



Erzurum Bölgesinde Palandöken Volkanik Kayaçlarının Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri, Doğu Anadolu, Türkiye

Sevcan Kürüm*, Nevruz Özdemir Nas

*Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 23119 Elazığ, Türkiye

*skurum@firat.edu.tr , ozdemirozlem2572@gmail.com 

Makale gönderme tarihi: 22.10.2020, Makale kabul tarihi: 26.12.2020

Öz

Palandöken volkanitleri, Afrika, Arabistan ve Avrasya levhalarının yakınsama-çarpışması sonucunda oluşan Doğu Anadolu Volkanik Provens sisteminin bir parçasıdır. Bu volkanitler, lav akıntıları ve bunlarla arakatmanlı olarak bulunan ve kalın bir istif oluşturan piroklastiklerden oluşmuştur. Petrografik verilerle uyumlu olarak, jeokimyasal veriler lavların silika içeriklerine göre düşük silikalı (%47.44) bazaltlardan yüksek silikalı (%67.68 - 66.55) dasitlere kadar değişen bileşimlerde olduğunu gösterir. Kalkalkalen-toleyitik ve sodik-potasik seri özellikli bu lavların magnezyum numaraları (Mg#) ise %11.33-53.04 arasında değişmektedir. Bu volkanik kayaçlar genel olarak yüksek alan elementlere (HFSE) kıyasla büyük iyon yarıçaplı elementler (LILE) ve hafif nadir toprak elementlerce (HNTE) zenginleşme ile belirgin negatif Nb ve Ta anomalisi göstermektedir. Bununla birlikte LILE'lerce tüketilmiş ve Nb ile Ta anomalisi vermeyen buna karşın çok belirgin Sr ve Ti anomalisi veren örnekler de bulunmaktadır. Bu örneklerin element davranış ve dağılımı bakımından daha farklı evrimleşmiş olduğu, dolayısıyla magmatik farklılaşmadan da değişik oranlarda etkilenmiş olduğu görülür. Petrolojik veriler, kıtasal asimilasyon etkisinin görüldüğü Palandöken volkanik kayaçlarının, granat ve spinel içeren ve yitim ile ilişkili metasomatize olmuş kıtasal litosferik ve astenosferik mantonun, farklı oranlarda fraksiyonlaşması ve magma karışımına sahip olduğunu işaret etmektedir.

Anahtar kelimeler: Çarpışma sonrası volkanizma, jeokimya, magma karışımı, Palandöken volkanitleri, petrojenez

Petrographic and Geochemical Characteristics of the Palandöken Volcanic Rocks in the Erzurum Region, Eastern Anatolia, Turkey

Abstract

Palandöken volcanics are part of the Eastern Anatolia Volcanic Province system which is formed as a result of the convergence-collision of the African, Arabian and Eurasian plates. These volcanics consist of lava flows and intercalated pyroclastics forming a thick stack. These lavas are ranging from low silica basalts to high silica dacites according to their silica content in compositions, in accordance with their geochemical and petrographical data. These lavas with SiO₂ content varying between 47.44-67.88% and Mg # between 11.33-53.04%, have calcalkaline - tholeiitic and sodic series characteristics. In general, they show significant negative Nb, Ta anomaly with enrichment in Large-Ion lithophile Elements (LILE) and Light Rare Earth Elements (LREE) compared to High-Field Strength Elements (HFSE). On the other hand, there are also samples that have been consumed by LILEs, and do not give Nb and Ta anomalies, but give very distinct Sr and Ti anomalies. It is seen that, these different examples are the most evolved lavas in terms of elemental behavior and distribution because of the most affected by magmatic differentiation. Petrological datas indicate that the Palandöken volcanic rocks, in which continental assimilation effect is observed, have a metasomatized continental lithospheric and asthenospheric mantle associated with subduction, containing garnet and spinel with partial melting at different rates, fractionation and magma mixture.

Keywords: Post-collision volcanism, geochemistry, magma mixture, Palandöken volcanics, petrogenesis

GİRİŞ

Erzurum-Çat-Tekman arasında yayılım gösteren Palandöken volkanik kayaçları, kıtasal bir çarpışma zonu ve çarpışmayla kökensel ilişkili olarak gelişmiş volkanizmanın dünyada en iyi görüldüğü alan olarak kabul edilen (Yılmaz ve ark.,1987; Keskin ve ark., 1998) Doğu Anadolu Bölgesinde bulunur. Orta?-Üst

Miyosen'den sonra karasal özellik kazanan bölgede, Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay (KAF ve DAF) sistemlerinin gelişimi, plato oluşumu ve Orta Miyosen'den Kuvaterner'e kadar uzanan yaygın bir volkanik aktivite meydana gelmiştir (Lambert ve ark., 1974; Innocenti ve ark., 1976, 1982; Yılmaz ve ark., 1987, 1989; Ercan ve ark., 1990; Pearce ve ark., 1990;

Araştırma makalesi/Research article
 DOI: 10.29132/ijpas.814660

Keskin, 1994, 2005; Notsu ve ark., 1995; Di Giuseppe ve ark., 2018; Kaygusuz ve ark., 2018). D. Anadolu Bölgesi'nde çarpışma-sonrası (post-collisional) oluşan volkanik aktivitenin (1) the Doğu Anadolu Volkanik Provensi (DAVP, ~23 My), (2) Yamadağ Volkanik Kompleksi (~19–10 My) ve (3) Arap Levhası boyunca yerleşen Miyosen-Pliyosen bazaltik kayalar şeklinde geliştiği kabul edilir (Kocaarslan ve Ersoy, 2018 ve makaledeki referanslar). Lin ve ark. (2020) ise D. Anadolu'daki volkanizmayı Pontid Bloğu (9-5My) ve Torid Bloğu (17-9 My) volkanizması şeklinde ayırmıştır. Bu tanımlamalara göre, DVP'inde yer alan çalışma bölgesi, Anadolu'nun şekillenmesinde önemli bir imza oluşturan tektonik olaylardan Bitlis-Zagros Sütur Zonu yakın kuzeyinde ve DAFZ ile KAFZ birleşme noktasının (Karlıova) aktif alanı içerisinde bulunmaktadır (Şekil 1).

Bölgede meydana gelen yaygın volkanizmayla beraber tektonik ve morfolojik olaylar ile ilgili pek çok öncel çalışma yapılmıştır (Şengör ve Kidd, 1979; Şengör, 1980; Şaroğlu ve Güner, 1981; Buket ve Temel, 1998; Dewey ve ark., 1986; Güleç, 1991; Innocenti ve ark., 1982; Şaroğlu ve Yılmaz, 1986; Keskin ve ark., 1998). Bu çalışmalarda bölgenin N-S sıkışma rejimi (Arap-Avrasya çarpışması) devamında, bölgenin Orta Miyosen'de (yaklaşık 12-15 My) bölgesel olarak yükselmeye başladığı ve deniz seviyesinden yaklaşık 1500-2000 m. yüksekliğe eriştiği kabul edilir (Şengör ve Kidd, 1979; Dewey ve ark., 1986; Keskin ve ark., 1998). Bu yükseliş tüm Doğu Anadolu'da temel bir coğrafik, sedimentolojik ve tektonik değişim yaratmıştır. Tüm bu değişimlere bağlı olarak volkanik faaliyetlerin de hızlı blok yükselmesinin hemen ardından başladığı ve yaygınlaşarak, bileşimlerinde ve erüptif biçimlerinde değişiklik oluşturduğu kabul edilir. Böylece farklı kaynak oluşumlarına bağlı olarak yaygın bir şekilde lav akıntıları ile piroklastik ürünler üreten (Pearce ve ark., 1990; Keskin ve ark., 1998; Yılmaz ve ark., 1998) Doğu Anadolu'daki tüm Üst Miyosen – Kuvaterner yaşlı volkanik kayaların (Şekil 1), astenosferik ve litosferik manto özelliği gösterdiği belirtilir (Kocaarslan ve Ersoy, 2018 ve makaledeki referanslar). Bölgedeki volkanizmanın çoğunlukla

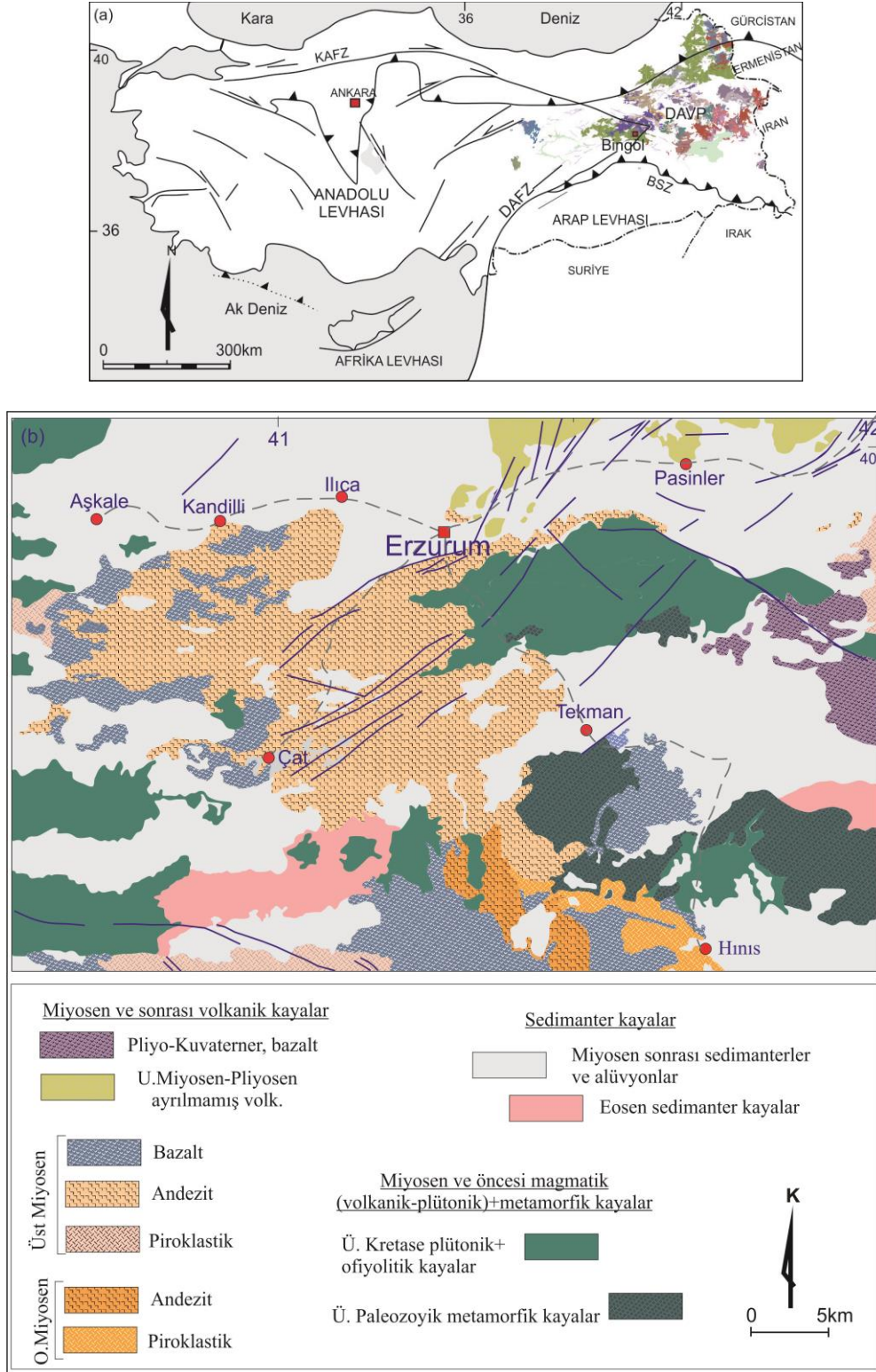
kalkalkalin kısmen de alkalın bileşimli olduğu da belirtilmektedir (Kaygusuz, 2009 ve makaledeki referanslar).

Bu çalışma ile Erzurum güneyinde, Erzurum-Çat-Tekman arasında yayılım gösteren Palandöken volkanitlerinin petrografik ve petrolojik özelliklerini belirleyerek, bu volkanitlerin Doğu Anadolu Volkanik Provensi ile ilişkisi teyit edilecektir. Ayrıca çalışmanın devamında Palandöken volkanitleri ile çevresindeki volkanik oluşumların (Ilıca, Kandilli, Yolçatı, Karakoçan) birlikte değerlendirilip karşılaştırılması ile bölgesel ölçekte yorumların daha kolay olmasına katkı sağlanacaktır.

