



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 14.12.2022
Kabul Tarihi : 20.03.2023

Received Date : 14.12.2022
Accepted Date : 20.03.2023

KOCASEYİT POLİMETALİK Cu-As-Ni-Pb DAMAR TİPİ CEVHERLEŞMENİN JEOKİMYASAL VE MİNERALOGİK İNCELENMESİ, HAVRAN (BALIKESİR), KB TÜRKİYE

GEOCHEMICAL AND MINERALOGICAL INVESTIGATION OF KOCASEYİT POLYMETALLIC Cu-As-Ni-Pb VEIN-TYPE MINERALIZATION, HAVRAN (BALIKESİR), NW TÜRKİYE

Demet Kiran YILDIRIM¹ (<https://orcid.org/0000-0001-5995-5723>)

Amr ABDELNASSER^{1,2} (<https://orcid.org/0000-0001-5994-7088>)

Mustafa KUMRAL¹ (<https://orcid.org/0000-0001-7827-8721>)

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

² Benha Üniversitesi, Fen Fakültesi, Jeoloji Bölümü, Benha, Mısır

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Demet Kiran YILDIRIM, kirand@itu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmanın temel amacı, Türkiye'nin kuzeybatısındaki Kocaseyit bölgesindeki (Balıkesir-Havran ilçesi) polimetalik Cu-As-Ni-Pb damar tipi mineralizasyonunun kökenini daha iyi anlamaktır. Bu, mineralizasyonun ve ilişkili olduğu hidrotermal alterasyon türlerinin mineralojik, petrolojik ve jeokimyasal özelliklerinin incelenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Kocaseyit bölgesi, Üst Paleozoik yaşlı Kalabak Formasyonu, Jura yaşlı Bayırköy ve Bilecik Formasyonları ile Oligosen-Miyosen yaşlı Düztarla granitoyitleri tarafından kesilen Paleosen-Eosen yaşlı Bağburun Formasyonundan oluşmaktadır. Düztarla granitoyitleri ile dokanaktaki Balya Formasyonu'ndaki (arkozik kumtaşları) KD-GB fay zonu boyunca lokalize olan polimetalik Cu-As-Ni-Pb damar tipi cevherleşme göstermektedir. Cevherleşme ile ilişkili olarak az miktarda karbonatlaşma ve kloritleşme ile birlikte yoğun serisitleşme, kaolinleşme ve piritleşme, çalışma alanında gözlenen baskın alterasyon tipleridir. Çalışma alanında üç cevherleşme fazı belirlenmiştir. Magmatik-hidrotermal fazda, pentlandit, pirit ve bazı arsenopirit minerallerinin olduğu gözlenmektedir. Hidrotermal fazda, pirit, arsenopirit, kalkopirit ve sfalerit mineralleri oluşmuştur. Süpergen faz döneminde ise kalkopirit ve piritten sonra sırasıyla malakit, kovellit ve götit oluşumları belirlenmiştir. Granitoid kayaçlar, kalk-alkali metaalumina I-tipi granitlere özgü özellikler sergilemektedir. Granodiyorit örnekleri granodiyorit, monzonit ve kuvars-monzonit, granit örnekleri ise granit olarak sınıflandırılmış, manyetit serileri ile uyumlu ve geç orojenik ortamda oluşmuşlardır. Alterasyona uğramış kayaçların jeokimyasal özellikleri, bunların Mn-karbonat-serisit-klorit alterasyonu ile birlikte serisit-pirit-klorit alterasyonundan güçlü bir şekilde etkilendiklerini ortaya koymuştur. Alterasyon indeksi ve K₂O indeksinin Hafif nadir toprak elementleri (HNTE) ve Ağır nadir toprak elementleri (ANTE) ile korelasyonlarına göre ya HNTE'lerin hidrotermal çözeltilerden kayalara taşınabildiğini ya da HNTE'lerinin kayalarda zenginleştiğini göstermektedir. MgO indeksinin HNTE ve ANTE arasındaki ilişkiye göre, serisitleşme (K bakımından zengin) oluşumunun kloritleşme oluşumundan daha yaygın ve yoğun bir şekilde meydana geldiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Polimetalik Cu-As-Ni-Pb damar tipi cevherleşmeler, mineraloji, jeokimya, Kocaseyit (Balıkesir), Türkiye

ABSTRACT

This study aims to provide a better understanding of the genesis of the polymetallic Cu-As-Ni-Pb vein-type mineralization in the Kocaseyit area (Balıkesir-Havran district), NW Turkey. This is accomplished by examining the mineralogical, petrological, and geochemical properties of this mineralization and the associated hydrothermal alteration types. The Kocaseyit area is made up of Upper Paleozoic Kalabak Formation, Jurassic Bayırköy, Bilecik

ToCite: YILDIRIM, D.K., ABDELNASSER, A., & KUMRAL, M., (2023). Kocaseyit polimetalik Cu-As-Ni-Pb damar tipi cevherleşmenin jeokimyasal ve mineralojik incelenmesi, Havran (Balıkesir), KB Türkiye. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(2), 489-505.

Formations, and Paleocene-Eocene Bağburun Formation that were intruded by Oligocene-Miocene Düztarla Pluton. The polymetallic Cu-As-Ni-Pb vein-type mineralization was occurred along the NE-SW fault zone at the arkosic sandstone in contact with the Düztarla granitoids. Intense sericitization, kaolinization, and pyritization are the predominant alteration types associated with mineralization with subordinate carbonatization and chloritization. Three main phases of mineralization are observed in Kocaseyit area. (1) the magmatic-hydrothermal phase has pentlandite, pyrite, and some arsenopyrite minerals. (2) The hydrothermal phase exhibits pyrite, arsenopyrite, chalcopyrite, and sphalerite minerals. In the supergene phase (3), malachite, covellite, and goethite were formed after chalcopyrite and pyrite, respectively. The granitoid rocks exhibit typical calc-alkaline metaluminous I-type granites. They were classified as granodiorite, monzonite, and quartz-monzonite for the granodiorite samples and as granite for the granite samples, matched with magnetite series, and were formed in a late-orogenic environment. The geochemical features of the altered rocks revealed that they are strongly affected by the sericite-pyrite-chlorite alteration with subordinate Mn-carbonate-sericite-chlorite alteration. The behavior of rare earth elements (REE) during alteration and mineralization processes reveals the correlations of alteration index and K₂O index with Light rare earth elements (LREE) and Heavy rare earth elements (HREE) show that either LREEs were preferentially added to the rocks from hydrothermal solution, or LREEs were not leached from the rocks. Based on the relationship of MgO index between HREE and LREE, the sericitization (K-rich) formation occurs more widely and intensely than chlorite formation.

Keywords: Polymetallic Cu-As-Ni-Pb vein type mineralization, mineralogy, geochemistry, Kocaseyit (Balıkesir), Turkey

GİRİŞ

Tetis-Avrasya metalojenik kuşağının (TEMB; Janković, 1997, Mao vd., 2014) (Şekil 1a) bir parçası olarak kabul edilen Batı Anadolu, porfiri (bakır-altın ve bakır-molibden), düşük ve yüksek sülfidasyonlu epitermal (altın ve altın-gümüş), mezotermal (kurşun, çinko, bakır) ve skarn (demir-bakır, kurşun-çinko) tipi çeşitli maden yataklarına ev sahipliği yapmaktadır (Yiğit, 2009) (Şekil 1b). Bu oluşumların çoğu (yüksek ve düşük sülfidasyonlu epitermal cevherleşmeler dahil) coğrafi olarak Eosen'den Pliyosen'e kadar magmatik aktivitenin hüküm sürdüğü Biga Yarımadası'nda (özellikle Çanakkale ve Balıkesir civarında) yer almaktadır. Orta Eosen'den Geç Miyosen-Pliyosen'e kadar, Batı Anadolu'daki cevherleşme olayları, epizonal magmatizma ile zamansal ve mekansal ilişkiye sahiptir (Kuşçu vd., 2011).

