



Çarpışma sonrası oluşan sub-litosferik manto kökenli alkalin lavlar: Elazığ volkanitleri

Sub-lithospheric mantle-derived alkaline lavas formed after the collision: Elazığ volcanics

Sevcan Kürüm^{1*}, Safiye Aydemir², Abdullah Sar³, İsmail Yıldırım⁴

¹ Fırat Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, skurum@firat.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6121-5564>

² Fırat Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, saydemir2300@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2108-5694>

³ Fırat Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, asar@firat.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9752-7807>

⁴ Fırat Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, iyildirim@firat.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5588-1210>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 19 Şubat 2024
Revizyon 19 Nisan 2024
Kabul 22 Nisan 2024
Online 30 Haziran 2024

Anahtar Kelimeler:

Alkalin lavlar, Elazığ volkanitleri,
Sr-Nd izotop jeokimyası, petroloji

ÖZ

Bu çalışmada, Elazığ yakın çevresinde üç farklı bölgede bulunan volkanik kayaların jeokimyasal ve Sr-Nd izotop verilerine dayalı olarak değerlendirilmeleri yapılmıştır. Bölgedeki volkanizma, esas olarak bazaltik lav akıntıları ile daha az yayımlı bazik cüruf konileri ve piroklastik kayalardan oluşmuştur. Kuvaterner yaşlı bu bazaltik lavların jeokimyasal verileri, kayaların silise doymamış alkali özellikte; potasik trakibazalt, hawaiiit ve bazanit bileşiminde olduğunu gösterir. Volkanitlerin ana ve iz elementlerinin SiO₂ ile değişimleri ve element içerikleri, genelde birbirleriyle uyumlu olarak bulunur. Benzer dağılım kondrit ve ilksel mantoya göre normalize edilmiş çoklu element değişim diyagramlarında da görülmektedir. Örneklerde genel olarak büyük iyon litofil elementler ile yüksek alan kuvvetine sahip elementlerden Nb, Ta'nın zenginleşmesi, düşük ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr_(i) (0.703499-0.703923) ve yüksek ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd_(i) (0.512829-0.512884) izotop içerikleri ve pozitif εNd (3.76-4.84) değerleri ile jeokimyasal verilerin değerlendirilmesi sonucunda, bu volkanitlerin tüketilmiş mantodan türemiş, kalınlaşan kıtasal kabuğun etkisiyle oluşan kirlenmeyle beraber yitime bağlı olarak yitim ergiyiklerinin neden olduğu metasomatizmadan da etkilendiğini göstermektedir.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 19 February 2024
Received in revised form 19 April 2024
Accepted 22 April 2024
Available online 30 June 2024

Keywords:

Alkaline lavas, Elazığ volcanics, Sr-Nd isotope geochemistry, petrology

ABSTRACT

In this study, volcanic rocks located in three different regions around Elazığ were compared based on geochemical and Sr-Nd isotope data. Volcanism in the region consists mainly of basaltic lava flows and less widespread basic cinder cones and pyroclastic rocks. Geochemical data of these Quaternary basaltic lavas show that the rocks are silica-unsaturated, alkaline, with a composition of potassic trachybasalt, hawaiiite and basanite. The variations of major and trace elements against SiO₂ and the element contents indicate geochemical similarities between these volcanics. This similarity is also apparent in the primary mantle- and chondrite-normalized multi-element variation diagrams. The enrichment large ion lithophile elements together with high field strength elements Nb-Ta, the low ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr_(i) (0.703499-0.703923), high ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd_(i) (0.512829-0.512884) isotope ratios, and positive εNd (3.76-4.84) values indicate that, these volcanics are mainly derived from depleted mantle. In addition, their geochemistry is also consistent with contribution from subduction-related melts and crustal contamination due to thickening continental crust.

Giriş

Doğu Anadolu, Alp-Himalaya orojenik sistemi içerisinde bir sıkışma bölgesi olarak önemli bir yere sahip olup, çarpışma sonrası magmatizmanın yaygın olduğu önemli bir kuşaktır. Sıkışma tektoniği ve buna bağlı olarak magmatik-tektonik olayların oluşumunu sağlayan Arabistan ile Avrasya arasındaki ilk temasın ne zaman başladığı kesin olarak belirlenememekle beraber, yakınlaşma-çarpışmanın Geç Kretase'den [1]-[4] Geç Eosen-Oligosen (35-25 My; [5]-[7] ve Miyosen'e [8]-[12] kadar sürdüğü belirtilmektedir. Böylece, Doğu Anadolu Bölgesinde Arap-Avrasya levhasının yakınsamasının sonucu olan Bitlis-Zagros Çarpışma Kuşağının erken Miyosen'de (~20 My) gelişmesi sonucunda [13], Neojen tektonik evrimini kontrol eden en önemli ana jeodinamik süreçlerin başladığı belirtilir [10], [14]-[17]. Buna bağlı olarak Doğu Anadolu Bölgesi, içerisinde bulunduğu Alp-Himalaya Orojenez sisteminde olduğu gibi, levhalar arası yitimi (Arabistan-Avrasya) ve dolayısıyla etkileşimi, kıta kıta çarpışmasını, kalınlaşmış kıtasal kabuğun oluşumunu ve aşırı ağırlaşmış kabuğun çöküşü ile daha birçok özgün yapısal özellik içerir. Bölge karmaşık bir tektonik birimler mozaiki olarak kabul edilmekle beraber [18], [3], [10], [19]-[21], dünyadaki kıtasal çarpışma örneklerinin en iyi görüldüğü yerlerden birisi kabul edilmektedir [22]. Bu gelişmelere paralel olarak tüm Doğu Anadolu Bölgesi'nde yoğun olarak oluşan magmatizmanın çoğunun çarpışma-çarpışma sonrası oluştuğu ve bu magmatizmanın bazı bölgelerde ~ 1 km kalınlığa kadar volkanik istifler oluşumuna sebep olduğu belirtilmektedir [23].

Doğu Anadolu Bölgesi'nde kıtasal kabuğun çarpışma sonrası kalınlaşması [24] nedeniyle ülkemizdeki en derin Moho sınırına (~50 km) sahip olduğu belirtilerek [25] başlangıçta çarpışma sonrası kalınlaşan yığılma (accretion) ürünlerinden oluşmasına karşın, manto litosferinin çok ince veya olmadığı ileri sürülmektedir [26]-[28]. Ancak kıtasal litosferin zamana bağlı olarak orojenik süreçlerle inceltildiği ve böylece oluşan volkanizmanın ya da magma kaynaklarının değişiminin bölgenin jeodinamik çerçevesinin gelişimini yansıttığı belirtilmektedir [29], [30]. Tüm bunlara bağlı olarak volkanik ürünlerin, yaklaşan levha yayının etkisiyle geç-orojenik magmatik olaylar şeklinde değiştiği ve devamında da ardışık genişleme dönemlerine geçiş gösterdiği belirtilmektedir [31]-[33]. Bu jeodinamik evrim sonucunda volkanik ürünler ya orojenik özelliklerini belirtecek şekilde kalkalkalinden alkaline değişen (örneğin; yüksek büyük iyon yarıçaplı element-BİYE/yüksek çekim alanlı element-YÇAE oranları, yüksek $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ve düşük $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ izotop bileşimleri) ya da tipik levha içi jeokimyasal karakteristikler (düşük BİYE/YÇAE oranları, düşük $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ve yüksek $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$) ile basit petrotektonik yapıları uymayan geçiş üyeleri [34]-[38], [30], [33] gibi farklı özellikler göstermektedir. Ayrıca, bölge volkanizması için asimilasyon ve fraksiyonel kristalleşmenin oluşturduğu farklılaşmayla beraber, yaklaşık % 2-10 oranında üst kabuk kirliliği ve yitim sedimanları tarafından modifiye edilmiş bir manto kaynağının varlığı öne sürülmektedir [38]-[39]. Yine, bölgedeki ana magmanın, sadece litosferik manto

[34], [40]-[41] veya Neo-Tetis Okyanusu'nun kuzeye doğru yitilen levhasının dikleşmesi ve kırılmasıyla oluşan yitim bileşeninden etkilenmiş astenosferik mantodan [42], [9], [33] oluşabileceği gibi esas olarak litosfer ve astenosferik ergiyiklerin değişken karışımından türetildiği de belirtilmektedir [38]. Ayrıca, bölgedeki volkanizmanın orojenik ve tipik levha içi jeokimyasal özellikler gösterdiği yani orojenikten anorojenik magmatik aktiviteye geçişin bulunduğu en iyi laboratuvarlardan birini temsil ettiği belirtilmektedir [43]-[44].

Çarpışma sonrası volkanizma için yaygın olarak kabul edilen ve astenosferik ergimelerden artan bir katkı öngören modellerden farklı olarak, Doğu Anadolu'daki magmatizmada, ergime derecesi ve litosfer mantosunun katkısının, Miyosen-Pliosen'den Kuvaterner'e kadar artmış olduğu belirtilmektedir [38]. Bölgede çarpışma sonrası magmatizma; Erzurum-Kars platosunda ~ 11 My [45]-[46], Erzurum bölgesinde ~14 My [45, Van'ın kuzey bölgesinde ~ 15 My [48], Elazığ batısında Yamadağ ve Tunceli çevresi volkanitlerinde ~ 16 My [30], [49]-[50] gibi farklılık göstermektedir. Bu yaş farklılıkları, volkanizmanın güneyden (~ 17 milyon yıl) kuzeye doğru gidildikçe daha gençleştiği (~ 11 ila 9 milyon yıl) [23] fikrini desteklemekle beraber, güneyde de örneğin Elazığ ve Karakoçan çevresinde saptanan 1.6-4.6my [29]-[30] yaş verilerinde olduğu gibi daha genç volkanitler de bulunmaktadır. Tüm bu verilere karşın, genel olarak volkanizmanın erken - orta Miyosen'de başladığı belirtilmekte, ancak volkanizmanın geç Miyosen'de daha yoğun olduğu da kabul edilmektedir.

Elazığ volkanitlerinin Doğu Anadolu Bölgesi'nin güncel tektonik yapısını kontrol eden Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay sistemlerini oluşturan doğrultu atımlı hareketin başlamasından sonra yerleştiği belirtilmektedir [29]. Bu volkanitlerin 1.4 ile 1.9 My (Neojen-Kuvaterner) yaş verisiyle bölgedeki en son magmatizma ürünü olduğu ve bölgenin jeodinamik sisteminin göstergelerinden olan magmatik aktivite sonucu oluştuğu belirtilir [30] [51]-[52].