Bölgesel Jeoloji ve Volkanizma

Anadolu Platosu'sunda bulunan DAVP'nin bir parçasını oluşturur (Şekil 1a). Bölgenin Neotektonik gelişimi Geç Mesozoyik - Erken Senozoyik'teki Arabistan plakasının kuzeye hareketi sonucunda Avrasya Plakası altında yitimi ile ilişkilidir (Şengör ve Yılmaz 1981). Bitlis-Zagros Sütur Zonu kuşağı boyunca meydana gelen bu yitimin, Orta Oligosen (~ 26 My) (Koshnaw ve ark., 2017), Geç Oligosen - Erken Miyosen öncesi (~23 My) (Kocaarslan ve Ersoy, 2018) veya Orta Miyosen'de sonuçlandığı kabul edilir (Dewey ve ark., 1986; Aktaş ve Robertson, 1990; Agostini ve ark., 2010; McQuarrie ve Van Hinsbergen, 2013). Buna bağlı olarak, Doğu Anadolu volkanizmasının da bölgedeki Arap ve Avrasya plakalarının çarpışması ve bunun sonucunda sıkıştırma ve yayılma tektoniğine bağlı olarak başladığı ve Miyosen-Kuvaterner aralığında geliştiği tartışmasız kabul görmektedir (Yılmaz ve ark., 1989; Pearce ve ark., 1990; Keskin ve ark., 1998; Adıyaman ve ark., 2001; Koçyiğit ve ark. 2001; Şen ve ark., 2004; Karslı ve ark., 2008; Kaygusuz, 2009; Özdemir ve Güleç, 2014; Lebedev ve ark., 2016; Oyan ve ark., 2016; Kaygusuz ve ark., 2018; Aktaş ve ark., 2019; Raboyrol ve ark., 2019; Lin ve ark., 2020). D. Anadolu Bölgesindeki volkanizmanın farklı tip volkanik erüpsiyonlarla (efüziften eksplozif volkanizmaya değişen) oluşması gibi (Karaoğlu ve ark., 2005; Özdemir ve ark., 2006), zamansal ve bileşimsel farklılıklar ve volkanizmanın kaynağı ile oluşum tektoniği için

Araştırma makalesi/Research article
 DOI: 10.29132/ijpas.814660



Şekil 1. a) Türkiye tektonik haritası (Şengör ve ark., 2003) **b)** Erzurum ve çevresinin geliştirilmiş jeoloji haritası (Tarhan (2002) ve MTA (2002)'den sadeleştirilmiştir). BSZ; Bitlis Sütür Zonu, KAFZ; Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ; Doğu Anadolu Fay Zonu, DAVP; Doğu Anadolu Volkanik Provensi

önerilen görüşler de farklıdır. Ancak genel olarak jeokimyasal veriler ve kısmi ergime modellerine dayanarak, magmanın litosferik ve astenosferik ergiyüklerin değişken karışımlarından oluştuğu görüşü tartışmalı (Aydar ve Gourgaud, 1998; Özdemir ve ark., 2006; Neill ve ark., 2013; Özdemir ve Güleç, 2014; Oyan ve ark., 2016; Kocaarslan ve Ersoy, 2018; Aktağ ve ark., 2019) iken, kabuksal malzemenin asimilasyonu veya kontaminasyonu genel olarak kabul edilir (Keskin ve ark., 2006; Özdemir ve ark., 2006; Özdemir ve Güleç, 2014; Lebedev ve ark., 2016; Oyan ve ark., 2017). Farklı olarak D.Anadoludaki volkanizmanın kabuksal kirlenmeden etkilenmiş OIB-benzeri manto kaynağından türemiş olduğu (Keskin, 2003; Şen ve ark., 2004; Lebedev ve ark., 2016; Di Giuseppe ve ark., 2018) belirtilirken, Neotetis'in kapanma sürecindeki, yitime bağlı olarak gelişen metasomatizmanın etkisi ise son çalışmalarda genel kabul görmektedir (Lebedev ve ark., 2016; Oyan ve ark., 2016, 2017; Aktağ ve ark., 2019; Kürüm ve Baykara, 2020). Ayrıca, D. Anadolu'da, magma üreten kaynağın yaklaşık 80 km derinlikte (astenosferik kamanın üst kısmına karşılık gelir) oluştuğunu, metasomatizmaya ise Arap levhası yitim levhalarının yeniden ergimesinin neden olduğu da belirtilir (Lebedev ve ark., 2016).

Çalışma bölgesinin yakın çevresindeki volkanitlerde de bu tür farklılıkların olduğu belirtilmektedir. Örneğin, Palandöken volkanitlerinin coğrafik olarak güneydeki devamı olan Varto bölgesindeki volkanik aktivitenin, sınırlı bir zaman aralığında (3.6-0.5 My) ve kalkalkalinden Na-alkalin lavlara, bazanitlerden riyolitlere değişim gösterdiği bilinmektedir (Özdemir ve ark., 2006; Di Giuseppe ve ark., 2018; Oyan ve ark., 2017). Benzer şekilde Erzurum-Kars Platosundaki volkanik aktivitenin bileşimsel farklılığıyla (bimodal ve unimodal volkanizma, plato bazaltları, felsik domlar vb.) birlikte, bu volkanizmanın platonun batısında doğuya göre daha erken başladığı (Keskin ve ark., 1998) ve andezitlerdeki yaş aralığının ise 5.6-6.0 My olduğu belirtilir (Lin ve ark., 2020).

Erzurum bölgesindeki çalışmalarda, araştırmacılar bölgenin yükselimi sırasında kuzeyde Erzurum-Pasinler Havzası, güneyde ise Tekman-Karayazı havzasının şekillenmeye başladığı ve her havzada farklı stratigrafik serilerin oluştuğunu belirtirler. Buna göre Tekman-Karayazı havzasında bulunan bu çalışma bölgesinin temel kayaçlarını,

Doğu Anadolu genelinde olduğu gibi Geç Paleozoyik yaşlı metamorfite ile Geç Kretase yaşlı ofiyolitik istif oluşturur (Şekil 1) (Gedik, 1985). Bu temel üzerinde toplam kalınlığı yaklaşık 900 m'ye kadar ulaşan Geç Kampaniyen yaşlı denizel çökellerle, yine kalınlığı değişken olan ve bölgenin en genç birimlerini oluşturan Tersiyer (Eosen-Pliyosen) karbonat ve kıtasal kırıntılarla, Kuvaterner havza dolguları bulunmaktadır (Şekil 1). Bölgede geniş bir yaş aralığına (Orta Miyosen–Kuvaterner) sahip volkanizma bazalt-andezit-trakit-dasit türünde bileşimsel değişimler gösterir. Ancak bazalt türü kayaçların çok daha yaygın olduğu görülür. Çalışma konusu Palandöken volkanitleri ise bazik-asidik lav ve eşleniği piroklastitlerden oluşmuştur. Bu volkanik kayaçların coğrafik konumu nedeniyle Ilica ve Kandilli volkanitlerinin devamı olduğu düşünülür. Ilica volkanitleri, Erzurum yakın batısında yayılım gösterir. Bu volkanitlerdeki K/Ar yaş verilerinin bazaltik andezitte 13.9 ± 0.5 My, andezitik lavlarda 6.7 ± 0.2 My, onların üzerinde bulunan bazaltiktrakiandezit ve trakiandezitik lavlarda ise 6.53 ± 0.55 My ile 4.37 ± 0.33 My olduğu belirlenmiştir (Kaygusuz, 2009). Daha güneydeki Bingöl dağı/Yolçatı volkanitlerinin ise $3.6 \pm 0.6 - 2.6 \pm 0.2$ My (Pearce ve ark., 1990), güneybatıdaki Karakoçan volkaniklerinin ise 4.1 My (Di Giuseppe ve ark., 2018) olduğu belirtilir. Tüm bu yaş verilerine göre bölgedeki bu volkanitlerin DAVP'nin orta-geç evre volkanizma ürünü olduğu söylenebilir.

MATERYAL VE METOT

Çalışma bölgesinin haritaları için MTA haritalarından yararlanılmıştır. Çalışma konusu volkanitlerin petrografik ve jeokimyasal özelliklerini belirlemek için alınan örneklerin petrografik tanımlamaları için ince kesitleri Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü İnce Kesit Laboratuvarında yaptırılmıştır. İncekesitlerin tanımlamaları Olympos marka polarizan mikroskopta yapılmış ve fotoğraflandırılmıştır. Detaylı petrografik tanımlamalar sonucunda belirlenen 13 örneğin ana element analizleri ACME Analitik Laboratuvarında (Vancouver-Canada) yaptırılmıştır. Ana ve iz element analizleri İndüktif Eşleşmiş Plazma (ICP) yöntemiyle, nadir toprak elementleri ise İndüktif Eşleşmiş Plazma Spektrometresi (ICP-MS) yöntemiyle analiz edilmiştir.

BULGULAR

Petrografi

İncelenen volkanik kayaların lavları, mineralojik-petrografik özelliklerine göre bazalt, andezit, dasit ve trakitik kayalar olarak, piroklastik kayalar ise litik ve kristal tüf olarak tanımlanmıştır.

Bazaltlar, mineral parajenezleri ve dokusal farklılıklara göre; plajiyoklas-olivin ve piroksen içeren iri kristalli intergranüler dokulu bazaltlar, iki piroksenli bazaltlar, olivin içeren mikro/camsı porfirik dokulu bazaltlar ve hyaloporfirik dokulu bazaltlar olarak ayrılmıştır.

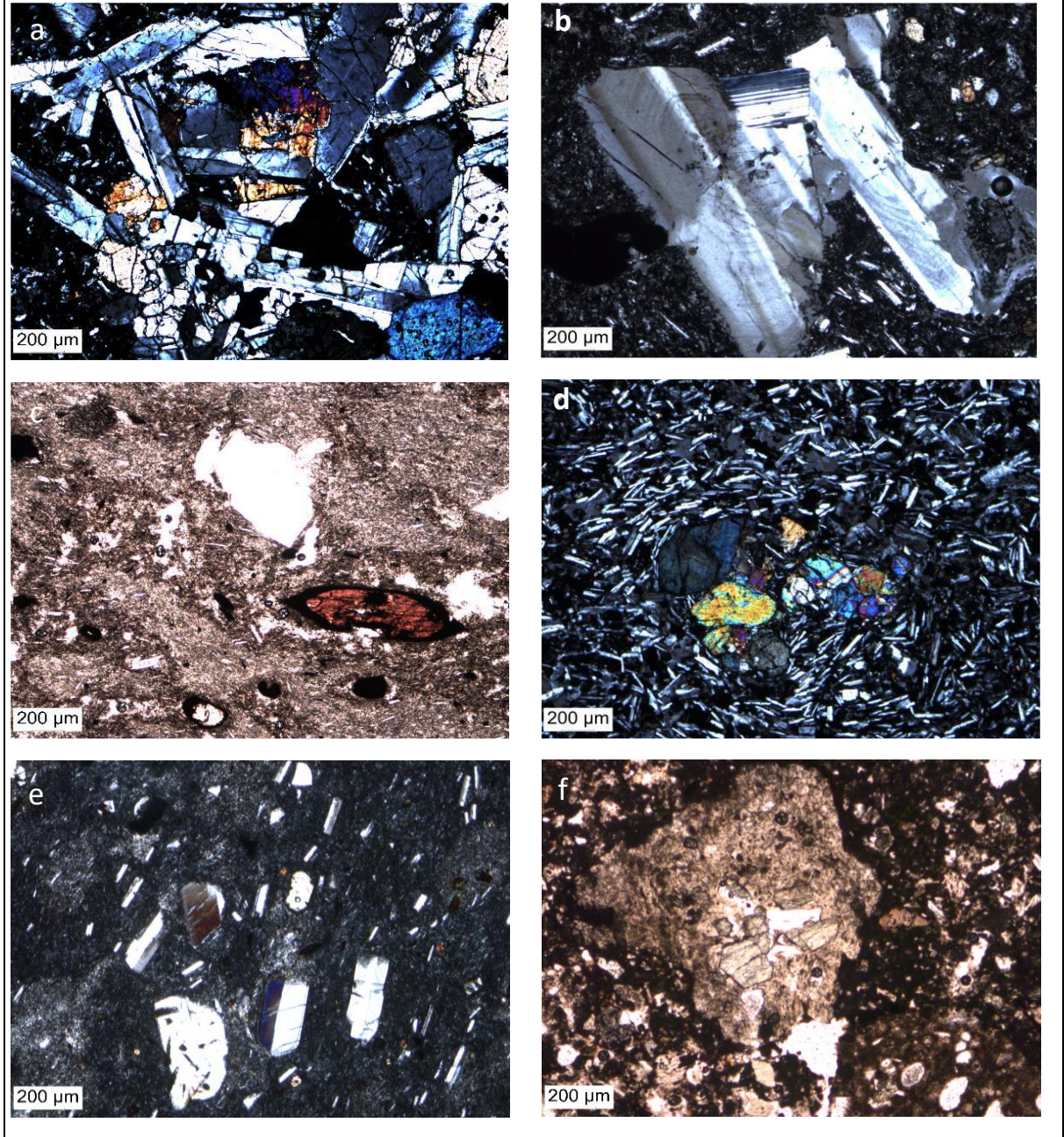
Subofitik dokulu bazaltlar, plajiyoklas, olivin ve piroksen minerallerinden oluşmuştur. Bu bazaltlardaki hemen tüm plajiyoklas fenokristallerinde çok yoğun erime-çözünme dokusu ve fenokristal ve mikrokristaller de dahil normal-farklı zonlanmalar karakteristik olarak çok baskındır. İki piroksenli bazaltlarda; veziküler ve hipokristalin porfirik doku görülür. Bu kayalarda ortopiroksenler plajiyoklas ve klinopiroksenlere göre nisbi olarak daha fazladır. Ortopiroksen fenokristalleri çok yoğun erime yapıları gösterirken, mikrolitik plajiyoklaslar bazen fenokristaller etrafında yönelmeler göstermektedir. Mikro/camsı porfirik dokulu bazaltlarda; plajiyoklas fenokristalleri prizmatik ve uzun latalar halinde, tipik albit ikizlenmeli ve zonludur (Şekil 2a). Bu kayalarda plajiyoklas fenokristalleri, hamur ile genellikle belirgin ancak bazen kemirilmiş, girintili kenar ilişkileri gösterirler. Olivinler genellikle yuvarlaklaşmış, çatlaklı ve yer yer kenarlarınca opaklaşmış ve yarı öz şekillidirler. Kayaç genelinde özellikle piroksen fenokristallerinde olmak üzere opaklaşma ve Fe-oksit mineralleri yaygındır. Hyaloporfirik dokulu bazaltlarda; fenokristal oranı yaklaşık %50 olup, ana fenokristal fazını yaklaşık %75-80 oranda plajiyoklas ve %15 oranda da klinopiroksenler oluşturmaktadır. Plajiyoklas fenokristalleri özşekilli ve genellikle prizmatiktir. Tüm plajiyoklaslar ikizlenmelidir ve alterasyon göstermezler. Plajiyoklasların kenarları yer yer düzgün olmayıp kemirilmiş şekildedir. Yer yer subofitik dokunun gözleendiği bu kayalarda camsı hamur malzemesi içerisinde mikrolitik plajiyoklas ve mafik mineraller bulunmaktadır.