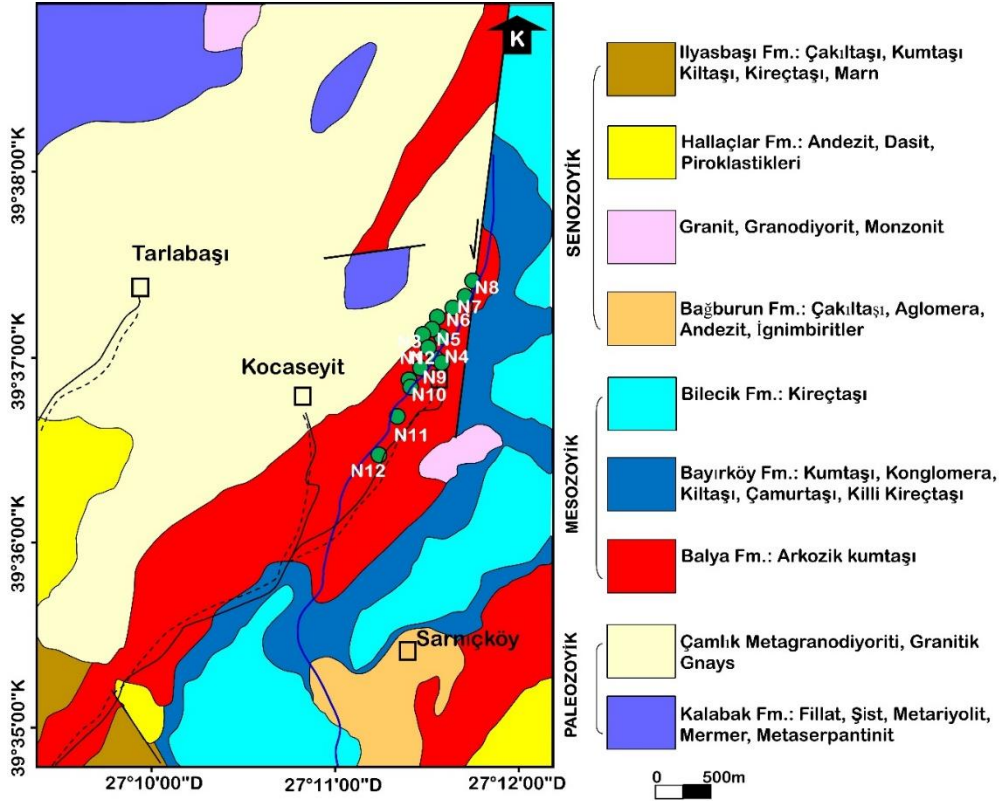
Batı Anadolu'daki magmatik ve hidrotermal olayların tektonik konumu ve jeokronolojisi üzerine yapılan son çalışmalar, magmatizmanın Vardar-İzmir-Ankara okyanusunun kapanması sonrasında geliştiğini göstermektedir (Yiğit, 2009, 2012). Okyanusun kapanması sonrasında oluşan yaygın genişleme rejimi; geniş alanlarda gözlemlenen, ve kimyaları yüksek potasyumlu kalk-alkalenden ultrapotasiğe kadar değişen intürezif kayaçlar ve bunların yüzey eşleniklerinin geliştiği yoğun bir magmatizmaya neden olmuştur (Altunkaynak vd, 2012; Ersoy vd., 2012). Bu magmatizma Kuzeybatı Anadolu'da yoğun hidrotermal proseslerin gelişimini sağlamıştır (Yiğit, 2006; Kuşçu, 2019, Akıska vd., 2013; Kumral vd., 2022). Özellikle önemli cevherleşmelerin oluşumuna neden olan Düztarla, Ilıca-Şamlı, Kozak ve bunun gibi granitoid oluşumlarının oluşturduğu cevherleşmeler bu bölgede bulunmaktadır. Çalışma alanı ve civarında benzer granitoidlere bağlı olarak gelişen birçok cevherleşme türü görülmektedir (Şekil 1a ve b).

Biga Yarımadası'nda yer alan çalışma alanı, jeotektonik olarak Pontidler tektonik birliğinin Sakarya Zonundadır (Okay vd., 1990). Sakarya Zonu'nda amfibollü gnays, metaofiyolitler ve kuvarso-feldispatik gnayslardan oluşan Kazdağı Metamorfikleri (Gözler, 1986; Duru vd., 2004), bunlarla tektonik dokanaklı, alt seviyelerde epiklastik, üst seviyeler piroklastik kökenli litolojilerin metamorfizmasından oluşan Kalabak birimi yer almaktadır. Bu birim metagranodiyoritler tarafından kesilmektedir. Çalışma alanında Karakaya Kompleksi adı verilen litolojiler en yaygın kaya türleridir. Bu kaya grubu Permo-Karbonifer yaşlı kireçtaşı blokları, hafif metamorfizma geçirmiş, Alt Triyas yaşlı çakıltaşı, feldspatlı kumtaşı, kuvarsit, siltaşı, sleyt, radiolarit, çamurtaşı, metaspilit, spilitik bazalt ve diyabazlar içermektedir. Tüm bu birimleri Üst Triyas-Alt Kretase (Albiyen) yaşlı kayaçlar uyumsuz olarak örtmektedir. Metamagmatik ve metadetritik kayaçlar Oligosen-Erken Miyosen yaşlı granotoidik kayaçlar ile bunlarla eş yaşlı kalkalkalen volkanitler tarafından kesilmişlerdir.

Türkiye'nin batısındaki Tetis-Avrasya metalojenik kuşağında (TAMK) porfiri, skarn ve epitermal yataklar dahil olmak üzere çok sayıda yatak tipi bulunmaktadır (Jankovic, 1977; Mao vd., 2014). Biga Yarımadası'nda (Çanakkale) oluşan bu yataklar, Eosen-Pliyosen yaşlı intrüvizif ve ekstrüvizif magmatizma ile ilişkilidir (Yigit, 2012) (Şekil 1). Balıkesir ilindeki Kocaseyit polimetallik cevherleşmesi, Düztarla granitoidlerinin Miyosen ekstrüvizif ve Oligosen

JEOLOJİ

Çalışma alanı, Türkiye'nin batısında Balıkesir ili Kocaseyit bölgesinde yer almaktadır. Bu çalışma alanı ve çevresinde, Üst Paleozoyik yaşlı Kalabak Formasyonu, Çamlık Metagranodiyoit, Üst Triyas yaşlı Balya Formasyonu, Jura yaşlı Bayırköy ve Bilecik Formasyonları, Paleosen-Eosen yaşlı Bağburun Formasyonu ile hepsini kesen Oligosen-Miyosen yaşlı Düztarla granitoyitleri bulunmaktadır (Şekil 2-3). Kalabak Metamorfikleri olarak adlandırılan bu birim, düşük dereceli metamorfizmadan etkilenmiş fillat ve şistlerden oluşmaktadır (Duru vd., 2012).



Şekil 2. Çalışma Alanının Jeoloji Haritası (Duru vd, 2007'den alınarak yeniden çizilmiştir).

Bu birim, bölgede ince taneli, gri-gümüş ve yeşilimsi renkli, iyi derecede foliasyonlu, fillat ve mika-kuvarşistler ile kahve-sarı renkli fillat, grafitşist, metatüf ve metavolkanitlerle tanımlanmaktadır. Bu litolojilerin alt sınırı çalışma alanının batısındaki Kalabak ve Fazlıca köyleri arasında, Çamlık metagranodiyoritleri ile tektonik dokanaktır. Metagranodiyoritler içerisinde Kalabak Formasyonu'nun anklavlarının olması, bu formasyon içerisinde kondağa yakın kesimlerde yer yer felsik dokuda kayaçların görülmesi, granodiyoritlerin Kalabak Formasyonu'nun içerisine sokulum yaptığının işaretidir. Bu iki farklı kaya grubunun benzer konumlu foliasyonları birlikte metamorfizma geçirdiklerini göstermektedir. Üst Paleozoyik yaşlı Çamlık Metagranodiyoriti tarafından kesilen bu kayaçlar, stratigrafik olarak Üst Triyas yaşlı Balya formasyonu tarafından diskordans olarak örtülmektedir. Kalabak birimini kesen Çamlık Metagranodiyoritleri'nin yaşı zirkon yaş tayiniyle 399 ± 13 milyon yıl olarak saptanmıştır (Okay, 1996). Metagranodiyorit, granitik gnays ve metariyolitlerden oluşan ve yoğun bir alterasyona uğramış Çamlık Metagranodiyoriti (Okay vd., 1990) önceki araştırmacılar tarafından kumtaşı-grovak (Bingöl vd., 1973; Krushensky vd., 1980), plütonik kompleks (Gümüş, 1964; Aslaner, 1965) olarak tanımlanmıştır. Çamlık Metagranodiyoritleri'nin yaşı, zirkon yaş tayiniyle 399 ± 13 milyon yıl olarak saptanmıştır (Okay, 1996). Alt Jura yaşlı Bayırköy Formasyonu (Altınlı, 1973), genel olarak sarı-kırmızı renkli konglomera, sarımsı-kahve renkli kumtaşı, siltaşı, ve killi kireçtaşından oluşmaktadır. Balya Formasyonu üzerinde geçişli ve devami şeklinde gözlenmektedir.

Bayırköy Formasyonu'nun üst sınırı ise keskin bir dokanakla ve/veya paralel bir uyumsuzlukla Bilecik Formasyonu tarafından örtülmektedir. Üst Oligosen yaşlı andezitik lav, ignimbirit, aglomera ve az oranda volkaniklastiklerden oluşan Bağburun Formasyonu, bu birimleri uyumsuz olarak örtmektedir. Oligo-Miyosen yaşlı granodiyorit ve silileşmiş porfiritik mikrogranitten oluşan Düztarla granitoyitleri, bu birimleri kesmektedir.

