

Bahatlar volkanitlerinin (Emet-Kütahya) petrografisi ve jeokimyası Petrography and geochemistry of Bahatlar volcanites (Emet-Kütahya)

Cafer ÖZKUL^{1*} , Recep Uğur ACAR² , Mehmet DEMİRBİLEK³ 

¹⁻³Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye.
cafer.ozkul@dpu.edu.tr, ugur.acar@dpu.edu.tr, mehmet.demirbilek@dpu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 25.02.2021
Kabul Tarihi/Accepted: 22.04.2021

Düzeltilme Tarihi/Revision: 14.04.2021

doi: 10.5505/pajes.2021.32847
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Batı Anadolu'da Eosen-Kuvaterner yaş aralığında volkanik kayalar yaygın olarak yüzlek vermektedir. Erken Miyosen volkanitleri Kütahya ve çevresinde andezit, dasit ve riyolitler şeklinde temsil edilmektedir. Bu çalışmada Emet Bor Havzası'nda yüzeyleyen riyolitlerden oluşan volkanik birimin tüm kayac, Sr-Nd-Pb ve O izotop jeokimyası ile K-Ar jeokronolojisi çalışmaları yapılmıştır. Genel olarak vitrofirik porfirik dokuda gözlenen volkanitlerin bileşimini plajiyoklaz, biyotit, kuvars, sanidine ve amfibol mineralleri oluşturmaktadır. Kalkalkalen afinite gösteren ve yüksek-K içeren volkanitlerin, ana ve iz element değişimleri, kayaların gelişiminde plajiyoklaz, amfibol, biyotit ve alkali feldspat fraksiyonlaşmasının etkili olduğuna işaret etmektedir. Ayrıca yüksek LILE ve LREE ile düşük Nb, Zr, Y ve Ti içerikleri; bu volkanitlerin gelişiminde fraksiyonel kristallenme, kabuk katkısı ve/veya asimilasyonun kayaların oluşumunda önemli bir rol oynadığını ve ana magmalarının zenginleşmiş bir kaynaktan türediğine işaret etmektedir. Tüm kayac K-Ar yaşlandırma yöntemi ile, incelenen volkanitlere ait örneğin yaşının 21.4 ± 0.6 My olduğunu göstermektedir. Elde edilen izotop sonuçlarına göre; ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i oranı 0.708885, ($^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$)_i oranı 0,512347 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ izotop oranı 19,04, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ izotop oranı 15,6790 ve $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ izotop oranı 37,9130 ve $\delta^{18}\text{O}$ oranı ise 11,3 ‰ olarak belirlenmiştir. Elde edilen jeokronolojik, jeokimyasal ve izotopik veriler incelenen volkanitlerin volkanik yay ortamında oluştuğunu ve oluşumunda fraksiyonel kristallenme ile beraber ayrıca kaynak manto bölgesinde zenginleşme ve kabuk kirliliğinin/asimilasyon (AFC) süreçlerinin etkisini taşıdığını işaret etmektedir.

Anahtar kelimeler: Miyosen volkanitleri, K-Ar jeokronolojisi, Sr-Nd-Pb ve O izotop jeokimyası, Emet bor havzası, Kütahya.

1 Giriş

Volkanik kayalar, Anadolu'nun batısında oldukça geniş alanlar kaplamaktadır. Eosen-Kuvaterner aralığında olmak üzere geniş bir yaş aralığına sahip bu volkanitler; Erken-Orta Miyosen'de kalk-alkalen andezit, dasit ve riyolit gibi ortaç ve felsik bileşimde, Orta Miyosen'de ise daha alkaliye geçiş yapan ve mafik bileşimde bazaltik bileşimde yayılım sunmaktadır. Bu kayalar yer yer Neojen yaşlı kuzeydoğu-güneybatı ve kuzey-güney uzanımlı havzalarda, metamorfik temel kayaları keserek, sedimanter ve volkano-sedimanter jeolojik birimler ile birlikte yüzlek vermektedirler [1]-[7]. Soma, Bigadiç, Gördes, Demirci, Selendi, Emet ve Güre havzaları bu alanlar arasında sıralanabilir. Emet Bor Havzası'nda (EBH), havzanın çeşitli bölgelerinde yaş ve bileşimsel özellikleri ile tipik şekilde yayılım göstermesi sebebi ile buradaki volkanik kayalar da birçok araştırmaya konu edilmiştir. Bu çalışmalarda çeşitli lokasyonlarda yüzeyleyen bu volkanitlerden 20.3 ± 0.6 ile

Abstract

In western Anatolia, volcanic rocks in the Eocene-Quaternary age range are widely outcropped. Early Miocene volcanites are represented as andesite, dacite and rhyolites in Kütahya and its surroundings. In this study, the whole rock, Sr-Nd-Pb and O isotope geochemistry and K-Ar geochronology data of the volcanic unit consisting of rhyolites outcropping in the Emet Borate Basin will be presented. Petrographic properties of the studied volcanites are generally observed in the porphyritic vitrophyric texture, and their composition consists of plagioclase, biotite, quartz, sanidine and amphibole minerals. The major and trace element variation of the volcanites, which have calc-alkaline affinity and contain high-K, indicate that plagioclase, amphibole, biotite and alkali feldspar fractionation is effective in the evolution of rocks. In addition, high LILE and LREE and low Nb, Zr, Y and Ti contents indicate that fractional crystallization, crustal contamination and/or assimilation play an important role in the evolution of volcanites and that their main magmas are derived from an enriched source. The whole rock K-Ar aging method shows that the age of the sample belonging to the studied volcanites is 21.4 ± 0.6 Ma. According to the obtained isotope results, ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i ratio is 0.708885, ($^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$)_i ratio is 0.512347 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ isotope ratio 19.04, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ isotope ratio is 15.6790 and $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ isotope ratio is 37.9130 and $\delta^{18}\text{O}$ ratio is 11.3 ‰. The obtained geochronological, geochemical, and isotopic data indicate that the investigated volcanites were formed in the volcanic arc environment and that fractional crystallization, as well as enrichment in the source mantle area and crustal pollution / assimilation (AFC) processes, have been influenced in their evolution.

Keywords: Miocene volcanites, K-Ar geochronology, Sr-Nd-Pb and O isotope geochemistry, Emet borate basin, Kütahya.

14.9 ± 0.3 My. [6] olmak üzere Erken-Orta Miyosen aralığında çeşitli yaşlar elde edilmiştir. Ancak, havzanın doğu kesiminde konumlanan Bahatlar Köyü ve civarında yüzeyleyen volkanitler hakkında herhangi bir izotopik ve jeokronolojik veri bulunmamaktadır. Bu çalışma da burada yüzeyleyen ve Bahatlar volkanik birimi olarak adlandırılan volkanitlerin mineralojik-petrografik, jeokimyasal, izotopik ve jeokronolojik özellikleri aydınlatılmaya çalışılacaktır.

2 Materyal ve yöntem

EBH'nın doğu kesiminde yüzeyleyen Bahatlar volkanik biriminin jeolojik, mineralojik-petrografik, jeokimyasal, izotopik ve jeokronolojik özelliklerinin ortaya çıkartılması amacı ile çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Birime ait özellikleri karakterize edecek şekilde volkanitlerden, atmosferik koşullardan asgari ölçüde etkilenmiş taze kayac örnekleri alınmıştır. Alınan örneklerin mineralojik ve petrografik özellikleri incelenmiştir. Seçilen örnekler

