

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SÜBEYLİDERE (BURHANIYE-TÜRKİYE) PB-ZN CEVHERLEŞMESİNİN
AKIŞKAN KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Canberk ODABAŞI

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2024

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SÜBEYLİDERE (BURHANIYE-TÜRKİYE) PB-ZN CEVHERLEŞMESİNİN AKIŞKAN KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Canberk ODABAŞI

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Sinan AKISKA

Bu çalışmada, Balıkesir-Burhaniye-Sübeylidere baz metal cevherleşmesinin mineralojik ve petrografik özellikleri, cevher-yan kayaç ilişkileri, kuşak içerisindeki konumları ve cevherleşmeyi oluşturan akışkan(lar)ın sıvı kapanım ve duraylı izotop karakteristiklerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Sübeylidere Pb-Zn cevherleşmesi Miyosen yaşlı volkanitler içerisinde yer almaktadır. Cevher mikroskobisi ile ayırtlanan cevher mineralleri galenit, sfalerit, pirit, kalkopirit, fahlerz grubu minerallerine ek, az miktarda kalkozin ve kovellin bulunmaktadır. Bölgede gelişen gang mineralleri ise kuvars, yer yer silis dolgular ve karbonatlaşmalardır. Sıvı kapanım çalışmalarında elde edilen tuzluluk değerleri % NaCl eşdeğeri olarak kuvarslarda % 0.4-5.0 aralığında değişiklik göstermektedir. Homojenleşme sıcaklıklarının ise 207 ile 419°C aralığında değiştiği belirlenmiştir. Duraylı izotop çalışmaları neticesinde galenit ve sfaleritten elde edilen, -4,40 ‰ ilâ 5.50 ‰ arasında değişen $\delta^{34}\text{S}$ değerleri kükürtün kaynağının magmatik kökenli olduğunu işaret etmektedir. Kuvars ile dengede olan çözeltilerin $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ değerleri ise 2.0-3.5 ‰ arasında değişmektedir. Arazi çalışmalarıyla birlikte desteklenen cevher mikroskobisi, duraylı izotop ve sıvı kapanım verileri değerlendirildiğinde Sübeylidere Pb-Zn cevherleşmesinin kuvars damarları ile ilişkili, mezotermal koşullarda oluşmuş bir cevherleşme olduğunu göstermektedir.

Şubat 2024, 77 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kurşun, çinko, sıvı kapanım, duraylı izotop, Burhaniye, Sübeylidere, mezotermal

ABSTRACT

Master Thesis

DETERMINATION OF FLUID CHARACTERISTICS OF THE SÜBEYLİDERE (BURHANIYE-TÜRKİYE) PB-ZN MINERALIZATION

Canberk ODABAŞI

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

Supervisor: Assoc. Prof. Sinan AKISKA

In this study, the mineralogical and petrographical characteristics of the Balıkesir-Burhaniye-Sübeylidere base metal mineralization, the ore-host rock relationships, their positions within the belt, the fluid(s) that formed the mineralization and stable isotope characteristics were investigated. The Sübeylidere Pb-Zn mineralization was formed within Miocene volcanics. The ore minerals are galena, sphalerite, pyrite, chalcopyrite, fahlore group minerals, and small amounts of calcosine and covellite whereas the gangue minerals are quartz, locally siliceous fillings, and carbonatization. The salinity values obtained in fluid inclusion studies vary between 0.4-5.0 % NaCl equivalent in quartz. Homogenization temperatures were determined to vary between 207 and 419°C. Stable isotope studies show that the $\delta^{34}\text{S}$ values obtained from galena and sphalerite, ranging from -4.40 ‰ to 5.50 ‰, indicate that the source of sulfur is magmatic in origin. The $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ values of the fluid in equilibrium with quartz range from 2.0-3.5 ‰. When evaluated together with fieldwork-supported ore microscopy, stable isotope, and fluid inclusion data, it is shown that the Sübeylidere Pb-Zn mineralization is associated with quartz veins and formed under mesothermal conditions.

February 2024, 77 pages

Keywords: Lead, zinc, fluid inclusion, stable isotope, Burhaniye, Subeylidere, mesothermal

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilimdalı'nda "Sübeylidere (Burhaniye-Türkiye) Pb-Zn Cevherleşmesinin Akışkan Karakteristiklerinin Belirlenmesi" konulu yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez konumun belirlenmesini sağlayan, çalışmamın her aşamasında öneri ve görüşlerini paylaşan, gerek arazi şartlarında gerekse laboratuvar ortamında yaptığım çalışmalarda karşılaştığım sorunlarda beni yönlendiren, yardımını ve desteğini esirgemeyen ve bu çalışmayı yöneten sayın danışmanım Doç. Dr. Sinan AKISKA'ya teşekkür ederim. Lisans ve yüksek lisans eğitimlerin boyunca aldığım dersler ve tavsiyelerle gelişmemi sağlayan değerli bilgilerinden yararlandığım bütün hocalarıma, gerek tez çalışmalarım sırasında gerekse yüksek lisans eğitimimde beni yönlendiren Prof. Dr. Halim MUTLU'ya ve Prof. Dr. Gürol SEYİTOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Arazi ve laboratuvar çalışmalarında emeği geçen Ankara Üniversitesi Yüksek Lisans öğrencisi Dilara ATAK'a, araştırmalarım sırasında fikir ve görüşleriyle katkı sağlayan meslektaşım Habibe EREN KÖROĞLU'na, ofis çalışmalarında bana teknik destek sağlayan meslektaşım Beyzanur KARADEMİR'e, bu süreçte yanımda olan ve manevi destek veren arkadaşım Ayşe AVKAN'a, yüksek lisans eğitimim süresince olduğu gibi hayatımın her anında maddi, manevi beni destekleyen, her daim yanımda olan sevgili annem, sevgili babam ve canım kardeşim'e sonsuz teşekkür ederim.

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

Canberk ODABAŞI
Ankara, Şubat 2024

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	1
1.2 Çalışma Sahasının Tanımı, Konumu ve Coğrafi Şartları	2
2. MATERYAL ve YÖNTEM.....	4
2.1 Arazi (Saha) Faaliyetleri.....	4
2.2 Laboratuvar Çalışmaları.....	4
2.2.1 Parlak kesitlerin hazırlanması ve polarizan mikroskopi çalışmaları	4
2.2.2 Cevher mikroskobisi çalışmaları	5
2.2.3 Duraylı izotop çalışmaları	5
2.2.4 Sıvı kapanım çalışmaları	6
2.3 Büro (Ofis) Çalışmaları	7
3. ÖNCEL ÇALIŞMALAR	8
3.1 Genel Jeoloji Çalışmaları	8
3.2 Cevherleşme Çalışmaları.....	12
4. GENEL JEOLJİ.....	15
4.1 Bölgenin Jeodinamik Evrimi.....	15
4.2 Bölgesel Jeoloji	18
4.3 Stratigrafi.....	21
4.3.1 Halilağa Grubu.....	21
4.3.1.1 Kınık formasyonu	21
4.3.2 Kozak granodiyoriti	22
4.3.3 Yuntdağ volkanitleri	22
4.3.4 Ballica formasyonu	23

4.3.5 Soma formasyonu.....	23
4.3.6 Rahmanlar aglomerası.....	24
4.3.7 Alüvyon ve yamaç molozu	24
5. ARAŞTIRMA VE BULGULAR.....	26
5.1 Çalışma Alanının Jeolojisi ve Cevherleşme	26
5.2 Mineraloji-Petrografi.....	31
5.2.1 Yoğun altere andezit	31
5.2.2 Altere andezit.....	35
5.3 Cevher Mikroskobisi.....	37
5.4 Mikrotermometrik İncelemeler	42
5.4.1 Giriş	42
5.4.2 Sıvı kapanım çalışmaları	44
5.4.3 Sıvı kapanım petrografisi	45
5.4.4 Mikrotermometrik ölçümler	48
5.5 Duraylı İzotop Çalışmaları.....	53
5.5.1 Oksijen izotop çalışmaları	53
5.5.2 Kükürt izotop çalışmaları.....	54
6. TARTIŞMA	58
6.1 Mikrotermometrik İncelemeler	58
6.2 Duraylı İzotop Çalışmaları.....	60
6.2.1 Oksijen izotop çalışmaları	60
6.2.2 Kükürt izotop çalışmaları.....	61
7. SONUÇLAR	64
KAYNAKLAR	67
EKLER.....	74
ÖZGEÇMİŞ.....	77

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

%	Yüzde
°C	Santigrat
µm	Mikrometre
‰	Binde
Au	Altın
Ag	Gümüş
Ar	Argon
As	Arsenik
C	Karbon
Ca	Kalsiyum
CH ₄	Metan Gazı
Cl	Klor
ClF ₃	Klor Triflorür
cm	Santimetre
CO ₂	Karbondioksit
Co	Kobalt
Cr	Krom
Cs	Sezyum
Cu	Bakır
Fe	Demir
gr	Gram
HCl	Hidroklorik asit
H ₂ S	Hidrojen Sülfür
K	Potasyum
KCl	Potasyum Klorür (Silvit)
Km	Kilometre
Mn	Mangan
Mo	Molibden
mm	Milimetre
m	Metre
NaCl	Sodyum Klorür (Halit)
Ni	Nikel
O	Oksijen
Pb	Kurşun
ppm	Milyonda bir kısım
P	Fosfor
S	Kükürt
Sb	Antimon
SiO ₂	Silisyum dioksit / silika
Sr	Stronsiyum
T	Kelvin
Ti	Titanyum
Tm	Tulyum
U	Uranyum

V	Vanadyum
Zn	Çinko
Zr	Zirkonyum
$\delta^{34}\text{S}$	Kükürt kararlı izotoplarının ^{34}S : ^{32}S 'nın binde olarak ifadesi

Kısaltmalar

Agl	Anglezit
Bt	Biyotit
Chl	Klorit
Crpx	Klinopiroksen
ÇN	Çift nikol
Fl	Fahlerz grubu mineraller
G	Güney
GB	Güneybatı
GD	Güneydoğu
Gl	Galenit
Hbl	Hornblend
K	Kuzey
KB	Kuzeybatı
Krb Vein	Karbonat Damarı
Kp	Kalkopirit
Kvl	Kovellin
Lm	Limonit
MTA–MAT	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü / Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
My.	Milyon Yıl
Opx	Ortopiroksen
Pl	Pljioklaz
Pr	Pirit
Prk	Piroksen
Qz	Kuvars
Sf	Sfalerit
Sr	Seruzit
Srp	Serpantin
SrQ	Şeker Kuvarsı
Th	Son buz erhime sıcaklığı
Tm	Ergime sıcaklığı
TN	Tek nikol

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Çalışma alanının yerbulduru ve örnek alım lokasyonlarının haritası	3
Şekil 4.1 Türkiye'nin tektonik birlikleri (Okay ve Tüysüz, 1999'dan alınmıştır).....	15
Şekil 4.2 Çalışma Alanı, J18-a1 paftası genel jeoloji haritası haritası (MTA 1989' dan değiştirilerek alınmıştır.)	20
Şekil 4.3 Çalışma alanının stratigrafik kesiti (Akyürek, 1989'dan değiştirilerek düzenlenmiştir).....	25
Şekil 5.1 İnceleme alanı ve çevresinin 1/25.000 'lik genel jeoloji haritası (MTA 1989' dan değiştirilerek alınmıştır.).....	26
Şekil 5.2 Çalışma alanını gösterir A-A' enine kesiti.....	27
Şekil 5.3 İnceleme alanında gözlenen altere andezit kayaç örnekleri.....	27
Şekil 5.4 Andezitik kayaçta gözlenen normal fay.....	28
Şekil 5.5 Kırık hattı boyunca gelişen silis damarı ve bu zondan alınan cevherli kayaç örnekleri.....	28
Şekil 5.6 Yan kayaç içerisinde gelişmiş yaklaşık D-B uzanımlı ve K30°B doğrultulu ağsal damar sistemi.....	29
Şekil 5.7 Hidrotermal alterasyon sonucu gelişen 10-14 cm kalınlığındaki silis damarı.	29
Şekil 5.8 Yan kayaç içerisinde gelişmiş DB/20°G ve K50°B/35°KD doğrultulu birbirini kesen cevherli silis damarı.....	30
Şekil 5.9 a,b Porifiritik dokulu yoğun altere andezitte killeşmiş plajiyoklaz ve biyotit taneleri (a: T.N, b: Ç.N.). c,d Yoğun alterasyona uğramış hornblend ve içerisinde mevcut opak mineraller (c: T.N, d: Ç.N.). e,f İri taneli plajiyoklaz içerisinde karbonat damarı (e: T.N, f: Ç.N.). g,h Killeşmiş plajiyoklaz, hornblend taneleri ve iri taneli kuvars minerali (g: T.N, h: Ç.N.). ı,j Polisentetik ikizlenmeli plajiyoklaz (ı: T.N, j: Ç.N.).....	33
Şekil 5.10 a,b Porifiritik dokulu hornblendin c-eksenine dik kesiti ve plajiyoklaz taneleri (a: T.N, b: Ç.N.). c,d Galenitin tipik üçgen kamaları, (c: T.N, d: Ç.N.), e,f Kesitte bulunan killeşmiş plajiyoklazlar, hornblendin c-eksenine dik kesiti ve içerisinde opaklaşmalar, (e: T.N, f: Ç.N.), g,h Özşekilsiz kuvars taneleri ve killeşmiş plajiyoklaz mineralleri, (g: T.N, h: Ç.N.),.....	34
Şekil 5.11 a,b,c Andezit içinde gelişen silis damarı ve ince kesitte hamur içerisinde kuvars damarı görünümü (b: T.N, c: Ç.N.), d,e,f Cevherleşmeyle gelişen silis dolgu; ince kesitte cevher taşınımıyla gelişen kuvars ve şeker dokulu kuvars görünümleri (e: T.N, f: Ç.N.), g,h,ı Yan kayaçta gelişen polisentetik	

ikizlenme gösteren plajiyoklaz ve opak mineraller (h: T.N, ı: Ç.N.), j,k,l Yan kayaçta glemoporfirik dokulu ortopiroksen görünümü (k: T.N, l: Ç.N.), m,n,o Yan kayaçta killeşmiş klinopiroksen ve opak mineraller (n: T.N, o: Ç.N.) ... 36

Şekil 5.12 a.Serbest halde bulunan pirit (Pr) kalıntıları, b. Öz şekilli pirit (Pr) taneleri, c.Limonit (Lm) kristalleri içerisinde gözlenen pirit (Pr) kalıntıları, d. Piritlerin (Pr) kenar kırık kesimlerinde gelişen limonitleşmeler 38

Şekil 5.13 a.Sfaleritin (Sf) kenar kısımlarında gelişen kalkopirit (Kp), b.Limonit (Lm) mineralleri içinde gelişen kalkopirit (Kp), kristalleri, c.Kalkopiritle (Kp) iç içe gelişen ve çevreleyen fahlerz (Fl) grubu mineraller, d.Pirit (Pr) ve Kalkopirit (Kp) kristallerinin tane kenarlarını çevreleyen fahlerz (Fl) grubu mineraller 39

Şekil 5.14 a.Galenitin (Gl) kenar kesiminde oluşan Fahlerz (Fl) Grubu Mineraller, b. Tipik üçgen dilinimli Galenit (Gl) örneği, c. Sfalerit (Sf) tanesi arasında gözlenen tipik galenit örneği, d. Galenit (Gl) tanelerin kenar kısmında gelişen seruzit (Sr) ve anglezit (Agl), e,f. Seruzit (Sr) ve anglezitin (Agl) galeniti ornatımı ve galeniti sarmalayan parlak mavi renkli kovellin (Kvl) gelişimi.. 40

Şekil 5.15 Galeriden alınan ve saçınımlı cevherle bulunan kuvars kristallerince gelişmiş kapanım birliklerinin üstten aydınlatmalı optik mikroskop görüntüleri a,c,d Birincil kökenli iki fazlı kapanımlardır, mercek, yuvarlak/elipsoidal, düzensiz biçimde ve $< 1-70.0 \mu\text{m}$ arasında değişen boyutlara sahiptir. b tek fazlı (gaz) kapanımdır, yuvarlak/elipsoidal biçimde ve $< 1-32.8 \mu\text{m}$ arasında değişen boyutlara sahiptir. 47

Şekil 5.16 Sahanın kuzey ve güney yamacından alınan kuvars kristallerince gelişmiş kapanım birliklerinin üstten aydınlatmalı optik mikroskop görüntüleri a,b,c Birincil kökenli iki fazlı kapanımlardır, mercek, üçgen, yuvarlak/elipsoidal, düzensiz biçimde ve $< 2-26.4 \mu\text{m}$ arasında değişen boyutlara sahiptir. d tek fazlı (gaz) kapanımdır, yuvarlak/elipsoidal, düzensiz biçimde ve $< 1-13.0 \mu\text{m}$ arasında değişen boyutlara sahiptir..... 48

Şekil 5.17 Birincil kökenli iki fazlı gelişen (sıvı+gaz) kapanımların homojenleşme sıcaklıklarının (Th°C), A) Galeri'de taraklı yapıda bulunan kuvars mineralinin 240-360°C arasındaki sıcaklıklarda, B) Saçınımlı cevherle birlikte gözlenen kuvars mineralinin 240-280°C arasındaki sıcaklıklarda, C) Sahanın kuzey yamacında silis dolguyla bulunan kuvars mineralinin 310-380 °C arasındaki sıcaklıklarda, D) Sahanın güney yamacında silis dolguyla bulunan kuvars mineralinin 270-350 °C arasındaki sıcaklıklarda yoğunlaştıklarını gösterir dağılım histogramları 50

Şekil 5.18 Sıvı kapanımlardan elde edilen sonuçlara göre homojenleşme sıcaklığı (Th) ve % NaCl eş değeri tuzluluk arasındaki bağlantıyla oluşturulmuş %NaCl-Th-Yoğunluk diyagramı (Wilkinson, 2001'in Wt%NaCl-Th-Yoğunluk diyagramı)..... 51

Şekil 5.19 Sistemde faz ilişkilerini gösteren basınç-tuzluluk-derinlik diyagramı (Bouzati ve Clark, 2006'dan alınmıştır).....	52
Şekil 5.20 Doğada bulunan oksijen izotop rezervuarları. Veriler, Taylor (1974), Sheppard (1977) ve Hoefs (1987)'den alınmıştır.....	54
Şekil 5.21 Kükürt içeren çeşitli ortamlara ait $\delta^{34}\text{S}$ (‰) değerlerinin dağılımını belirten çizelge (Nielsen, 1979).....	57
Şekil 6.1 Sübeylidere Pb-Zn cevherleşmesinin homojenleşme sıcaklığı (Th)- %NaCl eşdeğeri tuzluluk değerlerinin Maden yatak tipleri verileriyle karşılaştırılması (Roedder, 1984'ten alınmıştır).	59
Şekil 6.2 Sübeylidere Pb-Zn yatağında kuvars örnekleri ile denge halindeki cevher oluşturan sıvının hesaplanmış oksijen izotopik değerlerine karşı homojenleşme sıcaklığının grafiği (Taylor, 1979; Pope vd., 2012; Wang vd., 2017; Duuring vd., 2018)	61
Şekil 6.3 a.Farklı kayaç tipleri, jeoloji ortam koşulu ve cevherleşme/cevher tiplerinin $\delta^{34}\text{S}$ (‰) değişimi (Ohmoto ve Rye, 1979; Field ve Fifarek, 1985; Hoefs, 1987), b Çalışma sahasından alınan galenit ve sfalerit mineralleri ilişkisi sonucu çıkarılan $\delta^{34}\text{S}$ (‰) izotop değişimleri	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 5.1 Hidrotermal sıvının kırık-çatlak sistemiyle getirdiği birincil, ikincil ve gang mineraller.....	37
Çizelge 5.2 Yan kayaçta gelişen cevherleşmelerin mineral süksesyonu	41
Çizelge 5.3 Galeri’de taraklı yapıda bulunan kuvars mineralline ait birincil kökenli iki fazlı gelişen (sıvı+gaz) kapanımların ölçülen homojenleşme sıcaklıklarını (Th °C), son buz ergime derecesi (Tm °C) ve bu ölçümlere göre hesaplanan tuzluluk ve kütle yoğunluk değerleri	51
Çizelge 5.4 Sübeylidere Pb-Zn yatağının oksijen izotop değerleri.....	53
Çizelge 5.5 Sübeylidere Pb-Zn cevherleşmesinde cevher tiplerine göre alınan örneklerde $\delta^{34}\text{S}$ (‰) izotopik bileşim değerlerini gösteren çizelge.....	56
Çizelge 6.1 Epitermal ve mezotermal yatak tiplerinin sıvı kapanım karakteristikleri (Wilkinson, 2001).....	59

1. GİRİŞ

Polimetallik cevherleşmeler için önemli bir bölge olan Kuzeybatı Anadolu, Pb-Zn yatak oluşumlarının yanı sıra Au, Cu, Ag ve Mo gibi cevherleşmeler açısından da zengindir. Tetis okyanusunun kapanması sonucu gelişen Alpin-Himalaya orojenezi ülkemizde pek çok polimetallik ve skarn yatağının oluşmasına yol açmıştır (Yiğit, 2009, 2012; Richards, 2015). Kıta-kıta çarpışmasını takiben gerçekleşen magmatizma, söz konusu kenet zonu boyunca Au, Ag, Pb, Zn, Cu, Fe, Mo gibi cevherleşmelerin gelişimini sağlayan akışkan getiriminde önemli rol oynamıştır. Kuzeybatı Anadolu'da magmatizma olaylarının etkili olduğu Eosen-Kuvaterner döneminde, özellikle Biga Yarımadası ve çevresindeki cevher oluşumları uzun senelerdir araştırmacıların ilgisini çekmektedir. 1950'li yıllarda MTA tarafından prospeksiyon çalışmalarının başlatıldığı bölgede (örn. Himam, 1942; Kaaden, 1957; Kızılkaya, 1965; Kara, 1984; Türkecan vd., 1984), son yıllarda, yan kayaç ve cevher minerallerinin jeokimyası, sıvı kapanım, radyojenik ve duraylı izotop bileşimlerini konu alan araştırmalar ön plana çıkmıştır (örn. Ağdemir vd., 1994; Orgün vd., 2005; Aysal vd., 2006; Bozkaya vd., 2008; Bozkaya ve Gökçe, 2009; Akıska, 2010; Oyman, 2010; Bozkaya, 2011; Demirela, 2011; Akıska vd., 2013; Akıska ve Demirela, 2014, 2022; Demirela vd., 2014; Çiçek ve Oyman, 2016; Akıska, 2020; Demirela ve Akıska, 2022; Demirela vd., 2023). Bu çalışmalardan yola çıkarak, Sübeylidere-Burhaniye baz metal cevherleşmesinin akışkan karakteristiklerinin belirlenerek, bölgedeki jeolojik oluşumların ve jeodinamik evriminin cevherleşmeye etkisi ve ana kayacın mineralojik, petrografik özelliklerinin ortaya konulması çalışmanın ana hedefini oluşturmaktadır.

1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Ayvalık ve çevresinde birçok araştırmacı tarafından daha önce polimetallik cevherleşmeler çalışılmış olmasına karşın Burhaniye-Sübeylidere civarında yalnızca MTA tarafından (Sübeylidere Pb-Zn cevherleşmesi) Pb-Zn zuhuru gözlenmiştir. Tezin konusunu oluşturan bu cevherleşme ile ilgili olarak MTA'nın yapmış olduğu bir çalışma dışında (Ünal ve İzdar, 1963) hiçbir çalışma yapılmadığı belirlenmiştir.

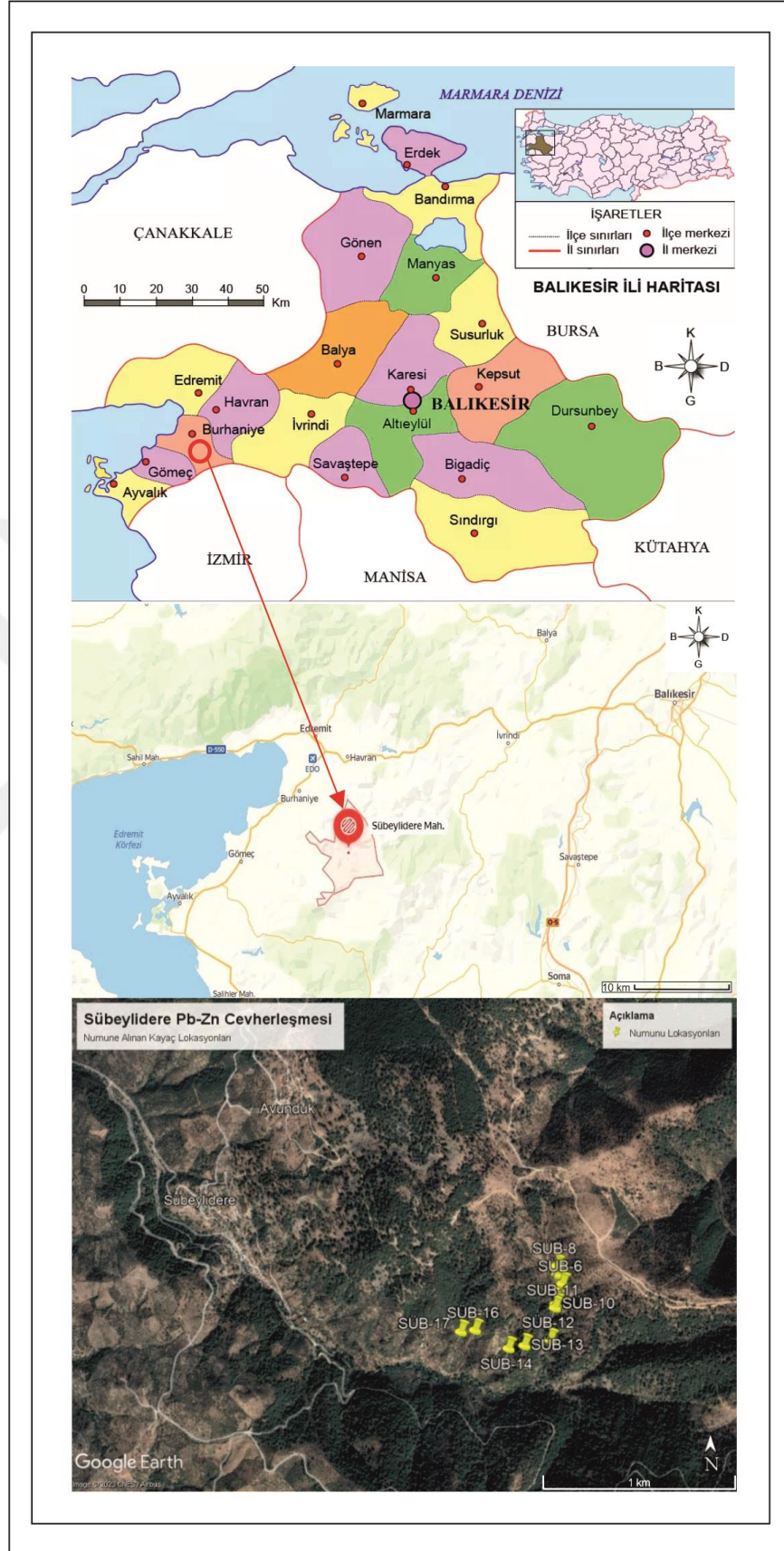
Bunu esas alarak tez çalışması sırasında önceki çalışmalara ek olarak Balıkesir-Burhaniye-Sübeylidere baz cevherleşmesinin mineralojik ve petrografik özellikleri, cevher-yan kayaç ilişkileri, kuşak içerisindeki konumları ve cevherleşmeyi oluşturan akışkan(lar)ın sıvı kapanım ve duraylı izotop karakteristiklerinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

1.2 Çalışma Sahasının Tanımı, Konumu ve Coğrafi Şartları

Çalışma sahası 1/100.000 ölçekli J18 paftası dâhilinde, Türkiye'nin Balıkesir ili, Burhaniye ilçesinin 12 km güneydoğusunda bulunan Sübeylidere köyü ve civarındadır. Tez sahası kuzeyde Yaylacık ve Kurucaoğlu, batıda Sübeylidere Köyleri ile güneyde Kırtık Güzeli bölgesini birleştiren hatlarla sınırlanmaktadır. Burhaniye ilçesine erişim, İstanbul-Çanakkale-İzmir ve İstanbul-Balıkesir-İzmir karayolu vasıtasıyla mümkündür. Çalışma alanı olan Sübeylidere köyü ve çevre köyler arası yollar genellikle asfalttır (Şekil 1.1).

Balıkesir ili genellikle tepelerin hâkim olduğu 1800 metreleri bulan dağların da yer aldığı bir kenttir. Burhaniye İlçesi Sübeylidere köyü ve çevresine bakıldığında topografyanın engebeli, sık ağaçlık ve yer yer tarlaların hâkim olduğu, civardaki tepelerin ise 600-700 rakımına ulaşmış olup, derelerin mevsimsel özellik taşıdığı ve yazları kurak olduğu gözlemlenmiştir.

