



Kalk-alkalen Şapçı (Balıkesir) Volkanitlerin Petrografisi ve Petrolojisi: Biga Yarımadası'nda (Kuzeybatı Türkiye) Çarpışma ile İlişkili Volkanizma

*Petrography and Petrology of the Calc-alkaline Şapçı (Balıkesir) Volcanics:
Volcanism Related to Collision in the Biga Peninsula (NW Turkey)*

Dilber ERDEM¹, Zafer ASLAN²

¹Turgut Reis Mahallesi Haydarefendi cad. No:177, Adıyaman

²Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü,
Çağış Yerleşkesi, 10145 Balıkesir (e-posta:zaslan@balikesir.edu.tr)

ÖZ

Bu çalışmada Şapçı volkanitlerinin petrografik ve petrolojik özelliklerinin belirlenmesi ve kökeninin ortaya konulması amaçlanmıştır. Biga Yarımadası (Kuzeybatı Türkiye) tektonik olarak Sakarya Zonu'nda yer almakta olup, çarpışma magmatizmanın yaygın olduğu ve magmatik-tektonik olayların birlikte izlendiği önemli bir kuşaktır. Karmaşık bir jeolojiye sahip olan Biga Yarımadası'nda Paleozoyik'ten Pliyosen'e kadar yaş aralığında çeşitli metamorfik, tortul ve magmatik kayalar mevcuttur. Çalışma alanında en yaşlı birim Geç Kretase yaşlı Bornova Flişi'dir. Birimi tektonik olarak Geç Kretase yaşlı Yayla melanjı üzerlemektedir. Bu birimler Hallaçlar volkanitleri tarafından kesilmiştir. Hallaçlar volkanitleri ise Erken Miyosen yaşlı Şapçı volkanitleri tarafından kesilmiştir.

Şapçı volkanitleri, başlıca andezit ve piroklastiklerden ibaret olup, petrografik olarak mikrolitik, mikrolitik porfirik, hyalomikrolitik ve yer yer de akma ve elek dokusu göstermektedir. Plajiyoklaz, amfibol, biyotit ve opak oksit ana mineralleri ile apatit ve zirkon gibi tali mineraller içermektedir. Petrokimyasal olarak orta-K'lu kalk-alkalen karakterde olup, N-MORB'a normalize iz element değişim diyagramlarında büyük iyon yarıçaplı litofil elementlerce (LILE) zenginleşme göstermektedir. Kondirite göre normalize edilmiş nadir toprak element desenlerinde, volkanik kayalar $La_{CN}/Lu_{CN}=7.16-21.84$ oranlarıyla konkav bir dağılım sergilerler. Bu dağılımlar ve Harker diyagramlarında gözlenen ilişkiler, volkanitlerin gelişiminde amfibol ve plajiyoklas fraksiyonel kristallenmesinin etkin olduğuna işaret etmektedir. İncelenen Şapçı volkanitleri çarpışma sonrası oluşmuş olup, ana magma kaynağı zenginleşmiş mantodur.

Anahtar Kelimeler: jeokimya, kalk-alkalen kayalar, köken, tektonik ortam, zenginleşmiş manto

ABSTRACT

In this study, it is aimed to determine petrographical and petrological and sources characteristics of the Şapçı volcanics. The Biga Peninsula (NW Turkey) located in Sakarya Zone is an important belt where

collisional magmatism is common and magmatic-tectonic events are seen together. The geology of the Biga Peninsula is so complex that there are various metamorphic, sedimentary, and magmatic rocks from Palaeozoic to Pliocene. The oldest unit in the study area is Late Cretaceous aged Bornova Flysch. Late Cretaceous aged Yayla Melange overlies tectonically this unit. These units are cut by Hallaçlar volcanics. Hallaçlar volcanics are also cut by Early Miocene aged Şapçı volcanics.

The Şapçı volcanics are composed of andesite and pyroclastics with microlitic, microlitic porphyric, hyalomicroclitic, fluidal, and sieve textures. The volcanics contain mainly plagioclase, amphibole, biotite, and opaque oxides, and accessory apatite and zircon. Petrochemically, the Şapçı volcanics have medium-K, calc-alkaline in character, and show large ion lithophile elements (LILE) enrichment on N-MORB normalized spider diagrams. On chondrite-normalized rare earth element plots, the volcanic rocks show a concave upward shape with $La_{CN}/Lu_{CN}=7.16-21.84$. These patterns and Harker variation plots suggest that amphibole and plagioclase fractional crystallization were played a significant role in the evolution of the studied volcanics. The studied Şapçı volcanics represent post-collisional setting, and their parent magma has derived from enriched mantle.

Key words: *Calc-alkaline rocks, enriched mantle, genesis, geochemistry, tectonic environment*

GİRİŞ

Alp-Himalaya orojenik sisteminde önemli bir yere sahip olan Batı Anadolu; çarpışma magmatizmasının yaygın olduğu, kabuk-manto etkileşiminin gözlemlendiği ve magmatik-tektonik olayların birlikte izlendiği önemli bir kuşaktır (Aldanmaz ve diğ., 2000; Altunkaynak ve Genç, 2008). Türkiye tektonik olarak dört ana zona ayrılmıştır: Sakarya zonu, Torid-Anatolid bloğu, İntra-Pontid suture zonu ve Zagros suture zonu (Okay ve Tüysüz, 1999). Türkiye'nin kuzeybatısı, kuzeyde İntra-Pontid güneyde ise İzmir-Ankara-Erzincan suture zonu ile sınırlandırılmıştır (Şekil 1a). Bu suture zonunun kuzeyi Pontidler veya Sakarya Zonu olarak bilinmektedir (Şengör ve Yılmaz, 1981; Yılmaz, 1990). Bölgede genel jeolojik amaçlı pek çok çalışma mevcuttur (Bingöl, 1976; Şengör ve Yılmaz, 1981; Bingöl ve diğ., 1982; Yılmaz, 1990; Harris ve diğ., 1994; Okay ve diğ., 1996; Yılmaz ve diğ., 2001; Altunkaynak ve Genç, 2008). Neo-Tetis okyanus litosferi Sakarya Zonu'nun altına erken Kretase boyunca dalmaya başlamıştır (105 my Okay, 2008). Neo-Tetis Okyanusunun kapanması ile birlikte Sakarya ile Torid-Anatolid kıtalarının çarpışması Eosen'de gerçekleşmiştir (Şengör ve Yılmaz, 1981; Harris ve diğ., 1994; Okay ve Tüysüz, 1999; Okay

ve diğ., 2001). Çarpışma magmatizmanın ilk ürünü Orta Eosen yaşlı granitik plutonlar ile andezitik karakterli volkanik kayalar (Harris ve diğ., 1994; Genç ve Yılmaz, 1997; Delaloye ve Bingöl, 2000; Köprübaşı ve Aldanmaz, 2004; Altunkaynak ve Dilek, 2006; Okay ve Satır, 2006; Altunkaynak, 2007). Bu suture kayaları dışında Erken-Orta Miyosen'de büyük miktarlarda andezit, dasit, riyoit ve asidik tüfler Biga Yarımadası'nda geniş alanlar kaplamıştır (Ercan ve diğ., 1995; Aldanmaz ve diğ., 2000). Bunu izleyen magmatik evrede ise Oligosen-Erken Miyosen yaşlı ve geniş alanlarda yayılım gösteren granitik plutonlar ve bunlarla ilişkili volkanik kayalar bulunmaktadır (Yılmaz, 1989; Yılmaz ve diğ., 1995; Altunkaynak ve Yılmaz, 1998; 1999; Genç, 1998; Özgenç ve İlbeyli, 2008; Akay, 2009). Karmaşık bir jeolojiye sahip olan Biga Yarımadası'nda Paleozoyik'ten Pliosen'e kadar yaş aralığında çeşitli metamorfik, tortul ve magmatik kayalar mevcuttur. Yöredeki en yaşlı birimi Paleozoyik yaşlı Kazdağ metamorfikleri ile bunları üstleyen Triyas yaşlı Karakaya Karmaşığı oluştururken en genç birimi ise Pliosen yaşlı çakıltaşı ve kumtaşından ibaret Bayramiç Formasyonu oluşturmaktadır (Krushensky, 1976; Duru ve diğ., 2004; Dönmez ve diğ., 2005).

Tersiyer magmatizması, Biga Yarımadası'nda (Kuzeybatı Anadolu) çok geniş yayılım sunmaktadır (Şekil 1b). Tersiyer döneminde Eosen ve Oligo-Miyosen olmak üzere iki dönemde yoğun bir magmatik etkinlik mevcut olup, granitik karakterli sokulum kayalar ve genellikle andezit ile dasit ve son ürün olarak da bazalttan oluşan volkanik kayalar yaygın olarak yüzeylenmektedir. Edincik ve Beyçayır volkanitleri olarak adlandırılan en yaşlı volkanik kayalar, temel kayalar üzerinde uyumsuzlukla yer alır. Andezitik, dasitik lav ve piroklastiklerden oluşan bu birimler Eosen yaşlıdır (Dönmez ve diğ., 2005). Üst Eosen'den itibaren dasitik tüf ve ignimbirit karakterli Dededağ volkanitleri etkin olmuştur (Dönmez ve diğ., 2005). Oligosen boyunca Biga Yarımadasında volkanik faaliyet devam etmiştir. Sırası ile asidik bileşimli Atıkhisar, andezitik bileşimli Yeniköy, bazaltik bileşimli Saraycık, andezitik ve ignimbiritik özellikte Bağburun ve andezitik bileşimli Hallaçlar ile Şapçı volkaniti Biga Yarımadası'ndaki Oligosen volkanitlerini oluşturur (Dönmez ve diğ., 2005). Bölgede yayılım gösteren Şapçı volkaniti yer yer aşırı alterasyona uğramış olup, Alt Miyosene kadar etkinliğini sürdürmüştür. Bu alterasyonun nedeni de büyük olasılıkla bölgeye Oligosen–Alt Miyosen aralığında yerleşen ve Üst Oligosen-Alt Miyosen granitoidleri olarak adlandırılan sokulum kayalarıdır. Üst Miyosen yaşlı alkali karakterli Taştepe bazaltı ile bölgedeki volkanik etkinlik sona ermiştir. Tüm bu birimleri Bayramiç formasyonu olarak tanımlanan Pliyosen yaşlı akarsu ve gölsel çökeller uyumsuz olarak üzerlenmektedir (Duru ve diğ., 2004).

Sakarya Zonu'nun batısında ve İzmir-Ankara-Erzincan kenet zonu'nun hemen kuzeyinde yer alan Şapçı volkaniti yörede iki yerde yüzeyleme vermektedir (Şekil 1b). Birincisi Balya (Balıkesir) ile Şapçı (Balıkesir) köyü arasında olup yaklaşık 25 km uzunluğunda 10 km genişliğinde ve elips şeklindedir. İkincisi ise Balıkesir'in 10 km kuzey doğusundaki Ayvatlar ile Karacaören

köyleri arasında olup yaklaşık 10km uzunluğunda ve 2 km genişliğindedir (Şekil 2). Bu güne kadar Şapçı volkanitlerinden yapılan çalışmaların tümü Balya (Balıkesir) ile Şapçı köyü arasında yüzeyleme veren birinci kısımdan alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilmiş olup Balıkesir'in kuzeydoğusundaki Ayvatlar-Karacaören köyleri arasında yüzeyleme veren alandan genel jeolojik araştırma dışında çalışma yapılmamıştır. Bu çalışma ile Ayvatlar-Karacaören köyleri arasında yüzeyleyen Şapçı volkanitinin genel jeolojisi ile ayrıntılı mineralojisi ve petrografisi ortaya çıkartılmıştır. Ayrıca jeokimyasal analizlerle birimin Batı Anadolu jeodinamik gelişimindeki konumu aydınlatılmaya çalışılmıştır.