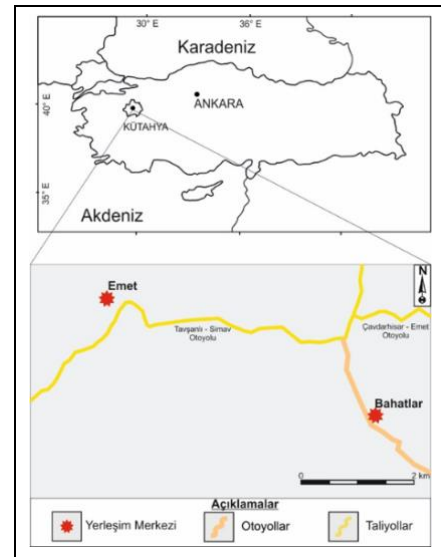
*Yazışılan yazar/Corresponding author

jeokimyasal ve diğer analizlere gönderilmek üzere; Retsch markalı çeneli kırıcı yardımıyla parçalanmış ve elde edilen irili ufaklı kayaç parçaları Retsch marka agat havan vasıtasıyla öğütülmüştür. Tüm kayaç analizleri ACME Laboratuvarında (Kanada) yaptırılmıştır. Tüm kayaç analizlerinde örneklerden 0,2 gramlık kısımlar ayrılmış ve 1,5 g LiBO₂ ile karıştırılarak %5'lik HNO₃ içeren bir sıvı içerisinde çözündürülmüştür. Ana oksit element oranları % ağırlık olarak, iz element oranları ise ppm değerlerinde ölçülmüştür. Nadir toprak element analizleri için hazırlanan öğütülmüş olan örneklerden 0,25 g'lık kısımlar halinde ayrılan örnekler dört farklı asit içerisinde çözündürülmüş ve ICP-ES cihazında ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca atmosferik koşullardan ve alterasyondan asgari ölçüde etkilenmiş olmasına dikkat edilerek seçilen 1 adet örnek Sr-Nd ve Pb izotop analizleri için Ortadoğu Teknik Üniversitesi Merkez Laboratuvarı'na gönderilmiş Köksal ve diğ. [8] tarafından detayları ve koşulları verilen metotlardan uyarlanmış olan TLM-ARG-RİL-01 (Sr İzotop Oranı Analizi Deney Talimatı) ve TLM-ARG-RİL-02 (Nd İzotop Oranı Analizi Deney Talimatı) talimatları uygulanarak yaptırılmıştır. Yaklaşık 80 mg tartılarak Per-floro alkoksi şişe biçiminde kaplara alınan örnekler 4 ml %52 HF içinde yaklaşık 96 saat boyunca >100 °C'lik ısı yatağı üzerinde bekletilme vasıtasıyla tamamiyle çözülmüş, ısı yatağı üzerinde bekletilerek nemi uzaklaştırılan örnekler önce 4 ml 6 N HCl içinde yaklaşık 24 saat bekletilerek çözülmüştür. Örnekler bu işlemin ardından bir kez daha ısı yatağı vasıtasıyla neminden arındırılmış ve 1 ml 2.5 N HCl içine aktarılarak, ayırma ve saflaştırma işlemine hazır vaziyete getirilmiştir. Sr, 2.5 N HCl asitle 2 ml hacimde Bio Rad AG50 W-X8, 100-200'lik ağ ölçüsünde reçine kullanılarak teflon malzemeden yapılmış damıtma araçları ile ayrılmıştır. Elde edilen stronsiyumun ardından 6 N HCl ile ayrılan nadir toprak elementlerinin elde edilmesi sağlanmıştır. Stronsiyum, tek Re-filamenti üzerine Ta-aktivatör ve 0.005 N H₃PO₄ kullanılarak yüklenmiş ve dengeli durumda iken belirlenmiştir. ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr verileri ⁸⁶Sr/⁸⁸Sr=0,1194'e normalize edilmiştir. Ölçümler sırasında Sr NBS 987 standardı 0.710257±5 (n=3) olarak ölçülmüştür. Neodimyum, nadir toprak elementlerinden 0.22 N HCl asit vasıtasıyla, teflon damıtma araçları kullanılarak, 2 ml hacimde HDEHP (bis-ethyexyl fosfat) kaplı biobeads reçine ile süzülerek ayrılmıştır. Elde edilen neodimyum, 0,005 N H₃PO₄ ile Re-filamente yüklenmiş, çift filament tekniği kullanılarak dengeli moda belirlenmiştir. Analiz işlemleri esnasında, ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd verileri ¹⁴⁶Nd/¹⁴⁴Nd = 0,7219 ile normalize edilmiştir. Nd LaJolla standardı 0.511845±5 (n=2) olarak ölçülmüştür. Kurşun (Pb) elementi, teflon kolonlarda Bio-Rad AG1-X8 anyon değişim reçinesi ile HCl ve HBr asitleri kullanılarak ayrıştırılmış, tek filamente silika jel ve 0.005 N H₃PO₄ eklenerek yüklenmiştir. Ölçümler 1220-1350 °C sıcaklık aralığında statik halde yapılmıştır. NIST SRM981 standardı; ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb, ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb ve ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb oranları için sırasıyla 16.944, 15.476, 30.703 (n=6) değerlerini göstermiş ve sonuçlar üzerinde NBS değerleri dikkate alınarak gerekli yanlışlık (bias) düzeltmesi yapılmıştır. Seçilen 1 adet örnekten tüm kayaç ^{δ18}O izotop analizi için Queen's Üniversitesi (Kanada) Jeolojik Bilimler İzotop Araştırmaları merkezinde, Clayton ve Mayeda [9] ile Borthwick ve Harmon [10] tarafından detayları ve koşulları belirtilen analiz aşamaları takip edilmiş reaksiyon bütün adımlarında nicel olarak ölçümler alınmıştır. Örnekler 650 °C'de Ni elementinden bombalar içerisinde BrF₅ ile reaksiyona sokulmuştur. Mineral veya mineraller içerisindeki oksijen (O) florlama reaksiyonu adı verilen yöntem ile O²'ye yani gaz formuna dönüştürülüp ardından ısıtılmış bir C çubuğu

vasıtasıyla CO₂ gazı elde edilmiştir. Ölçülen analiz sonuçları, V-SMOW'a göre standart delta notasyonu (^{δ18}O) hesaplanarak sonuca ulaşılmıştır. Beyaz kristal standartı (WCS) kullanılan tekrarlı analizlerine dayanılarak ile hesaplanmış ve ± 0.19 ‰ (1s) olarak belirlenmiştir. NBS 28 standart ölçümleri 9.61 ±0.10‰ (1σ) olarak ölçülmüştür. Jeokronolojik yaş tayini yapılması için seçilen 1 adet örnek Geochronex Analytical Services'de Kanada'da K-Ar tüm kayaç yöntemi ile analiz edilmiştir. Kraus ve diğ. [11] tarafından detay ve koşulları belirtilen şekilde örneklerin jeokronolojik yaş tayinleri gerçekleştirilmiştir. Tüm-kayaç olarak öğütülmüş örnekler K analizi için eşit olarak lityum metaborat / tetraborat akısı ile grafit malzemeden imal potalara pay edilmiş ve LECO indüksiyon ocağı kullanılarak füzyona uğratılmış ardından füzyon kalıntıları asitle çözdürülmüştür. Standartlar, boş krozeler ve numune ICP Spektrometresi ile analiz edilmiş, ölçümler yapılmıştır. Ar analizi için örnekler alüminyum malzemeden imal kaplar içerisine eşit olarak pay edilmiş, yüzey gazlarının örneklerden uzaklaştırılması için ekstraksiyon ünitesine yüklenip iki gün boyunca yaklaşık 100 °C'de bekletilmiştir. Argon burada örneklerden 1700 °C'de çift vakumlu fırında ayrılmaları, konsantrasyon, her çıkarma işleminden önce numune sistemine tanıtılan ³⁸Ar uçlu izotop seyreltici kullanılarak belirlenmiştir. Çıkarılan gazlar, iki aşamalı arıtma sisteminde ayıklanmış, ardından elde edilen saf Ar, Varian CH₅ mıknatıslı manyetik alan spektrometresi içerisine yerleştirilmiştir. Cihazın iyon kaynağı, %90'dan fazla transmisyon ve aşırı derecede küçük izotopik kütle ayırımı sağlayan eksenel bir tasarıma (Baur-Signer kaynağı) sahiptir. Ölçüm aşamasında, Ar izotop oranları kütle ayırımı için düzeltilmiş ve daha sonra atmosferik argon, ³⁶Ar'ın sadece atmosferik olduğu varsayılarak ölçümden çıkarılmıştır. ⁴⁰Ar radyojenik konsantrasyonu, ³⁸Ar uç konsantrasyonu kullanılarak hesaplanmış, her analizden sonra ekstraksiyon sıcaklığı birkaç dakika için 1800 °C 'ye yükseltilmiş ve bir sonraki analiz için fırın hazırlanarak analiz sürdürülmüştür.

3 Jeoloji

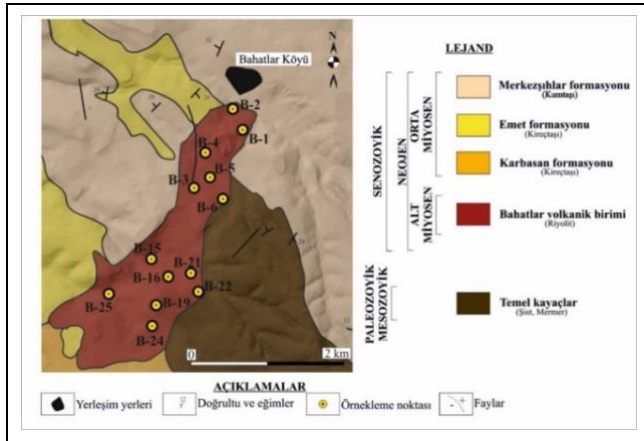
Çalışma alanı, yaklaşık kuzey-güney doğrultulu Emet Bor Havzası içerisinde yer alan Emet ilçe merkezine yaklaşık 5 km uzaklıktaki Bahatlar köyü civarlarını kapsamaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.

Figure 1. Location map of the study area.

Çalışma alanının stratigrafik dizilimini Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı litolojik birimler oluşturmaktadır (Şekil 2). Stratigrafik olarak en altta bulunan Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı temel kayalar; düşük dereceli metamorfizmadan orta dereceli metamorfizmaya doğru geçiş gösteren mermer, mika şist, kalk şist, klorit şist gibi metamorfik kayalar ile dolomitik kireçtaşları ile temsil edilir. Temel kayalar, riyolit bileşimindeki Bahatlar Köyü civarında yüzeyleyen volkanik birim tarafından kesilmiştir. İnceleme alanının doğu kesimlerinde yüzeyleyen bu birime ait kayalar oldukça sert ve yer yer kırıklı ve çatlaklı şekilde gözlenmektedir. Taze yüzeyleri lila ve pembeye yakın renkler sunan bu volkanik kayaların bünyesinde gözlenen kuvars, plajiyoklaz, mika mineralleri ile feldispatlar gözle ayırt edilebilmektedir. Bahatlar Köyü civarında yüzeyleyen bu volkanik kayalar üzerinde günümüze kadar herhangi bir jeokronolojik yöntem ile yaşlandırma gerçekleştirilmemiştir. Ancak yakın çevrede yüzeyleyen volkanik kayalar bünyesinde kabul edilerek birim; Seyitoğlu ve diğ. [6] ve Helvacı ve Alonso [12] tarafından Erken Miyosen olarak yaşlandırılmıştır. Temel kayalar ve Bahatlar volkanik birimi Neojen karbonatlı ve kırıntılı gösel çökeltilerden oluşan alttan üste doğru kireçtaşlarından oluşan Karbasan, çörtlü kireçtaşlarından oluşan Emet ve kumtaşlarından oluşan Merkezşihler formasyonu tarafından uyumsuzlukla örtülmüştür.



Şekil 2. Çalışma alanının genel jeoloji haritası [13]'ten değiştirilmiştir.

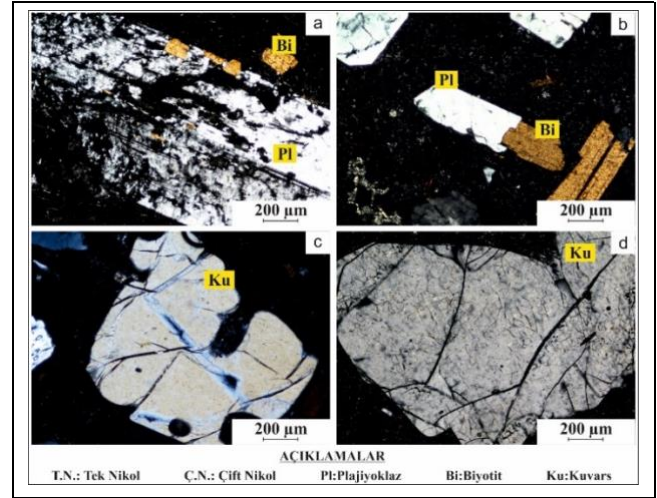
Figure 2. General geological map of the study area and surroundings Modified from [13].

