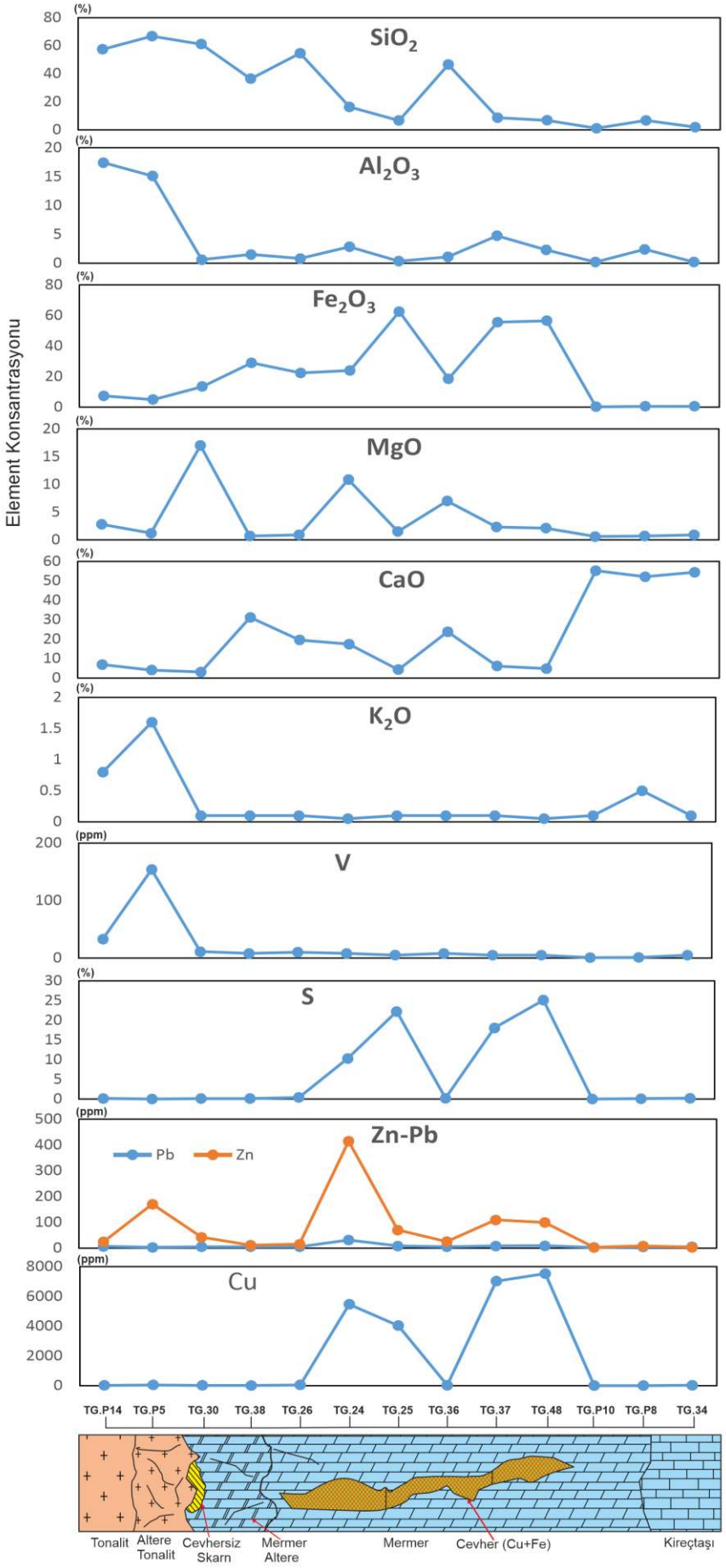


Şekil 53. Yüzey kayaç örneklerine göre hazırlanmış anomali haritaları (a) Cu anomalisi, (b) Zn anomalisi, (c) V anomalisi ve (d) Pb anomalisi



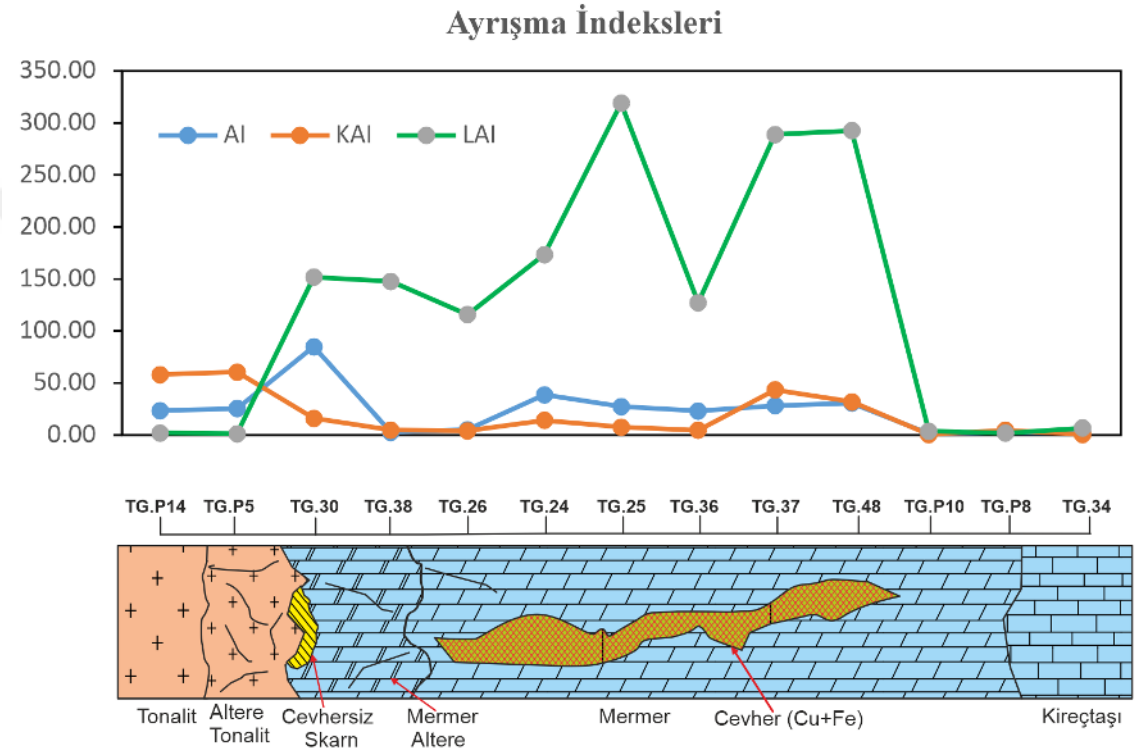
Şekil 54.Mangan (Mn) anomali haritası

Göksel Cu-Fe skarn çalışma alanında tonalitten kireçtaşına doğru element değişimi irdelendiğinde tonalit ile kontakta (endoskarn) cevhersiz skarn (piroksen, granat, epidot) oluşumu ve kireçtaşlarının metamorfizma etkisiyle mermere dönüştüğü görülmüştür. Tonalitten kireçtaşına ilerledikçe Fe ve Mg değerlerinin artığı, silisin arttığı yerlerde kısmen de olsa azaldığı, ortama S girmesiyle Cu ve Fe değerlerinin arttığı görülmüştür. Tonalitten daha da uzaklaştıkça hidrotermal sıvılardan kaynaklı olarak kırık ve çatlaklar boyunca yine mermerlerin içinde ekzoskarn zonlarında cevher minerallerinin (Cu, Fe) oluştuğu gözlenmiştir. Tonalitlerin en uzağında ise metamorfizmanın etkisinin de azalmasıyla, kalsiyum konsantrasyonun arttığı ve mermerden metamorfizmaya uğramamış kireçtaşlarına geçiş olduğu gözlenmiştir (Şekil 55).



Şekil 55. Granotoyidden kireçtaşına doğru ilerledikçe element değişim konsantrasyonunu

Çalışma alanında ayrışma irdelendiğinde skarn ile benzerlik gösterdiği Lentz ayrışma indeksi'ne (LAI=($^{t}Fe_2O_3$+MgO)/(Na_2O+K_2O); Lentz, 1996 ve 1999) göre kimyasal olarak sisteme Mg ve Fe girmesinden dolayı pozitif etki, Cu değerlerinde artış diğer elementlerde ise negatif etki görülmektedir. Ortama S girmesinden dolayı kısmen de olsa Kimyasal ayrışma indeksi (KAI=100xAl_2O_3/(Al_2O_3+Na_2O+K_2O+CaO*)) ve Ishikawa ayrışma indeksi (AI=100x(MgO+K_2O)/(MgO+K_2O+CaO+Na_2O)) indekslerine göre pozitif yönde bir artış olduğu görülmektedir (Şekil 56).



Şekil 56. Çeşitli ayrışma indekslerin tonalitlerden kireçtaşına doğru değişim grafiği (LAI=($Fe_2O_3^{t}$+MgO)/(Na_2O+K_2O), AI=100x(MgO+K_2O)/(MgO+K_2O+CaO+Na_2O), KAI=100xAl_2O_3/(Al_2O_3+Na_2O+K_2O+CaO*))

3.4. Sıvı Kapanım

Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesinde ekzoskarn zonundaki granat, granat-epidot, epidot ve piroksen minerallerinden sıvı kapanım çalışmaları yapılmıştır (Tablo 19).