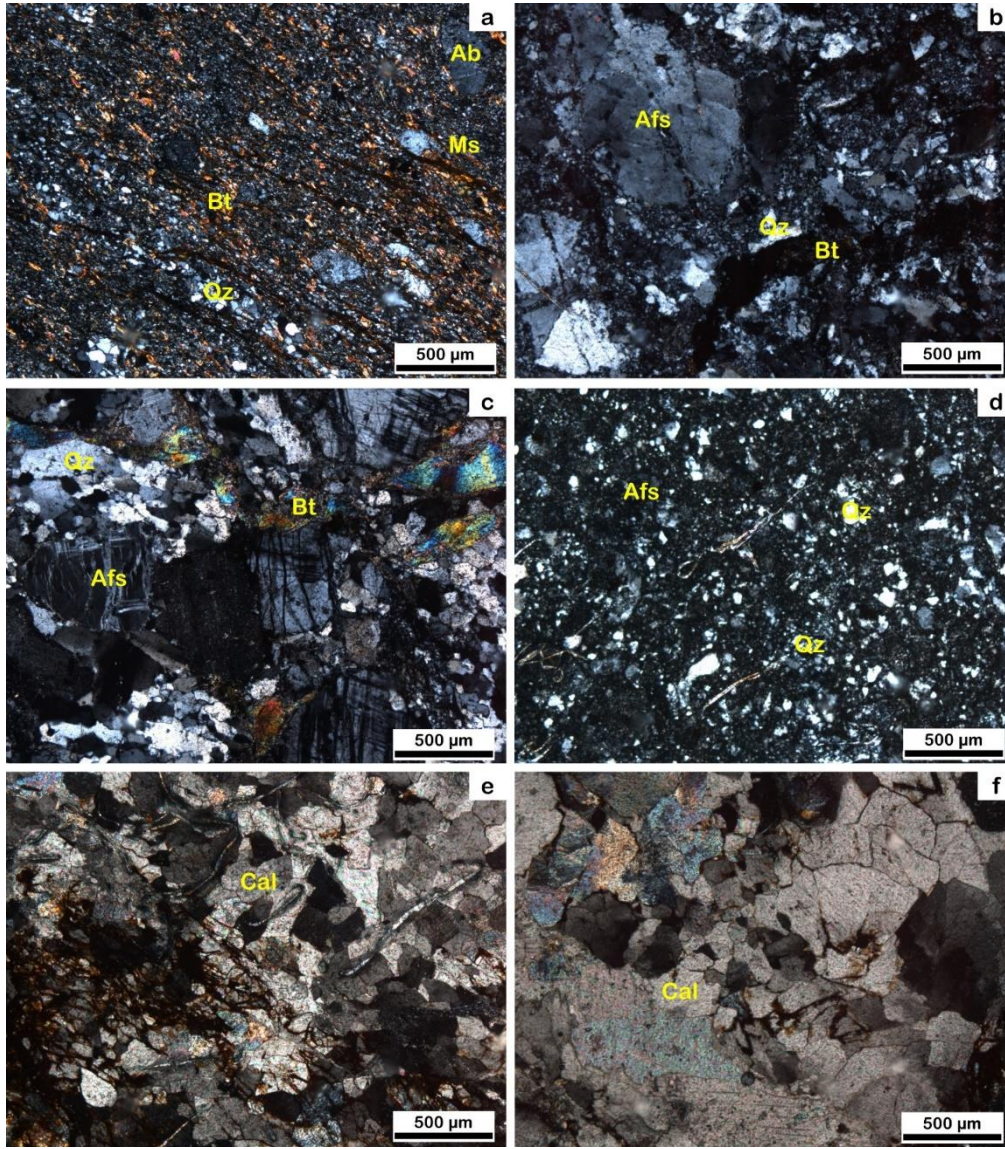
SİSTEM	SERİ	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK	PALEOJEN-NEOJEN		İlyasbaşı Fm.: Çakıtaşı, Kumtaşı, Kilitaşı, Kireçtaşı, Marn
			Hallaçlar Fm.: Andezit, Dasit, Piroklastik Düztarla Granitoyid
MESOZOYİK	TRİYAS-JURA		Bağburun Fm.: Aglomera, Andezit, İgnimbirit Uyumsuzluk
			Bilecik Fm.: Kireçtaşı
			Bayırköy Fm.: Konglomera, Kumtaşı, Kilitaşı, Çamurtaşı,
PALEOZOYİK	ÜST PALEOZOYİK		Balya Fm.: Arkozik kumtaşı Uyumsuzluk
			Çamlık Metagranodiyorit, Granitik Gnays
			Kalabak Fm.: Fillat, Şist, Metariyolit, Mermer, Metaserpantin

Şekil 3. Çalışma Alanına Ait Stratigrafik Sütun Kesiti (Duru vd, 2007'den alınarak yeniden çizilmiştir).

BULGULAR

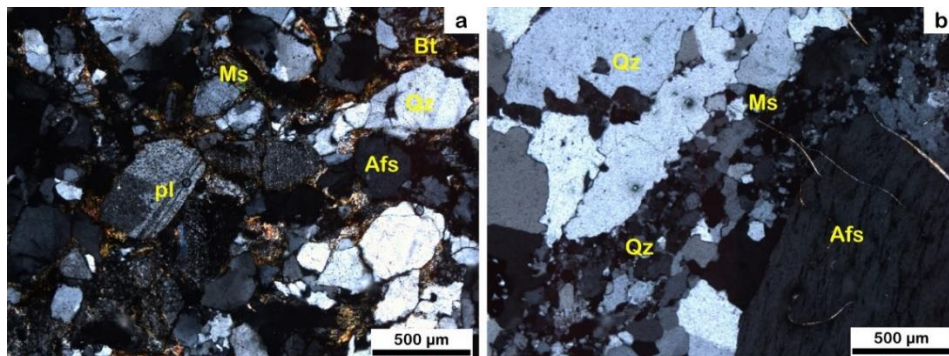
Mineralojik ve Petrografik İncelemeler

Kalabak Formasyonu, petrografik olarak farklı kayaç çeşitlerini (şist, metavolkanik ve metagranitoyid) içermektedir. Mikaşistler başlıca kuvars, biyotit, muskovit ve plajiyoklas oluşmaktadır (Şekil 4a). Biyotit minerallerinde az da olsa kloritleşme görülmektedir (Şekil 4a). Çalışma alanında metavolkanik kayaçlar, ince taneli matris içine gömülmüş kuvars, alkali feldispat ve biyotit minerallerinin fenokristallerinden oluşan porfirik dokulu metariyolitler ile temsil edilmektedir (Şekil 4b). Bu kayaçların matrisi ise; kuvars, biyotit ve az miktarda alkali feldispat ve volkanik cam içeren biyotitten oluşmaktadır (Şekil 4b). Metagranitoyid kayaçlar, metagranodiyoritler ve granitik gnayslarla temsil edilmektedir. Granitik gnayslar, hafif altere, kataklastik ve granüler dokuludur. Esas olarak kuvars, biyotit, alkali feldispat ve az miktarda plajiyoklazdan oluşmaktadır (Şekil 4c). Balya Formasyonuna ait demir oksitle çimentolanmış arkozik kumtaşları kötü boylanmalı kuvars ve serisitleşmiş, kaolinleşmiş feldispatlardan oluşmaktadır (Şekil 4d). Bu bileşenler, değiştirilmiş feldispat ve silisleşmiş ince taneli matris içine gömülü bulunmaktadır (Şekil 4d). Bilecik Formasyonuna ait kireçtaşları bazı bölgelerde yeniden kristalize bir dokuya sahiptir ve iri taneli kalsit kristalleri içermektedir (Şekil 4e-f).



Şekil 4. Çalışma Alanı'nda Yer Alan Kayaçların Optik Mikroskop Görüntüleri (a) Şist, (b) Metariyolit, (c) Granitik Gnays, (d) Arkozik kumtaşı, (e) ve (f) Kireçtaşı. Kısaltmalar: Alkali Feldspat (Afs), Albit (Ab), Biyotit (bt), Kalsit (cal), Muskovit (ms), Plajiyoklaz (pl), Kuvars (qz).

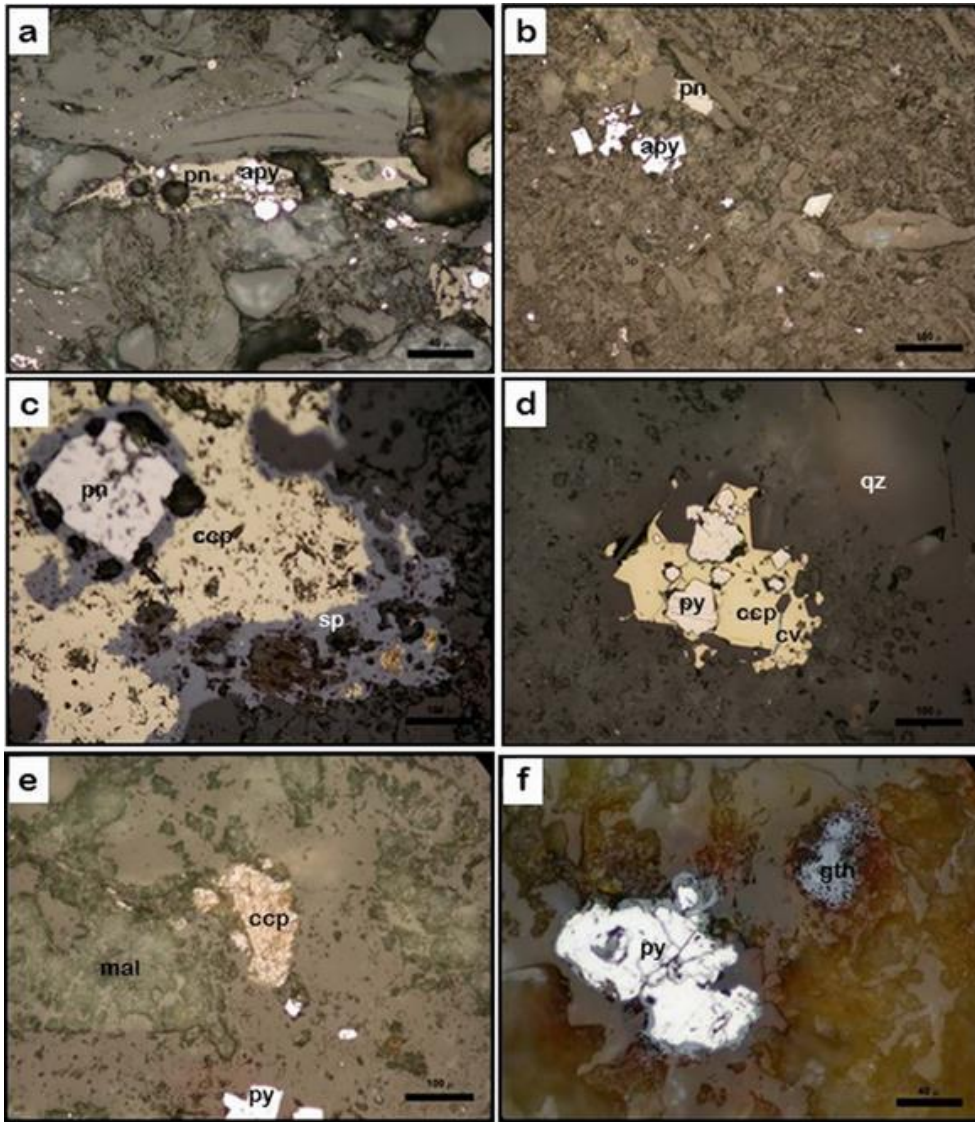
Düztarla granitoyitleri, granodiyorit ve silisleşmiş porfiritik mikrogranitten oluşmaktadır. Granodiyorit optik mikroskopta incelendiğinde içerisinde %20-25 kuvars, alkali feldispat (mikroklin) %10-15 (pertitleşme), plajiyoklaz %45-50, biyotit, muskovit ve opak mineraller görülmektedir (Şekil 5a). Silisleşmiş porfiritik mikrogranit, kuvars, K-feldspat ve muskovit oluşan bir mikrokristalin matris içine gömülü yerel mikrografik dokulara sahip kuvars ve K-feldispat fenokristallerinin küresel agregatlarından oluşmaktadır (Şekil 5b).