4 Bulgular

4.1 Mineraloji-Petrografi

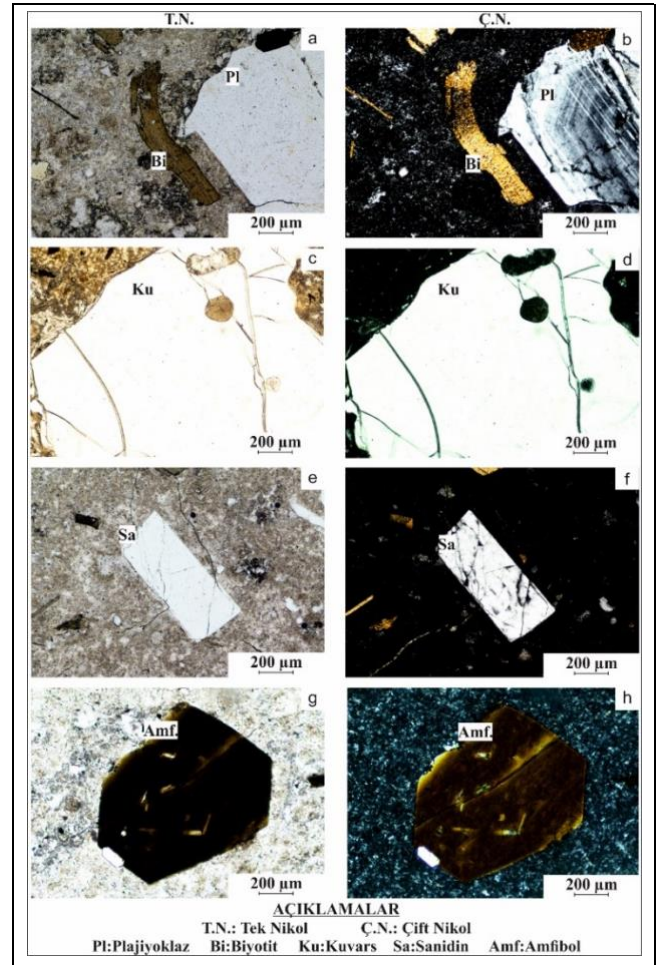
Bahatlar volkanik birimi; genel olarak lila ve pembemsi renkli, tamamen riyolit bileşimindeki kayalardan oluşmaktadır. Kayaların mikroskop altındaki görünümü; vitrofirik porfirik ve yer yer sferülitik porfirik dokuda olup, bileşimi genel olarak; plajiyoklaz, biyotit, kuvars, sanidin ve amfibol fenokristallerinin ile volkanik cam malzemesinden oluşmaktadır (Şekil 3 ve Şekil 4). Plajiyoklazlar genellikle özşekilli ve yarıözşekilli olup polisentetik, karslbard ikizlenmesi ile zonlu doku göstermektedir. Plajiyoklaz fenokristallerinin içerisinde magmatik korozyon izleri, elek dokusu ve hamur kapanımları ile yer yer kapanım şeklinde biyotit minerallerine rastlanılmaktadır Şekil 3(a) ve Şekil 3(b). Ayrıca plajiyoklazlar bazı örneklerinde biyotitler tarafından ornatılmış durumdadır. Kuvarlar tümüyle yarıözşekilli ve özşekilsiz fenokristaller

şeklinde, kırıklı, çatlaklı yapıda gözlenmektedir Şekil 3(d) ve Şekil 4(c),(d).



Şekil 3. İncelenen volkanitlerde gözlenen minerallerinin polarizan mikroskop altındaki görüntüleri.

Figure 3. Views of minerals observed in the studied volcanites under polarizing microscope.



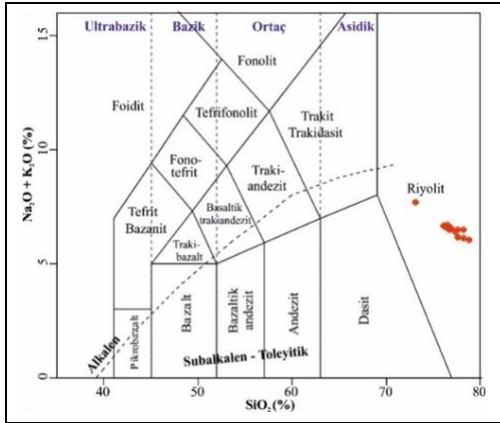
Şekil 4. İncelenen volkanitlerde gözlenen minerallerinin polarizan mikroskop altındaki görüntüleri.

Figure 4. Views of minerals observed in the studied volcanites under polarizing microscope.

Fenokristallerin kenarlarında genellikle yenilme/kemirilme şeklinde yuvarlak hatlı oyuk yapıları izlenmektedir Şekil 3(c). Biotitler, oldukça iyi tek yönde dilinim gösteren fenokristaller şeklinde gözlenmektedir Şekil 3(b) ve Şekil 4(a). Biotit fenokristallerinin bazıları tamamıyla opaklaşmış şekilde iken bazıları ise kenarlarında reaksiyon zonları gösteren örnekleri kayalar içerisinde temsil edilmektedir. Bazı örneklerde bu fenokristaller deformasyon sebebi ile eğilmiş ve bükülmüş olarak da bulunur Şekil 4(a) ve Şekil 4(b). Plajiyoklazların içerisinde kapanımlar şeklinde de gözlenen biyotitler, hamur içerisinde ise akma yönüne bağlı olarak yönelmiş irili ufaklı fenokristaller ve mikrofenokristaller şeklinde örnekler içerisinde görülmektedir. Amfibollere diğer minerallere nazaran örneklerde daha az rastlanılmaktadır. Genel olarak oldukça opaklaşmış şekilde gözlenen amfiboller kırıklı çatlaklı ve parçaları hamur içerisinde dağılmış olarak gözlenmektedir. Hamur malzemesi, çoğunlukla volkanik camdan oluşmakla birlikte bünyesinde yer yer breşik oldukça keskin kenarlı plajiyoklaz, biyotit, alkali feldispat ve kuvars parçaları bulundurmaktadır. Hamur içerisindeki gözlenen boşluklarda sferülitik oluşumlar yaygın olup zaman zaman soğuma çatlaklarına benzer kırıklar gözlenmektedir.

4.2 Jeokimya

Bahatlar volkanik biriminden derlenen 13 örnekten tüm kayaç jeokimyası çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Ek A). Le Bas ve diğ. [14] tarafından önerilen, toplam alkali silis diyagramında volkanik kayaç örneklerinin tümü riyolit alanı içerisinde yer almakta olup Irvine ve Baragar [15]'e göre çizilen alkali-subalkali eğrisine göre ise subalkali alan içinde gözlenmektedir (Şekil 5).



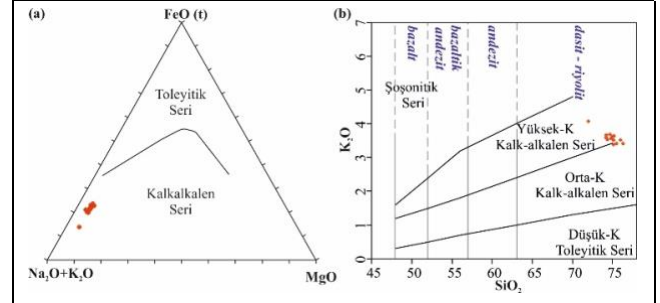
Şekil 5. İncelenen volcanitlerin SiO₂ (%)'ye karşı Na₂O+K₂O (%) kimyasal adlama diyagramı [14]; Alkali-Subalkali eğrisi [15]'e göredir.

Figure 5. SiO₂ (%) versus Na₂O + K₂O (%) chemical naming diagram of the studied volcanites ([14]; Alkali-Subalkali curve is according to [15]).

Subalkali karakterde olduğu belirlenen volkanik kayaçlar Irvine ve Baragar [15]'in AFM (Na₂O+K₂O, FeO(t), MgO) üçgen diyagramına Şekil 6(a) ve Peccerillo ve Taylor [16] ile Le Maitre [17]'ye göre çizilen SiO₂'ye karşı K₂O diyagramlarına göre sınıflandırılmıştır Şekil 6(b). AFM diyagramına göre kayaçların tamamı kalk-alkalen karakterde gözlenmekte, SiO₂'ye karşı K₂O diyagramlarına göre ise örnekler kalk-alkalen ve yüksek-K kalk-alkalen seriler içerisinde gözlenmektedir.

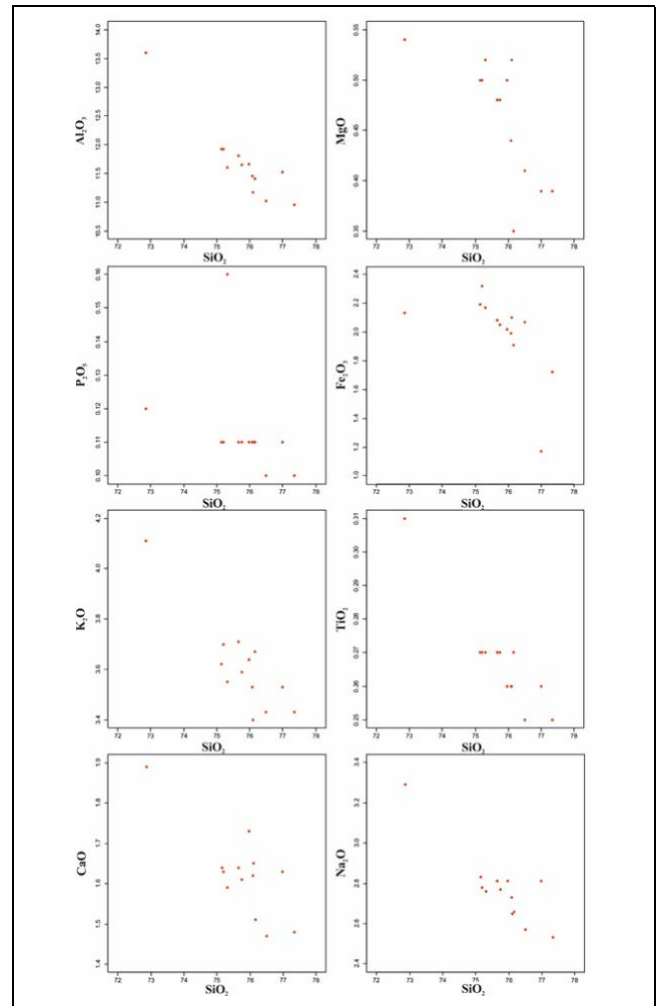
Çalışma alanında yüzeyleyen volkanik kayaçların oluşturan kaynak magmada yaşanan zenginleşme süreçleri, kısmi ergime

derecesi ve kayacın oluşumu esnasında gerçekleşen fenokristallerin ayrımlaşmaları (fraksiyonel kristallenme-FC) hakkında yorumlarda bulunabilmek için örneklerin SiO₂'ye karşı ana oksit ve iz elementlerin değişim diyagramları oluşturulmuştur (Şekil 7).



