

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALİBEY ADASI (AYVALIK-TÜRKİYE) Pb-Zn CEVHER OLUŞUMLARI VE
AKIŞKAN KARAKTERİSTİKLERİ

Dilara ATAK

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2024

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ALİBEY ADASI (AYVALIK-TÜRKİYE) Pb-Zn CEVHER OLUŞUMLARI VE AKIŞKAN KARAKTERİSTİKLERİ

Dilara ATAK

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Sinan AKISKA

Bu çalışmayla, petrografik incelemeler, sıvı kapanım analizleri, duraylı kükürt izotopu ve saha çalışmalarından elde edilen veriler bir bütün olarak değerlendirilerek, Türkiye'nin kuzey-batısında yer alan Ayvalık'ın kuzeyinde bulunan Alibey Adası bölgesindeki Pb-Zn yataklarının oluşum süreçlerine ilişkin bulgular ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Çalışmalar bölgede bulunan günümüzde işletilmeyen galeri yakınındaki pasa sahasından ve yan kayaçlardan örnekler alınarak sürdürülmüştür. Batı Anadolu'da Alt – Orta Miyosen'de genel olarak kalkalen karakterde asitik ve bazik volkanik aktiviteler gelişmiştir. Kuzeybatı Anadolu bölgesinin magmatik kökeni ve oluşumları benzerlikler göstermektedir. Galeri yakınında tespit edilen pasa sahaslarından alınan örnekler üzerinde yapılan çalışmalarda galen, pirit, kalkozin-kovellin, limonit ve mangan grubu mineralleri tespit edilmiştir. Sıvı kapanım analizleri kuvars örnekleri üzerinde yapılmış olup homojenleşme sıcaklıkları 233-390 °C arasında değişmektedir. Kükürt izotop çalışmalarında ise $\delta^{34}\text{S}$ sonuçları -4,5 ‰ ile -2,6 ‰ arasında değişmektedir. Mineralojik-petrografik bulgular, yapısal-dokusal ilişkiler, oluşum sıcaklıkları ve izotop değerleri incelendiğinde, bölge cevherleşmesinin mezotermal sıcaklıklarda meydana gelen damar tipi Pb-Zn-Cu cevherleşmesi olduğu düşünülmektedir.

Şubat 2024, 66 sayfa

Anahtar Kelimeler: Alibey Adası, Pb-Zn yatakları, Mineraloji-Petrografi, Sıvı Kapanım, Kükürt İzotopu

ABSTRACT

Master Thesis

ALIBEY ISLAND (AYVALIK-TÜRKIYE) Pb-Zn ORE FORMATIONS AND FLUID CHARACTERISTICS

Dilara ATAK

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geological Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Sinan AKISKA

With this study, mineralogical-petrographical studies, fluid inclusion analyses, stable sulfur isotope data, and data obtained from fieldwork were collectively evaluated to reveal findings about the formation processes of Pb-Zn deposits in the region of Alibey Adası, located north of Ayvalık in northwestern Turkey. Samples were collected from currently inactive gallery entrances in the region to conduct the studies. In Western Anatolia, predominantly calc-alkaline acidic and basic volcanism developed during the Late-Middle Miocene. The magmatic genesis of the Northwest Anatolian region shows similarities. Samples were taken from the study area's slag fields and host rocks. The ore microscopy studies determined galena, pyrite, chalcocite-covellite, limonite, and manganese group minerals. Fluid inclusion analyses were performed on quartz samples, and homogenization temperatures ranged between 233-390 °C. In sulfur isotope studies, $\delta^{34}\text{S}$ results range between -4.5‰ and -2.6‰. In light of the obtained data, when mineralogical-petrographical findings, structural-textural relationships, formation temperatures, and isotope values are examined, it is thought that the ore formation in the region is a mesothermal vein-type Pb-Zn-Cu mineralization occurring at moderate temperatures.

February 2024, 66 pages

Keywords: Alibey Island, Pb-Zn deposits, Mineralogy-Petrography, Fluid Inclusion, Sulfur Isotope

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin başlangıcından sonuna kadar her aşamasında, her detayında büyük katkıları olan, bilgi, öneri ve tecrübeleriyle bana yol gösteren, akademik gelişimimde büyük katkıları olan ve kendisiyle çalıştığım için kendimi çok şanslı hissettiğim danışman hocam sayın Doç Dr. Sinan AKISKA'ya teşekkür etmeyi borç bilirim. Çalışmalarımın her aşamasında bilgi, tecrübe ve yardımlarıyla her daim yanımda olan Ankara Üniversitesi Yüksek Lisans mezunu Habibe Eren KÖROĞLU'na, yüksek lisans sürecimin en başından bu yola birlikte çıktığımız, bu çalışmanın arazi çalışmasından, laboratuvar çalışması sürecine kadar her anında yanımda olan Ankara Üniversitesi Yüksek Lisans öğrencisi Canberk ODABAŞI'na, hayatımın her anında tüm sevgisiyle yanımda olarak beni her daim akademik çalışmalarında destekleyen koruyucu meleğim Afiye ATAK'a, canım babam İlhan ATAK'a, bu yolculukta tüm sınavlarımda kapıda beni bekleyen sevgili kardeşlerim Mertcan ATAK ve Emre ATAK'a, her düştüğümde, umutsuzluğa kapılıp vazgeçmek üzere olduğumda beni o uçurumdan alan canım arkadaşlarım Selin DEMİRCİOĞLU, Selen HANCI, Burcu POLAT ve Nisanur SATIR'a, bu araştırma sırasında bana destek olarak her zaman izin veren sevgili müdürüm Emre ÖZDEMİR'e teşekkürlerimi borç bilirim.

Bu tez çalışması, “Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (22B0443001)” tarafından desteklenmiştir.

Dilara ATAK
Ankara, Şubat 2024

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	1
1.2 Çalışma Alanının Tanımı ve Konum	2
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	4
2.1 Arazi (Saha) Çalışmaları	4
2.2 Laboratuvar Çalışmaları.....	4
2.3 Büro Çalışmaları	6
3. ÖNCEL ÇALIŞMALAR	7
3.1 Bölgesel Öncel Çalışmalar	7
3.2 Maden Jeolojisi İle İlişkili Öncel Çalışmalar.....	10
4. GENEL JEOLJİ.....	13
4.1 Batı Anadolu'nun Jeolojisi	13
4.1.1 Paleozoyik Dönem	14
4.1.2 Mezozoyik Dönem	14
4.1.3 Senozoik Dönem	16
4.2 Bölgesel Stratigrafi.....	17
4.2.1 Alibey volkanitleri.....	18
4.2.2 Hallaçlar formasyonu	18
4.2.3 Dedetepe formasyonu.....	19
4.2.4 Yuntdağ volkanitleri	19
4.2.5 Ballica formasyonu	20
4.2.6 Soma formasyonu.....	20
4.2.7 Dededağ volkanitleri	21

4.2.8 Alüvyonlar	21
5. MADEN JEOLJİSİ.....	24
6. MİNERALJİ - PETROGRAFI.....	28
6.1 Andezit	28
6.1.1 Altere andezitler	32
6.2 Dasit.....	34
7. CEVHER MİKROSKOBİSİ.....	35
8. SIVI KAPANIM ANALİZLERİ.....	42
8.1 Işık Geçirgen Sıvı Kapanım Analiz Sonuçları.....	43
8.1.1 Sıvı kapanım sonuçları	43
9. DURAYLI İZOTOP ÇALIŞMALARI.....	48
9.1 Kükürt İzotop Çalışmaları	48
9.1.1 Hidrotermal yataklarda kükürt izotop bileşimi.....	49
9.1.2 Çalışma alanına ait kükürt izotop analizleri	49
10. TARTIŞMALAR VE YORUMLAR	51
11. SONUÇLAR	56
KAYNAKLAR	58
ÖZGEÇMİŞ.....	66

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

%	Yüzde
°C	Santigrat
µm	Mikrometre
‰	Binde
Ar	Argon
C	Karbon
CO ₂	Karbondioksit
Cr	Krom
Cu	Bakır
Fe	Demir
K	Potasyum
m	Metre
mm	Milimetre
MnO	Manganoksit
µm	Mikrometre
Mo	Molibden
My	Milyon yıl
Mn	Mangan
O	Oksijen
Pb	Kurşun
ppm	Milyonda bir kısım
Ti	Titanyum
Zn	Çinko
δ ¹³ C	Karbonun kararlı izotoplarının oranı ¹³ C: ¹² C 'nin binde olarak ifadesi

Kısaltmalar

Amf	Amfibol
Bt	Biyotit
chl	Klorit
G	Güney
GD	Güneydoğu
Hbl	Hornblend
K	Kuzey
KB	Kuzeybatı
MTA–MAT	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
NTE	Nadir toprak elementleri
ODTÜ	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Qz	Kuvars
opq	Opak mineral
PI	Plajiyoklaz
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TH	Homojenleşme Sıcaklığı
TFM	İlk Erime Sıcaklığı
TICE	Son Buz Erime Sıcaklığı

ŞEKİLLER DİZİNİ

- Şekil 1.1 Alibey Adası'nın yer bulduru ve örnek alım lokasyonları haritası..... 3
- Şekil 4.1 Triyas dalma-batma birimlerinin Türkiye'nin kuzeyindeki dağılımı (Okay ve Tüysüz, 1999)..... 13
- Şekil 4.2 Kuzeybatı Anadolu'nun Jeoloji Haritası (MTA, 1989) 22
- Şekil 4.3 Alibey Adası ve çevresinin genişletilmiş stratigrafik kesiti 23
- Şekil 5.1 Pasa sahasından alınan örnekler. (A) Pasa sahası içerisinde mostra vermiş yan kayaçta gözlemlenen cevherli örnek; (B) Pasa sahası içerisinde gözlemlenen cevher varlığı (Dentritik Mangan, koyu kahve (Camsı parlaklık veren) saçınımlı galenitler; (C) Altere olmuş volkanik yan kayaç içerisindeki demir boyamaları; (D) Altere olmuş volkanik içerisindeki cevherli damarlar (kırmızı ile işaretli alan ve oklar demir boyamalarını göstermektedir) 25
- Şekil 5.2 Sahadan alınan yan kayaç örnekleri. (A) Pasa Sahası içerisinde gözlemlenen andezit mostrası içerisinde K40B faylanma gözlenmekte ve diğer fayları dik kesmekte; (B) Maden galerileri için açılmış kuyu; (C) Alibey Adası-Yalancı boğaz bölgesinde görülen ağsal damarlı yan kayaç; (D) Kilise'nin yakınında bulunan iki galeri ve galerinin çevresinden alınan örnekler 26
- Şekil 6.1 Kayaç içindeki plajiyoklazların tek nikol (a) ve çift nikol (b) görünümü (PI: plajiyoklaz) (Örnek no: C11) 29
- Şekil 6.2 a) Mafik mineraller ve opaklaşmalar (tek nikol), b) (çift nikol) (Örnek no: C4-1), c) Klorit minerali (tek nikol), d) (çift nikol) (Örnek no: C2), e) Kırıklı çatlaklı biyotit içine klorit (tek nikol), f) (çift nikol) (Örnek No: C9), (opq: opak mineral, chl: klorit, Bt: biyotit) 30
- Şekil 6.3 a) Andezit içerisinde gözlenen altere biyotit minerali (tek nikol), b) (çift nikol) (Örnek no: C13), c) Andezit içindeki iri kuvars (tek nikol), b) (çift nikol) (Örnek no: C9) (Bt: klorit, Qu: kuvars) 31
- Şekil 6. 4 Andezitlerde gözlenen kloritleşmelerin tek nikol (a) ve çift nikol (b) görüntüleri (Örnek no: C2)..... 31
- Şekil 6.5 a) Mikrokristalin hamur içinde kloritleşme ve serisitleşmeye maruz kalmış biyotitler (tek nikol) (Örnek no: C3), b) Biyotit mineralleri (çift nikol) (Örnek no: C3), c) Altere olmuş kayaç içindeki bozunmuş plajiyoklazlar ve kuvarslar (tek nikol), d) Kayaç içindeki ikincil hidrotermal kuvars ve ortoklaz (tek nikol) (Örnek no: C4/1), e-f) yoğun killeşme ve serizitleşme gösteren ileri derecede altere kayaç içerisinde gözlenen demiroksitli mikrodamarlar (tek nikol-çift nikol) (Bt: biyotit, Qz: kuvars, Qr: ortoklaz, Dm: demiroksit, PI: plajiyoklaz) 33
- Şekil 6.6 Dasit içindeki porfirik dokulu ince taneli hamur içinde kuvars ve tamamen altere olmuş yarı özşekilli plajiyoklaz ve özşekilsiz ortoklaz kristallerinin tek

nikol (a) ve çift nikol(b) görüntüleri. Hamur kuvars ve feldispattan oluşuyor (Qz: kuvars) (Örnek no: C-14).....	34
Şekil 7.1 Kayacı oluşturan bileşenlerin tane aralarında bulunan mangan mineralleri (manganit ve piroluzit) (Örnek no: C9)	36
Şekil 7.2 Kayacı kesen damarcık içerisinde bulunan iğnemsiz Mn mineralleri (piroluzit) (Örnek no: C13)	36
Şekil 7.3 Saçınımlı halde bulunan serbest pirit taneleri (Örnek no: C6/1)	37
Şekil 7.4 Limonit minerali (yarı özşekilli – özşekilli) (Örnek no: C9).....	38
Şekil 7.5 Limonit mineralleri (Örnek no: C13).....	38
Şekil 7.6 Limonit ve mangan mineralleri (Örnek no: C13)	39
Şekil 7.7 Galenit, anglezit, kalkosin+kovellin+Cu oksitler bir arada (Örnek no: C21)..	40
Şekil 7.8 Alibey Adası Pb-Zn-Cu cevherleşmesinin parajenez ve süksesyonu.....	41
Şekil 8.1 (A,B,C,D) Örneklerde tespit edilen birincil - iki fazlı (sıvı+gaz) sıvı kapanımlardan alınan görüntüler.....	45
Şekil 8.2 Alibey Adasından alınan kuvars minerallerine ait birincil kökenli iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımların ölçülen homojenleşme sıcaklıklarının (Th °C) dağılım histogramı.....	46
Şekil 10.1 Alibey Adasındaki oluşumların çeşitli jeolojik ortam ve cevher tiplerinin $\delta^{34}\text{S}$ (‰) verilerinin derlenmesi (Çiçek vd., 2021 referans alınarak derlenmiştir).52	
Şekil 10.2 Demirela vd. (2023 ve içerisindeki referanslar)'dan alınan histogram üzerine Alibey Adası örneklerinin aralığı işlenerek benzer bölgedeki oluşumla karşılaştırılmıştır.	53

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 8.1 Yapılan 33 adet ölçüm değerine göre birincil kökenli iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımların homojenleşme sıcaklıkları 233-390 °C arasında değişmektedir.....	47
Çizelge 9.1 Çalışma alanına ait Pb-Zn cevherleşmesinde alınan örnekler üzerinde yapılan $\delta^{34}\text{S}$ (‰) kükürt izotop analiz sonuçları	50
Çizelge 10.1 Epitermal ve Mezotermal yatakların karşılaştırılması	55

1. GİRİŞ

Kuzeybatı Anadolu, Türkiye'nin önemli jeolojik alanlarından biridir ve bölgede gelişen çeşitli metalik cevherleşmeler mevcuttur. Bölge Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Mo, W, Au ve Ag gibi çeşitli metal cevherleşmelerine ev sahipliği yapmaktadır. Kuzeybatı Anadolu'daki bu cevherleşmeler, metamorfik değişimler, volkanik aktiviteler, tektonik hareketler ve hidrotermal etkiler gibi çeşitli jeolojik olaylar sonucunda oluşmuştur. Kuzeybatı Anadolu bölgesinde yapılan çalışmalar incelendiğinde araştırmaların ağırlıklı Eskişehir - Mihalıççık, Kütahya - Tavşanlı ve Emet, Balıkesir - Sındırlı ve Bigadiç ilçelerinde olduğu görülmektedir. Alibey Adası ve çevresindeki çalışmalar çok eski tarihlerde yapılmış olup bu çalışmalar da yalnızca mineralojik çalışmalar kapsamında yürütülmüştür. Bölgede meydana gelen Pb-Zn-Cu oluşumlarının oluşum koşullarına yönelik herhangi bir çalışmanın bulunmaması sebebiyle bu tez kapsamında bölgedeki cevherleşmelerin kökensel incelemeleri yapılmıştır.

1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu tez kapsamında, Türkiye'nin KB'sında yer alan Ayvalık-Alibey Adası kurşun-çinko-gümüş-altın cevherleşmelerinin ve konak kayaların mineralojik petrografik özelliklerinin tespit edilmesi ve cevherleşmeyi oluşturan akışkan(lar)ın sıvı kapanım ve duraylı izotop karakteristiklerinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

Bu kapsamda, çalışma alanında cevherleşme ile ilgili olan kayaları litolojik olarak tanımlamak, cevherleşme ile ilişkili yan kayaların altere ve altere olmamış kısımlarından sistematik olarak toplanacak örnekler üzerinde petrografik incelemelerde bulunmak, cevher mikroskopisi çalışmaları ile cevher minerallerinin parajenez ve süksesyonlarını ortaya koymak, cevherleşme ile ilişkili kuvars minerallerinden elde edilecek sıvı kapanım verileri aracılığı ile cevherleşmenin oluşum sıcaklığı ve cevherleşmeyi sağlayan akışkanın kökeni (tuzluluğu) hakkında bilgi almak, S duraylı izotop çalışmaları ile sülfütlü cevherlerin oluşumu, kökeni ve

karakteri hakkında ayrıntılı bilgiler elde etmek, elde edilecek sonuçları bir bütün olarak değerlendirip cevherli zon (veya zonlar) ile yan kayaçlar arasındaki olası ilişkileri ortaya koymak amaçlanmaktadır.

1.2 Çalışma Alanının Tanımı ve Konum

Çalışma alanı Ege bölgesinde, Balıkesir ili sınırı içerisinde bulunan Ayvalık ilçesinin kuzeybatısında yer alan Alibey Adası'dır. 39° 19' Kuzey enleminde ve 26° 43' Batı boylamında bulunan Ayvalık İlçesi, Ege Denizi'nde Edremit Körfezi'nin güneyinde, Midilli Boğazı'nın karşısındadır. Ayvalık'ın ilçe sınırlarını çevreleyen komşu ilçeler, kuzeyde Gömeç ve Burhaniye (Balıkesir), doğuda Bergama (İzmir) ile güneyde Dikili (İzmir)'dir (Şekil 1.1).

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Yüksek lisans tez çalışması kapsamında, Alibey Adası'nda bulunan ve günümüzde işletilmeyen galeri ağız ve çevresindeki pasa sahası olduğu tespit edilen bölgelerde çalışmalar yürütülmüştür. Bölgede saha çalışmaları kapsamında gerekli incelemeler yapılmış ve laboratuvar incelemeleri için gerekli örnekler alınmıştır. Alınan bu örneklerden mineralojik-petrografik incelemeler, cevher mikroskobisi, sıvı kapanım ve duraylı izotop çalışmaları yapılması öngörülmüştür. Çalışmalar üç başlık altında toplanmıştır. Bunlar, arazi (saha), laboratuvar ve ofis (büro) çalışmalarıdır. Elde edilen sonuçlar birleştirilerek tez kapsamında sunulmuştur.

2.1 Arazi (Saha) Çalışmaları

Arazi çalışmaları 2022 Eylül ayında yapılmıştır. Alibey Adası, jeomorfolojik olarak incelendiğinde farklı özelliklere sahiptir. Kıyılarında kayalık sahil şeritleri, koylar ve kumlu plajlar bulunur. Ova alanları, vadiler ve tepeler ise iç kesimlerinde gözlenen jeomorfolojik oluşumlardır. Ada genelini volkanik kalıntılar oluşturmakta olup arazi (saha) çalışmaları volkanik kayalar içerisinde gerçekleştirilmiştir. Varlığı saptanan volkanik kayalar ile damar oluşumları incelenmiş ve hidrotermal tip polimetalik baz metal cevherleşmelerinin varlığı saptanmaya çalışılmıştır. Polimetalik baz metal cevherleşmelerinden ve ilgili olduğu düşünülen kayalardan sistematik olarak kayaç ve cevher numuneleri alınmıştır.

2.2 Laboratuvar Çalışmaları

Çalışma kapsamında uygun örnekler üzerinde polarizan mikroskop (petrografik ve mineralojik), cevher mikroskobisi, sıvı kapanım analizleri ve S duraylı izotop çalışmaları yapılmıştır.

Arazi çalışmaları kapsamında alınan örneklerden Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü bünyesinde, İnce Kesit ve Parlatma Laboratuvarı'nda 26 adet

ince kesit örneği hazırlanmıştır. Hazırlanan ince kesitler Leica DM/LSP polarizasyon mikroskopunda incelenmiş ve petrografik tanımlamalar yapılmıştır. Temsili örneklerin mineralojik bileşimini ve dokusal özelliklerini yansıtmak için bu örneklerden ince kesit fotoğrafları çekilmiştir. Yapılan petrografik çalışmalarda incelenen kesitlerde cevher mineralleri görülen örnekler listelenmiş, 4 adet örnek üzerinde cevher mikroskobisi çalışmaları yürütülmüştür.

Sıvı kapanım çalışmaları kuvars mineralleri üzerinde yapılmış olup oluşum sıcaklıkları ile cevherleşmeyi meydana getiren akışkan(lar)ın karakteristikleri ile ilgili bilgiler elde edilmiştir. Sıvı kapanımı analizleri, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Maden Analizleri ve Teknolojisi Daire Başkanlığı Laboratuvarları'nda yapılmıştır. İlgili laboratuvardaki cihazda meydana gelen arıza sebebi ile analizlerde tuzluluk değerleri ölçülememiştir. Analizler için laboratuvarında Linkam MDSG 600 (motorize) ısıtma ve soğutma tablası, Leica DM 2500 M mikroskoba monte edilmiştir. İncelemeler için 20x ve 50x büyütme objektifler kullanılmıştır. Linkam MDSG 600, tam otomatik ve programlanabilen bir sistemdir. Programlanabilmesi için bilgisayar ortamında Linksys32 isimli yazılım kullanılmaktadır. Linkam tablasının sıcaklık aralıkları -196 °C ile 600 °C arasında değişmektedir. Isıtma ve soğutma hızı 0,1 °C/dk'dan 150 °C/dk'ya kadar çıkmaktadır. Soğutma işlemlerinde ise sıvı azot (N₂) kullanılmaktadır. Cihaz, sentetik saf H₂O ve H₂O-NaCl sıvı kapanım standartları ile kalibre edilmiştir. Bu standartlarla yapılan deneylerde sıvı kapanım jeotermometresi için doğruluk ölçümleri; H₂O homojenleşme sıcaklığı (T_{H₂O}) ± 4,0 °C, H₂O son buz ergime (T_{m_{H₂O}}) ± 0,1 °C ve H₂O-NaCl ötektik sıcaklık (T_e) ± 0,8 °C olarak bulunmuştur.