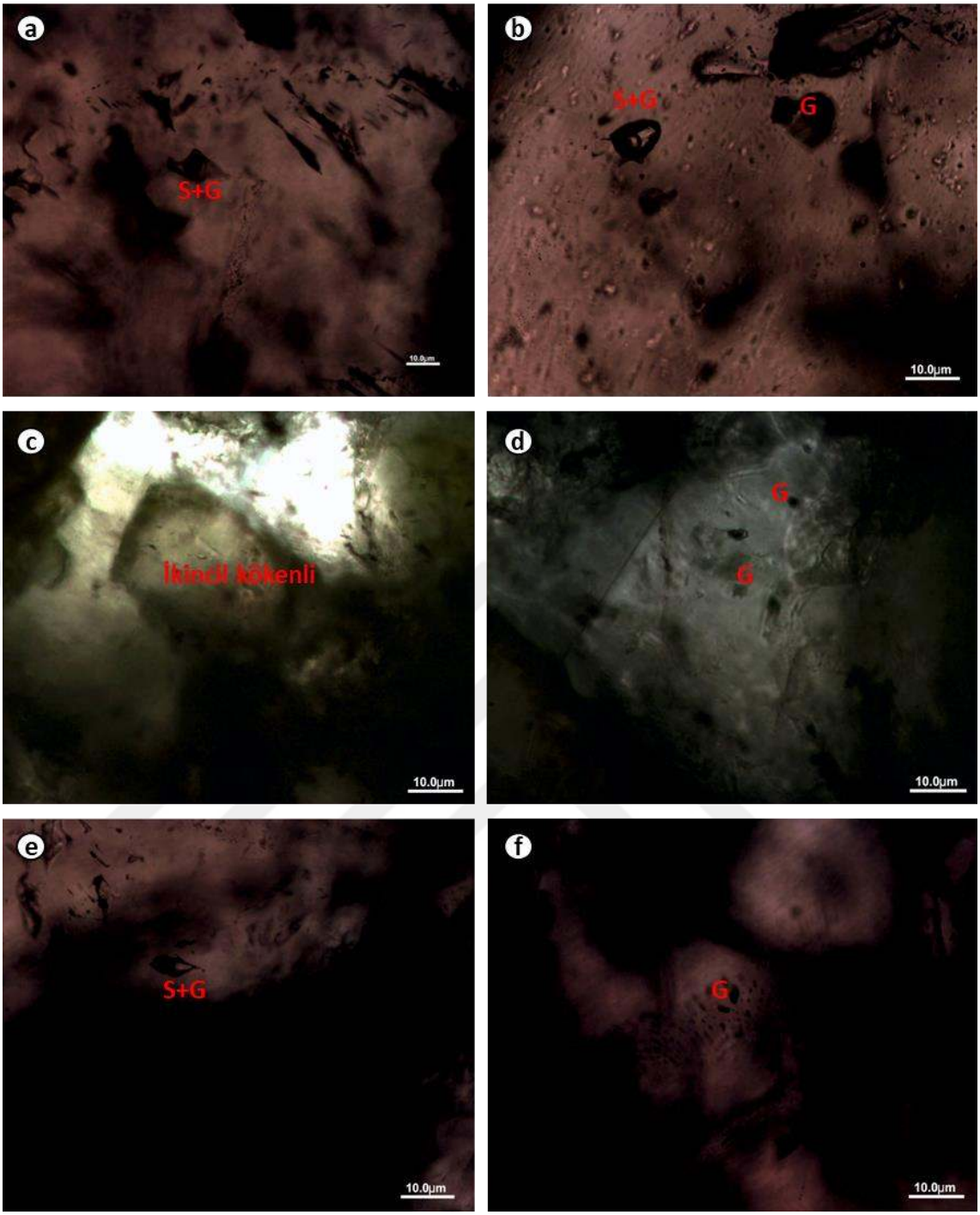
Tablo 19. Sıvı kapanım analizi yapılan numunelerine ait bilgiler

Harita Numarası	Numune İşareti	Koord. X	Koord. Y	Kayaç Tanımı	Yeri
1	19-TG.SK-4	4507511	625467	Piroksen	Yüzey
2	2015-THG-SK-1	4509012	624554	Granat	Yüzey
3	2015-THG-SK-2	4507463	625464	Granat -Epidot	Yüzey
4	2015-THG-SK-3	4507449	625465	Epidot	Yüzey

Göksel skarn sahasında alınan 4 adet örnek üzerinde, 11 tanesi granatlarda 3 tane de epidot örneğinde olmak üzere toplam 14 adet sıvı kapanım analizi yapılmıştır. Tüm örneklere ait analiz sonuçları:

2015-THG-SK-1 nolu granat örneği; oldukça koyu renkli gang minerallerden oluşmaktadır. Nispeten daha açık renkli ve yarı şeffaf kristallerinde granat mineralleri sıvı kapanım çalışmaları yapılmıştır. Granat minerallerinde sıvı kapanım incelemelerinde birincil kökenli kapanımlar belirlenmiştir. Birincil kökenli kapanımlar iki fazlı (sıvı+gaz) ve tek fazlı (gaz) kapanımlardır (Şekil 57a-b). Sıvı kapanım analizlerinde bazı iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımların yavru/içelti mineraller (daugther mineral) mevcut olduğu tespit edilmiş olup bunların bileşimi tespit edilememiştir.

Granatlarda yer yer ikincil kökenli kapanımlar da izlenmiş (Şekil 57c) olup bunlar tek fazlı (gaz) ve az oranda tek fazlı (sıvı) ve iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlardır. Örnekteki bazı kristallerinde eser oranda boyunlanmış (necking down), uzamış şekilli çoğunlukla ikincil kökenli kapanımlar da göze çarpmaktadır. Bu tür kapanımlarda mikrotermometrik ölçümler gerçekleştirilmemiştir.



Şekil 57. Göksel skarn cevherleşmesinde ekzoskarn zonundaki granat mineralinden sıvı kapanım görüntüleri

Birincil kökenli kapanımlar daha çok izole halde ve/veya küçük küme/gruplar şeklinde görülmektedir. Yer yer zonlanmaların görüldüğü granatlardaki kapanımların bazıları bu zonlanmaya paralel ve/veya yer yer de kristal düzlemine paralel dizilim göstermektedir. Birincil kökenli iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlar çoğunlukla düzensiz, yuvarlak ve/veya elipsoidal şekillerde görülmektedir. Tek fazlı (gaz) kapanımlar ise daha çok yuvarlak veya düzensiz şekilli olarak izlenmektedir. İki fazlı (sıvı+gaz) kapanımların boyutları <1-25 mikrometre arasındadır. Granatlardaki birincil

kapanımlarda sıvı fazın gaz faza olan oranı fazla olmakla birlikte yer yer gaz fazın hakim olduğu kapanımlar mevcuttur. Analiz edilen kapanımların sıvı faza homojenleştiği görülmüştür.

2015-THG-SK2 nolu granat + epidot örneği; çoğunlukla mat kesimlerden oluşmakta olup, ana kayaca ait olduğu düşünülen ve yer yer yarı şeffaf olarak izlenebilen kristaller (muhtemel granat mineralleri) az oranda tespit edilebilmiştir. Bu yarı şeffaf kristallerde sıvı kapanım çalışmaları yapılmaya çalışılmıştır. Genel olarak izlenen sıvı kapanımların büyüklükleri oldukça küçük olduğu için (<1 mikrometre), çoğunlukla kapanımlar bileşimsel olarak sınıflandırılamamıştır.

2015-THG-SK3 nolu epidot fels örneği; daha çok mat ve yer yer de yarı şeffaf olarak izlenen kesimlerden oluşur ve yarı şeffaf kesimlerde sıvı kapanım çalışmaları yapılmıştır. Bu kesimlerin karbonat grubu mineraller kalsit ile epidot grubu mineraller olabileceği düşünülmektedir. Analiz sonuçları her mineral için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Karbonat grubu mineraller nispeten küçük kristalli ve miktar olarak azdır. İkizlenmeli ve yer yer de yarı şeffaf oldukları için sıvı kapanım çalışmaları güçlükle yapılabilmiştir. Karbonat grubu kristallerde genel olarak izlenen sıvı kapanımları uzamış şekiller sunmaktadır. Daha yuvarlak veya düzensiz şekilli kapanımların boyutları oldukça küçük (<2 mikrometre) olup bileşimsel olarak sınıflandırılamamıştır. İncelemelerde kalsit içerisinde sadece tespit edilebilen kapanımlar tek fazlı (sıvı) kapanımlardır. Bunun dışında kristallerde ölçüm yapılacak nitelikte sıvı kapanıma rastlanmamıştır.

Örnekte yaygın izlenen epidot minerallerinde yapılan sıvı kapanım incelemelerinde, minerallerin tane büyüklükleri ve yarı şeffaf olmaları nedeniyle güçlükle tamamlanmıştır. Epidot minerallerinde tespit edilen birincil kökenli kapanımlar küçük küme/gruplar şeklinde görülmektedir. Birincil kökenli kapanımlar genellikle iki fazlı (sıvı+gaz) ve tek fazlı (sıvı) kapanımlar olup ikincil kökenli olarak izlenen kapanımlar az oranda tespit edilebilmiştir. Bu kapanımlarda da kuyruklanmalar, uzamalar, boyunlanmalar (necking down) görülmektedir.

Birincil kökenli ve iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlar çoğunlukla üçgen, karemsi şekilli ve/veya düzensiz şekillerdedir. İki fazlı (sıvı+gaz) kapanımların boyutları <1-6 mikrometre arasında değişmektedir. Epidot kristallerinde izlenen birincil kökenli iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlarda sıvı fazın gaz faza oranı fazla olup, kapanımların tamamının sıvı faza homojenleştiği belirlenmiştir.