Sübeylidere Pb-Zn cevherleşmesinin gözlemlendiği alan Avunduk Tepesinin yamacında yer almakta olup, mevsimsel akış gösteren Kestanelik Deresi içinden geçilerek alana ulaşım sağlanabilmektedir.



Şekil 1.1 Çalışma alanının yerbulduru ve örnek alım lokasyonlarının haritası

2. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu tez kapsamında saha faaliyetleri sırasında gözlemlenen jeolojik birimlerin ve cevherleşmelerin kökenlerini ve evrimini belirlemek amacıyla alınan el örneklerinin laboratuvar ortamında analizleri gerçekleştirilmiş olup, elde edilen analiz sonuçları ve saha gözlemleri, ofis (büro) ortamında değerlendirilerek tez çalışması kapsamında sunulmuştur. Bu kapsamda çalışmalar üç kademe oluşturulmuştur.

2.1 Arazi (Saha) Faaliyetleri

Saha faaliyetleri 2022 yılı Eylül ayında yapılmıştır. Bölgede yapılan çalışmalarda, Alt Miyosen-Pliyosen yaşlı volkanitler cevher damarının bulunduğu ana kayacı oluşturmaktadır. Bölgede bulunan ana kırık hattının en belirgin bulunduğu yer, eski dönemlerde işletilmek üzere açılmış ancak günümüzde işletilmeyen galeri ağzında saptanmıştır. Bu ana kırık hattı doğu-batı ve kuzey-güney yönelimli oluşmuş ve cevher getirmesi yaptığı anlaşılmıştır. Ana kırık sisteminden uzaklaştıkça volkanitler içerisinde gözlenen benzer kırık hatları oluşmuş ve silis damarları gelişmiştir. Silis damarlarıyla birlikte gözlenen cevherleşmeler ağsal ve saçınımlı şekilde bulunmaktadır. Arazi çalışmaları sonucunda volkanitlerde saptanan cevherli damarların doğrultu-eğimleri ve kalınlıkları ölçülmüştür. Sübeylidere Pb-Zn cevherleşmesiyle ilişkili toplamda 17 adet yan kayaç ve cevherli kayaç örneği sistematik olarak alınmış ve laboratuvar çalışmaları için hazırlanmıştır.

2.2 Laboratuvar Çalışmaları

2.2.1 Parlak kesitlerin hazırlanması ve polarizan mikroskopi çalışmaları

Arazi çalışması kapsamında alınan kayaçların petrografik incelemeleri için toplam 17 tane ince kesit, Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği İnce Kesit Hazırlama Laboratuvarı 'nda hazırlanmıştır. Örneklerin boyutları 0,5x2x4 cm ebatlarında ve pürüzsüz olacak şekilde hazırlanmış olup, 1mm kalınlığındaki cam üzerlerine araldit

madde kullanılarak yapıştırılmıştır. 0,025 mm kalınlık elde edilinceye kadar çeşitli aşındırıcı malzemeler yardımıyla inceltılmıştır.

Leica marka DM/LSP model polarizan mikroskopta petrografik açıdan tanımlamalar yapmak üzere ince kesit analizleri gerçekleştirilmiştir. Kayacın mineralojik bileşim-doku özelliklerini yansıtan en iyi örnekler seçilip tez çalışmasına eklenmiştir.

2.2.2 Cevher mikroskobisi çalışmaları

Araştırma yapılan alanda kırık-çatlak zonları boyunca hidrotermal akışkanın getirmiş olduğu malzemeler sonucu gelişen cevherleşmelerden alınan örneklerden seçilerek Maden Analizleri ve Teknoloji / Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Dairesi Mineraloji-Petrografi Laboratuvarları Birimi'nde 4 tane parlatma kesiti hazırlanmıştır.

Cevherli örnekler inceleme öncesi silindirik olacak şekilde polyester ile kaplanarak numunenin sabitlenmesi gerçekleştirilmiş ve çeşitli boyutlardaki aşındırma tozları ve parlatma solüsyonlarıyla parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Leitz ORTHOLUX model üstten aydınlatmalı cevher mikroskobuyla cevher-yankayaç ilişkileri, cevher oluşumu, gang mineralleri ve parajenez tespitleri yapılmıştır. Mineral ve cevher yapısı tipik özellikleri yansıtan örneklerden üstten aydınlatmalı cevher mikroskobu ile fotoğraflar çekilmiş ve teze eklenmiştir.

2.2.3 Duraylı izotop çalışmaları

İzotop çalışmaları oksijen ve kükürt izotopu olmak üzere iki farklı aşamada yürütülmüştür. Oksijen izotop analizi için gönderilen 3 numunede kuvars mineralleri, kükürt izotop analizi için gönderilen 6 numunede galenit ve sfalerit mineral örnekleri üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Analizi gerçekleştirmek için örnekler 0,5 mm kalınlığında olacak şekilde kırılmış ve binoküler mikroskop altında elle seçme yöntemi kullanılarak ince uçlu cımbız ile ayırılmıştır. Bu yöntemle mineral saflığı oluşturularak, yaklaşık 1 gr olacak şekilde örnekler hazırlanmıştır.

Arizona Üniversitesi Çevresel İzotop laboratuvarında sülfidlerdeki $\delta^{34}\text{S}$ izotop verileri için daimi akış-gaz ölçekli kütle spektrometre (ThermoQuest Finnigan Delta PlusXL) cihazında SO_2 gaz değeri ölçülmüştür. Ölçümler için kütle spektroskopisiyle ilişkili element analizöründen faydalanılarak oksijen-karbon gazı ve V_2O_5 ile örnekler 1030°C 'de yakılmıştır. OGS-1 ve NBS-123 uluslararası standartları temel alınmıştır. Ölçümlemesi -10 ile $+30$ ‰ arasında olup ± 0.15 ‰ duyarlılığında ölçülmüştür.

Oksijen izotopu analizi için ayırtlanmış örnekler Lausanne Üniversitesi (İsviçre) Duraylı İzotop laboratuvarına gönderilmiştir. Numuneler CIF_3 ile CO_2 laser ısı kaynağından yararlanılarak lazer florinasyon tekniğiyle 150 °C 'yi aşkın sıcaklıkta analiz edilmiştir. Oksijen oranlarında standart okyanus suyu (Standart Mean of Oceanic water -SMOW) kullanılmıştır.

2.2.4 Sıvı kapanım çalışmaları

Sıvı kapanım analizleri, inceleme alanında bulunan kuvars örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Örnekleri $80-150$ µm çapında iki yüzü parlatılmış ince kesitler olacak şekilde, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Maden Analizleri ve Teknolojisi Daire Başkanlığı Laboratuvarları'nda incelemeye hazır hale getirilmiştir. Standartları sağlayan sıvı kapanım içeriği bulunan numunelerden $0,5$ cm yarıçapından daha ufak parçalar haline getirilerek sıvı kapanım ve çeşitleri belirlenmeye çalışılmıştır. Maden Analizleri ve Teknolojisi Daire Başkanlığı Laboratuvarları'nda yapılan sıvı kapanım ölçümleri sırasında Leica DMLP polarizan mikroskobu üzerine Linkam THMG-600 ısıtma-soğutma cihazı ile 600 °C ısıtma ve -196 °C soğutma isteğe bağlı kontrol edilebildiği gibi, Linksys-32 DV software yazılımı ile dijital ortamda da denetimi yapılarak ısı değişimleri belirlenmiştir. Bu veriler ışığında mineralin oluşum sıcaklığı ve tuzluluğu ile cevherleşmeyi meydana getiren akışkan(lar)ın karakteristikleri hakkında bilgiler elde edilmeye çalışılmıştır.

2.3 Büro (Ofis) Çalışmaları

Ofis çalışmalarında, arazi ve laboratuvar faaliyetleri neticesinde ulaşılan veriler yorumlanmıştır. Arazide çizilen kesitler ve jeolojik gözlem verileri CorelDraw Graphics Suite X7 ve Arc GIS 10.5 programları aracılığıyla bilgisayar ortamında yeniden oluşturulmuş ve teze aktarılmıştır. Önceki çalışmalardan elde edilen verilerin ışığında ulaşılan jeolojik haritada, incelenmek üzere sahadan alınan örnek noktaları gösterilmiştir.

Arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları gereğince ulaşılan tüm sonuçlar bir araya getirilmiş olup, “Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu” ‘nda belirtilen şartlar sağlanarak tez yazımı gerçekleştirilmiştir.

3. ÖNCEL ÇALIŞMALAR

Batı Anadolu ve çevresinde birçok araştırmacı tarafından jeolojik, sedimantolojik, tektonik, magmatizma, volkanizma ve bunlarla ilişkili cevherleşmeler çalışılmış olmasına karşın günümüzde de halen bu çevredeki çalışmalara devam edilmektedir. Tezin amacına yönelik olarak incelenen çalışmalar tarihsel sıralamaya göre iki alt başlık altında sunulmuştur.

3.1 Genel Jeoloji Çalışmaları

Bürküt (1966), Kuzeybatı Anadolu'da ve Istranca masifinde yer alan plütonların mutlak yaşı hakkında radyokronolojik bir analiz sonucunda jenetik karşılaştırmasını yaparak kökenini bulmaya çalışmıştır.

Bingöl (1968), Batı Anadolu ve Ege bölgesinin jeolojik, petrografik ve jeofizik verilerle jenetik evrimini değerlendirmiş ve bölgenin Üst Tersiyer dönemine kadar eş jenetik evrim geçirdiği belirtmiştir. Pliyo-Kuvaterner dönemde Batı Anadolu'dan başlayarak Yunanistan doğusuna uzanan hat boyunca güneye yönelik hareket etme ihtimalini, Kretase döneminde Manisa-Balıkesir-Eskişehir hattında bulunan bir yitim zonuna denk geldiğini açıklamıştır.

Bürküt (1968), Batı Anadolu'da bulunan granitik plütonların içerdikleri elementlerin (Ti, P, Zr, Mn ve V) dağılımlarının düzenliliği nedeniyle petrojenetik açıdan aynı magmatik köken veya fasiyese ait olduklarını savunmuştur.

İzdar (1968), Kozak granit masifi ve çevresine ait kayaçların içinde belirlenen tektonik bilgiler neticesinde, kayaçların yayılımı ve kökenlerini temel alarak bölge kayaçlarını üç grupta toplamıştır. Bunlar; Paleozoik yaşlı yankayaçları, granodiyorit sokulum kitlesi ve genç dönem volkanitleridir. Kozak granodiyorit ve çevresine ait 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası sunmuşlardır.

Borsi vd. (1972), Kuzeybatı Anadolu ve Midilli adasında yer alan volkanitlere yönelik jeokronolojik ve petrolojik araştırmalar ışığında, Batı Anadolu'nun Alt-Orta Miyosen boyunca çoğunlukla Alt Miyosen yaşı, minör asit ve bazik ürünlerle ilişkili kalkalkali volkanizmanın hakimiyetinde olduğunu belirlemişlerdir. Batı Anadolu'nun en önemli volkanik aktivitesinin latit-andezitlerden dasit ve riyodasitlere doğru bir gelişim gösteren orojenik bir tabakaya bağlandığını ve denizel ortam sedimentler ve\veya tortul tabakaların tektonik bölümlerinden geliştiğini açıklamışlardır.

Benda vd. (1974), Kuzeybatı Anadolu'da gözlenen Tersiyer yaşı gösel çökellerde bulunan spor ve polenlerin yaş tayinini yaparak, gösel çökellerle ardalanmalı yer alan eş zamanlı volkanik tüflerin radyometrik yaşlarını ortaya çıkarmışlardır.

Ataman (1975), Batı Anadolu'da gelişen Plütonlar üzerinde araştırmalar yapmıştır. Rb/Sr yöntemiyle Kozak granodiyoritindeki jeokronolojik araştırmalar sonucunda 13, 16 ve 23 my. yaşlarını ileri sürmüştür.

İzdar (1975), Batı Anadolu'nun jeotektonik açıdan ilerleyişini ve Ege Denizi'nde bulunan birimleri incelemiştir. Kuzeybatı Anadolu'da gelişmiş birimlerin yapısal yönlenmeleriyle kıyaslayarak magmatik gelişimlerdeki genişleme ve daralma devinimleri ile açıklamaya çalışmıştır.

Krushensky (1976), Kuzeybatı Anadolu'da Neojen yaşı intrüzif kayaçları inceleyerek petrolojik ve jeokronolojik çalışmalar yapmış, volkanik ve plütonik kayaçların tükenen bir okyanus kabuğunun belirli miktarda erimesi ile ortaya çıktıkları sonucuna varmıştır.

Akyürek ve Soysal (1978), Batı Anadolu'daki bütün kayaç birimlerinin detaylı stratigrafik çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Bölgedeki çeşitli kırıntılı kayaçlardan oluşan ve yeşil şist fasiyesinde metamorfizma geçirdiği gözlemlenen birimi "Kınık formasyonu" olarak adlandırmışlardır. Bölgenin 1/100.000 ve 1/50.000 ölçekli detaylı jeoloji haritalarını hazırlamışlardır.

Ayan (1979), Batı Anadolu'da bulunan Eybek ve Kozak plütonlarının hornblendli granodiyorit içeriğine sahip olduklarını ortaya çıkarmışlardır, Eybek plütonunun yaşını ise (24 - 33 my.) radyometrik ölçümler sonucunda bulmuşlardır.

Şengör ve Yılmaz (1981), Eosen sonunda Sakarya kıtasıyla Pontid kıtasının çarpışmasının okyanusal tabanının yitimi sonucu gerçekleştiğini açıklamışlardır. Bu çarpışma neticesinde Batı Anadolu'da Miyosen yaşlı kıta içi volkanitler ve Paleosen-Eosen yaşlı yay volkanizması meydana gelmiştir. Batı Anadolu'daki Miyosen yaşlı asidik kalkalkalen volkanizmanın kısmı ergimeler sonucunda, kıta kabuğunun kalınlaşmış kısımlarındaki kırık sistemlerden yüzeye ulaştığını ve bu asidik volkanizmanın güncel yaşlara doğru gelindikçe bazikleştiğini belirtmişlerdir.

Bingöl vd. (1982), Batı Anadolu'da bulunan granitik plütonların tamamında petrokimyasal ve jeokronolojik faaliyetler yapmışlardır. Kozak plütonunun (37.8, 24.8, 24.2 ve 20.3 my.'lık) radyometrik yaşlarını verdiğini belirtmişlerdir ve monzogranodiyorit ile monzogranit olarak adlandırılabilceğini öne sürmüşlerdir.

Dora ve Savaşın (1982) , Ayvalık ve çevresindeki volkanizmanın kalkalkalin türden başlayıp alkali karaktere dönüştüğünü belirtmişlerdir. Bölgedeki genişleme tektoniğine bağlı olarak, Ayvalık çevresindeki genç magmatik faaliyetler ile damar kayaçları ve alkali karakterdeki volkanizmanın bu tektonikle birlikte evrim geçirdiğini ileri sürmüşlerdir.

Ercan (1982), Kula bölgesi ve çevresindeki volkanitleri ayrıntılı olarak çalışmıştır. Alkalin nitelikte olan volkanitleri, Ege Adaları ve Batı Anadolu'da bulunan Senozoyik yaşlı alkali bileşimde olan volkanitlerle kıyaslamıştır. Kula bölgesinde incelediği volkanitleri K/Ar yöntemiyle yaşlandırıp, haritalandırmıştır.

Ercan vd. (1985), Batı Anadolu'daki farklı formasyonlarda bulunan volkanik kayaçlara ait jeokimyasal element içeriklerinin izotop karakterlerini belirlemişlerdir. Volkanik

kayaçları K/Ar metoduyla radyometrik yaşlarını yorumlayıp, ilk oluşan volkanizmanın 31,4±0,4 my. olduğunu bulmuşlardır.

Okay vd. (1990), Kuzeybatı Anadolu bölgesinde yaptıkları çalışmada KD-GB yönlü Tersiyer dönemi öncesi gelişen dört tektonik zon ayırtlamışlardır. Bunlar Kuzeybatı'dan itibaren gelişen, Sakarya, Ayvacık-Karabiga, Ezine, Gelibolu zonlarıdır. Bunlara ek olarak Sakarya zonunda gelişmiş 3 zon gözlemlemiştir. Kazdağ grubu metamorfileri, tektonik olarak yerleşen ve uyumsuz olarak örten Karakaya kompleksi birimleri ve bunu üzerleyen Triyas dönemi sonrası çökeltilerden oluştuğunu açıklamışlardır.

Sarı vd. (1996), Bölgede bulunan Kozak masifinin doğu kesiminde yapmış olduğu çalışmalarda yüzeysel koşullarda bulunmayan cevherleşme olanaklarını araştırmışlardır. Graben tektoniği, granodiyorit sokulumu ve volkanik kayaçlar gösteren bölgelerde epitermal yatakların araştırılmasını amaçlamışlardır. J18 ve J19 paftalarında jeokimyasal çalışmaları yaparak Cu, Pb, Zn, As, Sb anomalisi bulmuşlardır.

Innocenti vd. (2005), Kuzeybatı Anadolu'da gelişen Neojen ve Kuvaterner dönemine ait jeodinamik süreci ve o dönemde gelişen volkanizmanın kökenini araştırmışlardır. Kula volkanitleri petrolojisini jeokimyasal verilerle değerlendirdiklerinde, 16-21 my. oluşan volkanizmanın şösonitik ve kalk-alkalen kayaçlarla, 0-2 my. önce OIB tipi kayaç ve 14-16 my. önce magmatizmanın lamproitleriyle temsil edildiğini açıklamışlardır. Volkanizmalarda manto ile kabuk arasındaki etkileşiminin ortalama miktarda gerçekleştiği, Sr-Nd izotop analiz verileri ve iz element sonuçları neticesinde oluştuğunu ileri sürmüşlerdir. Ultrapotasik ve lamproitik kayaçların yüksek Sr ve düşük Nd izotop bileşimleri nedeniyle litosferik bir kaynağa ait olabileceğini belirtmişlerdir.

Altunkaynak vd. (2012), Kuzeybatı Anadolu'da Neojen-Paleojen dönemine ait magmatizmanın jeokimyasal çalışmalarla birlikte bölge-zaman ilişkili evrimi üzerine araştırmalar gerçekleştirmişlerdir. Granitoidler üzerine yapılan ^{39}Ar - ^{40}Ar ve U-Pb yaşlandırması, Sr-Nd izotop ile majör-iz element jeokimyası analizleri sonuçlarına göre; ^{39}Ar - ^{40}Ar yaşlandırması 18,9 (±0,1)–24,8 (±0,1) my., zirkon SHRIMP U-Pb

yaşlandırması 19.48 (± 0.29) ve 23.94 (± 0.31) my. olarak bulunmuştur. Sr-Nd izotop ile majör-iz element jeokimya analiz verileri ışığında bileşimleri hem manto hem de litosferik kökenli eriyiklerin karışımı sonucu gelişen magmadan oluştuğunu ortaya koymuşlardır.

3.2 Cevherleşme Çalışmaları

Akyol (1977), Balya Pb-Zn cevherleşmesi ve civarında gözlediği Tersiyer yaşlı volkanik kayaların mineralojik ve petrografik özelliklerini incelemiş olup, andezitlerin porfiritik dokulu olduğunu, dasitlerin andezitlere göre oksidasyona maruz kaldığını ve silisleşme, kaolinleşme ve piritleşmelerin oluştuğunu belirtmiştir. Bölgedeki cevherleşmelerinin KB-GD doğrultusunda Kuzey Anadolu Fay Zonu ile (KAFZ) eşleşecek şekilde, kırık düzlemleri'nin 40° - 60° arasında KB'ya değişen eğime sahip cevher gelişimi olduğunu belirtmiştir. Balya Pb-Zn cevherleşmesini üç grupta toplamıştır. Bunlar; Damar, saçınımlı ve dokanak tipte gelişen cevherleşmelerdir.

Çağatay (1980), Batı Anadolu Pb-Zn yatakları'nın kökeni hakkında yaptığı çalışmalarda cevherli yatakların bulunduğu yan kayalar üzerine ince ve parlak kesit çalışmaları yürütmüştür. Bunlardan ilk tipi olan Bayındır-Sarıyurt (İzmir) yatağı "tabakaya bağlı", diğer yatak tipi ise Biga yarımadasında gelişen granitoid sokulumlar sebebiyle oluşan dokanak tip hidrotermal ile hidrotermal yataklar olduğunu öne sürmüştür. Biga yarımadasında cevher yataklarının oluşumunu bölgede bulunan asidik intrüzyonlar tarafından sağlanmış olduğunu belirlemiştir. Pirit, kalkopirit, sfalerit, galenit ve pirotin gibi cevher mineralleri gelişimi bulunan katmanlar içine granodiyorit intrüzyonlarının girişimi sonucunda, çevre tabakalarda aynı cevher mineral içerikli hidrotermal ve dokanak yatakları oluştuğunu ifade etmiştir. Pb-Zn cevherleşmeleri bulduran metamorfik seride sıcaklık metamorfizmasının ergimesi neticesinde gelişen granodiyorit magma ile örtülü kayaç arasında madde alışverişi gerçekleşmiştir. Bu etkileşim sonucunda, magmanın yan kayalardan aldığı cevher içerikli malzemenin son ürünleri; pirit, sfalerit, galenit, kalkopirit ve pirotin gibi cevher oluşumlarını kapsayan ve skarn silikatlarıyla gelişmiş dokanak zonu dışında fay ile biriken hidrotermal yataklar oluşturduğunu saptamıştır. Yazar bu bilgiler ışığında Biga yarımadasında oluşan bu tür

yatakların, tabakayla gelişen yataklanma özelliğinde ve granitoid sokulumların aracılığıyla oluşmuş polijenetik cevherleşmeler olduğunu öne sürmüştür.

Çolakoğlu ve Kuru (2000), Küçükdere (Havran-Balıkesir) epitermal Au yatağının damar sistemindeki gang mineralleri üzerinde sıvı kapanım çalışmaları yaparak oluşum tiplerini ortaya koymuşlardır. Damar oluşumunu dokusal özelliklerine göre kendi içinde dört tipe ayırmışlardır; bunlar breşik damar, masif karbonatlar, andezit parçalı breşik-bantlı damarlardır. Bu damar tiplerinde yer alan kuvars ve kalsit kristallerindeki birincil kapanımlarda bulunan sıvı ve gaz fazlarında yaptığı analiz sonuçlarındaki sıcaklık ve tuzluluk değerlerine göre altının oluşumunda meteorik kökenli suların etkili olduğunu ve düşük sülfidasyonlu epitermal sistemin özelliklerini yansıttığını belirlemişlerdir ve Ovacık altın madeninde Dağ (1993)'ün yaptığı çalışmayla benzerlik gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Bozkaya vd. (2008), Arapuçandere Pb-Zn-Cu Yatağı'na ait cevherli örnekler üzerinde sıvı kapanım ve izotop çalışmaları yürütmüşlerdir, Sıvı kapanım çalışmalarında sülfite çökmesi sırasında tuzluluğun düşük ve sıcaklığın yüksek olduğunu ve bunun aksine kuvarsin kristalleşmesi sırasında tuzluluğun arttığını ve sıcaklığın düştüğünü, sonraki mineralizasyon döneminde kalsitin birincil ve ikincil kapanımların da kademeli olarak tuzluluğun ve sıcaklığın azaldığını gözlemişlerdir. Oksijen ve Hidrojen izotop değerlerine göre cevheri oluşturan akışkan içerisindeki suyun meteorik kökenli olduğunu belirtmişlerdir. Cevher-kayaç ilişkisinde Triyas sonrasında fay gelişiminin mineralizasyon için uygun bir ortam oluşturduğunu ve Pb izotop model yaşlarının Oligo-Miyosen granodiyorit yayılımı gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Buna istinaden Miyosen volkanik aktivitesinden önce gelişen cevherleşme olayının Eosen yaşını belirttiğini öne sürmüşlerdir.

Oyman (2010), Ayazmant Fe-Cu skarn yatağının oluşumu, yan kayaç mineralojisi ve cevherleşmeler hakkında jeokimyasal çalışmalar yürütmüştür. Magmatik kayaçların ana, temel ve NTE jeokimyasal analiz sonuçları neticesinde, kıtasal yay ortamında gelişen yüksek seviyeli magma odasında I-tip (kalk-alkalin, subalkalin) ürünlerden meydana geldiğini bahsetmiş, skarn oluşumu ve cevher gelişimini erken skarn, sülfite

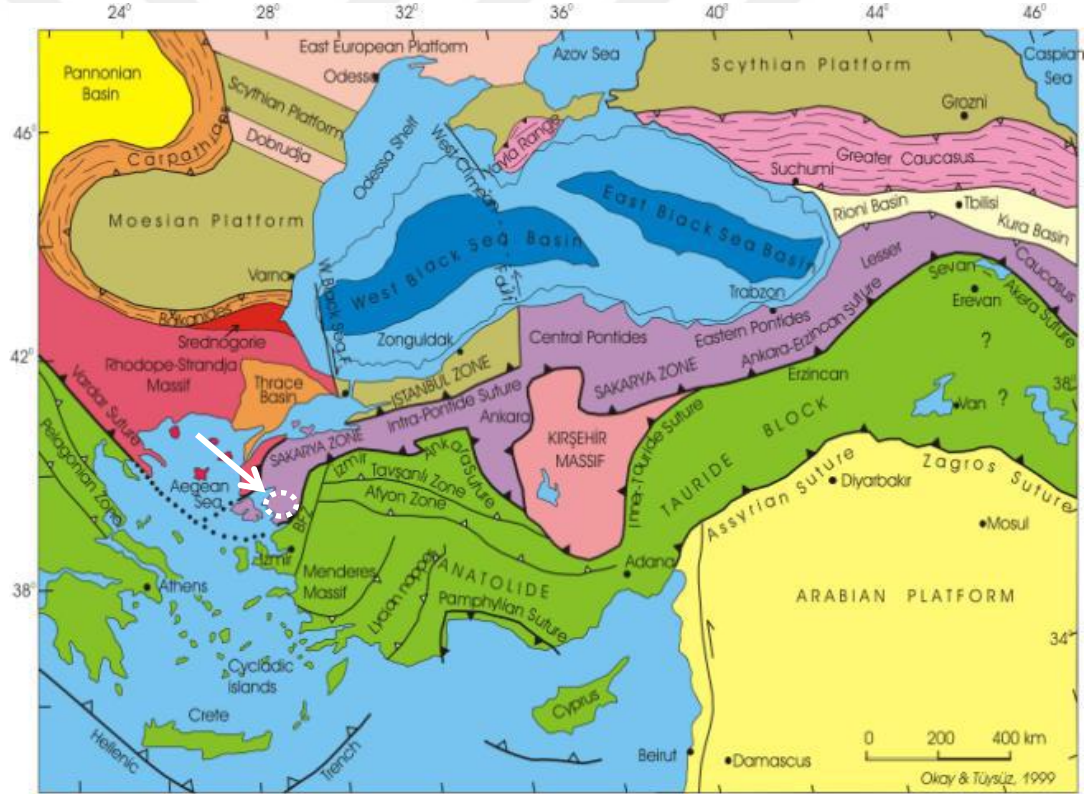
bakımından zengin skarn ve sülfidlerin ana cevher fazlarının hâkim olduğu retrograd evre olarak üç aşamada oluştuğunu belirtmiştir. Prograd skarn alterasyonuna ait manyetit, piroksen ve granat'ın oksijen izotop bileşim değer aralıklarına göre magmatik bir sıvı geliştiğini öne sürmüştür. Mineral çiftlerinde yaptığı oksijen izotop verilerine dayandırarak manyetit çökmesinin sıcaklığının 300 °C'nin altında bir değer olduğunu bulmuş ve yeniden kristalleşmiş kireçtaşı-mermer içerisinde masif cevher ve kırık dolgularda geliştiğini belirtmiştir. Yürüttüğü çalışmada elde ettiği jeokimyasal veriler, Cu'nun Zn, Co, Au, Pb ve Ni ile ilişkilendirildiği, Ayazmant yatağı mineraloji sisteminin porfiri Cu (Au-Mo) sistemi ile eş yaşlı ya da ondan önce oluşan skarn sistemi ile bağlı olduğunu ileri sürmüş ve bölgede bulunan skarnların hem porfiri yataklarla ilişki hem de porfiri Cu-Au mineralizasyonu ile ilişkili potansiyellerinin olduğunu ifade etmiştir.

Akısa vd. (2013), Biga Yarımadası'nın güneydoğu kesminde kalan Handeresi, Bağırkaçdere ve Fırıncıkdere Pb-Zn±Cu cevherleşmelerinin metamorfik kayalardaki karbonat katmanlarında ve fay zonlarındaki cevher damarları şeklinde gözlemlendiğini vurgulamışlardır. Yaptıkları izotop çalışmalarıyla bölgedeki Oligo-Miyosen magmatizması sonucunda polimetalik mineralizasyonu oluştuğunu ve tipik Pb-Zn skarn cevherleşmesi olduğunu belirtmişlerdir.

