



Şuhut (Afyonkarahisar) Batısındaki Alterasyon Zonlarının Mineralojik ve Jeokimyasal Özellikleri

*Makale Bilgisi / Article Info

Alındı/Received: 07.07.2023

Kabul/Accepted: 25.01.2024

Yayımlandı/Published: 27.02.2024

Mineralogical and Geochemical Properties of Alteration Zones in the Western Şuhut (Afyonkarahisar)

Raziye ÖZ¹, Ahmet YILDIZ^{2*}

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyonkarahisar, Türkiye

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

Öz

Bu çalışmada, Şuhut ilçesi (Afyonkarahisar) batısındaki volkanik ve metamorfik kayalardaki alterasyon zonlarının mineraloji, petrografisi ve jeokimyası araştırılmıştır. İnceleme alanının temelini Paleozoik yaşlı metamorfik kayalar oluşturmaktadır. Temel kayaların üzerine Orta Miyosen yaşlı volkanosedimanter ve volkanik kayalar gelmiştir. Alterasyona uğramış kayaların mineralojik-petrografik ve jeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi için inceleme alanındaki alterasyon zonlarından örnekler alınmıştır. Toplam alkali-silis (TAS) diyagramında örneklerin büyük bir bölümünün trakiandezitik bileşim sunduğu belirlenmiştir. Çaltepe dolomitleri ve bunların ayrışma ürünleri ise adlandırma grafiklerine göre M-15 ve M-19 nolu örnekler dolomit-kireçtaşı geçiş zonunda, M-13, M-14, M-17 ve M-20 nolu örnekler ise dolomitik bileşimde oldukları sonucuna varılmıştır. Volkanik kayaların kondrite göre normalize nadir toprak element grafiğinde hafif nadir toprak elementleri (HNTE) zenginleşmiş, ortaç (ONTE) ve ağır nadir toprak elementleri (ANTE) ise kayba uğradığı görülmüştür. M-11 ve M-25 nolu örneklerde Ni, Cu, Pb, ve Zn konsantrasyonlarının köken kayaca göre yaklaşık elli kat artış gözlenmesi hidrotermal alterasyonun etkisini işaret etmektedir. Taze/az ayrışmış dolomitlerin normalize edilmiş ana element içeriklerine göre alterasyon süresince maksimum SiO₂ zenginleşmesi ve P₂O₅ kaybı gerçekleşmiştir. Köken kayaca göre normalize edilmiş eser element değişimlerinde, U ve Zr maksimum kayba uğramış, Rb, Sr ve Co en fazla zenginleşmiştir. Dolomitlerin alterasyona uğraması sonucunda Hafif Nadir Toprak Elementleri (LREE) Ağır Nadir Toprak Elementleri (HREE)'ne göre daha fazla mobilize olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Alterasyon; Mineraloji; Petrografi; Jeokimya; Şuhut; Afyonkarahisar

Abstract

The mineralogy, petrography and geochemistry of the alteration zones in the volcanic and metamorphic rocks in the west of Şuhut district (Afyonkarahisar) were investigated in this study. Paleozoic aged metamorphic rocks form the basis of the study area. Middle Miocene volcano-sedimentary and volcanic rocks overlie the basement rocks. The altered rocks were sampling for determining the mineralogical-petrographical and geochemical properties. It was determined that all samples except M-10 exhibit trachyandesitic composition on the total alkali-silica (TAS) diagram. According to the discrimination diagrams of Çaltepe dolomite and their alteration products, M-15 ve M-19 were plotted in dolomite-limestone transition zone, M-13, M-14, M-17 and M-20 also show dolomitic composition. In the rare earth element graph of the volcanic rock samples normalized to chondrite, light rare earth elements (HREE) were enriched, while intermediate (ONTE) and heavy rare earth elements (ANTE) were lost. The increase in Ni, Cu, Pb, and Zn concentrations up to 50 times in M-11 and M-25 compared to the parent rock indicates the effect of hydrothermal alteration. Maximum SiO₂ enrichment and P₂O₅ loss occurred based on the normalized main element contents of fresh/less weathered dolomites. According to the normalized trace element changes with respect to the hostrock, U and Zr lost maximum, on the other hand Rb, Sr and Co enriched the most. As a result of the alteration of the dolomites, Light Rare Earth Elements (LREE) are more mobilize than Heavy Rare Earth Elements (HREE).

Keywords: Alteration; Mineralogy; Petrography; Geochemistry; Şuhut; Afyonkarahisar

1. Giriş/Introduction

Madencilik faaliyetleri ülkelerin teknolojik olarak gelişmelerinde önemli bir paya sahiptirler. Madencilik çalışmalarının yoğun olarak gözlemlendiği ve bunun sonucu

olarak yeraltı kaynaklarını ekonomiye kazandıran ülkeler diğer ülkelere göre hem ekonomik ve hem de toplum refahı açısından daha ileri bir konumda bulunmaktadır. İnceleme alanını da içine alan geniş bir bölgedeki volkanizmanın jeolojisi, petrografisi ve

petrolojisi üzerine yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Afyonkarahisar ilindeki volkanizma, Afrika levhasının, Avrasya levhası altına dalması ve bunun sonucu olarak okyanusal basenin kapanması sonucu oluşmuştur (Şengör vd. 1984; Yılmaz vd. 2000; Işık vd. 2004; Ring and Collins 2005; Çemen e al., 2006; Prelevic et al., 2012). Orta Miyosen zamanında volkanizma çok aşamalı potasik ve ultrapotasik alkali volkaniklerin ardalanması şeklinde kendini göstermektedir. Bölgede yapılan çalışmalarda volkanizma ürünlerinin yaklaşık 550 km²'lik bir alanda yayılım sunduğu ve volkanizmanın stratovolkan şeklinde gözlemlendiği belirtilmiştir (Keller and Villari, 1972; Keller, 1983; Akal 2003; Aydar et al., 2003; 2008; Akal et al., 2013). Alterasyon gerek yüzey sularının ve gerekse hidrotermal eriyiklerin etkisiyle kayalarda meydana gelen mineralojik-petrografik, jeokimyasal ve fiziksel değişimine neden olmaktadır. Alterasyon süresince kayaç oluşturan bazı elementler taşınarak ortamdaki uzaklaşırken, bazı elementler ise yerinde zenginleşmektedir. Alterasyon sonucu ortaya çıkan değişimler alterasyonun ortamsal koşulları hakkında bilgi vermesinin yanı sıra, bazı değerli minerallerin zenginleşerek, yeni maden yatakları oluşumunu sağlamaktadır. Çalışmada Şuhut (Afyonkarahisar) ilçesinin batısındaki Akyuva, Koçyatağı, Çakırözü, Karlık ve Ağzıkara köyleri arasında kalan bölgedeki volkanik ve metamorfik kayalardaki alterasyon ürünlerinin mineraloji, petrografisi ve jeokimyasal bileşiminin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Analitik Yöntemler

İnceleme alanı, Afyonkarahisar ilinin 25 km güneyinde, Şuhut ilçesinin batısında yer almakta olup, Şuhut'a yaklaşık 8 km uzaklıktadır. İnceleme alanına yakın yerleşim birimleri Şuhut ilçe merkeziyle Akyuva, Koçyatağı, Çakırözü, Karlık ve Ağzıkara köyleridir. İnceleme alanındaki volkanik ve metamorfik kayalardaki alterasyon zonlarından detayları jeoloji bölümünde verilen örnekler alınarak polarizan mikroskop, x-ışını kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskop (SEM) ve jeokimyasal analizler yapılmıştır.