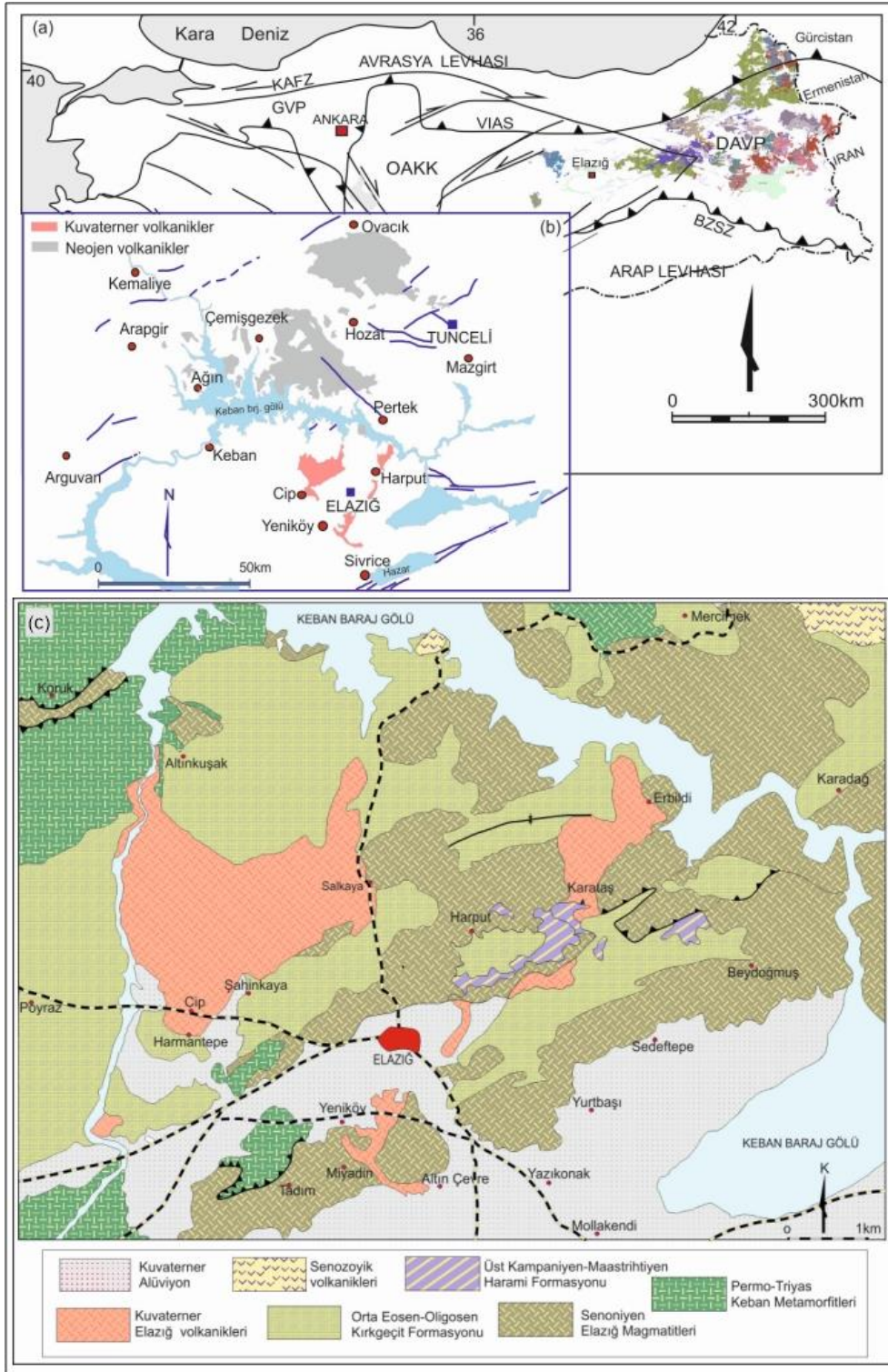
Bu çalışmada, Doğu Anadolu Volkanik Provensi (DAVP; Şekil 1a) olarak tanımlanan volkanizmanın batı devamını oluşturan ve Elazığ il merkezi yakın çevresinde yayılım gösteren Elazığ volkanitlerinin, tüm kayaç ve Sr-Nd izotop analiz verilerinin bölgede yapılan diğer referans çalışmalarla birlikte değerlendirilerek, volkanitlerin oluşumunda rol oynayan magmanın kökeni ve jeotektonik ortamını belirleyebilmek amaçlanmıştır.

Bölgesel Jeoloji

Elazığ ve çevresinde temel kayaçları oluşturan metamorfik ve magmatik kayaçlarla birlikte bölgede yaygın olarak bulunan sedimanter kayaçlar bulunmaktadır. Çalışma bölgesindeki çalışma konusu volkanitlerden yalnızca Cip köyü çevresindeki volkanitlerle kuzeybatı sınırında dokanak oluşturan Permo-Triyas yaşlı Keban Metamorfikleri, yer yer Üst Kretase yaşlı Elazığ Magmatitleri ile tektonik dokanaklıdır (Şekil 1c). Bölgede esas yayılımını Keban ve çevresinde izleyebildiğimiz bu birimin oldukça kalın istif sunan sığ denizel ortam

çökellerinin, Erken Permiyen-Geç Triyas'ta çöktüğü belirtilir [53]. Çökelen sığ denizel sedimanların bölgesel

metamorfizma geçirmesi ile oluşan birimin metamorfizma yaşının ise Jura-Alt Kretase olduğu kabul edilir [54].



Şekil 1. (a) Türkiye'nin sadeleştirilmiş tektonik birimlerini ([57] ve [9]'dan değiştirilmiştir) ve Doğu Anadolu'daki çarpışma sonrası yayılım gösteren volkanizmanın (Doğu Anadolu'nun volkanik provensi) görünümü, (b) Elazığ ve çevresinin lokasyon haritası, (c) Çalışma alanının jeolojik haritası ([58]'dan sadeleştirilmiştir). KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, BZSZ: Bitlis Zagros Sütur Zonu, DAVP: Doğu Anadolu Volkanik Provensi, GVP: Galatya Volkanik Provensi. OAKK: Orta Anadolu Kristalin Kompleksi, VIAS: Vardar İzmir Ankara Süturu.

Kretase yaşlı Elazığ Magmatitleri, çalışma konusu volkanitlerle çok daha fazla dokanak ilişkisi göstermektedir. Cip köyünün kuzeybatı tarafı ile doğu ve kuzeyde Pertek yolu ile Salkaya, Toraman köyleri ve Harput, Tadım,

Yeniköy çevresinde ve Güney çevre yolunun da bulunduğu alanda gözlenmektedir (Şekil 1c). Tüm bu yayılım alanlarında farklı litolojilerde plütonik kayalar ile Elazığ güneyi ve Harput çevresinde onların eşlenikleri volkanik

kayaçlar ve yine Harput çevresinde asidik damar kayaçları şeklinde yüzeylenmektedir. Harput çevresinde ve Elazığ seviyeleri içeren bir istif oluşturan Harami Formasyonu, Elazığ Magmatitleri üzerinde uyumlu olarak bulunmaktadır (Şekil 1c). Bölgedeki diğer bir sedimanter istifi oluşturan Orta Eosen–Oligosen yaşlı Kırkgeçit Formasyonu [55], killi-kumlu kireçtaşları ile beraber genellikle konglomera, kumtaşı ve çamurtaşı araldanmasından oluştuğu belirtmektedir. Çalışma konusunu oluşturan ve bölgedeki en genç birim olan Elazığ volkanitleri, Elazığ il merkezi yakın çevresinde coğrafik olarak birbirinden bağımsız üç farklı lokasyonda yayılım göstermektedir. Bu yayılımlardan Cip köyü çevresindeki volkanitler en geniş olanıdır. Bu bölgedeki volkanitler Cip köyü merkez olmak üzere güneyde Harmantepe köyü ile doğu ve kuzeyde Salkaya ve Toraman köylerinden sonra Keban Barajı göl alanına kadar yayılım göstermektedir (Şekil 1c). Volkanitlerin diğer yayılımı Harput doğusunda Karataş tepeden başlayıp doğu ve kuzeydoğuya doğru devam ederek Keban Barajı göl alanında sonlanmaktadır. Bölgedeki en az yayılımı olan volkanitler ise Yeniköy ve güney çevreyolu bölgesinde bulunmaktadır.

Materyal ve Metot

Elazığ merkezi yakın çevresinde farklı lokasyonlarda yayılım gösteren volkanitlerden ikişer adet olmak üzere toplam altı örneğin tüm kayaç (ana oksit, iz ve nadir toprak element) analizleri ACME (Vancouver, Kanada) Analitik laboratuvarlarında yaptırılmıştır. Ana oksitler, ICP-AES (İndüktif Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometresi), iz ve nadir toprak element analizleri ise ICP-MS (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry) ile gerçekleştirilmiştir. 5 örnekte yaptırılan Sr ve Nd İzotop jeokimyası analizleri, ODTÜ Merkez Laboratuvarı (Ar-Ge Eğitim ve Ölçme Merkezi, Radyojenik İzotop Laboratuvarı)nda Köksal [55]'de detayları ve koşulları verilen metodları baz alan laboratuvar içi deney talimatları uygulanarak yapılmıştır.

Bulgular

Tüm kayaç jeokimyası

Çalışma konusu kayaçlarda analizi yapılan örneklerin tüm kayaç ana oksit, iz ve nadir toprak element analiz sonuçları Tablo 1 ve 2'de verilmiştir. Örneklerin SiO₂ değerleri % ağı. 47.33-49.21 aralığında değişirken, Al₂O₃ % ağı. 16.71-17.41, Na₂O % ağı. 4.11-5.00, K₂O % ağı. 2.30-2.64 ve Fe₂O₃ % ağı. 9.15-10.59 ile MgO % ağı. 5.02-7.46 aralığında olup, ateşte kayıp (AK) değerleri ise %0.4- 1.0 arasında değişmektedir (Tablo 1).

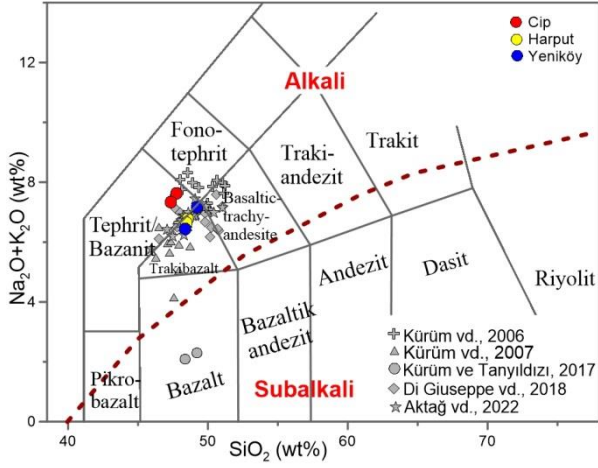
Ana element analiz verilerinden yararlanarak yapılan CIPW norm hesaplamalarına göre örneklerde yüksek oranda normatif plajiyoklasla (albit+anortit) (%40.86-47.08) beraber farklı ortoklas (%13.59-15.60), nefelin (%4.86-10.13), diyopsit (%8.55-12.29), olivin (%9.05-13.08) ve magnetit (%13.17-15.35) ile daha düşük oranda ilmenit (%3.42-4.35) ve apatit (%1.53-2.06) bulunmaktadır (Tablo 1). Örneklerde kuvars, korund ve hipersten bulunmazken, örneklerin olivince zengin olması ve nefelin içermeleri gibi normatif mineral içerikleri, bu kayaçların

güneyinde yüzeyleyen Üst Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşlı tabanda kırmızı renkli konglomera, kumtaşı ve kireçtaşı alkali bazaltik özellikte olduğunu göstermektedir. Yine tüm örneklerin yaklaşık %14 oranında magnetit ve %1.53-2.06 arasında ilmenit içermesi petrografik verilerde saptanan opak mineral oranları ile uyumluluk göstermektedir [59].

