T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

BALYA (BALIKESİR) Pb-Zn YATAĞI'NIN JEOLOJİSİ, JEOKİMYASI VE İZOTOP KARAKTERİSTİKLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sercan BOZAN

DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Gökhan DEMİRELA

AKSARAY, 2016

T.C.

AKSARAY ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ONAY BELGESİ

Aksaray Üniveristesi Fen Bilimleri Ensitüsü'nün 132302302 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi "Sercan BOZAN" ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "BALYA (BALIKESİR) Pb-Zn YATAĞI'NIN JEOLOJİSİ, JEOKİMYASI VE İZOTOP KARAKTERİSTİKLERİ" başlıklı tezini, aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Gökhan DEMİRELA .....
Aksaray Üniversitesi

İkinci Tez Danışmanı: Prof. Dr. İlkay KUŞCU .....
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Nurullah HANİLÇİ .....
İstanbul Üniversitesi

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Erkan YILMAZER .....
Aksaray Üniversitesi

Teslim Tarihi : 14/11/2016

Savunma Tarihi : 02/12/2016

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ve bu eserleri her kullanışımda alıntı yaparak yararlandığımı belirtir; bunu şerefimle doğrularım.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Sercan BOZAN



ÖNSÖZ

Dünya üzerindeki en önemli yitim ve çarpışma kuşaklarından birisi olan Tetis Kuşağı aynı zamanda dünya metal üretiminin sağlandığı önemli bir metalojenik provenstir. Tetis Metalojenik Provensi içerisinde yer alan Biga Yarımadası içermiş olduğu skarn tipi Fe, porfiri tipi Cu-Au, porfiri tipi Mo, yüksek sülfidasyon tipi Au, ortaç-düşük sülfidasyon tipi Au-Ag, kesin olarak sınıflanamamış epitermal tipi Sb, epitermal tipi Pb-Zn ve skarn tipi Pb-Zn cevherleşmeleri içeren metalojenik alt provenstir. Bu alt provens içerisinde irili ufaklı pek çok Pb-Zn yatak ve zuhuru üzerinde arama ve üretim çalışmaları ile yatakların sınıflamasına ve oluşum koşullarının anlaşılmasına yönelik araştırmalar Osmanlı İmparatorluğu'nun son yıllarından itibaren yüzyıldan fazla bir süredir aralıklı olarak belirli dönemlerde yoğunlaşarak günümüze kadar devam etmiştir.

Bu tez çalışmasının konusu olan ve Balıkesir iline bağlı Balya ilçesi sınırlarında yer alan Balya Pb-Zn Yatağı'ndaki önemli madencilik ve ayrıntılı jeolojik çalışmalar 1882 yılında Fransız madenciler tarafından başlatılmıştır. Ülkemizin günümüzde modern madencilik teknikleri ile işletilen en büyük Pb-Zn yatağı konumundaki Balya Yatağı'na ait cevherleşmeler üzerinde Eczacıbaşı Esan Pb-Zn İşletmeleri tarafından arama ve üretim çalışmaları halen sürdürülmektedir.

Tez kapsamında Balya Pb-Zn Yatağı'nı sınıflayabilmek, cevherleşmelerin oluşum koşullarını ortaya koyabilmek ve cevherleşen sistemin yanal ve düşey sınırlarını belirleyebilmek amacı ile literatür taraması, jeolojik ve maden jeolojisi haritalama çalışmaları, sondaj korot determinasyonlarının saptanması, yapısal verilerin analizi, mineralojik ve petrografik çalışmalar, cevher mikroskobisi incelemeleri, toprak jeokimyası analizleri, S ve O duraylı izotop çalışmaları ile dünyadaki ve bölgedeki benzer jeolojik ortamlarda ortaya çıkmış yataklar ile karşılaştırma çalışmaları yapılmıştır.

TEŞEKKÜR

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanan bu çalışmanın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen, değerli fikir, görüş ve emekleri ile bu tezin ortaya çıkmasında büyük katkıları olan danışman hocalarım Sn. Yrd. Doç. Dr. Gökhan DEMİRELA ve Sn. Prof. Dr. İlkay KUŞCU'ya,

Bu çalışma boyunca bana her türlü imkanı sağlayan Esan Balya Pb-Zn İşletmeleri Metalik Direktörü Sn Ali TÜRKİSTANLI'ya, çalışmalar süresince maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, beni ilk günden itibaren Balya sahasında tez yapmam konusunda teşvik eden Esan Arama Direktörü Sn. Ali Can AKPINAR'a, çalışmanın değişik aşamalarında değerli yardım ve katkılarından dolayı Esan Arama Yöneticisi Sn. M.Tuna KASKATI'ya Esan Balya Pb-Zn İşletmeleri Tesis Müdürü Sn. Ebrar KÜÇÜKÖNER'e, Esan Balya Pb-Zn İşletmeleri Yöneticisi Sn. Engin DOĞAN'a, Esan Balya Yeraltı Arama Ekibi'nde görev yapan Arama Sorumlu Uzmanı Sn. Deniz ARSLAN'a, Arama Uzmanları Sn. Ahmet BAŞTÜRK'e, Sn. Onur AVCI'ya, Sn İsa ARIK'a ve Sn.Zeynep ANKUT'a, haritalama çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Arama Uzmanı Sn. Serdar ÇALGIN'a, Arama Uzmanı Sn Maralcan EMRE'ye Arama Uzmanı Sn Arif Aydar'a.ve Arama Uzmanı Sn Burak AKTOY'a

İnceleme alanı çevresinde yeralan magmatik kayaçların petrojenetik evrimi ile ilgili problemlere değerli fikir ve görüşleri ile ışık tutan Sn. Yrd. Doç. Dr. Erkan YILMAZER'e, toprak jeokimyası verilerinin istatistiki ve Arc GIS ortamında değerlendirilmesi sırasında karşılaştığım problemlerin çözümüne koymuş olduğu değerli katkılarından dolayı Sn. Yrd. Doç. Dr. Murat KAVURMACI'ya, tez yazımı sırasında yardımlarını esirgemeyen Araştırma Görevlisi Sn. Haydar TERZİ'ye,

Tez çalışması sırasında 2014-003 nolu proje kapsamında izotop çalışmaları için gerekli maddi desteği sağlayan ASÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne,

Sonsuz sabır ve desteklerinden dolayı başta sevgili eşim, sevgili kızım ve sevgili oğlum olmak üzere tüm aileme ve dostlarıma sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZET

BALYA (BALIKESİR) Pb-Zn YATAĞI'NIN JEOLOJİSİ, JEOKİMYASI VE İZOTOP KARAKTERİSTİKLERİ

Balya Pb-Zn Yatağı Biga Yarımadası'nın güneydoğusunda ve Balıkesir ilinin 50 km KB'sında yer almaktadır. Çalışma alanının temelini Permiyen yaşlı Çamoba formasyonuna ait kireçtaşları ve Triyas yaşlı çok düşük dereceli bölgesel metamorfizma izleri taşıyan çamurtaşı ve fillat (Nilüfer birimi), silttaşı ve kumtaşı (Hodul birimi) ve çakıltaşı ve konglomera (Orhanlar grovakı) ile temsil edilen Karakaya formasyonuna ait kayaç birimleri oluşturmaktadır. Permiyen yaşlı kireçtaşı blokları Karakaya formasyonu içerisinde allokton olarak gözlenmektedir. Temel kayaçlar Oligo-Miyosen yaşlı Doyuran volkanitlerine ait dasidik lav, tüf ve piroklastik kayaçlar ile Üst Miyosen yaşlı Hallaçlar volkanitlerine ait andezitik dayk, lav ve aglomeralar tarafından uyumsuz olarak kesilir ve üzerlenirler.

(1) Serizit-kuvars-pirit ve (2) ileri arjilik alterasyonlar cevherleşmeler ile doğrudan ilişkisi gözlenmeyen kil ve serizit bakımından zengin bölgesel alterasyonlar olarak, (1) erken evre (prograd kalk-silikat) alterasyonlar ve (2) geç evre alterasyonlar ise Balya Pb-Zn cevherleşmeleri ile son yıllarda ekonomik hale gelen Cu-Au cevherleşmeleriyle zaman-mekan ilişkisi kurulabilen alterasyonlar olarak tanımlanmıştır. Geç evre alterasyonlar kendi içinde birbirleri ile zaman-mekan ardışık (a) erken retrograd (aktinolit-epidot 1-klorit-kuvars 1), (b) ortaç arijilik ve (c) geç retrograd (epidot 2-kalsit-kuvars 2) alterasyonlar olmak üzere üç alt evreye ayrılmıştır.

Balya Yatağı çevresinde yaklaşık 40 km²'lik alandan sistematik olarak alınan toprak numuneleri jeokimyasal analizlerden elde edilen Pb, Zn, Ag, Cu, Au, Sb, Hg ve As elementlerinin birbirleriyle olan korelasyonlarında Pb ile Ag ve Te elementleri, Zn ile S, B, Bi ve Sn elementleri, Ag ile Pb, Te ve W elementleri, Cu ile K, Rb, In, Bi elemetleri, As-Fe arasındaki pozitif korelasyon yatak cevherleşmelerine özgü, bir çok kesitte zamansal ve mekansal birlikteliğe sahip arsenopirit-pirotin-pirit ve hatta manyetit-hematit cevher mineral parajenezinden kaynaklanmalıdır.

Galenit, safalerit ve piritlerin $\delta^{34}S$ değerleri ‰ 1,5 ile ‰ 3,9 arasında, sıfıra yakın ve dar bir aralıkta dağılım sergilemektedir. Kuvars ve kalsit minerallerinden elde edilen $\delta^{18}O$ değerleri ise ‰ 12,7 ile ‰ 16,6 arasında değişim göstermektedir.

Cevher-alterasyon-yankayaç ilişkileri, alterasyon zonlarına ait mineral toplulukları, alterasyon zonlarının zamansal-mekânsal dağılımı ve kısıtlı izotop verileri Balya Pb-Zn Yatağı için Pb-Zn skarn tipi bir cevherleşmeden ziyade skarn alterasyonları (kalk-silikat alterasyonları) içeren ortaç sülfidasyonlu bir epitermal sisteme işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Biga Yarımadası, Balya, Pb-Zn yatağı, Skarn, Epitermal

ABSTRACT

GEOLOGY, GEOCHEMISTRY AND ISOTOPE CHARACTERISTICS OF BALYA (BALIKESİR) Pb-Zn DEPOSIT

Balya Pb-Zn deposit remains in southeastern part of Biga Peninsula, which is situated in 50 km NW Balikesir city. The basement rocks of the study area are represented with Permian aged limestones of Çamlıca formation and Triasic aged rock units of Karakaya formation which defined by mudstone and phyllate (Nilüfer unit), siltstone and sandstone (Hodul unit), and pebble and conglomerate (Orhanlar greywacke), carrying fingerprints of low grade regional metamorphism. Permian aged limestone blocks are observed as allochtonous in the rock units of Karakaya formation. The basement rocks have been cut and overlain by Oligo-Miocene aged dacitic lava, tuff and pyroclastic rocks of Doyuran volcanics and Upper Miocene aged andesitic dike, lava and agglomerates of Hallaçlar volcanics.

(1) Serizite-quartz-pyrite and (2) advanced argillic alterations have been defined as regional alterations rich in clay and sericite, which are not directly related to mineralizations. (1) Early-stage (prograde calc-silicate) alterations and (2) late-stage alterations have been described as alterations that can be established temporal-spatial relations with the Balya Pb-Zn mineralisations and the Cu-Au mineralizations that have become economically viable in recent years. Late-stage alterations have been subdivided into temporally and spatially consecutive three sub-stages which are actinolite-epidote 1-chlorite-quartz 1), (b) moderate arijic and (c) late retrograde (epidote 2-calcite-quartz 2) alterations.

Correlations of Pb, Zn, Ag,Cu, Au, Sb, Hg and As elements which are gained from geochemical analyses of systemically taken soil samples which are almost 40 km2 around of Balya Mine; correlations between Ag and Te elements with Pb; S,B, Bi and Sn elements with Zn; Pb, Te and W elements with Ag; and finally K, Rb, In, Bi elements with Cu have been verified. The positive correlation between As and Fe elements is result of ore mineral parageneses as arsenopyrite-pyrhotine, pyrite and even magneite-hematite those are showing temporal and spatial relationships which are differing due to mineralization style.

$\delta^{34}S$ values of galena, sphalerite and pyrites range from 1,5 ‰ to 3,9 ‰. The distribution of isotopic values exhibit a narrow range near zero. $\delta^{18}O$ values obtained from quartz and calcite minerals vary between 12,7 ‰ and 16,6 ‰.

Ore-alteration-wall rock relations, mineral assemblages of the alteration zone, the temporal and spatial distribution of the alteration zones and limited isotope data point out an intermediate sulfidation epithermal system containing skarn alterations (calc-silicate alterations) rather than Pb-Zn skarn type mineralization for Balya Pb-Zn Deposit.

Keywords: Biga Peninsula, Balya, Pb-Zn deposit, Skarn, Epithermal

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ	i
TEŞEKKÜR	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ŞEKİL DİZİNİ…	vii
ÇİZELGE DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç ve Kapsam	1
1.2 Çalışma Alanının Konumu	2
1.3 Morfoloji	3
2. MATERYAL ve YÖNTEM	**5**
2.1 Arazi Çalışmaları	5
2.2 Laboratuvar Çalışmaları	6
2.2.1 Örnek hazırlama	6
2.2.2 Petrografik analizler	6
2.2.3 Toprak jeokimyası çalışmaları	7
2.2.4 İzotop çalışmaları	7
2.3 Büro Çalışmaları	8
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	**9**
4. BÖLGESEL JEOLOJİ	**14**
5.ÇALIŞMA ALANIN STRATİGRAFİSİ, JEOLOJİSİ VE YAPISAL JEOLOJİSİ	**16**
5.1 Statigrafi ve Jeoloji	16
5.1.1 Çamoba formasyonu	18
5.1.2 Karakaya formasyonu	21
5.1.2.1 Nilüfer birimi	21
5.1.2.2 Hodul birimi	23
5.1.2.3 Orhanlar grovakı	24
5.1.3 Tersiyer volkanitleri	26
5.1.3.1 Doyuran volkanitleri	27
5.1.3.2 Hallaçlar volkanitleri	33
5.1.4 Traverten	36
5.2 Yapısal Jeoloji	38
6.BİGA YARIMADASI Pb-Zn YATAKLARI	**43**
7. MADEN JEOLOJİSİ	**45**
7.1 Tarihçe	45
7.2 Yan Kayaçlar	48
7.3 Yankayaç Alterasyonu ve Cevherleşmeler	52
7.3.1 Bölgesel alterasyonlar	52
7.3.1.1 Serizit-kuvars-pirit alterasyonu	52
7.3.1.2 İleri Arijilik alterasyonlar	54

7.3.2 Balya Pb-Zn Yatağı ve çevresinde gözlenen erken ve geç evre alterasyonlar ve cevherleşmeler..... 56
7.3.2.1 Erken evre prograd kalk-silikat alterasyonlar..... 57
7.3.2.2 Geç evre alterasyonlar..... 58
7.3.2.2.1 Aktinolit-epidot-klorit-kuvars 2 (erken retrograd) alterasyonu……... 58
7.3.2.2.2 Ortaç arijilik alterasyon..... 61
7.3.2.2.3 Epidot-kalsit-kuvars 2 (geç retrograd) alterasyonlar..... 62
7.4 Balya Pb-Zn Yatağı Yapısal Kontroller ile olan ilişkisi..... 64
8. BALYA Pb-Zn YATAĞI'NIN YATAY YÖNDE METAL DAĞILIMLARI..... 67
8.1 Balya Pb-Zn Yatay Yönde Metal Dağılımları..... 67
9. İZOTOP ÇALIŞMASI..... 80
9.1 Balya Pb-Zn Yatağı'nın S İzotop Bileşimleri..... 80
9.2 Balya Pb-Zn Yatağı'nın O İzotop Bileşimleri..... 84
10. TARTIŞMA..... 87
11. SONUÇ VE ÖNERİLER..... 95
KAYNAKLAR..... 97
EKLER…… 105
ÖZGEÇMİŞ…… 108

ŞEKİL DİZİNİ

Sayfa

Şekil:1.1	İnceleme alanın yer bulduru haritası.....	3
Şekil:1.2	İnceleme alanının 1/25000 ölçekli Google Earth ve DEM haritalarından üretilmiş topografik haritası.....	4
Şekil:4.1	Biga Yarımadası'nın genelleştirilmiş jeoloji haritası (1) Karabiga, (2) Şevketiye, (3) Kuşçayırı, (4) Ezine, (5) Bayramiç, (6) Eybek ve (7) Karacadağ granitoyidleri (Demirela vd., 2014……..	15
Şekil:5.1	İnceleme alanının 1/25000 ölçekli jeoloji haritası.....	17
Şekil 5.2:	İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (Akyol, 1977'den revize edilmiştir**)**.....	18
Şekil 5.3:	Hastane Tepe ile Akçal Tepe civarında Çamoba formasyonu ile Hodul birimi ve Orhanlar grovakı arasındaki mekansal ilişkiler....	19
Şekil 5.4:	Triyas yaşlı Hodul birimine ait metakumtaşları içinde Permiyen yaşlı Çamoba formasyonuna ait allokton konumlu kireçtaşı bloğu.....	19
Şekil 5.5:	**(a), (b)** Çamoba formasyonuna ait kireçtaşının polarizan mikrokobu görüntüsü (ka: kalsit, op: opak mineral) (Çift Nikol)...	21
Şekil 5.6:	**(a)** Nilüfer birimi ile Çamoba formasyonu arasındaki mekânsal ilişki, **(b)** metaçamurtaşı-fillat ardalanması, **(c)** fillat-metaçamurtaşı, **(d)** fillat-çamurtaşı, **(e)** ince taneli fillat (tek nikol), **(f)** ince taneli fillat ile yer yer killi siltli çamurtaşı (tek nikol), **(g)** fillat-çamurtaşı (çift nikol).....	22
Şekil 5.7:	Hodul birimi içerisinde, **(a)** Ortocreas türü fosil kavkısı, ve birime ait fotomikrograflar **(b)** tek nikol **(c)** çift nikol görünümleri.....	24
Şekil 5.8:	**(a)** Orhanlar grovakına ait çakıltaşlarının genel görünümü, **(b)** Orhanlar grovakını kesen kalsit damarı, **(c)** çakıltaşları içerisinde yer yer silttaşı - kumtaşı klastları (çift nikol), **(d)** kumtaşlarında kataklastik deformasyon izleri. (ku: kuvars, ka: kalsit, op: opak mineraller).....	26
Şekil 5.9:	Maden Deresi içinde Çamoba formasyonuna ait kireçtaşlarını kesen Doyuran volkanitlerine ait dasit.....	28
Şekil 5.10:	İleri derece arijilik alterasyona uğramış dasidik tüfler ve piroklastik kayaçlar.....	29
Şekil 5.11:	Doyuran volkanitlerine ait altere dasidik piroklastik kayaçlar.....	29

Şekil 5.12: **(a)** Polisentetik ikizlenme gösteren plajiyoklazlarda serizitleşme, **(b)** plajiyoklazlarda serizitleşme, hamurda serizitleşme ve magmatik kuvarslar (plj: plajiyoklaz, ku:kuvars, hb:horblend, ser: serizit) (Çift Nikol)..... 30

Şekil 5.13: **(a)** Feldpatları killeşmiş, hamuru silisleşmiş ve karbonatlaşmış dasidik tüf, **(b)** plajiyoklazları serizitleşmiş ve kısmen karbonatlaşmış hamuru silisleşmiş dasidik piroklastik (kao: kaolen ka: kalsit, ku:kuvars, plj: plijiyoklaz, ser: serizit) (Çift Nikol)..... 30

Şekil 5.14: **(a)**, **(b)** Bahçelerarası Mahallesi'nde Doyuran volkanitlerine ait dasitler, **(c)** yer yer killeşmiş yarı özşekilli polisentetik ikizli plajiyoklaz ve magmatik kuvars, **(d)** iri taneli ortoklas kenarları serizitleşmiş ve killeşmiş (fel: feldispat, ku: kuvars, op: opak mineral, ort: ortoklas, plj: plajiyoklaz)..... 31

Şekil 5.15: **(a)**, **(b)** Feldispatlarda yoğun serizitleşme ve killeşme (ku: kuvars, plj: plajiyoklaz, ser: serizit) (Çift Nikol)..... 32

Şekil 5.16: Dasit içinde karbonatlaşma, ikincil kalsit damarı, kısmen silisleşme ve opak mineral saçınımları (Çift Nikol)..... 32

Şekil 5.17: Hallaçlar volkanitlerine ait lav ve aglomeralar..... 33

Şekil 5.18: **(a)** Hornblendlerde ve hamurda opaklaşma **(b)** plajiyoklaz fenokristalleri ile birlikte hamurda hornblend ve biyotitlerde opaklaşma (bi: biyotit, hb:hornblend, plj: plajioklaz)..... 34

Şekil 5.19: Hallaçlar volkanitlerine ait andezit porfir daykı..... 35

Şekil 5.20: **(a)** Plajiyoklazlarda killeşme, proksenlerde opaklaşma, hamurda karbonatlaşma ve opaklaşma **(b)** tamamen kaolenleşmiş plajiyoklaz ile kenar kesimleri boyunca hamurda killeşme ve kısmen karbonatlaşma (hb: hornblend, kao: kaolen, plj: plajiyoklaz, prk: piroksen) (Çift Nikol)..... 35

Şekil 5.21: Maden Deresi civarında gözlenen travertenlere ait görünüm..... 36

Şekil 5.22: Maden Deresi civarında yüzlek veren Doyuran volkanikleri üzerine yerleşmiş travertenler..... 37

Şekil 5.23: **(a), (b)** Traverten içerisinde karbonatlı kırıntlı kayaç parçaları **(c)** traverten içerisinde dasitik tüf klastları, **(d)** traverten içerisinde kuvars kapanımları (ka*:* kalsit, ku: kuvars kçt: kireçtaşı klastı) (Çift nikol)..... 38

Şekil 5.24: İnceleme alanı ve çevresine ait yapısal çizgisellikleri gösteren kabartma haritası (kesikli çizgiler çizgisel hatları, sürekli çizgiler arazide tespit edilen faylara karşılık gelir)..... 39

Şekil 5.25: Çatlaklar için hazırlanmış eklem doğrultularını gösteren gül diyagramı (N=103)..... 40

Şekil 5.26: Eğim atımlı normal fay karakterindeki Büyük Fay (Matias, 2012)..... 41

Şekil 5.27: Sarısu Sırtı'ndan geçen sol yanal doğrultu atımlı Sarısu Fayı..... 42

Şekil 5.28: Patlak Mahallesi'nin batısından geçn yaklaşık D-B yönlü sağ yanal doğrultu atımlı Patlak Deresi Fayı'na ait görünüm..... 42

Şekil 6.1: Biga Yarımadası'nda yer alan Pb-Zn cevherleşmeleri (Demirela 2011)..... 44

Şekil 7.1: 1901 yılında Fransızlara ait Balya Pb-Zn İşletmeleri'ne ait idari binalar ve yer altı üretim galerisi giriş kuyusu..... 45

Şekil 7.2: Balya Madeni içinde Fransız Dönemi ne ait izabe tesisi (1904) 46

Şekil 7.3: Esan Balya Pb-Zn İşletmesi yeraltı üretim faaliyetlerinin 3 boyutlu bilgisayar programında hazırlanan görüntüsü..... 48

Şekil 7.4: İnceleme alanının maden jeoloji haritası..... 49

Şekil 7.5: Kırmızı Tepe üzerinden geçen Büyük Fay (Doyran volkanikleri ile Çamoba formasyonu arasındaki tektonik dokanak) (Yıl:2002)..... 50

Şekil 7.6: Kırmızı Tepe üzerinden geçen Büyük Fay (Doyuran volkanitleri ile Çamoba formasyonu arasındaki tektonik dokanak) (Yıl: 2016)..... 51

Şekil 7.7: Kırmızı Tepe ile Sarısu Galerisi arasının genelleştirilmiş enine kesiti üzerinde cevher-yankayaç ilişkileri (Kovenko 1940'dan revize edilmiştir)..... 51

Şekil 7.8: **(a-a¹)** Serizitleşmiş-killeşmiş dasit porfir klastı, **(b-b¹)** serizitleşmeyi üzerleyen silisleşme ve kuvars damarcıkları (ku: kuvars, ser: serizit, a, b: karot numunesi, (a¹, b¹: çift nikol) 53

Şekil 7.9: **(a-a¹)** Killeşmiş kayacı ve serizitleşmiş plajiyoklazları kesen karbonat damarcığı, **(b-b¹)** killeşmiş dasit porfiri kesen kuvars-pirit damarcığı (ku: kuvars, op: opak mineral, ser: serizit a, b: karot numunesi , a¹, b¹: çift nikol) (Kuşcu, 2012)..... 53

Şekil 7.10: **(a-a¹)** Boşluk dolgusu şeklindeki galen oluşumları, **(b-b¹)** kovuklu yapılı kuvars ve boşluk dolgusu şeklinde ortaya çıkmış galen ile Na-alunit veya plajiyoklazlar (c-c¹) kovuklu yapıyı dolduran Na-alunit ve kısmen silisleşmiş mikro fay oluşumları, boşukları dolduran galen (ku: kovuklu kuvars, gl: galen, al: alunit, a, b: karot numunesi, a¹, b¹: çift nikol) (Kuşcu 2015)..... 55

Şekil 7.11: **(a)** Plajiyoklaz psödomorfları içinde piroksen oluşumları, **(b)** granat damarı ve çeperler boyunca granatı üzerleyen piroksenler. (gr: granat, pr: piroksen, ser: serizit, ku: kuvars) (Kuşcu, 2014).... 57

Şekil 7.12 Granatları ve piroksenleri üzerleyen epidotlaşma ve kloritleşmeler ile manyetit birlikte özşekilsiz manyetitler (ep: epidot, gr: granat, kl: klorit, prk: piroksen, man: manyetit (Kuşcu, 2014)..... 59

Şekil 7.13: (a-a¹). Granatlarda aktinolitleşmeler ile birlikte aktinolitlerde karbonatşma (kt: aktinolit, gr: granat, ka: kalsit a: karot numunesi, a¹: çift nikol (Kuşcu, 2012)..... 59

Şekil 7.14: **(a)** Kalkopirit 1 ve manyetitler tarafından ornatılan asenopiritler, **(b)** kalkopiriti ornatan pirit 1 ve ikisini de ornatan galen (ap: arsenopirit, man: manyetit, kkp: kalkopirit, prt: pirit, gl: galen, ka: kalsit, a,b: karot numunesi, (a^1-b^1: çift nikol)..... 60

Şekil 7.15: **(a)** Piriti ornatan galen ile galeni ve piriti ornatan sfelarit, **(b)** galen çeperini sararak oluşan kalkopirit 2 (prt: pirit, sf: sfearit, gl: galen, kkp: kalkopirit 1 ve kalkopirit 2) (Kuşcu,2014)..... 60

Şekil 7.16: **(a-a^1)** Dasit porfir dokusunu tamamen silen, killeşme, karbonatlaşma ve hepsini kesen kalsit 2 **(b-b^1)** Pervasif killeşmeye maruz kalmış dasit porfir (hb: horblend, ka: kalsit, kao: kaolen, ku: kuvars, plj: plajioklas, a,b: karot numunesi, a^1-b^1: çift nikol) (Kuşcu, 2012)..... 61

Şekil.7.17: Ortopiroksenleri ornatan epidotlar, onları da ornatan kuvarslar, aktinolitleşme ve sülfid mineral ornatmaları (akt: aktinolit, ka: kalsit, gr. granat, op: opk mineraller) (Kuşcu, 2012)..... 62

Şekil 7.18: **(a-a^1)** Prograd evreye ait granatarı tamamen silen karbonatlaşma (kalsit 1) **(b-b^1)** cevher mineralini kesen kalsit 2 damarı (gr: granat, ka: kalsit, op: opak mineraller, ser: serizit, a,b: karot numunesi, a^1, b^1: çift nikol (Kuşcu, 2012)..... 63

Şekil 7.19: **(a)** Kısmen karbonatlaşmış granat ve aktinolit, **(b)** sfelarit içinde yer alan kalkopirit eksolüsyonları ve ornatılmamış priti adacıkları ve kanar kesimde spekülarit (akt: aktinplit, gr: granat, kkp: kalkopirit, prt: pirit, sf: sfelarit, sp: spekülarit) (Kuşcu, 2014)..... 63

Şekil 7.20: Sülfid minerali içeren damarlar için hazırlanmış damar yönlerini (doğrultularını) gösteren gül diyagramları (N=103)..... 65

Şekil 7.21: **(a)** Sondaj kuyularında oryantasyon cihazı ile ölçülen sülfid mineral damarlarına ait gül diyagramı (her baskın yön farklı renk kodu ile gösterilmektedir), **(b)** sondaj kuyularında oryantasyon cihazı ile ölçülen geç evre karbonatları ile ilişkili pirit damarlarına ait gül diyagramı (her baskın yön farklı renk kodu ile gösterilmektedir)..... 66

Şekil 7.22: Sondaj kuyularında oryantasyon cihazı ile ölçülen geç evre karbonat (kalsit 1 ve kalsit 2) damarlarına ait gül diyagramı (her baskın yön farklı renk kodu ile gösterilmektedir)..... 66

Şekil 8.1: Balya Pb-Zn Yatağı'nındaki toprak numunelerinin Pb element (ppm) dağılım haritası..... 72

Şekil 8.2: BalyaPb-Zn Yatağınındaki toprak numunelerinin Zn element (ppm) dağılım haritası..... 73

Şek,il 8.3: Balya Pb-Zn Yatağınındaki toprak numunelerinin Ag element (ppm) dağılım haritası..... 74

Şekil 8.4: Balya Pb-Zn Yatağınındaki toprak numunelerinin Cu element (ppm) dağılım haritası..... 75

Şekil 8.5: Balya Pb-Zn Yatağınındaki toprak numunelerinin As element (ppm) dağılım haritası..... 76

Şekil 8.6: Balya Pb-Zn Yatağınındaki toprak numunelerinin Sb element (ppm) dağılım haritası..... 77

Şekil 8.7: Balya Pb-Zn Yatağınındaki toprak numunelerinin Hg element (ppm) dağılım haritası..... 78
Şekil 8.8: Balya Pb-Zn Yatağınındaki toprak numunelerinin Au element (ppm) dağılım haritası..... 79
Şekil 9.1: Galenit (ga), sfalerit (sf) ve pirit (pr) minerallerine ait $\delta^{34}S$ CDT‰ frekans dağılımları..... 82
Şekil 9.2: Hidrotermal maden yataklarında kükürt içeren minerallerin $\delta^{34}S$ değerleri ve Balya Yatağı'na ait $\delta^{34}S$ değerlerinin dağılımı. Kerridge vd. (1983), Ohmoto ve Rye (1979), Halbach vd. (1989), Naylor vd. (1989) ve Eldridge vd. (1988) çalışmalarını derleyen Rollinson, 1993'den aynen alınmıştır)..... 83
Şekil 9.3: Çeşitli kayaç gruplarının $\delta^{34}S$ değerleri ile evaporitik ve okyanus suyu içindeki sülfatların $\delta^{34}S$ değerleri (Hoefs, 1987'den alınmıştır)..... 83
Şekil 9.4: Çeşitli kayaç gruplarının ve suların $\delta^{18}O$ değerleri ve Balya Yatağı'na ait $\delta^{18}O$ değerlerinin dağılımı (Rollinson, 1993'den aynen alınmıştır)..... 85

ÇİZELGE DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 7.1: Balya ve çevresinde gözlenen bölgesel ve erken, geç evre alterasyonlar ve cevherleşelerin minerolojik, cevherleşme tipleri..... 56

Çizelge 7.2: Balya Pb-Zn Yatağındaki alterasyon ve cevherleşmelere ait süksesyon..... 64

Çizelge 8.1: Balya Pb-Zn Yatağı toprak numunelerine ait jeokimyasal analiz sonuçlarından 41 elemente göre hazırlanan korelasyon tablosu (Pearsun yöntemine göre)..... 69

Çizelge 8.2: Balya Pb-Zn Yatağı toprak numunelerine ait Pb, Zn, Ag, Cu, As, Sb, Hg ve Au elementlerinin minumum, ortalama, maksimum ve eşik (threshold) değerleri (ppm)..... 70

Çizelge 9.1: Galen (ga), sfelarit (sf), ve pirit (pr) minerallerine ait $\delta^{34}S$ değeri (CDT: Canyon Diablo Troilite, ABD-Arizona'daki bir meteoritin değerine göre)..... 82

Çizelge 9.2: Kuvars (ku) ve kalsit (ka) minerallerine ait $\delta^{34}S$ değerleri (VSMOW Vienna Standard Mean Ocean Water)..... 85

1.GİRİŞ

Biga Yarımadası, Pb-Zn, Cu, Mo, Au ve Ag gibi polimetalik cevherleşmeler içeren önemli bir metalojenik alt provenstir. Günümüzde Biga bölgesindeki cevherleşmeleri konu edinen bilimsel literatürdeki artışa paralel olarak, cevherleşmeleri hedef alan yoğun arama ve işletme çalışmaları da görülmektedir (Demirela, 2011; Demirela, 2014). Biga Yarımadası'nın madencilik açısından Truva ve Osmanlı dönemlerinde de oldukça önemli bir merkez olduğunu gösteren bu dönemlere özgü Pb, Zn, Ag ve Au madenciliğine ait önemli sayıda antik ve eski galerinin varlığı bilinmektedir (Demirela, 2011).

Bölgedeki Pb-Zn±Cu±Ag cevherleşmeleri özellikle metamorfik kayaçların karbonatlı seviyelerinde, volkanik ve metamorfik kayaçlar arasında gelişmiş ve faylanmaların yoğun olduğu yerlerle ilişkili olarak izlenmekte ve oluşum biçimleri üzerine halen çeşitli tartışmalar devam etmektedir (Demirela 2011). Biga Yarımadası Bulgaristan, Yunanistan, Kosova, Bosna Hersek ve Sırbistan gibi Balkan ülkeleri ile Orta Avrupa ülkelerinin bir bölümünü içine alan Serbo-Makedoniyen ve Rodop metalojenik kuşaklarına jeolojik olarak benzerlik göstermektedir (Akıska, 2010; Demirela, 2011; Demirela vd., 2014). Bu cevherleşmeler MVT, SEDEX, skarn ve hidrotermal (mesotermal-epitermal) olarak sınıflandırılmaktadır (Ağdemir vd., 1994; Sağıroğlu, 1996; Yıldız vd., 2008; Akıska, 2010; Demirela, 2011; Akıska vd., 2013; Demirela vd. 2014).

Bu bağlamda Biga Yarımadası'nın ve ülkemizin bilinen ve işletilen en büyük Pb-Zn yatağı olan Balya Pb-Zn Yatağı'nın jeolojik, cevher-alterasyon-yan kayaç ilişkileri ile jeokimyasal ve izotop karekteristikleri ortaya konulmaya çalışılmıştır.

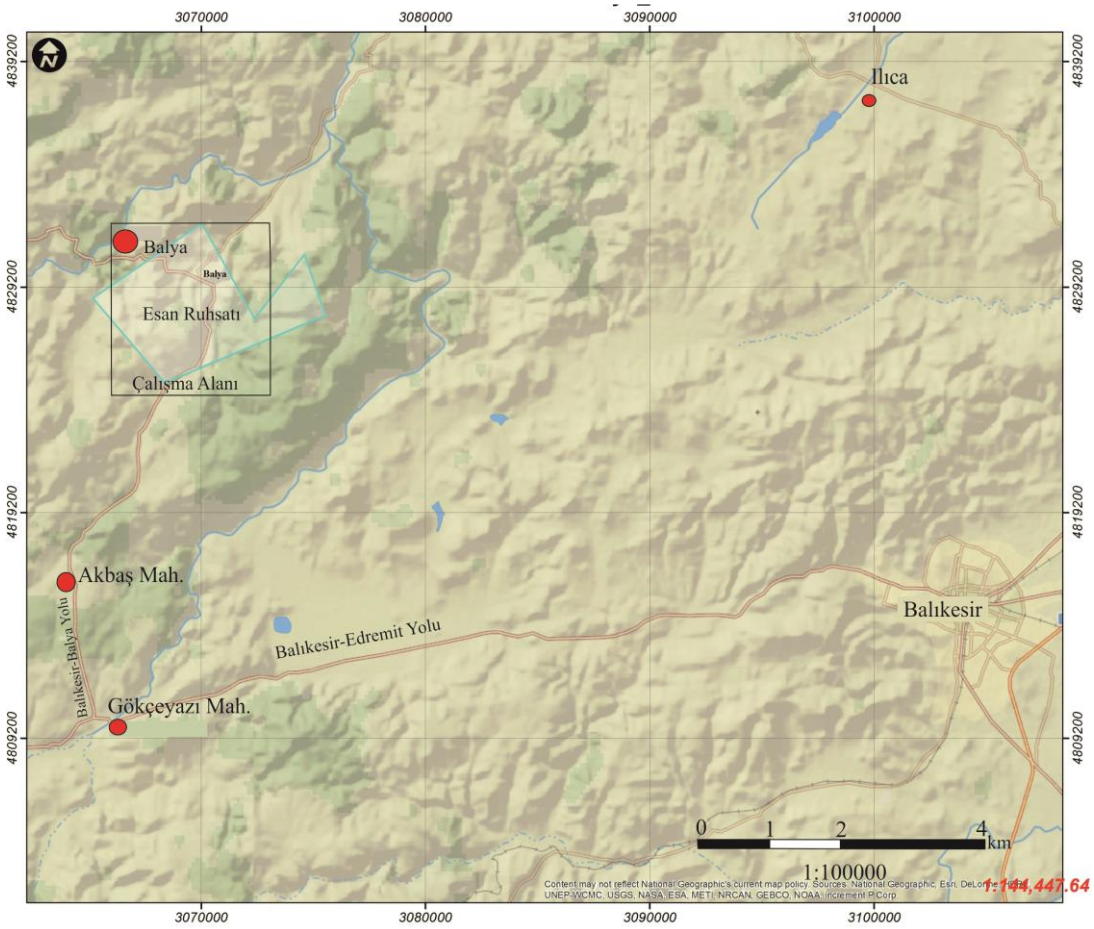
1.1 Amaç ve Kapsam

Biga Yarımadası'nın yaklaşık GD ucunda, Balıkesir ili Balya ilçesi sınırları içinde yer alan ve Eczacıbaşı Esan Endüstriyel Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ne ait Balya Kurşun-Çinko İşletmeleri tarafından aktif olarak işletilen Balya Pb-Zn Yatağı'nda; a) yatak ve civarının 1/25000 ölçekli jeolojik haritasının hazırlanmasi ve yankayaçların mekansal

yayılımının ve stratigrafik ilişkiler ile yapısal unsurların ortaya konması, b) 1/10000 ölçekli maden jeolojisi haritalama çalışması ile cevherleşmeler, alterasyonlar ve yankayaçlar arasındaki zaman ve mekan ilişkilerinin ortaya konulması, c) yan kayaç, cevher ve alterasyon mineral topluluklarının tanımlanması ve parajenetik ilişkilerin ortaya konulması, (d) yan kayaçlar, cevherleşmeler ve alterasyonlardan derlenecek örnekler üzerinde iz elementler arası ilişkilerin tespiti edilmesi, e) cevherleşmeleri oluşturan çözeltilerin kökenlerinin tespitine yonelik kükürt (S) ve oksijen (O) izotop çalışmaları ve e) Balya Pb-Zn Yatağı için geçerli olabilecek bir oluşum modelinin konması bu çalışmanın başlıca amaçlarıdır.

1.2 Çalışma Alanının Konumu

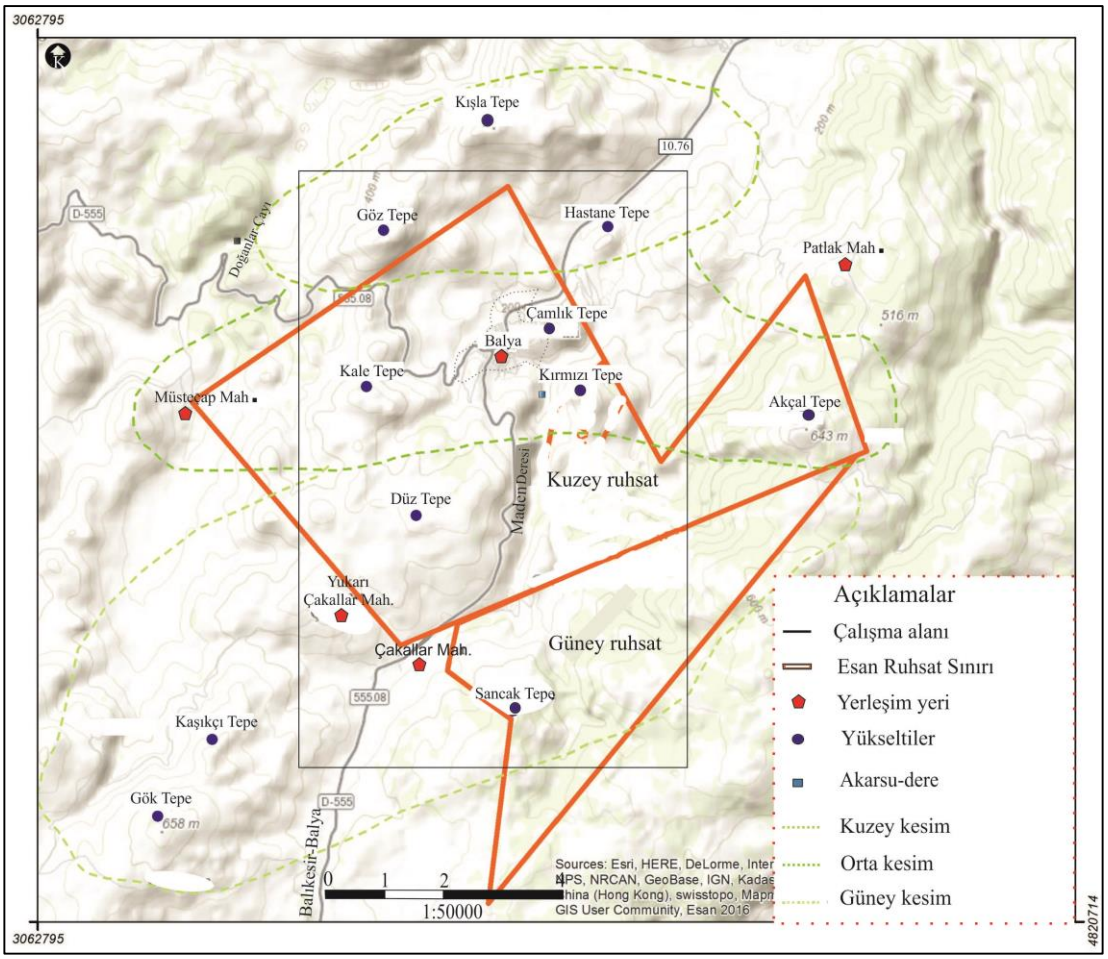
İnceleme alanı Balıkesir ilinin Balya ilçesi sınırları içinde bulunmakta olup 1/25.000 ölçekli I19D1- I19A4'e ait paftaları kapsamaktadır (Şekil 1.1). Balya Pb-Zn Yatağı Balya ilçe merkezine yaklaşık 1 km uzaklıktadır. Marmara Denizi'nin güneyinde yer alan çalışma alanına, karayolu ile rahatlıkla ulaşılabilmektedir. Bölgeye ulaşım; doğudan ve batıdan Bursa-Bandırma E-90 karayolu üzerinden, güneyden ise Balıkesir-Çanakkale E-881 karayolu ile sağlanmaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1: İnceleme alanın yer bulduru haritası.

1.3 Morfoloji

İnceleme alanı morfolojik olarak başlıca yükseltiler göz önünde bulundurularak; kuzey, orta ve güney kesim olmak üzere üç bölüme ayrılmıştır. Kuzey kesim, 280-420 m arasında değişen topografik kotlara sahip olup diğer alanlara göre daha düz bir morfolojiye sahiptir. Orta kesim, Balya Pb-Zn Yatağı'nın içerisinden geçen Kızıldere Çayı olarak bilinmektedir ve akarsu yatağı boyunca yukselti 70 m'ye kadar düşmektedir. Güney kesim, Balya Yatağı'nın güneyinden itibaren başlayan yükseltiler ile karakteristik olup tepelerin yüksekliği 500–700 m arasında değişmektedir. Kuzey kesiminin aksine oldukça dik eğimli yamaç ve sırtlara sahiptir. İnceleme alanındaki başlıca yükseltiler; Kışla Tepe (416 m), Kırmızı Tepe (385 m), Akçal Tepe (643 m), Çamlık Tepe (285 m), Hastane Tepe (150 m)'dir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2: İnceleme alanının 1/25000 ölçekli Google Earth ve DEM haritalarından üretilmiş topografik haritası.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

Tez çalışması arazide yapılan gözlemler, haritalamalar, ölçümler, örnek alımları, örnekler üzerinde yürütülen laboratuvar incelemeleri, örnek analizleri ve büro çalışmaları sırasında elde edilen verilere ait deneştirme ve yorumlamaları içermektedir. Aşağıda bu çalışma aşamalarına ayrıntılı olarak değinilecektir.

2.1 Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları haritalama, numune alımı, karot loglaması ve karotlardan numune alımı olmak üzere dört aşamada gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmaları sırasında öncelikli olarak bölge kayaçları, alterasyon zonları ve cevherleşmeler arasındaki ilişkiler tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda, 2014-2015 ilkbahar ve yaz aylarında yapılan arazi çalışmaları ile mevcut işletme ve civarında 1/10000 ölçekli detay maden jeolojisi haritası yapılmış ve gerektiği durumlarda geçmiş yıllarda hazırlanan haritalar ile karşılaştırılarak revize edilmiştir. İkinci aşamada işletme ve çevresini içine alan 51 km^2'lik alanının 1/25000 ölçekli jeoloji haritası revize edilmiştir. Örnekler üretim galerileri ve civarındaki volkanik, sedimanter, altere ve cevherli kayaçlar ile arama sondajlarına ait karot numunelerinden derlenmiştir.