Polarizan mikroskop çalışmaları Leica DM2500P model polarizan mikroskopta yürütülmüştür. Taramalı elektron mikroskop (SEM) incelemeleri LEO VP-1431 model SEM mikroskobunda yapılmıştır. X-ışınları kırınımı (XRD) çalışmaları Shimadzu XRD-6000 model X-ışını difraktometre cihazı (Ni filtreli, CuK α radyasyonlu) kullanılarak yapılmıştır. Majör oksit analizleri RIGAKU / ZSX PRIMUS 2 model dalgaboyu dağılımlı x-ışını

fluorensans (XRF) cihazı ile, iz ve nadir toprak element analizleri ise ICP-MS cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3. Jeoloji ve Örneklem

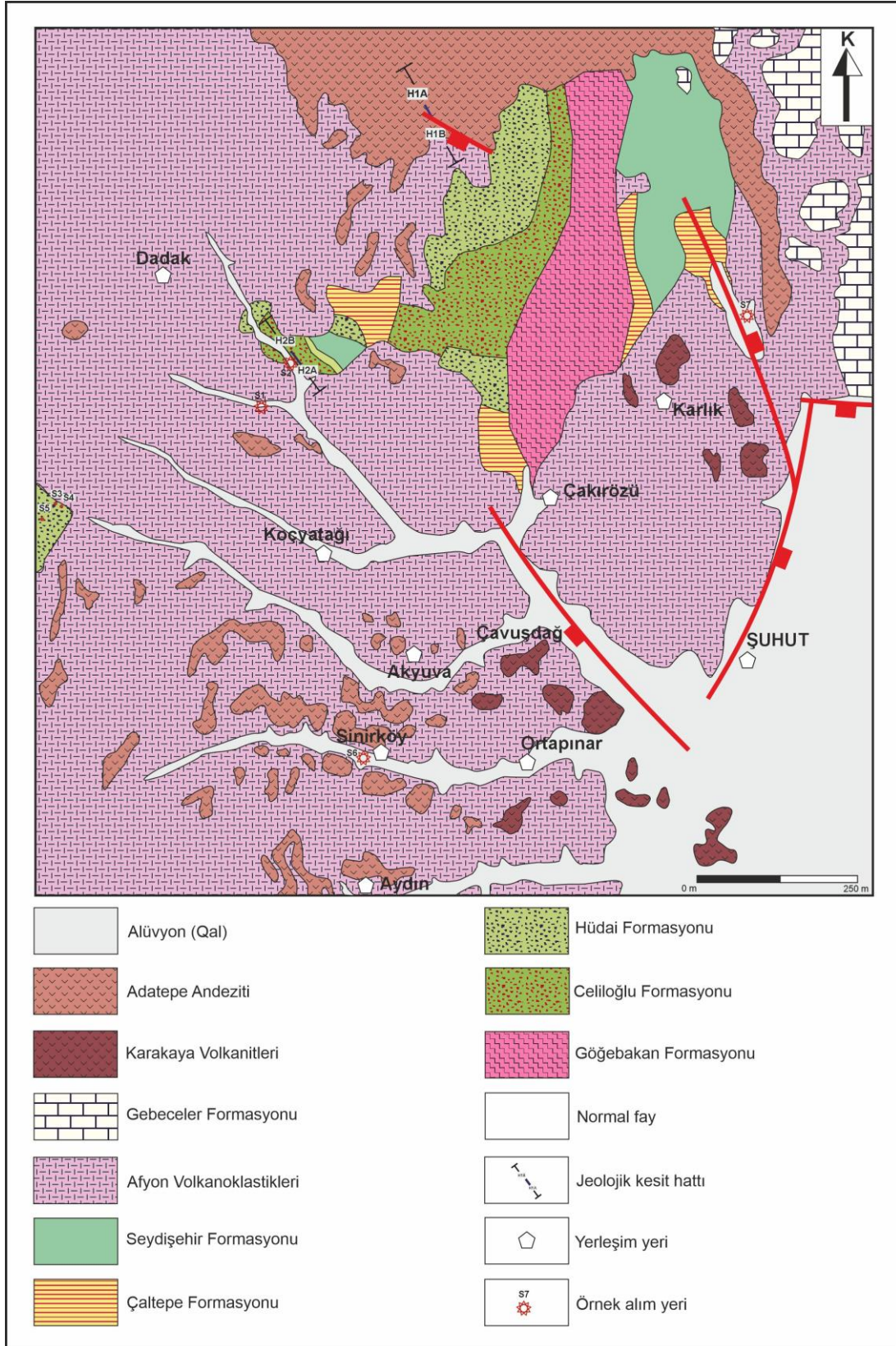
3.1. İnceleme Alanının Jeolojisi

İnceleme alanının temelinde Paleozoyik yaşlı birimler bulunmaktadır. Temel birimler Göğebakan formasyonu, Erken Celiloğlu formasyonu, Hüdai kuvarsitleri, Çaltepe formasyonu ve Seydişehir formasyonu ile temsil edilmektedir (Şekil 1). Temel birimlerin üzerine uyumsuz olarak Senozoyik dönemine ait volkanik ve sedimanter birimler gelmektedir. Söz konusu birimler Orta Miyosen yaşlı Afyon volkanoklastikleri, Gebeceler formasyonu, Orta Miyosen yaşlı Karakaya volkanitleri ile Kuvaterner yaşlı alüvyonlardan oluşmaktadır (Metin vd., 1987; Özgül vd., 1991; Öcal ve Gökaş, 2011; Öcal vd. 2011).

3.2 Alterasyon Zonlarının Jeolojisi

Proje alanındaki volkanik ve metamorfik kayalar içinde gözlenen alterasyon zonlarının oluşumuyla bunların mineralojik-petrografik ve jeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi için (1): Çakırözü ve (2): Koçyatağı-Dadak olmak üzere iki bölgede çalışılmıştır (Çizelge 1; Şekil 2-3). **Çakırözü lokasyonu**, Çakırözü köyünün yaklaşık 6.5 km kuzeyinde yer almaktadır. Bölgede yaygın olarak Karakaya volkanitlerinin üyesi olan Adatepe andezitleri gözlenmektedir. Traki-andezit ve andezitik bileşimli lavlarla az oranda piroklastiklerden oluşan birim KD-GB doğrultulu tektonik hat boyunca alterasyona uğramıştır. Alterasyon birimin rengini griden krem, açık sarı ve sarımsı kırmızıya dönüştürmüş, çatlak ve kırıklar boyunca breşleşme, küresel ayrışma ve soğan kabuğu şeklinde alterasyon yapıları oluşmuştur. Alterasyon derecesinin düşük olduğu bölümlerde killeşmeler yaygındır. Metalik getirimlerin yoğun olduğu alanlarda renk sarımsı kırmızı ve kahverengiye dönüşmüş olup, bu bölümlerde sülfürlü demir ve demir-mangan getirimleri gözlenmiştir. Ayrıca yer yer koyu renkli opak mineral oluşumlarına rastlanmıştır. H1A-H1B olarak kodlanan ve 50m mostra genişliğine sahip kesit boyunca 7 örnek alınmıştır (Şekil 2).

