



Bodrum (GB Anadolu) volkanik kayaların jeokimyasal ve petrolojik özellikleri: fraksiyonel kristalleşme, magma karışımı ve asimilasyona ilişkin bulgular

Geochemical and petrological characteristics of the Bodrum (SW Anatolia) volcanic rocks: evidence for fractional crystallization, magma mixing and assimilation

Hüseyin KURT

Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 42079 Konya

Mehmet ARSLAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 61080 Trabzon

ÖZ

Bodrum (Muğla)'un batısında Orta-Üst Miyosen yaşlı volkanitler yayılım göstermektedir. Kayaçlarda magma karışımı veya girişimi sonucu gelişen dengesizlik dokuları yaygın olarak gözlenmektedir. Kayaçlar, genel olarak yüksek potasyum içeriğine sahip kalkalkalin karakterli olup, jeokimyasal veriler bunların aynı kökenden türediklerini ve birbirleriyle kıtasal kabuktaki bir magma odasının gelişimi sırasında etkili olan fraksiyonel kristalleşme, asimilasyon ve magma karışımı olaylarıyla ilişkili olduklarını göstermektedir. Dengesizlik dokuları ve jeokimyasal değişimler, kayaçların esasen zenginleşmiş manto kökenli bir ana magmanın kıtasal kabuk kökenli ergiyiklerle (magmalarla) karışımı ve kıtasal kabuğun derinliklerindeki bir magma odasında hornblend denetimli fraksiyonel kristalleşme yoluyla oluştuklarını ortaya koymaktadır. Ayrıca, ana magmanın yüksek oranda su içeriğine sahip olduğu (>2% H₂O) ve muhtemelen alt-orta kabuktaki bir magma odasında (3-15 kbar) ayrılaşmaya uğradığı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Asimilasyon, Batı Anadolu, Bodrum, fraksiyonel kristalleşme, magma karışımı, petroloji, volkanizma,

ABSTRACT

In the west of Bodrum (Muğla), Middle-Upper Miocene aged volcanic rocks crop out. Disequilibrium textures brought up by magma interaction or mixing are commonly observed in these rocks. The rocks are generally high-K calcalkaline in composition, and geochemical data suggest that they derived from same source, and are related to each other by fractional crystallization, assimilation and magma mixing processes during the evolution of magma chamber in the continental crust. Disequilibrium textures and geochemical variations suggest that the rocks evolved by mixing of a parent magma derived from enriched mantle source with crustal melts (magmas), and occurred via hornblende-dominated fractionation in a crustal magma chamber. Furthermore, it is considered that the parental magma had high water content (>2% H₂O) and probably undergone differentiation in lower-middle crustal magma chamber (3-15 kbar).

Key Words: Assimilation, Bodrum, fractional crystallization, magma mixing, petrology, West Anatolia, volcanism

GİRİŞ

Batı Anadolu'daki genç Alpin magmatizması, batıdan doğuya doğru tektonomagmatik yerleşim ve jeokimyasal özellikleri açısından farklı

volkanik topluluklar oluşturduğu bilinmektedir (Francalanci vd., 1990). Bunlardan GB Anadolu'dakilerin çarpışma sonrası volkanitleri temsil ettiği (Yılmaz, 1989) ve potasyumlu kalkalkalin volkanik ve plutonik kayaları şeklinde Erken-

Orta Miyosende (21-14 my.; Savaşçın, 1990) başladığı ileri sürülmektedir. Bu volkanitlerin yerleşimi sırasında etkili bölgesel tektonik rejim konusunda iki farklı görüş bulunmaktadır. Volkanitler, ya sıkışma tektoniği (Yılmaz, 1989; Savaşçın, 1990; Savaşçın ve Güleç, 1990), ya da Erken Miyosen'de (veya daha önce) başlayan açılma tektoniği (Seyitoğlu ve Scott, 1992) ile ilişkilidir. Bu çalışma, Bodrum (Muğla) yarımadasında yayılım gösteren volkanitlerin Turgutreis-Akyarlar-Ortakent-Yalıkavak arasındaki bölümünü kapsamaktadır (Şekil 1). Bodrum yarımadasında şimdiye kadar yerli ve yabancı araştırmacılar tarafından birçok çalışma yapılmıştır. Bunlardan bir kısmı genel jeoloji-maden yatakları amaçlı (Özçiçek ve Özçiçek, 1977; Pişkin, 1980), bir kısmı ise yöredeki kayaçların jeokimyasal ve petrolojik karakteristiklerini belirlemek için yapılmıştır (Robert, 1976; Robert ve Cantagrel, 1977; Ercan vd., 1982 ve 1984; Altherr vd., 1988; Robert vd., 1992; Robert ve Foden, 1993; Arslan vd., 1998a, b). Bütün bu çalışmalarda volkanik kayaçlar konusunda bazı bulgular elde edilmişse de, jeokimyasal ve petrolojik veri eksikliği gibi nedenlerden dolayı, söz konusu volkanitlerin detaylı petrojenetik gelişimi ortaya konulamamıştır.

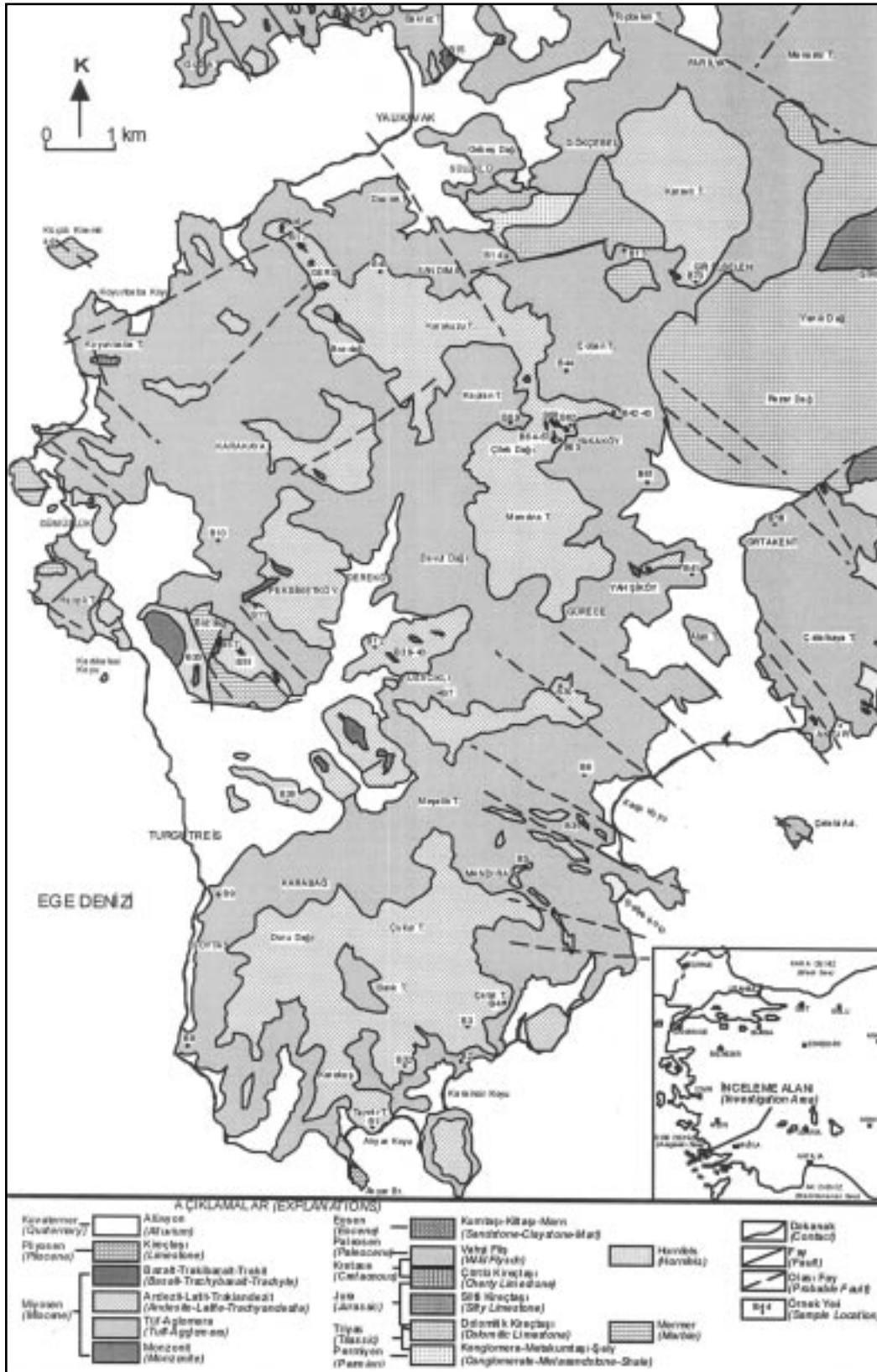
Bodrum yarımadası volkanitlerinin genel jeokimyasal karakteristikleri Ercan vd. (1984) tarafından bölgesel bir çalışmayla ortaya konularak, bölgede etkin olan iki volkanik evrenin varlığından söz edilmiştir. Buna göre, birinci evre volkanitleri Orta Miyosen sonunda gelişmiş olup, tüf-aglomera, yüksek potasyumlu kalkalkalin andezit-dasit-riyodasit-riyolit'den oluşmaktadır. Bu evre şoşonitik latit ve traki-andezitlerle son bulmuştur. İkinci evre Üst Miyosende şoşonitik karakterde volkanizma ile başlamış ve şoşonitik bazaltlarla devam etmiştir. Ancak son yıllarda yapılan bazı çalışmalarda (Robert vd., 1992; Robert ve Foden, 1993), yöre magmatizması "Bodrum Volkanik Kompleksi" adı altında, ana-iz element, Sr ve Nd izotopik bulgularına dayanarak incelenmiştir. Arslan vd. (1998a) ise, yöredeki volkanizmanın gelişiminde kabuk ve manto kökenli magma karışımlarının etkili olduğunu ve hornblend kontrollü ayrılaşmanın kayaçların oluşumunda önemli rol oynadığını belirtmiştir. Genç (1999), Bodrum volkano-plütonik kompleksini oluşturan farklı kayaçların, aslında aynı magmanın yüzeye ulaşmış, biraz daha derin ve en derinde katlanmış kesimlerini temsil ettiğini ileri sürmüştür. Bu çalışmada ise, daha önceki