S izotop analizleri sülfütlü mineraller (galen, kalkozin, kovellin) üzerinde yapılmıştır. İzotop çalışmaları için sahadan alınan örnekler Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği İncekesit Laboratuvarı'nda çekiç yardımıyla tanelere ayrılmıştır. Taneler haline getirilen numuneler üstten aydınlatmalı binoküler mikroskop altında incelenerek cevher taneleri ve kuvars taneleri ayırtlanmıştır. S izotop analizi için seçilen 6 adet sülfür örneği University of Arizona, Environmental Isotope Laboratory (USA)'de analiz edilmiştir. Kükürt izotop analizleri ise sürekli-akışkan gaz oranlı kütle spektrometresi (ThermoQuest Finnigan Delta PlusXL) cihazı üzerinde laboratuvarında ölçülmüştür. 1030

°C 'de yakılan örnekler C ile O₂ ve V₂O₅ kullanılan bir elementsel analiz aleti (Costech), kütle spektrometresi ile eşleştirilmiştir. Standartlar, laboratuvarlar arasında karşılaştırılan diğer birçok sülfid ve sülfat materyalleri ve OGS-1 ve NBS123 gibi uluslararası standartlar temel alınarak yapılmıştır. Kalibrasyon -10‰ ile +30‰ aralığında doğrusaldır. Hassasiyet yaklaşık olarak ± 0,15‰ veya daha iyidir.

2.3 Büro Çalışmaları

Bu kapsamda saha (arazi) çalışması verileri ile laboratuvar çalışması verileri korele edilmiştir. Ofis çalışmaları kapsamında jeoloji haritaları, stratigrafik kesit, şekiller ve grafikler oluşturulmuştur. Elde edilen tüm veriler yorumlanarak kurşun-çinko-bakır cevherleşmelerinin ve konak kayaçlarının mineralojik petrografik özelliklerinin tespiti yapılmıştır.

3. ÖNCEL ÇALIŞMALAR

3.1 Bölgesel Öncel Çalışmalar

Alibey Adası ve çevresine ait jeolojik, tektonik ve maden yatakları çalışmaları mevcuttur. Bölgenin ilk detaylı çalışmasını Aslaner (1965) yapmıştır. Araştırmacı, çalışma alanı ve çevresinde stratigrafik çalışmalar yapmış olup bölgedeki magmatik birimler üzerinde petrolojik çalışmalar gerçekleştirmiştir.

Bürküt (1966), Ege bölgesinin jeolojik ve tektonik oluşum sürecini açıklayarak, Ege adaları ile Kuzeybatı Anadolu'nun jeotektonik evrimini karşılaştırmıştır.

Borsi vd. (1972) tarafından jeokronolojik ve petrolojik veriler ile Batı Anadolu'nun baskın kalkalen volkanizmasının Alt-Orta Miyosen yaşlı, asidik ve bazik volkanizmasının Üst-Miyosen yaşlı olduğunu tespit etmişlerdir. Bölgedeki en önemli volkanizma olan kalkalen seriye ait K₂O içeriğinin yüksek olduğunu saptamışlardır. Bölgede latit-andezitlerden dasit ve riyodasitlere doğru bir geçiş olduğunu ve çöken bir litosfer tabakasına bağlandığını açıklamışlardır.

Benda vd. (1974), Kuzeybatı Anadolu'da yoğun volkanizmayla eş zamanlı çökelen Neojen birimlerinin çökme yaşının 22 My olduğunu tespit etmişlerdir. Ardalanmalı kömür katmanlarının palinolojik incelemesi ile bu bölgede kömür oluşumları ile volkanojenik sedimantasyonun eş zamanlı olduğunu kanıtlamışlardır.

Bingöl vd. (1973), Batı Anadolu'da yaptığı petrografik, jeolojik ve jeofizik çalışmalarıyla Üst Tersiyer'de Yunanistan ve Ege Adaları'nın benzer jenetik evrim ile oluştuğunu saptamışlardır. Ayrıca Kınık formasyonunun, Karakaya formasyonunun eşleniği olabileceğini ortaya koymuşlardır.

Bürküt (1975), bölgedeki granitik plütonlar içerisindeki vanadyum, fosfor, titanyum ve manganez elementlerini karşılaştırarak bölgenin oluşum mekanizmasının magmatik kökenli olduğunu saptamıştır.

Krushensky (1976), Kuzeybatı Anadolu bölgesindeki Kazdağ masifi volkanik ve plütonik birimlerinde yaptığı petrolojik ve jeokronolojik çalışmalar ile ana magmatizmanın, okyanus kabuğu ve ona eşlik eden okyanus çökeltilerinin kısmi ergimesiyle oluştuğunu saptamıştır. Volkanik ve plütonik birimler için yaş tayinleri sırasıyla 23.6, 20.8, 20.3 My volkanik birimler için, 22.9, 23.5, 24.2 My olarak tespit edilmiştir.

Ercan (1979), Batı Anadolu'da gelişen volkanik kayaçların kökenleri üzerinde çalışmalar yapmış, Üst Kretase volkanik kayaçları dört gruba ayırmıştır:

- 1- Üst Kretase'de Karadeniz kıyılarında görülen toleyitik, alkalin ve kalkalkalen volkanizma;
- 2- Girit bölgesinde görülen Kuvaterner yaşlı kalkalkalen adayı volkanizması;
- 3- Orta-Üst Pliyosen yaşlı kalkalkalen volkanizma;
- 4- Orta Miyosen – Üst Kuvaterner yaşlı alkalin volkanizma)

Yazar, bölgede tipik ada yayı mekanizması ile oluşmuş volkanizmanın etkilerinin görüldüğünü öne sürmüştür.

Kaya (1979), Batı Anadolu çöküntüsündeki Neojen birimlerinin stratigrafisini incelemiş ve bu oluşumların KKD gidişli çizgisellik taşıyan bir rift sistemiyle gelişebileceğini öne sürmüştür.

Kaya (1981), Batı Anadolu Miyosen birimlerini yaş ve bileşim farklılıkları nedeniyle dört grupta incelemiştir. Çanakkale ve çevresinde geniş bir yayılım gösteren Mactra kireçtaşları, Miyosen öncesi kayaçların üzerine uyumsuz olarak yerleşmiştir.

Ercan (1981a,b), bölgede yaptığı ayrıntılı petrografik çalışmalar sonucunda volkanizmanın Orta Miyosen'de monzonit sokulumu ile başladığını tespit etmiş ve çalışmalar Tersiyer ve Kuvaterner yaşlı volkanik kayalarda sürdürülmüştür.

Bingöl vd. (1982), Batı Anadolu'daki granitik plütonlarda petrolojik ve jeokronolojik çalışmalar yaparak, Kozak plütonunda 20.3, 24.2, 24.6 ve 37.6 My'lık radyometrik yaşlar elde etmişlerdir.

Ercan (1982), Batı Anadolu ve Ege Adalarını etkileyen alkali ve kalkali karaktere sahip volkanizmanın Senozoyik yaşlı olduğu ve bu volkanizmanın toleyitik nitelikte olduğu tespit edilmiştir.

Akyürek ve Soysal (1983), Biga Yarımadası ve çevresinin jeolojisini detaylı araştırarak jeoloji haritasını güncellemişlerdir. Bölgenin ana birimleri olan ve yeşil şist fasiyesinde oluşmuş metamorfik kayaları (Kınık formasyonunun) tanımlamışlardır.

Ercan vd. (1984), Bodrum volkanizmasının iki evrede oluştuğu ve ilk evrede yüksek potasyum içerikli kalkalen volkanizmanın, ikinci evrede alkalen özellikli volkanizmanın etkili olduğunu belirlemişlerdir.

Okay vd. (1990), Karakaya kompleksi birçok stratigrafik birimi içermekte olup Permo-Triyas yaşta aktif kıta kenarı çökellerini temsil eden değişik tektono-stratigrafik birimlerden oluştuğunu ve bu kompleksin batı sınırının Paleotetis kenedine karşılık geldiğini belirtmişlerdir. Bölgedeki tektonizma dört farklı zonda, KD-GB doğrultulu gerçekleşmiştir. Tektonik zonlar kuzeybatıdan güneydoğuya; Gelibolu, Ezine, Ayvacık-Karabiga ve Sakarya zonlarıdır. Bölgedeki temeli, ileri derecede metamorfizma gösteren Kazdağ masifinin oluşturduğunu ifade etmişlerdir.

Meriç vd. (2009) tarafından Alibey ve Maden Adaları çevresinde yürütülen çalışmalarda bölgedeki bentik foraminiferler araştırılmıştır. Bölgedeki maden

çalışmalarının canlılar üzerindeki etkileri tartışılmış, olası deniz ve çevre kirliliği üzerine analizler yapılmıştır.

Söylemezoğlu vd. (2010), Çanakkale-Çan arasında yaptıkları çalışmada Üst Miyosen dönemine kadarki süreçte gelişmiş olan magmatizmanın, Ege bölgesinin magmatizmasıyla uyumlu olduğunu ve onun bir parçasını temsil ettiğini ortaya koymuş ve bu magmatizmanın kalkalkalen nitelikli, üst mantodan gelişen ve kabukta kirlenen bir magmatizma olduğunu öne sürmüşlerdir.

Koç ve Çevik (2016), yaptıkları çalışmada Balıkesir-Burhaniye-Dutluca volkanitlerinin sülfidik minerallerini incelemiştir. Yapılan mikroskobik ve petrografik incelemeler sonucunda bölgedeki hidrotermal alterasyonun iki aşamada gerçekleştiğini, ilk aşamada volkanitlerin manyetitçe zengin olduklarını ve ikinci aşamada ise ortamda oksijenin arttığını belirtmişlerdir.

Parlak vd. (2016), tarafından yapılan çalışmada Kuşadası ile Alibey ve Maden Adaları çevresinden alınan örneklerin ostrakod içeriği karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada Ostrakodların stratigrafik ve biyolojik dağılımı incelenerek yaşlandırma çalışmaları yapılmış olup yaş bulgularının Eosenden günümüze kadar değiştiği belirlenmiştir.

3.2 Maden Jeolojisi ile İlişkili Öncel Çalışmalar

Çalışma alanının kuzeyinde yer alan Biga Yarımadası, epitermal sistemlere ait ekonomik ortaç ve düşük sülfidasyon tip yataklara ev sahipliği yapmasına karşın, yarımada da çoğunlukla yüksek sülfidasyon tip yataklar gözlenmektedir. Yalnızca birkaç tür yatak, baz metal ve gümüş karakterleri ile ortaç sülfidasyon sistemlerle ilişkilidir. Bölgede bilinen epitermal yataklar çoğunlukla Oligosen volkanik ve subvolkanik kayalar ile ilişkilidir. Bununla birlikte Geç Eosen ve Miyosen volkanik kayalar da bu tür yatakları barındırmaktadır (Yiğit, 2012). Ağdağı ve Kirazlı, yüksek sülfidasyon tip epitermal yatakların en önemli örneklerindedir (Pirajno, 1995). Ağdağı 1,4 Moz ve Kirazlı 0,5 Moz altın rezervlerine sahiptir (Yiğit, 2012). Altın rezervlerinin

geliştirilmesi için her iki yatakta da fizibilite çalışmaları devam etmektedir. Kısacık, yaklaşık 1 Moz altın rezervi ile Biga Yarımadası'ndaki en geniş düşük sülfidasyon tip epitermal yataktır (Kılıç vd., 2004). Küçükdere yatağı da yine bölgedeki düşük sülfidasyon tip yataklara diğer bir örnektir (Çolakoğlu, 2000). Kuru (Bozkaya ve Gökçe, 2009; Çiçek ve Oyman, 2016), Arapuçandere (Örgün vd., 2005; Bozkaya vd., 2008), Tesbihdere (Bozkaya vd., 2014; Çiçek ve Oyman, 2016) ve Şahinli (Yıldırım ve Cengiz, 2004) yatakları da yine bölgedeki ortaç sülfidasyon tip epitermal sistemlerin muhtemel örnekleridir. Bölgenin doğu, batı ve kuzeyinde ise skarn tip cevherleşmeler gözlenmektedir.

Baskın olarak baz metal cevherleşmelerine ev sahipliği yapan skarnlar nadiren de olsa Au-Cu (Asartepe cevherleşmesi) ve W-Mo'ce zengin (Tahtalıdağı) yataklarla da ilişkilidir. Bunların dışındaki skarn tip cevherleşmeler ise önemli miktarda baz metal içermektedir (Yiğit, 2012; Akıska, 2020; Demirela ve Akıska, 2022). Bunlardan en önemlisi tarihi madencilik geçmişine sahip olan Balya cevherleşmesidir (Akyol, 1977; Ağdemir vd., 1994). Bunun dışında da önemli miktarda baz metal içeren Pb-Zn skarn tipi cevherleşmeler; Handeresi (Yücelay, 1976; Çetinkaya vd. 1983; Akıska vd., 2013), Umurlar-Sameteli (Yenigün, 1980; Çetinkaya vd., 1983; Akıska, 2020), Alandere (Yenigün, 1978; Akıska, 2020), Kurttaş-Karadoru (Aysal vd., 2006; Akıska, 2020), Sarıçayır (Akış, 2011; Akıska, 2020), Dağoba (Doyuran, 1970; Akıska, 2020) ve Çataltepe (Demirela, 2011) cevherleşmeleridir.

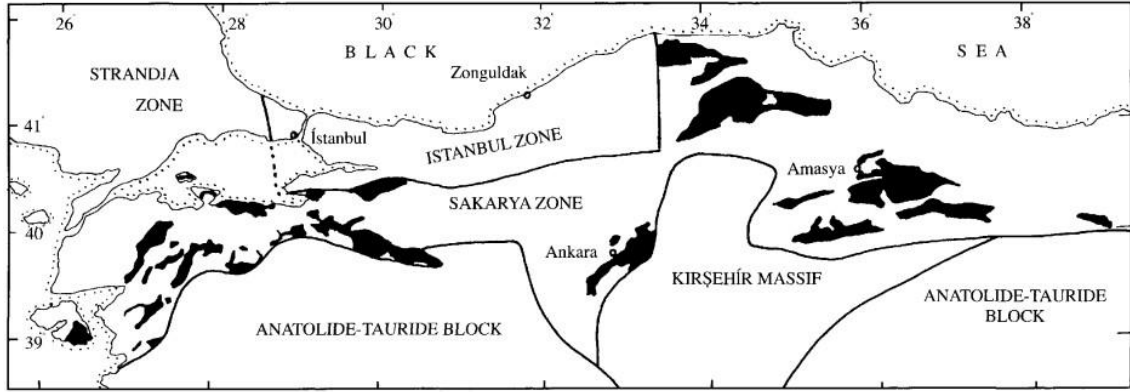
Tez çalışması kapsamında araştırılan Alibey Adası ve çevresinde yapılan öncel çalışmalarda Pb-Zn cevherleşmeleri saptanmıştır (Topkaya, 1961; Dora, 1967; Dora ve Savaşçın, 1982). Ada içerisinde yer alan iki galeri günümüzde işletilmemektedir. Bölgedeki Pb-Zn cevherleşmeleri skarnlaşma? ile oluşmuş ve monzonit damarlarının karbonatlı litolojiler ile dokanağında gelişmiştir. Bölgenin birimlerini granat (grossular, andradit ve melanit), epidot, amfibol, aksinit, sillimanit, kalsit ve vollastonit başlıca skarn minerallerini oluşturmaktadır (Dora ve Savaşçın, 1982). Bunlarla ilişkili olarak tipik polimetalik baz metal cevherleşmeleri de (Pb-Zn-Cu) izlenmektedir (Ercan vd., 1986). Wagner vd. (1985), yaptıkları jeokimyasal çalışmalar ile bölgedeki en önemli cevher minerallerinin pirit, galenit, sfalerit, kalkopirit ve bornit olduğunu, ayrıca ikincil

bakır minerallerinin de bölgede gözlendiğini belirtmişlerdir. Bununla birlikte, adadaki baz metal cevherleşmeleri damar tipi olup andezit ve andezit porfirler içerisinde gelişmiştir. Galenit, sfalerit, pirit ve kalkopirit oluşumları kuvars ve kalsit içeren damarlarda saçınımlı şekilde bulunmaktadır (Wagner vd., 1985; Ercan vd., 1986). Bu iki cevherleşme türüne, Biga Yarımadası baz metal cevherleşmelerinde de tipik olarak rastlanılmaktadır.

Alibey Adası çevresindeki Pb-Zn±Cu yatakları ile cevherleşmelerin kökenine yönelik birçok çalışma bulunmaktadır (örn. Bozkaya ve Gökçe, 2009; Oyman, 2010; Bozkaya,2011; Demirela, 2011; Akıska vd., 2013; Akıska ve Demirela, 2014; Demirela vd., 2014; Akıska, 2020; Demirela ve Akıska, 2022). Bölgedeki cevherleşmelerin kökenine yönelik yapılan bu çalışmalar sonucunda, özellikle Edremit ve çevresinin metalojenisine yönelik ayrıntılı bilgiler sağlanmıştır. Ancak bu çalışmalara Alibey Adası'nda yer alan Pb-Zn cevherleşmeleri dâhil edilmemiştir. Söz konusu adadaki cevherleşmelere yönelik yaklaşık 50-60 sene önce yapılmış birkaç çalışma bulunmaktadır (Topkaya, 1961; Dora, 1967; Dora ve Savaşın, 1982).

4. GENEL JEOLJİ

Türkiye temelde Mesozoyik ve Senozoyik zamanlarında gözlenen okyanus havzalarının yitilmesiyle bir araya gelen birkaç kıta parçasının tektonik bir mozağıdır ve ofiyolitik kenet zonları ile temsil edilir (Okay vd. 1990). Okay ve Tüysüz (1999) yaptıkları araştırmada Türkiye'yi oluşturan kara parçalarını, Anatolid-Torid bloğu, Kırşehir masifi, Arap Platformu, İstiranca Masifi, İstanbul Zonu ve Sakarya Zonu olarak isimlendirmişlerdir (Şekil 4.1). Tez çalışması kapsamında araştırılan bölge Sakarya Zonu'nun batı kesiminde yer alırken, güneyinde Anatolid-Torid bloğu, kuzeyinde ise İstanbul Zonu bulunmaktadır.



Şekil 4.1 Triyas dalma-batma birimlerinin Türkiye'nin kuzeyindeki dağılımı (Okay ve Tüysüz, 1999)

4.1 Batı Anadolu'nun Jeolojisi

Batı Anadolu'nun jeolojisi incelendiğinde, tektonizma, volkanik aktivite ve metamorfizmanın etkili olduğu görülmektedir. Batı Anadolu'nun jeolojik evrimi Paleozoyik dönemden günümüze doğru incelendiğinde beş ana dönemden bahsedilebilir;

4.1.1 Paleozoyik Dönem

Batı Anadolu bu dönemde deniz altında yer almakta olup bu süreçte biriken denizel tortullar daha sonraki zamanlarda gerçekleşen jeotektonik oluşumlara zemin oluşturmuştur. Tetis Okyanusu dönemin en önemli okyanusu olup Gondwana ve Lavrasya levhaları arasında bulunmaktaydı (Zürcher vd., 2015). Batı Anadolu ve çevresinin jeodinamik evrimi Paleozoyik'te Tetis Okyanusu'nun açılması ile başlamıştır. Tetis Okyanusu'nun kapanması ve sonrasında meydana gelen kıta-kıta çarpışmaları günümüzdeki karmaşık tektonizmayı oluşturmuştur (Şengör ve Yılmaz, 1981).

4.1.2 Mezozoyik Dönem

Bu dönemde, Batı Anadoluyu etkileyen en önemli olay Tetis Okyanusu'nun kapanması ve levhaların çarpışmasıdır. Bu olaylar sonucunda Alp-Himalaya Orojenik Kuşağı oluşmuştur. Dönem boyunca metamorfik ve magmatik süreçler etkili olmuştur (Bingöl vd., 1973).

Alt-Triyas döneminde Batı Anadolu derinleşen bir sedimantasyon evresi geçirmiştir (Bingöl, 1975). Üst-Permiyende riftleşme başlamış, Üst-Triyas'a kadar devam etmiştir. Kuzeyde Karakaya, Güneyde İç Torid Okyanuslarının riftleşmesiyle Karakaya Karmaşığı havzası gelişmiştir (Okay ve Göncüoğlu, 2004). Karakaya adı verilen formasyon, radyolarit, metamorfik grovak, silttaşı, spilit, konglomera ve çamurtaşı birimlerinden oluşmaktadır. Bu formasyon Ankara-Eskişehir, Bilecik, Amasya'nın güneyi, Uludağ'ın kuzeyi ve Kazdağ bölgelerinde yüzlek vermektedir (Bingöl, 1968).

Orta-Üst Triyas'da Batı Anadolu'da görülen birimler, Alt-Triyas birimleri üzerine transgresif gelmişlerdir (Okay,1948; Aslaner, 1965). Triyas süresince, farklı jeotektonik süreçlerden geçen havzalarda farklı litolojiler görülmektedir. Karaburun Triyas

birimleri, Menderes Masifi'nin KB'sı ve İstanbul civarı Triyas birimleri farklılık göstermektedir (Brinkmann, 1971; Brinkmann vd., 1972).

Üst Triyas - Alt Jura'da, Üst-Karbonifer - Orta Triyas süresince ayrılan kıtalar çarpışarak Kimmeriyen Orojenezi'ni meydana getirmişlerdir. Bu çarpışmalar sonucunda, Paleotetis okyanusu Orta-Jura'da kapanmış; Gondwana kıtasında gerçekleşen riftleşmeler ile de Güney Neotetis okyanusu oluşmuştur (Özdemir ve Palabıyık, 2020). Menderes Masifi Gondwana kıtasının batı kolunu oluşturmakta olup tabanı metamorfik fasiyesten oluşmaktadır (Bingöl, 1974).