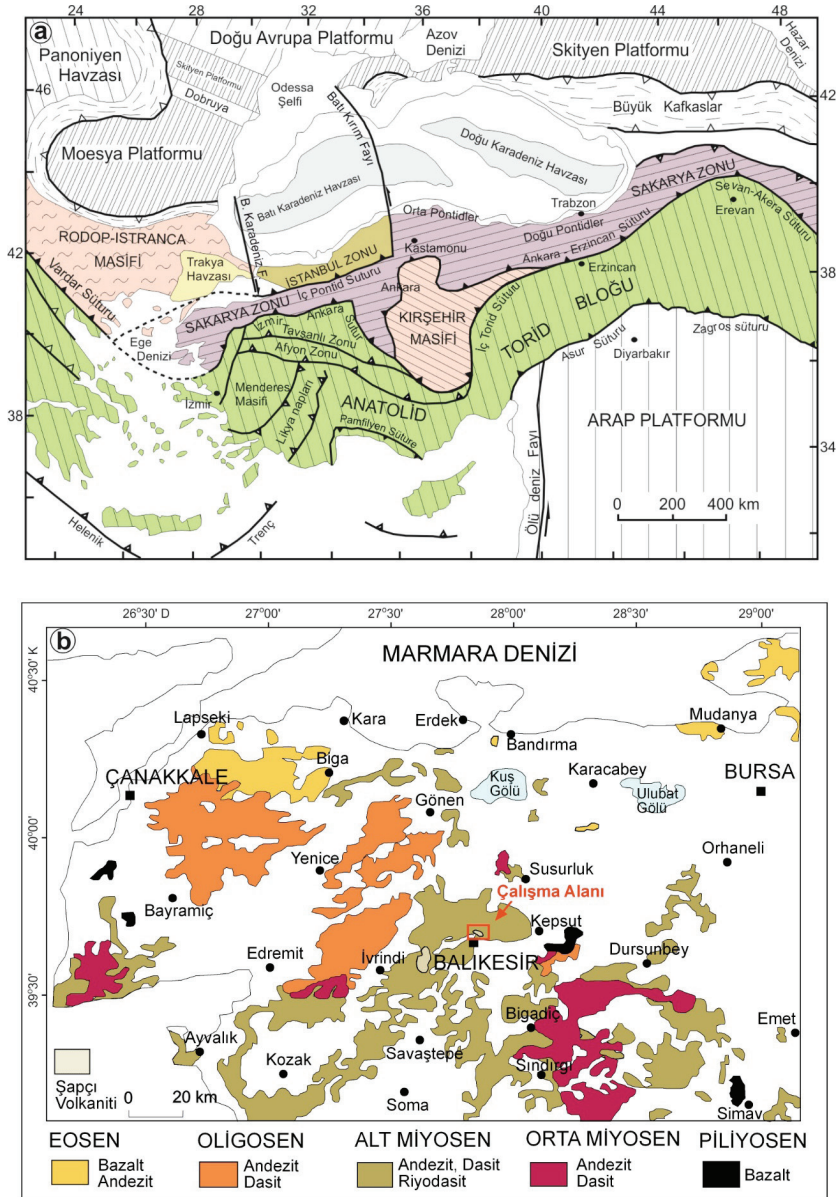
MATERYAL VE YÖNTEM

İnceleme alanının 1/25.000 ölçekli ayrıntılı jeoloji haritası hazırlanmış ve araziden çok sayıda sistematik olarak örnek derlenmiştir. 40 adet volkanik ve 10 adet de yan kayaç olmak üzere toplam 50 adet örnekten ince kesit yaptırılmış ve Balıkesir Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Araştırma Laboratuvarında bulunan Olympos CX31P marka polarizan mikroskopta incelenmiştir. Petrografik incelemeler sonucunda uygun olan 10 adet örneğin ana, iz ve nadir toprak element analizleri ACME Analytical Laboratories Ltd. Vancouver (Kanada)'da yaptırılmıştır. ICP (Inductively Coupled Plasma), nadir toprak elementleri ise ICP-MS (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry) yöntemiyle analiz edilmiştir. Ana elementlerin analizinde SO-18/CSC, iz element analizinde SO-18 standartları kullanılmıştır. Ana ve iz element analizleri için 0,2gr toz örnek 1,5gr LiBO₂ ile karıştırılarak % 5 HNO₃, nadir toprak element analizleri ise 0.250 gr toz örneğin dört farklı asit içinde çözündürülmüş çözeltilerden itibaren analiz edilmiştir. Ana elementler % ağırlık, iz ve nadir toprak elementler ppm olarak ölçülmüştür.

STRATİGRAFİ

Sakarya zonu'nda bulunan Biga Yarımadası'nda egemen kayalar Paleozoyik yaşlı metamorfik ve Tersiyer yaşlı magmatik birimlerdir. Bölgede temel kayalar Paleozoyik yaşlı orta-yüksek

dereceli Kazdağ Masifi ile bunu üzerleyen Triyas yaşlı düşük-orta dereceli Karakaya Karmaşığı oluşturmaktadır (Duru ve diğ., 2004). Yaklaşık 80 km² lik inceleme alanında ise Paleozoyik yaşlı temel birimler gözlenmemekte olup en yaşlı birim Üst Kretase yaşlı Bornova Flişi'dir.



Şekil 1. a) Türkiye'nin tektonik bölümleri (Okay ve Tüysüz, 1999), b) Biga Yarımadası'nda volkanik kayalarının dağılımı (Pehlivan ve diğ., 2007'den değiştirilerek).

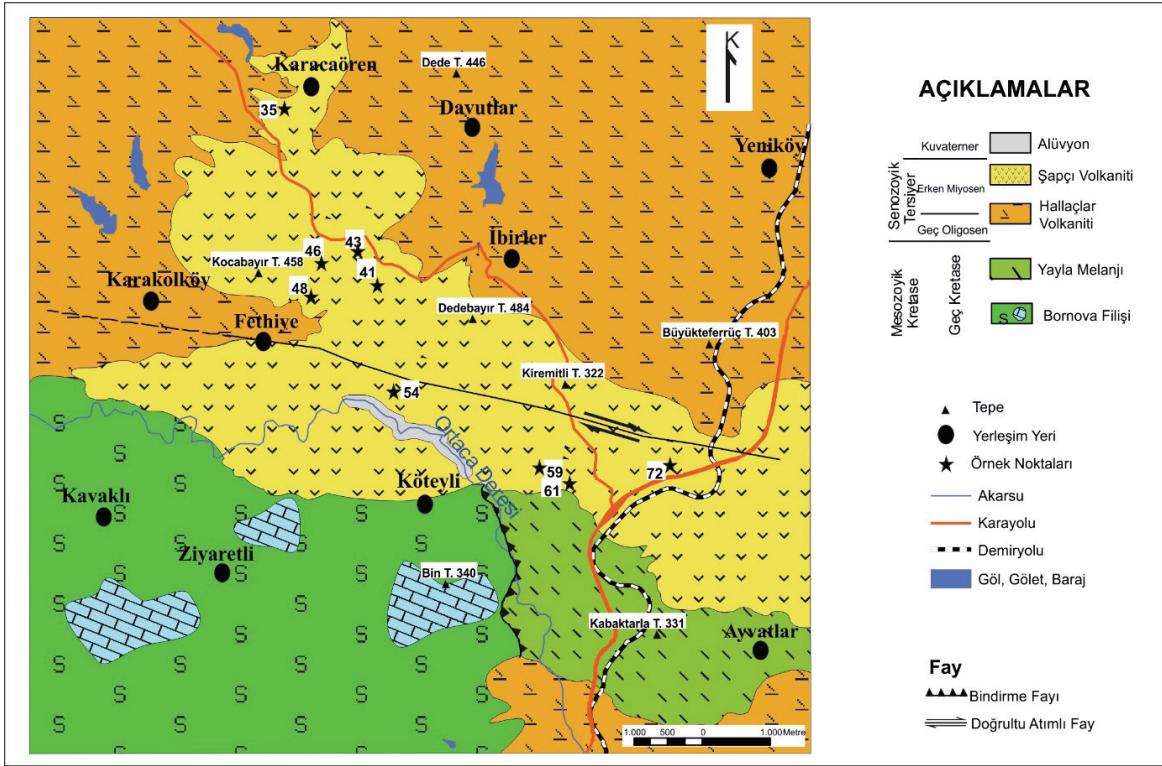
Figure 1. a) Tectonic unites of Turkey (Okay ve Tüysüz, 1999), b) The distribution of volcanic rocks in the Biga Peninsula (modified after Pehlivan ve diğ. 2007).

Çalışma alanının güney batısında yüzeyleyen birim ince-orta taneli kumtaşı ile gri renkli kıltaşı ardalanmasından oluşmakta olup spilitik bazalt ile kireçtaşı blokları içermektedir. Birimi tektonik olarak Üst Kretase yaşlı Yayla melanji üzerlemektedir (Pehlivan ve diğ., 2007). Ayvatlar köyü ve civarında gözlenen Yayla melanji değişik boyutlarda serpantin, spilitik bazalt, tuf, kıltaşı, metabazikler ve rekristalize kireçtaşı gibi kayaç bloklarının bulunduğu ofiyolitli melanjdan oluşmaktadır (Duru ve diğ., 2004; Pehlivan ve diğ., 2007). Limonitleşme, serpantinleşme, talklaşma ve oksitleşmenin yaygın olarak gözlemlendiği Yayla melanji genellikle yeşil, kahve-siyah, yeşilimsi mavi renkli olup, oldukça kırık ve çatlaklıdır. Bu birimler, andezit, bazaltik-andezitik ve piroklastiklerden oluşan Hallaçlar volkaniti tarafından kesilmiştir. İnceleme alanının kuzeyinde yüzeyleyen bu volkaniti çoğunlukla alterasyona uğramış olup sarı, açık kahverengi ve krem renklerindedir (Erdem 2015). Dönmez ve diğ., (2005) tarafından yapılan K-Ar analizinde bu birimin yaşı 26.5 ± 1.1 my ile Üst Oligosen olarak saptanmıştır. Biga Yarımadası'nda (Kuzeybatı Anadolu) çok geniş bir yayılım gösteren Hallaçlar volkaniti, Erken Miyosen yaşlı Şapçı volkaniti tarafından kesilmiştir. Andezit ve trakiandezit karakterli lav ve piroklastiklerden oluşan birimin yaşı K-Ar analizi ile 21.2 ± 0.9 my ile Erken Miyosen (Dönmez ve diğ., 2005), zirkon mineralinden yapılan SHRIMP U-Pb analizi ile de 22.72 ± 0.19 ve 22.97 ± 0.23 my ile Erken

Miyosen (Kaplan ve diğ., 2013) olarak tespit edilmiştir. İbirler köyü güneyindeki Dedeboyur tepe, Ayvatlar kuzeyindeki Çengeltaş tepe ve Karacaören köyünün güneydoğusundaki Bakacak tepe volkanizmanın belirgin çıkış noktalarını oluşturmaktadır (Şekil 2). Birim masif ve homojen bir görünüme sahip olup açık gri renkli bazen de pembemsi veya gülkurusu rengindedir. Lavdaki silis oranının yüksek olmasından dolayı sert ve kırıklıdır. Bu volkanitlere eşlik eden andezitik piroklastikler ise daha çok düzlüklerde yüzeyleme vermekte olup ayrılmaya uğramışlardır. Çalışma alanındaki en genç birimi ise Kuvaterner alüvyonlar oluşturmaktadır.

ŞAPÇI VOLKANİTİ'NİN LİTOLOJİSİ VE PETROGRAFİSİ

Şapçı volkaniti andezitik lav ve piroklastiklerden oluşmaktadır. Andezitler çalışma alanının güney doğusunda Çengeltaş tepe civarında, kuzey batısında Dedeboyur tepe, kuzeyinde Bakacak tepe ve Kiremitli tepede yüzeylenmektedir. Bunlar, masif ve homojen bir özelliğe sahip olup açık gri, bazen de pembemsi veya gülkurusu rengindedir. Kayaçtaki silis oranının fazla olmasından dolayı sert olan andezitlerde bol miktarda çatlak ve kırık mevcuttur. Bazı yerlerde andezitik breş de tespit edilmiştir. Plajiyoklaz, amfibol ve biyotit mineralleri gözle rahatlıkla ayırt edilebilmektedir (Erdem, 2015).