Epidot minerallerinde birincil kökenli iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlarda yapılan analizlerde sadece 3 adet kapanımda homojenleşme sıcaklık (Th ºC) değerleri ölçülebilmiştir. Bunlar sırasıyla 287 ºC, 312 ºC ve 333 ºC'dir. Homojenleşme sıcaklıklarının ölçüldüğü birincil kökenli iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımların dondurulmasıyla düşük sıcaklıklardaki (<0 ºC) faz değişimleri optik olarak gözlemlenememiş ve tuzluluk değerleri hesaplanamamıştır.

19-TG.SK-4 nolu piroksen örneği; genel olarak mat, yer yer ise şeffaf-yarı şeffaf kesimlerden ibarettir. Örneğin, şeffaf-yarı şeffaf kristallerinde yer yer, birincil kökenli kapanımlara rastlanmıştır. Birincil kökenli kapanımları; iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlar ve tek fazlı (sıvı) kapanımlar ile tek fazlı (gaz) kapanımlardır.

Birincil kökenli iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlar genellikle mercek, üçgen, yuvarlak/elipsoidal ve düzensiz şekilli olup, boyutları; < 2-13.7 mikrometre;. tek fazlı (sıvı) kapanımlar, yuvarlak/elipsoidal, dikdörtgen ve düzensiz şekilli olup boyutları < 1-8 mikrometre; tek fazlı (gaz) kapanımlar ise, yuvarlak/elipsoidal şekilli olup boyutları < 1-2 mikrometre arasında değişmektedir.

Analiz edilen birincil kökenli iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlarda yer yer gaz fazın sıvı faza oranının fazla olduğu görülmüştür. Bu tür kapanımlarda homojenleşme sıcaklığı optik olarak gözlenememiştir.

Örneğin bazı kristallerinde yer yer, boyunlanmış (necking down), uzamış şekilli kapanımlar izlenmiştir. Boyunlanmalar sonucu kapanımlar iki fazlı hale gelmiş olup, bu tür kapanımlarda doğru neticeler alınamayacağı için mikrotermometrik ölçümler yapılmamıştır.

Örnekte yapılan tüm incelemelerde (örneğin genel olarak mat; görülen kapanımların çoğunlukla hareketli, yer yer ise yetersiz boyutlarda olmasından dolayı) mikrotermometrik ölçümler sırasında optik olarak gözlem yapılamamış olup, ölçülebilecek nitelikte sıvı kapanıma rastlanmamıştır.

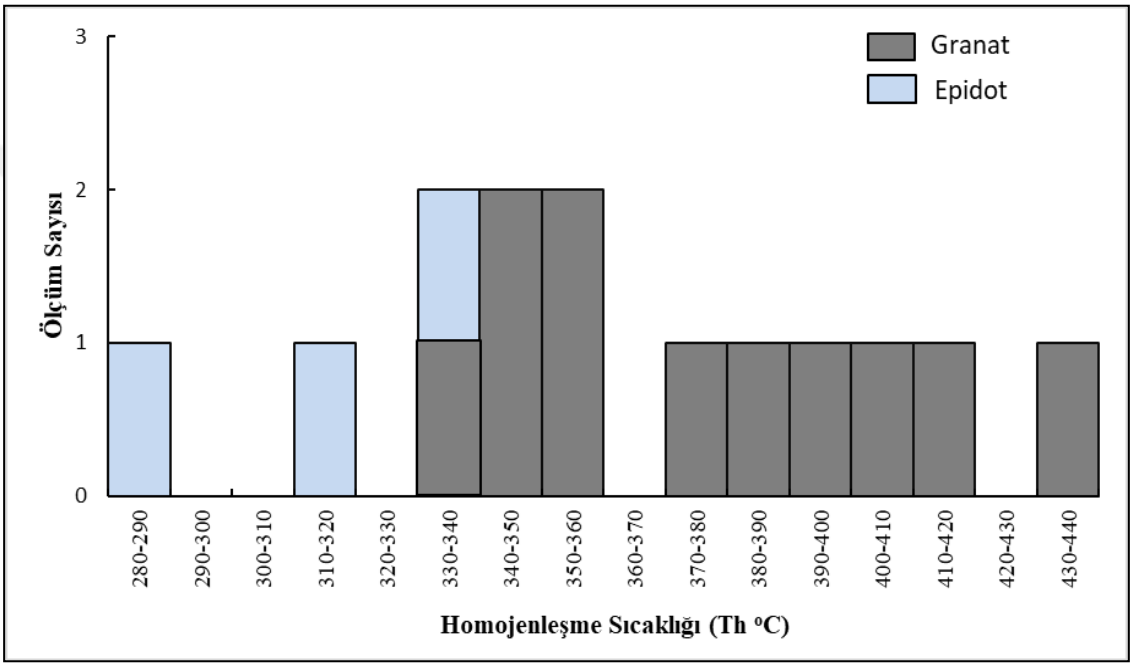
3.4.1. Homojenleşme sıcaklığı ve tuzluluk değerleri

Sıvı kapanımların ergime sıcaklıkları (Tm ºC) ve bunlara karşılık gelen % NaCl eşdeğerleri Bodnar (1993)'ın formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

Granat ve epidot kristallerdeki birincil kökenli iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlarda elde edilen homojenleşme sıcaklıkları (Th ºC) Tablo 20'de histogramları ise Şekil 58'de verilmiştir.

Tablo 20. Granat ve epidot mineraline ait sıvı kapanımların homojenleşme sıcaklıkları

Örnek No	Mineral	Homojenleşme Sıcaklığı Th (ºC)	Homojenleşme Fazı	Örnek No	Mineral	Homojenleşme Sıcaklığı Th (ºC)	Homojenleşme Fazı
2015-THG-SK-1	Granat	340	sıvı faza	2015-THG-SK-	Granat	400	sıvı faza
		343	sıvı faza			407	sıvı faza
		345	sıvı faza			416	sıvı faza
		354	sıvı faza			434	sıvı faza
		357	sıvı faza	2015-THG-	Epidot	287	sıvı faza
		379	sıvı faza			312	sıvı faza
		384	sıvı faza			333	sıvı faza



Şekil 58.Granat ve epidot minerallerine ait sıvı kapanım analizlerinden elde edilen homojenleşme sıcaklık değerlerinin histogramları

Granatta yapılan 11 adet ölçüm değerine göre, kapanımların homojenleşme sıcaklığı 340-434 ºC arasında bulunmaktadır. 508 ºC' de homojenleşen bir kapanım da ısıtılan tüm parça kararmış ve tekrar eski haline gelmemiştir. Özellikle ölçümler sırasında 400 ºC üzerindeki sıcaklıklarda kapanımların birçoğunun bozulduğu ve/veya karardığı (decrepitation) belirlenmiştir.

Homojenleşme sıcaklıkları ölçülen birincil kökenli iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlar -150 ºC' ye kadar dondurulmuş ve kapanımların nispeten küçük boyutlu olması ve özellikle çalışılan mineralin koyu renkli olması sonucu sıvı kapanımların düşük sıcaklıklardaki (<0) faz değişimleri optik olarak belirlenememiştir. Ancak sadece birkaç kapanımda ergime sıcaklık değerleri (Tm ºC) izlenebilmiştir. Ölçülen ergime

sıcaklıkları (Tm^{o}C) ve bunlara karşılık gelen % NaCl eşdeğerleri Bodnar (1993)'ın eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır ve Tablo 21'de verilmiştir.

Tablo 21. Sıvı kapanım tuzluluk değerleri

Homojenleşme Sıcaklığı Th(^{o}C)	**Tm(^{o}C)**	**% NaCl eşdeğeri**
416	-7.8	11.5
407	-6.5	9.9
384	-5.0	7.9

Soğutma çalışmalarında granatlardaki sıvı kapanımların düşük sıcaklıklardaki (<0 ^{o}C) faz değişimlerinin optik olarak tespiti kolay olmamıştır. Elde edilen 3 adet Tm (^{o}C) sonucuna göre, kapanımları oluşturan eriyiğin/çözeltinin tuzluluğu %7.9-%11,5 NaCl eşdeğeri arasında değişmektedir. Ölçülen ergime sıcaklıkları (Tm ^{o}C) 0 ^{o}C 'nin üzerindeki sıcaklıklarda da bulunmuştur. Sadece iki kapanımda +0.8 ^{o}C (?) ve +1.2 ^{o}C olarak bulunmuştur. 0 ^{o}C 'nin üzerindeki bu ergime değerleri düşük sıcaklıkta "clathrate" (CO_2.5.3/4H_2O) oluşumunu gösterebilmektedir. Bu kapanımların hiçbirinde oda sıcaklığında karışmaz sıvı faz olarak CO_2 gözlenmemiş olup, ancak çözelti sisteminde CO_2 gibi karbonik bileşenlerin varlığına işaret edebileceği düşünülmüştür. Bununla birlikte granat kristallerindeki sadece bir kapanımda ilk buz ergime sıcaklık değeri ölçülmüştür. Ergime sıcaklığı 0 ^{o}C'nin üzerinde +1.2 ^{o}C olarak çıkan kapanımın homojenleşme sıcaklığı 357 ^{o}C'dir. Ayrıca granat kristallerindeki sadece bir kapanımda ilk buz ergime sıcaklık değeri ölçülmüştür. Elde edilen sıcaklık değeri -59 ^{o}C olup, bu değerin elde edildiği kapanım homojenleşme sıcaklığı ise 354 ^{o}C olarak ölçülmüştür.