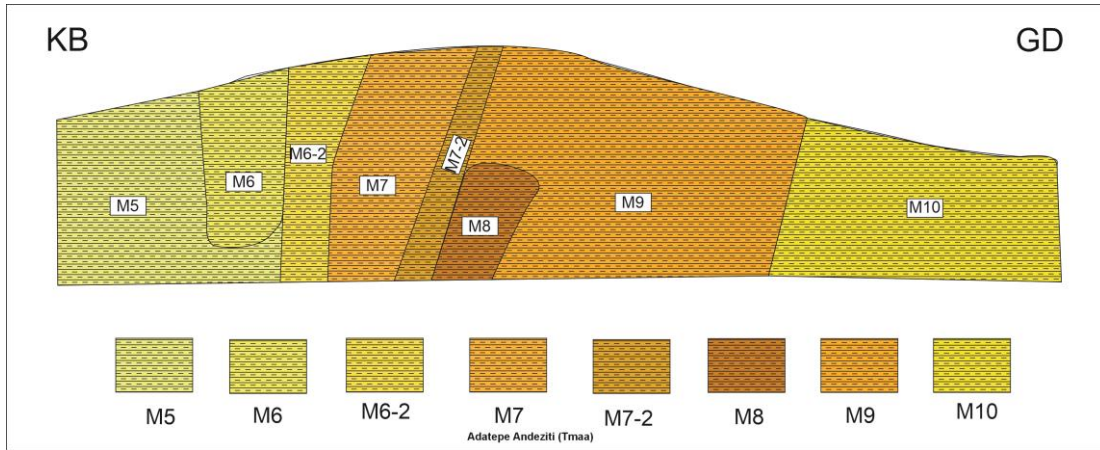
Koçyatağı ve Dadak lokasyonu, Koçyatağı ve Dadak köyleri arasında yer almaktadır. Bölgede Afyon volkanoklastikleriyle Çaltepe formasyonunun dolomitleri dokanak yapmaktadır. Sarımsı turuncu ve kahve renkli olan dolomitler, K53D doğrultulu kırık hatları boyunca ayrılmış, yine benzer kırık hatları boyunca yer yer demir ve manganca zengin metalik getirimler olmuştur. Şekil 3'te verilen jeolojik kesit boyunca örneklem yapılmıştır.



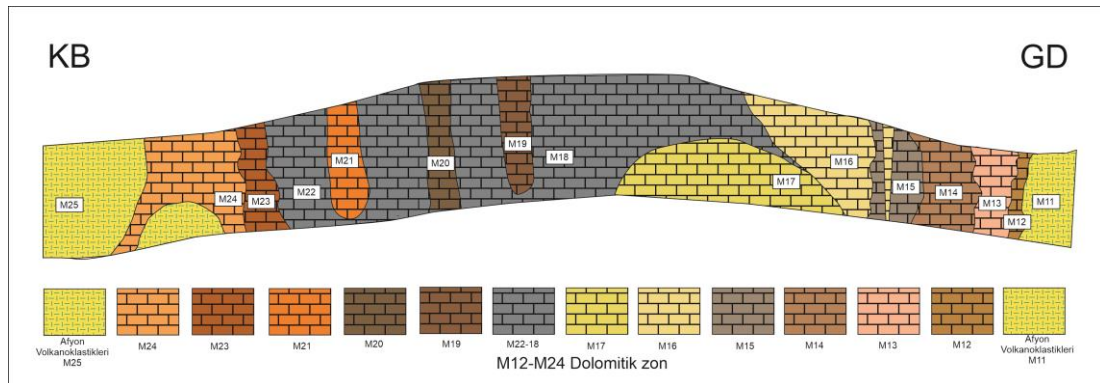
Şekil 1. Çalışma sahasının jeoloji haritası (Öcal vd. 2011'den değiştirilerek alınmıştır).

Çizelge 1. Jeolojik kesitler boyunca alınan örneklerin litolojik özellikleri.

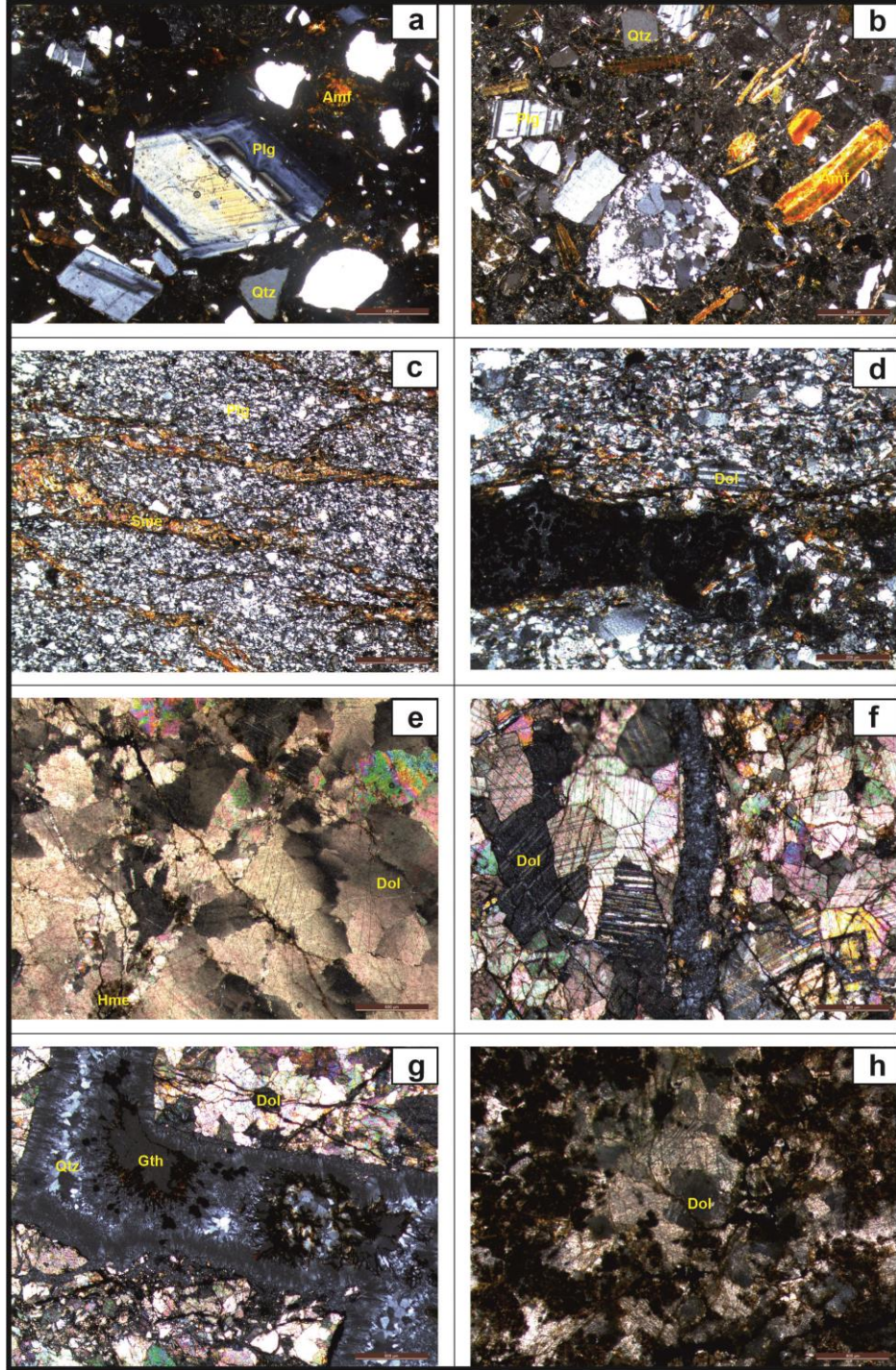
Örnek Kodu	Litolojik Özellikler
M-5	Krem renkli, kısmen ayrılmış piroklastikler içindeki lav blokları
M-6	Kremsi-beyaz renkli, tamamen ayrılmış, 1m genişliğe sahip, düzeyde 4m kalınlığı olan lav blokları
M6-2	K50D uzanımlı ° kırık hatları boyunca oluşmuş killeşmiş alterasyon zonu
M-7	Kahverengi-turuncumsu renkli, lavlar içindeki alterasyon zonu
M7-2	Kırmızı renkli, demir bakımından zengin, yer yer küresel ayrışma gösterdiği alterasyon zonu
M-8	Siyah-yeşil renkli mineral içeren küresel alterasyon zonu
M-9	Turuncu-kahverengi renkli lav bloklarında sarı-krem renkli kilce zengin küresel alterasyon zonu
M-10	Bölgedeki alterasyonun ana kayacı özelliğindedir. Gri renkli piroklastik ve lav bloklarından oluşur.
M-11	Gri renkli, kısmen ayrılmış volkanoklastikler
M-12	Sarımsı-kırmızı renkli limonitik- opalize silis zonu
M-13	Sarımsı-açık kahverengi, içerisinde mangan bantları barındıran dolomitik kireçtaşı
M-14	Açık kahve renkli, metalik elementlerce zengin alterasyon zonu
M-15	Koyu kahve renkli, metalik elementlerce zengin ayrılmış kireçtaşı
M-16	Açık kahve, turuncu renkli limonitik zon
M-17	Sarımsı-açık kahverengi, içerisinde mangan bantları barındıran dolomitik kireçtaşı
M-18	Ağsal mangan bantları ve metalik mineraller içeren dolomitik kireçtaşı
M-19	Kırmızımsı kahve renkli, silisifiye özellikte ikincil karbonat mineralleri içeren ayrılmış kireçtaşı
M-20	Kırmızımsı kahve renkli, silisifiye, ikincil karbonat mineralleri içeren ayrılmış ince taneli kireçtaşı
M-21	K40D uzanımlı tektonik hat boyunca oluşmuş sarımsı-kırmızı renkli limonitik zon.
M-22	Ayrılmamış dolomitik kireçtaşı, ince taneli kristalli ve koyu gri renklidir
M-23	Kırmızımsı-kahverengi dolomitik kireçtaşlarının ayrılmış halinin alterasyonu
M-24	Turuncu renkli limonitik zon
M-25	Gri renkli, kısmen ayrılmış volkanoklastikler