Şekil 2. Çalışma alanının jeolojik haritası (Erdem, 2015'den).

Figure 2. Geological map of the study area (modified after Erdem, 2015).

Şapçı volkanitlerine ait lav ve tüflerden alınan örneklerin ince kesitleri polarizan mikroskopta incelenmiştir. Buna göre andezitler, genellikle mikrolitik, mikrolitik porfirik, hyalomikrolitik ve yer yer de akma ve elek dokusu göstermektedirler. Kayaçları oluşturan ana mineraller; plajiyoklaz, amfibol, biyotit ve opak oksit, tali mineral olarak apatit ve zirkon, ayrışma mineralleri olarak da serisit, kalsit, klorit ve kil bulunmaktadır.

Plajiyoklazlar öz ve yarı öz şekilli kristallerden oluşmaktadır. Kayaçta iri, hamurda ise mikrolitler halindedir. %An içerikleri 30-49 arasında olup cinsleri andezindir. Genellikle albit ikizi göstermelerine rağmen bazılarında da halkalı zonlu bir doku gözlenmektedir (Şekil 3a). Ayrıca bazı plajiyoklazlarda elek dokusuna rastlanılmaktadır (Şekil 3b). Plajiyoklazlar kırıklı

ve çatlaklı olup ayrışmaya uğramışlardır. Ayrışma sonucunda yer yer kil, kalsit ve serizitleşmeler meydana gelmiştir.

Biyotitler genellikle yarı öz şekilli, iri ve ufak taneli yapraklı kristallerden oluşmaktadır. Açık-koyu kahverengi, sarı ve kırmızı pleokroizma renkleri göstermektedir. Dilinim, kırık ve çatlaklar boyunca ayrışmalar gözlenmekte olup, kloritleşme ile beraber yer yer de opaklaşma ile temsil edilmektedir. Plajiyoklas ve opak mineral kapanımları da içerir (Şekil 3c).

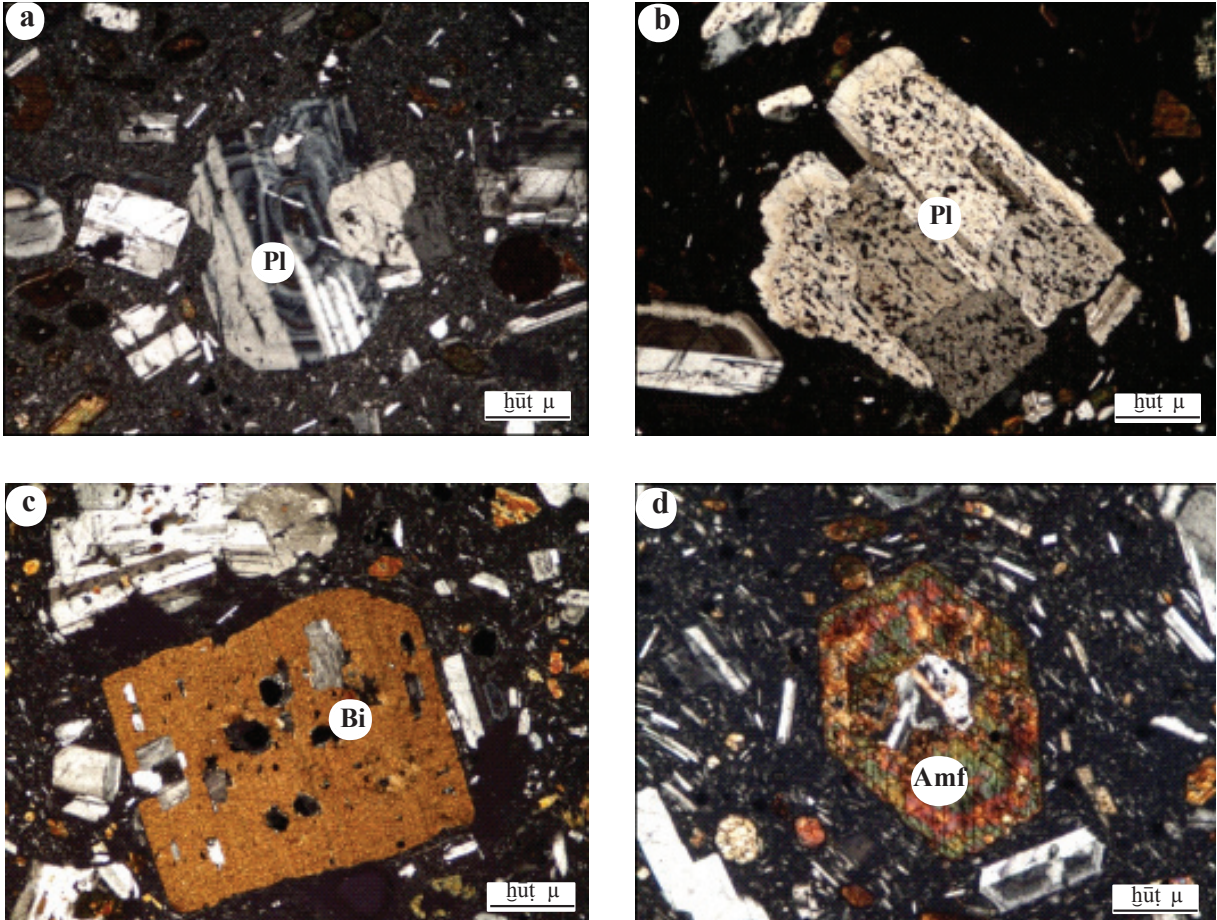
Amfibol iri ve küçük taneli, öz şekilli ve yarı öz şekilli, mükemmel dilinimli, yeşil, açık yeşil pleokroizma renkleri göstermektedir. Yer yer h'(100) ikizi sunan amfiboller hamur içerisinde homojen bir şekilde dağılmışlardır. Çatlak ve kırıklarında kloritleşme şeklinde ayrışmalar gözlenmektedir. Öz şekilli amfiboller bazen

plajiyoklaz veya opak mineral kapanımları da içermektedir (Şekil 3d). Bununla birlikte amfibol ile biyotit minerallerinin zaman zaman birlikte büyüdüğü de tespit edilmiştir. Ferromagnezyen minerallerin dağılımı dikkate alındığında, inceleme alanının kuzeyinde amfibol oranı fazla iken güneye doğru gidildikçe biyotit oranının daha fazla olduğu görülmektedir.

Opak oksit mineralleri kayaçta %1-3 arasında bulunmaktadır. Düzensiz geometrik şekillerde olup özellikle ferromagnezyen

minerallerin bulunduğu alanlarda yoğunlaşmışlardır.

Apatit ve zirkon tali mineral olarak bulunur. Apatit iğnecikler halinde plajiyoklazlarla beraber bulunurken zirkon çok küçük boyutlu olup çok az orandadır. Ayrışma mineralleri olarak da serisit, kalsit, klorit ve kil gözlenmektedir. Hamur plajiyoklaz mikrolitleri ile çok küçük ferromagnezyen mineralleri ve camsı maddeden ibarettir.



Şekil 3. a) Halkalı zonlu plajiyoklaz kristali, b) Elek dokusu sunan plajiyoklaz, c) Biyotit mineralinde plajiyoklaz ve opak mineral kapanımları, d) Öz şekilli amfibol minerali ile merkezinde bulunan plajiyoklaz minerali. Pl: Plajiyoklaz, Bi: Biyotit, Amf: Amfibol.

Figure 3. a) Oscillatory zoning in plagioclase phenocryst, b) Sieve texture in plagioclase phenocryst, c) Plagioclase and opaque minerals inclusion in biotite minerals, d) Euhedral amphibole mineral with inclusion plagioclase mineral. Pl: Plagioclase, Bi: Biotite, Amf: Amphibole.

JEOKİMYA

Çalışma alanındaki Şapçı volkanitlerine ait örneklerde ana, iz ve nadir toprak element analizleri yapılmıştır.

Şapçı volkanitlerine ait 10 adet örnekten yapılan ana ve iz element analiz sonuçları Çizelge 1’de, nadir toprak element analiz sonuçları ise Çizelge 2’ de verilmiştir (Erdem, 2015). Volkanitlerin SiO₂ değerleri % 60.09-66.51, Al₂O₃ değerleri % 14.64-16.38, MgO değerleri % 0.79-2.80, Fe₂O₃ değerleri % 3.36-5.69, CaO değerleri % 3.13-5.47 ve K₂O değerleri % 2.75-4.00 arasında olup değişkenlik alanları oldukça düşüktür. K₂O/ Na₂O oranı ise 0.81-1.12 arasında değişmektedir.

Volkanik kayaç örnekleri toplam alkali-silis diyagramında (Le Maitre ve diğ., 2002), andezit, trakiandezit, trakidasit ve dasit alanlarına düşmektedir (Şekil 4). Örnekler petrografik inceleme sonucunda andezit olarak adlandırılmasına rağmen, jeokimyasal olarak dasit ve trakidasit alanlarında gözlenmesi ortamdaki toplam silis artışından (silisleşme)

kaynaklanmaktadır. SiO₂’ye karşı Zr/TiO₂ adlandırma diyagramında (Winchester ve Floyd, 1977) örnekler andezit ve dasit alanında yer almaktadır (Şekil 5a). Zr/Ti’ye karşı Nb/Y diyagramında (Winchester ve Floyd, 1977) ise örnekler çoğunlukla trakiandezit ve andezit alanında bulunmaktadır (Şekil 5b).

AFM üçgen diyagramındaki (Irvine ve Baragar, 1971) yönsemeye göre volkanitlerin tümü kalkalkali alana düşmüştür (Şekil 6a). K₂O-SiO₂ diyagramında (Le Maitre ve diğ., 2002) ise örneklerin büyük bir kısmı orta-K kalk-alkalen seri alanına düşerken iki örnek ise düşük-K toleyitik seri alanında gözlemlenmiştir (Şekil 6b).

Şapçı volkanik kayaçlarında ana oksitlerin artan SiO₂’ye göre değişimleri incelendiğinde dağılımların düzenli veya düzensiz olduğu görülmektedir. Na₂O, CaO, MgO, Fe₂O₃, Al₂O₃, P₂O₅, TiO₂, Sr, Rb, Y ve Nb’de hafif negatif yönseme mevcutken, K₂O’da hafif bir pozitif eğilim gözlenmektedir. Ba, Sr, Th, La ve Zr gibi elementlerde ise düzensiz dağılım sunmaktadır (Şekil 7a ve 7b).

Çizelge 1. Şapçı volkanitlerine ait ana oksit (% ağırlık) ve iz element (ppm) analiz değerleri.