Andezitler, farklı porfiritik (mikrolitik, hyalomikrolitik) dokuların karakteristik özelliklerini iyi yansıtırlar. Mikrolitik?-porfirik dokulu örneklerde hamur malzemesi tamamen kristalli olup, fenokristal oranı >%50'dir. Kayacın ana fenokristal fazını oluşturan plajiyoklaslarla (yaklaşık %70) beraber amfiboller ve piroksenler de bulunur. Genelde çatlakların yaygın olduğu plajiyoklas minerallerinde, ikizlenme ve zonlanma ile erime-çözünme dokusu görülür (Şekil 2b). Albit ikizlenmeli plajiyoklaslarda saptanan sönme açısı değerlerine göre An_{18-32} olarak saptanmıştır. Plajiyoklas fenokristalleri, yaygın olarak iri ve orta büyüklükte özşekilsiz piroksen ve yer yer de mikrolitik piroksen kapanımları içerirler. Bu kayalarda plajiyoklasların kenar zonlarında mantolama şeklinde, magma karışımı sonucu, magmanın ani soğumasıyla ilgili olarak ince taneli hamurumsu bir zon oluşmuştur. Bu kayalardaki amfiboller, genellikle yarı özşekilli, farklı boyutlu ve opaklaşmış olarak bulunurken, klinopiroksenler iri ve orta tane boyutlarında, özşekilsiz ve ikizlenmelidirler. Bazı klinopiroksen fenokristallerin etrafında opaklaşma (dengesizlik dokuları, magma karışımını gösterir) görülmektedir. Andezitlerde genellikle özşekilsiz, küçük kristalli opak mineral yaygındır.

Dasitler, ana fenokristal bileşen olarak bulunan plajiyoklaslardan başka amfibol, kuvars, sanidin biyotit ve aksesuar olarak ta piroksen içerirler. Bu kayalarda hamur malzemesi mikrolitik plajiyoklas ile diğer minerallerden oluşmuştur. Porfirik ve veziküler doku özelliği gösterirler. Bazen tüm fenokristal ve mikrolitlerde yönelme gözlenebilir. Fenokristal oranı <%10 olan bu kayalarda, plajiyoklas fenokristalleri genellikle özşekilli, prizmatiktir.

İkizlenmeli olan plajiyoklaslar zonlanma gösterirler. Bu minerallerde erime yapıları ile birlikte kemirilmiş kenarlar ve hamur ile yer yer düzgün olmayan sınır ilişkileri gözlenmektedir. Amfibol, biyotit ve piroksen minerallerinde de benzer şekilde kenarlar ve yer yer dilinimler boyunca opaklaşma görülür (Şekil 2c). Kuvarlar ise farklı boyutlu, yuvarlaklaşmış ve bazen kemirilmiş şekilde, sanidin ise özşekilli prizmatiktir.

Araştırma makalesi/Research article
DOI: 10.29132/ijpas.814660



Şekil 2. Palandöken volkanik kayaların incekesit fotoğrafları. (a) Subofitik dokulu bazaltlarda plajiyoklas fenokristal ve mikrolitleriyle olivin mikrokristallerinin görünümü, (b) Andezitlerde düzensiz zonlu plajiyoklaz fenokristalleri, (c) Dasit örneğinde 124°lik dilinim izlerine sahip, kenarları boyunca opaklaşmış amfibol minerali ile kuvarsların görünümü (düzlem-polarize ışık), (d, e) Trakiandezitlerde yönelmiş plajiyoklaz mikrolit ve fenokristalleri ile klinopiroksenler, (f) Tüf örneğinde litik ve kristallerin görünümü (düzlem-polarize ışık)

Trakiandezitlerin en önemli karakteristiği, tüm minerallerde yönelme ve düşük fenokristal oranına (<%10-15) sahip olmasıdır (Şekil 2d, e). Plajiyoklas, sanidin ve piroksenler kayacın ana fenokristal fazını oluşturur. Çalışma bölgesinde yayılım gösteren

trakiandezitler içerdiği mineral türü ve oranlarına bağlı olarak dokusal farklılıklar gösterirler. Bu kayalardaki hamur malzemesi prizmatik mikrolitik plajiyoklas, sanidin ve piroksenler ile yer yer de olivinden oluşmuştur. Hamurda ayrıca oksit

Araştırma makalesi/Research article
 DOI: 10.29132/ijpas.814660

mineralleri yaygındır. Plajiyoklas minerallerinin kenar zonlarında düzgün olmayan ikizlenme ve kemirilmiş doku özelliği görülür. Sanidin fenokristalleri prizmatik, ikizlenmeli ve erime dokusu gösterirler. Kayacın mafik mineral fazını oluşturan klinopiroksenler genellikle öz-yarıözşekilli, prizmatik, ikizlenmeli, farklı polarizasyon renkli, yoğun çatlaklı, yer yer altereli yer yer de erime-çözünme dokuludur (Şekil 2d). Kayaçta nisbi olarak daha az oranda bulunan olivinler hamurda mikrolitik ve iddingsitleşmiş özşekilsiz mineraller olarak bulunurlar.

Kayaç parçaları farklı boyutlu ve yuvarlaklaşmamış, düzgün kenarlı olmayan parçalar şeklindedir (Şekil 2f). Mineraller ise plajiyoklas ve piroksen fenokristal ve mikro-fenokristallerinden oluşmuştur.

Tüm Kayaç Jeokimyası

Palandöken volkanik kayaçlarına (PVK) ait tüm kayaç ana oksit element değerleri ile hesaplanan normatif mineral içerikleri Çizelge 1’de, iz ve nadir toprak elementler (REE) Çizelge 2’de verilmiştir. Kayaçların SiO₂ içerikleri %47.44-67.68 gibi geniş aralıkta değişmektedir. Buna göre PVK örnekleri bazalttan dasit bileşimine kadar değişir. Örnekler, toplam alkali-silika (Le Maitre ve ark., 1989) adlandırma diyagramında (Şekil 3a), çoğunluğu trakiandezit olmak üzere, bazalt ve andezit (1 örnek) ile bazaltik andezit ve dasit (2 örnek) bileşimindedir. Diyagramdaki Miyashiro (1974) ayırım çizgisine göre, 3 trakiandezit ve bazalt örneği alkalin bileşimli iken diğer tüm örnekler subalkalin bileşimi vermiştir. Sodyum ve potasyumca zengin olan (Şekil 3b), yaklaşık aynı oranda toleyitik ve kalkalkalin özellikli olduğu görülmektedir (Şekil 3c). Çizelge 1’de verilen CIPW normlarına göre örneklerin genellikle SiO₂’e aşırı doygun (SiO₂-oversaturated) ve %1-%20 oranında normatif kuvars içerdiği görülmektedir. Bazı örnekler ise yaklaşık %10 normatif olivin ve hipersten içeriği ile silise doygundurlar.

PVK örneklerinin MgO (%0.83-7.77) ve Fe₂O₃ (%3.05-14.38) içerikleri gibi Mg sayısı da (molar MgO/ MgO+Fe₂O₃) %11.33-50.96 gibi geniş bir aralıkta değişmektedir. Böylece bu volkanizmayı

oluşturan ürünlerin homojen olmayan kimyasal bileşimde olduğu görülür. Bu örneklerin ateşte kayıp (AK) değerleri ise %0.9-2.6 arasında ve nispeten düşük değerlerdedir.

PVK örneklerinin SiO₂’ye göre ana element ve bazı iz element değişim diyagramları oluşturulmuştur (Şekil 4). Bu değişim diyagramlarında, SiO₂ ile Fe₂O₃, MgO, CaO, MnO, TiO₂ ve Sr genellikle negatif korelasyon gösterirken, K₂O, Ba, Rb, Cs, Nb ve Th pozitif korelasyonlu, Na₂O ve Al₂O₃ ise düzensiz bir dağılım göstermektedir. Ancak PVK örneklerinden N15 (trakiandezit) ve N19 (bazaltik andezit) diyagramlarda da görüldüğü gibi bazı LILE (Ba, Rb ve Cs gibi) ve HFSE’lerde (Nb, Ta, Th, Y ortalamanın dışında yüksek ve düşük değerler şeklinde sapmalar göstermektedir (Çizelge 2).

PVK’nın ilksel mantoya normalize (McDonough ve ark., 1992) diyagramında, daha asidik örneklerin (andezit, trakiandezit ve dasit) LILE (e.g. Cs, Rb, Ba, Th, U) bakımından bazalt ve bazaltik andezitlere göre daha fazla zenginleştiği görülür (Şekil 5a, b). Bazik ve asidik örneklerde Nb ve Ta negatif anomali vermekte, ANTE’ler ise azalarak nisbeten düz bir dağılım göstermektedir. Ancak N19 (bazaltik andezit) ve N15 (trakiandezit) örnekleri diğer örneklerden farklı dağılım gösterirler. N19 örneğinde tüm LILE ve HFSE’ler diğer örneklerden düşük iken REE’ler diğer örneklerden daha zenginleşmiştir. N15 örneği ise çok düşük Cs, Rb, Ba ile çok belirgin negatif K₂O, Sr, TiO₂ içerikleriyle karakteristiktir. Ayrıca bu elementlerin dışında tüm HFSE ve ANTE’ler diğer kayaçlara göre yaklaşık 40 kat daha zenginleşmiştir. Bu iki örnek Kondrit’e normalize (Sun ve McDonough, 1989) diyagramlarda da (Şekil 5c, d) farklılık gösterir. Örneğin, Şekil 5c’de N19 örneği, diğer iki bazalt örneğinden düşük HNTE’ye sahiptir. N15 nolu trakiandezit örneği ise diğer örnekler göre tüm elementlerce daha zenginleşmiştir (Şekil 5d). Daha asidik örneklerin (andezit, trakiandezit ve dasit) birbirleriyle daha uyumlu olduğu görülür. (La/Lu)_N oranları bazaltik (bazalt ve bazaltik andezit) kayaçlarda 6,5-10,0 arasında, andezit-trakiandezitlerde 3.0-5.2, dasitte ise 1.3-2.1 ile dağılım aralığı çok düşüktür (Çizelge 2).