çalışmalarda sözü edilen volkanik kayaçlardan elde edilen yeni petrografik ve jeokimyasal verilerin ışığında kayaçların petrojenetik gelişimi ve bu süreçte etkili olan magmatik olaylar incelenmiştir. Çalışma süresince ilgili bölge üzerine arazi çalışmaları ve laboratuvar (incekesit tanımlamaları, mineral analizleri ve tüm kayaç kimyasal analizleri) gerçekleştirilmiştir. Kayaç örneklerinin ana, iz ve nadir toprak element analizleri, KTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü (Trabzon), MTA Genel Müdürlüğü MAT (Ankara) ve ACME (Kanada) Analiz Laboratuvarlarında, X-ışınları flüoresans ve ICP aletleriyle, mineral analizleri ise Clausthal Teknik Üniversitesi Mineraloji Enstitüsü'nde (Almanya) Cameca SX100 marka mikroprob ile gerçekleştirilmiştir.

GENEL JEOLJİ VE VOLKANİZMANIN GELİŞİMİ

Bu çalışmada; volkanostratigrafi ve yaş ilişkileri açısından daha önceden yapılmış olan ve incelenen volkanitleri de kapsayan genel jeolojik amaçlı çalışmalar esas alındığından, detaylı bölgesel jeoloji kapsam dışında tutulmuştur. Yörenin genel jeolojisi daha önceki çalışmalarda (Ercan vd., 1982, 1984) ayrıntılı bir şekilde verilmiştir (bknz. Şekil 1).

Bodrum yarımadasında temeli Paleozoyik yaşlı konglomera-kumtaşı-şeyl ardalanmasından oluşan, düşük derecede metamorfik kayaçlar oluşur. Mesozoyik, Triyas-Liyas yaşlı siltli-killi kireçtaşları ve üzerinde Malm-Senomaniyen yaşlı pelajik kireçtaşları ile tüm bu çökelleri üstleyen Üst Kretase-Paleosen yaşlı vahşi fliş ile karakterize edilir. Senozoyik, Eosen yaşlı çökeller ile başlar, plutonik ve volkanik kayaçlardan oluşan etkin bir magmatizma ile devam eder. Magmatik kayaçlar, günümüzde çıkış merkezlerinin tam gözlenemediği, Neojen döneminde bölgede etkin olan açılma tektoniğiyle birlikte bozulan ve erozyona uğrayan büyük bir stratovolkanın parçası olarak yorumlanmıştır (Robert ve Foden, 1993). Magmatizmanın ilk kez Orta Miyosen'de monzonitik sokulum ile geliştiği kabul edilmektedir (Ercan vd., 1984; Robert vd., 1992; Arslan vd., 1998b). Ercan vd. (1984) ise, bölgede birden fazla hibrid volkanizmanın aktif olduğunu ileri sürmüştür. Buna göre; yörede önce yaygın bir kalkalkalin volkanizma etkin olmuş ve tüf-aglomera, andezit-trakiandezit-latit-dasit-riyodasit bileşiminde kayaçlar oluşmuştur. Bundan sonra alkali nitelikli dayklar şeklinde bazalt-trakibazalt-



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru ve jeoloji haritası (Ercan vd., 1984).

Figure 1. Location and geological map of the investigation area (after Ercan et al., 1984).

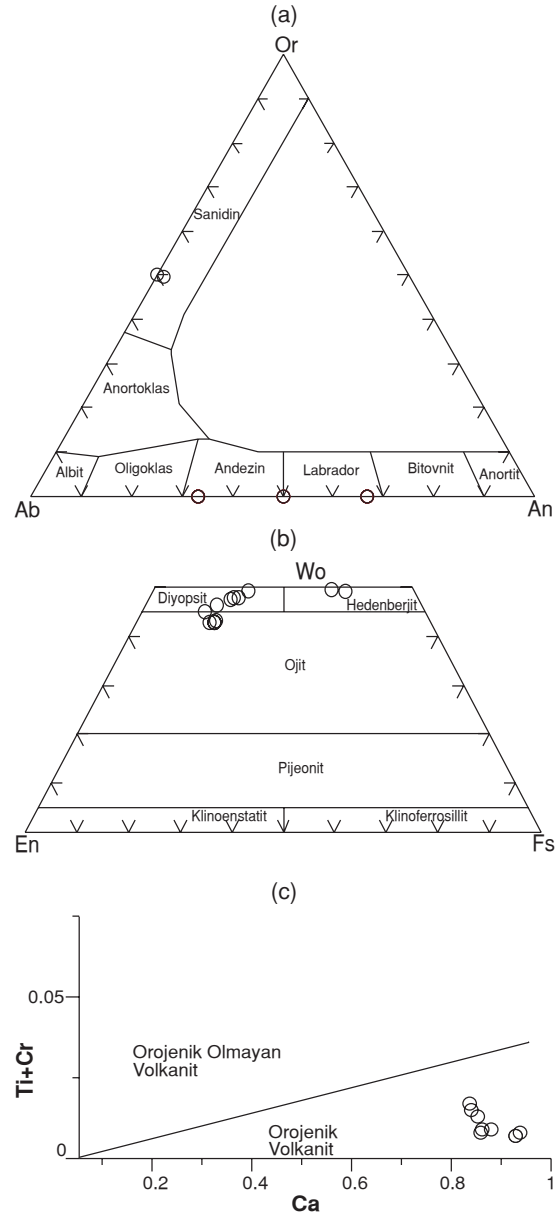
trakit bileşimli kayaçlar gelişmiştir. Volkanizmanın sona ermesinden sonra Alt Pliyosen'de kireçtaşları gelişmiştir. Kuvaterner'de ise travertenler, yamaç molozları ve alüvyonlar yer alır (Ercan vd., 1984) (bknz. Şekil 1).

Pişkin (1980), andezitlere uyguladığı K-Ar metoduyla kayacın yaşını $9.7-9.3 \pm 1$ my. (Üst Miyosen) bulmuştur. Ayrıca, Robert ve Cantagrel (1977), tüflerin içerisinde bulunan spor ve polenlere dayanarak bu birime Orta Miyosen yaşını vermişlerdir. Bu verilerin ışığında bölgedeki birinci evre volkanik kayaçların Orta ve Üst Miyosen sürecinde geliştiği ileri sürülmüştür (Ercan vd., 1984). Bu birinci evre volkanizma, bazalt, trakibazalt, trakit ve alkali riyolit daykları şeklinde ikinci evre volkanizmaya geçiş göstermiştir. Bu volkanitler küçük mostralar ve hemen hemen KB-GD'ya paralel uzanan dayklar şeklinde gözlenmektedir (bknz. Şekil 1). Bu dayklardan alınan örneklerde K-Ar metodu ile $7.7-7.9 \pm 0.25$ my. tespit edilmiştir (Robert ve Cantagrel, 1977). Genel olarak kayaçlardan elde edilen yaşların 7.8 ile 12 my. (Robert ve Cantagrel, 1977; Montigny ve Robert, 1991) arasında değişmesine rağmen, volkanizmanın 9-10 my. oldukça kısa bir dönemde geliştiği belirtilmiştir (Robert ve Foden, 1993).

