

Dursunbey (Balıkesir)- Foça (İzmir) Erken-Orta Miyosen Volkaniklerinin İzotop Jeokimyası

Altuğ HASÖZBEK*¹

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksekokulu,
Doğal Yapı Taşları Teknolojisi Programı, 35860, İzmir

(Alınış / Received: 18.03.2017, Kabul / Accepted: 18.04.2017,
Online Yayınlanma / Published Online: 20.09.2017)

Anahtar Kelimeler Batı Anadolu,
Kalk-alkalin,
Erken-Orta
Miyosen
Sr-Nd izotopları

Özet: Batı Anadolu Erken-Orta Miyosen volkanizması geniş yüzlekler sunar. Bu geniş volkanizmanın farklı fasiyesleri, özellikle, İzmir-Ankara Zonu'nun kuzeyinde ve güneyinde yoğunlaşır. Bu çalışmada, Dursunbey (Balıkesir) ve Foça (İzmir) bölgelerinde yüzlek veren Erken-Orta Miyosen yaşlı volkanik birliklerin ana, iz-element ve Sr-Nd izotop jeokimyası değerlendirilmektedir. İki ayrı bölgeden, alttan üste doğru, elde edilen bu jeokimya verileri ışığında, Batı Anadolu Erken-Orta Miyosen volkanizmasının kökenine ait evrimsel süreçlere yaklaşımlarda bulunmaktadır. Birinci bölge, Dursunbey'in doğu ve batısında yer alan, alttan-üste doğru- dasitik-trakidasitik ve riyolitik bileşimli kayaları kapsar. İkinci bölge, Foça'nın doğusunda yer alan, alttan üste doğru, Dumanlıdağ Kalderası'nın andezitik-trakiandezitik bileşimli volkanikleri ile Foça-merkezine yakın kesimlerdeki, genç riyolitik volkaniklerden yapıldır. Dursunbey volkaniklerinin ilksel ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr oranları (0.70838-0.71362) arasında olup, Foça bölgesi ortaç-felsik bileşimli volkaniklerine göre ilksel ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr oranları (0.70723-0.70805) daha yüksektir. Aynı bölgelerdeki volkaniklerden elde edilen ilksel ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd ve eNd oranlarında da, Dursunbey'den Foça'ya doğru hafif artış gözlenir. AFC modellemelerine göre, Dursunbey ve Foça bölgelerinin alt seviyelerini oluşturan volkaniklerin, üst seviyelerde yer alan volkaniklere göre kabuksal kirlenme oranları daha yüksektir. İncelenen bölgelerdeki volkaniklerin izotop jeokimyası birlikte değerlendirildiğinde, Dursunbey-Foça volkaniklerinin kıtasal kabuk baskın olmak üzere, olası mantodan etkilenmiş hibrit bir magmadan türemiş olduğu söylenebilir.

Isotope Geochemistry of the Early-Middle Miocene Dursunbey (Balıkesir)-Foça (Izmir) Volcanics

Keywords

Western Anatolia,
Calc-alkaline,
Early-Middle
Miocene,
Sr-Nd İsoİopes

Abstract: Widespread outcrops of the Early-Middle Miocene volcanism can be found in the western Anatolia. Different facies of this volcanism are particularly common along the northern and the southern parts of the Izmir-Ankara Zone. In this paper, major, trace and isotope compositions (Sr-Nd) of the Early-Middle Miocene Dursunbey (Balıkesir), and Foça (Izmir) volcanics are evaluated. In the light of this geochemical data (from bottom to top) from these two regions, new approaches for the magmatic evolution of the Early Miocene magma-source are suggested. The first study area comprises, from bottom to top, dacitic-trachydasitic and rhyolitic volcanic rocks of the Dursunbey. The second area embodies the andesites and trachyandesitic rocks of the Dumanlıdağ Caldera in the eastern part of the Foça, whereas younger rhyolitic volcanics (domes) are located in the central part of the Foça. The initial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios of the Dursunbey volcanics are between 0.70838-0.71362, which are higher than intermediate to felsic rocks ratios of the Foça volcanics (0.70723-0.70805). The initial $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ and ϵNd ratios of the Dursunbey volcanics are also relatively higher than the initial Nd-isotope ratios of the Foça volcanics. According to the AFC estimated models, lower parts of the Dursunbey and Foça volcanics are more likely to be affected from the crustal contamination than upper parts of these volcanics. When the isotopic geochemistry of the studied areas are taken into consideration together, the Dursunbey and Foça volcanics are dominantly contaminated by continental crust and likely with a contribution of mantle derived hybrid magma.

1. Giriş

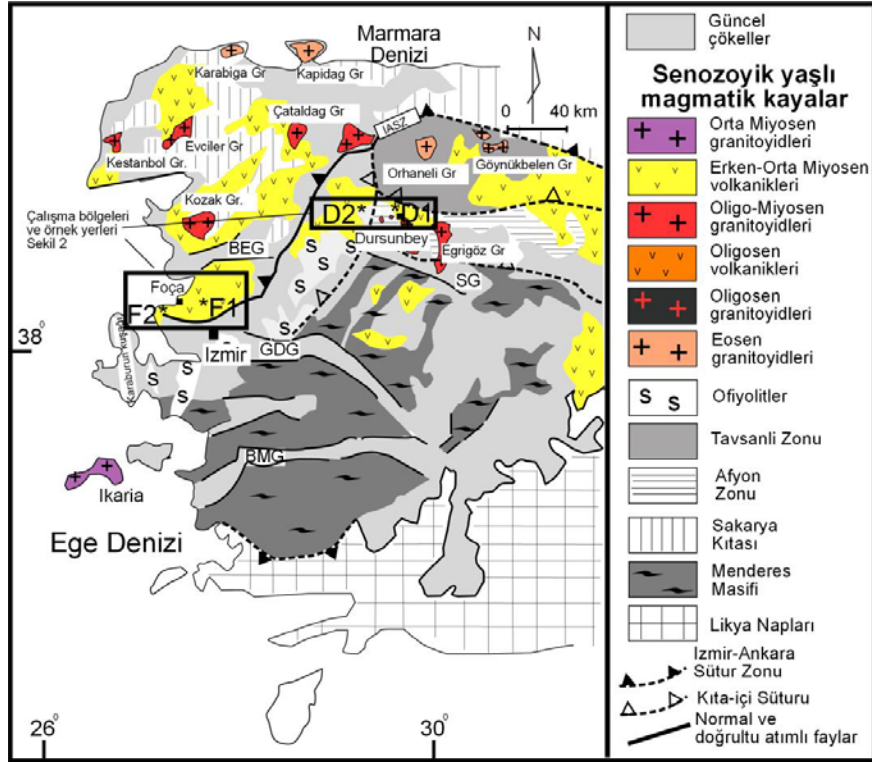
Batı Anadolu'da geniş alanlarda gözlenen Erken-Orta Miyosen volkanizmasının oluşum mekanizmaları ve jeokimyasal karakterleri son zamanlarda yayımlanan birçok çalışmada özetlenmiştir [1-7]. Batı Anadolu'da gözlenen yaygın volkanik birlikler, farklı volkanik fasiyeslere ait litolojilerden yapıldır ve genellikle yüksek-K'lu, kalk-alkalin karakterlidir [1-3]. Bu yaygın volkanizma trakiandezit-andezit, dasit-riyodasit ve riyolit bileşiminde ürünler sunar [1-7]. Bu volkanizmanın ürünleri, önceki çalışmalara göre, yaklaşık 16-20 My yaş aralığında gözlenir (Şekil 1) [6-referanslar içinde].

Miyosen volkanizmasının ürünleri, Batı Anadolu'da yer yer farklılıklar gösterse de, genellikle kalk-alkalinden alkalin karaktere doğru değişen bi-modal volkanizmanın ürünleri yaygındır [2-3, 6-7]. Bu volkanik faaliyetlerin gelişimini kontrol eden tektonik hareketler ve magma evrimi halen tartışmalı bir konudur. Farklı araştırmacılar, Batı Anadolu'daki Miyosen volkanizmasının, bölgedeki Miyosen genleşmesi sırasında ve/veya sonrasında geliştiği konusunda ortak görüş içerisindedirler [8-14]. Batı Anadolu Miyosen volkanizmasının tektono-magmatik evriminin ortaya konmasına katkı sağlayabilecek izotop jeokimyası çalışmaları ise oldukça kısıtlıdır [1,7,15]. Bu çalışmalarda, kabuksal kirlenmenin, Erken-Orta Miyosen kalk-alkalin volkanizmasında, daha genç (alkali) volkaniklere göre daha yüksek olduğu ileri sürülür. Ancak, bu genç alkali volkanizmanın daha yaşlı volkanik birliklerle gösterdiği benzer jeokimyasal verilerden ve kesiksiz-progresif evriminden dolayı da ortak bir ergiyikten türediği öne sürülür.