Table 1. Whole-rock major oxides (wt%), trace element (ppm) analyses of the Şapçı volcanic rocks

Örnek No	18	35	41	43	46	48	54	59	61	72
SiO ₂	65.31	65.88	66.15	60.72	65.18	66.51	60.09	62.53	66.45	60.64
Al ₂ O ₃	15.96	15.61	15.77	16.15	16.01	14.91	16.01	16.38	14.64	16.38
Fe ₂ O ₃ *	4.25	4.29	3.52	5.18	3.69	3.36	5.63	5.08	4.84	5.69
MgO	1.76	0.85	0.99	2.37	1.17	1.4	2.8	1.91	0.79	2.21
CaO	4.68	3.13	4.05	5.06	4.49	4.34	5.47	4.56	4.05	5.19
Na ₂ O	3.11	3.57	3.35	3.14	3.49	3.1	3.48	3.45	3.01	3.01
K ₂ O	2.85	4.00	3.01	3.15	3.01	2.75	2.82	3.06	2.75	2.83
TiO ₂	0.49	0.47	0.54	0.6	0.59	0.53	0.65	0.52	0.52	0.60
P ₂ O ₅	0.21	0.2	0.22	0.26	0.26	0.22	0.33	0.19	0.21	0.20
MnO	0.07	0.07	0.03	0.09	0.05	0.05	0.11	0.10	0.06	0.16
LOI	1.00	1.70	2.10	2.90	1.80	2.60	2.00	2.00	2.40	2.8
TPLM	99.72	99.72	99.72	99.66	99.71	99.72	99.68	99.73	99.73	99.72
Ba	1310	1300	1292	1491	1273	1266	1245	1153	1313	1179
Co	8.3	10.4	7.9	12.5	10.7	8.4	11.6	9.1	8.6	12.5
Cs	3.7	5.9	5.4	5.4	2.4	3.9	5	5.9	4.2	5
Ga	15.5	14.8	16.8	17.3	16.4	16.1	16.9	16.1	13.7	15.9

Hf	3.4	5.1	4.6	4.7	4.6	4.4	4.6	4.6	4.5	3.9
Nb	11.5	15.4	13.3	15.6	14.3	13.6	16.1	13.3	12.9	12.4
Rb	104.1	144.9	105.1	113.1	95.4	81.9	100.7	111.8	94.1	93.4
Sr	501.3	556	529	590.6	557.1	541.2	609.2	493.8	529	499
Ta	0.8	1.3	1	1	1	0.9	1	1	0.8	0.9
Th	19.3	32.3	18.8	19.8	19.4	18.1	19.2	20.3	17.1	17.2
U	3.9	7.9	6.5	5.8	5.4	5.7	5.9	6	3.9	4.8
V	87	71	117	97	93	88	104	86	62	106
Zr	121.9	173.8	152.4	175.7	166.3	153	170.9	151.7	147.8	148.5
Y	17.1	16	14.5	20.1	17.9	15.8	22.8	19.7	18.3	21
Mo	0.5	0.7	0.9	0.2	1	0.3	0.1	0.5	0.3	0.2
Cu	11.7	20.7	9.4	11.5	10.4	9.4	9.5	7.3	8.1	7.2
Pb	11.5	13	6.4	5	6.8	4.7	4.6	6.6	4.4	6.1
Zn	30	40	47	36	68	27	13	30	30	32
Ni	3.9	11.8	4.8	8.1	6.2	4.6	5.6	2.6	9	3.1
As	2	1.2	27.3	2.6	5.7	7	1.4	1.2	4.7	0.7
Mg#	72.67	78.64	80.36	68.10	79.33	75.61	66.14	70.48	83.68	70.14
MgO+Fe ₂ O ₃	6.44	3.98	5.04	7.43	5.66	5.74	8.27	6.47	4.84	7.40
Fe ₂ O ₃ *= Fe ₂ O ₃ cinsinden toplam demir, LOI(loss on ignition)= ateşte kayıp, toplam uçucu içeriği										
Mg#=100xMg/(Mg+ Fe ⁺²), A/CNK= Mol Al ₂ O ₃ /(CaO+Na ₂ O+K ₂ O), (A/CNK indeksi: Shand, 1943).										

Çizelge 2. Şapçı volkanitlerine ait nadir toprak element (ppm) analiz değerleri.

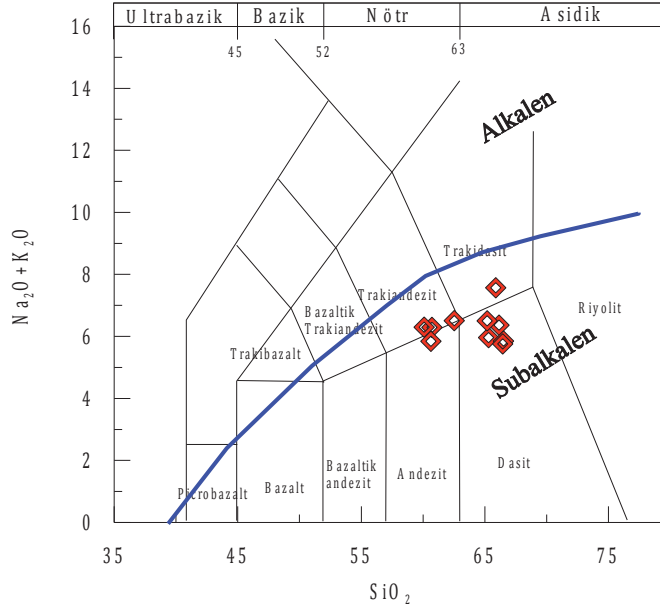
Table 2. Rare earth element (ppm) analyses of the Şapçı volcanic rocks.

Örnek No	18	35	41	43	46	48	54	59	61	72
La	37	48.9	14.7	41.9	44	37	43.7	37.7	36.1	35.6
Ce	68.2	83.5	75.5	79	81.7	68	80.7	71.2	66.4	67.3
Pr	7.01	8.92	7.7	8.39	8.54	7.21	8.69	7.44	7.14	7.04
Nd	26.1	32.4	28.1	32.2	31.2	25.7	31.6	27.7	27.1	27.6
Sm	4.13	4.96	4.35	5.29	4.93	4.23	5.25	4.57	4.4	4.62
Eu	1.09	1.17	1.1	1.27	1.22	1.07	1.3	1.14	1.07	1.16
Gd	3.18	3.38	3.1	3.92	3.74	3.24	4.24	3.5	3.39	3.68
Tb	0.35	0.55	0.48	0.64	0.6	0.53	0.69	0.6	0.56	0.61
Dy	2.9	2.8	2.57	3.41	3.45	2.81	3.57	3.2	3.27	3.29
Ho	0.57	0.52	0.49	0.66	0.59	0.51	0.71	0.64	0.59	0.65
Er	1.74	1.42	1.42	2.04	1.69	1.52	2.05	2.01	1.76	1.99
Tm	0.27	0.23	0.22	0.31	0.26	0.23	0.33	0.29	0.28	0.29
Yb	1.75	1.65	1.5	2.04	1.64	1.52	2.26	1.95	1.86	2.07
Lu	0.26	0.24	0.22	0.3	0.24	0.22	0.32	0.31	0.27	0.31
(La/Lu) _N	15.25	21.84	7.16	14.97	19.65	18.02	14.64	13.03	14.33	12.31
(La/Sm) _N	5.78	6.36	2.18	5.11	5.76	5.65	5.37	5.33	5.30	4.97
(Gd/Lu) _N	1.52	1.74	1.75	1.62	1.93	1.82	1.64	1.40	1.56	1.47
(Sm+Gd) _N	42.51	48.91	43.55	53.70	50.47	43.45	55.00	46.94	45.29	48.15
(Eu) _N	18.79	20.17	18.97	21.90	21.03	18.45	22.41	19.66	18.45	20.00
Eu*	21.25	24.45	21.78	26.85	25.23	21.73	27.50	23.47	22.65	24.07
Eu	0.88	0.82	0.87	0.82	0.83	0.85	0.82	0.84	0.81	0.74
Eu* = (Sm + Gd) _{N/2} , Eu=(Eu) _N /Eu*.										

TARTIŞMALAR

Bu çalışmada elde edilen petrografik ve jeokimyasal veriler değerlendirilmiş ve bunlardan

yararlanılarak volkanitlerin jeokimyasal özellikleri ile jeodinamik gelişimi ortaya konmaya çalışılarak aşağıda tartışılmıştır.



Şekil 4. Şapçı volkanitlerinin SiO_2 'e karşı $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ diyagramı (Le Maitre ve diğ., 2002).

Figure 4. SiO_2 vs. $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ diagram of the Şapçı volcanics (after Le Maitre et al., 2002).

Fraksiyonel Kristallenme

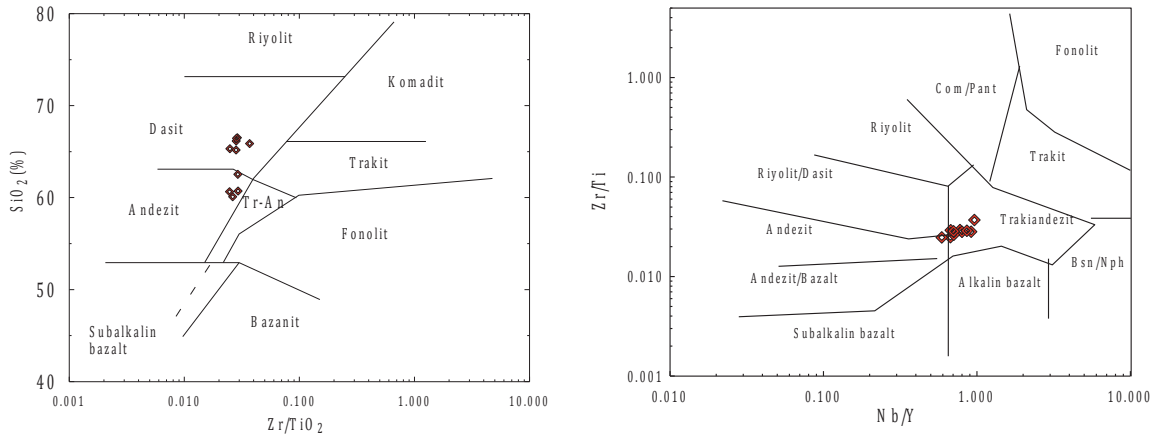
SiO_2 'ye karşı ana ve iz elementlerdeki negatif veya pozitif eğilim (Şekil 7a ve 7b) magma odasında ve çıkış yolunda gerçekleşen kristal fraksiyonlaşması gibi bir magmatik olayın varlığını işaret eder. SiO_2 'ye karşı Na_2O , Al_2O_3 , CaO diyagramındaki değişimler özellikle plajiyoklasların kristallenmesinde etkili olmuştur. MgO ve SiO_2 arasındaki ilişki mafik mineral fazının özellikle hornblendin ayrışmasına, SiO_2 'ye karşı Fe_2O_3 'ün değişim diyagramı ise Fe-Ti oksitlerin ve hornblendin kristalleşmesinde etkili olabileceklerine işaret etmektedir. Uyumsuz elementlerden Rb'un değişimi hornblend, Sr'un değişimi ise plajiyoklasın kristallenmesi ile ilişkili olabilir. Benzer şekilde Y, hornblendin kristalleşmesi ile ilişkilendirilebilir. Bu bakımdan volkanitlerin gelişiminde plajiyoklas ve hornblend

ayrışmasının etkili olduğu belirtilebilir (Gill, 1981; Thirlwall ve diğ., 1994). Aynı şekilde P_2O_5 ve TiO_2 'nin SiO_2 'ye karşı azalması sırasıyla, apatit ve titanomanyetit kristallenmesi ile ilişkilidir (Şekil 7b).

Kalk-alkalen kayaç gruplarında CaO 'e karşı Y diyagramında standart kalk-alkalen yönsemesine göre Y içeriğindeki tüketilme ve zenginleştirmeyi esas alarak, L ve J tipi yönsemeler tanımlanmıştır (Lambert ve Holland, 1974). Bu yönsemelerden L tipi olanlar klinopiroksen ve plajiyoklas denetimli ayrışma ya da kaynak kayada tutulmasına, J tipi olanlarda hornblend (\pm granat) ve apatit kontrollü ayrışma ya da kaynak kayada tutulmasına işaret etmektedir. Çalışma alanındaki Şapçı volkanitleri standart kalk-alkalen yönsemesine göre Y'ce tüketilmiş olup J tipi bir yönseme sunmaktadır (Şekil 8a).