VOLKANİTLERİN PETROGRAFİSİ

İncelenen Bodrum volkanitleri, mafik, ortaç ve felsik kayaç tiplerinden oluşmaktadır. Kayaçlar, yaygın olarak porfirik, yer yer hyaloporfirik, felsitik, hyalopilitik, mikrolitik, pilotaksitik ve glomaporfirik dokular göstermektedirler. Fenokristalleri ve mikrofenokristalleri plajiyoklas, olivin, biyotit, hornblend, kuvars, klinopiroksen, sanidin ve Fe-Ti oksitler oluşturur. Hamur, genellikle feldspat mikrolitleri, Fe-Ti oksitler ve/veya camdan oluşmakta, bazen alterasyon ürünleri (özellikle kil mineralleri, kalsit, klorit, serisit, epidot) ve aksesuar apatit bunlara eşlik etmektedir.

Plajiyoklaslar, yarı özşekilli ve öz şekilsiz kristaller halinde tüm örneklerde yaygın olarak bulunmaktadır. Plajiyoklas bileşimi (An_{33-66}) arasında geniş bir aralıkta yer almaktadır (Çizelge 1). Buna göre Bodrum volkanitleri plajiyoklasları, andezin ve labrador ile temsil edilmektedir (Şekil 2). Bazı plajiyoklas fenokristalleri halkalı (osilasyonlu) ve karmaşık zonlanma gösterirken, bazıları duraysız mineraller olarak göze çarpmakta ve kısmen rezorbe olmuş ve bol cam inklüzyon-



Şekil 2. Bodrum volkanitleri feldspatlarının An-Ab-Or diyagramında (a), piroksenlerinin Wo-En-Fs diyagramında (b) gösterimi ve piroksenlerin kimyasal bileşime dayalı alkali-kalkalkali ayrımı (c) (Leterrier vd., 1982).

Figure 2. Plots of feldspars on An-Ab-Or diagram (a), pyroxenes on Wo-En-Fs diagram (b) from the Bodrum volcanics, and alkaline-calcalkaline discrimination diagram based on pyroxene composition (c) (Leterrier et al., 1982).

ları içeren elek dokulu (sieve texture) kenarlara sahiptir.

Ayrıca yer yer ojit inklüzyonları içermektedirler. Alkali feldspat olarak gözlenen sanidin (Or_{50}) kristalleri parçalanmış ve bol çatlaklıdır.

Klinopiroksenler, yarı özşekilli ve özşekilsiz, ender olarak iri fakat parçalı kristaller halinde bulunmaktadır. Bileşimleri diyopsit, kalsik ojit ve hedenberjit arasında değişmektedir ($Wo_{42-51}En_{12-43}Fs_{10-36}$) (Çizelge 2). Bir çok klinopiroksen, diyopsit-ojit ayırımına yakın bileşim sunmaktadır (bkz. Şekil 2). Bazı kristallerde kristal merkezinden kenara doğru MgO , Fe_2O_3 , SiO_2 artışı, CaO ve Al_2O_3 azalması olmaktadır. Bu gelişim, basınç düşmesi ile Fe-Ti oksit ve klinopiroksen kristalleşmesinin sona erdiğine işaret edebilir. Bodrum volkanitlerine ait klinopiroksenler, Letierier vd. (1982) diyagramına aktarıldığında orojenik volkanitlere karşılık geldiği görülmektedir (bkz. Şekil 2).

Hornblendler yarı özşekilliden özşekilsiz kristallere kadar değişmekle birlikte sık sık belli-belirsiz kristaller (ghost-like) şeklindedir. Bunlar, Mg-numaraları 0.53-0.80 arasında değişen magnezyen hastingsit ve magnezyen hasting-sitik hornblend bileşimindedir (Çizelge 3). Genellikle opak mineraller, piroksen, feldispat ve kuvars tarafından psödomorflaştırılmış veya kenarları opak minerallerle çevrelenmiştir. Bu özellikler ergiyikle bir dengesizliğin olduğuna işaret etmektedir. Yaygın olarak hornblendin dekompozisyonu (breakdown) klinopiroksen+ortopiroksen+plajiyoklas+magnetit+ilmenit vermektedir. Kayaç içerisinde bu ürünlerin bollukları değişmektedir. Bu da amfibol dekompozisyon reaksiyonlarının karmaşıklığının bir sonucudur (Egger, 1972).

Biyotitler yarı özşekilliden özşekilsiz kristallere kadar değişmekte olup, Mg-numaraları 0.50-0.60 arasında değişen bileşimlere sahiptirler (bkz. Çizelge 3). Yer yer kloritleşmiş ve yaygın olarak reaksiyon kenarları veya dekompozisyon ürünleriyle karakterize edilmektedir. Böylece opak oksitler veya ortopiroksen+ilmenit+magnetit+K-feldispatdan oluşan tanesnel bir büyüme gelişmiştir. Dasitlerdeki benzer reaksiyon ürünleri, Nixon (1988) tarafından, magma karışımı sonucu biyotitin duraylılık sınırının üzerinde dehidratasyonundan kaynaklanması şeklinde yorumlanmıştır.

Kuvars kristalleri, özşekilsiz yer yer kemirilmiş çatlaklı kristaller halindedir. Mozayik doku ve dalgalı sönme göstermemeleri muhtemelen asidik magma karışımı sonucu geliştiklerini düşündürmektedir.

VOLKANİTLERİN JEOKİMYASI

Ana ve İz Elementler

İncelenen volkanitlerin tüm kayaç ana, iz ve nadir toprak element içerikleri ve CIPW normatif mineralojisi Çizelge 4 ve 5'de verilmiştir. Kayaçların SiO_2 içeriği %54-71 arasında değişmektedir. Le Bas vd. (1986) SiO_2 'ye karşı toplam alkali diyagramında, örnekler bazaltik trakiandezit, trakiandezit, trakit ve riyolit alanlarına, Irvine ve Baragar (1971) alkali-subalkali ayırım eğrisi gözönüne alındığında da hem alkali hem de subalkali alanlara düşmektedirler (Şekil 3). Bununla beraber, Peccerillo ve Taylor (1976)'un önerdiği SiO_2 'ye karşı K_2O diyagramında ise, örneklerin yüksek potasyumlu andezit, latit, şoşonit, trakit ve riyolit alanlarına düştüğü görülmektedir (Şekil 4). Genel olarak kayaçlar, yüksek-K'lu (K_2O =%3-7) ve kalkalkalin bileşimli olup, artan K_2O içeriğiyle alkali karaktere doğru geçiş gösterirler. Kayaçların K_2O/Na_2O oranı 1-1.5 arasında olup, sadece örnek-6 için bu oran 2 ve örnek-11 için ise 2.8'dir.

Kayaçların Al_2O_3 içerikleri %15-19, MgO içerikleri %0.1-4 (Mg-numarası, 14-47) arasında ve TiO_2 içerikleri ise %1'den düşüktür. Düşük Ni, Co, Cr ve yüksek La, Ce içeriklerine sahiptirler. Bu özellikleriyle orojenik ortamların kalkalkalin volkanitleriyle (Gill, 1981) karşılaştırıldığında, incelenen volkanitler uyumsuz elementlerce orta derecede zengin olup, La/Nb oranları (0.3-3.7) yüksek değildir. Buna karşın, kayaçlar yüksek La/Y (1-5) ve Nb/Y (1-2) oranlarına sahiptirler.