Şekil 6(a): Subalkali karakterdeki volcanitlerin AFM (Na₂O+K₂O, FeO(t), MgO) diyagramı ([15]). (b): Volcanitlerin (a): SiO₂ (%) karşı K₂O (%) diyagramı [16],[17].

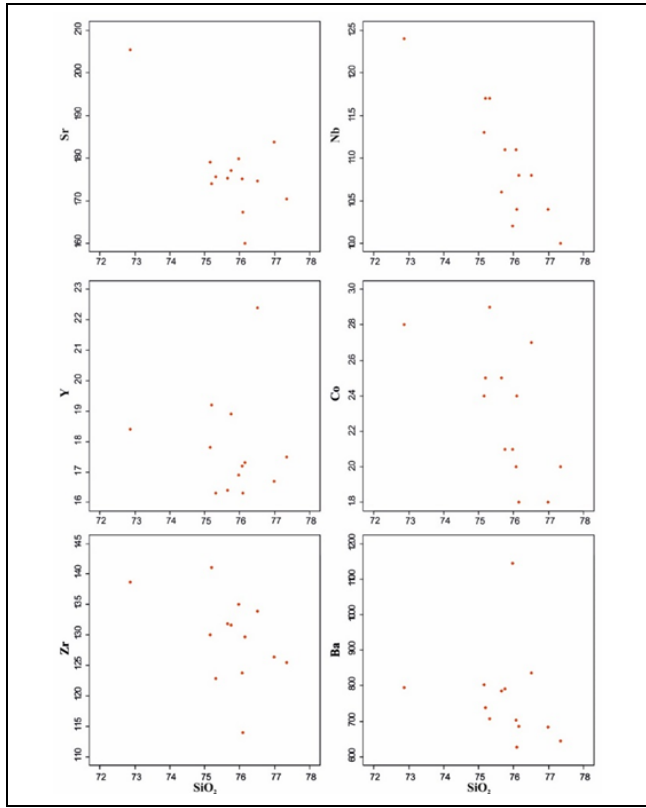
Figure 6(a): AFM (Na₂O + K₂O, FeO (t), MgO) diagram of subalkali volcanites [15]. (b): SiO₂ (%) versus K₂O (%) diagram of volcanites [16],[17].



Şekil 7. İncelenen volcanitlerinin % SiO₂'ye karşı ana oksit (% ağırlık) değişim diyagramları.

Figure 7. SiO₂% versus main oxide (% weight) variation diagrams of the studied volcanites.

Diyagramlardaki yönelimler incelendiğinde, riyolit bileşimi gösteren Bahatlar volkanik biriminin örneklerinin, artan SiO_2 içerikleri ile Al_2O_3 , MgO , CaO , P_2O_5 , Fe_2O_3 , Na_2O , K_2O ve TiO_2 arasında belirgin negatif bir ilişki mevcuttur. Al_2O_3 , MgO , MnO ve Fe_2O_3 içeriklerinde gözlenen bu negatif yönsmeler, felsik bileşimdeki kayalarda gözlenen amfibol ve biyotit ayrımlaşmalarını, CaO içeriğindeki azalma kalsiyumca zengin plajiyoklazların ayrımlaşmasını, P_2O_5 'te gözlenen negatif yönelimler ise genel olarak apatit ayrımlaşmasını işaret etmektedir. Tüm örneklerde gözlenen TiO_2 'de ki azalıda opak minerallerin ayrımlaşmasının ayrıca bu kayalarda etkili olduğunu gösterir. K_2O 'da artan SiO_2 oranına karşın keskin düşüş yüksek silisli kayalardaki alkali feldispat ayrımlaşmasını göstermektedir. SiO_2 'ye karşın iz element içeriklerindeki yönelimler incelendiğinde örneklerin Sr, Nb, Y, Co, Zr ve Ba element içeriklerinde negatif diğer elementler için ise yer yer dağınık yönsmeler görülmektedir (Şekil 8).



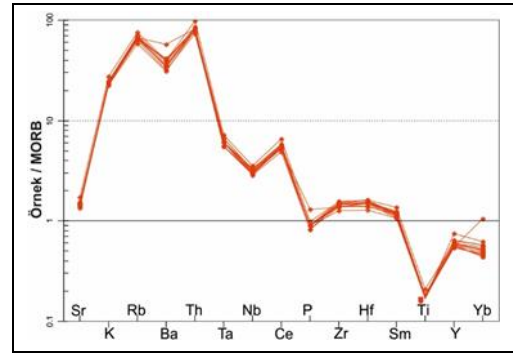
Şekil 8. İncelenen volkanitlerinin % SiO_2 'ye karşı iz element (ppm) değişim diyagramları.

Figure 8. $\text{SiO}_2\%$ versus trace element (ppm) variation diagrams of the studied volcanites.

Sr elementi ile Ca elementi benzer iyon çaplarına sahiptir. Bu sebeple Sr Ca'ca zengin plajiyoklazlar gibi minerallerin yapısına katılabilir. Dolayısıyla Sr içeriklerinde artan SiO_2 'ye göre gözlenen negatif yönsme kalsiyumca zengin plajiyoklazların kristallenmesi esnasında Sr elementinin Ca elementinin yerini alması sebebi ile ortamdaki uzaklaşmasının sonucu olarak gösterilebilir. Diyagram incelendiğinde genel olarak gözlenen negatif Sr yönelimi, SiO_2 'nin %76'lara ulaştığı riyolit örneklerinde oldukça sert bir negatif eğilim göstermektedir. Bu kayaların oluşumunda plajiyoklaz ayrımlaşması oldukça etkili olmuş olmalıdır. Amfibol ve biyotit ayrımlaşmasının kalkalkalen karakterdeki felsik volkanitlerin oluşumunda rol alması beklenir. Nb elementi biyotit için felsik kayalarda oldukça

uyumludur. SiO_2 'ye karşı Nb içeriklerindeki negatif yönsmeler kayaçların oluşumunda biyotit fenokristallerinin ayrımlaşmasının oldukça etkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca örneklerin Y ve Co elementi içeriklerinde de gözlenen negatif yönsmeler biyotit ile amfibol ayrımlaşmasını gösteren emarelerdendir. Y elementinde gözlenen yönelim yine amfibol ayrımlaşmasının volkanik kayaçların oluşumunda önemli bir ayrımlaşma fazı olduğunu gösterirken Co ise hem amfibolün hem de biyotitin ayrımlaşma fazı olarak çalışma alanı volkanik kayaçları için önemini işaret eden faktörlerdendir.

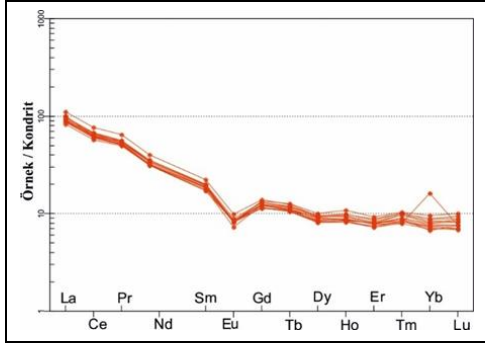
Bahatlar volkanik birimi örneklerinin iz ve nadir toprak elementlerine ait yola çıkılarak spider diyagramları oluşturulmuştur. Okyanus ortası sırt bazaltlarının (MORB) referans olarak seçildiği çalışma alanı örneklerinin iz element spider diyagramlarında referans değerleri olarak Pearce [18] tarafından önerilen veriler baz alınmıştır. Diyagramlarda örneklerin genel olarak birbirlerine benzer desenler sunduğu görülmektedir. K, Rb, Ba, Th gibi büyük iyon yarıçaplı elementlerde (LILE) zenginleşme, P ile yüksek alan enerjili elementlerden (HFSE) Zr, Hf ve Sm MORB çizgisine paralel ya da hafif zenginleşme Ti bakımından bariz bir fakirleşme, Y ve Yb için ise MORB çizgisine göre yataya yakın anc ak hafif bir fakirleşme gözlenmektedir (Şekil 9).



Şekil 9. İncelenen volkanitlerin okyanus ortası sırt bazaltlarına göre normalleştirilmiş çoklu iz element dağılım diyagramı [18].

Figure 9. Multiple trace element distribution diagram normalized to mid-ocean ridge basalts of studied volcanites [18].

LILE'lerinde gözlenen zenginleşme ve HFSE'deki fakirleşme ile Ta-Nb çukuru olarak adlandırılan negatif anomali yitim (subduction) veya kaynak magmadaki kabuk katkısı işaret etmektedir [18]. Yüksek Ba/Nb (>28) ve Ba/Ta (>450) oranları yitim ve yay magmatizmasını işaret eden karakteristik verilerdir [19],[20]. Bahatlar volkanik birimi'nde de gözlenen oldukça yüksek Ba/Nb (60-910 ppm) ve Ba/Ta (585-1144 ppm) oranları bu kayaçların oluşumundaki yitim etkisini işaret etmektedir. Ti elementinde gözlenen oldukça bariz fakirleşme ise oluşumunu kristallenmenin erken evrelerinde tamamlayan opak minerallerin fraksiyonel kristallenmesini işaret eden bir emare olarak göze çarpmaktadır. Anders ve Grevesse [21]'den alınan kondrit verilerine göre normalize edilen nadir toprak element (REE) verileri ile oluşturulan spider diyagramlar incelendiğinde örneklerin birbirleri ile yine benzer desenler gösterdiği görülmektedir (Şekil 10).