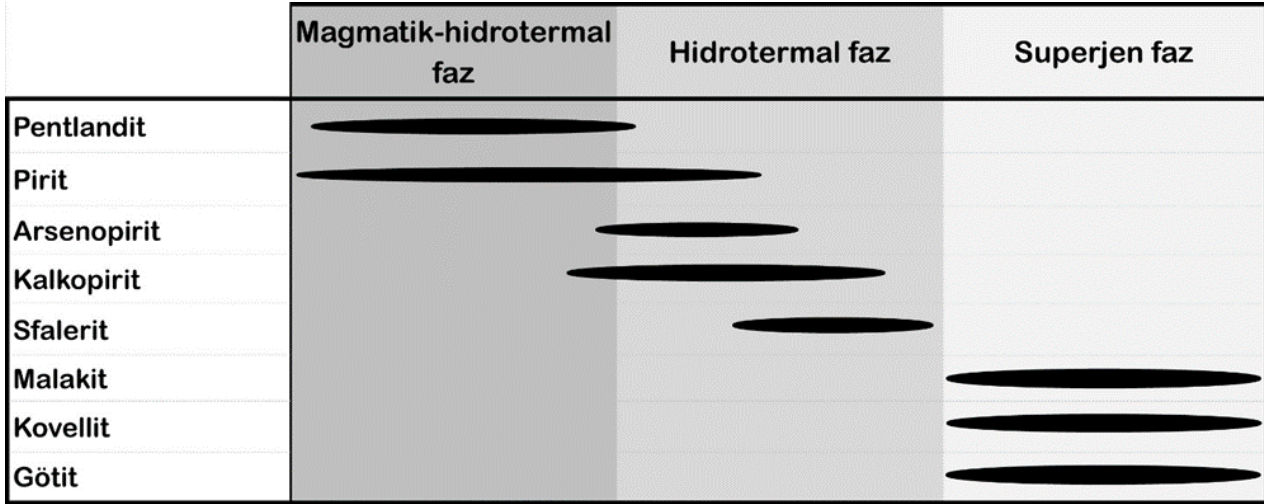
Şekil 5. Düztarla Granitoyitlerine Ait Kayaçların Optik Mikroskop Görüntüleri (a) Granodiyoriti, (b) Porfiri Granit. Kısaltmalar: Alkali Feldspat (Afs), Biyotit (bt), Manyetit (mag), Muskovit (ms), Plajiyoklaz (pl), Kuvars (qz).

Hidrotermal alterasyon ve cevher mikroskopi çalışmaları

Çalışma alanındaki Kocaseyit cevherleşmeleri, Düztarla granitoyitleri ile dokanaktaki Balya Formasyonu'ndaki (arkozik kumtaşları) KD-GB fay zonu boyunca lokalize olan polimetalik Cu-As-Ni-Pb damar tipi cevherleşme göstermektedir. Az miktarda karbonatlaşma ve kloritleşme ile birlikte yoğun serisitleşme, kaolinleşme ve piritleşme, cevherleşme ile ilişkili görülen baskın alterasyon tipleridir. Kocaseyit yöresindeki cevher mineralleri pentlandit, pirit, arsenopirit, kalkopirit ve sfalerit ile malakit, kovellit ve götit gibi süpergen mineralleri içermektedir (Şekil 6). Cevherleşmede etkin üç ayrı faz belirlenmiş olup bunlar; (1) magmatik-hidrotermal, (2) hidrotermal ve (3) süperjen fazdır (Şekil 6-7). Çalışma alanındaki cevherleşmelerde; magmatik-hidrotermal fazda pentlandit, pirit ve biraz miktar arsenopirit mineralleri gözlenmektedir (Şekil 6a-b). Hidrotermal fazda pirit, arsenopirit, kalkopirit, ve sfalerit görülmektedir (Şekil 6b). Pirit ve arsenopirit, altere kayaçlarda ve/veya kuvars damarlarında saçınımlı, soluk sarımsı renkli yarı özşekilli tanelerle karakterizedir (Şekil 6a-b). Ayrıca kalkopirit içinde kapanımlar halinde de gözlenmektedir (Şekil 6c-d). Kalkopirit, kuvars damarlarında saçınımlı sarımsı iri taneler ile karakterize edilir (Şek. 6c-d). Yer yer pirit kapanımları (Şekil 6d) ve sfaleritli dış çözünme (Şekil 6c) içermektedir. Süperjen fazda kalkopirit ve piritten sonra malakit (Şekil 6e), kovellit (Şekil 6d) ve götit (Şekil 6f) oluşmuştur.



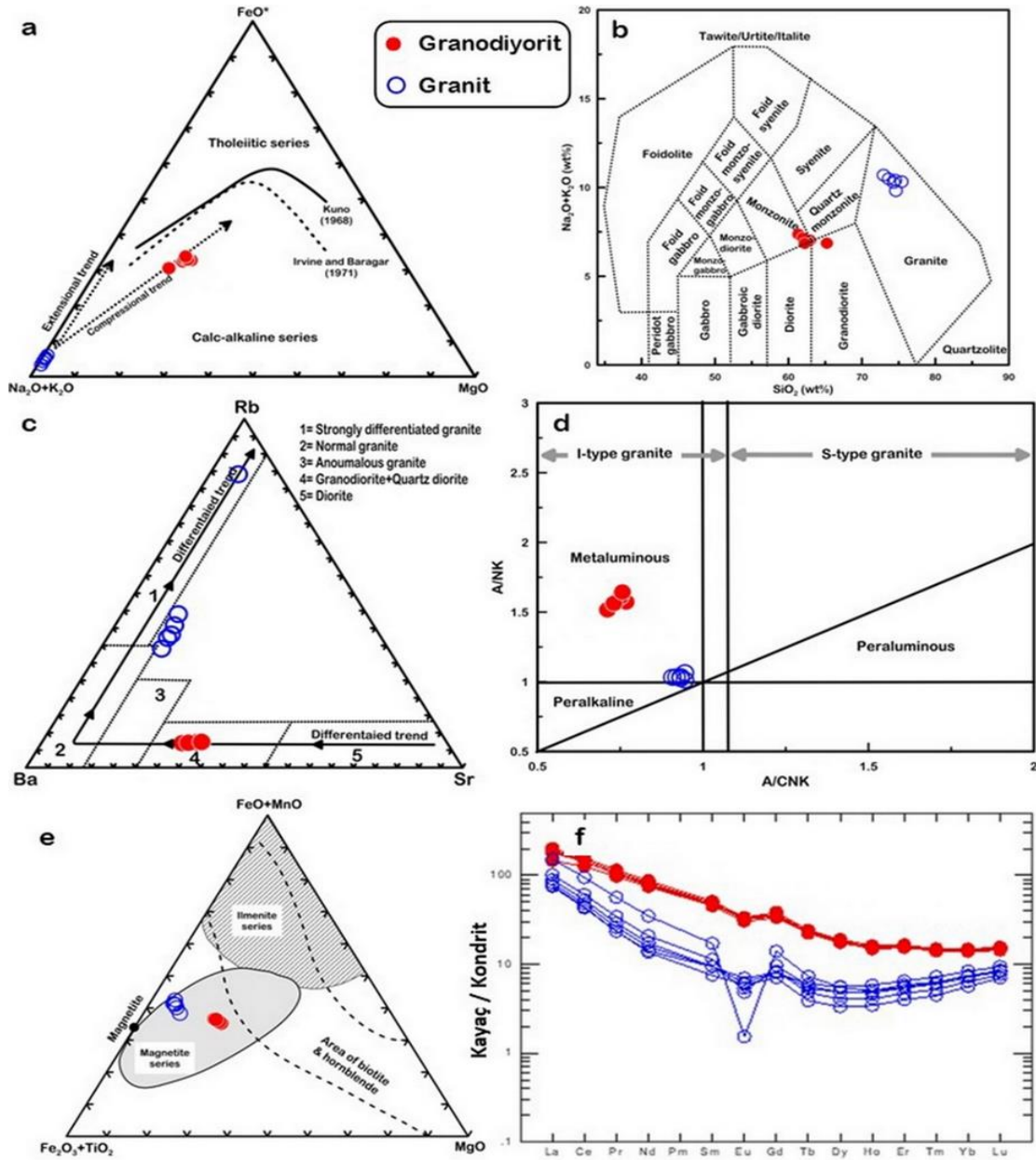
Şekil 6. Çalışma Alanında Görülen Cevher Minerallerinin Opak Mikroskop Görüntüleri. (A) Pentlandit İçerisinde Arsenopirit Mineralleri Gözlenmektedir, (B) Arsenopirit ile İlişkili Pentlandit, (C) Kalkopirit ve Sfalerit ile İlişkili Pentlandit, (D) Kalkopirit Mineralleri İçerisinde Pirit ve Kovellit Oluşumları, (E) Kalkopirit, Malakit ve Pirit Oluşumları, (F) Pirit ve Götit Oluşumları Kısaltmalar: Arsenopirit (Apy), Kalkopirit (Ccp), Götit (Gth), Malakit (Mal), Pentlandit (Pn), Pirit (Py), Kovellit (Cv), Kuvars (Qz), Manyetit (Mag), Sfalerit (Sp).