Genel olarak, majör ve iz elementlerdeki değişimler kayaçların içerisinde gözlenen fenokristal fazlarının fraksiyonlaşmasıyla açıklanabilir. Ana ve iz elementlerin büyük çoğunluğu SiO_2 ile korelasyon göstermektedir (Şekil 5 ve 6). SiO_2 'nin artışıyla birlikte MgO , P_2O_5 , CaO , TiO_2 , $Fe_2O_3(t)$, Co, Cu, Ba, Sr ve Zn içerikleri azalarak negatif bir korelasyon göstermektedir. SiO_2 'ye karşılık Al_2O_3 , Cr, La, Ce, Y, Zr, Ni, Nb ilişkileri ise iyi derecede olmamakla beraber, negatiftir. SiO_2 'ye karşılık Na_2O ve K_2O ilişkileri ise pozitif eğilimli olup, nispeten düzensiz bir ilişkidir. Uyumsuz element içeriklerindeki artma ve uyumlu element içeriklerindeki azalma fraksiyonel kristalleşmeyle açıklanabilir. Bu da kayaçların bir ana magmadan fraksiyonel kristalleşmeyle türemiş olabileceklerini, ancak bunun kayaç-

Çizelge 2. Bodrum volkanitleri piroksenlerinin mikroprob analizleri (m: kristal merkezi, k: kristal kenarı).
Table 2. Microprobe analyses of pyroxenes from the Bodrum volcanics (m: crystal core, k: crystal rim).

Örnek Nokta	B-1	B-2			B-3			B-15				B-60	
	m 16	m 96	m 100	k 104	k 37	m 40	k 44	k 26	m 32	m 62	k 65	m 21	m 25
SiO ₂	52.5	50.8	51.4	51.3	42.9	43.6	53.4	50.7	51.2	51.8	51.8	51.8	51.4
TiO ₂	0.3	0.3	0.3	0.2	1.8	1.6	0.1	0.6	0.5	0.3	0.5	0.3	0.3
Al ₂ O ₃	1.8	1.8	1.7	1.8	7.8	7	0.8	2.1	1.8	1.9	1.5	0.9	0.9
FeO	6	10	9.7	10.6	18.6	16.7	10.6	9.1	9.5	7.1	9.6	9.6	9.8
MnO	0.3	0.6	0.6	0.6	0.4	0.5	0.7	0.4	0.4	0.2	0.3	0.4	0.4
MgO	14.8	12.6	12.7	12.2	4.5	5.7	10.7	15.1	15	15.7	14.8	14.6	14.7
CaO	23.4	23.5	23.5	23.2	22.8	23.3	23.1	20.9	21.5	22.2	21.1	21.1	21.4
Na ₂ O	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.6	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3
Toplar	99.5	100.0	100.3	100.4	99.5	99.0	99.0	99.2	100.2	99.4	99.9	98.9	99.2
Si	1.94	1.56	1.92	1.92	1.64	1.65	2.01	1.90	1.90	1.92	1.93	1.93	1.93
Ti	0.01	0.72	0.01	0.01	0.05	0.05	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
Al	0.06	0.07	0.08	0.08	0.36	0.34	0.04	0.09	0.08	0.08	0.07	0.04	0.04
Fe ⁺³	0.05	0.01	0.10	0.11	0.30	0.32	0.01	0.10	0.13	0.08	0.07	0.10	0.11
Fe ⁺²	0.13	0.26	0.20	0.23	0.32	0.34	0.34	0.18	0.16	0.14	0.23	0.20	0.20
Mn	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mg	0.82	0.58	0.71	0.68	0.27	0.23	0.62	0.84	0.83	0.87	0.82	0.83	0.82
Ca	0.93	0.78	0.94	0.93	0.98	0.98	0.95	0.84	0.85	0.88	0.84	0.86	0.86
Na	0.03	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Toplar	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Wo	47.80	47.69	47.68	47.41	51.97	51.26	49.27	42.43	42.97	44.61	42.66	42.88	43.06
En	42.07	35.43	36.04	34.66	14.25	12.04	31.93	42.58	41.69	43.86	41.63	41.36	41.02
Fs	10.13	16.88	16.28	17.93	33.77	36.71	18.81	14.98	15.34	11.54	15.71	15.77	15.92

Çizelge 3. Bodrum volkanitleri amfibol ve biyotitlerinin mikroprob analizleri (m: kristal merkezi, k: kristal kenarı).
Table 3. Microprobe analyses of amphiboles and biotites from the Bodrum volcanics (m: crystal core, k: crystal rim).

Örnek Nokta	B-2 (amfibol)				B-15(amfibol)		B-3 (biyotit)				B-32 (biyotit)		
	m 79	k 83	m 91	k 94	k 71	k 73	m 5	k 7	m 10	k 13	k 24	k 25	m 26
SiO ₂	41.7	41.3	40.8	40.5	42.4	41.9	36.7	37.0	36.4	36.7	36	36.5	36.5
TiO ₂	2.2	2.2	2.5	2.3	1.8	1.7	4.7	4.4	4.5	4.5	4.6	4.5	4.7
Al ₂ O ₃	12.5	12.6	12.2	12.4	9.2	9.4	11.1	11.2	11.2	11.2	13.4	13	13.3
FeO	9.8	10.6	11.8	13.4	18.4	18.7	18.7	18.8	18.4	18.1	18.7	18.8	16.6
MnO	0.1	0.1	0.2	0.2	0.5	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
MgO	15.2	14.5	13.5	12.4	10.1	10.1	10.7	10.6	11.2	10.8	12.9	12.6	14.2
CaO	12.3	12.4	11.8	12.1	11.7	11.7	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2
Na ₂ O	2	2.1	2.1	2	1.6	1.5	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3
K ₂ O	1.4	1.3	1.2	1.3	1.4	1.4	8.8	8.7	8.6	8.5	8.8	9.2	8.9
Toplan	97.2	97.1	96.1	96.6	97.1	96.8	91.2	91.3	90.9	90.5	95.1	95.3	94.9
Si	6.11	6.09	6.10	6.08	6.48	6.40	6.13	6.16	6.09	6.16	5.77	5.84	5.80
Ti	0.24	0.24	0.28	0.26	0.21	0.19	0.59	0.55	0.57	0.57	0.56	0.54	0.56
Al	2.16	2.18	2.15	2.19	1.65	1.70	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Fe ⁺³	0.38	0.36	0.37	0.40	0.34	0.49	-	-	-	-	-	-	-
Fe ⁺²	0.82	0.95	1.10	1.29	2.03	1.90	2.61	2.62	2.57	2.54	2.50	2.52	2.20
Mn	0.02	0.02	0.02	0.02	0.06	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02
Mg	3.31	3.19	3.02	2.78	2.30	2.31	2.66	2.64	2.79	2.69	3.07	3.00	3.36
Ca	1.93	1.95	1.90	1.95	1.91	1.92	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
Na	0.57	0.61	0.60	0.52	0.42	0.44	0.11	0.10	0.09	0.12	0.12	0.13	0.11
K	0.26	0.25	0.22	0.25	0.27	0.27	1.88	1.84	1.83	1.83	1.80	1.88	1.80
Toplan	15.80	15.83	15.76	15.74	15.69	15.67	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	12.00	13.00
Mg#	0.80	0.77	0.73	0.68	0.53	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	0.60	0.50	0.60

Çizelge 4. Bodrum volkanitlerinin ana (% ağırlık), iz element (ppm) analizleri ve CIPW normalif mineralojisi.
Table 4. Major (weight %) and trace element (ppm) analyses, and CIPW normative mineralogy of the Bodrum volcanics.