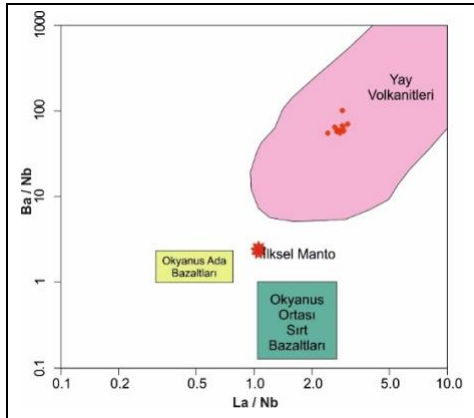
Şekil 10. İncelenen volkanitlerin kondrite göre normalleştirilmiş çoklu nadir toprak element dağılım diyagramı [21].

Figure 10. Multiple rare earth element distribution diagram normalized to chondrite of the studied volcanites [21].

Bu durum yukarıda belirtilen örneklerin kendi içinde aynı kaynak magmadan itibaren geliştiği fikrini doğrulamaktadır. Hafif nadir toprak element (LREE)'lerce örneklerin yaklaşık 20-200 kat arası, ağır nadir toprak elementler (HREE)'lerce 10-30 kat zenginleştiği görülmektedir. Hafif nadir toprak element (LREE)'leri ağır nadir toprak elementler (HREE)'lere nazaran daha fazla uyumsuzdurlar bundan dolayı bu elementlerin kaynak bölgede düşük kısmi ergime süreçleri içerisinde eriyik faza geçme eğilimleri oldukça fazladır [22]. Örneklerde gözlenen LREE'lerinin HREE'lerine göre daha fazla zenginleşmesi kaynak bölgede bir zenginleşme veya magmanın kısmi ergimeler sonucu oluştuğunu göstermektedir [23] ve [24]. Ayrıca, diyagramlarda gözlenen bariz negatif Eu anomalisi plajiyoklaz fraksiyonlaşmasını işaret eden bir unsur olarak görülmektedir. Örneklerin HREE dağılımlarının yatay veya yataya yakın bir seyir izlediği görülmektedir. Bu durum volkanitlerin granat içeren bir kaynak magmadan değil spinel lertzolitik bir kaynaktan itibaren geliştiği şeklinde yorumlanabilir [25],[26].

4.2.1 Tektonik ortam

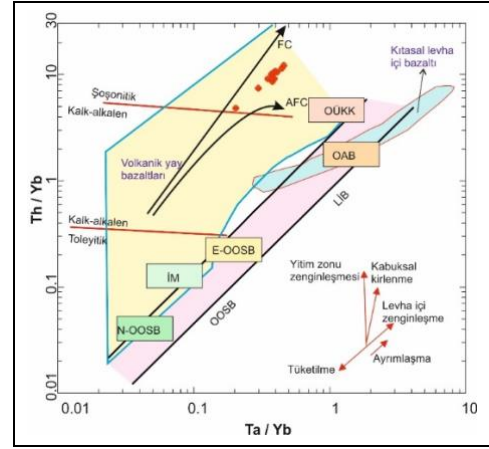
Volkanitlerin oluştuğu tektonik ortamları belirleyebilmek amacıyla çeşitli tektonik ayırtman diyagramları kullanılmıştır. La/Nb'a karşı Ba/Nb tektonik ortam diyagramlarına göre volkanitler yay ortamı ile ilişkili volkanitler bölgesine iz düşmektedir (Şekil 11).



Şekil 21. İncelenen volkanitlerin La/Nb'a karşı Ba/Nb diyagramı [26] (Yay volkanitleri [27], İlksel Manto, [28]).

Figure 11. Ba/Nb diagram against La/Nb diagram of studied volcanites [26] (Arc volcanites, [27], Primitive Mantle, [28]).

Ta, Yb ve Th element içerikleri ile oluşturulan tektonik ortam ayırtman diyagramında incelenen örnekler ise genel olarak yine volkanik yay bazaltları alanına düşmekte ve ayırılma ile özümleme vektörleri arasında konumlanmaktadır (Şekil 12).



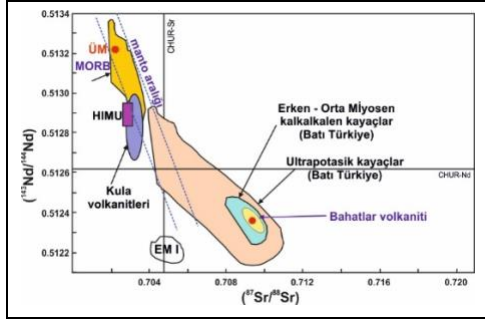
Şekil 32. İncelenen volkanitlerin Ta/Yb'a karşı Th/Yb değişim diyagramı Levha içi bazalt (LİB) alanları, Pearce [18]; [29]'den; OUKK: Ortalama Üst Kıtasal Kabuk bileşimi, [30]'dan; İM: İlksel Manto, OAB: Okyanus Adası Bazaltı, E- ve N-MORB: Zenginleşmiş ve Tüketilmiş Okyanus Ortası Sirtı Bazaltı bileşimleri ise [27]'den alınmıştır.

Figure 12. The variation diagram of Th/Yb versus Ta/Yb of the studied volcanites, (In-plate basalt (LİB) areas, from [18],[29]; OUKK: Average Upper Continental Crust composition, from [30]; İM: İlksel Mantle, OAB: Ocean Island Basalt, E- and N-MORB: Enriched and Depleted Mid-Ocean Ridge Basalt compositions are taken from [28].

4.2.2 İzotop jeokimyası ve jeokronoloji

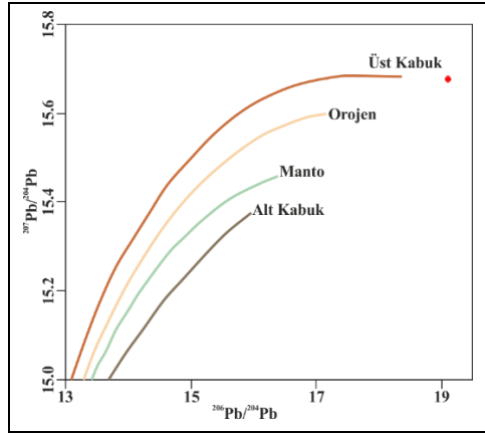
Volkanitlere ait bir örnekten Sr-Nd, Pb, O izotop analizleri ve K-Ar yöntemi ile örneğin jeokronolojik yaş tayini gerçekleştirilmiştir. Örneğe ait ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i oranı 0.708885, ($^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$)_i oranı 0.512347, ϵNd_i değeri ise -5.14 olarak belirlenmiştir. Örneğin Nd model yaşları [TDM] ise 1130.8 My olarak hesaplanmıştır. İncelenen volkanitler, Batı Türkiye'deki diğer Miyosen yaşlı volkanitler ile karşılaştırıldığında oldukça yüksek Sr ve düşük Nd değerleri ile diğer Erken-Orta Miyosen yüksek K-lu kalk-alkalen kayalar ile benzer izotopik oranlara sahip oldukları söylenebilir (Şekil 13). Yüksek Sr ve düşük Nd ile ayrıca negatif ϵNd_i değerleri; bu kayaların yiten kabuk malzemesinin karışmasıyla zenginleşen kaynaktan türemiş olduğunu ve/veya kaynaktaki kabuk katkısını yadsınamaz seviyelerde olduğunu işaret etmektedir [31].

İncelenen volkanitlerden bir adet örneğin $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ izotop oranı 19.04, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ izotop oranı 15.6790 ve $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ izotop oranı ise 37.9130 olarak belirlenmiştir. Pb izotop verileri ölçüm yapılan örneğin türediği rezervuardan itibaren geçirdiği oluşum koşulları hakkında bilgi veren önemli verilerdendir. [42] tarafından önerilen $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 'a karşı $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ izotop diyagramında Bahatlar volkanik biriminin üst kabuk adı verilen bölgede yer aldığı gözlenmektedir (Şekil 14). Bu duruma ya çalışma alanı volkanitlerini oluşturan kaynak magmaya olan yitim katkısı ya da kabuk malzemesi sebebi ile kontaminasyon sebep olmuş olmalıdır.



Şekil 13. İncelenen volkanitlerin ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)'a karşı ($^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$); korelasyon diyagramı ve Batı Türkiye'deki diğer volkanitlerle karşılaştırmaları. (Alanlar; Ultrapotasik kayaçlar (B-Türkiye) [32], Erken-Orta Miyosen yüksek K'lu kalk-alkalen kayaçlar (B-Türkiye) [33]-[35], CHUR (Kondritik Uniform Rezervuar)-Sr and -Nd referans çizgileri, EMI (Zenginleşmiş Manto I), ÜM (Üst Manto) [36],[37]; MORB (Okyanus Ortası Sırtı Bazaltı) [38],[19],[39],[40]; Manto aralığı [40].

Figure 13. Investigation of volcanites ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$); of the counter ($^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$); correlation diagram and other volcanite comparison between West in Turkey. (Areas; ultrapotassic rocks (B-Turkey) [32], Early-Middle Miocene high-K calc-alkaline rocks (B-Turkey) [33]-[35], CHUR (Chondritik Uniform Reservoir) -Sr and -Nd reference lines, EMI (Enriched Mantle I), UM (Upper Mantle) [36],[37], MORB (Mid-Ocean Ridge Basalt) [38],[19],[39],[40], Mantle gap [41].

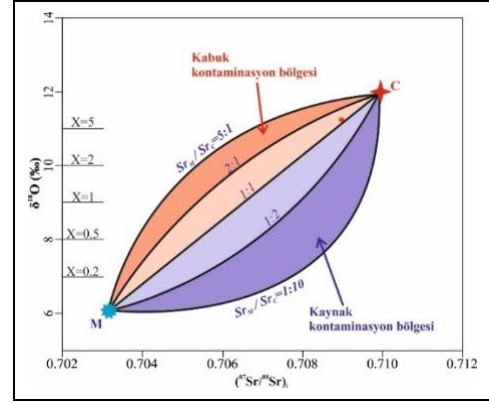


Şekil 14. İncelenen volkanitlerin $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 'a karşı $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ izotop diyagramı [43].