Şekil 7. Kocaseyit Köyü (Havran) ve Civarı Polimetalik Cu-As-Ni-Pb Damar Tipi Cevherleşmelerinin Genelleştirilmiş Parajenetik Dizisi.

Granit Jeokimyası

Çalışma alanı Kocaseyit bölgesindeki granitoid kayaçlarından jeokimyasal çalışmalar için (6 granodiyorit ve 6 granit) 12 numune seçilmiştir. Major oksit, iz element ve nadir toprak element bileşimlerini içeren değerler Tablo 1'de verilmiştir. Granodiyorit numuneleri için, SiO₂ (ağırlıkça %61.35-65.22), Al₂O₃ (ağırlıkça %14.54-15.08), K₂O (ağırlıkça %3.64-4.50), Na₂O (ağırlıkça %2,87-3,23) ve CaO (ağırlıkça % 5,33-5,97), MgO (ağırlıkça %2.04-3.07) ve TiO₂ (ağırlıkça %0.58-0.82) içerikleri oldukça değişkendir. Granodiyorit ile karşılaştırıldığında, granit örneklerinde daha yüksek SiO₂ (ağırlıkça %72.94-75.41), K₂O (ağırlıkça %6.39-9.41) ve daha düşük Al₂O₃ (ağırlıkça % 12.24-13.37), Na₂O (ağırlıkça %1.28-3.43) içerir. CaO (ağırlıkça %0.47-0.93), MgO (ağırlıkça %0.08-0.09 ve TiO₂ (ağırlıkça %0.08-0.10) içeriğine sahiptir.



Şekil 8. Sinorojenik ve Geç Orojenik Granitoid Kayaçların Jeokimyasal Diyagramları: (a) AFM Diyagramı (Irvine ve Baragar, 1971, Petro, vd., 1979), Sıkışma ve Genişleme Eğilimleri (Kuno, 1968). (b) İncelenen Granitoid Kayaçlar için TAS Diyagramı, (Middlemost, 1985) (c) Ba-Rb-Sr Üçlü Diyagramı, (El-Bouseily, A.M. ve El-Sokkary, 1975) (d) Çalışılan Granitik Kayaçlarda Alümina Doymunluk İndeksi (ASI). Shand'dan (1927) ASI = 1, Chappell ve White'dan (1992) ASI = 1.1. (e) İncelenen Granitoidlerin Fe₂O₃+TiO₂-FeO+MnO-MgO Diyagramı, (Ishihara, 1977) (f) Kondrite Göre Normalize Edilmiş Nadir Toprak Element (NTE) Diyagramı. (Sun ve McDonough, 1989).

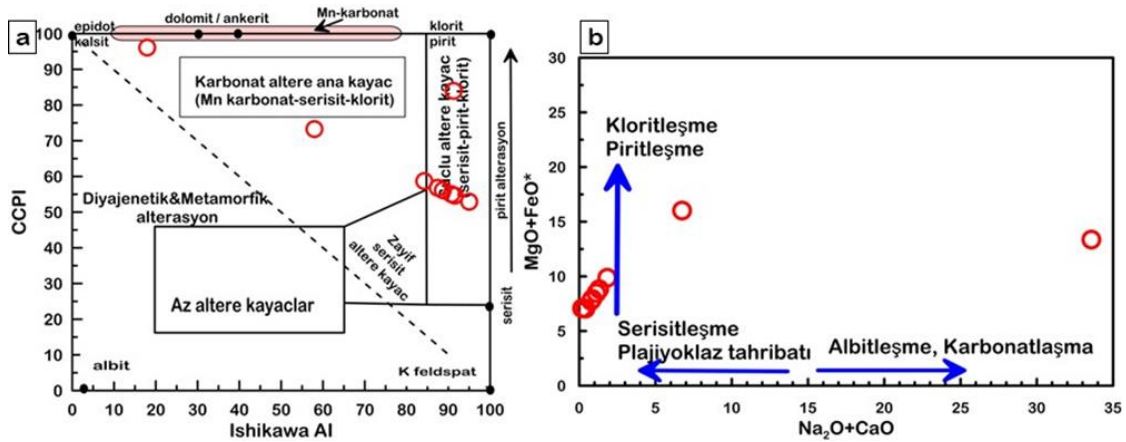
Tablo 1. Çalışma Alanındaki Kayaçların Majör Oksit (%), İz Element ve Nadir Toprak Element (ppm) Analiz Değerleri

Örnek	KS1	KS2	KS3	KS4	KS5	KS6	KS7	KS8	KS9	KS10	KS11	KS12
	Granodiyorit						Granit					
SiO ₂	62,93	65,22	62,57	61,35	61,96	62,21	74,33	72,94	73,63	75,41	74,52	74,62
Al ₂ O ₃	14,72	14,54	14,90	14,54	14,72	15,08	12,77	12,70	12,73	12,24	12,48	13,37
Fe ₂ O ₃	5,11	4,34	5,23	5,64	5,44	5,34	0,59	0,68	0,63	0,40	0,51	0,71
MgO	2,56	2,04	2,56	3,07	2,81	2,56	0,09	0,09	0,09	0,08	0,09	0,09
CaO	5,74	5,33	5,83	5,97	5,90	5,92	0,76	0,93	0,84	0,47	0,66	0,87
Na ₂ O	3,07	3,23	3,10	2,87	2,98	3,12	2,11	1,28	1,69	1,61	1,65	3,43
K ₂ O	3,96	3,64	3,84	4,50	4,17	3,73	8,17	9,41	8,79	8,72	8,76	6,39
TiO ₂	0,69	0,58	0,68	0,82	0,75	0,67	0,09	0,10	0,10	0,09	0,09	0,08
P ₂ O ₅	0,32	0,30	0,32	0,36	0,34	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,11	0,10	0,11	0,12	0,11	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Cr ₂ O ₃	0,08	0,00	0,17	0,00	0,08	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LOI	0,52	0,47	0,55	0,52	0,54	0,58	0,68	1,13	0,91	0,56	0,73	0,35
İz ve Nadir Toprak Element (NTE), ppm												
Ba	1083,3	975,6	1019,6	1318,3	1168,9	956,0	306,6	404,9	355,7	481,9	418,8	32,9
Be	3,2	3,0	3,0	3,7	3,4	2,9	3,6	1,5	2,6	3,7	3,1	5,8
C	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
Cd	0,7	1,2	0,5	0,6	0,6	0,4	1,0	2,0	1,5	0,7	1,1	0,4
Co	29,1	31,3	27,4	30,2	28,8	25,7	31,7	30,2	30,9	42,2	36,6	22,7
Cs	5,6	4,6	5,8	6,3	6,0	6,0	6,3	5,0	5,6	5,7	5,7	8,3
Ga	51,9	48,1	48,7	62,1	55,4	45,5	22,7	25,5	24,1	27,1	25,6	15,4
Hf	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	1,4	1,9	1,7	1,8	1,7	0,6
Li	29,5	27,9	28,2	33,9	31,0	26,9	8,6	7,5	8,1	5,3	6,7	13,1
Pd	2,5	2,1	2,5	2,6	2,6	2,6	0,4	0,5	0,4	0,6	0,5	0,1
Pt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rb	131,6	117,2	128,5	152,2	140,3	125,4	312,5	324,5	318,5	316,7	317,6	296,1
Rh	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ru	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	0,3	0,1	0,2	0,0
Sb	0,4	0,3	0,5	0,4	0,4	0,5	1,9	3,6	2,8	1,7	2,3	0,4
Sn	2,3	2,5	2,2	2,3	2,3	2,1	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5
Sr	628,9	563,1	625,5	701,6	663,6	622,1	91,2	120,7	106,0	129,9	117,9	23,1
U	9,1	6,4	8,2	13,4	10,8	7,3	38,5	31,5	35,0	67,7	51,3	16,5
Zn	157,8	314,3	111,9	93,4	102,6	65,9	203,6	448,3	325,9	101,0	213,5	61,6
Se	4,9	8,9	2,9		2,9	0,9	3,0	0,6	1,8	6,8	4,3	1,7
Sc	53,4	50,3	53,4	56,7	55,0	53,3	48,8	50,9	49,8	53,0	51,4	42,6
Y	23,1	23,0	22,8	24,1	23,4	22,4	7,6	5,5	6,5	8,9	7,7	8,5
La	42,5	34,5	44,0	47,5	45,8	45,5	24,0	18,3	21,1	17,7	19,4	35,9
Ce	87,1	77,2	87,6	96,0	91,8	88,1	37,1	27,1	32,1	26,3	29,2	57,9
Pr	9,9	9,2	9,8	10,9	10,4	9,7	3,3	2,2	2,7	2,2	2,5	5,3
Nd	37,3	34,9	36,7	40,8	38,7	36,1	9,8	6,4	8,1	6,6	7,3	16,3
Sm	7,3	6,9	7,2	7,8	7,5	7,1	1,7	1,1	1,4	1,4	1,4	2,6
Eu	1,9	1,8	1,9	2,0	1,9	1,9	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,1
Gd	7,3	6,9	7,2	7,9	7,6	7,1	2,0	1,4	1,7	1,6	1,7	2,9
Tb	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3
Dy	4,6	4,4	4,6	4,8	4,7	4,5	1,2	0,8	1,0	1,4	1,2	1,4
Ho	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
Er	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,6	0,9	0,7	0,8	1,1	0,9	1,0
Tm	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2
Yb	2,5	2,5	2,4	2,5	2,5	2,4	1,2	1,0	1,1	1,4	1,3	1,3
Lu	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Th	30,8	27,0	27,9	40,3	34,1	25,1	39,8	34,5	37,1	47,4	42,3	37,6