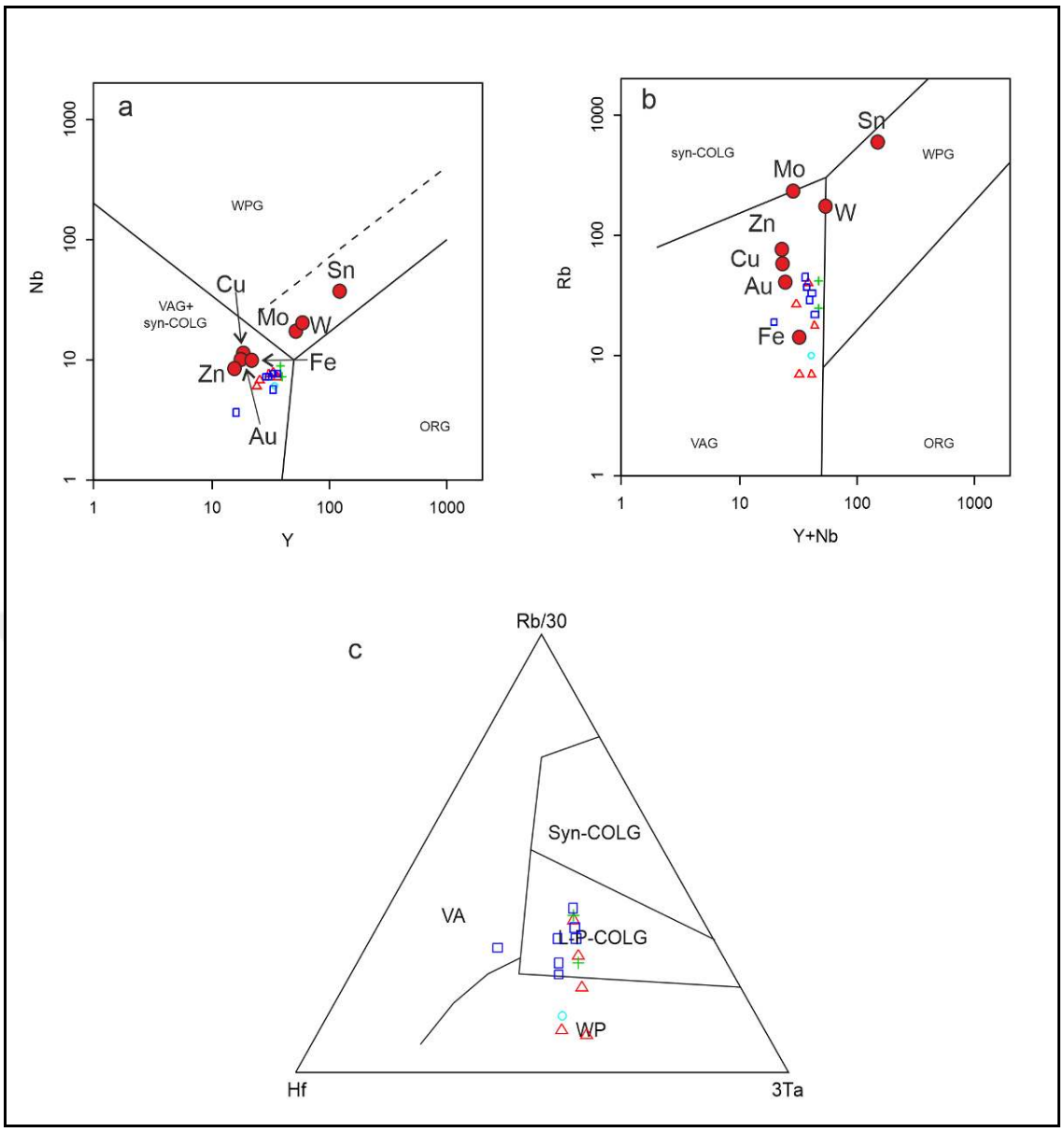
4. TARTIŞMA

Kaçkar Granitoyidi ana oksitlerinde SiO_2'ye karşı gözlenen doğrusal ve doğrusala yakın bir dağılım sunmaları fraksiyonel kristallenmenin bir sonucu olarak düşünülmektedir (Şekil 32). Kaçkar Granitoyidi'nde SiO_2'ye karşı Zr, Ba, La, Y, Ce, Th, U ve Nb'de görülen dağınık görünüm kabuksal kirlenmenin bir sonucu olarak gelişmiş olabilir (Şekil 33).

Sahadaki granitoyidlerin iz element dağılımları genellikle volkanik yay granitoyidleri ile benzerlik göstermekte olup, Eosen yaşlı Erik Granitoyidi (Sipahi vd., 2017) ile Diyorit ve Granodiyorit (Kaygusuz vd., 2015) ile karşılaştırıldığında daha fakir oldukları belirlenmiştir (Şekil 34). Diyorit hariç diğerlerinde negatif Eu anomalisi görülmesi oluşumlarında plajiyoklas fraksiyonlaşmasının etkili olduğuna dikkat çekmektedir. Yataya yakın ANTE değerleri ise ilksel mantoda granat mineralinin bulunmadığını belirtmektedir.

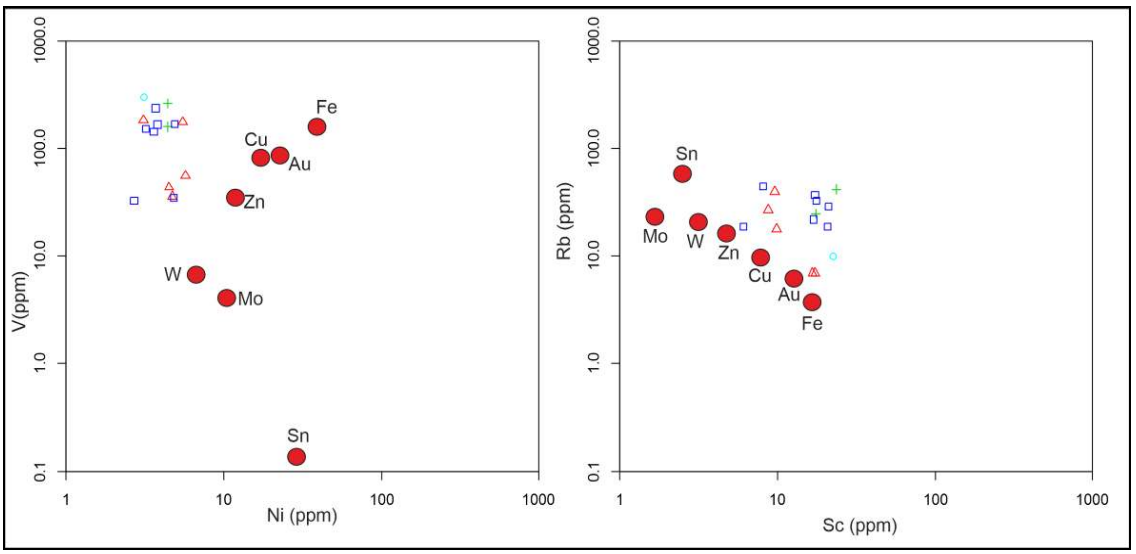
Nb (ppm)'a karşı Y (ppm) diyagramında (Pearce vd., 1984) granitoyidlerin tamamı volkanik yay granitleri-eş çarpışma (VAG+sy-COLG) alanında yer almaktadır (Şekil 59a). Bu diyagramda, çalışılan kayaçlardan tonalit, granodiyorit, kuvarslı diyorit ve diyorit porfir Cu, Fe, Au ve Zn skarnlarla ilişkili granitlerle (Meinert, 1985) benzerlik sunmaktadır. Rb (ppm)'e karşı Y+Nb (ppm) diyagramında (Pearce vd., 1984) çalışılan kayaçların tamamı volkanik yay granitleri (VAG) alanında bulunmaktadır (Şekil 59b). Burda da tonalit, granodiyorit, kuvars diyorit ve diyorit porfir Cu, Fe, Au ve Zn skarnlarla (Meinert, 1985) ilişkili granitlere benzerlik göstermektedir.

Rb/30–Hf–Ta/3 üçgen diyagramında (Harris vd., 1986) çalışılan kayaçlar nispeten düşük Ta ve Rb değerleriyle bir tonalit numunesi volkanik yay (VAG), diğer tonalit numuneler geç çarpışma sonrası granitoyidler (L-P-COLG) alanında bulunurken, granodiyoritler ve kuvarslı diyoritler geç çarpışma sonrası ve levha içi granitoyid (WP) alanında, diyorit porfirler ise yine levha içi granitoyid alanında WP alanında yer almaktadır (Şekil 59c).



Şekil 59. Çalışılan granitoyidlerin tektonik ayırtman diyagramlarında dağılımları. a) Nb-Y, b) Rb-(Y+Nb) (Pearce vd., 1984) ve c) Rb/30-Hf-Ta*3 (Harris vd, 1986), (Skarn yataklarına ait plütonlar için ortalama değerler Meinert, 1985'ten alınmıştır). Semboller için Şekil 31c'ye bakınız.

Ni-V ve Sc-Rb diyagramlarında (Meinert, 1995) tonalit ve granodiyorit örneklerinin bir kısmı Zn-Cu skarn alanlarına yakın bulunurken; tonalit, kuvarslı diyorit, diyorit porfir ve granodiyorit örnekleri Cu, Fe, Au ve Zn skarnlar arasında bulunmaktadır (Şekil 60). Kalsik Fe skarnlara eşlik eden plütonlarda Ni ve V değerleri en yüksek değerde iken; Cu, Au, Zn ve W skarnlara (Meinert vd., 2005) doğru giderek azalma göstermektedir.