Jeokimyasal ve izotop verilerinin değerlendirilmesinde bu çalışma kapsamında alınan örneklerle beraber, çalışma konusu kayaçların farklı bölgelerinde yapılan önceki çalışmalar referans veri olarak kullanılıp birlikte değerlendirilmiştir. Bu amaçla yapılan toplam alkali (Na₂O+K₂O)-silis (SiO₂) isimlendirilme diyagramında [60] tüm örneklerin alkali özellikte ve bazik bileşimli olduğu görülmektedir (Şekil 2a). Bu durum normatif mineral içerikleriyle de uyumluluk gösterir. Diyagramda Yeniköy (S14, S15) ile Harput (S18, S20) örneklerinin trakibazalt bileşiminde, Cip köyü örneklerinin (S2, S8) ise tefrit/bazanit bileşiminde olduğu görülür. Trakibazalt alanındaki Harput örneklerinin (Na₂O-2=2.26-2.11) potasik trakibazalt (Na₂O-2≤ K₂O), Yeniköy örneklerinin ise Na₂O-2=3.0-2.82 değerleri ile havait (Na₂O - 2≥ K₂O) bileşiminde olduğu [61], Cip köyü örneklerinin (S2, S8) ise %13.8-12.32 oranındaki olivin içeriklerine göre bazanit (OI>%10) bileşimde olduğu belirlenmiştir. Toplam alkali silika içeriğine göre alkalen özellikteki Elazığ volkanitlerine ait örnekler ile referans alınan [30], [39], [62]-[64] tüm örneklerin alkalen oldukları görülmektedir (Şekil 2).

Tablo 1. Elazığ volkanitlerine ait kayaçların ana oksit (%) ve normatif mineral değerleri.

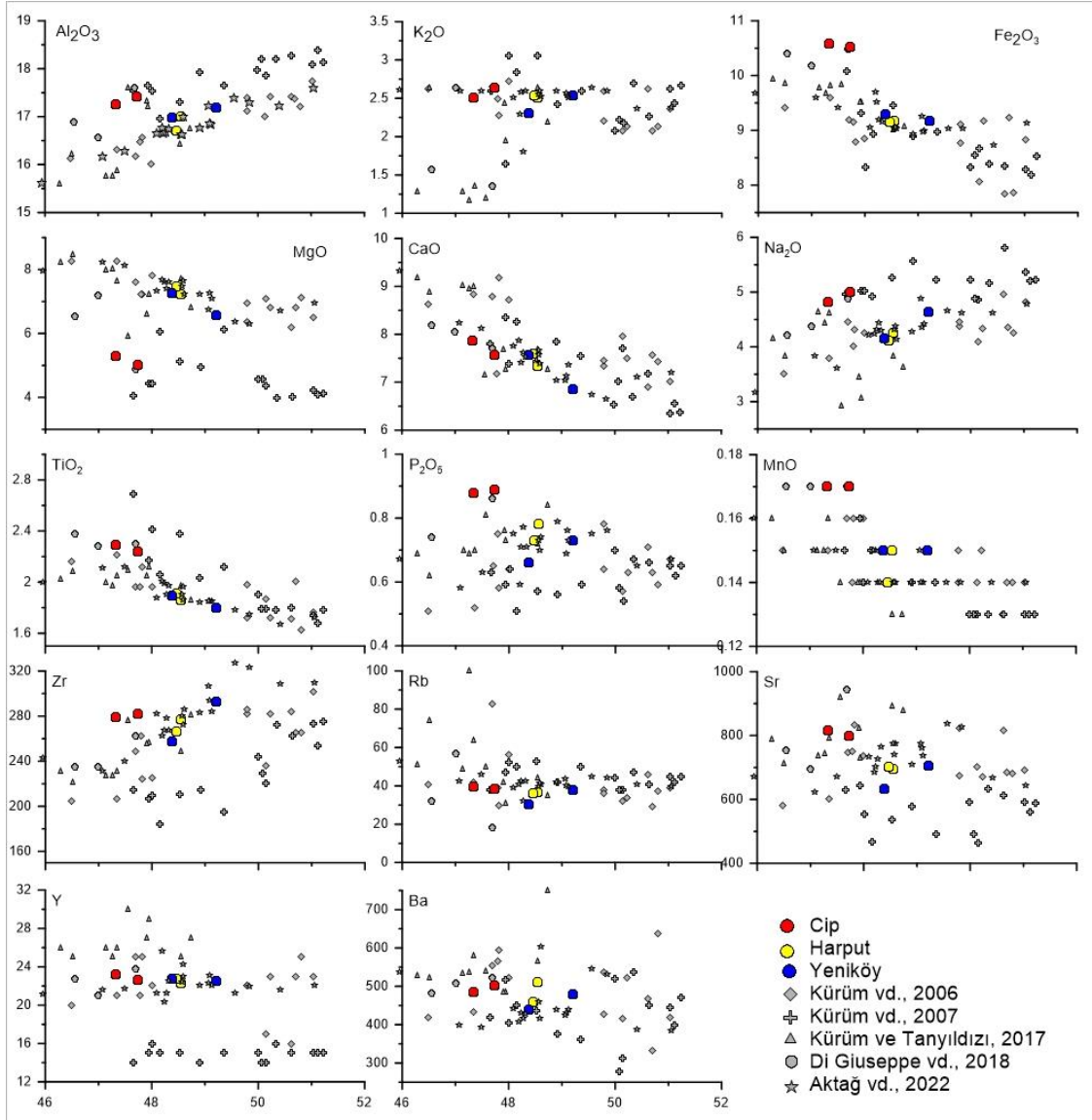
Örnek	Cip-Salkaya Bazanit		Harput Potasik Trakibazalt		Yeniköy Havait	
	S-2	S-8	S-18	S-20	S-14	S-15
SiO ₂	48.38	49.21	48.55	48.47	47.73	47.33
Al ₂ O ₃	16.99	17.18	17.01	16.71	17.41	17.26
Fe ₂ O ₃	9.30	9.18	9.18	9.15	10.52	10.59
MgO	7.27	6.57	7.23	7.46	5.02	5.29
CaO	7.57	6.86	7.34	7.59	7.58	7.87
Na ₂ O	4.15	4.63	4.26	4.11	5.00	4.82
K ₂ O	2.30	2.54	2.51	2.54	2.64	2.51
TiO ₂	1.89	1.80	1.86	1.91	2.24	2.29
P ₂ O ₅	0.66	0.73	0.78	0.73	0.89	0.88
MnO	0.15	0.15	0.15	0.14	0.17	0.17
Cr ₂ O ₃	0.028	0.018	0.032	0.033	0.013	0.015
AK	1.0	0.8	0.7	0.8	0.4	0.6
Normatif Mineral						
Korund	-	-	-	-	-	-
Ortoklas	13.59	15.01	14.80	15.10	15.60	14.83
Albit	26.14	28.39	25.99	24.83	23.60	22.90
Anortit	20.94	18.59	19.88	19.64	17.26	18.05
Nefelin	4.86	5.84	5.45	5.39	10.13	9.69
Diyopsit	9.83	8.55	9.14	10.57	11.73	12.29
Hipersten	-	-	-	-	-	-
Olivin	13.08	12.32	13.21	13.04	8.79	9.05
Magnetit	13.48	13.31	13.31	13.27	15.25	15.35
İlmenit	3.59	3.42	3.53	3.63	4.25	4.35
Apatit	1.53	1.69	1.81	1.69	2.06	2.04
Mg#	55.33	53.14	55.52	56.37	43.06	44.18



Şekil 2. Elazığ volkanitlerinin toplam alkali silis (TAS) diyagramı [60] sınıflaması. Alkali-subalkali çizgisi [65]'den alınmıştır.

Elazığ volkanitlerinin ana oksit ve bazı iz element içeriklerinin artan SiO_2 'e karşı dağılımları, referans alınan diğer örneklerle beraber değerlendirilmiştir (Şekil 3). Bu diyagramlarda mineral fazlarının fraksiyonel kristallenmesine işaret eden pozitif (Al_2O_3 , Na_2O , Zr) veya negatif (CaO , Fe_2O_3 , TiO_2 , Rb) yönselmeler ile kirlenme ve/veya farklı magma karışımlarını gösteren düzensiz dağılımlar (K_2O , MgO , P_2O_5 , Sr, Y, Th, Ba, Ni, Nb) bulunmaktadır. Elementler arasındaki bu değişimler, volkanik kayaların evrimi sırasında piroksen, hornblend, apatit ve Fe-Ti oksit mineral fazlarının fraksiyonlaşmasını yansıtır.

Elazığ volkanitlerinin oluşum süreçleri ve kaynak bileşenlerine yaklaşımda bulunabilmek için, oluşturulan Kondrit ve İlk Manto değerlerine normalize edilmiş çoklu element diyagramlarının (Şekil 4), kendi içerisinde birbirine benzer veya aynı yönseme gösterdikleri görülmektedir.



Şekil 3. Elazığ volkanitlerine ait kayaların SiO_2 'ye karşı ana oksit ve bazı iz element değişim diyagramları

Tablo 2. Elazığ volkanitlerine ait örneklerin iz ve nadir toprak element (ppm) değerleri.