Batı Anadolu'daki en yaygın Erken-Orta Miyosen yaşlı volkanik aktivite, kalk-alkalin karakterli olup, yüksek-K içeren volkaniklerden yapıldır. Bu yaygın volkanizmanın ürünleri, yaklaşık 16-20 My arasındadır ve karakteristik örnekleri yaklaşık KD-GB doğrultusunda, Balıkesir-İzmir hattı boyunca geniş yüzlekler halinde gözlenir (Şekil 1). Bu çalışma kapsamında, KB Anadolu'da yer alan Dursunbey ve Foça volkaniklerinin alt ve üst seviyelerinden olmak üzere, 2 ayrı bölgedeki (Şekil 1-2) volkanik birliklerin ana, iz-element ve izotop (Sr-Nd) jeokimyası detaylı olarak ele alınmıştır. Dursunbey-Foça arasında gözlenen yüksek-K içerikli ortaç-felsik lavların jeokimya ve izotop izleri, önceki çalışmalarla [1-7,23] birlikte değerlendirildiğinde, progresif bir volkanizmanın varlığına işaret eder. Bu çalışma kapsamında, Dursunbey-Foça arasındaki Erken-Miyosen volkanizmasının magmatik evrimine ve kökenine yönelik, kısıtlı sayıda raporlanan, izotop jeokimya verileri yorumlanmıştır. Ayrıca, bu bölgelerdeki volkanikler ilgili bölgelerde, alttan üste doğru örneklenerek, jeokimya (ana-iz element) ve Sr-Nd izotop analiz verileri bölgelerin jeolojik özelliklerine göre birlikte değerlendirilerek aşağıda detayları sunulmuştur.

2. Çalışma Alanlarının Jeolojisi

Çalışma kapsamında konu edilen bölgeler 2 ayrı grupta yer alır (Şekil 1-3): i) Dursunbey (Balıkesir), ii) Foça (İzmir).



Şekil 1. Çalışma alanlarını gösterir genelleştirilmiş yer buldurular haritası (D1-Alt seviye Dursunbey volkanikleri; D2-Üst seviye Dursunbey volkanikleri; F1-Alt seviye Foça volkanikleri; F2-Üst seviye Foça volkaniklerinden alınan örnekleri temsil eder)

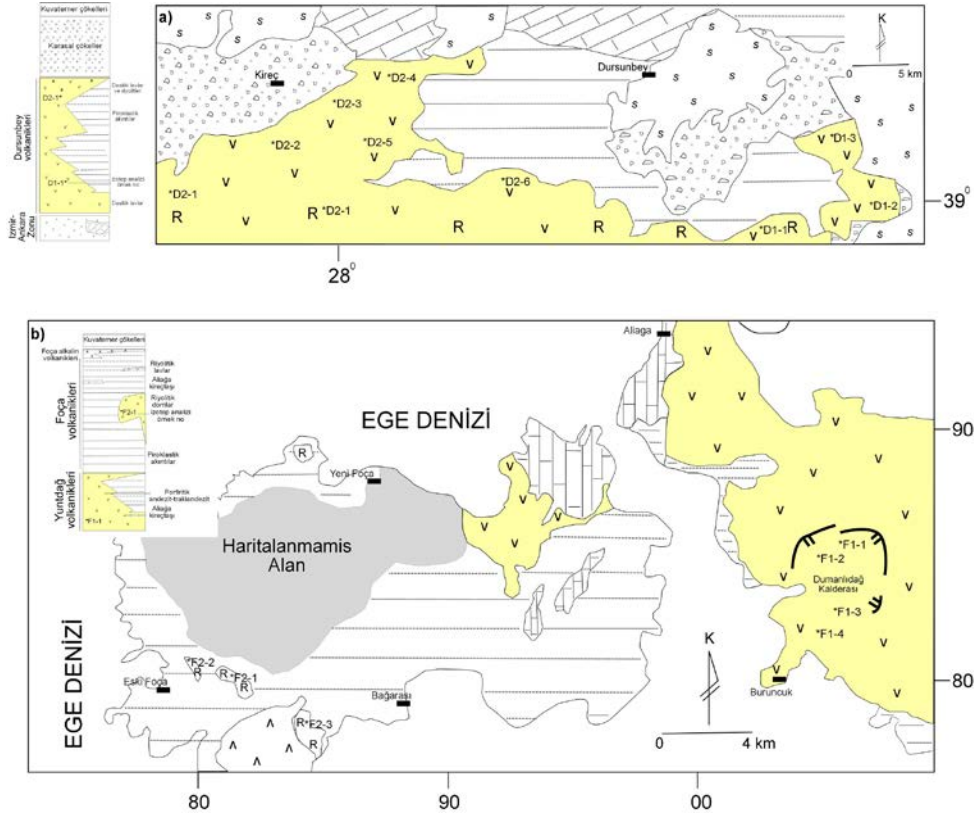
2.1. Dursunbey (Balıkesir) Bölgesi

Balıkesir GD'sinde bulunan Dursunbey Bölgesi'nin temelinde Paleozoik yaşlı Menderes Masifi'ne ait birlikler ve bu birliklerin üzerine tektonik bir dokanakla yerleşmiş İzmir-Ankara Zonu'na ait kayalar yer alır (Şekil 1, 2a, 3a). Bu birimlerin üzerine uyumsuz olarak Erken-Geç Miyosen yaşlı volkanik kayalar gelir (Şekil 2a, 3a) [16-17]. Çalışma kapsamında alınan örnekler, alttan üste doğru, 2 grupta toplanır:

- Dursunbey volkaniklerinin alt seviyelerindeki dasitik (D1) ve
- Dursunbey volkaniklerinin üst seviyelerindeki dasitik-riyolitik lavlardan oluşur (D2). Dursunbey volkaniklerinin alt seviyelerinde yer alan dasitik lavlar (D1) yaklaşık 19 My

yaşını verir [23]. Üst seviyelerindeki dasitik-riyolitik kesimlerin yaşı ise, stratigrafik konumuna göre, olası 19 My'den daha gençtir. Her iki gruba ait kayaların petrografik incelemelerinde ve önceki çalışmalara göre [16]; porfiritik doku sunan lavlar %25-35 plajiyoklas, %20-25 sanidin, %20-25 Kuvars, %2 biyotit ve hornblend içermektedir. Matriks genelde camı veya mikrokristalin yapılıdır. Bazı örneklerde, kuvars oranı artmakta ve kayaların petrografik tanımlamasında riyodasit-riyolit bileşimli oldukları saptanmaktadır.