Çizelge 1. Palandöken volkanik kayalarına ait örneklerin ana oksit elementleri ve normatif mineraller

Örnek	N1	N2	N3	N7	N9	N10	N12	N15	N16	N19	N21	N22	N23
SiO ₂	58.32	67.68	59.25	61.93	62.22	61.44	47.44	55.13	66.55	52.98	55.46	58.83	59.54
Al ₂ O ₃	15.89	15.99	17.07	15.45	15.31	15.35	16.19	15.72	16.06	14.44	17.31	17.22	16.96
Fe ₂ O ₃	7.34	3.05	6.45	5.49	5.46	5.87	10.90	14.38	3.82	12.81	7.70	6.33	5.55
MgO	2.22	0.83	1.38	3.18	2.96	3.36	7.77	1.16	1.26	3.63	3.73	2.60	3.64
CaO	5.21	2.98	4.56	4.65	4.42	4.84	8.21	1.08	3.54	7.87	7.39	5.57	6.11
Na ₂ O	4.19	3.93	5.07	3.81	3.66	3.61	3.29	8.57	4.35	5.01	4.15	4.39	3.81
K ₂ O	3.01	3.39	2.69	3.12	3.57	3.37	1.15	0.05	2.89	0.33	1.25	1.98	1.47
TiO ₂	1.30	0.47	1.12	0.81	0.79	0.82	1.61	1.79	0.56	1.50	1.31	1.22	0.75
P ₂ O ₅	0.29	0.17	0.29	0.14	0.15	0.14	0.35	0.68	0.16	0.12	0.36	0.40	0.27
MnO	0.10	0.05	0.07	0.09	0.10	0.10	0.16	0.10	0.08	0.19	0.10	0.11	0.06
AK.	1.9	1.3	1.9	1.1	1.2	0.9	2.6	1.1	0.6	0.9	1.0	1.1	1.6
Toplam	99.84	99.90	99.86	99.86	99.86	99.86	99.72	99.77	99.89	99.82	99.81	99.83	99.82
Norm. M.													
Kuvars	8.69	23.87	7.86	13.35	13.59	12.47	-	-	20.25	1.61	6.19	10.25	13.22
Ortoklas	17.79	20.03	15.90	18.44	21.10	19.92	6.80	0.30	17.08	1.95	7.39	11.70	8.69
Albit	35.45	33.25	42.90	32.24	30.97	30.55	27.84	72.52	36.81	42.39	35.12	37.15	32.24
Anortit	15.66	13.67	15.87	15.84	14.80	15.73	26.01	0.92	15.76	15.94	24.91	21.43	24.83
Nefelin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Diyopsit	6.80	-	4.03	5.10	4.97	5.96	9.99	-	0.62	18.45	7.61	2.91	2.99
Hipersten	6.30	3.90	5.05	8.83	8.37	9.18	4.75	7.16	5.21	8.40	10.00	8.49	11.09
Olivin	-	-	-	-	-	-	11.85	3.66	-	-	-	-	-
Magnetit	10.64	4.42	9.35	7.96	7.92	8.51	15.80	20.85	5.54	18.57	11.16	9.18	8.05
İlmenit	2.47	0.89	2.13	1.54	1.50	1.56	3.06	3.40	1.06	2.85	2.49	2.32	1.42
Apatit	0.67	0.39	0.67	0.32	0.35	0.32	0.81	1.58	0.37	0.28	0.83	0.93	0.63
Mg#	32.40	30.13	25.32	47.86	46.21	47.56	53.04	11.33	34.33	30.99	43.43	39.43	50.96

AK: Ateşte Kayıp; Norm. M.: Normatif Mineraller

Bu dağılım tüm örneklerde belirgin olmayan negatif Eu anomalisi ile uyumludur. Bu sonuçlar örneklerin Eu_N/Eu^* sonuçlarında da görülmektedir (Çizelge 2). Bazaltik kayalarda $Eu_N/Eu^*=0.2-1.02$, andezit ve trakiandezitlerde $Eu_N/Eu^*=0.2-2.02$, dasitte ise $Eu_N/Eu^*=0.2-1.02$ ile yukardaki oranlarla uyumludur.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Kaynak Özellikleri

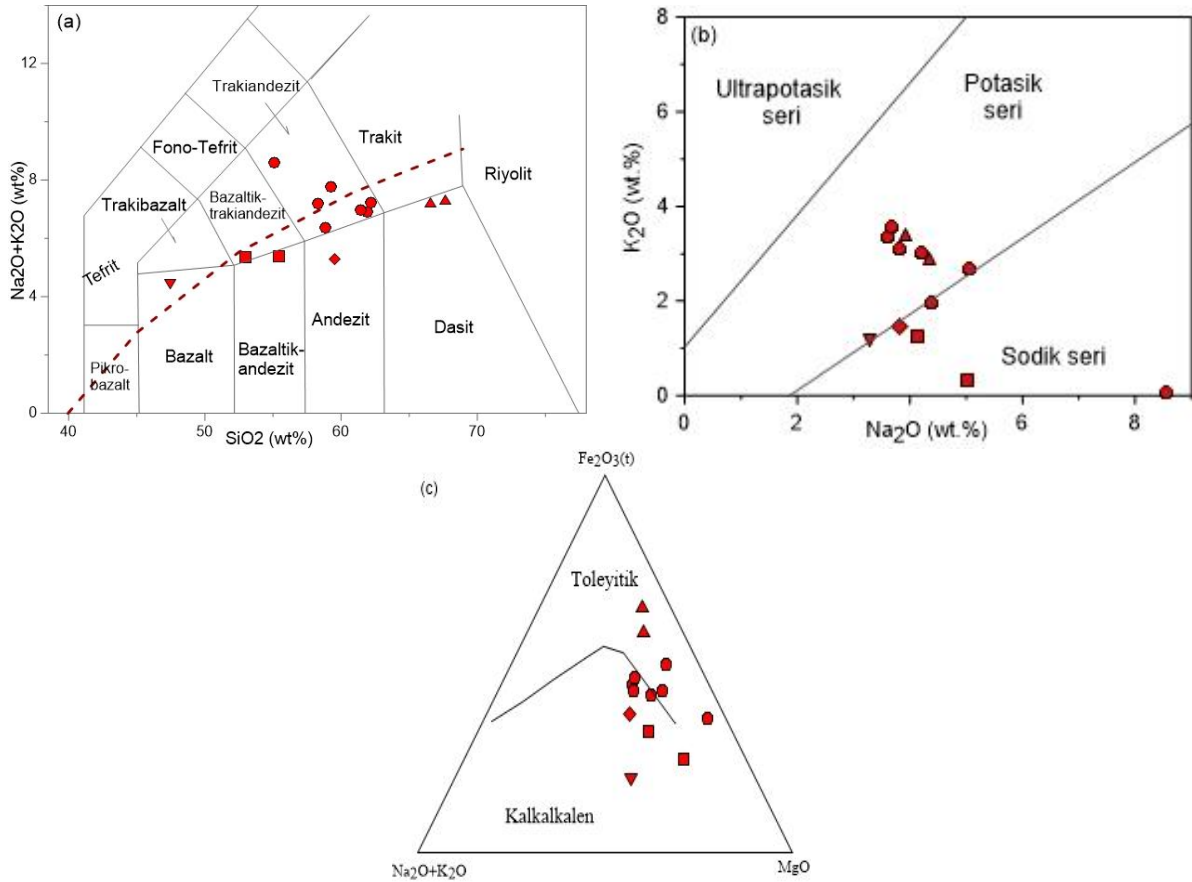
Yay magmalarının karakteristik özelliklerinden olan element oranlarından bazılarının kullanıldığı diyagramlarda yararlanarak çalışma konusu volkanik kayaların kaynağı veya kaynağının zenginleşmesine neden olan bileşenler belirlenmeye çalışılmıştır. Örneklerin Ba/Th, Sr/Nd ve yüksek Th/Nb, Th/Yb oranları incelenen volkanitlerin sediman eriyikleri ile metasomatize edilmiş bir manto kaynağından türediğini işaret etmektedir (Şekil 6a,b).

Benzer şekilde çalışma konusu volkanik kayaların Ta/Yb-Th/Yb diyagramında (Şekil 7a) çoğu örnekte neredeyse sabit Ta/Yb oranlarına karşın Th zenginleşmesi görülür. Bu da PV kayalarının zenginleşmiş manto ve yitimle ilişkili olarak sediment ergiyiklerle zenginleşmiş ve metasomatize olan modifiye kaynaklardan türemiş olduğuna işaret eder (Pearce, 1982). Benzer dağılım Nb/Yb-Th/Yb oranları ile de desteklenmektedir (Şekil 7b). Yitim sürecinde magmatik kayalarda Th'daki zenginleşmeye karşın Nb'daki tüketilme yitimle ilişkili akışkanlar ve metasomatize süreçlerine işaret ederken, litosferik kaynaklı kayaların ayırt edilmesinde rol oynar. La/Yb Nb/La diyagramında da Nb tüketilmesine bağlı olarak litosferik manto ve bu sınıra yakın geçiş bölgesinde (N15 hariç) bulunmaktadır (Şekil 7c).

Çizelge 2. Palandöken volkanik kayaçlarının iz ve nadir toprak elementler ile bazı element oranları

Örnek	N1	N2	N3	N7	N9	N10	N12	N15	N16	N19	N21	N22	N23
Ni	<20	<20	<20	44	39	56	143	<20	<20	<20	33	<20	93
Sc	11	5	13	12	12	13	19	17	7	33	14	11	13
Ba	320	569	374	352	339	325	133	48	514	55	266	353	363
Co	18.2	5.9	13.1	17.8	18.4	19.9	40.1	16.4	8.4	30.6	22	15.5	18.9
Cs	4	4.5	2.5	1.7	1.7	1.9	0.3	<0.1	2.7	<0.1	0.7	1.8	1
Ga	17.5	16.6	17.1	14.9	14.6	14.9	14.9	35.3	16.8	16.3	16.7	17.9	16.5
Hf	6.4	4.1	6.2	4.8	4.8	4.5	3.8	17.3	5.3	2.4	4.4	5.4	4
Nb	14.2	14.3	13.9	8.8	8.9	8.1	11.4	73.8	11.9	1.7	14	16.3	16.1
Rb	89.2	95	61.7	61.9	64.6	62.7	27.8	1.1	80.5	4.7	21.3	48.2	37.8
Sr	316	331	323	227	226	224	599	64	295	229	490	435	453
Ta	1.1	1.1	1	0.7	0.6	0.6	0.9	4.3	0.8	0.1	0.8	1.1	1.1
Th	13	12.2	8.8	16.2	16.5	15.7	1.7	8.5	10.6	0.5	6	8.3	8.5
U	4	4.2	2.7	2.9	3.2	3.1	0.6	1.6	2.9	0.1	1	2.1	1.9
V	96	48	97	86	85	90	140	31	70	330	120	93	107
W	1.7	1.2	1.1	0.7	0.7	0.7	1.3	2.7	2.2	0.9	0.9	1.6	1.5
Zr	287	154	280	190	191	187	176	715	205	81	181	244	158
Y	28.4	13.2	22.1	19.3	19.3	19.5	23.2	78.1	17.7	33.6	21.2	25.5	11.9
La	28.5	30	27.4	33.2	31.1	31.1	14.6	63.7	27.3	4.3	25.6	31	27.4
Ce	56.2	49.4	47.3	54.2	54.8	52.3	30.9	139	46.4	11	48.6	57.7	46
Pr	6.64	5.47	5.88	6.14	6.01	5.88	4.26	18.7	5.56	1.84	5.88	7.16	5.09
Nd	25.4	18.5	21.9	21.8	20.8	19.9	17.9	77.2	19.7	9.8	23.1	27.1	17.6
Sm	4.98	3.09	4.41	4	3.7	3.73	4.01	17.9	3.59	3.33	4.5	5.57	3.32
Eu	1.31	0.74	1.33	1	0.93	1.01	1.48	5.13	0.95	1.12	1.49	1.68	1.08
Gd	5.39	2.79	4.48	3.79	3.57	3.74	4.78	18.5	3.71	4.9	4.61	5.52	3.01
Tb	0.84	0.4	0.71	0.6	0.58	0.6	0.73	2.89	0.55	0.88	0.69	0.83	0.44
Dy	5.1	2.35	4.53	3.6	3.2	3.5	4.38	16.5	3.29	5.95	4.11	4.92	2.42
Ho	1.02	0.46	0.89	0.74	0.7	0.78	0.92	3.24	0.66	1.29	0.8	0.94	0.47
Er	3.08	1.44	2.59	2.24	2.06	2.25	2.57	8.92	2.01	4.0	2.21	2.91	1.22
Tm	0.45	0.2	0.38	0.32	0.31	0.32	0.38	1.22	0.29	0.59	0.3	0.38	0.18
Yb	2.95	1.35	2.46	2.13	1.97	2.11	2.34	7.37	1.86	3.71	2.06	2.45	1.19
Lu	0.49	0.18	0.37	0.33	0.32	0.34	0.37	1.14	0.31	0.58	0.28	0.4	0.16
La/Nb	2.01	2.10	1.97	3.77	3.49	3.84	1.28	0.86	2.29	2.53	1.83	1.90	1.70
La/Ta	25.9	27.3	27.4	47.4	51.8	51.8	16.2	14.8	34.1	43.0	32.0	28.2	24.9
(La/Lu) _N	6.04	17.3	7.69	10.4	10.1	9.49	4.10	5.80	9.14	0.77	9.49	8.04	17.8
Eu/Eu*	0.77	0.76	0.91	0.77	0.77	0.82	1.03	0.86	0.79	0.85	0.99	0.92	1.02
(La/Yb) _N	6.93	15.9	7.99	11.2	11.3	10.6	4.48	6.20	10.5	0.83	8.91	9.08	16.5
(Gd/Yb) _N	1.56	1.77	1.56	1.52	1.55	1.51	1.75	2.14	1.70	1.13	1.91	1.92	2.16
Dy/Yb	1.73	1.74	1.84	1.69	1.62	1.66	1.87	2.23	1.77	1.60	2.00	2.01	2.03
(Dy/Yb) _N	1.19	1.20	1.27	1.17	1.12	1.15	1.29	1.54	1.22	1.11	1.38	1.39	1.41