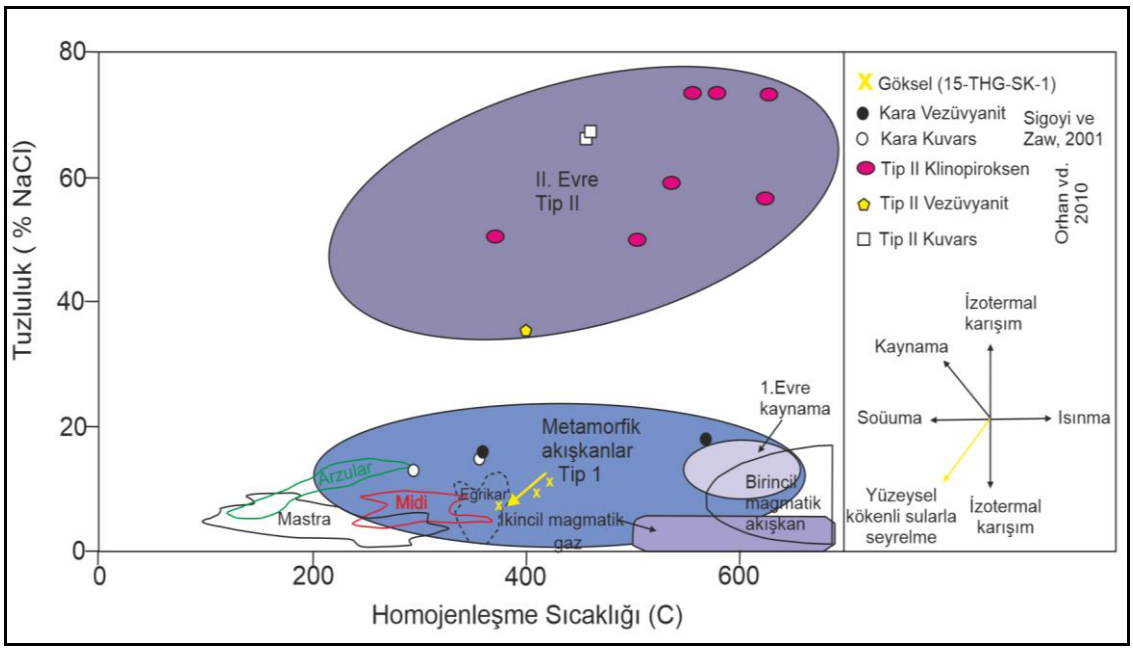
Şekil 60. Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesindeki granitoyidlerin a) Ni'e karşı V ve b) Sc'a karşı Rb (Meinert, 1995; Meinert vd., 2005'ten değiştirilerek) diyagramlarındaki konumları. Semboller için Şekil 31c'ye bakınız.

4.1. Sıvı Kapanım

Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesinde granatın homojenleşme sıcaklıkları ve tuzluluk değerlerine ait veriler değerlendirildiğinde numunelerin metamorfik akışkanlar Tip-I alanında yer aldığı görülmüştür (Şekil 61). Tip-I kapanımlı granatın sıvı ve gaz fazınca zengin olan kapanımların homojenleşme sıcaklık (384-416°C) değerleri "metamorfik akışkanlar" alanında bulunmaktadır.

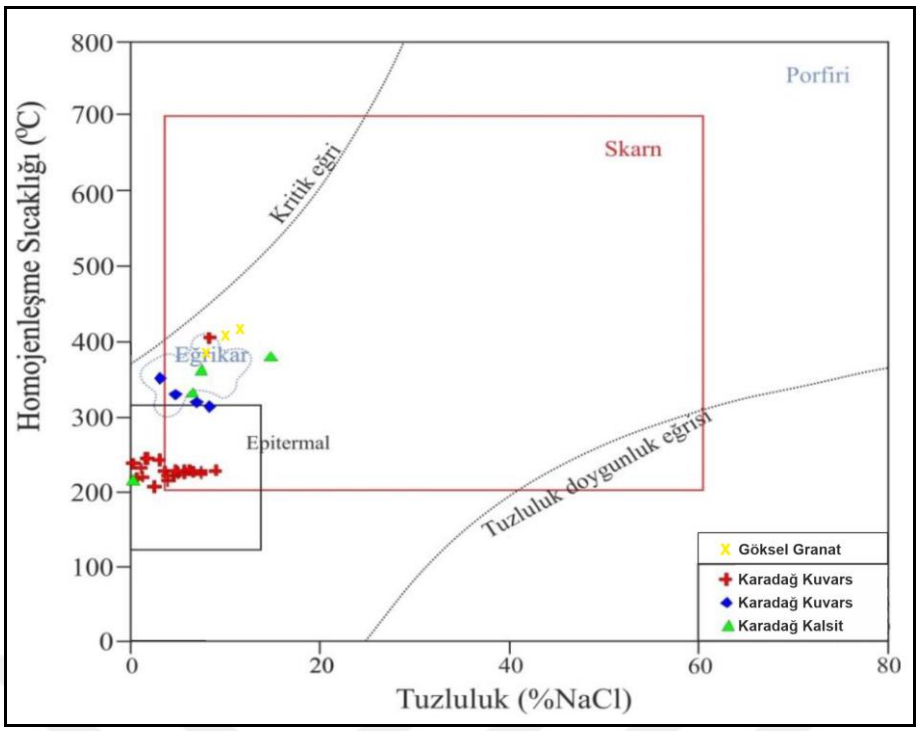
Göksel sahasındaki granatlardaki sıvı kapanımların homojenleşme sıcaklık ve tuzluluk değerleri, Eğrikar Fe-Cu skarndaki (Sipahi vd., 2017) hedenberjit ve epidotun homojenleşme sıcaklık ve tuzluluk değerlerine, Kara Magnetit-Şeelit skarndaki (Singoyi ve Zaw, 2001) ikinci evre vezüvyanitlerindeki (Tip I kapanım) homojenleşme sıcaklık (Th= 362-571 °C) ve tuzluluk (%16.3-17.8 NaCl eş değeri) ile üçüncü evre kuvarslarının homojenleşme sıcaklık (Th=295.5-359 ºC) ve tuzluluk (% 13.4-15.3 NaCl eş değeri) değerlerine sahip olup "Metamorfik Akışkanlar" alanında yer almaktadırlar (Şekil 61).

Göksel Cu-Fe skarn sahasında granatlarda yapılan sıvı kapanımlarının kaynağı metamorfik akışkanlar tip I alanına düştüğü görülmüş ve bu metamorfik akışkan kaynaklı sıvıların yüzeysel kökenli suların karışmasıyla tuzluluk değerlerinin seyreldiği tespit edilmiştir (Şekil 61).



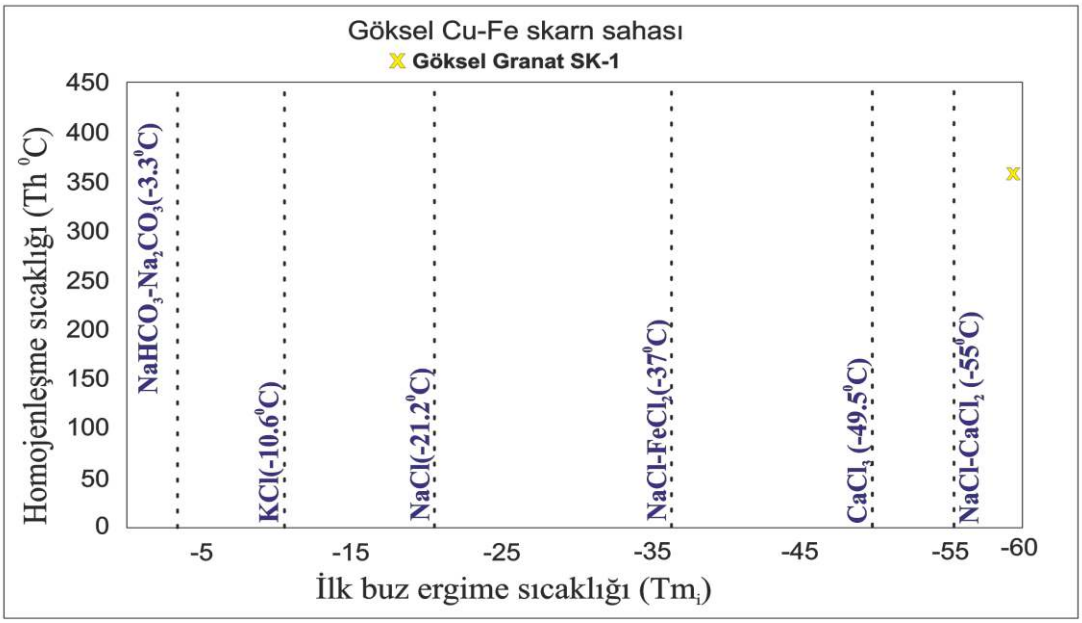
Şekil 61. Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesindeki sıvı kapanımların homojenleşme sıcaklığına (ºC) göre tuzluluk (% NaCl) değerlerinin değişimi (değişik kökenli hidrotermal akışkanların ortalama sıcaklık ve tuzluluk alanları Bodnar, (1999)'dan; Eğrikar Fe-Cu skarn Sipahi vd., (2017)'den; sıvıların yönsemeleri Wilkinson (2001); Midi, Mastra ve Arzular Akaryalı (2016)'dan alınmıştır).

Göksel Cu-Fe skarnındaki granatlardan elde edilen homojenleşme sıcaklığı ve tuzluluk değerlerine göre değerlendirildiğinde Wilkinson (2001)'e göre kritik eğrinin altında kaldığı ve skarn alanına düştüğü görülmektedir. Diğer yataklar ile karşılaştırıldığında Eğrikar (Torul-Gümüşhane) Fe-Cu skarn sahasındaki kuvarslardan ve Karadağ (Torul-Gümüşhane) Fe-Cu sahasındaki kalsitlerden elde edilen veriler ile benzerlik göstermektedir (Şekil 62).