A. Hasözбек - Dursunbey/Balıkesir-Foça/İzmir (B. Anadolu) Erken-Orta Miyosen Volkaniklerinin İzotop Jeokimyası



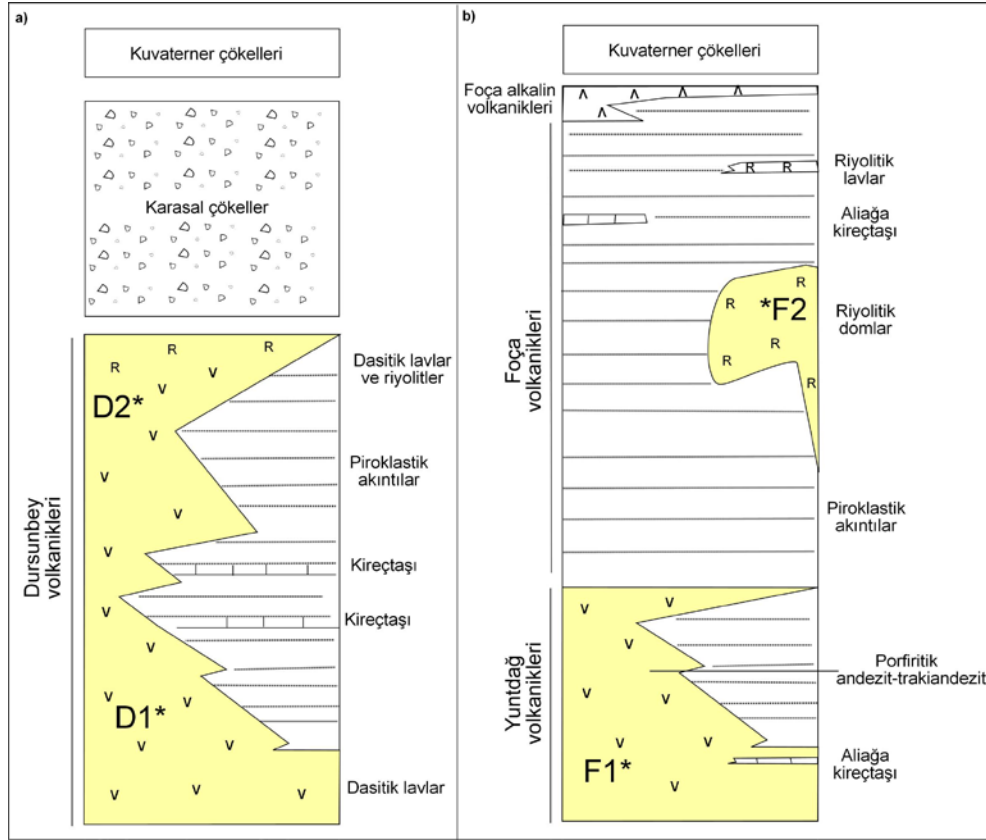
Şekil 2. Çalışma Alanlarının basitleştirilmiş jeolojik haritaları **a)** Dursunbey bölgesi [23'ten basitleştirilerek], **b)** Foça Bölgesi [3'ten basitleştirilerek] (*Alınan örnekler. Açıklamalar için Şekil 1'e bakınız).

2.2. Foça (İzmir) Bölgesi

İzmir İl'inin kuzeyinde yar alan Foça bölgesinin jeolojisi [2-3]'e göre şu şekildedir (Şekil 1, 2b). Alttan üste doğru, şunlardır: Yuntadağ volkaniklerine ait porfiritik andezit, trakiandezitik lavlarla ve bunlara yanıl geçişli, gölsel kireçtaşı (Aliğa Kireçtaşı) ve kaba-kül akmalarıyla temsil edilir (Şekil 3b). Yuntadağ volkaniklerinden üste doğru Foça kalk-alkalin volkaniklerine ait kalın piroklastik istif geçer (Şekil 3b). Bu istif içerisinde, yer yer, riyolitik domlar, lavlar ve gölsel sedimenter kayalar (Aliğa Kireçtaşı) yanıl geçişler gözlenir (Şekil 2b,3b). Foça kalk-alkalin volkaniklerinin en üst seviyelerinde, Foça alkalin birliklerine

yanıl ve düşey yönde geçer (Şekil 2b, 3b).

Foça bölgesindeki kalın volkanik istiftan alınan örnekler, alttan üste doğru, şu şekildedir: i) Dumanlıdağ Kalderası'ndan ve çevresindeki andezit ve dasitik lavlardan (F1) ve ii) Eski Foça yolu ve yaklaşık Foça merkezine yakın bölgelerde yüzlekler sunan riyolitik lavlardan (F2) alınmıştır (Şekil 2b,3b). [3]. Foça volkanik istifinin alt seviyelerinin (F1) yaşı yaklaşık 17 My'dir (yayımlanmamış). Bu istifin üst seviyelerindeki riyolitik bileşimli volkanizmanın yaşı ise, önceki çalışmalar göre yaklaşık 16 My'dir [7].



Şekil 3. Çalışma Alanlarının genelleştirilmiş kolon kesitleri **a)** Dursunbey bölgesi [23'ten basitleştirilerek], **b)** Foça Bölgesi [3'ten basitleştirilerek] (*Alınan örnekler. Açıklamalar için Şekil 1'e bakınız).

Foça bölgesini oluşturan bu kalın kalk-alkalin ve alkalin karakterli volkanik istif, yanal yönde görsel sedimenter kayalarla kesintisiz bir şekilde geçişler sunar [3].

Foça volkanik istifinin alt seviyelerinden alınan örneklerde (F1, Dumanlıdağ Kalderası), Yuntadağ volkanikleri baskın olarak porfiritik dokuda, %20-50 oranında plajiyoklas, biyotit, hornblend, piroksen ve çok az sanidin içermektedir. Matriks mikrolitik olup, yer yer camsı kesimler gözlenir [3]. Petrografik bulgulara göre, bu bölgeye ait kayalar andezit ve/veya trakiandezit bileşimlidir [3]. Foça volkaniklerinin üst

seviyelerinde (F2) yer alan domlardan alınan örneklerin petrografik özelliklerine göre, camsı ve akma dokusunun iyi gözlemlendiği mikrokristalin matriks ve bu matriks içerisinde gözlenen %20 öz şekilli kuvars ve K-feldspat fenokristallerinden yapılmış riyoitik bileşimli kayalar tanımlanır [3].

3. Analitik Yöntemler

Bu çalışma kapsamında 2 ayrı bölgeden Dursunbey ve Foça bölgelerinden ana-izotop analizleri için toplam 21 (Tablo 1), Sr-Nd izotop analizleri içinse, 16 (Tablo 2) örnek kullanılmıştır. Örnekler, Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji

Mühendisliği Bölümü'nü bünyesindeki 'örnek hazırlama laboratuvarında' analizlere hazır hale getirilmiştir.

Jeokimya analizleri Tübingen Üniversitesi Jeokimya Bölümü'nde bulunan Bruker AXS S4 Pioneer X-Işını Flüoresans Spektrometresi ile yapılmıştır. Toz haline getirilen örnekler analiz öncesi kızdırma kaybı hesaplamaları için 1.5 gr'lık 105 °C'de kurutulmuş toz-örnekler 7.5 gr'lık %66 Li-tetraborat ve %34 Li-metaborat içeren MERCK spektromelt ile karıştırılarak 1200 °C'de ergitilip, paletler haline getirilmiştir. Analizler 4kW Rh tübü bulunan XRF cihazı ile 32 farklı standart ile birlikte ölçülmüştür [18]. Ana elementlerdeki hata oranları %1 (1SD)'den daha düşük ve iz elementlerdeki hata oranları ise genellikle %5 (1SD)'den daha iyidir.

Çalışma kapsamında tamamlanan Sr-Nd izotopları Tübingen Üniversitesi Jeokimya Bölümü'nde yer alan Radyojenik İzotop Temiz Laboratuvarı'nda kimyasal prosesleri tamamlanmış, analizler de Jeokimya Bölümü'nde yer alan Finnigan MAT 262 TIMS cihazı ile ölçülmüştür. Sr-Nd izotop analizleri için, volkanik kayalardan hazırlanan 70-90 mg lık toz haline getirilmiş tüm kaya örnekleri ⁸⁴Sr-⁸⁷Rb izotop izleyici (spike) ile belli oranlarda karıştırılmıştır. Örnekler, teflon kaplar içerisine yerleştirilmiş ve tüm teflon kaplar Poli-Tetraflor-Etilen reaksiyon kabına 220 °C sıcaklıkta 4 gün tutulmuştur. Reaksiyon kabına konan konsantre HF asidinin etkisiyle, artan sıcaklık ve basıncın da etkisiyle örnekler çözdürülmüştür. Tüm çözünen örnekler kurutulmuş 2.5 N HCl asit ile yeniden çözdürtülmüştür. Katyon değişimine bağlı kromatografi yöntemiyle, Rb, Sr, Sm ve Nd ayrılmıştır. Elde edilen Sr, Ta-HF hızlandırıcısı ile tekli W-filamentine yerleştirilmiştir. Nd ölçümleri için çiftli Re-filament kullanılmıştır. Filamentlere

yerleştirilen Sr ve Nd örnekleri, MAT 262 TIMS cihazı ile ölçülmüştür. Kütle fraksiyonlaşmasına bağlı hata oranları normalize edebilmek için, Sr; ⁸⁶Sr/⁸⁸Sr= 0.1194 oranına, Nd; ¹⁴⁶Nd/¹⁴⁴Nd=0.7219 oranına normalize edilmiştir. Ölçümler sırasında kullanılan Sr-NBS-987 standardı ortalama 0.710200 ± 10 (referans değer-0.710245), Nd-La Lolla standardı ortalama 0.512094 ± 9 (referans değer-0.511850) olarak ölçülmüştür. Tüm kayaçlar için ⁸⁷Rb/⁸⁶Sr oranları ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr oranlarında hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan Rb ve Sr konsantrasyon değerleri XRF sonuçlarından elde edilmiştir. Analizi yapılan kayaçların ilksel izotop hesaplamaları, önceki çalışmalarda [7,23] yer alan radyometrik yaş verileri baz alınarak hesaplanmıştır.