Örnek	Cip-Salkaya Bazanit		Harput Potasik Trakibazalt		Yeniköy Havaiit	
	S-2	S-8	S-14	S-15	S-18	S-20
Ba	439	479	501	485	510	460
Ni	122	107	33	49	139	137
Sc	19	17	15	16	18	18
Be	<1	1	<1	1	1	<1
Co	30.9	29.3	27.5	27.8	30.9	30.5
Cs	0.3	0.5	0.6	0.6	0.4	0.3
Ga	15.1	15.6	17.1	17.6	15.0	14.7
Hf	5.3	5.6	5.4	5.2	5.2	5.6
Nb	48	57	78	78	62	61
Rb	30	38	39	40	37	36
Sn	2	2	2	2	2	2
Sr	631	704	799	815	695	702
Ta	2.7	3.4	4.4	4.3	3.8	3.7
Th	5.1	5.7	6.3	6.1	5.5	5.3
U	1.2	1.8	1.8	1.6	1.4	1.5
V	159	143	176	178	151	150
W	0.6	0.8	1.0	0.9	0.5	0.8
Zr	257	293	282	279	277	266
Y	22.8	22.5	22.6	23.2	22.3	22.8
Mo	2.1	2.3	4.3	4.0	2.7	1.9
Cu	37.0	31.6	32.1	32.0	34.8	36.5
Pb	3.0	1.8	1.8	1.5	2.4	2.8
Zn	64	56	73	64	57	56
Ni	113	94	29	33	118	123
As	1.0	1.0	1.3	1.1	0.7	0.7
Cd	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Sb	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Bi	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Ag	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Au	1.6	1.0	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Hg	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Tl	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Se	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
La	34.4	36.8	50.7	50.5	0.30	38.3
Ce	62.5	65.1	90.4	88.6	69.1	67.8
Pr	7.25	7.63	9.95	10.23	8.12	7.92
Nd	26.3	28.7	36.4	37.4	30.3	29.3
Sm	5.17	5.08	6.63	6.56	5.31	5.45
Eu	1.64	1.77	2.12	2.15	1.85	1.72
Gd	4.88	4.94	5.84	6.04	5.24	5.02
Tb	0.75	0.73	0.83	0.86	0.77	0.74
Dy	4.08	4.13	4.51	4.51	4.15	4.13
Ho	0.82	0.85	0.85	0.88	0.85	0.87
Er	2.24	2.27	2.35	2.34	2.40	2.32
Tm	0.33	0.33	0.34	0.31	0.32	0.33
Yb	2.15	2.15	2.02	1.98	2.14	2.12
Lu	0.32	0.32	0.30	0.30	0.32	0.33
La _N /Lu _N	11.16	11.94	17.54	17.47	12.88	12.05
Gd _N /Yb _N	1.84	1.86	2.34	2.47	1.98	1.92
La _N /Sm _N	4.16	4.52	4.78	4.81	4.67	4.39
La _N /Yb _N	10.87	11.63	17.05	17.33	12.60	12.27
Eu _N /Eu*	0.98	1.06	1.02	1.02	1.06	1.01
La/Nb	0.72	0.64	0.65	0.65	0.64	0.63
La/Ta	12.74	10.82	11.52	11.74	10.45	10.35

Normalize değerler [58]'den alınmıştır.

Kondrit değerlerine normalize edilen diyagramda, referans örneklerle beraber tüm örneklerin, hafif nadir toprak elementlerinin (HNTE; La, Ce, Pr, Nd, Sm), ağır nadir toprak element (ANTE; Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) değerlerine göre daha zenginleşmiş olduğu ($La_N/Lu_N=11.16-17.54$; $Gd_N/Yb_N=1.84-2.47$; $La_N/Sm_N=4.16-4.81$ ve $La_N/Yb_N=10.87-17.33$) görülmektedir (Tablo 2; Şekil 4). Volkanitlerin, daha uyumsuz olarak bilinen HNTE bakımından zenginleşmesine karşın daha uyumlu ANTE'ler bakımından doğrusal olarak giderek fakirleşmesi, magmanın kısmi ergimeden sonra fraksiyonlanması ile mümkündür. Ayrıca ANTE'lerin görece olarak daha yataya yakın desen oluşturmaları, kaynak kayacın granat içerebileceğini veya granatın kalıntı fazda korunduğunu, tüketilmemiş ya da az tüketilmiş olduğunu göstermektedir. Çalışma konusu volkanitlerde ki yüksek HNTE/ANTE oranı da bu volkanizmayı oluşturan magmanın spinel peridotit mineralojisinden çok granat peridotit fasiyesindeki kısmi ergimelerle oluşabileceğini düşündürmektedir. Ayrıca tüm örneklerde Eu değerlerinin negatif anomali göstermemesi ($Eu_N/Eu^*=0.98-1.06$), kayalarda plajiyoklaslarda önemli bir fraksiyonlanma fazı olmadığını göstermektedir.

İlksel Manto değerlerine göre normalize edilmiş çoklu element değişim diyagramında da tüm örneklerin dağılımları birbirlerine benzemekte ve elementlerin ilksel mantoya göre zenginleştiği görülmektedir (Şekil 4).

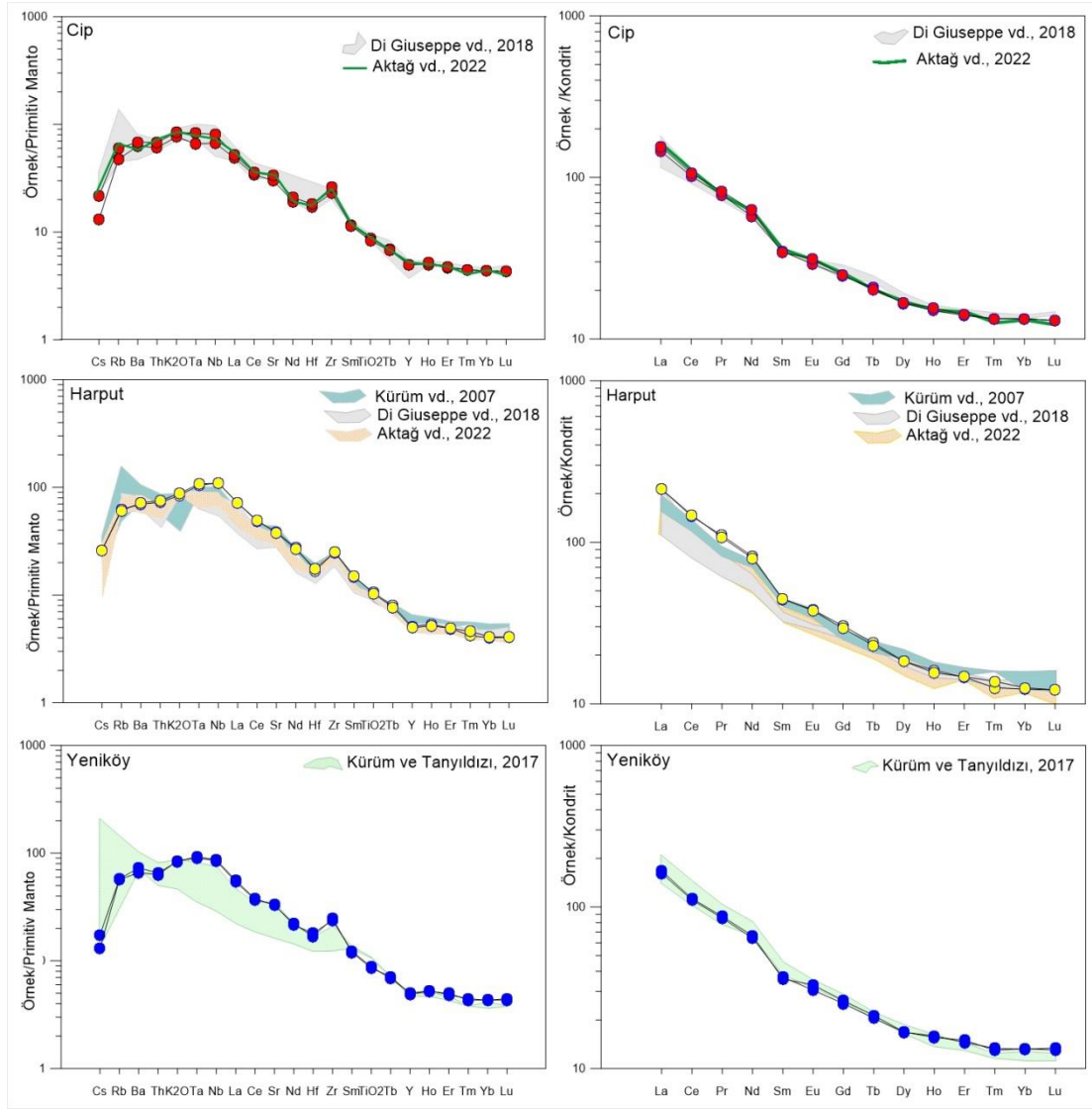
İzotop Jeokimyası

Çalışma bölgesindeki tüm lokasyonlardan alınan 5 örneğin (S2, S8, S15, S18, S20) $^{87}Sr/^{86}Sr$ ve $^{144}Nd/^{143}Nd$ izotop analiz sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. Güncel izotop oranlarını yansıtan bu verilerden öncel çalışmalardaki [30], [29] yaş verileri yaklaşık ortalaması olan 1,7 My [66] alınarak yaş düzeltilmesi yapılmış ve kayaların oluşum zamanındaki ilksel izotop oranları hesaplanmıştır.

Çalışma bölgesindeki volkanitlerin $^{87}Sr/^{86}Sr_{(i)}$ 0.7039227-0.7034983 ve $^{143}Nd/^{144}Nd_{(i)}$ değerleri 0.512829-0.512884 arasında olup, birbirine benzer dar bir aralıkta değişim göstermektedir. ϵNd ise 3.76-4.84 ile pozitif değerler arasında değişir. Örneklerin, manto razervuarlarını gösterir Sr - Nd izotop korelasyon diyagramında [67] (Şekil 5), mantoya temsil eden alanda ve PREMA'ya (Yaygın Manto Bileşimi, Prevelant Mantle) [68] yakın konumlandıkları görülmektedir. Sr-Nd izotop korelasyon diyagramındaki dağılım, Elazığ volkanitlerinin mantonun alt kesimlerinden gelen ergiyiklerin, mantonun daha üst kesimleriyle tepkimesinin bir sonucu olarak iz element zenginleşmesini ifade eder. Oluşan kayaların BIYE içeriklerine de yansıyan bu olay manto metasomatizması olarak tanımlanmaktadır [69]. Elazığ volkanitlerinin düşük $^{87}Sr/^{86}Sr_{(i)}$ ve pozitif ϵNd değerlerine sahip olması, bu kayaların tüketilmiş bir manto kaynağından ve homojen bir kaynaktan oluştuğunu göstermektedir.

Tartışma

Kaynak özellikleri-zenginleşme/kabuksal kirlenme süreçleri



Şekil 4. Elazığ volkanitlerinin ilksel manto ve kondrite göre normalize edilmiş element dağılım diyagramları (normalize değerler [70]'den alınmıştır).

Mantodan türeyen ergiyiklerin özelliklerinden manto kaynağının doğasının belirlenmesinde yararlanır. Manto ile normalleştirilmiş çoklu element diyagramındaki element davranışları, kaynağın temel özelliklerine ilişkin verilere işaret etmesi açısından önemlidir. Bu amaçla, farklı lokasyonlardaki Elazığ volkanitlerine ait verilerden hazırlanmış çoklu element diyagramlarının, element dağılımlarının birbirlerine benzer olması, volkanik kayaların benzer bir kaynaktan oluştuklarını göstermektedir (Şekil 3). Örneklerdeki benzer davranış Kondrite normalize edilen diyagramlarda da görülmektedir (Şekil 4). Ayrıca yine tüm örneklerde yüksek BİYE, YÇAE ve HNTE değerlerine karşın daha düşük ANTE zenginleşmeleri ortak özelliklerden birisidir. Tüm jeokimyasal veriler bu alkali magmaların farklı olmayan manto kaynağından türetildiğini işaret etmektedir (Şekil 3-7). Bu durum bazı iz element oranlarının manto kaynağını işaret etmesi ile de açıklanmaktadır. Örneğin La/Nb oranlarının genelde 1'den büyük olması magma oluşumu değerler sergilediğinden kaynak kirlenmesine işaret etmektedir.