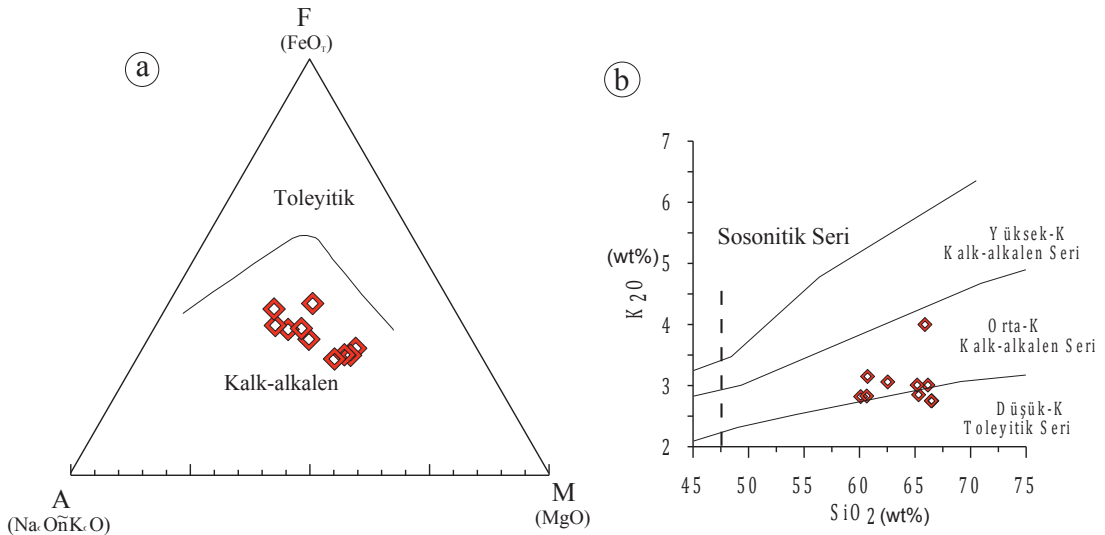
Bu yönseme volkanitlerin gelişiminde hornblend denetimli bir ayırılma varlığını ortaya koymaktadır. Al_2O_3 - CaO/Na_2O diyagramında Şapçı volkanitleri genellikle klinopiroksen ve plajiyoklas kristallenmesini gösteren alanda bulunmaktadır. (Şekil 8b). Aynı şekilde Zr-

SiO_2 ve Zr-La diyagramlarına Şapçı volkanitleri düşürüldüğünde eğimli bir yönseme gösterdikleri ve bunun da magmanın kristallenmesinin mineral ayırılması yoluyla meydana geldiğini ifade etmektedir (Şekil 8c ve 8d).



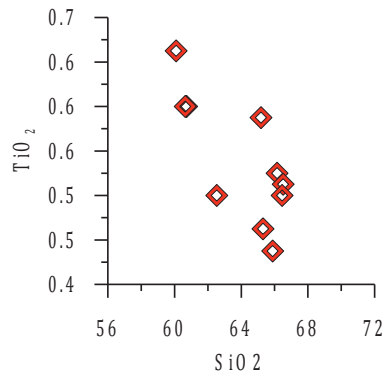
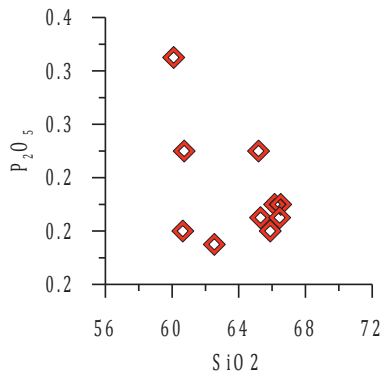
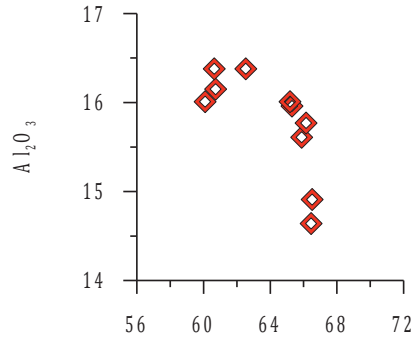
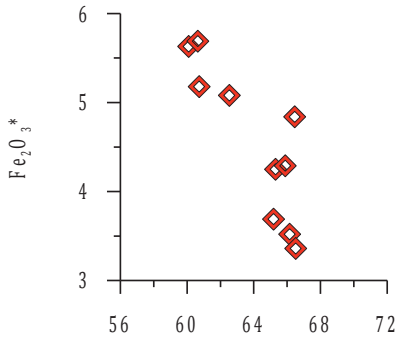
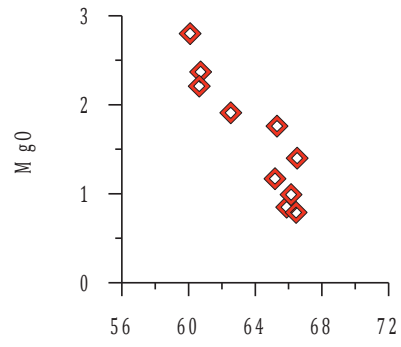
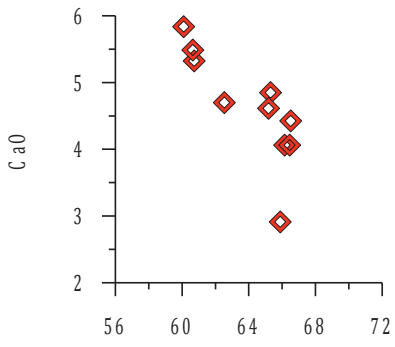
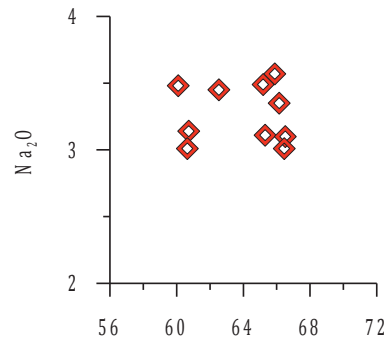
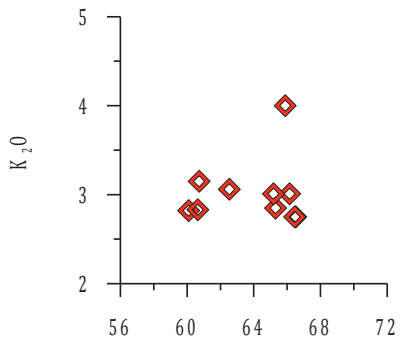
Şekil 5. a) Şapçı volkanitlerinin SiO_2 'e karşı Zr/TiO₂ adlandırma diyagramı (Winchester ve Floyd, 1977), b) Şapçı volkanitlerinin Zr/Ti'e karşı Nb/Y adlandırma diyagramı (Winchester ve Floyd, 1977).

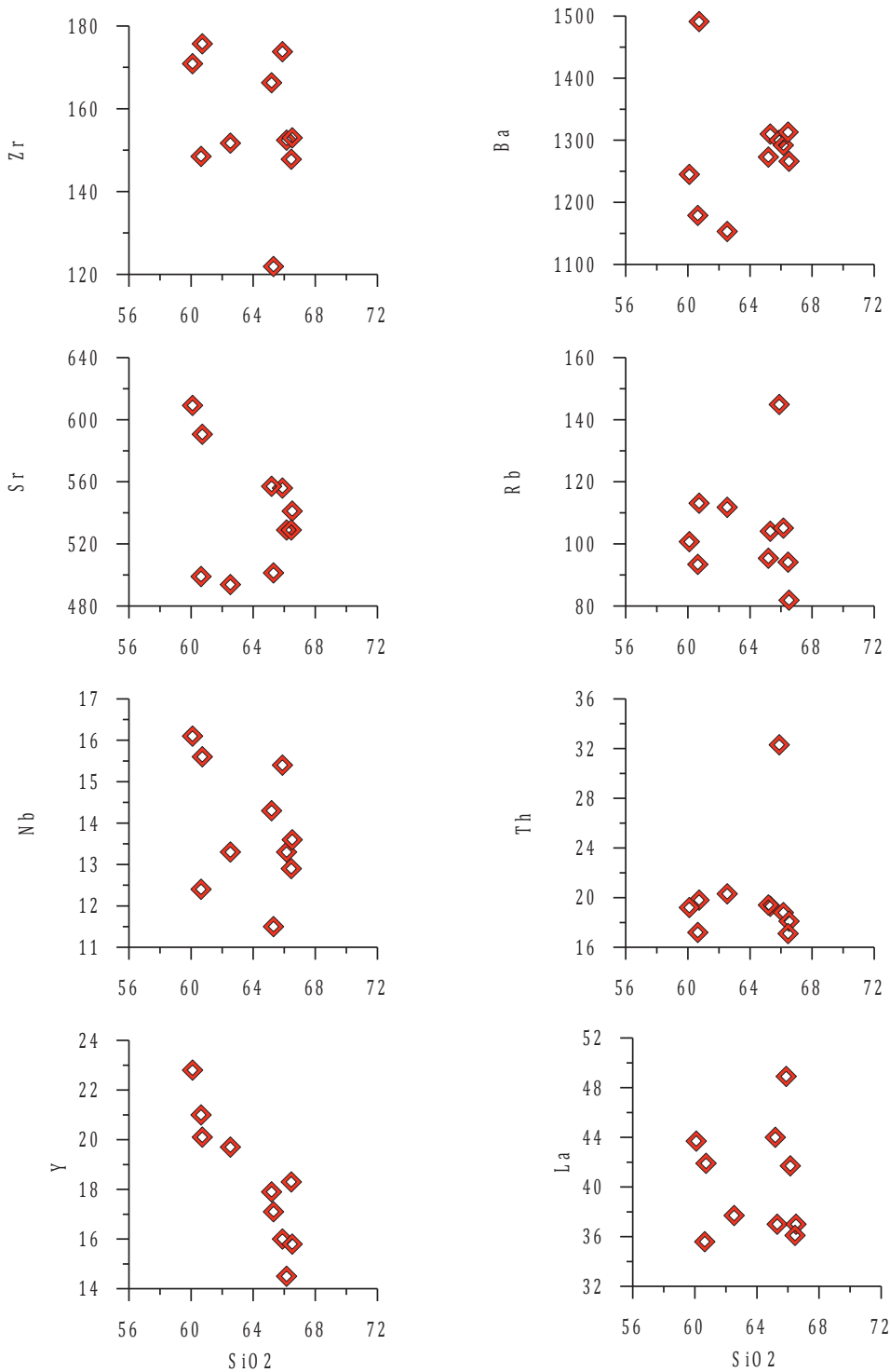
Figure 5. a) SiO_2 vs. Zr/TiO₂ diagram (after Winchester and Floyd, 1977), b) Zr/Ti vs. Nb/Y diagram of the Şapçı volcanics (after Winchester and Floyd, 1977).



Şekil 6. a) Şapçı volkanitlerinin AFM diyagramı (Irvine ve Baragar, 1971), b) Şapçı volkanitlerinin SiO_2 'e karşılık K_2O diyagramı (Le Maitre ve diğ., 2002).