4. Analitik Veriler

Dursunbey ve Foça Bölgelerindeki volkaniklerin ana-iz element ve Sr-Nd izotop jeokimyası 2 ayrı başlık altında, sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir:

4.1. Ana ve İz Element Analizleri

Dursunbey ve Foça volkaniklerinden XRF ile elde edilen ana-iz element sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Dursunbey volkaniklerinin alt (D1) ve üst seviyelerindeki (D2) volkanik kayaçlardan alınan örnekler [19]'un Toplam Alkali - SiO₂ diyagramına düşürüldüğünde, D1 örnekleri çoğunlukla dasit, sadece 1 örnek riyolit alanına düştüğü gözlenmektedir (Şekil 4a). Aynı diyagramda D2 örnekleri, riyolit alanı baskın olmak üzere, 2 adet örnek dasit alanında yer alır (Şekil 3a). [19]'a göre, Dursunbey volkanikleri subalkali karakterlidir. [20]'in SiO₂ - Zr/TiO₂ diyagramında, D1 bölgesinin örnekleri çoğunlukla riyodasit-dasit alanında ve tek örnek riyolit alanında

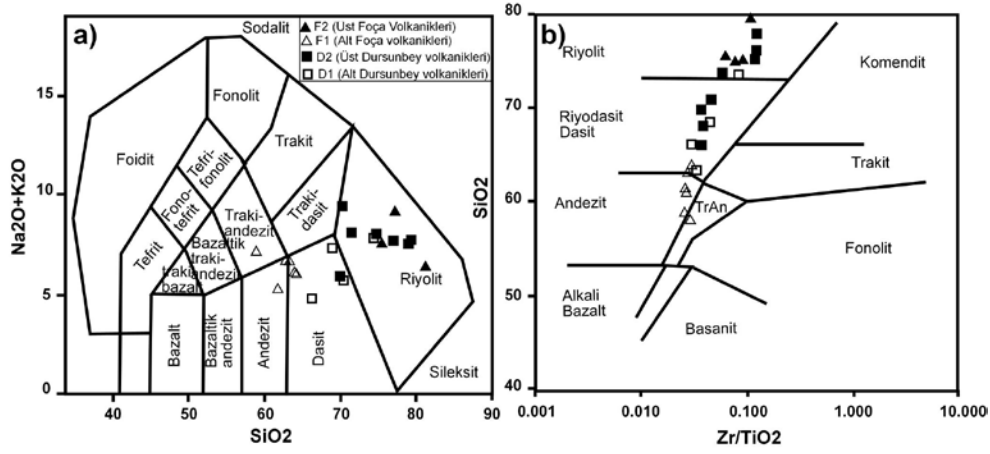
toplanırken, D2 örnekleri riyodasit-dasit 4b).
ve riyolit bileşimine işaret ederler (Şekil

Tablo 1. Dursunbey ve Foça Volkaniklerinin Ana-İz element Bileşimleri

ÖRNEKLER	D1-1	D1-2	D1-3	D1-4	D2-1	D2-2	D2-3	D2-4	D2-5	D2-6	D2-7	D2-8
SiO ₂	66.02	63.30	68.37	73.39	73.60	70.79	75.67	78.09	75.15	65.88	69.54	68.17
Al ₂ O ₃	15.36	14.73	15.49	13.39	13.58	14.68	12.76	10.89	10.48	13.78	14.56	14.64
Fe ₂ O ₃	5.19	4.98	3.41	1.80	1.82	2.44	1.62	1.31	1.27	3.31	3.53	3.39
MgO	2.51	2.41	1.27	0.39	0.45	0.62	0.31	0.17	0.17	1.16	1.23	0.73
CaO	4.92	4.72	2.39	1.16	0.84	1.94	0.57	0.80	0.77	3.73	3.93	0.79
Na ₂ O	3.00	2.87	3.19	2.83	2.62	3.37	2.44	2.81	2.71	2.86	3.03	1.66
K ₂ O	1.78	1.71	4.09	4.84	5.00	4.59	5.24	4.82	4.64	2.61	2.76	7.60
TiO ₂	0.71	0.68	0.51	0.20	0.27	0.37	0.10	0.09	0.09	0.48	0.50	0.44
P ₂ O ₅	0.14	0.14	0.18	0.05	0.09	0.16	0.03	0.03	0.03	0.15	0.16	0.14
MnO	0.15	0.14	0.06	0.04	0.04	0.02	0.01	0.03	0.03	0.05	0.06	0.03
Cr ₂ O ₃	<0.002	<0.002	0.058	<0.002	0.002	<0.002	<0.002	0.058	<0.002	<0.002	<0.002	0.002
LOI	0.04	0.04	-0.01	0.15	0.10	0.19	0.14	0.87	0.87	0.50	0.50	1.17
SUM	99.78	95.67	99.00	98.08	98.30	98.98	98.76	99.10	95.32	94.02	99.30	97.60
Zn	67	64	3	0	0	0	0	0	0	12	19	12
Ni	33	32	65	39	50	61	42	0	0	0	66	81
Co	39	37	10	0	19	8	9	8	8	1	3	0
Rb	70	67	144	173	188	181	162	154	149	114	122	407
Sr	305	292	284	175	158	229	57	65	62	326	350	129
V	111	107	61	17	18	33	6	6	5	57	64	48
Zr	222	213	223	161	156	177	116	106	102	175	188	178
Y	25	24	25	21	11	19	17	15	14	19	21	18
La	46	44	36	31	27	33	45	38	36	41	42	29
Ce	157	151	127	125	126	163	139	119	114	135	139	194
Nd	35	33	39	30	28	26	25	30	29	33	34	28
Sm	8.4	8.1	11.7	6.2	10.6	8.8	7.2	9.0	8.7	7.9	8.1	9.0
Eu	1.5	1.5	1.5	0.8	1.1	1.1	0.6	0.8	0.7	1.4	1.4	0.6
Yb	2.8	2.7	3.2	3.3	2.2	2.9	2.9	2.8	2.7	2.6	2.7	4.0
(La/Yb) _N	11.78	11.72	8.05	6.69	8.67	8.06	11.16	9.68	9.67	11.17	11.10	5.20
(La/Sm) _N	3.54	3.51	1.98	3.21	1.62	2.39	4.04	2.71	2.70	3.31	3.33	2.08

Tablo 1. devam ediyor

ÖRNEKLER	F1-1	F1-2	F1-3	F1-4	F1-5	F1-6	F2-1	F2-2	F2-3
SiO ₂	62.91	60.66	63.79	61.14	58.78	57.80	74.95	75.28	80.02
Al ₂ O ₃	16.55	15.96	17.03	16.06	15.44	14.67	12.21	14.18	11.50
Fe ₂ O ₃	5.00	4.82	4.72	6.15	5.91	6.26	0.47	1.55	0.36
MgO	2.87	2.77	2.53	4.14	3.98	4.90	0.21	0.48	0.10
CaO	4.73	4.56	4.61	5.57	5.36	6.08	0.43	0.44	0.21
Na ₂ O	3.22	3.10	2.93	2.26	2.17	2.69	2.41	2.00	2.06
K ₂ O	3.48	3.36	3.08	2.88	2.77	4.45	6.41	5.48	4.19
TiO ₂	0.64	0.62	0.61	0.76	0.73	0.83	0.12	0.21	0.08
P ₂ O ₅	0.22	0.21	0.22	0.37	0.36	0.61	0.03	0.03	0.02
MnO	0.10	0.10	0.09	0.08	0.08	0.10	0.01	0.02	0.01
Cr ₂ O ₃	<0.002	<0.002	0.002	<0.002	<0.002	0.058	<0.002	<0.002	<0.002
LOI	0.09	0.09	0.17	0.29	0.29	0.10	-0.19	-0.23	1.50
SUM	99.70	96.14	99.62	99.43	95.58	98.45	97.24	99.67	98.55
Zn	17	16	7	31	30	31	0	0	0
Ni	35	34	55	34	32	125	26	56	55
Co	18	17	28	18	18	16	0	0	0
Rb	130	125	109	74	71	175	249	261	242
Sr	451	435	442	621	597	764	81	41	14
V	112	108	103	151	145	148	8	16	10
Zr	174	168	185	199	191	241	111	134	86
Y	15	15	21	12	12	17	9	12	10
La	40	39	46	41	40	44	40	41	27
Ce	158	152	178	151	145	189	128	115	102
Nd	36	35	19	39	37	47	21	22	19
Sm	8.0	6.0	9.6	5.2	5.0	8.6	7.1	5.4	7.8
Eu	1.4	1.3	1.8	1.9	1.9	2.4	0.5	0.3	0.4
Yb	1.9	1.9	2.5	1.1	1.0	1.9	2.5	2.7	2.9
(La/Yb) _N	15.25	14.72	13.23	26.87	28.41	16.42	11.53	10.92	6.70
(La/Sm) _N	3.26	4.20	3.10	5.11	5.11	3.27	3.66	4.91	2.24