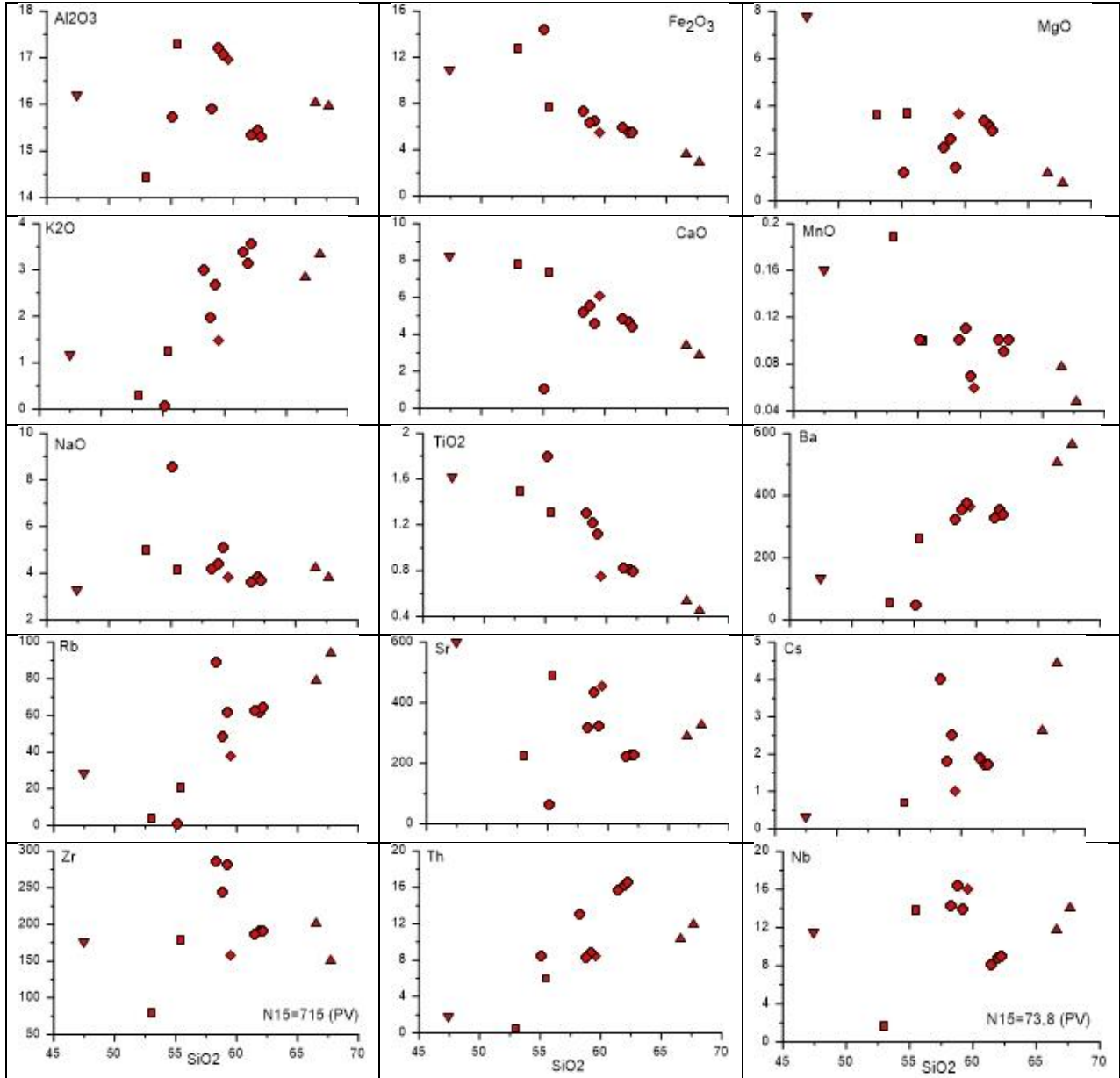
Araştırma makalesi/Research article
DOI: 10.29132/ijpas.814660



Şekil 3. Palandöken volkanik kayaların (a) SiO₂ - Na₂O+K₂O (Le Maitre ve ark., 1989) diyagramı ile (b) Na₂O-K₂O (Middelmost, 1975) ve (c) AFM (Irvine ve Baragar, 1971) diyagramında dağılımları

Yitim sürecinde Nb, Ta ve Ti elementlerinin fakirleşmesi ve kuvvetli uyumsuz element olan Ba'un ergiye geçerek zenginleşmesine karşın MORB ve OIB ise genellikle pozitif HFSE (Nb, Ta) anomali gösterir (Hofmann ve ark., 1986). Buna göre yüksek MgO içerikli yani primitiv manto özellikli magmada, Nb ve Ta elementlerinin negatif anomali vermesi en önemli yitim etkisi göstergesi olarak kabul edilir. Bununla birlikte kıtasal kabuk tarafından kirlenilen magmalar da yay magmaları gibi, HFSE'lere göre LILE'lerce daha zenginleşmişlerdir (Weaver ve Tarney, 1984; Taylor ve McLennan, 1985; Wilson, 1989). Ancak çalışma konusu PVK örneklerinin ilksel mantoya normalize diyagramlarında, Nb ve Ta elementlerinin negatif anomali vermesi (Şekil 5a,b), düşük MgO içerikli bu örnekler için birinci derecede yitimin etkisi olarak yorumlanamaz. Ayrıca bu

örneklerdeki Zr ve Nb artışı zenginleşmiş manto kaynak bölgelerinden artan katkılar olduğunu gösterir (Kaygusuz, 2009). Benzer şekilde Palandöken volkanik kaya örneklerinin sadece üst manto kaynağının kısmi ergimesiyle oluşabileceği modeli, örneklerin jeokimyasal verileriyle uygunluk göstermez. Jüvenil alt kıtasal kabuğun kısmi ergimesiyle ilgili yapılan deneysel çalışmalarda, düşük Mg# (~44) ve yüksek Na₂O içeriğinin (~%4.3) alt kıtasal kabuktaki metabazaltların dehidratasyon ergimeleriyle düşük SiO₂'li (<%58) ürünler oluşturduğu belirtilir (Wolf ve Wyllie, 1994; Rapp ve Watson, 1995). Buna göre çalışılan örneklerin özellikle Mg# (53-11) ve Na₂O (8.57-%3.29) içeriğinin bu koşullara uyması kaynaktan kabuksal bir girdinin varlığına işaret eder (Kaygusuz, 2009).



Şekil 4. Palandöken volkanik kayalar ana oksit ve bazı iz elementlerinin (Ba, Rb, Sr, Cs, Zr, Th ve Nb) Harker diyagramları (Semboller Şekil 3a'daki gibidir)

Ergime Koşulları

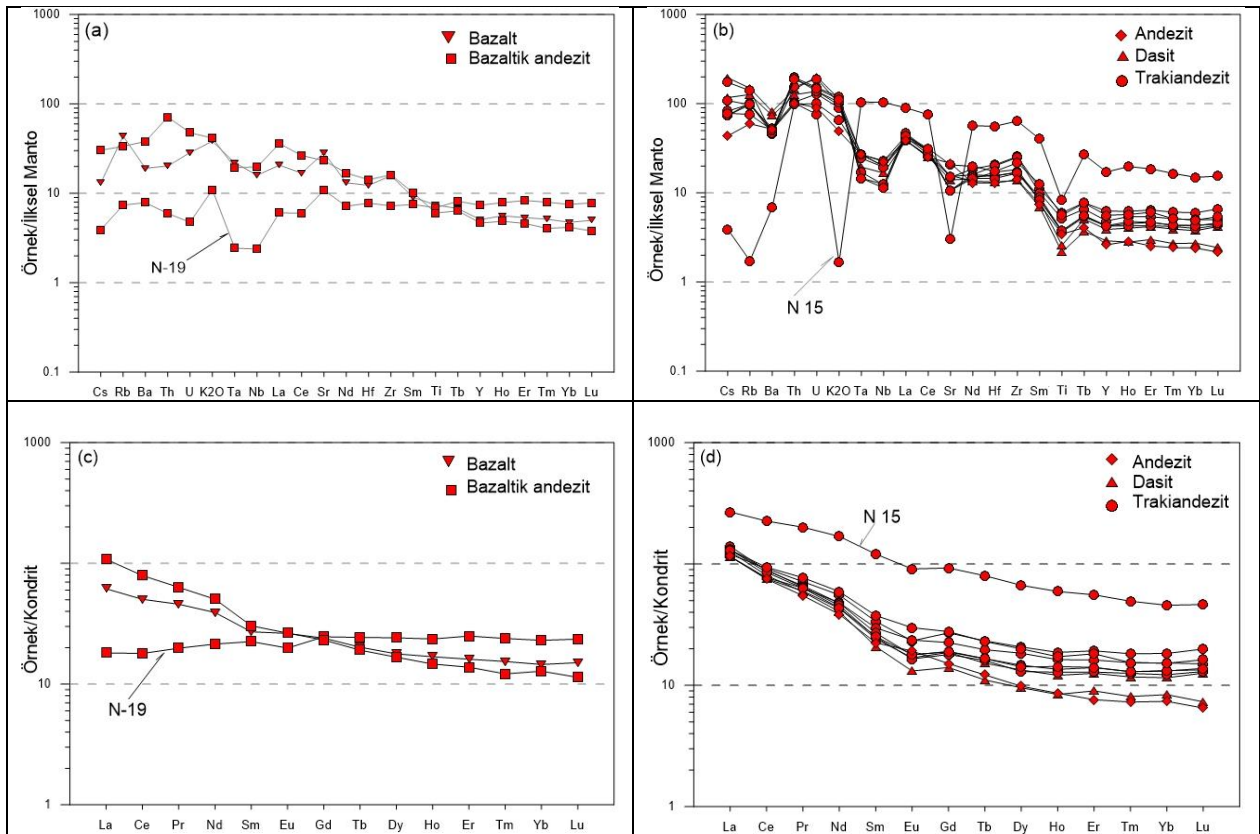
Volkanik sisteme ait ürünlerin hangi tür manto kaynağından ve nasıl bir kısmi ergime türü ve derecesinden etkilendiğinin belirlenmesinde, HNTE ve ANTE'ler arasındaki ilişkilerin kullanıldığı kısmi ergime matematiksel modellenmelerinden yararlanır (Lebedev ve ark., 2016). Böylece manto kaynağının doğası ile beraber kısmi ergime derecesini belirlemek için oluşturulan modellerde, NTEE'lerin granat ve spineldeki farklı oranlardaki

katı/ergiyik farklılaşması esas alınmaktadır (Green ve ark., 2000; Shaw ve ark., 2003). Petrojenetik çalışmalarda ANTE'lerin granatın kristal yapısında tutulduğu ve granat içeren manto bileşiminden türetilmiş magmaların yüksek HNTE/ANTE oranına sahip olduğu kabul edilir (Blundy ve ark., 1998). Genel olarak, granat peridotit fasiyesinden elde edilen magmalar, bir spinel fasiyesine göre daha yüksek La/Yb oranı ve daha küçük ergime fraksiyonlarına sahip olacaktır (Shaw ve ark., 2003). Benzer olarak