Şekil 62. Göksel Cu-Fe skarn sahası granat tuzluluk ve homojenleşme sıcaklık değerlerinin farklı yatak (Wilkinson, 2001) tipleri ile karşılaştırılması. Eğrikar Fe-Cu skarn Sipahi vd. (2017)'den, Karadağ Fe-Cu skarn Sipahi vd. (2022)'den alınmıştır.

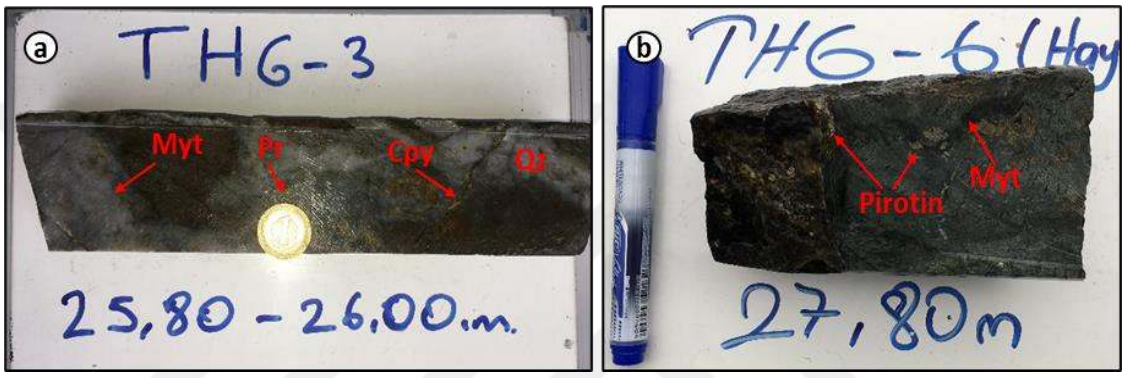
Granat minerallerinden elde edilen ilk buz ergime değerleri ve homojenleşme sıcaklarına göre elde edilen veriler (Shephard vd., 1985) sistemde NaCl-$CaCl_2$ bileşimli sıvıların varlığından kaynaklandığını göstermektedir (Şekil 63).



Şekil 63. Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesi granat minerallerindeki ilk buz ergime (Tmi) ve homojenleşme (Th°C) sıcaklıklarının dağılımı (Shephard vd., 1985).

4.2. Sondaj Verilerinin Değerlendirilmesi

Göksel sahasında skarn tip bakır (Cu) ve demir (Fe) cevherleşmesini ortaya çıkarmak amacıyla MTA Genel Müdürlüğü tarafından, 2017-2021 yılları arasında 34 lokasyonda **15.841,10** metre karotlu maden sondajı yapılmıştır. Sondajlarda kesilen cevherleşme mercek şekilli, ağsal damar-damarcıklı, yer yer bantlı ve kırık ve çatlaklar içerisinde sıvamalar şeklindedir. Yer yer masif sülfit cevherleşmesi olarak gözlenmektedir. Pirotin minerali masif kısımlarda baskın mineraldir. Bunun yanında kalkopirit, pirit, manyetit, maghemit, yer yer sfalerit ve az da olsa molibdenit gözlenmektedir (Şekil 64).



Şekil 64. Cevherli sondaj karotları (a) Gri renkli, silisli, sert ve sağlam yapılı, kuvars damarcıklı kalkopirit-pirit-manyetit içerikli cevher örneği, (b) Yoğun manyetitli, piritli, protinli masif-yarı masif skarn cevherleşme örneği.

Sahada yapılan sondaj verilerinin jeokimyasal analiz sonuçlarına göre önemli bakır, çinko cevher zonları Tablo 22'de, demirli zonlar ise Tablo 23'te verilmiştir.

Tablo 22. Göksel sahası önemli bakır (Cu) ve çinko (Zn) seviye ve tenörleri

Sondaj No	Giriş (m)	Çıkış (m)	Kalınlık (m)	Cu (%)	Zn (%)
17-THG-1	24.00	29.00	5.00	0.21	
	38.00	41.00	3.00	0.69	
	45.00	77.00	31.00	0.50	
	81.00	85.00	4.00	0.19	
	88.00	92.00	2.00	0.29	
17-THG-2	115.00	138.00	23.00	0.18	
	140.00	167.00	27.00	0.11	
	322.00	328.00	6.00	0.19	
17-THG-3	10.00	57.00	47.00	0.26	
17-THG-4	146.00	162.00	16.00	0.50	
17-THG-5	210.00	214.00	4.00	0.26	
	230.00	234.00	4.00	0.17	
	376.00	382.00	6.00	0.13	
17-THG-8	263.00	265.00	2.00	0.28	
	282.00	284.00	2.00	0.43	
	289.00	291.00	2.00	0.17	

Tablo 22. (Devamı)

Sondaj No	Giriş (m)	Çıkış (m)	Kalınlık (m)	Cu (%)	Zn (%)
17-THG-10	114.00	118.00	4.00	0.14	
	144.00	150.00	6.00	0.22	
	156.00	166.00	10.00	0.97	
18-THG-12	183.00	191.00	8.00	0.15	
	242.00	247.00	5.00	0.19	
18-THG-15	193.00	195.00	2.00	0.11	
	230.00	232.00	2.00	0.20	
18-THG-17	36.00	45.00	9.00	0.29	
	54.00	59.00	5.00	0.16	
	63.00	79.00	16.00	0.52	
	98.00	101.00	3.00	0.19	
	117.00	119.00	2.00	0.11	
19-THG-1	151.00	167.00	16.00	0.21	
19-THG-2	31.00	35.00	4.00		3.50
19-THG-6	101.00	151.00	50.00	0.10	
19-THG-7	275.00	299.00	24.00	0.23	
	314.00	320.20	6.20	0.35	
20-THG-22	0.00	64.00	64.00	0.22	
20-THG-23	217.00	237.50	20.50	0.47	
	246.00	265.00	19.00	0.15	
	453.00	503.00	50.00	0.23	
	542.00	549.00	7.00	0.10	
	555.50	560.00	4.50	0.16	
20-THG-25	217.00	231.00	14.00	0.16	
	248.00	257.00	9.00	0.13	
21-THG-26	252.00	284.00	32.00	0.19	0.65
	323.00	336.00	13.00	0.10	
21-THG-29	51.00	58.70	7.70	0.71	0.32
	93.00	127.00	34.00	0.62	
	96.20	113.00	16.80		1.56
21-THG-29A	30.00	36.00	6.00	0.33	
	67.00	87.00	20.00	0.46	0.27
	111.00	120.00	9.00	0.11	
	143.00	175.00	32.00	0.21	
	187.00	212.00	25.00	0.20	
21-THG-30	126.00	129.00	3.00	0.12	1.16
	144.00	146.50	2.50	0.32	0.41
	153.00	159.50	6.50	0.23	0.33
	164.90	172.00	7.10	0.55	0.40
	176.50	197.00	20.50	0.28	
21-THG-31	363.00	369.00	6.00	0.32	
21-THG-34	499.00	506.40	7.40	0.10	

Tablo 23. Göksel sahası analiz sonuçlarına göre önemli demir oksit cevherine ait cevher kalınlıkları ve tenörü.

Sondaj No	Giriş (m)	Çıkış (m)	Kalınlık (m)	Fe_2O_3 (%)
17-THG-1	24.00	38.00	14.00	11.80
	41.00	45.00	4.00	10.00
	48.00	51.00	3.00	12.60
	52.00	90.00	38.00	22.60
17-THG-2	115.00	123.00	8.00	20.40
17-THG-3	0.00	19.00	19.00	19.10
17-THG-4	143.00	147.00	4.00	11.20
	150.00	156.00	6.00	12.50
17-THG-6	3.00	14.00	11.00	13.40
	23.00	35.00	12.00	19.60
17-THG-8	263.00	270.00	7.00	10.00

Tablo 23. (Devamı)

	277.00	281.00	4.00	15.10
	282.00	300.00	18.00	19.10
18-THG-12	181.00	191.00	10.00	20.32
	323.00	335.00	12.00	10.60
19-THG-1	200.00	205.00	5.00	11.16
	210.00	214.00	4.00	11.07
21-THG-26	269.00	271.00	2.00	19.45
21-THG-29	94.00	96.20	2.20	14.60

Çalışma alanında MTA Genel Müdürlüğü tarafından sondaj verileri kullanılarak bakır (Cu), demir (Fe) ve çinko (Zn) cevherleşmesi için tenör ve tonaj hesabı yapılmış ve kaynak rezervine göre buluculuk raporu hazırlanmıştır Aydın vd. 2022, (MTA yayınlanmamış).

Rapora göre;

2.476 ppm tenörlü *13,5* mton bakır (Cu),

%21,92 tenörlü *7,2* mton demir (Fe),

12.802 ppm tenörlü *1.571.438 ton* (Zn) kaynak tahmini hesaplanmıştır.

Sahada Cu-Fe-Zn için düşük tenörlü kaynak tahmini yapılmıştır. Dünyada yüksek tenörlü metalik cevher rezervlerinin hızla azalması, düşük tenörlü kaynaklardan yararlanılmasını bir zorunluluk haline getirmektedir. Sahada ilerleyen yıllarda yapılacak çalışmalar ile ekonomik olabilecek düşük tenörlü cevherin değerlendirilmesi, ülke ekonomisi açısından büyük önem arz etmektedir.

5. SONUÇLAR

Doğu Pontidler' in Kuzey Zonunda Trabzon ili, Hayrat ilçesi sınırlarında Göksel Mahallesi mevkiindeki Cu-Fe Skarn cevherleşmesinin; jeolojisi, petrografisi, cevher mikroskobisi özellikleri ve mineral kimyası özelliklerinin belirlenmesini amaçlayan çalışmanın başlıca sonuçları aşağıda verilmiştir.