4. GENEL JEOLJİ

4.1 Bölgenin Jeodinamik Evrimi

Türkiye'nin jeodinamik evrimi 6 ana tektonik bölüme ayırarak incelenmektedir. Bunlar; Sakarya Zonu, İstanbul, Istranca, Anatolit-Torid Bloğu, Arap Platformu ve Kırşehir Masifi 'nden oluşmaktadır. (Şengör ve Yılmaz, 1981; Okay, 1989). Batı Anadolu'da yer alan çalışma alanı ise kuzeyde Intra-Pontid suture ve İstanbul Zonu ile güneyde bulunan İzmir-Ankara suture Zonu ile Anatolit-Torid Bloğu'ndan ayrılmış Sakarya Zonu içerisinde bulunmaktadır (Şengör ve Yılmaz, 1981) (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Türkiye'nin tektonik birlikleri (Okay ve Tüysüz, 1999'dan alınmıştır)

Pontidlerde bulunan Sakarya, Istranca ve İstanbul Zonları Lavrasya ile benzer ilişkili bir stratigrafiye sahipken, Anatolit-Torid Bloğu ile Kırşehir Masifi, Gondvana ile benzerliği ilişkilendirilebilmektedir (Şengör ve Yılmaz 1981, Okay vd., 1996, Okay ve Tüysüz 1999, Okay 2000).

Tetis okyanusunun kapanmasını takiben Batı Anadolu Bölgesi Geç Mesozoyik-Erken Tersiyer zamanında bir araya gelmiş kıtasal ve okyanusal parçaların birleşmesi ile oluşmaktadır (Okay vd., 1996). Bu bölge Alpin-Himalaya orojenik kuşağının doğu-batı uzanımlı etkisi sonucunda şekillenmiştir. Tetis okyanusunun kapanması ardından Paleotektonik dönemin sona ermesiyle Neotektonik dönemi başlamıştır (Şengör ve Yılmaz, 1981; 1983; Okay, 1989; 2008). Bu döneminin başlangıcına ait farklı görüşler ise ortaya atılmıştır.

- Yay gerisi yayılım modeli; Ege bölgesinde bulunan hendek sisteminin güney-güneybatıya olan göçü nedeniyle yay gerisinde gerilme oluşmuştur. Göç sürecinin başlangıç zamanına görüş ayrımlarının olmaması sebebiyle 65 my.'dan 5 my.'a kadar değişen süreci baz almışlardır. Batı Anadolu bölgesinde kuzey-güney yönlü açılmanın ana faktörünü; Avrasya Levhasının altına kuzeye eğimli dalan Afrika Levhası düşüncesi ortaya çıkmıştır (McKenzie, 1978; Meulenkamp vd., 1988).
- Tektonik kaçma modeli; Anadolu Levhasının Arap Plakası ile çarpışması sonucunda Bitlis Zagros kenet kuşağı boyunca batıya hareket etmesi olarak gösterilir (Dewey ve Şengör, 1979; Şengör, 1979, 1980, 1987). Miyosen'den başlayan sıkışma eylemi Arap Levhasında gelişen tektonik yapılar boyunca Anadolu levhası üzerinde etkilerini günümüzde de sürdürmektedir (Şengör vd., 1985; Görür vd., 1995).
- Orojenik kıvrımlanma ile gelişen açılma modeli; Neotetis'in Paleosen sonunda kapanması sonucu gelişen kabuk kalınlaşması olarak gösterilmektedir (Dewey, 1988). Erken Miyosen kalkalkali volkanizmasının sıkışma sonucu kalınlaşmaya karşıt olarak genişleme ile ilişkili olduğunu işaret etmektedir ve bir önceki orojenik evreden kalıtsal bir jeokimyasal imza taşıdığı Basin & Range bölgesi örnek verilerek öne sürülmüştür (Seyitoğlu ve Scott, 1992).
- İki aşamalı grabenleşme modeli; Batı Anadolu'nun açılma süreci 2 aşamada gerçekleşmektedir. İlk aşaması Miyosen-Erken Pliyosen'deki orojenik kıvrımlanma durumunu kapsamaktadır. İkinci aşama ise Anadolu Levhasının Pliyo-Kuvaterner

zamanında batıya kaçması sonucu kuzey-güney yönlü açılma durumudur (Koçyiğit vd., 1999).

Bu görüşlere yönelik çalışmaların dışında Batı Anadolu Bölgesi'nin jeolojik süreçlere bağlı magmatizmasının iki aşamada olduğu değerlendirilmiştir. İlk aşamada ortaç-felsik kalkalkali karakterli volkanizma, kuzey-güney yönlü sıkışma sürecine bağlı olarak Oligosen-Erken Miyosen zamanında gerçekleşmiştir. İkinci aşamada bulunan magmatik süreç yapısal olarak kuzey-güney yönlü açılma ve bunu takip eden doğu-batı grabenler ile ilişkilidir (Yılmaz vd., 2001).

Avrasya Levhası'nın altına dalan Afrika Levhası Batı Anadolu'da Tersiyer zamandaki magmatik faaliyetlere sebebiyet vermiştir. Bu sürece takiben magmatik faaliyet jeokimyasal açıdan üç farklı evreye ayrılmıştır (Innocenti vd., 2005).

- İlk evre olarak volkanitlerin kalkalkaliden başlayarak şoşonitlere kadar değişen Geç Eosen-Orta Miyosen magmatizma aktivitesidir.
- İkinci evrede Geç Miyosen- Erken Pliyosen 'de volkanik dönemi ifade etmektedir. Bu volkanik dönem ortaç-alkali potasik kayalarla tanımlanmaktadır.
- Pliyosen-Kuvaterner dönemindeki volkanik aktivite için Kula volkanitleri karakteristik bir örnek olarak gösterilebilmektedir.

Neotektonik dönemin başlangıcına ait farklı görüşler ile çalışma alanındaki bulgular değerlendirilmiştir. Buna göre; Kozak granodiyoritinin, bölgenin temelini oluşturan Alt Triyas yaşlı kırıntılı kayaların içerisine sokulumuyla bölgedeki magmatik aktivite başlamaktadır. Sübeylidere Pb-Zn cevherleşmesinin de kökenini oluşturan bu magmatik etkinlik, Batı Anadolu'da orojenik kıvrımlanma ile gelişen açılma modeliyle ilişkilendirilebilmektedir.

4.2 Bölgesel Jeoloji

Batı Anadolu'da bulunan Kozak dağı, Bergama, Burhaniye ve Ayvalık ilçeleri arasında kuzeydoğu-güneybatı yönelimli magmatik faaliyetler sonucu oluşan yükselti olarak belirmektedir. Kozak dağı çevresinde pek çok plütonik ve volkanik kayalar yüzey koşullarında görünmekte ve sedimenter kayalar tarafından çevrilmiştir (Altunkaynak ve Yılmaz, 1998). Ege Volkanik Yay aktivitesi ile yakından ilişkisi bulunan plütonun gnayları, temel eksenini kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu olan, dikdörtgen biçimine yakın ve dasitik-andezitik içerikli alkalın kayalarla temsil edilmektedir (Borsi vd., 1972).

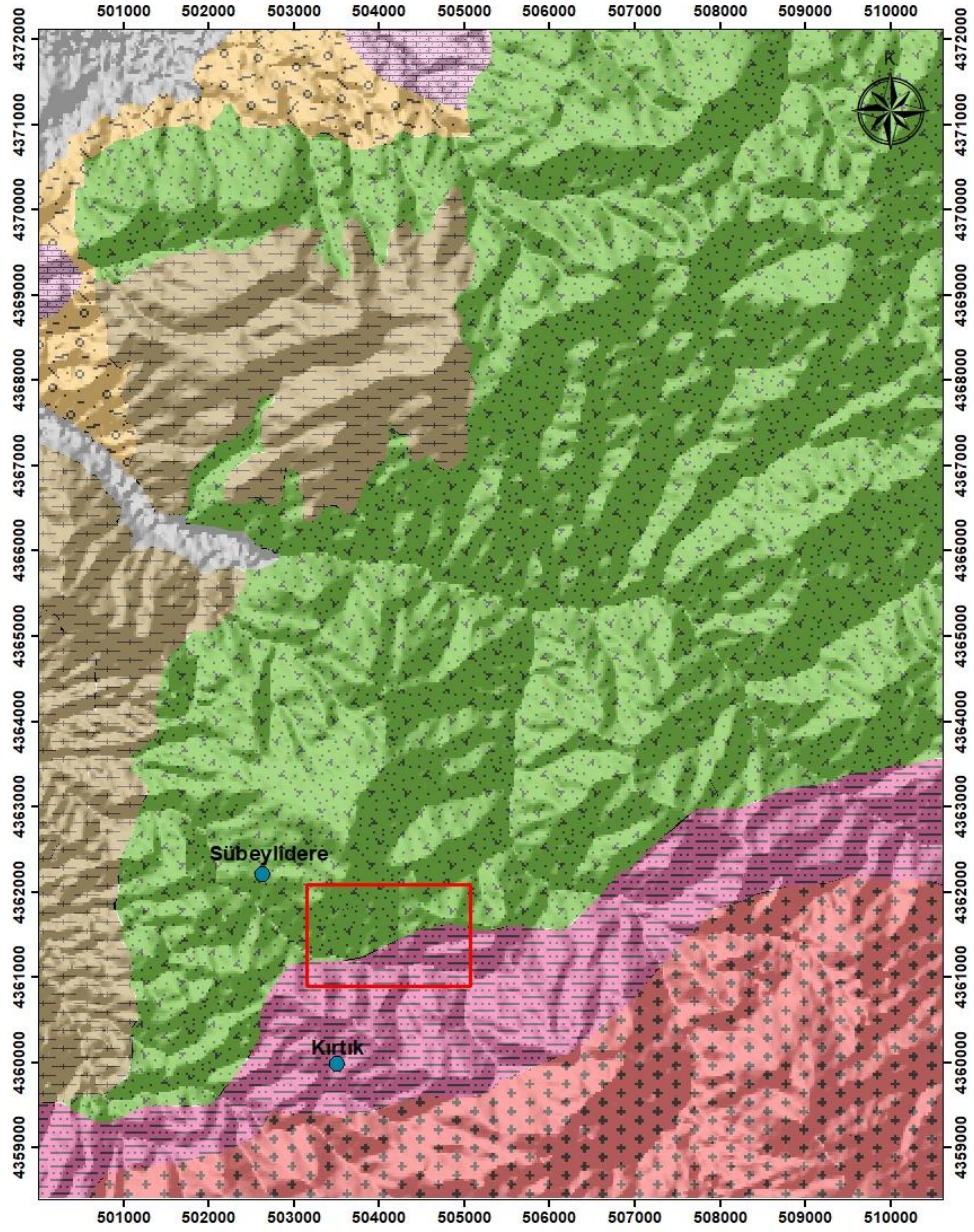
Buna bağlı olarak Tersiyer yaşlı Kozak granodiyoriti çalışma bölgesinin temelini oluşturan Halilağa Grubu'na ait Alt Triyas yaşlı Kınık formasyonunu kesmiş ve dokanağında kontak metamorfizma gelişmesine neden olmuştur. Permiyen yaşlı farklı boyutlarda bulunan kireçtaşı blokları Kınık formasyonu içerisinde yer almaktadır (Akyürek ve Soysal, 1983).

Kozak granodiyoritinin üstünü uyumsuz olarak örten Miyosen-Pliyosen yaşlı Yuntadağ volkanitleri ve Ballica formasyonu bu granodiyoritin yerleşim yaşının Eosen-Oligosen olabileceğine işaret etmektedir (Akyürek, 1989). Alt Triyas yaşlı Kınık formasyonunu kesen Yürekli dasiti; ağırlıklı olarak dasit ve riyodasitlerden oluşmakta ve Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Soma formasyonu tarafından örtülmektedir. Borsi vd. (1972), Yürekli dasitinde yapmış olduğu radyometrik yaş analizleri sonucunda 16,2-21,5 my. yaş bulmuşlardır.

Yuntadağ volkanitleri genel olarak andezit, silisleşmiş tüf ve aglomera kayalar tiplerinden oluşmaktadır. Soma formasyonu Yuntadağ volkanitlerinin bölgesel olarak altında veya üstünde lav akmaları şeklinde gözlenebilmektedir. Ballica formasyonu ise Miyosen yaşlı akarsu çökelleri şeklinde kumtaşları ve konglomerayla temsil edilmektedir. Soma formasyonu marn, killi kireçtaşı, konglomera, tüfit, kumtaşı ile temsil edilmenin yanı sıra, bu kayalar türlerinin bazı çeşitleriyle ardalanmalı yapıda da bulunmaktadır (Akyürek ve Soysal, 1983). Soma ve Ballica formasyonu birbirleriyle geçişli, Rahmanlar

aglomerası ile girik yapılı olarak bulunmakta ve Dededağ bazaltı tarafından kesilerek örtülmektedir (Akyürek 1989). Bölgeye yerleşen Rahmanlar aglomerası, Soma formasyonu ve Yuntdağ volkanitleri ile girikli yapıda bulunduğundan, Miyosen-Pliyosen yaşlı olduğu düşünülmektedir. Alanda mostra veren Dededağ bazaltı koyu renklerle temsil edilip, sert ve gaz boşluklu yapıda bulunmaktadır. Dededağ bazaltı, Rahmanlar aglomerasını, Yuntdağ volkanitlerini ve Soma formasyonunu kesmiş ve bu birimler üzerine yerleşmiştir. Bu oluşumlar sonucunda Dededağ bazaltı tahmini olarak Üst Miyosen-Pliyosen'den daha genç bir oluşumdur. Bütün birimleri ise alüvyonlar örtterek bölgedeki stratigrafıyı tamamlamaktadır (Şekil.4.3) (Akyürek 1989).





PROJEKSİYON DATUM ÖLÇEK	UTM 6 DERECE ED50 1/50.000	FORMASYON
 Tez Alanı  Yerleşim Yeri 		Kuvaterner  Alüvyon
		Üst Miyosen-Pliyosen  Rahmanlar Aglomerası
		Miyosen  Ballica Formasyonu
		Miyosen  Soma Formasyonu
		Alt Miyosen  Yuntdağ Volkanitleri
		Üst Kretase-Eosen  Kozak Granodiyoriti
		Alt Triyas  Kınık Formasyonu

Şekil 4.2 Çalışma Alanı, J18-a1 paftası genel jeoloji haritası haritası (MTA 1989' dan değiştirilerek alınmıştır.)

4.3 Stratigrafi

Alt Triyas'tan başlayarak Kuvarterner yaşına kadar otokton olarak Menderes Masifi ile Biga Yarımadası arasında yerleşen magmatik, sedimanter ve metamorfik kayalar çalışma alanında yüzlek vermiştir. J18-a1 paftasında yer alan her bir birim için ayrıntılı stratigrafik kolon kesit oluşturulmuş ve sunulmuştur (Şekil 4.3).

4.3.1 Halilağa Grubu

İnceleme alanı bölgesinde yer alan Alt Triyas yaşlı Halilağa Grubu içerisinde, Akyürek ve Soysal (1983) tarafından litostratigrafik kayaç birimi olarak Çavdartepe ve Kınık formasyonu olmak üzere iki formasyon ve üç üye ayırt etmişlerdir (Bingöl, 1968; Bingöl vd., 1973). Halilağa Grubu içerisinde yer alan Kınık formasyonu ve Bakırtepe volkanit üyesi, Biga Yarımadasında bulunan Karakaya formasyonu ile benzer içeriklidir.

4.3.1.1 Kınık formasyonu

Kınık formasyonu, farklı kırıntılı kayaç türleriyle temsil edilen ve metamorfizmasını yeşil şist fasiyesinde geçirmesine rağmen ilksel yapısını hemen hemen koruyan kayalardan oluşmaktadır. Soma bölgesinin güneybatısında eş boyutlu plajiyoklaz, kuvars, serisitleşmiş ortoklaz tanelerinden oluşan kumtaşları ve çakıltaşlarıyla temsil edilir (Akyürek ve Soysal, 1983).

Bölgeden alınan bazı örneklerin (plajiyoklaz, kuvars ve alkali feldispat taneleri) mineralojik çalışmalar sonucunda, dalgalı sönme gösteren ve kataklastik dokuda bulunan mineral çeşitleri yer almaktadır. Kozak granodiyoriti ve çevresinde oluşan granodiyorit dokanağına yakın ve ilksel yapı özelliğini koruyan kumtaşları yer almaktadır (Akyürek ve Soysal, 1983). Kınık formasyonu fosilce çok fakir olmasına karşın birim içinde Meandrospira cf. pusilla (Ho) fosilleri içeren kumlu kireçtaşı bantları gözlenmiş olup, birimin yaşı Alt Triyas olarak belirlenmiştir.

4.3.2 Kozak granodiyoriti

Kozak granodiyoriti, granodiyorit, monzogranit ve granodiyorit porfir bileşiminde saptanmıştır (İzdar, 1968). Granodiyorit porfiri bileşimi çoğunlukla açık gri-gri renkte bulunmaktadır. Triyas yaşlı Halılağa Grubu'nda bulunan Kınık formasyonu, Kozak granodiyoriti tarafından kesilmiş ve kontak metamorfizmaya uğratılmıştır. Kınık formasyonuna ait anklavlar dokanaklara yakın kesimlerde gözlenmiştir. Kınık formasyonu içerisinde bulunan Permien yaşlı kireçtaşı blokları ile Kozak granodiyoriti dokanağında kontak metasomatik (pirometasomatik) manyetit cevherleşmeleri oluşmuştur (Akyürek ve Soysal, 1983). Tersiyer yaşlı Kozak granodiyoriti Ballica formasyonu ve Yuntdağ volkanitleri tarafından örtülür. Bürküt (1966), zirkonlar üzerinde yaptığı radyojenik Pb yaşlandırma yöntemi sonucunda bu birimin yaşını $79,8 \pm 8$ my. olarak bulmuştur. Ataman (1975) ise Rb/Sr analiz metodunu kullanarak 13, 16 ve 23 my., Bingöl vd. (1982) K/Ar analiz metodu ile biyotitler üzerine yaptığı çalışmada $20,3 \pm 3$ ile $24,6 \pm 1,8$ my. ve ortoklazlar üzerine yaptığı çalışmada ise $24,2 \pm 1,1$ ve $37,6 \pm 3,3$ my.'lık sonuçlar elde etmiştir. Bürküt (1966), Ataman (1975) ve Bingöl (1976) Batı Anadolu'daki plütonları genellikle Üst Kretase-Miyosen yaşı kabul etmişlerdir. Akyürek ve Soysal (1983) tarafından Kretase-Eosen aralığı olarak belirlenen yaşın Kozak granodiyoritinin yerleşme yaşına ait olduğunu hesaplamışlardır.

4.3.3 Yuntdağ volkanitleri

Yuntdağ volkanitleri içerisinde andezitler, tüfler ve silisleşmiş tüfler ayırtlanabilmiştir. Akyürek ve Soysal (1983) tarafından tanımlanan andezitler farklı renklerde (örneğin; sarı, gri, bordo) bulunmaktadır. Saha gözlemleri ve laboratuvar çalışmaları sonucunda andezitler porfiritik doku özelliği göstermekte ve hamur içeriği bakımından opak mineraller, karbonatlaşmış plajiyoklazlar ve piroksenlerden meydana gelmektedir.

Alanda çökelen Ballica formasyonu öncesi ve çökelişi devam eden Soma formasyonu süresince etkinliğini sürdüren Yuntdağ volkanitleri, Miyosen öncesi başlamış ve Pliyosen'e dek varlığını sürdürmüştür. Soma formasyonu, Yuntdağ volkanitlerinin bölgesel olarak altında veya üstünde lav akmaları şeklinde gözlenebilmektedir. Ballica

formasyonunda ise Yuntdağ volkanitleri'ne ait çakıllar bulunmaktadır (Akyürek ve Soysal, 1983).

4.3.4 Ballica formasyonu

Ballica formasyonu farklı türden çakıllar barındıran iyi boylanmış alüvyon ve akarsu yelpazesinden oluşmaktadır. Ballica formasyonu kendinden önce oluşan ve bölgeye yerleşen Kınık formasyonu ile Yuntdağ volkanitleri üzerine uyumsuz örtülmüş olup yerleşen formasyon ile Soma formasyonu geçişli yapı özelliği göstermektedir. Geçiş katmanlarında bulunan birimler daha çok ince parçalı miltaşı, tuf ve kumtaşlarıdır. Ballica formasyonunda yer alan kumtaşı ve çakıltaşlarında volkanik parçaların keşfi ve tüfit seviyelerinin varlığı, Yuntdağ volkanitleri'nin oluşumuna sebep olan volkanizmanın Ballica formasyonu öncesi başlayıp formasyonun çökelim sırasında farklı aşamalarında süre geldiğini ispatlar niteliktedir. Ballica formasyonu üstünde bulunan Soma formasyonunun yaşı Üst Miyosen-Pliyosen olarak saptanmıştır. Bu veri ışığında Ballica formasyonunun yaşı Üst Miyosen veya daha öncesi yaşlara ait olduğu düşünülmektedir (Akyürek ve Soysal, 1983).

4.3.5 Soma formasyonu

Bölgede bulunan Soma formasyonu kil, kireçtaşı, kumtaşı, marn, tuf, miltaşı, çakıltaşı aralanmalı kayaç çeşitlerinden meydana gelmektedir. Soma formasyonu, Ballica formasyonu ile geçişli olup çalışma alanındaki Yuntdağ volkanitleri ve Kınık formasyonu üstüne yerleşmiştir. Rahmanlar aglomerası ile Soma formasyonu geçişli yapı özelliğindedir. Dededağ bazaltı bu formasyonu keserek örtmüştür. Formasyon içersinden alınan numunelerde pek çok fosile rastlanıldığı için yazarlar formasyonun yaşını Üst Miyosen-Pliyosen olarak belirlemişlerdir (Akyürek ve Soysal, 1983).

4.3.6 Rahmanlar aglomerası

Rahmanlar aglomerasını oluşturan kayalar tuf ile tutturulan andezit çakıllarından oluşmaktadır. Aglomeraların seviyelerinde tuf ve miltaşına çoğunlukla rastlanılmaktadır. Rahmanlar aglomerası yer yer Soma formasyonu ve Yuntdağı volkanitlerinin üstüne yerleşmiş olup çeşitli bölgelerde ise Soma formasyonu ile geçişli şekilde gözlenmiştir. Bu veriler ışığında Rahmanlar aglomerasının yaşının Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı olduğu kabul edilmiştir (Akyürek ve Soysal, 1983).

4.3.7 Alüvyon ve yamaç molozu

Yamaç molozu yerleştiği alandaki kayaların türünü barındıran uygun ortamlarda yarı tutturulmuş materyalden meydana gelir. Çalışma alanında gözlenen büyük alüvyon yelpazeleri Çandarlı, Bergama, Kırkağaç, Dikili platolarını meydana getirir (Akyürek ve Soysal, 1983).

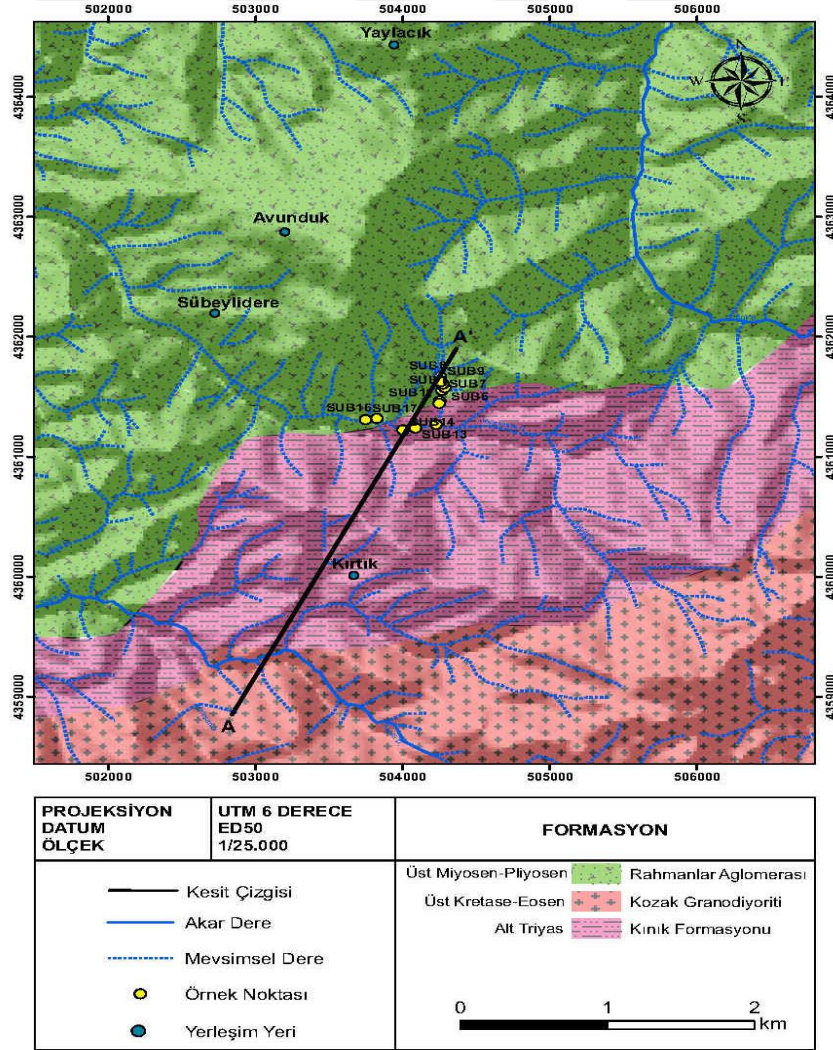
MESOZOYİK		S E N O Z O Y İ K				KAYA TÜRLERİ VE AÇIKLAMASI															
TRIYAS		T E R S İ Y E R				KUVATERNER															
ALT TRIYAS		ÜST MIYOSEN-PLİYOSEN		HOLOSEN		SİSTEM															
Halilağ Grubu Kınık Formasyonu		Balıca Yuntdağ Volkanitleri		Rahmanlar Aglomerası		SERİ GRUP FORMASYON															
Rhk-Pçç		Tb		Tsu		SİMGE															
Kozak Granodiyoriti		Tyo		Tr		Qa															
Tko		Tb		Tsu		Qa															
1- Kınık Formasyonu; farklı kırıntılı kayalar türleriyle temsil edilmektedir Metakumtaşı, Metavolkanit, Metaçakıltaşı		2- Çaldağ Kireçtaşı Üyesi: Kınık Formasyonu içerisinde yer alan blok kireçtaşları		3- Kozak Granodiyoriti: Granodiyorit, Monzogranit, Granodiyorit porfiri		4- Balıca Formasyonu; Çeşitli çakıllar barındıran iyi boylanmamış alüvyon ve akarsu yelpazesi oluşumu (Konglomera, Kumtaşı)		5- Soma Formasyonu; Gösel Kireçtaşı, Kumtaşı, Marn, Tüfit ardalımalı kaya çeşitlerinden oluşmaktadır		6- Andezit		7- Tüf		8- Silişleşmiş Tüf		9- Yuntdağ Volkanitleri		10- Rahmanlar aglomerası; Andezitlerin geneli çakıl ve blokların çimento ile tutturulması ile oluşmuştur		11- Alüvyon; Kum, Çakıl	
Ölçeksiz																					

Şekil 4.3 Çalışma alanının stratigrafik kesiti (Akyürek, 1989'dan değiştirilerek düzenlenmiştir)

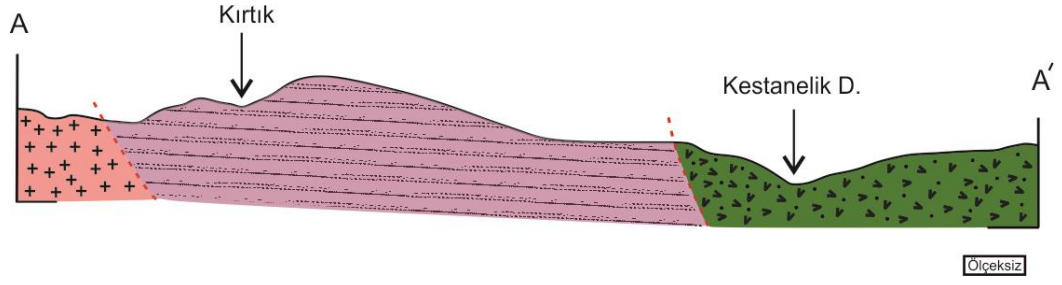
5. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

5.1 Çalışma Alanının Jeolojisi ve Cevherleşme

İnceleme alanında yürütülen makroskobik ve mikroskobik çalışmalar neticesinde 3 birim ayırtlanmıştır. Bölgenin temelini oluşturan yeşil şist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş Alt Triyas yaşlı kırıntılı kayaç serileri ve bu metamorfik seriyi kesen Üst Kretase-Eosen yaşlı Kozak granodiyoriti sahanın güneydoğu kesminde yayılım göstermektedir. Sahanın kuzey kesminde geniş yüzlekler veren metamorfik temel üzerine yerleşmiş Miyosen yaşlı volkanitler ise cevher damarının bulunduğu ana kayacı oluşturmaktadır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 İnceleme alanı ve çevresinin 1/25.000 'lik genel jeoloji haritası (MTA 1989' dan değiştirilerek alınmıştır.)



Şekil 5.2 Çalışma alanını gösterir A-A' enine kesiti.