Araştırma makalesi/Research article
DOI: 10.29132/ijpas.814660

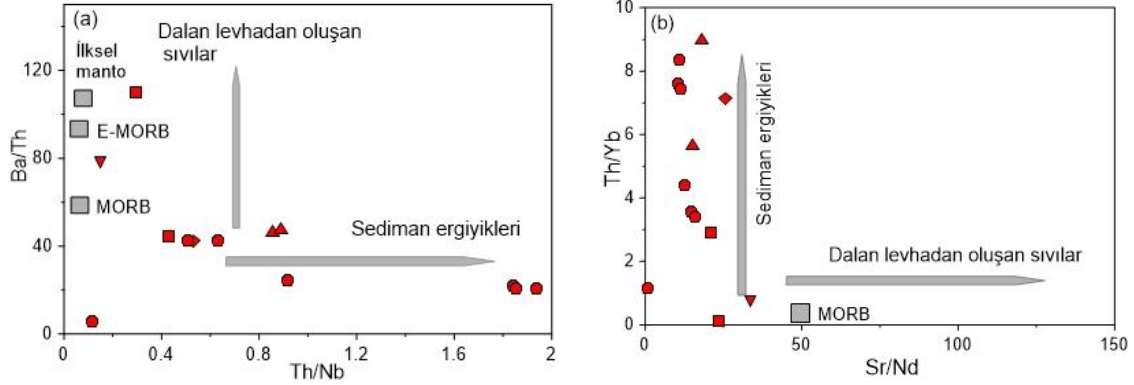
ergiyikte Orta Ağır Nadir Elementlerin (Sm) ANTE'lere (Yb) kıyasla zenginleşmesi, magma oluşum sürecinde kalıntı faz olarak granatın korunmasına bağlı olacaktır. Bu nedenle, kısmi ergime derecesi azaldıkça, Sm/Yb oranı artacaktır. Bu amaçla, PV kayaları Lebedev ve ark. (2016) tarafından Tendürek (neovolcanic center) mafik volkanik kayaları için oluşturulmuş La/Yb-Yb diyagramında değerlendirilmiştir (Şekil 8).

Diyagramda PV kayalarının sipinelce zengin granat lerzolitik manto kökenli olduğu (N19 ve N15 hariç) ve granat oranının %90-70, sipinel oranının ise %10-30 arasında değiştiği görülür. N19 ve N15 ise diğer tüm örneklerden farklı olarak sipinel bileşimli manto peridotite daha yakındır. Bu iki örnek yaklaşık aynı değerlerde granat-sipinel içeriğine sahip ancak birbirinden farklı ergime oranlarına işaret ederler.

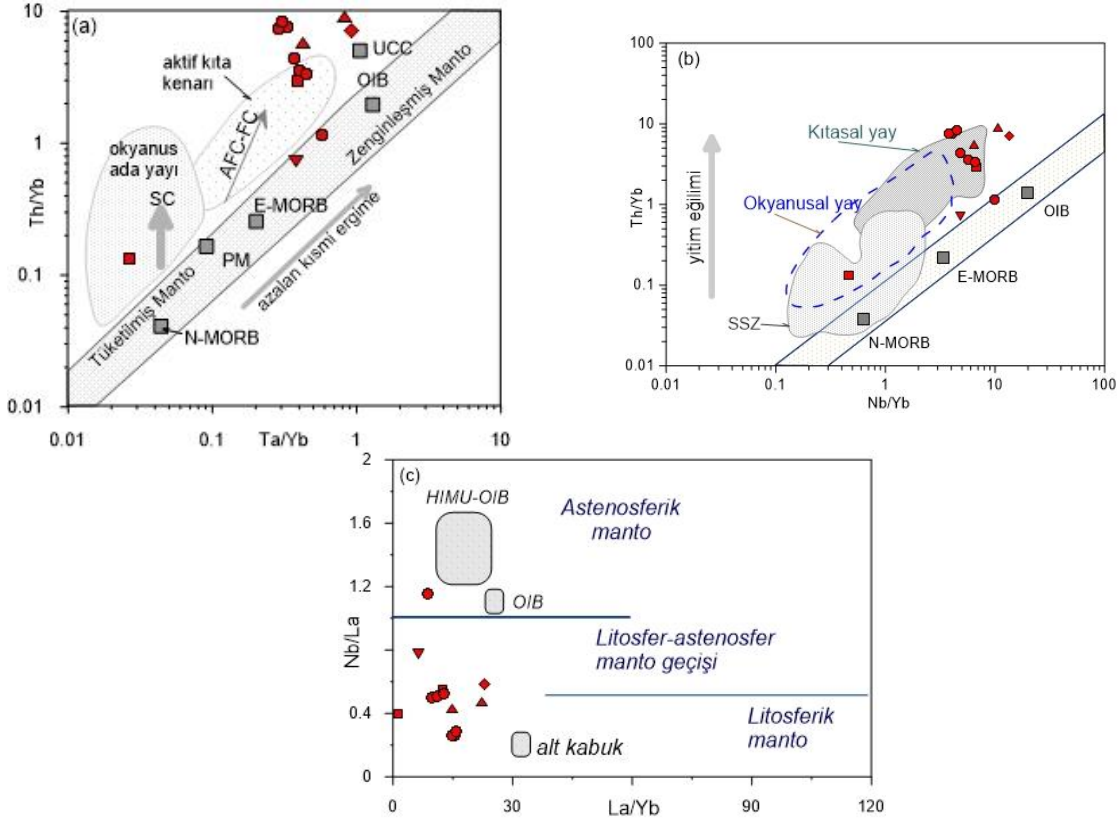


Şekil 5. Palandöken volkanik kayalarının İlksel Manto (PM) (a, b) ve Kondrite (c, d) göre oranlanmış çoklu element diyagramları (Normalleştirme değerleri Sun ve McDonough (1989)'dan alınmıştır)

Araştırma makalesi/Research article
DOI: 10.29132/ijpas.814660



Şekil 6. Palandöken volkanik kayaların (a) Th/Nb - Ba/Th ve (b) Sr/Nd - Th/Yb diyagramlarında dağılımları (MORB: Okyanus Ortası Sırt Bazaltları; E-MORB: Zenginleşmiş MORB; MORB: Bevens ve ark., 1984; E-MORB: Sun ve McDonough, 1989; Primordial Mantle: McDonough ve ark., 1992)

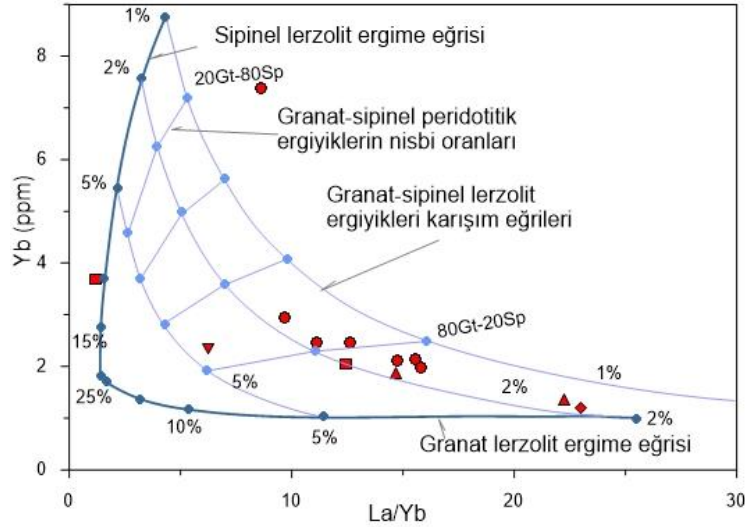


Şekil 7. Palandöken volkanik kayaların (a) Ta/Yb - Th/Yb (Pearce, 1983), (b) Nb/Yb - Th/Yb (Pearce, 2008), (c) La/Yb-Nb/La (Jahn ve ark., 1999) diyagramlarında görünümleri (UCC: Üst kıtasal kabuk; OIB: Okyanus ada bazaltları; AFC-FC: Asimilasyon-Fraksiyonel kristalleşme; SC: Yitim bileşenleri; N-E-MORB: Normal-Zenginleşmiş okyanus ortası sırt bazaltı; PM: İlksel manto; SSZ: Yitim zonu; HIMU: Yüksek U/Pb oranına sahip

Magma Karışımı

PVK örneklerinde bulunan poikilitik doku, özellikle feldispat fenokristallerinde normal-düzensiz zonlanma ve erime-çözünme dokuları ve opak

inklüzyonlar gibi bazı özel dokular petrografik verilerle belirlenen magma karışımını işaret etmektedir. Jeokimyasal olarak ise elementler arasındaki pozitif veya negatif olan lineer korelasyonlar fraksiyonlaşma



Şekil 8. Palandöken volkanik kayaç örneklerinin Tendürek mafik volkanik kayaçları için oluşturulan (Lebedev ve ark., 2016) La/Yb –Yb ergime modelleme diyagramında dağılımları (Gt; granat, Sp; Sipinel)

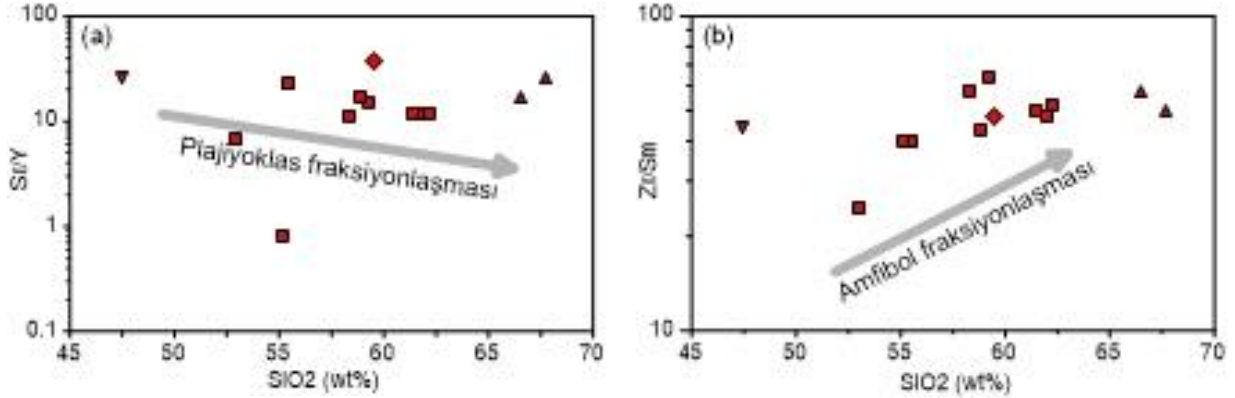
korelasyonlar, fraksiyonlaşma ve asimilasyon fraksiyonel kristalleşmeye (AFC) işaret ederken düzensiz dağılımlar magma karışımına işaret etmektedir (Perugini ve Poli, 2004). Bu amaçla, kayaçların Harker değişim diyagramlarında gözlenen trendleri (K_2O , Ba, Rb, Zr, Cs, Nb ve Th pozitif ve Fe_2O_3 , MgO, CaO, MnO, TiO_2 ve Sr içeriğinde negatif) fraksiyonel kristalizasyon süreçleri ile uyumludur (Şekil 4). Ancak bu kayaçların plajiyoklasların fraksiyonlanmasına işaret eden belirgin Eu anomalisi göstermemesine karşın (Şekil 5), SiO_2 -Sr/Y ve SiO_2 -Zr/Sm diyagramlarında (Şekil 9a-b) plajiyoklaslar ve amfibolün önemli bir fraksiyonlaşma fazı oluşturduğu da görülür. Ayrıca yay kayaçlarında kristalleşme oranı ve yapısıyla doğrudan ilişkili olduğu düşünülen Ti, Zr, V ve Y'un bu kayaçlarda hornblend, klinopiroksen, magnetit ve apatitin önemli mineral fazları oluşturduğu kabul edilir (Nielsen ve ark., 1994; Pearce ve Norry, 1979).