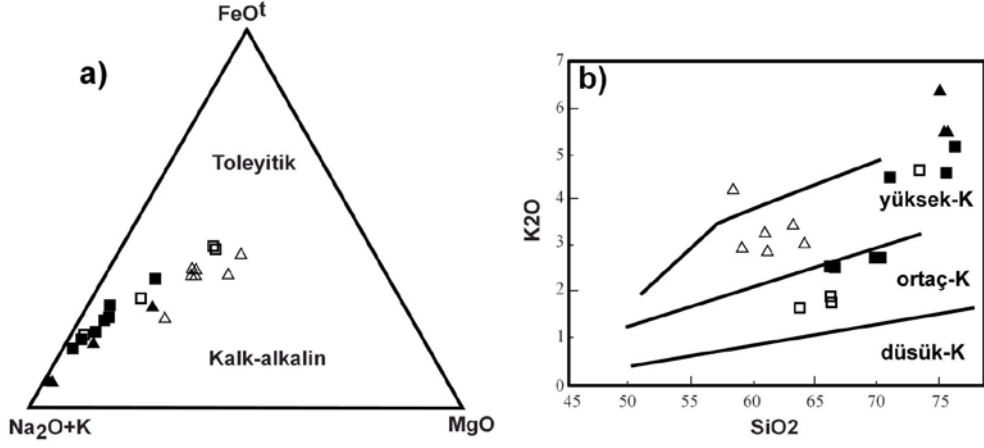


Şekil 4. Dursunbey ve Foça volkaniklerinin a) Toplam Alkali - SiO₂ [19], b) Zr/TiO₂ - SiO₂ adlama diyagramları [20].

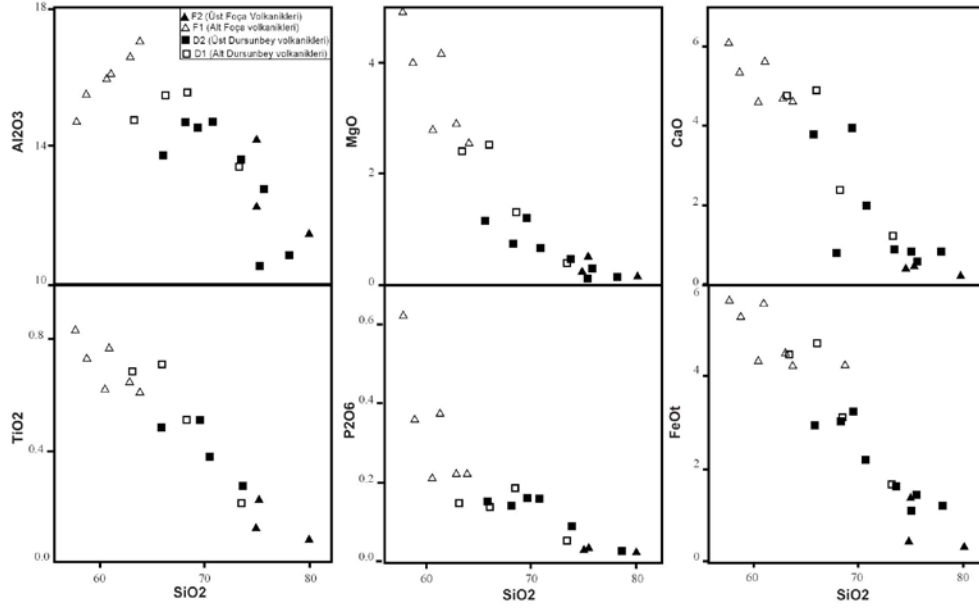
Çalışmanın 2. Grup örneklerini oluşturan Foça bölgesi örneklerinde ise, farklı bileşimsel adlama söz konusudur: Foça volkaniklerinin alt seviyelerini temsil eden (F1) örnekleri (Dumanlıdağ Kaldera), Toplam Alkali - SiO₂ [19]'a göre, %58-64 SiO₂ oranına sahiptirler ve trakiandezit-andezit bileşimini işaret ederler. Foça volkaniklerinin üst kesimlerinden alınan örneklerde (F2) SiO₂'ce daha zengin olduğundan (>%70) Dursunbey volkaniklerinde gözleendiği gibi, Toplam Alkali - SiO₂ [19] 'a göre Foça volkanikleri de subalkalindir ve riyoilit bileşimi baskındır (Şekil 3a). Bununla beraber, [20]'nin SiO₂ - Zr/TiO₂ diyagramına göre de Foça örnekleri bileşimsel adlamada 2 ayrı grupta ayırt edilir: F1 örnekleri trakiandezit-andezit, F2 örnekleri ise riyoilit bileşiminde gözlenir (Şekil 3b). AFM diyagramında [21], Dursunbey ve Foça volkaniklerine ait subalkali örneklerin tümü kalk-alkalin alanda yoğunlaşmaktadır (Şekil 5a). Bu diyagramda da, Dursunbey ve Foça volkaniklerinde ayrılaşmaya bağlı farklılıklar gözlenmekte olup, çoklu-element (Harker diyagramlarında-Şekil 6) değişimine bağlı varyasyonlara da değinilecektir. [22]'nin SiO₂- K₂O

diyagramında, Dursunbey volkanikleri ortaç-K, kalk-alkali ve yüksek-K, kalk-alkali özellikler sunarken, Foça volkaniklerinin tümü Yüksek-K kalk-alkalin grupta yer alır (Şekil 5b). Özellikle Foça volkaniklerinin üst seviyelerini oluşturan örnekler (F2) >%4 K₂O bileşimlerinden dolayı, oldukça yüksek-K, kalk-alkalin kayaları temsil ederler (Şekil 5b).

Ana elementlerden SiO₂' e karşın elde edilen Harker diyagramlarına bakıldığında, Dursunbey bölgesinden Foça bölgesine doğru elementsel değişime bağlı bazı farklılıklar saptamak mümkündür (Şekil 6). Dursunbey volkaniklerinin alt seviyelerinden (D1) üst seviyelerinde (D2) yer alan örneklere doğru, SiO₂ oranı artarken diğer ana elementlerde hafif-negatif bir yol gözlenir (Şekil 6). Foça volkaniklerinde gözleendiği gibi, Dursunbey volkaniklerinin alt seviyelerinden üst seviyelerine doğru SiO₂ artışına bağlı elementsel farklılıklara benzer ayırım 2 ayrı gruba ait volkanik kayaların varlığına işaret eder (Şekil 6). Dursunbey örneklerinin önceki çalışmaya göre [23], 19.1 My soğuma yaşı kabul edildiğinde,



Şekil 5. Dursunbey ve Foça volkaniklerinin a) AFM [21], b) SiO₂-K₂O diyagramları [22] (açıklamalar için Şekil 4'e bakınız).