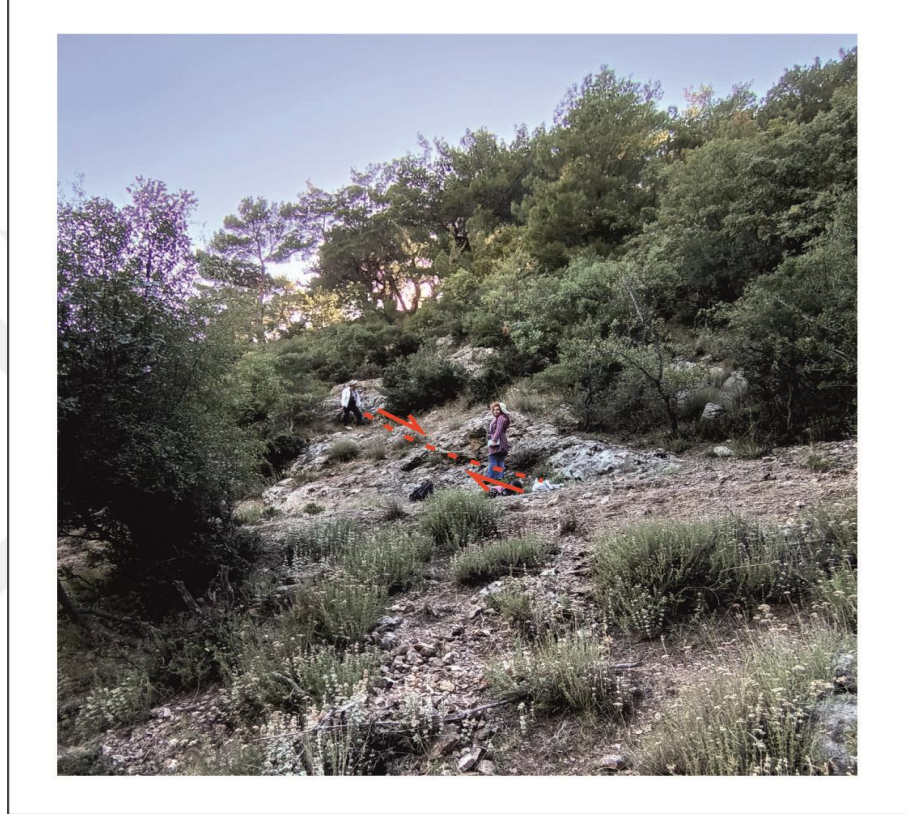
Tersiyer döneminde bölgede oluşan volkanik kayalar genellikle volkanosedimanter özellik göstermekte ve Ayvalık'ın doğu bölgesinden Burhaniye ilçe sınırlarına kadar uzanan ve Kozak intruzif masifini çevreleyen dış yükselti şeklinde bulunmaktadır (İzdar, 1968).

Volkanik kayaç, andezit, andezit-bazalt, aglomera ve volkanik breşi şeklinde temsil edilmektedir. Andezitlere makroskobik olarak bakıldığında gri, sarı ve pembe renkli bulunurken cevher oluşumuna yakın olan yan kayalar hidrotermal alterasyon nedeniyle bozunmuş, doku ve mineralojik bileşimi bakımından değişikliğe uğramış ve boz-gri renkte gözükmektedir. Yoğun alterasyon geçirmesine karşın bazı andezit taze yüzey örnekleri ince taneli plajiyoklaz fenokristalleri içermektedir (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 İnceleme alanında gözlenen altere andezit kayaç örnekleri

Çalışma alanının güney yamacında yer alan andezitik kayaç içinde $K45^{\circ}D/20^{\circ}KB$ doğrultulu kırık hattı oluşmuş ve buna bağlı olarak silis dolgu gelişmiştir (Şekil 5.4). Kırık hatlarındaki silis dolgunun kalınlığı 2-6 cm, doğrultu boyunca uzanımı 50 cm olarak belirlenmiştir. Yan kayaçta kırık hattında gelişen silis dolgunun yanı sıra saçınımlı olarak gözlenen cevher mineralleri (galenit) bulunmaktadır (Şekil 5.5).

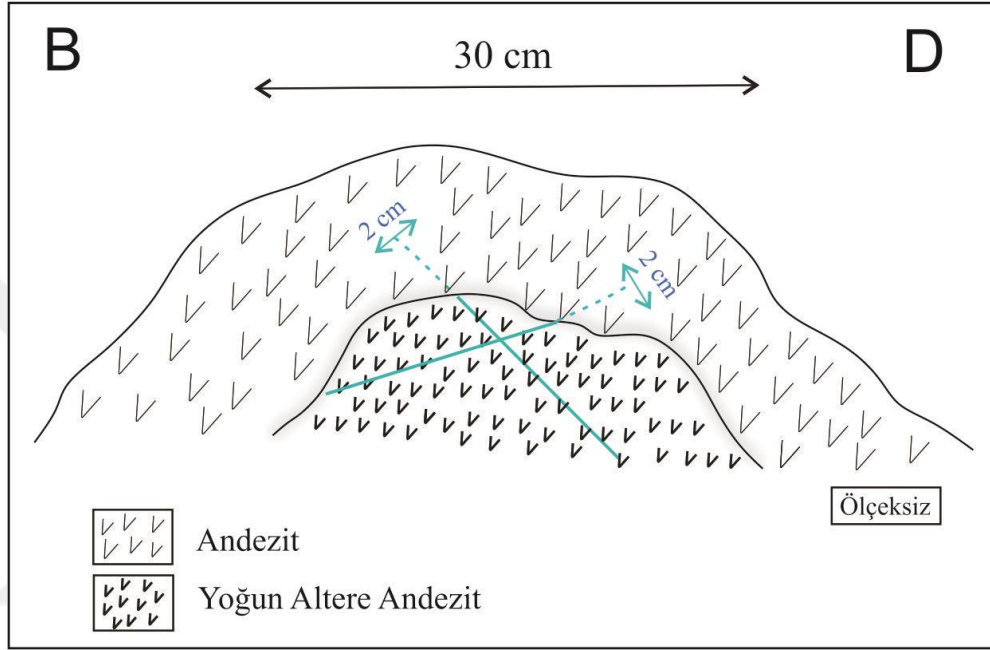


Şekil 5.4 Andezitik kayaçta gözlenen normal fay



Şekil 5.5 Kırık hattı boyunca gelişen silis damarı ve bu zondan alınan cevherli kayaç örnekleri

Bölgenin güney yamacında gelişen fay hattına benzer şekilde, çalışma alanının kuzey kesminde bulunan bol çatlaklı ve yan kayaçları kesen kırık-çatlak sistemleri ile silis dolgulu damar sistemleri bulunmaktadır. D-B uzanımlı ve $K30^{\circ}B$ doğrultulu birbirini kesen, yaklaşık 2 cm kalınlığında gözlenen ağsal silis damar sistemi (Şekil 5.6) ve 10-14 cm arasında değişen kalınlığa sahip silis damarı yer almaktadır.

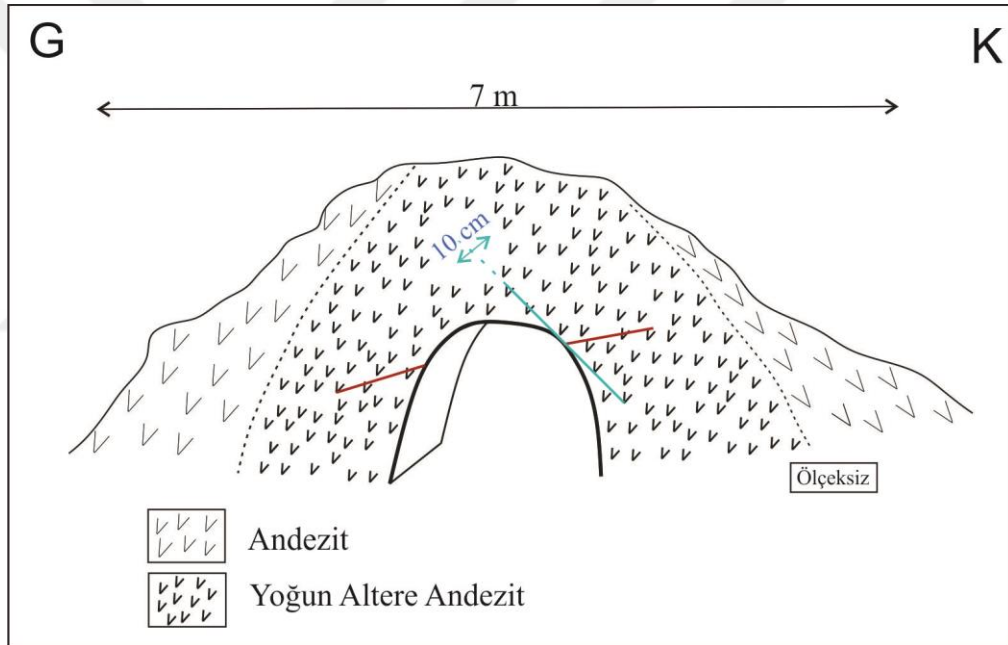


Şekil 5.6 Yan kayaç içerisinde gelişmiş yaklaşık D-B uzanımlı ve $K30^{\circ}B$ doğrultulu ağsal damar sistemi



Şekil 5.7 Hidrotermal alterasyon sonucu gelişen 10-14 cm kalınlığındaki silis damarı

Alandaki kırık-çatlak sistemiyle gelişmiş silisleşme ve cevherleşme Kestanelik deresi'nin akış yönünün tersine doğru ilerledikçe artış göstermektedir. Bölgede bulunan birbirinden farklı ana kırık sistemlerini gösteren en belirgin hat eski galeri ağzında belirlenmiştir. Galerideki faylanma andezitlerin yerleşmesinden sonra bölgede iki eş zamanlı gelişen DB/20°G ve K50°B/35°KD fay sistemi olduğunu ve hidrotermal sıvıların bu kırık sistemini kullanarak malzeme getirdiğini işaret etmektedir. Sübeylidere Pb-Zn cevherleşmesi yan kayaç ve cevher ilişkisi, cevherleşme tipi ve cevher şekli, litoloji, alterasyon gelişimi ve silis oluşumu yapısı bakımından volkanik kayada gelişen fay kontrollü hidrotermal bir cevherleşme sistemi olduğunu düşündürmektedir.



Şekil 5.8 Yan kayaç içerisinde gelişmiş DB/20°G ve K50°B/35°KD doğrultulu birbirini kesen cevherli silis damarı

Bölgede geniş alanlar kaplayan Miyosen yaşlı volkanik kayalar yoğun olarak hidrotermal alterasyon etkisi altında kalmıştır. Alterasyonun derecesi, galeri ve çevresindeki andezitler içerisinde şekil 5.8'de olduğu gibi fay ve kırık sistemlerinde yoğun altere zon şeklinde gözlenmektedir. Hidrotermal akışkanın bu kırık sistemlerini kullanarak cevher minerallerini getirdiği ve bölgede yan kayaçları alterasyona maruz bıraktığı saptanmıştır. Böylece bölgede gelişen fay ve kırık sistemlerinin

cevherleşmelerin aranmasında kılavuz bir seviye olarak değerlendirilebilmesi mümkündür. Cevherleşme bölgesinden uzaklaştıkça ağsal damarlaşmalar şeklinde cevherleşmelerin yerleştiği ve alterasyon zonunun kademe kademe azalması bu kılavuz seviyeyi doğrular niteliktedir.

5.2 Mineraloji-Petrografi

Sahada yürütülen çalışmalar neticesinde metamorfik bir temel üzerine yerleşen volkanik kayada fay ve kırık-çatlak sistemini kullanarak gelen hidrotermal akışkanın getirdiği malzemeler ve yan kayada gelişen alterasyon zonları bölgedeki çalışmasının ana mineralojisini oluşturmaktadır. Bölgedeki kayacın oluşumu ve yerleşimini, hidrotermal akışkanın yan kayada üzerindeki etkilerini anlayabilmek için makroskobik ve mikroskobik çalışmalar yürütülmüştür.

Alanda mostra veren volkanik kayalar, genelde aşırı altere olmuş şekilde bulunmakta olup, yer yer taze yüzey örnekleri alınabilmektedir. Makroskobik gözlem sonucunda cevherleşmeye ev sahipliği yapan kayaların genel olarak andezitik bileşimde olduğu anlaşılmaktadır. Genel dokusu porfiroafanitik olup gerek yüzey koşulları gerekse hidrotermal alterasyon sonucu gelişmiş karbonatlaşma ve serisitleşmeler gözlenmektedir. Taze yüzeyli örneklerde gri ve yer yer pembe renkli hamurda gözlenen plajiyoklaz fenokristalleri, biyotit, opak mineraller ve kuvars fenokristalleri bulunmaktadır.

Volkanik kayacın oluşum mineralojisini yakından inceleyebilmek için bu tez kapsamında 17 adet ince kesit hazırlanmış ve incelenmiştir. Bunlar yoğun altere andezit ve altere andezit zonu olmak üzere iki başlıkta toplanmıştır.

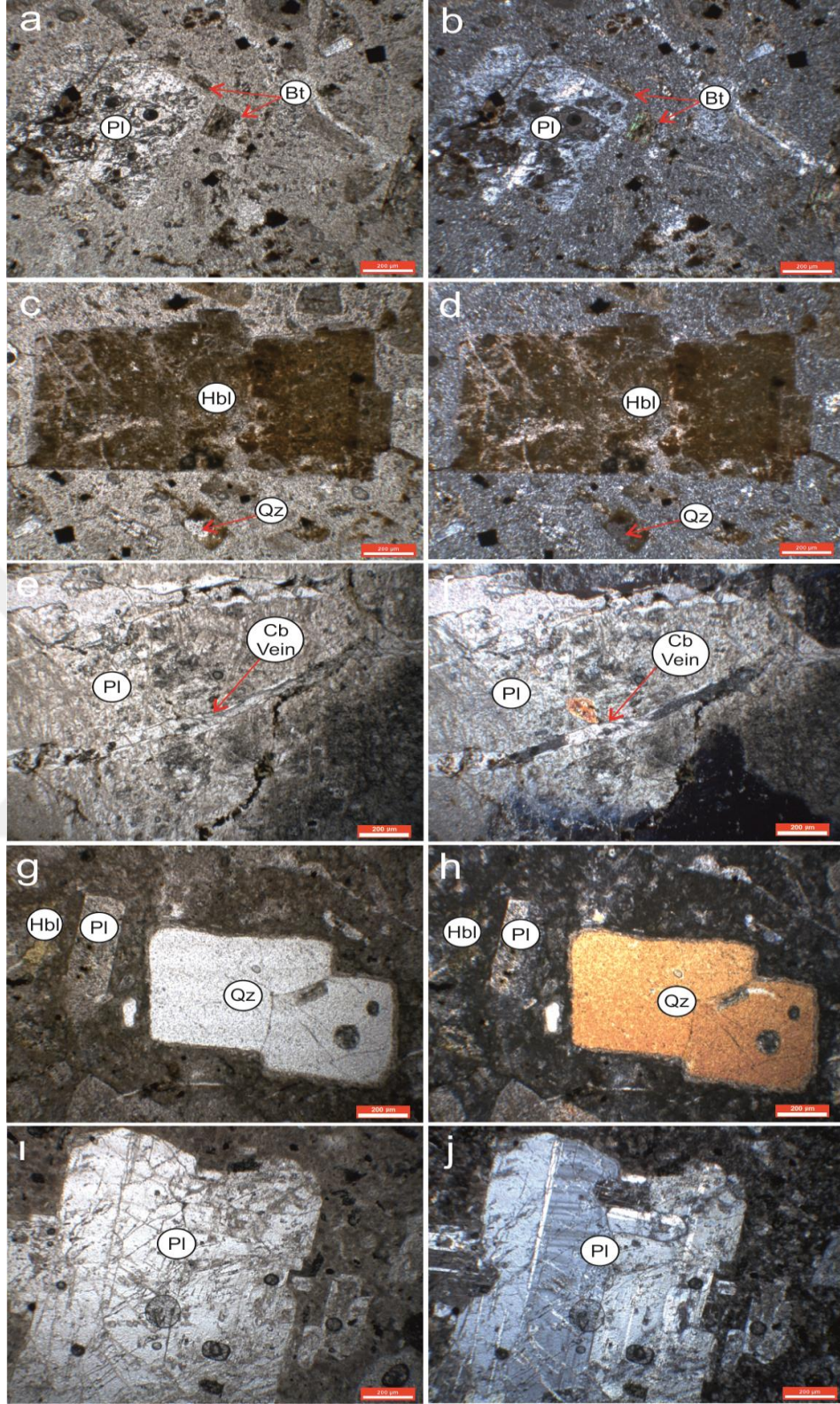
5.2.1 Yoğun altere andezit

Çalışma alanında bulunan volkanik kayaların, gerek bölgede gerçekleşen fay kontrollü hidrotermal akışkan kaynaklı gerekse yüzey koşullarının etkisinde kalarak alterasyona

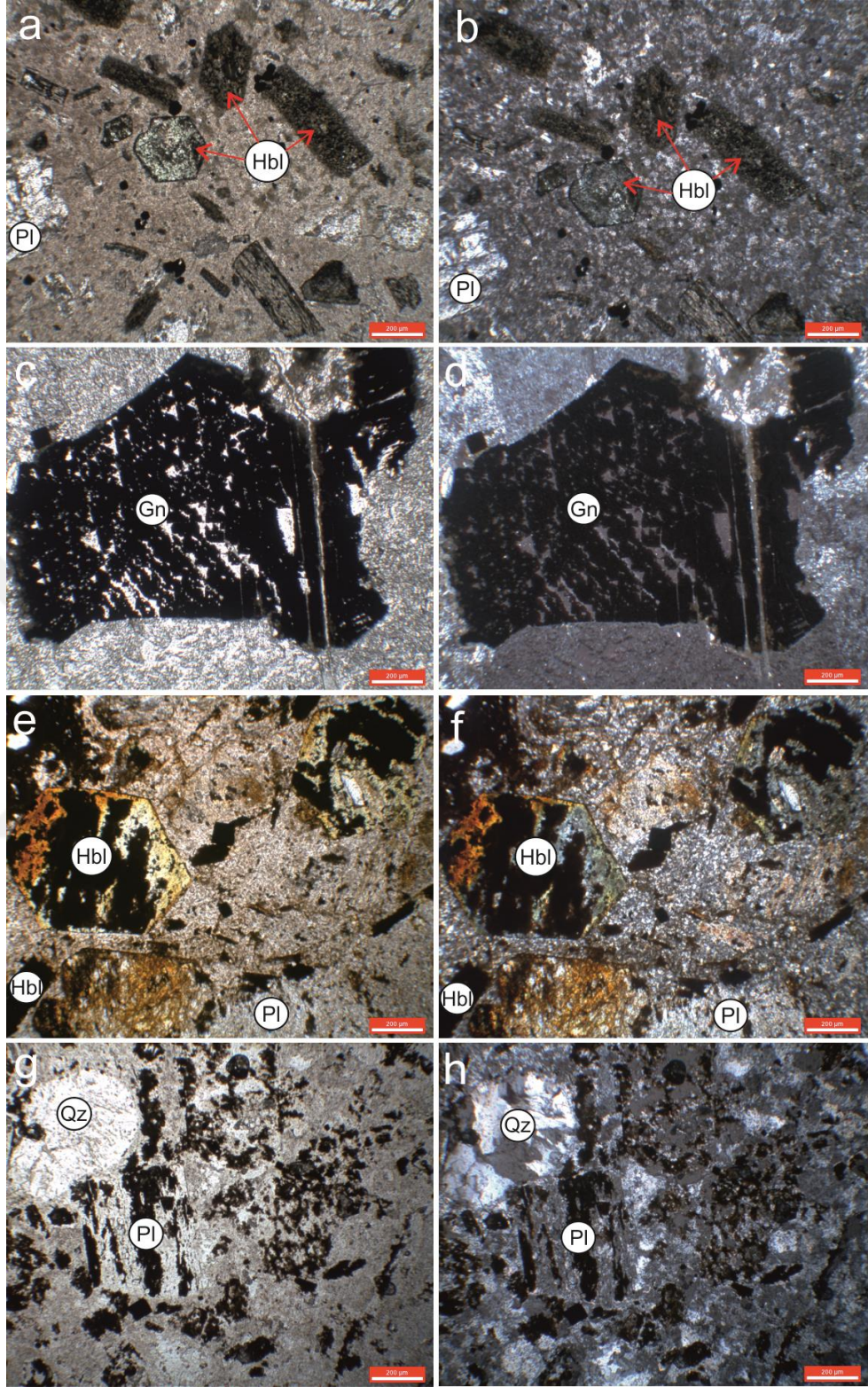
mağruz kaldığı anlaşılmaktadır. Sahada güneyden kuzeye doğru yapılan çalışmada sistematik olarak toplanan el örnekleri incelenmiş ve haritaya işlenmiştir (Şekil 5.1). Genel olarak kırık-çatlak sistemi ve çevresinden alınan örnekler incelendiğinde, cevher oluşumu sırasında hidrotermal akışkanın yan kayacı yoğun şekilde alterasyona mağruz bıraktığı gözlenebilmektedir.

Yoğun altere andezitler, hipokristalin porfiritik dokulu, içlerinde baskın plajiyoklaz mikrolitleri içeren boz gri renkli hamur ve orta-iri taneli plajiyoklaz, hornblend, iri taneli galenit ve nadir olarak biyotit bulunmakta olup, tali mineral olarak ise kuvars ve opak minerallerden oluşmaktadır.

İnce kesitte plajiyoklazlar orta iri taneli, çatlaklı ve kırıklı şekilde gözlenmekte, bazı kesimlerinde ise karbonat damarları ve yer yer silisleşmeler bulunmaktadır (Şekil 5.9 a,b,e,f). Hamurun içerisinde en çok yer alan plajiyoklaz mikrolitleri olup bunlar; öz şekilli, renksiz ve andezin (An_{35-43}) tipi sönme açısı gösterirler. Genel olarak polisentetik ikizlenmeli ve zonlanmalı gözükmektedirler (Şekil 5.9 ı,j). Plajiyoklaztan sonra en yaygın bulunan mineral hornblenddir (Şekil 5.9.c.d). Hornblend orta-iri taneli ve yarı özşekilli olup, alterasyon nedeniyle genellikle silisleşmiş ve yer yer opaklaşmış şekilde bulunmaktadır (Şekil 5.10 a,b). İnce kesitlerde kahverengi-yeşil renkte gözükmektedir. Bazı kesitlerde ise c-eksenine dik altıgen biçimde ve mineral içerisinde opaklaşmalar gözlenen hornblendlerde yer almaktadır (Şekil 5.10 e,f). Biyotit, hamurun içerisinde nadir de olsa özşekilli ve levhamsı şekilde bulunmaktadır, sarıdan kahverengiye değişen pleokrizma göstermektedir (Şekil 5.9 a,b). Galenit, hamur içerisinde tipik üçgen dilinimli bulunmakta olup, düşük pleokrizma göstermektedir (Şekil 5.10 c,d). Minerallere ek olarak ince taneli ve yer yer öbekleşmiş kuvars taneleri gözlenmektedir (Şekil 5.10 g,h).



Şekil 5.9 a,b Porifiritik dokulu yoğun altere andezitte killeşmiş plajiyoklaz ve biyotit taneleri (a: T.N, b: Ç.N.). c,d Yoğun alterasyona uğramış hornblend ve içerisinde mevcut opak mineraller (c: T.N, d: Ç.N.). e,f İri taneli plajiyoklaz içerisinde karbonat damarı (e: T.N, f: Ç.N.). g,h Killeşmiş plajiyoklaz, hornblend taneleri ve iri taneli kuvars minerali (g: T.N, h: Ç.N.). i,j Polisentetik ikizlenmeli plajiyoklaz (i: T.N, j: Ç.N.).



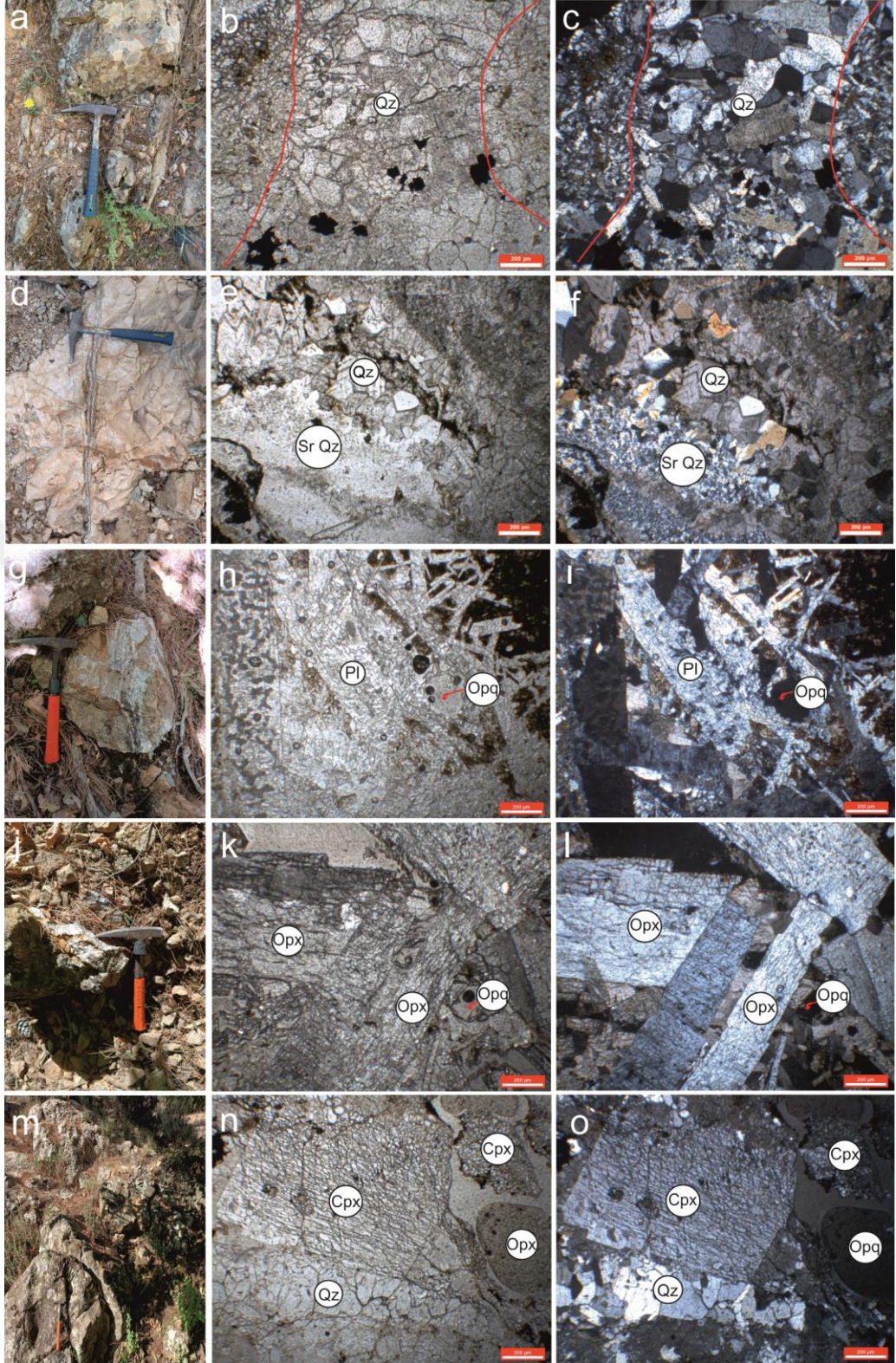
Şekil 5.10 a,b Porfiritik dokulu hornblendin c-eksenine dik kesiti ve plajiyoklaz taneleri (a: T.N, b: Ç.N.). c,d Galenitin tipik üçgen kamaları, (c: T.N, d: Ç.N.), e,f Kesitte bulunan killeşmiş plajiyoklazlar, hornblendin c-eksenine dik kesiti ve içerisinde opaklaşmalar, (e: T.N, f: Ç.N.), g,h Özşekilsiz kuvars taneleri ve killeşmiş plajiyoklaz mineralleri, (g: T.N, h: Ç.N.).

5.2.2 Altere andezit

İnceleme alanının güney ve kuzey yamacında yüzlek vermiş, hidrotermal alterasyona ve yüzey koşullarının etkilerine kısmen maruz kalmış volkanik kayaç örnekleri, hipokristalin porfiritik doku göstermektedir. Andezitik örneklerde baskın olarak gri renkli hamurun yanı sıra yer yer pembe renkli hamurun içerisinde iri taneli ortopiroksen ve klinopiroksen fenokristalleri, ince–orta taneli feldispat mineralleri ve yer yer kuvars mineralleri bulunmaktadır. Kuvars dışındaki minerallerde alterasyon etkileri gözlenmektedir.

İnce kesitte piroksen mineralleri özşekilli-yarı özşekilli ve renksiz olmalarına karşın alterasyondan dolayı çokça kırılanmış, çatlaklanmış biçimde gözükmektedir. Piroksen mineralleri sönme durumlarına göre iki gruba ayrılmıştır. İnce kesitte ortopiroksen fenokristalleri glemoporfirik doku oluşturmakla birlikte paralel sönme açısı göstermekte olup, yassı, çubuksu ve çok kırıklı şekilde bulunmaktadır (Şekil 5.11 j,k,l). Kenar zonlarından itibaren alterasyona maruz kalmış ve bazı kesimleri opaklaşmış şekilde gözükmektedir. Klinopiroksen fenokristaller ise eğik sönme sahip ve çok kırıklı şekilde gözlenmektedir (Şekil 5.11 m,n,o).