Göksel skarn cevherleşmesinin yer aldığı sahada alttan üste doğru Liyas yaşlı bazalt, andezit ve bunların piroklastiklerinden oluşan Hamurkesen Formasyonu, Üst Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşı ve mermerlerden oluşan Berdiga Formasyonu, Geç Kretase yaşlı bazalt, andezit ve piroklastik kaya türünden oluşan Çatak Formasyonu, Geç Kretase-Eosen (?) yaşlı tonalit, granodiyorit, kuvarslı diyorit, granit-granit porfir ve diyorit porfir bileşimli derinlik kayaçlarının oluşturduğu Kaçkar Granitoyidi yer almaktadır. Kaçkar Granitoyidi tüm bu birimleri kesmekte olup Berdiga Formasyona ait kireçtaşı dokanaklarında kontakt metamorfizmaya bağlı olarak skarn cevherleşmesi gerçekleşmiştir. Çalışma alanının en genç birimleri ise tüm birimleri kesen Kretase-Eosen (?) yaşlı dasit, bazalt ve diyabaz türü dayklardır.

Göksel Cu-Fe skarn cevherleşme sahasında kireçtaşı ile granitoyidik intrüzyonun dokanak oluşturduğu kısımlarda endoskarn ve ekzoskarnların geliştiği ayrıca Cu-Fe cevherleşmesinin olduğu kesimlerde ise dokanak gözlenmemekte, sokulum kayacından uzak bölümde kireçtaşı içerisindeki tabaka düzlemleri ve kırık-çatlaklar vasıtasıyla dolaşan hidrotermal çözeltilerin çökelmesi sonucu oluştuğu görülmüştür.

Skarn tip cevherleşmenin endoskarn zonunda piroksen, granat, manyetit ve epidot az miktarda iken, ekzoskarn zonunda bu minerallerin fazla miktarda olduğu gözlenmiştir. Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesinin mineral parajenezi manyetit, pirit, pirotin, sfalerit, kalkopirit, galenit, hematit, arsenopirit, az miktarda mangan, molibdenit, sfen, rutil, ilmenit, makinevit (vallerite), wolframit, gümüş ve tellür şeklindedir. Ayrıca oksidasyon mineralleri olarak hematit, limonit, maghemit, markazit, kovellin, malahit oluşmuştur. Piroksen, granat, kuvars, epidot, kalsit, aktinolit – tremolit ve amfibol belirlenmiştir.

Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesi ile ilişkili olan granitoyidler kalk-alkali bileşiminde olduğu görülmüştür. Kaçkar Granitoyidine ait kayaçların metalimünyum karaktere sahip oldukları tespit edilmiştir.

Kaçkar Granitoyidik kayaçlarının iz element karakteristikleri genel olarak yay granitleri ve geç çarpışma sonrası granitler ile benzerlik gösterirken Göksel Cu-Fe cevherleşmesiyle ilişkili olan granitoyidlerin yitim sonrası oluştuğu tahmin edilmektedir.

Göksel Cu-Fe skarn cevherleşmesi ekzoskarn zonu granat ve epidotun sıvı kapanım analizleri ile granat kristallerdeki birincil kökenli iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlarda yapılan mikrotermometrik ölçümler sonucu granatlardan elde edilen homojenleşme sıcaklıkları 340-434 ^{o}C ve tuzluluğunun %7,9-11.5 NaCl (eşdeğer tuzluluk) arasında, epidot mineralinden elde edilen homojenleşme sıcaklıklarının ise 287-312 ^{o}C oldukları belirlenmiştir. Sıvı kapanımlardan elde edilen homoşenleşme sıcaklığı skarn kökeni desteklemekte ve cevherleşmeye sebebiyet veren sıvıların kaynağının metamorfik akışkanlar olduğu görülmüştür.

Çalışma alanındaki granatların türü andradit ve grossular andradit bileşiminde, piroksenlerin ise hedenberjit, diyopsit ve hedenberjitik diyopsit bileşiminde olduğu tespit edilmiş olup Cu ve Fe skarn yataklanma sınıfına uyumlu olduğu görülmüştür.

Göksel skarn sahasında MTA tarafından Cu-Fe cevherleşmesinin tespit etmek ve kaynak rezervini ortaya koymak için sahada 34 lokasyonda *15.841,10* metre karotlu maden sondajı yapılmış ve *2.476 ppm* tenörlü *13,5* mton bakır (Cu), *%21,92* tenörlü *7,2* mton demir (Fe) ve *12.802 ppm* tenörlü *1.571.438 ton* (Zn) kaynak tahmini hesaplanmıştır.

KAYNAKÇA

Adamia, S. A. Lordkipanidze, M.B. ve Zakariadze, G.S. (1977). Evolution of an active continental margin as exemplified by the Alpine history of the Caucasus. *Tectonophysics,* 40, 183–199.

Ağan, A., Altınbaş, A.F., Eroğlu, C.İ., Hamzaçebi, S., Aydın, Ü. ve Çetiner, L. (2017). Trabzon-Rize (Doğu Karadeniz Bölgesi) metalik maden aramaları, *MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*, 23, 53-65.

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.

Akdeniz, N. ve Hasanov, H. M. (2011). Kuzeydoğu Anadolu ile Küçük Kafkas'ın jeolojik-metalojenik korelasyonu. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Derleme Rapor No:11376, Ankara.

Akdeniz, N., Akçaören, F. ve Timur, E. (1994). Aşkale-İspir arasının jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, derleme rapor no: 9731, Ankara.

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, 157-187.

Aslaner, M., Van, A. ve Yalçınalp, B. (1995). General features of Pontide metallogenıc belt, geolgy of the Black Sea Region, Ankara.

Aydın, Ü., Keskin, S., Öner, T., Ağan, A. ve Yurtseven, D. (2022). Trabzon Hayrat Göksel Mahallesi S: 201400270 Er:3318975 no'lu ruhsat sahasının buluculuk talebine esas bakır-demir-çinko cevherleşmesine ait maden jeolojisi ve kaynak tahmin taporu, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, rapor no: 13872, Ankara.

Aydurmuş, A. (2018). Karadağ (Torul, Gümüşhane) Fe-Cu Skarn Cevherleşmesinin Petrografik ve Sıvı Kapanım Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek lisans tezi, Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (532165).

Bodnar, R.J. (1999). Hydrothermal solutions. Encyclopedia of geochemistry, Marshall, C.P. ve Fairbridge, R.W. (eds.), Lancaster, *Kluwer Academic Publishers*, 333-337.

Boynton, W.V. (1984). Cosmochemistry of therareearthelements; meteoritestudies. *Rare Earth Element Geochemistry*, Henderson, P. (ed.), Elsevier Sci. Publ. Co., Amsterdam.

Burt, D.M. (1982). Skarn deposits - historical bibliography through 1970; *Economic Geology*, 77, 755-763.

Çamur, Z. (1996). Doğu Pontid volkanitlerinin kimyasal özellikleri. MTA rapor No: 9807, Ankara.

Çuvalcı, F., Yaprak, S., Eroğlu, C.İ. ve Doksanbir, T. (1997). Of (Trabzon)-İyidere-Derepazarı (Rize) güneyi yöresi genel jeokimya raporu, Maden Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı, rapor no: 10104, Ankara.

Demir, Y. And Dişli, A. (2020). Fluid inclusion and stable isotope constraints (C, O, H) on the Dağbasi Fe-Cu-Zn skarn mineralization (Trabzon, NE Turkey). *Ore Gology Reviews*, 116.

Demir, Y., Geological, mineralogical and geochemical properties of the Dağbaşı skarn ores (Araklı-Trabzon, NE Turkey).

Einaudi, M.T. ve Burt, D.M. (1982). Introduction; terminology, classification, and composition of skarn deposits. *Economic Geology.*

Evcimen, Ö. (2017). 1/100000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları Giresun F41-G41 paftaları, MTA Jeoloji Etüt Dairesi, Ankara.

Gülibrahimoğlu, İ. (1985). Trabzon-Maçka güneyi maden jeolojisi raporu, MTA, derleme no: 7895, Ankara.

Gülibrahimoğlu, İ. (1986). Arsin-Araklı-Sürmene-Çaykara güneyi ile Bayburt kuzeyi yörelerindeki Cu-Pb-Zn-Fe-Mn cevherleşmelerine ait 1/25.000 ölçekli maden jeolojisi raporu, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, rapor no: 8039, Ankara.

Gümrükçü, A. ve Takaoğlu, S. (1976). Trabzon Of-Dumlusu (Kotarak Dere) yatağının jeolojisi ve rezerv raporu, MTA, rapor no:5770 Ankara.

Güner, S., Gülibrahimoğlu, İ., Saraloğlu, A., Akıncı, S., Topçu, T. ve Konak, O. (1983). Rize-Çayeli-Fındıklı yöresinin jeolojisi, MTA, Jd: 342, Trabzon.

Gürsoy, H., Öztürk, A. ve Inan, S. (1993). Kelkit (Gümüshane) ve yakın dolayının tektonostratigrafik gelişimi, in Suat Erk geology symposium: Ankara, *Spec. Publ. Geol. Soc. Turkey*, 53-64.

Güven, İ. H. (1993). Doğu Pontidler'in jeolojisi ve 1/250 000 ölçekli komplikasyonu. MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.

Güven, İ. H. (1998). 1/100 000 ölçekli açınsama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları, No. 58, Trabzon C29 ve D29 Paftaları, MTA, Jeoloji Etütleri Dairesi Yayını, Ankara.

Irvine, I.C. ve Baragar, W.RA. (1971). A guide to chemical classification of the commonvolcanic rocks, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8, 523-548.