Ayrıca Darıderesi civarında yaklaşık 46 km^2'lik bir alanda 200 metre aralılıklı 11 hat üzerinde 50'şer metre ara ile yaklaşık 30 cm toprak derinliğinden ideal A ve B toprak zonları hedef alınarak uluslararası Kalite yeterlilik ve kalite kontrol (QA-QC; Quality Assurance, Quality Control) prosedürlerine uygun olarak toprak numuneleri aynı anda 100 mikron elek açıklığına sahip eleklerden geçirilerek elek altında kalan en az 3 kg ağırlığa sahip elek altı numuneler jeokimyasal analizler için ayrılmıştır.

2.2 Laboratuvar Çalışmaları

Laboratuvar çalışmaları sonucunda minerolojik-petrografik veriler, toprak jeokimyası ile duraylı S ve O izotop verileri elde edilmiştir.

2.2.1 Örnek hazırlama

Arazi çalışmaları sırasında çevre ve yankayaçlar, cevherleşmeler ve alterasyonlar ile yatak içinde açılmış sondaj karotlarından derlenen örneklerin mineralojik ve jeokimyasal analizler için hazırlanması iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Örnek hazırlama işleminin ilk aşamasında örnekler petrografik analizler için uygun kısımlarından kesilerek ince kesitler hazırlanmıştır. Arazi ve sondajlardan derlenen temsili örneklerin bir kısmı ince kesit yapılması amacı ile seçilmiştir. Bu örnekler ODTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü İnce Kesit ve Parlatma Laboratuvarı'na yollanarak ince kesitler hazırlattırılmıştır. Cevherli zonlardan derlenen örnekler üzerinde cevher mikroskobisi çalışmalarına yönelik parlak kesitler için örnekler seçilmiş ve yine aynı birime yollanmıştır.

Petrografik, cevher mikroskobisi ve jeokimyasal incelemelere dayanılarak seçilen örnekler üzerinde S ve O izotop analizleri yapılmıştır. S ve O izotop analizleri için ACME Laboratory Group Türkiye aracılığıyla Queen's University Queen's Facility for Isotope Research laboratuvarlarına gönderilmiştir. Örneklerin hazırlanma biçimi, ilgili laboratuvarlarla görüşülerek belirlenmiştir. Analiz için örnekler çeneli kırıcı ile 0.5 cm kalınlığında kırıldıktan sonra saf mineral içeren kısımlar ayıklanmıştır. Ayıklanan kayaç parçaları Fritsch marka öğütücüde daha küçük boyuta öğütüldükten sonra binokuler altında cımbız ve ayıklama iğnesi yardımıyla pirit, galen, sfalerit mineralleri S izotopu analizleri için, kuvars ve kalsit mineralleri ise O izotop analizleri için ayıklanmıştır. 10 ile 20 gram civarında ağırlıkları olan örnekler naylon torbalara konularak numaralanmıştır.

Toprak numuneleri ise ESAN Balya Pb-Zn İşletmesi numune hazırlama laboravarında 24 saat kurutulmaya bırakılmıştır.

2.2.2 Petrografik analizler

Çalışmanın bu aşamasında daha önceden ESAN Balya Pb-Zn İşletmeleri tarafından hazırlatılan YS-767-7 kuyusuna ait cevherli ve altere zonlara ait ince kesitler Kuşcu (2012, 2014 ve 2015) tarafından incelenip yorumlanmıştır. Yorumlanan bu kesitler ile tez çalışması sırasında Arı Mağara galerisinin 460 m derininde yapılan karotlu sondaj kuyusu (YS-767-7) derlenen örneklere ait ince ve parlak kesitler Leica marka DM/LSP model alttan aydınlatmalı polarizan mikroskop ile incelenmiş ve kesitlere ait

mineralojik bileşimler ve dokular yeniden yorumlanmıştır. Bu sayede hem çevre ve yankayaç (metasedimanter ve volkanik) ve alterasyon zonlarındaki mineral toplulukları hem de cevher petrografisi sonuçları Kuşcu (2012; 2014 ve 2015) ile karşılaştırılarak alterasyonlar kendi içerisinde ana ve alt evrelere ayrılarak yeniden sınıflandırılmıştır. Petrografik analizler özellikle yankayaç alterasyonlarının mineralojik farklılıklarının ortaya konmasında ve harita revizyonlarında kullanılmıştır. Çalışmalar sırasında kesitlerden mineralojik bileşimi ve dokusal özellikleri yansıtmak üzere çok sayıda fotoğraf çekilmiştir.

2.2.3 Toprak jeokimyası çalışmaları

ESAN Balya Pb-Zn İşletmesi numune hazırlama laboravarında 24 saat kurutulmaya bırakılan toprak numuneleri kurutma işlemi sonrasında ALS Jeokimyasal Analiz Laboratuvarları'nda ICP-MS-OES (41 element) ve Fire Assay (Au elementi için kontrol amacıyla) yöntemi ile analiz edilmek üzere yollanmıştır. Yöntemlerin ayrıntılarına www.alslabrotory.com linki üzerinden ulaşılabilir.

2.2.4 İzotop çalışmaları

$\delta^{34}S$ izotop analizleri için Queens University Queen's Facility for Isotope Research laboratuvarlarına gönderilen örnekler kalay kapsüller içinde tartıldıktan sonra kükürt izotop bileşimleri MAT 253 Stable Isotope Ratio Mass Spectrometer'a iliştirilmiş Costech ECS 4010 Elemental Analyzer ile ölçülmüştür. Örneklerin $\delta^{34}S$ değerleri için Vienna Canyon Diablo Troilite (VCDT) uluslar arası standartı kullanılmıştır.

Oksijen izotop analizleri Queens University Queen's Facility for Isotope Research laboratuvarlarına gönderilen kuvars örneklerinden oksijen, Clayton and Mayeda (1963) nın konvensiyonel BrF_5 prosedürüne göre 550-600°C sıcaklıkta 5mg'lık örneklerden ekstrakte edilip Thermo-Finnigan DeltaPlus XP Isotope-Ratio Mass Spectrometer (IRMS) yardımıyla analiz edilmiştir. $\delta^{18}O$ değerleri Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW) uluslar arası standartına göre ‰ 0.1 hata payı ile permil (‰) delta (δ) olarak verilmiştir.

O izotop analizleri ayrıca Queens University Queen's Facility for Isotope Research laboratuvarlarına gönderilen kalsit örneklerinde $\delta^{18}O$ and $\delta^{13}C$ oranları, 72^0C sıcaklıkda 4 saat boyunca %100 toz haline getirilmiş 1mg lık kalsitlerin susuz fosforik

asit ile reaksiyona tabi tutulmasıyla belirlenmiştir. Açığa çıkan CO_2 coupled to a Thermo-Finnigan DeltaPlus XP Continuous-Flow Isotope-Ratio Mass'a monte edilmiş Thermo-Finnigan Gas Bench sayesinde analiz edilmiştir. $\delta^{18}O$ and $\delta^{13}C$ sırasıyla Vienna Standard Mean ve Vienna Pee Dee Belemnite (VPDB) uluslar arası standartlarına göre 0.2 ‰ hata payı ile permil (‰) delta (δ) olarak verilmiştir.

2.3 Büro Çalışmaları

Çalışma alanının 1/25000 ölçekli topoğrafik haritaları üzerinden ve 1/100000 ölçekli sayısal topoğrafik haritalardan elde edilen araziye ait dijital yükseklik modellerinden ve DEM görüntülerinden bölgeye ait belirgin çizgisellikler belirlenmeye çalışılmıştır. Bununla birlikte çalışma alanına ait 1/25000'lik jeoloji haritalarının revizyonu sırasında bu çizgiselliklerden arazide tespit edilenler harita üzerine aktarılmıştır.

Büro çalışmaları ile revize edilerek oluşturulan jeoloji haritaları ve stratigrafik kesitler yeniden düzenlenmiştir. Sayısal haritaları ve üç boyutlu görüntüleri elde etmek için ArcViewGIS 3.2 ve ArcMap 9.2 programları kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına ait veriler gruplandırılmıştır. Toprak jeokimyası iz element analiz sonuçlarına ait korelasyon katsayısı değerleri SPSS 16.0 yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır.

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Enderle (1900), Balya Pb-Zn Yatağı ve çevresindeki kireçtaşlarının Permo-Triyas yaşlı olduğundan ilk defa söz etmiştir.

Weiss ve Berg (1901), Balya Pb-Zn Yatağı cevherleşmelerinin ojitli andezitler ile kireçtaşları arasındaki dokanak boyunca ortaya çıktığını ifade etmiştir.

Phillipson (1915), Balya Pb-Zn Yatağı'nda Paleozoyik yaşlı kireçtaşları ile farklı zamanda oluşan patlamalı volkanik kayaçların birlikte gözlendiğinden bahsetmiştir.

Kovenko (1940), Balya Pb-Zn Yatağı'nda cevherli zonları (1) porfirit cevher (2) kontak damarlar (3) kalker dahilindeki cevher ve (4) sedimenter tabakalar arasındaki yerleşmiş cevherli zonlar olmak üzere dörde ayırarak yatağın Bonne Espirance bölgesindeki madenlere benzerlik sunduğunu öne sürmüştür. İddiasına dayanak olarak Balya Yatağı'ndaki dasit-liparit bileşimli volkanitleri kesen propillitik alterasyona maruz kalmış andezitik daykların tavan bloğunda yer alan cevherleşmeler ile Bonne Hilihi Yatağı'na ait cevherli zonların her ikisinin de yeşil ve menekşe renkli florit minerali içermesini göstermiştir. Ayrıca sedimanter tabakalar arasındaki cevherleşmeleri (a) orpiment ve diğerleri, (b) sementasyon zonu ve (c) oksidasyon zonu olmak üzere üç alt gruba ayırmıştır.

Aygen (1956), Balya Pb-Zn Yatağı'nda gözlenen kontak tipindeki cevherleşmelerin ekonomik bir cevher potansiyeli taşımadığını öne sürmüştür.

Kaaden (1957), Balya Pb-Zn Yatağı'nı üçüncü zaman volkanik kayaçların dokanak zonlarında ve yöre kayaçlarının içerisindeki uygun yerlerde yataklandığını belirtmiştir.

Gjelsvik (1962), cevherleşmeler öncesinde, inceleme alanında yayılım gösteren sedimenter kayaçların bölgesel ölçekli tektonik hareketlere maruz kaldığını, Hersiniyen ve muhtemelen daha yaşlı orejenezlerden de etkilendiğini vurgulamıştır. Faylanma ve şariyaj gibi kuvvetli tektonik harekatlere maruz kalan sedimenter kayaçların yoğun bir şekilde parçalandığını ifade etmiştir. Bölgesel ölçekli kıvrımlanmaya da maruz kalan sedimenter kayaçlar Tersiyer yaşlı volkanik kayaçlar tarafından örtülmüştür. Cevherleşmeler ve yan kayaçlardaki alterasyon topluluklarının

“pirojenik mineraller” tarafından yok edildiğini vurgulamakla birlikte bu olaya bağlı olarak ilk defa karbonatlaşmayı alterasyon mertebesinde tanımlamıştır.

Krusheensky vd. (1971), Balya Pb-Zn Yatağı’nın dasit liparit daykları ile doğrudan ilişkili olduğunu öne sürmüştür. Edremit körfezi’nin güneyinden Çanakkale ili Çan ilçesine kadar olan alanda Tersiyer volkanitleri üzerinde yaptığı çalışmada bölgede yüzlek veren volkanitleri iki farklı evreye ayırarak; ilk evrede dasidik ve riyolitik lavların, ikinci evrede ise andezitik lavların ortaya çıktığını ve andezitik lavların dasitik-riyolitik lavları örttüğünü ifade etmiştir.

Krunshensky (1976), Edremit-Çan arasında kalan volkanitleri Üst Eosen-Oligosen yaşlı Bağburun formasyonu olarak adlandırmıştır. Birim içinde yer alan dasitlerin Hallaçlar volkaniklerinin taban seviyelerine, andezitlerin ise tavan seviyelerine karşılık geldiğini öne sürerek; dasitleri Doyuran formasyonu (Oligosen-Miyosen), andezitleri ise Halaçlar formasyonu (Miyosen) olarak isimlendirmiştir.

Bingöl vd. (1973), Balya Pb-Zn Yatağı ve çevresinde Üst Triyas yaşlı fosilli sedimanter birimleri Karakaya formasyonu olarak isimlendirmiştir.

Akyol (1977), Balya Pb-Zn Yatağı’nda gözlenen sedimenter kayaç toplulukları üzerine yapmış olduğu incelemeler sonucunda taban kayacı olarak tanımladığı Karakaya karmaşığı birimleri içerisindeki Permiyen yaşlı kireçtaşlarını ilk defa yabancı allokton bloklar olarak tanımlamıştır. Karakaya karmaşığını ise Üst Triyas yaşlı kiltaşı, “miltaşı”, kumtaşı ve kumlu kireçtaşı ardalanmasından oluşan bir metasedimenter kayaç topluluğu olarak açıklamıştır. Yazar tarafından ayrıca Balya cevherleşmeleri civarında Tersiyer yaşlı volkanik kayaçların mineralojik ve petrografik özellikleri incelenmiştir. Buna göre andezitler makro olarak gri-koyu gri renkli ve porfiritik dokuludur. Dasitler andezitlere göre daha fazla oksidasyona maruz kaldığından makro görünümleri kahverengi ve kızılımsı olup yer yer silisleşme, piritleşme ve yoğun şekilde kaolenleşme içerir. Balya cevherleşmelerinin Kuzey Anadolu Fay Zonu’na (KAFZ) uyumlu bir şekilde KB-GD doğrultusunda, cevherli kırık düzlemleri’nin ise yaklaşık 40°-60° KB’ya eğimli olduğunu ifade etmiştir. Bu fay zonu yazar tarafından Büyük Fay olarak adlandırılmıştır. Ayrıca cevherleşmeleri a) damar tipi, b) saçınımlı (dissemine) tip ve c) dokanak (kontakt) tipi cevher yatakları olmak üzere üç farklı gruba ayırmıştır.

Çağatay (1980), Balya Pb-Zn Yatağı'na ait cevherli yan kayaçlar üzerine yapmış olduğu ince ve parlak kesit incelemeleri sonucunda cevherleşmelerin, kuvvetli tektonizmanın izlerini taşıdığını öne sürmüş, KD-GB ve K/KB-G/GD doğrultulu fayları tespit etmiştir. Yazar ayrıca cevherleşmeler civarında bulunan tipik skarn minerallerine dayanarak yatağın ortaya çıkışını granodiyorit bileşimli bir sokulum ve kireçtaşı kütleleri ile ilişkilendirmiştir. Balya Pb-Zn Yatağı'nın cevherli kayaç numuneleri üzerinde gerçekleştirdiği cevher mikroskopisi çalışmalarında sırası ile galen, pirit, markazit, sfalerit, kalkopirit, tetrahedrit, manyetit, pirotin, antimonit, arsenopirit, boulanjerit, jamesonit, heyroskyit, bizmutit ve nabit bizmut tespit etmiştir. Galenlerin genellikle üst düzeylere doğru arttığını ve fazla miktarda bulunduğunu, çoğunlukla iri taneli ve ufalanmış kristaller halinde izlendiğini vurgulamıştır. Galen ve sfaleritlerin bazen çok ufak tanecikler halinde yan yana ve iç-içe büyümüş olarak gözlendiğinden bahsetmiştir. Piritin genellikle kireçtaşına yakın kesimlerde gözlendiğinden ve galenden sonra en fazla izlenen cevher minerali olduğunu belirtmiştir. Piritlerin öz veya yarı özşekilli kısmen de özşekilsiz olduğunu; özşekilsiz piritlerin genellikle sfelaritleri kestiğini ifade etmiştir. Sfaleritlerin allomorf ve kataklastik deformasyon izleri taşıdığını, kalkopiritlerin az miktarda bulunduğunu ve sfalerit ve pirotinle kenet halinde veya tek başına bulunduğunu ortaya koymuştur.

Aydın ve Öztunalı (1981), Cevherleşmelerin oluşumu sırasında granodiyorit ile cevherleşen kireçtaşının bugünkünden çok daha yakın bir konumda (12 km den az) bulunması gerektiği ile birlikte yükselen granodiyorit intrüzyonunun dokanaktaki kireçtaşı içinde hidrotermal bir yatak oluşturduğunu öne sürmüştür. Yazara göre daha sonra gelişen tektonik hareketlerle bu yatak kısmen bölünmüş parçalanmış, sonrasında da Tersiyer'de faaliyet gösteren volkanizma bu cevherli kireçtaşı bloklarının etrafını sararak aralarını doldurmuştur.

Ağdemir vd. (1994), Balya Pb-Zn Yatağı çevresinde kuzeyde Çamlık Tepe güneyde Kırmızı Tepe zirvesi olma üzere, yaklaşık 5 km^2'lik bir alanda sistematik yüzey numuneleri alarak yapmış olduğu XRD analizleri ve ince-parlak kesit incelemeleri sonucunda Tersiyer yaşlı volkanik kayaçlardaki alterasyon zonlarını üçe ayırmıştır. Alterasyon zonlanması kuzeyden (en dıştan) güneye (merkeze) doğru olmak üzere; (1) piropillitik alterasyon ile hidrotermal mineral birlikteliği; (kalsit-dalphinit-albit-epidot-kuvars-pirit), (2) arijilik-fillik alterasyon mineral birliktelikleri (serizit/muskovit-kaolen-muskovit-rutil-kuvars-pirit) ve (3) ileri arijilik alterasyon

mineral birliktelikleri (alunit-jarosit-kaolen-kuvars-serizit-pirit) ile temsil edilmektedir. Yazarlar ayrıca taze ve altere kayaç örnekleri üzerinde yürüttükleri K-Ar radyometrik yaşlandırma yöntemi ile andezitler ve alterasyonlar için 25,3 ± 1,2 milyon yıllık jeokronolojik yaş bulgusuna ulaşmıştır.

Aysal vd. (2006), Yenice (Çanakkale) kuzeyinde farklı büyüklerdeki granotoyid sokulumları Karadoru granotoyidi olarak isimlendirilmiştir. İnceleme alanında Üst Oligosen-Miyosen yaşlı monzodiyorit porfirin dar bir alanda (7 km²) Karakaya karmaşığına (Nilüfer ve Hodul birimleri) sokulumu boyunca kontak metazomatizma ve skarn zonlanması gelişmiştir. Kontak metamorfizma albit-epidot hornfels fasiyesinden hornblen hornfels fasiyesine kadar geniş bir aralıkta gözlenir. Skarn zonu ise granat, diyopsit ve epidot minerallerinden oluşmuştur. Granatlar, andradit bileşiminde olup granatlarda demir içeriği yüksektir. Epidotlar üzerinde yapılan sıvı kapanımı verileri, ilerleyen evredeki skarn homejenleşme sıcaklığını ortalama 485 ºC gerileyen evrede ise ortalama 365 ºC olarak hesaplanmıştır. Ayrıca ilerleyen evrede %16-16,8 NaCl eşdeğer tuzluluğa sahip olduğu tespit edilmiştir. Granotoyidlerdeki turmalin minerallerine göre skarn zonunun derinliğinin yaklaşık 2 km olarak değerlendirilmiştir.

Özışık (2009), Eczacıbaşı ESAN Balya Pb-Zn işletmeleri'ne ait 9 sondaj kuyusunun karot örnekleri üzerinde yapmış olduğu mineralojik-petrografik ve jeokimyasal incelemeler sonucunda Balya Pb-Zn Yatağı'nda cevherleşmeleri içeren yan kayaçların dasit, dasit porfir ve mikrodiyorit türü kayaçlar ile temsil edildiğini ifade etmiştir. Cevherleşmelerin damar tipi bir yatağa benzer özellikler sergilemekle birlikte esas alterasyonların silisleşme, karbonatlaşma ve kalk-silikat alterasyonları ile temsil edildiğini vurgulamıştır. Bu alterasyon topluluklarının kendi içlerinde erken evre ve geç evre olmak üzere alt evrelere ayrılabileceği ile birlikte tüm alterasyon topluluklarının muhtemelen süperjen kökenli arjilik alterasyon mineral toplulukları tarafından maskelendiğinden bahsetmiştir.

Yavuz ve Çiftçi (2012), Balya Pb-Zn Yatağı'nın Hastane Tepe mevkiinde Dedeman Madencilik uhdesinde kalan alan içinde açılmış 300 m ve 500 m'lik 2 adet sondaja ait karotlardan derledikleri örnekler üzerinde yürüttükleri çalışmada, cevherli zonlar içinde ana cevher minerali olarak birincil sfalerit, galen, pirit, markazit ve kalkopirit, serüzit gözlendiğini, gang minerallerinin olarak ise kalsit, kuvars ve çeşitli kaolinit ve serizit türü mineraller ile temsil olunduğunu ifade etmişlerdir. S izotop verilerinin

magmatik köken ve homejen bir kaynağı önerdiğini, Pb izotop verilerinin ise alt kabuk-manto kaynağını işaret etmekle birlikte üst kabuktan da bir miktar kirlenmeye dair ipuçları sunduğunu ifade etmişlerdir. Sfelaritlerden 340-450^{0}C arasında homojenleşme sıcaklıklaryla birlikte %1-10 NaCl değeri tuzluluklar elde etmişlerdir.

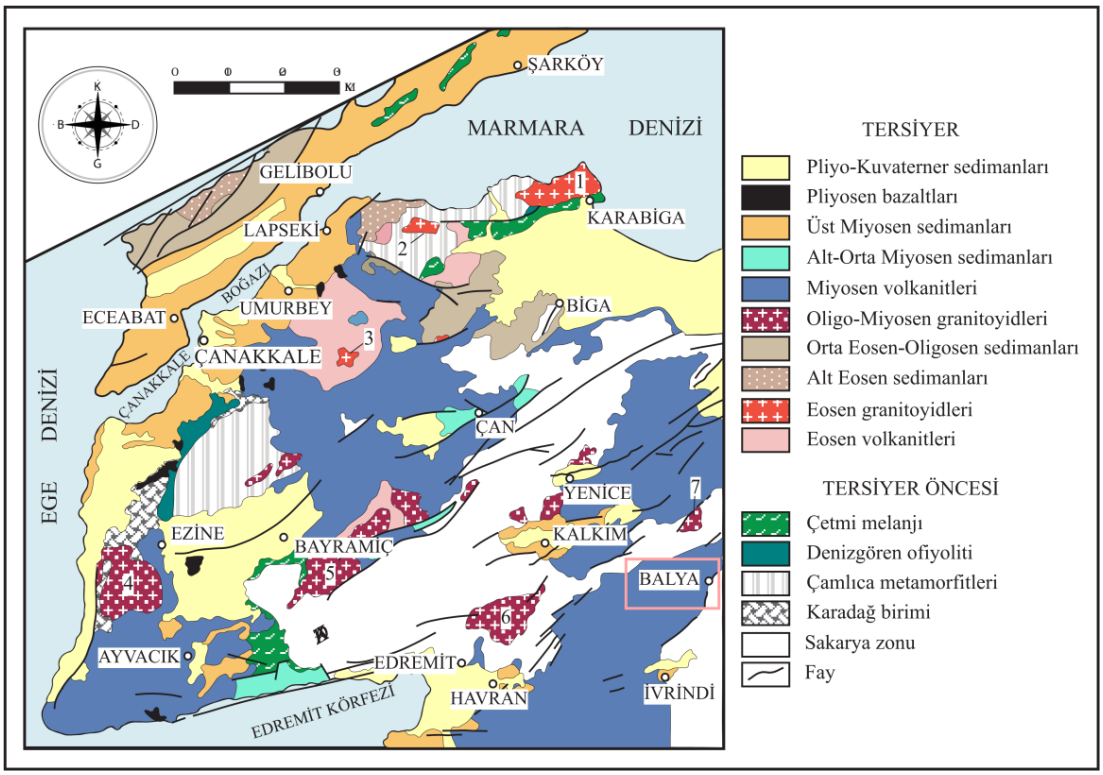
Yiğit (2012), Biga Yarımadası'nda Senozoyik (52-18 My) çarpışma sonrası (post-collisional) kalkalkalen mağmatizması ile ilişkili olarak skarn tipi Fe, skarn tipi Pb-Zn, porfiri tipi Au-Cu-Mo yatakları ile yüksek sülfidli, ortaç sülfidli ve düşük sülfidli Au-Ag yatakların ortaya çıktığını ve bu tür cevherleşmelerin oldukça önemli bir ekonomik potonsiyele sahip olduğunu ifade etmiştir.

Yılmaz vd. (2013), Karadağ granotoyidi üzerine yapmış olduğu çalışmada, Karadağ grotoyidi için argon-argon yöntemi ile 20,2±0,9 My ile 23,9±0,5 My'lık radyometrik yaş verisi elde etmiştir.

4. BÖLGESEL JEOLOJİ

Çalışma alanını içine alan Biga Yarımadası jeotektonik olarak Pontidler içinde yer alan tektonik birliğinin batı ucunda yer almaktadır (Ketin, 1966). Biga Yarımadası'nın temelini Tersiyer öncesi Permo-Triyas yaşlı metamorfitler ve ofiyolitler ile Üst Kretase yaşlı ofiyolitli melanjlar oluşturmaktadır. Bölge, Tersiyer sırasında Paleosen-Eosen'den başlayarak Miyosen sonuna kadar süregelen bir magmatizmanın etkisi altında kalmıştır (Okay vd., 1991). Bu zaman aralığında çoğunlukla granodiyorit bileşimli granitoyid kütleleri temel kayaçlara sokulum yaparken, andezit-dasit-riyodasit-riyolit bileşimli volkanik kayaçlar ise ya temel kayaçlarını kesmiş ya da bunları uyumsuz olarak örtmüştür. Yine bu dönemde Biga Yarımadası'nda volkanik aktiviteyle çoğu kez eş yaşlı olarak yoğun bir sedimantasyon meydana gelmiştir (Okay vd., 1991). Bu sedimantasyon esnasında bataklık alanlarda büyük kömür havzaları ortaya çıkmıştır (Okay vd, 1991). Çan formasyonu ve Soma formasyonu bu büyük kömür havzalarını içerisinde barındırmaktadır (Siyako vd., 1989; Okay vd., 1991; 1996; 2008; Dönmez vd., 2005; 2008; Altunkaynak ve Genç, 2008; Dilek vd., 2009; Akıska, 2010; Demirela, 2011; Yılmazer, 2012).

Biga Yarımadası çok genel olarak Tersiyer öncesi ve Tersiyer yaşlı kayaç gruplarından oluşmaktadır. Tersiyer öncesi temel birimler, Ezine zonu, Karadağ birimi, Denizgören ofiyoliti, Çetmi melanjı, Çamlıca metamorfitleri, Ayvacık-Karabiga zonu ve Sakarya zonuna ait litolojiler ile temsil edilirken (Okay vd., 1991), Tersiyer birimleri ise Alt Eosen-Kuvaterner yaşlı örtü istifi (akarsu, delta ve göl çökelleri), Eosen-Pliyosen yaşlı volkanitler (bazaltik, andezitik, dasitik riyolitik lav ve piroklastikler) ve Eosen-Miyosen yaşlı granitoyidler (granodiyorit, monzonit, granit vb.) ile temsil edilmektedir (Siyako vd., 1989; Okay vd., 1991; 1996; 2008; Dönmez vd., 2005; 2008; Şengün ve Çalık, 2007; Altunkaynak ve Genç, 2008; Dilek vd., 2009; Akıska, 2010; Ünal, 2010; Demirela, 2011; Yılmazer, 2012; Ünal vd., 2013; Yılmazer vd., 2014) (Şekil 4.1).



Şekil 4.1: Biga Yarımadası'nın genelleştirilmiş jeoloji haritası (1) Karabiga, (2) Şevketiye, (3) Kuşçayırı, (4) Ezine, (5) Bayramiç, (6) Eybek ve (7) Karacadağ granitoyidleri (Demirela vd., 2014).

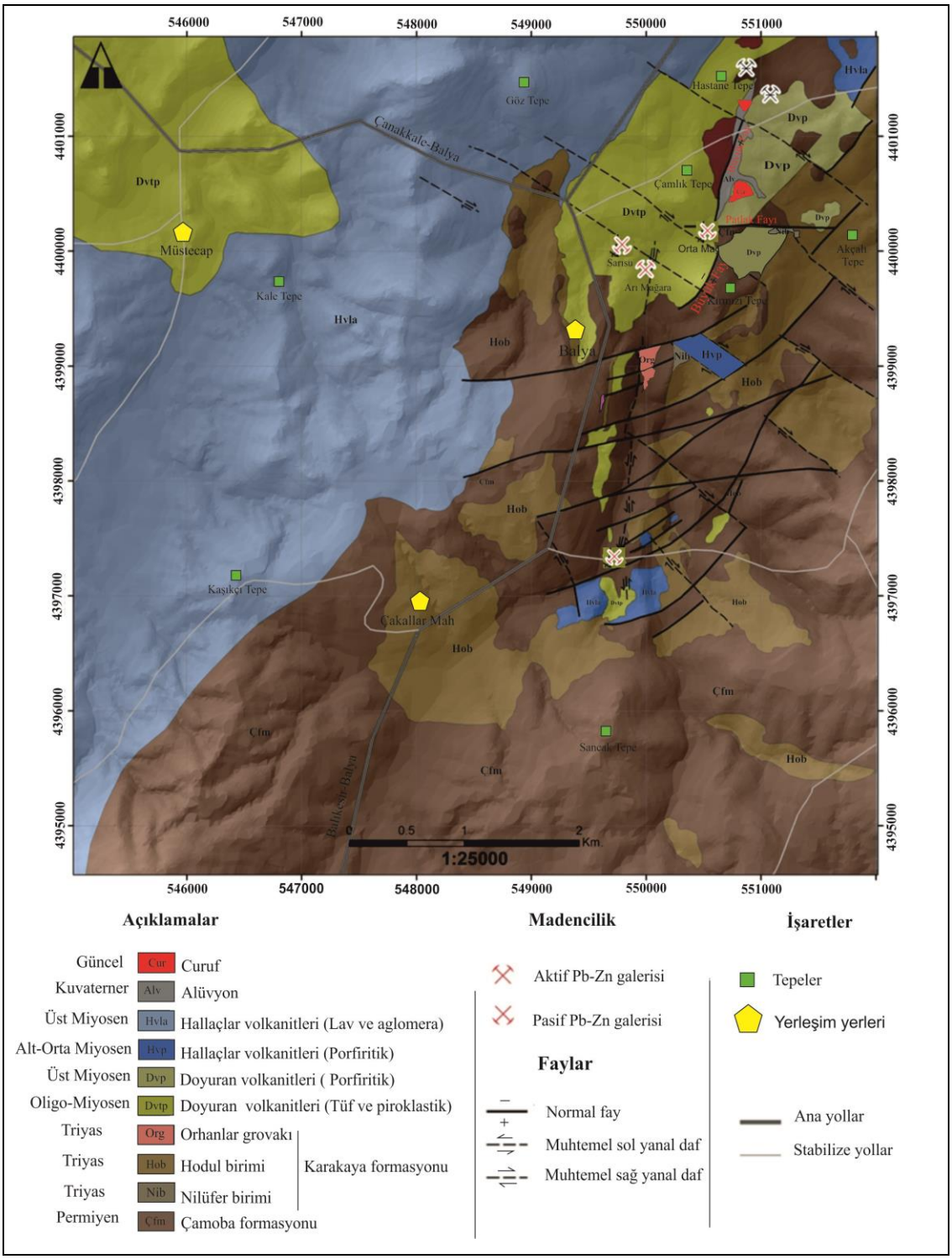
5. ÇALIŞMA ALANIN STRATİGRAFİSİ, JEOLOJİSİ VE YAPISAL JEOLOJİSİ

Bu çalışma kapsamında inceleme alanında yer alan kaya birimleri arasındaki zaman-mekan ilişkilerini ortaya koyabilmek amacı ile (a) öncel çalışmaların değerlendirilmesi, (b) 1/25000 ölçekli jeoloji haritası (Şekil 5.1), (c) 1/10000 ölçekli maden jeoloji haritası ve (d) sondaj karot determinasyonu yapılmıştır.

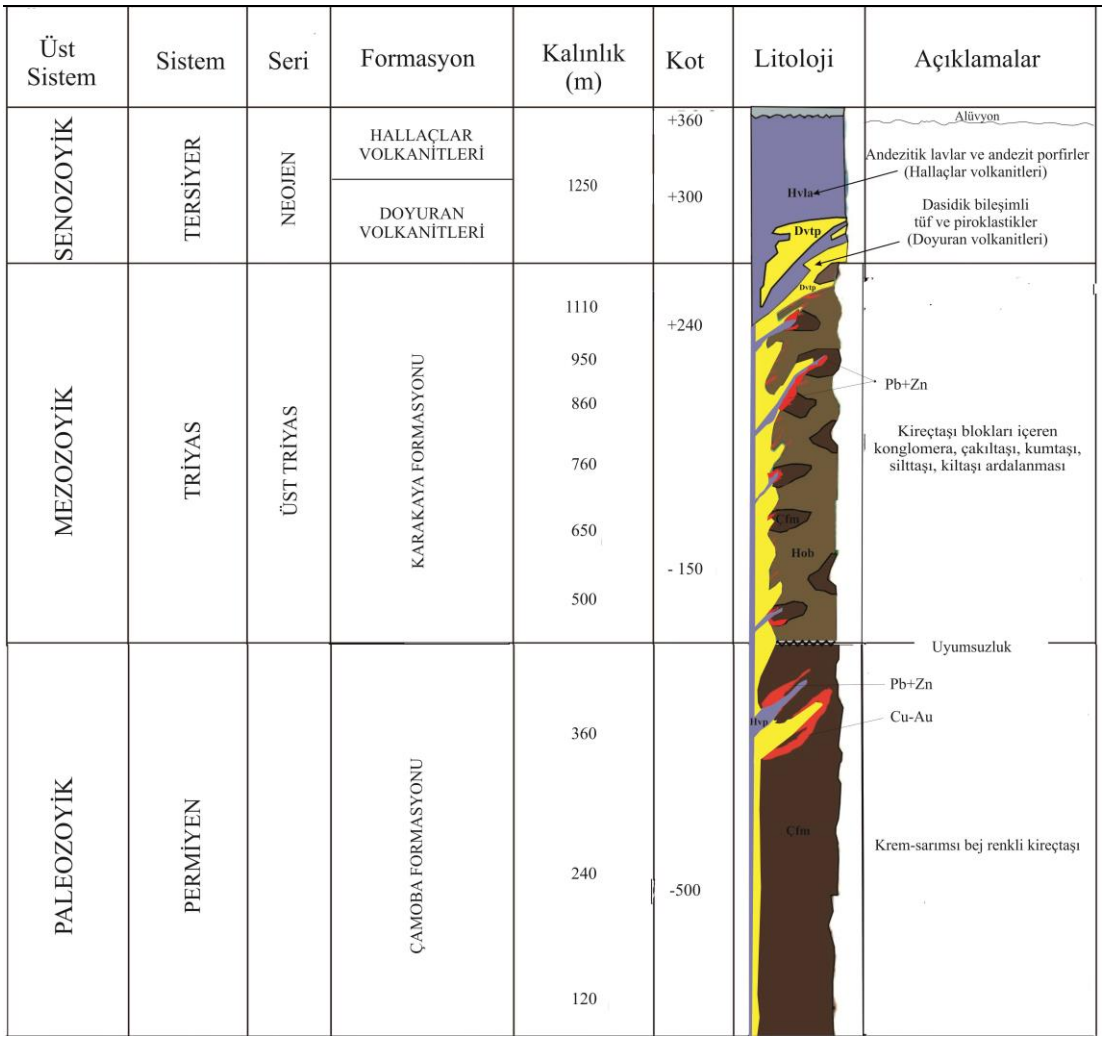
5.1 Stratigrafi ve Jeoloji

İnceleme alanında Permo-Triyas'dan, Pliyo-Kuvaterner'e kadar uzanan kayaç birimleri yüzeylemektedir. İnceleme alanının temelini Permo-Triyas yaşlı Karakaya karmaşığına ait yeşilşist fasiyesinden daha düşük dereceli bölgesel metamorfizma izleri taşıyan (Akyol, 1977; 1979) çamurtaşı ve fillatlar ile temsil olunan Nilüfer birimi, kumtaşı ve silttaşı ardalanması ile karakterize olunan Hodul birimi ile konglomera ve çakıltaşları ile temsil olunan Orhanlar grovakına ait kayaç birimleri oluşturmaktadır. Orhanlar grovakı ve Hodul birimi içinde irili ufaklı hatta devasa boyutlarda Permiyen yaşlı Çamoba formasyonuna ait masif kireçtaşı mercek ve blokları gözlenmektedir.

Bu temel kayaçları Oligo-Miyosen yaşlı subvolkanik dasit porfir ve andezitik dayklar ile kesilirken aynı yaşlı andezitik ve dasidik lavlar ile tüfler tarafından uyumsuz olarak üzerlenmektedir. Kuvaterner yaşlı alüvyon ve akarsu taraçaları bölgedeki tüm kayaç birimlerini uyumsuzlukla örtmektedir (Şekil 5.1 ve 5.2).



Şekil 5.1: İnceleme alanının 1/25000 ölçekli jeoloji haritası (ayrıntılar için Ek-A'ya bakınız).



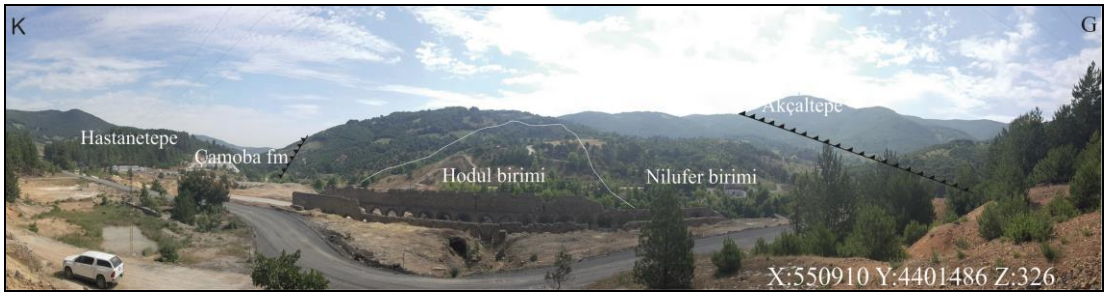
Şekil 5.2: İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (Akyol, 1977'den revize edilmiştir).

5.1.1 Çamoba formasyonu

Biga Yarımadası'nın yaklaşık güney kesiminde ve inceleme alanı içeresinde gözlenen Permiyen yaşlı kireçtaşları Çamoba formasyonuna ait kireçtaşlarına karşılık gelmektedir (Siyako vd., 1989; Okay vd., 1991; Sarı vd., 1996).

Çamoba formasyonuna ait kayaç birimleri çalışma alanının kuzeydoğusunda Hastane Tepe, doğusunda Darıderesi Mahallesi, güneyinde Çakallar Mahallesi ve güneybatısında Kaletepe civarında geniş mostralar vermektedir (Şekil 5.1, 5.3, 5.4). Bu formasyon, krem, sarımsı bej renkli derin denizel karakterli masif kireçtaşlarından oluşmaktadır. Yüzeyde genellikle Hodul birimine ait sedimanter kayaçlar içinde boyutları birkaç santimetreden 250 metreye kadar ulaşabilen bloklar şeklinde

gözlenmektedir. Ayrıca Maden Deresi içinde yer alan Ortamağara Galerisi'nin 760 kotunda yapılan sondaj çalışmaları sırasında yaklaşık 450 metreden daha fazla kalınlığa sahip Permiyen yaşlı kireçtaşı seviyesinin varlığı ortaya konulmuştur (Şekil 5.3). Bu kaya toplulukları Hodul birimine ait kaya birimleri tarafından uyumsuz olarak üzerlenmektedir.



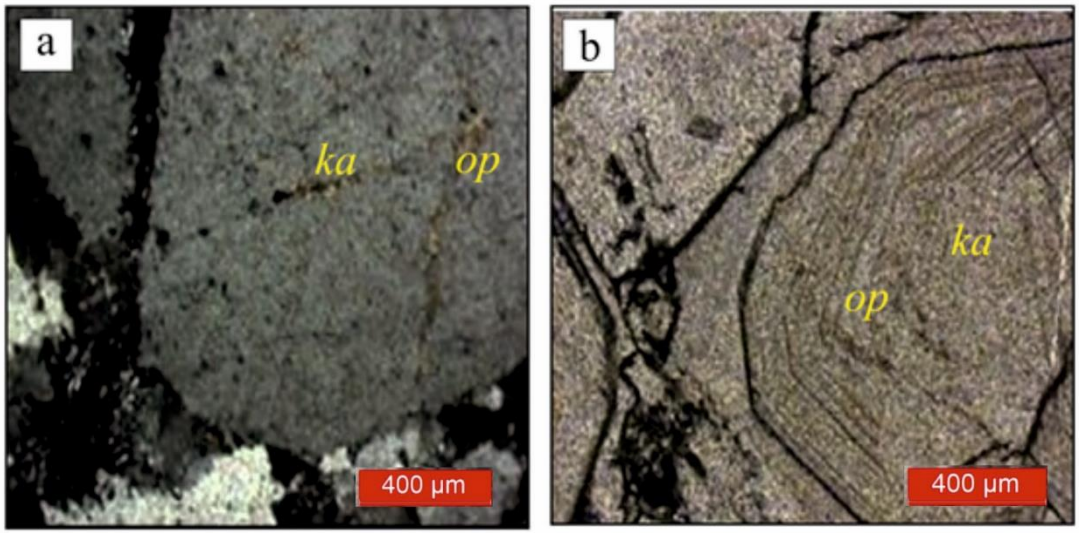
Şekil 5.3: Hastane Tepe ile Akçal Tepe civarında Çamoba formasyonu ile Hodul birimi ve Orhanlar grovakı arasındaki mekansal ilişkiler.



Şekil 5.4: Triyas yaşlı Hodul birimine ait metakumtaşları içinde Permiyen yaşlı Çamoba formasyonuna ait allokton konumlu kireçtaşı bloğu.

Literatürde çalışma alanı ve çevresinde izlenen Çamoba formasyonuna ait kireçtaşlarının kökeni üzerine (a) otokton ve (b) allakton köken olmak üzere başlıca

iki farklı köken one sürülmektedir . Kireçtaşlarının, Triyas yaşlı formasyonlar içinde devasa boyutlu kütleler ile irili ufaklı kütleler halinde gözleniyor olmaları kireçtaşlarının otokton olarak konumlandığını ve daha sonra faylanmalar sonucunda daha küçük bloklara ayrıldıklarını düşündürmektedir. Otokton görüşe göre, kirectaşları yerinde oluşmuştur ancak havza içerisinde gelişen düşey bileşenli faylanmalar sonucunda ortaya çıkan yerçekimine bağlı kaymalar sonucunda kireçtaşı blokları allokton konum kazanmışlardır. Blokların kayma işlemi tavan çakıltaşlarının çökelim başlangıcına kadar devam etmiştir (Akyol, 1977; 1979). Bu kireçtaşı bloklarının makaslama zonları boyunca yer yer olasılıkla dinamotermal metamorfizmaya uğramış ve kataklastik deformasyona maruz kaldığından da bahsedilir (Akyol, 1977; 1979). Blokların bazılarında "kalsit billurları" ile birlikte mermer-yarı mermer bileşimli çakıltaşları ile bireşik kireçtaşları gözlenmektedir (Akyol, 1977; 1979). Ancak kireçtaşlarının içinde gözlendikleri Permo-Triyas yaşlı Karakaya formasyonuna ait kayaç birimlerinden farklı olarak bölgesel bir metamorfizmaya dair herhangi bir metamorfizma izi içermemesi ve sadece dinamotermal metamorfizmaya ait kataklastik deformasyon izleri barındırmaları ile birlikte bu deformasyon zonları boyunca gözlenen 'kalsit billurları' Permiyen kireçtaşları için allokton kökenli olduğunu gösterir (Akyol, 1977; 1979; Siyako vd., 1989; Okay vd., 1991; Sarı vd., 1996). Yapılan petrografik incelemeler kireçtaşlarının özşekilli yarı özşekilli kalsit minerallerinden oluştuğunu, kalsitlerin kırık çatlakları boyunca opak mineral sıvamaları (limonit ve pirit) içerdiğini göstermektedir (Şekil 5.5a ve 5.5b).