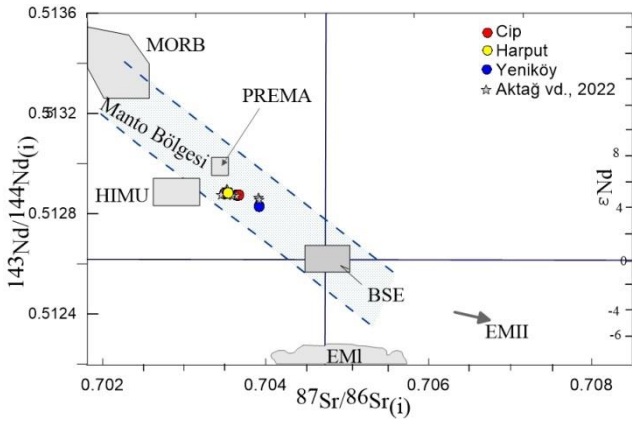
için litosferik manto kaynağını işaret ederken bu oranın yaklaşık 0.7 seviyesinde olması astenosferik manto kaynağını işaret eder [72]. Buna göre Elazığ volkanitlerinin La/Nb oranının 0.63-0.72 aralığında değişmesi (Tablo 2), bu volkanik kayaları oluşturan magmanın litosfere göre daha derinlerden gelen magma/astenosfer kaynaklı mantodan oluştuğuna işaret edebilir.

Manto kaynak alanının özellikleri ile kabuksal kirlenme veya yitim etkisinin izlenebildiği Th/Y - Nb/Y oranları arasındaki değişim ve buna bağlı oluşturulan diyagramda [73]-[74], çalışma konusu volkanik kayalar manto kaynak alanında bulunmaktadır (Şekil 6a). Diyagramda, tüm örnekleri birlikte düşündüğümüzde, kayalarda izlenen Th/Y artışı ile yitim zenginleşmesi ve bununla beraber, artan Nb/Y ile doğru orantılı Th/Y oranı, kabuksal bileşen ile kirlenme, dolayısıyla asimilasyon etkisini işaret etmektedir [75]. Örneklerin dağılımları manto kaynak bölgesi içinde ve Th/Nb=0.1 doğrusu üzerinde veya yakın

Tablo 3. Elazığ volkanitlerine ait kayaçların Rb-Sr ve Sm-Nd izotop analiz verileri.

Örnek no	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Rb	Sr	Rb/Sr	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ i	TD(M)
S2	0,703926	30,1	631,4	0,0476718	0,13801	0,7039227	0,51
S8	0,703648	38,0	704,0	0,0539773	0,1562642	0,7036442	0,44
S15	0,703545	39,7	814,6	0,0487356	0,1410895	0,7035416	0,43
S18	0,703502	36,6	695,4	0,0526316	0,1523684	0,7034983	0,43
S20	0,703672	36,1	701,5	0,0514612	0,14898	0,7036684	0,44
Örnek no	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	Nd	Sm	Sm/Nd	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ i	ϵNd (T)
S2	0,51283	26,3	5,17	0,1965779	0,1189	0,512829	3,76
S8	0,512876	28,7	5,08	0,1770035	0,1070694	0,512875	4,66
S15	0,512885	37,4	6,56	0,1754011	0,1061001	0,512884	4,84
S18	0,512882	30,3	5,31	0,1752475	0,1060072	0,512881	4,78
S20	0,512877	29,3	5,45	0,1860068	0,1125155	0,512876	4,68

TD(M): (Model yaş hesaplaması [71]'den



Şekil 5. Elazığ volkanitlerinin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ diyagramındaki dağılımları [67] (BSE: Toplam Yerküre, MORB: Okyanus Ortası Sırt Bazaltları, EMI- EMII: Zenginleşmiş Manto, HIMU: yüksek μ değerine ($\mu = ^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$ oranı) sahip manto, PREMA: Yaygın Manto bileşimi).

Çalışma konusu volkanik kayaçların İksel Mantoya normalize edilmiş çoklu element diyagramlarında Nb, Ta ve Ti elementlerinde negatif dağılım gözlenmemesi, bu magmatizmanın oluşumunda yitim etkisinin çok önemli olmadığını işaret etmektedir. Benzer olarak La/Nb oranının düşük olmasının astenosferik magmayla beraber kıta içi zenginleşmeyi, aksi durumunda ise yitim zenginleşmesinin işareti olarak kabul edildiği bilinmektedir [72], [76]. Buna göre çalışma konusu volkanitlerin La/Nb oranlarının düşük olması (0.63-0.72) astenosferik kaynakla beraber levha içi magmatizmanın da etkili olduğuna işaret etmektedir. Benzer durum, astenosferden türeyen magmaları işaret eden

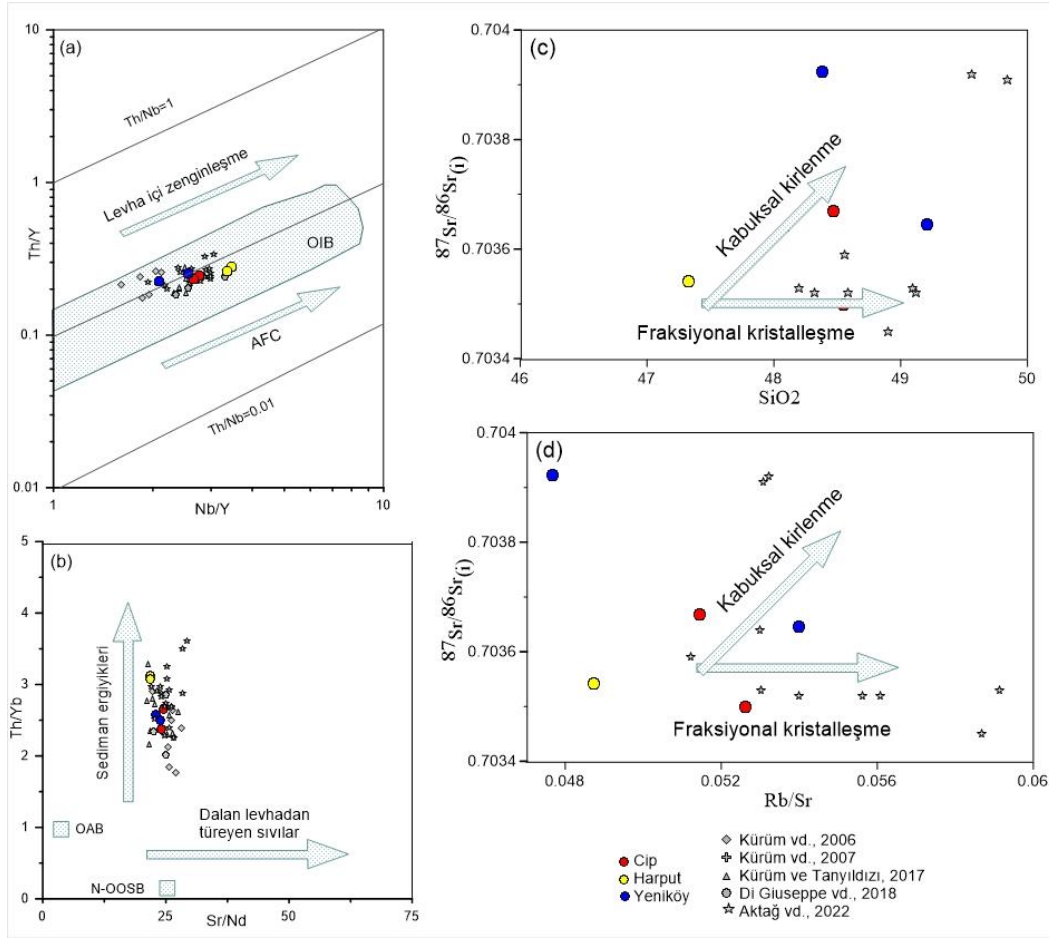
yaklaşık 10 civarında olması beklenen La/Ta oranının, Elazığ volkanitlerinde 10.35-12.74 aralığında değişmesi (Tablo 2) ile de desteklenmektedir [77].

Volkanitlerin kaynak zenginleşmesine katkı sağlayan ürünlerin belirlenmesinde önemli olan Sr/Nd- Th/Yb oranlarından oluşturulan diyagramda (Şekil 6b), örneklerin genellikle düşük Sr/Nd oranlarına karşın, yüksek Th/Yb oranına sahip olduğu görülür. Bu sonuçlar, çalışma konusu volkanitleri oluşturan ve astenosfer kaynaklı manto kaynağından türeyen ergiyiklerin, sediman ergiyikleriyle zenginleşmiş litosferik mantonun birlikte metasomatize edilmiş olabileceğini gösterir. Çalışma konusu kayaçların bulunduğu Doğu Anadolu Bölgesi gibi sıkışmalı tektonik rejimden genişlemeli tektonik rejime geçişlerde üretilen magmatizmanın petrojenezi üzerindeki kısıtlamaların belirsiz olduğu çünkü çoğu magmatik aktivitenin ya metasomatize olmuş bir fosil mantonun ve/veya daha önceki kalk-alkali kütlelerin kısmi erimesinden oluşmuş olabileceği belirtilmektedir [78]. Genel anlamda yüksek BİYE ve yüksek HNTE/ANTE oranlarının, tipik yay volkanizması ve aktif kıta kenarı magmatizmasını desteklediği [34], [79]-[80], [81]-[82] ve ayrıca BİYE ve HNTE zenginleşmelerinin yitim sürecinin etkisi, kabuksal kirlenme veya kaynak bölgesindeki düşük dereceli kısmi ergimelerle açıklanabileceği belirtilmektedir [34]. Buradan yola çıkarak Elazığ volkanitlerine ait örneklerin BİYE ve HNTE zenginleşmeleri ve yüksek HNTE/ANTE oranları ile tüm bu tanımlamalara uygunluk göstermektedirler.

Yitim tektoniğine bağlı olarak oluşan magmalar artan basınçla birlikte sıcaklığın yükselmesi, litostatik basıncın düşmesi ve ortama uçucu gazların ilavesi ile birlikte, kısmi ergimenin gerçekleşmesi gibi yitim zonlarında oluşan süreçlere bağlı olarak oluşmaktadır. Bu tür ortamlarda oluşacak magmalar dalan okyanus kabuğu, kıtasal litosfer

üzerinde bulunan kıta kabuğu ve manto kamasının kısmi olarak ergimesi sonucu zenginleşmektedir. Kıtasal kabuğun yaklaşık 45 km [25] ile oldukça önemli olduğu Doğu

Anadolu Bölgesi'nde Pleyistosen yaşlı Elazığ volkanitlerinin gelişiminde tüm bu süreçlerin oluşması beklenen sonuçlardır.



Şekil 6. Elazığ volkanitlerine ait örneklerin Sr izotop oranlarının $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - SiO_2 (a) ve Rb/Sr (b) ile olan değişim diyagramları ve örneklerin Sr/Nd - Th/Yb diyagramında dağılımları (c). OAB: Okyanus adası bazaltları ve N-OOSB: okyanus ortası sırtı bazaltları [70].

Fraksiyonel kristalleşme

Magmatik farklılaşma süreçlerinin en önemli etmenlerinden birisi olan fraksiyonel kristalleşme, magmanın genellikle Moho süreksizliği boyunca ya da daha sığ derinliklerde oluşan magma odalarında yeteri kadar birikmesi sonucunda meydana gelir. Magma odasında fraksiyonel kristalleşmenin başlamasıyla birlikte magmatik farklılaşma süreçleri de başlamış olur. Minerallerin kristalleşmeye başlaması ile artık/kalıntı ergiyik, fraksiyonlaşan minerallerin atomik yapısına giren elementlerce tükenmiş olacak ve böylece artık ergiyiklerin kimyasal bileşiminde bir değişiklik/farklılaşma oluşacaktır.

Çalışma konusu volkanik kayaların ana ve bazı iz elementlerin davranışları fraksiyonel kristalleşmeye işaret etmektedir. Örneğin SiO_2 ve MgO arasındaki dağılık yansımeler (Şekil 3), mafik fazların değişken dereceli fraksiyonel kristallenmesini ve olivin ile piroksenin kristallenerek ortamdaki uzaklaştırılmasını gösterir. Benzer şekilde artan silis ile Fe_2O_3 , TiO_2 ve CaO 'ın azalması, Ti

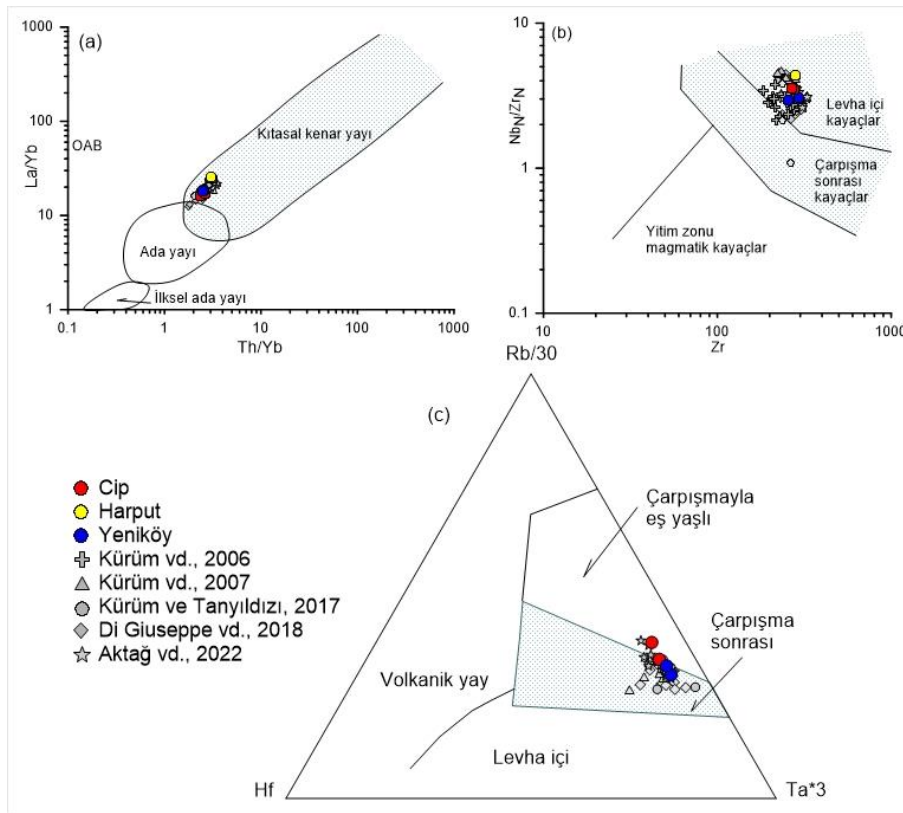
içeren oksitlerle beraber ferromagnezyen minerallerin fraksiyonel kristalleşmesi ile uyumludur. Silikanın artmasıyla P_2O_5 'in azalması, apatitin kristalleşmesinden kaynaklanabilir. Yine değişim diyagramlarında gözlenen element dağılımları (Şekil 3) fraksiyonel kristalleşme ile tek bir ana magma varlığını düşündüren düzgün yansımelerden [83] farklı olarak, kabuksal kirlenmenin de etkili olduğunu göstermektedir [84]. Örneklerin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 'ye karşı SiO_2 ve Rb/Sr diyagramları da bu sonuçları desteklemektedir (Şekil 6c,d). İlkel bir mantodan oluşan magmada Sr'a göre Rb miktarında azalma oluşurken [85], kabuktan türeyen malzeme, yüksek oranda SiO_2 miktarının yanında, yüksek Rb/Sr içeriğine sahiptir. Buna göre volkanitlerin SiO_2 ve Rb/Sr oranına karşın $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranının artması fraksiyonel kristalleşmenin yanında volkanitlerin kabuksal kirlenme sürecinden de etkilendiğini göstermektedir. Kabuksal kirlenmenin çarpışma sonrası volkanitlerden olan Kangal K-alkali kayalarında da gözlenmesi [33] bölge volkanitlerinde gözlenen bir özellik olarak kabul edilebilir.

Tektonik ortam

Doğu Anadolu Bölgesi'nin jeodinamik evriminin ve buna bağlı olarak oluşan volkanizmanın, Neotetis'in kapanması ve Arap-Anadolu levhasının çarpışmasını doğuran Avrasya, Afrika ve Arabistan gibi üç ana levhanın göreceli hareketi ile ilgili olduğu tartışmasız kabul edilmektedir [86]. Bu yakınsamanın sonucu olan Bitlis- Zagros Çarpışma Kuşağının erken Miyosen'de (~20 My) geliştiği [13] ve bunun sonucunda bölgedeki ana jeodinamik süreçlerin başladığı belirtilir [10], [14]-[17]. Örneğin, çalışma bölgesinin yakın çevresindeki Mazgirt volkanitlerinin (16.3 ve 15.1 My) Avrasya-Arabistan yakınsaması ile ilgili yay volkanizmasını temsil ettiği belirtilirken, Tunceli bazaltlarının (11.4-11.0 My) Doğu Anadolu'da çarpışma sonrası tektoniğin başlangıcından sonra, Karakoçan (4.1 My) ve Elazığ volkanitlerinin (1.9-

1.6 My) ise Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay sistemlerinin hareketinin başlamasından sonra yerleştiği belirtilir [29].

Bölgedeki magmatizmayı oluşturan jeotektonik olayların farklılığına bağlı olarak, yoğun olarak oluşan magmatizmanın da, orojenik özellikleri belirtecek şekilde kalkalkalinden şoşonitiğe değişen bileşenlerde veya basit petrotektonik yapıları uymayan geçiş üyeleri [34]-[38] özelliğinde olduğu kabul edilmektedir. Bu amaçla oluşturulan Th/Yb-La/Yb [87] ve Zr-Nb_N/Zr_N diyagramında örneklerin kıtasal kenar ve çarpışma sonrası kayaçları işaret eden bölgede yoğunlaştıkları görülür (Şekil 7a,b). Örneklerin La-Y-Nb diyagramında da çarpışma sonrası, orojenik olmayan bölgede yoğunlaştıkları görülmektedir (Şekil 7c).



Şekil 7. Çalışılan volkanik kayaçların; (a) Th/Yb-La/ Yb [87], (b) Zr-Nb_N/Zr_N, (c) Hf-Rb/30-Ta*3 Sınıflama Diyagramları [88].

Sonuçlar

Elazığ volkanitlerinin petrolojik özelliklerinin belirlenmesini amaçlayan bu çalışmada, yapılan analizler ile bölgedeki öncel çalışmaların [30], [39], [62]-[64], verileri birlikte değerlendirilmiştir. Elazığ merkez çevresinde yayılım gösteren bu volkanitler (Cip, Harput ve Yeniköy çevresi) coğrafik olarak birbirinden ayrı olsa da litolojik olarak benzer özelliklidirler.

Kayaçların, kimyasal verilere göre belirlenen normatif mineral içerikleri yüksek oranda plajiyoklas, ortoklas, nefelin, diyopsit, olivin ve magnetit şeklinde

değişmektedir. Tüm örneklerde nefelin ve olivinin bulunması bu kayaçların alkali bazik bileşimli olduğunu göstermektedir. Diyagramlarda alkali seriyi işaret eden bu kayaçların, kimyasal bileşimlerine göre potasik trakibazalt, havaiit ve bazanit bileşimli olmaları normatif mineral içerikleriyle de uyumludur.

Volkanitlerin Kondrit değerlerine normalize edilerek hazırlanan çoklu element diyagramlarında, referans örneklerle beraber tüm lokasyonlardaki örneklerin birbirine benzer şekilde, HNTE'lerdeki zenginleşmeye karşın ANTE değerleri bakımından doğrusal olarak giderek fakirleşmesi,

magmanın kısmi ergimeden sonra fraksiyonlanmasını işaret etmekle beraber yüksek HNTE/ANTE oranı, magmanın yitim etkisindeki bir manto kaynağından da etkilenmiş olabileceğini göstermektedir. Fraksiyonel kristalizasyon ile magma karışım etkisi ana element oksitleri ile bazı iz elementlerin SiO₂ ile olan değişimleri gibi element oranları veya elementler arasındaki korelasyonlarda da gözlenmektedir.

Volkanitlerin İlkse Manto değerlerine normalize diyagramlarında da çalışma örnekleriyle beraber diğer tüm referans örneklerin birbirine benzer yönseme gösterdikleri ve büyük iyon yarıçaplı elementlerdeki (Rb, Cs, Sr, Ba, K) zenginleşmelere karşın büyük alan yarıçaplı elementlerdeki tüketilmeler, volkanitlerin tüketilmiş manto kaynak bölgesiyle ilişkisini göstermektedir.