Jura döneminde, Batı Anadolu ve yakın çevresini etkileyen kıtasal çarpışmalar gelişmiştir. Gondwana kıtası, kuzeyinde bulunan Lavrasya kıtası ile çarpışmış ve bu çarpışma sonucunda Pangea kıtası oluşmuştur (Okay ve Tüysüz, 1999; Keppie 2015). Bu dönemde deniz seviyesindeki değişimler tortul birikimini sağlamış, çeşitli sedimentasyon ortamları gelişmiştir (Aslaner, 1965; Aygen, 1956; Bingöl vd., 1973). Üst Jura, Soma ve çevresinde konglomera ve marnlar ile temsil edilir (Brinkmann, 1970). Üst Jura Öncesi Pontidler içinde iki kıtasal katman ayırt edilir. Bunlar kuzeybatıda Istranca Masifi ve batıda İstanbul arazisidir (Okay ve Tüysüz, 1999 , Ustaömer vd., 2011). İstanbul arazisi metamorfizmaya uğramadan kalmıştır. Pontidlerin geri kalanı Sakarya Zonu olarak adlandırılır (Okay ve Tüysüz, 1999).

Üst Jura- Alt Kretase döneminde, Batı Anadolu'da volkanizma, Afrika kıtasının Avrasya kıtasının altına dalmasıyla başlamıştır. Gelişen dalma-batma zonu ile adayı volkanitleri oluşmuştur (Boccaletti, vd., 1974). Üst Kretase'de, Neo-Tetis Okyanusu kapanmaya başlamasıyla, K-G yönünde bir sıkışma gelişmiştir (Okay vd., 1990; Yılmaz vd., 1990; Şengör vd., 2019).

4.1.3 Senozoik Dönem

Batı Anadolu'da Tersiyer dönemi tektonik faaliyetlerin ve çoğunlukla volkanik etkinliklerin yoğun olduğu bir dönemdir. Bölgenin jeolojik yapısını volkanik aktiviteler şekillendirmiştir. Afrika ve Avrasya kıtalarının çarpışmasıyla gelişen yitim zonu sonucunda bölgede volkanik kuşaklar oluşmuştur. Ege bölgesinde oluşan volkanik dağ kuşakları ile bölgede çeşitli volkanik aktiviteler gelişmiştir (Ercan vd., 1986).

Batı Anadolu'da etkin olan volkanizma Tersiyer'de Eosen ile başlamış ve devam etmiştir. Akyürek ve Soysal (1982)'de yaptıkları çalışmada kısıtlı jeokimyasal veriler sebebiyle bölgenin bazaltik bir volkanizma etkisinde olduğunu ileri sürmüş, daha sonra Ercan vd. (1985)'in bölgede yaptıkları daha detaylı jeokimyasal incelemeler sonucunda bölgenin kalkalen karakterli andezitlerden oluştuğu görülmüştür. Batı Anadolu volkanikleri üzerinde yaptıkları çalışmalar sonucunda, bölgedeki volkanikleri dört grupta incelemişlerdir;

- 1- Üst Kretase: adayı volkanizması- toleyitik, alkalen, kalkalkalen volkanizma
- 2- Orta Eosen / Orta-Üst Pliyosen: kalkalkalen volkanizma
- 3- Orta Miyosen / Üst Kuvaterner: alkalen volkanizma
- 4- Kuvaterner: adayı-kalkalkalen volkanizması

Ayvalık ve yakın çevresinde görülen volkanizmanın karakteri kalkalkalen volkanizma niteliği taşımaktadır (Ercan vd., 1985).

Afrika kıtasının Avrasya yani Batı Anadolu-Ege kıtasının altına dalmasıyla gelişen adayı volkanizması günümüze kadar devam etmiştir. Adayı volkanik kuşağı Girit Adası'ndan başlayarak Ege Denizi boyunca devam etmektedir. Batı Anadolu adayı volkanizması kuzeyde bir iç yay ve güneyde bir dış yay ile temsil edilir. Bu iki adayı kuşağında da riolit-dasit-andezit-bazalt birimleri yüzlek vermektedir (Ringwood, 1969;

Ercan, 1979). Güneyde Girit Adası'ndan geçen dalma-batma zonu incelendiğinde batıda İtalya'nın güneyinden, Sicilya Adasının kuzeyine doğru döndüğü ve bu bölgede Aeoman Adalarını oluşturduğu bilinmektedir (Ercan, 1979).

Bölgede bilinen en genç volkanik oluşum Kula volkanitleridir (Ercan, 1979). Ayvalık ve yakın çevresi volkanizması incelendiğinde, volkanizmanın Eosen ortalarında başladığı ve Üst Miyosen'de bölgede etkili olduğu görülmektedir. Kalkalkalen özellikteki volkanizmanın ürünleri; andezit, tuf, dasit, riyolitik lav, riyodasit ve ignimbiritik birimlerdir (Bingöl vd.,1973). Miyosen ve sonrasında bölgedeki tektonik ve volkanik süreçler ile Ege Adaları oluşmuş ve büyük fay kırıkları gelişmiştir. Üst Miyosen döneminde alkali-bazaltik, Kuvaterner döneminde ise kalkalkalen andezit, dasit ve riyolitik lavlar gelişmiştir (Borsi vd., 1972).

4.2 Bölgesel Stratigrafi

Çalışma alanı Biga Yarımadası'nın batısında, Menderes Masifi'nin kuzeyinde yer almaktadır. Biga Yarımadası, Balkanlar'daki Serbo-Makedonya-Rodop metalojeni kuşağının bir parçasıdır ve bu kuşağın Ege bölgesinin kuzeydoğusundan doğuya doğru devamıdır (Richards, 2015). Batı Anadolu bölgesi Mesozoyik'te Alt Triyas ile gelişmeye başlayıp Kuvaterner'e kadar çeşitli sedimantasyon, magmatizma ve metamorfizma süreçleri geçirmiştir. Çalışma alanı Ayvalık ve civarında ayırt edilebilen birimler volkanik aktivite ürünleridir. Ayvalık yakın çevresinde gelişen fakat çalışma alanı sınırları içerisinde yer almayan formasyonlar ayrı bir başlık altında verilmemiş olup, Alibey Adası'nda yüzlek veren formasyonlar ayrı başlıklar altında verilmiştir. Bu bölgeye ait jeolojik harita Şekil 4.2 'de, harita baz alınarak oluşturulan kolon kesit Şekil 4.3'de sunulmuştur.

Çalışma alanı ve çevresindeki birimler incelendiğinde en altta Akyürek ve Soysal (1983) tarafından tanımlanan Halılağa Grubu (Çavdartepe ve Kınık formasyonu) bulunmaktadır. Alt Triyas yaşlı Kınık formasyonu, ilksel kırıntılı kayaların yeşilist fasiyesinde metamorfizmasıyla oluşmuş metamorfik kayalardır. Çavdartepe formasyonu ile geçişlidir ve Halılağa mahallesinin kuzeyinde yüzlek vermektedir. Bu

birimin Biga Yarımadası'ndaki Karakaya formasyonunun, eşleniği olduğu düşünülmektedir (Bingöl vd., 1973).

Kınık formasyonuna ait metamorfiklerin üzerine, yer yer granodiyorit, çoğunlukla monzogranit ve monzogranodiyorit bileşimde olan (Bingöl vd., 1982) Kozak plütonu gelmektedir. Plüton, Kınık formasyonunu, metamorfizmaya (kontakt) uğratmış ve karbonatlı birimlerle olan dokanaklarında skarn zonları oluşturmuştur. Bürküt (1966)'da zirkon üzerinde yaptığı araştırmalar ile Kozak plütonuna Oligo-Miyosen yaşını vermiştir (24–14,6 My). Bölgedeki araştırmalara Ataman (1975), Bingöl vd. (1975), Krushensky (1976), Bingöl vd., (1982), Delaloye ve Bingöl (2000), Boztuğ vd. (2009) devam etmiştir.

4.2.1 Alibey volkanitleri

Bölgede Senozoyik volkanizmasının ilk örneği Alibey volkanitleridir. Dora ve Savaşın (1982) tarafından tanımlanan bu birim, trakiandezit, trakilatit, tuf, latit, bazalt birimlerinden oluşmaktadır. Alibey Adası'nın güneyinde ve Maden Adası'nda yüzlek vermektedir. Maden Adasında çinko-kurşun-bakır cevherleşmesi, siyah lavlar içindeki kırıklara yerleşmiştir (Ercan vd., 1986). Ercan vd. (1985)'te yaptıkları jeokimyasal çalışmalar ile bölgedeki birimlere “yalancı bazaltlar” adını vermiştir. Aynı çalışmada yapılan K/Ar radyometrik yaş analizleri ile Alibey volkanitleri, $31,4 \pm 0,4$ My (Üst Oligosen) olarak yaşlandırılmıştır.

4.2.2 Hallaçlar formasyonu

Ayvalık ve çevresinde gelişen ikinci volkanik aktiviteye Krushensky (1976) “Hallaçlar Formasyonu” adını vermiştir. Ayvalık merkezinde ve özellikle Artur trustik kentinde yüzlek vermektedir. Hallaçlar formasyonu ürünleri andezit, dasit, riyodasitik lav, tuf ve silisleşmiş tüften oluşmaktadır (Krushensky, 1976). Araştırmacı formasyona, bölgedeki lavlardan aldığı biyotit minerali üzerinde yaptığı K/Ar radyometrik yaşlandırma yöntemi ile ($23,6 \pm 0,6$ My) Oligosen-Alt Miyosen yaşını vermiştir.

4.2.3 Dedetepe formasyonu

Bölgede Hallaçlar formasyonu üzerine uyumsuz bir dokanakla üçüncü bir volkanik aktivite gerçekleşmiştir. Dedetepe formasyonu (Krushensky, 1976) olarak isimlendirilen bu birim, Hallaçlar formasyonundan daha asidik karakterdedir. Bölgede volkanik aktiviteye ait tuf ve lav akıntıları bulunmakla birlikte tipik ürünlerini dasit, riyodasit, riyolit türde lav ve tüfler oluşturmaktadır (Ercan vd., 1984). Dedetepe tüflerinde, biyotit minerallerinde yapılan radyometrik yaş ile $19,5\pm 0,4$ ve $19,8\pm 0,3$ My yaş verilerine ulaşılmıştır (Benda vd., 1974). Arazideki stratigrafik ilişkilere ve K/Ar yöntemi radyometrik yaş verilerine dayanarak Dedetepe formasyonunun yaşı, biyotitlerde $20,3\pm 0,3$ My, hornblendlerde ise $20,8\pm 0,7$ My olarak (Alt Miyosen) tespit edilmiştir (Krushensky, 1976).

4.2.4 Yuntdağ volkanitleri

Bölgedeki dördüncü volkanik etkinlik Yuntdağ volkanitleri olarak tanımlanmıştır (Akyürek ve Soysal, 1983). Alibey Adası ve çevresinde yüzlek vermektedir. Aglomera, lahar, silisleşmiş tuf, tuf ve lavlardan oluşmakta olup yer yer akma yapıları görülmüştür. İnceleme alanı dışında, Bergama bölgesinde dom yapıları şeklinde yüzlek vermektedir. Aglomeralar dasit-andezit çakıllarından oluşmakta olup çimontosu tüftür. Çakıl ve konglomeralar, orta-iri taneli, köşeli, andezit bileşimli laharları oluşturmaktadır. Silisleşmiş tüfler yer yer tamamen silise dönüşmüştür. Lavlar dasit, riyodasit, latit ve andezit bileşimlidir (Ercan vd., 1986). Bu evre 16,7-18,5 My arasında (K/Ar yöntemi; Borsi vd., 1972) ile 18,1-18,2 My (Orta-Üst Miyosen) (Benda vd., 1974) olarak yaşlandırılmış ve çökeli Pliyosen'e kadar değişik evrelerde devam etmiştir.

Yuntdağ çakılları, Ballica formasyonu içerisinde görülmüş olup Ballica formasyonunun oluşumundan önce oluşmaya başlamıştır. Soma formasyonunun altında veya üstünde, yer yer de lav akıntıları halinde bulunan Yuntdağ volkanitleri, Soma formasyonu ile eş zamanlı olarak çökelmiştir (Akyürek ve Soysal, 1981).

4.2.5 Ballica formasyonu

Bölgede Alibey, Hallaçlar, Dedetepe ve Yuntdağ volkanizmaları ile eş zamanlı olarak karasal konglomera ve kumtaşı birimleri çökelmiştir. Kınık formasyonu (Alt Triyas) ve Yuntdağ volkanitleri (Orta-Üst Miyosen) üzerine uyumsuz olarak çökelmiştir. Çalışma alanında Yuntdağ volkanitleri ile Ballica formasyonu birimleri genellikle ardalanmalı ve birbirlerini üstler durumda izlenmektedir. Belirgin bir tabakalanmaya sahip değildir. Ballica formasyonu ürünlerini genellikle alüvyon yelpaze çökelleri oluşturmaktadır. Bunlar irili ufaklı, kötü boylanmalı konglomera ve kumtaşı birimleridir. Konglomera ve kumtaşlarının içerdikleri çakıllar genellikle kireçtaşı, volkanik ve granodiyoritik türdedir (Ercan vd., 1986). Ballica formasyonu adı verilen (Akyürek ve Soysal ,1983) litolojiler, üzerinde yer alan Soma formasyonuna ait fosil içeriklerine dayanılarak Alt-Orta Miyosen olarak yaşlandırılmıştır (Ercan vd., 1986).

4.2.6 Soma formasyonu

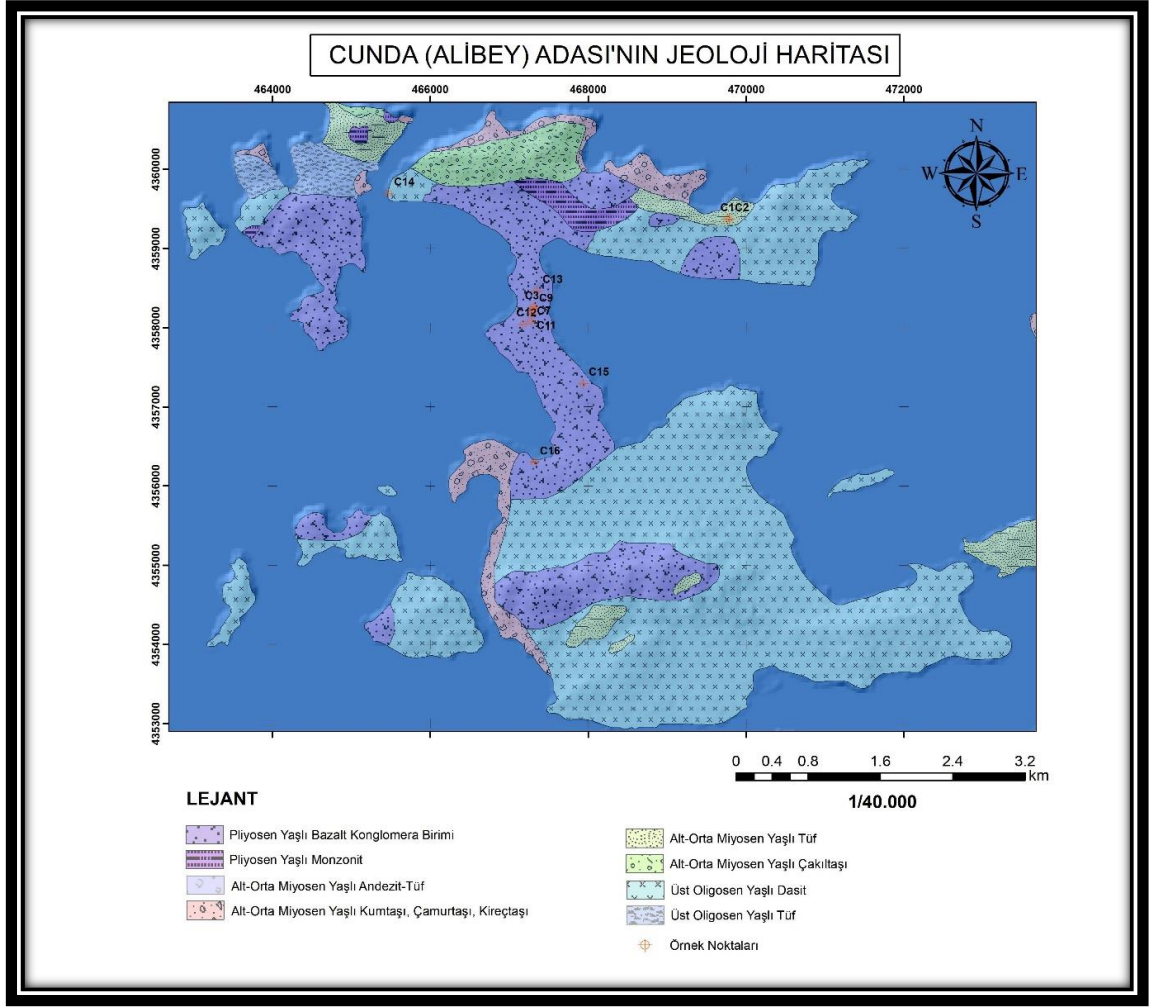
Ballica formasyonu, Alibey adasında dereceli olarak kireçtaşı-marn-kiltaşı-kumtaşı-konglomera-tüfit ardalanmalı Soma formasyonuna (Akyürek ve Soysal, 1983) geçiş gösterir. Soma formasyonu, genellikle yatay veya yataya yakın tabakalanmalar sunmakta olup yoğun şekilde kıvrımlanmışlar ve kırıklanmışlardır. Bazı seviyelerde bitümlü şeyl ve kömür düzeylerine de rastlanan istifte özellikle Alibey Adası'nda eskiden işletilmiş kömür yatakları bulunmaktadır. İçerdikleri spor, polen, ostrakod, gastropod, dal, yaprak ve kemik fosillerine ve arazideki stratigrafik ilişkilere dayanarak Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşı önerilmiştir (Brinkmann vd., 1971; Nebert, 1978; Akyürek ve Soysal, 1983; Ercan vd., 1986). Elde edilen fosillerin tatlı su ortamını temsil etmesi ve içerdikleri bitümlü şeyl ve kömür seviyeleri sebebiyle de Soma formasyonunun gölsel ortamda çökeldiği belirlenmiştir (Ercan vd., 1986).

4.2.7 Dededağ volkanitleri

Çalışma alanı ve çevresinde gelişen beşinci volkanik aktivite lav akıntılarıdır. Birimler Akyürek ve Soysal (1978) tarafından 'Dededağ Bazaltı' olarak isimlendirilmiş sonrasında Ercan vd.(1985) yaptıkları çalışmada birimlerin 'yalancı bazalt' olduğunu tespit ederek 'Dededağ Volkanitleri' adını vermiştir. Tüm birimleri kesmeleri ve bölgenin en genç birimi olmalarıyla tanımlanırlar. Alibey Adası'nda monzonit daykı şeklinde görülmektedir. Bölgedeki en genç birim olması dolayısıyla yapılan çalışmalarda Pliyosen yaşı verilmiştir (Ercan vd., 1985).