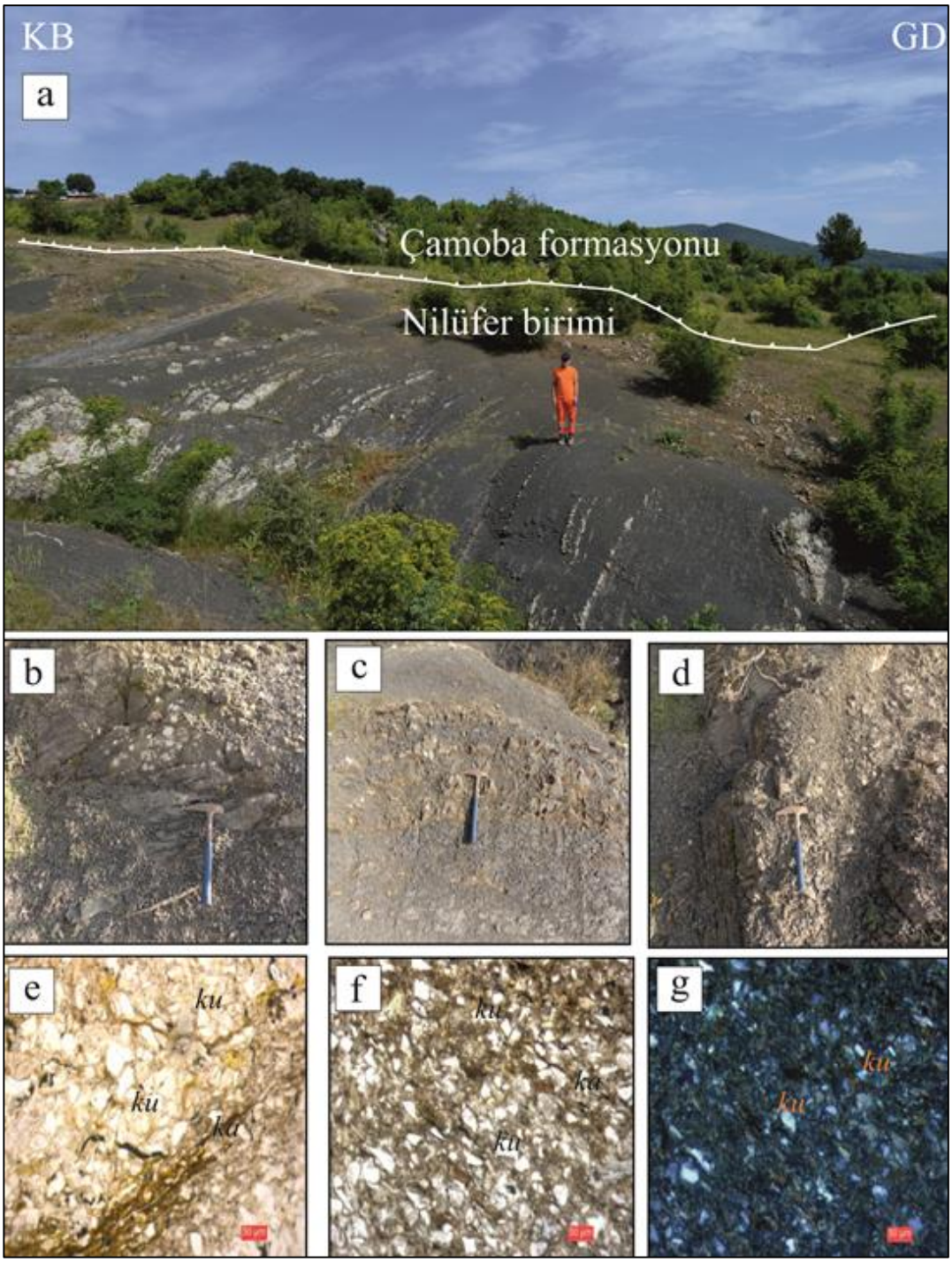
Şekil 5.5: (a), (b) Çamoba formasyonuna ait kireçtaşının polarizan mikrokobu görüntüsü (ka: kalsit, op: opak mineral) (Çift Nikol).

5.1.2 Karakaya formasyonu

İnceleme alanı içinde Permo-Triyas yaşlı yeşilşist fasiyesinden daha düşük dereceli metamorfizmaya uğramış (a) çamurtaşı ve fillat aradalanmasından oluşan Nilüfer birimi, (b) kumtaşı, silttaşı ve kiltaşı ardalanmasından oluşan Hodul birimi ve (c) konglomera ve çakıltaşı ardalanmasından oluşan Orhanlar grovakına ait kayaç toplulukları Akyol (1977), Siyako vd. (1989), Okay vd. (1991), Sarı vd. (1996) tarafından Karakaya formasyonu olarak tanımlanmıştır. 1/25000 ölçekli jeolojik haritalama çalışmaları sırasında Orhanlar grovakı, Hodul birimi ve Nilüfer birimi arasındaki yanal ilişkilerin yaklaşık 20-25 metrelik çok kısıtlı alanlarda ve bazı dere içlerinde gözlenlenmesi, bu birimlerin Karakaya formasyonu olarak haritalanmasına neden olmuştur.

5.1.2.1 Nilüfer birimi

İnceleme alanında Bahçelerarası Mahallesi'nde sınırlı bir alanda gözlenen ve koyu gri-kahve renkli laminalanma gösteren çamurtaşı ve fillat ardalanmalarından oluşan birim Okay vd. (1991) tarafından Nilüfer birimi olarak isimlendirilmiştir (Şekil 5.6). Yalçınkaya vd. (1980) Nilüfer birimini Sultaniye formasyonu (metabazik seri) ve Soldere formasyonu (metadetritik seri) olmak üzere ikiye ayırmıştır. Tip yeri Bursa iline bağlı Nilüfer Semti'nde mermer ve fillat arakatkıları da içermektedir (Yalçınkaya vd., 1980). Ancak bu litolojilere çalışma alanında rastlanılmamıştır.



Şekil 5.6: (a) Nilüfer birimi ile Çamoba formasyonu arasındaki mekânsal ilişki, **(b)** metaçamurtaşı-fillat ardalanması, **(c)** fillat-çamurtaşı, **(d)** fillat-çamurtaşı, **(e)** ince taneli fillat (tek nikol), **(f)** ince taneli fillat ile yer yer killi siltli çamurtaşı (tek nikol), **(g)** fillat-çamurtaşı (çift nikol).

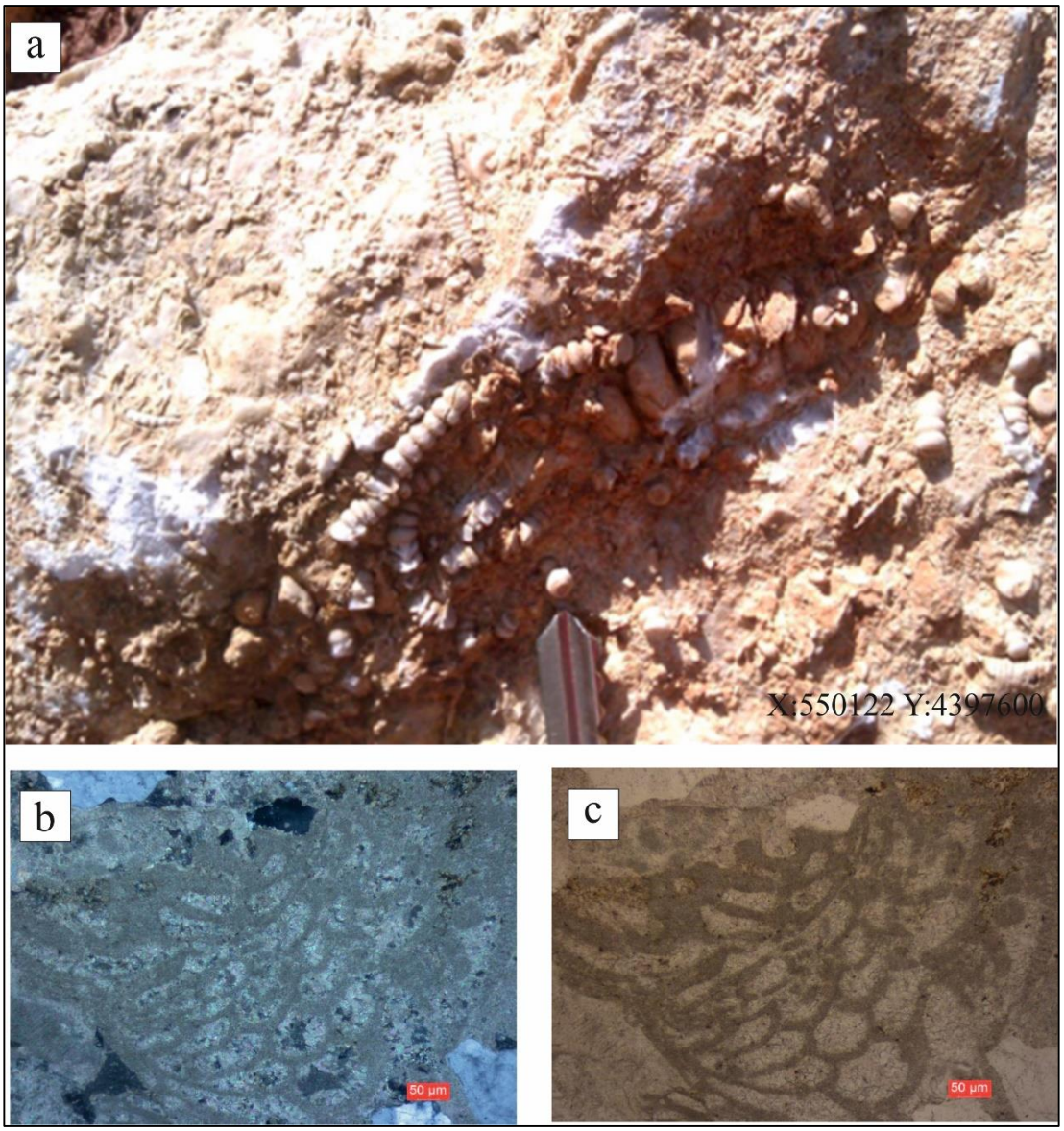
Bölgesel metamorfizma ve sonrasındaki kataklastik deformasyonlar sonucunda kırılgan görünüm kazanmış birim, laminalanma ve kırık/çatlak düzlemleri boyunca ikincil karbonatlaşmalar içermektedir. Çalışma alanında birimin kalınlığı 50 metreye ulaşırken, Nilüfer ve civarında 1 kilometreyi aşmaktadır (Okay ve Göncüoğlu, 2004).

İnceleme alanında Nilüfer biriminin taban ilişkisi gözlenemezken, üzerine uyumsuzlukla Çamoba formasyonu'na ait kireçtaşları ve Kuvaterner yaşlı alüvyonlar gelmektedir. Okay vd. (1991)'a göre birim Orhanlar grovakı ile içiçe geçmiş grift durumdadır.

5.1.2.2 Hodul birimi

İnceleme alanında Darıderesi Mahallesi'nin doğusunda gözlenen metadetritik ve metabazik karakterdeki sarı-kahve ve koyu yeşil renkli, bol miktarda bazik volkanik kayaç ve karbonat kırıntıları içeren kumtaşı, silttaşı ve kiltaşı ardalanmasından oluşan kayaç topluluğu Hodul birimi olarak isimlendirilmiştir (Akyol, 1977; Siyako vd., 1989; Okay vd., 1991) (Şekil 5.1). Kumtaşları genellikle orta-kötü boylanmalı litikarkoz, subarkoz ve feldispatik litarenit bileşimindedir (Yalçınkaya vd., 1980). Darıderesi Mahallesi civarında kumtaşları içinde Ortoceras türü (Kambriyen-Triyas) fosiller saptanmıştır (Şekil 5.7). Birim içerisinde Üst Triyas yaşlı Hallobia türündeki fosiller de gözlenmektedir (Akyol, 1977).

Birimin inceleme alanında taban ilişkisi net olarak gözlenemezken Havran İlçesi'nin kuzeydoğusunda Sakarya Zonu'na ait metamorfitler üzerinde uyumsuz (Bingöl vd., 1973; Okay vd., 1991), Bursa Demirtaş yöresinde arkozik kumtaşları ile ardalanmalı (Okay vd., 1991), Bursa Orhaneli yöresinde ise birim kireçtaşları ve şeyler ile ardalanmalı (Tekeli, 1981; Şengör vd., 1981) olarak gözlenmektedir.



Şekil 5.7: Hodul birimi içerisinde, **(a)** Ortoceras türü fosil kavkısı, ve birime ait fotomikrograflar **(b)** tek nikol ve **(c)** çift nikol görüntüleri.

5.1.2.3 Orhanlar grovakı

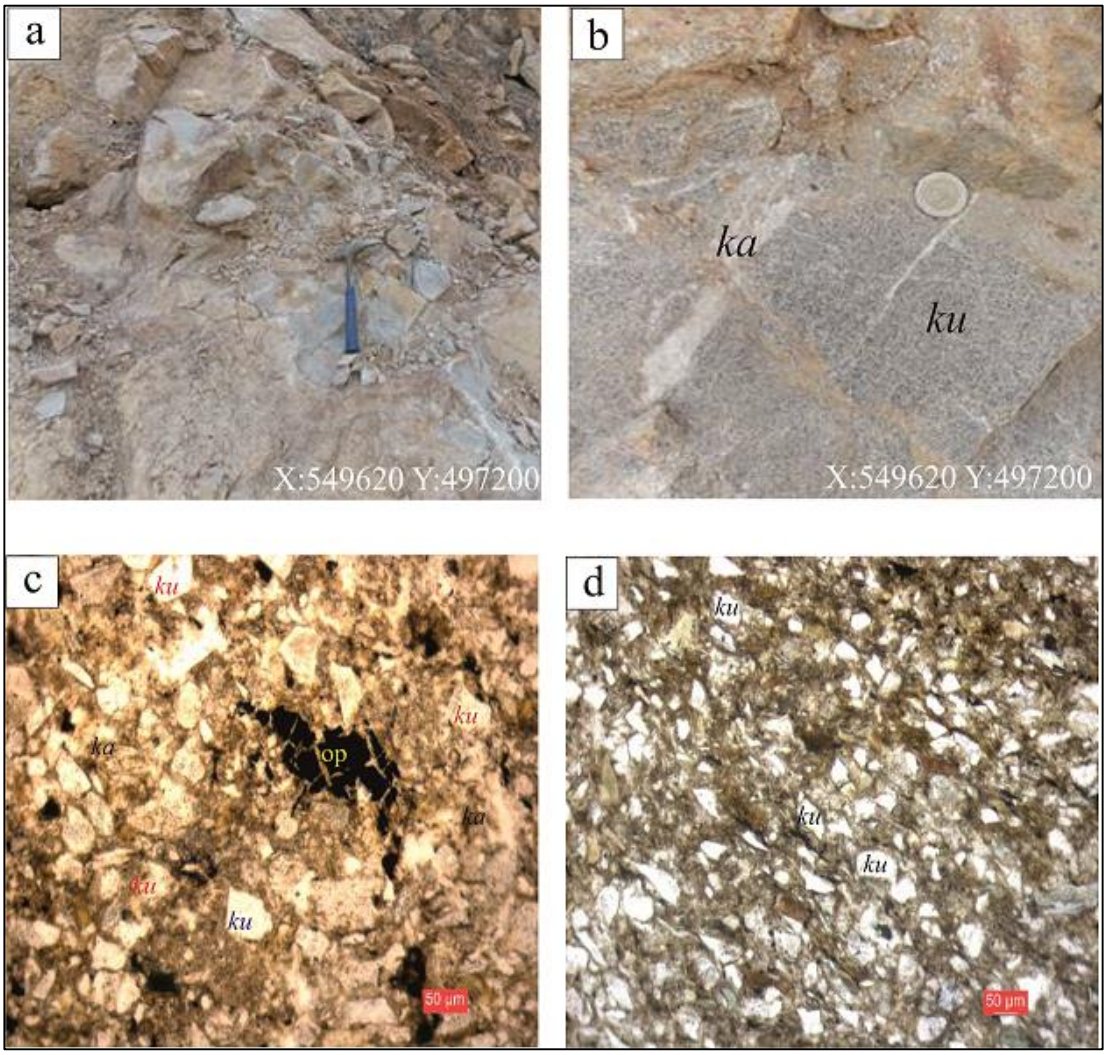
İnceleme alanı içerisinde Darıderesi Mahallesi'nin kuzeydoğusunda ve Çakallar Mahallesi'nin kuzeyinde yüzeyleyen kahverenkli gri-koyu gri metakonglomeralar (Şekil 5.1) Brinkmann (1971) tarafından Orhanlar tabakaları, Okay vd. (1991) tarafından ise tip yeri Manyas güneyinde yer alan Orhanlar köyünde gözlenen birimlere karşılık geldiği kabul edilerek Orhanlar grovakı olarak isimlendirilmiştir.

İnceleme alanında, metakonglomeralara ait çakılların boyutu 1-8 cm arasında değişmektedir. Çakıl tanelerinde Triyas'a ait "miltaşı" kiltaşı parçaları izlenir (Akyol, 1977). Çakıltaşlarında düzenli derecelenme ve boylanma gözlenmemekle birlikte

taneler genellikle kuvarsit bileşimindedir (Şekil 5.8). 0,5-1 santimetre arasında değişen tane boylarında kumtaşı-silttaşı çakılları da gözlenmektedir. (Şekil 5.8a ve 5.8b).

Birim Triyas yaşlı Karakaya formasyonunun en üst seviyesini oluşturur (Akyol, 1977). Birimin yaşının Üst Triyas olduğu stratigrafik ilişkilerine göre belirlenmiştir (Akyol, 1977). Birime ait kayaç mostraları en iyi Kırmızı Tepe'nin güney yamacında bulunan Acar Tepe ile Bahçelerarası Mahallesi'nin doğusunda Permiyen yaşlı kireçtaşıları ile dokanak halinde gözlenir. Bu alanda metaçakıltaşları üzerinde Permiyen yaşlı kireçtaşı bloğu gözlenmektedir (Şekil 5.1 ve 5.4).

İnceleme alanının doğusunda yer alan Bahçelerarası Mahallesi civarında Orhanlar grovakı Permo-Triyas yaşlı Nilüfer birimine ait metaçamurtaşları ve fillatlar tarafından uyumsuzlukla üzerlenmektedir (Şekil 5.1 ve 5.3). İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmaları birimin kalınlığının en az 60 metre olduğunu göstermiştir.



Şekil 5.8: (a) Orhanlar grovakına ait çakıltaşlarının genel görünümü, **(b)** Orhanlar grovakını kesen kalsit damarı, **(c)** çakıltaşları içerisinde yer yer silttaşı - kumtaşı klastları (çift nikol), **(d)** kumtaşlarında kataklastik deformasyon izleri. (ku: kuvars, ka: kalsit, op: opak).

5.1.3 Tersiyer volkanitleri

Volkanik kayaçlar inceleme alanının doğusunda Balya ilçe merkezi ile Kadıköy Mahallesi'nin batısında, Müstecap Mahallesi'nin güneydoğusunda, Çakallar Mahallesi'nin kuzeyinde ve Yazlık Mahallesi arasında kalan alanlarda yüzeylemektedir (Şekil 5.1). Balya'nın güneyinden geçen Darıderesi Fayı (Maden Deresi Fayı) boyunca Çamoba formasyonuna ait kireçtaşları ile tektonik olarak dokanaktadırlar. Fay düzleminin güneyinde (taban blokta) Çamoba formasyonuna ait kireçtaşları gözlenirken kuzeyinde (tavan blokta) ise dasidik lav ve tüflerden oluşan Doyuran volkanitleri ile bu volkanitleri andezitik lav ve dayklar halinde kesen porfiritik sokulumlardan oluşan Hallaçlar volkanitleri izlenmektedir.

Balya ilçe merkezi ve yakın civarında çalışan Kovenko (1940), volkanitleri iki farklı evreye ayırmıştır. Birinci evrenin dasit-riyolit bileşimli asidik lavlar ve dasit liparit dayklarıyla, ikinci evrenin ise hornblend andezit lavları ve andezit bileşimli "yeşil dayklar" ile temsil edildiğini ve en önemlisi yeşil daykların dasit liparit dayklarını kestiğini vurgulamıştır. Yazar ayrıca Balya Pb-Zn Yatağı'nın dasit liparit daykları ile doğrudan ilişkili olduğunu öne sürmüştür. Aygen (1956) benzer şekilde volkanitleri iki farklı evreye ayırarak; ilk evrede dasidik ve riyolitik lavların, ikinci evrede ise andezitik lavların ortaya çıktığını ve andezitik lavların dasitik-riyolitik lavları örttüğünü ifade etmiştir. Krunshensky (1976), dasitlerin Hallaçlar volkanitlerinin taban seviyelerine, andezitlerin ise tavan seviyelerine karşılık geldiğini öne sürerek; dasitleri Doyuran formasyonu (Oligosen-Miyosen), andezitleri ise Hallaçlar formasyonu (Miyosen) olarak isimlendirmiştir. Akyol (1979) Eosen'den başlayıp Miyosen'in sonuna kadar devam eden volkanizmaya ait ürünlerin dasit ve andezitlerle temsil edildiğini öne sürmüş ve dasitleri Eosen'e dahil ederken, andezitleri ise Miyosen'e dahil etmiştir. Yazar ayrıca dasitlerin andezitlere göre çok daha fazla alterasyona maruz kaldığını ve Permiyen yaşlı allokton kireçtaşları arasındaki tektonik dokanakları boyunca Pb-Zn±Ag cevherleşmelerinin ortaya çıktığını vurgulamıştır. Ercan vd. (1984) porfiritik ve hiyaloporfiritik dokulu andezitik ve dasidik volkanitleri Eosen volkanitlerine dahil ederken, Siyako vd. (1989) dasitleri Doyuran formasyonuna, andezitleri ise Halaçlar formasyonuna dahil etmiştir. Ağdemir vd. (1994) Balya'daki volkanik kayaçların dasit ve andezit bileşiminde olduğunu ifade ederek, andezitler üzerinde K-Ar tüm kayaç yöntemi ile 25,3±1,2 My'lık jeokronolojik yaş bulgusuna ulaşmıştır.

5.1.3.1 Doyuran volkanitleri

İnceleme alanında Büyük Fay'ın tavan bloğunu oluşturan volkanik kayaçlar Doyuran volkanikleri olarak isimlendirilmiştir (Krunshensky, 1976). Doyuran volkanitleri Balya İlçe merkezindeki Maden Deresi boyunca Kırmızı Tepe ve Hastane Tepe'ye ait sırt ve yamaçları ile Balya-Çanakkale yolu üzerinde Müstacap Mahallesi civarında yaygın olarak gözlenmektedir (Şekil 5.9). Bu volkanik kayaçlar, dasitik tüf, dasitik lav ve dasidik piroklastik kayaçlar ile dasit porfir bileşimli kayaçlardan oluşmaktadır.

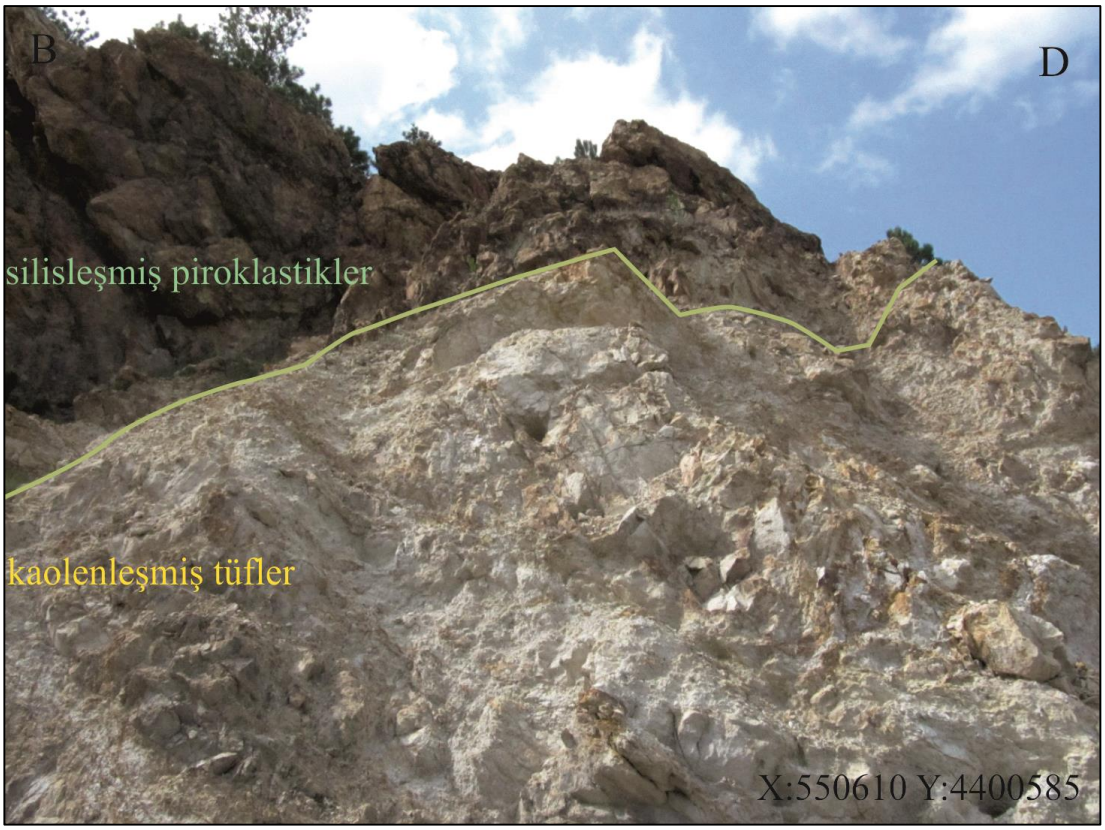
İnceleme alanında Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü ve Esan Madencilik tarafından yapılan sondaj verileri, yoğun altere dasidik bileşimli tüf ve piroklastik

kayaçların yaklaşık 150-200 metre kalınlığa ulaştığını göstermektedir. Bu seviyelerin altında ise serizit-kuvars alterasyonuna maruz kalmış porfiritik dokulu pirit damarlı subvolkanik dasitlere geçiş gösterir. Bu kesimlerde porfiritik dokulu dasitlerin en az 1000 m kalınlığa sahip olduğu sondaj verilerinden anlaşılmaktadır.



Şekil 5.9: Maden Deresi içinde Çamoba formasyonuna ait kireçtaşlarını kesen Doyuran volkanitlerine ait dasit.

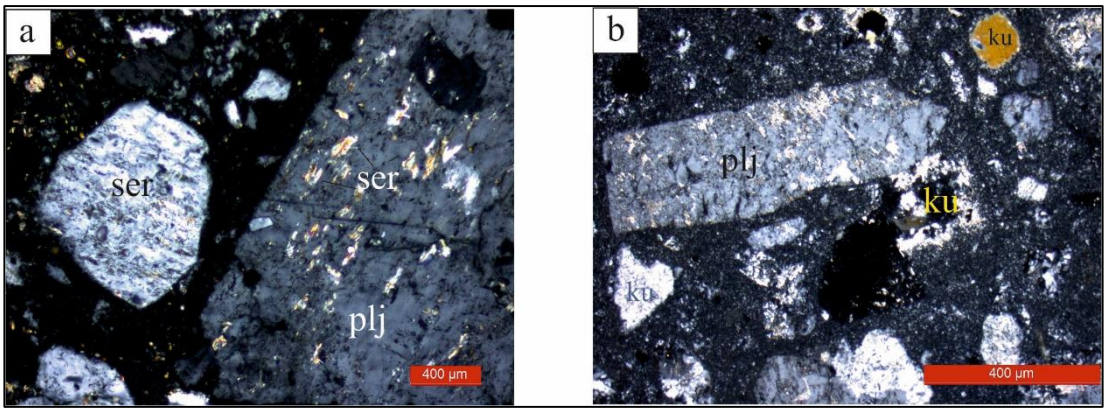
İnceleme alanında gözlenen dasitik tüfler genellikle yoğun olarak alterasyona maruz kaldığından ilksel kayaç özelliklerini kaybetmiştir (Şekil 5.10, 5.11, 5.12, 5.13). Tüfler piroklastik kayaçlar tarafından üzerlenmektedir (Şekil 5.10).



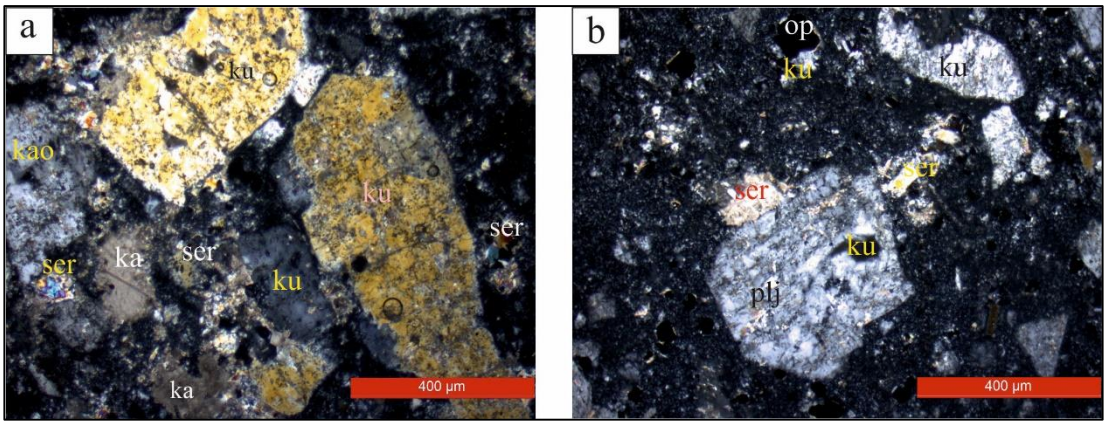
Şekil 5.10: İleri derece arijilik alterasyona uğramış dasidik tüfler ve piroklastik kayaçlar.



Şekil 5.11: Doyuran volkanitlerine ait altere dasidik piroklastik kayaçlar.



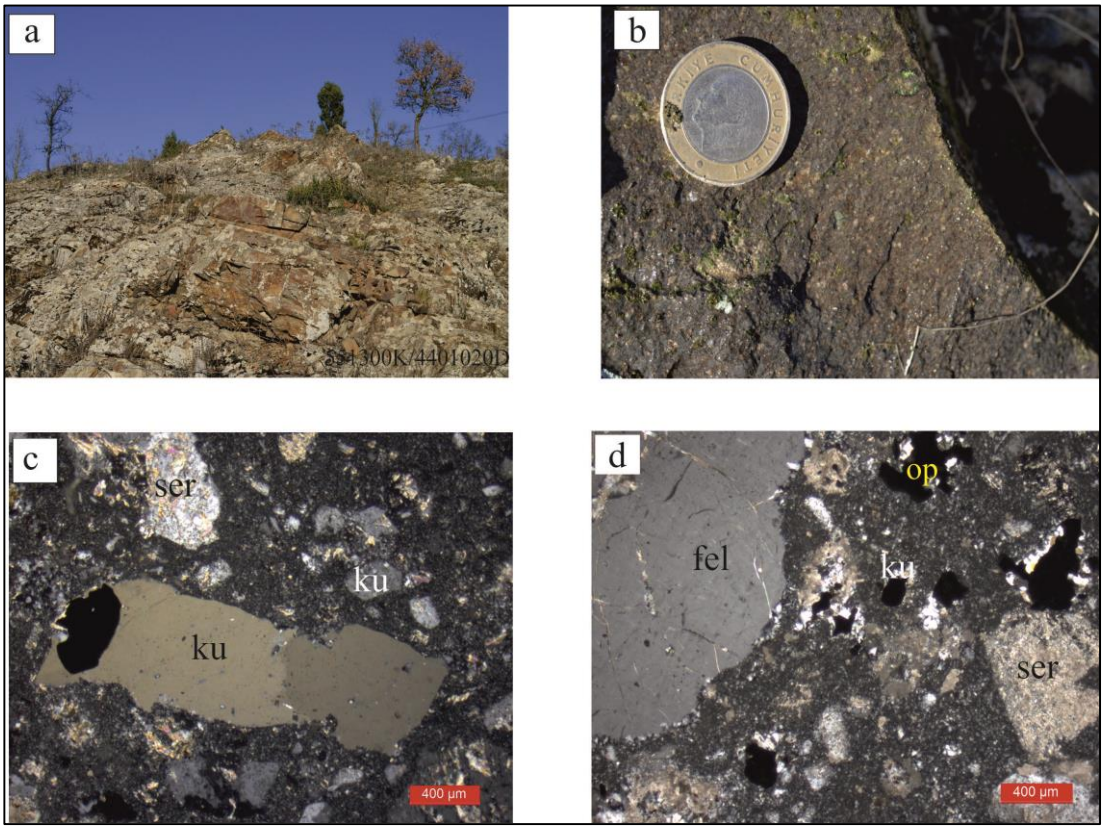
Şekil 5.12: (a) Polisentetik ikizlenme gösteren plajiyoklazlarda serizitleşme, **(b)** plajiyoklazlarda serizitleşme, hamurda serizitleşme ve magmatik kuvarslar (plj: plajiyoklaz, ku:kuvars, hb:horblend, ser: serizit) (Çift Nikol).



Şekil 5.13: (a) Feldspatları killeşmiş, hamuru silisleşmiş ve karbonatlaşmış dasidik tüf, **(b)** plajiyoklazları serizitleşmiş ve kısmen karbonatlaşmış hamuru silisleşmiş dasidik piroklastik **(**kao: kaolen, ka: kalsit, ku:kuvars, plj: plajiyoklaz, ser: serizit) (Çift Nikol).

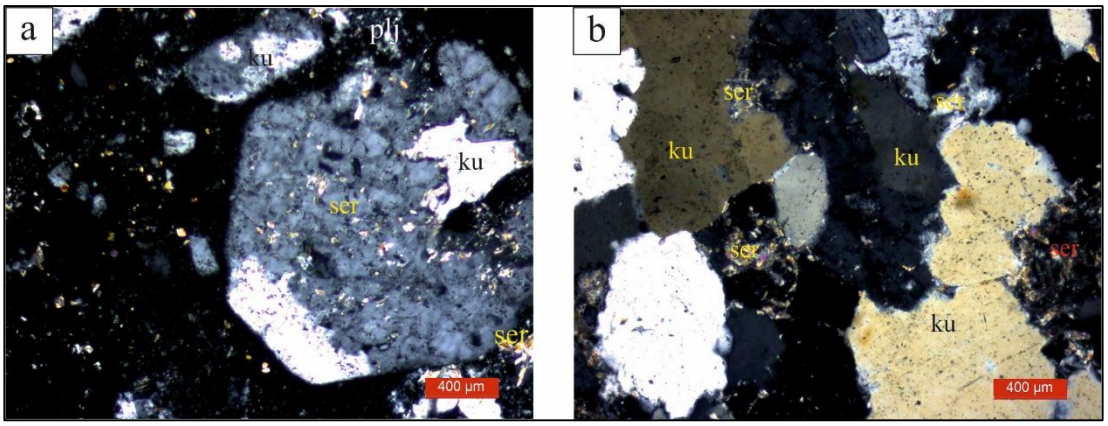
İnceleme alanının Patlak Deresi mevkiinde gözlenen dasidik lavların rengi gri-boz renkli olup yer yer akma dokularına sahiptir. İnce kesitlerde dasidik lavlar genellikle hiyalokristalin porfiritik dokuya sahiptir. Kayaç içerisinde plajiyoklaz, kuvars, biyotit, muskovit ve hornblend gözlenmektedir (Şekil 5.14a ve 5.14b). Plajiyoklazlar esas olarak Michel-Levy yöntemi ile tespit edilen oligoklaz-andezin bileşimlerinde olup yer yer biyotit ve ojit psödomorfları içerirmektedir. Hiyalopilitik doku gösteren hamur maddesi esas olarak volkan camı, plajiyoklaz mikrolitleri ve opak minerallerden oluşmuştur (Şekil 5.14a ve 5.14b). Ayrıca Akyol (1979) ve Ercan vd. (1990) hamur içinde az da olsa sanidin mikrokristallerinin varlığını belirtmektedir. Plajiyoklazlarda yer yer killeşme ve serizitleşme, biyotit ve hornblendlerde ise opaklaşma

gözlenmektedir (Şekil 5.14c ve 5.14d). Cevherleşmelere yakın alanlarda ise kayaçlarda silisleşme ve karbonatlaşma izlenmektedir.



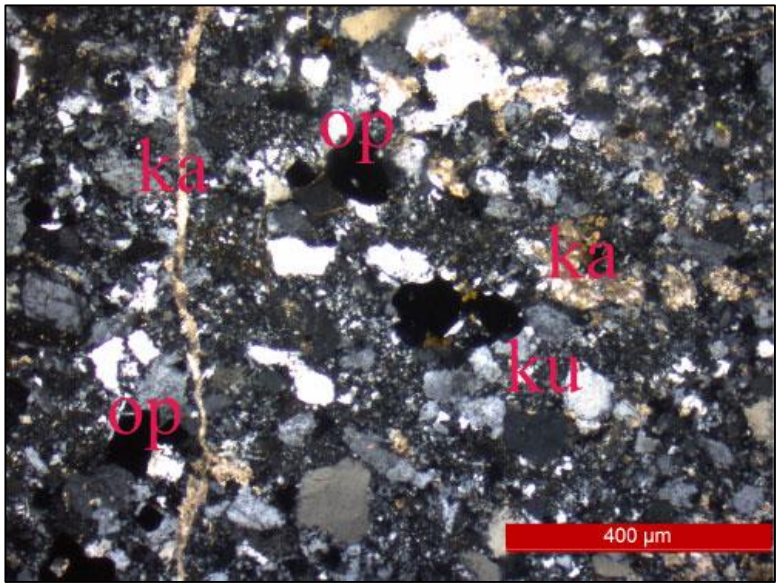
Şekil 5.14: (a), **(b)** Bahçelerarası Mahallesi'nde Doyuran volkanitlerine ait dasitler, (**c)** yer yer killeşmiş yarı özşekilli polisentetik ikizli plajiyoklaz ve magmatik kuvars, (**d)** iri taneli feldispat kenarları serizitleşmiş ve killeşmiş (fel: feldispat, ku: kuvars, op: opak mineral, plj: plajiyoklaz).

Dasit porfirler yüzeyde mostra vermemekte ancak Orta Mağara Galerisi ve sondaj karotlarında gözlenebilmektedir. Gri-bej renkli ve Kovenko (1940) tarafından mor-menekşe renkli dasit liparit porfir olarak tanımlanan kütle başlıca orta-iri taneli plajioklaz fenokristalleri ile birlikte kuvars, horblend, muskovit ve biyotit minerallerinden oluşmaktadır. Plajiyoklazlarda killeşme ve serizitleşme, horblendlerde serizitleşme, biyotitlerde ise nadiren killeşmeler izlenmektedir (Şekil 5.15a ve 5.15b).



Şekil 5.15: (a), (b) Feldispatlarda yoğun serizitleşme ve killeşme (ku: kuvars, plj: plajiyoklaz, ser: serizit) (Çift Nikol).

İnceleme alanındaki altere dasitlerlerden yapılan XRD çalışmalar sonucunda kil minerallerinin kaolen türünde olduğu belirlenmiştir. Kayaç içerisinde silisleşme ve karbonatlaşma ile birlikte opak mineral (pirit) damar ve saçınımları gözlenmektedir (Şekil 5.16). Karot numunelerinde dasit porfirlerin ksenolitler halinde temel kayaçlara ve ağsal kuvars-serizit damarları içeren volkanitlere ait kayaç kırıntıları barındırdığı tespit edilmiştir (Kuşcu, 2012 ve 2014).



Şekil 5.16: Dasit içinde karbonatlaşma, ikincil kalsit damarı, kısmen silisleşme ve opak mineral saçınımları (Çift Nikol).

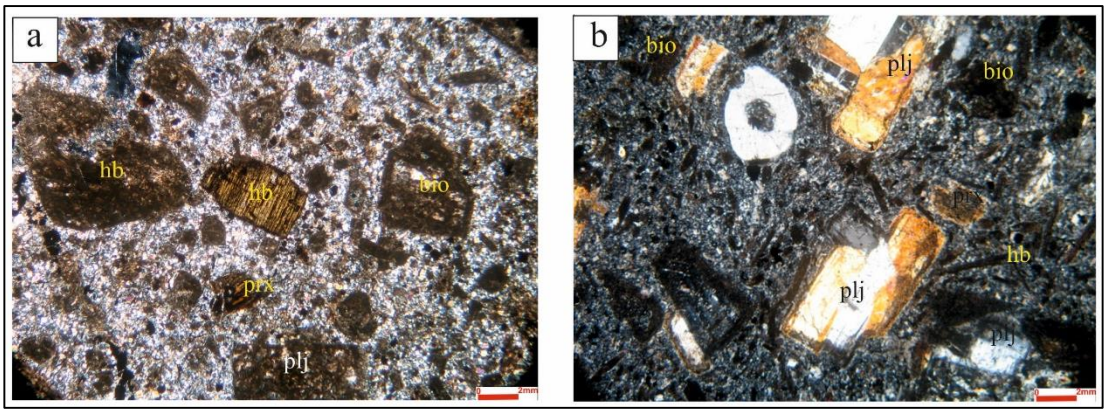
5.1.3.2 Hallaçlar volkanitleri

İnceleme alanında Hallaçlar volkanitlerine ait kayaçlar esas olarak andezit bileşiminde olup dokusal özelliklerine göre andezitik lavlar ve andezit porfir sokulumları olmak üzere iki gruba ayrılarak haritalanmıştır (Şekil 5.1 ve Şekil 5.17).

Darıderesi Mahallesi, Kale Tepe ve Göz Tepe civarında yaygın yüzlekler veren andezitik lavlar grimsi-boz renklidir. Bozunmaya ve alterasyona uğramış kesimleri ise pembemsi-kırmızımsı olarak gözlenmektedir (Şekil 5.17). Hiyolokristalen dokuya sahip olmakla birlikte biyotit, plajiyoklaz, hornblend, ojit ve çok az miktarda kuvars minerallerinden meydana gelmiştir. Hiyalopilitik doku gösteren hamurda volkan camı ve opak mineraller (pirit) yer alır. Plajiyoklazlarda killeşme ve serizitleşme, hornblendlerde kloritleşme, ojit ve biyotitlerde opaklaşma izlenmektedir. (Şekil 5.18a). Ayrıca biyotitlerde muskovitlere dönüşümler de görülmektedir (Şekil 5.18a). Hamurda killeşme, silisleşme ve karbonatlaşma ile birlikte opaklaşma gözlenmekte (Şekil 5.18b) olup ikincil kuvars ve kalsit damarları ile opak mineral saçınımlarına rastlanmaktadır. Aglomeralar genelde andezitik lavların aşındığı yerlerde gözlenen griden kızılımsı renge geçiş gösteren kalınlığının düzensiz olmakla birlikte arazide en az 50 m kadar takibi yapılan matriksinin tüflü olduğu yer yer tabakalanmaya benzer yapılarının gözlendiği zayıf çatlıklı yapıda gözlenmektedir.

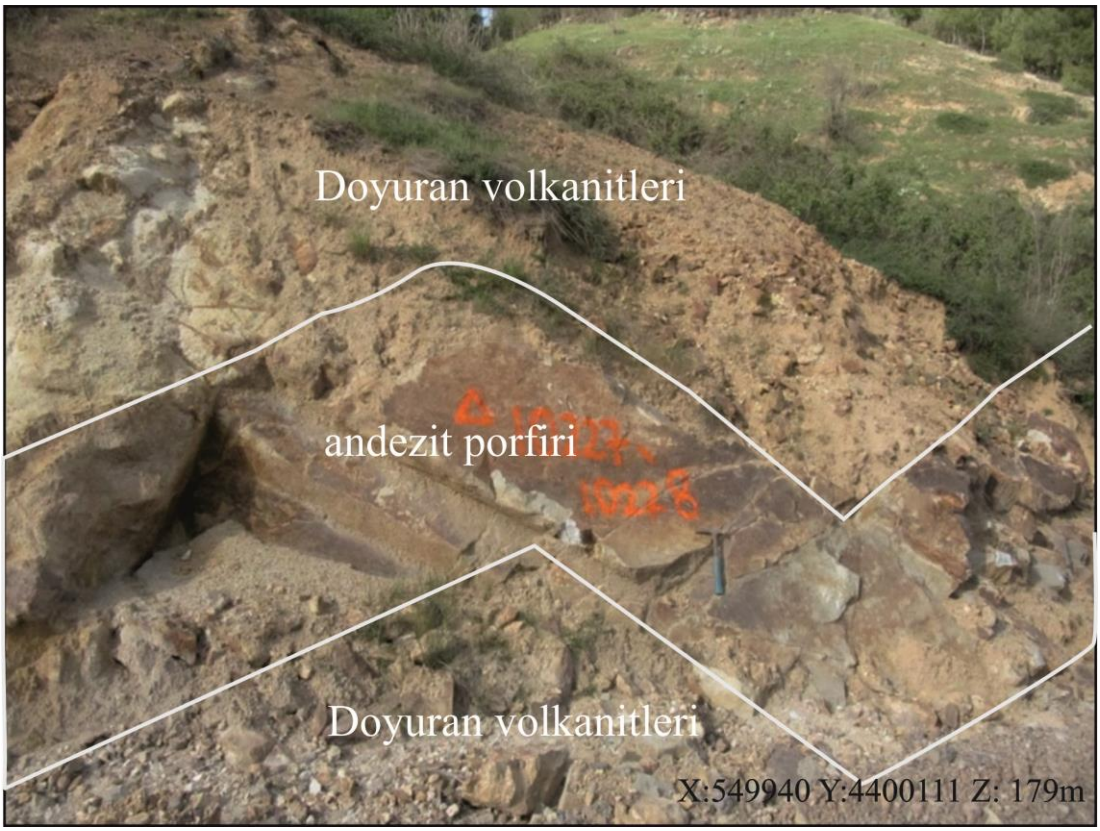


Şekil 5.17: Hallaçlar volkanitlerine ait lav ve aglomeralar.

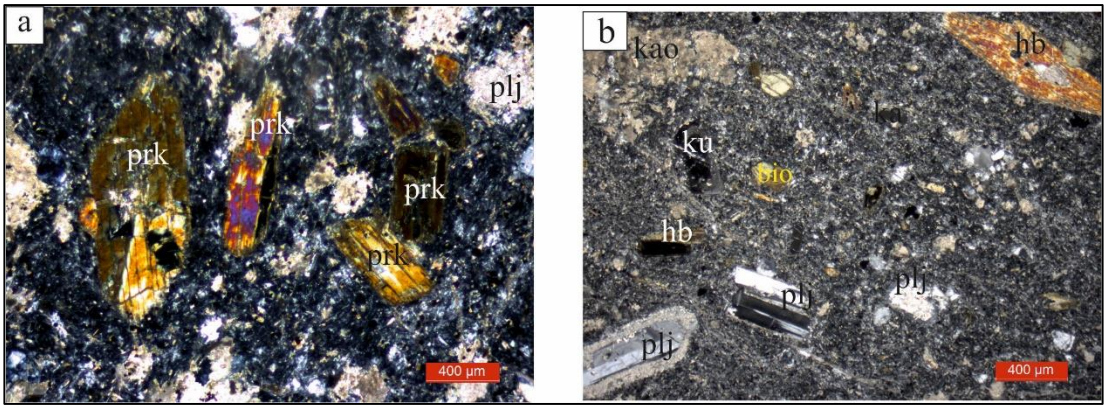


Şekil 5.18: (a) Hornblendlerde ve hamurda opaklaşma (**b)** plajiyoklaz fenokristalleri ile birlikte hamurda hornblend ve biyotitlerde opaklaşma (bi: biyotit, hb:hornblend, plj: plajiyoklaz).