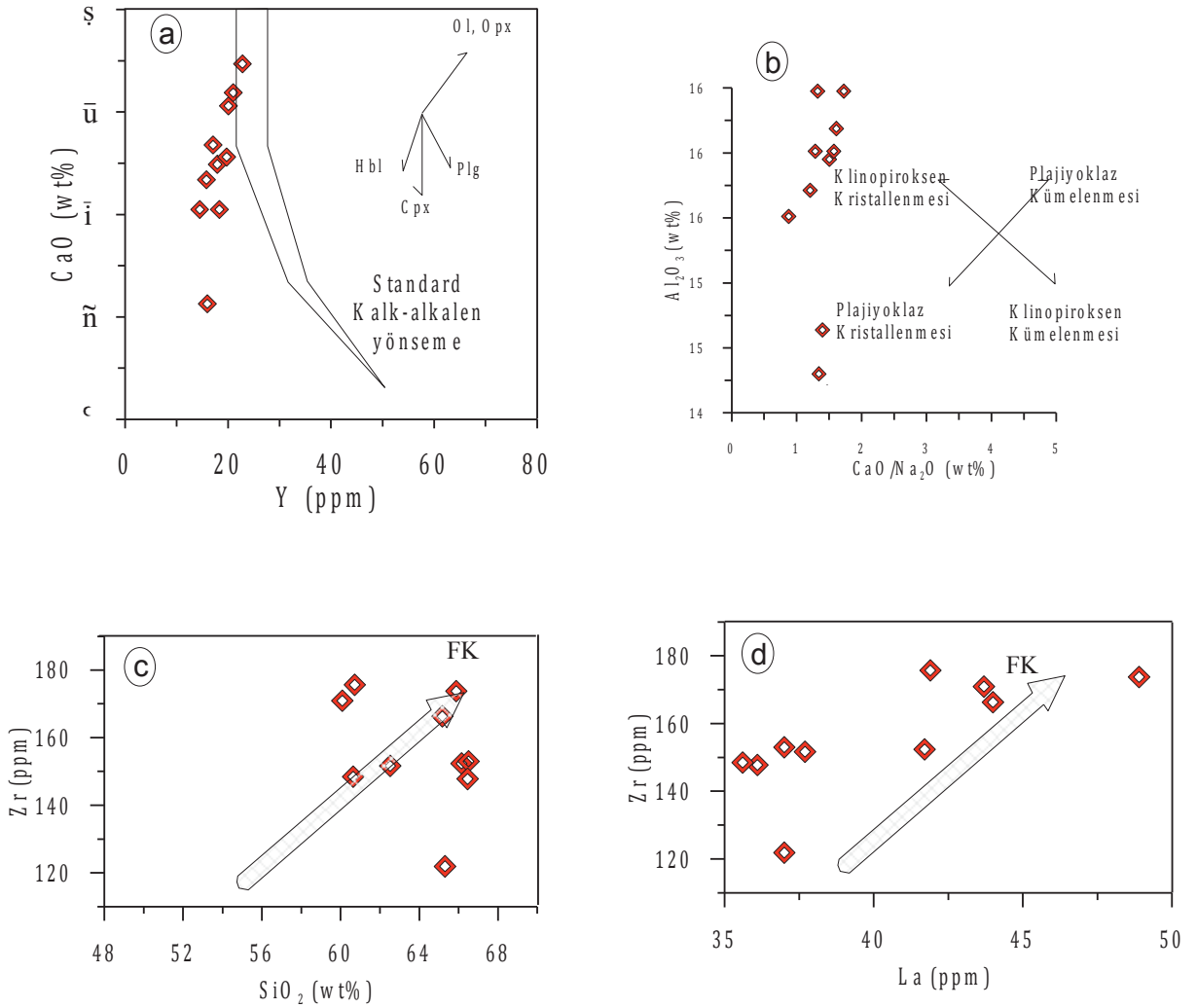
Figure 6. a) AFM triangular diagram (after Irvine and Baragar, 1971), b) SiO_2 vs. K_2O diagram of the Şapçı volcanics (after Le Maitre et al., 2002).





Şekil 7. a) Şapçı volkanitlerinin SiO₂'ye (% ağırlık) karşılık ana element oksit (% ağırlık) değişim diyagramları, b) Şapçı volkanitlerinin SiO₂'ye (% ağırlık) karşılık iz element (ppm) değişim diyagramları.

Figure 7. a) SiO₂ (wt%) vs. major oxide (wt%) variation plots, b) SiO₂ (wt%) vs. trace element (ppm) variation plots of the Şapçı volcanics.



Şekil 8. Şapçı volkanitlerinin değişim diyagramları, a) CaO'ye (% ağırlık) karşı Y (ppm) diyagramı (Lambert ve Holland, 1974), b) Al₂O₃'e (% ağırlık) karşılık CaO/Na₂O (% ağırlık) diyagramı, c) SiO₂'e (% ağırlık) karşı Zr (ppm) diyagramı, d) La'ya (ppm) karşı Zr (ppm) diyagramı. FK: Fraksiyonel Kristallenme yönü.

Figure 8. Variation diagrams of the Şapçı volcanics, a) CaO (wt%) vs. Y (ppm) diagram (after Lambert and Holland, 1974), b) Al₂O₃ (wt%) vs. CaO/Na₂O (wt%) diagram, c) SiO₂ (wt%) vs. Zr (ppm) diagram, d) La (ppm) vs. Zr (ppm) diagram. FK: Fractional Crystallization direction.

Köken ve Tektonik Ortam

N-MORB'a (Sun ve McDonough, 1989) göre normalize edilmiş iz element dağılım diyagramında (Şekil 9a) örneklerin büyük iyon yarıçaplı litofil elementlerce (LILE; Rb, Ba, Th gibi) zenginleşmiş, yüksek çekim alanlı elementlerce (HFSE) fakirleşmiş oldukları

görülmektedir. Örneklerin LILE ve düşük nadir toprak elementlerce (LREE) zenginleşmesi ve negatif Nb, Ta anomalileri sunması dalma-batma ortamını ve/veya kabuk kirlenmesini işaret etmektedir (Pearce 1983; Pearce ve Peate 1995; Baier ve diğ., 2008). Dağılımlarda belirgin Nb anomalisi bulunmaktadır. Bu anomalide apatit, Fe-Ti

oksit gibi minerallerin ayrılaşmasını işaret eder. Özellikle Th gibi elementlerdeki zenginleşme kabuk etkisini yansıtmaktadır.

Örneklerin Kondrit'e göre (Sun ve McDonough, 1989) normalleştirilmiş nadir toprak element dağılımlarında genel olarak örneklerin eğilimleri birbirine paralel ve hafif nadir toprak elementlerce zenginleşmiş, ağır nadir toprak elementlerce de daha az zenginleşmiştir. Örneklerde $(La/Lu)_N$ değerleri 7,16-21,84, $(La/Sm)_N$ değerleri 2,18-6,36 ve $(Gd/Lu)_N$ değerleri 1,40-1,93 arasında değişmektedir (Tablo 5.2). Şapçı volkanitlerindeki $(La/Lu)_N=7,16-21,84$ değerleri ile orta derecede zenginleşmiş, kaşık şekilli bir dağılım sunmaktadır. Kondrit'e göre hafif nadir toprak elementler yaklaşık 10 kat zenginleşmiştir. Örneklerde gözlenen konkav biçimli nadir toprak element dağılımları hornblend ve plajiyoklas mineral ayrılaşmasına işaret etmektedir (Thompson ve diğ., 1984; Thirlwall ve diğ., 1994). Ba/La oranları 26,58-36,37 arasındadır ve tipik ada yayı bazaltlarına yakınlık göstermektedir. Eu çok hafif bir anomali göstermekte olup $(Eu)_N$: 0,74-0,88) bu durum plajiyoklas ve K-feldspat ayrılaşmasına işaret etmektedir. La/Nb, Ba/Nb, Ba/La, Nb/Th ve Sm/Nd oranları ada yayı kalk-alkalen bazaltlara benzerlik gösterirler (Thompson ve diğ., 1984; White ve Patchett, 1984; Sun ve McDonough, 1989; Bradshaw ve Smith, 1994; Smith ve diğ., 1999; Elburg ve diğ., 2002). Nadir toprak elementlerdeki LFSE elementlerinin HFSE elementlerine göre zenginleşme göstermesi ve $(La/Lu)_N$ değerlerinin 7,16-21,84 arasında olması tipik kalk-alkalen volkanizmaya işaret etmektedir. Böyle bir gelişim genel olarak granat içermeyen litosferik bir kaynağa veya amfibol ve piroksenin tamamen erginmediği mantodaki kısmi ergimeye (Wilson, 1989; Wood ve Joron, 1979) işaret edebilir (Şekil 9b).

Şapçı volkanitleri tektonik ortam açısından FeO-MgO-Al₂O₃ üçgen diyagramında (Pearce ve diğ., 1977) incelendiğinde örneklerin tümü ada yayı alanında olduğu görülmektedir

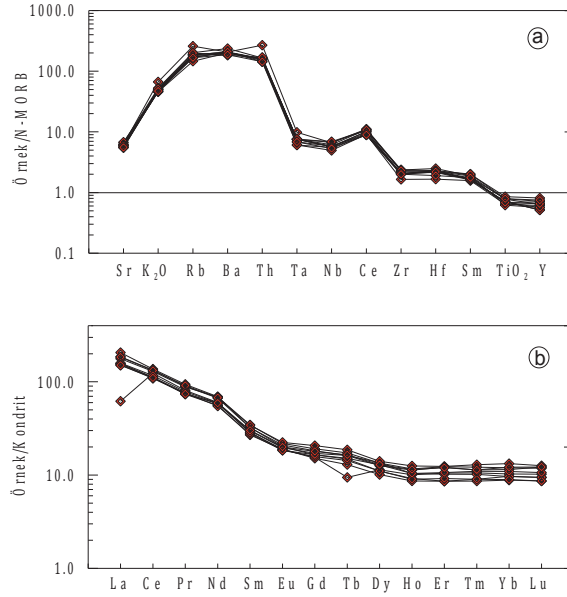
(Şekil 10a). Aynı şekilde Hf/3-Th-Ta elementlerine göre oluşturulan üçgen diyagramda (Wood, 1980) örnekler volkanik yay bazaltları karakterini taşımaktadır (Şekil 10b). Ti-Zr diyagramında (Pearce, 1982) ise Şapçı volkanitlerinin tümü volkanik yay alanı içinde gözlenmektedir (Şekil 11a). Th/Yb-Ta/Yb tektonik ayırtman diyagramında (Pearce ve diğ., (1990) volkanik kayalar aktif kıta kenarı ve zenginleşmiş manto kaynağını gösterir alanda bulunmaktadır (Şekil 11b). Ba/Nb-La/Nb diyagramında (Jahn ve diğ., 1999) örneklerin tümü volkanik yay alanına düşmektedir (Şekil 12). Aynı şekilde Nb/La-La/Yb diyagramında (Jahn ve diğ., 1999) ise örneklerimizin litosferik manto kökenli olduğu belirlenmiştir (Şekil 13).

Tersiyer'de gelişen magmatizmanın gelişim mekanizmasına yönelik değişik görüşler bulunmaktadır. Ercan ve Günay (1984) bölgedeki Tersiyer volkanizmasının dalma-batma ile geliştiğini ileri sürmektedir. Ercan (1979), Ercan ve Günay (1984) ve Ercan ve diğ., (1995) Batı Anadolu'daki magmatizma dalma-batma ile başlamış ve bunun ardından gelişen kıtasal çarpışma döneminde de devam etmiştir. Yılmaz (1989) ise tüm Batı Anadolu ölçeğinde volkanikler üzerinde yaptığı çalışmalarla genç volkanizmanın Geç Miyosen başına kadar devam eden, A tipi dalma-batma ile uyumlu güçlü bir tektonik etki ile geliştiğini öne sürmüştür. Biga Yarımadası'nda Oligosen-Orta Miyosen döneminde yaygın olarak gelişen magmatizmanın Sakarya Kıtası ile Torid-Anatolid kıtası arasında meydana gelen çarpışma sonrasında oluştuğunu belirtilmişlerdir. Altunkaynak ve Genç (2008) Biga Yarımadası'nda Tersiyer magmatizması Orta Eosen'de başlamış ve Geç Miyosen'e kadar devam ettiğini ve bu sürecin beş aşamada tamamlandığını ifade etmişlerdir. Dalma-batma ile gelişen ve litosferik mantodan türeyen magmatizma kalk-alkalen karakterinden alkalin karaktere doğru bir eğilim sunmuştur. Neo-Tetis okyanusunun Sakarya kıtasının altına dalmasıyla Biga Yarımadası'nda çok geniş

yayımla magmatik faaliyetler gelişmiştir (Yılmaz, 1989; 1990; Güleç, 1991; Şengör ve diğ., 1993; Harris ve diğ., 1994; Seyitoğlu ve Scott, 1996).