4.2.8 Alüvyonlar

Alüvyonlar bölgenin güncel çökellerini oluşturmaktadır. Alüvyonlar ve yamaç molozları Batı Anadolu'da genellikle Bakırçay vadisi bölgesinde çoğunluktadır ve tuturulmamış malzemedен oluşmaktadır (Akyürek ve Soysal, 1983)

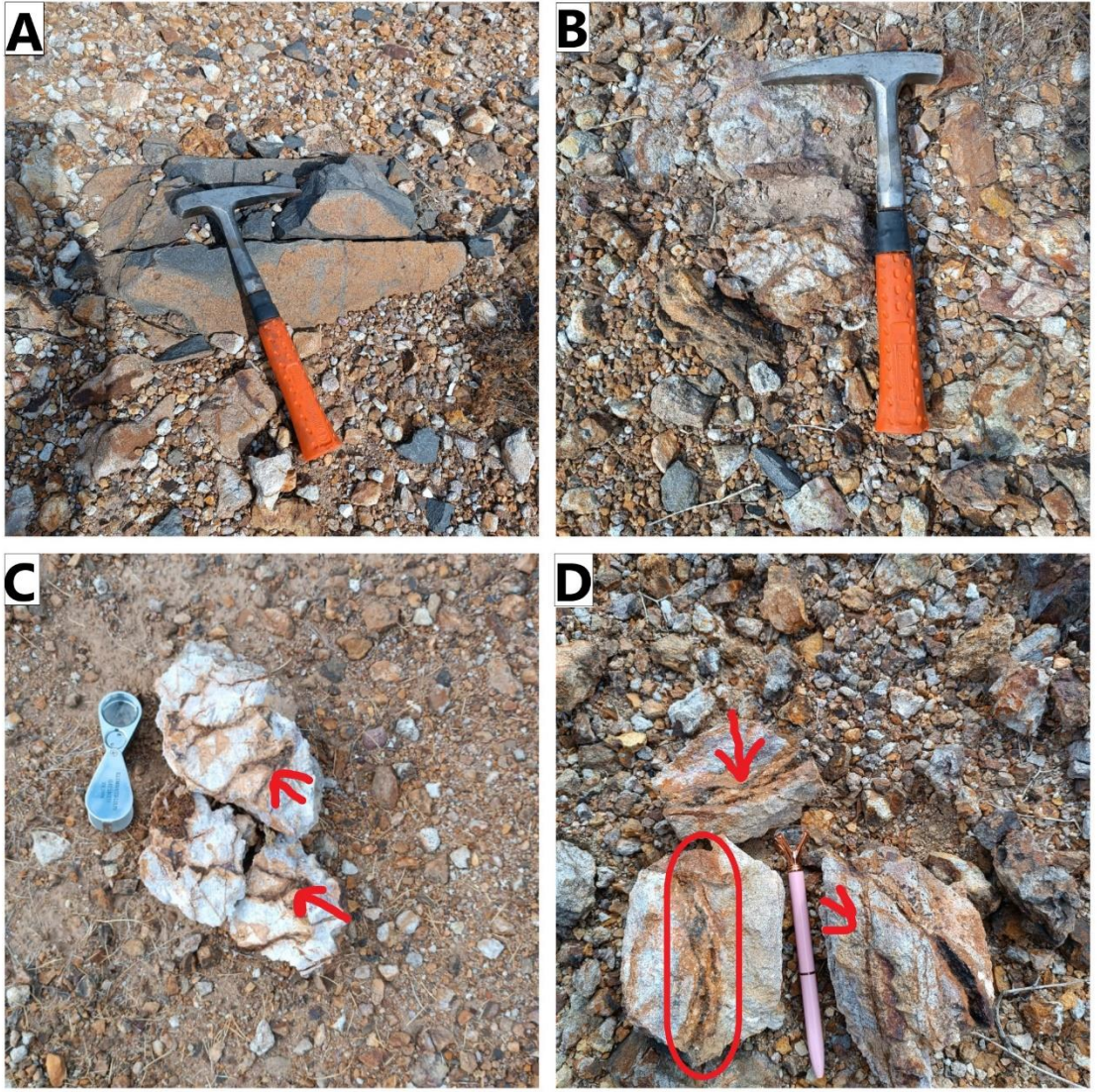


Şekil 4.2 Kuzeybatı Anadolu'nun Jeoloji Haritası (MTA, 1989)

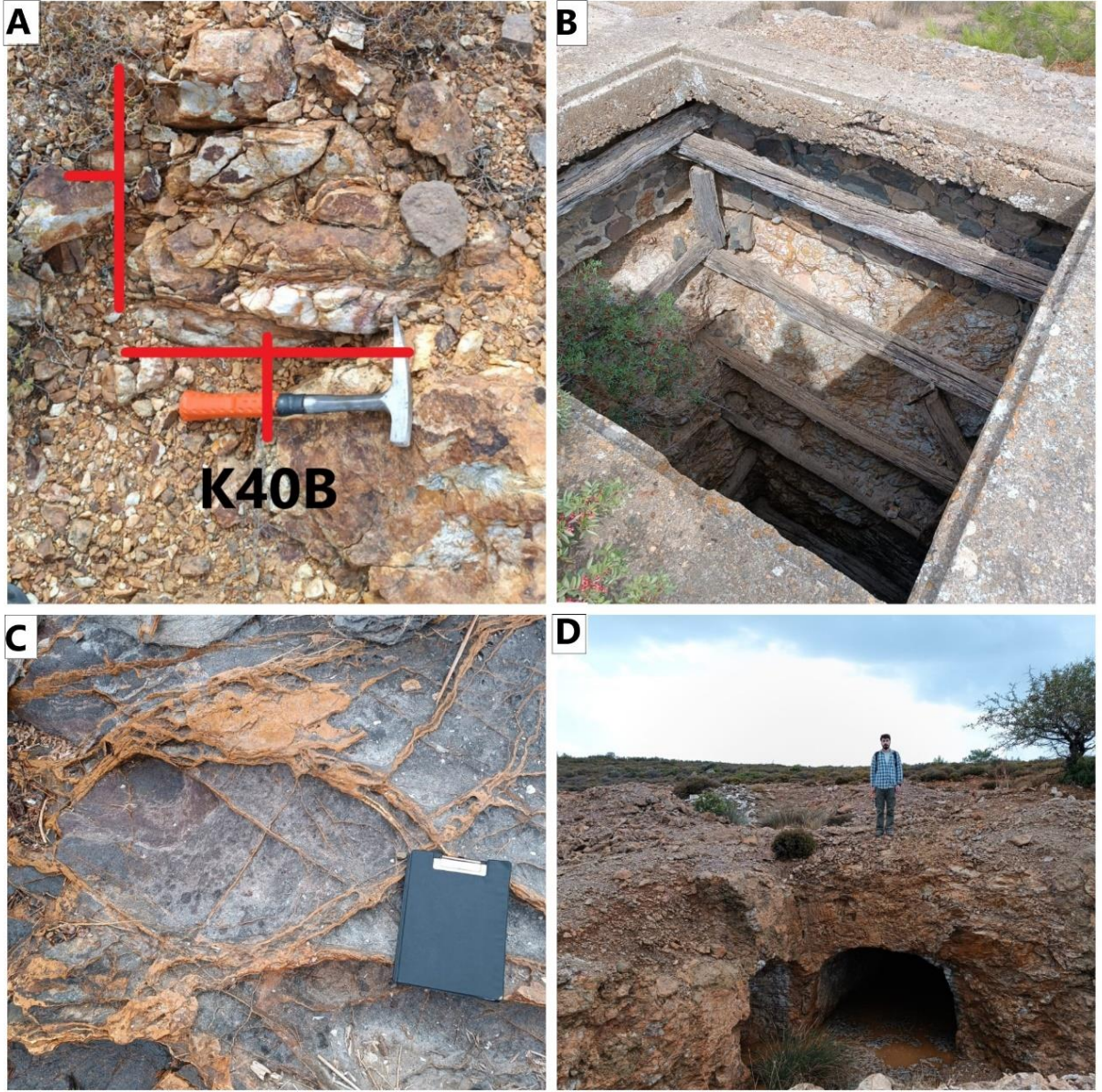
5. MADEN JEOLJİSİ

Bölge genel olarak volkanik kayalardan oluşmaktadır. Örnek alım koordinatları bölgenin daha önce MTA tarafından oluşturulmuş jeoloji haritası üzerine işaretlendiğinde, Soma formasyonu, Hallaçlar formasyonu ve Ballica formasyonuna ait birimlerden örnekleme yapıldığı görülmektedir.

Tamamen volkanik bir arazi içerisinde yapılan araştırmalarda cevher damarına dair bir iz aranmıştır. Bölgede cevher damarına ait bir yüzlek bulunamamıştır. Bol miktarda volkanik çakıla rastlanmıştır. Mostra bulunamaması, bölgedeki cevher yöneliminin tespit edilememesine sebep olmuştur. Çalışmalar ağırlıkla yan kayaların mostralarında sürdürülmüş ve laboratuvar çalışmaları için örnekler alınmıştır (Şekil 5.1). El örneklerinde gözlemlenen cevherleşmeler genel olarak altere volkanik yan kayaç içerisinde gelişmiş damarcık şekilli cevher varlığı şeklindedir (Şekil 5.2).



Şekil 5.1 Pasa sahasından alınan örnekler (A) Pasa sahası içerisinde mostra vermiş yan kayada gözlemlenen cevherli örnek; (B) Pasa sahası içerisinde gözlemlenen cevher varlığı (Dentritik Mangan, koyu kahve (Camsı parlaklık veren) saçınımlı galenitler; (C) Altere olmuş volkanik yan kayada içerisindeki demir boyamaları; (D) Altere olmuş volkanik içerisindeki cevherli damarlar (kırmızı ile işaretli alan ve oklar demir boyamalarını göstermektedir)



Şekil 5.2 Sahadan alınan yan kayaç örnekleri. (A) Pasa Sahası içerisinde gözlemlenen andezit mostrası içerisinde K40B faylanma gözlenmekte ve diğer fayları dik kesmekte; (B) Maden galerileri için açılmış kuyu; (C) Alibey Adası-Yalancı boğaz bölgesinde görülen ağsal damarlı yan kayaç; (D) Kilise'nin yakınında bulunan iki galeri ve galerinin çevresinden alınan örnekler

Pasa sahası ve çevresinde yapılan araştırmalarda 3x3 m derinliğindeki kuyu ve arazinin kuzeybatısında galeri girişi gözlenmiştir (Şekil 5.1-5.2). Pasa sahasından alınan örneklerden tespit edilebilen cevherler genel olarak galen, pirit, kalkozin-kovellin ve limonitler şeklinde dir. Galeri ağzında ise bunlarla ilişkili ikincil bakır sıvamaları bulunmaktadır.

Bölgede iki farklı lokasyonda yüzlek veren iki büyük mostrada ağsal damarlar (stokwörk yapıları) çok belirgin bir şekilde tanımlanmıştır (Şekil 5.3). Birbiri ile bağlantılı ince yer yer kalınlaşan damarcık ağları var olup boyutları cm lerden birkaç metreye kadar değişmektedir. Tepe ve yamaçlarda yaklaşık 1m'ye kadar değişen boyutlarda yoğun silisli volkanik bloklar görölmüştür. Bunların cevherli olduğu düşünölmektedir. Yan kayadaki alterasyonlar hidrotermal damarların oluşum sıcaklıklarına göre değişiklik göstermektedir. Cevherli örneklerde silisleşmeler daha yoğun bir şekilde görölmektedir. Pasa sahası içerisinde çok altere andezite ait küçük bir mostra üzerinde fay kırıkları tespit edilmiş olup bunların yönelimleri K40B ve buna dik şekildedir (Şekil 5.2).

6. MİNERALOJİ - PETROGRAFİ

Çalışma alanında volkanik birimlerden (andezitik ve dasitik yan kayaç) toplamda 23 örnek alınmış 26 adet ince kesit yapılarak polarizan mikroskop altında incelemeler yapılmıştır. Çalışılan bölge jeolojik ve litolojik açıdan birbirine benzerlik göstermesi nedeniyle mineralojik-petrografik incelemeler tek başlık altında anlatılacaktır. Örneklerde andezit ve dasit olmak üzere iki kayaç türü tespit edilmiştir.

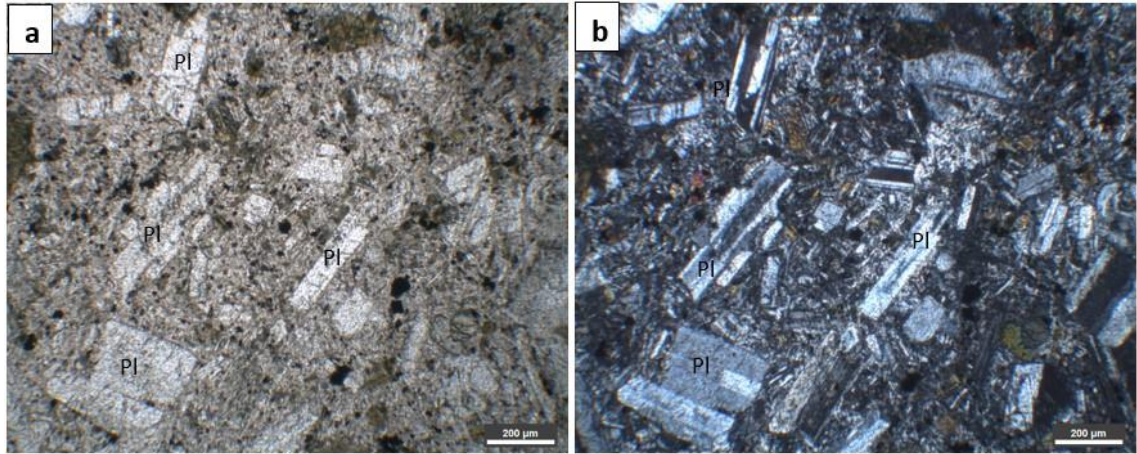
6.1 Andezit

Çalışma alanında tespit edilen andezitler ortaç bileşimlidir. El örneklerinde yapılan incelemelerde, andezitler açık renkli minerallerden plajiyoklaz içermektedir ve koyu renkli mineral oranları yaklaşık %40'tan düşüktür. Bölgedeki andezitlerde açık renkli mineral içeriği oldukça az olup genellikle koyu renklidirler. Yine el örneklerinde yapılan incelemelerde kahverengi morumsu veya kırmızımsı renkler görünürken kloritleşmeye bağlı olarak bozunmuş mineraller yeşilimsi renkler göstermektedir.

İnce kesit üzerinde yapılan çalışmalarda andezitler hipokristalen doku göstermekte olup hamur malzemesini volkan camı oluşturmaktadır. Genellikle altere olmuş şekilde gözlenen andezitlerde kuvars, ortoklas, plajiyoklaz, biyotit ve hornblendler gözlenmektedir. Kayaç içinde görülen opak minerallerin manyetit olduğu düşünülmektedir. Tali mineral olarak klorit mineralleri de bol miktarda bulunmaktadır.

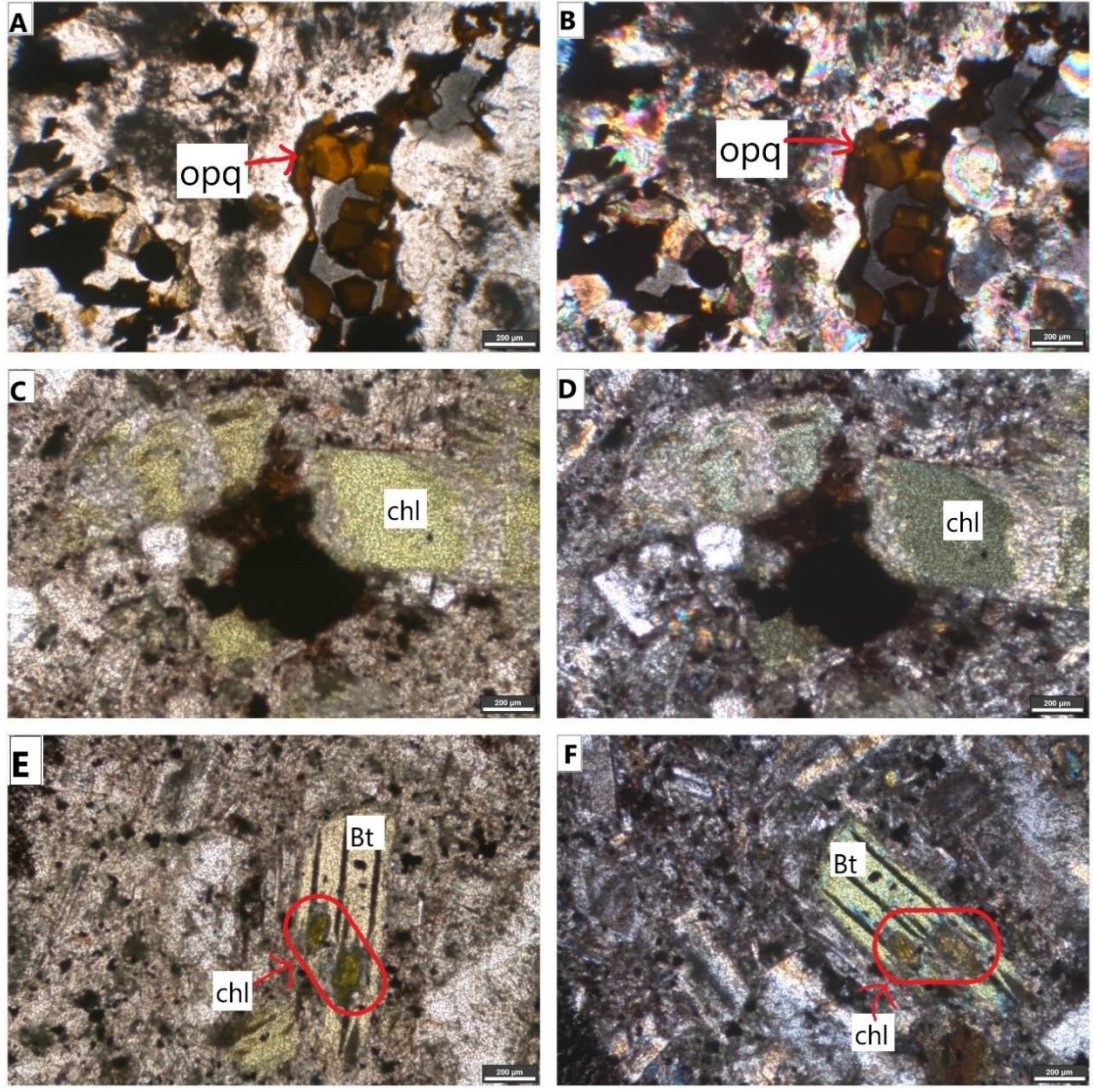
Kuvarslar renksiz, yer yer nadiren ince genellikle orta-iri taneli, yarı özşekilli ve özşekillidirler. Tipik dalgalı sönme göstermektedirler. Kuvars kristalleri düzensiz eğriler şeklinde çatlaklar içermektedir. Bazı kesitlerde ikincil kuvars ve karbonatlar kırık-çatlakların içinde dolgu şeklinde görülmektedir.

Kayaçın temel bileşeni olan plajiyoklaz mineralleri ince kesitte renksiz, çoğunlukla iri taneli, özşekilli ve yer yer yarı özşekilli fenokristaller olarak tespit edilmiştir (Şekil 6.1). Genellikle yassı prizmatik şekilde görülmekte olan plajiyoklazların bozunmaya uğrayan tanelerinde çoğunlukla killeşmeler gözlenmektedir. Bununla birlikte hidrotermal etkilerle veya atmosferik koşulların etkisi ile yer yer serizitleşmeler de gözlenmektedir. Plajiyoklaz kristalleri tipik seriate dokusu göstermektedirler. Bozunmaya uğramış kristal kenarlarında ve iri taneli plajiyoklazların içerisinde kırıklar gözlenmiştir. En ayırt edici özellikleri ikinci nikolde gözlenen ikizlenmeleridir. Belirgin polisentetik ikizlenmesi göstermektedirler. Alkali feldispatlar ince-orta taneli ve yarı özşekilli-özşekilsizdirler. Kesitlerde çok nadir olarak gözlenmektedirler.

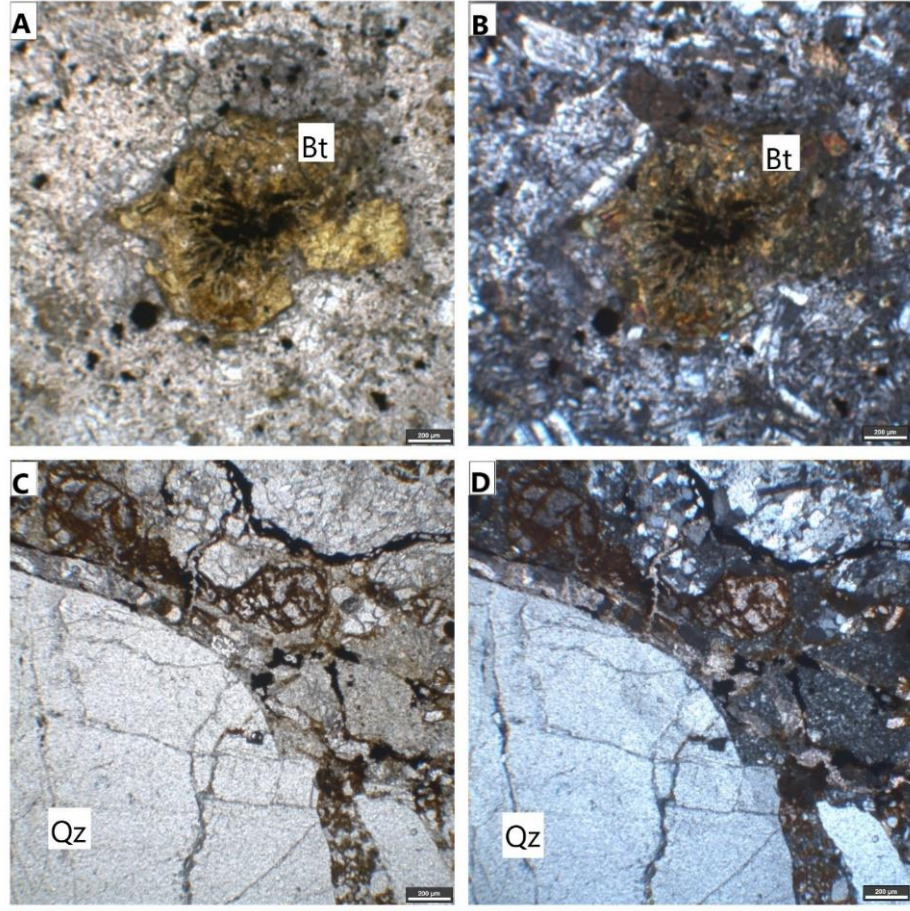


Şekil 6.1 Kayaç içindeki plajiyoklazların tek nikol (a) ve çift nikol (b) görünümü (Pl: plajiyoklaz) (Örnek no: C11)

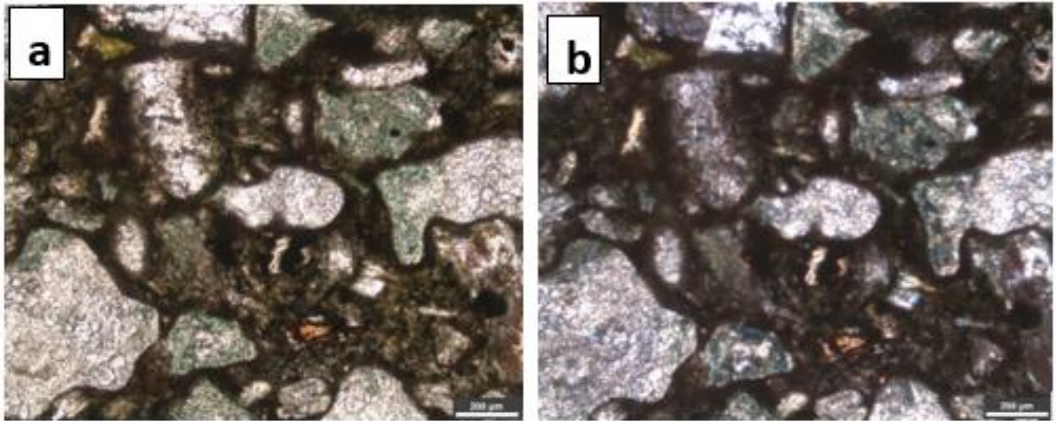
Amfiboller hipidiyomorf olup genellikle orta tanelidir. İnce kesitlerde sarımsı yeşil, kahvemsı renklidirler. Hornblend türünde gözlenen amfiboller oldukça alteredirler. Hornblendlerin kenar ve/veya kırık-çatlakları boyunca yer yer kloritleşmeler ve opaklaşmalar gözlenmektedir (Şekil 6.2). Klorit mineralleri kayaç içinde piroksen ve amfibollerin bozunmasıyla oluşmuştur (Şekil 6.3). Kayaç içinde kloritleşmeler oldukça yaygındır (Şekil 6.4). Yüzeyleri iyi gelişmiş ve levhamsı şekillerde gözlenmektedirler.