Balya ilçesi Sarısu Mevkii'nde sınırlı bir alanda mostra veren ve koyu gri-siyahımsı renkli yaklaşık 40 metre kalınlığında bir dayk şeklinde gözlenen volkanik kütle Kovenko (1940) tarafından yeşil andezit olarak tanımlanmıştır. Petrografik çalışmalar sonucu bu kayaçlar andezit porfir olarak isimlendirilmiştir. Andezit porfir daykı bu alanda dasitik tüfleri kubbemsi biçimde kaldırmakta, Orta Mağara Galerisi içinde temel kayaçlara ait litolojiler ile birlikte cevherleşmiş kayaç parçalarını ksenolit kapanımları şeklinde bünyesine aldığı ve dasit porfir bileşimli kayaçları da kestiği görülür (Şekil 5.19) (Kuşcu, 2012). Petrografik çalışmalar sonucu hiyalokristalen porfirik dokuya sahip andezitler esas olarak hornblend, piroksen, biyotit ve plajiyoklaz mineralleri içermektedir (Şekil 5.20a ve 5.20b). Hamur içinde hornblend, biyotit, plajiyoklaz, volkan camı ve opak mineraller (manyetit, pirit, galen, sfalerit ve kalkopirit) gözlenmektedir (Şekil 5.20a ve 5.20b). Hornblend, piroksen ve biyotitlerde yoğun opaklaşma, plajiyoklazlarda ise kısmen killeşme (çoğu durumda kaolenleşme) ve serizitleşme gözlenmektedir. Hamurda silisleşme, karbonatlaşma ve opaklaşma izlenmektedir (Şekil 5.20a ve 5.20b).



Şekil 5.19: Hallaçlar volkanitlerine ait andezit porfir daykı.



Şekil 5.20: (a) Plajiyoklazlarda killeşme, piroksenlerde opaklaşma, hamurda karbonatlaşma ve opaklaşma, **(b)** tamamen kaolenleşmiş plajiyoklaz ile kenar kesimleri boyunca hamurda killeşme ve kısmen karbonatlaşma (hb: hornblend, kao: kaolen, plj: plajiyoklaz, prk: piroksen) (Çift Nikol).

5.1.4 Traverten

İnceleme alanındaki travertenler Balya ilçesinin 7 km doğusunda Patlak Köyü civarında sınırlı bir alanda gözlenir. Bölgede Esan firmasının yaptığı karotlu sondajlarda birimin kalınlığının 30 m civarında olduğu tespit edilmiştir. İnceleme alanındaki travertenler Patlak Deresi Fayı boyunca yaklaşık D-B yönünde gözlenir. Travertenler bölgedeki fay zonları üzerinde belli belirsiz görülür. Genelde Patlak Deresi Fayı boyunca gözlenen travertenler inceleme alanında sınırlı bir alanda gözlenmesi nedeniyle haritalanamamıştır. İnceleme alanı içinde travertenler oldukça düzensiz tabakalanmalara sahip olmasına karşın bazı alanlarda nadiren düzenli tabakalanmalarına da rastlanır (Şekil 5.21 ve 5.22). Travertenler Çamoba formasyonu ve Doyuran volkanitleri üzerinde yüzeylediği alanlardaki bu litolojilere ait kayaç parçalarınıda kapanımlar halinde içermektedir.

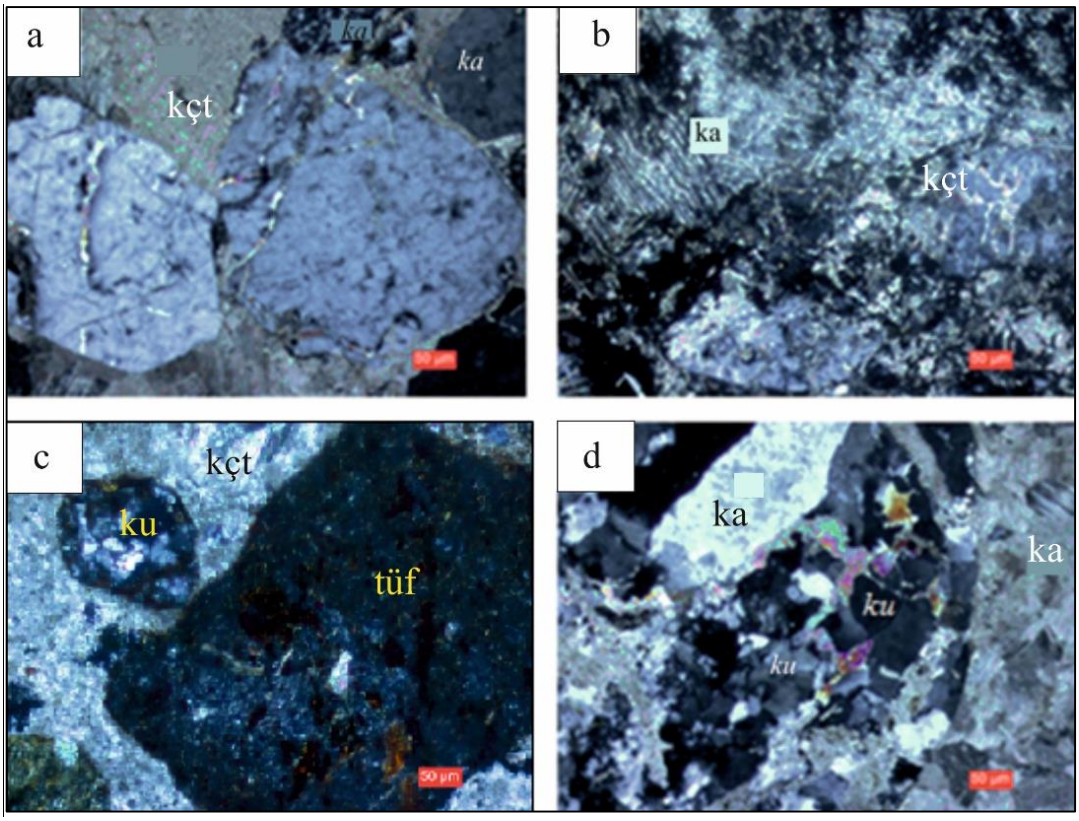


Şekil 5.21: Maden Deresi civarında gözlenen travertenlere ait görünüm**.**



Şekil 5.22: Maden Deresi civarında yüzlek veren Doyuran volkanikleri üzerine yerleşmiş travertenler**.**

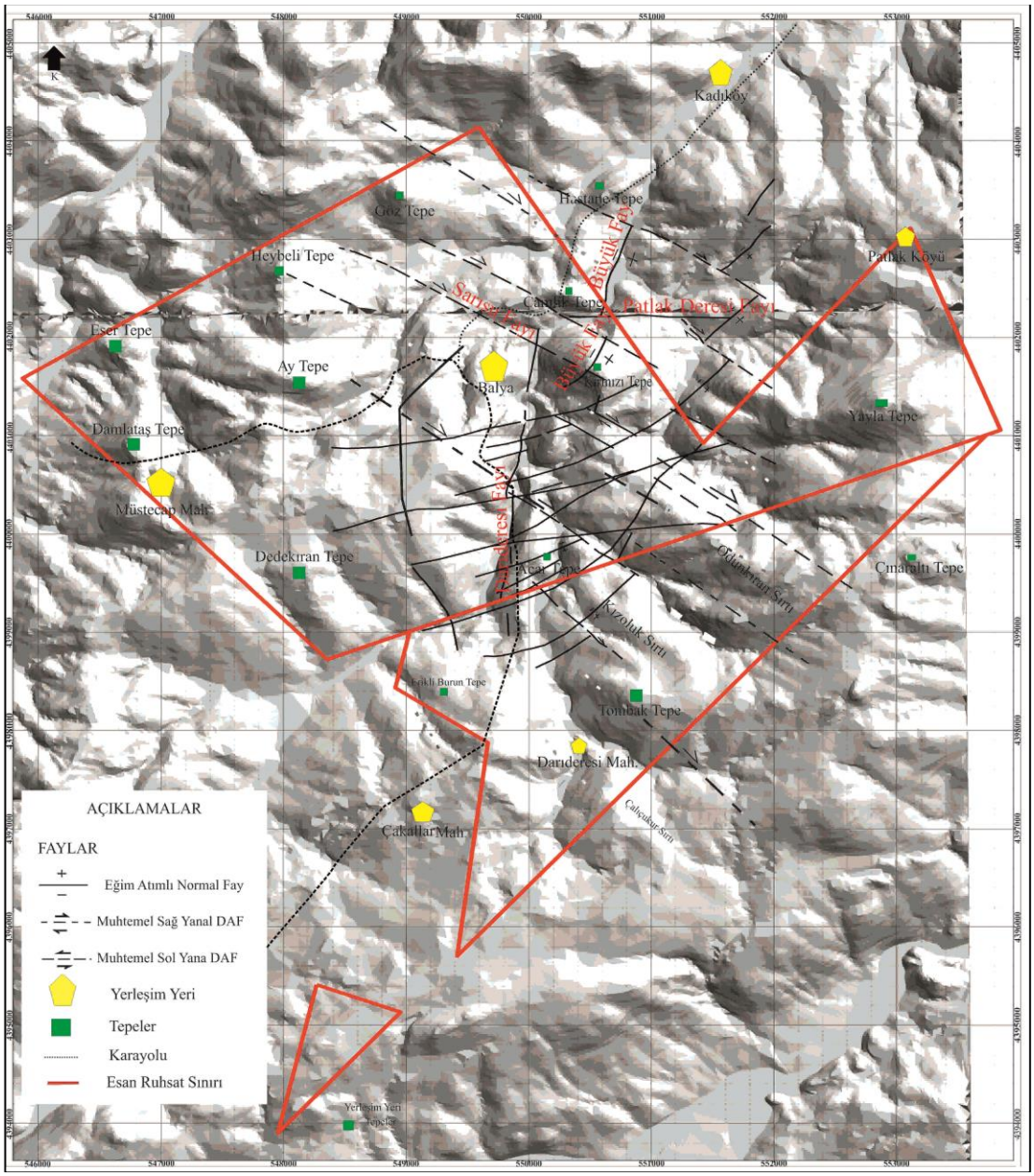
Patlak Deresi ve Büyük Fay arasında kalan bir fay düzlemi boyunca yayılım gösteren travertenler oldukça kırıklı bir yapıya sahiptir (Şekil 5.21 ve 5.22). Travertenlerden alınan numuneler üzerinde yapılan petrografik incelemelerde travertenlerin değişik tane boylarında özşekilsiz ve yarı özşekilli kalsit minerallerinden oluştuğu görülmektedir (Şekil 5.23a ve 5.23b).



Şekil 5.23: (a), (b) Traverten içerisinde karbonatlı kırıntlı kayaç parçaları, **(c)** traverten içerisinde dasitik tüf klastları, **(d)** traverten içerisinde kuvars kapanımları (ka*:* kalsit, ku: kuvars, kçt: kireçtaşı klastı) (Çift nikol).

5.2 Yapısal Jeoloji

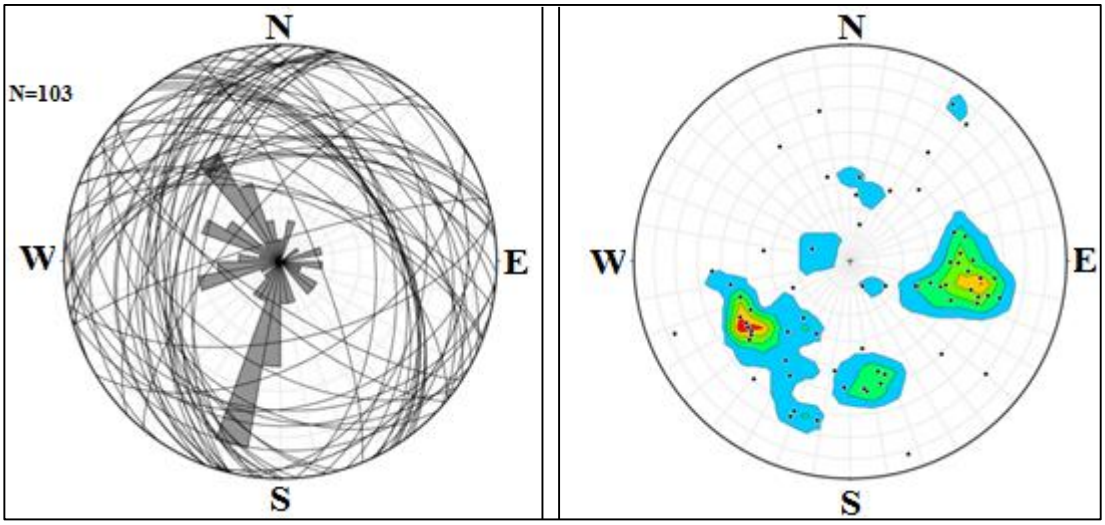
İnceleme alanı Biga Yarımadası'nın en doğusunda yer almakla birlikte Biga Yarımadası'nın maruz kaldığı tüm tektonik izleri taşımaktadır. Biga Yarımadası Tersiyer döneminden itibaren en az üç faklı tektonik evreye maruz kalmıştır (Özden vd., 2009). Biga Yarımadası Eosen döneminde sıkışma rejimi ile başlayıp bunu Oligo-Miyosen döneminde aynı düzlemde gelişen doğrultu atımlı fay zonları takip eder (Özden vd, 2009). Bu doğrultu atımlı fayların arasında kalan alanlarda transpresyon (sıkışma) ve transtansiyon (genişleme) hareketlerine bağlı olarak oluşan bir dizi normal ve ters faylar ortaya çıkmıştır (Şekil 5.24).



Şekil 5.24: İnceleme alanı ve çevresine ait yapısal çizgisellikleri gösteren kabartma haritası **(**kesikli çizgiler çizgisel hatları, sürekli çizgiler arazide tespit edilen faylara karşılık gelir).

İnceleme alanı içinde yürütülen jeolojik haritalama ve yapısal jeoloji çalışmaları sırasında öncelikle çizgisellik verileri haritaya işlenmiştir. Bu çizgisellikler arazide kontrol edilip faylar belirlenmiş, fay düzlemi görülmeyenler olası çizgisellikler olarak tanımlanmıştır. Arazide quantrant (saat yönüne göre ölçüm) yöntemine göre ölçülen fay, kırık ve çatlak düzlemlerimden elde edilen sistematik ölçümler, hakim faylanma ve kırık-çatlak düzlem doğrultularının yaklaşık KD-GB, KB-GD, K-G ve D-B olmak üzere dörde ayrılabileceğini göstermektedir (Şekil 5.24 ve 5.25).

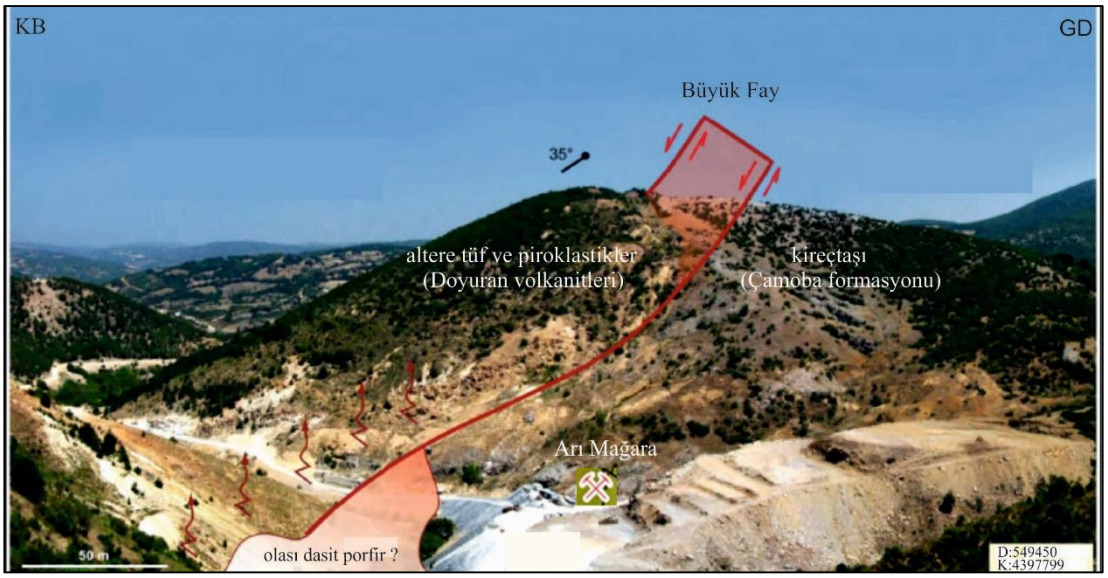
Benzer şekilde Google Earth uydu görüntüleri yardımıyla oluşturulan fay dağılımını gösteren kabartma çizgisellik haritasında da en az dört farklı doğrultuya sahip çizgisellikler görülür (Şekil 5.24).



Şekil 5.25: Çatlaklar için hazırlanmış eklem doğrultularını gösteren gül diyagramı (N=103).

İnceleme alanındaki volkanik kayaçların çatlak doğrultu ve eğimlerine göre hazırlanan doğrultu gül diyagramı ve eğim yönü kontur diyagramlarında en az dört farklı çatlak doğrultu ve eğim yönü ortaya çıkmıştır (Şekil 5.25). Çatlak ölçüm sonuçlarına göre en belirgin fay K45 doğrultulu ve K230-250 eğim yönüne sahip (Şekil 5.25) değerlere karşılık gelen, yükselen bloğu ise Kırmızı Tepe'nin zirvesini oluşturan eğim atımlı normal fay karakterindeki Büyük Fay arazi çatlak ölçümleri sonucuna göre de ortaya çıkmıştır (Şekil 5.26). İnceleme alanı içinde gözlenen Büyük Fay eğim atımlı normal fay karekterinde olup bu fay boyunca Permiyen yaşlı Çamoba formasyonuna ait kireçtaşları ile Oligo-Miyosen yaşlı Doyuran volkanitlerine ait altere dasitik tüf ve piroklastikler yan yana gelmiştir (Şekil 5.26).

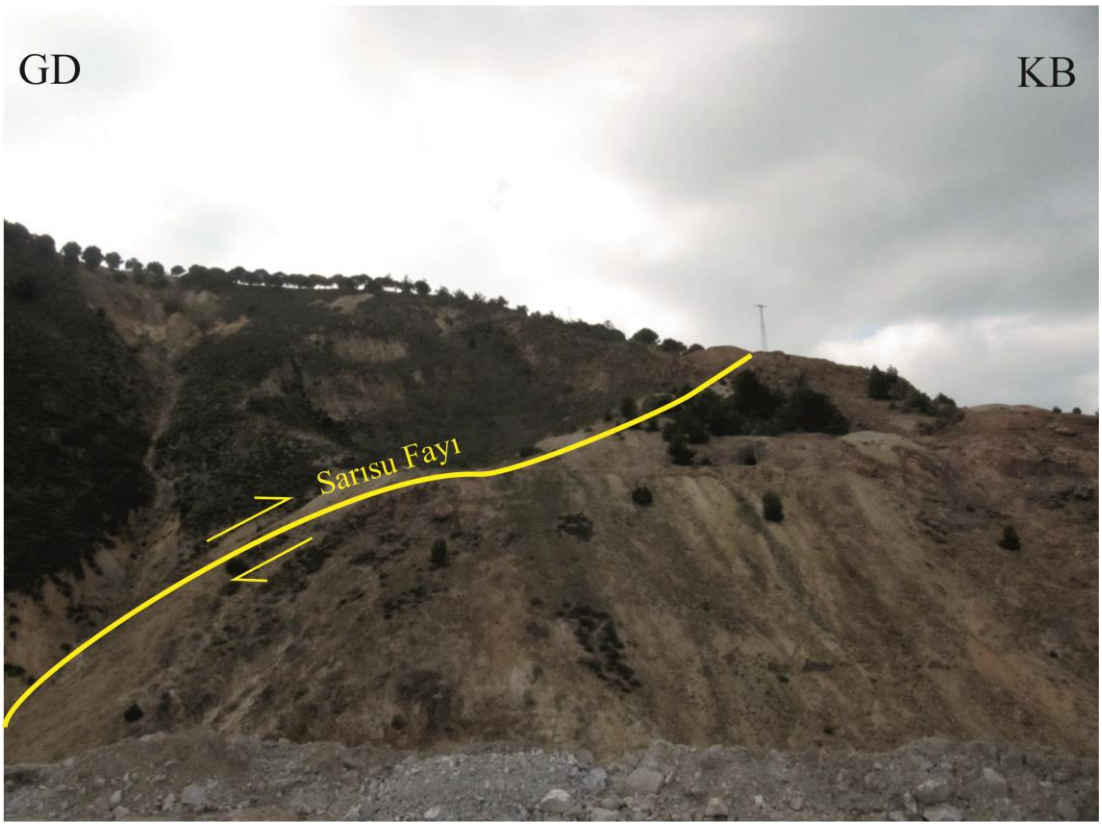
Benzer çalışma yine arazideki volkanik kayaçların kırık ve çatlak düzlerimden elde edilen sistematik ölçümlere göre K330 doğrultu ve eğim yönü K180 olan Sarısu Fayı bir diğer hakim yön olarak ortaya çıkmıştır (Şekil 5.25 ve 5.27). Bu fay ise sağ yanal doğrultu atımlı fay karakterinde olup aynı zamanda düşey bileşeni de bulunmaktadır. Bu fay düzlemi boyunca açılmış eski imalatlarda realgar ve pirit türü cevher mineralleri gözlenmektedir (Şekil 5.27).



Şekil 5.26: Eğim atımlı normal fay karakterindeki Büyük Fay (Matias, 2012).

Bir diğer hakim yön ise K280 doğrultulu K210-225 eğim yönüne sahip Patlak Deresi Fayı'dır (Şekil 5.25 ve 5.28).

Son olarak doğrultusu K350 olan Darıderesi Fayı olarak belirlenen yapısal unsur ortaya çıkmıştır ve bu fayın sol yanal doğrultu atımlı fay karakterinde olduğu düşünülmektedir (Şekil 5.1,Şekil 5.24, 5.25, Şekil 7.4).



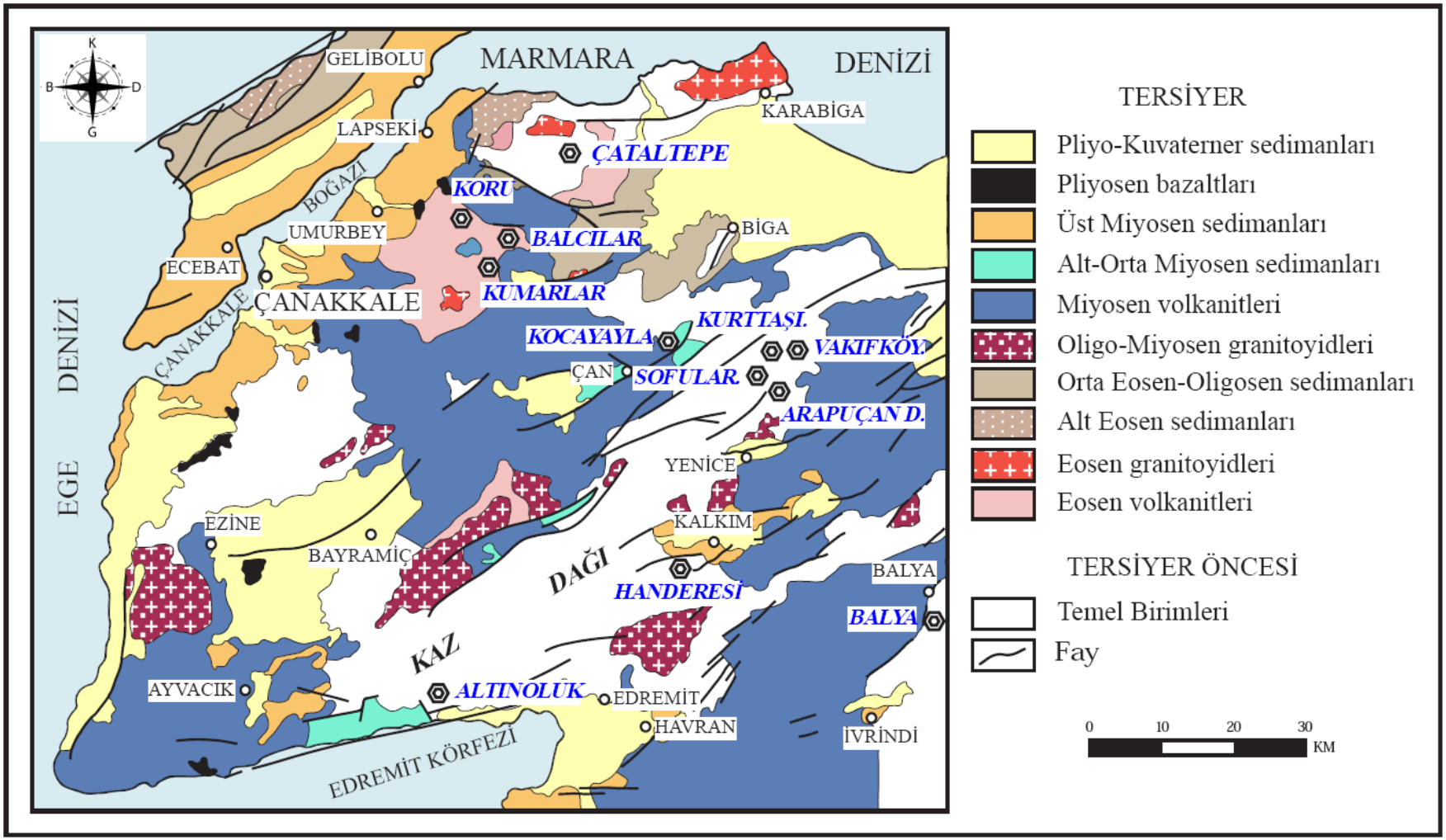
Şekil 5.27: Sarısu Sırtı'ndan geçen sol yanal doğrultu atımlı Sarısu Fayı.



Şekil 5.28: Patlak Mahallesi'nin batısından geçen yaklaşık D-B yönlü sağ yanal doğrultu atımlı Patlak Deresi Fayı'na ait görünüm.

6. BİGA YARIMADASI Pb-Zn YATAKLARI

Biga Yarımadası'nda bilinen çok sayıda Pb-Zn yatak ve zuhuru bulunmaktadır. Bunlardan bazıları terkedilmiş bazıları da halen işletilmektedir. Cevherleşmeler genellikle metamorfik kayaçların karbonatlı seviyeleriyle, metamorfik ve volkanik kayaçların kırık-çatlak düzlemleriyle ve farklı kayaç türleri arasındaki tektonik dokanaklarla ilişkili olarak gözlenmektedir (Demirela, 2011; Demirela vd., 2014) (Şekil 6.1). Handeresi, Bağırkaç, Karaydın, Balya, Çataltepe (metamorfitlerin karbonatlı seviyeleri ile ilişkili), Arapuçandere, Kurttaşı, Sofular, Vakıfköy (metamorfitlerin kırık çatlak düzlemleri boyunca), Balcılar, Kumarlar ve Koru (volkanitlerin kırık çatlak düzlemleri boyunca) ve Kocayayla (metamorfitler ile volkanitlerin tektonik dokanları boyunca) bölgedeki önemli Pb-Zn cevherleşmeleridir (Demirela 2011) (Şekil 6.1). Yatakların ortaya çıkışında Tersiyer intrüzif ve ekstrüzif magmatizmasinin etkisi konusunda yoğun tartışmalar yapılmış olup; cevherleşmelerin Tersiyer granitoyidleri veya Tersiyer volkanizmasına bağlı olarak oluştuğu öne sürmektedir (Demirela, 2011).



Şekil 6.1: Biga Yarımadası'nda yer alan Pb-Zn cevherleşmeleri (Demirela 2011).

7. MADEN JEOLOJİSİ

7.1 Tarihçe

Balya Pb-Zn Yatağı 1881-1939 yılları arasında Fransız Balia Karaaydın Şirketi tarafından işletilmiş dönemin en büyük maden işletmesidir (Şekil 7.1) (Esan Arşiv, 2002).

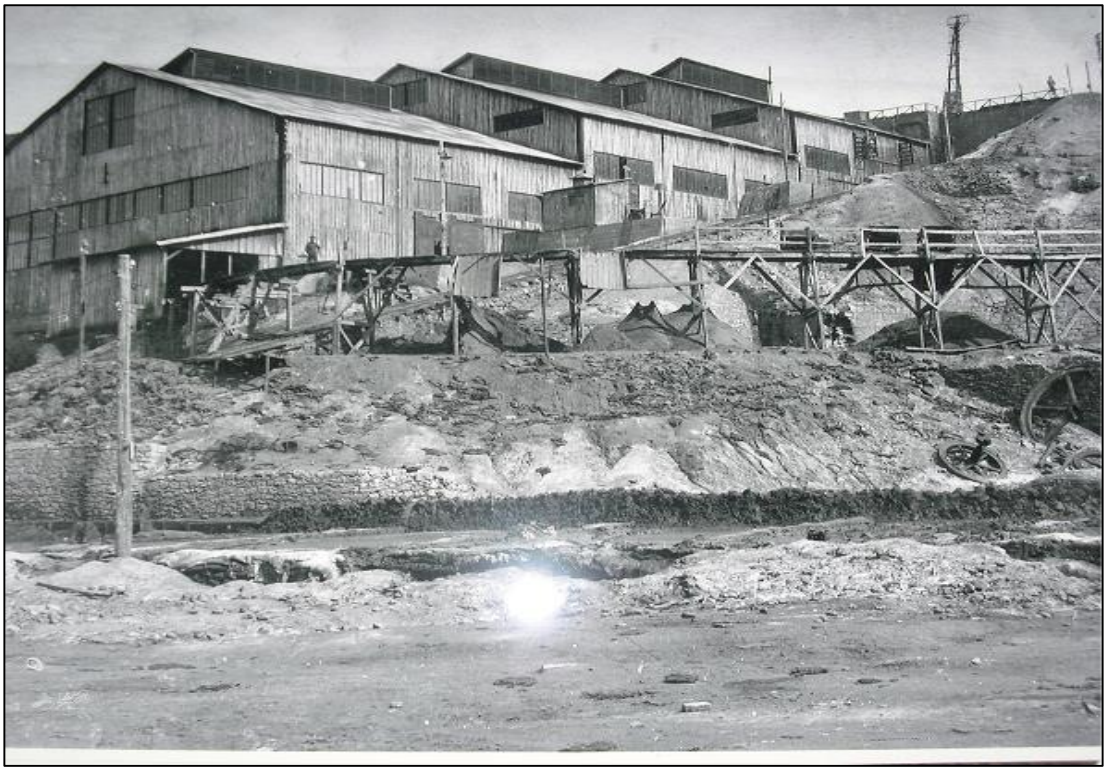


Şekil 7.1: 1901 yılında Fransızlara ait Balya Pb-Zn İşletmeleri'ne ait idari binalar ve yer altı üretim galerisi giriş kuyusu.

1892'de Balya Madeni Alman Riyol tarafından Fransızlar'a devredilerek "Societe Anonyme Ottomane de Mines de Balia-Karaaydın'' adıyla yeni bir şirket kurulmuş ve hisseleri halka satılmıştır. 1901'de aynı şirket Mancınık Kömür Ocağı'nı açmış ve kömürlü (termik) elektrik santrali kurmuştur. Bu termik santralden o günlerde Balya Madeni'ne ve Balya ilçesine elektrik verilmiştir.

Madenden çıkarılan cevherin izabesi sonucu elde edilen külçe metal kurşun 62 km' lik dekovil hattı ile Palamutluk Mevkii'ne, Palamutluk'tan da Akçay İskelesi'ne standart demiryolu ile taşınmıştır. Bu demiryolu taşıma hattı Anadolu'nun ilk demiryolu olup Fransızlar tarafından cevher nakliyesi için inşa edilmiştir. Bu dönemlerde Balya'nın nüfusu kırkbine ulaşmıştır (Esan Arşiv, 2002).

İlk dönemlerinde Balya Pb-Zn Yatağı %16-20 Pb ve %8 Zn ortalama tenörlerine sahip olup maden işletmesinde 400 ton/gün konsantre Pb işleme kapasitesine sahip bir izabe tesisi bulunmaktadır (Şekil 7.2).



Şekil 7.2: Balya Madeni içinde Fransız Dönemi ne ait izabe tesisi (Yıl:1904).

Birinci Dünya Savaşı yıllarında 1914-1917 arasında üretim ve işletme faaliyetlerini durduran şirket 1920'de tekrar üretim ve işletmeye başlamıştır. 1923'te şirketin adı "Balya Karaaydın Maden Şirketi-Türk" olarak değiştirilmiştir.

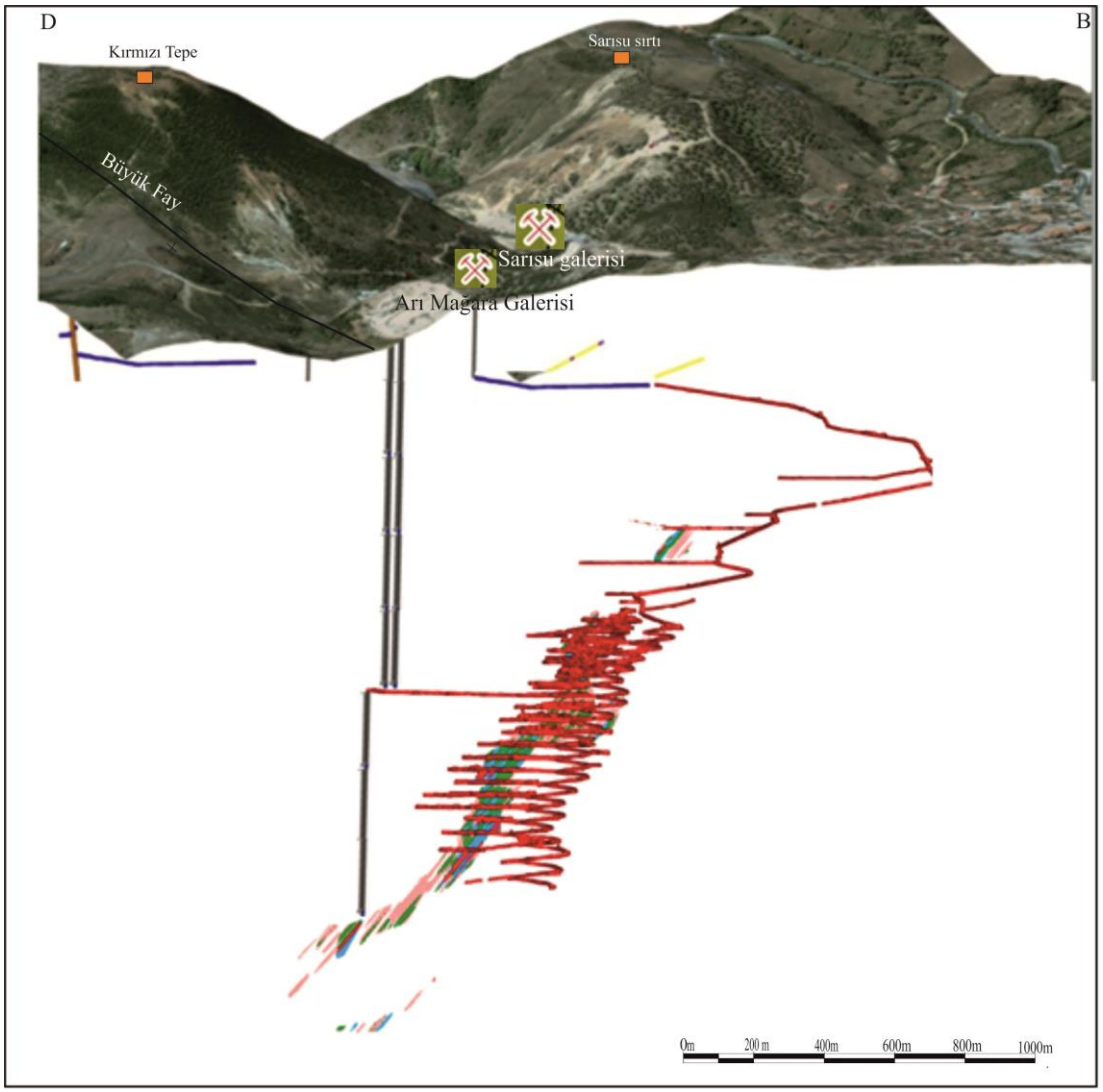
Karaaydın Madeni 1930 yılında en büyük üretimini gerçekleştirmiş olup üretim 400 bin ton/yıl'a çıkmıştır (Esan Arşiv, 2002). Bu yıllarda ekonomik krizle birlikte kurşun fiyatlarının düşmesi, şirketi zor duruma sokmuş ve nihayet 1939'da kapanmıştır (Esan Arşiv, 2002). İşletmede varalon madencilik ekipmanlarının tamamı devlet tarafından

kamulaştırılmış ve sonrasında bu ekipmanların bir kısmı Zonguldak bir kısmı da Soma Kömür İşletmeleri'ne devredilmiştir.

1991 yılında Rasi İhsan Madencilik maden ruhsatını devrelarak yeniden üretime başlamıştır. Ancak Fransızlara ait üretim galeri ve kuyularından yeraltı suyu tahliye edilemediğinden üretim çok sınırlı kalmıştır. Bu nedenle ilgili firma 1995 yılında madencilik haklarından vazgeçmiştir.

2002 yılında ise ESAN Eczacıbaşı Şirketi maden ruhsatını devralmış ve 2007 yılına kadar ayrıntılı arama yaparak üretim hazırlık faaliyetlerine başlamış ve nihayet 2009 yılında da üretime geçmiştir. Üretim esas olarak kurşun-çinko ve kurşunla birlikte bulunan gümüşü hedeflemekte ve üretim tesislerinde kurşun ve çinko ayrı ayrı flotasyon işlemi ile zenginleştirilerek % 2 Pb, % 3 Zn ve konsantre cevher içinde yıllık 100 kg Ag üretilmektedir. Üretim yeraltı kes-doldur yöntemi ile yapılmaktadır. Cevherli zonlara spiral galeri ile ulaşılarak yaklaşma galerileri ile yeraltı işletmesi yürütülmektedir (Şekil 7.3). Şekil 7.4'de görüleceği üzere cevherleşmeler esas olarak Karakaya Formasyonu ile Tersiyer volkanik kayaçlarının dokanağını tanımlayan Büyük Fay'a yaklaşık paralel, çoğunlukla volkanik kayaçlar içinde mercek ve damarlar halinde bulunur. Cevherleşmeler bu tür kayaçların içinde yaygın bir şekilde oluşan karbonatlaşmalar ve kalsit mercek ve damarları ile mekansal birliktelik sunmaktadır. Yüksek tenörlü veya masif cevherleşmeler özellikle andezitik dayk veya domların içinde oluşan kalsit damarlarıyla birlikte bulunmaktadır. Aktif madencilik ve işletme faaliyetlerinin bulunduğu Kırmızı Tepe bölgesinden başka Balya'nın doğu kesimlerinde veya Maden Deresi'nin kuzey ve kuzeydoğusundaki Doyuran volkaniklerinin ileri arjilik alterasyona uğradığı Çamlık Tepe'de cevherleşmeler saçınımlı veya damacıklı halde ve kovuklu dokuya sahip arjilik alterasyonlarını kovuklarını-boşluklarını doldurur şekilde de tespit edilmiştir (Şekil 7.3).

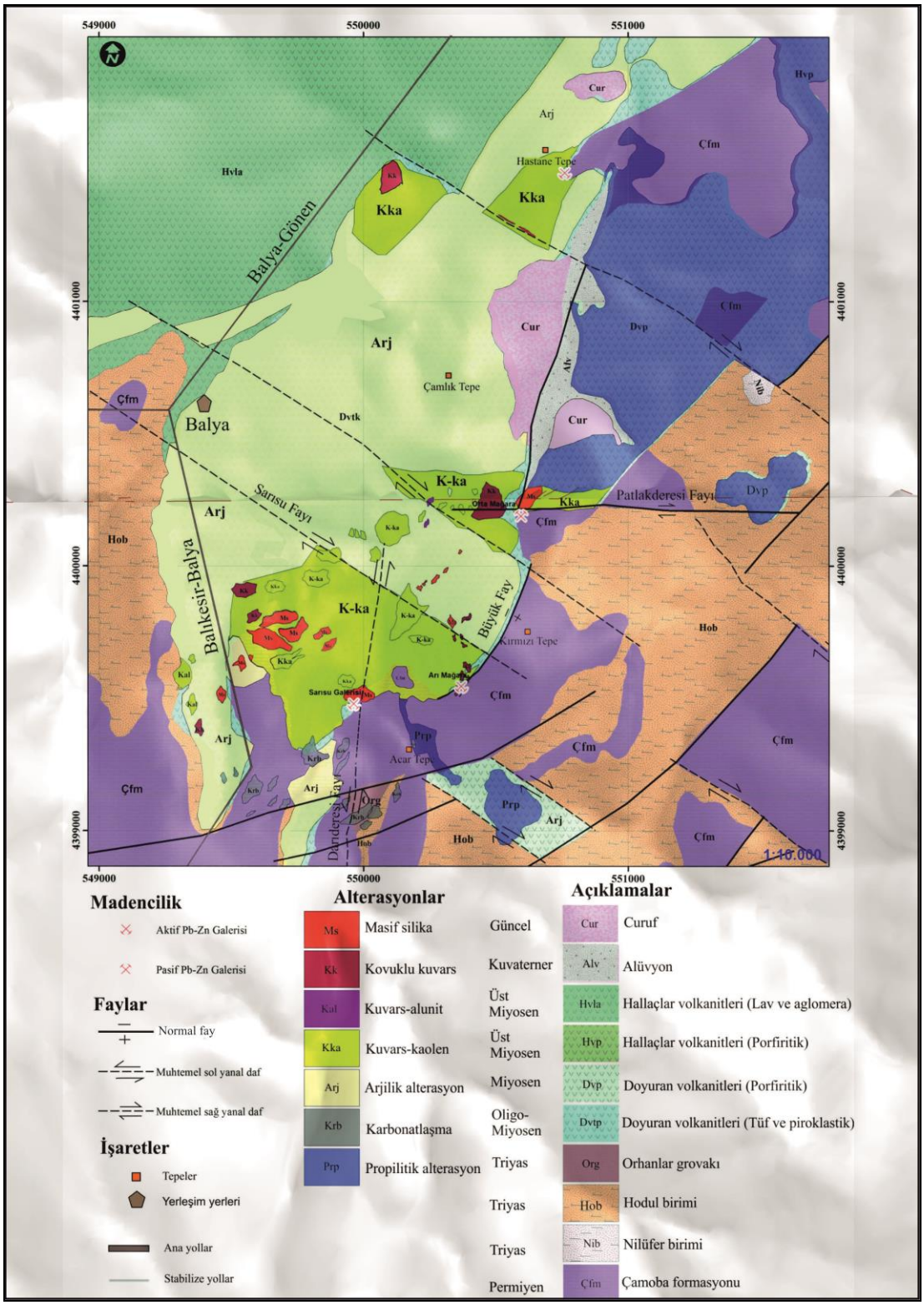
İşletme faaliyetlerinin ilk dönemlerinde zenginleştirme Pb-Zn ve Ag'ye yönelik iken son yıllarda ve yeraltı madencilik faaliyetlerinin daha derinlere ulaştığı kesimlerden itibaren Cu ve Au cevherleşmelerine yönelik olarak da sürdürülmektedir.



Şekil 7.3: Esan Balya Pb-Zn İşletmesi yeraltı üretim faaliyetlerinin 3 boyutlu bilgisayar programında hazırlanan görüntüsü.

7.2 Yan Kayaçlar

Balya Pb-Zn Yatağı'na ait cevherleşmelerin yankayaçlarını Çamoba formasyonuna ait kireçtaşları, Karakaya formasyonuna ait konglomera, çakıltaşı (Orhanlar grovakı), kumtaşı, silttaşı (Hodul birimi), çamurtaşı, fillatlar (Nilüfer birimi), Hallaçlar volkanitlerine ait andezitik dayklar ve Doyuran volkanitlerine ait dasitik tüf ve piroklastikler oluşturmaktadır (Şekil 7.4).

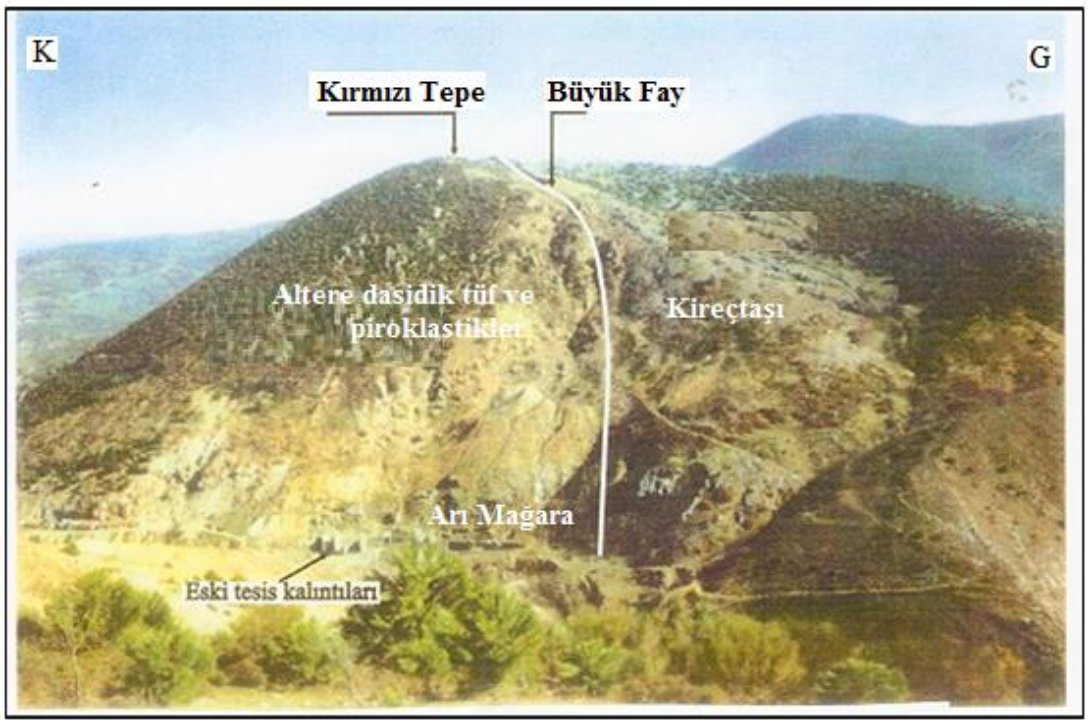


Şekil 7.4: İnceleme alanının maden jeolojisi haritası (ayrıntılar için Ek-B'ye bakınız).