Bazı bölgelerden alınan örnekler, cevher taşıyan akışkana ait hidrotermal kuvarsları da kırık-çatlak sisteminde barındırmaktadır. Kuvarslar, fenokristal ve yer yer kemirilmiş iri fenokristal şeklinde gözlenmektedir (Şekil 5.11 a,b,c). Cevherleşmeyle gelişen kuvarslar bazı kesimlerde özşekilli, orta taneli ve tarak yapısında gözükmektedir, buna ek olarak bazı kesimlerde gelişen şeker dokulu kuvarslar, kuvars damarlarıyla sınır dokusu şeklinde bir arada gözlenmektedir (Şekil 5.11 d,e,f).



Şekil 5.11 a,b,c Andezit içinde gelişen silis damarı ve ince kesitte hamur içerisinde kuvars damarı görünümü (b: T.N, c: Ç.N.), d,e,f Cevherleşmeyle gelişen silis dolgu; ince kesitte cevher taşınımıyla gelişen kuvars ve şeker dokulu kuvars görünümleri (e: T.N, f: Ç.N.), g,h,i Yan kayaçta gelişen polisentetik ikizlenme gösteren plajiyoklaz ve opak mineraller (h: T.N, i: Ç.N.), j,k,l Yan kayaçta glemoporfirik dokulu ortopirosen görünümü (k: T.N, l: Ç.N.), m,n,o Yan kayaçta killeşmiş klinopirosen ve opak mineraller (n: T.N, o: Ç.N.)

5.3 Cevher Mikroskobisi

Cevher mikroskobisi çalışmaları yoğun altere andezit kayada gelişen damar sistemlerinden alınan örnekler üzerinde yapılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda Sübeylidere Pb–Zn cevherleşmesinin başlıca cevher mineralleri olarak galenit, pirit, kalkopirit, sfalerit olduğu saptanmıştır. Buna ek olarak parlak kesitlerde birincil cevherleşmelerle gelişen ikincil mineraller olduğu gözlenmiştir. Bunlar seruzit, anglezit, kalkozin, kovellin, limonit ve fahlerz grubu (tetrahedrit-tennatite) mineraller olarak yer almaktadır (Çizelge 5.1).

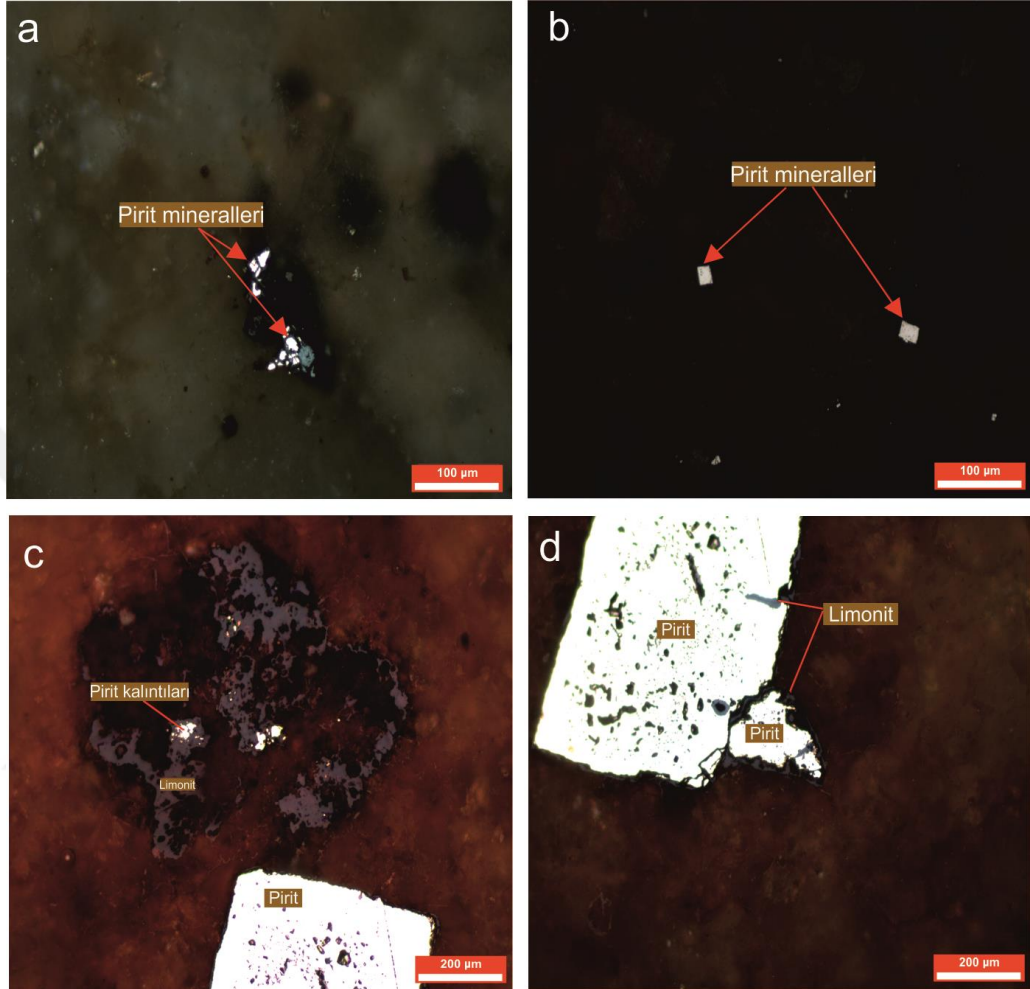
Çizelge 5.1 Hidrotermal sıvının kırık- çatlak sistemiyle getirdiği birincil, ikincil ve gang mineraller

Birincil Mineraller	İkincil Mineraller	Gang Mineraller
Sfalerit		Kuars
Galenit	Seruzit Anglezit	
Pirit	Limonit	
Kalkopirit	Kalkosin Kovellin Limonit	

Pirit mineralleri mikroskobik incelemelerde öz şekilli-yarı özşekilli, açık sarı-beyaz renkli ve ince taneli, genellikle 25-560 µm arasında değişen büyüklüğe sahip, çoğunlukla serbest taneler halinde olup, yer yer kalıntılar şeklinde gözlenmektedir (Şekil 5.12 a,b,c). Piritlerin kenar kesimlerinden itibaren kısmen ve/veya tamamen limonitleştikleri görülmektedir (Şekil 5.12 d).

Boşluk dolgusu şeklinde, ince çatlak/damar dolgusu ve/veya genellikle de mineral psödomorfları halinde limonit mineralleri ve yer yer boyamaları bulunmaktadır (Şekil 5.13 b). Mineral psödomorfları şeklinde bulunan limonit kristalleri daha çok özşekilli olarak izlenmektedir. Limonit minerallerinin piritlerden itibaren geliştiği düşünülmüş olup, bazı kristalleri içerisinde pirit kalıntıları varlığı saptanmıştır. Limonit kristallerinin

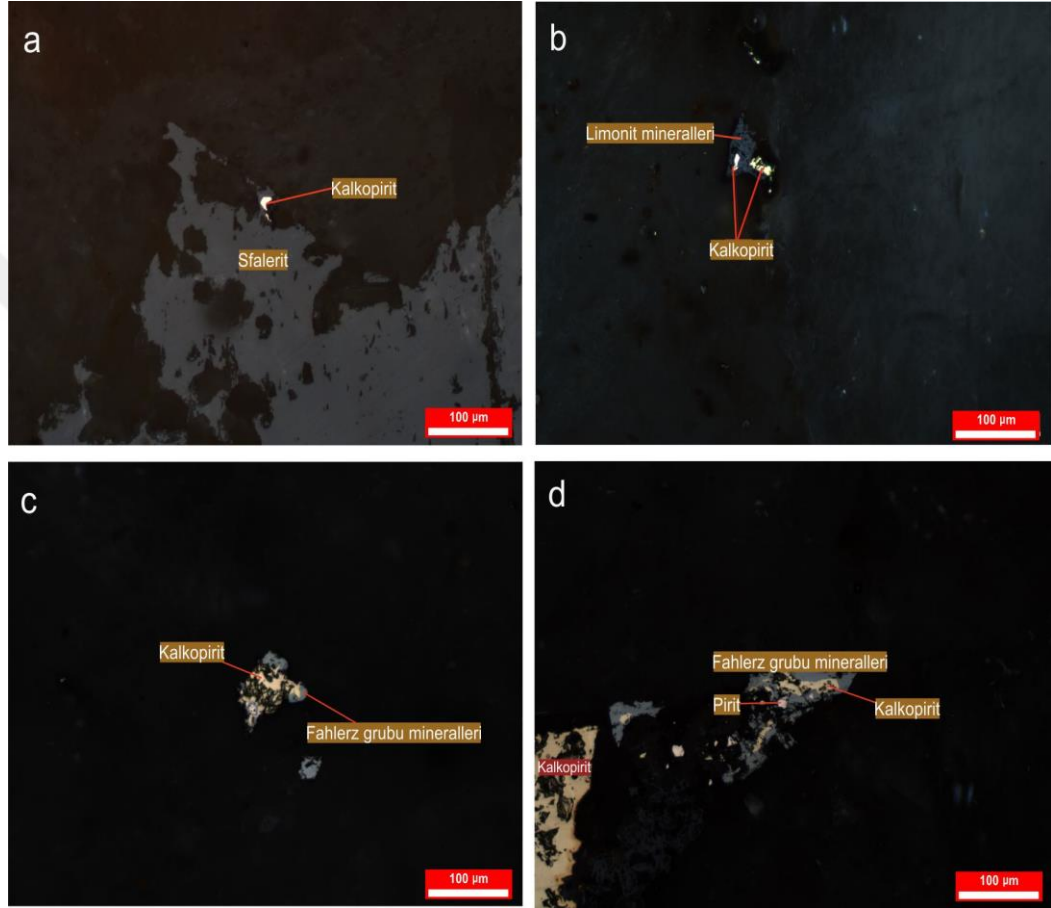
yaygın büyüklükleri 120 mikrometre ve daha küçüktür. En büyüğü parlatmada 280 -290 µm olarak gözlenmektedir.



Şekil 5.12 a.Serbest halde bulunan pirit (Pr) kalıntıları, b. Öz şekilli pirit (Pr) taneleri, c. Limonit (Lm) kristalleri içerisinde gözlenen pirit (Pr) kalıntıları, d. Piritlerin (Pr) kenar kırık kesimlerinde gelişen limonitleşmeler

Kalkopirit mineralleri genellikle özşekilsiz, saçınımlı ve serbest taneler halinde izlendiği gibi kalıntılar halinde de gözlenmektedir (Şekil 5.13 b). Yaygın tane boyu 10-90 mikrometre arasında değişmekte olup, bazı kristallerinin kenar kesimlerinde eser oranda kalkosin mineralleri izlenmektedir. Kalkopirit kristalleri sfalerit kristallerinin kenarlarında veya içlerinde, yer yer de pirit mineralleriyle birlikte bulunmakla birlikte kısmen ve/veya tamamen limonitleştikleri görülmektedir (Şekil 5.13 a).

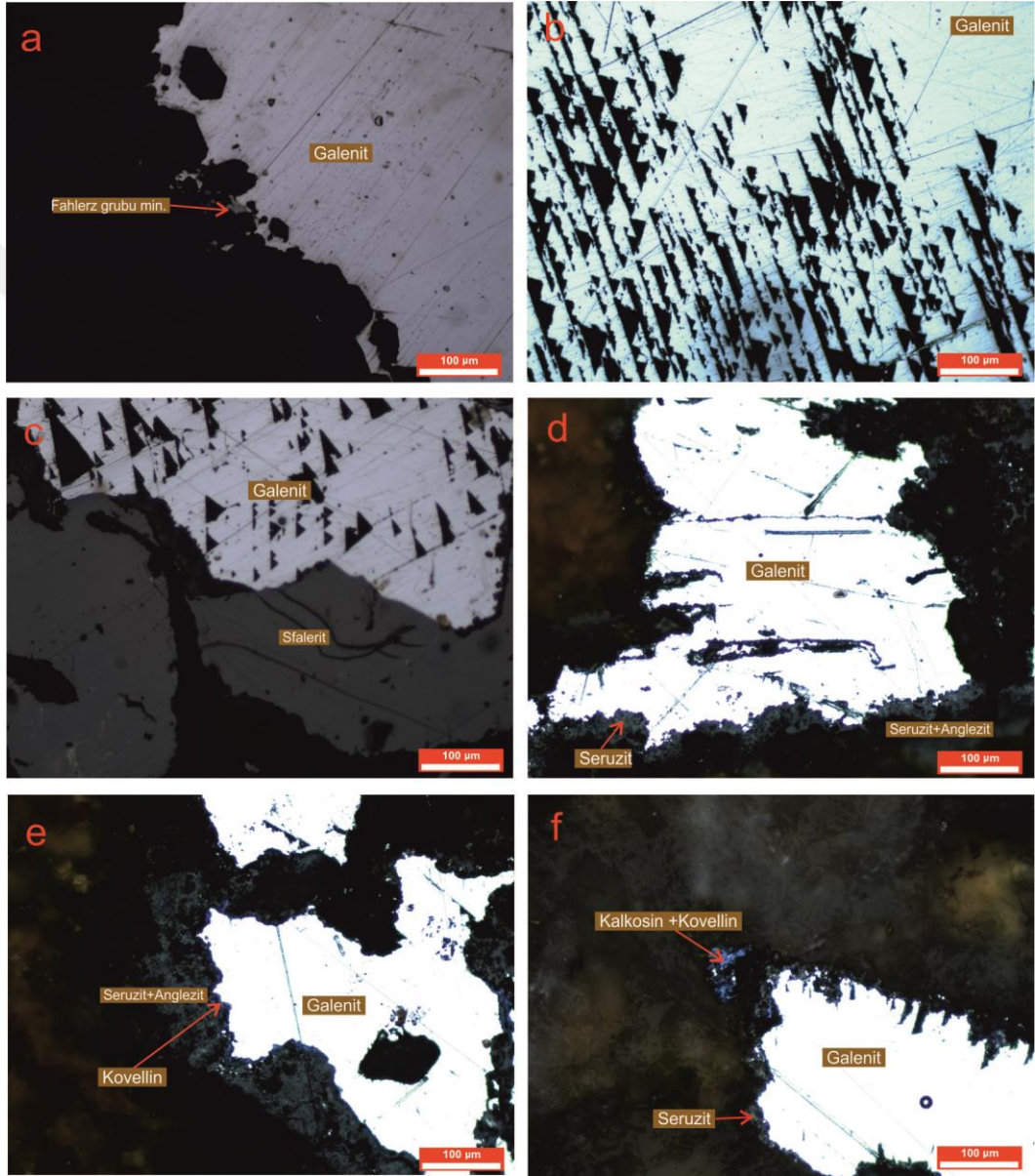
Fahlerz grubu mineralleri ise genellikle kalkopiritlerle bir arada, iç içe gözlenmektedir. Yer yer kalkopiritlerin tane kenarlarından itibaren onları kuşatır şekilde de izlenebilmektedir. Yaygın büyüklükleri 5-60 mikrometre arasında değişmektedir. Bazı kristalleri içerisinde oldukça küçük taneli (<15 µm) pirit mineralleri de bulunmaktadır (Şekil 5.13 c,d).



Şekil 5.13 a.Sfaleritin (Sf) kenar kısımlarında gelişen kalkopirit (Kp), b.Limonit (Lm) mineralleri içinde gelişen kalkopirit (Kp), kristalleri, c.Kalkopiritle (Kp) iç içe gelişen ve çevreleyen fahlerz (Fl) grubu mineraller, d.Pirit (Pr) ve Kalkopirit (Kp) kristallerinin tane kenarlarını çevreleyen fahlerz (Fl) grubu mineraller

Galenit mineralleri serbest taneler halinde görülmektedir. Parlak kesitlerde diğer minerallere kıyasla daha iri kristalli, özşekilsiz ve/veya yarı özşekilli kristallere sahiptir (Şekil 5.14 a). Kenar kesimlerinde itibaren yer yer ornatımlar şeklinde anglezit ve seruzit mineralleri izlenmektedir (Şekil 5.14 e,f). Bazı kristallerde seruzit ve anglezit minerallerine (özellikle galenit minerallerinin tane kenarlarına yakın kısımlarında) kalkosin ve eser oranda kovellinler de eşlik etmektedir. Galenit'in seruzit ve anglezite

dönüşümü olmasına karşın numuneler içerisinde birincil sülfür mineralleriyle birlikte izlenebilmektedir. Pb iyonlarının mobilitesi düşük olduğundan dolayı seruzit ve anglezit sadece galenitin kenarlarında bulunmaktadır. Buna ek olarak sfaleritlerin tane aralarında, tane kenarlarında üçgen dilimimleri ile tipik galenit mineralleri izlenmektedir (Şekil 5.14 b,c).



Şekil 5.14 a.Galenitin (Gl) kenar kesminde oluşan Fahlerz (Fl) Grubu Mineraller, b. Tipik üçgen dilimli Galenit (Gl) örneği, c. Sfalerit (Sf) tanesi arasında gözlenen tipik galenit örneği, d. Galenit (Gl) tanelerin kenar kısmında gelişen seruzit (Sr) ve anglezit (Agl), e,f. Seruzit (Sr) ve anglezitin (Agl) galeniti ornatımı ve galeniti sarmalayan parlak mavi renkli kovellin (Kvl) gelişimi

Yan kayaç içerisindeki fay zonları ve kırık-çatlak sistemlerinde cevherleşmenin olduğu temel mineralizasyon evresi basınç, sıcaklık ve pH gibi parametrelerle eriyiğin karışımlarının değişikliğe uğramasına ve yeni mineral düzeylerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu parametrelere bağlı gelişen yeni minerallerin mineralizasyon evresinin bir yerinde kaybolması, birbirlerini ornatması, yapı ve dokularındaki farklılıklara göre ana mineralizasyon ve post mineralizasyon evresi saptanmıştır. Ana mineralizasyon evresi iki fazda gerçekleşmektedir. Hidrotermal evrenin ilk ürünleri olan pirit ve kalkopirit öz şekilli-yarı özşekilli kristaller şekilde 1.mineralizasyon evresinde oluşmaktadır. Piritler yer yer kalıntılar ve/veya serbest taneler halinde gözükmesinin yanı sıra kalkopiritlerle birlikte de bulunabilmektedirler ve bu kristallerin kenar veya çatlak kısımlarında gelişen limonitleşmelerin yanı sıra limonit mineralleri oluşumları da gözlenmektedir. Cevherleşmenin ana mineralizasyon evresini oluşturan ve her iki mineralizasyon evresinde de geliştiği düşünülen sülfür mineralleri olan galenit ve sfalerit mineralleri bulunmaktadır. İncelemeler sırasında galenit çoğu cevher oluşumlarıyla gözükmesine rağmen en belirgin dokanağını sfalerit mineraliyle yapmış olup, dokanak ilişkisine bağlı olarak ise sfalerit'in galeniti ornattığı saptanmıştır. Temel mineralizasyon fazında meydana gelen cevher oluşumları, atmosferik şartları sağlaması ve/veya hidrotermal akışkanın etkisi sonucunda gelişen ikincil minerallere kalkosin-kovellin, seruzit-anglezit ve limonite dönüşmüş, dönüşen ikincil minerallerin yanı sıra gang mineralleri gelişimiyle birlikte post mineralizasyon evresini oluşturmuşlardır.

Çizelge 5.2 Yan kayaçta gelişen cevherleşmelerin mineral süksesyonu

MİNERAL	ANA MİNERALİZASYON		POST MİNERALİZASYON
	1. EVRE MİNERALİZASYON	2. EVRE MİNERALİZASYON	
Pirit	██████████	██████████	██████████
Kalkopirit	██████████	██████████	
Sfalerit	██████████		
Galenit	██████████		
Fahlerz G.		██████████	
Kalkosin			██████████
Kovellin			██████████
Anglezit			██████████
Seruzit			██████████
Limonit	██████████		██████████
Kuvars	? ██████████ ?	██████████	██████████

5.4 Mikrotermometrik İncelemeler

5.4.1 Giriş

Minerallerin kristallenme evresi veya kristallerin gelişimi sonrası oluşan dilinim, klivaj ve mikro çatlaklarında kapanım şeklinde bulunan sıvı damlacıklarına sıvı kapanım denilmektedir. Birkaç milimetre boyutundan tek bir su molekülüne kadar değişen sıvı kapanımın büyüklüğü ortalama 0.01 mm boyutundadır (Roedder, 1979).

Sıvı kapanım çalışmalarının temelini Roedder (1979) oluşturmaktadır. Kapanımın meydana gelme silsilesine, morfolojilerine ve evre miktarlarına göre pek çok araştırmacı tarafından farklı şekillerde sınıflandırma yapılmıştır. Roedder (1984) yılında yayınladığı “Fluid Inclusions” (Sıvı Kapanımlar) çalışmasıyla konu hakkındaki jenetik sınıflaması ile ilgili detaylı bilgilere yer vermiş, Shepherd vd. (1985)’nin yaptığı çalışma sıvı kapanım için el kitabı niteliğinde olup kapanımın morfolojisi ve bileşimleri ile ilgili yapılan sınıflamalardan bahsetmiştir. Guilbert ve Park (1986)’ın konu hakkındaki çalışmasında ise sıvı kapanımın genel bilgileri yer almaktadır.

Maden yataklarının incelenmesinde rol oynayan sıvı kapanımlar, cevherleşmeyi oluşturan çözeltilerin bileşimi ve yoğunluğu, basınç koşulları, cevher oluşum sıcaklığı gibi yatağın gelişimi hakkında bilgiler sunmaktadır. Sıvı kapanımlar temelinde üç farklı tipte tanımlanabilmektedir. Bunlar, birincil oluşum, ikincil oluşum ve yalancı ikincil oluşum tipleridir. Mineralin gelişme evresinde ve çeşitli değişimlerinde ya da kristal yapılarının büyüme sürecindeki hatalar sebebiyle yalnız kalmış kapanımlara birincil kapanım, büyüme süreci tamamlanmış mineralin kristal kenarlarında ya da kristal büyüme zonlarında oluşabildiği gibi cevher gelişimi evresine dâhil olmayan sıvıların mikro çatlaklarında kapanmasıyla da gelişebilen kapanımlara ikincil kapanım, kristal büyüme zonlarının kenarlarında sonlanan ya da mikro kırıkları takiben oluşan fakat bu durumları kesmeyecek şekilde gelişen kapanımlara yalancı ikincil kapanımlar denilmektedir (Shepherd vd., 1985).

Shepherd vd. (1985)'in sıvı kapanımın içerdiği bileşimlere göre olan sınıflama tipine göre;

- Tek fazlı gelişen sıvı kapanımlar (L): Kapanım bütünüyle sıvı şekilde bulunmaktadır.
- İki fazlı gelişen kapanımlar (L+V): Kapanımda sıvı faz ve belli belirsiz ölçüde gaz faz ile dolu bulunmaktadır.
- İki fazlı kapanımlar (L+V): Kapanım içerisinde yer alan gaz fazının sıvı faza oranla toplam hacminin yarısından fazlasıyla dolu olmasıdır.
- Tek fazlı gelişen gaz kapanımlar (V): Fazın tamamı düşük derişikte gaz ile dolu bulunmaktadır (çoğunlukla CH₄, H₂O, CO₂ karışımı).
- Katı faz gelişimi gösteren çoklufaz kapanımları (S+L+/-V): Yavru minerallerin olduğu kapanımlardır, genel olarak Halit (NaCl) ve silvit (KCl) olarak bulunmaktadır. Ayrıca farklı kristaller yapıları kapanımın içinde bulunabilmektedirler.
- Geçişsiz iki sıvı fazlı gelişen kapanımlar (L1+L2+/-V): Sıvılar geçişsiz iki faz şeklinde bulunmaktadır. Bu farklı sıvı fazdan biri genel olarak H₂O' ce zengin bulunurken diğer sıvı da CO₂' ce zengin sıvı fazdır.

İki fazlı kapanımların bir arada bulunması, kapanımın gerçekleştiği sırada kaynar durumda olduğunu göstermektedir. Homojen bir sistemde kaynama durumunda ana sıvının gaz fazı olan gaz kabarcıkları oluşmaktadır. Heterojen sistemlerde bu durum köpürmeyle birlikte gaz fazı geliştiğini göstermektedir (Roedder, 1979). Aşırı doymun sıvı solüsyonların gelişimi yavru minerallerin bulunduğunu işaret eder, bu aşırı doymun sıvılarda en fazla yer alan Na⁺, Cl⁻, Mg²⁺, ve Ca²⁺ çözülmüş iyonlar bulunmaktadır.

Sıvı kapanım ölçümleri sonucunda verilerin anlaşılması ve yorumlanmasında kullanılan bazı terimler yer almaktadır.

Homojenleşme Sıcaklığı (Th): Homejenleşme sıcaklığı (Th), kapanımın ısıtma evresinde gaz ve sıvı fazında homojenleşmesi gerçekleşene kadar ısıtılmasındaki sıcaklık değeri olarak tanımlanmaktadır. Bulunan sıcaklık değeri, mineralin olduğu evrenin en düşük sıcaklık değeri olarak belirlenmiştir. Buna göre sıvı kapanımın gerçekleştiği derinlik verisi alınarak hesaplamada basınç düzeltilmesi yapılması gerekmektedir.

Ergime Sıcaklığı (Tm): Kapanımın H₂O açısından bol olduğu durumda buzun ergime olayını tanımlamaktadır. Fakat sistemde gerçekleşen bu olayın sistem içerisindeki CO₂, NaCl gibi bileşenlerin olması durumunda ergime sıcaklığındaki farklılıklar oluşmaktadır, bu farklılığın hangi ergime olayını gerçekleştirdiğini bileşenlerini göstererek ifade etmek gerekmektedir.

Ötektik Sıcaklık (Te): Sıvı kapanımın donması durumunda veya kristallenme süreci tamamlandığındaki ısıtma olayı sırasında sıvı oluşumun ilk fark edilme sıcaklığını ifade etmektedir. Başka kaynaklara göre de ilk ergime sıcaklığı (Tfm) olarak da tanımlanmaktadır.

Sıvı kapanım sistemlerinde tuzun hangi tür tuz olduğunu belirlemede ötektik sıcaklık değeri kullanılarak hesaplanmaktadır, sistemde bulunan tuz miktarı değerini ise son ergime sıcaklığı değeri kullanılarak hesaplanmaktadır.

5.4.2 Sıvı kapanım çalışmaları

Tez çalışması kapsamında, volkanik birimin içerisindeki fay zonları boyunca cevherleşmeyle birlikte gelişen, farklı lokasyonlardan alınan ikincil kuvars minerali örnekleri üzerine sıvı kapanım çalışmaları yapılmıştır. Sıvı kapanım incelemeleri için 80-150 µm arasında değişen kalınlıktaki iki tarafı parlatılmış özel kesitler hazır hale

getirilmiştir, Linkam THMG-600 cihazı ile programlanabilir soğutma-ısıtma sistemi kullanılarak hazırlanan kesitler üzerinde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Başlangıçta değerlendirilecek kapanımların faz durumu, büyüklüğü, morfolojisi, dağılımı gibi kapanım belirleyici özellikleri incelenmiş, sonrasında sıvı azot yardımıyla dondurulma işlemi yapılmış ve ısıtarak termometrik ölçüm değerleri elde edilmiştir. Ölçüm sonucunda bulunan analitik veriler cevherleşmenin gelişiminde rol oynayan cevherleşme sıcaklığı (Th), son buz erime sıcaklığı (Tm), metallerin taşınmasında rol oynayan çözeltinin % NaCl eşdeğeri tuzlulukları ve arasındaki yoğunlukların değerleri belirlenmiştir.

5.4.3 Sıvı kapanım petrografisi

Tez araştırma alanında gerçekleştirilen gözlemler neticesinde Sübeylidere 1/25.000'lik jeoloji haritası üzerine sahadan alınan numuneler sistematik olarak işlenmiştir (Şekil 5.1). Sübeylidere Pb-Zn cevherleşmesinde bölgede, galeri ağzındaki fay zonunda gelişmiş taraklı yapı (Sub1), saçınımlı cevherle birlikte bulunan (Sub2) ve sahanın kuzey (Sub3) ve güney (Sub11) yamacında çatlakta silis dolgu ile 4 farklı konumda yer alan kuvars örneklerinin kesitlerindeki sıvı kapanımların bileşimsel yapıları; sıvı ile gaz barındıran iki fazlı gelişen (sıvı+gaz) birincil kapanımlar, sıvı ile gaz barındıran iki fazlı gelişen (sıvı+gaz) ikincil kapanımlar, yalnızca sıvı içeren tek fazlı gelişen (sıvı) ve sadece gaz içeren tek fazlı (gaz) kapanımlardan oluşmaktadır.