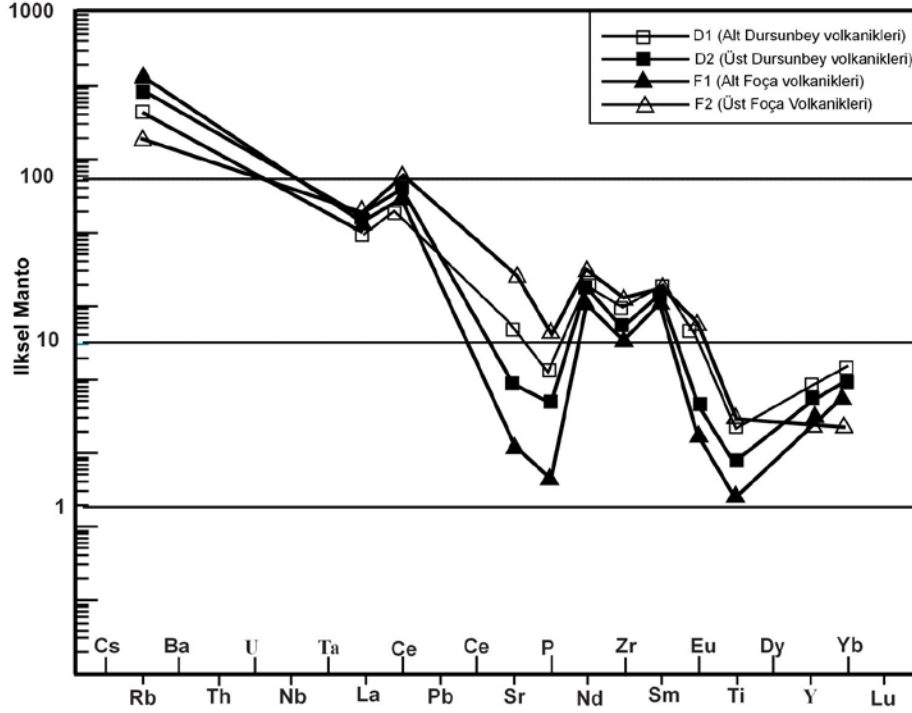
Şekil 6. Dursunbey ve Foça volkaniklerinin Harker Diyagramları

Foça bölgesinde felsik-ortaç volkanik aktivitenin magmatik ayrışma sonrası 16-17 My [7] aralığına kadar devam ettiği söylenebilir. İlksel Manto [24] konsantrasyonuna göre normalize

edilmiş çoklu-element örümcek diyagramında (Şekil 7), Dursunbey volkaniklerinin LIL (Rb, Sr, Na, K) elementlerince ilksel mantoya göre zenginleştiği gözlenir. Ancak, Foça

örneklerinin LIL ve HFS elementlerinde göre, Dursunbey volkaniklerin oranla daha düşük konsantrasyona sahiptirler (Şekil 7). Her iki bölgenin örneklerinde de yüksek oranda Sr, Zr ve Ti

tüketilmesi gözlenir (Şekil 7) ve bu iz element değerleri de yitmeye bağlı magmatik evrimleşme aşamalarına işaret eder.



Şekil 7. Dursunbey ve Foça volkaniklerinin ilksel mantoya göre normalize edilmiş çoklu-element diyagramı [24]

4.2. Sr-Nd İzotop Analizleri

Dursunbey ve Foça kalk-alkalin volkaniklerinden elde edilen Sr-Nd izotop sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Dursunbey volkaniklerinin Sr-Nd ilksel izotop değerleri, [23] çalışmasındaki 19 My yaşına göre ve Foça volkaniklerinden alınan örnekler de [7]'de verilen 16 My yaşına göre hesaplanmıştır (Tablo 2). Bunlara göre, Dursunbey volkaniklerinin alt seviyelerindeki örneklerin (D1) ilksel $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranları 0.70868-0.71362 arasındadır. Bu ilksel Sr izotop oranları,

Dursunbey volkaniklerinin üst seviyelerindeki (D2) örneklerden (0.70838-0.71132) ve Foça volkaniklerinin ilksel $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranlarına (0.70723-0.70805) göre yüksektir (Tablo 2). Yaklaşık olarak Sr-izotop oranları Dursunbey volkaniklerinden Foça volkaniklerine doğru görece azalır (Tablo 2). İlksel $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ oranlarına bakıldığında ise, Dursunbey volkaniklerinden Foça volkaniklerine doğru geçildikçe hafif bir artış gözlenir (Tablo 2).

Tablo 2. Dursunbey ve Foça volkaniklerinin Sr-Nd izotop değerleri.

Örnek	Sr	Rb	Sm	Nd	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr (i)	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd(i)	eNd(T)	eNd(0)
D1-1	292	67	8.1	33	0.66	0.713796	0.71362	0.1490	0.512045	0.512026	-11.5	-11.6
D1-2	284	144	11.7	39	1.47	0.709540	0.70914	0.1821	0.512361	0.512338	-5.4	-5.4
D1-3	175	173	6.2	30	2.86	0.709448	0.70868	0.1254	0.512324	0.512308	-6.0	-6.1
D2-1	158	188	10.6	28	3.44	0.709305	0.70838	0.22979	0.512387	0.512358	-5.0	-4.89
D2-2	229	181	8.8	26	2.29	0.709036	0.70842	0.20545	0.512382	0.512356	-5.0	-4.99
D2-3	57	162	7.2	125	8.23	0.711066	0.70885	0.03496	0.512326	0.512322	-5.7	-6.08
D2-4	65	154	9	30	6.86	0.710822	0.70897	0.18210	0.512343	0.512320	-5.7	-5.75
D2-5	326	114	7.9	33	1.01	0.709187	0.70891	0.14531	0.512333	0.512315	-5.8	-5.94
D2-6	350	122	8.1	34	1.01	0.711589	0.71132	0.14461	0.51233	0.512312	-5.9	-6.00
F1-1	451	130	2.1	36	0.83	0.707861	0.70766	0.0354	0.512400	0.512396	-4.3	-4.6
F1-2	442	109	9.6	19	0.71	0.707908	0.70774	0.3067	0.512402	0.512368	-4.8	-4.6
F1-3	597	71	5	37	0.34	0.707894	0.70781	0.08203	0.512380	0.512371	-4.8	-5.03
F1-4	764	175	8.6	47	0.66	0.708215	0.70805	0.11107	0.512343	0.512331	-5.6	-5.75
F2-1	81	249	7.1	21	8.90	0.709460	0.70744	0.20522	0.512432	0.512411	-4.0	-4.01
F2-2	41	261	5.4	22	0.66	0.711516	0.70733	0.14899	0.512485	0.512469	-2.9	-2.98
F2-3	14	242	7.8	19	8.90	0.718604	0.70723	0.24919	0.512487	0.512461	-3.1	-2.94

Dursunbey volkaniklerinin ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd oranları 0.512026-0.512358 arasında değişir. eNd oranları ise, -11.5 ile -5.9 arasında yer alır (Tablo 2). Foça volkanikleri Dursunbey volkaniklerine göre, hem ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd (0.512331-0.512469) hem de eNd (-5.6 ile -2.9) oranları açısından biraz daha yüksektir (Tablo 2). Dursunbey ve Foça volkaniklerinin ilksel Sr ve Nd izotop verileri bir arada değerlendirildiğinde, kalk-alkalin karakterli volkanik birliklerin progresif olarak ayrımlaşma ve kabuk-manto kirlenme süreçlerine bağlı olarak izotopik farklılıklar bulunduğu söylenebilir.

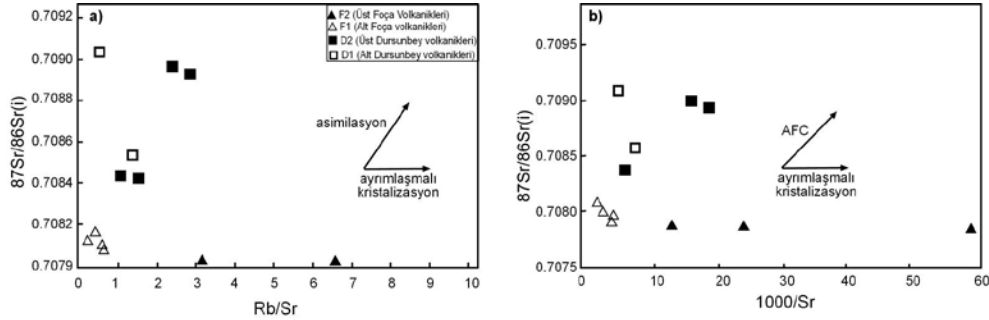
4. Tartışma ve Sonuçlar

Kuzey Batı Anadolu'da yaygın olarak gözlenen Erken-Orta Miyosen kalk-alkalin volkanizmasının kökensel evriminin değerlendirilmesindeki en önemli parametreler, volkanizmanın yaşı ve bi-modal volkanizmaya geçiş