Şekil 2. Çakırözü lokasyonunda K50B doğrultulu jeolojik kesiti (H1A-H1B) boyunca gözlenen alterasyon zonları (ölçeksiz).



Şekil 3. Koçyatağı-Dadak lokasyonunda K40B doğrultulu jeolojik kesiti (H2A-H2B) boyunca gözlenen alterasyon zonları (ölçeksiz).



Şekil 4. Adatepe andezitleri ve Çaltepe dolomitlerinin polarizan mikroskop resimleri (Dol:dolomit, amf:amfibol, hme:hematit, gth:götit, qtz:kuvars, plg:plajiyoklas, sme:simektit).

4. Bulgular ve Tartışma

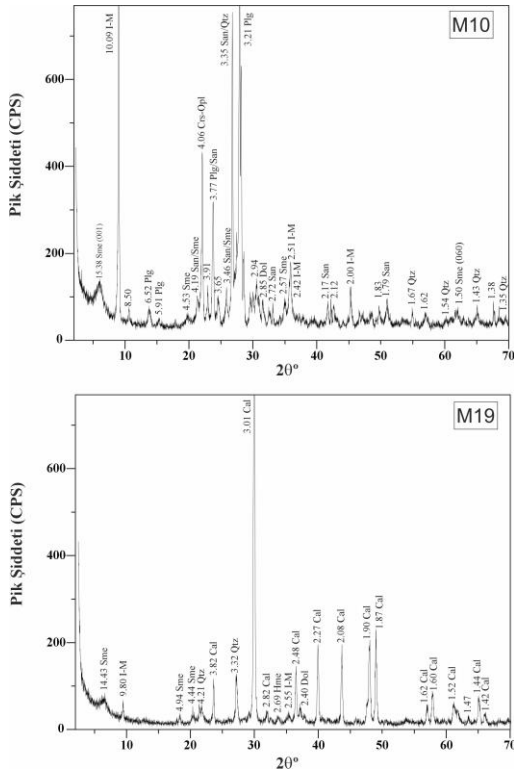
4.1 Mineraloji ve Petrografi

Polarizan mikroskop çalışmaları alterasyon ve ikincil mineral oluşumlarının gözlemlendiği Adatepe andezitleriyle Çaltepe dolomitleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Adatepe andezitlerinde volkanik camdan oluşan matris içindeki fenokristalleri plajiyoklas, sanidin, amfibol, biyotit ve kuvars mineralleri oluşturmaktadır. Plajiyoklas

mineralleri öz şekillidir. Zonlanma ve basit ikizlenme göstermektedir (Şekil 4a;b). Ayrıca alterasyona bağlı olarak ikincil mineral şeklinde killeşmeler ve dolomit mineraline de rastlanmıştır. Kristallenme derecesine göre hipokristalin, kristallerin birbirleriyle olan ortak ilişkilerine göre porfirik doku gösterir (Şekil 4a;b). Çaltepe dolomitlerinde ana mineral dolomittir. Dolomitlerde ince taneli, özşekilsiz, polisentetik ikizlenme ve mükemmel derecede dilinimlenme

görülmektedir (Şekil 4c-f). Tektonizmaya bağlı olarak oluşan kırık ve çatlaklar ile dilinimler boyunca ikincil olarak koyu renkli mineral (Fe+Mn) ve kuvars oluşumları görülmektedir (Şekil 4c;d). Kuvars mineralleri ışınal morfolojidedir. Kristal büyüklüklerine göre heteroblastik doku ve mineral şekline göre grift dokuya sahiptir (Şekil 4).

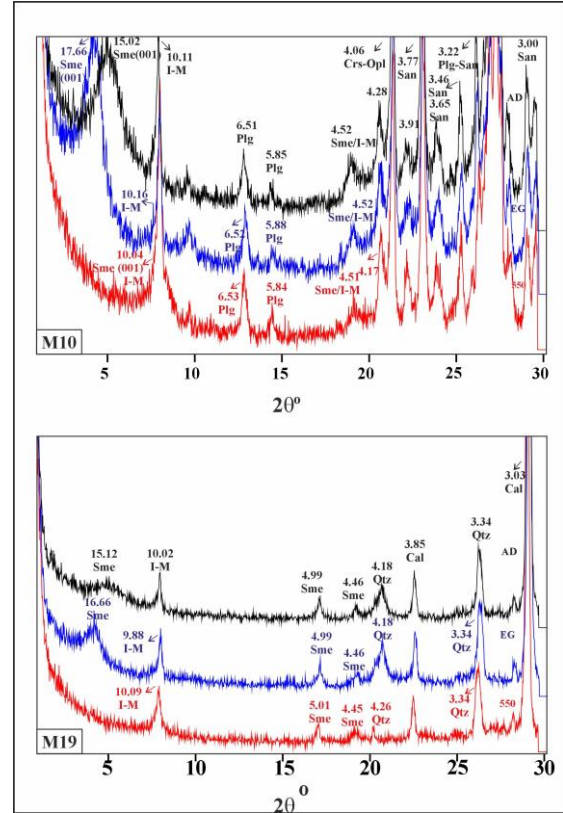
Çakırözü ve Dadak-Koçyatağı bölgelerine ait örneklerin x-ışınları difraktometresi (XRD) grafikleri Şekil 5'te verilmiştir. Çakırözü bölgesine ait Adatepe andezitleri ve bunların ayrışma ürünlerinin x-ışınları kırınımı (XRD) analizinde plajiolklas (Plg), sanidin (San), kristobalit/opal-CT (Crs-Opl) ve kuvars (Qtz)'ın en önemli kayaç yapıcı mineraller olduğu görülmüştür (Şekil 5). Kayaçlardaki başlıca alterasyon minerallerini simektit (Sme) ve illit-mika (I-M) oluşturmaktadır. Ayrıca dolomit ayrışmış örneklerde düşük oranlarda oluşan diğer ikincil mineraldir. Dadak-Koçyatağı bölgesindeki taze/az ayrışmış dolomitlerde en önemli mineral dolomittir (Dol). Bunun yanı sıra örneklerde düşük oranlarda kalsit (Cal), kuvars (Qtz), hematit (Hme), götüt (Gth) ve tridimit (Trd) minerallerine de rastlanmıştır.