Eski galeride taraklı yapıda bulunan kuvars örneği; şeffaf-yarı şeffaf kesimlerden ibarettir. Numunenin şeffaf-yarı şeffaf kristallerinde, (bol miktarda) birincil, yer yer ise ikincil kökenli gelişen kapanımlar fark edilmiştir. Birincil kökenli kapanımları; iki fazlı gelişen (sıvı+gaz) kapanımlar ve tek fazlı gelişen (sıvı) kapanımlar ile tek fazlı gelişen (gaz) kapanımlar oluşturmaktadır. Birincil kökenli iki fazlı gelişen (sıvı+gaz) kapanımlar çoğunlukla mercek, üçgen, yuvarlak/elipsoidal ve düzensiz biçimde olup (Şekil 5.15 a), boyutları; < 2-70.0 mikrometre; tek fazlı (sıvı) kapanımlar, yuvarlak/elipsoidal, dikdörtgen ve düzensiz şekilli olup boyutları < 1-10.0 mikrometre; tek fazlı (gaz) kapanımlar ise, yuvarlak/elipsoidal şekilli olup boyutları < 1-26.4 mikrometre arasında değişmektedir. İkincil kökenli kapanımlar; mercek,

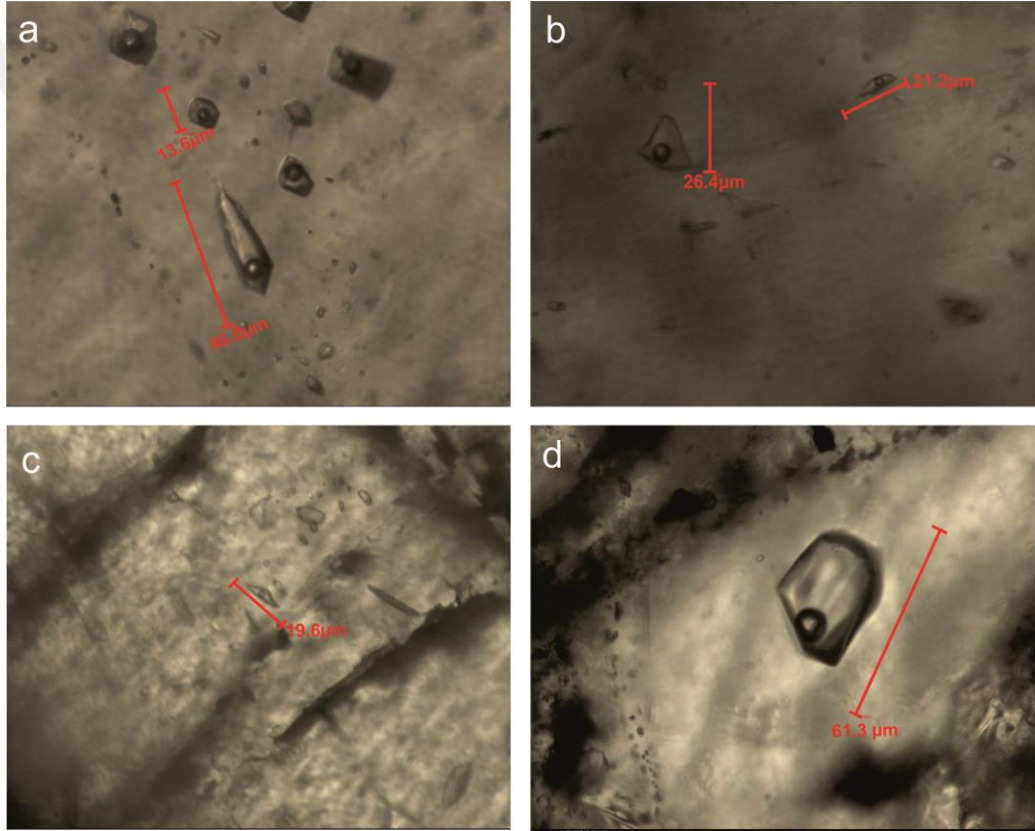
yuvarlak/elipsoidal, dikdörtgen ve düzensiz şekillerde olup boyutları <1-6.6 mikrometre arasında değişmektedir.

Saçınımlı cevherle birlikte gözlenen kuvars örneği; mat, nadiren şeffaf-yarı şeffaf kesimlerden ibarettir. Numunenin şeffaf-yarı şeffaf kristallerinde birincil ve ikincil kökenli kapanımlara rastlanmıştır. Birincil kökenli kapanımları; iki fazlı gelişen (sıvı+gaz) kapanımlar ve (bol miktarda) tek fazlı gelişen (sıvı) kapanımlar ile tek fazlı gelişen (gaz) kapanımlar oluşturmaktadır. Birincil kökenli iki fazlı gelişen (sıvı+gaz) kapanımlar çoğunlukla mercek, üçgen, yuvarlak/elipsoidal ve düzensiz biçimde olup (Şekil 5.15 c,d), boyutları; < 2-26.4 mikrometre; tek fazlı (sıvı) kapanımlar, yuvarlak/elipsoidal, dikdörtgen ve düzensiz şekilli olup boyutları < 1-51.2 mikrometre; tek fazlı (gaz) kapanımlar ise, yuvarlak/elipsoidal şekilli olup boyutları < 1-25.2 mikrometre arasında değişmektedir. İkincil kökenli kapanımlar; mercek, yuvarlak/elipsoidal, dikdörtgen ve düzensiz şekillerde olup boyutları <1-4.3 mikrometre arasında değişmektedir.

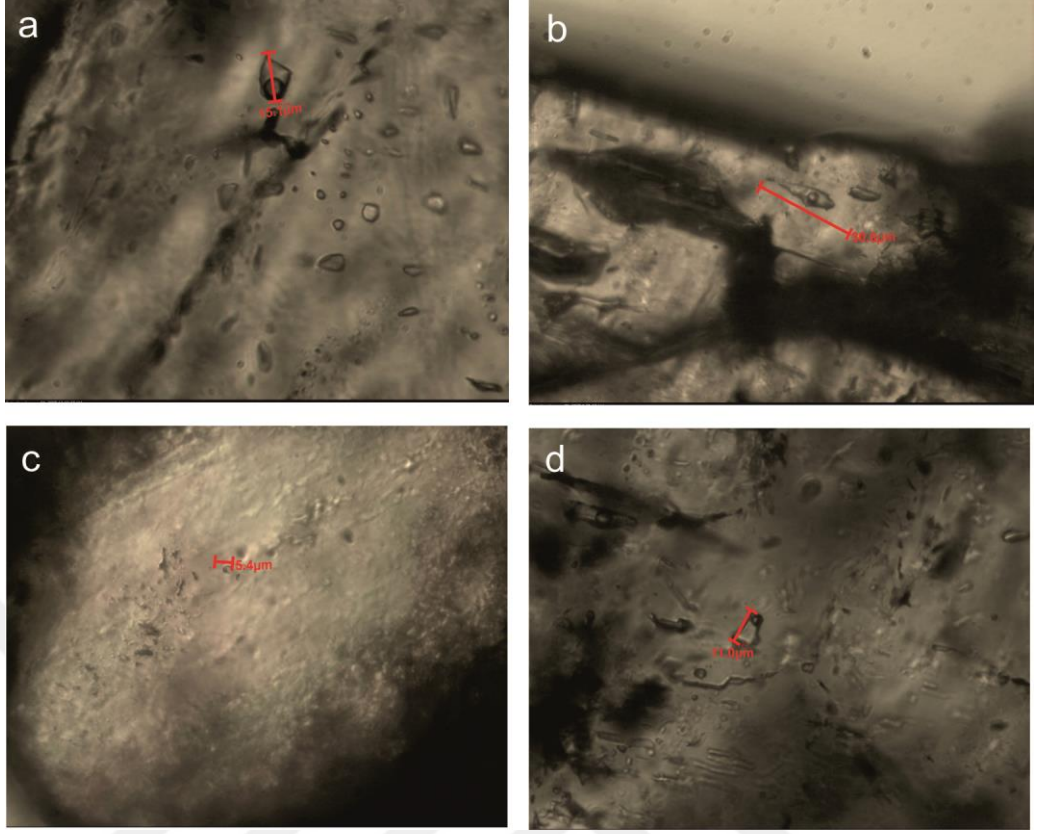
Sahanın kuzey yamacında silis dolguyla bulunan kuvars örneği; şeffaf-yarı şeffaf ve parlak olmayan kesimlerden ibarettir. Numunenin şeffaf-yarı şeffaf kristallerinde birincil ve ikincil kökenli kapanımlara rastlanmıştır. Birincil kökenli kapanımları; iki fazlı gelişen (sıvı+gaz) kapanımlar ve (bol oranda) tek fazlı gelişen (sıvı) kapanımlar ile tek fazlı gelişen (gaz) kapanımlar oluşturmaktadır. Birincil kökenli iki fazlı gelişen (sıvı+gaz) kapanımlar çoğunlukla mercek, üçgen, yuvarlak/elipsoidal ve düzensiz biçimde olup, boyutları; < 2-30.6 mikrometre; tek fazlı (sıvı) kapanımlar, yuvarlak/elipsoidal, dikdörtgen ve düzensiz şekilli olup boyutları < 1-40.3 mikrometre; tek fazlı (gaz) kapanımlar ise, yuvarlak/elipsoidal şekilli olup boyutları < 1-32.8 mikrometre arasında değişmektedir (Şekil 5.16 a,b). İkincil kökenli kapanımlar; mercek, yuvarlak/elipsoidal, dikdörtgen ve düzensiz şekillerde olup boyutları <1-8.4 mikrometre arasında değişmektedir.

Sahanın güney yamacında silis dolguyla bulunan kuvars örneği; şeffaf-yarı şeffaf; yer yer mat kesimlerden ibarettir. Örneğin şeffaf-yarı şeffaf kristallerinde birincil ve ikincil kökenli kapanımlar fark edilmiştir. Birincil kökenli kapanımları; iki fazlı gelişen

(sıvı+gaz) kapanımlar ve tek fazlı gelişen (sıvı) kapanımlar ile tek fazlı gelişen (gaz) kapanımlar oluşturmaktadır. Birincil kökenli iki fazlı gelişen (sıvı+gaz) kapanımlar çoğunlukla mercek, üçgen, yuvarlak/elipsoidal ve düzensiz biçimde olup (Şekil 5.16 c), boyutları; < 2-24.6 mikrometre; tek fazlı (sıvı) kapanımlar, yuvarlak/elipsoidal, dikdörtgen ve düzensiz şekilli olup boyutları < 1-15.5 mikrometre; tek fazlı (gaz) kapanımlar ise, yuvarlak/elipsoidal ve düzensiz biçimde olup boyutları < 1-13.0 mikrometre arasında değişmektedir (Şekil 5.16 d). İkincil kökenli kapanımlar; mercek, yuvarlak/elipsoidal dikdörtgen ve düzensiz şekillerde olup boyutları <1-3.0 mikrometre arasında değişmektedir.



Şekil 5.15 Galeriden alınan ve saçınımlı cevherle bulunan kuvars kristallerince gelişmiş kapanım birliklerinin üstten aydınlatmalı optik mikroskop görüntüleri a,c,d Birincil kökenli iki fazlı kapanımlardır, mercek, yuvarlak/elipsoidal, düzensiz biçimde ve < 1-70.0 µm arasında değişen boyutlara sahiptir. b tek fazlı (gaz) kapanımdır, yuvarlak/elipsoidal biçimde ve < 1-32.8 µm arasında değişen boyutlara sahiptir.



Şekil 5.16 Sahanın kuzey ve güney yamacından alınan kuvars kristallerince gelişmiş kapanım birliklerinin üstten aydınlatmalı optik mikroskop görüntüleri a,b,c Birincil kökenli iki fazlı kapanımlardır, mercek, üçgen, yuvarlak/elipsoidal, düzensiz biçimde ve $< 2-26.4 \mu\text{m}$ arasında değişen boyutlara sahiptir. d tek fazlı (gaz) kapanımdır, yuvarlak/elipsoidal, düzensiz biçimde ve $< 1-13.0 \mu\text{m}$ arasında değişen boyutlara sahiptir.

5.4.4 Mikrotermometrik ölçümler

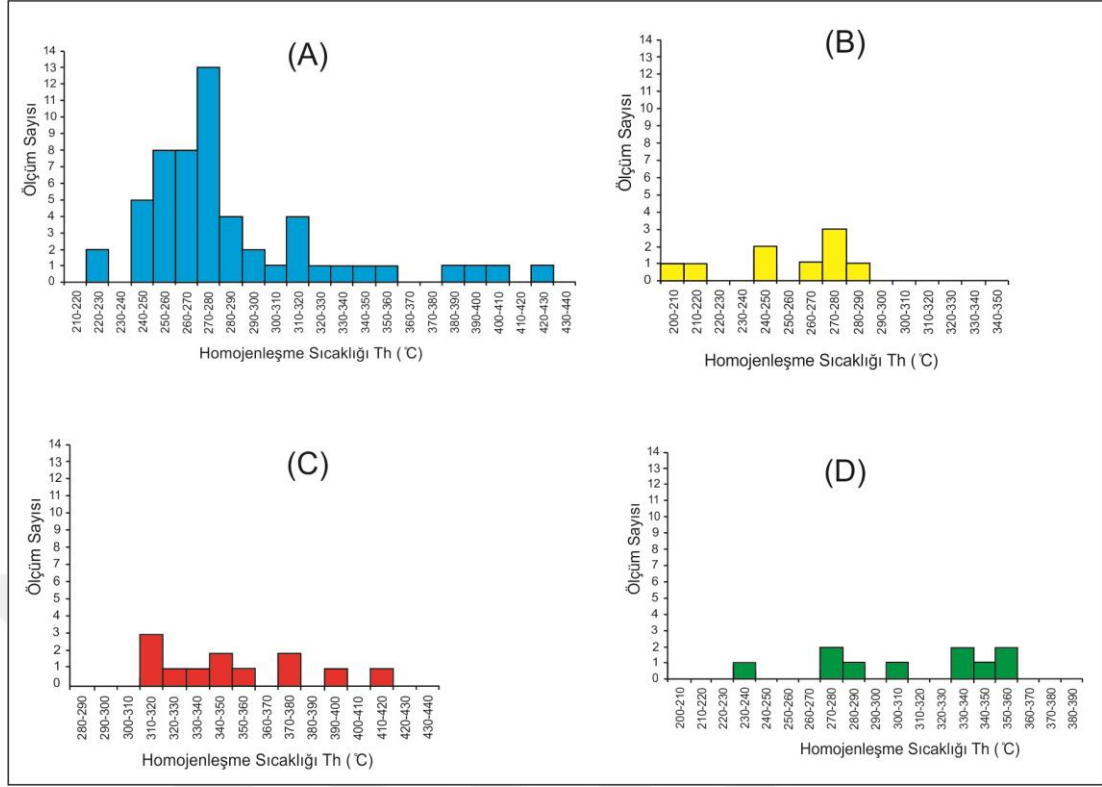
Kuvars mineralleri üzerine yapılan sıvı kapanım çalışmalarında elde edilen mikrotermometrik ölçümler sonucunda homojenleşme sıcaklık (T_h) ve son buz ergime sıcaklık (T_m) verileri elde edilmiştir. Homojenleşme ve son buz ergime sıcaklık verileri kullanılarak sıvı yoğunluğu ve tuzluluk değerleri hesaplanmıştır.

Homojenleşme Sıcaklık (T_h) Ölçümleri;

Sübeylidere Pb-Zn cevherleşmesine ait dört farklı konumdan alınan kuvars örneklerinde yapılan ölçümler neticesinde, ikincil kökenli kapanımlar; mercek, yuvarlak/elipsoidal, dikdörtgen ve düzensiz şekillerde olup boyutları $< 1-8.1$ mikrometre

arasında değişmektedir. Kapanımların boyutları küçük olduğu için mikrotermometrik ölçümler sırasında optik olarak gözlem yapılamamıştır. Örneklerin bazı kristallerinde yer yer, boyunlanmış (necking down), uzamış şekilli kapanımlar izlenmiş, boyunlanmış kısımlardan meydana gelen kapanımlar iki fazlı kapanıma bürünmüş olup, bu tür kapanımlardan düzgün sonuçlar elde edilemeyeceği için mikrotermometrik ölçümler yapılmamıştır. Mikrotermometrik ölçüm yapılan kapanımlar birincil kökenli iki fazlı gelişen (sıvı+gaz) kapanımlar olup, sıvı fazın gaz faza oranının çok görünen, yer yer gaz fazın baskın olduğu kapanımlar da bulunmuştur. Bu tür kapanımlarda homojenleşme sıcaklığı nadiren optik olarak gözlenebilmiştir. Ölçüm yapılan kapanımların çoğu sıvı faza homojenleşmiştir.

Eski galeride taraklı yapıda bulunan kuvars örneğinden, 55 adet homojenleşme sıcaklık değeri ölçülmüş ve değerler çizelgede verilmiştir. Ölçüm değerine göre birincil kökenli iki fazlı gelişen (sıvı+gaz) kapanımların homojenleşme sıcaklıkları 221-424°C arasında değişmektedir (Ek.1-1). Histograma bakıldığında özellikle 240-360°C değerleri arasındaki sıcaklıklarda yoğunlaşmalar görülmektedir (Şekil 5.17-A). Saçınımlı cevherle birlikte gözlenen kuvars örneğinden, birincil kökenli iki fazlı gelişen (sıvı+gaz) kapanımlarda gerçekleştirilen çalışmalarda 9 adet homojenleşme sıcaklık değeri ölçülmüş ve değerler çizelgede verilmiştir. Homojenleşme sıcaklıkları 207-283°C arasında değişmektedir (Ek.1-2). Histograma bakıldığında özellikle 240-280°C arasındaki sıcaklıklarda yoğunlaşmalar görülmektedir (Şekil 5.17-B). Sahanın kuzey yamacında silis dolguyla bulunan kuvars örneğinden, birincil kökenli iki fazlı gelişen (sıvı+gaz) kapanımlarda gerçekleştirilen çalışmalarda 12 adet homojenleşme sıcaklık değeri ölçülmüş ve değerler çizelgede verilmiştir. Homojenleşme sıcaklıkları 310-419°C arasında değişmektedir (Ek.1-3). Histograma bakıldığında özellikle 310-380°C arasındaki sıcaklıklarda yoğunlaşmalar görülmektedir (Şekil 5.17-C). Sahanın güney yamacında silis dolguyla bulunan kuvars örneğinden, birincil kökenli iki fazlı gelişen (sıvı+gaz) kapanımlarda gerçekleştirilen çalışmalarda 10 adet homojenleşme sıcaklık değeri ölçülmüş ve değerler çizelgede verilmiştir. Homojenleşme sıcaklıkları 233-359°C arasında değişmektedir. (Ek.1-4). Histograma bakıldığında özellikle 270-350°C arasındaki sıcaklıklarda yoğunlaşmalar görülmektedir (Şekil 5.17-D).



Şekil 5.17. Birincil kökenli iki fazlı gelişen (sıvı+gaz) kapanımların homojenleşme sıcaklıklarının (Th °C), A) Galeri'de taraklı yapıda bulunan kuvars mineralinin 240-360°C arasındaki sıcaklıklarda, B) Saçınımlı cevherle birlikte gözlenen kuvars mineralinin 240-280°C arasındaki sıcaklıklarda, C) Sahanın kuzey yamacında silis dolguyla bulunan kuvars mineralinin 310-380 °C arasındaki sıcaklıklarda, D) Sahanın güney yamacında silis dolguyla bulunan kuvars mineralinin 270-350 °C arasındaki sıcaklıklarda yoğunlaştıklarını gösterir dağılım histogramları

Son Buz Ergime Sıcaklığı (Tm °C) Ölçümleri;

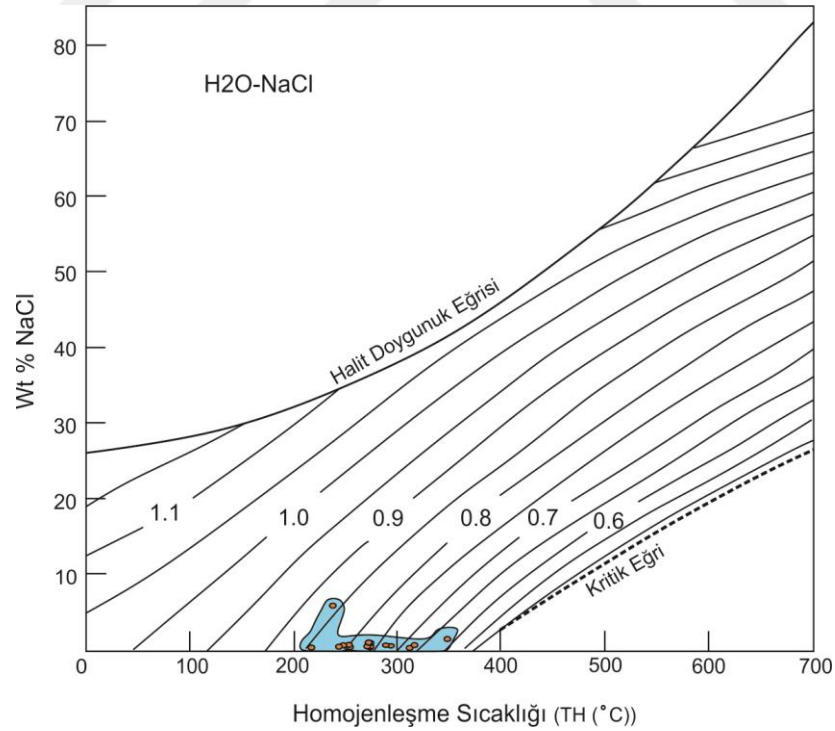
Birincil kökenli iki fazlı gelişen (sıvı+gaz) kapanımlar sıvı azotla dondurulmuş ve ergime sıcaklıkları (Tm °C) ve bunlara denk gelen % NaCl değerlikleri Bodnar (1993)'ın eşitliği (Tuzluluk: $1.78 T_{M-ICE} - 0.0442 T_{M-ICE}^2 + 0.000557 T_{M-ICE}^3$), kütle yoğunluk değerleri ise Bakker (2003)'in programı kullanılarak hesaplanmıştır. Mikrotermometrik ölçümler neticesinde açığa çıkan homojenleşme sıcaklığı (Th °C), son buz ergime derecesi (Tm °C) ve bu ölçümlere göre hesaplanan tuzluluk ve kütle yoğunluk değerleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Homojenleşme sıcaklığı ve son buz ergime derecesi ölçülen 19 adet iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlarda yapılan hesaplamalarda tuzluluğun % 0.4-5.0 NaCl eşdeğeri arasında bulunmuştur. Wilkinson (2001)'in yoğunluk diyagramı kullanılarak homojenleşme

sıcaklık (Th) değeri ve %NaCl tuzluluk değerleri diyagrama işlenmiş ve sıvı kapanımların hesaplanan ortalama yoğunluk değeri 0,78 bulunmuştur (Şekil 5.18). Bodnar (1993)'in eşitliği ile yoğunlukların 0,61 ile 0,86 g/cm³ arasında değiştiği doğrulanmıştır (Çizelge 5.3).

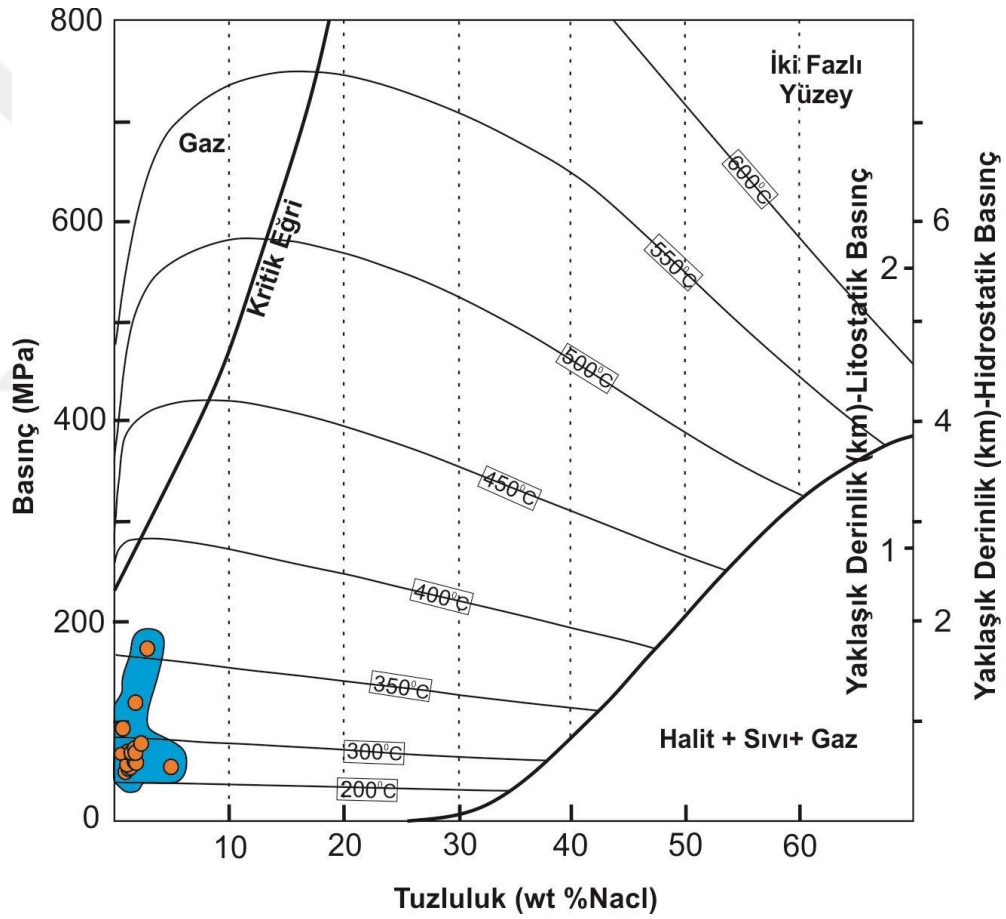
Çizelge 5.3 Galeri'de taraklı yapıda bulunan kuvars mineralline ait birincil kökenli iki fazlı gelişen (sıvı+gaz) kapanımların ölçülen homojenleşme sıcaklıklarını (Th °C), son buz ergime derecesi (Tm °C) ve bu ölçümlere göre hesaplanan tuzluluk ve kütle yoğunluk değerleri

Homojenleşme Sıcaklığı Th (°C)	Tm (°C)	% NaCl eşdeğeri	Yoğunluk g/cm ³	Homojenleşme Sıcaklığı Th (°C)	Tm (°C)	% NaCl eşdeğeri	Yoğunluk g/cm ³
223	-0.4	0.7	0.84	278	-0.8	1.4	0.75
240	-3.0	5.0	0.86	279	-0.9	1.6	0.76
243	-0.4	0.7	0.81	279	-0.6	1.1	0.75
248	-0.4	0.7	0.80	286	-0.2	0.4	0.72
252	-0.6	1.1	0.80	286	-0.3	0.5	0.73
253	-1.0	1.7	0.80	298	-0.7	1.2	0.71
254	-0.7	1.2	0.80	311	-0.4	0.7	0.67
271	-0.5	0.9	0.76	329	-0.7	1.2	0.64
274	-0.6	1.1	0.76	355	-1.7	2.9	0.61
275	-0.2	0.4	0.75				



Şekil 5.18 Sıvı kapanımlardan elde edilen sonuçlara göre homojenleşme sıcaklığı (Th) ve % NaCl eş değeri tuzluluk arasındaki bağlantıyla oluşturulmuş %NaCl-Th-Yoğunluk diyagramı (Wilkinson, 2001'in Wt%NaCl-Th-Yoğunluk diyagramı)

Bölgedeki sistemin faz ilişkilerini gösteren basınç-tuzluluk-derinlik diyagramına baktığımızda (Şekil 5.19), cevherleşmeyle ilişkili olan farklı bölgelerden alınan kuvars minerallerinin ortalama 207-419°C homojenize sıcaklıkları, orta-yüksek sıcaklıklarda sülfür mineralizasyonu sırasında gerçekleşmiştir. Bu sırada cevher-yapıcı su fazlı akışkanın görece azalması ile sıcaklık evresinin düşmesi sonucu akışkanın soğuma süreci başlamıştır. Kırık-çatlak zonlarında gelişen sülfür minerallerinin çökmesiyle tuzluluk azalmış ve cevherleşme sistemine meteorik su girişi gerçekleşmiştir. Bu da sistemde magmatik akışkanların zaman içinde meteorik su girdisiyle cevherleşmenin tamamlandığı göstermektedir.



Şekil 5.19 Sistemde faz ilişkilerini gösteren basınç-tuzluluk-derinlik diyagramı (Bouzati ve Clark, 2006'dan alınmıştır).