Örnek No.	B-1	B-2	B-3	B-3A	B-3C	B-4	B-4A	B-5	B-6	B-6A	B-8	B-9	B-9A	B-11	B-12	B-13	B-14	B-15	B-15f	B-16	B-17	B-18	
SiO ₂	60.3	61.3	61.2	61.5	59.2	59.5	60.2	56.5	61.5	60.8	58.8	61.0	60.8	69.0	56.4	59.8	59.7	57.4	56.8	58.1	54.8	55.1	63.2
TiO ₂	0.6	0.5	0.6	0.6	0.7	0.6	0.6	0.7	0.5	0.8	0.8	0.6	0.6	0.3	0.7	0.5	0.6	0.9	0.7	0.8	0.8	0.8	0.5
Al ₂ O ₃	16.0	16.5	16.0	16.2	17.0	16.5	16.2	16.5	16.0	16.6	15.9	17.0	16.5	15.8	17.0	16.5	16.6	17.8	17.6	16.6	17.5	17.8	16.2
Fe ₂ O ₃	5.8	5.2	4.9	5.3	5.4	5.5	5.7	5.5	4.7	6.3	6.0	5.4	5.2	2.7	7.3	5.5	6.1	6.4	6.2	6.3	7.2	6.8	4.8
MnO	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
MgO	1.8	1.6	1.9	1.9	2.9	2.2	1.9	1.6	1.6	1.0	2.4	1.5	2.2	0.3	2.7	1.8	1.3	1.5	2.2	2.4	2.7	2.5	1.2
CaO	5.1	4.6	4.3	4.3	5.3	5.8	4.8	6.8	3.5	3.2	4.9	3.7	4.3	0.1	4.9	4.2	4.4	5.2	5.1	5.4	5.5	5.2	3.8
Na ₂ O	3.7	4.0	3.0	3.5	3.4	3.6	3.6	3.7	2.9	3.6	3.7	3.5	3.2	2.5	3.7	3.4	3.9	3.7	3.6	3.6	4.3	4.3	3.7
K ₂ O	3.9	4.0	4.4	4.2	3.6	3.7	4.0	4.6	6.0	4.5	5.0	4.4	4.4	7.2	3.8	4.5	4.3	4.4	4.2	4.1	4.7	5.0	4.0
P ₂ O ₅	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.2	0.3	0.5	0.3	0.3	0.1	0.4	0.3	0.3	0.5	0.4	0.3	0.5	0.5	0.3
LOI	1.5	1.4	2.6	1.4	1.4	1.2	1.8	3.0	2.8	1.9	1.2	1.9	1.9	1.6	2.1	2.3	1.8	1.2	2.2	1.8	1.4	1.1	1.7
Total	99.1	99.5	99.2	99.4	99.3	99.0	99.3	99.4	99.8	99.1	99.3	99.4	99.5	99.7	99.1	98.9	99.1	99.1	99.1	99.5	99.5	99.2	99.5
Zn	490	42	53	63	50	60	162	53	58	65	435	50	50	25	68	54	60	76	84	102	75	71	55
Co	20	17	18	17	20	19	18	22	16	20	25	20	18	<10	21	17	20	22	20	23	23	23	17
Cr	75	26	15	23	53	88	50	115	27	63	125	13	<10	<10	21	30	36	13	30	60	15	14	21
Cu	35	20	12	17	21	35	25	30	12	20	50	17	15	10	25	35	30	60	35	30	45	45	17
Y	10	13	17	19	16	17	12	19	9	11	16	17	12	<5	13	11	15	17	22	18	19	15	14
Nb	20	18	24	24	19	25	21	30	19	20	22	20	20	70	24	23	21	22	26	22	25	23	18
La	30	62	71	89	71	73	42	66	29	30	64	64	32	<10	34	37	63	30	84	51	89	79	52
Ce	44	94	103	120	100	115	62	104	47	48	98	96	47	<10	50	62	94	47	133	76	141	126	77
Qtz	10.0	10.0	14.0	12.0	9.1	9.1	10.1	2.3	10.9	12.2	4.4	11.9	11.6	25.3	3.8	9.9	8.1	4.7	4.3	5.8	0.0	0.0	15.3
Or	23.8	24.2	27.1	25.5	21.9	21.9	24.4	28.4	36.7	27.5	30.3	26.8	26.8	43.5	23.3	27.7	26.3	26.7	25.8	25.0	28.5	30.3	24.3
Ab	32.2	34.6	26.4	30.4	29.5	29.5	31.4	32.6	25.4	31.5	32.1	30.5	27.8	21.6	32.5	29.9	34.1	32.1	31.6	31.3	33.9	33.6	32.1
An	15.9	15.6	17.8	16.5	21.0	21.0	16.7	15.4	13.3	14.6	12.3	17.1	18.1	0.5	19.2	17.1	15.5	19.4	20.1	17.5	14.9	14.8	16.2
Di	7.0	5.0	2.6	3.6	3.5	3.5	5.0	14.6	2.8	0.0	8.0	0.0	1.6	0.0	3.0	2.4	4.4	3.4	3.1	7.0	8.4	7.2	1.2
Hy	8.1	7.9	9.4	9.4	12.0	12.0	9.5	2.3	8.4	10.0	9.1	10.4	11.0	4.1	14.4	10.3	8.6	9.3	11.6	10.1	0.0	0.0	8.3
Ol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mt	1.2	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.0	1.3	1.2	1.1	1.1	0.5	1.5	1.1	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.5	1.4
Il	1.2	1.0	1.2	1.2	1.4	1.4	1.2	1.4	1.0	1.6	1.6	1.2	1.2	0.6	1.4	1.0	1.2	1.8	1.4	1.6	1.6	1.6	1.0
Ap	0.7	0.7	0.5	0.4	0.7	0.7	0.7	0.9	0.5	0.7	1.1	0.7	0.7	0.0	0.9	0.7	0.7	1.1	0.9	0.7	1.1	1.1	0.7
Mg [#]	0.7	30.8	30.8	30.8	47.1	41.6	26.3	26.3	30.8	26.3	41.6	30.8	47.1	37.3	26.3	26.3	26.3	26.3	41.6	41.6	37.3	41.6	30.8

Not: Fe₂O₃, Fe₂O₃ cinsinden toplam demir. CIPW normlan, % ağırlık olup, uçucu serbest bir tabanda hesaplanmıştır. Mg[#] (Mg-Numarası)=100xMg/(Mg+Fe²⁺).
Note: Fe₂O₃* is the total iron as Fe₂O₃. CIPW normative mineralogy is in weight % and calculated on a volatile free basis. Mg[#] (Mg-Number)=100xMg/(Mg+Fe²⁺).

Çizelge 4. (devamı).
Table 4. (continued).

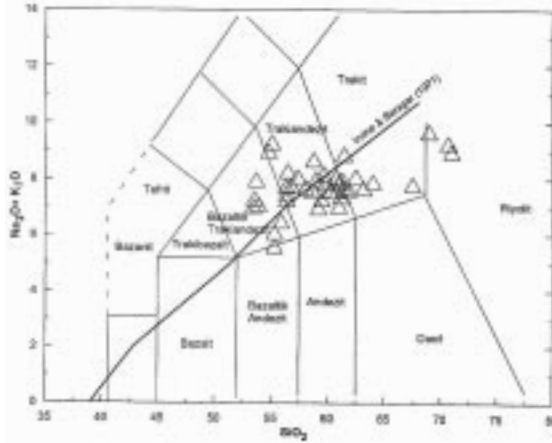
Örnek No.	B-32	B-35	B-38	B-39	B-40	B-41	B-44	B-45	B-46	B-51	B-57	B-61	B-62	B-65	B-66	B-68	B-69	B-70
SiO ₂	64	59	54.5	56.4	55.9	63	67.6	62	58.7	57.9	54.7	55.7	56.4	55.3	55.9	55.3	70.7	62
TiO ₂	0.6	0.7	1	0.7	0.7	0.6	0.7	0.5	0.7	0.7	0.7	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9	0.3	0.6
Al ₂ O ₃	16.5	17.5	19.5	17.7	17.1	17	18.2	16.3	18.1	16.3	16.9	16.3	17.5	16.3	16.3	16.4	17.1	17.3
Fe ₂ O ₃	4.4	5.7	6.8	5.9	6	3.4	1.3	3.8	5.7	5.5	5.3	5.4	5.7	6.2	6.8	5.7	0.7	4.6
MnO	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-	0.1
MgO	1.6	2.5	1.9	2.8	2.6	1.6	0.6	2.1	2.2	2.9	3	3.8	3.1	3.9	4.0	4.3	0.1	1.8
CaO	3.6	4.5	4.6	5.7	5.7	3	0.4	3.6	4.8	5.8	5.6	7.9	4.2	7.1	5.8	7.3	0.2	4.3
Na ₂ O	3.5	3.5	2.9	3.4	3.3	4	5.0	2.8	3.5	2.3	3.3	2.7	3.7	2.4	3.0	2.9	5.1	3.5
K ₂ O	4.4	4.5	4.4	3.9	3.8	4.6	2.8	4.2	4.1	4.8	4.7	5.1	4.7	3.2	3.5	3.3	4.2	4.1
P ₂ O ₅	0.1	0.4	0.5	0.3	0.3	0.2	0.1	0.3	0.4	0.3	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.1	0.3
LOI	0.8	1	2.8	2.3	4	2.5	2.8	4	1.1	2.7	4.8	1	3.7	4.3	3.0	3.1	1.4	1.3
Total	99.6	99.4	99.0	99.2	99.5	100	99.6	99.7	99.4	99.3	99.5	99.4	100.3	100.1	99.7	99.7	99.9	99.9
Ba	1297	1293	1076	1260	1235	1099	935	1319	1545	1510	1549	1314	1347	1338	1378	1325	127	1477
Sr	940	811	1336	913	932	703	388	670	925	901	735	721	824	831	744	773	204	897
Zr	134	284	278	230	215	210	169	148	269	221	219	262	334	186	191	181	290	140
Ni	-	21	25	-	24	31	28	20	30	33	32	40	49	55	72	75	-	20
Zn	73	120	127	99	104	86	53	81	79	64	97	-	51	72	76	103	-	136
Cr	20	20	30	60	30	90	50	20	50	90	50	70	130	220	250	250	40	20
Cu	-	94	-	60	73	52	-	-	-	88	-	195	64	-	60	60	-	-
Y	19	23	-	21	19	19	41	17	24	24	20	23	19	-	20	21	30	20
Nb	30	37	21	24	22	20	17	13	25	28	18	27	16	10	27	24	74	18
La	109	95.3	-	-	-	54.8	-	53	-	-	54.7	-	57.8	-	-	53	-	-
Ce	172	169	-	-	-	94.1	122	95	-	-	93	-	86.2	-	97	110	-	-
Qtz	16.1	7.4	6.7	5.3	4.5	15.6	27.1	17.9	8.3	10.4	1.1	1.5	5.1	9.5	6.9	6.1	25.1	13.2
Or	26.3	27.1	27.5	23.5	24.2	27.7	17.3	26.5	24.7	29.4	29.6	30.9	25.1	19.7	21.6	20.0	25.2	24.8
Ab	30.2	30.4	25.5	23.9	29.7	31.3	43.8	25.3	30.1	19.7	29.8	23.2	32.5	21.1	26.1	25.0	43.7	30.3
An	16.1	18.8	20.7	22.1	21.9	13.8	1.5	17.4	21.9	20.9	18.6	17.4	19.1	25.1	21.3	22.9	0.6	19.4
Di	0	1.4	-	4.3	5.1	0	0	0	0.1	5.5	7.2	16	0	7.3	5.0	9.9	0	0.7
Hy	7.3	10	10.1	9.8	9.3	6.6	1.6	8.5	9.9	9.5	8.7	5.5	12.6	10.8	13.1	105	0.3	7.7
Mt	2.18	2.8	3.5	3	3.2	1.7	0.6	2	2.9	2.5	2.8	2.7	2.9	4	3.4	2.9	0.4	2.3
Il	1.1	1.3	1.9	1.4	1.4	1.1	1.32	1	1.3	1.3	1.4	1.8	1.5	1.7	1.7	1.7	0.6	1.1
Ap	0.7	0.8	1.2	0.7	0.8	0.5	0.18	0.6	0.9	0.7	0.8	1	0.9	0.8	0.8	0.8	0.1	0.6
Mg*	26.4	30.3	21.8	32.2	30.1	30.9	30.2	35.1	28	34.8	35.9	41	35.3	38.5	37.2	43.1	13.7	27.9