Figure 14. The isotope diagram of $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ versus $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ of the volcanites studied [43].

Duraylı izotoplardan oksijen izotop içerikleri incelenen volkanik kayaç örneğinin $\delta^{18}\text{O}$ oranı 11.3 ‰ olarak belirlenmiştir. Bu veriler ile oluşturulan ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)'a karşı $\delta^{18}\text{O}$ diyagramına bakıldığında, tüm örneklerin magma-kabuk karışım eğrilerinin hafif üst kısmında, kabuk sebebi ile gözlenen zenginleşmeyi ifade eden bölgede yer aldığı görülmektedir (Şekil 15). Bu durum kayaçların oluşumunda azımsanamayacak derecede kabuksal malzeme etkisinin olduğunu ancak kayaçların köken magmasında da kaynak zenginleşmesinin yine de rol oynadığını ifade etmektedir.

Volkanik kayaçlar üzerinde gerçekleştirilen radyometrik yaş tayinleri ile elde edilen veriler, bu kayaçların oluşumunda etkili olan gerek lokal gerek bölgesel jeodinamik koşulların yorumlanmasında oldukça önem teşkil etmektedir. Geçmişte



Şekil 15. İncelenen volkanitlerin ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)'a karşı $\delta^{18}\text{O}$ (‰) diyagramı. (C=Kabuk ile M=Magma verileri [44]'e göre.)

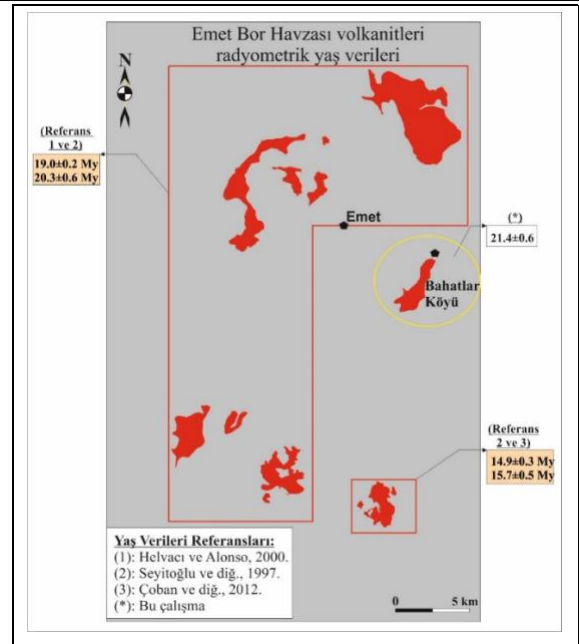
Figure 15. Diagram of ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) i versus $\delta^{18}\text{O}$ (‰) of the studied volcanites. (C = Crust and M = Magma data according to [44].)

Emet Bor Havzası'nda yüzeyleyen volkanitler üzerinde çalışmalar gerçekleştiren bazı araştırmacılar birçok yaş sonucu elde etmişlerdir (Tablo 1 ve Şekil 16).

Tablo 1. Emet Bor Havzası'nda yüzeyleyen volkanitlere ait yaş verileri.

Table 1. Age data of volcanites surfacing in Emet Borate Basin.

Kayaç Tipi	Yaş Tayin Metodu	Yaş Verisi	Referans
Riyolit	K-Ar (Feldispat)	19.0±0.2	[12]
Riyolit	K-Ar (Biyotit)	20.2±0.4	[6]
Fonotefrit	K-Ar (Tüm kayaç)	15.7±0.5	[45]
Latit	Ar-Ar (Biyotit)	15.914±0.11	[46]
Bazaltik Trakiandezit	K-Ar (Tüm kayaç)	14.9±0.3	[6]
Trakit	K-Ar (Feldispat)	15.4±0.2	[12]



Şekil 16. Emet Bor Havzası'nda yüzeyleyen volkanitlere ait yaş verileri Volkanitlerin sınırları [13]'ten değiştirilmiştir.

Figure 16. Age data of volcanites surfacing in Emet Bor Basin Boundaries of volcanites modified from [13].

Geçmişten günümüze kadar üzerinde herhangi bir radyometrik yaş tayini gerçekleştirilmemiş olan Bahatlar volkanik birimi çalışmamız kapsamında K-Ar yöntemi ile yaşlandırılmış ve 21.4 ± 0.6 My yaş sonucu elde edilmiştir (Tablo 2). Yaş tayini için seçilen örneğin oldukça düşük ateşte kayıp oranına sahip olması ve dış koşullardan asgari derecede etkilenmiş olması yaş sonucunun güvenilir olduğunu düşündürmektedir. Elde edilen yaş sonucu literatürde şu ana kadar Emet Bor Havzası'nda yüzeyleyen volkanik kayalardan elde edilen diğer yaş verileri ile örtüşmektedir.

Tablo 2. İncelenen volkanitlere ait bir örneğin yaş sonucu.

Table 2. The age result of a sample of the studied volcanites.

Örnek No	$^{40}\text{K}-^{40}\text{Ar}$ (My)	Hata 2σ
B-4	21.4	0.6

5 Sonuçlar

Bu çalışmada Kütahya'nın Emet ilçesi sınırları içerisinde yüzeyleyen Bahatlar volkanik birimi olarak adlandırılan kayaların petrografisi, jeokimyasal özellikleri, kökeni ve oluşum ortamları yeni veriler ile açıklanmaya çalışılmıştır. Hakkında günümüze kadar herhangi bir izotopik ve jeokronolojik veri bulunmayan Bahatlar volkanik birimi ile ilgili elde edilen sonuçlar şöyle sıralanabilir:

- 1) Bahatlar volkanik birimi tamamıyla riyolitik bileşiminde volkanitlerden oluşmaktadır. Bu kayalar genel olarak vitrofirik porfirik ve yer yer sferülitik porfirik doku göstermekte olup plajiyoklaz, kuvars, biyotit, amfibol ve sanidin minerallerinden oluşmaktadır,
- 2) Volkanitler, kalk-alkalen afinitiye ve orta ile yüksek potasyum içeriğine sahiptirler. Oluşturulan ikili değişim diyagramları ile volkanitlerin oluşumunda fraksiyonel kristallenmenin etkili bir oluşum süreci olduğu belirlenmiştir. Diyagramlarda gözlenen yönelimler özellikle plajiyoklaz, amfibol, biyotit, alkali feldispat ve yer yer opak minerallerin fraksiyonel kristallenmesinin volkanitlerin önemini ifade etmektedir. Ayrıca ikili diyagramlarda gözlenen yer yer dağınık desenler kısmi ergime ve asimilasyon süreçlerinin varlığının da volkanitlerin oluşumunda etkili süreçler olabileceğini göstermektedir,
- 3) Okyanus ortası sırt bazaltlarının (MORB)'a normalize spider diyagramlarında volkanitlerin, büyük iyon yarıçaplı elementlerde (LILE) zenginleşme, yüksek alan enerjili elementlerde (HFSE) hafif zenginleşme gözlenmektedir. LILE'lerinde gözlenen zenginleşme ve HFSE'deki fakirleşme ile Ta-Nb çukuru olarak adlandırılan negatif anomali yitim veya kaynak magmadaki kabuk katkısını işaret etmektedir. Kondrite normalize edilen nadir toprak element (REE) verileri ile oluşturulan spider diyagramında hafif nadir toprak element (LREE)'lerin ağır nadir toprak elementler (HREE)'lere göre daha fazla zenginleşmesi kaynak bölgede bir zenginleşme veya magmanın kısmi ergimeler sonucu oluştuğunu göstermektedir [20] ve [23]. Ayrıca, diyagramlarda gözlenen bariz negatif Eu anomalisi plajiyoklaz fraksiyonlaşmasını işaret eden bir unsur olarak görülmektedir,
- 4) La/Nb'a karşı Ba/Nb tektonik ortam diyagramlarına göre volkanitler yay ortamı ile ilişkili volkanitler

bölgesine iz düşmektedir. Ta, Yb ve Th element içerikleri ile oluşturulan tektonik ortam ayırtman diyagramında ise yine volkanik yay bazaltları alanına düşmekte ve ayırılma ile özümleme vektörleri arasında konumlanmaktadır. Bu durum incelenen volkanitlerin kaynak magmasının, yitim zonu sebepli bir manto kaynağından türemiş olduğunu işaret etmektedir. Ayrıca volkanitlerin oluşum ve gelişiminde kaynak magmanın fraksiyonel kristallenme ve asimilasyon süreçlerinin de etkisinin yadsınamaz olduğu görülmektedir,

- 5) Çalışma kapsamında incelenen volkanitler üzerinde literatürde ilk kez izotopik analizleri gerçekleştirilmiştir. Sr-Nd-Pb ve O izotop bileşimleri, volkanitlerin kaynak magmasının yitim veya kabuk sebepli materyaller ile zenginleştirilmiş/kirletilmiş mantodan itibaren gelişmiş olabileceğini göstermektedir,
- 6) Yine bu çalışma kapsamında literatürde ilk kez radyometrik yöntemler ile yaşlandırılan volkanitler için elde edilen K-Ar yaşı 21.4 ± 0.6 My ve Burdigaliyen (Erken Miyosen) olarak belirlenmiştir. Emet Bor Havzası'nda yüzeyleyen diğer riyolitik kayaların literatürdeki yaş verileri ile uyumlu olan yeni yaş verisi, volkanitlerin oluşum yaşını literatürde yaklaşık 1 My geriye taşımış olması sebebi ile önemlidir,
- 7) Bu çalışma ile elde edilen yeni tüm kayaç jeokimyası verileri ve literatürde ilk kez elde edilen Sr-Nd, Pb, O izotop ile K-Ar radyometrik yaş tayini verisi, Bahatlar volkanik birimi'nin oluşumunda hem manto zenginleştirmesinin hem de kabuk kirliliğinin/asimilasyon (AFC) süreçlerinin etkili olabileceğini göstermektedir.