Örneklerin ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr_(i) (0,7039231-0,7036688) ve ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd_(i) (0,512829-0,512884) izotop analiz verileri ve yüksek εNd (3,76-4,84) değerleri, bu kayaçların ana magma kaynağının üst manto olduğunu göstermektedir. Böylece bazı iz element oranları bakımından manto kökenli OIB benzeri bileşimler vermesi açıklanabilmektedir. Manto kökenli bu volkanizmanın tüm bölge volkanitlerinde olduğu gibi bölgenin kabuk yapısına bağlı olarak kabuksal kirlenmeyle beraber yitim etkisi de göstermektedir.

Sonuç olarak; Elazığ volkanitlerinde yapılan jeokimyasal ve izotop analiz verilerinden elde edilen sonuçlara göre, tüm bu volkanik kayaçların astenosferik manto kökenli ve çarpışma sonrası kalıntı yitim etkisindeki magmatizmaya bağlı olarak meydana gelen alkalin özellikli magmanın, fraksiyonlaşmasıyla beraber üst kıtasal kabuk kirlenmesinden etkilenmiş olduğu görülmektedir.

Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

"Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur"

"Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır"

Yazar katkıları

Makalede adı geçen yazarlar, makalenin planlanması ve hazırlanması sürecinde; arazi çalışması, örneklerin değerlendirilmesi ve hazırlanması, analizlerin yorumlanması ve çizimlerin yapılması vb. gibi her aşamada katkıda bulunmuşlardır.

Teşekkür

Yazarlar, bu çalışma için "FÜBAP-MF.19.42" protokol numaralı proje ile destek sağlayan Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine (FÜBAP) teşekkür ederler.

Kaynaklar

- [1] R. Hall, "Ophiolite emplacement and the evolution of the Taurus Suture Zone, Southeast Turkey", *Bulletin of Geological Society of American*, vol.87, pp.1078-1088, 1976.
- [2] M. Berberian, G. King, "Towards a Paleogeography and Tectonic Evolution of Iran",

- Canadian Journal of Earth Sciences*, vol.18, pp.210-265, 1981.
- [3] A.M.C. Şengör, Y. Yılmaz, "Tethyan Evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach", *Tectonophysics*, vol.75, pp.181-241, 1981.
- [4] M. Alavi, "Tektonics of the Zagros orogenic belt of İnan –Nev data and interpretations", *Tectonophysics*, vol. 229, pp. 211-238, doi: 10.1016/0040-1951(94)90030-2, 1994.
- [5] L. Jolivet, and C. Faccenna, "Mediterranean extension and the Africa –Eurasia collision", *Tectonics*, vol. 19, pp. 1095-1106, 2000.
- [6] P. Agard, J. Omrani, L. Jolivet, and F. Mauthereau, "Convergence history across Zagros (İnan): Constraints from collisional and earlier deformation", *International Journal of Earth Sciences*, vol. 94, pp. 401-419, doi:10.1007/s00531-005-0481-4, 2005.
- [7] M. Allen and H. A. Armstrong, "Arabia-Eurasia collision and the forcing of mid- Cenozoic global cooling. Palaeogeography", *Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 265, pp. 52-58, 2008.
- [8] A.M.C. Şengör, N. Görür and F. Saroğlu, "Strikeslip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, in Biddle", K.D., and Christie- Blick, N., eds., "Strike-Slip Deformation, Basin Formation and Sedimentation", *Societr of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication*, vol. 17, pp. 227-264, 1985.
- [9] A.M.C. Şengör et al., "Easern Turkish high plateau as a amal Turcic –type orogen:Ç implications for post- collisional crust-forming processes in Turcic-type orogens", *Earth Science Reviews*, vol. 90, pp.1-48, 2008.
- [10] J.F. Dewey et al., "Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of eastern Anatolia—a collision zone, in collision tectonics", *Society, Special Publications*, vol. 19, pp. 3–36, 1986.
- [11] Y. Yılmaz, "New evidence and model evolution of the southeast anatolian orogen", *Geological Society of America Bulletin*, vol. 105, pp. 251-271, 1993.
- [12] A.H.F. Robertson et al., "Tectonic evolution of the South Tethyan ocean: evidence from the Eastern Taurus mountains (Elazığ region, SE Turkey), in Deformation of the Continental Crust: The Legacy of Mike Coward", Eds. A.C. Ries, R.W.H. Butler, R.H. Graham, *Geological Society of London, Special Publications*, vol. 272, pp. 233-272, 2007.
- [13] A. Okay, M., Zattin, and W. Cavazza, "Apatite fissiontrack data fort he Miocene-Eurasia collision", *Geology*, vol. 38, pp. 35-38, 2010.
- [14] G, Aktaş and A.H.F. Robertson, "Late Cretaceous–Early Tertiary fore-arc tectonics and sedimentation: Maden Complex, SE Turkey", In: M.Y. Savaşçin, A.H., Eronat, (eds.) *Proceedings of the International Earth Sciences Congress on Aegean Regions*, pp. 271-276, 1990.

- [15] T. Taymaz, J. Jackson and D. McKenzie, "Active tectonics of the north and central Aegean Sea", *Geophysical Journal International*, vol. 106, pp. 433–490, 1991.
- [16] Y. Dilek and S. Pavlides, "Post-collisional Tectonics and Magmatism in the Mediterranean and Asia", *Geological Society of America, Special Papers*, pp. 409, 2006.
- [17] C. Faccenna et al., "Slab detachment beneath eastern Anatolia: a possible cause for the formation of the North Anatolian fault", *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 242, pp.85–97, 2006.
- [18] A.M.C. Şengör and W.S.F. Kidd, "Post-collisional tectonics of the Turkish-Iranian plateau and a comparison with Tibet", *Tectonophysics*, vol. 55, pp. 361-376, 1979.
- [19] T. M. Yürür and J. Chorowicz, "Recent volcanism tectonics and plate kinematics near the junction of the African, Arabian and Anatolian Plates in the Eastern Mediterranean", *J. Volcan. Geotherm. Res.*, vol. 85, pp. 1–15, 1998.
- [20] A. H. F. Robertson, "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", Eds. E. Bozkurt, J.A. Winchester, J.D.A. Piper, *Geological Society, Special Publications*, vol. 173, pp. 97–138, London. 2000.
- [21] A. Robertson, S. J. Boulton et al., "Late Cretaceous–Miocene sedimentary development of the Arabian continental margin in SE Turkey (Adiyaman Region): implications for regional palaeogeography and the closure history of Southern Neotethys", *Journal of Asian Earth Sciences*, vol. 115, pp. 571–616, 2016.
- [22] M. Keskin, "Domal uplift and volcanism in a collision zone without a mantle plume: Evidence from Eastern Anatolia", <http://www.MantlePlumes.org/Anatolia.html>, 2005.
- [23] Y.-C. Lin et al., "Diachronous initiation of postcollisional magmatism in the Arabia-Eurasia collision zone", *Lithos*, vol. 356-357, pp.105394, 2020.
- [24] E. Zor et al., "The crustal structure of the East Anatolian plateau (Turkey) from receiver functions", *Geophysical Research Letters*, vol. 30(24), 8044, doi:10.1029/2003GL018192, 2003.
- [25] E.A. Vanacore, T. Taymaz and E. Saygin, "Moho structure of the anatolian plate from receiver function analysis", *Geophys. J. Int.*, vol. 193, pp. 329-337. 2013.
- [26] A. Al-Lazki et al., "Tomographic Pn velocity and anisotropy structure beneath the Anatolian plateau (eastern Turkey) and the surrounding regions", *Geophysical Research Letters*, this section, 2003.
- [27] R. Gök et al., "Sn Attenuation in the Anatolian and Iranian Plateaus and Surrounding Regions", *Geophysical Research Letters*, this section, 2003.
- [28] D.A., Angus, D.C., Wilson, E., Sandvol, J.F., Ni, "Lithospheric structure of the Arabian and Eurasian collision zone in eastern Turkey from S-wave receiver functions", *Geophys. J. Int.*, vol. 166, pp. 1335–1346, 2006.
- [29] S. Agostini et al., "Neogene volcanism in Elazığ-Tunceli area (eastern Anatolia): geochronological and petrological constraints", *Italian Journal of Geosciences*, vol. 138, pp. 435-455, 2019.
- [30] P. Di Giuseppe et al., "Transition from compression to strike-slip tectonics revealed by Miocene-Pleistocene volcanism west of the Karliova Triple Junction (East Anatolia)", *Journal of Petrology*, vol. 58 (10), pp. 2055-2087, 2018.
- [31] A. Koçyiğit, A. Yılmaz, S. Adamia, S. "Kuloshvili, Neotectonics of East Anatolian plateau (Turkey) and lesser caucasus: implication for transition from thrusting to strike-slip faulting", *Geodinamica Acta*, vol.14, pp. 177-195, 2001.
- [32] İ. Kuşçu et al., "Magmatism in the southeastern Anatolian orogenic belt: transition from arc to postcollisional setting in an evolving orogen", In: M. Sosson, N. Kaymakçı, R.A. Stephenson, F. Bergerat, V. Starostenco, (Eds.), "Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform", *Geological Society Special Publications, London*, pp. 437-460, 2010.
- [33] P. Di Giuseppe et al., "From subduction to strike slip-related volcanism: insights from Sr, Nd, and Pb isotopes and geochronology of lavas from Sivas-Malatya region, Central Eastern Anatolia", *Int. J. Earth Sci.*, vol.110, pp. 849–874, 2021.
- [34] J.A. Pearce et al., "Genesis of collision volcanism in Eastern Anatolia, Turkey", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 44, pp. 189–229, 1990.
- [35] K. Notsu et al., "Geochemical features of collision-related volcanic rocks in central and eastern Anatolia, Turkey", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 64, pp. 171-192, 1995.
- [36] E. Buket and A. Temel, "Major-element, trace-element, and Sr-Nd isotopic geochemistry and genesis of Varto Muş volcanic rocks, Eastern Turkey", *Jour. of Volcanology and Geothermal Res.*, vol. 85, pp.405-422, 1998.
- [37] Y. Özdemir, Ö. Karaoğlu, A.Ü. Tolluoğlu, N. Güleç, "Volcanostratigraphy and petrogenesis of the Nemrut stratovolcano (East Anatolia Hight plateau): The most recent post-collisional volcanism in Turkey" *Chemical Geology*, vol.226, pp.189-211, 2006.
- [38] Y. Özdemir and N. Güleç, "Geological and Geochemical evolution of Süphan Stratovolcano Eastern Anatolia, Turkey: Evidence for the lithosphereasthenosphere interaction on post collisional volcanism on post collisional volcanism" *Journal of Petrology*, vol.55, pp. 37-62, 2014.