Cevherleşmeler (a) Doyuran volkaniklerinin dasitik tüf ve piroklastikler ile kireçtaşları (Çamoba formasyonu), konglomera, çakıltaşı (Karakaya formasyonu), kumtaşı ve silttaşı (Hodul birimi) arasındaki tektonik ve/veya intrüzif dokanaklar boyunca

Kırmızı Tepe ile Hastane Tepe arasında yaklaşık bir kilometre boyunca saçınımlı halde ve yama halinde (c) Hallaçlar volkaniklerine ait andezit daykların dasitik tüf ve proklastikler ile olan yerleşim dokanakları boyunca Arı Mağara galerisi boyunca yaklaşık dört yüz metre boyunca mercek ve damar şeklinde (d) andezitik daykların kireçtaşları ve kırıntılı litolojiler ile dokanakları boyunca, (e) Çamoba formasyonu kireçtaşları ve Karakaya formasyonu içerisinde tanımlanan Hodul birimine ait silttaşı ve siltli kumtaşı ile dasitik tüf ve proklastiklerin kırık çatlak düzlemleri boyunca saçınımlı ve düzensiz kırık çatlak dolgusu şeklinde ve (f) Karakaya formasyonuna ait birimlerin tabakalanma düzlemleri boyunca izlenmektedir (Şekil 7.4, 7.5, 7.6, 7.7).

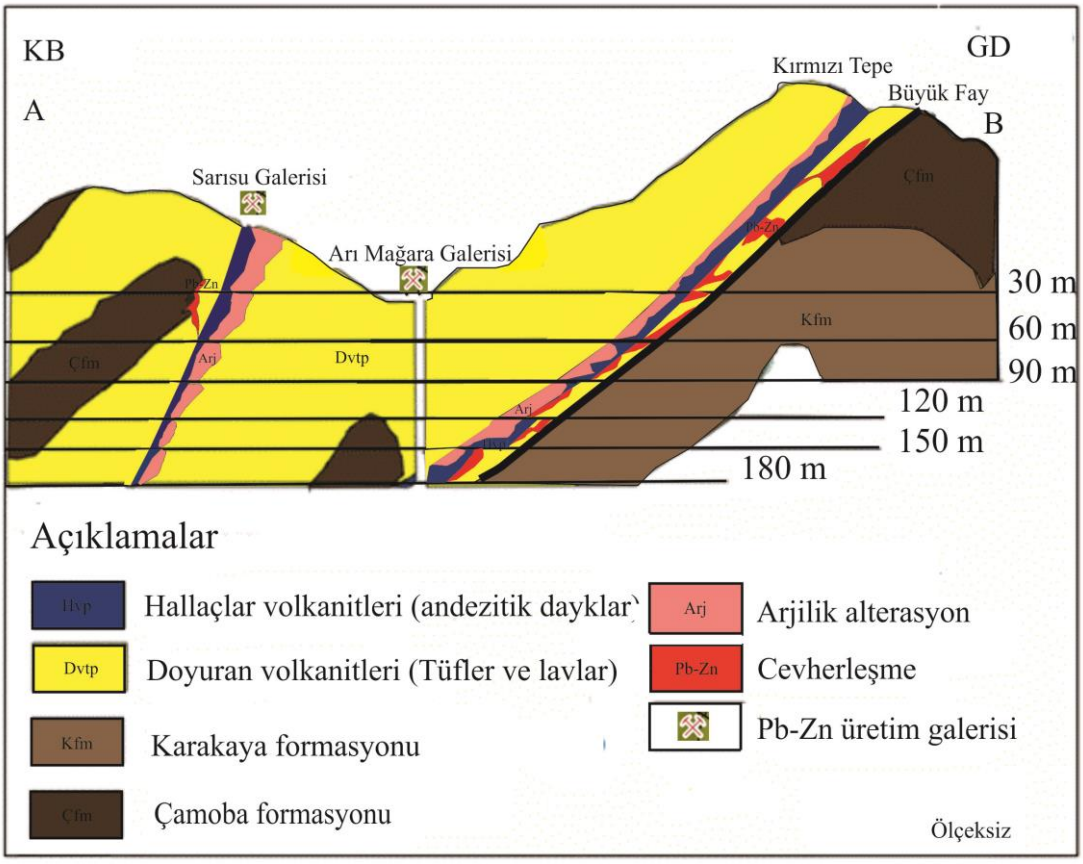
İnceleme alanında gözlenen eski üretim galerisi Kırmızı Tepe zirvesinden geçen Büyük Fay boyunca yeralmaktadır. Büyük Fay üzerinde yeralan Orta Mağara Galerisi bu eski üretim galerilerinin en büyüğüdür (Şekil 7.4, 7.5, 7.6, 7.7).



Şekil 7.5: Kırmızı Tepe üzerinden geçen Büyük Fay (Doyuran volkanikleri ile Çamoba formasyonu arasındaki tektonik dokanak) (Yıl: 2002).



Şekil 7.6: Kırmızı Tepe üzerinden geçen Büyük Fay (Doyuran volkanikleri ile Çamoba formasyonu arasındaki tektonik dokanak) (Yıl: 2016).



Şekil 7.7: Kırmızı Tepe ile Sarısu Galerisi arasının genelleştirilmiş enine kesiti üzerinde cevher-yankayaç ilişkileri (Kovenko 1940'dan revize edilmiştir).

7.3 Yankayaç Alterasyonu ve Cevherleşmeler

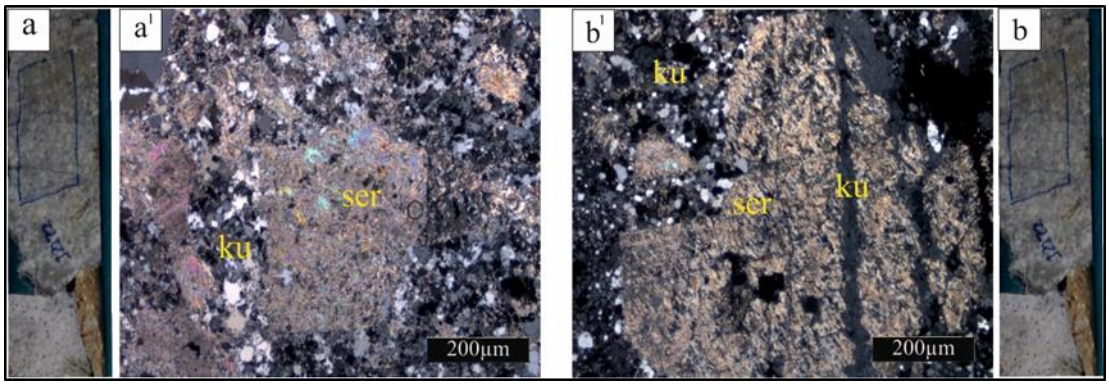
İnceleme alanında cevherleşmelerin alterasyon zonları ile mekansal ve zamansal ilişkilerini ortaya koyabilmek amacı ile haritalama ve sondaj karot loglamaları yapılmıştır. 2012 yılında çalışma alanındaki cevherleşme ve alterasyon zonlarını temsil edebilecek Orta Mağara galerisi girişinin yaklaşık 550 metre derinde yapılan YS-767-7 sondajına ait karot numuneler üzerinde sistematik mineralojik ve petrografik inceleme yapılmıştır (Kuşcu, 2012). Kuşcu (2012) tarafından yürütülen alterasyon mineralojisi ve petrografisi çalışmaları çalışma alanında dört farklı türde alterasyon topluluğunun varlığını ortaya koymaktadır. Bunlar, (1) serizit-kuvars-pirit alterasyonu, (2) arjilik alterasyon, (3) prograd kalk-silikat alterasyonları, (4) retrograd kalk-silikat alterasyonlardır. Kuşcu (2012) tarafından ortaya konulan bu alterasyon zonlanması bu tez çalışması kapsamında revize edilerek (1) serizit-kuvars-pirit ve (2) ileri arjilik alterasyonları cevherleşmeler ile doğrudan ilişkisinin gözlenmediği kil ve serizit bakımından zengin bölgesel alterasyonlar olarak; Balya Pb-Zn cevherleşmeleri ile son yıllarda ekonomik hale gelen Cu-Au cevherleşmeleriyle zaman-mekan ilişkisinin kurulabildiği erken evre (prograd kalk-silikat) alterasyonlar ve geç evre (retrograd kalk-silikat) alterasyonlar olmak üzere iki ana evreye ayrılmıştır. Geç evre alterasyonlar kendi içinde birbirleri ile zaman-mekan ardışık iki alt evreden oluşmakta olup erken retrograd ve geç retrograd alterasyonlar olarak sınıflanmıştır.

7.3.1. Bölgesel alterasyonlar

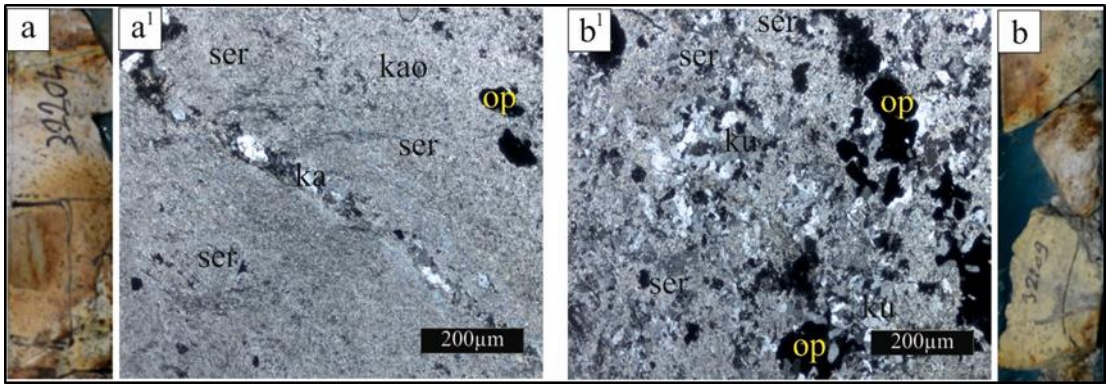
7.3.1.1 Serizit-kuvars-pirit alterasyonu

Serizit-kuvars-pirit alterasyonu Doyuran volkanitlerine ait piroklastik ve dasit porfir türü subvolkanik kayaçlarda serizit-kuvars-pirit veya yer yer silisleşmenin de eşlik ettiği serizitleşmeler ile temsil edilmektedir (Çizelge 7.1). (Kuşcu, 2012). Dasidik piroklastik breşik kayaçlar içinde genellikle daha önceden serizitik alterasyona uğramış stokvorklu kuvars-serizit damarları değişik boyut ve şekiller içinde gözlenmektedir. Kuşcu (2012), bu alterasyonları tanımladığı YS-767-7 kuyusuna göre bu tip alterasyonları yüzeye yakın (ilk 100-120 m) yoğunlaştığını belitmiş olsa da güncel sondajlar ve yeraltı gözlemlerinde bu alterasyonların 700 m derine ulaşabildiği görülmektedir (Ek-C). Ancak, bu kesimler de Kuşcu (2012)'de belirtildiği gibi bu alterasyonların cevherli zonları kılıf gibi sardığı veya cevherleşmelere yan kayaçlık

etmediği görülmektedir. Bu alterasyon, Doyuran volkanitlerinin yoğun bir şekilde hem hamurunun hem de feldispatlarının serizitleşmesiyle oluştuğu tespit edilmiştir (Şekil 7.8a ve 7.8b). Serizitlerden başka, bu alterasyonda kuvarslar genellikle mercekler ya da ince damarcıklar şeklinde bulunurken (Şekil 7.8b), piritler genellikle kuvars damarcıklarıyla ya da saçınımlar halinde izlenmektedir (Şekil 7.9a ve 7.9b). Serizit-kuvars alterasyonları daha sonra geç evre kalk-silikat alterasyonlarında oluşmuş olan karbonatlaşma ve silisleşme tarafından silinir ve üzerlenir (Kuşcu, 2012) (Şekil 7.9a ve 7.9b).



Şekil 7.8: (a-a¹) Serizitleşmiş killleşmiş dasit porfir klastı, **(b-b¹)** serizitleşmeyi üzerleyen silisleşme ve kuvars damarcıkları (ku: kuvars, ser: serizit, a,b: karot numunesi) (a¹-b¹: çift nikol).



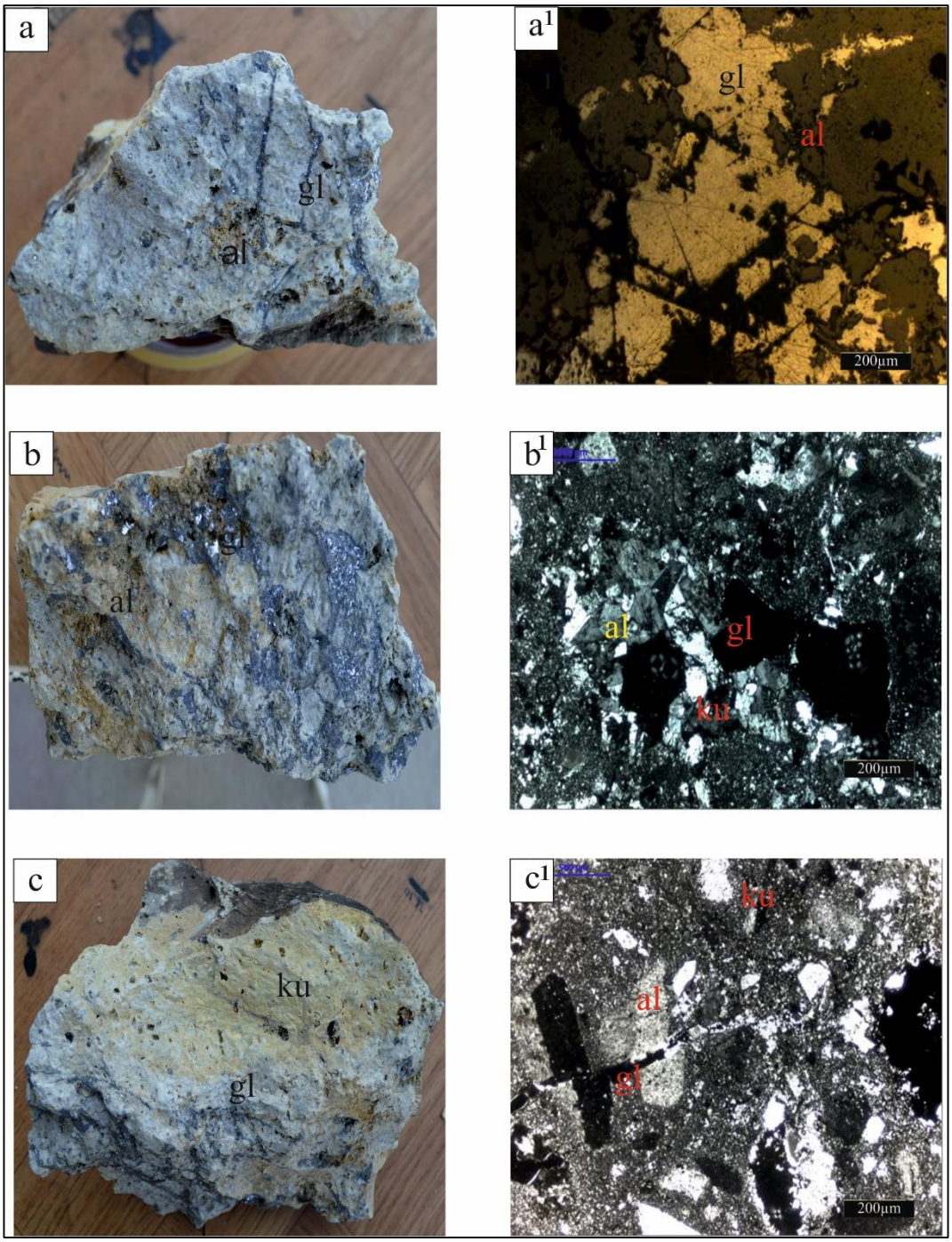
Şekil 7.9: (a-a¹) Killeşmiş kayacı ve serizitleşmiş plajiyoklazları kesen karbonat damarcığı, **(b-b¹)** killeşmiş dasit porfiri kesen kuvars pirit damarcığı (ku: kuvars, op: opak mineral, ser: serizit, a,b: karot numunesi, a¹-b¹: çift nikol).

7.3.1.2 İleri arijilik alterasyonlar

Bu alterasyon genel olarak serizit-kuvars-pirit alterasyonları ile erken ve geç evre kalk-silikat alterasyonları bir kılıf gibi saran veya örten (şapka gibi) veya kuvars-alunit, kovuklu kuvars-masif (kalıntı) silisleşmiş alterasyon ceplerini de içeren oldukça sürekli ve kalın bir alterasyondur (Çizelge 7.1) (Şekil 7.4) (Kuşcu, 2012). Özellikle kovuklu kuvars ve Na-alunit mineralleri bu alterasyonların tespitinde ve tanımlanmasında oldukça kritik bir öneme sahiptir. Dasitik volkanitlerin ileri derece arijilik alterasyonları sırasında kovuklu (vuggy) kuvarslara ait boşluklar ortaya çıkmıştır (Kuşcu, 2015) (Şekil 7.10).

İnceleme alanının Hastane Tepe ve Çamlık Tepe civarında yüzlek veren dasidik tüf ve piroklastikler içerisinde gözlenen kuvars-dikit alterasyonlarından Ağdemir vd. (1994) tarafından söz edilmiştir. İleri arijilik alterasyon, belli belirsiz adacıklar halinde korunmuş olan serizitleşmeleri üzerleyecek şekilde gözlenmektedir (Kuşcu, 2012). Bu alterasyonun tanımlandığı ve en güzel örneklerinin tespit edildiği kesimler, Balya'nın doğu ve Maden Deresi'nin kuzeyinde kalan Çamlık Tepe ve Hastane Tepe'dir. Bu alterasyon Hastane Tepe ve Çamlık Tepe civarında kovuklu kuvars ve alunit oluşumları ve Sarısu Sırtı civarında ise masif (kalıntı) kuvars olarak temsil edilmektedir (Şekil 7.10a ve 7.10b).

Bu alterasyona özgü kovuklu kuvarsların boşlukları hem gang mineraller (alunit, plajiyoklaz) hem de sülfid mineralleri (galen) tarafından doldurulmaktadır. Bu boşluklar önce ikincil plajiyoklaz ve Na-alunitler tarafından doldurulmuştur. Boşlukları dolduran Na-alunit oluşumları ise ikinci faz galenler tarafından ornatılmaktadır (Şekil 7.10a, 7.10b, 7.10c). Ayrıca, bu alterasyona uğramış dasidik kayaçların kırık ve kılcal çatlaklar içinde galen damar ve damarcıkları (birkaç mikron ile bir santimetre arasında) izlenmektedir (Kuşcu, 2014; 2015).



Şekil 7.10: (a-a¹) Boşluk dolgusu şeklindeki galen oluşumları, **(b-b¹)** kovuklu yapılı kuvars ve boşluk dolgusu şeklinde ortaya çıkmış galen ile Na-alunit veya plajiyoklazlar **(c-c¹)** kovuklu yapıyı dolduran Na-alunit ve kısmen silisleşmiş mikro fay oluşumları, boşukları dolduran galen (ku: kovuklu kuvars, gl: galen, al: alunit, a, b: karot numunesi, a¹, b¹: çift nikol) (Kuşcu 2015).

7.3.2 Balya Pb-Zn Yatağı ve çevresinde gözlenen erken ve geç evre alterasyonlar ve cevherleşmeler

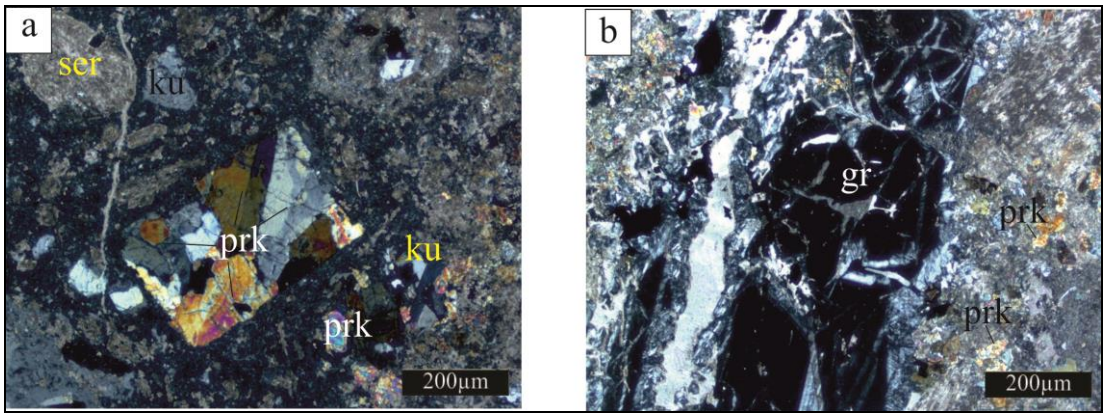
Elde edilen mineralojik ve petrografik veriler Balya Pb-Zn Yatağı ve çevresinde gözlenen alterasyon ve cevherleşmelerin zaman-mekan içinde birbirini üzerleyen 2 ana evrede ortaya çıkmış alterasyon toplulukları ile temsil edildiğini göstermektedir. Bu evreler sırasıyla; (1) erken evre (prograd kalk-silikat) alterasyonlar, (2) geç evre alterasyonlardır. Erken evre alterasyonlar sadece susuz ve yüksek sıcaklıklı kalk-silikat mineralleri ile temsil edilirken geç evre alterasyonlar ise hem sulu kalk-silikat mineraller hem de kil mineralleri ile temsil edilmektedir. Geç evre alterasyonların birbirlerine göre oluşum zamanları bunların geç evre 1 (erken retrograd veya retrograd-1), ortaç arijilik ve geç evre 2 (geç retograd veya retrograd-2) alterasyonlar olarak sınıflanabileceğini göstermektedir. Geç evre alterasyonların mineral parejenezlerinin zaman ve mekan dağılımları göz önüne alındığında epidot-klorit-kuvars parajenezlerinin daha önce illit-smektit ve montmorillonit ve kalsitin ise daha geç oluştuğu; ancak tüm retograd mineral topluluklarına göre geç evre alterasyonların epitermal sistemlerdeki "propilitik alterasyonlara" karşılık geldiği öne sürülmektedir. Geç evre alterasyonlar erken evre progradlara ait kalk-silikat alterasyonlarını üzerleyip maskeler şekilde gelişmiştir. Bu mineral topluluklarına arsenopirit, manyetit ve kalkopirit 1, manyetit ve altın eşlik etmektedir (Çizelge 7.1).

Çizelge 7.1: Balya ve çevresinde gözlenen bölgesel alterasyonlar ile erken ve geç evre alterasyonlar ve cevherleşmelerin mineralojisi ve olası cevherleşme tipleri.

	Prograd evre kalk-silikatik alterasyonları	**Retrograd-1 evre kalk-silikat alterasyonları**	**Retrograd-2 evre kalk-silikat alterasyonları**	**Arijilik alterasyon ve onu üzerleyen karbonatlaşma**	**Serizit-kuvars-pirit**	**İleri derece arijilik alterasyonlar**
Gang mineraller	Granat, piroksen	Epidot 1 klorit kuvars 1	Epidot 2 kalsit 1 kuvars 2	Kaolen, illit, montmorillonit, kalsit 2	Serizit, kuvars, pirit	Kovuklu kuvars, kuvars-alunit, halloysit,
Cevher mineralleri		Pirit 1, arsenopirit , altın, pirotin manyetit, kalkpirit 1	Pirit 2, kalkopirit 2, galen, sfelarit 1	Pirit 2	Pirit 1 ve pirit 2	Pirit 2 galen
Karakteristik alterasyonlara göre yatak tipleri	Skarn yatakları	Cu-Fe-Au tipi skarn yatakları	Ortaç sülfidasyon tipi Pb-Zn epitermal yataklar	Epitermal yataklar	Stokvork zonlar ve porfiri Cu-Au tipi	Yüksek ve ortaç sülfidasyon tipi epitermal yataklar

7.3.2.1 Erken evre prograd kalk-silikat alterasyonlar

Balya Pb-Zn Yatağı'nda gözlenen görece daha yüksek sıcaklıklı ve susuz granat, ve ortopiroksen gibi kalk-silikat mineral toplulukları ile temsil edilen kalk-silikat alterasyonlar prograd evre kalk-silikat alterasyonları olarak sınflandırılmıştır. (Çizelge 7.1) (Kuşcu, 2012; 2014). Bunlar içinde granat diğerlerinden çok daha önce oluşmuştur. Piroksen ise granattan hemen sonra oluşmuş olup sadece aktinolit-piroksen ikilisinin gözlendiği kesimlerde aktinolitler tarafından üzerlenmiş halde ve çoğunlukla granat kümeciklerinin veya nadiren piroksen-aktinolit minerallerinin oluşturduğu topluluklar şeklinde izlenmektedir (Kuşcu, 2014). Prograd kalk-silikat alterasyonu hemen hemen her sondaj karotunda ve üretim galerisinde tespit edilmesine karşın inceleme alanında yüzey mostrası gözlenmediği için haritalanamamıştır. Granatlar zonlu ve özşekilli, ince-orta taneli kristaller olarak gözlenmektedir (Şekil 7.11a ve 7.11b). Bu alterasyonlar, hem sülfid (galen, sfalerit, kalkopirit ve pirit) hem de demiroksit (magnetit-hematit) cevherleşmelerinin gözlenmediği alterasyon evresini temsil etmektedir (Kuşcu, 2012; 2014). Bu bakımdan, prograd kalk-silikat fazlar cevherleşme açısından kısır oluşumlardır (Kuşcu, 2014).



Şekil 7.11: (a) Plajiyoklaz psödomorfları içinde piroksen oluşumları, **(b)** granat damarı ve çeperler boyunca granatı üzerleyen piroksenler (gr: granat, prk: piroksen, ser: serizit, ku: kuvars) (Kuşcu, 2014).

Cevherleşmeler, bu fazların daha düşük sıcaklıklı ve sulu mineral toplulukları tarafından üzerlendiği retrograd evrenin oluşumuyla ilgilidir. Çok belirgin olmasa da kalk-silikat topluluklar daha çok Doyuran volkanitlerine ait dasit porfir, dasidik tüf ve piroklastiklerde gözlenmektedir (Şekil 7.11a ve 7.11b) (Kuşcu, 2014).

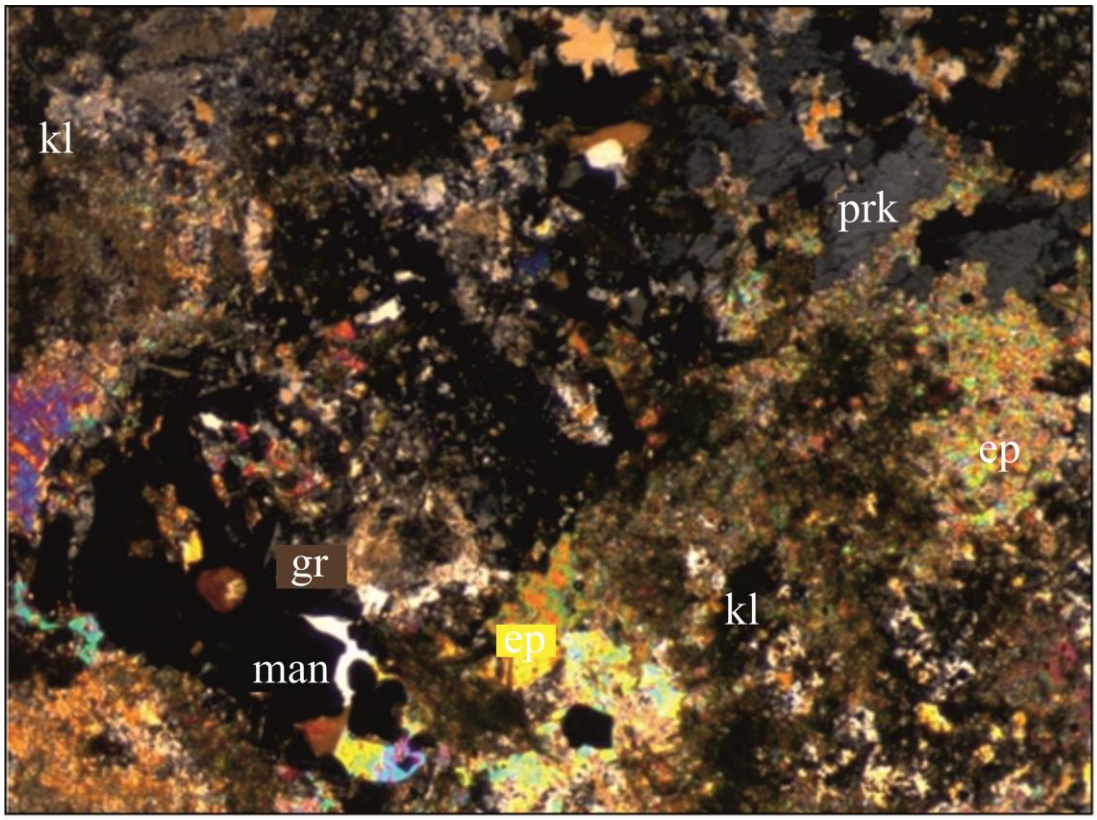
7.3.2.2 Geç evre alterasyonlar

Çalışma alanında erken evre alterasyonuna ait mineral topluluklarını keser veya üzerler şekilde oluşan ve daha çok sulu kalk-silikat ve kil mineralleri ile temsil edilen alterasyonlar geç evre alterasyonlar olarak tanımlanmıştır. Balya Yatağı'nın ekonomik Pb, Zn, Cu, Fe ve Au cevherleşmeleri esas olarak bu evrede tanımlanmış olan mineral toplulukları ile kökensel birliktelik sunmaktadır. Bu evrede birbiri ile ardışık 3 ana alt alterasyon oluşmuştur. Bunlar, (1) aktinolit-epidot-klorit-kuvars 1 (erken retrograd veya retrograd-1), (2) ortaç arjilik ve (3) epidot-kalsit-kuvars 2 (geç retrograd veya retrograd-2) alterasyonlarıdır.

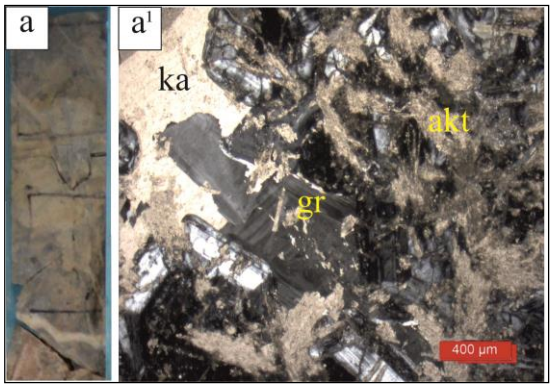
7.3.2.2.1 Aktinolit-epidot-klorit-kuvars 1 (erken retrograd) alterasyonu

Granat ve piroksen mineral topluluklarını üzerleyen veya kesen aktinolit-epidot, klorit ve kuvars bakımından baskın mineral topluluklarının oluşturduğu alterasyonlar erken retograd alterasyonlar olarak tanımlanmıştır.

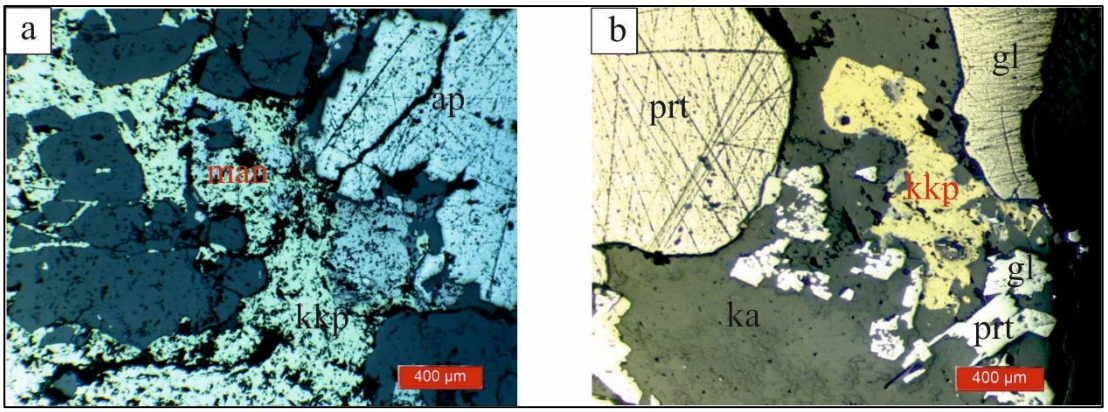
Epidot ve klorit bu alterasyonun en baskın mineralleridir. Makro olarak karakteristik fıstık yeşili renkleriyle tanımlanan epidotlar, ince kesitlerde genellikle özşekilsiz nadiren de yarı özşekilli kristaller halinde sarımsı-yeşil-pembe renkli yüksek dizi girişim renkleri ile belirginleşmektedirler (Şekil 7.12). Epidotlar çoğunlukla kloritler ve silisleşmeler (kuvars 1) ile birliktelik sergilerken prograd evreye özgü granat ve piroksenleri ornattığı görülür (Şekil 7.12). Yeşilimsi girişim renkleri ve özşekilsiz kristallere sahip kloritler özellikle piroksenlerden dönüşmüş alterasyon ürünleri olarak izlenmektedir (Şekil 7.12). Aktinolitler çoğunlukla piroksenlerden ve granatlardan dönüşmüş şekilde bu minerelleri yer yer maskeleyen yer yer de silen tarzlarda gözlenmektedir. Özşekilsiz lifsi kristaller halinde izlenen aktinolitler pastel tonlarda orta diziye ait girişim renkleri ile ince kesitlerde belirginleşmektedirler (Şekil 7.13). Bu aşamada oluşan kuvarslar, kuvars-1 olarak tanımlanmış olup kuvars 1'in yoğunlaştığı kesimlerde alterasyon silisleşmeye dönüşmektedir. Silisleşme granatlar arası boşlukları doldurur şekilde veya granatları ornatan kuvars ile belirginleşmektedir (Kuşcu, 2014).



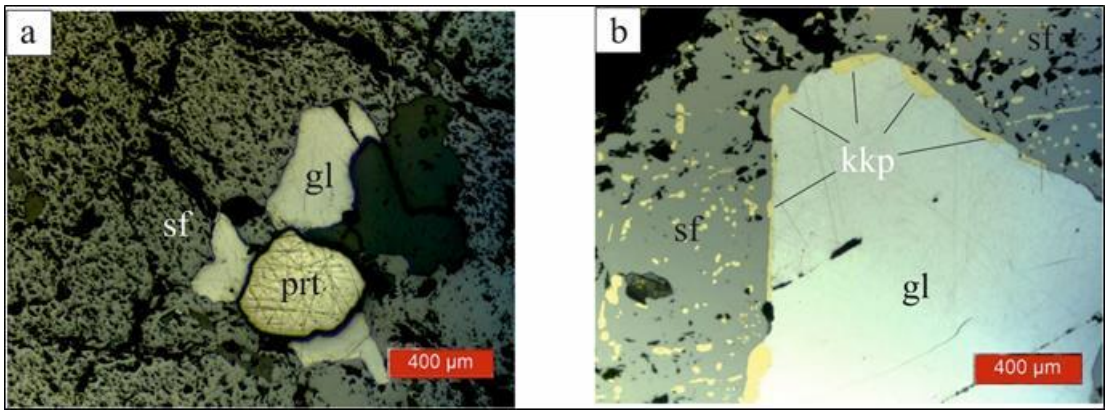
Şekil 7.12: Granatları ve piroksenleri üzerleyen epidotlaşma ve kloritleşmeler ile birlikte özşekilsiz manyetitler (ep: epidot, grt: granat, kl: klorit, prk: piroksen, man: manyetit) (Kuşcu, 2014).



Şekil 7.13: (a-a¹) Granatlarda aktinolitleşmeler ile birlikte aktinolitlerde karbonatlaşma (gr: granat, ka: kalsit, akt, a: karot numunesi, a¹: çift nikol) (Kuşcu, 2012).



Şekil 7.14: (a) Kalkopirit 1 ve manyetitler tarafından ornatılan arsenopiritler, **(b)** kalkopiriti ornatan pirit 1 ve ikisini de ornatan galen (ap: arsenopirit, man: manyetit, kkp: kalkopirit, prt: pirit, gl: galen, ka: kalsit, a, b: karot numunesi, a¹, b¹: çift nikol) (Kuşcu, 2014).



Şekil 7.15: (a) Piriti ornatan galen ile galeni ve piriti ornatan sfelarit, **(b)** galen çeperini sararak oluşan kalkopirit 2 (prt: pirit, sf: sfalerit, gl: galen, kkp: kalkopirit 1 ve kalkopirit 2) (Kuşcu, 2014).

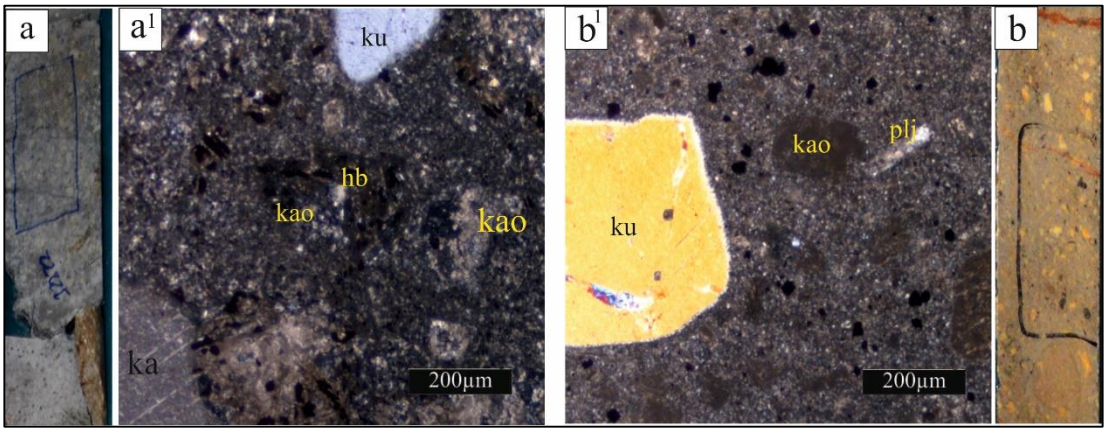
Erken retrograd alterasyonların ilk cevher minerali olasılıkla arsenopirit olup daha sonra manyetit ve kalkopirit tarafından ornatılmaktadır (Kuşcu, 2014) (Şekil 7.14a ve 7.14b). Bu olay daha çok epidot-kloritleşme ve silisleşmeyle (kuvars 1) eş zamanlıdır. Piritler, özşekilli ve orta-iri taneli kristaller halinde ve kuvars 1 ile birlikte geliştikleri için pirit 1 olarak tanımlanmıştır (Kuşcu, 2014) (Şekil 7.15a). Pirit 1'in Fe içeriklerinin daha yüksek yer yer anizotropi göstermesi bunların bir kısmının pirotin olabileceğini de düşündürmektedir (Kuşcu, 2014). Kalkopirit-1 daha sonra daha çok geç retrograd alterasyonlar ve cevherleşmeler sırasında oluşan karbonatlaşma ve sfalerit ve galen tarafından ornatılır (Kuşcu, 2014) (Şekil 7.15b). Sfaleritler içinde de kapanımlar halinde kalkopirit gözlendiği için iki farklı kalkopirit cevherleşmesinden söz edilebilir (Kuşcu, 2014) (Şekil 7.15a ve 7.15b). Balya Yatağı'nın ekonomik Cu, Fe ve Au

cevherleşmeleri esas olarak bu evreye retrograd kalk-silikat alterasyonlar ile zamansal ve mekansal olarak birliktelik göstermektedir.

7.3.2.2.2 Ortaç arjilik alterasyon

Balya Pb-Zn Yatağı çevresinde gözlenen arijilik alterasyonlar haritalabilir ölçekteki en yaygın alterasyonlardan olup kaolen, montmorillonit, simektit ve illit gibi kil mineralleri ile temsil edilmektedir (Şekil 7.16a ve 7.16b). Kil mineralleri XRD analizlerine göre tespit edilmiş olup bunlara ait ölçümler Ek 4'de gösterilmektedir. Bu kil minerallerini karbonatlaşma üzerlemekte veya ornatmaktadır. Çok kısıtlı alanlarda karbonatlaşmalara bir miktar da barit eşlik etttiği gibi (Kuşcu 2012) illitlere de klorit eşlik etmektedir.

Bu alterasyon hem yüzeyde hem de cevherleşme alanında yapılan derin sondajarda tespit edilen bir alterasyondur. Arı-Orta Mağara kesimlerde yüzeyleyen dasidik kayaçların hem hamurunda hem de plajiyoklaz fenokristallerinde gözlenen killeşmeler (illit, montmorillonit ve smektit) ile belirginleşmektedir (Kuşcu, 2012) (Çizelge 7.1) (Şekil 7.16a ve 7.16b). İçerdikleri kil minerallerinin bileşimine göre bu alterasyonların ortaç arjilik alterasyonlar olabileceği düşünülmektedir. Ortaç arijilik alterasyon hemen hemen her kesitte kuvars 2 ve karbonat mineralleri (kalsit) tarafından üzerlenmektedir (Kuşcu, 2012).

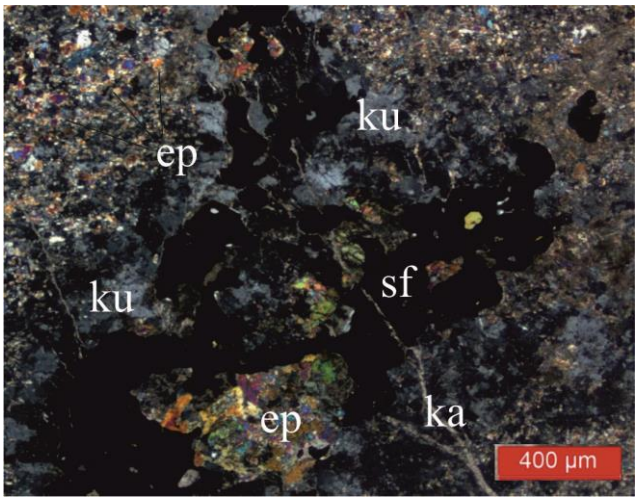


Şekil 7.16: (a-a¹) Dasit porfir dokusunu tamamen silen, killeşme, karbonatlaşma ve hepsini kesen kalsit 2 **(b-b¹)** Yaygın killeşmeye maruz kalmış dasit porfir (hb: hornblend, ka: kalsit, kao: kaolen, ku: kuvars, plj: plajiyoklaz, a, b: karot numunesi, a¹, b¹: çift nikol) (Kusçu, 2012).

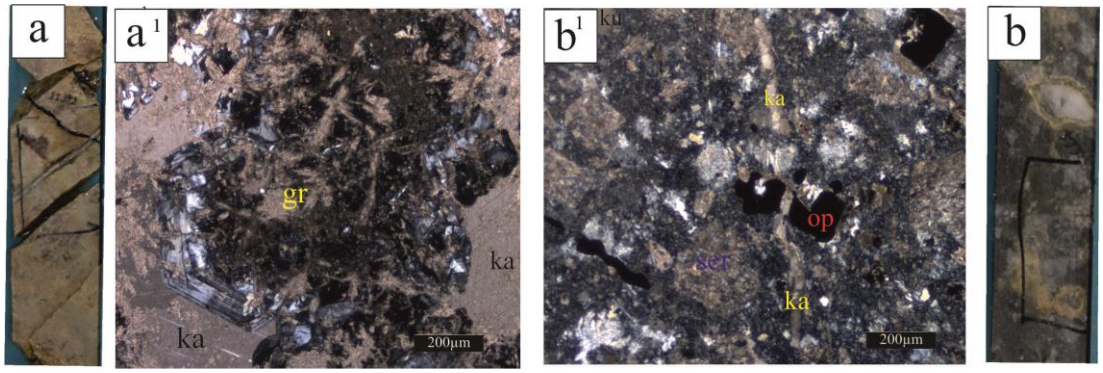
Bu alterasyon, kendinden önce gelişen erken evre prograd ve erken retrograd kalk silikat alterasyonları ve serizit-kuvars-pirit (bölgesel alterasyonları) silip bu alterasyonları maskelemesi ile karakteristiktir.

7.3.1.2.3 Epidot-2-kalsit-kuvars 2 (geç retrograd) alterasyonu

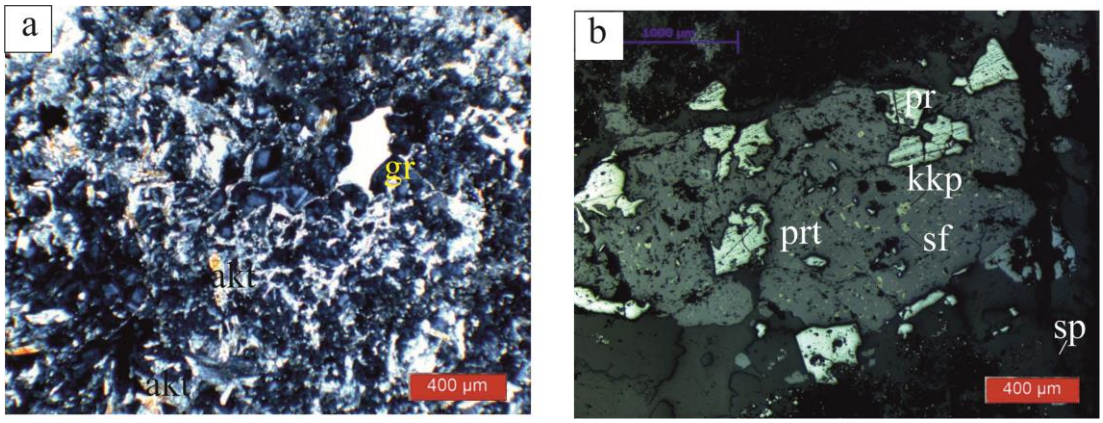
Balya Yatağı'nın ekonomik Pb, Zn ve Ag cevherleşmeleri (çok az miktarda da Cu ve Au) esas olarak geç retrograd alterasyonlar ile zamansal ve mekansal olarak birliktelik göstermektedir. Geç retrograd alterasyonlar dasidik tüf ve piroklastikler ile porfiritik dokulu subvolkanik kayaçlara (Doyuran volkanitleri) sokulum yapan andezitik dayk (Hallaçlar volkaniti) tarafından oluşturulmuş olup bu alterasyonları tetikleyen andezitik daykın da bu fazda epidotlaşıp ve karbonatlaştığı görülür (Kuşcu, 2012) (Şekil 7.17). Geç retrograd alterasyonları; kuvars 2, epidot 2 ve kalsit (kalsit 1 ve kalsit 2) mineralleri ile birlikte galen, sfalerit 2, pirit 2, spekülarit-hematit ve kalkopirit 2 mineralleri ile temsil olunmaktadır (Kuşçu, 2012; 2014) (Çizelge 7.2) (Şekil 7.18a, 7.18b, 7.19a, 7.19b). Galen ve sfalerit 1 bu alterasyonlar içinde oluşmuş kalsit 1 ile birlikte erken retrograd alterasyonlar ve cevherherleşmelere ait arsenopirit, manyetit ve kalkopirit minerallerini ornatır şekilde oluşmuştur (Kuşcu, 2014). Geç retograd evreye ait piritler (pirit 2), erken retrograd evreye ait piritlerden (pirit 1) anizotropi göstermemesi (çok düşük Fe içeriği) ile ayrılmakta, galenleri ornatmakta, sfaleritler (sfalerit 2) tarafından ise ornatılmaktadır (Kuşcu, 2014) (Şekil 7.15b).