süreçleriyle ilişkilidir. Batı Anadolu'daki Miyosen yaşlı volkanizmanın ürünleri, önceki çalışmalar göre, [8-referanslar içinde], 20-16 My arasında yoğunlaşır. Yaklaşık KD-GB hattı boyunca gözlenen Erken-Orta Miyosen yaşlı kalk-alkalin volkaniklerden neredeyse eş-yaşlı (18-16 My) alkalin volkaniklere doğru geçişler söz konusudur [2,3]. Miyosen yaşlı volkaniklerin kökenine yönelik araştırmalar, Batı-Anadolu'nun karmaşık tektono-magmatik yapısının, bölgenin jeokimyasal evrim süreçleriyle beraber değerlendirilmesinin zorluğundan dolayı, halen tartışmalıdır. Batı Anadolu'da birçok araştırmacı tarafından kabul gören Anatolid-Torid platformunun-Sakarya Kitası'na çarpması sonrası magmatik kayaların bileşimsel farklılıkları, çoklu jeokimyasal döngülerin (ör; kısmi ergime, kabuksal veya manto kökenli kirlenmeler) aynı zamanda ve/veya kesikli süreçlerde meydana gelmesinden kaynaklıdır. Bu makale

kapsamında ele alınan Dursunbey ve Foça kalk-alkalin volkaniklerinin orta-yüksek-K içeriklerinden dolayı, çarpışma sonrası gelişmiş volkanizmaya özgü jeokimyasal özellikleri sergiler (Tablo 1, Şekil 5b). Dursunbey ve Foça volkaniklerinin jeokimyasal ve izotop verileri birlikte değerlendirildiğinde üst-orta kabuk bileşimli ortak bir kaynaktan türediğine dair izler taşıdığı gözlenir (Tablo 1, Şekil 7). Dursunbey volkaniklerinin alt ve üst seviyelerinden ve Foça alt seviyelerinden alınan volkanik örneklerin, $La/Yb_{(n)}$ oranları 13.23-28.41 arasında gözlenirken, Foça volkaniklerinin üst seviyelerinden

alınan örneklerde ise bu oran 6.70-11.53 arasındadır (Tablo 2) ve Dursunbey volkaniklerine göre düşüktür. Bu durum, genelde, farklı kaynaklara ve/veya manto kirlenmesine bağlı olarak açıklanabilir. Ancak $^{87}Sr/^{86}Sr$ karşın $1000/Sr$ ve Rb/Sr değerlerine göre elde edilen diyagramlarda, Dursunbey volkaniklerinde daha düşük olmak üzere ve Foça volkaniklerinde lineer bir çizgi gözlenir (Şekil 8). Bu durum, bölgelerdeki volkaniklerin evrimi sırasında ayrılaşmalı kristalizasyonun baskın olduğunu gösterir (Şekil 8a, b).



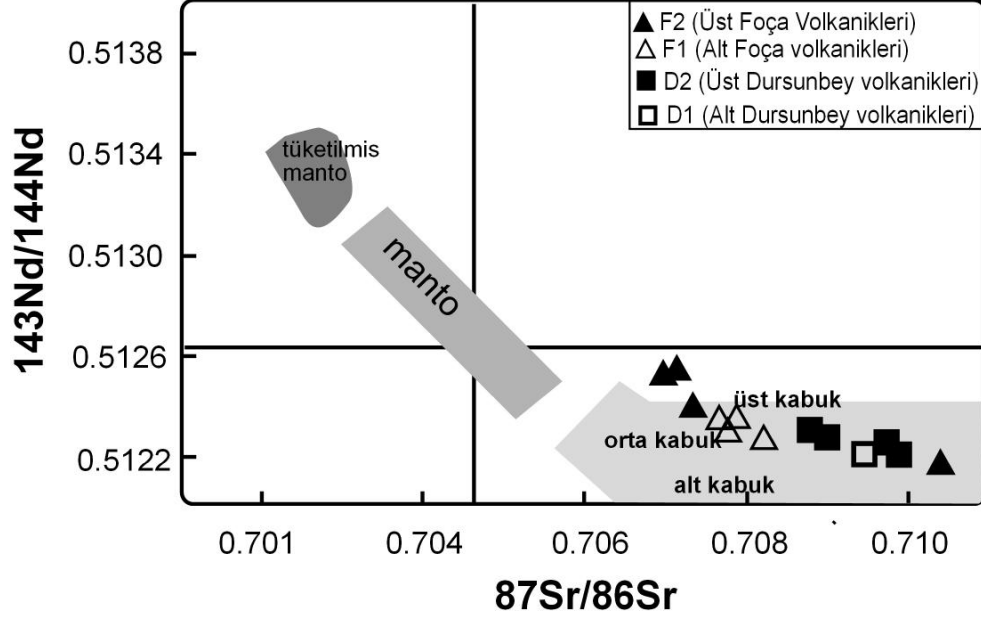
Şekil 8. Dursunbey ve Foça volkaniklerinin a) $^{87}Sr/^{86}Sr_{(i)}$ karşın Rb/Sr ve b) $^{87}Sr/^{86}Sr_{(i)}$ karşın $1000/Sr$ diyagramları

Şekil 8'de gösterilen, $^{143}Nd/^{144}Nd_{(i)}$ 'a karşın $^{87}Sr/^{86}Sr_{(i)}$ izotop diyagramlarında, ilksel Sr oranlarının Foça bölgesi volkaniklerinde, Dursunbey volkaniklerine göre daha yüksek olduğu gözlenir. Bu durum, magma evrimi sırasındaki olası kabuksal malzeme katkısının yüksek ve manto katkısının da düşük olduğunu işaret ettiği düşünülmektedir (Şekil 9). Bunun yanı sıra, Dursunbey ve Foça volkanikleri, Ege Yay-Ardı volkaniklerinin izotop değerleriyle de uyumludur [7-referanslar içinde]. Ancak, düşük $^{143}Nd/^{144}Nd_{(i)}$ değerleri, özellikle Dursunbey bölgesindeki volkaniklerde hibrit bir kompozisyonu işaret etmektedir (Şekil 9). Bu hibrit

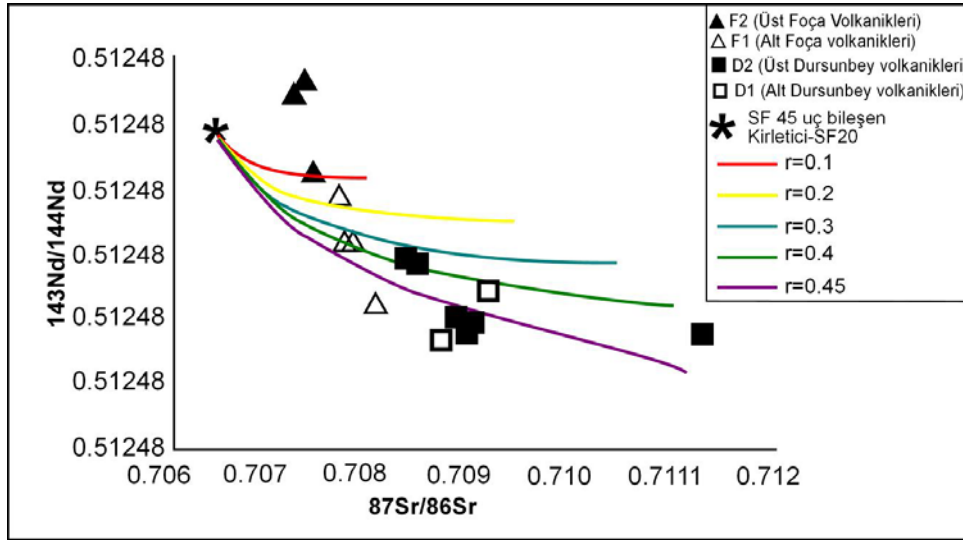
bileşimin olası mantodan türemiş magma ile kıtasal kabuk karışımından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Şekil 10'da Dursunbey ve Foça volkaniklerinin alt ve üst seviyelerindeki kabuksal kirlenmenin etkilerini görebilmek amacıyla, AFC modellenmesi yapılmıştır. Foça bölgesinde bulunan mafik kayalardan SF45 [7] end member (uç bileşen) olarak, Orta Miyosen yaşlı Salihli granotoyitlerinden SF20'de [23] kontaminant (kirlenici) olarak belirlenmiştir. Uç bileşen olarak seçilen SF45 için GCDkit'de CIPW norm hesaplaması (%56.137 plajiyoklaz, %20 klinopiroksen %6.183 olivin, 9%

hematit, 1% apatit) yapılmış ve daha sonra [25] ve www.earthref.org/KDD'den



Şekil 9. Dursunbey ve Foça volkaniklerinin $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ karşın $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ diyagramı.