6 Conclusions

In this study, the petrography, geochemical properties, origin and formation environments of the rocks called the Bahatlar volcanite unit surfacing within the boundaries of Emet district of Kütahya were tried to be explained with new data. The results obtained regarding the Bahatlar volcanite unit, for which no isotopic and geochronological data have been available, can be listed as follows:

- 1) The Bahatlar volcanite unit consists entirely of volcanites in rhyolitic composition. These rocks generally show vitrophyric porphyritic and spherulitic porphyritic texture in places and consist of plagioclase, quartz, biotite, amphibole and sanidine minerals,
- 2) Volcanites have calc-alkaline affinity and medium to high potassium content. It has been determined that fractional crystallization is an effective formation process in the formation of volcanites with the binary change diagrams. The trends observed in the diagrams express the importance of volcanites in the fractional crystallization of especially plagioclase, amphibole, biotite, alkali feldspar and locally opaque minerals. In addition, the scattered patterns observed in binary diagrams indicate that the existence of partial melting and assimilation processes can be effective processes in the formation of volcanites,
- 3) In the mid-ocean ridge basalts (MORB) normalized spider diagrams, volcanites shows an enrichment of large ion lithophile elements (LILE) and slight enrichment in high field energy elements (HFSE). Enrichment in LILEs

and depletion in HFSE and negative anomaly called Ta-Nb pit indicate subduction or crustal contribution in source magma. In the spider diagram created with the rare earth element (REE) data normalized to chondrite, the higher enrichment of light rare earth element (LREE) compared to heavy rare earth elements (HREE) indicates that an enrichment in the source region or partial melting of magma. In addition, the obvious negative Eu anomaly observed in the diagrams is seen as a sign of plagioclase fractionation,

- 4) In the La/Nb versus Ba/Nb tectonic discrimination diagrams volcanites are observed in the region of volcanites arc region. In the tectonic discrimination diagram formed with Ta, Yb and Th element contents, volcanites again falls into the area of volcanite arc region and is located between differentiation and assimilation vectors. This situation indicates that the source magma of the studied volcanites is derived from a mantle source due to subduction zone,
- 5) Isotopic analysis has been carried out for the first time in the literature on the studied volcanites within the scope of the study. The Sr-Nd-Pb and O isotope compositions show that the source magma of the volcanites developed from the mantle enriched/contaminated with subduction or crustal materials.
- 6) Within the scope of this study, the K-Ar age obtained for volcanites aged by radiometric methods for the first time in the literature was determined as 21.4 ± 0.6 Ma and Burdigalian (Early Miocene). The new age data, which is compatible with the age data of other rhyolitic rocks surfacing in the Emet Bor Basin, is important because it has moved the age of volcanites back by about 1 Ma,
- 7) The new whole rock geochemistry and K-Ar radiometric dating, Sr-Nd, Pb, O isotope datas obtained with this study shows that both mantle enrichment and crustal contamination/assimilation (AFC) processes are effective on the evolution of the Bahatlar volcanite unit.

7 Teşekkür

Bu çalışma Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından, DPÜBAP-2016-68 No.lu araştırma projesi kapsamında desteklenmiştir. Çalışmada katkısı bulunanlara teşekkür ederiz.

8 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen bu çalışmada Cafer ÖZKUL çalışma konusunun belirlenmesi ve çalışma alanının tespiti, literatür taraması, kaynak ve malzemelerin temini, arazi çalışması - örnek alımı ve analizlerin gerçekleştirilmesi, verilerin değerlendirilmesi, yazım denetimi ile makalenin yazımı; Recep Uğur ACAR arazi çalışması-örnek alımı, analizler için örnek hazırlama, verilerin değerlendirilmesi ile makalenin yazımı; Mehmet DEMİRBİLEK fikrin oluşturulması, arazi çalışması-örnek alımı, analizler için örnek hazırlama, sonuçların incelenmesi ve değerlendirilmesi, yazım denetimi ve içerik açısından makalenin kontrol edilmesi başlıklarında katkı sunmuşlardır.

9 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur. Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

10 Kaynaklar

- [1] Akdeniz N, Konak N. "Simav-Emet-Dursunbey-Demirci Yörelerinin Jeolojisi". MTA Derleme Raporu, Ankara, Türkiye, 1979.
- [2] Gün H, Akmaz N, Günay E. "Gediz ve emet güneyi neojen havzalarının jeolojisi ve yaş sorunları". *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 8, 1-13, 1979.
- [3] Yılmaz Y. *An approach to the origin of young volcanic rocks of western Turkey. Tectonic Evolution of the Tethyan*. Editor: Şengör AMC. Tectonic Evolution of the Tethyan Region, 159-189, Dordrecht, Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 1989.
- [4] Yılmaz Y. "Comparison of young volcanite associations of western and eastern Anatolia formed under a compressional regime: a review". *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44, 1-2, 69-87, 1990.
- [5] Seyitoğlu G, Scott, B. "Late Cenozoic crustal extension and basin formation in west Turkey". *Geological Magazine*, 128(2), 155-166, 1991.
- [6] Seyitoğlu G, Anderson D, Nowell G, Scott B. "The evolution from Miocene potassic to Quaternary sodic magmatism in western Turkey: implications for enrichment processes in the lithospheric mantle". *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 76, 127-147, 1997.
- [7] Özkul C, Temizel İ, Özburan M, Arslan M, Kibici Y. "Kütahya Çevresindeki (Batı Anadolu) Miyosen Volkanitlerinin Petrokimyası, K-Ar Jeokronolojisi, Sr-Nd-Pb-O İzotop Jeokimyası ve Jeodinamik Gelişimi". Tübitak Projesi, Proje No: 113Y069, 2015.
- [8] Köksal S, Möller A, Göncüoğlu MC, Frei D, Gerdes A. "Crustal homogenization revealed by U-Pb zircon ages and Hf isotope evidence from the Late Cretaceous granitoids of the Agaçören intrusive suite (Central Anatolia/Turkey)". *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 163(4), 725-743, 2012.
- [9] Clayton RN, Mayeda TK. "The use of bromine pentafluoride in the extraction of oxygen from oxides and silicates for isotopic analysis". *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 27(1), 43-52, 1963.
- [10] Borthwick J, Harmon RS. "A note regarding CIF3 as an alternative to BrF5 for oxygen isotope analysis". *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 46(9), 1665-1668, 1982.
- [11] Kraus I, Chernyshev IV, Sucha V, Kovalenker VA, Lebedev VA, Samajova E. "Use of illite for K/Ar dating of hydrothermal precious and base metal mineralization in Central Slovak Neogene volcanite rocks". *Geologica Carpathica*, 50(5), 353-364, 1999.
- [12] Helvacı C, Alonso RN. "Borate deposits of Turkey and argentina; a summary and geological comparison". *Turkish journal of Earth Sciences*, 9, 1-27, 2000.
- [13] Dündar A, Güngör N, Gürsel T, Özden M, Özyeğin E. "Kütahya-Emet Bölgesi Bortuzu Yatağı Nihai Değerlendirme Raporu". Ankara, Türkiye, 1986.
- [14] Le Bas MJ, Le Maitre RW, Streckeisen A, Zanettin B, "IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks, A Chemical Classification of Volcanic Rocks Based on the Total Alkali-Silica Diagram". *Journal of Petrology*, 27(3), 745-750, 1986.
- [15] Irvine TN, Baragar WRA. "A Guide to the Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks". *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8(5), 523-548, 1971.