Şekil 5. M-10 ve M-19 kodlu örneklerin tüm kayaç XRD grafikleri.

Sediman örnekleri büyük oranda kuvars (Qtz), sanidin (San), plajiolklas (Plg), kristobalit/opal-CT (Crs-Opl), tridimit (Trd), illit-mika (I-M) ve amfibol (Amp) minerallerinden oluşmaktadır.

Çakırözü ve Dadak-Koçyatağı bölgelerindeki örneklerde gözlenen kil minerallerini birbirinden ayırt edebilmek için tüm kaya XRD grafiklerinde kil minerali tespit edilen örnekler üzerinde detay kil mineralojine yönelik XRD çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Şekil 6).

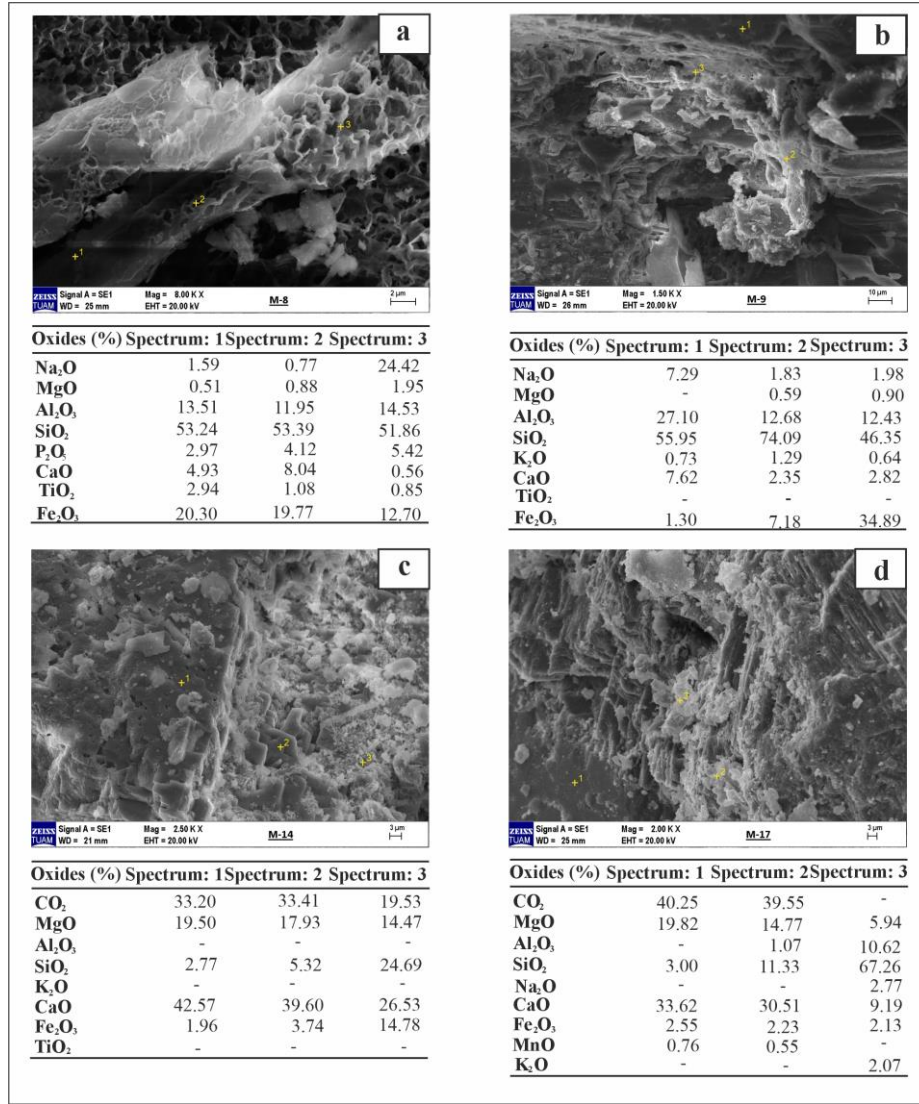


Şekil 6. M-10 ve M-19 kodlu örneklerin kil boyutu XRD grafikleri. (AD): Havada kurutulmuş, (EG): Etilen glikol ile muamele, (550): 550 °C'de fırınlanmış.

Her 2 bölgedeki volkanik kayaçlarda belirlenen en önemli kil minerali olan simektite ait $d(001)$ değeri havada kurutulmuş örneklerde (AD) 14.48-15.44 Å arasında değişmektedir. Bu değer etilen glikollü çekimlerde (EG) 16.66-18.09Å'e genişlemiş ve 550°C'de fırınlama işlemi sonucunda ise 9.93-10.11Å'e kıaldığı belirlenmiştir.

Etilen glikol muamelesi simektit minerallerinin c-eksen boyunu uzatmakta ve bunun sonucu olarak $d(001)$ değerleri yükselmektedir. 550 °C sıcaklıktaki ısıl işlem nedeniyle kristal kafesteki suyun bünyeden uzaklaşması ve kristal yapının bozulması sonucunda c-eksen boyları kısalarak $d(001)$ değerleri azalmaktadır (Brown and Brindley, 1980).

Taramalı elektron mikroskop (SEM) incelemelerinde Çakırözü bölgesi andezitlerinin altere ürünlerinde volkan camı (Vc), plajiolklas (Plg) ve biyotit (Bio) kristallerinde alterasyon izleri gözlenmiştir. Buna bağlı olarak söz konusu kristaller yapraksı morfolojide simektit (Sme) minerallerine dönüşmüştür (Şekil 7 a,b).