Şekil 6.2 a) Mafik mineraller ve opaklaşmalar (tek nikol), b) (çift nikol) (Örnek no: C4-1), c) Klorit minerali (tek nikol), d) (çift nikol) (Örnek no: C2), e) Kırıklı çatlaklı biyotit içine klorit (tek nikol), f) (çift nikol) (Örnek No: C9), (opq: opak mineral, chl: klorit, Bt: biyotit)



Şekil 6.3 a) Andezit içerisinde gözlenen altere biyotit minerali (tek nikol), b) (çift nikol) (Örnek no: C13), c) Andezit içindeki iri kuvars (tek nikol), b) (çift nikol) (Örnek no: C9) (Bt: klorit, Qu: kuvars)

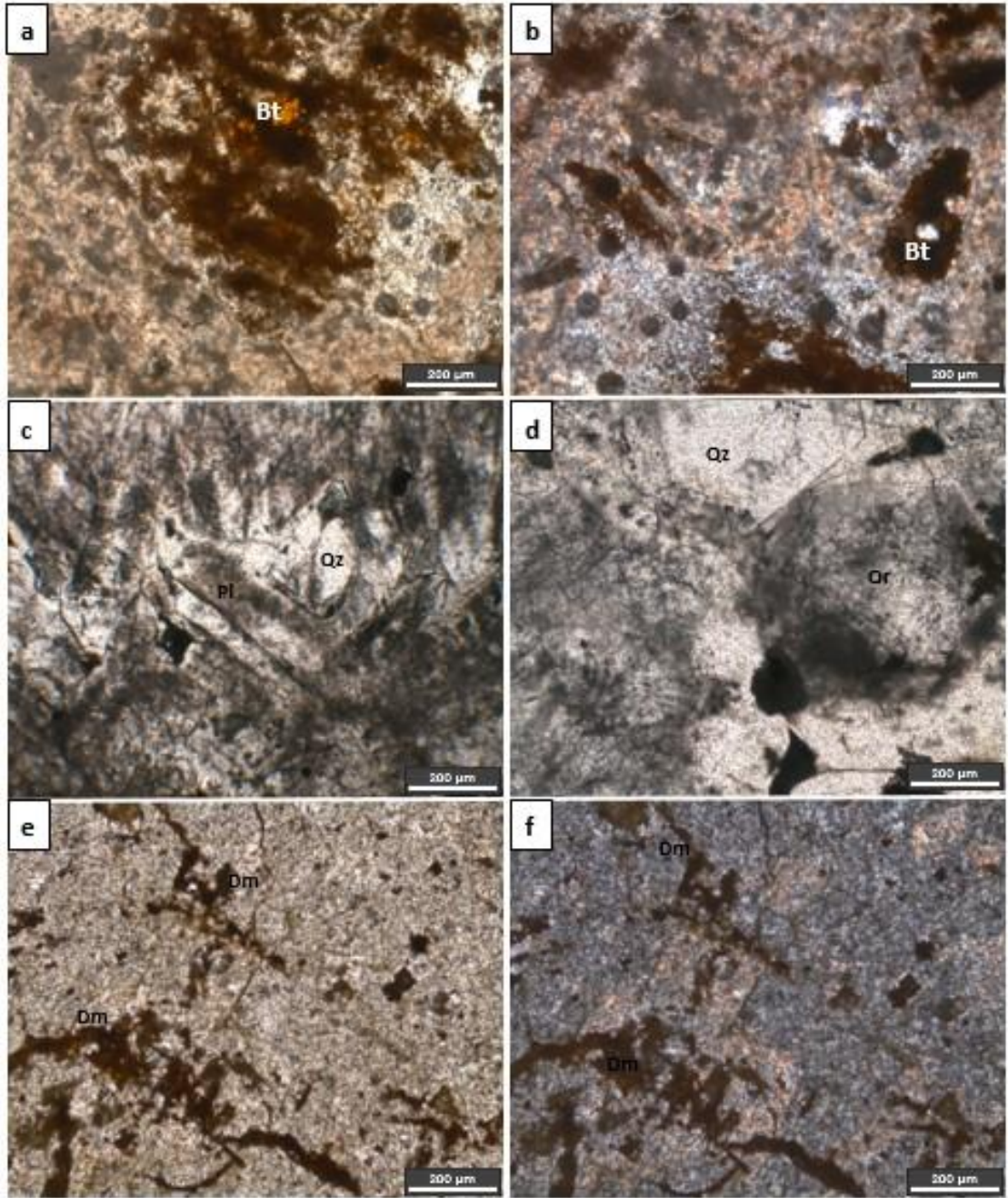


Şekil 6. 4 Andezitlerde gözlenen kloritleşmelerin tek nikol (a) ve çift nikol (b) görüntüleri (Örnek no: C2)

6.1.1 Altere andezitler

Kayaçların birçoğunda görülen farklı bozunma türleri sonucunda yoğun alterasyonlar tespit edilmiştir. Kayaçlar tamamen killeşmiş, karbonatlaşmış, serizitleşmiş ve silisleşmiştir. Andezit içinde beyaz renkli feldispatlar serizitleşmiş, mafik mineraller ise opaklaşmış ve kloritleşmiştir. Serizitler kayacın ilksel feldispat minerallerinin bozunmasıyla oluşmuş olup bu feldispatlar daha sonraki muhtemel hidrotermal etkilerle karbonatlaşmaya uğramışlardır. Kayaçlar bol kırık ve çatlaklıdır. Çatlaklarında gözlenen demir oksitler süperjen etkilerle oluşmuş olup oldukça yaygındırlar (Şekil 6.5).

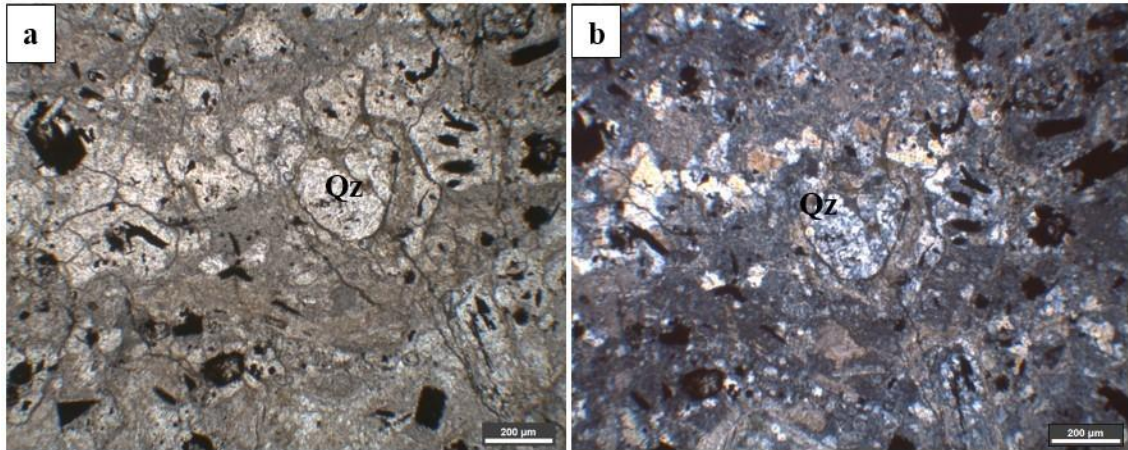
Altere kayaçlar içinde iri taneli kuvars mineralleri ayırt edilebilmektedir. Fakat kuvars dışında ilksel durumunu koruyan hiçbir mineral tespit edilememiştir. Kayaçlarda genellikle orta- iri taneli cevher mineralleri gözlenmekte olup bazı kayaçlarda kuvars damarcıkları tespit edilmiştir (Şekil 6.5).



Şekil 6.5 a) Mikrokristalin hamur içinde kloritleşme ve serisitleşmeye maruz kalmış biyotitler (tek nikol) (Örnek no: C3), b) Biyotit mineralleri (çift nikol) (Örnek no: C3), c) Altere olmuş kayaç içindeki bozunmuş plajiyoklazlar ve kuvarslar (tek nikol), d) Kayaç içindeki ikincil hidrotermal kuvars ve ortoklaz (tek nikol) (Örnek no: C4/1), e-f) yoğun killeşme ve serizitleşme gösteren ileri derecede altere kayaç içerisinde gözlenen demiroksitli mikrodamarlar (tek nikol-çift nikol) (Bt: biyotit, Qz: kuvars, Qr: ortoklaz, Dm: demiroksit, Pl: plajiyoklaz)

6.2 Dasit

El örneklerinde genellikle grimsi pembe, yeşilimsi renkler gösteren porfirik dokulu kayalardır. Ancak alterasyona uğramış kısımları sarıdan kahverengiye değişen renk tonları göstermektedir. Tipik porfirik doku göstermektedirler. Fenokristalleri çoğunlukla öz şekilli - yarı öz şekillidir. Fenokristallerin kuvars ve feldispatlardan oluştuğu ve çok ince taneli bir hamur içinde buldukları görülmektedir (Şekil 6.6). Kayacın büyük çoğunluğunda hamur kristalitlerden oluşmaktadır. Feldispatlara göre % 0-35 arasında değişen miktarda alkali feldispat içeriğine sahiptir. Kayaç hamuru içinde plajiyoklaz fenokristalleri bol miktarda görülmektedir. Orta-iri tanelidirler kesitte yaklaşık 200-400 mikron boyutlarında görülmüştür. Kayaç genelinde yarı özşekilli- özşekilsizdirler. Polisentetik ikizlenme göstermektedirler. Yer yer zonlu doku görülmektedir. Genellikle serizitleşme gösteren plajiyoklazlar kayaç içinde kuvars ile birlikte bulunmaktadır. Kayaç içerisinde alkali feldispatlardan ortoklaz bulunmaktadır. Fakat kayaç yoğun alterasyona uğradığından belirgin bir durumda değildir. Kuvars tanelerinde olduğu gibi kemirilmiş bir görünüme sahiptirler. Karlsbad ikizlenmesi göstermesiyle kuvarslardan ayrılmıştır. Kuvarslar, köşeleri kemirilmiş ve yuvarlaklaşmış olup iri ve yarı öz şekilli fenokristaller halinde bulunmaktadır. Tipik dalgalı sönme göstermektedirler.



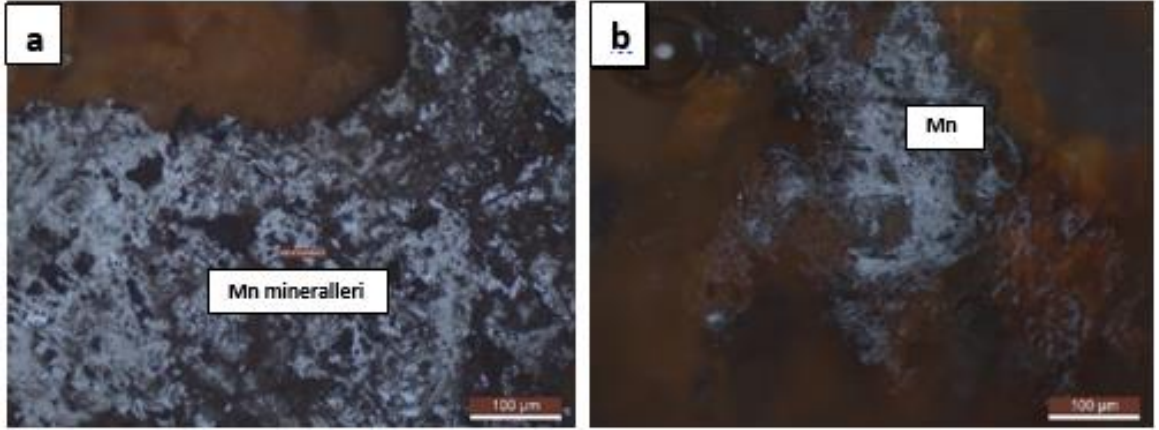
Şekil 6.6 Dasit içindeki porfirik dokulu ince taneli hamur içinde kuvars ve tamamen altere olmuş yarı özşekilli plajiyoklaz ve özşekilsiz ortoklaz kristallerinin tek nikol (a) ve çift nikol(b) görüntüleri. Hamur kuvars ve feldispattan oluşuyor (Qz: kuvars) (Örnek no: C-14)

7. CEVHER MİKROSKOBİSİ

Çalışma kapsamında yapılan saha ve petrografik analizlerde, cevher ilişkileri arasında belirlenen benzerlikler nedeniyle, bölge bütün olarak değerlendirilmiş, cevher mineralleri mikroskobisi incelemeleri birlikte sunulmuştur. Cevher mikroskobisi incelemeleri el örnekleri üzerinde yapılan incelemeler ve mineralojik çalışmalar sonucunda cevherli olduğu düşünülen 4 adet örnek üzerinde sürdürülmüştür. Cevher mikroskobisi incelemeleri sonucunda bölgenin ana cevher mineralleri; galenit, pirit, limonit, kovellin ve Mn mineralleridir (manganit ve piroluzit).

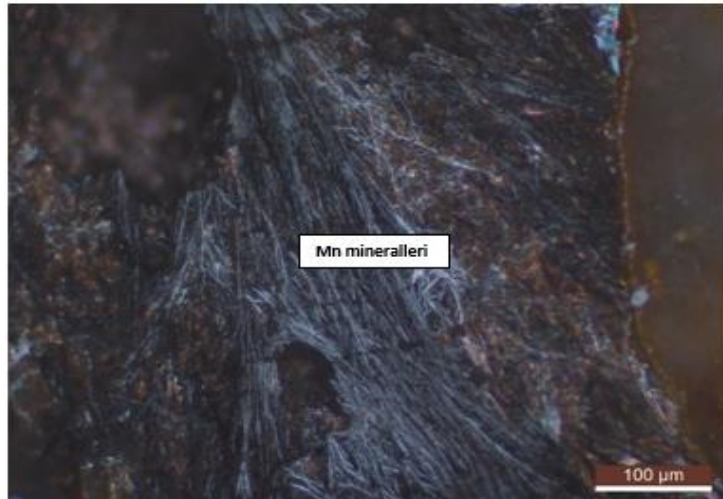
Mangan grubu mineralleri kesitlerde ana cevher minerali olarak izlenmektedir. Kayacın geneline yayılmış şekilde değişik boyutlarda gözlenmiştir (Şekil 7.1). Mineraller yarı özşekilli yer yer de özşekilli kristaller şeklindedir. Yapılan cevher mikroskobisi incelemelerinde çatlak ve/veya boşluk dolgusu şeklinde mangan grubu minerallerinden piroluzit ve manganit izlenmiştir (Şekil 7.1).

Piroluzit mineralleri tipik siyah ile koyu gri renklidirler ve metalik parlaklığa sahiptirler. Mineraller değişik boyutlarda izlenmektedir. Bu mineraller iğnemsî-çubuğumsu şekillere sahiptir. Özellikle iğnemsî şekilli mangan minerallerinin yarı özşekilli yer yer de özşekilli kristalleri çevreler, kısmen ornatır şekilde ve/veya tek başına kümeler halinde olduğu da parlatmada görülmektedir. Parlatma, makroskobik olarak incelendiğinde kayacı kesen, birbirine paralel ve/veya birbirlerini kesen cevher içeren damar/çatlaklar gözlenmektedir. Bu mineraller daha çok iğnemsî şekilli piroluzit mineralleridir (Şekil 7.2).



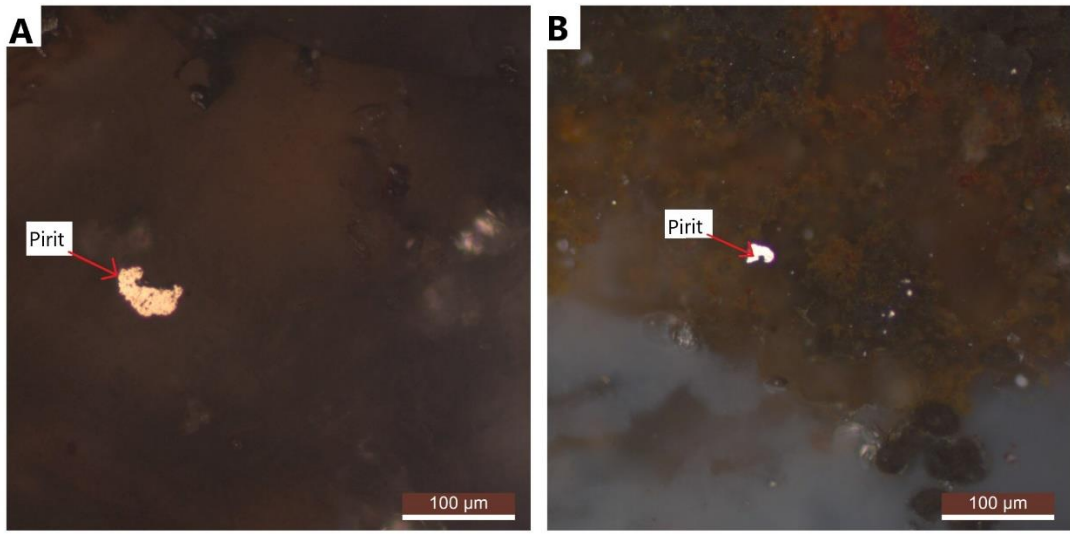
Şekil 7.1 Kayacı oluşturan bileşenlerin tane aralarında bulunan mangan mineralleri (manganit ve piroluzit) (Örnek no: C9)

Yaygın cevher minerallerinden diğeri ise mangan grubu minerallerinden manganittir. Bu mineraller siyah ile koyu kahve renkte ve kayaç içinde dağınık halde çeşitli boyutlarda bulunmaktadır. Manganit kristallerinin yarı özşekilli-özşekilli olduğu görülmektedir. Serbest taneler halinde ve özellikle kayacı oluşturan bileşenlerin tane aralarında gözlenmektedir. Manganit genellikle hidrotermal yataklarda bulunan bir manganez oksit hidroksit minerali olması nedeniyle çalışma alanındaki manganez minerallerinin bir alterasyon ürünü olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 7.2 Kayacı kesen damarcık içerisinde bulunan iğnemsî Mn mineralleri (piroluzit) (Örnek no: C13)

Pirit mineralleri, parlatma kesitlerinde genellikle küçük taneli ve 30-60 µm arasındaki boyutlarda görülmektedir (Şekil 7.3). Daha çok yarı özşekilli - özşekilli yer yer nadiren özşekilsiz kristal taneleri şeklinde gözlenmektedirler. Pirit taneleri submikroskobik, saçınımlı, serbest taneler halinde tespit edilmiştir. Nispeten cevher içeriği az olan yerlerde de ince taneli saçınımlar halinde bulunmaktadır (Şekil 7.3). Bazı piritler ise bozunmuş halde bulunmaktadır. Pirit tanelerinin başlıca hidrotermal sıvılar ile bozunduğu düşünülmektedir (Şekil 7.3).

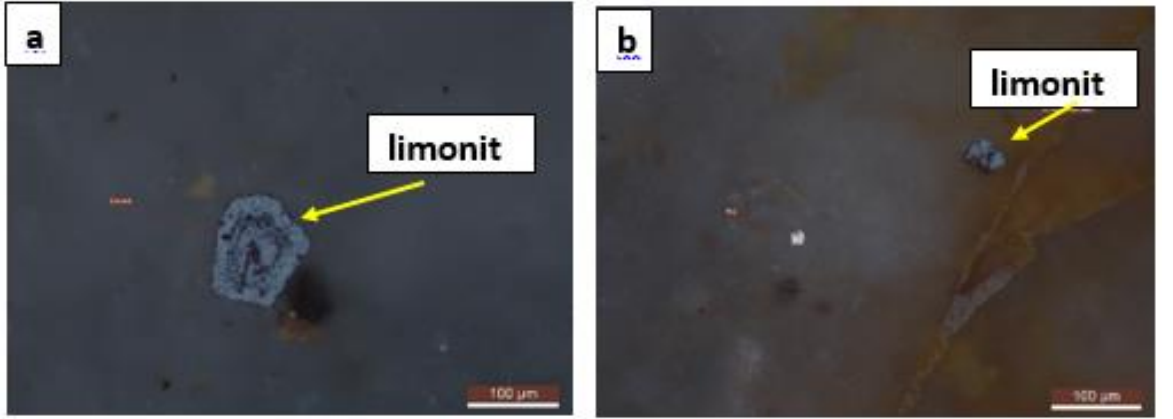


Şekil 7.3 Saçınımlı halde bulunan serbest pirit taneleri (Örnek no: C6/1)

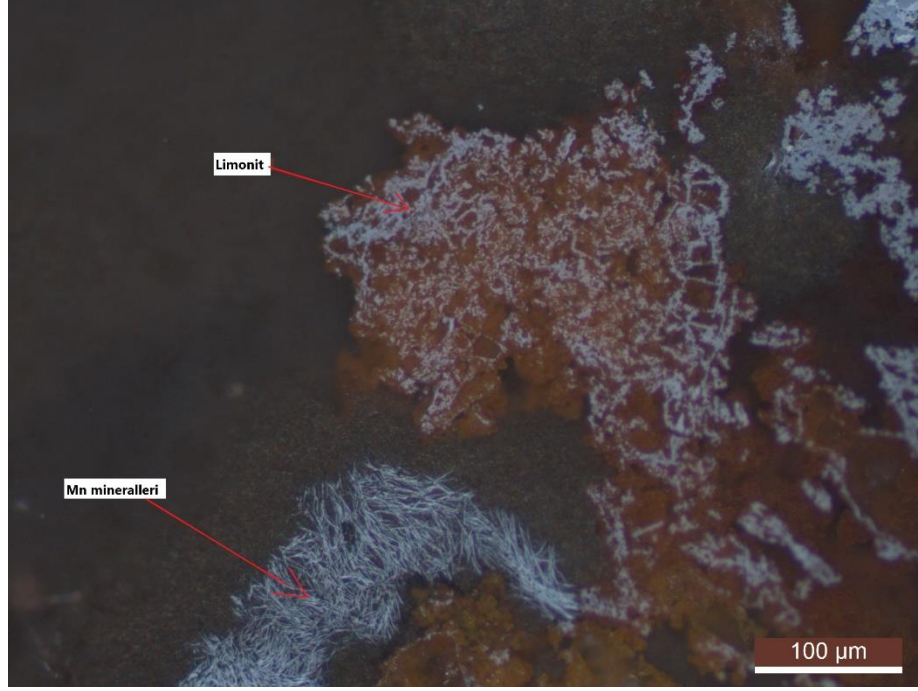
Bu minerallerin yanı sıra örnekte damar/çatlaklar içerisinde değişik boyutlarda limonit mineralleri ve boyamaları tespit edilmiştir (Şekil 7.4). Limonit minerallerinin yarı özşekilli-özşekilli oldukları görülmektedir (Şekil 7.5). İnce kılcal çatlaklar halinde, boşluk dolgusu şeklinde ve/veya mineral psödomorfları şeklinde gözlenen limonit mineralleri yer yer mangan mineralleri ile bir arada gözlenmektedir (Şekil 7.6). Bu limonit kristallerinin mineral psödomorfları şeklinde olduğu ve özellikle piritlerden itibaren geliştiği düşünülmektedir. Limonit minerallerinin içerisinde izlenen pirit reliktleri de bunu destekler niteliktedir.