5.5 Duraylı İzotop Çalışmaları

5.5.1 Oksijen izotop çalışmaları

Doğada en bol bulunan elementlerden biri olan oksijen katı, sıvı ve gaz bileşikleri içerisinde bulunmaktadır. İzotop jeokimyasında oksijenli bileşiklerin tercih edilme sebebi çok geniş aralıklarda duraylı kalabilmesinden kaynaklıdır. Oksijenin; ^{18}O , ^{17}O ve ^{16}O ile birlikte toplamda 3 çeşit duraylı izotopu vardır (Rosman ve Taylor, 1998). Duraylı izotoplardan, doğada en bol bulunan ^{16}O ile ^{18}O izotopları kullanılarak $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ oranı elde edilir. Oksijen izotop analizleri, sülfatlar, karbonatlar, oksitler ve silikatlara ek olarak sıvı kapanımlarda bulunan sıvılar üzerinde yapılmaktadır. Cevherleşme ile ilişkili mineraller üzerinde yapılan oksijen izotop analizlerinde $\delta^{18}\text{O}$ değerleri hem cevherleşmeyi meydana getiren akışkanların kökeni hem de oluşum sıcaklıkları hakkında bilgi sağlamak amacıyla yapılmaktadır (Faure ve Mensing, 2005). Oksijen izotopları, mineral oluşturucu çözeltilerdeki akışkan kaynağının belirlenmesinde izotopik izleyici olarak kullanılmaktadır. Yer kabuğundaki farklı kayaç grupları ve farklı su türleri, örneğin birincil magmatik ve metamorfik, okyanus, meteorik, jeotermal, karışım, suların tamamı karakteristik olarak $\delta^{18}\text{O}$ değerleri sergilemektedir (Şekil 5.20).

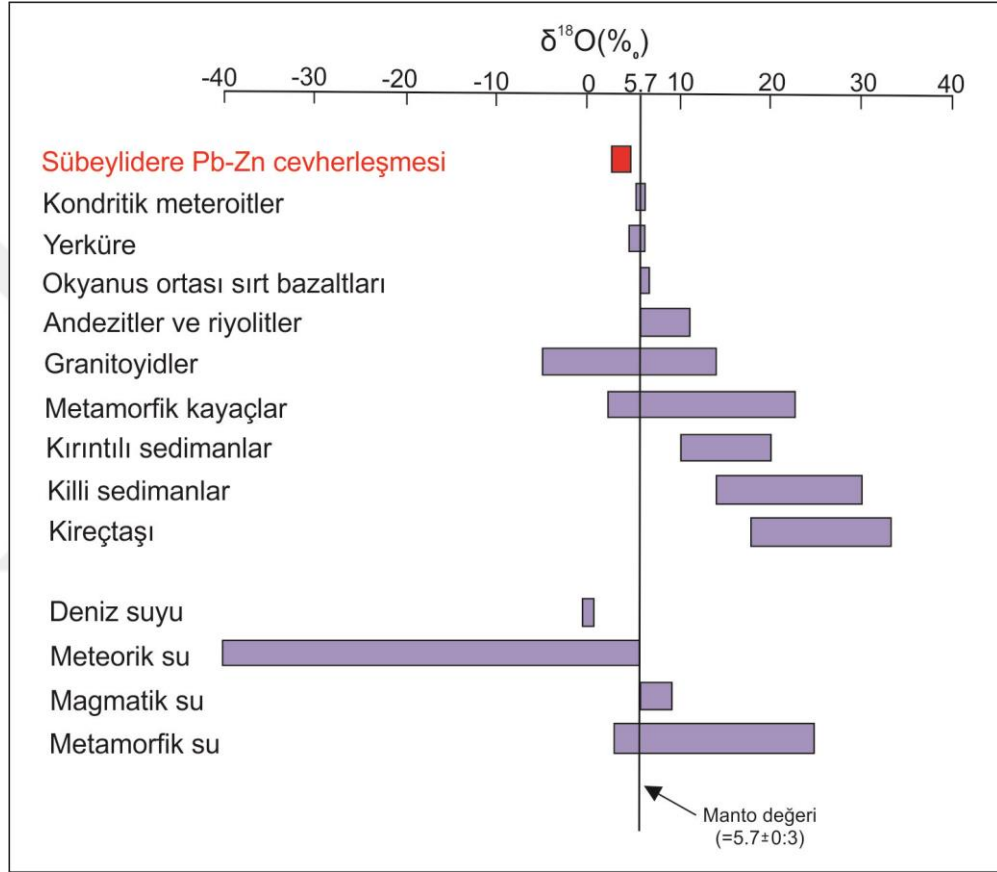
Sübeylidere Pb-Zn cevherleşmesinden alınan 3 adet cevherle ilişkili kuvars örneğinin $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ değerleri, sıvı kapanım çalışmalarından elde edilen homojenleşme sıcaklıkları yardımıyla Clayton vd. (1973)'in fraksiyon denklemi kullanılarak hesaplanmış (1) ve ilksel akışkanın $\delta^{18}\text{O}_{\text{fluid}}$ verileri bulunmuştur (Çizelge 5.4).

$$(1) 10^3 \ln \alpha_{\text{Quartz-waters}} = 3.38 \times 10^6 T^{-2} - 3.40$$

Çizelge 5.4 Sübeylidere Pb-Zn yatağının oksijen izotop değerleri

Örnek numarası	$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ (‰)	Th (°C)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{fluid}}$ (‰)
SUB-1	3.2	284.3	5.51
SUB-5	2	284.3	4.31
SUB-10	3.5	307.4	5.90

Alınan kuvars örneklerinin $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ değerleri 2.0-3.5 ‰ arasında yer almakta olup ortalama değeri 2.9 ‰ 'dur (n:3). Elde edilen değerler cevherleşme ile ilişkisi olabilecek rezervuarlarla karşılaştırıldığında örneklerin, hidrotermal cevherleşmelerin oksijen izotop değerlerine benzerlikler gösterdiği ve baskın olarak meteorik su kökenli oldukları söylenebilir (Şekil 5.20).



Şekil 5.20 Doğada bulunan oksijen izotop rezervuarları. Veriler, Taylor (1974), Sheppard (1977) ve Hoefs (1987)'den alınmıştır.

5.5.2 Kükürt izotop çalışmaları

Rye ve Ohmoto (1974,1979), Ohmoto (1986), Taylor (1987)'in jeolojik ortam, kayaç ve cevherleşme tiplerine göre kükürt izotopları üzerine yaptıkları araştırmalar sonucunda konu hakkında inceleme yürüten araştırmacılara referans olmaktadır.

Sakai(1968), Sülfid minerallerindeki $\delta^{34}\text{S}$ değerleri sonuçlarına göre yorumlaması kükürt izotop çalışmalarının temeli olarak kabul edilmektedir.

Sülfürün baskın olduğu maden yataklarında metal olmayan bir element olan kükürt, ana bileşen olarak bulunabilmektedir. Stabil izotopların karışımı olan kükürt karışımların doğal haldeki yüzdeleri ^{32}S :95,02 %; ^{33}S :0,75 % ; ^{34}S :4,21 %; ^{36}S :0,02 % şeklindedir. Kapalı sistemde gerçekleşen magma oluşumları sırasında sistemde gelişen oksijen-kükürt bağları açığa çıkmakta ve bu bağların kolaylıkla dağılmadığı kabul görmektedir. Açık ve kapalı sistem arasında oluşan karışım sistemi kapalı sistemden hidrotermal faza geçiş sistemi sonrası oluşmaktadır. Sülfid fazlar arasında sıcaklığa bağlı gelişen izotop fraksiyonlaşmaları üzerine birçok çalışmalar yürütülmüştür. Bu çalışmalar en çok galen, sfalerit ve pirit arasındaki izotopik denge içerikleriyle yapılmıştır ancak izotop fraksiyonlaşmaları üzerine yapılan bu deneyler sonucunda aralarında uyum olmadığı gözlenmiştir. Termometrik çalışmalar için en uygun izotopik dengenin sadece galenit-sfalerit mineral çiftinde olduğu anlaşılmıştır.

Sülfat ve sülfid minerallerinin gelişimiyle oluşan hidrotermal maden yataklarındaki kükürt gelişimi iki farklı yolla açıklanabilmektedir. İlk olarak kükürt varlığı magmatik kaynaktan gelen magmatik akışkanlar tarafından taşınması sonucunda; ikinci olarak kükürt gelişimi deniz suyu kaynağında bulunan magmatik kayalardaki sülfür minerallerinin yıkaması sonucu geliştiği yönündedir.

Hidrotermal minerallerde bulunan ^{34}S değerlerinin düzgün bir şekilde yorumlanması hidrotermal sistemin ve cevher mineralizasyon içerisindeki izotopsal ayırlama işlemlerinin belirlenmesi ve anlaşılmasıyla mümkündür (Ohmoto ve Rye, 1979).

Kükürt izotop jeotermometresinin temeli, tipik katı olan iki faz arasındaki sıcaklık neticesinde belirlenmektedir. Sfalerit, pirit veya galenit'e benzer iki unsur arasındaki kükürt izotoplarının ayrılmasını esas alan kükürt izotop jeotermometresi, çözülmüş SO_4^{-2} ve H_2S arasındaki kükürt izotoplarının ayrılmasında kullanılmaktadır. Birçok gerekliliğe ve varsayıma dayanan bu tür jeotermometreler için kullanılan kükürt izotopları ;

- Eş zamanlı minerallerden oluşmalı ve birisi diğeri ile denge sıcaklığını sağlamalı
- Alterasyon ve yeniden dengelenme mineral çiftleri arasında gözlenmemeli
- Saf bulunan mineraller izotop analizinde kullanılmak üzere ayrılmalı
- Ayrılma bileşenlerinin sıcaklık ilişkisi bilinmeli

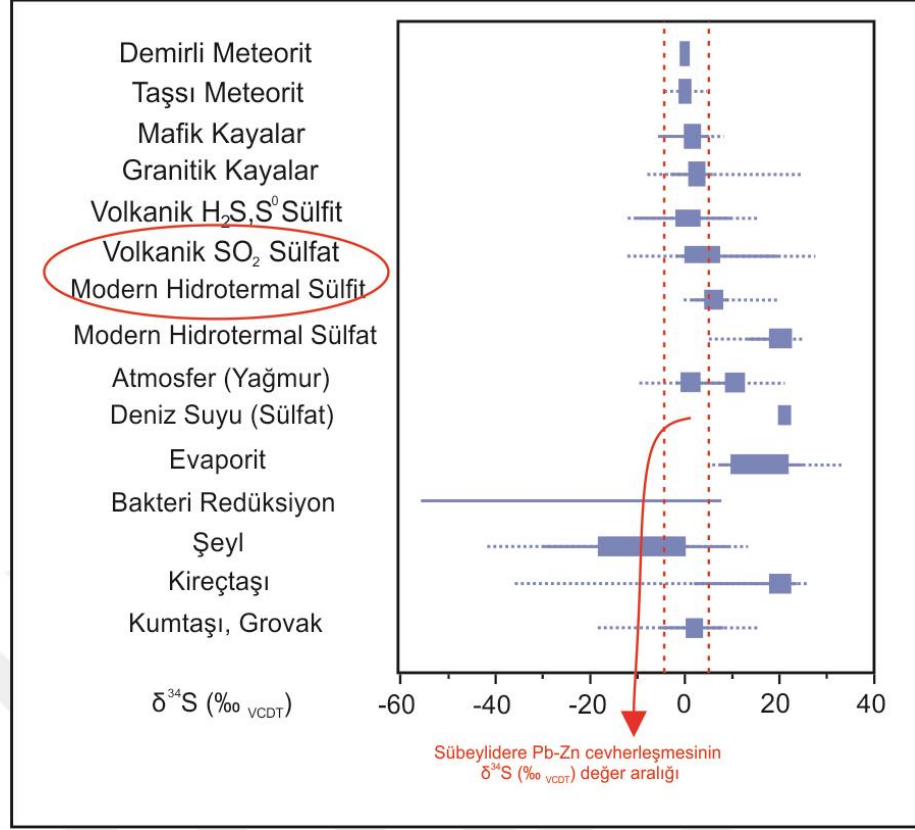
Sübeylidere Pb-Zn yatağında bulunan minerallerinin kükürt izotop denge çiftlerinin kullanımıyla minerallerin oluşum sıcaklıklarını (Ohmoto ve Rye, 1979) ve cevher gelişimine sebep olan kükürtün kaynağını belirleyebilmek için kükürt izotop analizi yapılmıştır. Bölgede mostra veren sülfid minerallerinden aynı alana ait temsili seçilen galenit ve sfalerit mineral çifti için toplamda 6 adet analiz örneği seçilmiş, mineral saflığına dikkat edilerek ayrıştırılmış ve kükürt izotopu için analiz edilmişlerdir.

Sülfid minerallerinin $\delta^{34}\text{S}$ (‰) izotopik bileşim bakıldığında (Çizelge 5.5); galenit mineral $\delta^{34}\text{S}$ değerleri 5.50 ‰ ile 2.60 ‰ arasında (ort: 4.46 ‰), sfalerit mineral $\delta^{34}\text{S}$ değerleri 5.40 ‰ ile -4.0 ‰ arasında (ort: 1.06 ‰) değişim göstermektedir.

Yüksek $\delta^{34}\text{S}$ değerlikli sfaleritin, mantodan gelen $\delta^{34}\text{S}$ değerlerinden yaklaşık “0” değerinden farklı olduğunu (Chaussidon vd. 1989) aynı zamanda bölgede sülfat minerallerinin yokluğu, hidrotermal sıvıların sülfür izotop bileşimini yansıttığını göstermektedir (Ohmoto, 1972). Pozitif değerlikli S izotop verilerinin genel olarak dar bir aralıkta toplanması sülfür kaynağıyla izotopik bir dengede olduğunu ve sülfat indirgemeleri oluşturduğunu aynı zamanda değişen sıcaklık ve basınç şartları altında metalce bol hidrotermal sıvılara maruz kalmasıyla hidrotermal süreçte gelişen galenit ve sfalerit cevher minerallerinin oluştuğunu açıklamaktadır.

Çizelge 5.5 Sübeylidere Pb-Zn cevherleşmesinde cevher tiplerine göre alınan örneklerde $\delta^{34}\text{S}$ (‰) izotopik bileşim değerlerini gösteren çizelge

Örnek No	Cevher Tipi	$\delta^{34}\text{S}$ (‰ _{VCDT})	
		Galenit	Sfalerit
SUB 6	Ağsal Cevher	5.30	-4.40
SUB 10	Saçınımlı Cevher	2.60	5.40
SUB 11	Galenit-Silis Damarı	5.50	2.20



Şekil 5.21 Kükürt içeren çeşitli ortamlara ait $\delta^{34}\text{S}$ (‰) değerlerinin dağılımını belirten çizelge (Nielsen, 1979)

Çalışma alanında gelişen sfaleritin ve galenitin kükürt izotop analiz sonuçlarıyla Şekil 5.21'e bakıldığında, "Volkanik Sülfat" ile "Modern Hidrotermal Sülfid" ortamları içerisinde yer aldığı anlaşılmaktadır.

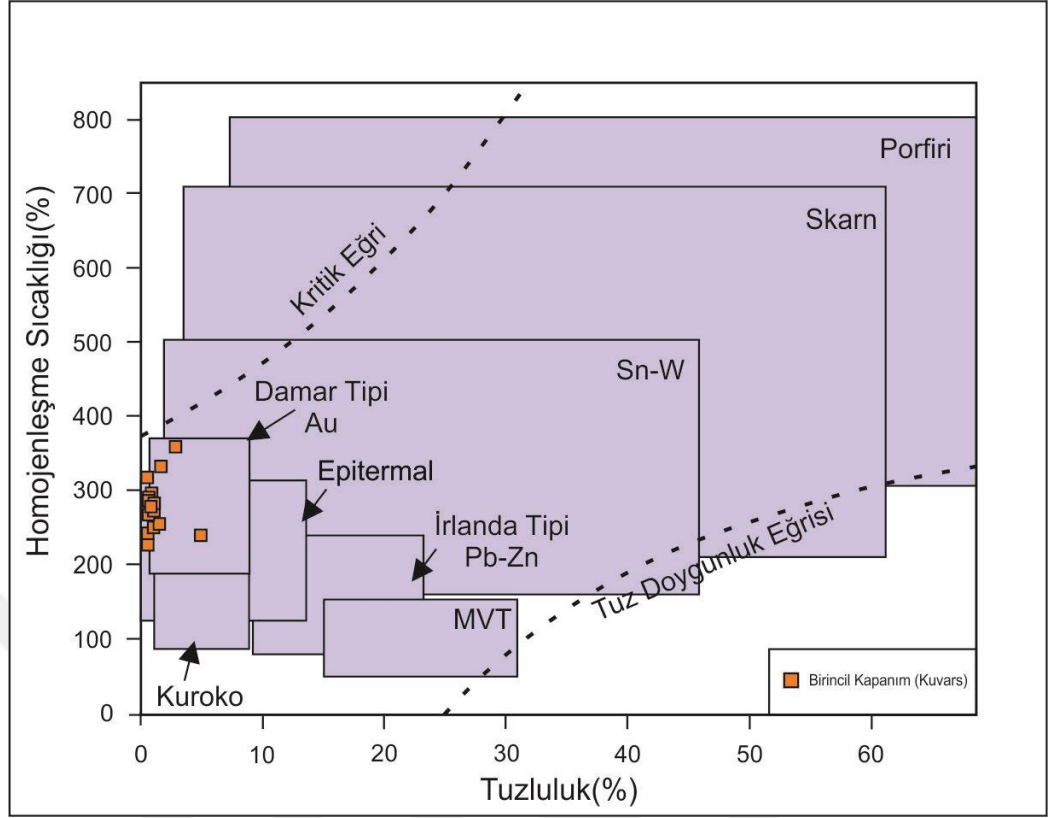
6. TARTIŞMA

Tez çalışması kapsamında, yankayaç ve cevher zonlarına ait petrografik ve mineralojik veriler, cevher mikroskobisi incelemeleri, mikrotermometrik ve izotop çalışmaları yapılmış ve analitik verileri araştırma ve bulgular başlığı altında daha önce sunulmuştur. Bu bölümde, yürütülen çalışmalar için değerlendirmelerde bulunup, yorumlamalar yapılmıştır.

Sübeylidere Pb-Zn yatağı, volkanizma ve hidrotermal sıvıların taşınması ile ilişkili çeşitli fiziko-kimyasal koşullardan etkilenmektedir. Bu sıvılar kabuk içine nüfuz eder, yakınlardaki kayalardan metalleri çözer ve çalışma alanındaki fay ve kırıklar aracılığıyla yüzeye doğru dolaşabilir ve akabilir. Bu hidrotermal sıvılar daha düşük basınç veya sıcaklık bölgelerine ulaştığında genellikle mineralizasyon meydana gelir, çözülmüş metallerin sıvıdan çökmesine ve mineralize damarların oluşmasına izin verir. Bu nedenle, volkanizma, hem bir ısı kaynağı olarak hem de hidrotermal sıvıların mobilize edilmesi için bir mekanizma olarak önemli bir rol oynayabilmektedir.

6.1 Mikrotermometrik İncelemeler

Sübeylidere Pb-Zn cevherleşmesinde mikrotermometrik ölçümler sonucunda elde edilen homojenleşme sıcaklık ve %NaCl eşdeğeri tuzluluk değerleri ile benzer ilişkili yatak tiplerinde ortaya konulan veriler karşılaştırılmıştır (Çizelge 5.3). Buna göre ortaya konulan değerlerin damar tipi yatakla ilişkili gelişen bir cevherleşme olduğu sonucuna varılmıştır (Şekil 6.1). Mineralizasyon sırasında akışkanın homojenleşme sıcaklık (Th) değerleri ve tuzluluk oranlarının arasındaki değerler farkının fazla olmadığı ve dar bir aralıkta toplandığı görülmektedir. Bu gözlem sonucunda sıvı kapanım değerlerinin mikrotermometrik özellikleri, cevherleşmeye neden olan bileşiklerde herhangi bir kaynamanın olmadığını ifade etmektedir.



Şekil 6.1. Sübeylidere Pb-Zn cevherleşmesinin homojenleşme sıcaklığı (Th)- %NaCl eşdeğeri tuzluluk değerlerinin Maden yatakları verileriyle karşılaştırılması (Roedder, 1984'ten alınmıştır).

Mikrotermometrik ölçüm sonuçlarını, Wilkinson (2001)'in yaptığı çalışmada çeşitli hidrotermal yatakların karakteristik özellikleriyle karşılaştırıldığında baskın olarak mezotermal yatakların gösterdiği anlaşılmaktadır (Çizelge 6.1).

Çizelge 6.1 Epitermal ve mezotermal yatakların sıvı kapanım karakteristikleri (Wilkinson, 2001)

Yataklar Tipleri	Mineral	Th (°C)	Tuzluluk	Yavru Mineral	Kapanlanma Fazları	Yorum
Epitermal	cc, qz, sph	100-300	0-12	-	-	Kaynama yaygındır, Düşük CO ₂
Mezotermal	cc, dol., fl, ba, qz, sph	200-400	2-10	-	-	Yüksek CH ₄ +CO ₂

Kısaltmalar: ba: barit, cc :kalsit, dol:dolomit, fl:florit, qz: kuvars, sph: sfalerit, Th (°C): homojenleşme sıcaklığı,

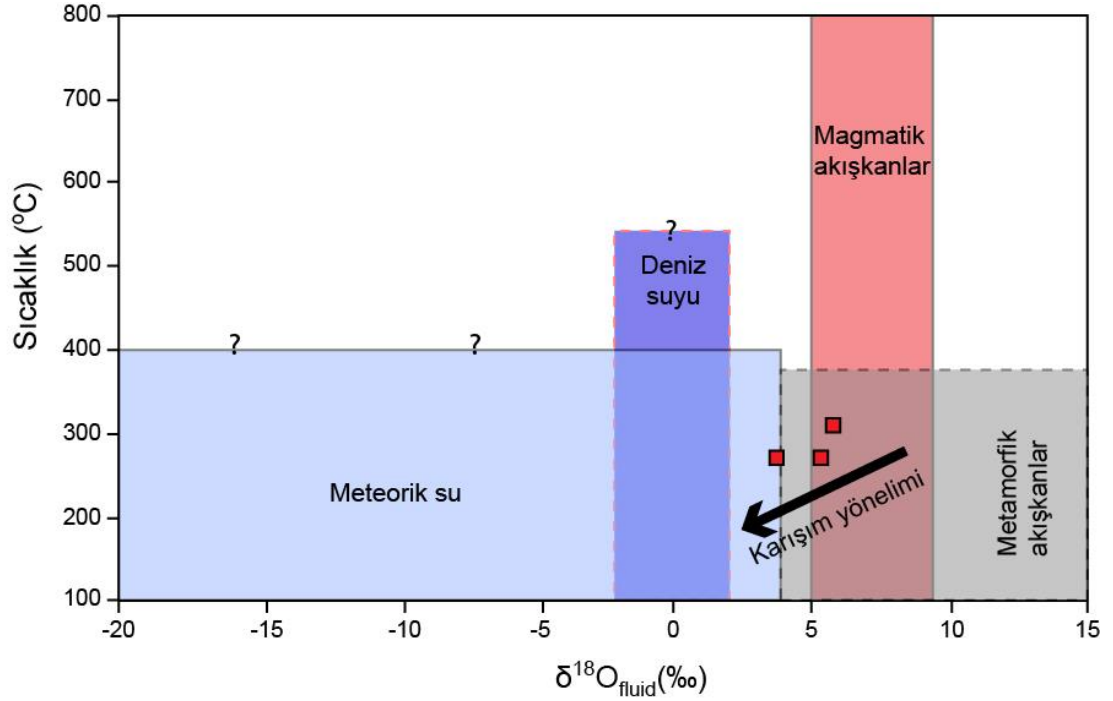
6.2 Duraylı İzotop Çalışmaları

6.2.1 Oksijen izotop çalışmaları

Çeşitli cevher yataklarının izotopik bileşimleri üzerine yapılan son çalışmalar, cevherleşme oluşumda etkili olan hidrotermal akışkanların çoğunda birincil magmatik su ile birlikte meteorik suyun varlığını da ortaya koymuştur (örn. Akıska ve Demirela, 2014; Huang vd., 2019).

Geçirgen kayalara sokulan magmatik intrüzyonlar, meteorik suyunun veya deniz suyunun çevredeki kayalar boyunca dolaşımıyla oluşan bir hidrotermal konvektif sistemi çalıştırmak için ısı motoru görevi görmektedir. Bu tür sistemlerdeki magmatik su miktarı ısınmış meteorik su ile karşılaştırıldığında ihmal edilebilir bir düzeyde olmaktadır. Bununla birlikte, izotop verilerine göre, farklı kaynaklardan gelen suların karışması, birçok yerde cevher birikiminin ve hidrotermal alterasyonun en karakteristik özelliği gibi görünmektedir (Taylor, 1979; Faure ve Mensing, 2005).

Şekil 6.2' ye bakıldığında cevherle ilişkili kuvars örneğinin minimum homojenleşme sıcaklığı ve $\delta^{18}\text{O}$ değerleri arasındaki grafik gösterilmektedir. Bu grafik, Sübeylidere Pb-Zn cevherleşme aşamasını temsil eden hidrotermal akışkan bileşeni olan magmatik akışkanların yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklık rejimlerine doğru bir akışkan karışım yöneliminin olduğunu göstermektedir. Düşük sıcaklık rejimine olan akışkan yönelimi ise bölgede meteorik su girişiminin olduğunu işaret etmektedir.



Şekil 6.2 Sübeylidere Pb-Zn yatağında kuvars örnekleri ile denge halindeki cevher oluşturan sıvının hesaplanmış oksijen izotopik değerlerine karşı homojenleşme sıcaklığının grafiği (Taylor, 1979; Pope vd., 2012; Wang vd., 2017; Duuring vd., 2018)

6.2.2 Kükürt izotop çalışmaları

Cevher yatakların oluşumundaki kükürtün izotop bileşimleri, kükürt'ün oluşum ortamını temsilen üç kısma ayırarak incelenebilmektedir. Bunlar; deniz suyunun organik indirgenmesi, magmatik kükürt ve deniz suyundaki kükürttür. Dünyadaki çeşitli cevher yatakların kükürt izotop değerlerine bakıldığında indirgenme ile oluşan kükürtün negatif değerlere doğru, deniz suyundaki kükürtün ise pozitif değerlere doğru yöneldiğini, magmatik kaynaklı kükürtün ise sıfır veya sıfıra çok yakın değerler aldığı görülmektedir. Gökçe (1993) tarafından yapılan derleme çalışmasında bu durum;

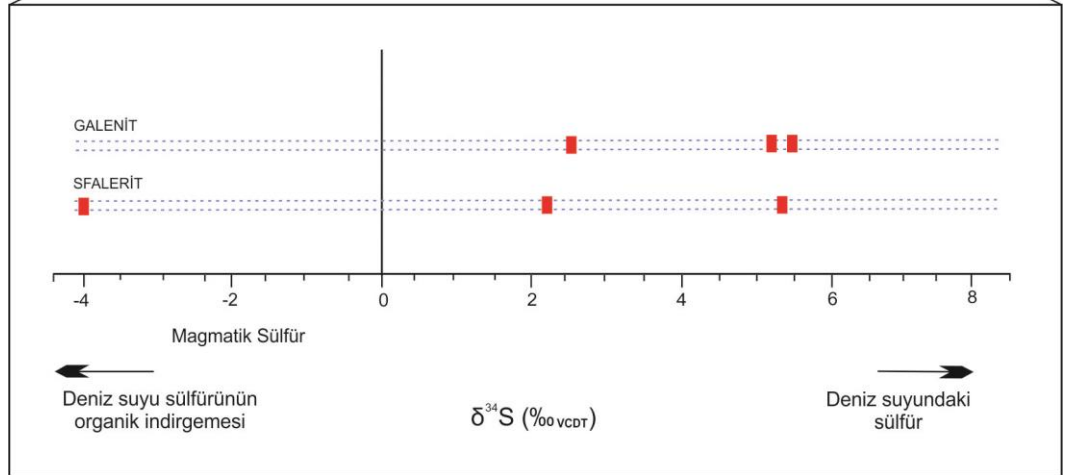
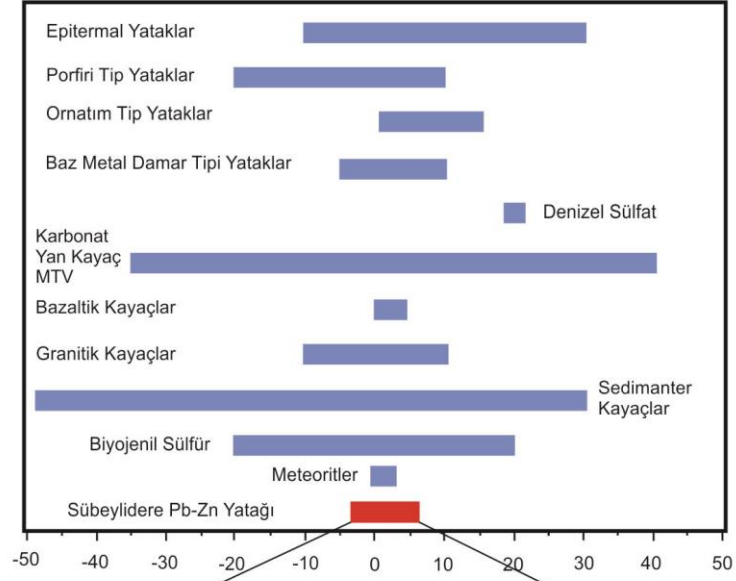
- -10 ‰'dan daha hafif $\delta^{34}\text{S}$ değerlerini “bakteriyel süreçlerle indirgenmiş kükürt”,

- 0 ‰ ‘a çok yakın ve dar bir aralıkta dağılım gösteren $\delta^{34}\text{S}$ değerlerini “magmatik kökenli kükürt”,
- +10 ‰’dan daha büyük $\delta^{34}\text{S}$ değerlerini “deniz suyundan inorganik (\pm organik) reaksiyonlarla indirgenmiş kükürt”,

olarak özetlemiştir.