Şekil 7. Alterasyona uğramış örneklerin SEM görüntüleri ve EDX verileri

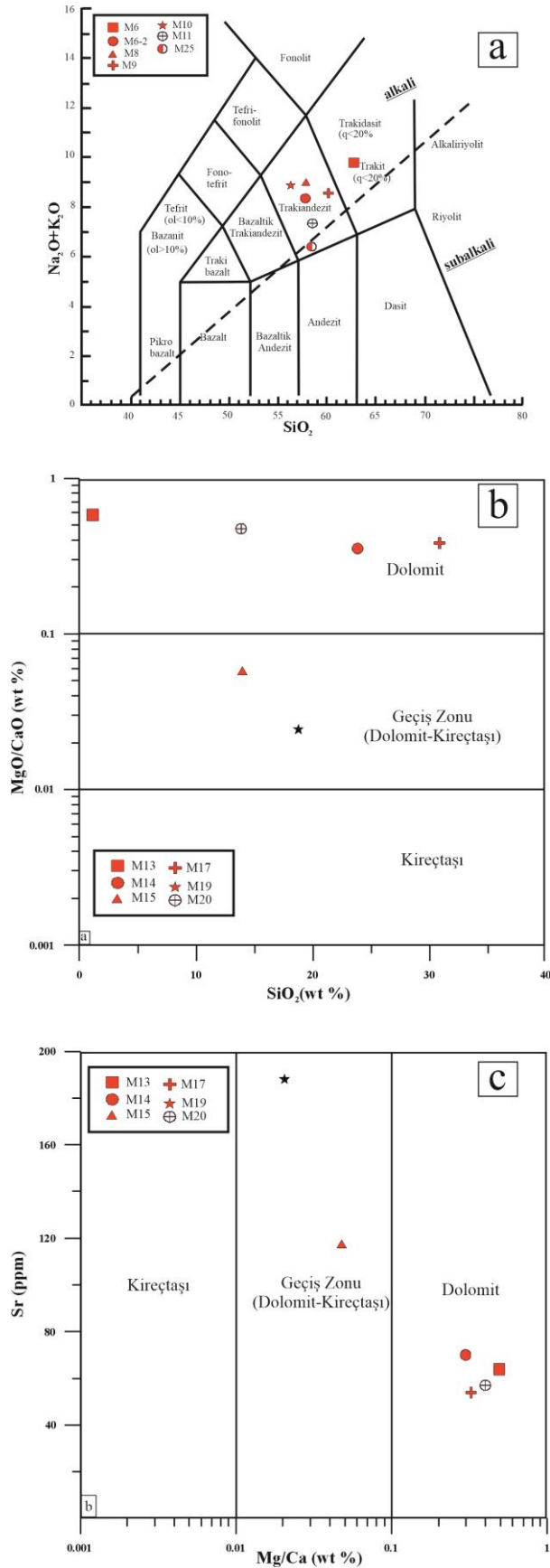
Gerek volkan camı ve gerekse plajoklasın alterasyonu boyunca Na₂O, CaO kaybı uğrarken, MgO zenginleşmesi göze çarpmaktadır. Dadak-Koçyatağı bölgesine ait alterasyona uğramış örneklerde dolomit (Dol) minerallerinin çatlak ve kristal düzlemleri boyunca ikincil element zenginleşmeleri gözlenmiştir. Alterasyon ve ikincil mineral oluşumları CaO ve MgO elementlerinin kaybını, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, Na₂O ve MnO elementlerinin zenginleşmesini sağlamıştır (Şekil 7 c,d).

4.2 Jeokimya

Volkanik kayalarla bunların ayrışma ürünlerinin kimyasal analiz sonuçları Le Bas vd. (1986) tarafından geliştirilen Na₂O+K₂O-SiO₂ diyagramına yerleştirilmiştir (Şekil 7a). Buna göre M-10 dışındaki örneklerin trakiandezitik bileşim sunduğu belirlenmiştir. M-10 örneği ise trakitik bileşimlidir (Şekil 8 a). Le Bas vd. (1986) tarafından geliştirilen Na₂O+K₂O-SiO₂ diyagramına göre volkanikler trakitik-trakiandezit bileşimde olduğu belirlenmiştir.

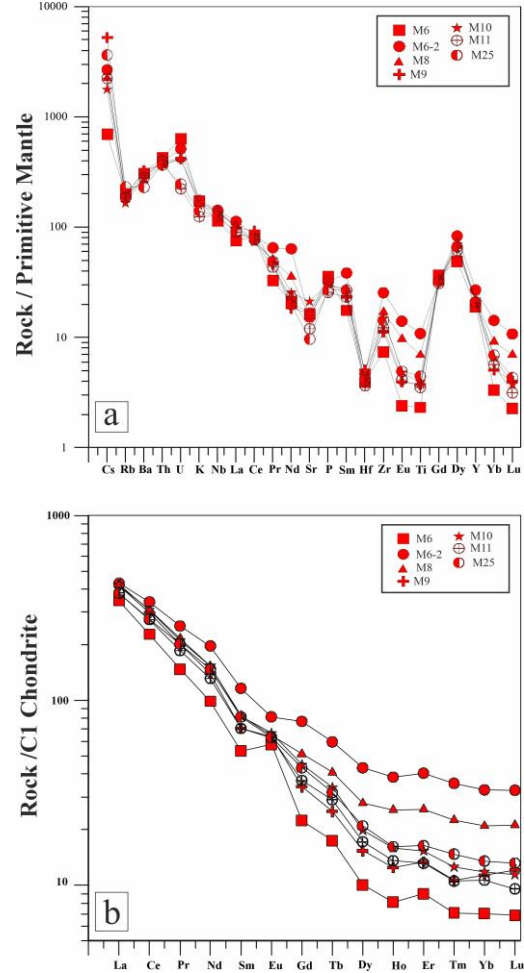
Koçyatağı-Dadak bölgesi örneklerinin Melezhik et al. (2008) tarafından geliştirilen diyagrama göre M15 ve M19 nolu örneklerin geçiş zonu (Dolomit-Kireçtaşı), diğer örnekler ise dolomitik bileşimdedir (Şekil 8 b;c).

İnceleme alanındaki volkanik kayaların iz element verileri N- tipi MORB'a göre normalize edilmiştir. Buna göre, büyük iyon yarıçaplı litofil elementler (LILE) olan Rb, Sr ve Ba ile Hf, Eu, Ti, Yb ve Lu N-MORB'a göre büyük oranda fakirleşirken, U, P, Sm, Zr, Gd ve Dy ise zenginleşmiştir. N-MORB'a göre meydana gelen zenginleşme dalma batma zonu zenginleşmesi veya kabuksal kirlenmeyi işaret etmektedir (Şekil 9a). Örneklerin kondrite göre normalize nadir toprak element değerleri incelendiğinde, hafif nadir toprak elementleri (HNTE) zenginleşirken, ortaç (ONTE) ve ağır nadir toprak elementlerinin (ANTE) kayba uğradığı gözlenmiştir. Nadir toprak elementlerdeki bu hareketlilik taze örneklerle göre ayrılmış volkaniklerde dereceli olarak değişim göstermektedir (Şekil 9b).