Note: Fe₂O₃*, Fe₂O₃ cisinden toplam demir. CIPW normları, % ağırlık olup, uçucu serbest bir tabanda hesaplanmıştır. Mg (Mg-Numarası)=100xMg/(Mg+Fe²⁺)_o.
Note: Fe₂O₃* is the total iron as Fe₂O₃. CIPW normative mineralogy is in weight % and calculated on a volatile free basis. Mg (Mg-Number)=100xMg/(Mg+Fe²⁺)_o.

Çizelge 5. Bodrum volkanitlerinin nadir toprak element (ppm) analizleri.
Table 5. Rare earth element (ppm) analyses of the Bodrum volcanics.

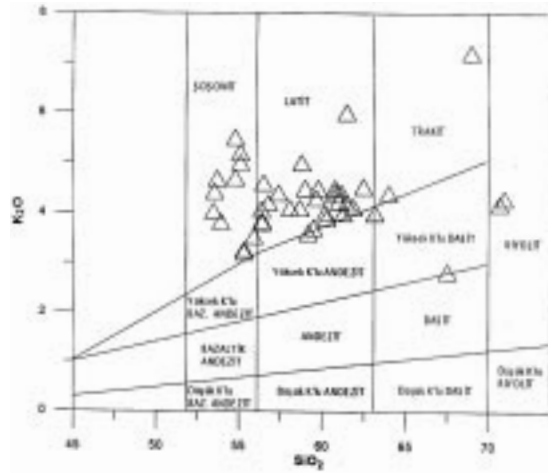
Örnek No.	B59	B33	B32	B34	B35	B37	B41	B45	B57	B62
La	29.2	144	109	105	95.3	16.2	54.8	53.3	54.7	57.8
Ce	63.4	208	172	186	169	32.7	94.1	94.7	93	86.2
Pr	77.2	20.9	17.7	17.9	18.0	3.6	10.1	10	10.4	10.5
Nd	22.9	60.4	48.2	52.7	50.6	12.5	29	30.4	31.8	31.0
Sm	4.8	9.3	7.1	8.1	7.8	2.9	5.0	5.3	5.5	5.5
Eu	1.3	2.1	1.8	2.0	1.9	0.7	1.2	1.3	1.4	1.6
Gd	4.2	6.7	4.9	6.3	5.7	3.0	3.6	3.9	4.2	4.2
Tb	0.3	0.7	0.4	0.7	0.6	-	0.4	0.4	0.3	0.5
Dy	3.6	4.4	3.1	4.0	3.8	2.2	2.7	2.7	2.6	3.0
Ho	1.2	1.4	1.0	1.3	1.4	0.8	1.0	1.0	1.0	1.2
Er	3.0	3.1	2.3	2.9	2.8	2.2	2.0	2.0	1.8	2.5
Tm	0.7	0.7	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.7	0.7	0.6
Yb	2.1	2.3	1.7	2.1	2.0	1.3	1.5	1.5	0.9	1.8
Lu	0.4	0.4	0.2	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3

ların gelişiminde ana magmatik olay olmadığını göstermektedir. Cr, Ni, MgO, CaO, Al₂O₃ azalması önemli ölçüde ojit ve plajyoklas fraksiyonlaşmasını yansıtmaktadır. Fe₂O₃(t) ve TiO₂ azalması, Fe-Ti oksit, P₂O₅ azalması ise apatit fraksiyonlaşmasıyla açıklanabilir. Bunların yanı sıra, hornblend fraksiyonlaşması da ana ve iz element değişiminde rol almış olabilir. Ayrıca, kalkalkalin volkanitlerin gelişiminde hornblendin önemli bir fraksiyonlaşma fazı olduğu bilinmektedir (Cawthorn ve O'Hara, 1976).



Şekil 3. Bodrum volkanitlerinin SiO₂'ye karşı toplam alkali (TAS) diyagramı (Le Bas vd., 1986) (kalın çizgi alkali ve subalkali bileşimleri ayırmaktadır; Irvine ve Baragar, 1971).

Figure 3. SiO₂ versus total alkali (TAS) diagram of the Bodrum volcanics (after Le Bas et al., 1986) (solid line separates alkaline and subalkaline compositions; Irvine and Baragar, 1971).