- [39] A. Aktağ, K. Sayit, B.J. Peters, T.Furman, J. Rickli, "Trace element and Sr-Nd-Hf-Pb isotopic constraints on the composition and evolution of eastern Anatolian sub-lithospheric mantle", *Lithos*, vol.430-431, pp. 106849, 2022.
- [40] Y. Yılmaz, Y. Güner, F. Şaroğlu, "Geology of the Quaternary volcanic centres of the East Anatolia", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 85, pp. 173-210, 1998.
- [41] P.A. Şen, A. Temel, A. Gourgaud, "Petrogenetic modeling of Quaternary post-collisional volcanism: a case study of central and eastern Anatolia", *Geological Magazine*, vol. 141, pp. 81-98, 2004.
- [42] M. Keskin, "Eastern Anatolia: a hot spot collision zone without a mantle plume", In: G.R. Foulger and D. Jurdy, (eds) "Plates, plumes and planetary processes", *Geological Society of America, Special papers*, vol. 430, pp. 693-722, 2007.
- [43] M. Lustrino and M. Wilson, "The Circum-Mediterranean anorogenic Cenozoic Igneous Province", *Earth-Science Reviews*, vol. 81, pp. 1-65, 2007.
- [44] S. Agostini et al., "Recent studies on Central and Eastern Anatolia Volcanism", In: S. Agostini, P. Manetti, and M. Lustrino (eds), "The contribution of Italian Scientists to the Geology of the Turkey", *Acta Vulcanol.*, vol. 26-27, pp. 37-50, 2016.
- [45] M. Keskin, "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*, vol. 30(24), pp. 1-4, 2003.
- [46] M. Keskin, J. A. Pearce and J. G. Mitchell, "Volcanostratigraphy and geochemistry of collision-related volcanism on the Erzurum-Kars plateau, North Eastern Turkey", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 85, pp. 355-404, 1998.
- [47] A. Kaygusuz, "K/Ar ages and geochemistry of the collision related volcanic rocks in the Ilca (Erzurum) area, eastern Turkey", *Neues Jahrbuch Für Mineralogie*, vol. 186(1), pp. 21-36, 2009.
- [48] V.A. Lebedev, E.V. Sharkov, M. Keskin, V. Oyan, "Geochronology of the Late Cenozoic volcanism in the area of Van Lake (Turkey): an example of the developmental Dynamics for magmatic processes", *Doklady Earth Sciences*, vol. 433, pp. 1031-1037, 2010.
- [49] S. Kürüm, M. Altunbey, "Şavak – Ayazpınar (Pertek / Tunceli) köyleri arasındaki magmatik kayaların petrografik ve jeokimyasal özellikler", *Yerbilimleri/Geosound*, vol. 39, pp. 85-108, 2001.
- [50] S. Kürüm et al., "40Ar/39Ar age and geochemistry of the post-collisional Miocene Yamadağ volcanics in the Arapkir area (Malatya Province), eastern Anatolia, Turkey", *Journal of Asian Earth Sciences*, vol. 33, 3-4, pp. 229-251, 2008.
- [51] A. Seyrek et al., "Late Cenozoic uplift of the Amanos Mountains and incision of the Middle Ceyhan river, southern Turkey: Ar-Ar dating of the Duzici basalt", *Geomorphology*, vol.97(3-4), pp. 321-355. 2008.
- [52] V. Trifonov et al., "The Lower Pleistocene in THE Euphrates Valley of Eastern Turkey and inhabitation of earliest hominine in the Caucasus region", *XIX INQUA Congress Quaternary Perspectives on Climate Changes, Natural Hazards and Civilization*, Poster Presentation, Nagoya, Japan, 2015.
- [53] A. Kaya, "Keban (Elazığ) civarındaki metamorfizelerin yapısal analizine tektonik evrimi", Doktora Tezi. F.Ü. Fen Bil. Enst., 2001.
- [54] B. Akgül, "Piran köyü (Keban) çevresindeki magmatik kayaların petrografik ve petrolojik özellikleri", Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 125s. (yayımlanmamış) 1993.
- [55] E. Aksoy, "Elazığ batı ve güneyinin genel jeolojik özellikleri", *Tübitak Doğa Türk Yerbilimleri Dergisi*, vol.2, pp.113-123, 1993.
- [56] S. Köksal, "The Upper Cretaceous intrusive rocks with extensive crustal contribution in Hacımahmutuşağı Area (Aksaray/Turkey)", *Geologica Carpathica*, vol. 70, pp. 261-276, 2019.
- [57] A. Okay, O. Tüysüz, "Tethyan sutures of northern Turkey", *Geological Society of London. Special Publications*, vol.156(1), pp. 475-515, 1999.
- [58] MTA, "1/500.000 Türkiye Jeoloji Haritası", *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*, Ankara. 2002.
- [59] S. Kürüm, S. Aydemir, İ. Yıldırım, "Cip, Harput, Yeniköy Çevresindeki Elazığ Volkanitlerinin Saha, Petrografik ve Mineral Kimyası Özellikleri, Elazığ", *Fırat Ün. Mühendislik Bilimleri Derg.*, (İncelemede).
- [60] W.F. McDonough and S.-S. Sun, "Composition of the Earth", *Chemical Geology*, vol.120, pp.223-253. 1995.
- [61] M.J. Le Bas, R. W. Lemaitre, A. Streckeisen, and B. Zanettin, "A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram", *Journal of Petrology*, vol. 27, pp. 745-750, 1986.
- [62] S. Kürüm, B. Akgül, E. Erdem, "Examples of Neogene volcanism in eastern Turkey: Comparative petrographic, geochemical and petrologic features of Malatya-Elazığ-Tunceli volcanics", *Journal of Geological Society of India*, vol.68, pp. 129-136, 2006.
- [63] S. Kürüm, E. Özbulut, M. Ural, "Polijenetik bir volkanizma ve petrografik-jeokimyasal özellikleri: Harput (Elazığ) Karataş tepe volkanizması", *Yerbilimleri/Geosound*, vol. 50-51, pp. 47-64, 2007.
- [64] S. Kürüm, Ö. Tanyıldızı, "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, vol. 134, pp. 332-344, 2017.
- [65] T.N. Irvine and W.R.A. Baragar, "A guide to the chemical classification of common volcanic rocks", *Canadian Journal of Earth Sciences*, vol. 8, pp. 523-548, 1971.
- [66] G. Faure and T.M. Mensing, "Isotopes: Principles and Applications", 3rd ed. John Wiley and Sons, USA, pp.897, 2005.
- [67] A. Zindler and S. Hart, "Chemical Geodynamics", *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, vol.14, pp. 493-571, 1986.
- [68] H. Rollinson, "Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation", New York: John Wiley & Sons, pp.352, 1993.
- [69] N. Güleç, "Magmatik kayaçların izotop jeokimyası", D. Boztuğ, N. Otlu, (ed.), "Magmatik petrojenez", Tübitak Lisansüstü Yaz Okulu, Haziran, Akçakoca-Düzce, pp.343-381, 2001.
- [70] S.S. Sun, W. F. McDonough, "Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes, in Magmatism in the Ocean Basins", A.D. Saunders, M.J. Norry, (eds.), "Geological Society of London", *Special Publications*, vol.42, pp.313-347, 1989.
- [71] T.C. Liew, A.W. Hofmann, "Precambrian crustal components, plutonic associations, plate environment of the Hercynian Fold Belt of central Europe: Indications from a Nd and Sr isotopic study", *Contrib. Mineral. Petrol.*, vol.98, pp.129-138, 1988.
- [72] D.J. De Paolo and E.E. Daley, "Neodymium isotopes in basalts of the southwest basin and range and lithospheric thinning during continental extension", *Chemical Geology*, vol.169, pp.157-185, 2000.
- [73] J.A. Pearce, "Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries", In: R.S. Thorps, (ed.), *Andesites*. Wiley, Chichester, pp.525-548, 1982.
- [74] J.A. Pearce, D.W. Peate, "Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas", *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, vol.23, pp.251-285, 1995.
- [75] N. Güleç, "Crust-mantle interaction in western Turkey: implications from Sr and Nd isotope geochemistry of Tertiary and Quaternary volcanics", *Geol. Mag.*, vol.128(5), pp.417-435, 1991.
- [76] Y. Huang, C. Hawkesworth, I. Smith, P. Calsteren, P. Black, "Geochemistry of late Cenozoic basaltic volcanism in Northland and Coromandel, New Zealand: implications for mantle enrichment processes", *Chemical Geology*, vol.164, pp.219-238, 2000.
- [77] R.N. Thompson, M.A. Morrison, "Asthenospheric and lower lithospheric mantle contributionsto continental extensional magmatism: an example from the British Tertiary Province", *Chemical Geology*, vol. 68, pp.1-15, 1988.
- [78] H. Azizi, N. Daneshvar, A. Mohammadi et al., "Early Miocene post-collision andesite in the Takab area, northwest Iran", *Journal of Petrology*, pp.1-19, 2021.
- [79] J.G. Fitton, D. James, P.D. Kempton, D.S. Ormerod, W.P. Leeman, "The role of lithospheric mantle in the generation of late Cenozoic basic magmas in the Western United States", *Journal of Petrology, Special Issue*, pp.331-349, 1988.
- [80] M. Wilson, "Igneous Petrogenesis", Oxford University Press., pp.466, 1989.
- [81] M.T. McCulloch, J.A. Gamble, "Geochemical and geodynamic constraints on subduction zone magmatism", *Earth and Planetary Science Letters*, vol.102, pp.358-374, 1991.
- [82] R. Kerrich, D.A. Wyman, "The trace element systematics of igneous rocks in mineral exploration: an overview, Trace Element Geochemistry of Volcanic Rocks", D.A. Wyman, (ed.), "Applications for Massive Sulfide Exploration", Geological Association of Canada, Short Course Notes, 12, 1996.
- [83] A. Peccerillo, L. Dallai, M.L. Frezzotti, P.D. Kempton, "Sr-Nd-Pb-O isotopic evidence for decreasing crustal contamination with ongoing magma evolution at Alicudi volcano (Aeolian arc, Italy): implications for style of magma-crust interaction and for mantle source compositions", *Lithos*, vol.78, pp.217-233, 2004.
- [84] S.P. Verma, "Geochemistry of evolved magmas and their relationship to subduction-unrelated mafic volcanism at the volcanic front of the central Mexican Volcanic Belt", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 93, pp.151-171, 1999.
- [85] G. Faure, "Principles of isotope geology", John Wiley and Sons, Canada, pp.589, 1986.
- [86] Y. Dilek, E. Sandvol, "Seismic structure, crustal architecture and tectonicof the Anatolian-African Plate Boundary and the Cenozoic Orogenic Belts in the Eastern evolution Mediterranean Region", *Geological Society of London Special Publications*, vol.327, pp.127-160, 2009.
- [87] K.C. Condie, "Geochemical changes in basalts and andesites across the Archean-Proterozoic Tavşan adalarındaki (KB Anadolu) Tersiyer Volkanizmasının özellikleri", *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, vol.117, pp.55-86, 1989.
- [88] N.B.W. Harris, J.A. Pearce, A.G. Tindle, "Geochemical characteristics of collision-zone magmatism", In M.P. Coward, A.C. Reis, (eds.), "CollisionTectonics", *Spec. Publ. Geol. Soc.*, vol.19, pp.67-81, 1986.