Şekil 7.4 Limonit minerali (yarı özşekilli – özşekilli) (Örnek no: C9)

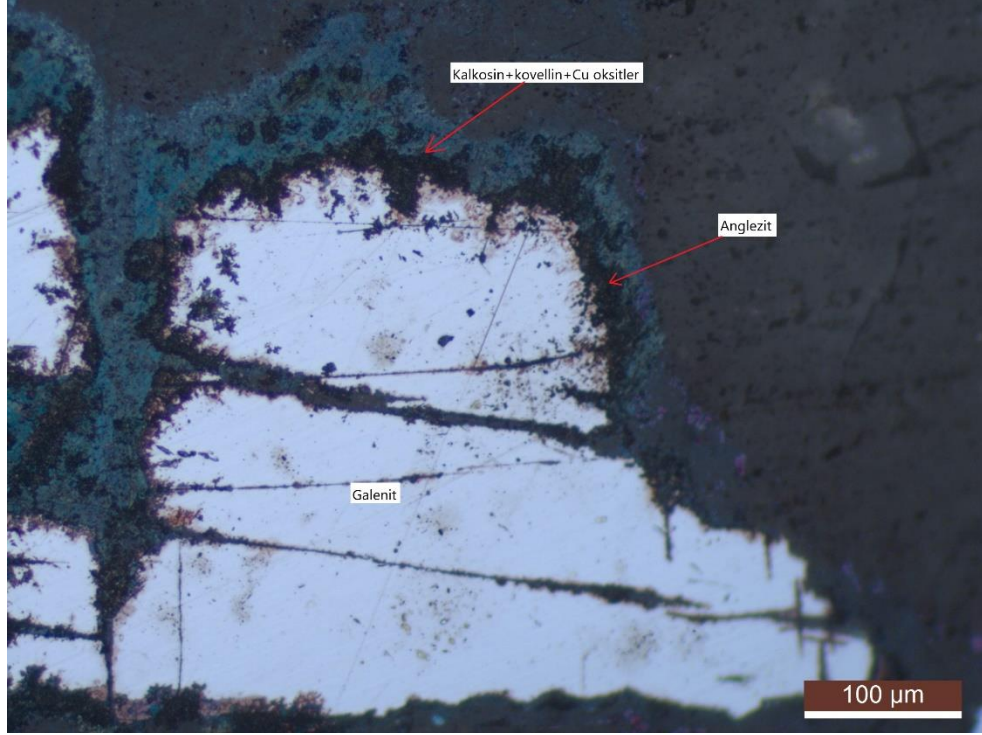


Şekil 7.5 Limonit mineralleri (Örnek no: C13)



Şekil 7.6 Limonit ve mangan mineralleri (Örnek no: C13)

Parlatmanın sadece bir yerinde makroskobik olarak yaklaşık 1,2 cm boyutlara ulaşan galenit mineralleri tespit edilmiştir (Şekil 7.7). Mikroskopik incelemelerde üçgen kopma yüzeyleri görülmektedir. Bunun dışında örnekte saçınımlı, serbest taneler halinde, çoğunlukla küçük taneli hatta submikroskopik galenit mineralleri de izlenmektedir. Nispeten orta-iri kristalli olarak gözlenen galenit minerallerinin kırık ve çatlakları boyunca, yer yer ornatımlar şeklinde ve özellikle kenar kesimlerinden itibaren zonlanmalar şeklinde anglezit, çok az seruzit ve kovellin-kalkosin mineralleri ile Cu oksitler gözlenmektedir.



Şekil 7.7 Galenit, anglezit, kalkosin+kovellin+Cu oksitler bir arada (Örnek no: C21)

Yan kayaç içerisindeki fay zonları ve kırık-çatlak sistemlerinde cevherleşmenin gerçekleştiği ana mineralizasyon evresi, basınç, sıcaklık, pH gibi parametrelerle çözeltilerin bileşimlerinin değişikliğe uğramasına ve yeni minerallerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu parametrelere bağlı gelişen yeni minerallerin cevherleşme evresinin bir yerinde kaybolması, birbirini ornatması, yapı ve dokularındaki farklılıklara göre ana cevherleşme ve süperjen cevherleşme evresi saptanmıştır (Şekil 7.8)

	ANA CEVHERLEŞME		SÜPERJEN
	I. EVRE	II. EVRE	
Pirit	██████████	██████████	
Galenit	-----██████████		
Sfalerit	-----██████████		
Kalkosin			--? ██████████
Kovellin			--? ██████████
Cu-oksitler			--? ██████████
Pirolusit			-----██████████
Manganit			-----██████████
Anglezit			-----██████████
Serüzit			-----██████████
Limonit			-----██████████
Kuvars	-----██████████	-----██████████	-----██████████

Şekil 7.8 Alibey Adası Pb-Zn-Cu cevherleşmesinin parajenez ve süksesyonu

8. SIVI KAPANIM ANALİZLERİ

Sıvı kapanım çalışmalarının temelini oluşturan ve sonrasındaki çalışmalara rehberlik eden ilk çalışma Roedder (1958)'dir. Yazar sıvı kapanımlar ile ilgili birçok yayın yapmış ve 1984'te yayınladığı çalışması derleme niteliği de taşımaktadır. Daha sonra Bodnar (1990), Kaliforniya'da kalsit kristallerinde petrolü sıvı kapanımları keşfetmiştir. Rapien (1998), Yeni Zelanda'da andezitler içinde birincil silika eriyik kapanımları üzerinde çalışmalar yapmıştır. Sıvı kapanımların sınıflandırılması ile ilgili en önemli çalışma ise Goldstein ve Reynolds (1994)'un yayınladıkları çalışmadır. Goldstein (2003)'te ise yalancı ikincil kapanımlardan bahsetmektedir.

Minerallerin kristal yapısı oluşurken kristallerin kafes yapısı içerisinde hatalar meydana gelebilir ve bu ortamdaki sıvı ve/veya eriyikler, hatalı büyümenin meydana geldiği yerlerde kapanlanarak, sıvı ve eriyik kapanımları meydana getirirler.

Kapanımlar, sıvı, buhar veya süper kritik sıvı olabilir ve sıkışan sıvının bileşimi, diğerlerinden farklı olarak saf su, çeşitli tuzluluktaki tuzlu sular, gaz veya gaz içeren sıvılar ve silikat, sülfür veya karbonat eriyiklerini içerebilir (Roedder 1984; Shepherd vd. 1985; Bodnar 1994; Andersen vd. 2001; Samson vd. 2003).

Kayaç oluşturan minerallerle karşılaştırıldığında, sıvı kapanımlar kısa ömürlüdür. Anlık oluşurlar ve oluşumları jeolojik ölçekte çok kısadır. Sıvı kapanımlar kayacın bir parçasıdır ve çoğu yardımcı minerale kabaca aynı hacmi kaplarlar (Tauret, 2001).

Sıvı kapanımların sınıflandırılmasında pek çok yöntem bulunmaktadır (Roedder,1984; Goldstein, 2003). En yaygın ve kullanışlı sınıflandırma, sıvı kapanımın içinde bulunduğu minerale (host mineral) ve sıvı kapanımların oluşum zamanına bağlı olarak yapılan sınıflandırmadır (Bodnar, 2003).

Goldstein (2003) yaptığı çalışmada sıvı kapanımları üç gruba ayırmıştır:

(1) Birincil kapanımlar: sıvı kapanımların içinde bulunduğu minerallerin etrafında veya kristal düzlemleri boyunca oluşmaktadır.

(2) İkincil kapanımlar: mineral oluşuktan sonra mineralde meydana gelen kırıkları sıvıların doldurulması ile meydana gelirler.

(3) Sözde (yalancı) ikincil kapanımlar: mineraldeki kırık oluşumu kristal büyümesi sırasında devam ederken oluşurlar. İkincil kapanımlara benzemezler.

Sıvı kapanımlarda, mikrotermometrik analizlerin ısıtma ve soğutma deneylerinin yapılabilmesi için sıvı kapanımlarının en az 1-2 mikrometre arasında olması gerekmektedir. Mikrotermometrik ölçümler ile ışık geçiren (bazen de ışık geçirmeyen) mineraller üzerinde yapılan sıvı kapanım analizleri ile ilk erime sıcaklıkları (T_{FM}), son buz ergime sıcaklıkları (T_{ICE}) ve homojenleşme sıcaklıkları (T_H) tespit edilmektedir.

8.1 Işık Geçirgen Sıvı Kapanım Analiz Sonuçları

Tez kapsamında sıvı kapanım analizleri cevher ile ilişkili kuvars minerallerinde yapılmış olup bu bölümde sıvı kapanım analiz sonuçları tek bir başlık altında, örnekler tek tek ele alınarak sunulacaktır.

8.1.1 Sıvı kapanım sonuçları

Tez çalışması kapsamında Alibey Adası ve çevresinden alınan kuvars örneklerinden 4 adet seçilerek sıvı kapanım analizi yapılmıştır. Seçilen 4 adet örnek üzerinde 33 adet homojenleşme sıcaklık değeri ölçülebilmüş olup örneklerin tuzluluk değerleri ölçülememiştir (Çizelge 8.1). Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen homojenleşme sıcaklıkları 233 – 390 °C arasında değişmektedir.

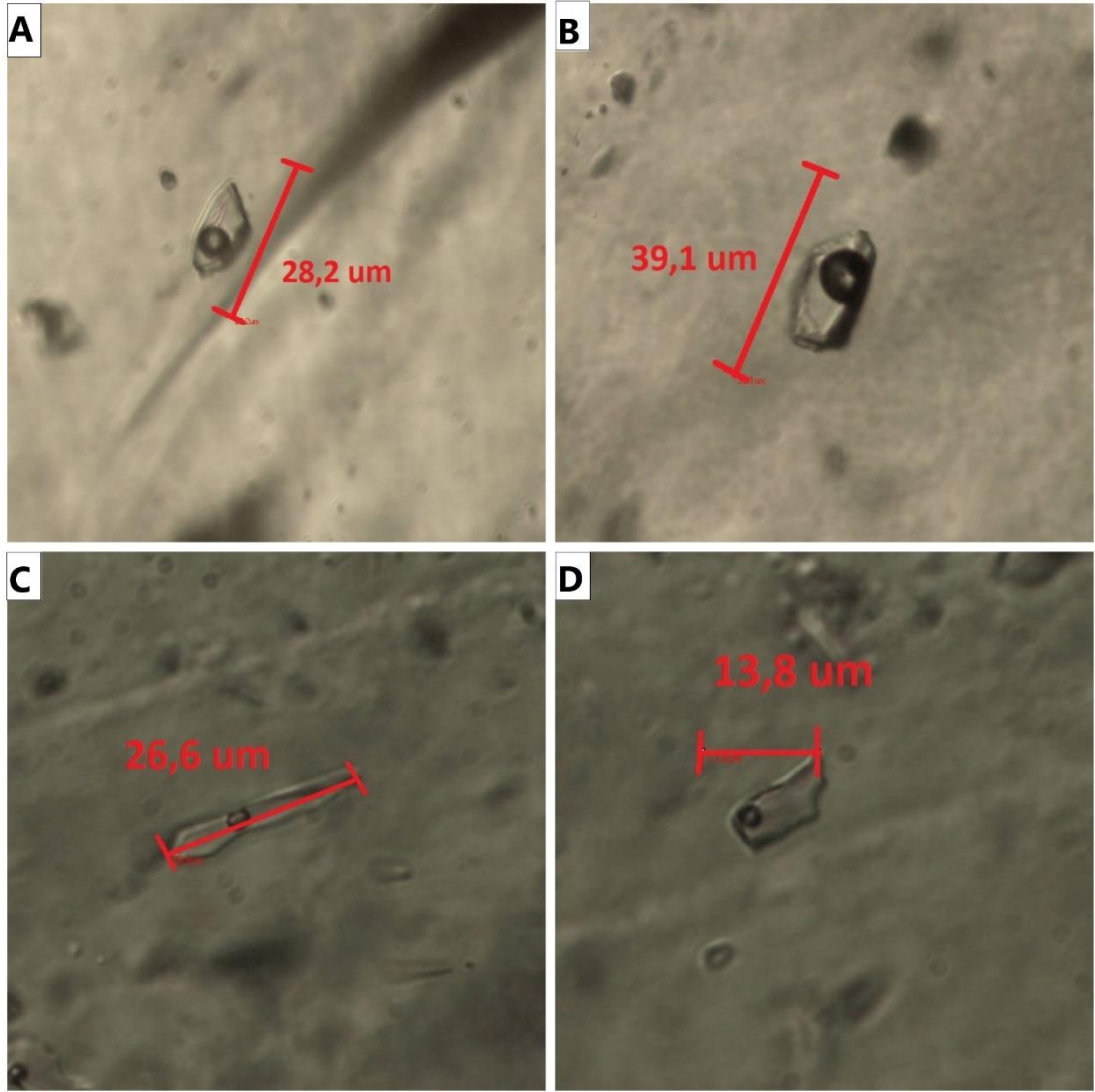
Örnekler genel olarak şeffaf-yarı şeffaf ve yer yer mat kesimlerden ibarettir. Örneklerin şeffaf-yarı şeffaf kristallerinde birincil kökenli ve ikincil kökenli kapanımlara rastlanmıştır. Birincil kökenli kapanımları; iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlar (Şekil 8.1) ve tek fazlı (sıvı) kapanımlar ile tek fazlı (gaz) kapanımlar oluşturmaktadır.

Birincil kökenli iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlar genellikle mercek, üçgen, yuvarlak/elipsoidal ve düzensiz şekilli olup, boyutları; $< 2-118.0$ mikrometre; tek fazlı (sıvı) kapanımlar, yuvarlak/elipsoidal, dikdörtgen ve düzensiz şekilli olup boyutları $< 1-21.0$ mikrometre; tek fazlı (gaz) kapanımlar ise, yuvarlak/elipsoidal şekilli olup boyutları $< 1-17.6$ mikrometre arasında değişmektedir.

İkincil kökenli kapanımlar; mercek, yuvarlak/elipsoidal, dikdörtgen ve düzensiz şekillerde olup boyutları $< 1-8.4$ mikrometre arasında değişmektedir. İkincil kökenli kapanımların boyutları yetersiz olduğu için mikrotermometrik ölçümler sırasında optik olarak gözlem yapılamamıştır.

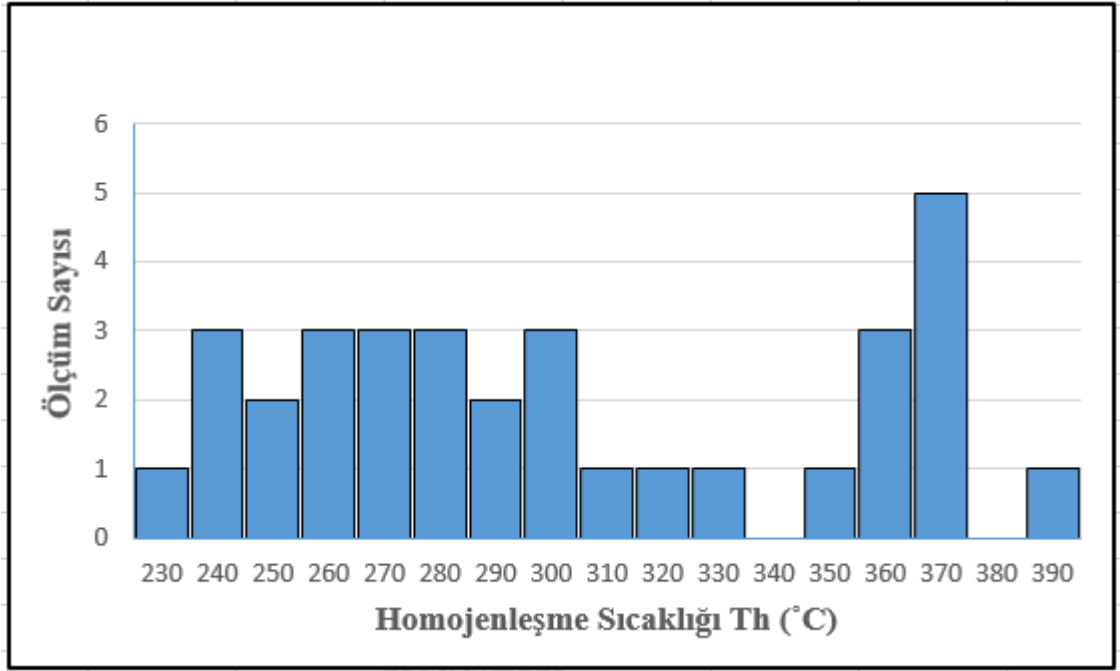
Örneğin bazı kristallerinde yer yer, boyunlanmış (necking down), uzamış şekilli kapanımlar izlenmiştir. Kapanımlar boyunlanmalar nedeniyle iki fazlı hale gelmiş olup, bu tür kapanımlarda doğru neticeler alınamadığından mikrotermometrik ölçümler yapılamamıştır.

Ölçüm yapılabilen kapanımlarda birincil kökenli olanlar iki fazlı (sıvı+gaz) olanlarında; sıvı fazın gaz faza oranı fazla olup nadiren gaz fazın da hâkim olduğu kapanımlar saptanmıştır. Bu tür kapanımlarda homojenleşme sıcaklığı ölçülememiştir. Ölçüm yapılan kapanımların tamamı sıvı faza homojenleşmiştir.



Şekil 8.1 (A,B,C,D) Örneklere tespit edilen birincil - iki fazlı (sıvı+gaz) sıvı kaptanılardan alınan görüntüler

Örneğin şeffaf ve/veya yarı şeffaf kristallerinde birincil kökenli iki fazlı (sıvı+gaz) kaptanımlarda yapılan çalışmalarda 33 adet homojenleşme sıcaklık değeri ölçülmüş ve ortalaması 308°C (Th) olarak hesaplanmış, değerler aşağıda tablo halinde verilmiştir (Şekil 8.2).



Şekil 8.2 Alibey Adasından alınan kuvars minerallerine ait birincil kökenli iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımların ölçülen homojenleşme sıcaklıklarının (Th °C) dağılım histogramı.

Çizelge 8.1 Yapılan 33 adet ölçüm değerine göre birincil kökenli iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımların homojenleşme sıcaklıkları 233-390 °C arasında değişmektedir

Örnek No	Homojenleşme Sıcaklığı T_h (°C)	Kapanım Türü	Homojenleşme Fazı
1	233	iki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
2	245	iki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
3	247	iki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
4	250	iki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
5	256	iki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
6	257	iki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
7	261	iki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
8	267	iki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
9	270	iki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
10	273	iki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
11	273	iki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
12	279	iki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
13	282	iki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
14	282	iki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
15	289	iki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
16	293	iki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
17	296	iki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
18	303	iki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
19	309	iki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
20	310	iki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
21	320	iki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
22	329	iki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
23	336	iki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
24	360	iki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
25	368	iki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
26	369	iki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
27	370	iki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
28	372	iki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
29	373	iki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
30	373	iki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
31	377	iki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
32	378	iki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
33	390	iki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza

9. DURAYLI İZOTOP ÇALIŞMALARI

Duraylı izotop çalışmalarının amacı, çalışma alanının cevher yapıcı bileşenlerinin kaynak ve oluşum mekanizmalarını açıklayabilmektir. Duraylı izotop varlığı, numunedeki temel iki izotopun oranının uluslararası standarttaki aynı oranın birbirine oranıyla, delta terimi kullanılarak belirlenir.

9.1 Kükürt İzotop Çalışmaları

Sülfürün baskın olduğu maden yataklarında ana bileşen kükürt, metal olmayan bir elementtir. Temel kayaçların kükürt içeriği birkaç on ppm ile 200 ppm arasında değişebilir. Magmatik kayaçlardaki kükürt, çözülmüş veya minerallerde erimiş kabarcıklar halinde oluşabilir. Geniş kükürt içeriği aralığının aksine, temel kayaçlardaki birincil kükürtün izotop bileşimi $\text{‰}0 \pm 3 \text{‰}$ aralığındadır (Chaussidon vd,1989). Evaporitik tip yataklarda kükürt, sülfat olarak görülebilmektedir. Aktif volkaniklerde S izotopları magma odaları ve hidrotermal sistemlerin dinamikleri hakkında kritik bilgiler sağlamak için kullanılırken (Marini vd, 2011), suyu tükenmiş magmatik merkezlerde ise S izotopları magma kaynaklarını değerlendirmek için kullanılır (Ripley vd, 2003). Magmatik ve metamorfik ortamların dışında, deniz sularından farklı sedimanter ortamlara kadar geniş bir sıcaklık aralığında oluşmaktadır. Kükürtün 4 duraylı izotopu vardır. Yaklaşık yüzde dağılımları ise, $\delta^{32}\text{S}$: %95,02; $\delta^{33}\text{S}$: %0,75; $\delta^{34}\text{S}$: %4,21; $\delta^{36}\text{S}$: %0,02'dir.

Maden yataklarında kükürt izotoplarının en belirgin çalışmaları Faure (1986), Ohmoto (1986), Labidi vd. (2012), Hutchison vd. (2020) tarafından yapılmıştır. Birçok araştırmacı sülfür mineralleri içinde bulunan kükürt izotoplarını incelemiştir. Bu konudaki derleme şeklinde yapılan yayın ise Seal (2006) tarafından yayınlanmıştır.

9.1.1 Hidrotermal yataklarda kükürt izotop bileşimi

Pb-Zn yatakları uzun yıllardır yabancı ve yerli bilim insanları tarafından araştırılmaktadır. Magmatik-hidrotermal sistemler, önemli miktarda kükürt içeren sıvılar içerir ve bu nedenle S izotopları, S kaynağının kökeni ve cevher oluşturan ortamlardaki metal hareketliliği hakkında bilgi verir (Richards, 2015, Seal, 2006, Çiçek vd, 2016, Hutchison vd, 2020).