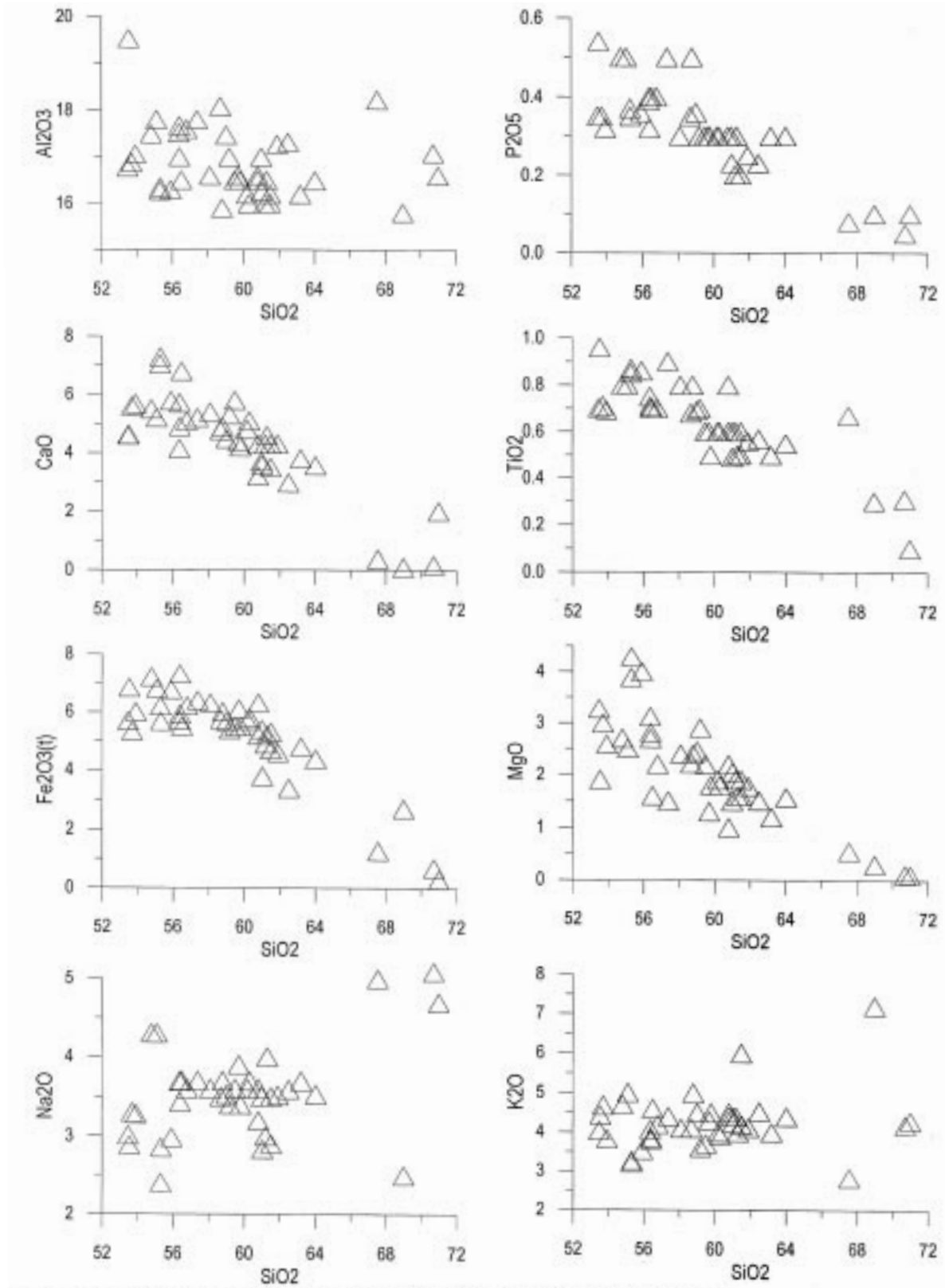


Şekil 4. Bodrum volkanitlerinin SiO₂'ye karşı K₂O diyagramı (Peccerillo ve Taylor, 1976).

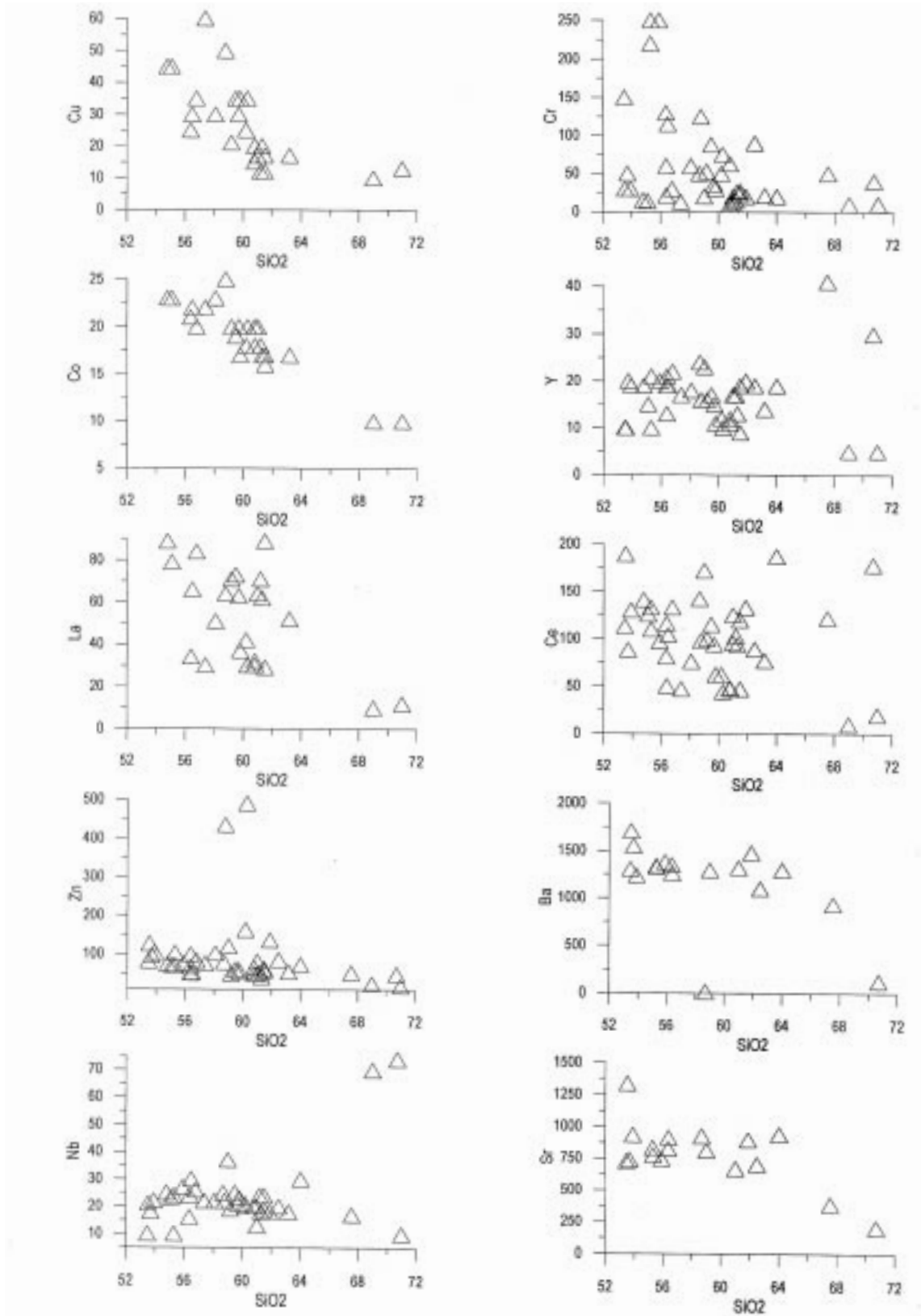
Figure 4. SiO₂ versus K₂O plot of the Bodrum volcanics (after Peccerillo and Taylor, 1976).

Uyumsuz Elementler

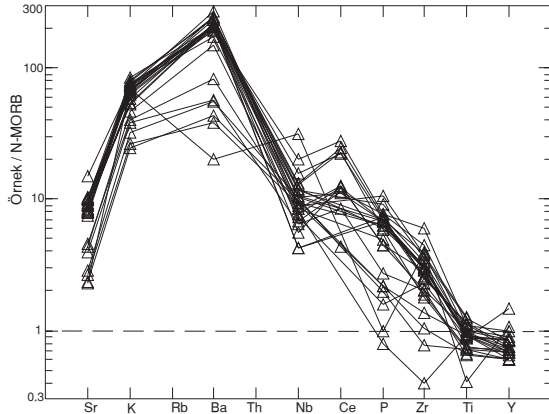
Kayaçların okyanus ortası sırtı bazaltına (MORB) göre normalize edilmiş iz element dağılımları birbirine benzerlik sunmaktadır (Şekil 7). İz element dağılımlarında büyük iyonlu litofil element (LILE) zenginleşmesi (özellikle Sr, K ve Ba) ve negatif Nb, Ti anomalisi karakteristiktir (bknz. Şekil 7). Ti ve P'de önemli negatif anomalilerin yokluğu, ayrışma sırasında ojit, Fe-Ti oksit ve apatitin fraksiyonlaşmada önemli etkisinin olmadığını belirtmektedir. Karakteristik negatif Nb ve Ti anomalileri ise, kayaçların ana magmasının gelişiminde yitim bileşenin varlığına işaret etmektedir (Pearce, 1983).



Şekil 5. Bodrum volkanitlerinin SiO₂'ye karşı ana oksit (% ağırlık) değişim diyagramları.
 Figure 5. SiO₂ versus major oxide (weight %) variation plots of the Bodrum volcanics.



Şekil 6. Bodrum volkanitlerinin SiO₂'ye karşı iz element (ppm) değişim diyagramları.
 Figure 6. SiO₂ versus trace element (ppm) variation plots of the Bodrum volcanics.

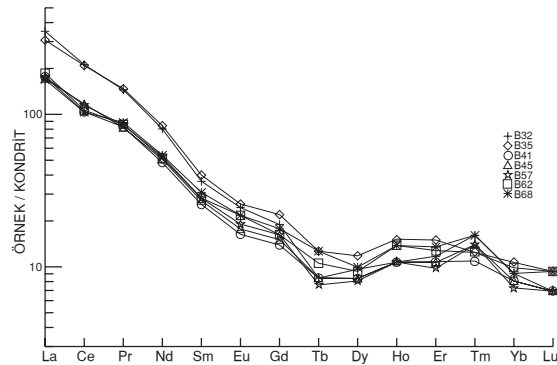


Şekil 7. Bodrum volkanitlerinin N-tipi okyanus ortası sırtı bazaltına (Sun ve McDonough, 1989) oranlanmış iz element dağılımları.