İncelenen granitoidler, toplam alkalilerin ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) zenginleşmesinden dolayı kalk-alkali afiniteye sahiptir (Şekil 8a). Bunlar çoğunlukla, tek model magmanın ürettiği kayalardır (Petro vd., 1979) (örneğin yitim zonu ile ilgili granitler) (Şekil 8a). Plütonik kayalar için toplam alkali-silika (TAS) diyagramı (Middlemost, 1985), granodiyorit örneklerini granodiyorit, monzonit ve kuvars-monzonit olarak sınıflandırırken, granit örnekleri tutarlı bir şekilde granit alanına düşmektedir (Şekil 8b). Ayrıca, El Bouseily ve El Sokkary (1975) tarafından yapılan Rb, Ba ve Sr üçlü diyagramı, granitlerin, granodiyorit ve kuvars diyorit alanında yer alan granodiyoritlerden oldukça farklı olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 8c). Granit örnekleri ise oldukça farklılaşmış granit alanlarında çizilir (Şekil 8c). Ayrıca, I- ve S-tipi granitik kayalar, Shand'ın (1927) alümina doygunluk indeksi (ASI) değerinden (molar $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) tanınabilir. İncelenen granitoidler, I-tipi granitik sütler olarak sınıflandırılan ve bu nedenle metalümin grubu olarak gruplandırılan 1.1'den daha az A/CNK'ye sahiptir (Şekil 8d). Granitoidlerin iki serisi, $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2-\text{FeO}+\text{MnO}-\text{MgO}$ diyagramı (Ishihara, 1977) ile manyetit serisi granitoidlere (Şekil 8e) açıkça ayrılmıştır. Kondrit ile normalize edilmiş nadir toprak elementi (NTE) paterni, HNTE'nin ANTE'e göre granodiyoritler ve granitler için negatif Eu anomalileri ile zenginleştiğini ortaya koymaktadır (Şekil 8f).

Alterasyon Jeokimyası

Kocaseyit polimetalik Cu (30436.7 ppm'e kadar)-As (219.6 ppm'e kadar)-Ni (257.6 ppm'e kadar)-Pb (189.3 ppm'e kadar) damar tipi cevherleşme (Tablo 2), Düztarla granitoyitleri ile dokanaktaki Balya Formasyonu'ndaki (arkozik kumtaşları) KD-GB fay zonu boyunca az miktarda karbonat alterasyonu ile serisit-kaolinit-kuvars-pirit \pm albit alterasyon tiplerini içeren bir alterasyon zonu içerisinde oluşmuştur. Large ve diğerleri, (2001) ve Ishikawa ve diğerleri, (1976)'nın klorit-karbonat-pirit indeksinin (CCPI) alterasyon ayırtlama diyagramına dayanarak, altere örnekler serisit-pirit-klorit alterasyon tiplerine sahip kuvvetli altere kayalar alanında yer almakta olup, bazı örnekler Mn-karbonat-serisit-klorit alterasyon tiplerine düşmektedir (Şekil 9a). $\text{Na}_2\text{O}+\text{CaO} - \text{MgO}+\text{FeO}^*$ ikili diyagramına göre, bu numunelerin daha az miktarda albitleşme ve karbonatlaşma ile plajiyoklaz yıkımı ile oluşan serisitleşmeden oldukça fazla etkilendiğini ifade etmektedir (Şekil 9b).



Şekil 9. (a) Kocaseyit Bölgesinde İncelenen Altere Örneklerin AI (Ishikawa vd., 1976) ve CCPI (Large vd., 2001) Karşılaştırması, (b) $\text{Na}_2\text{O}+\text{CaO}$ ve $\text{MgO}+\text{FeO}^*$ Karşılaştırması (Large vd., 2001).

Tablo 2. Çalışma Alanındaki Altere Kayaçların Majör Oksit (%), İz Element ve Nadir Toprak Element (ppm) Analiz Değerleri

Örnek	KS13	KS14	KS15	KS16	KS17	KS18	KS19	KS20	KS21
SiO ₂	58,39	61,69	59,63	60,87	60,66	60,04	49,99	12,54	68,34
Al ₂ O ₃	17,92	15,43	16,99	16,05	16,21	16,68	17,86	4,23	4,83
Fe ₂ O ₃	6,42	6,02	6,27	6,12	6,15	6,22	10,34	7,29	7,08
MgO	4,10	1,64	3,18	2,26	2,41	2,87	6,71	6,80	0,70
CaO	0,63	0,28	0,50	0,37	0,39	0,46	3,48	33,58	0,13
Na ₂ O	1,21	0,13	0,81	0,40	0,47	0,67	3,26	0,00	0,06
K ₂ O	5,74	6,15	5,89	6,05	6,02	5,95	2,58	0,54	1,29
TiO ₂	0,68	0,52	0,62	0,56	0,57	0,60	0,79	0,15	0,07
P ₂ O ₅	0,17	0,10	0,14	0,12	0,12	0,14	0,34	0,03	0,02
MnO	0,20	0,10	0,16	0,13	0,13	0,15	0,23	0,59	0,04
LOI	4,53	3,81	2,83	1,13	1,42	2,27	4,43	34,25	4,90
İz ve Nadir Toprak Element (NTE), ppm									
Ag	0,5	3,2	1,5	2,5	2,3	1,8	0,3	0,3	36,7
As	96,8	164,0	122,0	147,2	143,0	130,4	112,5	151,3	219,6
Au	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
Ba	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	105,9	0,4
Be	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,4	7,2	3,8
Cd	0,2	0,6	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,2	3,6
Co	16,7	31,9	22,4	28,1	27,1	24,3	25,4	19,5	45,3
Cs	5,7	11,5	7,9	10,0	9,7	8,6	5,9	1,5	1,6
Cu	2887,5	2866,4	2845,3	7101,4	3165,1	1348,5	2803,0	2972,1	30436,8
Ga	88,2	82,4	86,0	83,8	84,2	85,3	54,3	17,8	23,1
In	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,3
Ir	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0
Li	110,2	93,2	103,8	97,4	98,5	101,7	131,6	40,0	72,5
Ni	257,6	247,6	253,9	250,1	250,7	252,6	218,2	237,9	220,3
Pb	9,5	189,3	76,9	144,4	133,1	99,4	14,2	14,1	1,2
Pd	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	0,3	0,2
Rb	170,3	120,6	151,6	133,0	136,1	145,4	91,2	25,9	41,9
S	0,0	75500,0	28312,5	56625,0	51906,3	37750,0			40926,9
Sb	1,5	8,2	4,0	6,5	6,1	4,8	5,5	3,6	4,6
Sn	4,1	3,0	3,7	3,3	3,3	3,5	7,2	0,9	2,2
Sr	107,6	70,9	93,8	80,1	82,4	89,3	0,9	0,8	14,8
Te	0,0	0,8	0,3	0,6	0,5	0,4	1,4	0,1	1,1
Tl	2,5	3,2	2,8	3,0	3,0	2,9	1,1	0,3	0,9
U	3,6	2,6	3,2	2,9	2,9	3,1	1,3	1,3	0,3
Se	3,3	5,3	4,1	4,8	4,7	4,3	3,2	2,7	14,0
Y	12,1	14,3	12,9	13,8	13,6	13,2	17,0	20,6	2,3
La	13,1	22,4	16,6	20,1	19,5	17,8	9,9	11,8	2,4
Ce	43,1	42,3	42,8	42,5	42,5	42,7	26,8	20,4	4,8
Pr	4,5	5,5	4,9	5,3	5,2	5,0	3,7	2,5	0,6
Nd	17,8	21,1	19,0	20,3	20,1	19,4	15,2	10,0	2,1
Sm	3,5	4,1	3,7	3,9	3,9	3,8	3,3	2,2	0,5
Eu	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,1	0,7	0,1
Gd	2,9	3,5	3,1	3,3	3,3	3,2	3,5	2,8	0,4
Tb	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,1
Ho	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,1
Er	1,3	1,6	1,4	1,5	1,5	1,4	1,6	1,6	0,2
Tm	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0
Yb	1,3	1,6	1,4	1,5	1,5	1,4	1,3	1,3	0,2
Lu	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,0
Parametre									
FeO*	5,78	5,42	5,64	5,51	5,53	5,60	9,31	6,56	6,37
CCPI	58,70	52,92	56,84	54,63	55,02	56,14	73,28	96,12	83,97
Ishikawa AI	84,25	95,00	87,43	91,54	90,77	88,68	57,95	17,94	91,28
Na ₂ O+CaO	1,84	0,41	1,30	0,77	0,86	1,13	6,74	33,58	0,19
MgO+FeO*	9,88	7,06	8,82	7,76	7,94	8,47	16,02	13,36	7,07
Σ NTE	89,69	104,42	95,21	100,74	99,81	97,05	67,98	54,72	11,46
Σ HNTE	82,96	96,26	87,94	92,93	92,10	89,61	60,10	47,64	10,37
Σ ANTE	6,74	8,16	7,27	7,80	7,71	7,45	7,88	7,08	1,09
Σ ANTE/Σ NTE	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,12	0,13	0,09
Σ HNTE/Σ NTE	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,88	0,87	0,91
MgO indeksi	35,10	20,00	30,63	24,86	25,94	28,87	41,86	16,62	32,11
K ₂ O indeksi	49,14	75,00	56,81	66,68	64,84	59,81	16,09	1,32	59,17