- [16] Peccerillo A, Taylor SR. "Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanite rocks from the Kastamonu area, northern Turkey". *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58, 63-81, 1976.
- [17] Le Maitre, RW. *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks*, 2nd ed. Cambridge, England, Cambridge University Press, 2002.
- [18] Pearce JA. *Role of the Sub-Continental Lithosphere in Magma Genesis at Active Continental Margins*. Editors: Hawkesworth CJ, Norry, MJ. *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*, Shiva, Cheshire, 230-249, 1983.
- [19] Gill JB. *Orogenic Andesites and Plate Tectonics*. Berlin, Germany, Springer, 1981.
- [20] Fitton JG, James D, Kempton PD, Ormerod DS, Leeman WP. "The role of the lithospheric mantle in the generation of Late Cenozoic basic magmas in the Western United States". *Journal of Petrology*, Special Lithospheric Issue, 331-349, 1988.
- [21] Anders E, Grevesse N. "Abundances of the elements: meteoric and solar". *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53, 197-214, 1989.
- [22] Rollinson HR. *Using Geochemical Data: Evolution, Presentation, Interpretation*. London, England, John Wiley Sons, Inc., 1993.
- [23] Barragan R, Geist D, Hall M, Larson P, Kurz M. "Subduction controls on the compositions of lavas from the Ecuadorian Andes". *Earth and Planetary Science Letters*, 154(1-4), 153-166, 1998.
- [24] Fitton, JG, James D, Leeman WP. "Basic magmatism associated with late cenozoic extension in the western united states: compositional variations in space and time". *Journal of Geophysical Research*, 96(B8), 13693-13711, 1991.
- [25] Aydınçakır E. Borçka (Artvin, Kd-Türkiye) Yöresi Tersiyer Volkanitlerinin Petroğrafisi, Jeokimyası ve Petrojenezi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2012.
- [26] Kaygusuz A, Arslan, M, İlbeyli N, Sipahi F. "Doğu Pontid Kuzey Zonu ve Kuzey-Güney Zon Geçişinde Yüzeyleyen Kretase-Paleosen Yaşlı Granitoidik Sokulumların Petrokimyası, Sr-Nd-Pb-O izotop Jeokimyası, Jeokronolojisi ve Jeodinamik Gelişimi". Tübitak Projesi, Proje No: 109Y052, 2012.
- [27] Jahn BM, Wu FY, Lo CH. "Crust-mantle interaction induced by deep subduction of the continental crust: geochemical and Sr-Nd isotopic evidence from post-collisional mafic-ultramafic intrusions of the northern Dabie Complex, Central China". *Chemical Geology*, 157, 119-146, 1999.
- [28] Jahn BM, Zhang ZQ. "Archean granulite gneisses from eastern Hebei Province, China: rare earth geochemistry and tectonic implications". *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 85, 224-243, 1984.
- [29] Sun S, McDonough WF. *Chemical and Isotopic systematics of Oceanic Basalt: Implications for Mantle Composition and Processes*, Editors: Saunders AD, Norry MJ. *Magmatism in the Ocean Basins*, 313-345, London, England, Geological Society of London Special Publication, 1989.
- [30] Pearce. JA. *Trace element characteristics of lavas from destructive plate margins*. Editors: Thorpe RS. *Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks*, New York, USA, Wiley, 1982.
- [31] Wedepohl KH. "The composition of the continental crust". *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59, 1217-1239, 1995.
- [32] Faure G, Mensing TM. *Isotopes: Principles and Applications*, 3rd ed. Hoboken, New Jersey, USA, John Wiley and Sons, 2005.
- [33] Prelević D, Foley SF, Romer R, Conticelli S. "Mediterranean Tertiary lamproites derived from multiple source components in post collisional geodynamics". *Geochim Cosmochim Acta*, 72, 2125-2156, 2008.
- [34] Karaoğlu Ö, Helvacı C, Ersoy EY. "Petrogenesis and ⁴⁰Ar/³⁹Ar geochronology of the volcanite rocks of the Uşak-Güre basin, western Turkey". *Lithos*, 119, 193-210, 2010.
- [35] Ersoy EY, Helvacı C, Palmer MR. "Petrogenesis of the Neogene volcanite units in the NE-SW-trending basins in western Anatolia, Turkey". *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 163, 379-401, 2012.
- [36] Semiz B, Ersoy EY, Özpınar Y, Helvacı C, Palmer MR, Billor MZ. "⁴⁰Ar/³⁹Ar Geochronology, geochemistry and petrology of volcanite rocks from the Simav Graben, western Turkey". *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 170, 24, 1-24, 2015.
- [37] Zindler A, Hart SR. "Chemical geodynamics". *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 14, 493-571, 1986.
- [38] Hart SR, Hauri E, Oschmann L, Whitehead J. "Mantle plumes and entrainment: isotopic evidence". *Science*, 256, 517-520, 1992.
- [39] Wilson M. *Igneous Petrogenesis*. Oxford, England, Oxford University Press, 1989.
- [40] Arculus, RJ, Powell R. "Source component mixing in the regions of are magma generation". *Journal of Geophysical Research*, 91, 5913-5926, 1986.
- [41] McCulloch, MT, Gamble, JA. "Geochemical and geodynamical constraints on subduction zone magmatism". *Earth and Planetary Science Letters*, 102, 358-374, 1991.
- [42] Davies, JH, von Blanckenburg F. "Slab breakoff: a model of lithospheric detachment and its test in the magmatism and deformation of collisional orogens". *Earth Planet Science Letter*, 129, 85-102, 1995.
- [43] Doe BR, Zartman RE. *Plumbotectonics I, The Phanerozoic*. Editors: Barnes HL. *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, 22-70, New York, USA, Wiley Interscience, 1979.
- [44] James DE. "The combined use of oxygen and radiogenic isotopes as indicators of crustal contamination". *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 9, 311-344, 1981.
- [45] Çoban H, Karacık Z, Ece ÖI. "Source contamination and tectonomagmatic signals of overlapping Early to Middle Miocene orogenic magmas associated with shallow continental subduction and asthenospheric mantle flows in Western Anatolia: A record from Simav (Kütahya) region". *Lithos*, 140, 119-141, 2012.
- [46] Ersoy YE. *Stratigraphy, Tectonic Evolution and Petrogenesis of the Volcanic Rocks in the Gördes, Demirci and Emet Basins (Western Anatolia)*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2011.

Ekler

Ek A. İncelenen volkanitlerin ana oksit, iz ve nadir toprak element analiz sonuçları.

Appendix A. Major oxide, trace, and rare earth element analysis results of the studied volcanites.

Örnek No	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6	B-15
Ağırlıkça (%)							
SiO ₂	76.10	75.31	75.15	72.86	76.50	76.99	77.34
Al ₂ O ₃	11.17	11.60	11.92	13.60	11.02	11.52	10.96
Fe ₂ O ₃	2.10	2.17	2.19	2.13	2.07	1.17	1.72
MgO	0.52	0.52	0.50	0.54	0.41	0.39	0.39
CaO	1.65	1.59	1.64	1.89	1.47	1.63	1.48
Na ₂ O	2.65	2.76	2.83	3.29	2.57	2.81	2.53
K ₂ O	3.40	3.55	3.62	4.11	3.43	3.53	3.43
TiO ₂	0.26	0.27	0.27	0.31	0.25	0.26	0.25
P ₂ O ₅	0.11	0.16	0.11	0.12	0.10	0.11	0.10
MnO	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02
Cr ₂ O ₃	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
LOI	1.90	1.90	1.60	1.00	2.00	1.40	1.60
(ppm)							
Ba	627.00	707.00	803.00	794.00	835.00	683.00	644.00
Ni	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Sc	4.00	4.00	4.00	4.00	3.00	3.00	3.00
Be	4.00	1.00	3.00	1.00	3.00	<1	3.00
Co	2.40	2.90	2.40	2.80	2.70	1.80	2.00
Cs	22.00	38.20	30.10	15.30	18.90	44.50	26.40
Ga	14.70	14.20	14.00	15.00	12.00	13.20	11.10
Hf	3.10	3.60	3.70	3.90	3.60	3.40	3.60
Nb	10.40	11.70	11.30	12.40	10.80	10.40	10.00
Rb	116.60	129.50	134.00	151.40	128.00	135.10	126.80
Sn	2.00	3.00	3.00	4.00	3.00	3.00	2.00
Sr	167.40	175.70	179.10	205.40	174.70	183.80	170.40
Ta	1.00	1.10	1.20	1.30	1.00	1.00	1.10
Th	15.90	16.60	16.80	19.90	15.50	16.00	14.80
U	6.00	5.50	5.00	4.80	5.50	5.10	3.70
V	23.00	31.00	39.00	25.00	25.00	17.00	26.00
W	1.50	2.30	1.50	1.80	1.30	2.00	1.20
Zr	114.00	122.80	130.00	138.70	133.90	126.40	125.50
Y	16.30	16.30	17.80	18.40	22.40	16.70	17.50
La	29.20	28.40	29.80	36.40	33.20	28.90	27.10
Ce	51.80	52.40	54.10	65.80	53.00	53.90	49.30
Pr	5.69	5.72	6.05	7.20	6.25	5.74	5.53
Nd	19.70	19.70	21.00	25.30	22.40	20.40	19.70
Sm	3.50	3.78	3.85	4.50	4.03	3.73	3.50
Eu	0.65	0.64	0.64	0.76	0.63	0.62	0.64
Gd	3.13	3.15	3.43	3.84	3.72	3.20	3.20
Tb	0.50	0.50	0.55	0.58	0.59	0.49	0.51
Dy	2.84	2.82	3.16	3.25	3.45	2.78	2.93
Ho	0.57	0.59	0.66	0.65	0.76	0.57	0.61
Er	1.67	1.64	1.84	1.80	2.09	1.62	1.80
Tm	0.25	0.25	0.29	0.26	0.31	0.24	0.29
Yb	1.57	1.61	1.87	1.69	2.12	1.53	1.78
Lu	0.23	0.24	0.28	0.26	0.34	0.24	0.29

Ek A. İncelenen volkanitlerin ana oksit, iz ve nadir toprak element analiz sonuçları (devam ediyor).

Appendix A. Major oxide, trace, and rare earth element analysis results of the studied volcanites (continues).

Örnek No	B-16	B-19	B-21	B-22	B-24	B-25
Ağırlıkça (%)						
SiO ₂	75.97	75.2	76.16	75.75	75.66	76.08
Al ₂ O ₃	11.66	11.92	11.41	11.65	11.81	11.46
Fe ₂ O ₃	2.02	2.32	1.91	2.05	2.08	1.99
MgO	0.5	0.5	0.35	0.48	0.48	0.44
CaO	1.73	1.63	1.51	1.61	1.64	1.62
Na ₂ O	2.81	2.78	2.66	2.77	2.81	2.73
K ₂ O	3.64	3.7	3.67	3.59	3.71	3.53
TiO ₂	0.26	0.27	0.27	0.27	0.27	0.26
P ₂ O ₅	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
MnO	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03
Cr ₂ O ₃	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
LOI	1.1	1.4	1.8	1.6	1.3	1.6
(ppm)						
Ba	1144	738	685	791	785	704
Ni	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Sc	4	4	4	4	3	3
Be	3	3	3	2	<1	3
Co	2.1	2.5	1.8	2.1	2.5	2
Cs	12.7	15.8	26.5	26.6	20.7	35.3
Ga	12.2	12.3	11	11.9	12.5	11.4
Hf	3.9	3.8	3.6	3.7	3.7	3.3
Nb	10.2	11.7	10.8	11.1	10.6	11.1
Rb	135	138.6	135.1	134.9	140.2	133.9
Sn	3	4	2	3	3	3
Sr	179.9	174	160	177.1	175.3	175.2
Ta	1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1
Th	16.3	17.2	16.6	16.6	16.9	16
U	5.2	5.4	4.5	4.3	4.6	4.8
V	23	30	24	28	23	22
W	1.7	2.2	2.1	1.9	1.6	2
Zr	135	141.1	129.7	131.6	131.8	123.8
Y	16.9	19.2	17.3	18.9	16.4	17.2
La	29.5	31.7	31.1	32.5	30.6	30.4
Ce	53.5	57.9	55.4	58.4	56.5	56.9
Pr	5.84	6.25	5.99	6.34	6.19	5.93
Nd	19.8	21.5	21.5	22.2	21.5	20.2
Sm	3.61	3.96	3.92	4.08	3.92	3.84
Eu	0.56	0.65	0.65	0.68	0.65	0.64
Gd	3.37	3.61	3.44	3.59	3.4	3.31
Tb	0.51	0.56	0.52	0.55	0.53	0.52
Dy	3.11	3.3	2.91	3.16	3.04	3.13
Ho	0.59	0.69	0.61	0.68	0.62	0.6
Er	1.81	1.93	1.76	1.99	1.75	1.79
Tm	0.25	0.3	0.26	0.3	0.24	0.27
Yb	1.64	1.95	1.48	1.96	3.58	1.76
Lu	0.26	0.3	0.26	0.32	0.26	0.28