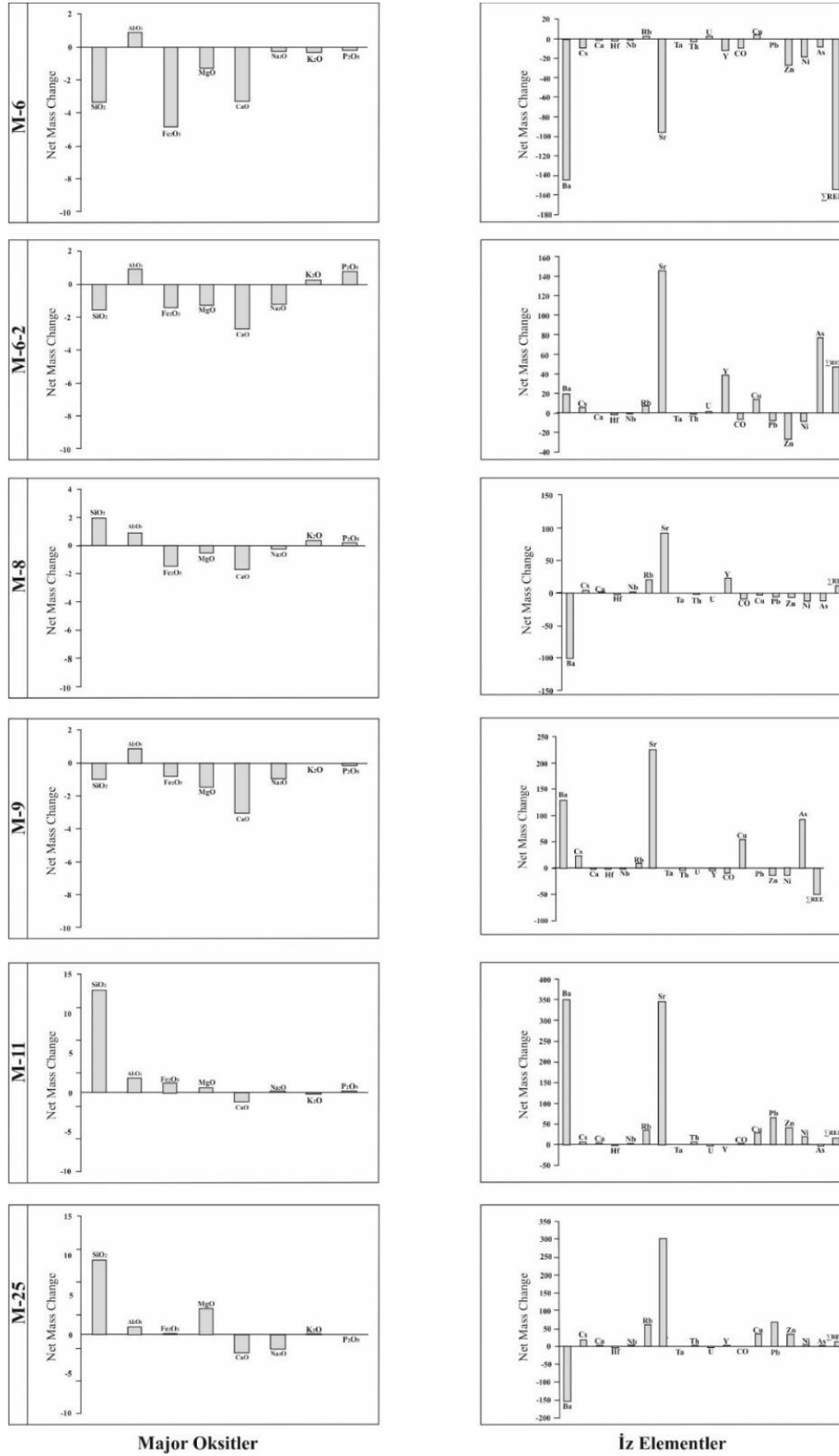
Şekil 8. (a): Volkanik kayalarla bunların ayrışma ürünlerinin Le Bas vd. (1986) tarafından geliştirilen $Na_2O+K_2O-SiO_2$ diyagramına göre adlandırılması, Çaltepe dolomitleri ve bunların ayrışma ürünlerinin Melezhik et al. (2008) tarafından geliştirilen (b): MgO/CaO & SiO_2 ve (c): Sr & Mg/Ca adlandırma grafiğinde gösterimi.

Volkanik kayalarda alterasyon süresince element hareketliliğinin belirlenmesi için yapılan çalışmalarda ana kayaca göre alterasyon süresince örneklerin Al_2O_3 ve K_2O konsantrasyonunda artış, diğer taraftan Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O 'da kayıplar gözlenmiştir. SiO_2 M-6, M-6-2 ve M-9 numaralı örneklerde azalmış, buna karşın M-8, M-11 ve M-25 numaralı örneklerde ise zenginleşmiştir (Şekil 10).



Şekil 9. (a): Volkanik kayaların iz element dağılım diyagramı (Normalize Sun and McDonough (1989)'a göre yapılmıştır), (b): Volkanik kayaların kondrite göre normalize edilmiş nadir toprak element grafiği (Analiz sonuçları Sun and McDonough (1989)'a göre normalize edilmiştir.)

Ayrılmış örneklerde gözlenen simektitlerde element zenginleşmesi; alterasyon sırasında yüksek sıcaklığa dayanıklı malzemede biriken elementlerin zenginleşmesi, iyon değişimi veya adsorpsiyon olaylarına bağlı olarak meydana gelir (Christidis 1998, Yalçın ve Gümüşer, 2000; Yıldız ve Kuşcu 2004). Ayrılmış örneklerde köken kayaca göre üç kattan fazla element zenginleşmesi adsorpsiyon veya soğurma, iyon değişimi veya sisteme dışarıdan katılan malzemelerin sedimantasyonu olaylarıyla ilişkili olarak oluşmaktadır (Zielinski 1982). Simektitlerdeki element kaybı ise açık sistem özümleme veya çözünebilir iyon ve bileşiklerin ortamdaki taşınması nedeniyledir.



Şekil 10. Volkanik kayaların alterasyon süresince ana (gr) ve iz (ppm) elementlerinin kütle değişimleri.

5. Sonuçlar

Proje kapsamında elde edilen jeolojik, mineralojik-petrografik ve jeokimyasal analiz sonuçlarına göre proje alanında metalik elementlerin konsantrasyonlarındaki artışların hidrotermal bir süreci işaret etmektedir. Gerek volkanik kayalarda ve gerekse dolomitik kayalardaki alterasyon zonlarında elementlerin sahadaki yayılımları ve bolluk dereceleri bölgedeki alterasyonun hidrotermal süreçlerin etkisiyle oluştuğunu desteklemektedir.

Etik Standartlar Bildirgesi/ Declaration of Ethical Standards

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

Yazarlık Katkı Beyanı/ Credit Authorship Contribution Statement

Yazar 1: Arazi çalışmalarının yürütülmesi, Analizlerin yapılması ve sonuçların yorumlanması, Araştırma, Makale yazımı

Yazar 2: Proje yönetimi, Arazi ve laboratuvar çalışmalarının takibi, sonuçların değerlendirilmesi ve yorumlanması, Makale yazımı, İnceleme ve düzenleme, Danışmanlık

Çıkar Çatışması Beyanı/Declaration of Competing Interest

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

Verilerin Kullanılabilirliği/ Data Availability

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma AKÜ-BAP tarafından 21.FEN.BİL.33 numaralı proje ile desteklenmiştir. Yazarlar verdiği destek nedeniyle Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederler.

5. Kaynaklar

Akal, C., 2003. Mineralogy and geochemistry of melilite leucites, Balıkcıhisar, Afyon, Turkey. *Turkish Journal of Earth Science*, **12**, 215-239.

Akal, C., 2008. K-richterite-olivine-phlogopite-diopside-sanidine lamproites from the Afyon volcanic province, Turkey. *Geological Magazine*, **145**, 570-585.
<https://www.doi.org/10.1017/s0016756808004536>

Akal, C., Helvacı, C., Prelevic, D. and Van den Bogaard, P., 2013. High-K volcanism in the Afyon region, western Turkey: from Si-oversaturated to Si-undersaturated volcanism. *International Journal Science*, **102**, 435-453
<https://www.doi.org/10.1007/s00531-012-0809-9>

Akaryalı, E. ve Tüysüz, N., 2013. Arzular (Gümüşhane, KD-TÜRKİYE) epitermal altın cevherleşme sahasındaki

hidrotermal alterasyonlar ve kütle değişim hesaplamaları, *GÜFBED*, **3(2)**, 49-76.