Sübeylidere Pb-Zn cevherleşmesinden çıkarım yapılan izotop değerleri ağırlıklı olarak $\delta^{34}\text{S}=-10\text{‰}$ ilâ +10 arasında değişen granitik kayalar, $\delta^{34}\text{S}=\text{‰}-20$ ilâ +10 arasında değişen porfiri tip cevherleşmeleri, $\delta^{34}\text{S}=\text{‰}-5$ ilâ +10 arasında değişen baz metal damar tip yatakları, $\delta^{34}\text{S}=\text{‰}-10$ ilâ+30 arasında değişen epitermal yatakları ve $\delta^{34}\text{S}=\text{‰}-5$ ilâ +12 arasında değişen masif sülfid yatakları için belirlenen değerlerin genel yayılım aralığı ile benzerliklerini göstermektedir (Şekil 6.3). Burada elde edilen S izotop değerlerinin 0’a yakın ve dar bir aralıkta yer alması kükürtün kaynağının magmatik olduğuna işaret etmektedir (Ohmoto ve Rye, 1979).

Türkiye ve Dünya genelinde farklı epitermal-mezotermal yataklarda oluşan sülfid minerallerinin kükürt izotop oranları ($\delta^{34}\text{S}$ değerleri), granitik ve bazaltik kayalarda tespit edilen $\delta^{34}\text{S}$ değerleri aralığına giren geniş bir değer aralığı sergilemektedir. $\delta^{34}\text{S}$ değerleri cevher minerallerinin kükürt izotop bileşimi, orta ve yüksek sülfidasyon mineralizasyonu bağlamında daha fazla değişkenlik gösterir. Bu oluşumun nedeni, mineralizasyon işlemi sırasında hidrotermal akışkanlardan sülfid ve sülfat minerallerinin önemli miktarda çökmesidir (Oyman vd., 2023).



Şekil 6.3 a. Farklı kayaç tipleri, jeoloji ortam koşulu ve cevherleşme/cevher tiplerinin $\delta^{34}\text{S}$ (‰) değişimi (Ohmoto ve Rye, 1979; Field ve Fifarek, 1985; Hoefs, 1987), b Çalışma sahasından alınan galenit ve sfalerit mineralleri ilişkisi sonucu çıkarılan $\delta^{34}\text{S}$ (‰) izotop değişimleri

Yatakta yürülen arazi çalışmaları, kayaç örneklerindeki yapı-doku ve mineralojik özellikleri, cevherin oluşum parajenezi, mikrotermometrik analiz sonuçları ve duraylı izotop çalışmaları neticesinde cevherleşmenin oluşum tipi, epitermal tip yatağın oluşum özelliklerinden ziyade mezotermal tip yatağın oluşum sürecini göstermektedir.

7. SONUÇLAR

1. Çalışma alanı ve civarında mostra vermiş kayalar otokton olarak Alt Triyas'tan Kuvaterner yaşına kadar sedimentler, magmatik ve metamorfik kayalarla temsil edilmektedir. Buna bağlı olarak bölgede; Halilağa Grubu'na ait Alt Triyas yaşlı Kınık formasyonu, Kretase-Eosen yaşlı Kozak granodiyoriti, Miyosen-Pliyosen yaşlı Yuntdağ volkanitleri ve Ballica formasyonu, Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Soma formasyonu, Miyosen-Pliyosen yaşlı Rahmanlar aglomerası ve tüm birimleri örten alüvyonlar bulunmaktadır.
2. Sübeylidere bölgesi'nde yüzeyleyen ve Pb-Zn cevherleşmelerinin birlikte görüldüğü Miyosen yaşlı volkanitler ise cevher damarının bulunduğu ana kayacı oluşturmaktadır. Volkanitler; andezit, andezit bazalt, aglomera ve volkanik breşi şeklinde temsil edilmektedir. Andezitlere makroskobik olarak bakıldığında gri, sarı ve pembe renkli bulunurken, cevher gelişimine yakın olan ve mineralojik bileşimi bakımından değişikliğe uğrayan yan kayaç, boz gri renkte gözlenmektedir. Bu gözlem sonucunda alterasyon derecesinin eski galeri ağzı ve çevresinde artış gösterdiği saptanmıştır. Bu artış bölgedeki andezitlerde gelişen fay ve kırık sistemlerini kullanan hidrotermal akışkanın cevher getirmesiyle birlikte yan kayacı alterasyona maruz bırakmasından kaynaklanmaktadır. Böylece çalışma alanında gelişen fay ve kırık sistemleri, cevherleşmelerin aranmasında klavuz seviye olarak değerlendirme imkanı sağlamaktadır. Cevherleşme bölgesinden uzaklaştıkça ağsal damarlaşmalar şeklinde cevherleşmelerin yerleşmesi ve alterasyon zonunun kademe kademe azalması bu klavuz seviyenin varlığını ispatlar niteliktedir.
3. Bölgedeki cevherleşmenin bulunduğu ana kayada yapılan mineraloji ve petrografi çalışmaları bazı mineralojik farklılıklar sebebiyle yoğun altere ve altere zon olmak üzere iki farklı zona ayrılarak açıklanmıştır. Yoğun altere zonda hipokristalin porfiritik dokulu, içlerinde baskın plajiyoklaz mikrolitleri içeren, boz gri renkli hamur ve orta-iri taneli plajiyoklaz, hornblend, iri taneli galenit ve nadir olarak biyotit bulunmakta, tali mineral olarak ise kuvars ve opak minerallerden oluşmaktadır. Altere zon andezitik örneklerde baskın olarak gri renkli hamurun

yanı sıra yer yer pembe renkli hamurun içerisinde iri taneli piroksen fenokristalleri, ince-orta taneli feldispat mineralleri ve yer yer kuvars mineralleri bulunmakta olup, kuvars dışındaki minerallerde alterasyon etkileri gözlenmektedir.

4. Cevher mikroskopisi çalışmaları sonucunda, cevher mineralleri olarak galenit, pirit, kalkopirit, sfalerit olduğu saptanmıştır. Buna ek olarak parlak kesitlerde birincil cevherleşmelerle gelişen ikincil mineraller olduğu gözlenmiştir. Bunlar seruzit, anglezit, kalkozin, kovellin, limonit ve fahlerz grubu (tetrahedrit-tennatite) mineraller olarak yer almaktadır. Cevherleşme parajenez ve süksesyon ilişkisine bakıldığında ana mineralizasyon ve post mineralizasyon evresi saptanmıştır. Ana mineralizasyon evresi iki fazda gerçekleşmektedir. Hidrotermal evrenin ilk ürünleri olan pirit ve kalkopirit öz şekilli-yarı özşekilli kristaller birinci mineralizasyon evresinde oluşmaktadır. Piritler yer yer kalıntılar ve/veya serbest taneler halinde gözükmelerinin yanı sıra kalkopiritlerle birlikte de bulunabilmektedirler. Bu kristallerin kenar veya çatlak kısımlarında gelişen limonitleşmelerin yanı sıra limonit mineralleri oluşumları da gözlenmektedir. Cevherleşmenin ana mineralizasyon evresini oluşturan ve her iki mineralizasyon evresinde de geliştiği düşünülen sülfür mineralleri olan galenit ve sfalerit mineralleri bulunmaktadır. İncelemeler sırasında galenit çoğu cevher oluşumlarıyla gözükmelerine rağmen en belirgin dokanağını sfalerit mineraliyle yapmış olup, dokanak ilişkisine bağlı sfalerit'in galeniti ornattığı saptanmıştır. Temel mineralizasyon fazında meydana gelen cevher oluşumları, atmosferik şartları sağlaması ve/veya hidrotermal akışkanın etkisi sonucunda gelişen ikincil mineraller, fahlerz grubu, kalkosin-kovellin, seruzit-anglezit ve limonitler gelişimi ile devam eden mineralizasyon evresinin yanı sıra gang mineralleri gelişimiyle birlikte post mineralizasyon evresini oluşturmuşlardır.
5. Mikrotermometre çalışmaları tez alanındaki 4 farklı lokasyondan alınan kuvars örnekleri üzerinde yapılmıştır. Kuvars mineralleri içerisinde genelde kapanımlar birincil ve iki fazlı (L+V) kapanımlardır. Sübeylidere cevherleşmesinde kuvarslar ortalama 207 ile 419°C sıcaklıklar arasında ölçülmüştür. Bodnar (1993)'a göre tuzluluk hesaplama yöntemi ile %0.4-5.0 aralığında değişen %NaCl değerleri

bulunmuştur. Bölgede bulunan kırık-çatlak zonlarında cevherleşme sistemine meteorik su girişi gerçekleşir ve sülfid minerallerinin çökmesiyle tuzluluk azalır. Bu da sistemde magmatik akışkanların zaman içinde meteorik su girdisiyle cevherleşmenin tamamlandığını göstermektedir. Buna ek olarak hesaplanan tuzluluk ve homojenleşme sıcaklık değerlerine göre grafikte cevherleşmelerin damar tipi yataklanma alanına düştüğü görülmektedir.

6. Sübeylidere Pb-Zn cevherleşmesinden alınan 3 adet cevherle ilişkili kuvars örneğinin $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ değerleri, sıvı kapanım çalışmalarından elde edilen homojenleşme sıcaklıkları yardımıyla hesaplanmıştır. Hesaplanan kuvars örneklerinin $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ değerleri 2.0-3.5 ‰ arasında yer almakta olup ortalama değeri 2.9 ‰'dir. Elde edilen değerler cevherleşme ile ilişkisi olabilecek rezervuarlarla karşılaştırıldığında örneklerin, hidrotermal cevherleşmelerin oksijen izotop değerlerine benzerlikler gösterdiği ve baskın olarak meteorik su kökenli oldukları söylenebilmektedir. Sıvı kapanım çalışmasında bulunan homojenize sıcaklık ile $\delta^{18}\text{O}$ değerleri arasında uyumlu bir grafik oluşturulduğunda, cevherleşme aşamasını temsil eden hidrotermal akışkan bileşeni olan magmatik akışkanların, yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklık rejimlerine doğru bir akışkan karışım yönelimi oluşturduğu saptanmaktadır. Bu da sıvı kapanım verileriyle oksijen izotop verilerinin uyumlu olduğunu kanıtlar niteliktedir.
7. Sübeylidere cevherleşmesindeki $\delta^{34}\text{S}$ izotopik bileşimine bakıldığında, galenit mineralinin $\delta^{34}\text{S}$ (‰) değeri -4.09 ‰ ile -2.39 ‰ arasında (ort: -3.4 ‰), sfalerit minerallerinin $\delta^{34}\text{S}$ değerleri -1.16 ‰ ile -0.41 ‰ arasında (ort: -0.8 ‰) değişmektedir. Bölgedeki galenit ve sfaleritin kükürt izotop değerleri, kükürtün kökeninin magmatik kaynaklı olduğu işaret etmektedirler.

Elde edilen tüm veriler birlikte değerlendirildiğinde; Sübeylidere Pb-Zn yatağının mezotermal koşullarda gelişmiş damar tipi bir Pb-Zn yatağı olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- 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.
- Akıska, S., Demirela, G. 2014. "Handeresi, Bağırkaçdere ve Fırıncıkdere (Kalkım, Yenice ÇANAKKALE) Pb-Zn±Cu Distal Skarn Yataklarında Akışkanların Kökeni", *Yerbilimleri*, 35(3), 199-218.
- 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.
- Akyol, Z., 1977. Balya Madeni civarının jeolojisi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 3, 19-27.
- Akyürek, B. ve Soysal, Y. 1978. Kırkağaç-Soma (Manisa, Savaştepe-Korucu-Ayvalık (Balıkesir), Bergama (İzmir) civarının jeolojisi: M.T.A Rap., 6432 (yayımlanmamış), Ankara.
- Akyürek, B., ve Soysal, Y. 1983. Biga Yarımadası güneyinin (Savaştepe-Kırkağaç Bergama-Ayvalık) temel jeoloji özellikleri. *MTA Dergisi*, 95-96, 1-13
- Akyürek, B., 1989. 1/100 000 Ölçekli açınsama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları serisi Balıkesir–G4 Paftası. MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi 12s. (Unpublished).
- Altunkaynak, Ş. ve Yılmaz, Y. 1998. The Mount magmatic complex, Western Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 211-231.
- Altunkaynak, Ş., Dilek, Y., Genç, C. Ş., Sunal, G., Gertisser, R., Furnes, H., Foland K. A., Yang, J. (2012). Spatial, temporal and geochemical evolution of Oligo–Miocene granitoid magmatism in western Anatolia, Turkey, *Gondwana Res.* (2012), doi:10.1016/j.gr.2011.10.010.
- Ataman, 1975. Plutonisme calc-alkalin d'age Alpin en Anatolie du nord–ouest D, vol. 280, C.R. Acad. Sci, Paris, 2065–2068
- Ayan, M. 1979. Geochronological and petrological studies of the Eybek Granodiorite pluton (Edremit), *Comm. Fac. Scien. Üniv. Ankara*, 22
- 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., Akyürek, B. ve Korkmazer, B., 1973, Biga Yarımadası'nın jeolojisi ve Karakaya Formasyonunun bazı özellikleri: 50. yıl Yerbilimleri Kongresi tebliğler kitabı, 70-76.
- Bingöl, E., Delaloye, M., Ataman, G. 1982. "Granitic intrusions in western Anatolia: A contribution to the geodynamic study of this area", *Eclogae Geol. Helv.*, 75/2, 437-446.
- Bingöl, E. 1968. Contribution a l'étude geologique de la partie centrale et Sud-Est du massif de Kazdağ (Turquie). PhD Thesis, Universite de Nancy, France.
- Bingöl, E., 1976, Batı Anadolu'nun jeotektonik evrimi: Maden Tetkik ve Arama Enst. Derg., 86, 14-35.
- 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.
- Boztuğ, D., Harlavan, Y, Can, İ., Sarı, R., Yılmaz, S.Y. ve Altunkaynak, Ş., 2006. Kuzeybatı Anadolu'da Neo-Tetis çarpışma zonu boyunca litosferik dilim kopmasından türemiş Ilıca, Çataldağ (Balıkesir) ve Kozak (İzmir) Granitoidlerinin jeokimyası ve K-Ar soğuma yaşları, 59. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 34.
- Bouzati, F., Clark, A.H., 2006. Prograde Evolution and Geothermal Affinities of a Major Porphyry Copper Deposit: The Cerro Colorado Hypogene Protore, I Región, Northern Chile. *Econ. Geol.* 101, 95–134.
- 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 Derg.
- Chaussidon, M., Albarède, F., & Sheppard, S. M. 1989. Sulphur isotope variations in the mantle from ion microprobe analyses of micro-sulphide inclusions. *Earth and Planetary Science Letters*, 92(2), 144-156.
- Clayton, R.N.; O'Neil, J.R.; Mayeda, T.K. 1972. Oxygen isotope exchange between quartz and water. *J. Geophys. Res.* 77, 3057–3067
- Çağatay, A., 1980. Batı Anadolu kurşun-çinko yataklarının jeoloji-mineraloji etüdü ve kökenleri hakkında görüşler. *T.J.K. Bült.*, v. 28(2), p. 119-132.
- 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, Geological Bulletin of Turkey, 43, 99-100
- 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.
- 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., Akıska, E. 2023. Mineralogical-petrographical features, geochemical characteristics, and S isotope variability of Pb-Zn deposits in the Sakarya fragment of the Biga Peninsula (NW Türkiye)," *Turkish Journal of Earth Sciences: Vol. 32: No. 6, Article 5.* <https://doi.org/10.55730/1300-0985.1874>
- 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).
- Dora, O. Ö., Savaşçın, M. Y. 1982. “Alibey-Maden adaları (Ayvalık) bölgesi magmatizması”, TÜBİTAK Bilimsel ve Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı, 11-34.
- Duuring, P., Hagemann, S.G., Banks, D.A., Schindler, C. A. 2018. Synvolcanic origin for magnetite-rich orebodies hosted by BIF in the Weld Range District, Western Australia. *Ore Geology Reviews* 93, 211–254.
- 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., 1982. Kula yöresinin jeolojisi ve volkanitlerin petrolojisi: *istanbul Yerbilimleri Derg.*, 3, 77-124.
- Faure, G., Mensing, T.M., 2005. *Isotopes: Principles and Applications*. 3rd ed. John Wiley&Sons, USA, 897pp.
- Field, C. W., & Fifarek, R. H. 1985. Light stable-isotope systematics in the epithermal environment.
- Gökçe, A. 1993. Hidrotermal maden yataklarının köken ve oluşum koşullarının araştırılmasında kararlı izotoplar jeokimyası incelemeleri ve Türkiye'den örnekler. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 42, 89-101.
- Guilbert, J.M. and Park, C.F., Jr. 1986. *The Geology of Ore Deposits*. New York: Freeman

- Güleç, N., 1991, Crust–mantle interaction in western Turkey: implications from Sr and Nd isotope geochemistry of Tertiary and Quaternary volcanics, *Geol. Mag.*, 23, 417–435
- Hetzl, R., Passchier, C.W., Ring, U. and Dora, O.Ö. 1995. Bivergent extension in orogenic belts: The Menderes Massif (Southwestern Turkey), *Geology*, 23/5, 455-458.
- Hoefs, J. 1987. *Stable isotope geochemistry* (third edition). New York, Springer Verlag.
- Huang, C., Li, H., Lai, C.K. 2019. Genesis of the Binh Do Pb-Zn Deposit in Northern Vietnam: Evidence from H-O-S-Pb Isotope Geochemistry. *J. Earth Sci.* 30, 679-688.
- İzdar, E. 1968. Kozak intrüzif masifi petrolojisi ve paleozoyik çevre kayaçları ile jeolojik bağıntıları: *Türkiye Jeol. Kur. Bült.*, XI/1-2
- 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
- Innocenti, F., Agostini, S., Di Vincenzo, G., Doglioni, C., Manetti, P., Savaşın, M.Y. & Tonarini, S. (2005). Neogene and Quaternary volcanism in Western Anatolia: magma sources and geodynamic evolution. *Marine Geology* 221, 397– 421.
- Kaaden, G. v.d. 1959. Anadolu'nun kuzeybatı kısmında yer alan metamorfik olaylarla magmatik faaliyetler arasındaki yaş münasebetleri. *M.T.A. Derg.*, no. 52, Ankara
- Kaaden, G., 1957. Çanakkale, Biga, Edremit Yarımadası bölgesindeki jeolojik saha çalışmaları ve maden yatakları hakkında, rapor, MTA m Ankara 1957
- Krushensky, R. 1976. Neogene calc-alkaline extrusive rocks of the Karalar-Yeşiller area Northwest Anatolia: *Buletin of Volcanology*
- MTA, 1989. Balıkesir J18 paftası 1/100.000'lik jeoloji haritası, MTA Genel Müdürlüğü.
- Nielsen, H. 1979. *Sulfur Isotopes in Isotope Geology*. New York: Springer
- Ohmoto, H. and Goldhaber M. B. 1997. Sulfur and carbon isotopes. In: *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. Barnes HL (ed.) J. Wiley and Sons, 517-611.
- Ohmoto, H., and Rye, R.O. 1979, Isotopes of sulfur and carbon, in Barnes, H., ed. *Geochemistry of hydrothermal ore deposits* (second edition). New York: Rinehart and Winston, 509-567.
- Ohmoto, H. 1972. Systematic of sulfur and carbon isotopes in hydrothermal ore deposits. *Economic Geology*, 67, 551-578.

- Ohmoto, H. 1986. Stable isotope geochemistry of ore deposits. *Rev. Mineral*, 16, 185-225.
- 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.İ., Bozkurt, E., Satır, M., Yiğitbaş, E., Crowley, Q.G. ve Cosmas, K.S., 2008. Defining the southern margin of Avalonia in the Pontides: Geochronological data from the Late Proterozoic and Ordovician granitoids from NW Turkey. *Tectonophysics*, v. 461, p. 252-264.
- Okay, A.İ., Satır, M., Maluski, H., Siyako, M., Monie, P., Metzger, R. ve Akyüz, S., 1996. Paleo- and Neo-Tethyan events in northwest Turkey: geological and geochronological constraints. in *Tectonics of Asia* (ed. A. Yin & M. Harrison), Cambridge University Press, pp. 420-441.
- Okay, A.İ., Siyako, M. ve Bürkan, K.A. 1990. Biga yarımadasının jeolojisi ve tektonik evrimi, *TPJD Bülteni*, I/3, 83-12.
- Okay, A.İ. 1989. Tectonic units and sutures in the pontides, Northern Turkey. In: Sengör AMC (ed) *Tectonic evolution of the Tethyan region*, Kluwer academic publishers, pp 109-116.
- Okay, A.İ., 2000. Was The Late Triassic Orogeny in Turkey Caused by The Collision of An Oceanic Plateau, *The Geological Society of London*, 173,25-41.
- Oyman, T. 2010. "Geochemistry, mineralogy and genesis of the Ayazmant Fe–Cu skarn deposit in Ayvalik, (Balıkesir), Turkey", *Ore Geology Reviews*, 37, 175-201.
- Pope E. C., Bird D. K., Rosing M. T. 2012. Isotope composition and volume of Earth's early oceans. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 109, 4371–4376
- Richards, J. P. 2015. Tectonic, magmatic, and metallogenic evolution of the Tethyan orogen: From subduction to collision. *Ore Geology Reviews*, 70, 323-345.
- Roedder, E. 1979. Fluid inclusions as samples of ore fluids. In H.L. Barnes (ed.), *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. 2nd edition., New York: Wiley Interscience, 684-737.
- Roedder, E. 1984. Fluid inclusions: Reviews in Mineralogy. Mineralogical Society of America, Washington, v. 12, 644.
- Rosman, K.J.R. and Taylor, P.D.P. 1998. Isotopic Composition of the Elements 1997 (Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 70, 217-235.
- Sakai, H. 1968. Isotopic properties of sulfur compounds in hydrothermal processes. *Geochem. J.*, 2, 29-49.

- Sarı, R., Alpan, T., Pehlivan, N. ve Bulut, M., 1996. Bergama ve çevresinin genel jeokimya etüt raporu, M.T.A Derleme Raporu, No:10302.
- Savaşçın, M.Y. and Güleç, N. 1990. Relationship between magmatic and tectonic activities in western Turkey with examles from the coastal section. IESCA-1990, Pulb. 1, Abstract.
- Seyitoğlu, G. and Scott, B. 1991. Late Cenozoic crustal extension and basin formation in west Turkey, Geol. Mag., Great Britain, 128/2, 155-166.
- Seyitoğlu, G. and Scott, B. 1992. Late Cenozoic volcanic evolution of the Northeastern Aegean region. Journal of Volcanology and Geothermal Reserch, 54, 157-176.
- Seyitoğlu, G., Anderson, D., Nowell, G. and Scott, B., 1997, The Evolution from Miocene Potassic to Quaternary Sodic Magmatism in Western Turkey: Implication for Enrichment Processes in the Lithospheric Mantle, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 76, 127-147.
- Sheppard, S.,M.,F., 1977, Identification of the origin, of ore-forming solutions by the use of stable isotopes: Volcanic- .Processes in Ore Genesis de, GeoL Soc. London, spec. pubL 7,25-41.
- Shepherd, T.J., Rankin, A.H., and Alderton, D.H.M. 1985, A practical guide to fluid inclusion studies. Glasgow, Blackie, 239
- Şengör, A.M.C. and Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach, Tectonophysics, v. 75, 181-241
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y. 1983. Türkiye’de Tetis’in Evrimi: Levha Tektoniği Açısından bir Yaklaşım. TJK Yerbilimleri Özel Dizisi, No. 1, İstanbul.
- Şengör, A.M.C., Görür, N. and Şaroğlu, F., 1985, Strike–slip deformation basin formation and sedimentation: Strike–slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, Soc. Econ. Paleont. Mineral. Spec. Publ., 37, 227–264
- Taylor, B. E. 1987. Stable isotope geochemistry of ore-forming fluids. In: Stable isotope geochemistry of low teperature fluids. Short course Min. Ass. Canada, 13, 337-445.
- Taylor, H.P., 1974, The applicatioi of oxygen and hydrogen Isotope studies to problems of hydrothermal alteration and ore deposition: Econ GeoL 69,343-881.
- Taylor. H.P., 1979, Oxygen and hydrogen isotope relationships in hydrothermal mineral deposits: Geochemistry of Hydjrothermal Ore Deposits de, HJLBanies (c4), 2. baskı, John Wiley & Sons, 236-277.
- Tezer, E. B., Kırkıcı, K., Yıldız, S. 2006.Balıkesir-Ayvalık İlçesi Kubaşlar Altın Oluşumunun Maden Jeolojisi (Master's Thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

- Ünal, İ., İzdar, K.E. 1963. Zübeyli dere kurşun zuhuru Burhaniye, Balıkesir 7/845 sayılı arama ruhsatlı ve M.Sami Erdem'e ait sahadaki kurşun zuhuru hakkındaki müşahedeler. MTA Rapor No: 3797, Ankara
- Wang, Y.H., Zhang, F.F, Li, B.C. 2017. Genesis of the Yandong porphyry Cu deposit in eastern Tianshan, NW China: Evidence from geology, fluid inclusions and isotope systematics. *Ore Geology Reviews* 86, 280–296.
- Wilkinson, J.J. 2001. Fluid Inclusions in Hydrothermal Ore Deposits. *Lithos*, vol.55, Issues 1-4, 229-272.
- Yılmaz, Y. 1989. An approach to the origin of young volcanic rocks of western Turkey, Tectonic evolution of the Tethyan region. Kluwer Academic Publication.
- Yılmaz, Y. 1990. Comparisons of the young volcanic associations of the west and the east Anatolia under the compressional regime: a review. *Jour. Vol. and Geo.*, 44, 69-87.
- Yiğit, Ö. 2009 Tetis Metalojenisine İlişkin Olarak Türkiye Maden Yatakları: Gelecekteki Maden Arama Çalışmalarına Etkiler. *Ekonomik Jeoloji*, 104, 19-51
- 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.

EKLER

EK 1 KUVARS ÖRNEKLERİ ÜZERİNE YAPILAN MİKROMETRİK ÖLÇÜMLER SONUCUNDA ELDE EDİLEN HOMOJENLEŞME SICAKLIK (TH) VERİLERİN TABLOSU



EK 1-1 Süb1 numunesinin birincil kökenli iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlarda yapılan çalışmalarda ölçülen homojenleşme sıcaklık değerleri tablosu

Homojenleşme Sıcaklığı Th (°C)	Kapanım Türü	Homojenleşme Fazı	Homojenleşme Sıcaklığı Th (°C)	Kapanım Türü	Homojenleşme Fazı
221	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	274	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
223	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	274	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
240	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	275	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
243	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	276	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
244	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	278	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
247	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	279	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
248	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	279	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
250	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	279	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
250	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	284	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
253	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	284	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
254	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	286	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
255	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	286	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
256	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	292	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
256	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	298	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
259	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	304	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
260	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	311	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
261	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	311	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
263	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	314	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
267	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	315	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
268	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	329	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
268	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	335	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
269	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	342	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
269	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	355	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
270	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	381	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
271	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	390	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
271	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	405	İki fazlı (sıvı+gaz)	Gaz faza
271	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	424	İki fazlı (sıvı+gaz)	Gaz faza
272	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza			

EK 1-2 Süb2 numunesinin birincil kökenli iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlarda yapılan çalışmalarda ölçülen homojenleşme sıcaklık değerleri tablosu

Homojenleşme Sıcaklığı Th (°C)	Kapanım Türü	Homojenleşme Fazı	Homojenleşme Sıcaklığı Th (°C)	Kapanım Türü	Homojenleşme Fazı
207	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	272	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
213	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	277	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
244	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	279	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
248	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	283	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
267	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza			

EK 1-3 Süb3 numunesinin birincil kökenli iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlarda yapılan çalışmalarda ölçülen homojenleşme sıcaklık değerleri tablosu

Homojenleşme Sıcaklığı Th (°C)	Kapanım Türü	Homojenleşme Fazı	Homojenleşme Sıcaklığı Th (°C)	Kapanım Türü	Homojenleşme Fazı
310	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	348	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
316	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	355	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
319	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	371	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
326	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	374	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
331	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	394	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
348	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	419	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza

EK 1-4 Süb11 numunesinin birincil kökenli iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlarda yapılan çalışmalarda ölçülen homojenleşme sıcaklık değerleri tablosu

Homojenleşme Sıcaklığı Th (°C)	Kapanım Türü	Homojenleşme Fazı	Homojenleşme Sıcaklığı Th (°C)	Kapanım Türü	Homojenleşme Fazı
233	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	332	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
270	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	334	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
273	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	342	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
280	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	351	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza
300	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza	359	İki fazlı (sıvı+gaz)	Sıvı faza