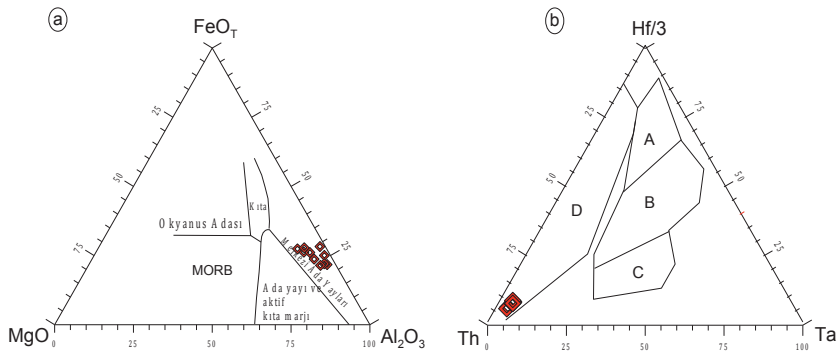
Neo-Tetis Okyanus kabuğunun Sakarya Kıtası'nın altına dalmasıyla başlayan süreç

ardından Neo-Tetis Okyanusunun kapanması ile birlikte Sakarya ve Torid-Anatolid kıtalarının çarpışması ile devam etmiştir. Jeokimyasal verilere göre, bu evrede tipik kalk-alkalen volkanik yay bazaltları karakterli ve litosferik mantodan türeyen Şapçı volkanitleri oluşmuştur.



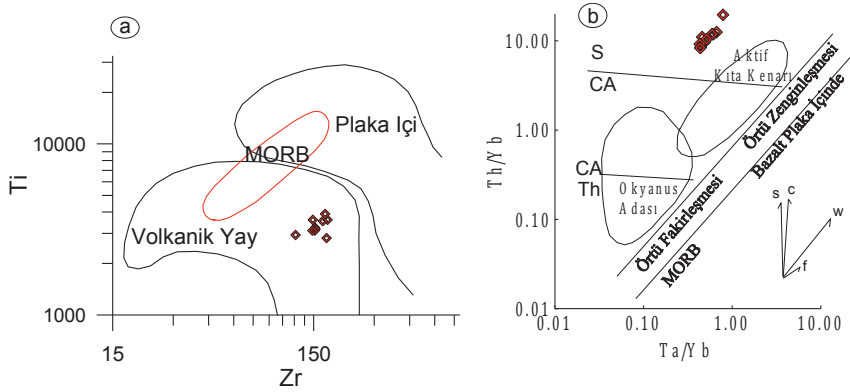
Şekil 9. a) Şapçı volkanitlerinin N-tipi MORB'a (Sun ve McDonough, 1989) göre normalize edilmiş iz element dağılım diyagramları, b) Şapçı volkanitlerinin Kondritte göre (Sun ve McDonough, 1989) normalize edilmiş nadir toprak elementleri dağılım diyagramları.

Figure 9. a) N-MORB (after Sun and McDonough, 1989) normalized trace element diagram, b) Chondrite (after Sun and McDonough, 1989) normalized rare earth element patterns of the Şapçı volcanics.



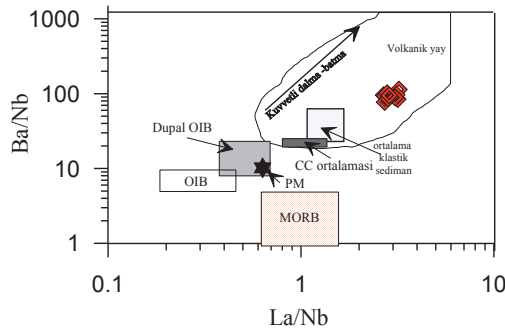
Şekil 10. a) Şapçı volkanitlerinin FeO-MgO-Al₂O₃ üçgen diyagramında gösterimi (Pearce ve diğ., 1977), b) Şapçı volkanitlerinin Hf/3-Th-Ta üçgen diyagramında gösterimi (Wood, 1980), A: N tipi MORB, B: E tipi MORB, C: Plaka içi alkalin bazaltları, D: Volkanik yay bazaltları.

Figure 10. a) FeO-MgO-Al₂O₃ triangular diagram (after Pearce et al., 1977) of the Şapçı volcanics, b) Hf/3-Th-Ta triangular diagram (after Wood, 1980) of the Şapçı volcanics.



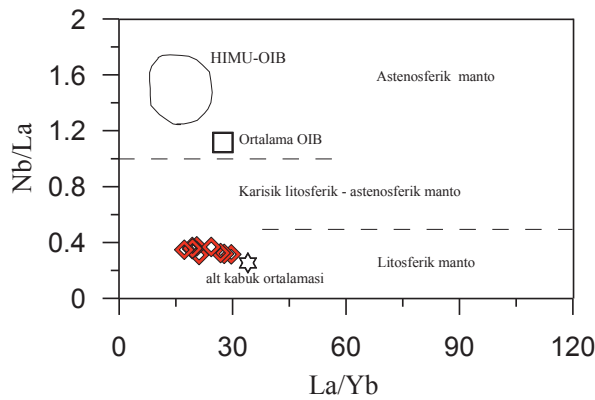
Şekil 11. a) Şapçı volkanitlerinin Ti-Zr tektonik diyagramı (Pearce, 1982), b) Şapçı volkanitlerine ait Th/Yb-Ta/Yb tektonik ayırtman diyagramı (Pearce ve diğ., 1990).

Figure 11. a) Ti-Zr tectonic diagram (after Pearce, 1982) of the Şapçı volcanics, b) Th/Yb vs. Ta/Yb tectonic discrimination diagram (after Pearce et al., 1990) of the Şapçı volcanics.



Şekil 12. Şapçı volkanitlerine ait Ba/Nb-La/Nb 'a göre diyagramı (Jahn ve diğ., 1999). Üst Kabuk Bileşimi Taylor ve McLennan, 1985.

Figure 12. Ba/Nb vs. La/Nb diagram (Jahn et al., 1999) of the Şapçı volcanics. Upper crust composition Taylor and McLennan, 1985.



Şekil 13. Şapçı volkanitlerine ait Nb/La-La/Yb diyagramı (Jahn ve diğ., 1999).

Figure 13. Nb/La vs. La/Yb diagram (after Jahn et al., 1999) of the Şapçı volcanics

SONUÇLAR

Bu çalışmada Balıkesir'in 10 km kuzeyinde yüzeyleme veren Şapçı volkanitlerinin ayrıntılı petrografisi ortaya konulmuş ve söz konusu kayaların jeokimyasal özellikleri, kristallenmeleri, kökeni ve oluştukları tektonik ortam açıklanmaya çalışılmıştır. Elde edilen verilere göre;

- 1) Volkanik kayalar andezit ve piroklastları şeklinde olup silis içerikleri son derece yüksektir.
- 2) Volkanitler orta-K kalk-alkalen seri özelliğindedir. N-MORB'a göre normalize iz element değişim diyagramında büyük iyon yarıçaplı litofil elementlerce (LILE) zenginleşmiş, HFSE'ce fakirleşmiş oldukları görülmektedir ki bu da dalma-batma ile ilişkilidir.
- 3) Ana, iz ve nadir toprak element diyagramları dikkate alındığında Şapçı volkanitlerinin mineral ayrışma yolu ile oluştuğu ve bu oluşumda hornblend, ve plajiyoklasın rol oynadığı belirlenmiştir.
- 4) Şapçı volkanitleri kalk-alkalen karakterli olup volkanik yay özelliği sunmaktadır.
- 5) Şapçı volkanitleri çarpışma sonrası oluşmuş olup, ana magma kaynağı zenginleşmiş mantodur.

KATKI BELİRLEME

Bu çalışma Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler Birimi (Proje No:2010/12) tarafından desteklenmiştir. Yapıcı eleştirilerinden dolayı hakem Hüseyin YALÇIN'a çok teşekkür ederim. Bu çalışma Dilber ERDEM'in Yüksek Lisans Tez çalışmasını oluşturmaktadır.

EXTENDED SUMMARY

Tertiary volcanic rocks are widespread in the Biga Peninsula of western Anatolian region (NW Turkey), and related to a collision tectonics in

origin. One of them, the Şapçı volcanics crop out in the northwest of Balıkesir. In this study, petrographical and petrochemical features of Oligocene-Miocene aged Şapçı volcanics are investigated. The geology of the Biga Peninsula is so complex that there are various metamorphic, sedimentary, and magmatic rocks from Palaeozoic to Pliocene. The oldest unit in the study area is Late Cretaceous aged Bornova Flysch. Late Cretaceous aged Yayla Melange overlies tectonically this unit. These units are cut by Hallaçlar volcanics. Hallaçlar volcanics is also cut by Early Miocene aged Şapçı volcanics.

Petrographically, the Şapçı volcanics consists of tuffs and andesitic-trachyandesitic lava flows with microlitic, hyalomicroclitic, microlitic porphyritic, fluidal and sieve textures. The rocks contain plagioclase (An₃₀₋₄₉), hornblende, biotite, Fe-Ti oxide, and accessory minerals apatite and zircon. Plagioclase phenocrystals are euhedral and subhedral, and show oscillatory zoning and/or rare sieve texture. Generally, hornblende is more abundant than biotite in the samples from north of the study area.

The SHRIMP U-Pb zircon dating from the andesitic sample yielded ages between 22.72 ± 0.19 and 22.97 ± 0.23 Ma, which are regarded as the crystallization age. Petrochemically, the Şapçı volcanic samples have a composition of 60.09-66.45 % SiO₂, 0.47-0.60 % TiO₂, 14.64-16.38 % Al₂O₃ and 2.75-4.00 % K₂O. The volcanics show medium-K, calc-alkaline characteristics. Besides, the trace element compositions are similar to those of subduction-related volcanics. The studied volcanics exhibit enrichment in large ion lithophile elements (LILEs) contents and depletion in high field strength elements (HFSEs) contents compared to N-type Mid-Ocean Ridge Basalt (N-MORB), and have a high ratio of La/Yb, Zr/Nb. Chondrite normalized rare earth element (REE) patterns are concave upwards with (La/Lu)_N = 7.16-21.84, (La/Sm)_N = 2.18- 6.36, (Gd/Lu)_N = 1.40-1.93 and Eu < 1 (0.74-0.88). These

values and trends in Harker variation plots suggest that the studied volcanics were evolved by amphibole- and plagioclase-dominated fractional crystallization. Furthermore, some trace element ratios may indicate a subduction component and/or crustal contamination in the petrogenesis of the Şapçı volcanics. Therefore, it can be suggested that the Şapçı volcanics were evolved from parental magma(s) of enriched mantle source in post-collisional setting.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Akay, E., 2009. Geology and petrology of the Simav Magmatic Complex (NW Anatolia) and its comparison with the Oligo–Miocene granitoids in NW Anatolia: implications on Tertiary tectonic evolution of the region. *International Journal of Earth Sciences, (GeolRundsch)* 98, 1655–1675.
- Aldanmaz, E., Pearce, J.A., Thirlwall, M.F. ve Mitchell, J.G., 2000. Petrogenetic Evolution of late Cenozoic, Post-collision Volcanism in Western Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 102, 67-95.
- Altunkaynak, Ş., 2007. Collision-driven slab breakoff magmatism in northwestern Anatolia, Turkey. *Journal of Geology*, 115, 63–82.
- Altunkaynak, Ş. ve Yılmaz, Y., 1998. The mount Kozak magmatic complex, Western Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 85, 211–231.
- Altunkaynak, Ş. ve Yılmaz, Y., 1999. The Kozak Pluton and its emplacement. *Geological Journal* 34, 257–274.
- Altunkaynak, Ş. ve Dilek, Y., 2006. Timing and nature of postcollisional volcanism in western Anatolia and geodynamic implications. Dilek, Y., Pavlides, S. (Ed.), *Post collisional tectonics and magmatism in the Mediterranean region and Asia. Geological Society of America Special Paper*, 409, 321–351.
- Altunkaynak, Ş. ve Genç, Ş.C., 2008. Petrogenesis and time-progressive evolution of the Cenozoic continental volcanism in the Biga Peninsula, NW Anatolia (Turkey). *Lithos*, 102, 316-340.
- Baier, J., Audetat, A. ve Kepler, H., 2008. The origin of the negative niobium tantalum anomaly in subduction zone magmas. *Earth and Planetary Science Letters*, 267, 290–300.
- Bingöl, E., 1976. Biga yarımadasının jeolojisi ve Karakaya formasyonunun bazı özellikleri. Cumhuriyetin 50. yılı Yerbilimleri kongresi, Tebliğler kitabı, Maden Tetkik ve Arama, Ankara 70–75.
- Bingöl, E., Delaloye, M. ve Ataman, G., 1982. Granitic intrusions in Western Anatolia: A contribution of the geodynamic study of this area. *Eclogae Geologicae Helvetica* 75, 437–446.
- Bradshaw, T.K. ve Smith, E.I. 1994. Polygenetic Quaternary volcanism at Crater Flat, Nevada. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 63, 165–182.
- Delaloye, M. ve Bingöl, E., 2000. Granitoids from western and North-western Anatolia: geochemistry and modeling of geodynamic evolution. *International Geology Review*, 42:241–268.
- Dönmez, M., Akçay, A. E., Genç, Ş. C. ve Acar, Ş., 2005. Biga Yarımadasında Orta-Üst Eosen volkanizması ve denizel ignimbiritler. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 131,49-61.
- Duru, M., Pehlivan, Ş., Şentürk, Y., Yavaş F. ve Kar, H., 2004. New Results on the lithostratigraphy of the Kazdağ Massif in Northwest Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 13, 177-186.
- Elburg, M.A., Bergen, M.V., Hoogewerff, J., Foden, J., Vroon, P., Zulkarnain, I. ve Nasution, A. 2002. Geochemical trends across an arc-continent collision zone: magma sources and slab-wedge transfer processes below the Pantar Strait volcanoes, Indonesia. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 66, 2771–2789.
- Ercan, T., 1979. Batı Anadolu, Trakya ve Ege adalarındaki Senozoyik volkanizması. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi* 9, 23-46.