Aydar, E., Bayhan, H. and Gourgaud, A., 2003. The lamprophyres of Afyon stratovolcano, western Anatolia, Turkey: description and genesis. *Comptes Rendus Geoscience*, **335**, 279-288.
[https://www.doi.org/10.1016/S1631-0713\(03\)00049-X](https://www.doi.org/10.1016/S1631-0713(03)00049-X)

Besang, C., Eckhart, F.J., Harre, W., Kreuzer, H. and Muller, P., 1977. Radiometrische Altersbestimmungen an neogenen Eruptivgesteinen der Türkei. *Geologisches Jahrbuch*, **25**, 3-36.

Blumenthal, M., 1947. Geology of Taurus Mountains at the hinterland of Seydişehir-Beyşehir: *MTA Publ., ser. D*, **2**, Ankara.

Brown, G. and Brindley, G. W. 1980. X-ray diffraction procedures for clay mineral identification. (eds: G. W. Brindley and G. Brown), Crystal structure of clay minerals and their X-ray identification. *Mineralogical Society Monograph No. 5*, 305-360.
<https://www.doi.org/10.1180/mono-5.5>

Çemen, I., Catlos, E.J., Göğüş, O. and Özerdem, C., 2006. Post-collisional extensional tectonics and exhumation of the Menderes Massif in the Western Anatolia Extended Terrane, Turkey. In: Dilek, Y (ed) Postcollisional tectonics and magmatism in the Eastern Mediterranean Region: GSA's Special Publication, 409, 353-379.
[https://www.doi.org/10.1130/2006.2409\(18\)](https://www.doi.org/10.1130/2006.2409(18))

Çevikbaş, A., Ercan, T. and Metin, S., 1988. Geology and regional distribution of Neogene volcanics between Afyon-Şuhut, *METU Journal of Pure and Applied Sciences*, **21**, 1-3: 479-499.

Christidis G., 1998. Physical and chemical properties of some bentonite deposits of Kimolos Island, Greece. *Applied Clay Science*, **13**, 79-98.
[https://www.doi.org/10.1016/S0169-1317\(98\)00023-4](https://www.doi.org/10.1016/S0169-1317(98)00023-4)

Çoban, H. and Flower, M.F.J., 2007. Late Pliocene lamproites from Bucak, Isparta (southwestern Turkey): Implications for mantle 'wedge' evolution during Africa-Anatolian plate convergence. *Journal of Asian Earth Sciences*, **29**, 160-176.
<https://www.doi.org/10.1016/j.jseaes.2006.06.006>

Glondy, J. and Hetzel, R., 2007. Precise U-Pb ages of syn-extensional Miocene intrusions in the central Menderes Massif, western Turkey. *Geological Magazine*, **144**, 235-246.
<https://www.doi.org/10.1017/S0016756806003025>

- Işık V, Tekeli O. and Seyitoğlu G, 2004, The 40Ar/39Ar age of extensional ductile deformation and granitoid intrusion in the northern Menderes core complex: implications for the initiation of extensional tectonics in western Turkey. *Journal of Asian Earth Science*, **23**, 555-566.
<https://www.doi.org/10.1016/j.jseaes.2003.09.001>
- Keller, J. and Villari, L., 1972. Rhyolitic ignimbrites in the region of Afyon-Central Anatolia, *Bulletin of Volcanology*, **36**, 342–358.
<https://www.doi.org/10.1007/BF02596876>
- Keller, J., 1983. Potassic lavas in the orogenic volcanism of the Mediterranean area, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **18**, 321-335.
[https://www.doi.org/10.1016/0377-0273\(83\)90014-8](https://www.doi.org/10.1016/0377-0273(83)90014-8)
- Le Bas, M.J. and Le Maitre, R.W, Streckeisen, A., Zanettin, B., 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, **27**, 745–750.
<https://www.doi.org/10.1093/petrology/27.3.745>
- Melezhik, V.A., Bingen, B., Fallick, A.E., Gorokhov, I.M., Kuznetsov, A.B., Sandstad, J.S., Solli, A., Bjerkgård, T., Henderson, I., Boyd, R., Jamal, D. and Moniz, A., 2008. Isotope chemostratigraphy of marbles in northeastern Mozambique: apparent depositional ages and tectonostratigraphic implications. *Precambrian Research*, **162**, 540-558.
<https://www.doi.org/10.1016/j.precamres.2007.11.002>
- Metin, S., Genç, Ş. ve Bulut, V., 1987. Afyon ve Dolayının Jeolojisi, M.T.A. Gen. Müd., Proje No: 8107, 74, Ankara.
- Öcal, H., Turhan, N. ve Göktaş, F., 2011. “1:100 000 ölçekli jeoloji haritaları Afyon-K25 paftası”, MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Daire Başkanlığı, Rapor No:159, Ankara.
- Öcal, H. ve Göktaş, F., 2011. “1:100 000 ölçekli jeoloji haritaları Afyon-K24 paftası”, MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Daire Başkanlığı, Rapor No: 158, Ankara.
- Özgül, N., Bölükbaşı, S., Alkan, H., Öztaş, Y., 1991. Sultan Dağları – Sandıklı – Homa Akdağı yöresinin jeolojisi. TPAO raporu, No: 3028, 321s.
- Prelevic, D., Akal, C., Foley, S.F., Romer, R.L., Stracke, A. and Van Den Bogaard, P., 2012. Ultrapotassic mafic rocks as geochemical proxies for postcollisional mantle dynamics of lithosphere: the case of SW Anatolia-Turkey. *Journal of Petrology*, **53**, 1019-1055.
<https://www.doi.org/10.1093/petrology/egs008>
- Ring, U. and Collins, A.S., 2005. U-Pb SIMS dating of synkinematic granites: timing of core-complex formation in the northern Anatolide belt of western Turkey. *Journal of the Geological Society*, **162**, 289-298.
<https://www.doi.org/10.1144/0016-764904-016>
- Sun, S.S. and McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes, (Magmatism in Ocean Basins, Editörler: Saunders, A.D, Norry M.J.). Geological Society of London Special Publication, **42**: 313-345.
<https://www.doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>
- Şengör, A.M.C., Satır, M., Akkök, R., 1984. Timing of tectonics events in the Menderes Massif, western Turkey: implications for tectonic evolution and evidence for Pan-African basement in Turkey. *Tectonics*, **3**, 693-707.
<https://www.doi.org/10.1029/TC003i007p00693>
- Yalçın, H. and Gümüşer, G., 2000. Mineralogic and geochemical characteristics of Late Cretaceous bentonite deposits at the north of Kelkit valley, Northern Turkey. *Clay Minerals*, **35**, 807-825.
<https://www.doi.org/10.1180/000985500547250>
- Yıldız, A. and Kuscü, M., 2004. Origin of Başören (Kütahya, W-Turkey) bentonite deposits. *Clay Minerals*, **39**, 219-231.
<https://www.doi.org/10.1180/0009855043920132>
- Yılmaz, Y., Genç, C., Gurer, F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., Altunkaynak, S., Elmas, A., 2000. When did the west Doğan-Külahcı vd. 161 tern Anatolian grabens begin to develop? In: Bozkurt, E., Winchester, J. A. and Piper, J. D.A. (eds). Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area. Geological Society, London, Special Publications, **173**, 353-384.
<https://www.doi.org/10.1144/GSL.SP.2000.173.01.17>
- Zielinski, R.A., 1982. The mobility of uranium and other elements during alteration of rhyolite ash to montmorillonite: A case study in the Troublesome Formation, Colorado, U.S.A., *Chemical Geology*, **35**, 185-204.
[https://www.doi.org/10.1016/0009-2541\(82\)90001](https://www.doi.org/10.1016/0009-2541(82)90001)