Şekil 7.17: Ortopiroksenleri ornatan epidotlar, onları da ornatan kuvarslar, aktinolitleşme ve sülfid mineral ornatmaları (ep: epidot, ka: kalsit, ku: kuvars, sf: sfelarit) (Kuşcu, 2012).



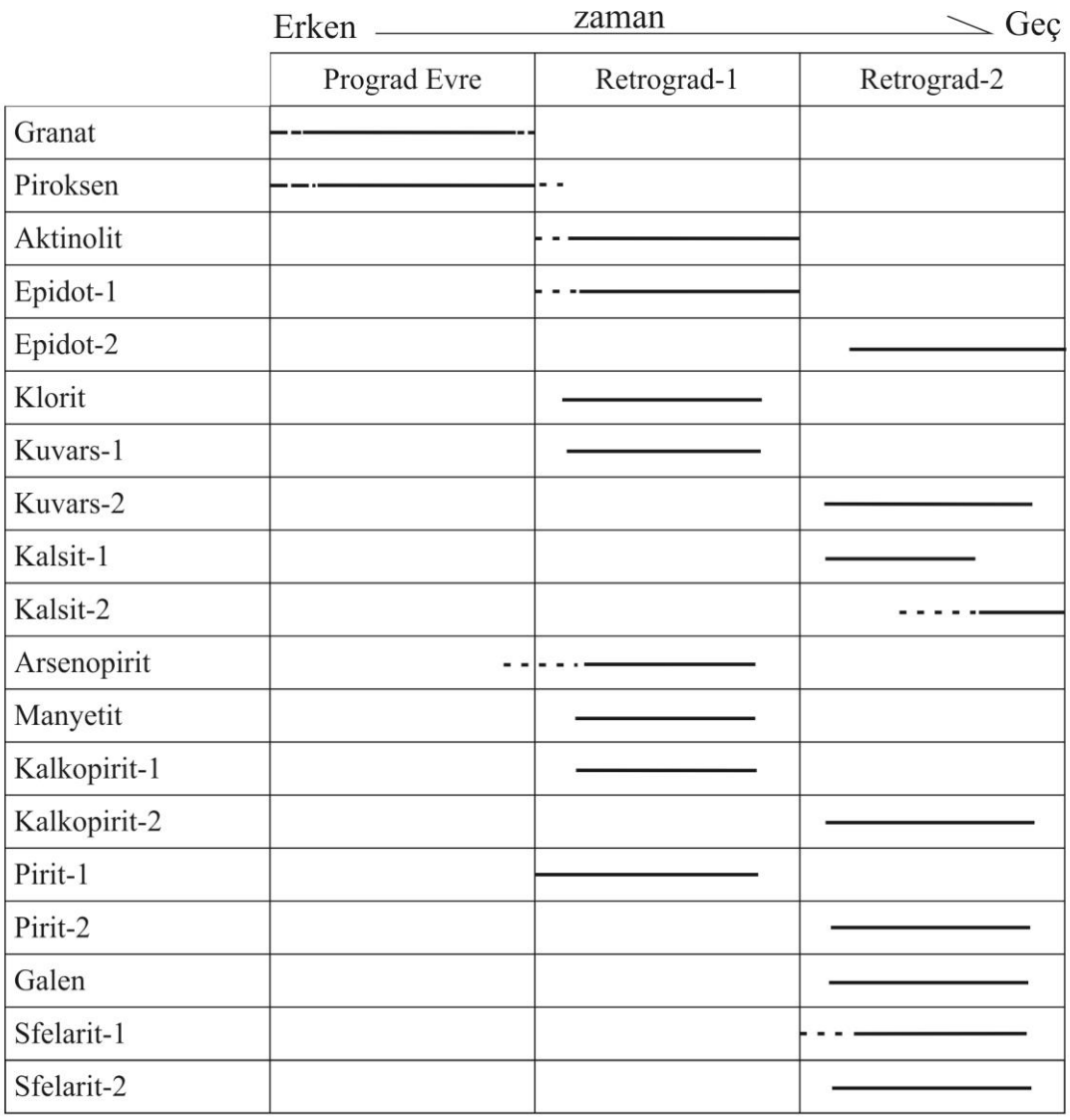
Şekil 7.18: (a-a¹) Prograd evreye ait granatları tamamen silen karbonatlaşma (kalsit 1), **(b-b¹)** cevher mineralini kesen kalsit 2 damarı (gr: granat, ka: kalsit, op: opak mineral, ser: serizit, a, b: karot numunesi, a¹, b¹: çift nikol) (Kusçu, 2012).



Şekil 7.19: (a) Kısmen karbonatlaşmış granat ve aktinolit, **(b**) sfalerit içinde yer alan kalkopirit eksolüsyonları ve ornatılmamış pirit adacıkları ve kenar kesimde spekülarit (gr: granat, ak: aktinolit, kkp: kalkopirit, prt: pirit, sf: sfelarit, sp: spekülarit) (Kuşcu, 2014).

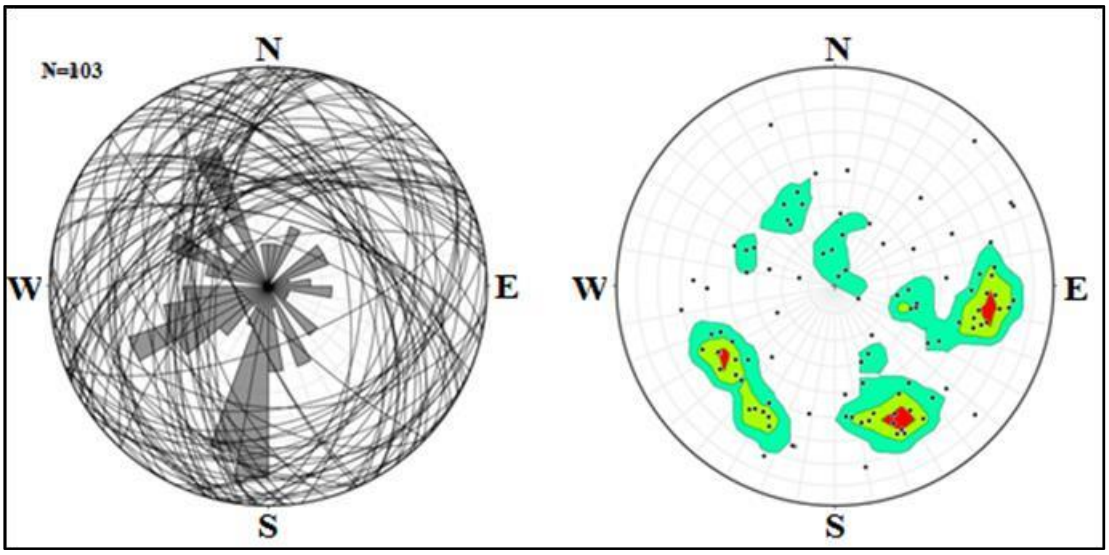
Petrografik ve cevher mikroskobisi verilerine göre Balya Pb-Zn Yatağı ve çevresinde gözlenen erken ve geç evre kalk-silikat alterasyonları ve cevherleşmeleriyle ilişkili olduğu düşünülen cevher ve gang mineral parajenezleri ve evreleri Çizelge 7.2' de verilmiştir. Buna göre erken evre prograd kalk-silikat alterasyonlar (prograd evre) granat ve piroksen mineralleri ile, geç evre alterasyonlardan aktinolit-epidot-klorit-kuvars 2 (erken retrograd veya retrograd-1) alterasyonu aktinolit, epidot, kuvars 1, arsenopirit, manyetit, kalkopirit 1 ve pirit 1 mineralleri ile, epidot-kalsit-kuvars 2 (geç retrograd veya retrograd-2) alterasyonu epidot 2, kuvars 2, kalsit 1, kalsit 2, kalkopirit 2, pirit 2, galen 1, sfalerit 2 ve sfalerit 2 mineralleri temsil olunmaktadır (Çizelge 7.2).

Çizelge 7.2: Balya Pb-Zn Yatağı'ndaki alterasyon ve cevherleşmelere ait süksesyon.



7.4 Balya Pb-Zn Yatağı'nın Yapısal Kontroller İle Olan İlişkisi

Balya Pb-Zn Yatağı çevresinde Doyuran volkanitlerinin ileri arjilik alterasyona maruz kalan kesimlerinde gözlenen geç evre sülfidli damarlarından çatlak yönlerine (doğrultu) göre 103 adet ölçüm quadrant yöntemine göre alınmış ve bu ölçümlere ait gül ve kontur diyagramı hazırlanmıştır (Şekil 7.20). Bu diyagrama göre damarların dört hakim yönü tercih ettiği (veya gözlendiği) görülmektedir. Şekil 7.20'de de görüldüğü gibi damarların gözlendiği en baskın yön K195 ve ikinci baskın yön K33; üçüncü baskın K230-260 ve en zayıf yön K290-330 yönlerindedir.

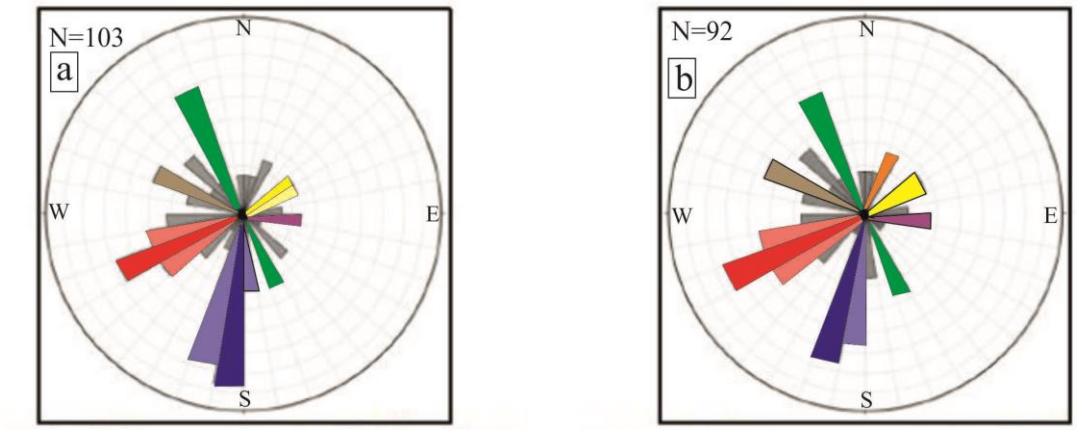


Şekil 7.20: Sülfid minerali içeren damarlar için hazırlanmış damar yönlerini (doğrultularını) gösteren gül diyagramı (N=103).

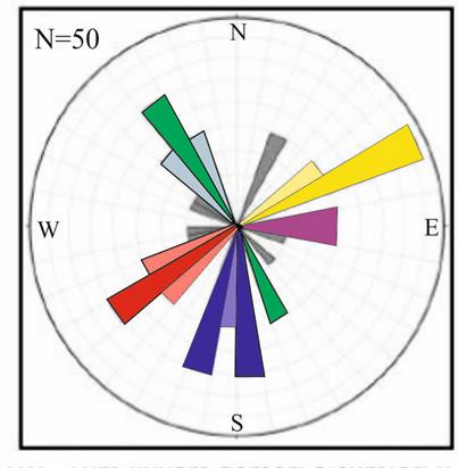
İnceleme alanında Esan tarafından yapılan sondaj karotlarında geç retrograd kalk-silikat alterasyonlarda oluşan galen ve sfalerit cevherleşmeleri, pirit damarları ve kalsit damarları üzerinde oryantasyon cihazı ile çatlak yönü ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçüm ve gözlemler bu cevherleşmelerin çatlak dolgusu (damar) olduğunu göstermiştir. Baskın yönlerinin K330 ile K10 yönünde (Şekil 7.21a), ikincil yönlerin ise yaklaşık D-B yönünde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 7.21a). Yine aynı şekile göre geç retrograd evrede oluşmuş kalsit damarlarının da baskın yönlerinin K330 ile K70, ikincil baskın yönlerin ise K10 ve yaklaşık D-B yönlerinde olduğu görülmüştür (Şekil 7.21b).

Sondaj kuyularında kesilen ve yönlü ölçüm yapılan tüm sülfidli cevherlerin damar yönlerinden hazırlanan gül diyagramında ise sülfidli cevherleşmelerinin en baskın olarak K290-330 ile K180-210 yönlerinde yoğunlaştığı saptanmıştır (Şekil 7.21a). Aynı şekilde sadece pirit içeren damarların yönlerine göre hazırlanan gül diyagramında ise pirit damarlarının en baskın damar yönlerinin K290-330, K180-200 ve K230-260 yönlerinde yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 7.22).

Bu ölçümlere göre hem sülfid cevherleşmelerinin hem de pirit (pirit 1 ve pirit 2) damarlarının aynı yönlerde baskın hale geldiği görülmektedir (Şekil 7.20 ve 7.21a). Dolayısıyla her iki mineral grubunun oluşması için bölgede önceden bu yönlerde kırık ve çatlak sistemlerinin bulunması gerektiği sonucuna varılmıştır.



Şekil 7.21: (a) Sondaj kuyularında oryantasyon cihazı ile ölçülen sülfid mineral damarlarına ait gül diyagramı (her baskın yön farklı renk kodu ile gösterilmektedir), **(b)** sondaj kuyularında oryantasyon cihazı ile ölçülen geç evre karbonatları ile ilişkili pirit damarlarına ait gül diyagramı (her baskın yön farklı renk kodu ile gösterilmektedir).



Şekil 7.22: Sondaj kuyularında oryantasyon cihazı ile ölçülen geç evre karbonat (kalsit 1 ve kalsit 2) damarlarına ait gül diyagramı (her baskın yön farklı renk kodu ile gösterilmektedir).

Bölgede yer alan sülfid cevherleşmelerine ait ölçümler hem yüzey hem de derinlerde (sondaj kuyularında) aynı yönlerde baskın olarak gözlenmektedir. Ayrıca, sülfid cevherleşmeleri ile kalsit damarlarına ait gül diyagramları karşılaştırıldığı zaman K60-80 yönlerindeki kalsit damarları hariç, diğer tüm kalsit damarları ile sülfid cevherleşmelerinin aynı yönlerde baskın hale geldiği görülmektedir.

8. BALYA Pb-Zn YATAĞI'NIN YATAY YÖNDE METAL DAĞILIMLARI

Balya Pb-Zn Yatağı'nda baz metal ve iz element dağılımları arasındaki ilişkilerin yanal yönde belirlenmesi amacıyla 2013-2014 yılları arasında Esan Balya Pb-Zn İşletmesi Arama Bölümü tarafından yüzeyden derlenen toprak numuneleri üzerinde ICP-MS-OES yöntemi ile 41 element için ve Fire Assay yöntemi ile 1 element için analiz yaptırılmıştır.

8.1 Balya Pb-Zn Yatay Yönde Yüzey Metal Dağılımları

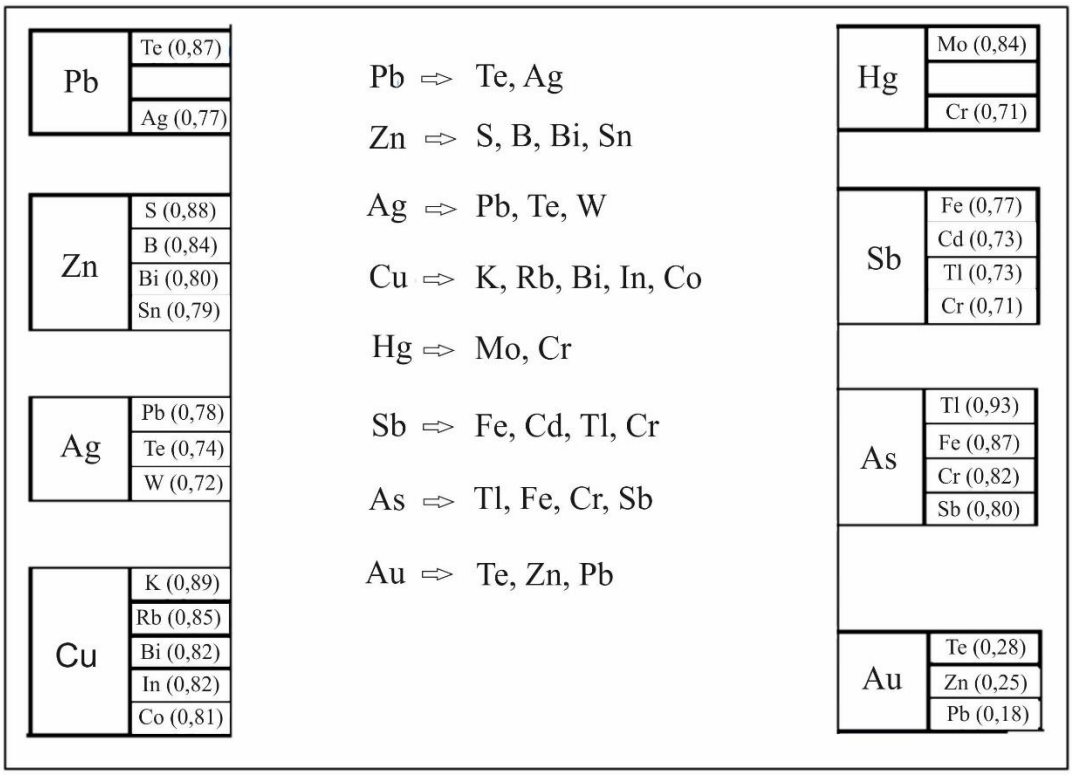
Balya Pb-Zn Yatağı içinde 35G, 4394000K - 44020000K ile 547000D - 552000D koordinatları arasında kalan ve cevherleşme potansiyeli öngörülen yaklaşık 40km^2'lik alandan 2014 yılı Haziran ve Eylül ayları arasında 800 adet toprak örneği derlenmiştir. Derlenen örneklerden mevsimsel akarsulardan etkilenme olasılığı olan 16 adet toprak numunesi hesaplamalara ve yorumlamalara dahil edilmemiştir. Örnekleme işlemi detay maden jeolojisi haritasının ortaya konmasının ardından çalışma alanı içinde kuzey ve güney ruhsatlarında (Şekil 5.24) tespit edilen Büyük Fay'a uyumlu yaklaşık KD-GB doğrultulu fayları ve Darıderesi Fayı'nı kesen 11 hat boyunca yapilmistir. Bu hatlar, 200 metre aralılıklı olup hatlar boyunca 50'şer metre ara ile yaklaşık 30 cm toprak derinliğinden ideal A ve B toprak zonları hedef alınarak örnekleme yapılmıştır. Örnekleme sırasında uluslararası QA-QC (Qualitly Assurance-Quality Control) prosedürleri takip edilmiştir. Örnekleme işlemi prosedürlere uygun sekilde 100 mikron elekten elenerek en az 3 kg ağırlığa sahip olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Örnekler ESAN Balya Pb-Zn İşletmesi numune hazırlama laboratuvarındaki fırınlarda 80 °C sıcaklıkta 24 saat kurutulmaya bırakılmıştır. Kurutulan toprak numuneleri ALS Jeokimyasal Analiz Laboratuvarları'nda ICP-MS-OES (41 element) ve Fire Assay (Au elementi için kontrol amacıyla) yöntemi ile analiz edilmek üzere yollanmıştır. Jeokimyasal analizlerden elde edilen Pb, Zn, Ag, Cu, Au, Sb Hg ve As elementlerine ait sonuçları ArcGIS 10.2 ve Micromine 14.0 yazılımı sayesinde yüzey anomali haritaları oluşturulmuştur (Şekil 8.1, 8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6, 8.7, 8.8).

Bu çalışmada her bir örnekleme noktası için alınan toprak numunelerine ait jeokimyasal analiz sonuçları ile kriging yöntemi kullanılarak ayrı ayrı deneysel variogramlar oluşturulmuştur. Sonrasında deneysel variogramlara uygun teorik modeller belirlenmiş ve herbir anomali haritası için tepe değerli modeller (küresel model, üssel (exponential) model, gauss modeli ve linear modeli) test edilmiştir. Üssel (exponential) modeldeki hataların ortalama karekökü değerine göre toprak jeokimyası haritası için en uygun model olarak belirlenmiştir. Hataların ortalama karekökü değerleri eşik değerlere karşılık gelir, ve bu değerler Pb, Zn, Ag, Cu, Au, Sb, Hg ve As için sırasıyla 0,95, 0,93, 0,94, 0,94, 0,97, 0,93, 0,92, 0,92 olarak tespit edilmiştir.

Pearson korelasyon değerlerine göre ilişkili görünen elementler Çizelge 8.1'de verilmektedir. Buna göre özellikle Pb ile Ag ve Te elementleri, Zn ile S, B, Bi ve Sn elementleri, Ag ile Pb, Te ve W elementleri, Cu ile K, Rb, In, Bi, Co, Sn ve Zn elementleri, Hg ile Mo ve Cr elementleri, Sb ile Fe, Tl, Cd ve Cr elementleri, As ile Tl, Fe, Cr ve Sb elementleri arasında görece yüksek pozitif korelasyon değerleri görülmektedir (Çizelge 8.1). Bunlardan özellikle Pb elementi ile Ag ve Te elementi, Zn ile S ve Bi elementi, Cu ile Co elementi arasında var olan yüksek pozitif korelasyon değerleri öncelikle inceleme alanında var olan cevherleşmelere ait baz metal cevher parajenezi ve cevher jeokimyası ile alakalı bir durumdur. Zn'nun B ile pozitif korelasyon göstermesi özellikle Maden Deresi ve mevsimsel olarak ortaya çıkan akarsularca taşınan ve sellenme dönemlerinde akarsu yataklarına yakın alanlara bırakılan evsel vb. atıklardan kaynaklanan kirleticilerle ilişkili olarak ortaya çıkmış olmalıdır. Buna karşın Hg, Sb ve As gibi düşük sıcaklıklı hidrotermal sistemlere özgü mobil elementlerin mafik ve ultramafik kayaçlara özgü mobilitesi son derece düşük (immobil) Cr elementi ile yüksek pozitif korelasyonlar göstermesi cevherleşme sonrası bölgedeki toprak oluşum süreçleri ile alakalı bir süreci işaret etse de yapılan haritalama ve sondaj karot loglamalarında mafik ve ultramafik kayaçların varlığına dair bir bulguya ulaşılamamıştır (Çizelge 8.1). Dolayısıyla böylesi bir durum örnek hazırlama sırasında konteminasyon veya analitik bir hatadan kaynaklanabileceği düşündürmektedir. As-Fe arasındaki pozitif korelasyon yatak cevherleşmelerine özgü, bir çok kesitte zamansal ve mekansal birlikteliğe sahip arsenopirit-pirotin-pirit ve hatta manyetit-hematit cevher mineral parajenezinden kaynaklanmalıdır. Toprak jeokimyası analiz sonuçlarında gözlenen yüksek Au değerlerine (0,37 ppm) karşın Au'nın hiçbir elementle belirgin pozitif bir ilişkiye sahip olmasa da Te, Zn ve Pb gibi hidrotermal

sistemlere özgü elementlerle çok zayıf pozitif bir ilişkiye sahip olduğu görülmektedir (Çizelge 8.2).

Çizelge 8.1: Balya Pb-Zn Yatağı toprak numunelerine ait jeokimyasal analiz sonuçlarından 41 elemente göre hazırlanan korelasyon tablosu (Pearson yöntemine göre).



Örnekleme alanı içinde Pb element dağılımları (Şekil 8.1) özellikle yaklaşık K-G doğrultulu Darıderesi Fayı boyunca kuzey ruhsatı içinde yoğunlaşmaktadır. Bu anamoli zonu içinde en yüksek Pb içeriği 10000,00 ppm (% 1) olup, zon boyunca ortalama 203,78 ppm (%0,022) Pb izlenmektedir (Çizelge 8.2) (Şekil 8.1).

Zn dağılımları (Şekil 8.2) Pb dağılımları ile büyük benzerlik sergilemekle birlikte yine Darıderesi Fayı boyunca kuzey ruhsatı içinde anamoli vermektedir (Şekil 8.1 ve 8.2). Anamoli zonu boyunca en yüksek Zn içeriği 3330,00 ppm (% 0,3) olup bu zon içerisindeki ortalaması 113,20 ppm (% 0,013)'dür (Çizelge 8.2).

Ag dağılımları (Şekil 8.3) Pb ve Zn dağılımları ile büyük benzerlik sunmakla birlikte özellikle Pb ile daha iyi pozitif korelasyon sergilemektedir (Şekil 8.1, 8.2, 8.3). Pb-Zn gibi Darıderesi Fayı boyunca kuzey ruhsatı içinde çok daha belirgin anomalilere

sahiptir (Şekil 7.23). Örnekleme alanı içinde en yüksek Ag içeriği 6,62 ppm olup ortalama değeri 0,22 ppm'dir (Çizelge 8.2).

Çizelge 8.2: Balya Pb-Zn Yatağı toprak numunelerine ait Pb, Zn, Ag, Cu, As, Sb, Hg ve Au elementlerinin minumum, ortalama, maksimum ve eşik (threshold) değerleri (ppm).

Element	Minumum	Ortalama	Maksimum	Eşik Değer
Pb	0,20	203,78	10000	1254
Zn	2,00	113,20	3330	600
Ag	0,01	0,215	6,620	0,4
Cu	0,20	21,358	232	2,2
As	0,10	140,567	10000	1312
Sb	0,05	5,615	429	52
Hg	0,00	0,643	123,500	11
Au	0,00	0,012	0,30	0,05

Cu dağılımları (Şekil 8.4) Darıderesi Fayı boyunca Pb ve Ag element dağılımlarına uyumlu olarak kuzey ruhsatı içinde 0,20 ppm ile 232,00 ppm arasında anamoli vermektedir (Şekil 8.1, 8.3, 8.4). Örnekleme alanı içinde ortalama Cu değeri 21,36 ppm'dir (Çizelge 8.2).

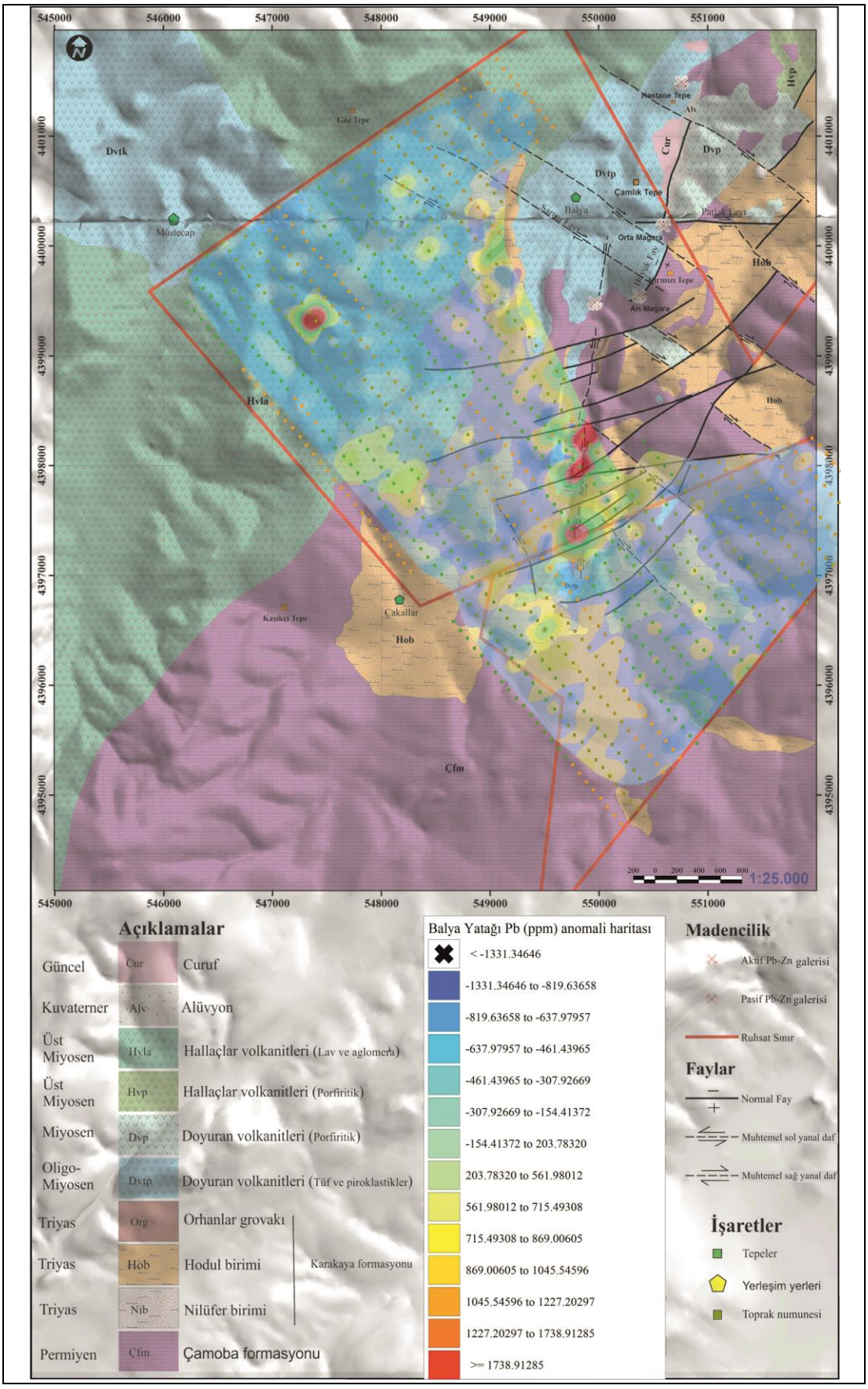
As dağılımları (Şekil 8.5) başta Au, olmak üzere Sb, Ag ve Pb ile Darıderesi Fayı boyunca hem kuzey ruhsatı içinde hem de güney ruhsatı içinde oldukça benzer anamoli desenleri ve pozitif korelasyonlar sunmaktadır (Şekil 8.1, 8.3, 8.5, 8.6). Anamoli zonu boyunca As içeriği 0,10 ppm ile 10000,00 ppm (% 1) arasında değişmektedir. Örnekleme alanı içinde ortalama As miktarı 140,57 ppm'dir (Çizelge 8.2).

Sb dağılımları (Şekil 8.6) başta Au ve As olmak üzere kısmen de Pb, Ag ve Hg ile Darıderesi Fayı boyunca hem kuzey ruhsatı içinde hem de güney ruhsatı içinde oldukça benzer anamoli desenleri ve pozitif korelasyonlar sunmaktadır (Şekil 8.1, 8.3, 8.5, 8.7, 8.8). Anamoli zonu boyunca Sb içeriği 0,05 ppm ile 429,00 ppm arasında değişmektedir. Örnekleme alanı içinde ortalama Sb miktarı 5,62 ppm'dir (Çizelge 8.2).

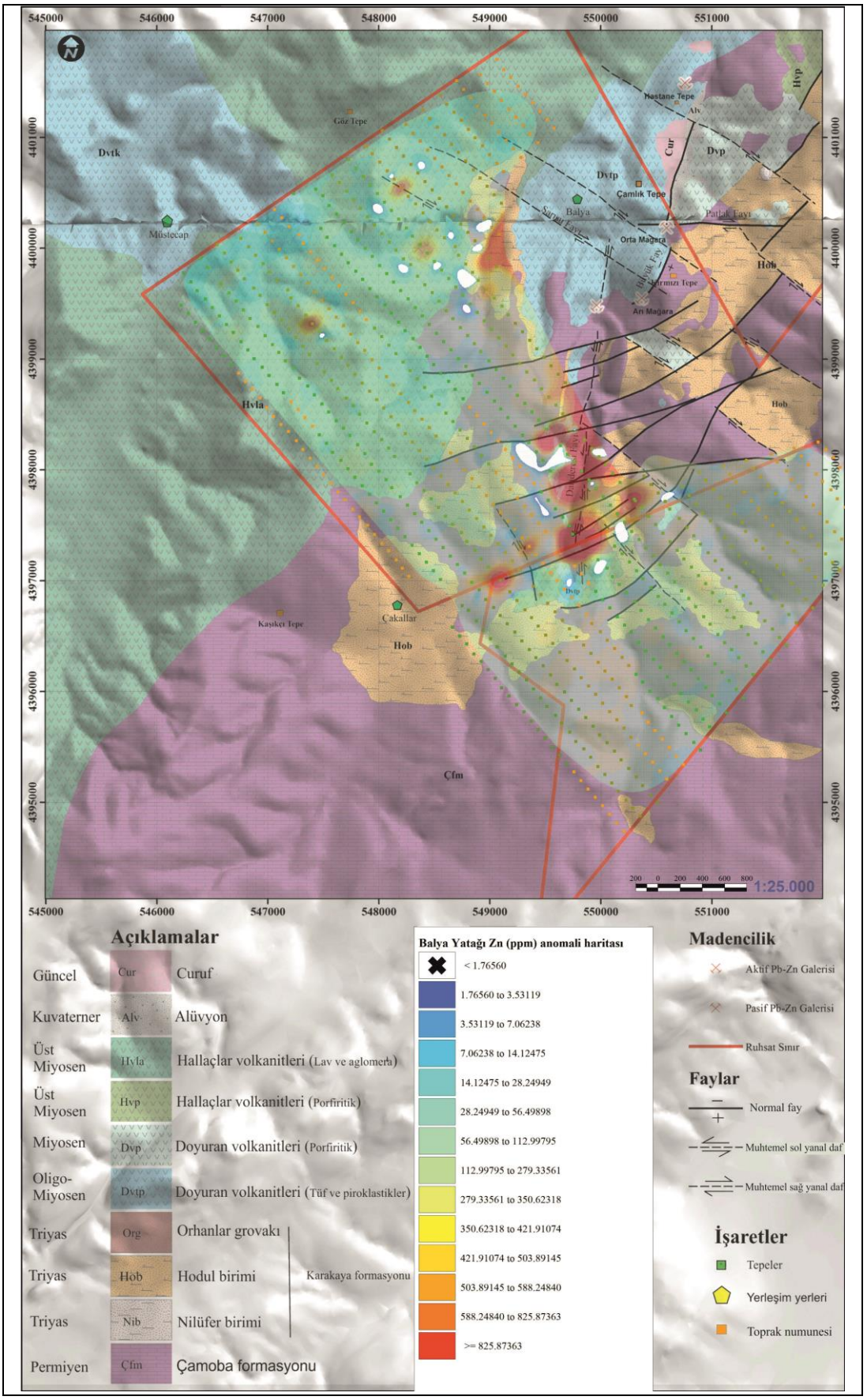
Hg dağılımları (Şekil 8.7) Darıderesi Fayı boyunca özellikle kuzey ruhsatın güney ruhsatla sınırı boyunca belirginleşmektedir. Örnekleme alanı içinde Hg içeriği 0 ppm

ile 123,50 ppm arasında değişmekte olup ortalama Hg değeri 0,64 ppm'dir (Çizelge 8.2).

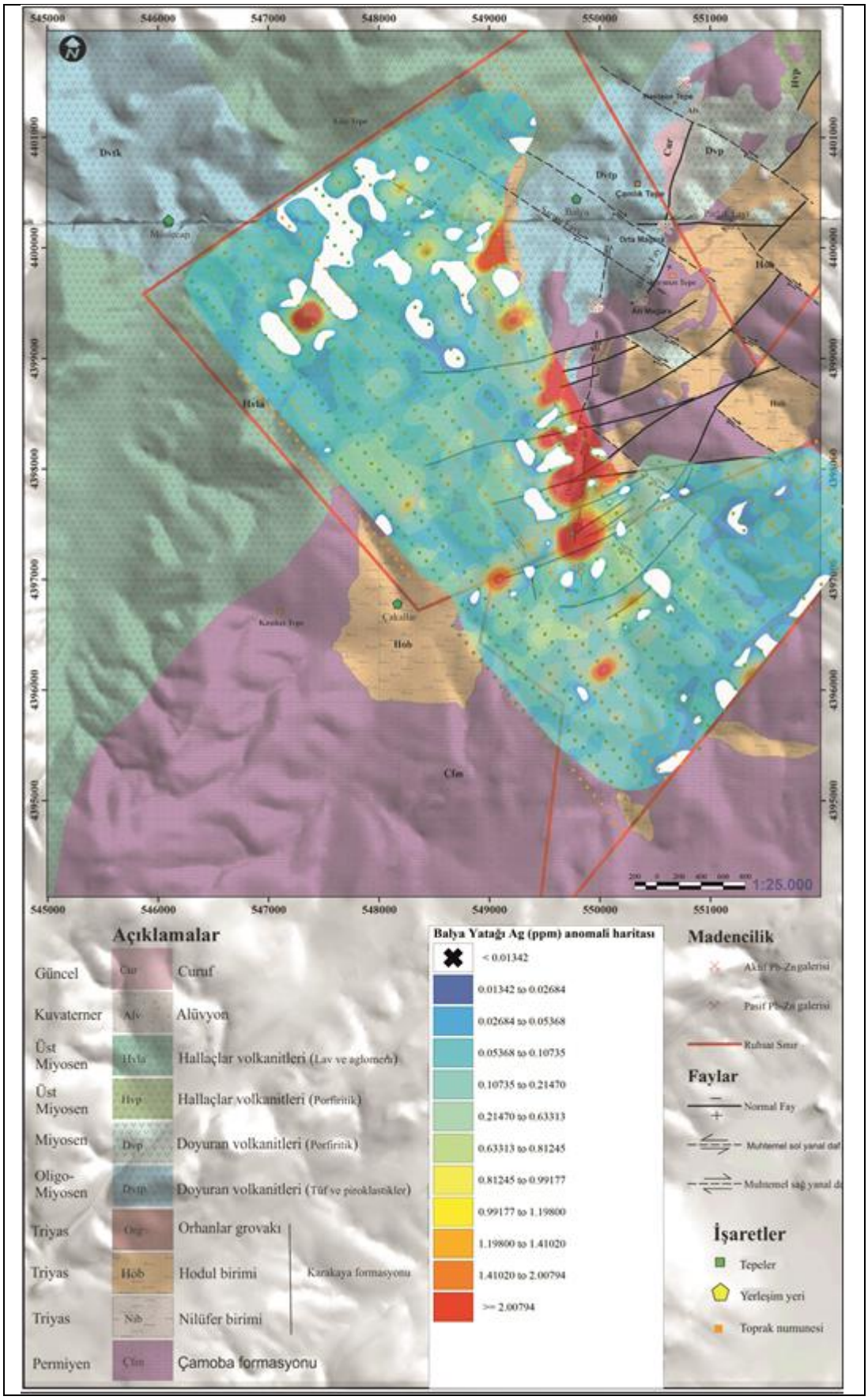
Au dağılımları Darıderesi Fayı boyunca Pb, Ag, As, Sb ve kısmen de Hg element dağılımlarına uyumlu olarak kuzey ve güney ruhsatı içinde 0 ppm ile 0,30 ppm arasında anomali vermektedir (Şekil 8.2). Örnekleme alanı içinde ortalama Au değeri 0,01ppm'dir (Çizelge 8.2).



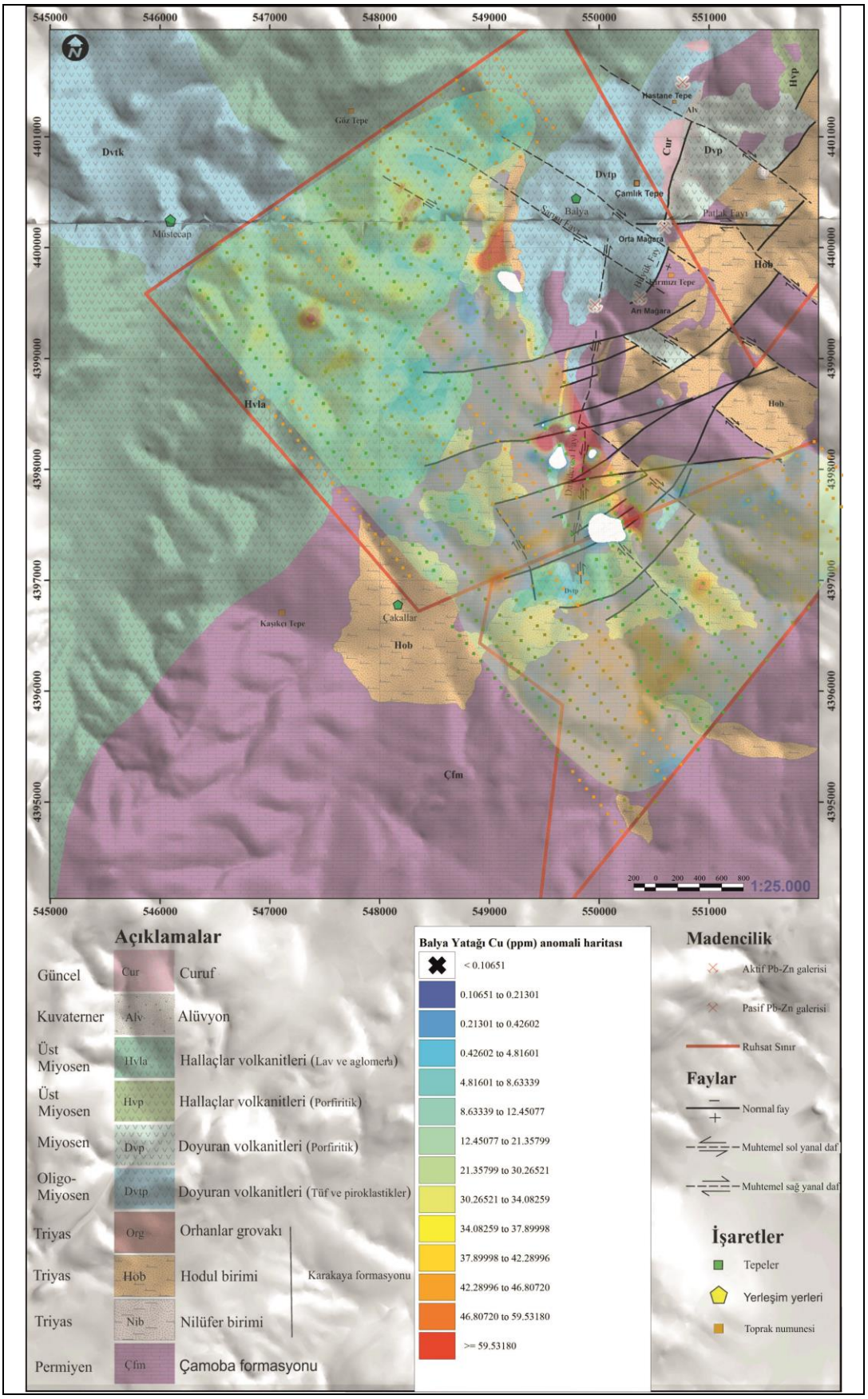
Şekil 8.1: Balya Pb-Zn Yatağı'ndaki toprak numunelerinin Pb element (ppm) dağılım haritası.



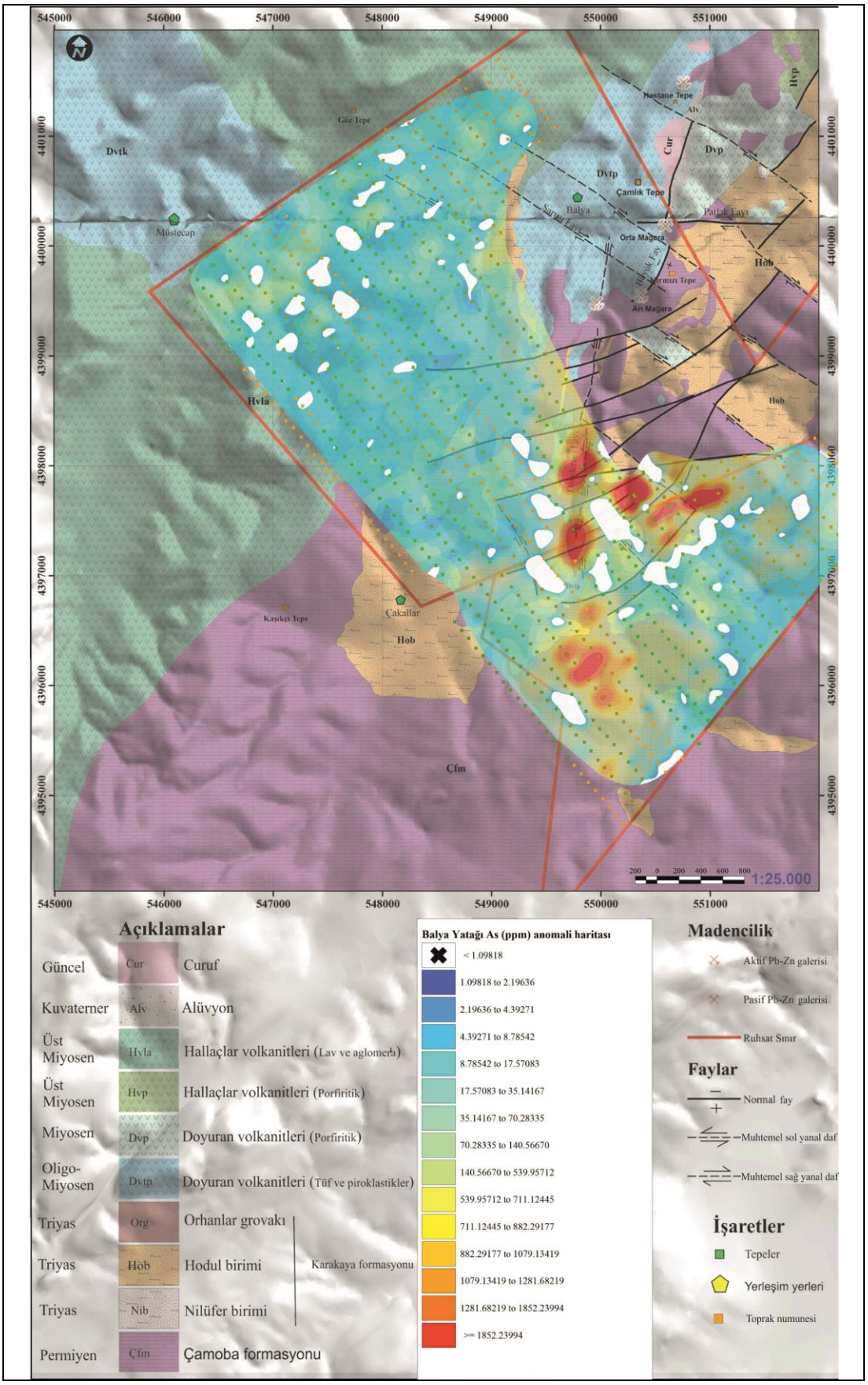
Şekil 8.2: Balya Pb-Zn Yatağı'ndaki toprak numunelerinin Zn element (ppm) dağılım haritası.