Çalışma konusu kayaçlarda fraksiyonel kristalleşme süreçleri ile birlikte kabuksal asimilasyon (AFC) etkileri de gözlenmektedir. Kabuksal kirlenme gösteren magmalardaki bazı temel oranlar kıtasal litosferik mantodan kaynaklanana benzerlik gösterdiğinden, kabuksal kirlenmenin değerlendirilmesi çok önemli ancak zordur. Örneğin Th, Ba ve Rb kabuksal kirlenme süreçleriyle zenginleşebilir (Thompson ve ark., 1982) veya yitim süresince manto kaynak bölgesine slab-

kökenli ergiyik / sıvılarla da eklenebilirler (Pearce ve Peate, 1995). Bu özellik çoklu element diyagramlarındaki negatif Nb ve Ta anomalisi ile de teyit edilir (Şekil 5). Negatif Nb ve Ta anomalisi, yitim zonuna işaret etmesinin yanında, $MgO < \%3$ olan ve primer ergiyiği karakterize etmeyen (Wilson, 1989) çalınma konusu bu kayaçlarda kabuksal kirlenmeyi işaret edebilir.

Kabuksal asimilasyon etkilerinin D. Anadolu Volkanik Provensindeki bazı volkanik birimlerde daha sınırlı olduğu ileri sürülür (DePaolo, 1981; Buket ve Temel, 1998; Pearce ve ark., 1990; Keskin, 2005; DiGiuseppe ve ark., 2018; Kaygusuz ve ark., 2018). Buna karşın, bölgedeki bazı volkanik birimlerde kabuksal kirlenmenin fraksiyonel kristallenmeye göre daha baskın olduğu da kabul edilir (Oyan, 2018). Yine de özellikle kabuk kalınlaşmasının aktif olarak devam ettiği ve ortalama litosferik kalınlığın yaklaşık 40 km ve üzerinde kabul edildiği (Cantez ve Toksöz 1980; Şengör ve ark., 2003; Aktaş ve ark., 2019) doğu Anadolu'daki çarpışma sonrası volkanikler için, AFC süreçlerinin bileşimsel farklılaşma için önemli faktörler olduğu ileri sürülür (Yılmaz ve ark., 1987; Pearce ve ark., 1990; Keskin ve ark., 1998; Keskin, 2007; Özdemir ve Güleç, 2014; Lebedev ve ark., 2016; DiGiuseppe ve ark., 2018; Kaygusuz ve ark., 2018; Aktaş ve ark., 2019). PV kayaçlarında ise Ta/Yb-Th/Yb diyagramında (Şekil 7a) görüldüğü gibi bazı

Araştırma makalesi/Research article
DOI: 10.29132/ijpas.814660



Şekil 9. Palandöken volkanik kayaç örneklerinin plajiyoklas ve amfibol fraksiyonlaşma fazlarını gösterir (a) SiO₂-Sr/Y, (b) SiO₂-Zr/Sm diyagramlarında dağılımları

örneklerin zenginleşmiş manto bölgesine konumlanmasına karşın çoğu örneklerde levha içi zenginleşmeden etkilenmiş veya yitim sürecinde türetilen akışkanlar (veya metasomatize edilmiş) (Class ve ark., 2000; Elburg ve ark., 2002) veya yitim ürünlerinin kısmi ergimesi (Elliott ve ark., 1997; Hawkesworth ve ark., 1997) ile zenginleştirilmiş, modifiye edilen kaynaklardan türetilen kayaç özelliği gösterirler.

SONUÇLAR

Çalışma konusu Palandöken volkanitleri zamansal (Miyosen-Pleyistosen) ve bileşimsel (alkalin-subalkalin) olarak DAVP'ni oluşturan sistemin parçasını oluşturmaktadır. Esas olarak lav akıntıları ve arakatmanlı olarak bulunan ve kalın bir istif oluşturan piroklastiklerden meydana gelmiş bu volkanitlerin lavları bazalt, andezit, trakiandezit ve daha az oranda dasit bileşimindedir. Petrografik tanımlamalarla uyumlu olan jeokimyasal verilere göre bu kayaçların bileşimleri, silika içeriklerine göre düşük silikalı bazaltlardan yüksek silikalı dasitlere kadar değişmektedir. Genellikle örneklerin çoğu normatif kuvars içerirken nefelin içermezler. Kuvars içermeyen az sayıdaki örnekte olivin, bulunurken, diyopsit-hipersten ile manyetit-ilmenit tüm örneklerde bulunmaktadır.

SiO₂ içeriği %47.44-67.88 arasında değişen ve düşük-orta Mg# (11-53) sahip olan bu örnekler, kalkalkalen-toleyitik ve sodik-potasik seri özelliklidir. Bu örneklerde HFSE'lere kıyasla LILE'lerde daha fazla zenginleşme ile yine tüm örneklerde çok zayıf Eu anomalisi ve belirgin negatif Nb, Ta (N15 hariç) anomalileri vardır. Bazı bileşimli örnekler (bazalt, bazaltik andezit) ile daha asidik örnekler (andezit, trakiandezit, dasit) arasındaki element davranışları arasındaki farklılık belirgin değildir. Asidik örneklerde

farklı olarak Sr ve TiO₂ belirgin negatif anomali gösterir. İki örnek (N19, bazaltik andezit ve N15, trakiandezit) tüm diyagramlarda farklı yönseme göstermektedir. N15 örneği REE'ler dışında çoğu diğer elementler bakımından davranış ve dağılım olarak en fazla evrimleşmiş dolayısıyla magmatik farklılaşmadan en fazla etkilenen ürün olma özelliği gösterir. N19 ise element dağılımları ve davranışları bakımından kaynak kayayı en fazla temsil eden ve en az evrimleşmiş kayaç özelliği gösterir. Bu farklılık manto kaynak malzemesinde de görülür. Genel olarak Palandöken volkanik kayaçları spinelce zengin granat lertzolit manto kökeni işaret ederken, N15 ve N19 örneklerinin spinel lertzolit manto kökenli olduğu söylenebilir.

Sonuç olarak, fraksiyonlanma ve asimilasyon-fraksiyonl kristalleşme ile magma karışımı özellikleri gösteren Palandöken volkanik kayaçları, D.Anadolu magmatizmasıyla uyumlu olarak çarpışma sonrası oluşan jeodinamiğin etkisi ile oluşmuş ve bu tektonizmaya bağlı olarak metasomatize olmuş granat ve spinel içeren kıtasal litosferik ve litosfer + astenosfer geçiş karakterli manto kökenli magma oluşumludur.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (FÜBAP) tarafından (FÜBAP-MF-16.45) desteklenmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazar bu çalışmada herhangi bir şekilde çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazar bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulduğunu beyan eder.

KAYNAKLAR

- Adıyaman, Ö., Chorowicz, J., Arnaud, O.N., Gündoğdu, M.N., Gourgaud, A.,** 2001. Late Cenozoic tectonics and volcanism along the North Anatolian Fault: new structural and geochemical data. *Tectonophysics*, 338:135–165.
- Agostini, S., Doglioni, C., Innocenti, F., Manetti, P., Tonarini, S.,** 2010. On the geodynamics of the Aegean rift. *Tectonophysics*, 488:7-21.
- Aktaş, G., Robertson, A.H.F.,** 1990. Tectonic evolution of the Tethys suture zone in SE Turkey: evidence from the petrology and geochemistry of Late Cretaceous and Middle Eocene extrusives. In: Malpas, J. ve ark. (Eds) Ophiolites, Oceanic Crustal Analogues. Proceedings of Symposium, Troodos 1987 Geological Survey Department, Cyprus, 311–328.
- Aktaş, A., Öztüfekçi Önal, A., Sayit, K.,** 2019. Geochemistry of the post-collisional Miocene mafic Tunceli Volcanics, Eastern Turkey: Implications for the nature of the mantle source and melting systematics. *Geochemistry*, 79:113-129.
- Aydar, E., Gourgaud, A.,** 1998. The geology of Mount Hasan stratovolcano, central Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85:129–152.
- Bevins, R.E., Kokelaar, B.P., Dunkley, P.N.,** 1984. Petrology and geochemistry for lower to middle Ordovician igneous rocks in Wales: A volcanic arc to marginal basin transition. *The Proceedings of the Geologists' Association*, 95:337 – 347.
- Blundy, J.D., Robinson, J.A.C., Wood, B.J.,** 1998. Heavy REE are compatible in clinopyroxene on the spinel lherzolite solidus. *Earth and Planetary Science Letters*, 160:493– 504.
- Buket, E., Temel, A.,** 1998. Major-element, trace-element, and Sr-Nd isotopic geochemistry and genesis of Varto (Muş) volcanic rocks, Eastern Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85:405–422.
- Canitez, N., Toksöz, M.N.,** 1980. Crustal structure beneath Turkey. *Eos Transactions American Geophysical Union*, 61:17.
- Class, C., Miller, D.M., Goldstein, S.L., Langmuir, C.H.,** 2000. Distinguishing melt and fluid subduction components in Umnak volcanics: Aleutian arc. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 1:1–34.
- DePaolo, D.J.,** 1981. Trace element and isotopic effects of combined wall-rock assimilation and fractional crystallization. *Earth and Planetary Science Letters*, 53:189–202.
- Dewey, J.F., Hempton, M.R.S., Kidd, W.S.F., Saroğlu, F., Şengör, A.M.C.,** 1986. Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of Eastern Anatolia, a young collision zone. In: Coward, M.P., Ries, A.C. (Eds.), *Collision Zone Tectonics. Geological Society of London Special Publication*, 19:3–36.
- Di Giuseppe, P., Agostini, S., Lustrino, M., Karaoğlu, Ö., Savaşçın, M.Y., Manetti, P., Ersoy, Y.,** 2018. Transition from compression to strike-slip tectonics revealed by Miocene-Pleistocene volcanism west the Karliova Triple Junction (East Anatolia). *Journal of Petrology*, 58(10):2055-2087.
- Elburg, M.A., Bergen, M.V., Hoogewerff, J., Foden, J., Vroon, P., Zulkarnain, I., 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.
- Elliott, T., Planck, T., Zindler, A., White, W., Bourdon, B.,** 1997. Element transport from slab to volcanic front at the Mariana arc. *Journal of Geophysical Research*, 102:14991–15019.
- Ercan, T., Fujitani, T., Matsuda, J., Notsu, K., Tokel, S., Ui, T.,** 1990. Doğu ve güneydoğu Anadolu Neojen-Kuvaterner volkanitlerine ilişkin yeni jeokimyasal radyometrik ve izotopik verilerin yorumu. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 110:143–164.
- Gedik, A.,** 1985. Tekman (Erzurum) havzasının jeolojisi ve petrol olanakları, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 103/104:1-24.
- Green, T. H., Blundy, J. D., Adam, J., Yaxley, J.M.,** 2000. SIMS determination of trace element partition coefficients between garnet, clinopyroxene and hydrous basaltic liquids at 2–75 GPa and 1080–1200C. *Lithos*, 53:165–187.
- Güleç, N.,** 1991. Crust-mantle interaction in western Turkey: implications from Sr-Nd isotope geochemistry of Tertiary and Quaternary volcanics. *Geological Magazine*, 128:417–435.
- Hawkesworth, C.J., Turner, S.P., McDermott, F., Peate, D.W., Van Calsteren, P.,** 1997. U-Th isotopes in arc magmas: Implications for element transfer from the subducted crust. *Science*, 276:551–555.
- Hofmann, A.W., Jochum, K.P., Seufert, M., White, W.M.,** 1986. Nb and Pb in oceanic basalts: new constraints on mantle evolution. *Earth and Planetary Science Letters*, 79:33–45.
- Innocenti, F., Mazzuoli, R., Pasquare, G., Radicati Di Brozolo, F., Villari, L.,** 1976. Evolution of the volcanism in the area of interaction between the arabian, anatolian and iranian plates (lake Van, Eastern Turkey). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 1:103-112.
- Innocenti, F., Mazzuoli, R., Pasquar, G., Radicati Di Brozolo, F., Villari, L.,** 1982. Tertiary and

- Quaternary volcanism of the Erzurum-Kars area (Eastern Turkey): Geochronological data and geodynamic evolution. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 13:223-240.
- Irvine, T.N., Baragar, W.R.A.**, 1971. - A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8:523-548.
- Jahn, B.M., Zhang, Z.Q.**, 1984. Archean granulite gneisses from eastern Hebei Province, China: rare earth geochemistry and tectonic implications, *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 85:224-243.
- Karaoğlu, Ö., Özdemir, Y., Tolluoğlu, A.Ü., Karabıyıkoglu, M., Köse, O., Froger, J.F.**, 2005. Stratigraphy of the volcanic products around Nemrut Caldera: implications for reconstruction of the caldera formation. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 14:123-143.
- Karsh, O., Chen, B., Uysal, I., Aydın, F., Wijbrans, J.R., Kandemir, R.**, 2008. Elemental and SrNd-Pb isotopic geochemistry of the most recent Quaternary volcanism in the Erzincan Basin, eastern Turkey: framework for the evaluation of basalt-lower crust interaction. *Lithos*, 106:55-70.
- Kaygusuz, A.**, 2009. K/Ar ages and geochemistry of the collision related volcanic rocks in the Ilca (Erzurum) area, eastern Turkey. *Neues Jahrbuch für Mineralogy*, 186:21-36.
- Kaygusuz, A., Aslan, Z., Aydınçakır, E., Yücel, C., Gücer, M.A., Şen, C.**, 2018. Geochemical and Sr-Nd-Pb isotope characteristics of the Miocene to Pliocene volcanic rocks from the Kandilli (Erzurum) area, Eastern Anatolia (Turkey): Implications for magma evolution in extension-related origin. *Lithos*, 296-299:332-351.
- Keskin, M.**, 1994. Genesis of Collision-Related Volcanism on the Erzurum-Kars Plateau, NE Turkey. Doctoral thesis, University of Durham, UK, 300 pp.
- Keskin, M.**, 2003. Magma generation by slab steepening and breakoff beneath a subduction accretion complex: an alternative model for collision-related volcanism in eastern Anatolia. *Turk. Geophy. Geophysical Research Letters*, 30:8046-8050.
- Keskin, M.**, 2005. Domal uplift and volcanism in a collision zone without a mantle plume: Evidence from Eastern Anatolia. <http://www.mantleplumes.org/Anatolia.html>.
- Keskin, M.**, 2007. Eastern Anatolia: A hotspot in a collision zone without a mantle plume. In: Foulger, G.R., Jurdy, D.M. (Eds.), *Plates, Plumes, and Planetary Processes. Geological Society of America Special Paper*, 430:693-722.
- Keskin, M., Pearce, J.A., Mitchell, J.G.**, 1998. Volcano-stratigraphy and geochemistry of collision-related volcanism on the Erzurum-Kars Plateau, northeastern Turkey. *Journal of Volcanology Geothermal Research*, 85:355-404.
- Keskin, M., Pearce, J.A., Kempton, P.D., Greenwood, P.**, 2006. Magma-crust interactions and magma plumbing in a postcollisional setting: geochemical evidence from the Erzurum-Kars volcanic plateau, eastern Turkey. *Geological Society of America Special Papers*, 409:475-505.
- Kocaarslan, A., Ersoy, E.Y.**, 2018. Petrologic evolution of Miocene-Pliocene mafic volcanism in the Kangal and Gürün basins (Sivas-Malatya), central east Anatolia: Evidence for Miocene anorogenic magmas contaminated by continental crust. *Lithos*, 301-311:392-408.
- Koçyiğit, A., Yılmaz, A., Adamia, S., Kuloshvili, S.**, 2001. Neotectonics of East Anatolian plateau (Turkey) and lesser caucasus: implication for transition from thrusting to strike-slip faulting. *Geodinamica Acta*, 14:177-195.
- Koshnaw, R.I., Horton, B.K., Stockli, D.F., Barber, D.E., Tamar-Agha, M.Y., Kendall, J.J.**, 2017. Neogene shortening and exhumation of the Zagros fold-thrust belt and foreland basin in the Kurdistan region of northern Iraq. *Tectonophysics*, 694:332-355.
- Kürüm, S., Baykara, T.**, 2020. Geochemistry of Post-Collisional Yolçatı (Bingöl) Volcanic Rocks in Eastern Anatolia, Turkey. *African Earth Sciences*, 161:103653.
- Lambert, R.S J., Holland, J.G., Owen, P.F.**, 1974. Chemical petrology of a suite of calcalkaline lavas from Mt. Ararat, Turkey. *The Journal of Geology*, 82:419 - 438.
- Lebedev, V.A., Chugaev, A.V., Ünal, E., Sharkov, E.V., Keskin, M.**, 2016. Late Pleistocene Tendürek volcano (Eastern Anatolia, Turkey). II. Geochemistry and petrogenesis of the rocks. *Petrology*, 24/3:234-270.
- Le Maitre, R.W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Le Bas, M.J., ve ark.**, 1989. A classification of igneous rocks and glossary of terms. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 193 pp.
- Lin, Y.-C., Chung, S.-L., Bingöl, A.F., Yang, L., Okrostsvavidze, A., Pang, K.-N., Lee, H.-Y., Lin, T.-H.**, 2020. Diachronous initiation of post-collisional magmatism in the Arabia-Eurasia collision zone. *Lithos*, 356-357:105394.
- McDonough, W. F., Sun, S.S., Ringwood, A.E., Jagoutz, E., Hofmann, A.W.**, 1992. K, Rb and Cs in the earth and moon and the evolution of the earth's mantle. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56:1001-1012.

- McQuarrie, N., van Hinsbergen, D.J.J.,** 013. Retrodeforming the Arabia–Eurasia collision zone: Age of collision versus magnitude of continental subduction. *Geology*, 41:315–318.
- Middlemost, E.A.K.,** 1975. The basalt clan. *Earth-Science Reviews*, 11:337–364.
- Miyashiro, A.,** 1974. Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *American Journal of Science*, 274:321-355.
- MTA.,** 2002. 1/500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Erzurum, Sivas Paftaları, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Ankara.
- Neill, I., Meliksetian, Kh., Allen, M.B., Navarsardyan, G., Karapetyan, S.,** 2013. Pliocene–quaternary volcanic rocks of NW Armenia: Magmatism and lithospheric dynamics within an active orogenic plateau. *Lithos*, 180–181:200–215.
- Nielsen, R.L., Crum, J., Bourgeois, R. ve ark.,** 1994. Local diversity of MORB parent magmas: Evidence from melt inclusions in high-an feldspar from the Gorda Ridge. *Mineral Magazine*, 58A:651–652.
- Notsu K., Fujitani T., Ui T., Matsuda, J., Ercan, T.,** 1995. Geochemical features of collision-related volcanic rocks in central and eastern Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 64:171-92.
- Oyan, V.,** 2018. Ar-Ar dating and petrogenesis of the Early Miocene Taşkapaı-Mecitli (Erciş Van) granitoid, Eastern Anatolia collisional zone, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 158:210–226.
- Oyan, V., Keskin, M., Lebedev, V.A., Chugaev, A.V., Sharkov, E.V.,** 2016. Magmatic evolution of the early Pliocene Etrüsk stratovolcano, eastern Anatolian collision zone, Turkey. *Lithos*, 256–257:88–108.
- Oyan, V., Keskin, M., Lebedev, V.A., Chugaev, A.V., Sharkov, E.V., Ünal, E.,** 2017. Petrology and Geochemistry of the Quaternary Mafic Volcanism to the NE of Lake Van, Eastern Anatolian Collision Zone, Turkey. *Journal of Petrology*, 58:1701–1728.
- Özdemir, Y., Güleç, N.,** 2014. Geological and geochemical evolution of the Quaternary Süphan stratovolcano, Eastern Anatolia, Turkey: evidence for the lithosphere-asthenosphere interaction in post-collisional volcanism. *Journal of Petrology*, 55:37–62.
- Özdemir, Y., Karaoğlu, Ö., Tolluoğlu, A.Ü., Güleç, N.,** 2006. Volcanostratigraphy and petrogenesis of the Nemrut stratovolcano (East Anatolian high plateau): the most recent post-collisional volcanism in Turkey. *Chemical Geology*, 226:189–211.
- Pearce, J.A.,** 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Thorpe, R.S. (Ed.), *Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks*. John Wiley, London, 525–548.
- Pearce, J.A.,** 1983. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: Hawkesworth, C.J., Norry, M.J. (Eds.), *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*. Shiva, United Kingdom, 230–249.
- Pearce, J.A.,** 2008. Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust. *Lithos*, 100:14–48.
- Pearce, J.A., Norry, M.J.,** 1979. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y, and Nb variations in volcanic rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 69:33–47.
- Pearce, J.A., Peate, D.W.,** 1995. Tectonic implications of the composition of volcanic arc lavas. *Annual Rev. Earth and Planetary Science Letters*, 23:251–285.
- Pearce, J.A., Bender, J.F., De Long, S.E., Kidd, W.S.F., ve ark.,** 1990. Genesis of collision volcanism in eastern Anatolia Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44:189-220.
- Pearce, J. A., Stern, R. J., Bloomer, H. S., Fryer, P.,** 2005. Geochemical mapping of the Mariana arc–basin system: Implications for the nature and distribution of subduction components. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 6:1–27.
- Perugini, D., Poli, G.,** 2004. Analysis and numerical simulation of chaotic advection and chemical diffusion during magma mixing: Petrological implications. *Lithos*, 78(1-2):43–66.
- Rabayrol, F., Hart, C.J.R., Thorkelson, D.J.,** 2019. Temporal, spatial and geochemical evolution of late Cenozoic post-subduction magmatism in central and eastern Anatolia, Turkey. *Lithos*, 336-337:67-96.
- Rapp, R.P., Watson, E.B.,** 1995. Dehydration melting of metabasalt at 8–32 kbar: implications for continental growth and crust-mantle recycling. *Journal of Petrology*, 36:891–931.
- Shaw, J.E., Baker, J.A., Menzies, M.A., Thirlwall, M.F., Ibrahim, K.M.,** 2003. Petrogenesis of the largest intraplate volcanic field on the Arabian plate (Jordan): a mixing lithosphere- asthenosphere source activated by lithospheric extension. *Journal of Petrology*, 44:1657–1679.
- Sun, S., McDonough, W.F.,** 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society London Special Publications*, 42:313–345.
- Şaroğlu, F., Güner, Y.,** 1981. Doğu Anadolu'nun jeomorfolojik gelişimine etki eden öğeler: Jeomorfoloji, tektonik, volkanizma ilişkileri. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 24:39–50.
- Şaroğlu, F., Yılmaz, Y.,** 1986. Doğu Anadolu'da neotektonik dönemdeki jeolojik evrim ve havza

Araştırma makalesi/Research article
DOI: 10.29132/ijpas.814660

- modelleri. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 107:73-94.
- Şen, P.A., Temel, A., Gourga, A.,** 2004. Petrogenetic modelling of Quaternary postcollisional volcanism: a case study of central and eastern Anatolia. *Geological Magazine*, 141:81–98.
- Şengör, A.M.C.,** 1980. Türkiye'nin neotektoniğinin esasları. Türkiye Jeoloji Kurumu, Konferans Serisi, 2, Ankara, 40s.
- Şengör, A.M.C., Kidd, W.S.F.,** 1979. Post-collisional tectonics of the Turkish–Iranian plateau and a comparison with Tibet. *Tectonophysics*, 55:361–376.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y.,** 1981. Tethyan Evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75:181-241.
- Şengör, A., Özeren, S., Genç, T., Zor, E.,** 2003. East Anatolian high plateau as a mantle supported, north-south shortened domal structure. *Geophysical Research Letters*, 30(24):8045.
- Taylor, S.R., McLennan, S.M.,** 1985. The Continental Crust: Its Composition and Evolution. Blackwell Publication, Oxford.
- Thompson, R.N., Dicken, A.P., Gibson, I.L., Morrison, M.A.,** 1982. Elemental fingerprints of isotopic contamination of Hebridean Palaeocene mantle-derived magmas by Archean sial. *Contrib Mineral Petrology*, 79:159-168.
- Weaver, B. L., Tarney, J.,** 1984. Empirical approach to estimating the composition of the continental crust. *Nature*, 310:575–577.
- Wilson, M.,** 1989. Igneous Petrogenesis. A Global Tectonic Approach. Unwin Hyman Ltd., London.
- Wolf, M.B., Wyllie, P.J.,** 1994. Dehydration-melting of amphibolite at 10 kbar: The effects of temperature and time. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 115:369–383.
- Yılmaz, Y., Şaroğlu, F., Güner, Y.,** 1987. Initiation of the neomagmatism in east Anatolia. *Tectonophysics*, 134:177-199.
- Yılmaz, Y., Güner, Y., Şaroğlu, F.,** 1998. Geology of the Quaternary volcanic centers of the East Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85:173-210.