Hidrotermal yataklarda sülfütlü minerallerin yapısındaki kükürtün kökeni doğrudan magmatik kökenli, formasyon suları kökenli, meteorik su kökenli, deniz sularından (deniz suyundaki kükürt sulu sülfat olarak (Hoefs, 1987)) ve bunların karışımından oluşabilmektedir. Eriyik tek bir kaynaktan oluşabileceği gibi farklı kaynakların bileşiminden de oluşabilmektedir. Bunu ayırt edebilmek oldukça güçtür. Kükürtün kaynağı ilksel ya da ikincil, yani var olan önceki sülfütlü bileşiklerden de kaynaklanması olasıdır. Eriyikler içindeki sülfürlü bileşenler arasında izotopik dengeleme devam ederken veya dengesiz durumda iken, izotopsal ayrımlanma gerçekleşebilir. Hidrotermal minerallerde gözlenen $\delta^{34}\text{S}$ değeri hidrotermal akışkanlar içerisindeki kükürtün jeokimyasal tahrihesini yansıtır. Cevherin oluşum ortamının ve hidrotermal sistemleri izotopsal ayrımlanma $\delta^{34}\text{S}$ değerlerinin doğru yorumlanması ile mümkündür (Ohmoto ve Rye, 1979).

9.1.2 Çalışma alanına ait kükürt izotop analizleri

Tez araştırması kapsamında Alibey Adasındaki eski galerilerin pasa sahasından alınan örneklerden seçilen galen ve kovellin numunelerinden kükürt izotop analizleri yapılmış ve bu örneklerin kükürt izotop bileşimleri Çizelge 9. 1 'de verilmiştir.

Sülfürlerin genel $\delta^{34}\text{S}$ izotop değerleri incelendiğinde, Alibey Adası cevher minerallerinin $\delta^{34}\text{S}$ değerleri -4,5 ‰ ile -2,6 ‰ (ort: -3,76 ‰) aralığındadır. Chaussidon vd. (1989), Labidi vd. (2012), ve Hutchison vd. (2020) yaptıkları çalışmalarda $\delta^{34}\text{S}$ değerleri 0 ‰ ile -5 ‰ aralığının tipik magmatik değerleri ifade ettiğini belirtmişlerdir.

Çizelge 9.1 Çalışma alanına ait Pb-Zn cevherleşmesinde alınan örnekler üzerinde yapılan $\delta^{34}\text{S}$ (‰) kükürt izotop analiz sonuçları

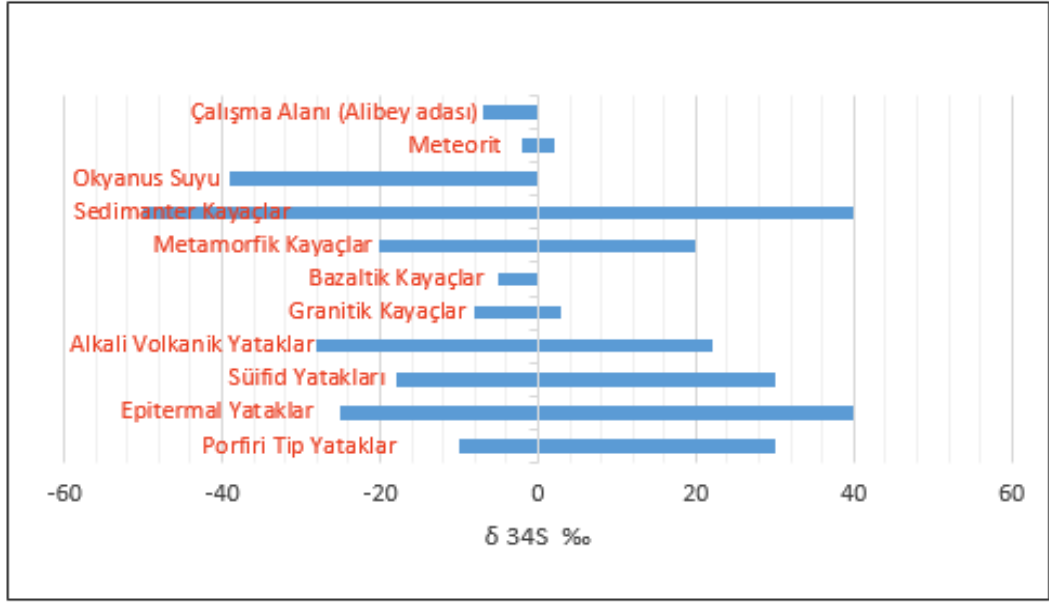
Sayı	Numune kodu	Mineraller	$\delta^{34}\text{S}$ ‰(VCDT)
1	C 3 G	Galen	-3,5
2	C 21 G	Galen	-4,0
3	C 23 G	Galen	-4,5
4	C 21 C-C	Kovellin	-2,6
5	C 23 C-C	Kovellin	-4,2

10. TARTIŞMALAR VE YORUMLAR

Alibey Adası (Ayvalık-Türkiye) Pb-Zn cevher oluşumları ve akışkan karakteristikleri adlı yüksek lisans tez araştırması kapsamında yapılan büro, arazi ve laboratuvar çalışmaları tek tek ayrı başlıklar altında sunulmuştur. Bu bölümde çalışmalar bir bütün olarak bölgede dana önce çalışan araştırmacıların sonuçlarıyla birlikte değerlendirilecektir.

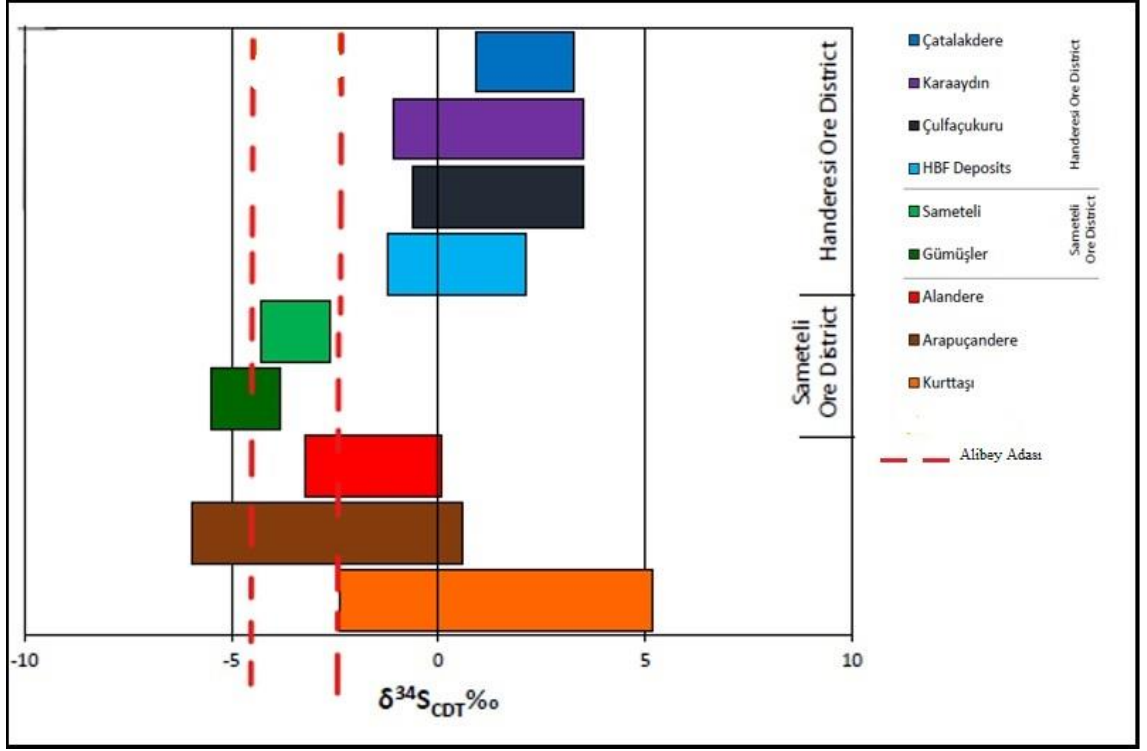
Çalışma alanı, Akyürek ve Soysal (1983)'e göre Tersiyer volkanizması adı verilen yitim zonunu simgeleyen kalk-alkalen bir yay volkanizması niteliği taşımaktadır. Bölgede Miyosen'de volkanizma genelde iki evrede gelişmiştir. Alt-Orta Miyosen volkanitleri dasit, riyodasit, andezit, trakiandezitler olarak gelişirken, Üst Miyosen'de trakiandezitik türde lav ve olivin bazaltlar hâkimdir. Bölgedeki en yaşlı birim ise metamorfik kayalar olup bunların yeşil şist fasiyesinde geliştiği Ercan (1986)'da tanımlanmıştır.

Magmatik kaynaklar cevher oluşturan akışkanlara önemli derecede katkı sağlar ancak magmatik hidrotermal yataklarda gelen sülfidler için normal $\delta^{34}\text{S}$ değerleri daha negatiftir (Harris vd.,2005, Li ve Liu, 2006, Hoefs, 2009). Negatif $\delta^{34}\text{S}$ değerleri temelde magmatik sıvılardan kaynaklanmakta olup oluşum öncesinde sülfid içerikli magmatik kaynakların çözülmesi ve süzülmesinden kaynaklanmaktadır. Magmatizma sonrası sülfid değerleri -3‰ ile +3‰ aralığındadır (Ohmoto ve Rye, 1979). 0'dan küçük veya yakın kükürt izotop değerleri minerallerin oluşum kaynağına yakın olduğunu gösterir (Campbell ve Lueth, 2008). Mineral bazında incelendiğinde galen minerallerinin $\delta^{34}\text{S}$ -4,5 ‰ ile -3,5 ‰ arasında (ort: -4 ‰) ve kovellin minerallerinin $\delta^{34}\text{S}$ değerleri -4,2 ‰ ile -2,6 ‰ arasında (ort:-3,4 ‰) değişmektedir (Şekil 10.1). Tüm sonuçları incelendiğinde bölgesel bağlamda ve mineraller arasında bir ayırım görülmemektedir. $\delta^{34}\text{S}$ izotop değerleri ve oranlar 0'a çok yakın ve dar bir aralıkta yoğunlaşmış bir şekilde bulunmaktadır. Bu veriler birlikte değerlendirildiğinde kükürtün kökeninin magmatik kaynaklı olduğu düşünülmektedir (Chaussidon vd., 1989; Labidi vd., 2012; Hutchison vd., 2020).



Şekil 10.1 Alibey Adasındaki oluşumların çeşitli jeolojik ortam ve cevher tiplerinin $\delta^{34}\text{S}$ (‰) verilerinin derlenmesi (Çiçek vd., 2021 referans alınarak derlenmiştir)

Alibey Adası'ndan alınan galen ve kovellin minerallerinin kükürt izotop sonuçları kayaçların jeolojik ortamları, alt ve üst sınırları dikkate alınarak karşılaştırıldığında bazaltik kayaç, granitik kayaç ve alkali volkanik yataklar ile benzerlik göstermektedir (Şekil 10.1). Alibey Adası cevherleşmeleri üzerinde yapılan kükürt ($\delta^{34}\text{S}$ ‰) izotop bileşimleri Biga Yarımadası Sakarya parçası üzerinde yer alan yataklar ile karşılaştırıldığında (Demirela vd., 2023) Alibey Adası cevher oluşumlarının magmatik bir kaynaktan oluştuğu Sameteli bölgesi, Alandere ve Arapuçandere cevherleşmelerine benzerlikler sergilediği saptanmıştır (Şekil 10.2).



Şekil 10.2 Demirela vd. (2023 ve içerisindeki referanslar)'dan alınan histogram üzerine Alibey Adası örneklerinin aralığı işlenerek benzer bölgedeki oluşumla karşılaştırılmıştır

Alibey Adası cevherleşmelerinin oluşum mekanizması hakkında daha önce yapılan çalışmalarda (Ercan, vd., 1984; Dora ve Savaşın, 1982) skarn tipi cevherleşmenin varlığından söz etmektedir. Skarn tipi yataklar metamorfizma sürecinde çeşitli metasomatik süreçle ile oluşurlar. Genellikle metamorfik kayalar, okyanus tabanının dip kısımlarında veya okyanus kabuğunun derinliklerinde gömüldüğünde plütonların bitişiğinde gelişirler. Çalışma alanında yapılan arazi çalışmalarında skarn tipte bir yatağın varlığına dair izler tespit edilememiştir. Skarn tip yatakların mineralojisi değişkenlik gösterdiğinden, cevher mikroskobisi ve mineraloji-petrografi çalışmaları sonucunda elde edilen mineraller ile ilgili bir yorum yapılamamıştır. Bölgede araştırılan galeriler yıllardır işletilmediğinden içerisinde saha çalışması yapılması mümkün olmamıştır. Bu nedenle daha önceki çalışmalarda, galeri içlerinde veya MTA tarafından yapılan sondaj verileriyle araştırmacıların skarn tipi bir oluşumun varlığına dair izleri tespit etmiş olmaları muhtemeldir.

Bölgede hâkim olduğu düşünülen cevher oluşum mekanizmasının araştırılması kapsamında arazi çalışmaları, mineralojik ve petrografik incelemeleri, cevher mikroskobisi, sıvı kapanım analizleri ve kükürt izotop analizi sonuçları değerlendirildiğinde, iki cevher oluşum modeli üzerine yoğunlaşmıştır.

Bölgede gözlenen tipik cevherleşme hidrotermal damar tipi bir baz metal cevherleşmesidir. Hidrotermal evre ile ilişkili olarak ise mezotermal ve epitermal sistemler ilişkili olarak görülmektedir. Mezotermal ile epitermal yataklar karşılaştırıldığında, en temel fark derinlik, dolayısıyla basınç ve sıcaklıktır. Epitermal yataklar daha sığ derinliklerde, düşük sıcaklık ve basınç ortamında oluşurken, mezotermal yataklar daha derinlerde, daha yüksek sıcaklık ve basınç ortamında oluşmalıdır (Çizelge 10.1). Mineral içerikleri karşılaştırıldığında epitermal yataklarda ana cevher mineralleri altın, gümüş, arsenopirit, arjantit ve elektrüm, nadiren galen, sfalarit ve kalkopirit iken mezotermal yatakların ana cevher mineralleri kalkopirit, sfalarit, galen, kuvars, siderit, tetradrit ve bornittir. Çalışma alanındaki mineralojik-petrografik ve cevher mikroskobisi incelemeleriyle tespit edilen galen, pirit, kovellin, limonit ve mangan mineralleri mezotermal yatak mineralleri ile daha çok benzerlik göstermektedir. Sıvı kapanım sonuçlarından elde edilen homojenleşme sıcaklıkları 233-390 (T_h) °C arasında değişmekte olup dağılımı kısmen homojendir. Bölgenin homojenleşme sıcaklık sonuçları yatak oluşumunun mezotermal? tip olabileceğini ortaya koymuştur. Cevher oluşturan minerallerden kuvars mineralleri üzerinde yapılan sıvı kapanım analizlerinde tuzluluk ölçülemediğinden dolayı derinlik ile ilgili bir yorum yapılamamıştır. Epitermal tip yatakların belirgin koloidal dokuları ve çöküntü-set oyukları belirgin özelliğidir. Ancak yapılan saha çalışmalarında böyle bir yapının izine rastlanılmamıştır. Bununla birlikte epitermal sistemlerde tipik olarak gözlenen adularya-serizit ya da asit-sülfat ilişkili alterasyon minerallerine de rastlanılmamıştır. Epitermal yatakların sıkışma, genişleme, faylanma, volkanizma gibi çeşitli ortamlarda oluşabileceği gibi mezotermal yataklar çoğunlukla magmatik bir kütle varlığı ile oluşabildiği bilinmektedir. Çalışma alanı değerlendirildiğinde volkanik bir aktivite ile oluştuğu görülmekte fakat epitermal veya mezotermal ortam hakkında net bir yorumlama yapılamamaktadır. Ancak yukarıda paylaşılan veriler ışığında ilgili

cevherleşmenin mezotermal sıcaklıklarda gelişen damar tipi baz metal bir cevherleşme olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 10.1 Epitermal ve Mezotermal yatakların karşılaştırılması

	Epitermal Yataklar	Mezotermal Yataklar
Oluşum derinliği	< 1500 m	1200-4500 m
Oluşum ortamı	50-200 °C	250-350 °C
İşletilen metaller	Pb, Zn, Au, Ag, Hg, Sb, As, Cu, Bi	Au, Ag, Cu, As, Pb, Zn, Ni, Co, W, Mo, U, Bi
Cevher mineralleri	Ag'ce zengin altın gümüş, arsenopirit, kalkopirit, pirit, tennantit enarjit, bornit, kovellin galen, zinober, antimonit, orpiment, realgar	Kakopirit, altın, sfalarit, galenit, tetrahedrit, bornit, kalkosit, kobaltit
Gang mineralleri	Çört, kalseduan, ametist, düşük Fe'li klorit, epidot	Albit, kuvars, serisit, klorit, siderit, epidot
Yan kayaç alterasyonu	Genellikle çok zayıf (silisleşme, dolomitleşme)	Kloritleşme, karbonatlaşma, serisitleşme
Doku özellikleri	Kolloform bantlı, taraklı yapı, damarlarda boşluk dokusu ve breşleşme	İnce taneli cevher mineralleri, damarları genellikle bantlı, ornatım dokuları çok yoğun

11. SONUÇLAR

Balıkesir-Ayvalık'ta yer alan Alibey Adası Pb-Zn-Cu cevher oluşumlarının incelenmesi sonucunda elde edilen veriler sırayla aşağıda sunulmaktadır.

1-Çalışma alanı Balıkesir ili Ayvalık ilçesi içerisinde yer alan Alibey Adası'dır. Ada ve çevresinde yer alan birimler Üst Oligosen'de başlayan volkanizma ile oluşmuştur. Bölgede Miyosen'de volkanizma genelde iki evrede gelişmiştir. Alt-Orta Miyosen volkanitleri (Yuntdağ volkanitleri, Ballica formasyonu) dasit, riyodasit, andezit, trakiandezitler gelişirken, Üst Miyosen'de (Soma formasyonu) trakiandezit türde lav ve olivin bazaltlar gözlenmektedir.

2- Alibey Adası saha çalışmalarında cevher damarlarına ilişkin mostralar görülmemekle birlikte yan kayaçları andezit ve dasitler oluşturmaktadır. Yüzlek veren mostralarda birbiriyle bağlantılı ağsal damarların boyutları cm'lerden birkaç metrelere kadar değişmektedir. Yoğun silisli damarlardan alınan örnekler üzerinde yapılan cevher mikroskopisi çalışmalarıyla bu damarların cevherli olduğu tespit edilmiştir. Yan kayaçlardaki alterasyonlar hidrotermal damarların oluşum sıcaklıklarına göre değişiklik göstermektedir.

3- Mineraloji-petrografi çalışmalarıyla bölgedeki kayaçlar genelde üçe ayrılmıştır. Bunlar andezit, altere andezit ve dasittir. Ortaç bileşimli andezitlerde plajiyoklaz, kuvars, alkali feldispat, biyotit ve hornblend mineralleri tespit edilmiştir. Cevherleşme bazı kesitlerde kırık-çatlaklar içerisine yerleşmiştir. Kayaçta tespit edilen klorit minerali bölgedeki alterasyonu kanıtlar niteliktedir. Altere andezitler çoğunlukla silisleşme, karbonatlaşma, killeşme ve serizitleşmeler göstermektedir. Andezit içinde feldispatlar serizitleşmiş, mafik mineraller kloritleşmiş ve opaklaşmıştır. Serizitler kayacın ilksel feldispat minerallerinin bozunmasıyla oluşmuş olup bu feldispatlar daha sonraki muhtemel hidrotermal etkilerle karbonatlaşmaya uğramışlardır.

4- Cevher mikroskobisi çalışmalarıyla mangan grubu (piroluzit, mangan) mineralleri, pirit, limonit, galenit, anglezit, kalkosin+kovellin+Cu oksitler tespit edilmiştir. Ana cevher minerali Mangan grubu mineralleridir ve bu mineraller pirit ve limonit mineralleri ile birlikte gözlenmektedir. Cevher mineralleri kayaç içerisinde serbest taneler halinde bulunmaktadır.

5- Sıvı kapanım analizlerinde tuzluluk tespit edilememekle birlikte homojenleşme sıcaklıkları 233 °C ile 390 °C arasında tespit edilmiştir. Örneklerde birincil ve ikincil kökenli kapanımlar elde edilmiştir. Birincil kökenli kapanımlar; iki fazlı (sıvı+gaz), tek fazlı (sıvı ve gaz) kapanımlar bulunmaktadır. Ölçüm yapılmaya uygun bulunan kapanımlar genel olarak sıvı fazlı birincil kapanımlardır. Ortalama homojenleşme sıcaklıkları (T_h) ortalaması 308 °C olarak hesaplanmıştır.

6-Yapılan kükürt izotopu analiz sonuçlarına göre $\delta^{34}S$ değerleri -4,5 ‰ ile -2,6 ‰ (ort: -3,76 ‰) aralığındadır.

7- Tüm veriler ışığında bölge cevherleşmesinin meezotermal koşullarda meydana gelen damar tipi bir baz metal cevherleşmesi olabileceği saptanmıştır.