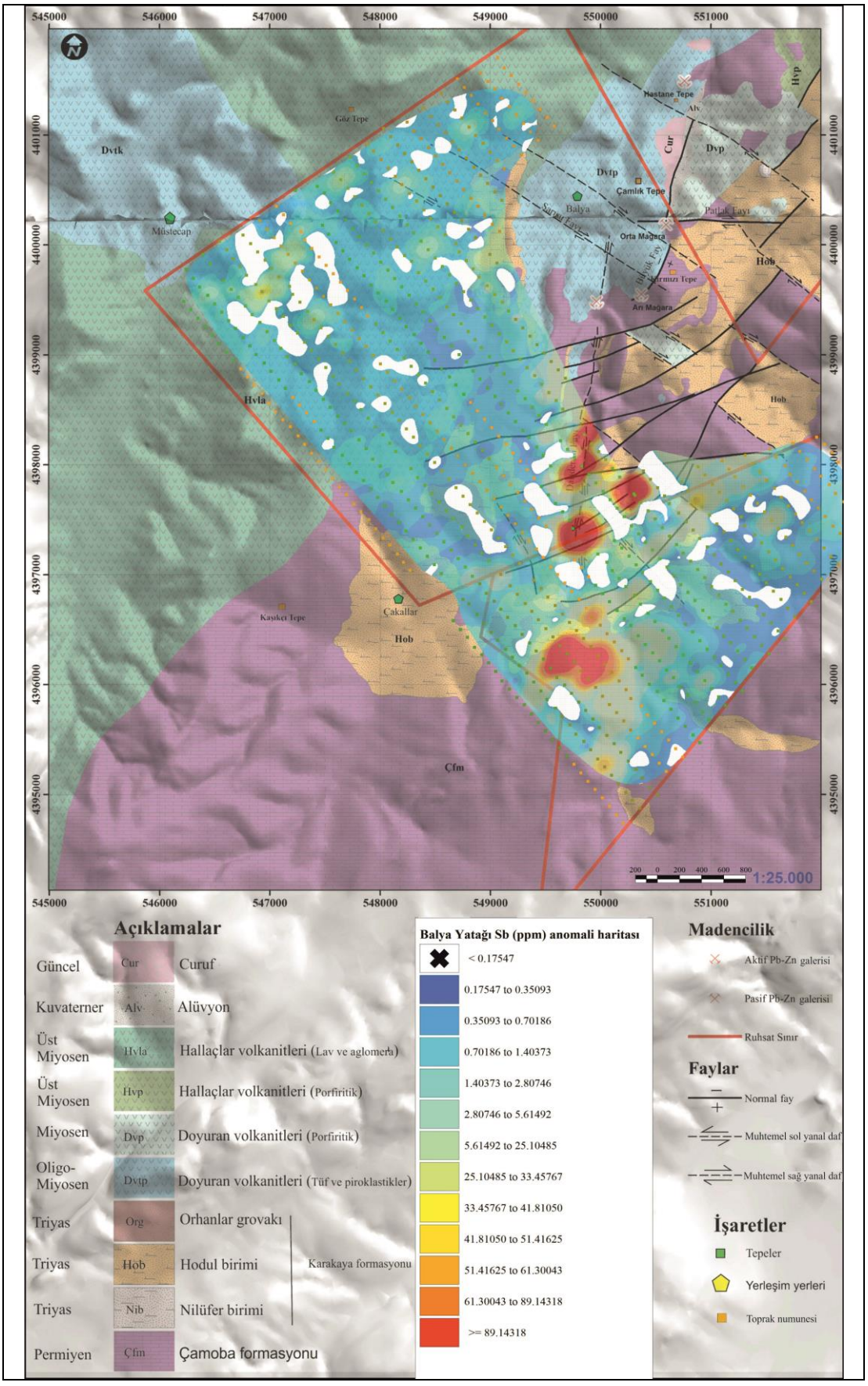
Şekil 8.3: Balya Pb-Zn Yatağı'ndaki toprak numunelerinin Ag element (ppm) dağılım haritası.



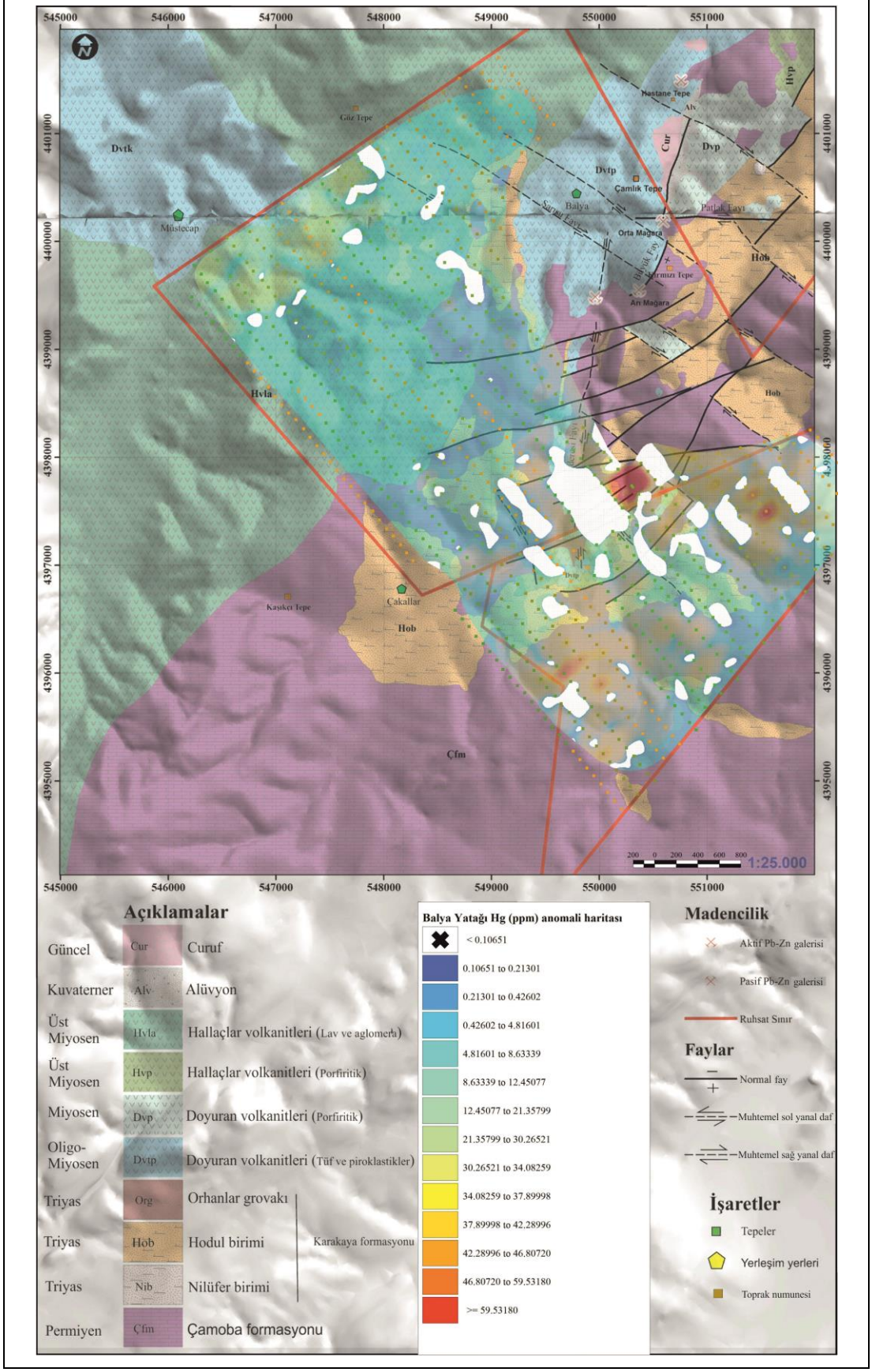
Şekil 8.4: Balya Pb-Zn Yatağı'ndaki toprak numunelerinin Cu element (ppm) dağılım haritası.



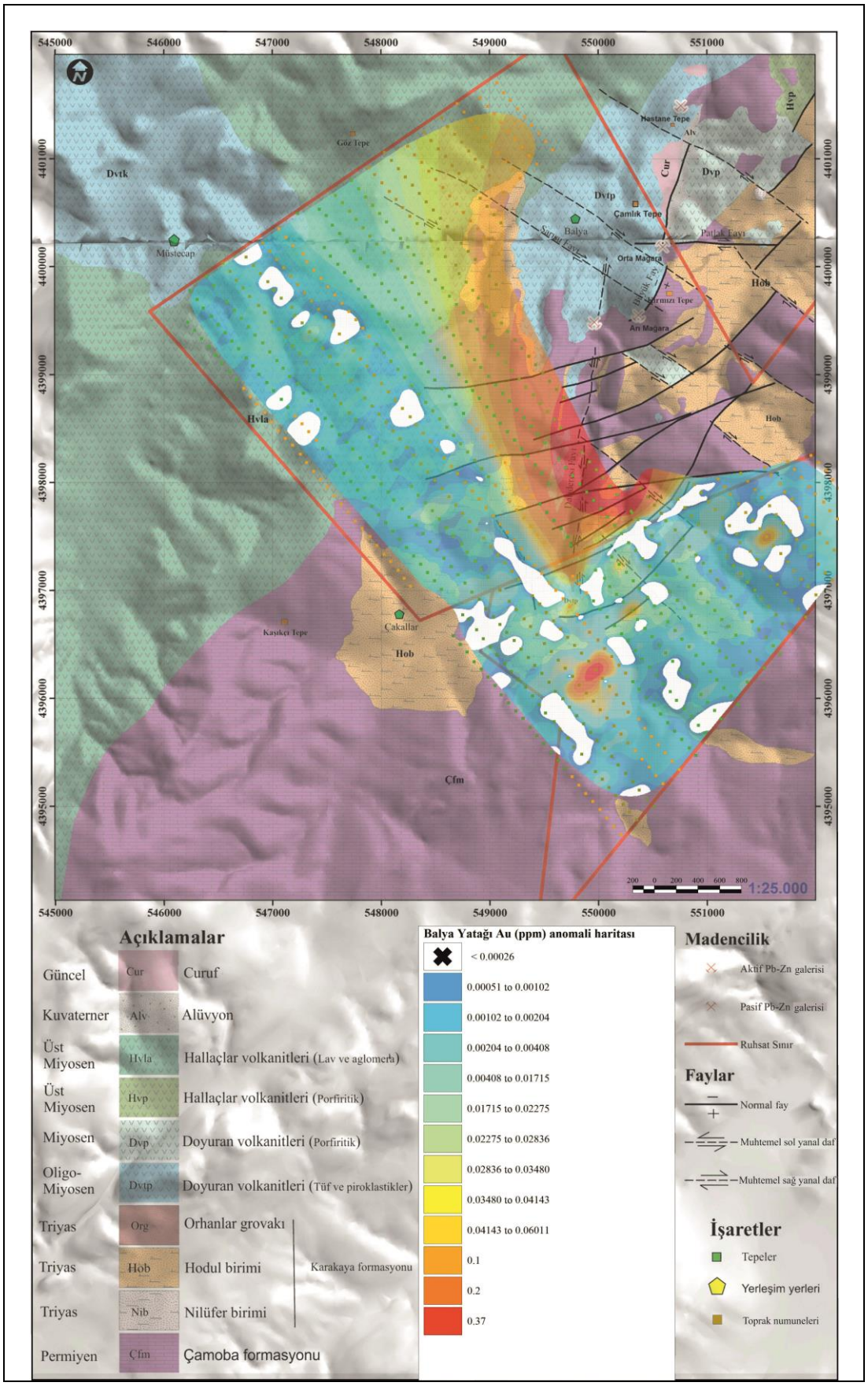
Şekil 8.5: Balya Pb-Zn Yatağı'ndaki toprak numunelerinin As element (ppm) dağılım haritası.



Şekil 8.6: Balya Pb-Zn Yatağı'ndaki toprak numunelerinin Sb element (ppm) dağılım haritası.



Şekil 8.7: Balya Pb-Zn Yatağı'ndaki toprak numunelerinin Hg element (ppm) dağılım haritası.



Şekil 8.8: Balya Pb-Zn Yatağı'ndaki toprak numunelerinin Au element(ppm)dağılım haritası.

9. İZOTOP ÇALIŞMASI

Günümüzde başta maden jeolojisi ve petroloji olmak üzere yerbilimlerinin hemen hemen her alanında birçok kökensel problemin çözümünde izotop jeokimyası çalışmalarına başvurulmaktadır.

İzotop terimi bir elementin eğer varsa farklı atom ağırlıklı atomları ve/veya türevleri için kullanılmaktadır. Bir elementin izotopları doğal olarak oluşabileceği gibi, her biri yapay olarak da elde edilebilmektedir. Doğada sadece bir izotopu bulunan elementler mono-izotop elementler, birden fazla izotopu bulanan elementler ise poli-izotop elementler olarak adlandırılmaktadır (Gökçe, 1993). Elementlerin izotoplarına ait atomlar zamanla parçalanarak veya başka bir elementin atomuna dönüşerek yok oluyorlarsa bu tür izotoplara radyoaktif/kararsız izotoplar, zamanla yok olmuyorlarsa kararlı izotoplar denmektedir (Gökçe, 1993).

Galenit, sfalerit, pirit ve kalkopirit gibi sülfürlü minerallerce zengin yatakların köken ve oluşum koşullarını araştırılmasında S (kükürt) gibi elementlerin kararlı izotoplarından faydalanılmaktadır. Benzer şekilde bu tür maden yataklarında cevher mineralleri ile yaygın bir şekilde bulunan kuvars ve kalsit gibi gang minerallerinin oluşumunda rol oynayan sıvıların kökenlerinin araştırılmasında O (oksijen) elementinin kararlı izotopları yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında Balya Pb-Zn Yatağı'nın oluşumunda etkin olan S (kükürt)'ün kökenini kısmen de olsa anlayabilmek amacı ile bazı sülfid minerallerinden sistematik olarak derlenen örnekler üzerinde S izotop çalışmaları, O (oksijen)'in kaynağı için de kuvars ve kalsit minerallerinden sistematik derlenen örnekler üzerinde O izotop çalışmaları yürütülmüştür.

9.1 Balya Pb-Zn Yatağı'nın S İzotop Bileşimleri

Balya Yatağı'na ait kükürt izotop analizleri, cevherli örneklerden ayıklanan galenit, sfalerit ve pirit örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu minerallerin Balya Pb-Zn Yatağı'nın esas cevherleşmeleri ile zaman-mekan ilişkili geç evre alterasyonlara ait

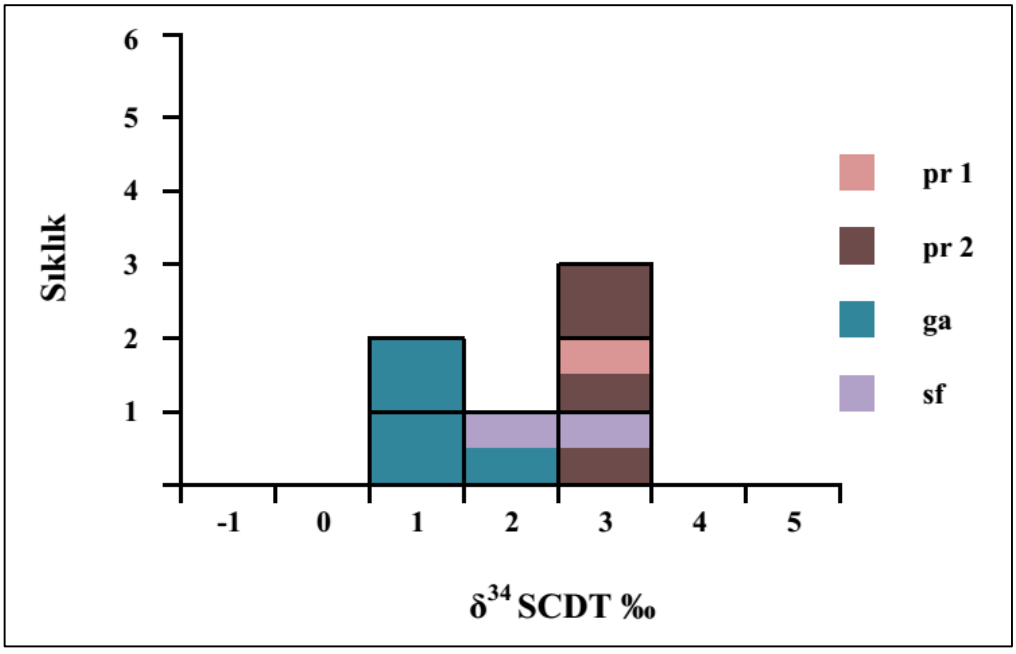
(a) erken retrograd veya retrograd-1 ve (b) geç retrograd veya retrograd-2 alterasyonları ve cevherleşmelerini temsil etmesi için gayret edilmiştir. Minerallerin ayıklandığı 32414 (pirit 1), 32395 (pirit 1), 32434 (pirit 1) örnekleri erken retrograd veya retrograd-1 alterasyonları ve cevherleşmelerine ait örnekleri, 32426 (pirit 2, galen), 722WM (galen, pirit 2, sfalerit) ve DKM (galen) örnekleri ise geç retrograd veya retrograd-2 alterasyonları ve cevherleşmelerine ait örnekleri temsil etmektedir. Seçilen mineraller $\delta^{34}S$ değerlerinin belirlenmesi amacıyla Queens Üniversitesi İzotop Laboratuvarlarına gönderilmiştir. Bu mineraller kullanılarak Balya Pb-Zn Yatağı'nın sülfid minerallerinin $\delta^{34}S$ içerikleri ve bileşim aralıkları tespit edilmiştir (Çizelge 9.1). $\delta^{34}S$ değerlerine ait frekans (sıklık) dağılımları Şekil 9.1'de verilmektedir.

$\delta^{34}S$ değerleri erken retrograd veya retrograd-1 alterasyonu ve cevherleşmelerine ait piritlerde (pirit 1) ‰ 3,5 ile ‰ 3,9 arasında değişirken, geç retrograd veya retrograd-2 alterasyonu ve cevherleşmelerine ait galenlerde ‰ 1,5 ile ‰ 2,8 arasında, sfaleritlerde ‰ 2,6 ile ‰ 3,0 arasında ve piritlerde (pirit 2) ‰ 3,4 ile ‰ 3,7 arasında dağılım göstermektedir. Yatak içerisindeki sülfidli minerallere ait $\delta^{34}S$ değerlerinin tamamı ‰ 1,5 ile ‰ 3,9 arasında sıfıra yakın ve dar bir aralıkta dağılım sergilemektedir (Çizelge 9.1 ve Şekil 9.2).

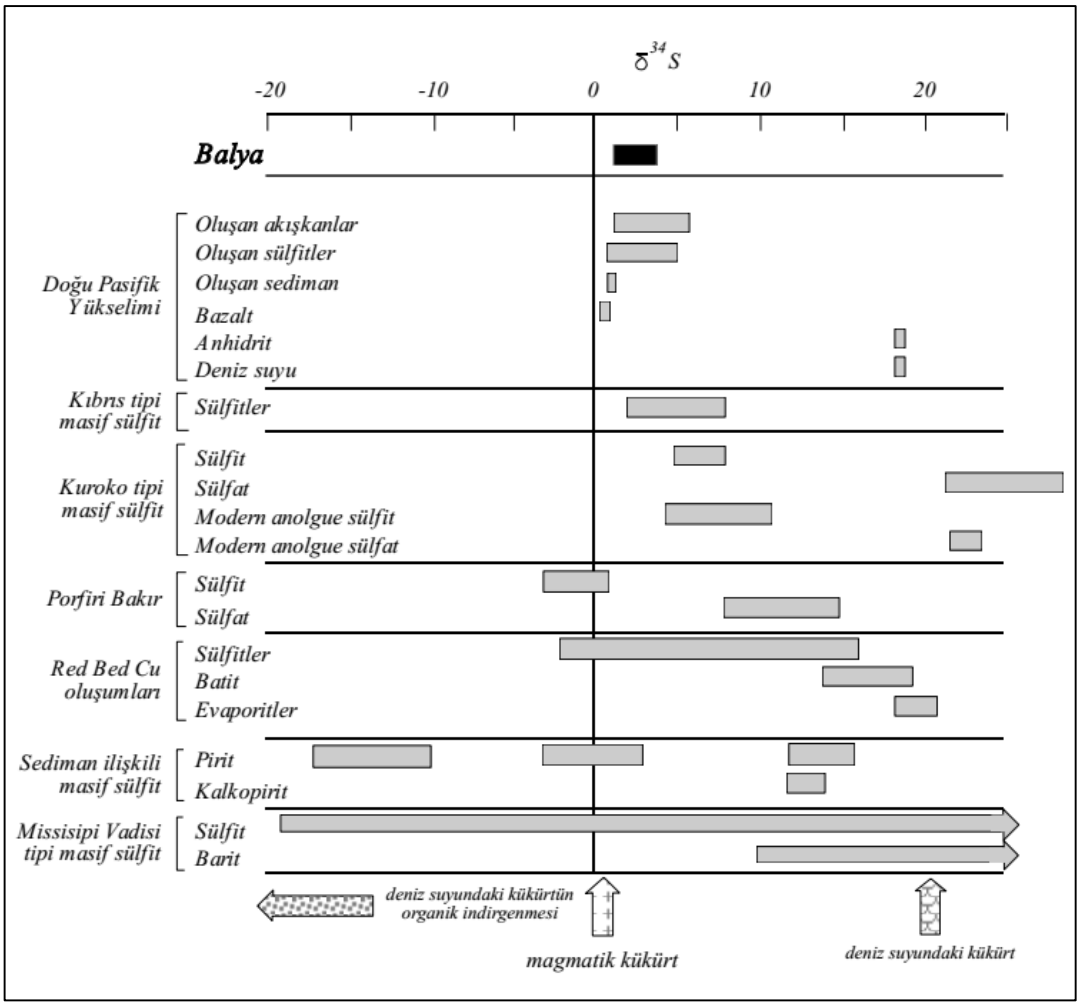
Skarn yataklarına ait pirit, pirotin, bornit, galen, molibdenit ve sfalerit gibi sülfidli minerallerden elde edilen $\delta^{34}S$ değerlerinin çok dar bir aralıkta dağılım sunduğu ve bu değerlerinde magmatik kökenli sıvalara işaret ettiği bilinmektedir (Shimuzu ve Liyama, 1982; Layne vd., 1991; Kuscu ve Meinert, 2001; Demirela, 2011; Akıska vd., 2013). Örneğin Japonyadaki Tsamo skarnlarında, Shimazaki ve Yumamato (1979) $\delta^{34}S$ değerlerinin -1,7 ile +0,7 arasında 0'a çok yakın ve dar bir aralıkta dağılım sergilediğini tespit etmişlerdir (Akıska 2010, Demirela 2011; Akıska vd., 2013). Ancak bazı distal Pb-Zn skarnlardan derlenen minerallerde yapılan S izotop çalışmaları, cevherleşmeye neden olan akışkanın, S'ü içerisinden geçtiği evaporitlerden veya benzeri sedimanter kayaçlardan aldığına işaret eden ve daha geniş aralıklarda dağılım sergileyen değerler içerebildiğini ortaya koymuştur (Meinert, 1992).

Çizelge 9.1 : Galen (ga), sfalerit (sf), ve pirit (pr) minerallerine ait $\delta^{34}S$ değerleri (CDT: Canyon Diablo Troilite, ABD-Arizona'daki bir meteoritin değerine göre).

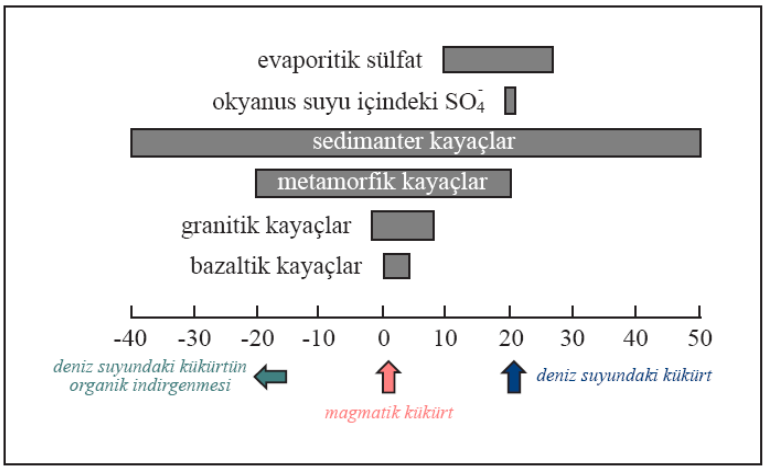
Evre	Örnek No	Mineral	$\delta^{34}S$ VCDT ‰
Retrorad-2	32426_G	ga	2,8
	32426_P	pr	3,7
	722WM_S	sf	2,6
	722WM_P	pr	3,4
	722WM_G	ga	1,7
	DKM_G	ga	1,5
	DKM_S	sf	3
	32414_P	pr	3,5
Retrograd-1	32434_P	pr	3,5
	32395_P	pr	3,9



Şekil 9.1: Galen (ga), sfalerit (sf) ve pirit (pr) minerallerine ait $\delta^{34}S$ CDT‰ frekans dağılımları.



Şekil 9.2: Hidrotermal maden yataklarında kükürt içeren minerallerin $\delta^{34}S$ değerleri ve Balya Yatağı'na ait $\delta^{34}S$ değerlerinin dağılımı (Kerridge vd. (1983), Ohmoto ve Rye (1979), Halbach vd. (1989), Naylor vd. (1989) ve Eldridge vd. (1988) çalışmalarını derleyen Rollinson, 1993'den aynen alınmıştır).



Şekil 9.3: Çeşitli kayaç gruplarının $\delta^{34}S$ değerleri ile evaporitik ve okyanus suyu içindeki sülfatların $\delta^{34}S$ değerleri (Hoefs, 1987'den alınmıştır)

Çalışma sahasına ait sülfidli minerallerin sıfıra yakın $\delta^{34}S$ değerleri içermesi ve sıfıra yakın bir aralıkta seyretmesi sistemdeki S'ün kaynağı olarak magmatik bir kökene işaret etmektedir. İzotop çalışmaları ile elde edilen $\delta^{34}S$ değerleri magmatik sıvıların bünyesindeki S'ün çok fazla değişime uğramadığını, porfiri ve skarn tipi yatakların $\delta^{34}S$ değerleri ile de uyum içinde olduğunu göstermektedir (Şekil 9.2 ve 9.3).

Sonuç olarak tüm bu veriler, Balya Pb-Zn Yatağı'nda analizi yapılan sülfidli minerallerin bünyesindeki kükürtün kaynağı olarak magmatik bir kökene işaret etmektedir.

9.2 Balya Pb-Zn Yatağı'nın O İzotop Bileşimleri

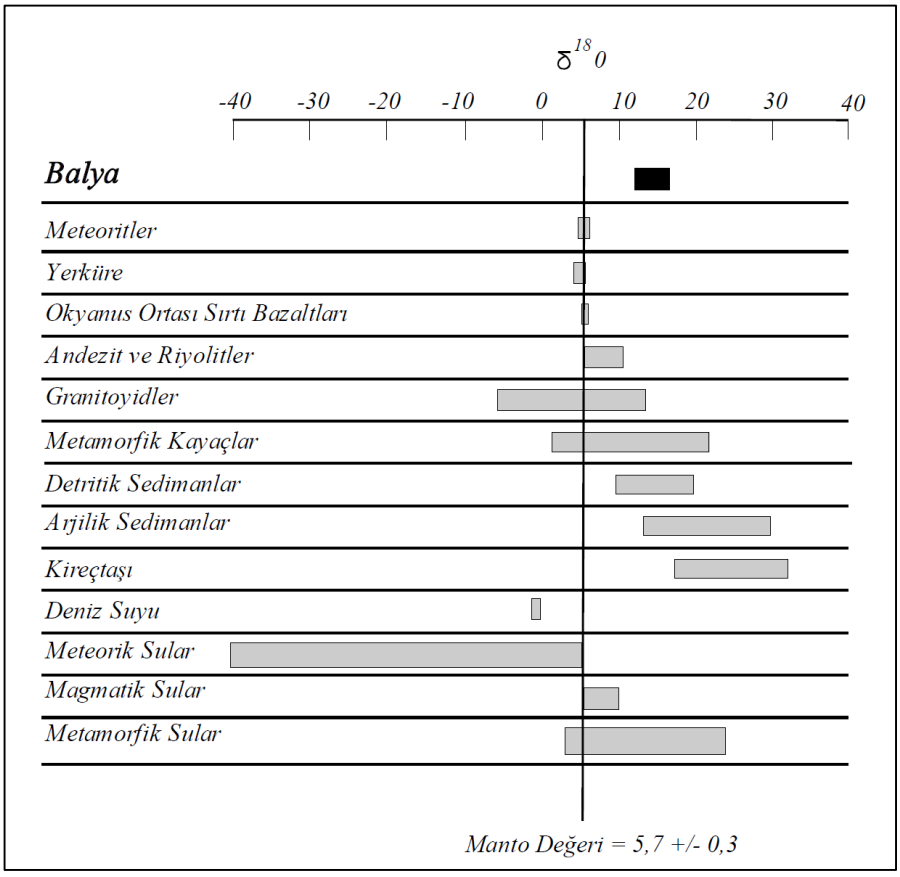
Balya Yatağı'na ait O izotop bileşimleri, cevherli örneklerden ayıklanan kuvars ve kalsit örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu mineraller (a) birinci faz alterasyonlar ve cevherleşmeler ve (b) ikinci faz alterasyonlar ve cevherleşmelerin içerdiği minerallerden seçilmesi öngörülmüş ve calismalar bu yönde sürdürülmüştür. Ancak, sülfid minerallerinin ayıklanmasında karşılaşılaşılan sorunlar burada da karşılaşılmış olup ikinci faz alterasyonları ve cevherleşmelerine ait örneklerde gözlenen minerallerin elle ayıklamaya yeterince müsait olmaması ve bazı ikinci faz alterasyonları ve cevherleşmelerine ait örneklerde çeşitli boyutlarda birinci faz alterasyonları ve cevherleşmelerine ait minerallerin bulunması ve bu minerallerin de birbirinden kesin olarak gözle ayırt edilememesi ayıklama işlemini güçleştirmiştir. Minerallerin ayıklandığı 32434 (kuvars) örnekleri erken retrograd veya retrograd-1 alterasyonu ve cevherleşmelerine ait örneği, 32426 (kuvars), 32225 (kalsit), 32414 (kalsit) ve B-2 (kalsit) örnekleri geç retrograd veya retrograd-2 alterasyonu ve cevherleşmelerine ait örnekleri temsil etmektedir. Seçilen mineraller $\delta^{18}O$ değerlerinin belirlenmesi amacıyla Queens Üniversitesi İzotop Laboratuvarlarına gönderilmiştir. Bu mineraller kullanılarak Balya Pb-Zn Yatağı'na ait kuvars ve kalsit minerallerinin $\delta^{18}O$ içerikleri ve dağılımları tespit edilmiştir (Çizelge 9.3).

Erken retrograd veya retrograd-1 alterasyonu ve cevherleşmelerine ait kuvars mineralinden elde edilen $\delta^{18}O$ değeri ‰ 13,8, geç retrograd veya retrograd-2 alterasyonu ve cevherleşmelerine ait kuvars mineralinden elde edilen $\delta^{18}O$ değeri ‰ 16,6 olup bu evreye ait kalsit minerallerinin $\delta^{18}O$ değerleri ile ‰ 12,7 ile ‰ 15,9 arasında değişmektedir. Yatak içerisindeki kuvars ve kalsit minerallere ait $\delta^{18}O$

değerlerinin tamamı ‰ 12,7 ile ‰ 16,6 arasında dar bir aralıkta dağılım sergilemektedir (Çizelge 9.2 ve Şekil 9.4).

Çizelge 9.2: Kuvars (ku) ve kalsit (ka) minerallerine ait $\delta^{18}O$ değerleri (VSMOW: Vienna Standard Mean Ocean Water)

Evre	Örnek No	Mineral	$\delta^{18}O$ VSMOW ‰
Retrograd-2	32426_Q	ku	16,6
	32225_C	ka	12,7
	32414_C	ka	14,0
	B_2	ka	15,9
Retrograd-1	32434_Q	ku	13,8



Şekil 9.4: Çeşitli kayaç gruplarının ve suların $\delta^{18}O$ değerleri ve Balya Yatağı'na ait $\delta^{18}O$ değerlerinin dağılımı (Rollinson, 1993'den aynen alınmıştır).

Balya Pb-Zn Yatağı'na ait $\delta^{18}O$ değerleri çeşitli kayaç gruplarının ve suların $\delta^{18}O$ değerleri ile karşılaştırıldığında metamorfik, sedimanter ve kısmen de granitik kayaçlara yakın aralıklarda dağılım sergilediği görülür. Bu durum kayaç ve su arasındaki etkileşimlerin orijinal akışkanın izotop oranlarında değişikliğe neden olduğunu göstermektedir (Şekil 9.4).

10. TARTIŞMA

Biga Yarımadası metasedimanter/metamorfik ile granitoyid ve volkanik kayaçların mekansal olarak bir arada gözlendiği hemen hemen heryerde değişik boyutlarda ekonomik veya ekonomik olmayan birçok Pb-Zn±Cu±Ag±Au yatak ve zuhuru içermektedir.

Balya Pb-Zn cevherleşmelerinin, (a) Doyuran volkaniklerinin dasitik tüf ve piroklastikler ile kireçtaşları (Çamoba formasyonu), konglomera, çakıltaşı (Karakaya formasyonu), kumtaşı ve silttaşı (Hodul birimi) arasındaki tektonik ve/veya intrüzif dokanaklar boyunca, (c) Hallaçlar volkaniklerine ait andezit daykların dasitik tüf ve proklastikler ile olan yerleşim dokanakları boyunca, (d) andezitik daykların kireçtaşları ve Karakaya formasyonu birimlerine ait litolojiler ile olan dokanakları boyunca, (e) Çamoba formasyonu kireçtaşları ve Karakaya formasyonu içerisinde tanımlanan Hodul birimine ait silttaşı ve siltli kumtaşı ile dasitik tüf ve proklastiklerin kırık çatlak düzlemleri boyunca ve (f) Karakaya formasyonuna ait birimlerin tabakalanma düzlemleri boyunca izlenmesi; dokanak, fay, kırık, çatlak gibi süreksizlik düzlemlerinin cevherleşmeler sırasında etkin olan cevherli hidrotermal çözeltilerin hareketi ve göçü için uygun kanal vazifesi görmesi ile ilgili bir durumdur. Akışkan-yankayaç etkileşimleri doğal olarak bu kanallar boyunca gerçekleşeceğinden cevherleşmeler de esas olarak bu kesimlerde yoğunlaşacaktır (Demirela vd. 2014).

Bölgede yapısal unsurlara ait çizgisellikler arazi çalışmaları ve uzaktan algılama çalışmalarıyla tespit edilmiş ve bunlar jeoloji ve maden jeolojisi haritalarına aktarılmıştır. İnceleme alanı içinde Büyük Fay, Darıderesi Fayı, Sarısu Fayı ve Patlak Fayı olmak üzere farklı doğrultulara sahip dört önemli fay bulunmakta olup cevherleşmeler açısından en önemlisi Büyük Fay'dır. Eğim atımlı normal fay karakterindeki Büyük Fay sağ yanal doğrultu atımlı olası daha genç faylar tarafından ötelenip sınırlanırken inceleme alanının kuzey doğusu ile Balya ve Kırmızı Tepe'nin güneyinde Büyük Fay'a paralel normal faylar da gözlenmektedir. Kırmızı Tepe ile Hastane Tepe arasında kalan alanda Büyük Fay boyunca gelişmiş fay, kırık ve çatlak

düzlemlerinde Pb, Zn ve Cu cevherleşmeleri gözlendiğinden Büyük Fay'a paralel fay ve kırık düzlemleri de cevherleşme potansiyeli açısından önemlidir. Olası Darıderesi Fayı ile uyumlu kırık çatlak düzlemleri boyunca yüzeyde mangan zenginleşmeleri görülmektedir. Kırmızı Tepe'nin güneyinde Büyük Fay'a uyumlu ve yaklaşık KD-GB doğrultulu faylar ile Darıderesi Fayı'nı kesen örnekleme hatlarından derlenen toprak numunelerinin jeokimyasal analiz sonuçlarından elde edilen Pb, Zn, Ag, Au, As ve Hg elementlerindeki pozitif anomoliler esas olarak Darıderesi Fayı üzerinde gözlenmekte olup bu pozitif anomoliler Darıderesi Fayı ile Büyük Fay'a uyumlu fayların kesiştiği alanlarda yoğunlaşmaktadır. Patlak Fayı'na ait kırık-çatlak düzlemlerinde cevherleşme izine rastlanmazken, Sarısu Fayı ile ilişkili kırık-çatlak düzlemlerinde çok az miktarlarda pirit ve realgar oluşumları gözlenmektedir. Bu fay düzlemi üzerinde Fransızlar tarafından açılmış eski arama galerileri incelendiğinde ekonomik bir cevherleşmeye dair bulgu olmadığı görülür.

Bölgede yer alan sülfid cevherleşmelerine ait ölçümlerin hem yüzeyde hem de derinlerde (sondaj kuyularında) aynı yönlerde baskın olarak gözleniyor olması, bölgedeki cevherleşmeleri kontrol eden yapısal unsurların derinlerde de devam ettiğine işaret etmektedir. Ayrıca, sülfid cevherleşmeleri ile kalsit damarlarına ait gül diyagramları karşılaştırıldığında K60-80 yönlerindeki kalsit damarları hariç, diğer tüm kalsit damarları ile sülfid cevherleşmelerinin aynı yönlerde baskın hale geldiği görülmektedir. Bu da (1) karbonatlaşma ile sülfid cevherleşmelerinin eş yaşlı olabileceğini veya (2) kalsit oluşumu ile sülfid cevherleşmelerinin aynı yapısal unsurları kullandığını göstermektedir. Bu durumda bölgede haritalanmış olan ve sondajlarda tespit edilmiş olan fay ve kırık sistemlerine ait baskın yönler ile sülfid ve kalsit damarlarının korelasyonunun ve karşılaştırılmasının yapılması gerekmektedir. Şekil 7.21 ve Şekil 7.22 karşılaştırıldığında ana kırık yönleri ile ana sülfid ve kalsit damarlarının birbiriyle uyumlu olduğu görülmektedir. Bu da bölgedeki ana kırık yönlerinin cevherleşmelerden önce de var olduğunu ve cevher oluşturan akışkanların bu kırık sistemlerini kullanarak cevherleşmeleri gerçekleştirdiğini önermektedir.

Alterasyon ve cevherli zonların haritalama çalışmaları, karot loglamaları, alterasyon mineralojisi ve petrografisi çalışmaları ile cevher mineralojisi incelemeleri Balya Yatağı'ndaki Pb-Zn cevherleşmeleri ve son yıllarda ekonomik hale gelen Cu-Au cevherleşmelerinin esas olarak (1) susuz ve görece yüksek sıcaklıklı kalk-silikat mineral toplulukları ile temsil edilen erken evre (prograd kalk-silikat) alterasyonlar ve

(2) hem sulu ve görece düşük sıcaklıklı kalk-silikat mineral toplulukları hem de kil mineralleri ile temsil olunan geç evre alterasyonları ile zamansal ve mekansal ilişki halinde olduğunu göstermektedir. Balya cevherleşmelerinde izlenen, görece olarak ilk oluşan ve daha yüksek sıcaklıklara özgü granat ve ortopiroksen gibi mineral toplulukları erken evre (prograd kalk-silikat) alterasyonlar olarak tanımlanmaktadır. Prograd evre alterasyonlar hem sülfid (galen, sfalerit, kalkopirit ve pirit) hem de demiroksit (magnetit-hematit) cevherleşmelerinin gözlenmediği alterasyonlardır. Yatak içinde cevherleşmeler, prograd evre alterasyonların daha düşük sıcaklıklı ve sulu mineral toplulukları tarafından üzerlendiği geç evre alterasyonlara ait erken retrograd ve geç retrograd alterasyonların gelişimiyle zamansal ve mekansal olarak ilişkili olarak izlenmekte olup prograd kalk-silikat alterasyonlar cevherleşme açısından kısır oluşumlardır.

Balya Pb-Zn Yatağı'nda derinlere doğru erken retrograd alterasyonlar prograd kalk-silikat alterasyonları üzerleyen ve yer yer ve/veya tamamen silen görece daha düşük sıcaklıklara özgü aktinolit, epidot 1, klorit ve kuvars 1 mineralleri ile temsil edimekte olup arsenopirit, manyetit, kalkopirit ve altın cevherleşmeleri içermektedir. Geç retrograd alterasyonlar epidot 2, kalsit ve kuvars 2 ile karakterize edilen ve yatak içerisindeki esas ekonomik galen, sfalerit ve kalkopirit cevherleşmelerini içermektedir. Erken retrograd alterasyonunun ilk cevher mineralinin arsenopirit olduğu, bunun daha sonra manyetit ve kalkopirit tarafından ornatıldığı; bu olayın daha çok epidot-kloritleşme ve silisleşmeyle eş zamanlı olduğu; daha sonra ise galen ve sfalerit gibi geç retrograd cevherleşmelerinin karbonatlaşma ile birlikte oluştuğu ve erken retrograd cevher minerallerini (arsenopirit, magnetit ve kalkopirit) ornatarak yerleşmiş olduğu düşünülmektedir (Kuşcu, 2012). Au ile mekansal birliktelik sergileyen pirit-pirotin evresini kontrol eden silisleşmenin baz metal evresini kontrol eden karbonatlaşma evresinden önce olduğu göz önüne alındığında Balya Yatağı'ndaki altın cevherleşmesi ile baz metal cevherleşmesinin biribirinden bağımsız veya en azından farklı zamanlarda oluşması gerektiği ortaya çıkmaktadır (Kuşcu, 2012). Erken retrograd evre alterasyonları ve cevherleşmeleri olasılıkla Doyuran volkanitlerine ait altere dasit porfirler ile mekansal ilişki halinde izlenirken geç retrograd evre alterasyonları ve cevherleşmeleri Hallaçlar volkanitlerinin andezitik daykı ile mekânsal birliktelik sergilemektedir. Andezit daykı ile bu daykın kenar zonları boyunca gözlenen Pb-Zn cevherleşmeleri arasındaki böylesi bir birliktelik,

daykın yerleşimi sırasında sistemin remobilizasyonuna neden olarak yeniden zenginleşmesine sebep olabileceği ihtimalini de düşündürmektedir.

Ayrıca ileri derece arijilik alterasyona uğramış dasidik kayaçların kırık ve kılcal çatlakları içinde galen damar ve damarcıkları (birkaç mikron ile bir santimetre arasında) izlenmesi (Kuşcu, 2014; 2015) ve galenin psödomorfik boşlukları dolduruyor olması galen cevherleşmesinin daha önceden oluşmuş olan ileri derece arijilik alterasyondan daha sonra oluşması gerekliliğini de ortaya koymaktadır (Kusçu, 2015). Bu nedenle, Balya bölgesinde işletmesi yapılan Pb cevherleşmesinden başka burada örneği verilen daha farklı ve ikinci bir galen cevherleşmesi olması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Balya Pb-Zn Yatağının kalk-silikat mineraller ile temsil edilen prograd ve retrograd kalk-silikat alterasyonlara özgü alterasyon mineralojisi (granat, piroksen, aktinolit, klorit, epidot, kuvars vb.) bölgedeki diğer cevherleşmeler ile karşılaştırıldığında, karbonatlı yankayaçlara sahip diğer cevherleşmelere benzer kalk-silikat mineral parajanezlerine sahip olduğu görülür. Ancak böylesi yataklarda gözlenen kalksilikat mineral topluluklarının haritalanabilecek boyutta bir alterasyon zonu oluşturmadığı da bilinmektedir (Çataltepe, Handeresi, Bağırkaç ve Fırıncıkdere). Ayrıca bölgede karbonatlı yankayaçlardan yoksun metamorfitler ve altere volkanik kayaçlar ile zamansal-mekansal olarak ortaya çıkmış Pb-Zn cevherleşmelerinin (Sofular cevherleşmesi hariç) başta granat olmak üzere piroksen, aktinolit ve tremolit gibi diğer kalk-silikat minerallerini içermediği bilinmektedir (Demirela, 2011). Bu tür cevherleşen sistemlerde alterasyonlar ve cevherleşmelerin oluşumu sırasında Ca'un ortamda yeterince bulunmaması granat oluşumunu kısıtlayan en önemli faktör olmalıdır.