Şekil 10. Kabuksal kirlenme oranlarının dağılımını gösteren, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ karşın $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ diyagramı (SF 45-end member [7] $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$: 0.706434; $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$: 0.512437; Sr: 674.25 ppm, Nd: 36.18 ppm; SF 20-kirlenici [23] $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$: 0.711220; $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$: 0.512217; Sr: 317 ppm, Nd: 42.1 ppm).

yararlanılarak mineral paylaşım katsayıları (Kd) belirlenmiştir. Şekil 9'da Dursunbey ve Foça volkaniklerinin $r=0.1-0.45$ değerlerinde değişen aralıklarda kirlenmeye maruz kaldıkları görülmektedir. Buna göre özellikle Foça ve Dursunbey volkaniklerini oluşturan alt seviyelerin, diğerlerine oranla daha fazla kabuksal kirlenmeye maruz kaldıkları düşünülmektedir.

Bu çalışmada, Dursunbey (Balıkesir) volkanikleriyle, Foça (İzmir) volkaniklerinin ana-iz element ve Sr-Nd izotop analizleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Buna göre:

1. Dursunbey ve Foça volkanikleri kalkalkalin bileşimindedir. Dursunbey volkanikleri ortaç potasik, Foça örnekleri ise yüksek-potasik volkaniklerden yapıldır.
2. Ana-iz element jeokimya verilerine göre, Dursunbey volkaniklerinden-Foça volkaniklerine doğru ayrımlı kristalleşme yoğun olarak gözlenmekte olup, olası ortak bir kökene ait magmadan türedikleri söylenebilir.
3. Dursunbey ve Foça volkanikleri, genel olarak, Ege yay-ardı volkanikleriyle benzer izotop bileşimine sahiptirler. Sr-Nd izotop oranları ayrımlı kristalleşmeyi işaret eder, ancak düşük $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(i)}$ oranları da kabuksal malzeme katkısının yüksek ve manto katkısının da düşük olduğunu hibrit bir magma kompozisyonunu işaret etmektedir.

4. Dursunbey ve Foça volkaniklerinin kirlenme oranları $r=0.1-0.45$ arasında değişmekte olup, Foça-Doğu ve Dursunbey-Doğu örneklerinin diğerlerine oranla daha fazla kabuksal kirlenme geçirmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma kapsamında teknik yardımlarından dolayı, Tübingen Üniversitesi Jeokimya Bölümü akademik ve teknik personeline, değerli bilimsel tartışmalarını esirgemeyen DEÜ Jeoloji Müh. Bölümü öğretim üyeleri Prof. Dr. Talip Güngör'e, Doç. Dr. Erhan Akay'a, Doç. Dr. Cüneyt Akal'a ve Hacettepe Ün. Jeoloji Müh. Bölümü Öğretim Elemanı Araş. Gör. Dr. Güllü Deniz Doğan Kulahtacı'ya çok teşekkür ederim.

Kaynakça

- [1] Aldanmaz, E., Pearce, J.A., Thirlwall, M.F., Mitchell, J.G., 2000. Petrogenetic evolution of Late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 102, 67-95.
- [2] Akay, E ve Erdoğan, B. , 2001. Formation of subaqueous felsic domes and accompanying pyroclastic deposits on the Foça Peninsula (İzmir, Turkey). *International Geology Review*, 43, 661.
- [3] Akay, E., and Erdogan, B., 2004, Evolution of Neogene calc-alkaline to alkaline volcanism in the Aliaga-Foca region (Western

- Anatolia, Turkey): *Journal of Asian Earth Science*, v. 24, p. 367–387.
- [4] Altunkaynak, S., and Yılmaz Y., 1998, The mount Kozak magmatic complex, Western Anatolia: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 85, p. 211–131.
- [5] Altunkaynak, S., and Genç, S., .C., 2008, Petrogenesis and time-progressive evolution of the Cenozoic continental volcanism in the Biga Peninsula, NW Anatolia (Turkey): *Lithos*, v. 102, p. 316–340.
- [6] Ersoy, Y., Helvacı, C., Sözbilir, H., Erkül, F., Bozkurt, E., 2008. A geochemical approach to Neogene–Quaternary volcanic activity of Western Anatolia: an example of episodic bimodal volcanism within the Selendi Basin, Turkey. *Chemical Geology* 255, 265–282.
- [7] Altunkaynak, Ş., Rogers, N.W., Kelley, S.P., 2010. Causes and effects of geochemical variations in Late Cenozoic volcanism in the Foca volcanic centre (NW Anatolia, Turkey). *International Geology Review* 52, 579–607.
- [8] Ersoy, E.Y., Çemen, İ., Helvacı, C., Billor, Z., 2014. Tectono-stratigraphy of the Neogene basins in Western Turkey: implications for tectonic evolution of the Aegean extended region. *Tectonophysics* 635, 33–58.
- [9] Ercan, E., Satır, M., Sevin, D., Türkecan, A., 1996. Batı Anadolu'daki Tersiyer ve Kuvaterner yaşlı volkanik kayalarda yeni yapılan radyometrik yaş .lümlelerinin yorumu [Some new radiometric ages from Tertiary and Quaternary volcanic rocks from West Anatolia]. *Bulletin. Mineral Research and Exploration Institute (Turkey)* 119, 103–112 (in Turkish with English abstract).
- [10] Ercan, T., Öztunalı, Ö., 1983. Demirci-Selendi çevresinde Senozoyik yaşlı volkanitlerin petrolojisi ve kökensel yorumu [Petrology and source interpretation of Cenozoic volcanites around the Demirci-Selendi]. *Geoscience* 10, 1–15 (in Turkish with English abstract).
- [11] Yılmaz, Y., 1990. Comparison of young volcanic associations of western and eastern Anatolia under compressional regime; a review. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 44, 69–87.
- [12] Altunkaynak, Ş., Yılmaz, Y., 1999. The Kozak Pluton and its emplacement. *Geological Journal* 34, 257–274.
- [13] Genç, Ş.C., 1998. Evolution of the Bayramiç magmatic complex. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 85 (1–4), 233–249.
- [14] Yılmaz, Y., Karacık, Z., 2001. Geology of the northern side of the Gulf of Edremit and its tectonic significance for the development of the Aegean grabens. *Geodinamica Acta* 14, 31–43.
- [15] Altunkaynak, Ş., Dilek, Y., 2006. Timing and nature of post collisional volcanism in Western

- Anatolia and geodynamic implications. In: Dilek, Y., Pavlides, S. (Eds.), Post-collisional Tectonics and Magmatism of the Eastern Mediterranean Region: Geological Society of America Special Paper, 409, pp. 321-351.
- [16] Kamacı ve Altunkaynak (2010). Mineral Chemistry and Petrography of Lava Successions From Kepsut-Dursunbey Volcanic Field, NW Turkey: Implications For Magmatic Processes and Crystallization Conditions World Academy of Science, Engineering and Technology 71 pp/ 907-911.
- [17] Ercan, T, Ergul, E., Akcoren, F., Cetin A., Granit, S ve Asutay, J., "Balıkesir-Bandırma arasındaki jeolojisi, Tersiyer volkanizmasının petrolojisi," MTA Dergi 110, 113-130, 1990.
- [18] Potts, P.J., Webb, P.C., 1992. X-ray fluorescence spectrometry. J. Geochem. Exploration 44, 251-296
- [19] Middlemost, E.A.K., 1994, Naming materials in the magma/igneous rock system: Earth-Science Reviews, v. 37, p. 215-224
- [20] Winchester ve Floyd 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. Chem Geol 20:325-343
- [21] Irvine, T.N., ve Baragar, W.R.A., 1971, A guide to the chemical classification of common volcanic rocks: Canadian Journal of Earth Science, v. 8, p. 523-548.
- [22] Peccerillo, A., ve Taylor, S.R., 1976, Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks in the Kastamonu area, Northern Turkey: Contributions to Mineralogy and Petrology, v. 58, p. 63-81.
- [23] Erkül F ve Erkül S., 2010. Erken Miyosen Alaçamdağ (Dursunbey-Balıkesir) Magmatik Kompleksinin Jeolojisi ve Batı Anadolu Genleşme Tektoniğindeki Konumu, MTA Dergisi, 141, 1-27
- [24] Mc Donough, W. F., ve Sun, S., 1995. The composition of the earth, Chemical Geology 120, 223-253.
- [25] Rollinson, H. R., 1993. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation, Longman Scientific & Technical, Essex, 352.