Alterasyon ve Mineralizasyon süreçlerinde Nadir Toprak Elementlerin Davranışı

Genel olarak, kayaların nadir toprak element değerleri, kökeni ve petrojenetik tarihi, fraksiyonasyon derecesi, akışkan kaynağı ve hidrotermal alterasyonun gelişiminin anlaşılması hakkında jeokimyasal bilgi içeren çeşitli kanıtlara sahiptir (Lottermoser, 1992; Zou vd., 1996; Zou, 1998; Zou, 2000; Takahashi vd., 2002). Tablo 2’de Hafif nadir toprak elementlerinin, Ağır nadir toprak elementlerine göre zenginleştiği görülmektedir. NTE'lerin hidrotermal alterasyon sırasındaki davranışını anlamak için, altere olmuş kayaların HNTE oranı ($\sum\text{HNTE} / \sum\text{NTE}$) ve ANTE oranı ($\sum\text{ANTE} / \sum\text{NTE}$) jeokimyasal arama indeksleri [örneğin, altersyon indeksi (A.I.) (Ishikawa vd, 1976), K₂O indeksi (K.I.) ve magnezyum indeksi (M.I.)] ile karşılaştırılır (Abdelnasser vd, 2018). Alterasyon indeksi (A.I.), MgO indeksi (M.I.), ve K₂O indeksi (K.I.) aşağıdaki eşitliklerden hesaplanabilmektedir (Shikazono vd., 2008):

$$\text{A.I.} = (\text{MgO} + \text{K}_2\text{O}) / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO}) \times 100 \quad (1)$$

$$\text{M.I.} = \text{MgO} / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO}) \times 100 \quad (2)$$

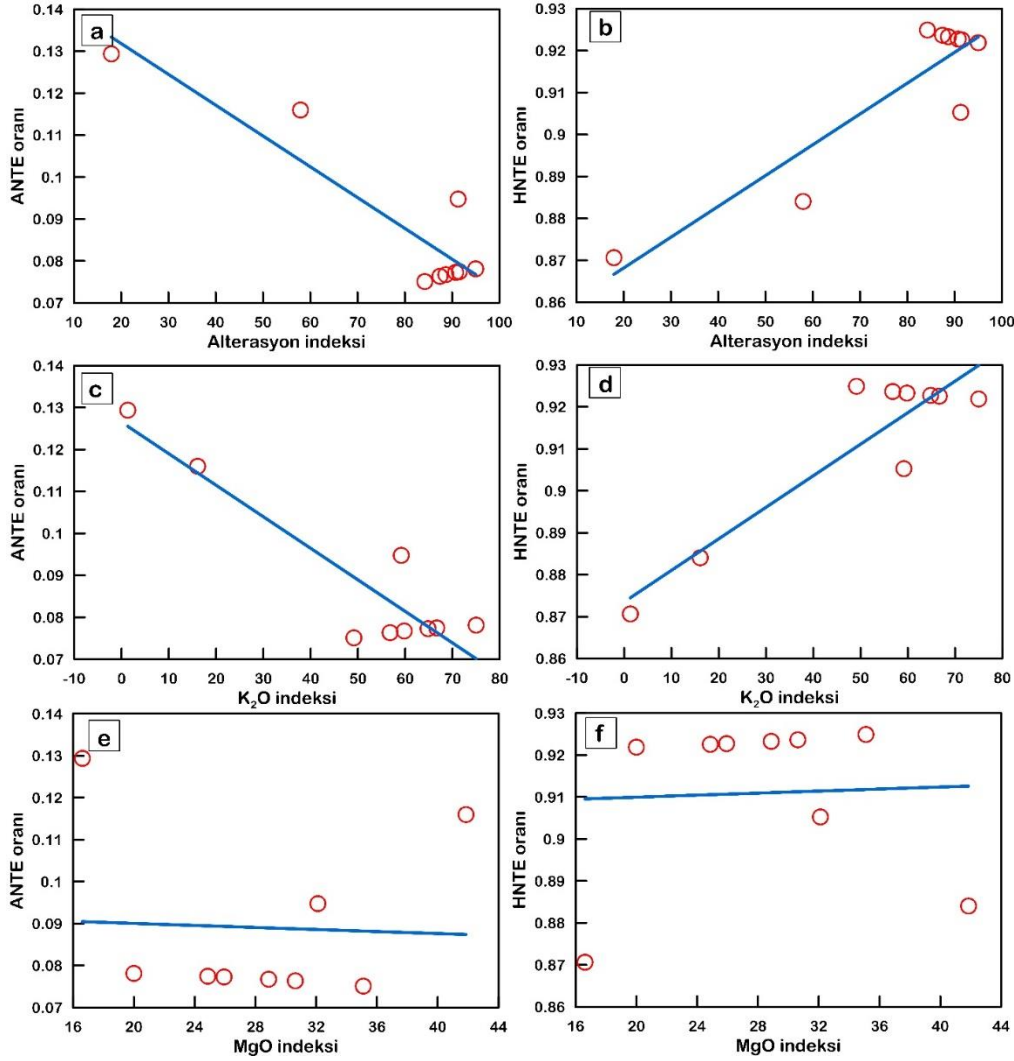
$$\text{K.I.} = \text{K}_2\text{O} / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO}) \times 100 \quad (3)$$

Kocaseyit bölgesindeki altere kayalar esas olarak serisitleşme ve piritleşmeye, çok az oranda kloritleşme ve karbonatlaşmaya uğramıştır. A.I. ve K.I., HNTE oranıyla pozitif bir korelasyon ve ANTE oranıyla negatif bir korelasyon göstermektedir (Şekil 10a-d). Bu ilişki, ya HNTE'lerin hidrotermal çözeltilerden kayalara taşınabildiğini ya da HNTE'lerinin kayalarda zenginleştiğini göstermektedir. M.I. ile HNTE ve ANTE oranları arasında gözlenen rasgele dağılımlar ve/veya korelasyon olmaması (Şekil 10e-f), K bakımından zengin mineral oluşumunun klorit oluşumundan daha yaygın ve yoğun bir şekilde meydana geldiğini göstermektedir (Utada vd, 1983).

TARTIŞMA VE SONUÇ

Türkiye'nin kuzeybatısında yer alan Kocaseyit Bölgesi'nde bulunan Düztarla granitoyitleri ile dokanaktaki Balya Formasyonu'ndaki (arkozik kumtaşları) KD-GB fay zonu boyunca lokalize olan polimetalik Cu-As-Ni-Pb damar tipi cevherleşme göstermektedir. Bu kaya birimleri, major-iz element ve NTE jeokimyası için analiz edilmiştir. Bu bilgilere dayanarak elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

- (1) Üç tür cevherleşme fazı belirlenmiştir. Bunlar; (1) magmatik-hidrotermal, (2) hidrotermal ve (3) süperjen faz olarak tanımlanmıştır.
- (2) Magmatik-hidrotermal fazda; pentlandit, pirit ve bazı arsenopirit mineralleri,
- (3) Hidrotermal fazda; pirit, arsenopirit, kalkopirit ve sfalerit mineralleri,
- (4) Süperjen faz döneminde ise kalkopirit ve piritten sonra sırasıyla malakit, kovellit ve götit oluşumları gözlenmektedir.
- (5) Cevherleşmeler ile ilişkili olarak yoğun miktarda serisitleşme, kaolinleşme ve piritleşme, az miktarda ise karbonatlaşma ve kloritleşme görülen alterasyon türleridir.
- (6) Burada görülen granitoyit kayaların kalk-alkali metaalumina I-tipi granit özellikleri gösterdiği düşünülmektedir.
- (7) Granodiyorit örnekleri granodiyorit, monzonit ve kuvars-monzonit, granit örnekleri ise granit olarak sınıflandırılmıştır.
- (8) Altere kayaların Mn-karbonat-serisit-klorit alterasyonu ile birlikte serisit-pirit-klorit alterasyonundan güçlü bir şekilde etkilendikleri görülmektedir.
- (9) Alterasyon indeksi (A.I.) ve K₂O indeksi (K.I.), HNTE oranı ile pozitif bir korelasyon göstermektedir.
- (10) A.I. ve K.I., ANTE oranı ile negatif bir korelasyon göstermektedir.
- (11) Bu korelasyonlara bakıldığında HNTE'lerin hidrotermal çözeltilerden kayalara taşındığı ya da HNTE'lerinin kayalarda zenginleştiği düşünülmektedir.
- (12) MgO indeksi (M.I.) ile HNTE ve ANTE oranları arasında korelasyon olmaması, serisitleşme ve kaolinleşme (K bakımından zengin) oluşumunun kloritleşmeden (Mg bakımından zengin) daha yaygın ve yoğun olduğunu göstermektedir.



Şekil 10. (a) Alterasyon indeksi (A.I.) – Ağır nadir toprak element (ANTE) oranı. (b) Alterasyon indeksi (A.I.) – Hafif nadir toprak element oranı. (c) K₂O index (K.I.) – Ağır nadir toprak element oranı. (d) K₂O index (K.I.) – Hafif nadir toprak element oranı. (e) MgO index (M.I.) – Ağır nadir toprak element oranı. (f) MgO index (M.I.) – Hafif nadir toprak element oranı.

TEŞEKKÜR

Öncelikle İTÜ Rektörlüğü'ne, jeokimyasal analizler sırasındaki çabaları dolayısıyla İstanbul Teknik Üniversitesi Jeokimya Araştırma Laboratuvarı (ITU-JAL) çalışma ekibine ve Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi editörlerine ile bilimsel olarak makalenin gelişmesini sağlayan hakemlere teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Abdelnasser, A., Kumral, M., Zoheir, B., Karaman, M., & Weihed, P. (2018). REE geochemical characteristics and satellite-based mapping of hydrothermal alteration in Atud gold deposit, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 145, 317-330.
- Abdelnasser, A., Kumral, M., Zoheir, B., & Yilmaz, H. (2022). Evolution of the Tepeoba porphyry-skarn Cu-Mo-Au deposit, NW Turkey: New mineralogical and geochemical findings. *Ore Geology Reviews*, 147, 104967.
- Altunkaynak, Ş., Dilek, Y., Genç, C. Ş., Sunal, G., Gertisser, R., Furnes, H., & Yang, J. (2012). Spatial, temporal and geochemical evolution of Oligo–Miocene granitoid magmatism in western Anatolia, Turkey. *Gondwana Research*, 21(4), 961-986.