- Ercan, T. ve Günay, E., 1984. Kuzeybatı Anadolu, Trakya ve Ege adalarındaki Oligo-Miyosen yaşlı volkanizmanın gözden geçirilişi. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, 5, 119-139.
- Ercan, T., Satır, M., Steinitz, G., Dora, A., Sarıfakıoğlu, E., Adis, C., Walter, H.J. ve Yıldırım, T., 1995. Biga Yarımadası ile Gökçeada Bozcaada ve Tavşan adalarındaki (KB Anadolu) Tersiyer Volkanizmasının özellikleri. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 117, 55-86.
- Erdem, D., 2015. Şapçı (İbirler-Balıkesir) Volkaniti'nin Petrografisi, Jeokimyası ve Petrolojisi. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü., Balıkesir, Yüksek Lisans Tezi, 63s (yayınlanmamış).
- Genç, Ş.C., 1998. Evolution of the Bayramiç magmatic complex, northwestern Anatolia. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 85, 233-249.
- Genç, Ş.C. ve Yılmaz, Y., 1997. An example of post-collisional magmatism in northwestern Anatolia: the Kizderbent Volcanics (Armutlu Peninsula, Turkey). Turkish Journal of Earth Sciences, 6, 33-42.
- Gill, J.B., 1981. Orogenic Andesites and Plate Tectonics. Springer, Berlin. 390s.
- Güleç, N., 1991. Crust-mantle interaction in western Turkey: implications from Sr and Nd isotope geochemistry of Tertiary and Quaternary volcanics. Geological Magazine, 23, 417-435.
- Harris, N.B.W., Kelley, S. ve Okay, A.I., 1994. Post-collisional magmatism and tectonics in northwest Anatolia. Contributions to Mineralogy and Petrology, 117, 241-252.
- Irvine, T.N. ve Baragar W.R.A., 1971. A guide to the chemical classification of common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Science, 8, 523-548.
- Jahn, B.M., Wu, F., Lo, C.H. ve Tsai, C.H., 1999. Crust-mantle interaction induced by deep subduction of the continental crust: geochemical and Sr-Nd isotopic evidence from post-collisional maficultramafic intrusions of the northern Dabie complex, central China. Chemical Geology, 157, 119-146.
- Kaplan, D., Aslan Z. ve Chen B., 2013. SHRIMP U-Pb zircon dating, geochemical and petrographical characteristics of calc-alkaline Early Miocene Şapçı volcanics around Balıkesir (W Turkey). Mineralogical Magazine, 77(5), 1430.
- Krushensky, R. D., 1976. Neogene calc-alkaline extrusive and intrusive rocks of the Karalar-Yeşiller area, Northwest Anatolia, Turkey. Bulletin Volcanologique, 40, 336-360.
- Köprübaşı, N. ve Aldanmaz, E., 2004. Geochemical constraints on the petrogenesis of Cenozoic I-type granitoids in Northwest Anatolia, Turkey: Evidence for magma generation by lithospheric delamination in a post-collisional setting. International Geology Review, 46, 705-729.
- Lambert, R.J. ve Holland, J.G., 1974. Yttrium geochemistry applied to petrogenesis utilizing calcium-yttrium relationships in minerals and rocks. Geochimica Cosmochimica Acta, 38, 1393-1414.
- Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B., Le Bas, M.J., Bonin, B., Bateman, P., Bellieni, G., Dudek, A., Efremova, S., Keller, J., Lamere, J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorensen, H. ve Woolley, A.R., 2002. Igneous rocks: A classification and glossary of terms, recommendations of the international union of geological sciences, subcommission of the systematics of igneous rocks. Cambridge University Press, Cambridge.
- Okay, A.I., 2008. Geology of Turkey: a synopsis. Anschnitt, 21, 19-42.
- Okay, A.I. ve Tüysüz, O., 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. Durant, B., Jolivet, F., Horvath, F. ve Seranne, M., (ed) The Mediterranean basin: Tertiary extension within the Alpine orogen. Geological Society Special Publication, 156, 475-515.
- Okay, A.I. ve Satır, M., 2006. Geochronology of Eocene plutonism and metamorphism in northeast

- Turkey: evidence for a possible magmatic arc. *Geodinamica Acta*, 19, 251–266.
- Okay, A.I., Tansel, I. ve Tüysüz, O., 2001. Obduction, subduction and collision as reflected in the Upper Cretaceous–Lower Eocene sedimentary record of western Turkey. *Geological Magazine*, 138, 117–42.
- Okay, A.I., Satır, M., Maluski, H., Siyako, M., Metzger, R. ve Akyüz, S., 1996. Paleo-and Neo-Tethyan events in Northwest Turkey: geological and geochronological constraints. Yin, A. ve Harrison, T.M., (ed) *The tectonic evolution of Asia*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 420–44.
- Özgenç, İ. ve İlbeyli, N., 2008. Petrogenesis of the Late Cenozoic Eğrigöz Pluton in Western Anatolia, Turkey: Implications for magma genesis and crustal processes. *International Geology Review*, 50, 375–391.
- Pearce, J.A., 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate margins. Thorpe, R.S., (ed) *Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks*. John Wiley, New York, pp. 525–548.
- Pearce, J.A., 1983, The role of sub-continental lithosphere in magma genesis at destructive plate margins. Hawksworth, C.J. ve Norry, M.J., (ed) *Continental basalts and mantle xenoliths*. Shiva, Nantwich, pp. 230–249.
- Pearce, J.A. ve Peate, D.W., 1995. Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas. *Annual Review Earth Planet Sciences Letter*, 23, 251–285.
- Pearce, T.H., Gorman, B.E. ve Birkett, T.C., 1977. The relationship between major element chemistry and tectonic environment of basic and intermediate volcanic rocks. *Earth Planet Sciences Letter*, 36, 121–132.
- Pearce, J.A., Bender, J.F., De Long, S.E., Kidd, W.S.F., Low, P.J., Güner, Y., Şaroğlu, F., Yılmaz, Y., Moorbath, S. ve Mitchell, J.J., 1990. Genesis of collision volcanism in eastern Anatolia Turkey. *Journal Volcanology Geotherm Research*, 44, 189–229.
- Pehlivan, Ş., Duru, M., Dönmez, M., Ilgar, A., Akçay, A.E., Erdoğan, K. ve Özer, D., 2007. Türkiye Jeolojisi Haritaları No:96, Balıkesir-İ 19 Paftası. Maden Tetkik Arama, 40s, Ankara.
- Seyitoğlu, G. ve Scott, B., 1996. The cause of N–S extensional tectonics in western Turkey: Tectonic escape vs. backarc spreading vs. orogenic collapse. *Journal of Geodynamics* 22, 145–153.
- Shand, S. J., 1943. *The Eruptive Rocks*, John Wiley, 2nd edn, New York, 444 pp.
- Smith, E.I., Sanchez, A., Walker, J.D. ve Wang, K. 1999. Geochemistry of mafic magmas in the Hurricane Volcanic field, Utah: implications for small- and large-scale chemical variability of the lithospheric mantle. *Journal of Geology*, 107, 433–448.
- Sun, S.S. ve McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. Saunders, A.D. ve Norry, M.J., (eds) *Magmatism in the ocean basins*. Geology Society London Special Publication, 42, 313–345.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181–241.
- Şengör, A. M. C., Natalin, B. A. ve Burtman, V. S., 1993. Evolution of the Altiid tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia. *Nature*, 364, 299–307.
- Taylor, S.R. ve Mc Lenan, S.M., 1985. *The Continental Crust, Its Composition and Evolution*. Blackwell, Oxford, 312 pp.
- Thirlwall, M.F., Smith, T.E., Graham, A.M., Theodorou, N., Hollings, P., Davidson, J.P. ve Arculus, R.J., 1994. High field strength element anomalies in arc lavas; source or process? *Journal Petrology*, 35, 819–838.
- Thompson, R.N., Morrison, M.A., Hendry, G.L. ve

- Parry, S.J., 1984. An assessment of the relative roles of crust and mantle in magma genesis: an elemental approach. Philos Transl Society London, A310, 549–590.
- Yılmaz, Y., 1989. An approach to the origin of young volcanic rocks of western Turkey. Şengör, A.M.C., (ed) Tectonic evolution of the Tethyan region. Kluwer Academics, Hague, The Netherlands, pp. 159–189.
- Yılmaz, Y., 1990. Comparison of young volcanic associations of western and eastern Anatolia under compressional regime; a review. Journal of Volcanology and Geothermal Research 44, 69–87.
- Yılmaz, Y., Genç, S.C., Karacik, Z. ve Altunkaynak, Ş., 2001. Two contrasting magmatic associations of NW Anatolia and their tectonic significance. Journal of Geodynamics 31, 243–271.
- Yılmaz, Y., Genç, Ş. C., Yiğitbaş, E., Bozcu, M. ve Yılmaz, K., 1995. Geological evolution of the late Mesozoic continental margin of northwestern Anatolia. Tectonophysics, 243, 155–171.
- White, W.M. ve Patchett, J. 1984. Hf–Nd–Sr isotopes and incompatible element abundances in island arcs: implications for magma origins and crust-mantle evolution. Earth and Planetary Science Letters, 67, 167–185.
- Wilson, F. H., 1989. Geologic setting, petrology and age of Pliocene to Holocene volcanoes of the stepovak Bay area, western Alaska Peninsula. Dover, J.H. ve Galloway, J. P. (eds) Geological studies in Alaska by the U.S. Geological Survey. United State Geological Survey Bulletin, 1903, 84-95.
- Winchester, J.A. ve Floyd, P.A., 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. Chemical Geology, 20, 325–343.
- Wood, D.A., 1980. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. Earth Planet Sciences Letter, 50, 11-30.
- Wood, D.A. ve Joron, J.L., 1979. Elemental and Sr isotopic variations in basic lava from Iceland and surrounding ocean floor: the nature of the mantle sources inhomogenities. Contribution and Mineralogy Petrology, 70, 319-339.

Makale Geliş Tarihi : 11 Mart 2015
Kabul Tarihi : 17 Nisan 2015

Received : 11 March 2015
Accepted : 17 April 2015