Ishikawa, Y., Sawaguchi, T., Iwaya, S. ve Horiuchi, M. (1976). Delineation of prospecting targets for kuroko deposits based on models of volcanism of underlying dacite and alteration haloes, *Mining Geology*, 26, 105-117.

Hasançebi, N. (1993). Dağbaşı (Araklı-Trabzon) granitoyidine bağlı cevherleşmenin incelenmesi. Yüksek lisans tezi, Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (29808).

Kazmin, V.G., Sbortshikov, I. M., Ricou, L.-E., Zonenshain, L.P., Boulin, J. ve Knipper, A. L. (1986). Volcanic belts asmarkers of the Mesozoic-Cenozoic active margin of Eurasia, *Tectonophysics*, 123, 123-152.

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.

Keskin, İ., Özbek, T., Dönmez, M. ve Küçümen, Ö. (1991). Köse-Gökçedere (Gümüşhane), Demirözü (Bayburt) dolayının jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, derleme rapor no: 9450, Ankara.

Konak, N., Hakyemez, Y., Bilgiç,T., Bilgin, R., Hepşen, N. ve Ercan, T. (2001). Kuzeydoğu Pontidlerin jeolojisi. MTA Raporu, 378, Ankara.

Korkmaz, A. (1993). Tonya-Düzköy (GB Trabzon) yöresinin stratigrafisi, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, C. 36, 151-158.

Korkmaz, S., Tüysüz, N., Er, M., Musaoğlu, A. ve Keskin, İ. (1995). Stratigraphy of the Eastern Pontides, NE-Turkey. *In Geology of the Black Sea Region*, (eds. A. Erler, T. Ercan, E. Bingöl and S. Örçen), pp. 59-68, Ankara: General Directorate of Mineral Research and Exploration.

Kwak, T.A.P. (1986). Fluid inclusions in skarn (carbonate replacement deposits), *Journal of Metamorphic Geology*, 4, 363-384.

Kurt, İ., Özkan, M. K., Karslı, Ş., Çolak, T. ve Topçu, T. (2006). Doğu Karadeniz Bölgesinin jeodinamik ve metalojenik evrimi, MTA derleme rapor no: 10875, Ankara.

Lahusen, L. (1972). Erzurum Ulutaş bakır-molibden sahası hakkında ön rapor, MTA derleme rapor no: 4964, Ankara.

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). *lassification of lgneous Rocks and Glossary of Terms*, 93.

Lentz, D.R. (1996). Recent advances in lithogeochemical exploration for massive-sulfide deposits in volcano-sedimentary environments: Petrogenetic, chemostratigraphic and alteration aspects with examples from the bathurst camp, New Brunswick. New Brunswick Department of Naturel Resources and Energy, *Minerals and Energy Division Mineral Resource*, 96-1, 73-119.

Middlemost, E.A.K. (1994). Naming materials in the magma/igneous rock system, *Earth Sci. Rev*., 37, 215-224.

Okay, A.I. (1989). Tectonic units and sutures in the Pontides, northern Turkey, In: Şengör, A.M.C. (Ed.) - *Tectonic Evolution of the Tethyan region*, 109-115, Kluwer Academic Publications, Dordrecht.

Okay, A.I. ve Şahintürk, Ö. (1997). Geology of the Eastern Pontides. In: Robinson, A.G. (Editor) *Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region*, Am. As. Petr. Geol (AAPG) Memoir, 68, 291-311.

Özsayar, T., Pelin, S., Gedikoğlu, A., Eren, A. ve Çapkınoğlu, Ş. (1981). Ardanuç (Artvin) yöresinin jeolojisi. *KTÜ Yerbilimleri Dergisi*, 2/1-2, 2-37.

Pejatoviç, S. (1979), Metallogeny of the Pontide-type massive sulfide deposits; MTA Publ. No. 177.

Saraç, S. (2003). Doğu Karadeniz Bölgesi demirli skarn yataklarının karşılaştırılmalı mineralojik ve jeokimyasal özellikleri. Yayınlanmamış doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 269 s.

Sawa, T. ve Hamamcıoğlu, A. (1970). Karadeniz Bölgesinin önemli maden zuhurları, MTA, rapor no: 951, Ankara.

Shand, S.J. (1947). *The Eruptive Rocks*, 3rd cdn., New York: John Wiley.

Sipahi, F. (1996). Camiboğazı ve Sarıtaş yaylaları arasındaki bölgenin petrografi ve maden yatakları açısından incelenmesi. Yüksek lisans tezi, Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (57888).

Sipahi, F. (2011). Formation of skarns at Gümüşhane (Northeastern Turkey). *Neues Jahrbuch für Mineralogy-Abhandlungen*, 188, 2, 169-190.

Sipahi, F., Akpınar, İ., Eker, ÇS., 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., Gücer, M.A. ve Saydam Eker, Ç. (2020). Geochemical composition of magnetite from different iron skarn mineralizations in NE Turkey: implication for source of ore forming fluids. *Arabian J. Geosciences*, 13, 2, 70.

Sipahi, F., Saydam Eker, Ç., Akpınar, İ., Gücer, M.A., Vural, A., Kaygusuz, A. ve Aydurmuş, T. (2022). Eocene magmatism and associated Fe-Cu mineralization in northeastern Turkey: A case study of the Karadağ skarn. *International Geology Review*, 64, 11, 1530-1555.

Sivrikaya, A. (2022). Köprüyanı (Maçka-Trabzon) cu-skarn cevherleşmesinin jeolojisi ve mineral kimyası. Yüksek lisans tezi, Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (723070).

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 Yilmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic, approach, *Tectonophysics*, 181, 241–981.

Şengör, A.M.C., Özeren, S., Genç, T. ve Zor, E. (2003). East Anatolian high plateau as a mantle supported, North-south shortened domal structure. *Geophysical Research Letters*, 30, 8045.

Topaloğlu, H. (1977). Giresun-Dereli Kurtulmuş Köyü demir zuhurunun jeoloji raporu, Jd:246, Ankara.

Van, A. (1976). Doğu Karadeniz demir ihbar sahaları etüd raporu, MTA rapor no: 1371, Ankara.

Wilkinson, J.J. (2001). Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits, *Lithos*, 55, 229-272.

Yılmaz, A., Engin, T., Adamia, S. ve Lazarashvili T. (1997a). Geoscientific studies of the area along Turkish- Georgian border, MTA derleme No: 10122, Ankara.

Yılmaz, M. (2016). Eğrikar (Torul, Gümüşhane) Fe-Cu skarn cevherleşmesinin petrografik ve jeokimyasal açıdan incelenmesi. Yüksek lisans tezi, Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (444152).

Yiğit, Ö. (2009). Mineral deposits of Turkey in relation to tethyan metallogeny, *Implications for Future Mineral Exploration Economic Geology*, 104, 19-51.

ÖZGEÇMİŞ

İhsan GÖKALP, İlkokulu Karasüleymanlı Mahallesi İlkokulu'nda, orta öğrenimini 12 Eylül ilköğretim Okulu'nda (Haymana/ANKARA) tamamlayan GÖKALP, 1999 yılında Farabi Lisesinde (Etlik/ANKARA) mezun oldu. 1999 yılında girdiği üniversite sınavı sonucu Konya Selçuk Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği bölümünü kazanıp 2003 yılında mezun oldu. 2004 yılında askerlik görevini tamamlamıştır.

2004 yılında jeoteknik alanda hizmet veren BCK Jeo-Jeofizik Ltd. Şti.'de jeoloji mühendisi olarak mesleki hayatına başlamıştır. 2006 yılında görevinden ayrılıp Yükselen Jeoteknik Ltd. Şti. olarak kendi şirketini kurmuştur. 2008 yılında şirketini devrettikten sonra, Gülsondaj Ltd. Şti şirketinde çalışmaya başlamıştır. 2009 yılında bu görevinden ayrılıp Gökçağ Harita Ltd. Şti şirketinde jeoloji mühendisi olarak çalışmıştır. 2010 yılında bu görevinden ayrılarak madencilik faaliyetlerinde bulunan Kemhaş Enerji Üretim Ltd. Şti. de maden arama jeologu olarak göreve başlamış ve üç yıl bu şirkette Türkiyenin çeşitli illerinde maden arama faalyetleri gerçekleştirmiştir. 2013 yılında çevre ve iş sağlığı sektöründe hizmet veren Enva Çevre İş Sağlığı ve Güvenliği Enerji Mühendislik Danışmanlık Taah. San. ve Tic. Ltd. Şti de maden hukuku ve kanunu alanında jeoloji mühendisi olarak çalışmaya başlamıştır. 2015 yılında görevinden ayrılıp 2017 yılı Mart ayına kadar Mers Çevre ve Madencilik Müh. Proje Dan. İş. Sağ. ve Güv. İnş. San. ve Tic.Ltd.Şti. de çevresel jeoloji kapsamında jeoloji mühendisi olarak görev yapmıştır. 2017 yılında Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA)'nde göreve başladı. MTA'de görevi boyunca Doğu Anadolu ve Doğu Karadeniz bölgelerinde bir çok farklı projede Baz ve Değerli Metaller üzerine maden arama jeologu olarak görev yapmıştır. 2019 bahar döneminde Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü projelerinde çalışması esnasında Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programına başladı. 2020 yılının Aralık ayında Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün uluslararası alanda madencilik faaliyetleri yürütebilmesi için kurmuş olduğu MTA Uluslararası Madencilik A.Ş.'ye (MTAIC) bağlı MTA Company Ltd. Sudan (Afrika) ülkesinde yaklaşık 1,5 yıl maden arama jeologu olarak görev yapmıştır.

2022 yılında tekrardan Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'ünde çalışmaya başlamış, baz ve değerli metallerin aranması alanında kıdemli jeolog olarak kurumunda hizmet vermektedir.