KAYNAKLAR

- Ağdemir, N., Kırıkoğlu, S., Lehmann, B., Tietze, J. 1994. "Petrology and alteration geochemistry of the epithermal Balya Pb-Zn-Ag deposits, NW Turkey", *Mineralium Deposita*, 29, 366-371.
- Akıska, S. 2020. Crystallization Conditions and Compositional Variations of Silicate and Sulfide Minerals in the Biga Peninsula Pb-Zn Skarn Deposits, NW Turkey. *Ore Geology Reviews* 118, 103322 doi. 10.1016/j.oregeorev.2020.103322.
- Akıska, S., Demirela, G. 2014. "Handeresi, Bağırkaçdere ve Fırıncıkdere (Kalkım, YeniceÇANAKKALE) Pb-Zn±Cu Distal Skarn Yataklarında Akışkanların Kökeni", *Yerbilimleri*, 35(3), 199-218.
- Akıska, S., Demirela, G., Sayılı, S.İ. 2013. "Geology, mineralogy and the Pb, S isotope study of the Kalkım Pb-Zn ± Cu deposits, Biga Peninsula, NW Turkey", *Journal of Geosciences*, 58, 379 396.
- Akış, İ. 2011. Sarıçayır (Yenice/Çanakkale) çevresindeki skarn yataklarının jeolojik ve jeokimyasal özellikleri. Selçuk Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi. 117 s. Konya.
- Akyol, Z. 1977. "Balya madeni civarının jeolojisi", *Jeoloji Muhendisliği Dergisi*, 3, 19 27.
- Akyürek, B., Soysal, Y. 1983. "Biga Yarımadası güneyinin (Savaştepe-Kırkağaç Bergama-Ayvalık) temel jeolojisi özellikleri", *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 95/96, 1-12.
- Andersan, T., Frezzotti, M.L., Burge, E.A.J., 2001. Fluid inclusions: Phase relationships - methods- applications (special issue), *Lithos*, v.55(1-4), pp.320.
- Aslaner, M. 1965. Etude geologique et petrographique de la region d'Edremit- Havran. M.T.A Enstitüsü, Publication No. 119.
- Ataman, G. 1975. Plütonisme calc-alkalin d'age Alpin, Anatolie du Nord Quest: C.R. Acad Sc. Paris, 280.
- Aygen, T., 1956. Balya bölgesi jeolojisinin incelenmesi. M.T.A. Yaynl., seri D, no. 11, Ankara.
- Aysal, N., Öngen, S., Hanilçi, N. 2006. "Karadoru granitoid plütönu yan kayaçlarının petrografisi ve skarn zonunun özellikleri, Yenice – Çanakkale", *İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, 19(2), 183-194.
- Benda, L., Innocenti, F., Mazzuoli, R., Radicati, F. and Steffens, P. 1974. Stratigraphic and radiometric data of the Neogene in Northwest Turkey:2. *Deustch. Geol. Ges.*,125.

- Bingöl, E., 1968. Contribution à l'etude geologique de la partie Centrale et Sud-Est du massif de Kazdağ (Turquie). These du Doctorat, Fac. Sci. Univ. Nancy, 191 p., Fransa.
- Bingöl, E., Akyürek, B., Korkmazer, B., 1973. Biga Yarımadasının jeolojisi ve Karakaya formasyonunun bazı özellikleri: Cumhuriyetin 50. yılı yer bilimleri kongresi tebliğleri. MTA Enstitüsü, 70-77, Ankara.
- Bingöl, E., 1974. Muratdağı merkezi kesiminin jeolojisi, magmatik ve metamorfik kayaların petrolojisi ve jeokronolojisi (yayınlanmamış) Tez, 105 s.
- Bingöl, E., Akyürek, B., Korkmazer, B., 1975. Geology of the Biga Peninsula and some aspects of Karakaya Formation. Proceedings of the Earth Sciences Congress for the 50th Anniversary of the Republic. Maden Tetkik Arama Enstitüsü, Ankara, Turkey, pp. 70–76. in Turkish with extended English abstract.
- Bingöl, E., Delaloye, M. and Ataman, G. 1982. Granitic intrusions in Western Anatolia: a contribution to the geodynamic study of this area, *Eclogae Geol. Helv.*, 7512.
- Bocealetti, M, Manettif P., PeecwUlo, A. ve Peltz, B., 1974. Young volcanism in the Calimani mountains (Eaath Oarpathians), Evidence of a Paleobetic zone, *Tectonophysics*, 10, 313.
- Bodnar, R.J., 1994. Philosophy of fluid inclusions analysis. In: De Vivo and M.L. Frazzini (Eds.), *Fluid Inclusions in Minerals and Applications*. Virginia Tech, Blacksburg, pp.1 – 6.
- Bodnar, R.J., 1990, Petroleum migration in the Miocene Monterey Formation, California, U.S.A.: Constraints from fluid-inclusion studies. *Mineral. Mag.*, 54, p.295-304.
- Borsi, S., Ferrara G., Innocenti, F. and Mazzuoli, R. 1972. Geochronology and petrology of recent volcanics in the Eastern Aegean Sea: *Bull. Volcan.*, 3611.
- Bozkaya, G., Gökçe, A., Grassineau, N.V. 2008. "Fluid inclusion and stable isotope characteristics of the Arapuçandere Pb-Zn-Cu deposits, northwest Turkey", *International Geology Review*, 50 (9), 848-862.
- Bozkaya, G., Gökçe, A. 2009. "Lead and sulfur isotope studies of the Kuru (Çanakkale, Turkey) lead-zinc deposits", *Turkish Journal of Earth Sciences*, 18, 127-137.
- Bozkaya, G. 2011. "Sulphur- and lead-isotope geochemistry of the Arapuçandere lead-zinc-copper deposit, Biga Peninsula, northwest Turkey", *International Geology Review*, 53(1), 116-129.
- Bozkaya, G., Banks, D.A., Özbaş, F., Wallington, J. 2014. Fluid processes in the Tesbihdere base-metal-Au deposit: Implications for epithermal mineralizations in

- the Biga Peninsula, NW Turkey. *Central European Journal of Geosciences*, 6(2), 148-169.
- Boztuğ, D., Harlavan, Y., Jonckheere, R., Can, İ., Sarı, R., 2009. Geochemistry and K–Ar cooling ages of the Ilica, Çataldağ (Balıkesir) and Kozak (İzmir) granitoids, west Anatolia, Turkey. *Geological Journal* 44, 79–103.
- Brinkmann, R., 1970. Geotektonische Gliederung von West-Anatolien. *N.Jb. Geol. Pal. Mh.*, S. 603-608.
- Brinkmann, R. 1971. Kuzeybatı Anadolu'daki genç Paleozoik ve eski Mesozoik. *M.T.A. Derg.*, no. 76, Ankara.
- Brinkmann, R., Flügel, E., Jacobshagen, V., 1972. Trias, Jura und Unterkreide auf der Halbinsel Karaburun (West-Anatolien). *Geol. et Paleontologica*, no. 6 pp. 139-150.
- Bürküt, Y. 1966. Kuzeybatı Anadolu'da Yer Alan Plütonların Mukayeseli Jenetik Etüdü:İTÜ Yayl. İstanbul.
- Bürküt, Y. 1975. Kuzeybatı Anadolu'da granitik plutonlar içindeki Ti, P, Zr, Mn tayini ve dağılımı: MTA Dergi.
- Campbell, A.R., Lueth,V.W., 2008. Isotopic and textural discrimination between hypogene, ancient supergene, and modern sulfates at the Questa mine, New Mexico *Applied Geochemistry*,v.23, p.308.
- Chaussidon, M., Albarede, F., Sheppard, S.M.F., 1989. Sulfur isotope variations in the mantle from ion microprobe analyzes of microsulfur inclusions. *Dünya gezegeni. Bilim. Lett.*, 92. s . 144-156.
- Chaussidon, M., Albarede, F., Sheppard, S.M.F., Sulphur isotope variations in the mantle from ion microprpbe analyses of micro-sulphide inclusions, 1989. *Earth and Planetary Science Letters*, 92, 144-156, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam-Printed in The Netherlands.
- Çağatay, A. 1980. “Batı Anadolu kurşun-çinko yataklarının jeoloji-mineraloji etüdü ve kökenleri hakkında görüşler”, *T.J.K. Bülteni*, 28(2), 119-132.
- Çetinkaya, N., Karul, B., Önal, R., Yenigün, K. 1983. “Türk-Alman Projesi Biga Yarımadası Metalik Madenler (Pb-Zn-Cu) Arama Projesi Raporu”, MTA Rapor No: 7745, Ankara (yayımlanmamış).
- Çiçek, M. , Oyman, T., 2016. Çanakkale, Biga Yarımadası Kuru ve Tesbihdere maden bölgelerindeki epitermal Pb-Zn-Cu ± Au ± Ag yataklarındaki hidrotermal akışkanların kökeni ve evrimi Kuzeybatı Türkiye. *Cevher Jeol. Rev.* , 78 (2016) , s. 176 – 195.

- Çiçek, M., Oyman, T. 2016. "Origin and evolution of hydrothermal fluids in epithermal Pb-Zn-Cu ± Au ± Ag deposits at Koru and Tesbihdere mining districts, Çanakkale, Biga Peninsula, NW Turkey", *Ore Geology Reviews*, 78, 176-195.
- Çolakoğlu, A.R., 2000. The characteristics of Kucukdere epithermal (Havran Balıkesir) gold vein. *Geol. Bull. Turkey* 43, 99–110.
- Delaloye, M., Bingöl, E., 2000. Granitoids from western and north western Anatolia: geochemistry and modelling of geodynamic evolution. *International Geology Review* 42, 241–268.
- Demirela, G. 2011. Çataltepe (Lapseki/Çanakkale) Pb-Zn-Cu-Ag yatağının jeolojisi ve kökeni. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 220 s., Ankara. (yayımlanmamış).
- Demirela, G., Akıska, S., 2022. Evaluation of Pb Isotope Systematics and Metal Sources of the Biga Pb-Zn Province (NW Turkey) and Comparison with the Pb Isotope Systematics of the Rhodope Massif. *Journal of African Earth Sciences* 187, 104445. doi:10.1016/j.jafrearsci.2021.104445.
- Demirela, G., Akıska, S., Sayılı, İ.S., Kuşcu, İ. 2014. "Çataltepe (Lapseki-Çanakkale) Pb-Zn±Cu±Ag Yatağı'nın Jeolojisi ve Alterasyon Özellikleri", *Yerbilimleri*, 35(2), 109-136.
- Dora, Ö. Ö. 1967. "Ezer Güngör'e ait 7/140 no'lu kurşun sahasının (Maden Adası-Ayvalık) metalojenik ve jeolojik raporu", MTA Rapor No: 4628, Ankara (yayımlanmamış).
- Dora, Ö. ve Savaşçın, Y. 1982. Alibey-Maden adaları (Ayvalık) bölgesi magmatizması: Tübitak 7. Bilimsel ve Teknik Kongresi Yerbilimleri Sektörünü Tebliğler Kitabı, 11- 35.69.
- Doyuran, V. 1970. Çanakkale ili, Bayramiç ilçesine bağlı Evciler bucağı ile Dağoba Köyü yolu üzerinde bulunan Pb-Zn zuhurlarının ön etüdü. MTA Rapor No: 4976, Ankara.
- Ercan, T. 1979. Batı Anadolu, Trakya ve Ege Adalarındaki Senozoyik Volkanizması, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara.
- Ercan, T. 1981a. Batı Anadolu Tersiyer volkanitleri ve Bodrum yarımadasındaki volkanizmanın durumu: *İstanbul Yerbilimleri Derg.*, 2|3-4.
- Ercan, T. 1982. Batı Anadolu'nun Genç Tektoniği ve Volkanizması, Batı Anadolu'nun Genç Tektoniği ve Volkanizması Paneli, TJK Yayını, 5-14.
- Ercan, T., Satır, M., Kreuzer, H., Türkecan, A., Günay, E., Çevikbaş, A., Ateş, M. Ve Can, B. 1985. Batı Anadolu Senozoyik volkanitlerine ait yeni kimyasal, izotopik ve radyometrik verilerin yorumu: *Türkiye Jeol. Kur. Bült.*, C.28, 121-136.

- Ercan, T., Satır, M., Türkecan, A., Akyürek, B., Çevikbaş, A., Günay, E., Ateş, M., Can, B.1986. "Ayvalık çevresinin jeolojisi ve volkanik kayaların petrolojisi", *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 19-30.
- Ercan, T.1981b. Kula yöresinin jeolojisi ve volkanitlerin petrolojisi: Doktora tezi, İstanbul Üniv. Yerbilimleri Fak., İstanbul 168 pp.
- Faure, G., 1986. *Principles of Isotope Geology*: John Willey & Sons, 2. baskı, pp. 589.
- Frezzotti, M.L., Tecce, F., Casagli, A., 2012, Raman Spectroscopy for Fluid Inclusion Analysis, *Journal of Geochemical Exploration*, p. 1-20.
- Goldstein, R.H., 2003. Petrographic analysis of fluid inclusions, InI. Samson, A. Anderson and D. Marshall (Eds.), *Fluid Inclusions: Analysis and Interpretation*.
- Golstein, R.H., Reynolds, T.J., 1994, Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals. Society for Sedimentary Geology short Course 31, SEPM, Tulsa, OK, 199pp.
- Harris, A.J.L., Carniel, R., Jones, J., 2005. Erta Ale Lav Gölü'ndeki değişken konvektif rejimlerin belirlenmesi. *J. Volkanol. Jeoterm. Res.* , 142. s. 207 – 223.
- Hutchison, W., Finch, A.A., Boyce, A.J., 2020. The sülfür isotope evolution of magmatic-hydrothermal fluids: insights into ore-forming processes. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 288, s. 176-198. (<https://doi.org/10.1016/j.gca.2020.07.042>).
- İzdar, E. 1975. Batı Anadolu'nun Jeotektonik Gelişimi ve Ege Denizi Çevresine Ait Üniteler ile Karşılaştırılması, E. Ü. Müh. Bilimleri Fak. Yayınları, No:8, İzmir.
- J. Hoefs, J. 2009. *Kararlı İzotop Jeokimyası* (6. baskı), Springer-Verlag , Berlin Heidelberg. s . 285.
- Kaya, O. 1979. Ortadoğu Ege Çöküntüsünün (Neojen) Stratigrafisi ve Tektoniği, *TJK Bülteni*, 22.
- Keskin, S., 2016. Attepe demir Yatağı (Mansurlu Havzası, Adana) ve Çevresi Demir Yatakları ve Zuhurlarının Jeoloji, Yapısal Jeolojisi, Yapısal Özellikleri ve Tektoniği, Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Keppie, F., 2015. How subduction broke up Pangea with implications for the supercontinent cycle, Geological Society, Special Publications, Canada.
- Kılıç, M., Küçükefe, S., Avşar, M., Sarı, R., Vural, A., Pehlivan, N., 2004. Preliminary geological and geochemical data on Kısacık (Ayvacık-Çanakkale) Au mineralization. 57th Geological Congress of Turkey, Extended Abstracts Book, 8–12 March, p. 101 (Abstract).

- Kişman, S., 2007. Harpu (Elâzığ) 'ın Kuzeyindeki Elazığ Magmatitleri İle İlişkili Cu-Pb-Zn Cevherleşmelerinde Sıvı kapanım Çalışmaları, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Anabilim Dalı, Yüksek lisans Tezi, Elazığ.
- Krushensky, R. 1976. Neogene calc-alkaline extrusive rocks of the Karalar-Yeşiller area Northwest Anatolia: Buletin of Volcanology.
- Labidi, J., Cartigny, P., Birck, J.L., Assayag, N., Bourrand, J.J., 2012. Camlarda çoklu kükürt izotoplarının belirlenmesi: MORB δ 34 S'nin yeniden değerlendirilmesi. Kimya Geol., 334. s. 189 -198.
- Li, Y., Liu J., 2006, Sülfürlerde kükürt izotop fraksiyonasyonunun hesaplanması
- MTA, 1989. Balıkesir J18 paftası 1/100.000'lik jeoloji haritası, MTA Genel Müdürlüğü.
- Marini, L., Moretti, R., Accornero, M., 2011. Sulfur Isotopes in Magmatic-Hydrothermal Systems, Melts, and Magmas. Rev. Mineral. Jeokimya., 73, s. 423. (<https://doi.org/10.2138/rmg.2011.73.14>).
- Okay, A. I. 1948. The geology of the A~vanis metamorphic rocks and neighbouring formations Bulletin of the Mineral Research and Exploration Institute of Turkey, 991100, 16-36.
- Okay, A.I., Siyako. M. ve Bürkan. K.M. 1990. Biga Yarımadası'nın jeolojisi ve tektonik evrimi, T.P.J.D Bülteni, 2/1, 83-121.
- Okay, A.İ. and Tüysüz, O. 1999, Tethyan sutures of northern Turkey. In: Durand, B., Jolivet, L., Horvath, F., Seranne, M. (Eds.), The Mediterranean Basins. Tertiary extension within the Alpine Orogen. Geological Society, London, Special Publication, 156, 475-515.
- Okay, A., Göncüoğlu, C. 2004. The Karakaya complex: A review of data and concepts. Turkish Journal of Earth Sciences, 13, 77-95
- Oyman, T. 2010. "Geochemistry, mineralogy and genesis of the Ayazmant Fe-Cu skarn deposit in Ayvalık, (Balıkesir), Turkey", Ore Geology Reviews, 37, 175-201.
- Örgün, Y., Gültekin, A.H., Önal, A. 2005. "Geology, mineralogy and fluid inclusion data from the Arapucan Pb-Zn-Cu-Ag deposit, Çanakkale, Turkey", Journal of Asian Earth Sciences, 25, 629-642.
- Özdemir, A. ve Palabıyık, Y., 2020. Petrol ve doğalgaz kaynak kayası, ofiyolitler, manto sorgucu ve toplu yokolma arasındaki ilişkilere göre Türkiye'nin petrol ve doğalgaz potansiyeli. 4. Uluslararası Bilimsel Çalışmalar Kongresi, 28-30 Eylül 2020 (baskıda)

- Pirajno, F., 1995. Volcanic-hosted epithermal systems in northwest Turkey. *South African Journal of Geology*, 98, 13–24.
- Rapier, M.H., 1998, *Geochemical Evolution at White Island, New Zealand*. Unpubl. M.S. Thesis, Virginia Tech, Blacksburg, VA 65 pp.
- Richards, J.P. 2015. Tetis orojeninin tektonik, magmatik ve metalojenik evrimi: Dalma batmadan çarpışmaya. *Cevher Jeol. Rev.*, 70. s . 323-345.
- Ringwood, A. , (1969): Composition and evolution of the upper mantle. *The Earth's crust and upper mantle: Geophys, Monog*, v: 13, 735 pp.
- Ripley, E.M., Lightfoot, P.C., Li, C., Elswick, E.R., 2003. Sulfur isotopic studies of continental flood basalts in the Noril'sk region: implications for the association between lavaş and ore-bearing intrusions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. s. 2805-2817. ([https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(03\)00102-9](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(03)00102-9)).
- Roedder, E., 1958, Technique for the extraction and partial chemical analysis of fluid filled inclusions from minerals. *Economic Geology*, 53, No.3,235-269.
- Roedder, E.,1984. *Fluid inclusions Reviews in Mineralogy*, Mineral. Soc. America, Washington., v.12, 644p. ROEDDER, E., 1990. Fluid inclusion analysis – Prologue and epilogue. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v.54, pp.495-507.
- Samson, I., Anderson, A., Marshall, D., 2003, *Fluid Inclusions-Analysis and Interpretation*, Mineralogical Association of Canada, Short Course Series, v.32, pp.374.
- Savaşçın, M.Y., Erler, A. 1994. Neogene–Quaternary Magmatism and Related Ore Deposits of Western Anatolia. *International Volcanological Congress, Field excursion Guide book*.
- Seal, I.R., *Sulfur Isotope Geochemistry of Sulfide Minerals*, 2006. *Reviews in Mineralogy Geochemistry*, 61, 633-677.
- Shepherd, T.J., Rankin, A.H., Alderton, D.H.M., 1985. *A practical guide to fluid inclusion studies*. Blackie Glasgow., pp.239.
- Söylemezoğlu, S., Yılmaz, Y., Öngen, S., 2010. Kuzey Batı Anadolu'da Çanakkale-Çan Yöresi Volkanik Kayaçlarının Jeolojik ve Petrolojik Özellikleri ve Evriminin Araştırılması. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul.
- Şengör, A.M.C., Lom, N., Sunal, G., Zabcı, C., and Sancar, T., 2019. The Phanerozoic paleotectonics of Turkey. Part I: an inventory. *Mediterranean Geoscience Reviews*, 1, 1, 91161

- Topkaya, M. 1961. "Balıkesir Ayvalık-Alibey Cunda Adası kurşun madeni jeoloji raporu", MTA Rapor No: 12317, Ankara (yayımlanmamış).
- Touret, J.L.R., 2001. Fluid inclusions in metamorphic rocks, *Lithos*, v.55, pp.1-25.
- Wagner, G. A., Pernicka, E., Seeliger, T.C., Öztunali, O., Baranyi, I., Begemann, F., Schmitt-Strecker, S. 1985. "Geologische untersuchungen zur fruhen metallurgie in NW-Anatolien", *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 100(101), 45-81.
- Yenigün K. 1978. Çanakkale ili, Yenice ilçesi, Çakır köyü Alandere Pb-Zn-Cu cevherleşmesine ait jeolojik rapor. MTA Rapor No: 6564, Ankara.
- Yenigün K. 1980. Çanakkale ili, Yenice ilçesi, Namazgah-Gündoğdu-Sameteli Başkoz Umurlar-Gümüşler köyleri çevresi bakır-kurşun-çinko cevherleşmesi etüt raporu. MTA Rapor No: 6978, Ankara.
- Yılmaz, Y., 1990. Comprisons of the young volcanic associations of the west and the east Anatolia under the compressional regime: A review, *Journal Vocanology and Geology*, 44, 69-87.
- Yıldırım, S., Cengiz, İ., 2004. Geological and geochemical characteristics of Şahinli (Lapseki-Çanakkale) Au-Ag mineralization. MTA, 57th Geological Congress of Turkey, Ankara, March 8-12, 2004, pp. 87-88 (Extended Abstracts).
- Yiğit, O. 2012. "A prospective sector in the Tethyan Metallogenic Belt: Geology and geochronology of mineral deposits in the Biga Peninsula, NW Turkey", *Ore Geology Reviews*, 46, 118-148.
- Yücelay, M.A. 1976. "Çanakkale-Kalkım-Handeresi Pb-Zn-Cu bölgesinin etüdü", MTA Rapor No: 5720, Ankara (yayımlanmamış).
- Zürcher, L., Bookstrom A.A., Hammarstrom, J.M., Mars, J.C., Ludington, S., Zientek, M.L., Dunlap, P., and Wallis, J.C., with contributions from Drew, L.J., Sutphin, D.M., Berger, B.R., Herrington, R.J., Billa, M., Kuşcu, I., Moon, C.J. and Richards, J.P., 2015. Porphyry copper assessment of the Tethys region of western and southern Asia: U.S. Geological Survey Scientific Investigation Report 2010-5090-V, 232 p