Yatak içerisinde Pb-Zn skarn tipi sistemlere özgü kalksilikat mineral toplulukları ile temsil edilen skarn alterasyonlarından başka, ortaç ve yüksek sülfidasyon tipi epitermal sistemlere özgü arjilik alterasyon ve onu üzerleyen karbonatlaşma ve ileri derece arijilik alterasyonlar gözlenmektedir. Bunun yanında retrograd alterasyonlara özgü epidot, klorit, kuvars ve kalsit gibi mineral topluluklarının epitermal sistemlere özgü propillitik alterasyonlara da karşılık gelebileceği göz önüne alınmalıdır. Ayrıca yatak içerisinde porfiri Cu-Au tipi sistemlere özgü serizit-kuvars-pirit veya kuvars-serizit-pirit alterasyonu da gözlendiği dikkate alınmalıdır. Bu durum yatak içerisindeki cevherleşmelerin kökensel olarak sınıflamasını güçleştirdiği gibi sadece kalk-silikat

minerallerine dayanılarak yatağın doğrudan Pb-Zn skarn tipi yatak sınıfına dahil edilemeyeceğini de göstermektedir.

Biga Yarımadası Pb-Zn cevherleşmelerinin oluşumunda, magmatizmanın rolü üzerine halen tartışmalar devam etmektedir. Araştırmacıların bir bölümü cevherleşmeleri kökensel olarak özellikle Tersiyer yaşlı granodiyorit bileşimli plütonik sokulumlarla ilişkilendirirken, bir bölümü de özellikle Tersiyer yaşlı dasitik bileşimli subvolkanik yerleşimlerle ilişkilendirmektedir (Ovalıoğlu, 1973; Arvas ve Önder, 1976; Yücelay, 1976; Özocak, 1977; Çağatay, 1980; Çetinkaya, 1983; Anıl, 1984; Tufan, 1993; Wagner vd., 1983; Orgün vd., 2005; Aysal vd., 2006). Ayrıca literatürde cevherleşmelerin bazılarının sedimantasyonla eşyaşlı olarak ortaya çıktığı ve sonrasında da bölgesel metamorfizma ve magmatik faaliyetler neticesinde remobilize olarak yeniden zenginleştiğine dair görüşler de bulunmaktadır (İlbars vd., 2010).

İnceleme alanında ilk olarak Kovenko (1940) tarafından Balya cevherleşmelerinin kontak metasomatik işlemlere bağlı olarak ortaya çıktığını ve cevherleşmelerin mor menekşe renkli dasit-liparit daykları ile ilişkili olduğunu ifade etmiştir. Balya Pb-Zn Yatağı'nda ilk kapsamlı sondajlı arama çalışmaları 1973-1980 yıllarında MTA tarafından yapılmış olup bu çalışmalar neticesinde Balya cevherleşmelerinin kontak metasomatik yataklara olan benzerliği Akyol (1977) tarafından vurgulanmıştır. Çağatay (1980) ise Balya Pb-Zn cevherleşmeleri üzerine yaptığı minerolojik incelemeler sonucunda Balya Yatağı'nın skarn tipi yataklara benzer özellikler sergilediğini vurgulayarak, cevherleşmeleri kökensel olarak Yenice civarındaki granodiyoritik intrüzyonlar ile ilişkilendirmiştir. Öztunalı (1981) ise cevherleşmeleri yakındaki bir granodiyoritik sokulumla ilişkili olarak ortaya çıkmış hidrotermal bir yatak olarak sınıflamıştır. Ancak Pb-Zn skarn tipi yataklar için her nekadar endoskarn zonlarının varlığı yatakların skarn sınıfına dahil edilmesinde gerekli bir şart değilse de literatürde Biga Yarımadası'nda skarnlara özgü kalk-silikat mineral toplulukları barındıran Pb-Zn cevherleşmelerinin gözlendiği alanlarda endoskarnlara dair bir bilginin bulunmaması dikkat çekmektedir (Demirela, 2011; Demirela vd., 2014).

İlk defa Ağdemir vd. (1994) Balya Pb-Zn Yatağı çevresinde taze ve altere kayaç örnekleri üzerinde yürüttükleri K-Ar radyometrik yaşlandırma yöntemi ile andezitler ve alterasyonlar için 25,3±1,2 milyon yıllık jeokronolojik yaş bulgusuna ulaştığı gibi Çamlık Tepe ve Kırmızı Tepe arasında kalan yaklaşık 5 km^2'lik bir alandan derlediği yüzey numuneleri üzerindeki XRD analizleri ve ince-parlak kesit incelemeleri

sonucunda Tersiyer yaşlı volkanik kayaçlar üzerinde gelişmiş alterasyonları (1) piropilitik alterasyon ile hidrotermal mineral birlikteliği; kalsit-dalphinit-albit-epidot-kuvars-pirit, (2) arijilik-fillik alterasyon mineral birliktelikleri; serizit/muskovit-kaolen-muskovit-rutil-kuvars-pirit ve (3) ileri arijilik alterasyon mineral birliktelikleri; alunit-jarosit-kaolen-kuvars-serizit-pirit zonlarına ayırmış ve bu alterasyon zonlarına dayanarak yatağın epitermal sistemlere benzer özellikler sergilediğini öne sürmüştür.

Tez kapsamında Kırmızı Tepe civarında yüzeyde, yeraltı üretim galerinde ve karot numuneleri üzerinde yapılan gözlem ve incelemeler sırasıyla Doyuran volkanitlerine ait dasidik tüf ve piroklastik kayaçlara sokulum yapan subvolkanik dasit porfir ile zamansal-mekansal ilişki halindeki (1) kuvars-serizit-pirit ve (2) ileri arjilik alterasyonlar ile temsil edilen bölgesel alterasyonların Hallaçlar volkanitlerine ait genç andezitik dayklar tarafından kesildiğini göstermektedir. Andezitik daykların Doyuran volkanitlerinin bölgesel alterasyonlara uğramış bu türden altere kayaçlarıyla intrüzif dokanaklarından itibaren izlenen (3) erken evre (prograd kalk-silikat) alterasyonlar görece ilk oluşan alterasyonlar olmalıdır. Sonrasında andezitik daykların kenar kesimlerinden itibaren ortaya çıkmış (4) ortaç arjilik alterasyonun daha sonraki alterasyon ve cevherleşme alt evrelerinde oluşan (5) erken retrograd ve (6) geç retrograd alterasyonları kılıf gibi sardığı görülür. Ancak geç retrograd alterasyonlar ve cevherleşmelerinin (ekonomik Pb-Zn) andezitik dayklarla olan ilişkisi çok belirginken erken retrograd alterasyon ve cevherleşmelerinin (ekonomik Cu-Au) andezitik dayklarla mı yoksa dasit porfirler mi ilişkili olarak ortaya çıktığı net olmamakla birlikte daha ayrıntılı araştırılması gereken bir durumdur. Bu alanlarda bölgesel alterasyonlar erken ve geç evre alterasyonları çevreler şekilde izlenmektedir.

Balya Pb-Zn Yatağı'nda erken retrograd ve geç retrograd alterasyon ve cevherleşmelerinden derlenen sülfidli minerallerin sıfıra yakın $\delta^{34}S$ değerleri içermesi sistemdeki S'ün kaynağı olarak magmatik bir kökene işaret etmektedir. Dolayısıyla $\delta^{34}S$ değerleri magmatik sıvıların bünyesindeki S'ün çok fazla değişime uğramadığını, porfiri ve skarn tipi yatakların $\delta^{34}S$ değerleri ile de uyum içinde olduğunu göstermektedir.

Yatağa ait $\delta^{18}O$ değerleri metamorfik, sedimanter ve kısmen de granitik kayaçlara yakın aralıklarda dağılım sergilemekte olup erken retrograd ve geç retrograd alterasyonlar ve cevherleşmelere ait kalsit ve kuvars minerallerinin yaklaşık benzer izotopik bileşimlere sahip olduğu görülür. Bu durum yankayaçlar ve hidrotermal

akışkanlar arasındaki etkileşimler sonucunda cevherleşme sırasında orijinal sıvının giderek evrimleştiğine işaret etmektedir.

Arazi ve literatür çalışmaları sırasında Balya Pb-Zn cevherleşmeleri ile ilişkisi olabileceği düşünülen Karacadağ ve Eybek granitoyidlerinde gelişmiş bir endoskarn zonuna ait bir bulguya ulaşılamamıştır. Benzer şekilde Biga Yarımadası'ndaki cevherleşmelerin yakınında bulunan hiçbir granitoyid kütlesinde Pb-Zn cevherleşmesi ile ilgili mevcut bilgi bulunmaktadır. Çok sınırlı biçimde gelişmiş ve çoğunlukla epidotlar ve sınırlı miktarda granatlar ile temsil edilen granitoyid kesimleri çoğunlukla endoskarn olarak yorumlanmıştır (Demirela vd., 2014). Bu türden mineraller skarnlaşma (metasomatizma) neticesinde ortaya çıkacabileceği gibi, metamorfik süreçler ile ilişkili hornfelsler içinde de oluşacağı dikkate alınmalıdır (Demirela, 2011; Demirela vd. 2014). Skarn türü bir cevherleşmenin oluşmasında granitik bir intrüzyonun metamorfik kayaçları sıcak dokanakla kesmesi kesin bir şart olmamakla birlkte Pb-Zn skarn tipi cevherleşme granitik sokulumun kestiği süreksizlik düzlemi/leri boyunca göç eden akışkanlar tarafından gerçekleştirilebilir ve litaretürde bu tür yataklar distal Pb-Zn skarnlar olarak tanımlanmaktadır (Meinert, 1992; Demirela vd. 2014).

Literatürde skarn terimi sıklıkla bir yatak tipi sınıfı olarak kullanılsa da aslında porfiri Cu-Au vb. tipteki yataklarda özellikle cevherli porfiritik kütlenin sıcak dokanakla kestiği ve çoğunlukla karbonat arakatkılı metamorfik temel kayaçlarla olan dokanakları boyunca ortaya çıkmış kalk-silikat mineral toplulukları ile karakterize edilen alterasyonlara karşılık gelebilmektedir. Dolayısıyla skarn terimi bir maden yatağı sınıfını ifade ettiği gibi skarn dışındaki bazı maden yatak tiplerinde kalk-silikatik alterasyonlara veya başka bir ifade ile skarnlaşmalara da karşılık gelebilmektedir.

Skarnlaşmaların (kalk-silikat alterasyonları) ortaya çıkmasında illaki granitik bir intrüzyona gerek yoktur ve bu alterasyonlar porfiri tipi cevherleşmeler ile ilişkili subvolkanik sokumların ve bu sokulumların cevherleşmesi sırasında ortaya çıkan akışkanların metasomatik etkileriyle de bu türden sokulumlara ve cevherleşmelere yakın (proksimal) veya uzakta (distal) bulunan uygun yankayaçlar içinde gelişebileceği gözönünde bulundurulmalıdır.

Elde edilen bulgular bir bütün halinde değerlendirildiğinde Balya Pb-Zn Yatağı'nın erken retrograd alterasyon ve cevherleşmelerinin (Cu-Au) kesin olarak ispatlanamasa da gömülü porfiri Cu-Au tipi cevherleşme potansiyeline sahip subvolkanik bir sokulumla ilişkili olarak ortaya çıkacabileceği ihtimali, geç retrograd alterasyonlar ve cevherleşmelerin (Pb-Zn) ise dayk şekilli Hallaçlar volkaniklerine ait andezitik sokulumlar tarafından gerçekleştirilebileceği ortaya çıkmaktadır. Bu hali ile Balya Pb-Zn Yatağı magmatik akışlardan itibaren detritik metasedimanlardan ve meteorik sularla etkileşime girerek evrimleşmiş akışkanlar etkisi ile skarnlaşmalar (kalk-silikat alterasyonları) içeren ortaç sülfidasyon tipi bir yatağa çok daha benzer özellikler sergilemektedir.

11. SONUÇ VE ÖNERİLER

Balya Pb-Zn Yatağı'nda yürütülen arazi çalışmaları, mineralojik-petrografik incelemeler ile S ve O izotop verileri ışığında elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmaktadır:

1) Balya Pb-Zn Yatağı'na ait cevherleşmelerin yan kayaçlarını Çamoba formasyonuna ait kireçtaşları, Karakaya formasyonuna ait konglomera, çakıltaşı (Orhanlar grovakı), kumtaşı, silttaşı (Hodul birimi), çamurtaşı ve fillatlar (Nilifer birimi), Hallaçlar volkanitlerine ait andezitik dayklar ve Doyuran volkanitlerine ait dasitik tüf ve piroklastikler oluşturmaktadır.
2) Cevherleşmeler (a) Doyuran volkaniklerinin dasitik tüf ve piroklastikler ile kireçtaşları (Çamoba formasyonu), konglomera, çakıltaşıOrhanlar grovakı), kumtaşı ve silttaşı (Hodul birimi) arasındaki tektonik ve/veya intrüzif dokanaklar boyunca, (c) Hallaçlar volkaniklerine ait andezit daykların dasitik tüf ve proklastikler ile olan yerleşim dokanakları boyunca, (d) andezitik daykların kireçtaşları ve Karakaya formasyonu birimlerine ait litolojiler ile olan dokanakları boyunca, (e) Çamoba formasyonu kireçtaşları ve Karakaya formasyonu içerisinde tanımlanan Hodul birimine ait silttaşı ve siltli kumtaşı ile dasitik tüf ve proklastiklerin kırık çatlak düzlemleri boyunca ve (f) Karakaya formasyonuna ait birimlerin tabakalanma düzlemleri boyunca izlenmektedir.
3) (1) Serizit-kuvars-pirit ve (2) ileri arjilik alterasyonlar cevherleşmeler ile doğrudan ilişkisi gözlenmeyen kil ve serizit bakımından zengin bölgesel alterasyonlar olarak tanımlanmıştır.
4) (1) Erken evre (prograd kalk-silikat) alterasyonlar ve (2) geç evre alterasyonlar Balya Pb-Zn cevherleşmeleri ile son yıllarda ekonomik hale gelen Cu-Au cevherleşmeleriyle zaman-mekan ilişkisi kurulabilen alterasyonlar olarak sınıflanmıştır. Geç evre alterasyonlar kendi içinde birbirleri ile zaman-mekan ardışık (a) erken retrograd (aktinolit-epidot 1-klorit-kuvars 1), (b) ortaç arijilik ve (c) geç retrograd (epidot 2-kalsit-kuvars 2) alterasyonlar olmak üzere üç alt evreye ayrılmıştır.

5) $\delta^{34}S$ değerleri galenitlerde ‰ 1,5 ile ‰ 2,8 arasında, sfaleritlerde ‰ 2,6 ile ‰ 3,0 arasında ve piritlerde ‰ 3,4 ile ‰ 3,9 arasında dağılım göstermektedir. Yatak içerisindeki sülfidli minerallere ait $\delta^{34}S$ değerleri ‰ 1,5 ile ‰ 3,9 arasında sıfıra yakın ve dar bir aralıkta dağılım sergilemektedir.
6) Kuvars ve kalsit minerallerinden elde edilen $\delta^{18}O$ değerleri ‰ 12,7 ile ‰ 16,6 arasında dağılım sergilemektedir.
7) Mevcut izotop verileri cevherleşmelerin oluşumunda birden çok kökenli akışkanın zaman içerisinde karışıp, akışkan-yankayaç etkileşimleri ile evrimleştiğine işaret etmektedir.
8) Cevher-alterasyon-yankayaç ilişkileri, alterasyon zonlarına ait mineral toplulukları, alterasyon zonlarının zamansal ve mekânsal dağılımı ve kısıtlı izotop verileri Balya Pb-Zn Yatağı için Pb-Zn skarn tipi bir cevherleşmeden ziyade skarnlaşmalar (kalk-silikat alterasyonları veya skarn alterasyonları) içeren ortaç sülfidasyonlu bir epitermal sisteme işaret etmektedir.

KAYNAKLAR

Ağdemir, N., Kırıkoglu, S., Lehmann, B. ve Tietze, J., 1994. Petrology and alteration geochemistry of the epithermal Balya Pb–Zn–Ag deposits, NW Turkey. Miner. Deposita, v. 29, p. 366–371.

Akıska, S., 2010. Yenice (Çanakkale) Bölgesi'ndeki Cu-Pb-Zn oluşumları. A.Ü Fen Bilimleri Enst. Doktora Tezi, 234 s. (yayımlanmamış).

Akıska, S., Demirela, G. ve Sayılı, S., 2013. Geology, mineralogy and the Pb, S isotope study of the Kalkım Pb–Zn ± Cu deposits, Biga Peninsula, NW Turkey, Journal of Geosciences, 58/4, 379-396.

Akyol, Z., 1977. Balya Madeni civarının jeolojisi. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 3, 19-27.

Akyol, Z., 1979. Balya Madeni'nin jeolojisi, jeoloji Mühendisliği Dergisi, 7, 49-59.

Altunel, E., 1996. 'Pamukkale travertenlerinin Morfolojik Özellikleri, Yaşları ve Neotektonik Önemleri', MTA Dergisi 118, Ankara.

Altunkaynak, Ş. ve Genç, Ş.C., 2008. Petrogenesis and time-progressive evolution of the Cenozoic continental volcanism in the Biga Peninsula, NWAnatolia (Turkey). Lithos, v. 102, p. 316-340.

Anıl, M., 1984. Yenice (Arapuçandere-Kurttaşı-Sofular ve Kalkım-Handere) Pb-Zn-Cu Cevherleşmelerinin Köken Sorunu ve Tersiyer Volkanizmasıyla İlişkileri. Jeoloji Mühendisliği, v. 20, p. 17-29.

Arvas, H. ve Önder, İ., 1976. Biga Yarımadası Çataltepe Sahası Bakır-Kurşun Aramaları IP Etüd Raporu. MTA Derleme Rapor No: 5625, Ankara.

Aydın, E. ve Öztunalı, Ö., 1981. Biga Yarımadasındaki Pb-Zn cevherleşmelerinin oluşum koşulları İst. Ünv.Yer. Bi. Fak.Yayını. C.1. Sa.1-.2, S.91- 96.

Aygen, T., 1956. Balya bölgesi jeolojisinin incelenmesi. MTA Dergisi, p. 11, 95 pp.

Aysal, N., Öngen, S. ve Hanilçi, N., 2006. Karadoru granotoid plütonu yan kayaçlarının petrografisi ve skarn zonunun özellikleri Yenice-Çanakkale, İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi, C. 19, S. 2, SS.183-194, Y.2006.

Bingöl, E., Akyürek, B. ve Korkmazer, B., 1973. 1:25000 ölçekli çeşitli gayeli jeolojik haritalarından Biga Yarımadası jeolojisinin ön kompilasyonu. 1:100000 ölçekli jeoloji haritası (yayımlanmamış).

Brikmann, R., 1971. Kuzeybatı Anadolu'daki genç Paleozoyik ve eski Mezozoyik M.T.A, Derg Sayı: 76, Nisan 1971 Ankara.

Bozkaya, G., Bozkaya, Ö., Uysal, I. ve Banks, D., 2015. The role of illite determination of age and origin of hydrothermal fluids, Biga Peninsula, NW Turkey. European Current Research On Fluid Inclusions (ECROFI-XXIII), Leeds - UK, 27 - 29 June, 2015.

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.

Çiftçi, E., Hanilçi, N. ve Yavuz, O., 2013. Isotope (S and Pb) Geochemsitry and Fluid Inclusin Characteristics Of the Küçük Balya Pb-Zn-Ag Deposit, Balıkesir, NW Turkey, ECROFI XXXII, TURKIYE, 4-9 Haziran 2013, pp. 87-89.

Demirela, G., 2011. Çataltepe (Lapseki/Çanakkale) Pb-Zn±Cu±Ag Yatağı'nın jeolojisi ve kökeni, A.Ü. Fen Bilimleri Enst, Doktora Tezi.

Demirela, G., Akıska, S., Sayılı, S. ve Kuşcu, İ., 2014. Çataltepe (Lapseki-Çanakkale) Pb-Zn±Cu±Ag Yatağı'nın jeolojisi ve alterasyon özellikleri. Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, 35/2, 109-136.

Dilek, Y., Altunkaynak, Ş. ve Öner, Z., 2009. "Syn-extensional granitoids in the Menderes core complex, and the late Cenozoic extensional tectonics of the Aegean province". Geological Society of London, Special Publications, v. 321, p. 197-223.

Dönmez, M., Akçay, A. E., Duru, M., Ilgar, A. ve Pehlivan, Ş., 2008. Türkiye Jeoloji Haritaları Çanakkale-H17 Paftası. MTA Jeoloji Etüdleri Dairesi, 101 s.

Dönmez, M., Akçay, A.E., Genç, Ş.C. ve Acar, Ş., 2005. Biga Yarımadasında Orta-Üst Eosen volkanizması ve denizel ignimbiritler. MTA Dergisi, v. 131, p. 49-61.

Eldridge, C.S., Compston, W., Williams, I.S., Both, R.A., Walshe, J.L. ve Ohmoto, H., 1988. Sulfur isotope variability in sediment-hosted massive sulfide deposits as determined using the ion microprobe SHRIMP: I. an example from the Rammelsberg orebody. Econ Geol., v. 83, p. 443-449.

Enderle, J., 1900. Über eine anthrakolithische Fauna von Balia Maden in Kleinasien. Beitr. Pal. Öst.-Ung., 13, 49-109., WienGjelsvik (1962).

Ercan, T. ve Türkecan, A., 1984. Batı Anadolu-Ege Adaları-Yunanistan ve Bulgaristan'daki plütonların gözden geçirilişi. TJK Ketin Simpozyumu, p. 189- 208, Ankara.

Ercan, T., Ergül, E., Akçaören, F., Çetin, A., Granıt, S. ve Asutay, J., 1990. Balıkesir-Bandırma arasının Jeolojisi, Tersiyer volkanizmasının petrolojisi ve bölgesel yayılımı MTA Dergisi, 110, ss. 113-130.

Gjeisvik, T., 1962. Kuzeybatı Anadolu Pb-Zuhurlarında yapılan araştırmalar M.T.A Dergisi, 59, ss 87-91.

Gökçe, A., 1993. Hidrotermal maden yataklarının köken ve oluşum koşullarının araştırılmasında kararlı izotoplar jeokimyası incelemeleri ve Türkiye'den örnekler. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, v. 42, p. 89-101.

Halbach, P., Nakamura, K., Wahsner, M., Lange, J., Sakai, H., Käselitz, L., Hansen, R.D., Yamano, M., Post, J., Prause, B., Seifert, R., Michaelis, W., Teichmann, F., Kinoshita, M., Märten, A., Ishibashi, J, Czerwinski, S. ve Blum, N., 1989. Probable modern analogue of Kuroko-type massive sulphide deposits in the Okinawa Trough back-arc basin. Nature, v. 338, p. 496-499.

Hoefs, J., 1987. Stable Isotope Geochemistry (3rd ed.), Springer-Verlag, 241 p, Heidelberg.

Hogg, J. ve Siddle, R., 2014. National Instrument 43-101 Technical Report for ECZACIBAŞI ESAN Balya Resource Estimation, Balya Lead-Zinc Mine Balıkesir Province, Marmara Region, Turkey, Micromine Limited Company, London, UK. (Unpublished).

Kaaden, G., 1957. Çanakkale, Biga, Edremit Yarımadası bölgesindeki jeolojik saha çalışmaları ve maden yatakları hakkında, rapor, MTA m Ankara 1957

Kasapçı, C., Öztürk, H., Hanilçi, N. ve Aysal, N., 2008. Jeoloji ve sıvı kapanım bulguları ışığında arapuçan dere (yenice – çanakkale) Pb-Zn-Cu yatağının oluşumu Türkiye Kurşun-Çinko Yataklarının Jeolojisi, Madenciliği ve Mevcut Sorunları Sempozyumu, 14–16 Ocak 2008- İSTANBUL.

Kerridge, J.F., Haymon, R.M. ve Kastner, M., 1983. Sulfur isotope systematics at the 21°N site, East Pacific Rise. Earth Planet. Sci. Lett., v. 66, p. 91–100.

Ketin, İ,. 1966. Anadolu'nun tektonik birlikleri. MTA Bül. Sayı v. 66, p. 23-34, Ankara.

Kovenko, V., 1940. Balya Lead Mines (Turkey). Bulletin Mineral Resource Exploration Instiute Turkey, 4, 587-594.

Krunshensky, RD., Akçay, Y. ve Karaege, E., 1971. Geology of an area east of Edremit, Biga Peninsula northwestern Turkiye, Un stat Dep İnt Geo.Surv.TU25, p 109.

Krunshensky, R., 1976. Neogene Calc-Alcaline Extrusive Rocks of the Karalar-Yeşiller Area Northwest Anatolia: Bulletin of Volcanology, 40. 336-360.

Kuşcu, İ. ve Meinert, L.D., 2001. Skarn Yatakları ve Arama Yöntemleri konulu kısa kurs notu (6-11 Haziran 2001). MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.

Kuşcu, İ., 2012. Balya Madeni YS-767-7 Kuyusunun Petrografik İncelemesi Alterasyon Modellemesi ve Olası Altın Cevherleşme Potansiyelinin Ortaya Konulması, Esan Eczacıbaşı Endüstriyel Hammaddeler San. Tic. A.Ş. Raporu, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Muğla (yayımlanmamış).

Kuşcu, İ., 2014. Balya Pb-Zn Madenine Yönelik Bazı Sondaj Kuyularına Ait Petrografik (Kayaç ve Sülfid Mineralleri) İncelemesi ve Alterasyon Modellemesi. Esan Eczacıbaşı Endüstriyel Hammaddeler San. Tic. A.Ş. Raporu, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Muğla (yayımlanmamış).

Kuşcu, İ., 2015. Balya Pb-Zn Madeni Civarındaki Bazı Altere Kayaçların Petrografik (Kayaç ve Sülfit Mineralleri) İncelemesi ve Alterasyon/Cevherleşme İlişkisi. Esan Eczacıbaşı Endüstriyel Hammaddeler San. Tic. A.Ş. Raporu. Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Muğla (yayımlanmamış).

Layne, G.D., Longstaffe , F.J. ve Spooner, E.T.C., 1991. The JC tin skam deposit, Southern Yukon Territory: a carbon, oxygen, hydrogen, and sulfur stable isotope study. Economic. Geology, v. 86, p. 48-65.

Matias, S., 2012. Tectonic controls on epithermal and porphryr deposits, western Turkey. Ph.D.Thesis.Royal Holloway, University of London.

Meinert, L.D., 1989. Gold skarn deposits - Geology and exploration criteria: in Groves, D., Keays, R., and Ramsay, R., eds., Proc. of Gold '88, Economic Geology Monograph, v. 6, pp. 537-552.

Naylor, H., Turner, P., Vaughan, D.J., Boyce, A.J. ve Fallick, A.E., 1989. Genetic studies of red bed mineralisation in the Triassic of the Cheshire basin, northwest England. Geol. Soc. Lond., v. 146, p. 685-699.Ohmoto ve Rye (1979)

Ohmoto, H. ve Rye, R.O., 1979. Isotopes of sulfur and carbon. In: Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits. Barnes HL (ed). J Wiley and Sons, pp. 509-567.

Okay, A.I., Siyako, M. ve Bürkan, K.A., 1991. Geology and tectonic evolution of the Biga Peninsula, northwest Turkey. Bulletin of the Technical University of Istanbul, Special Issue on Tectonics, v. 44, p. 191-256.

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.I. ve Göncüoğlu, M.C., 2004. Karakaya Complex: a review of data ve concepts. Turkish Journal of Earth Sciences, 13, 77-95.

Orhan, A., Mutlu, H. ve Hanilçi, N., 2010. .Microthermometric characteristic of the oxidized type W-skarn, in Susurluk, Balıkesir, Turkey. Mineral Res. Expl. Bull., 141, 53-68, 2010.

Örgün, Y., Gültekin, A.H. ve Onal, A., 2005. Geology, mineralogy and fluid inclusion data from the Arapucan Pb-Zn-Cu-Ag deposit, Çanakkale, Turkey. Journal of Earth Sciences., v. 25, p. 629-642.

Ovalıoğlu, R., 1973. Biga Yarımadası'nın Jeolojisi - Maden Yatakları ve Bakır-Kurşun Çinko Mineralizasyonu için Ümitli Olan Bölgeler, Madencilik Dergisi, v. 12(6), p. 1-22.

Oygür, V. ve Erler, A., 1999. Simav Grabeni boyunca görülen epitermal ve baz metal cevherleşmelerinin karşılaştırılması, 52. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiriler Kitabı, s. 129-136.

Özden, S., Bekler, T., Tutkun, S. Z., Kürçer, A., Ateş, Ö., Bekler, F., Kalafat, D., Gündoğdu, E., Bircan, F., Çınar, S., Çağlayan, Ö., Gürgen, M., İşler, H. ve Yalçınöz, A., 2008a, Biga Yarımadası ve Marmara Denizi Güneyinin Sismotektoniği ATAG-12, Bildiri Özleri Kitapçığı, Sayfa 48-49, Akçakoca, Türkiye.

Özden, S., Över, S., Kavak, K. Ş. ve İnal Dündar, Ş. S., 2008. Late Cenozoic stress states around Bolu Basin along the North Anatolian Fault, NW Turkey. Journal of Geodynamics, 46, 1-2, 48-62.

Özışık, G., 2009. Genetical Investigastions of Balya-Balıkesir lead –zinc mineralizations. Master thesis, Middle East Technical University, Ankara.

Özocak, R., 1977. Batı Anadolu'da Metamorfik Serilerde Rastlanan Şiztoziteye Uyumlu Görülen Bazı Pb-Zn-Cu Maden Yataklanmaları, MTA Dergisi, p. 43-47.

Öztunalı, Ö., 1973. Uludağ (Kuzeybatı Anadolu) ve Eğrigöz (Batı Anadolu) Masiflerinin Petrolojileri ve Jeokronolojileri: İstanbul Üniv. Fen Fak. Monog., No 23, İstanbul, 115 s.

Philippson, A., 1915. Reisen und Forschungen im westlichen Kleinasien I, Reft. Univ, İstanbul.

Rollinson, H.R., 1993. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation, Longman, 352 p., UK.

Sarı, R., Alpan, T., Pehlivan, N. ve Bulut, M., 1996. Bergama ve çevresinin genel jeokimya etüt raporu, M.T.A Derleme Raporu, No:10302.

Shimazaki, H. ve Yamamoto, M., 1979. Sulfur isotope ratios of some Japanese skarn deposits, Geochemical Journal**,** v**.** 13, p. 261-268.

Shimizu, M. ve Liyama, J. T., 1982. Zinc-lead skarn deposits of the Nakatatsu mine, Central Japan, Econ. Geol., v. 77, p. 1000-1012.

Siyako, M., Bürkan, K.A. ve Okay, İ.A., 1989. Biga ve Gelibolu Yarımadaları'nın Tersiyer jeolojisi ve hidrokarbon olanakları. TPJD Bülteni, v. 1(3), p. 183-199.

Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey a plate tectonic approach. Tectonophysics, 75, 181- 241.

Şengün, F. ve Çalık, A., 2007. Çamlıca metamorfitlerinin (Biga Yarımadası, KB Türkiye) metamorfizma özellikleri ve korelasyonu. Türkiye Jeol. Bült., v. 50(1), 1-16.

Tekeli O., 1981. Subduction complex of pre-Jurassic age, Northern Anatolia, Turkey. Geology, 9, 68-72.

Ünal, E., 2010. Genetic Investigation and Comparison of Kartaldağ and Madendağ Epithermal Gold Mineralization in Canakkale-Region, Ms Thesis, Middle East Technical University, 181p, Ankara.

Ünal, E., Güleç, N., Kuşcu, i., Anthony E. ve Fallick., 2013. Genetic Investigation and Comparison of Kartaldağ and Madendağ Epithermal Gold Mineralization in Canakkale NW Turkey, Ore Geology Reviews, volume 53.pages 204-222.

Tufan, A., 1993. Karaydın Köyü (Yenice-Çanakkale) çevresinin jeolojik ve petrografik özellikleri ile kurşun-çinko zuhurlarının jenetik incelemesi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, 158 s., Konya.

Wagner, G. A., Pernicka, E., Seeliger, T.C., Oztunali, O., Baranyi, I., Begemann, F. ve Schmitt-Strecker, S. 1985. Geologische untersuchungen zur fruhen metallurgie in NW-Anatolien, Bulletin of the Mineral and Exploration Institute of Turkey, v. 100(101), p. 45–81

Weiss, K. ve Berg., 1901. Kurze Mitteilungen über Lagerstattön im Westlichen Anatolien Zeitschrift f, praht, Geol, Vol IX, Berlin

Yavuz, O. ve Çiftçi, E., 2012. Balya (Balıkesir) Pb-Zn kompleks sistemi – cevher mineralojisi ve jeokimyasal özellikleri. 65.Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı, 412-413.

Yalçınkaya, S. ve Afşar., 1980. Geology of Mustafakemalpaşa (Bursa) region, MTA report (unpublished), No: 6717 (In Turkish).

Yılmaz, Ş., Aysal, N., Kasapçı, C., Hanilçi, N. ve Önden, S., 2016. Fractional cristalization and magma mixing in calc alkaline Karadag granitoid (Balya-Balıkesir-Turkey). İstanbul Ünv., Engineering Faci., Dept. Of Geological Engineering, 34320-Avcılar-İstanbul Turkey.

Yılmazer, E., 2012. Genetıc Modeling Of The ŞamlI (Balıkesir) Iron Deposit a thesis submitted to the graduate school of natural and applied sciences of the Mıddle East Technical Unıversıty.

Yılmazer, E., Güleç, N., Kuşcu, İ., David, R. ve D, Lentz., 2014. Geology, geochemistry and geochronology of Fe-oxide Cu(±Au) mineralization associated with Şamlı pluton, western Turkey, Ore Geology Reviews, volume 57, pages 191-215.

Yiğit, Ö., 2009. Mineral deposits of Turkey in relation to Tethyan Metallogeny: implications for future mineral exploration, Economic Geology, v.104, p.19-51.

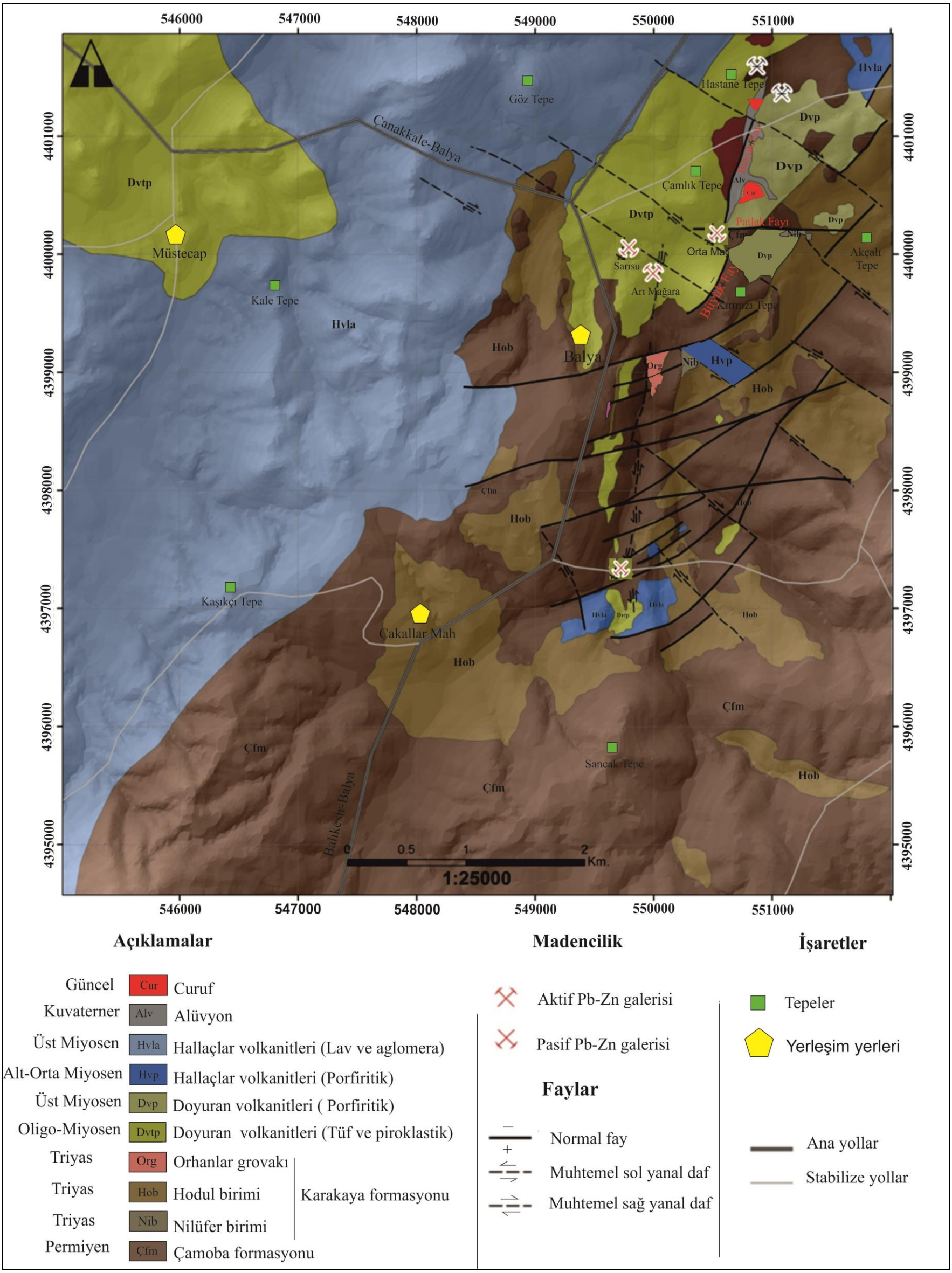
Yigit, O., 2012. Aprospective sector in tethyan Metallogenic Belt: Geology and geochronology of mineral deposits in the Biga Peninsula, NW Turkey. Ore Geology Reviews, 46,188-148.

EKLER

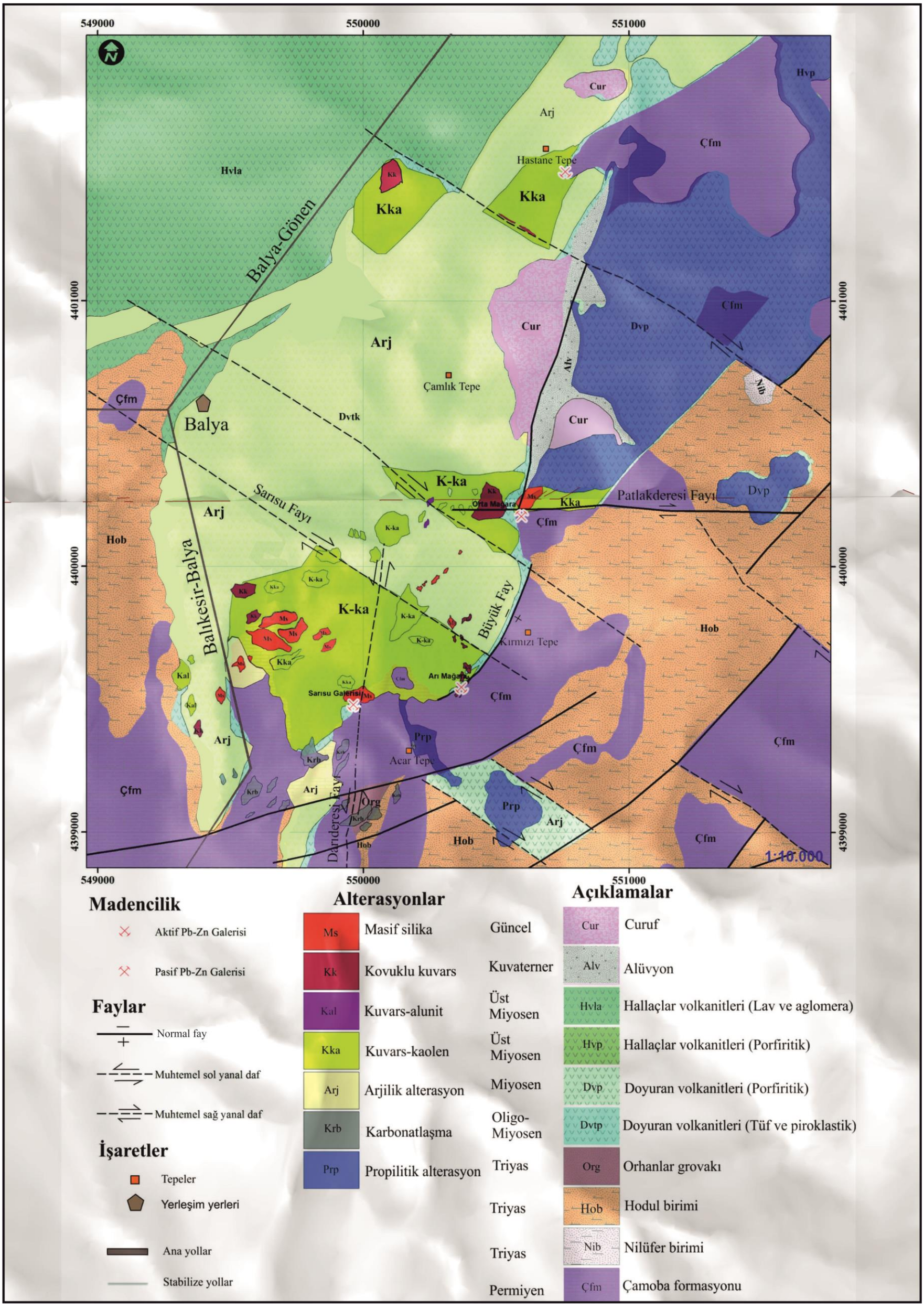
Sayfa

Ek-A:	İnceleme alanının 1/25000 ölçekli genel jeoloji haritası……..	105
Ek-B:	İnceleme alanının 1/10000 ölçekli maden jeoloji haritası……	106
Ek-C:	YS-767-7 kuyusundan derlenen karot örneklerinin XRD analiz sonuçları (Esan Arşiv,2014)……..	107

Ek-A: İnceleme alanının 1/25000 ölçekli genel jeoloji haritası.



Ek-B: İnceleme alanının 1/10000 ölçekli maden jeoloji haritası



Ek-C: YS-767-7 kuyusundan derlenen karot örneklerinin XRD analiz sonuçları (Esan Arşiv, 2014).

Numune_Adı	Başlangıç(m)	Bitiş (m)	Mineral 1	Mineral 2	Mineral 3
504	3,00	6,00	Kuvars	Halloysit	
526	6,00	9,00	İllit		
544	549960	4399676	Halloysit		
501	3,00	6,00		İllit	Montmorillonit
502	6,00	9,00	Montmorillonit		
503	9,00	12,00	Muskovit		
504	12,00	15,00	Montmorillonit		
505	15,00	18,00	İllit	Montmorillonit	
506	18,00	21,00	Kaolen	Muskovit	
507	21,00	24,00	İllit	Montmorillonit	
508	24,00	27,00	İllit	Montmorillonit	
509	27,00	30,00	Muskovit	İllit	Montmorillonit
510	30,00	33,00	Kaolen	İllit	Montmorillonit
511	33,00	36,00	Kaolen	Muskovit	Montmorillonit
512	36,00	39,00	Kaolen	İllit	Montmorillonit
513	39,00	42,00	İllit	Montmorillonit	
514	42,00	45,00	Kaolen	Muskovit	Montmorillonit
515	45,00	48,00	Montmorillonit	Muskovit	
516	48,00	51,00	Kaolen	Muskovit	Montmorillonit
517	51,00	54,00	Kaolen	Muskovit	
518	54,00	57,00	İllit	Montmorillonit	
519	57,00	60,00	İllit	Montmorillonit	
521	60,00	63,00	Kaolen	Muskovit	Halloysit
522	63,00	66,00	Kaolen	Muskovit	Halloysit
523	66,00	69,00	Kaolen	Halloysite	
524	69,00	72,00	İllit	Montmorillonit	
526	72,00	75,00	İllit	Montmorillonit	
527	75,00	78,00	İllit	Montmorillonit	
528	78,00	81,00	Muskovit	Montmorillonit	Halloysit
529	81,00	84,00	Dikit	Montmorillonit	
531	87,00	90,00	Phenjit	Montmorillonit	
532	90,00	93,00	Dikit	İllit	Montmorillonit
533	93,00	96,00	Halloysit	Montmorillonit	
534	96,00	99,00	Montmorillonit		
535	102	105	Montmorillonit		
536	105	108	Halloysit	Montmorillonit	
537	108	111	Halloysit		
538	111	114	Halloysit	Montmorillonit	
539	114	117	İllit	Montmorillonit	
540	117	120	Dikit	Montmorillonit	
541	120	123	Montmorillonit		
542	123	126	Montmorillonit		
555	135	138	Kaolen	Muskovit	
857	1720	175	Kaolen	Muskovit	
862	187	190	Kaolen	Hallosit	
879	241	243	Kaolen	Muskovit	
888	260	263	İllit	Muskovit	
892	272	275	Muskovit	Kuvars	
896	284	287	Dikit	Kuvars	

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Sercan Bozan
Doğum Tarihi ve Yeri : 14.06.1983 / Kırklareli
E-posta adresi : sercanbozan@hotmail.com

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Niğde Üniversitesi Aksaray Mühendislik Fakültesi
Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

2005-2007 : Fronteer Eurasia Madencilik Arazi Jeoloğu

2007-2014 : Eczacıbaşı Esan Endüstriyel San. ve Tic A.Ş. Balya/Balıkesir Kurşun-Çinko İşletmesi Yeraltı Arama Uzmanı

2014- :Eczacıbaşı Esan Endüstriyel San ve Tic A.Ş. İnlice/Konya Altın İşletmesi Arama Sorumlu Uzmanı

2014 : C Sınıfı İSG Uzmanı Sertifikası

2014 : Micromine Temel Düzey Eğitim Sertifikası

2015 : Arc GIS Temel Düzey Eğitim Sertifikası

2016 : Micromine İleri Düzey Açık Ocak Tasarım Sertifikası