- Akiska, S., Demirela, G., & Sayili, S. (2013). Geology, mineralogy and the Pb, S isotope study of the Kalkim Pb-Zn[±]-Cu deposits, Biga Peninsula, NW Turkey. *Journal of Geosciences*, 58(4).
- Altınlı, İ. E. (1973a). Bilecik Jurasîği. Cumhuriyetin 50. yılı Yerbilimleri Kongresi, 159-187, Ankara.
- Aslaner, M. (1965). Etude géologique et pétrographique de la région d'Edremit-Havran (Turquie): MTA Yayım no: 110, 98 pp.
- Bingöl, E., Akyürek, B., & Korkmazer, B. (1973). Biga yarımadasının jeolojisi ve Karakaya formasyonunun bazı özellikleri, Cumhuriyetin 50. yılı Yerbilimleri Kong. Tebliğleri, s. 70, Ankara.
- Chappell, B. W., & White, A. J. R. (1992). I-and S-type granites in the Lachlan Fold Belt. *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 83 (1-2), 1-26.
- Duru, M., Pehlivan, Ş., Şentürk, Y., Yavaş, F., & Kar, H. (2004). New results on the lithostratigraphy of the Kazdağ Massif in northwest Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 13(2), 177-186.
- Duru, M., Pehlivan, Ş., Dönmez, M., Ilgar, A. ve Akçay, A. E. (2007). Balıkesir –İ18 Paftası Jeoloji Haritası, Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü, Ankara.
- Duru, M., Pehlivan, Ş., Aral, İ.O., Şentürk, Y., Yavaş, F., & Kar, H. (2012). Biga Yarımadası'nın Tersiyer Öncesi Jeolojisi, M.T.A. Özel Yayınlar Serisi, No 28, 7-74.
- El Bouseily, A. M., & El Sokkary, A. A. (1975). The relation between Rb, Ba and Sr in granitic rocks. *Chemical Geology*, 16(3), 207-219.
- Ersoy, Y., Helvacı, C., & Palmer, M.R. (2012). Petrogenesis of the Neogene volcanic units in the NE-SW trending basins in western Anatolia, Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 163, 379-401.
- Gümüş, A. (1964). Contribution à l'étude géologique du secteur septentrional de Kalabak Köy-Eymir Köy (region d'Edremit), Turquie. M.T.A. Publ., no. 117, 109 p.
- Gözler, M.Z. (1986). Kazdağ batısı Mıhlıdere Vadisi'nin jeolojik petrografik incelenmesi. *TJK Bülteni*, C. 29, 133-142.
- Irvine, T.N., & Baragar, W.R.A. (1971). A guide to chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.*, 8, 523-548.
- Ishihara, S. (1977). The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Mining geology*, 27(145), 293-305.
- Ishikawa, Y., Sawaguchi, T., Iwaya, S., & Hariuchi, M. (1976). Delineation of prospecting targets for Kuroko deposits based on modes of volcanism underlying dacite and alteration halos. *Mining Geology* 26, 105-117.
- Janković, S. (1977). The copper deposits and geotectonic setting of the Tethyan Eurasian metallogenic belt. *Miner 482 Deposita*, 12, 37-47. 483 3.
- Jiang N., Sun S., Chu X., Mizuta T., Ishiyama D. (2003). Mobilization and enrichment of high-field strength elements during late-and post-magmatic processes in the Shuiquangou syenitic complex, Northern China. *Chemical Geology*, 200, 117-128.
- Karaman, M., Kumral, M., Yildirim, D. K., Doner, Z., Afzal, P., & Abdelnasser, A. (2021). Delineation of the porphyry-skarn mineralized zones (NW Turkey) using concentration–volume fractal model. *Geochemistry*, 81(4), 125802.
- Krushensky, R., Akçay, Y., & Karaege, E. (1980). Geology of the Karalar-Yeşiller area, Northwest Anatolia; U.S. Geological Survey Bulletin, 1461, 72.
- Kumral, M., Kabiru, M., Aydoğan, M. S., Kocaturk, H., & Unluer, A. T. (2022). The Soma polymetallic hydrothermal Pb–Zn–Cu (±Mo±Ag±Au) mineralizations in the south of Biga Peninsula, NW Turkey: constraints from mineralogy, geochemistry, and fluid inclusion data. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(12), 1-23.
- Kuno, H. (1968). Origin of andesite and its bearing on the island arc structure. *Bulletin Volcanologique*, 32(1), 141-176.
- Kuşcu, I., Yilmazer, E., Güleç, N., Bayir, S., Demirela, G., Kuşcu, G., Kuru, G. And Kaymakçı, N. (2011). U-Pb and 40Ar-39Ar geochronology and isotopic constraints on the genesis of copper-gold-bearing iron oxide deposits in the hasaңcelebi district, eastern Turkey. *Economic Geology*, 106(2).

- Kuşçu, İ. (2019). Skarns and skarn deposits of Turkey. In *Mineral Resources of Turkey* (pp. 283-336). Springer, Cham.
- Large, R. R., Gemmeil, J. B., Paulick, H., & Huston, D. L. (2001). The alteration box plot: A simple approach to understanding the relationship between alteration mineralogy and litho-geochemistry associated with volcanic-hosted massive sulfide deposits. *Economic geology*, 96(5), 957-971.
- Lottermoser, B. G. (1992). Rare earth elements and hydrothermal ore formation processes. *Ore Geology Reviews*, 7(1), 25-41.
- Mao, J., Pirajno, F., Lehmann, B., Luo, M., & Berzina, A. (2014). Distribution of porphyry deposits in the Eurasian 484 continent and their corresponding tectonic settings. *J Asian Earth Sci.*, 79, 576-584.
- Middlemost, E. A., Magmas, K., & Rocks, M. (1985). An introduction to igneous petrology. *Magma and magmatic Rocks*. Longmans.
- Okay, A. Đ, Siyako, M. ve Bürkan K. A. (1990). Biga Yarımadası'nın Jeolojisi ve Tektonik Evrimi, T.P.J.D., 2/1, 83-121.
- Okay, A. I. (1996). Paleo-and Neo-Tethyan events in northwest Turkey: geological and geochronological constraints. *Tectonics of Asia*, 420-441.
- Parr, J. M. (1992). Rare-earth element distribution in exhalites associated with Broken Hill-type mineralisation at the Pinnacles deposit, New South Wales, Australia. *Chemical Geology*, 100(1-2), 73-91.
- Parsapoor, A., Khalili, M., & Mackizadeh, M. A. (2009). The behaviour of trace and rare earth elements (REE) during hydrothermal alteration in the Rangan area (Central Iran). *Journal of Asian Earth Sciences*, 34(2), 123-134.
- Petro, W.L., Vogel, T.A., & Wilband, J.T. (1979). Major-element chemistry of plutonic rock suites from compressional and extensional plate boundaries. *Chem. Geol.*, 26, 217-235.
- Shand, S. J. (1927). On the relations between silica, alumina, and the bases in eruptive rocks, considered as a means of classification. *Geological Magazine*, 64(10), 446-449.
- Shikazono, N., Ogawa, Y., Utada, M., Ishiyama, D., Mizuta, T., Ishikawa, N., & Kubota, Y. (2008). Geochemical behavior of rare earth elements in hydrothermally altered rocks of the Kuroko mining area, Japan. *Journal of Geochemical Exploration*, 98(3), 65-79.
- Sun, S. S., & McDonough, W. F. (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society, London, Special Publications*, 42(1), 313-345.
- Takahashi, Y., Yoshida, H., Sato, N., Hama, K., Yusa, Y., & Shimizu, H. (2002). W-and M-type tetrad effects in REE patterns for water-rock systems in the Tono uranium deposit, central Japan. *Chemical geology*, 184(3-4), 311-335.
- Torres-Alvarado, I. S. (2002). Chemical equilibrium in hydrothermal systems: the case of Los Azufres geothermal field, Mexico. *International Geology Review*, 44(7), 639-652.
- Utada, M., Ishikawa, Y., Takahashi, T., & Hashiguchi, H. (1983). The distribution of alteration zones in the western area (Hanaoka-Matsumine-Shakanai mineralization area) of the Hokuroku District, northeast Japan. *Mining Geologists Japan Spec. Paper*, 11, 125-138.
- Yigit, O. (2006). Gold in Turkey—a missing link in Tethyan metallogeny. *Ore Geology Reviews*, 28(2), 147-179.
- Yigit, O. (2009). Mineral deposits of Turkey in relation to Tethyan metallogeny: implications for future mineral exploration. *Economic Geology*, 104(1), 19-51.
- Yigit, O. (2012). A prospective sector in the Tethyan Metallogenic Belt: Geology and geochronology of mineral deposits in the Biga Peninsula, NW Turkey. *Ore Geology Reviews*, 46, 118-148.
- Yildirim, D. K. (2022). Genesis of the Halılar Metasediment-Hosted Cu-Pb (\pm Zn) Mineralization, NW Turkey: Evidence from Mineralogy, Alteration, and Sulfur Isotope Geochemistry. *Minerals*, 12(8), 991.
- Zou, H. and Zindler, A. (1996). Constrains on the degree of dynamic partial melting and source composition using concentration ratios in magmas. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 60 (4), 711-717.
- Zou, H. (1998). Trace element fractionation during modal and nonmodal dynamic melting and open-system melting. A mathematical treatment, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 62, pp. 711-717.

Zou, H. (2000). Modeling of trace element fractionation during nonmodal dynamic melting with linear variations in mineral melt distribution coefficients. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 64(6), pp. 1095-1102