Figure 7. N-type MORB (Sun and McDonough, 1989) normalised trace element patterns of the Bodrum volcanics.

Nadir Toprak Elementler

Volkanitler, kondritlere göre $(La/Lu)_N$ oranı 20-50 arasında değişen oldukça farklılaşmış nadir toprak element dağılımı gösterirler (Şekil 8). Hafif nadir toprak element zenginleşmesi, orta ve ağır nadir toprak element zenginleşmesine göre daha fazla olup, yukarı doğru konkav bir kalıp sunmaktadır. Bu dağılım kayaçların gelişiminde amfibol fraksiyonlaşmasının etkili olduğunu desteklemektedir. Robert ve Foden (1993)'in Bodrum yöresi mafik kayaçlarında Eu anomalisinin varlığına işaret etmelerine rağmen, incelenen kayaçlarda belirgin anomaliler gözlenmemiştir. Bu da incelenen volkanitlerin gelişimi esnasında plajiyoklas ayrılaşmasının önemli rol oynamadığını göstermektedir.



Şekil 8. Bodrum volkanitlerinin kondrite (Boynton, 1984) oranlanmış nadir toprak element dağılımları.

Figure 8. Chondrite (Boynton, 1984) normalised rare earth element patterns of the Bodrum volcanics.

PETROJENEZ

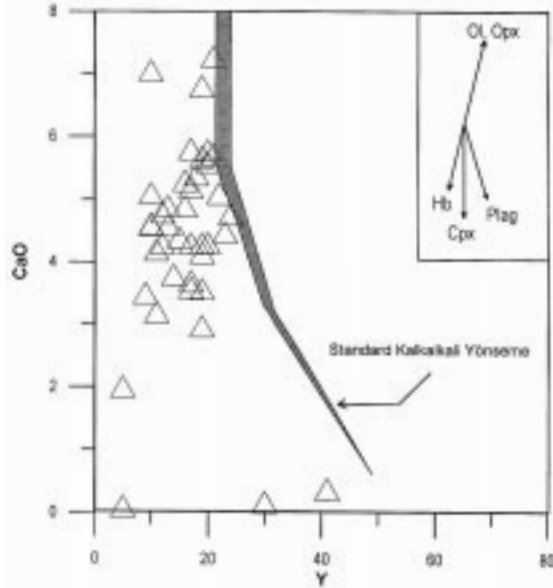
İncelenen yüksek potasyumlu kalkalkalin volkanitlerdeki jeokimyasal değişimler, bunların aynı kökenden türediklerini ve birbirleriyle kıtasal kabukdaki bir magma odasının gelişimi sırasında önemli olan fraksiyonel kristalleşme, asimilasyon ve magma karışımı olaylarıyla ilişkili olduklarını göstermektedir. Volkanitlerin gelişimindeki söz konusu magmatik olayların rolü ve önemi, elde edilen petrografik ve jeokimyasal verilerin ışığında ayrıntılı olarak aşağıda verilmiştir.

Fraksiyonel Kristalleşme

Genel olarak, kayaçlardaki düşük Y ve yüksek La/Y oranı, ana magmanın oluşumunda granatın fraksiyonlaşan veya artık faz olarak önemli rol oynamadığına işaret eder. Buna karşın, kayaçların azalan Y içerikleri, hornblendin fenokristal bileşen olarak yer aldığı da dikkate alınırsa, magmatik gelişimde önemli bir hornblend fraksiyonlaşmasının olduğuna işaret etmektedir ($D_{Y}^{amp/liq}=1.6-6$; Pearce ve Norry, 1979). Ayrıca Gill (1978), önemli bir hornblend fraksiyonlaşmasının beraberinde K/Rb, Ba/Rb ve Ba/La oranlarında önemli bir azalma meydana getirdiğini belirtmiştir.

Kalkalkalin kayaç gruplarında Lambert ve Holland (1974), CaO'e karşı Y diyagramında standard bir kalkalkalin yönsemesine göre Y içeriğindeki zenginleşme ve tüketilmeyi esas alarak, J- ve L-tipi yönsemeler tanımlamıştır (Şekil 9). J- ve L-tipi yönsemeler sırasıyla hornblend-(±granat) ve klinopiroksen denetimli ayrılaşmayı tanımlamaktadır. İncelenen volkanitler, standard kalkalkalin yönsemesine göre Y'ce tüketilmiş (5-40 ppm) olup, J-tipi bir yönseme sunmaktadır (bknz. Şekil 9). Bu eğilim, kayaçların gelişiminde hornblend denetimli bir fraksiyonlaşmanın varlığını ortaya koymaktadır. Hornblend fraksiyonlaşmanın kayaçların kimyasal değişiminde etkili olması, fraksiyonlaşmanın muhtemelen kıtasal kabuğun derinliklerindeki bir magma odasında gerçekleşmesi gerektiğini göstermektedir. Hornblend fraksiyonlaşmasının ana ve iz element bollukları üzerindeki etkisi yeterince anlaşılacakla beraber, yüksek basınç ve yüksek su içeriği gerektirdiği bilinmektedir (>8 kbar ve % 3 H₂O; Eggler ve Burnham, 1973). Bu nedenle, benzer bileşimlerdeki deneysel verilerle (Cawthorn ve O'Hara, 1976; Allen ve Boettcher, 1978) karşılaştırıldığında, ana magmanın yüksek oranda su içeriğine sahip olduğu (>%2 H₂O)

ve bu magmanın muhtemelen alt-orta kabuktaki bir magma odasında (3-15 kbar) ayrılmışmaya uğradığı söylenebilir.



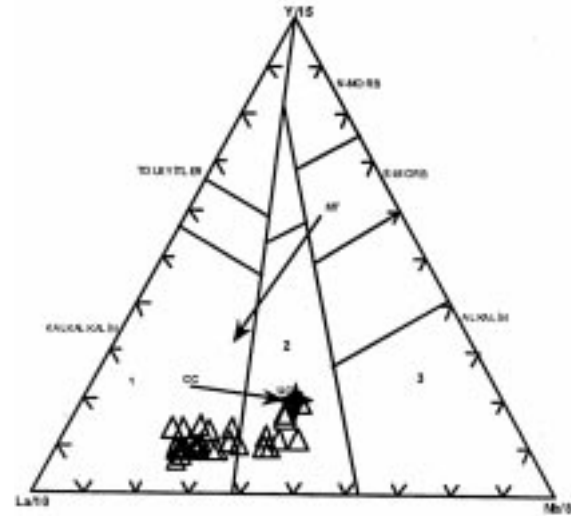
Şekil 9. Bodrum volkanitlerinin CaO'e karşılık Y diyagramı (Lambert ve Holland, 1974; vektörler, bazaltik bileşim için yaygın silikatların fraksiyonlaşma yönlerini göstermektedir).

Figure 9. CaO versus Y plot of the Bodrum volcanics (after Lambert and Holland, 1974; the inset vectors show fractionation trends of the common silicates for a basaltic composition).

Asimilasyon

Kayaçlarda kuvars ksenokristallerinin bulunuşu, genelde yüksek oranda SiO₂, La ve Ce içerikleri, ana magmalarının kabuk malzemesiyle girişim yaptığına işaret etmektedir. Bu zenginleşme, muhtemelen magmanın yükselimi sırasındaki kıtasal kabuk asimilasyonu veya fraksiyonel kristalleşme ile birlikte gelişen asimilasyon (AFC) (De Paolo, 1981; Grove vd., 1982) ile açıklanabilir. Fakat mevcut verilerle bunun modellenmesi mümkün değildir. Ancak, Cabanis ve Lecolle (1989) tarafından önerilen La-Nb-Y tektonik ayırtman diyagramına (Şekil 10) ortalama üst kıtasal kabuk değerinin (Taylor ve McLennan, 1985) işlenmesiyle magmatik ayrılmışmadaki kıtasal kabuk bileşenin etkisi ayırt edilebilir. Böyle bir diyagramda, incelenen volkanitler, kalkalkalin orojenik (alan 1) ile kıtasal kabuk etkileri gösteren orojenik bölgeye (alan 2) düşmektedir (bknz. Şekil 10). