



## Üst Manto Kökenli Geç Kretase Yaşlı Elazığ Magmatik Kayaçlarının Sr-Nd İzotop Bileşimi ve Petrojenetik Özellikleri

Sevcan Kürüm<sup>1\*</sup>, Ayşe Kübra Murat<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeolojímühendisliği Bölümü, Elazığ

<sup>2</sup>Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ

\*skurum@Firat.edu.tr , a.kubra.1025@gmail.com 

Makale gönderme tarihi: 16.12.2021, Makale kabul tarihi: 19.04.2022

### Öz

Geç Kretase yaşlı Elazığ Magmatitleri, Elazığ yakın D-GD'sunda plütonik ve volkanik kayaçlarla temsil edilir. Granit/granodiyorit ve diyorit bileşimindeki plütonik kayaçlara kıyasla, çok daha geniş yayımlı olan volkanik kayaçlar, kristal ve litik tüf bileşimli piroklastik kayaçlar ile lavlardan oluşmuştur. Piroklastik kayaçlarla ardalanmalı olarak bulunan lavlar andezit, bazalt, bazaltik andezit, spilitik bazalt, dasit ve riyolit bileşimlidir. SiO<sub>2</sub> içeriğine göre, bazikten asidik bileşime kadar değişen plütonik (48.13-73.40) ve volkanik (51.47-74.84) kayaçlar, element içerikleri bakımından birbirleriyle genel olarak uyumludur. Subalkali özellikli ve büyük iyon yarıçaplı element ve hafif nadir toprak elementler bakımından farklı oranlarda zenginleşme gösteren tüm kayaçlar Nb, Ta ve Ti bakımından belirgin negatif anomali göstermeleri ile yitimle ilişkili kayaçların jeokimyasal özelliğini yansıtmaktadır. Bu kayaçlar <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr<sub>(i)</sub> (0.704170 - 0.700165) ve <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd<sub>(i)</sub> izotop (0.512669 - 0.512896) değerlerine göre tüketilmiş manto bölgesini işaret ederken, elementlerin diyagramlardaki dağılımları bu kayaçların, volkanik yay ortamında, yitim etkisi ile oluşmuş sıvılarla beraber, sediman ergiyikleri ile metasomatize edilmiş ve yitimle zenginleşmiş, litosferik kaynak kökenli ergiyikten oluştuğunu göstermektedir. Ancak tüm kayaçların değişken ergime koşulları ve farklı oranlardaki kısmı ergimelerine karşın, bu kayaçların kökeninde kabuksal kirlenmenin önemli etken olduğu görülür.

**Anahtar Kelimeler:** Elazığ Magmatitleri, kabuksal kirlenme, litosferik kaynak, Sr-Nd izotop jeokimyası, yitim zonu

## Sr-Nd Isotope Composition and Petrogenetic Properties of Upper Mantle Originated Late Cretaceous Elazığ Magmatic Rocks

### Abstract

Late Cretaceous aged Elazığ magmatites are represented by plutonic and volcanic rocks in the near E-SE of Elazığ. Compared to plutonic rocks in granite/granodiorite and diorite composition, volcanic rocks are much more widely distributed and consist of pyroclastic rocks with crystalline and lithic tuff composition and lavas. The lavas intercalated with pyroclastic rocks are composed of andesite, basalt, basaltic andesite, spilitic basalt, dacite and rhyolite. Plutonic (48.13-73.40) and volcanic (51.47-74.84) rocks, varying from basic to acidic in composition according to their SiO<sub>2</sub> content, are generally compatible with each other in terms of elemental content. All rocks are subalkaline and show enrichment at different rates in terms of large ion radius elements and light rare earth elements. These rocks show distinct negative anomalies in terms of Nb, Ta and Ti and reflect the geochemical characteristics of subduction-related rocks. While these rocks indicate the depleted mantle region according to the <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr<sub>(i)</sub> (0.704170 - 0.700165) and <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd<sub>(i)</sub> isotope values (0.512669 - 0.512896), the distributions of the elements in the diagrams indicate that these rocks are together with the liquids formed by the subduction effect in the volcanic arc environment, shows that it is composed melt of the lithospheric origin metasomatized by sediment melts and enriched by

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1037368

subduction. However, despite the variable melting conditions and partial melting of all rocks at different rates, it is seen that crustal contamination is an important factor in the origin of these rocks.

**Keywords:** Crustal contamination, Elazığ Magmatites, lithospheric source, Sr-Nd isotope geochemistry, subduction zone

## GİRİŞ

Çalışma konusunu oluşturan Elazığ Magmatitleri, Batı Tetis Orojenik Kuşağı'nın merkez segmentlerinden biri olan Anatolid-Torid Bloğu üzerinde bulunmaktadır (Okay vd., 2006). Anatolid-Torid Bloğu, Geç Kretase-Paleosen'de Kuzey Neotetis Okyanusu'nun kapanmasından sonra, Avrasya olarak adlandırılan Laurasia'nın güney aktif kenarını oluşturmaktadır (Şengör ve Yılmaz, 1981; Okay ve Tüysüz, 1999). Geç Kretase'de başlayan Güney Neotetis Okyanusu'nun kuzeye doğru yitimi, Arabistan Levhası'nın Anatolid-Torid Bloğu altına Paleojen süresince yitimi şeklinde devam etmiş (Robertson vd., 2013) ve Bitlis kenet kuşağı boyunca sonlanmıştır (Dewey vd., 1986; Robertson, 2000). Doğu Akdeniz bölgesinin yapısal evrimini oluşturan işlevlerden birisi olan, Arabistan-Avrasya kıtasal çarpışmasının Geç Eosen-Oligosen'den bu yana, olasılıkla yoğun olarak Oligosende başladığı kabul edilmektedir (Allen ve Armstrong, 2008; Karaoğlan vd., 2016; Cavazza vd., 2019). Bu çarpışma ile yitimin sonlandırıldığı, böylece Güney Neotetis okyanus levhasının dikleşmesine ve kopmasına ve/veya Orta - Doğu Anadolu'nun altındaki litosfer mantosunun delaminasyonuna yol açtığı belirtilmektedir (Keskin, 2003; 2007; Kaymakçı vd., 2010; Neill vd., 2015; Topuz vd., 2017).

Elazığ yakın D'sunda yayılım gösteren Geç Kretase yaşlı magmatitler, Perinçek (1979) tarafından doğuda Yüksekova'dan başlayıp, batıda Maraş'a kadar devam eden Yüksekova Karmaşığı'nın Elazığ bölgesindeki yayılımı olarak kabul edilmiştir. Ancak, birimin Elazığ bölgesinde genel karmaşık özelliğinden farklı olarak daha düzenli bir içyapı (litolojik özellik) oluşturduğu belirtilerek, bu bölgede Elazığ Magmatitleri olarak tanımlanmış ve benimsenmiştir (Bingöl, 1982, 1984,

1988; Turan ve Bingöl, 1991) Birim, Elazığ bölgesinde geniş yayımlı olup, lokal olarak litolojik farklılıklar gösterir. Genel olarak bazikten asidik bileşime kadar değişen plütonik kayalar yaygındır. Ayrıca bunların eşleniği olan piroklastik kayalar ile ortaç-bazik bileşimli lavlar (yastık lavlar) ve asidik-bazik bileşimli subvolkanik kayalar da bulunmaktadır. Birimin stratigrafisine de dayanarak, Neotetisin güney kolunda, okyanus içi yitim zonu üzerinde gelişen Geç Kretase yaşlı yay ürünleri olarak yorumlanması (Bingöl, 1982, 1984, Akgül, 1987; 1993; Akgül ve Bingöl, 1997; Turan vd., 1995; Bingöl ve Beyarslan, 1996; Beyarslan ve Bingöl, 1996, 2000; Beyarslan, 2005; Kürüm ve Tanyıldızı, 2017; Beyarslan ve Bingöl, 2018) genel kabul görmektedir. Ancak, Yüksekova yayının riftleşmesi ile gelişmiş yay içi volkanitler ile Santoniyen'de yayın genişlemesi ve yay kabuğunun incelmeleriyle, yay ardında açılan havzada gelişmiş olduğu da önerilmektedir (Tekin vd., 2015; Ural vd., 2015). Genel olarak bu çalışmalarda bazik bileşimli kayaların toleyitik ve toleyitik-kalkalkalen geçiş karakterli, asidik intrüzif ve volkanitlerin ise kalkalkalen karakterli oldukları kabul edilmektedir.

Bu çalışma ile Elazığ yakın D'sunda yüzeyleyen ve Elazığ Magmatitlerine ait plütonik ve piroklastik kayaların petrografik ve jeokimyasal-petrolojik özellikleri belirlenmiştir. Böylece önceki çalışmalara ilave olarak, Elazığ çevresindeki bu magmatitlerin genel petrolojik özelliklerinin daha anlaşılır olması sağlanarak Elazığ çevresinde veya bölgesel ölçekte yapılacak çalışmaların yorumlanması bakımından önemli olacağı düşünülmektedir.

## Bölgesel Jeoloji

Elazığ ve çevresinin stratigrafik ve tektonik özellikleri ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır (Bingöl, 1984; Turan, 1993; Sungurlu vd., 1985;

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1037368

Özkul, 1988; Aksoy, 1993; İnceöz, 1994; Turan vd., 1995; Aksoy vd., 1996; Özkul ve Kerey, 1996; Turan ve Türkmen, 1996; Türkmen vd., 2001; Koçyiğit vd., 2003; Parlak vd., 2004; Okay, 2008; Çolak vd., 2012). Bu kapsamda çalışma alanındaki en belirgin tektonik yapıyı, Elazığ yakın G-GD'sundan geçen Doğu Anadolu Fay Zonu oluşturmaktadır (Şekil 1a). Stratigrafik olarak ise, Permo-Triyas yaşlı Keban Metamorfik kayaçlarının, kuzeyde (Keban ve Pertek) ve güneyde (Kargadağ) yer yer Elazığ Magmatitleri ile tektonik dokanak oluşturması önemli tektonik unsurlardan biridir.

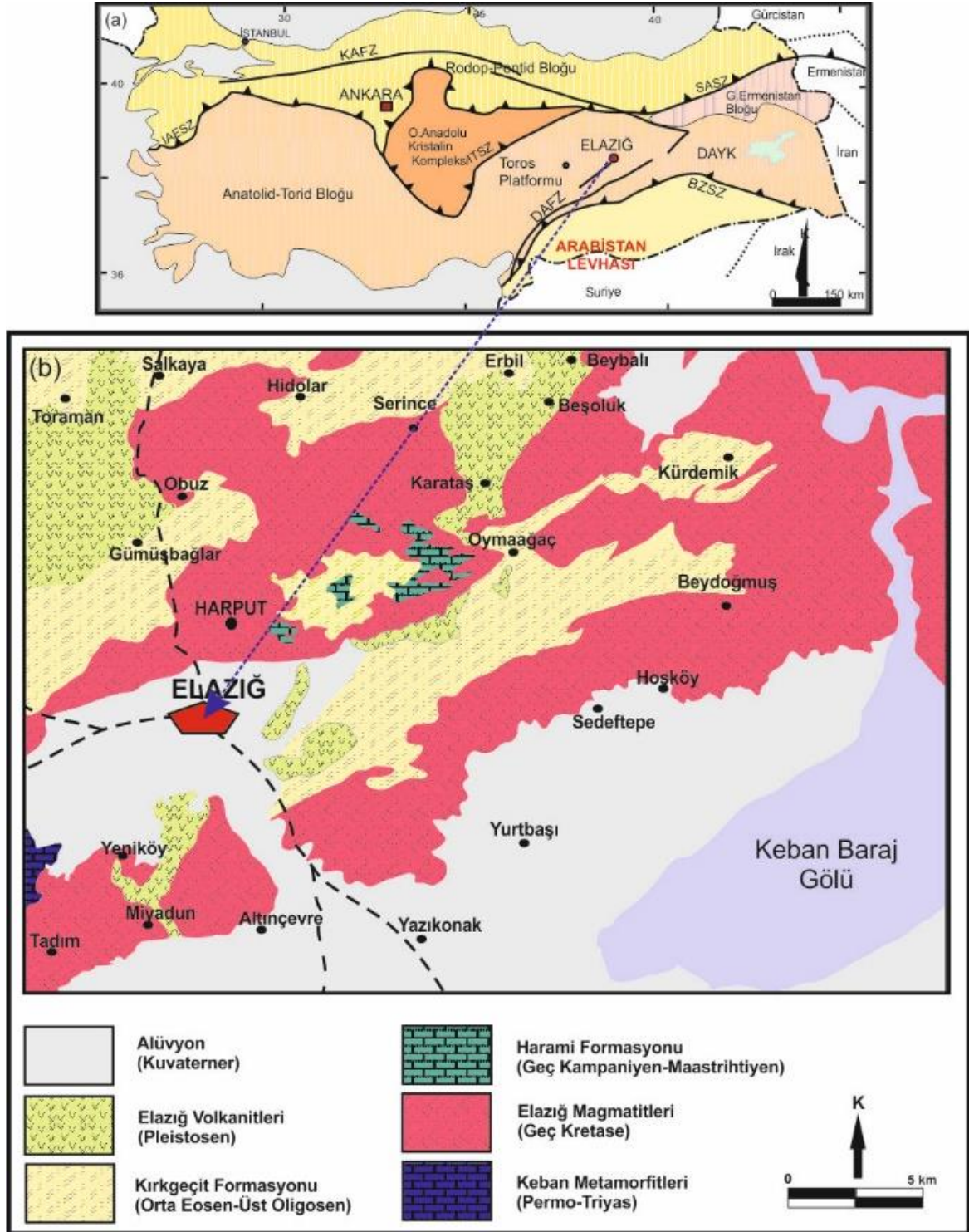
Çalışma alanında, Permo-Triyas yaşlı Keban Metamorfikleri (Özgül, 1976) stratigrafik olarak bölgedeki en yaşlı birimi oluşturmaktadır. Esas olarak şist ve mermerlerden oluşan birim (Herece ve Acar, 2016; Kaya, 2016), çalışma bölgesinde çok sınırlı bir alanda yüzeyleme vermektedir (Şekil 2b). Bölgedeki istif, Geç Kretase yaşlı Elazığ Magmatitleri ve bu birim üzerinde bulunan geç Maastrichtiyen-Orta Paleosen yaşlı (Herece ve Acar, 2016) Harami Formasyonu ve Orta Eosen-Üst Oligosen yaşlı Kırkgeçit Formasyonu (Perinçek, 1979) ile devam edip, Pleistosen (1.7-1.9 My) yaşlı (Seyrek vd., 2008; Di Giuseppe vd., 2018) Elazığ volkanitleri ile sonlanmaktadır (Şekil 1b).

Elazığ çevresinde geniş yayımlı olan Elazığ Magmatitleri ile ilgili yapılan çalışmalarda, birimin yaşının 59 - 85 my arasında geniş bir aralıkta değiştiği belirtilmektedir (Rızaoğlu vd., 2009; Kürüm, 2011; Lin vd., 2015; Beyarslan ve Bingöl, 2018). Bu geniş yaş aralığına bağlı olarak, bazik ve asidik bileşimli kayaçların (Kürüm, 2011) veya birinci ve ikinci evre olarak tanımlanan magmatizmanın (Beyarslan ve Bingöl, 2018) oluşum yaşlarının farklı olabileceği ileri sürülmektedir. Lin vd. (2015), ikinci evre kristalleşmesinin 80 ile 79 Ma arasında değişmekte olduğunu belirtirler.

Saha gözlemlerimize göre, bölgede geniş yayılım gösteren Elazığ Magmatitleri (Şekil 1b), çalışma alanında granit ve diyorit bileşimli plütonik kayaçlar ile (Şekil 2a) bazik ve andezitik bileşimli lav akıntıları ve piroklastik kayaçlar ve çok daha sınırlı olmak üzere dasit-riyolit bileşiminde bulunmaktadır. Plütonik kayaçlar içerisinde yer yer eş yaşlı mafik ve felsik magma karışımını işaret eden mafik mikrogranüler anklavlar gözlenmiştir (Şekil 2b).

Çalışma bölgesinde geniş yayımlı olan piroklastik kayaçlar ve bunlarla yer yer ardalanmalı olarak bulunan bazalt ve andezitik bileşimli lavlardan oluşan volkanik kayaçların sınır ilişkileri net değildir. Piroklastik kayaçlar, farklı boyut ve şekillerde piroklastik ile andezit-bazaltik bileşimli litik parçalardan oluşmuş volkanik breş özelliğindedir (Şekil 2c, d). Andezitik bileşimli lavlar, çok yoğun çatlaklı ve alterasyonlu, genellikle devamsız ve merceğimsi bloklar şeklinde bulunurken, bazaltik bileşimli lavlar genellikle masif yapıda daha az olarak da yastık (pillow) lavlar şeklinde bulunurlar. Genel olarak ince taneli, yoğun çatlaklı ve alterasyonlu ve dayanımsız olan yastık lavların alterasyonlanmadan dolayı günlenme yüzeyleri genellikle bordo-yeşil renkli görülmektedir (Şekil 2e). Alterasyon özelliği masif lavlarda da yaygındır. Bu nedenle genellikle topraklaşmış olarak ve yer yer de ayrışmamış bloklar/kafalar şeklinde morfoloji oluştururlar (Şekil 2f). Benzer litolojik ve morfolojik özellikler daha kahverengimsi renkte olan andezitik bileşimli kayaçlarda da görülür. Çalışma bölgesindeki asidik bileşimli kayaçlar özellikle Harput çevresinde küçük yüzeylemeler şeklinde gözlenen subvolkanik asidik kayaçlar (mikrogranit) ile temsil edilmektedir. Tüm diğer birimlerde olduğu gibi çok yoğun kırık ve çatlaklı olan kayaçların, özellikle alterasyonlanmanın yoğun

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1037368

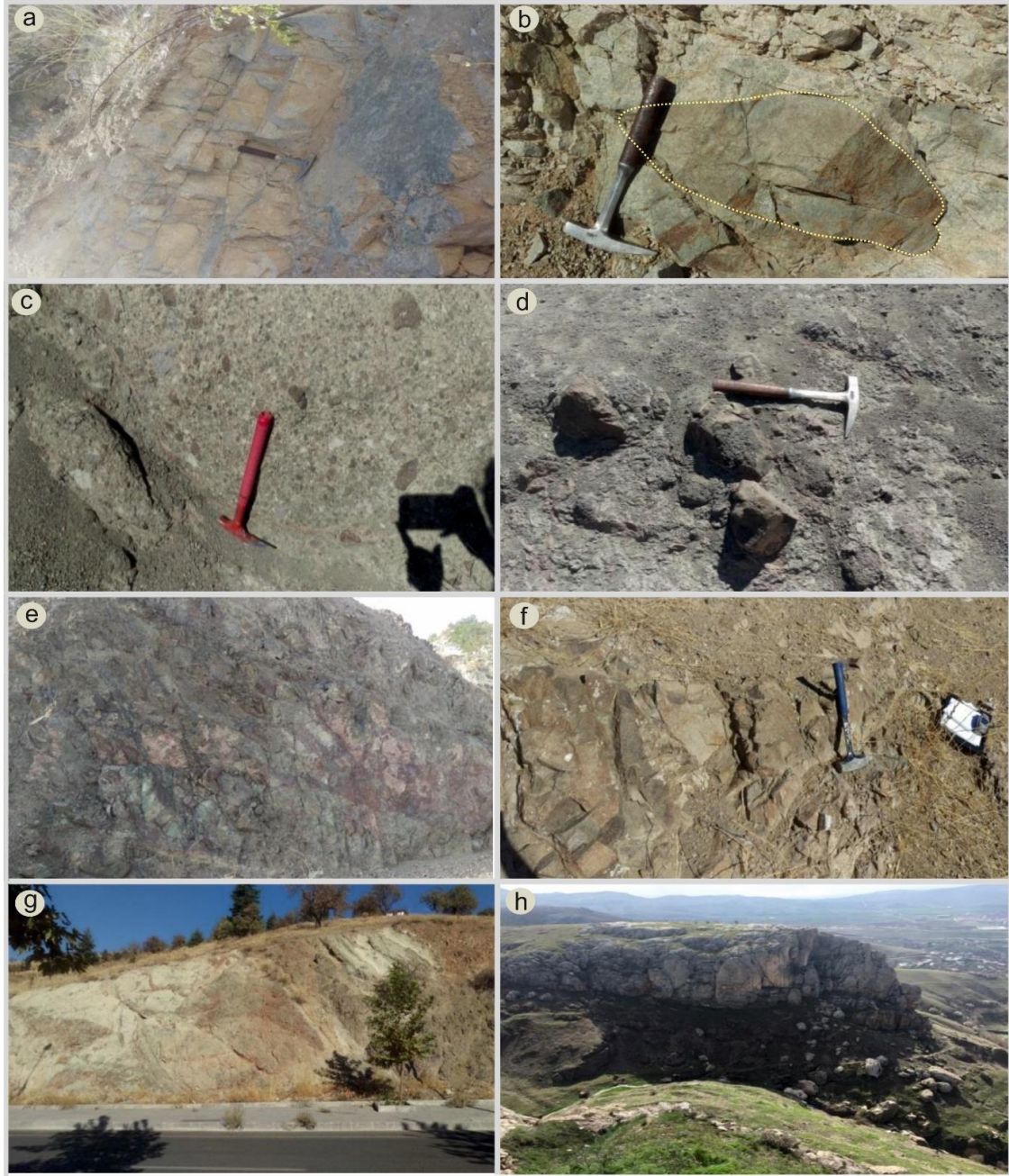


**Şekil 1.** (a) Türkiye'nin sadeleştirilmiş tektonik birimlerini gösterir harita (Okay ve Tüysüz, 1999 ve Şengör vd., 2008'den değiştirilmiştir). (b) Çalışma bölgesinin jeoloji haritası 1/100 000, K42 paftası MTA (2002)'den sadeleştirilmiştir. KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, BZSZ: Bitlis-Zagros Sütür Zonu; IAEZ: İzmir-Ankara-Erzincan Sütür Zonu, ITSZ: İç Torid Sütür Zonu, SASZ: Sevan-Akera Sütür Zonu.

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1037368

olduğu bölgelerde beyaz renkte ve toprağımsı

görünümleri dikkat çekmektedir (Şekil 2g).



**Şekil 2. (a)** Çalışma bölgesinde Bükmezra güneyinde Elazığ Magmatitlerine ait granitlerde düzenli çatlaklanma ve **(b)** plütonik kayaların içerisindeki anklavların görünümü. **(c)** Farklı boyut ve şekillerde piroklastlar ile litik parçalardan oluşmuş volkanik breş ve **(d)** Çatalçeşme Mahallesi mevkiinde andezitik bileşimli çakılların görünümü. **(e)** Hoşköyü kuzeydoğusunda günlenme yüzeyi koyu gri – bordomsu renkte olan, çok çatlaklı ve alterasyonlu bazalt-yastık lavlar ile **(f)** daha az alterasyonlu-topraklaşmamış ve kafalar şeklinde bulunan bazaltların görünümü. **(g)** Harput yol yarmasında bazik lavlarla düzensiz ilişkili ve alterasyonlu asidik sub-volkanik kayaların görünümü. **(h)** Harami Formasyonuna ait kireçtaşlarının Harput Kalesi’nden görünümü

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1037368

Elazığ Magmatikleri üzerinde bulunan geç Maastrihtiyen-Orta Paleosen yaşlı karbonatlar ve kırıntılardan oluşan (Herece ve Acar, 2016) Harami Formasyonu, Elazığ ve çevresinde geniş yüzeyleme göstermemekle beraber, bölgede en yaygın olarak Harput çevresinde görülür. Sığ şelf ortamında çökelmiş olan Harami Formasyonu, tabanda birkaç metrelik kalınlıkta olan kırmızı renkli konglomera ile başlayıp kumtaşı ve genellikle masif-kristalin kireçtaşlarıyla sonlanmaktadır. Özellikle Harput ve çevresinde Kırkgeçit Formasyonu içerisinde yaygın bir şekilde olistolitler şeklinde gözlenmektedir. Bu kireçtaşları sert ve aşınmaya karşı dayanımlı olmaları nedeniyle topoğrafyada belirli çıkıntılar oluşturmuştur (Şekil 2h).

Orta Eosen-geç Oligosen yaşlı kırıntılar ve karbonatlardan oluşan Kırkgeçit Formasyonu (Perinçek, 1979), bölgede oldukça yaygın yüzeylemeler verir (Şekil 1b). Elazığ ve çevresinde derin denizel bir ortamda çökeldiği kabul edilen birim (Turan ve Bingöl, 1991; Özkul ve Kerey, 1996; İbilioğlu, 2008), çalışma bölgesinde Yazıkonak köyü kuzeyinde, Elazığ Magmatitleri piroklastik kayaçları üzerinde yayılım göstermektedir. Bölgede bazalt, gabro, diyabaz ve sedimanter kayaç parçalarından oluşan ve boyutları değişken, genellikle yuvarlaklaşmış ve yer yer de köşeli çakıllar içeren konglomeralarla temsil edilen birimin bu özelliklerinden dolayı alttaki piroklastiklerle sınır ilişkileri yer yer çok net olarak izlenemez.

Çalışma alanındaki tüm birimler Pleyistosen (1.7-1.9 My) yaşlı ve Elazığ volkanitleri (Seyrek vd., 2008; Di Giuseppe vd., 2018) olarak tanımlanan karasal volkanitler tarafından örtülür. Bu volkanitlerin bölgede farklı çıkış merkezlerinde ve farklı patlama dinamiğinde meydana geldiği belirtilir (Kürüm vd., 2007).

## MATERYAL ve METOT

Çalışma kapsamında, araziden alınan el örneklerinden yeterli sayıda hazırlanan ince kesitler

polarizan mikroskopta ayrıntılı olarak incelenerek kayaçların petrografik özellikleri belirlenmiştir. İncelemeler sonucunda jeokimya analizleri için farklı litolojileri temsil edecek şekilde 10 örnek seçilmiş ve bu örneklerin tüm kayaç (ana, iz ve nadir toprak element) analizleri ACME Analytical Laboratuvarı'nda (Kanada) yaptırılmıştır. Ana ve iz elementler ICP, nadir toprak elementler ise ICP-MS ile analiz edilmiştir. Ana elementler % ağırlık, iz elementler ise ppm olarak ölçülmüştür.

Seçilen 4 örneğin Sr ve Nd izotop jeokimyasal ölçümleri ODTÜ Merkez Laboratuvarları (Ankara) Radyojenik İzotop Laboratuvarında, TRITON Termal İyonizasyon Kütle Spektrometresi (Thermo-Fisher) ile yapılmıştır. Bu analizlerde belirsizlikler 2 sigma düzeyindedir. İzotop analizlerinin ölçümlerinde Sr için SRM-987 ve Nd standartları için LaJolla kullanılmıştır. Bu analizler sırasında Sr NBS 987 standardı  $0.710266 \pm 10$  (n = 2) ve Nd LaJolla standardı  $0.511848 \pm 2$  (n = 2)) olarak ölçülmüştür.

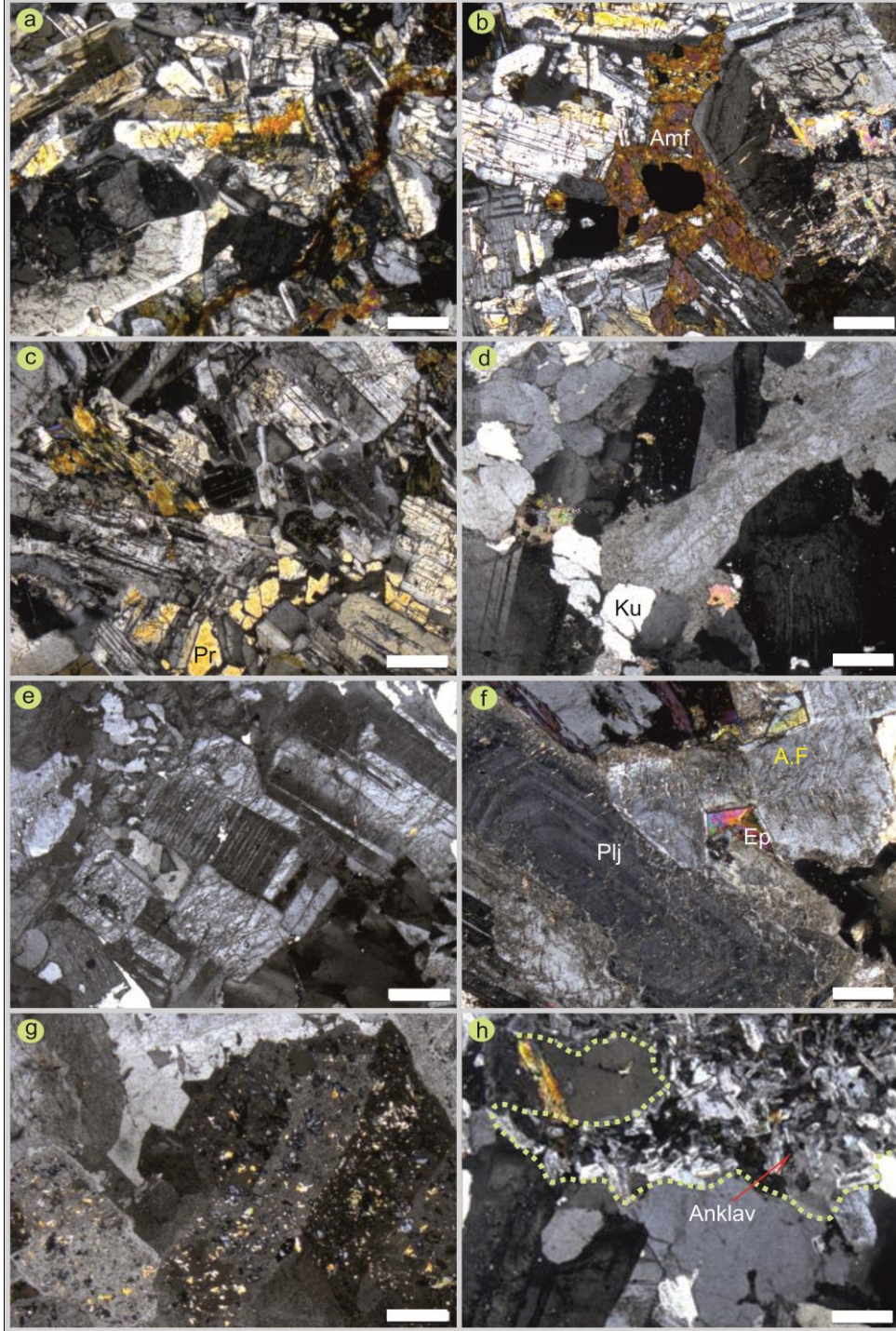
## BULGULAR

### Petrografi - Plütonik Kayaçlar

Çalışma bölgesindeki Elazığ Magmatitleri plütonik kayaçlarının granit-granodiyorit, diyorit/kuvarsdiorit bileşimde olduğu belirlenmiştir.

Her iki kayaç grubunda da arazide yer yer yoğun kırık, çatlaklar ve çatlaklar boyunca ikincil minerallerin geliştiği gözlenmiştir. Genel olarak subofitik doku gösteren diyorit/kuvarsdioritlerde plajiyoklaslar genellikle zonlanma ve ikizlenme gösterirken (Şekil 3a), sönme açılı ölçümlerine göre andezin-labrador bileşiminde oldukları belirlenmiştir. Öz şekilsiz, yeşil paleokroizmalı, yer yer kloritlemiş olan hornblendler sıklıkla opak mineral kapanımları içerirler (Şekil 3b). Kuvarslar ise öz şekilsiz ve mikrofenkristaller şeklinde bulunurlar (Şekil 3c).

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1037368



**Şekil 3.** Elazığ Magmatitleri plütonik kayalarından diyorit/ kuvarsdiyoritlerde (a) zonlanma ve ikizlenme, (b) serizitleşme gösteren plajiyoklaslar ile özşekilsiz opak mineral kapanımlı amfibol ile (c) piroksenlerin görünümü. (d) Granit-granodiyoritlerde gözlenen holokristalin-hipidyomorf taneseli doku ve kuvarsların görünümü., (e) Alkali feldispat ve kuvarsların birlikte büyümesini gösteren granofirik doku. (f) Bu kayalarda feldispatlarda gözlenen epidotlaşma. (g) Serizitleşmenin görünümü. (h) Mikrogranüler dokulu anklavın görünümü (Amf: Amfibol, Plj: Plajiyoklas, Ku: Kuvars, Af: Alkali feldispat) (Mikro-fotolardaki ölçek çizgileri 500 µm).

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1037368

Granit-granodiyoritler genellikle holokristalin-hipidiyomorf taneler dokuludur (Şekil 3d). Granitlerde alkali feldispat ve kuvarsın birlikte büyümesini gösteren granofirik doku gözlenir (Şekil 3e). Bu kayalarda genel olarak epidotlaşma, kloritleşme, killeşme ve serizitleşme gibi ikincil oluşumlar yaygındır. Plajiyoklaslar farklı boyutlu ve kristal şekilli olup, ikizlenme ve zonlanma gösterirler. Fenokristallerde alterasyonlanma bazen tüm mineralde gelişmişken bazen de mineralin dış kısımlarında daha yoğun gözlenir (Şekil 3f). Değişik boyutlarda bulunan kuvars minerallerinde ise basınç etkisini işaret eden dalgalı sönme gözlenmektedir. Bazı kuvars kristalleri de yer yer feldispat kapanımları içerirler (Şekil 3g). Kayaç içerisindeki alkali feldispatlar da genellikle farklı boyut ve şekilli, pertileşme ve sıklıkla mineral kapanımları gösterirler. Genel olarak plajiyoklaslarda olduğu gibi alkali feldispatlarda da yer yer killeşme ile birlikte serizitleşme yaygındır (Şekil 3g).

Plütonik kayalar içerisinde yaygın olmamakla beraber anklavlar bulunmaktadır. Bunlar, mafik mikrogranüler dokulu ve kuvars diyorit bileşimindedirler (Şekil 3h). Plajiyoklas, biyotit ve kuvars bileşimli olan anklavlar genellikle taşıyıcı kayaç ile uyumlu olacak şekilde alterasyonlanma göstermektedir.

### Volkanik Kayalar

Çalışma bölgesindeki Elazığ Magmatitleri volkanik kayalarının; andezit, bazalt, bazaltik andezit, spilitik bazaltlar ve dasit-riyolitlerden oluşan lavlar ile kristal tuf, litik tuf gibi piroklastik kayalardan oluştuğu belirlenmiştir.

Bazaltlar: Ana mineral bileşimini plajiyoklas, piroksen ve olivin minerallerinin oluşturduğu bu kayalarda veziküler-amigdaloidal, intersental ve porfirik doku gözlenmektedir. Kayaç genelinde yaygın olan çatlak ve boşluklarda karbonatlaşma gelişmişken (Şekil 4a), tamamen yuvarlaklaşmış gaz boşluklarında gelişen kalsit ve kenarlardaki kalsedonlar ise amigdaloidal dokuyu oluşturur (Şekil 4b). Bazaltlardaki plajiyoklaslar zonlu,

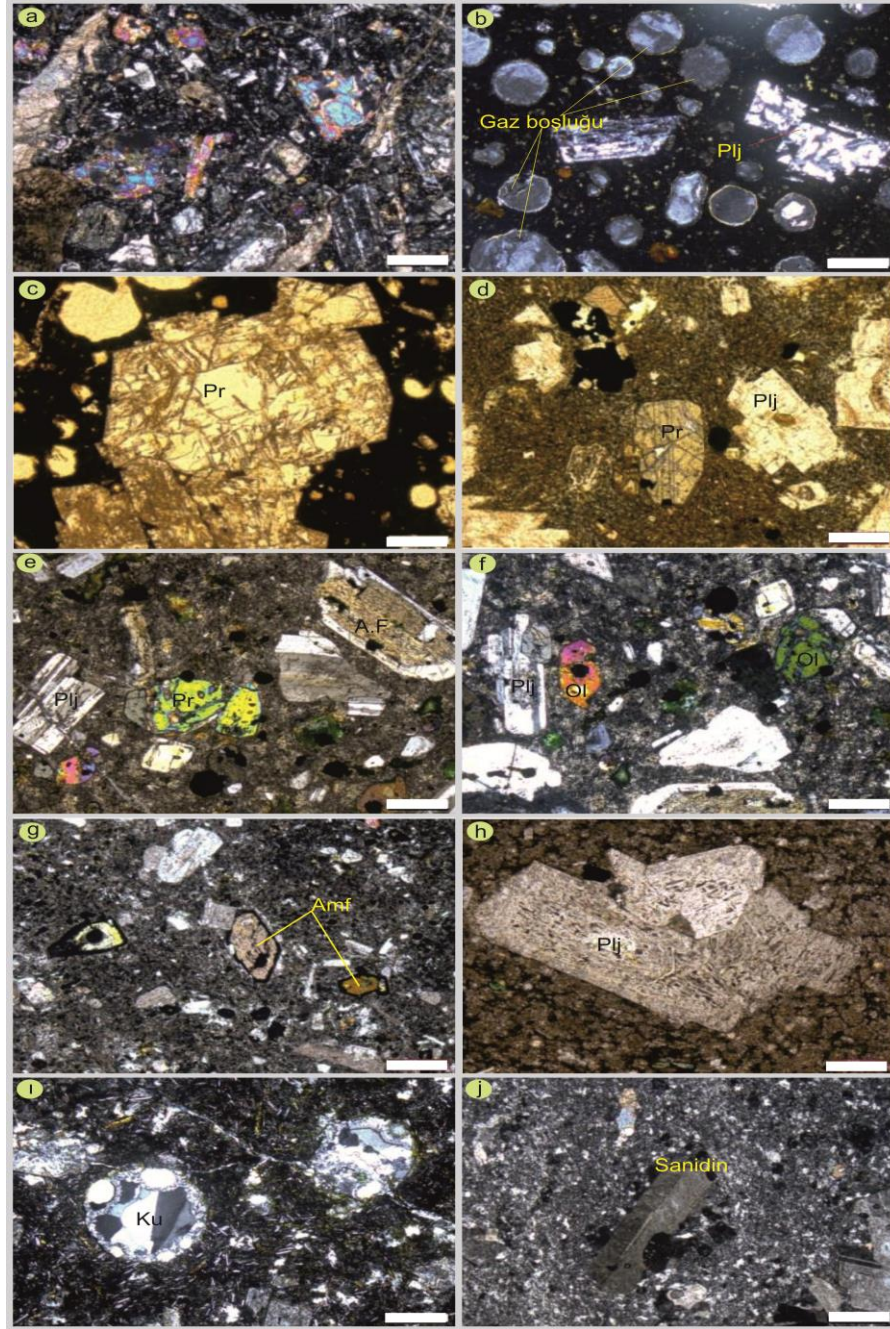
ikizlenmeli ve çatlaklıdır. Kayacın dokusal özelliklerine bağlı olarak fenokristal- mikrokristal ve uzun latalar şeklinde bulunan plajiyoklaslarda, serizitleşme ve killeşme yaygındır (Şekil 4a). Bazaltik kayaların ana mafik mineral fazını oluşturan piroksenler, canlı polarizasyon renkli, yoğun kırık ve çatlaklı, genellikle dilinimlenmeli ve bazen demir zenginleşmesine işaret eden zayıf yeşil pleokroizmalıdır. (Şekil 4c).

Andezitler: Plajiyoklas, klinopiroksen, amfibol, kuvars ve opak minerallerden oluşan andezitler, dokusal çeşitlilik bakımından da oldukça zengin olup, özellikle porfirik doku (mikrokristalin porfirik, mikrolitik porfirik ve glomeroporfirik) (Şekil 4d-f) ve amigdaler doku gösterirler. Genel olarak killeşme ve karbonatlaşma şeklinde yoğun alterasyonlanmanın gözleendiği bu kayalarda, gaz boşluklarında ikincil silis mineralleri (kalsedonlar) gelişmiştir. Bu ikincil mineraller yer yer okside olmuş şekilde bulunurlar. Andezitik bileşimli kayalardaki hamur malzemesi kayacı oluşturan fenokristallerin mikrolitik boyutlarından oluşmuştur. Bu mikrolitlerin bazen tamamen okside olmasından dolayı hamur malzemesi kahverengimsi renkte gözlenmektedir (Şekil 4d).

Plajiyoklaslar, kayacın ana fenokristal fazını oluşturur. Kayaçtaki fenokristaller içindeki bulunma çokluğu yaklaşık %70-80 arasında değişir. Minerallerin boyutları da fenokristal veya mikrofeno-kristal şeklinde değişkendir. Ancak genellikle özşekilli veya yarıözşekilli olarak bulunan plajiyoklaslar, yoğun olarak alterasyonludurlar. Özellikle killeşme bu minerallerde gözlenen en önemli alretasyonlanma iken yer yer de serizitleşme gözlenir. Genelde ikizlenmeli olan plajiyoklas fenokristalleri daha az olarak ta zonlanma gösterirler. Plajiyoklaslardaki alterasyonlanma kayaçtaki alterasyonlanma ile uyumludur. Alterasyonlanmanın sadece mineralde gözleendiği durumlarda, bazen mineral tamamen altere olmuş şekilde, bazen de alterasyon mineralin orta kısmı veya dış kısmında daha yoğun gelişmiştir (Şekil 4e). Yer yer erime çözünme yapıları gösteren



Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1037368



**Şekil 4.** (a) Elazığ Magmatitleri volkanik kayalarından bazaltlarda mineraller ve dokunun genel görünümü, (b) yuvarlaklaşmış gaz boşlukları ve camsı porfirik dokuyu oluşturan plajiyoklas fenokristalleri ile iddingsitleşmiş mikrokristalin olivin minerallerinin görünümü. (c) Bazaltlarda opaklaşmış hamur içerisinde çatlaklı, alterasyonlu ve yüksek optik engebeli piroksen fenokristali (polarize ışık). Porfirik dokulu andezitik kayalarda (d) okside olmuş hamur malzemesi ile piroksen ve plajiyoklasın polarize ışıkta görünümü. (e) Feldispat ve piroksen ile (f) olivin ve (g) özşekilli kenarlarınca opaklaşmış amfibol minerallerinin görünümü. (h) Bazaltik andezitlerde bulunan plajiyoklas mineralinde erime-çözünme dokusu ile (i) spilitik bazaltlarda gözlenen amigdaler dokuyu oluşturan yuvarlaklaşmış gaz boşluklarındaki kuvars ve kalsedon minerallerinin birlikte gelişimi. (j) Dasit-riyolitlerde gözlenen mikroporfirik doku ve sanidin fenokristali görünümü (Plj: Plajiyoklas, Olv: Olivin, Amf; Amfibol, Pr; Piroksen) (Ölçek çizgileri 500 µm).

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1037368

plajiyoklaslar, yer yer piroksen ve opak mineral kapanımları içerirler (Şekil 4e). Piroksen mineralleri farklı boyutlarda, canlı polarizasyon renkli, öz-yarıöz şekillidirler. Genellikle çatlaklı olan minerallerde tek yönde dilinimlenme ve ikizlenmeler ile bu çatlaklarda gelişen alterasyonlanma gözlenir (Şekil 4c, e). Olivinler, andezitlerde mafik mineral bileşeni olarak piroksenlerden çok daha az oranda bulunur ve değişik boyutlarda, genellikle özşekilsiz ve çatlaklıdır (Şekil 4f). Andezitlerde bulunan diğer bir mafik mineral olan amfibollerin, kayaçtaki bulunma miktarı yaklaşık %3-5 oranında olup genellikle farklı şekil ve boyutlarda bulunurlar. Kahverengi pleokroizmalı olan bu mineraller kenarları boyunca opaklaşma gösterir (Şekil 4g).

Bazaltik andezitler: Plajiyoklas, piroksen, amfibol ve kuvars ile opak minerallerden oluşmuş ve mikroporfirik, porfirik, subofitik ve amigdaler dokular gösterir. Hamur malzemesinin ana mineral bileşiminin mikritik boyutta kristallerinden oluştuğu bu kayaçlarda killeşme, karbonatlaşma, silisleşme yaygındır. Ana mineral bileşimindeki mineralojik özellikler, diğer kayaç grupları ile benzerlik göstermektedir. Ancak bu kayaçlardaki plajiyoklaslar, yoğun alterasyonlanmayla (serizitleşme, killeşme) beraber, bazen yoğun olarak mikrolitik piroksen kapanımları ve erime çözünme yapısı gösterirler (Şekil 4h).

Spilitik bazaltlar: Kayacın ana bileşenini plajiyoklas, piroksen ve oksit mineralleri oluşturur. Özellikle gaz boşluklarında ve çatlaklarda gelişen ikincil oluşumlar ile beraber kayaç porfirik, amigdaler, intersertal ve varyolitik doku göstermektedir. Fenokristal bileşimi ile aynı bileşime sahip hamur malzemesini oluşturan mineraller, dokusal özelliklere bağlı olarak farklılık göstermektedir. Özellikle plajiyoklas mineralleri mikrolit ve fenokristal olarak porfirik dokuyu oluşturmaktadır. Kayaçta bulunan gaz boşluklarında kuvars ve kalsedon oluşumlarının birlikte gelişimi görülmektedir. Genellikle tamamen yuvarlaklaşmış bu gaz boşluklarının kenarları mikrolitik kalsedon

minerali ile kaplanmışken, orta kısımlarda çok daha iri kristaller halinde kuvarslar gelişmiştir (Şekil 4i). Dasit – Riyolitler: Asidik bileşimli bu kayaçlarda genellikle porfirik ve daha az olarak sfelüritik doku gözlenmektedir (Şekil 4j). Plajiyoklas ve sanidinler hem fenokristal - mikrofeno-kristal hem de hamur malzemesini oluşturacak şekilde kayaçların ana bileşenini oluştururlar. Sanidinler tipik Karlsbat ikizlenmeli ve genel olarak özşekilli fenokristaller şeklinde bulunurken, plajiyoklaslar hamur ve fenokristal fazı olarak kayaçların ana mineral bileşenini oluştururlar (Şekil 4j). Kuvarslar ise genellikle mikrofeno-kristal ve hamur malzemesini oluşturan mikritik kristal boyutunda ve yaygın olmasa da bazı kayaçlarda çok düzgün kenarlı ve hamur malzemesi ile belirgin dokanak ilişkisi gösteren fenokristaller şeklinde bulunmaktadır.

Piroklastik kayaçlar: Bu kayaçlar kristal ve litik tüf özelliğindedir. Kristal tüfler; eş boy taneli, yuvarlaklaşmış veya köşeli kuvars kristalleri ile mikrokristalin plajiyoklas minerallerinden oluşmuştur. Kayaç genelinde ikincil silis oluşumları ve opak mineraller yaygındır. Litik tüfler ise çoğunlukla bazik bileşimli daha az oranda ise andezit bileşimli kayaç parçalarından oluşmuştur. Kayaç parçaları boyutları değişken olup, bazıları çok iri kristalli plajiyoklas ve piroksen içerirken, bazı kayaç parçaları ise çok daha ince plajiyoklas lataları ve fenokristallerinden oluşmuştur.

### Tüm Kayaç Jeokimyası

Çalışma bölgesindeki Elazığ Magmatitlerini temsilen 7 volkanik kayaç ile 3 plütonik kayaç örneğinin tüm kayaç ana, iz ve nadir toprak element analizleri yapılmış ve analiz sonuçları Tablo 1ve 2'de verilmiştir.

Analizi yapılan plütonik kayaç örneklerinin (K-37, K-38, K41) SiO<sub>2</sub> içerikleri sırasıyla %48.13, 73.4, 64.71 dir. Bu örneklerin normatif mineral bileşimleri SiO<sub>2</sub> içerikleri ile uyumlu olarak değişmektedir. Örneğin kuvars içeriği K-37 örneğinde %1.62 iken diğer iki örnekte %38.42-

**Tablo 1.** Elazığ magmatik kayaçlarının tüm-kayaç ana oksit element analizleri ve normatif mineral değerleri.

Örnek	Volkanik Kayaçlar							Plütonik Kayaçlar		
	K-1	K-14	K-17	K-21	K-22	K-33	K-35	K-37	K-38	K-41
SiO <sub>2</sub>	68.98	60.17	56.38	72.22	51.47	74.84	74.37	48.13	73.40	64.71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.53	15.28	16.54	12.52	18.47	12.44	13.60	22.01	13.68	15.50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.20	6.35	7.75	2.99	9.73	1.81	2.07	9.49	2.90	6.02
MgO	0.74	1.76	2.21	0.89	4.26	0.40	0.52	3.56	0.71	1.97
CaO	2.32	8.01	7.93	2.20	8.49	2.26	1.22	11.20	2.89	4.31
Na <sub>2</sub> O	3.77	3.74	4.14	4.29	3.02	3.36	6.39	2.50	3.82	4.46
K <sub>2</sub> O	1.59	0.45	0.68	0.80	0.76	1.78	0.13	0.42	1.24	0.26
TiO <sub>2</sub>	0.42	0.74	0.78	0.42	0.74	0.21	0.34	0.87	0.27	0.63
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.15	0.18	0.18	0.09	0.14	0.05	0.06	0.19	0.06	0.13
MnO	0.08	0.23	0.17	0.04	0.22	0.05	0.04	0.15	0.05	0.10
LOI	4.0	2.9	3.1	3.5	2.5	2.7	1.2	1.3	0.9	1.8
<b>Toplam</b>	<b>9.90</b>	<b>99.87</b>	<b>99.84</b>	<b>99.94</b>	<b>99.80</b>	<b>99.95</b>	<b>99.96</b>	<b>99.83</b>	<b>99.94</b>	<b>99.89</b>

Normatif Mineraller										
<b>Kuvars</b>	34.36	18.62	10.38	37.58	4.98	42.62	32.93	1.62	38.42	24.09
<b>Ortoklas</b>	9.40	2.66	4.02	4.73	4.49	10.52	0.77	2.48	7.33	1.54
<b>Albit</b>	31.90	31.65	35.03	36.30	25.55	28.43	54.07	21.15	32.32	37.74
<b>Anortit</b>	10.53	23.58	24.54	10.33	34.60	10.89	5.66	47.59	13.95	20.53
<b>Nefelin</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Diopsit</b>	-	12.42	11.28	-	5.41	-	-	5.52	-	-
<b>Hipersten</b>	3.94	2.70	5.37	4.07	15.20	2.24	2.51	12.84	3.81	9.03
<b>Olivin</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Magnetit</b>	4.64	9.21	11.24	4.34	14.11	2.62	3.00	13.76	4.20	8.73
<b>İlmenit</b>	0.80	1.41	1.48	0.80	1.41	0.40	0.65	1.65	0.51	1.20
<b>Apatit</b>	0.35	0.42	0.42	0.21	0.32	0.12	0.14	0.44	0.14	0.30
<b>Mg#</b>	26.82	30.50	31.11	32.06	40.95	25.93	28.50	37.28	27.95	34.14

24.09 dur. Aynı şekilde albit içeriği sırasıyla %21.15-32.32-37.74 ve anortit içerikleri ise %47.59-13.95-20.53 tür. Bu kayaçlardaki ortoklas oranı ise genellikle düşüktür (%2.48-7.33-1.54). Benzer şekilde diyopsit yalnız K37’de %5.52 oranında iken, olivin ve nefelin ise hiçbir örnekte bulunmamaktadır (Tablo 1). Bu üç plütonik kayaç örneğinin toplam alkali-silis diyagramında gabro, granodiyorit ve granit bileşiminde olduğu (Şekil 5a) ve bu sonuçların petrografik verilerle uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Analizi yapılan 7 volkanik kayaç örneğinin SiO<sub>2</sub> içeriği ise %51.47-74.84 arasında değişmektedir (Tablo 1). Bu örneklerin normatif mineral içerikleri de SiO<sub>2</sub> içerikleri ile uyumludur. Örneklerde nefelin ve olivin bulunmazken, oksit minerallerinden magnetit ve ilmenit bulunur ve örneklerin Mg# %25.93-40.95 arasında değişmektedir (Tablo 1). Bu volkanik kayaçların toplam alkali-silis (TAS) diyagramında (Le Bas vd., 1986) subalkalen özellikli bazalt, bazaltik andezit, andezit, dasit ve riyolit bileşimli olduğu (Şekil 5b) ayrıca tüm

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1037368

örneklerin ağırlıklı olarak toleyitik özellikli olduğu görülmektedir (Şekil 5c).

Çalışma konusu kayaçların, kristallenme süreçlerinin yorumlanmasına kaynaklık eden SiO<sub>2</sub>'ye karşı ana-iz element oksitlerden oluşan ikili diyagramlarda, genel olarak volkanik ve plütonik kayaçların birbirleriyle uyumlu oldukları

gözlenmektedir (Şekil 6). Bu diyagramlarda magmanın gelişimi esnasında oluşan fazların fraksiyonel kristallenmesine işaret eden, negatif (CaO, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Sr) ve pozitif (Na<sub>2</sub>O, Y, Zr) anomaliler ile beraber kabuksal kirlenme ve magma karışımını işaret eden düzensiz dağılımlar da (K<sub>2</sub>O, Ba, Nb, Rb) gözlenir.

**Tablo 2.** Elazığ magmatik kayaçlarının tüm-kayaç iz element analizleri ve bazı element oranları.

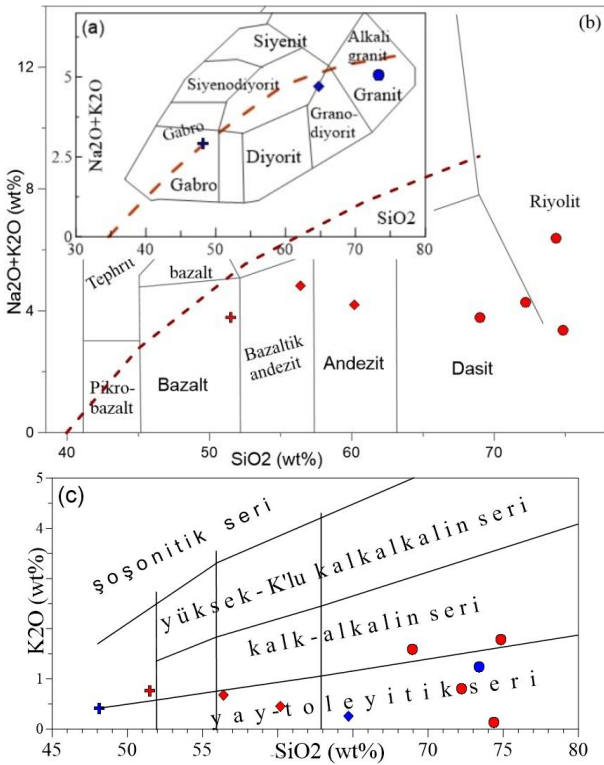
Örnek	Volkanik Kayaçlar							Plütonik Kayaçlar		
	K-1	K-14	K-17	K-21	K-22	K-33	K-35	K-37	K-38	K-41
	Dasit	Andezit	Bazaltik andezit	Riyolit	Bazalt	Riyolit	Riyolit	Gabro	Granit	Granodiyorit
SiO <sub>2</sub>	68.98	60.17	56.38	72.22	51.47	74.84	74.37	48.13	73.40	64.71
Ba	650	121	152	135	206	250	25	107	360	73
Ni	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Sc	7	21	23	7	24	4	10	23	5	14
Be	2	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1	<1
Co	3.2	11.0	18.9	4.4	25.5	1.5	3.0	20.9	3.9	9.8
Cs	0.4	0.1	0.2	<0.1	0.1	0.7	0.3	0.8	0.2	0.3
Ga	13.4	16.2	16.6	13.1	17.6	12.0	12.8	18.9	12.1	14.8
Hf	3.7	2.6	3.4	3.6	1.9	4.0	4.1	1.0	3.3	3.1
Nb	4.0	2,7	2,9	1,9	1,5	2,0	1,3	0,5	1,3	2,5
Rb	23.6	7.7	11.3	11.5	12.0	26.5	1.9	7.6	9.9	2.4
Sn	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Sr	341	294	336	181	513	127	80	378	184	227
Ta	0.3	0.2	0.2	0.1	0.05	0.2	0.05	0.5	0.1	0.2
Th	6.5	3.1	3.9	1.4	1.8	2.3	0.9	0.9	2.8	2.4
U	1.3	1.0	1.4	0.3	0.8	0.9	0.4	0.2	0.9	0.7
V	32	211	219	35	230	<8	11	253	38	103
W	<0.5	<0.5	0,7	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Zr	122.4	91.1	114	112.9	67.4	130.1	128.6	37.7	118.6	98.1
Y	20.0	20.1	29.2	27.3	20.7	26.4	31.4	11.7	11.0	34.8
La	24.0	15,3	16,8	8,5	8,3	12,2	5,7	6,2	12,6	14,6
Ce	31.3	27.4	32.2	19.4	17.8	25.9	14.5	12.4	22.6	30.7
Pr	4.62	3.47	4.22	2.83	2.37	3.39	2.2	1.61	2.65	4.05
Nd	17.4	14.2	18.2	12.4	10.9	14.2	10.9	7.7	10.0	16.7
Sm	3.34	3.24	4.18	3.32	2.69	3.23	3.4	1.92	1.86	4.18
Eu	1.08	1.02	1.3	0.95	0.98	0.84	0.89	0.87	0.65	1.0
Gd	3.49	3.48	4.54	3.96	3.47	3.48	4.3	2.1	1.82	4.96
Tb	0.56	0.57	0.75	0.71	0.6	0.63	0.8	0.36	0.28	0.86
Dy	3.34	3.65	4.56	4.67	3.49	4.21	5.33	2.06	1.74	5.48
Ho	0.7	0.81	1.04	1.09	0.85	0.97	1.26	0.47	0.36	1.25
Er	2.18	2.34	3.2	3.15	2.38	3.06	3.87	1.41	1.21	3.95
Tm	0.3	0.34	0.47	0.47	0.36	0.48	0.6	0.19	0.19	0.56
Yb	1.8	2.31	3.1	3.21	2.38	3.39	4.1	1.23	1.34	3.97
Lu	0.3	0.38	0.49	0.54	0.37	0.57	0.72	0.19	0.25	0.63
Zr/Y	1.34	1.04	2.69	1.93	1.40	1.10	2.69	2.01	1.04	0.94
Zr/Nb	30.60	33.74	39.31	59.42	44.93	65.05	98.92	75.40	91.23	39.24

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1037368

Elazığ Magmatitlerine ait volkanik ve plütonik kayaların iz elementleri ilksel manto değerlerine göre normalize edildiğinde (Sun ve MacDonough,1989) her iki kayaç örneklerinin de benzer dağılımlı olduğu görülür (Şekil 7). Plütonik kayalarda büyük iyon yarıçaplı elementler (BİYE), yüksek çekim alanlı elementlere (YÇAE) kıyasla görece olarak daha zenginleşmişken, Nb ve Ta tüm plütoniklerde, Ti elementi ise granodiyorit ve granitlerde negatif anomali göstermektedir (Şekil 7a). Nb ve Ta elementlerinde gözlenen negatif anomali, bu kayaların ana magmasının gelişiminde yitim bileşeninin etkili olduğunun işareti olarak kabul edilmektedir (Pearce, 1983). Plütonik kayalarda element dağılımları genel olarak benzer davranış göstermelerine rağmen, diyorit örneğinde Th, U, Nb, Hf ve Zr elementlerinin granitlere göre belirgin şekilde tüketilmeleri, buna karşılık Cs ve Sr

gibi BİYE'ce daha zenginleşmiş olduğu gözlenmektedir. Sr elementindeki pozitif anomali bu kayalarda plajiyoklas fraksiyonlaşmasına işaret edebilir. Volkanik kayaç örnekleri de plütonik kayalarla benzer dağılımlı olup, bu örneklerde de Nb, Ta ve Ti elementlerinde negatif anomali belirgindir (Şekil 7b). Her iki grup kayaç örneklerinde BİYE'lerde (Rb, Ba, Th, K) zenginleşme yitim sürecinde dalan levhadan ayrılan elementlerin mantoda zenginleşmesiyle açıklanmaktadır (Class vd., 2000; Elburg vd., 2002; Oyan, 2018; ). Bu örnekler Okyanus Ada Bazaltları (OAB) ile Üst Kıtasal Kabuk (ÜKK) ve Alt Kıtasal Kabuk (AKK) ortalama değerleriyle birlikte değerlendirilmiştir. Diyagramda plütonik ve volkanik kayaç örneklerinin tüm element dağılımları alt kıtasal kabuk magmatizması ile daha uyumlu olduğu görülmektedir (Şekil 7a, b).

Kondrit'e göre (Sun ve McDonough, 1989) normalleştirilmiş nadir toprak element dağılımlarında tüm örneklerin, uyumsuzluk oranına bağlı olarak, ağır nadir toprak elementlere kıyasla (ANTE), hafif nadir toprak elementlerce (HNTE) daha fazla zenginleştiği gözlenmektedir (Şekil 7c, d). Diyagramlarda her iki kayaç grubunun yönsemelerinin birbirine paralel olması bu kayaların aynı/benzer magma kaynaklı veya farklılaşma süreçlerine sahip olduğuna işaret edebilir. Ayrıca tüm kayaların alt kıtasal kabuk verileriyle çok daha uyumlu olduğu gözlenmektedir.



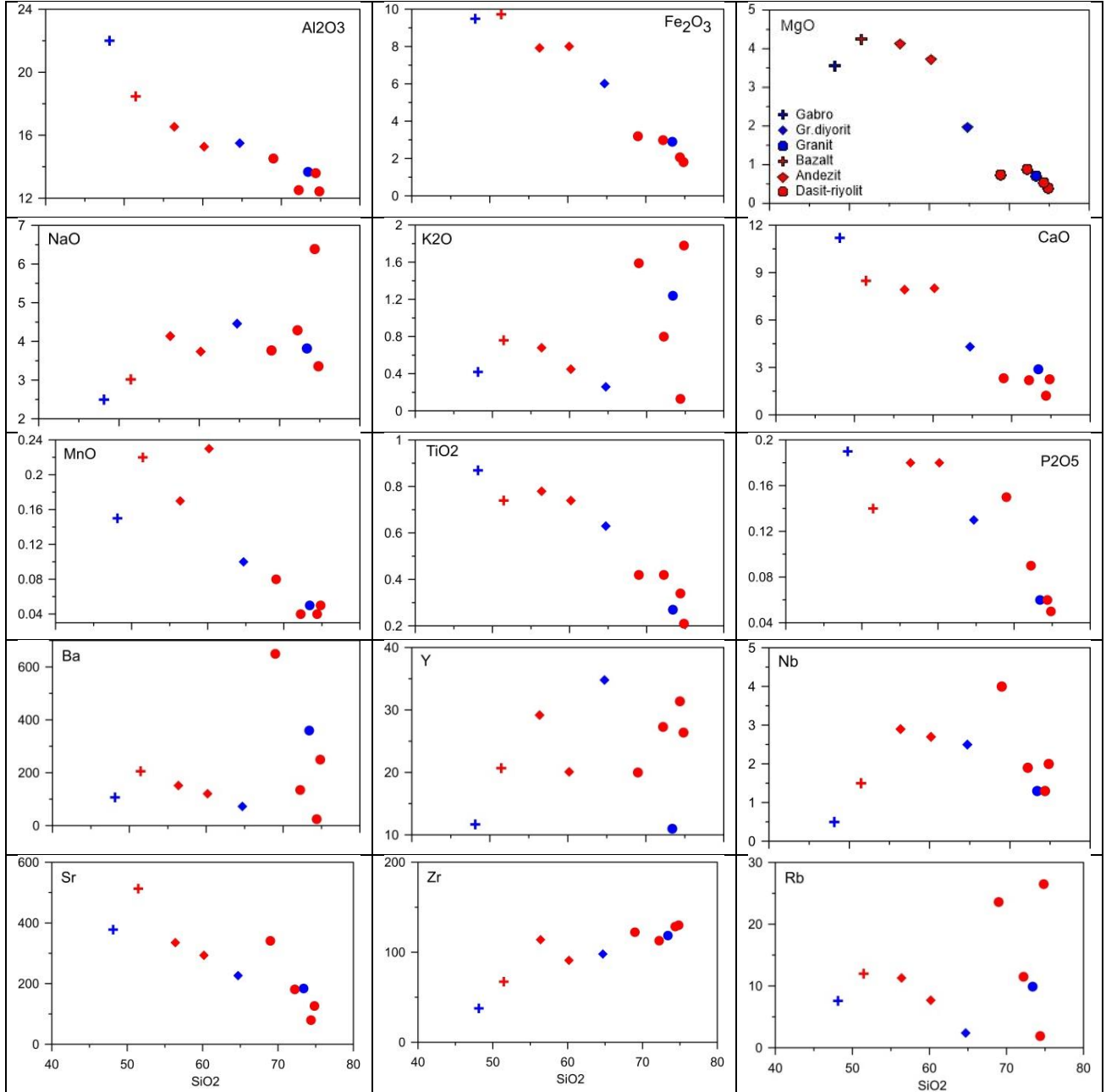
Şekil 5. Plütonik (a) (Cox vd., 1979) ve volkanik kayaların (b) toplam alkali-silis (TAS) diyagramı (Le Maitre et al., 1989) ile (c) SiO<sub>2</sub> - K<sub>2</sub>O (Peccerillo and Taylor, 1976) diyagramında sınıflandırılması. Alkali-subalkali ayrımı Miyashiro (1978)'e göre.

### İzotop Jeokimyası

İncelenen magmatitlerden 3 volkanik ve 1 plütonik kayaç örneğinde Sr-Nd izotop analizi yapılmıştır. Tablo 3'de verilen sonuçlarda görüldüğü gibi andezit, bazalt, riyolit ve granit bileşimindeki bu kayaların Nd element değerleri birbirine yakın iken, Sr element değerleri görece olarak daha farklı dağılım gösterir. Riyolit ve granit bileşiminde de bu farklılık belirgindir. İncelenen kayalar için Üst Senomaniyen-geç Maastrichtiyen yaş aralığı verildiğinden (Rızaoğlu vd., 2009; Kürüm, 2011; Lin vd., 2015; Tekin vd., 2015; Beyarslan ve

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1037368

Bingöl, 2018), ilksel Sr-Nd izotop bileşimleri 80 My düşük andezit ve 0,705165 (K22) ile en yüksek olan yaş referans alınarak hesaplanmıştır. Buna göre bazaltın izotop bileşimi arasında değişmektedir.  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}$  izotop bileşimi 0,704170 (K14) ile en

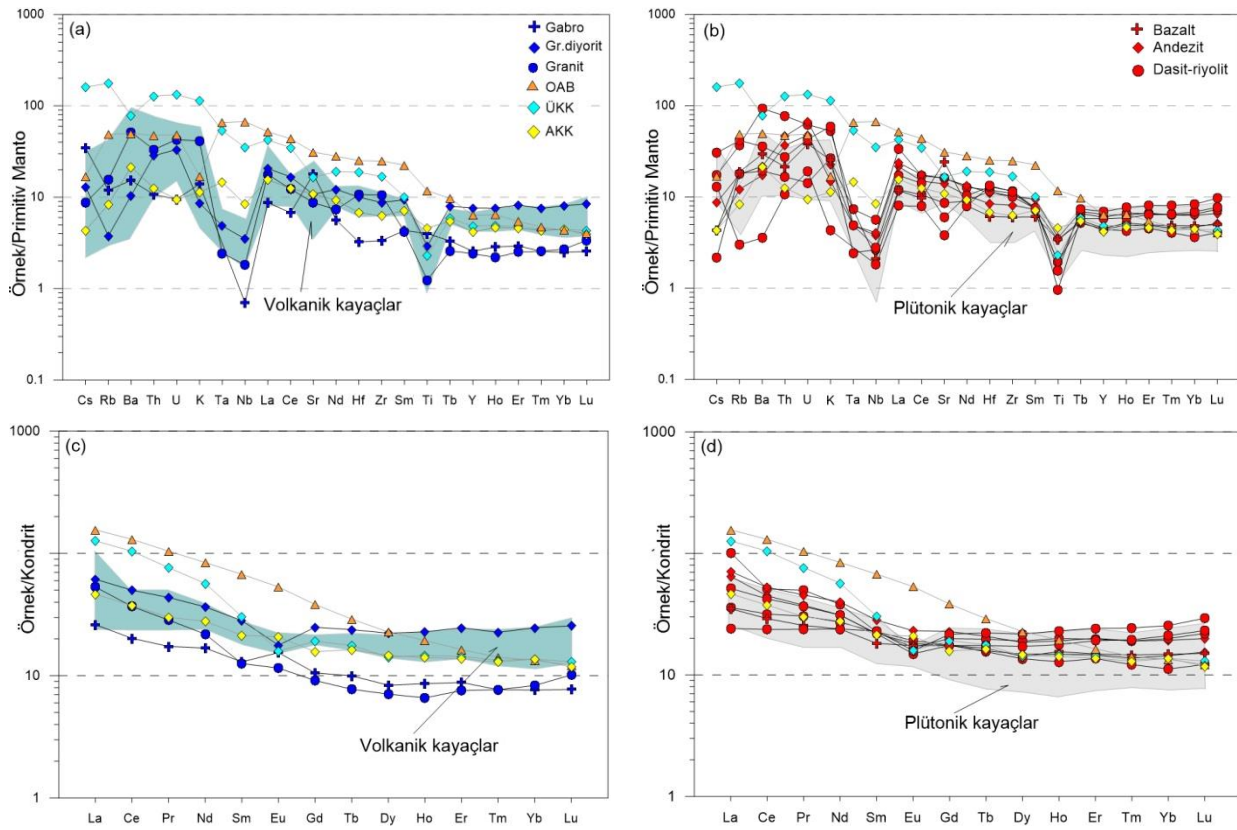


Şekil 6. Elazığ Magmatitlerine ait plütönik ve volkanik kayalara ait ana oksit ve bazı iz elementlerin SiO<sub>2</sub>'e göre değişimini gösteren Harker diyagramları.

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1037368

$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(i)}$  izotop bileşimi ise 0,512669 - 0,512896 ile sırasıyla riyoilit-bazalt (K33-K22) arasında,  $\epsilon\text{Nd}_{(80\text{ My})}$  bileşimleri ise -0.47 (andezit) – 6.24 (granit) arasında değişmektedir (Tablo 3). Sr-Nd izotop verilerinin, izotop korelasyon diyagramında (Şekil 8a) manto alanında ancak toplam yerküre alanına yakın konumlandıkları

görülmektedir. Kayaçların benzer dağılım göstermesi benzer kökeni işaret ettiği gibi magmada fraksiyonel kristalleşme devam ederken, aynı zamanda kabuksal kayaçların etkili olduğu (Taylor, 1980; De Paolo, 1981) asimilasyon-kontaminasyona da işaret etmektedir.



Şekil 7. Elazığ Magmatitleri plütonik ve volkanik kayaçlarının ilksel manto (a) ve (b) ile kondirite göre (c), (d) normalize edilmiş iz element dağılım diyagramları (normalize değerler Sun and McDonough, 1989). OAB: Okyanus ada bazaltları, ÜKK: Üst kıtasal kabuk, AKK: Alt kıtasal kabuk (Weaver and Tarney, 1984)

Tablo 3. Elazığ Magmatitlerinin Sr ve Nd izotop analiz sonuçları.

Örnek No	Kayaç	Rb (ppm)	Sr (ppm)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$	Nd (ppm)	Sm (ppm)	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_i$	$\epsilon\text{Nd}$
K14	Andezit	7.7	293.6	0.704256	0.7041697	14.2	3.24	0.512511	0.512798	-0.47
K22	Bazalt	12.0	513.1	0.705242	0.7051650	10.9	2.69	0.512654	0.512896	2.32
K33	Riyoilit	26.5	126.7	0.704965	0.7042768	14.2	3.23	0.512753	0.512669	4.25
K38	Granit	9.9	184.4	0.704562	0.7043853	10.0	1.86	0.512855	0.512855	6.24

## TARTIŞMA

### Tektonik Ortam ve Kaynak Magma

Elazığ Magmatitlerinin I-tipi, orta-yüksek-K'lu ve subalkalen karakterli olduğu (Şekil 5) ve bu kayaların köken magmalarının, yitim ile ilişki tektonik ortamların jeokimyasal özelliğini yansıttığı görülmektedir.

Önceki çalışmalarda Elazığ Magmatitleri'nin yitim ile ilişkili olarak yerleştiği belirlenmiştir (Pearce vd., 1990; Kürüm vd., 2011; Sar, 2016; Ural vd., 2015; Kürüm ve Tanyıldızı, 2017; Beyarslan ve Bingöl, 2018). Yitimle ilişkili kayaların olası kaynak magmasının oluşumunda, manto kaması veya yiten okyanus kabuğunun kısmi ergimesi (Patino Douce ve Beard, 1995; Pearce vd., 1995) ile alt kabuğun katkısının etken olduğu ileri sürülür (Pearce 1983; Pearce ve Peate 1995). Bu amaçla magma-tektonik ortamını belirlemek için plütonik kayalar için geliştirilen ayırım diyagramları kullanılmıştır (Şekil 8 ve 9). Örnekler Rb-(Y+Nb) (Pearce vd., 1984) diyagramında (Şekil 8b) volkanik yay granitoidleri alanında yoğunlaşırken, benzer dağılımı (Nb/Zr)<sub>N</sub>-Zr (Thieblemont and Tegye 1994) diyagramında da gösterirler (Şekil 8c).

Diyagramlarda örneklerin kıtasal kenar yay alanında bulunmaları bu magmatizmanın volkanik yay ile ilişkili olduğunu gösterir. Bu diyagramlarda bazı örneklerin farklı alanlarda yer alması hareketli elementlerdeki alterasyona bağlı olarak meydana gelen değişiklikten kaynaklanabilir.

Volkanik yay magmatizmasında K ve Ta arasındaki farklılığın belirleyici olduğu ve MORB'da K/Ta oranının daima yaklaşık sabit olmasına karşın, sulu bir sıvıda K'nın Ta'ya göre daha büyük hareketliliği ve buna bağlı olarak volkanik yay- bazaltlarında K'un dolayısıyla Th'un her zaman yüksek olacağı anlamına gelir (Pearce, 1982). Buna göre örneklerin Th/Yb-Ta/Yb diyagramında, çoğunlukla aktif kıta kenarı alanında yoğunlaşmasına karşın bazı örneklerin volkanik yay bazaltları alanında yoğunlaşması, ortamdaki sulu ergiyik/yitim etkisine işaret etmektedir (Şekil 8d).

Ancak magmatizmanın aktif bir kıta kenarında volkanik bir yayda oluştuğuna dair jeolojik veriler Gorton ve Shandl (2000) ve Pearce (1983) uyumsuz element diyagramlarında da gözlenir (Şekil 8e, f).

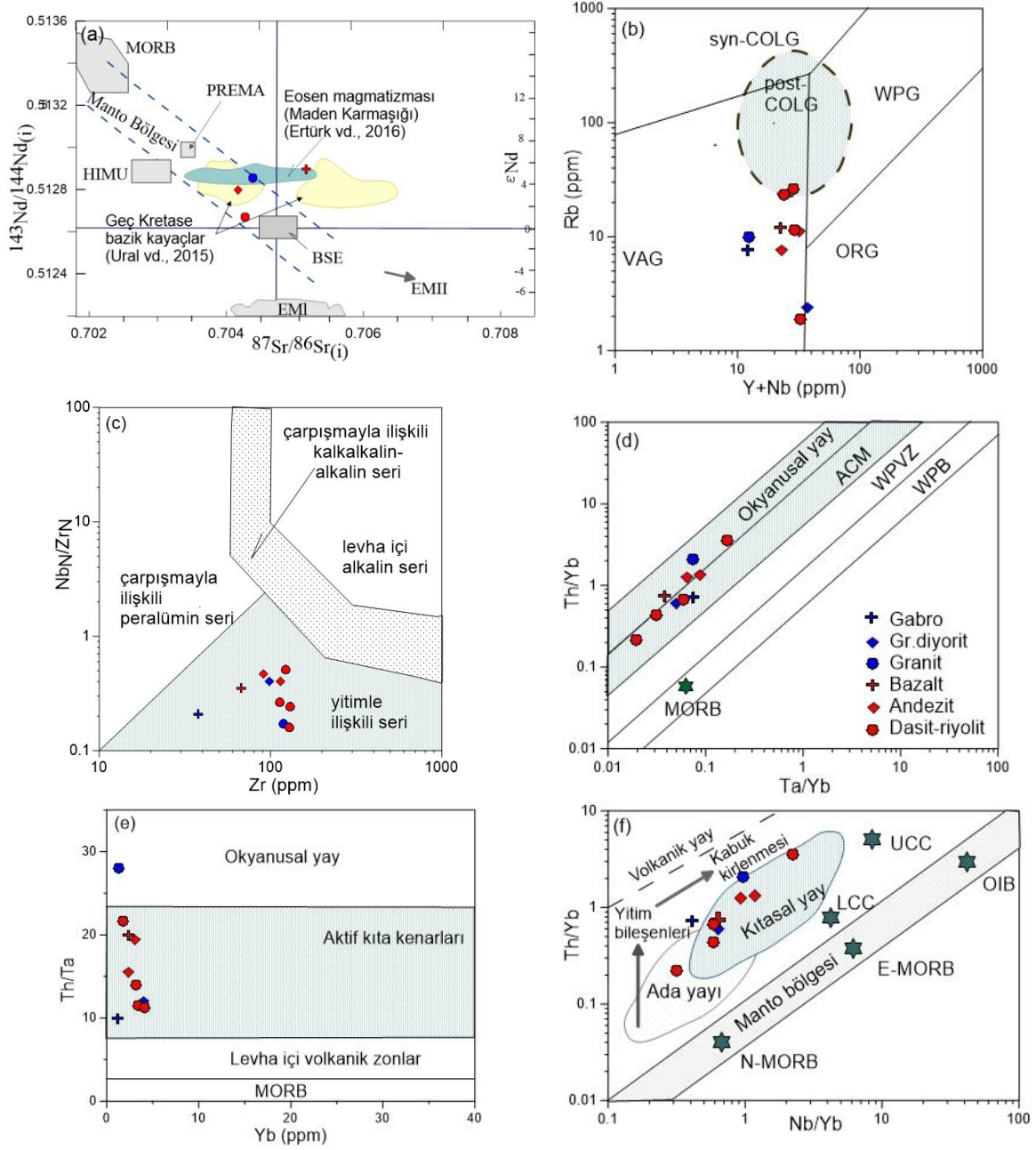
Bu veriler aynı zamanda Nb, Ta ve Ti'nin negatif anomalilerinin gözlemlendiği ve yitim süreçleriyle ilgili aktif kıta kenarlarında oluşan magmatizma için tipik olduğu kabul edilen çoklu element diyagramları ile tutarlıdır (Wilson, 1989; Rollinson, 1993) (Şekil 7).

Ancak yitim bileşenlerinin manto kaynak alanlarına eklenme süreçlerinde, yiten altere okyanusal kabukla beraber (Tatsumi vd., 1986; Hawkesworth vd., 1997; Turner, 2002) okyanus tabanı çökelleri veya bunlardan türeyen akışkanlar birinci derecede önemlidir (Class vd., 2000; Elburg vd., 2002; Elliott vd., 1997; Hawkesworth vd., 1997). Dolayısıyla bu mekanizmalarla zenginleşmiş kayaktan oluşan kayaların jeokimyasal verilerinde yukarıda belirtildiği gibi farklılık oluşacaktır (Hawkesworth vd., 1997; Class vd., 2000).

Magmatik kayalarda kaynak bölgesi-magmasının saptanmasında da diğer çalışmalarda olduğu gibi element ve element oranlarından yararlanılır. Yay magmatizmasının en karakteristik özelliklerinden biri olarak kabul edilen yüksek BİYE/YÇAE oranları Rb, Sr, Ba, U ve Pb gibi uyumsuz iz elementlerin, dalan levhadaki sulu akışkanlardaki hareketliliğinden kaynaklanmaktadır. Örneğin Th elementi okyanus tabanı çökelleri veya altere okyanus kabuğunun ergimesi ile hareketli davranırken, Ba elementi bunlardan açığa çıkan akışkanlarda hareketli davranıp zenginleşmektedir (Oyan, 2018). Benzer şekilde, dalan levhadaki derin deniz çökellerinin erimesiyle oluşan ergiyikler kaynak mantoda yüksek HNTE konsantrasyonlarına neden olur. Bu nedenle, yay magmalarının kaynağının dalan okyanusal levhadan salınan sıvılar/ergiyikler ile ilgili metasomatizması, kaynağın yüksek Ba/Th, Ba/La, Sr/Nd ve U/Th oranlarına sahip olmasına neden olur (Oyan vd., 2017). Yb elementi her iki koşulda da hareketsiz



Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1037368



**Şekil 8.** Örneklerin (a) izotop korelasyon diyagramı (Zindler ve Hart, 1986) ve (b) Rb - (Y+Nb) (Harris vd., 1986), (c)  $(Nb/Zr)_N - Zr$  (Thieblemont ve Tegye, 1994), (d) Th/Yb-Ta/Yb (Feng vd., 2017), (e) Th/Ta-Yb (Gorton ve Schandl, 2000; MORB konumu Pearce, 1983), (f) Th/Yb- Nb/Yb (Pearce, 1983) uyumsuz elementlerin diyagramlarında dağılımları. (MORB: Okyanus Ortası Sırt Bazaltları, BSE: Toplam Yerküre, DM: Tüketilmiş Manto, EMI- EMII: Zenginleşmiş Manto, HIMU: yüksek U /Pb oranına (yüksek  $\mu$  değerine) sahip manto, PREMA: Yaygın Manto bileşimi, WPG: Levha İçi Granitoidler, VAG: Volkanik Yay Granitoidleri, ORG: Okyanus Sırt Granitoidleri, Syn-Post-COLG: çarpışma ile eş yaşlı-çarpışma sonrası granitoidler, ACM: Aktif Kıta Kenarı, WPVZ: Levha İçi Volkanik Zon, WPB: Levha İçi Bazaltlar, UCC-LCC: Üst-Alt Kıtasal Kabuk, OIB: Okyanus Ada Bazaltları).

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1037368

davranacağından dolayı, yüksek Ba/Yb oranları akışkanlarla zenginleşme veya metasomatizma süreçlerine işaret ederken, yüksek Th/Yb oranları ise derin deniz çökel ergimeleri ile zenginleşme süreçlerine işaret eder (Oyan vd., 2017). Her iki değer de düşük olduğu durumlar ise, altere okyanus kabuğunun ergimesi (Tatsumi vd., 1986; Hawkesworth vd., 1997) veya bunlardan açığa çıkan akışkanlar ile metasomatizma süreçlerini yansıtabilir (Oyan vd., 2017). Belirtilen bu element oranlarından yararlanılarak oluşturulan diyagramlar ile magmatik kayaların kaynağının zenginleşmesine neden olan bileşenler belirlenmeye çalışılmaktadır. Bu amaçla oluşturulan diyagramlarda (Şekil 9a-c), aktif kıta kenarı ürünü olan çalışma alanındaki kayaların Th/Yb ve Th/Ta oranlarına göre, kabuksal kirlenmeyle beraber esas olarak yitim zonu bileşenleriyle zenginleştirilmiş litosferik manto kaynaklı olduğu görülmektedir.

Litosferik kaynaklı kayaların ayırt edilmesinde önemli rol oynayan düşük Nb/La oranının, kıta içi zenginleşmenin yüksek olmasının işareti olarak kabul edilir (Huang vd., 2000). Buna göre Nb/La-La/Yb diyagramında (Şekil 9a) örneklerin astenosferden uzak, litosferik manto alanında yoğunlaştığı görülür. Ancak, çalışma konusu kayaların sadece üst manto kaynağının kısmi ergimesiyle oluşabileceği modeli, örneklerin tüketilmiş manto ve kıtasal kabuk etkisini veren jeokimyasal-izotop verileriyle uygunluk göstermez (Şekil 8). Çalışılan örneklerin düşük MgO (%0,4 – 4,26) ve nispeten yüksek Na<sub>2</sub>O (%2,5-6,39) içerikleri, ilksel alt kıtasal kabuğun kısmi ergimesiyle ilgili yapılan deneysel çalışmalarda (Wolf ve Wyllie 1994, Rapp ve Watson 1995) öne sürülen verilerle [düşük Mg# (~44) ve yüksek Na<sub>2</sub>O içeriği (~%4.3)] uygunluk gösterir. Düşük SiO<sub>2</sub>'li (<%58) ürünlere sahip bu magmanın, alt kıtasal kabuktaki metabazaltların dehidratasyon ergimeleriyle oluştuğu belirtilir (Wolf ve Wyllie 1994, Rapp ve Watson 1995). Buna göre bu çalışmada analizi yapılan örneklerin özellikle MgO (%0,4 – 4,26) ve Na<sub>2</sub>O (%2,5-6,39) içeriğinin bu koşullara uyması kaynaktan kabuksal bir girdinin

varlığına işaret eder. Benzer şekilde, Th/U oranının Th ve U'a göre değişimleri kullanılarak oluşturulan diyagramlarda, çalışma alanındaki kayaların kaynağının zenginleşmesine neden olan bileşenler belirlenmeye çalışılmıştır (Şekil 9b, c). Diyagramlarda örneklerin büyük çoğunlukla N-MORB kaynaklı ve alt kıtasal kabuğa yakın ergime ürünleri ile benzerlik göstermesi, kaynak magmanın zenginleşmesini işaret etmektedir.

### Kısmi Ergime

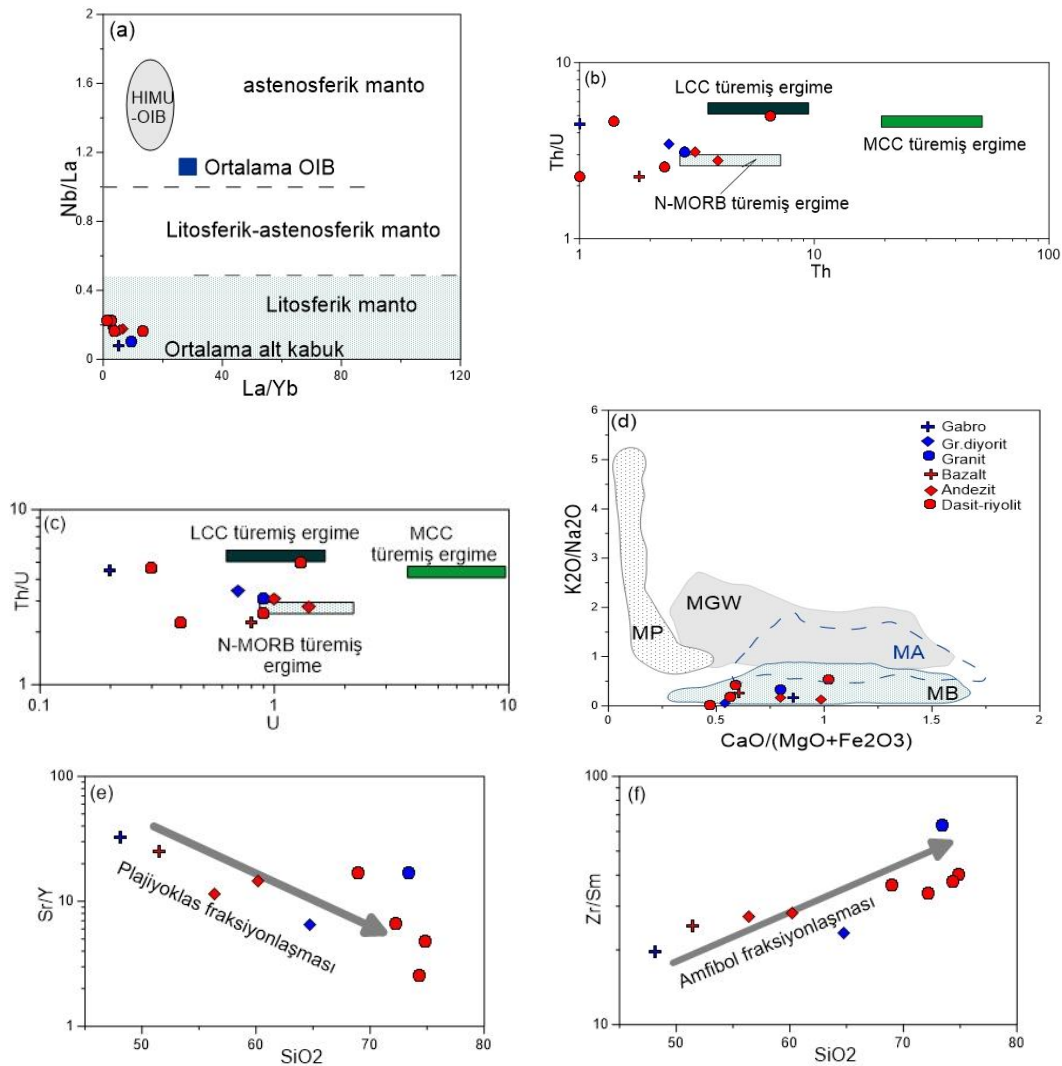
Nadir toprak elementler arasındaki ilişkilerin kullanıldığı kısmi ergime matematiksel modellemeleri ile kaynak mantının malzemesi belirlenebilmektedir (Lebedev vd., 2016b). Genel olarak, granat peridotit fasiyesinden elde edilen magmalar, spinel fasiyesine göre daha yüksek La/Yb oranı ve daha düşük erime fraksiyonlarına sahip olacaktır (Shaw vd., 2003). Benzer olarak, ergiyikte orta NTE'lerin (Sm) ağır NTE'lere (Yb) kıyasla zenginleşmesi, magma oluşum sürecinde kalıntı faz olarak granatın korunmasına bağlı olarak, kısmi ergime derecesi azaldıkça, Sm/Yb oranı artacaktır. Duraylı iz element içerikleri de bu sürecin belirlenmesinde önemli katkı sunmaktadır. Örneğin Rb/Sr'a karşı Rb/Ba'un düzgün doğrusal yönelimleri kısmi ergime belirteci olarak kabul edilirken (Patino Douce ve Johnston, 1991), Zr'un Y ve Nb ile olan ilişkisi de kısmi ergime derecesini belirtir. Yüksek Zr/Y ve düşük Zr/Nb oranlarının genel olarak düşük derecedeki kısmi ergimeye, düşük Zr/Y ile yüksek Zr/Nb oranının ise yüksek derecedeki kısmi ergimeye işaret ettiği kabul edilmektedir (Menzies ve Kyle, 1990). Buna göre bu çalışmada analizleri yapılan örneklerin düşük Zr/Y (2,82- 10,78) ve yüksek Zr/Nb (30,6-91,23) oranları ile yüksek kısmi ergime derecesine işaret ettiği söylenebilir (Tablo 2).

Magma bileşimindeki farklılıklar, farklı bileşimlerdeki (amfibolit, tonalitik gnays, metagrovak ve metapelit) kaynak kayaların değişken ergime koşulları ve farklı oranlardaki kısmi ergimeler sonucu oluşabilmektedir (Rapp ve Watson, 1995). Deneysel çalışmalarla ana element oksitlerin oranları kullanılarak, susuz ergime

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1037368

koşullarında farklı bileşimdeki kayaçların, kısmi ergime bileşimlerini gösteren diyagramlar oluşturulmuştur (Kaygusuz vd., 2013). Çalışmalarda mafik kaynak kayaçların kısmi ergimeleri sonucunda, metapelitlere oranla daha düşük  $K_2O/Na_2O$  ve  $Al_2O_3/(MgO+FeO^I)$  ile daha yüksek  $CaO/(MgO+FeO^I)$  oranlara sahip olduğu belirlenmiştir. Felsik kayaçlardan türeyen kısmi ergime de ise metagrovaklara nazaran daha düşük

$Al_2O_3/(MgO+Fe_2O_3)$  ve  $CaO/(MgO+Fe_2O_3)$  oranları gözlenir. Buna göre çalışma konusu kayaçlarda gözlenen düşük  $K_2O/Na_2O$  oranına karşın daha yüksek  $CaO/(MgO+Fe_2O_3)$  içerikleri (Şekil 9d) değişken ergime koşulları ve farklı oranlardaki kısmi ergimelere karşın bu kayaçların kökeninde bazik bileşimli kayaçların önemli etken olduğuna işaret etmektedir.



**Şekil 9.** (a) Nb/La-La/Yb (Jahn vd., 1999) (b) Th/U- Th, (c) Th/U-U diyagramı. (d) Kayaçların kaynak kayaç bileşimlerini gösteren  $K_2O/Na_2O$  -  $CaO/(MgO+Fe_2O_3)$  diyagramında dağılımları (Kaygusuz vd., 2013). Kayaçlarda plajiyoklas (e) ve amfibollerin (f) fraksiyonlaşma fazlarını gösteren diyagram. HIMU: Yüksek U/Pb oranına sahip manto, MORB: Okyanus Ortası Sırtı Bazaltı, OIB-OAB: Okyanus Adası Bazaltı; LCC-MCC Alt-Orta Kıtasal Kabuk, MB; metabazaltlar, MA; metaandezitler, MGW; metagrovaklar, MP; metapelitler.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1037368

## Fraksiyonel Kristallenme, Magma Karışımı ve Asimilasyon/Kontaminasyon

Kayaçların ana ve iz elementleri arasındaki değişimlerinde gözlenen korelasyonlar bu kayaçların gelişiminde fraksiyonel kristallenmenin etkisini göstermektedir. Bu amaçla  $\text{SiO}_2$  esas alınarak çizilen ana oksit ve bazı iz element değişim diyagramlarında (Şekil 6) gözlenen trendler ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  ve Sr negatif ve  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , Y, Ba, Rb, Zr ve Nb içeriğinde pozitif), fraksiyonel kristalizasyon süreçleri ile uyumludur. Bu elementlerdeki negatif yönelimler hornblend, piroksen, apatit ve titanit minerallerinin fraksiyonlaşmasına işaret ederken pozitif korelasyon ise K.feldispat ve biyotitin fraksiyonlaşmasının önemli bir rol oynadığı kabul edilir. Ayrıca özellikle volkanik kayaçlarda gözlenen negatif Eu anaomalisi plajiyoklasların fraksiyonlaşmasına işaret eden en önemli bulgudur (Şekil 7). Yine  $\text{SiO}_2$ -Sr/Y ve  $\text{SiO}_2$ -Zr/Sm diyagramlarında da (Şekil 9e, f) plajiyoklas ve amfibolün önemli bir fraksiyonlaşma fazı oluşturduğu görülür.

Çalışma bölgesindeki plütonik kayaçlarda mafik magmatik anklavların bulunması magma karışımının işareti olarak kabul edilirken, elementlerin dağılımları ve element oranlarındaki değişimler kaynak magmanın zenginleşme veya asimilasyon/kontaminasyon süreçlerinin belirlenmesinde etkili olur. Örneğin bu kayaçlarda gözlenen yüksek BİYE ve düşük YÇAE içeriği ile NTE'lerce zenginleşmenin, dalma-batma süreci ve/veya yükselme sırasındaki kabuksal kirlenme (kontaminasyon/Asimilasyon) sonucu olduğu kabul edilmektedir. Mantodan türemiş Elazığ Magmatitleri örneklerinin yükselimi/yerleşimi sırasında kabuk tarafından da kirlenmiş magmalara işaret ettiği, bu kayaçlarda kıtasal kabuk etkisi veya zenginleşmesinin belirlenmesinde kullanılan Th elementinin dağılımına bakıldığında görülmektedir (Şekil 8d-f). Kıtasal kabukta Th elementinin yüksek içeriğine karşın Yb elementinin tüketilmiş olması ve bu nedenle yüksek Th/Yb oranı bu kayaçların kabuksal kirlenmeden etkilendiğini gösterir.

## SONUÇLAR

- Elazığ Magmatitlerine ait örneklerde yapılan petrografik çalışmalarda; plütonik kayaçların granit ve diyorit, volkanik kayaçlardan lavların andezit, bazalt, bazaltik andezit, spilitik bazalt, dasit, riyolit, piroklastik kayaçların ise kristal ve litik tüf bileşiminde olduğu belirlenmiştir. Genel olarak holokristalin, subofitik, granofirik, porfirik ve amigdaler dokular gözleendiği bu kayaçların yoğun alterasyona uğradığı belirlenmiştir.

-Jeokimyasal verilerde kayaçların genel olarak subalkalin özellikli ve plütonik kayaçların düşük-K'lu toleyitik, volkanik kayaçların ise orta-K'lu kalkalkalen özelliktedir.

-İncelenen kayaçların ana element oksitlerinin  $\text{SiO}_2$  ile olan Harker değişim diyagramlarında, volkanik ve plütonik kayaçların genel olarak birbirleriyle uyumlu oldukları ve  $\text{SiO}_2$  ile  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$  ve  $\text{P}_2\text{O}_5$  arasında negatif korelasyon gözlenirken  $\text{Na}_2\text{O}$  ve  $\text{K}_2\text{O}$  ile pozitif korelasyonludur. Benzer olarak iz elementlerin  $\text{SiO}_2$  ile olan değişimlerinde, her iki kayaç grubunda da Sr negatif Y, Ba, Rb, Zr ve Nb pozitif dağılım göstermektedir.

-İlksel mantoya normalize edilmiş diyagramlarda, tüm kayaç örneklerinin element davranışları, bu kayaçların yitim sürecinde dalan levhadan ayrılan elementler bakımından zenginleşmiş olabileceğini düşündürmektedir. Yine bu verilerle beraber kondrite normalleştirilme diyagramlarında, plütonik ve volkanik kayaç örneklerinin alt kıtasal kabuk magmatizması ile uyumlu olduğu görülmüştür.

-Jeokimyasal verilere göre tüm kayaçların volkanik yay ortamında olduğu ve bu kayaçları oluşturan magma kaynağının zenginleşmesine neden olan bileşenlerin, yitim zonu bileşenleriyle zenginleştirilmiş litosferik manto kaynaklı ve kabuksal kirlenmeden etkilendiği söylenebilir. Ayrıca bu kayaçların, farklı element oranları ile oluşturulan diyagramlardaki dağılımları, yitim etkisi ile oluşmuş sıvılarla beraber, sediman ergiyikleri ile metasomatize edilmiş bir manto kaynağından türediğine işaret eder. Yine bu veriler, değişken

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1037368

ergime koşulları ve farklı oranlardaki kısmi ergimelere karşın, bu kayaçların kökeninde bazik bileşimli kayaçların önemli etken olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, Elazığ Magmatitleri plütonik ve volkanik kayaçları ile ilgili bu çalışmada, plütonik ve volkanik kayaçların ana ve iz element verilerinin benzer özellikli olduğu dolayısıyla bu kayaçları oluşturan magmatizmanın aynı/benzer kaynak ve süreçlerden etkilenmiş olabileceği söylenebilir.

### TEŞEKKÜR

Kübra Yüksel'in "Yüksek Lisans Tez" çalışması olarak yürütülen bu çalışma "FÜBAP-MF.18.36" protokol numaralı proje ile desteklenmiştir. Yazarlar, bu amaçla destek sağlayan Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine (FÜBAP) teşekkür ederler.

### ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar, bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemektedir.

### ARAŞTIRMA ve YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazarlar, bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan ederler.

### KAYNAKLAR

- Akgül, B., 1993. Piran köyü (Keban) çevresindeki magmatik kayaçların petrografik ve petrolojik özellikleri. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Akgül, M., 1987. Baskil (Elazığ) Granitoidinin petrografik ve petrolojik incelenmesi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Akgül, B. ve Bingöl, A. F., 1997. Piran (Keban) köyü çevresindeki magmatik kayaçların petrografik ve petrolojik özellikleri. Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi.
- Aksoy, E., 1993. Elazığ batı ve güneyinin genel jeolojik özellikleri. Turkish Journal of Earth Sciences, 2, 113-123.
- Aksoy, E., Turan, M., Türkmen, İ., ve Özkul, M., 1996. Elazığ havzasının Tersiyer'deki evrimi.

- KTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 30. Yıl Sempozyumu Bildirileri, Trabzon, 293-310.
- Allen, M. ve Armstrong, H.A., 2008. Arabia-Eurasia collision and the forcing of Mid-Cenozoic global cooling. Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology, 265(1), 52-58.
- Beyarslan, M., 2005. The Upper Cretaceous Ophiolites and Magmatic Arc Rocks in the Eastern Taurus, Turkey, Geological Society of India. 66, 323-333.
- Beyarslan, M. ve Bingöl, A.F., 2018. Zircon U-Pb age and geochemical constraints on the origin and tectonic implications of late cretaceous intra-oceanic arc magmatics in the Southeast Anatolian Orogenic Belt (SE-Turkey). Journal of African Earth Sciences, 147, 477-497.
- Bingöl, A.F., 1982. Elazığ-Pertek-Kovancılar arası volkanik kayaçların petrolojisi. Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi Dergisi, 1, 9-21.
- Bingöl, A.F., 1984. Elazığ-Petek-Kovancılar (Doğu Toroslar) yöresinin jeoljisi. Toros Jeolojisi Uluslararası Sempozyumu, Tebliğler, 26-29 Eylül 1983, Ankara.
- Bingöl A.F., 1988. Petrographical and petrological features of intrusive rocks of Yüksekova Complex in the Elazığ Region (Eastern Taurus-Turkey). Jour. Fırat Üniversitesi Dergisi, 3(2), 1-17.
- Bingöl, A.F. ve Beyarslan, M., 1996. Elazığ magmatitlerinin jeokimyası ve petrolojisi. K.T.Ü. 30. Yıl Sempozyumu Bildiri Metinleri, 208-224.
- Cavazza, W., Albino, I., Galoyan, G., Zattin, M. ve Cattò, S., 2019 Continental accretion and incremental deformation in the thermochronologic evolution of the Lesser Caucasus. Geoscience Frontiers, 10(6), 2189-2202. doi: 10.1016/j.gsf.2019.02.007
- Class, C., Miller, D.M., Goldstein, S.L. ve Langmuir, C.H., 2000. Distinguishing melt and fluid subduction components in Umnak volcanics, Aleutian arc. Geochemistry, Geophysics, Geosystems.1
- Cox, K.G., Bell, J.D. ve Pankhurst, R.J., 1979. The interpretation of igneous rocks. George, Allen and Unwin, London.
- Çolak, S., Aksoy, E., Koçyiğit, A. ve İnceöz, M., 2012. The Palu-Uluova Strike-Slip Basin in the East Anatolian Fault System, Turkey: Its

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1037368

- Transition from the Palaeotectonic to Neotectonic Stage. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 21, 1-24.
- Dewey, J.F., Hempton, M.R., Kidd, W.S.F., Şaroğlu, F. ve Şengör, A.M.C., 1986. Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of eastern Anatolia—a collision zone, in collision tectonics. Society, Special Publications, 19, 3–36
- De Paolo, D.J., 1981. Trace element and isotopic effects of combined wall rock assimilation and fractional crystallization. *Earth Planet Science Letters*, 53, 189–202.
- Di Giuseppe, P., Agostini, S., Savaşçın, M.Y., Manetti, P. ve Conticelli, S., 2018. Sub-lithospheric origin of Na-alkaline and calc-alkaline magmas in a post-collisional tectonic regime: Sr–Nd–Pb isotopes in recent monogenetic volcanism of Cappadocia, Central Turkey. *Lithos*, 316–317, 304–322. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2018.07.018>
- Elburg, M.A., Leeuwen, T.V. ve Foden, J., 2002. Origin of Geochemical Variability by Arc–Continent Collision in the Biru Area, Southern Sulawesi (Indonesia). *Journal of Petrology*, 43(4), 581-606.
- Elliott, T., Plank, T., Zindler, A., White, W. ve Bourdon, B., 1997. Element transport from slab to volcanic front at the Mariana arc. *Journal of Geophysical Research*, 102(7), 14991-15019.
- Feng, Z-Q., Li, W-M., Liu, Y-J., Jin, W., Wen, Q-B., Liu, B-Q., vd., 2017. Early Carboniferous tectonic evolution of the northern Heihe–Nenjiang–Hegenshan suture zone, NE China: Constraints from the mylonitized Nenjiang rhyolites and the Moguqi gabbros. *Geological Journal*, 1-17. DOI: 10.1002/gj.2940
- Gorton, M.P. ve Schandl, E.S., 2000. From continents to island arcs: A geochemical index of tectonic setting for arc-related and within-plate felsic to intermediate volcanic rocks: *Canadian Mineralogist*, 38, 1065–1073.
- Göncüoğlu, M.C., 2010. Introduction to the geology of Turkey: Geodynamic evolution of the pre-Alpine and Alpine terranes. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Yayınları.
- Hawkesworth, C. J., Turner, S., McDermott, F., Peate, D.W. ve Van Calsteren, P., 1997. U-Th Isotopes in arc magmas: implications for element transfer from the subducted crust. *Science*, 276, 551-555.
- Herece, E.İ. ve Acar, Ş., 2016. Upper Cretaceous-Tertiary geology/stratigraphy of Pertek and its vicinity (Tunceli, Turkey). *Bulletin of Mineral Research and Exploration*, 153, 1-44.
- Huang, Y., Hawkesworth, C., Smith, I., Calsteren, P. ve Black, P., 2000. Geochemistry of late Cenozoic basaltic volcanism in Northland and Coromandel, New Zealand: implications for mantle enrichment processes. *Chemical Geology*, 164, 219-238.
- İbiliöğlü, D., 2008. Elazığ havzası paleojen istifinin mikropaleontolojik (planktik foraminifer ve ostrakodlarının) incelenmesi ve ortamsal yorumu, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- İnceöz, M., 1994. Harput (Elazığ) yakın kuzeyi ve doğusunun jeolojik özellikleri. Yayımlanmamış Doktora Tezi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- 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 mafic-ultramafic intrusions of the northern Dabie complex, central China. *Chemical Geology* 157, 119–146.
- Karaoğlan, F., Parlak, O., Hejl, E., Neubauer, F. ve Klötzli, U., 2016. The temporal evolution of the active margin along the Southeast Anatolian Orogenic Belt (SE Turkey): Evidence from U–Pb, Ar–Ar and fission track chronology. *Gondwana Research*, 33, 190-208.
- Kaya, A., 2016. **Tectono-stratigraphic reconstruction of the Keban metamorphites based on new fossil findings, Eastern Turkey**
- Kaygusuz, A., Şen, C. ve Aslan, Z., 2006. Torul (Gümüşhane) volkanitlerinin petrografik ve petrolojik özellikleri (KD Türkiye); fraksiyonel kristallenme ve magma karışımına ilişkin bulgular, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 49(1), 49-82.
- Kaygusuz, A., Sipahi, F., İlbeyli, N., Arslan, M., Chen, B., Aydınçakır, E., 2013. Petrogenesis of the Late Cretaceous Turnagöl intrusion in the eastern Pontides: Implications for magma genesis in the arc setting. *Geoscience Frontiers*, 4, 423–438.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1037368

- Kaymakci, N., Inceöz, M., Ertepinar, P. ve Koç, A., 2010. Late Cretaceous to Recent kinematics of SE Anatolia (Turkey). In: Sosson, M., Kaymakci, N., Stephenson, R. A., Bergerat, F. ve Starostenko, V., (eds) Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform. Geological Society, London, Special Publications, 340, 409–435.
- 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, Turkey. *Geophysical Research Letters*, 30(24),1-4. doi.10.1029/2003GL018019.
- Keskin, M., 2007. Eastern Anatolia: a hot spot a collision zone without a mantle plume. In: Foulger, G.R., ve Jurdy, D., (eds) Plates, plumes and planetary processes. Geological Society of America, Special Papers, 430, 693-722.
- Ketin, İ., 1966. Türkiye'nin tektonik birlikleri. *Maden Tetkik Arama Dergisi*, 66, 20-34.
- Koçyiğit, A., Aksoy, E. ve Inceöz, M. 2003. Basic Neotectonic Characteristics of the Sivrice Fault Zone in the Sivrice-Palu area, East Anatolian Fault System (EAFS), Turkey. *Excursion Guide Book, International Workshop on the North Anatolian, East Anatolian and Dead Sea Fault Systems: Recent Progress in Tectonics and Palaeoseismology*, 31 August to 12 September 2003, METU (Ankara, Turkey).
- Kürüm, S., 2011. K-Ar age, geochemical, and Sr-Pb Isotopic compositions of keban magmatics, elazığ, Eastern Anatolia, Turkey. *Natural Science*, 3(9), 750-767.
- Kürüm, S., Akgül, Özbulut, E. ve Ural, M., 2007. Polijenetik bir volkanizma ve petrografik-jeokimyasal özellikleri: Harput (Elazığ) Karataş tepe volkanizması. *Yerbilimleri/Geosound*, 50-51, 47-64.
- Kürüm, S., Akgül, B., Öztüfekçi Önal, A., Boztuğ, D., Harlavan, Y. ve Ural, M., 2011. An example for arc-type granitoids along collision zones: The Pertek granitoid, Taurus Orogenic Belt, Turkey. *International Journal of Geoscience*, 2, 214-226.
- Kürüm, S. ve Tanyıldızı, Ö., 2017. Geochemical and Sr-Nd isotopic characteristics of Upper Cretaceous (calc-alkaline) and Miocene (alkaline) volcanic rocks: Elazığ, Eastern Taurides, Turkey. *Journal of African Earth Sciences*, 134, 332-344.
- Lebedev, V., Chugaev, A.V., Sharkov, E. ve Keskin, M., 2016b. Late pleistocene tendürek volcano (eastern Anatolia, Turkey). II. Geochemistry and petrogenesis of the rocks. *Petrology*, 24(3), 234–270.
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A., ve Zanettin, B., 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, 27, 745-750.
- Le Maitre, R.W., Bateman, R, Dudok, A., Keller, J., Lameyre, J., Le Bas, M J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorensen, H., Streckeisen, A., Woolcy, A.R. ve Zanettin, B., 1989. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. Blackwell, Oxford, pp.193.
- Lin, Y.C., Chung, S.L., Bingöl, A.F. ve Beyarslan, M., 2015. Petrogenesis of late Cretaceous Elazığ magmatic rocks from SE Turkey: New age and geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic constraints. *Goldschmidt*.
- Menzies, M. ve Kyle, P.R., 1990. Continental volcanism: a crust-mantle probe. In: Menzies M.A (ed.), *Continental mantle*. Clarendon Press, Oxford, 157-177.
- Miyashiro, A. 1978. Nature of alkalic volcanic rock series. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 66, 91-104.
- MTA., 2002. Geological map of Turkey: Ankara, Turkey, scale 1:500,000
- Neill, I., Meliksetian, K., Mark, M.B., Navasardyan, G. ve Kuiper, K., 2015. Petrogenesis of mafic collision zone magmatism: The Armenian sector of the Turkish–Iranian Plateau. *Chemical Geology*, 403, 24-41.
- 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, in Durand, B., Jolivet, L., Horváth, F., and Séranne, M., eds., *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen*: Geological Society of London Special Publications, 156, 475–515.
- Okay, A.I., Tüysüz, O., Satır, M., Özkan-Altın, S., Altın, D., Sherlock, S., Eren, R.H., 2006, Cretaceous and Triassic subduction-accretion, HP/LT metamorphism and continental growth in the Central Pontides, Turkey. *Geological Society of America Bulletin*, 118, 1247-1269.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1037368

- Oyan, V., 2018. Ar-Ar dating and petrogenesis of the early Miocene taşkapı-mecitli (Erciş-Van) granitoid, eastern Anatolia collisional zone, Turkey. *J. Asian Earth Sci.*, 158, 210–226.
- Oyan, V., Keskin, M., Lebedev, V.A., Chugaev, A.V., Sharkov, E.V. ve 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 (9), 1701–1728.
- Özgül, N., 1976. Torosların bazı temel jeoloji özellikleri. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 19, 65-78.
- Özkul, M., 1988. Elazığ batısında Kırkgeçit Formasyonu üzerinde sedimantolojik incelemeler. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özkul, M. ve Kerey, İ. E., 1996. Şelf, derin deniz kompleksinde fasiyes analizleri: Kırkgeçit Formasyonu (Orta Eosen-Oligosen), Baskil, Elazığ. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 5, 57-70.
- Parlak, O., Höck, V., Kozlu, H. ve Delaloye, M., 2004. Oceanic crust generation in an island arc tectonic setting, SE Anatolian Orogenic Belt (Turkey). *Geological Magazine*, 141(5), 583-603.
- Patino-Douce, A.E. ve Johnston, A.D., 1991. Phase equilibria and melt productivity in the pelitic system: implications for the origin of peraluminous granitoids and aluminous granulites. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 107, 202–218.
- Patino-Douce A. E. ve Beard J. S., 1995. Dehydration melting of biotite gneiss and quartz amphibolite from 3 to 15 Kbar. *Journal of Petrology*, 36, 707-738.
- Pearce, J.A., 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Thorps, R.S. (ed.), *Andesites*. Wiley, Chichester, 525-548.
- Pearce, J. A., 1983. Role of sub-continental lithosphere in magma genesis at active margins, in *Continental basalts and mantle xenoliths*, Hawkesworth, C. J., Norry, M. J., Nantwich, U.K., (eds.), Shiva Publishers, 230-249.
- Pearce, J.A. ve Harris, N.B.W., Tindle, A.G., 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25, 956–983.
- Pearce, J.A., Bender, J.F., DeLong, S.E., Kidd, W.S.F., Low, P.J., Güner, Y., Saroğlu, F., Yılmaz, Y., Moorbath, S. ve Mitchell, J.G., 1990. Genesis of collision volcanism in Eastern Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44, 189–229.
- Pearce, J. A., Ernewein, M., Bloomer, S. H., Parson, L. M., Murton, B. J. ve Johnson, L. E., 1995. Geochemistry of the Lau Basin volcanic rocks: influence of ridge segmentation and arc proximity, Smellie, J.L., London (eds.), In *volcanism associated with extension at consuming plate margins*, Geological Society, Special Contributions, 81, 53–75.
- 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.
- Peccerillo, A. ve Taylor, S.R., 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastomonu area, northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58, 63-81.
- Perincek, D., 1979. The geology of Hazro-Korudağ-Çüngüş-Maden-Ergani-Hazar-Elazığ-Malatya area: Guide book, *Türkiye Jeoloji Kurumu Yayını*.
- Rapp, R.P. ve 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.
- Rızaoğlu, T., Parlak, O., Höck, V., Koller, F., Hames, W.E. ve Billor, Z., 2009. Andean-type active margin formation in the eastern Taurides: geochemical and geochronological evidence from the Baskil granitoid (Elazığ, SE Turkey). *Tectonophysics*, 473, 188-207.
- Robertson, A. H. F., 2000. Mesozoic–Cenozoic tectonic-sedimentary evolution of a south Tethyan oceanic basin and its margins in southern Turkey, in *Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area*. In: Bozkurt, E., Winchester, J.A. ve Piper, J.D.A., (eds.) Geological Society, Special Publications, 173, 97–138.
- Robertson, A.H.F., Parlak, O. ve Ustaömer, T., 2013. Late Palaeozoic–Early Cenozoic tectonic



Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1037368

- development of Southern Turkey and the easternmost Mediterranean region: evidence from the inter-relations of continental and oceanic units, In: Robertson, A.H.F., Parlak, O. ve Ünlügenç, U.C., (eds.) Geological Development of Anatolia and the Easternmost Mediterranean Region. Geological Society, London, Special Publications, 9–48.
- Rollinson, H., 1993. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation, New York, John Wiley & Sons, 352 pp.
- Rudnick, R.L. ve Fountain, D.M., 1995. Nature and composition of the continental crust: a lower crustal perspective. *Reviews in Geophysics*, 33, 267–309.
- Sar, A., 2016. Pertek (Tunceli) güneydoğusundaki granitoidlerin petrolojisi. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Seyrek, A., Westaway, R., Pringle, M., Yurtmen, S., Demir, T. ve Rowbotham, G., 2008. Timing of the Quaternary Elazığ Volcanism, Eastern Turkey, and its Significance for Constraining Landscape Evolution and Surface Uplift. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17, 497–541.
- Shaw, J.E., Baker, J.A., Menzies, M.A., Thirlwall, M.F. ve 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. S. Ve McDonough, W. F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes, in *Magmatism in the Ocean Basins*. In: Saunders, A. D. ve Norry, M.J., (eds.) Geological Society of London, Special Publications, 42, 313-347.
- Sungurlu, O., Perinçek, D., Kurt, G., Tuna, E., Dülger, S., Çelikdemir, E. ve Naz, H., 1985. Elazığ-Hazar-Palu Alanının Jeolojisi. *Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, Rap. No. 29*, 83-190.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1981. “Tethyan Evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach”. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Şengör, A.M.C., Özeren, M.S., Keskin, M., Sakıncı, M., Özbakır, A.D. and Kayan, I., 2008. Eastern Turkish high plateau as a small Turkic-type orogen: Implications for postcollisional crust-forming processes in Turkic-type orogens: *Earth-Science Reviews*, 90, 1-48.
- Tatsumi, Y., Hamilton, D.L. ve Nesbit, R.W., 1986. Chemical characteristics of fluid phase released from lithosphere and origin of arc magmas: evidence from high pressure experiments and natural rocks. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 39, 293–309.
- Taylor, H.P., 1980. The effect of assimilation of country rocks by magmas on  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  systematics in igneous rocks. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 47, 243–254.
- Tekin, U.K., Ural, M., Göncüoğlu, M.C., Arslan, M. ve Kürüm, S., 2015. Upper Cretaceous Radiolarian ages from an arc-back-arc within the Yüksekova Complex in the southern Neotethys mélange, SE Turkey. *Comptes Rendus Palevol*, 14, 73-84.
- Thieblemont, D. ve Tegye, Y., 1994. Geochemical discrimination of differentiated magmatic rocks attesting for the variable origin and tectonic setting of calc-alkaline magmas. *Comptes Rendus de l’Academie des Sciences Series IIA*, 319, 87–94.
- Topuz, G., Candan, O., Zack, T. ve Yılmaz, A., 2017. East Anatolian Plateau constructed over a continental basement: no evidence for the East Anatolian Accretionary complex. *Geology*, 45, 791–794.
- Turan, M., 1993. Elazığ yakın civarındaki bazı önemli tektonik yapılar ve bunların bölgenin jeolojik evrimindeki yeri. A. Suat Erk Jeoloji Sempozyumu Bildirileri, 193-204.
- Turan, M. ve Bingöl A.F., 1991. Kovancılar Baskil (Elazığ) arası bölgenin tektonostratigrafik özellikleri. Ç.Ü. Ahmet Acar Jeoloji Sempozyumu, Tebliğler, 213-227.
- Turan, M., Aksoy, E. ve Bingöl, A.F., 1995. Doğu Torosların jeodinamik evriminin Elazığ civarındaki özellikleri. F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7 (2), 177-199.
- Turan, M. ve Türkmen, İ., 1996. Kuşçular Formasyonu’nun (Erken Paleosen) stratigrafisi ve sedimentolojik özellikleri. *Turkish Journal of Earth Science*, 5, 109-121.
- Turner, S.P., 2002. On the time-scales of magmatism at island-arc volcanoes. *Philosophical Transactions of the Royal Society*

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1037368

- of London, Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 360, 2853– 2871.
- Türkmen, İ., İnceöz, M., Aksoy, E. ve Kaya, M., 2001. Elazığ yöresinin Eosen stratigrafisi ve paleocoğrafyası ile ilgili yeni bulgular. Hacettepe Üniversitesi, Yerbilimleri Bülteni, 24, 81-95.
- Ural, M., Arslan, M., Göncüoğlu, M.C., Tekin, U.K. ve Kürüm, S., 2015. Late Cretaceous arc and back-arc formation within the southern Neotethys: whole-rock, trace element and Sr-Nd-Pb isotopic data from basaltic rocks of the Yüksekova complex (Malatya-Elazığ, SE Turkey). *Ofioliti*, 40(1), 57-72.
- Weaver, B. ve Tarney, J., 1984. Empirical approach to estimating the composition of the continental crust. *Nature*, 310, 557-575.
- Wilson, M., 1989. *Igneous Petrogenesis, in a Global Tectonic Approach*, Ed. Chapman and Hall, London, 466p.
- Wolf, M.B. ve Wyllie, P.J., 1994. Dehydration-melting of solid amphibolite at 10 kbar-the effects of temperature and time. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 115, 369-83.
- Zindler, A. ve Hart, S., 1986. Chemical Geodynamics. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 14, 493–571.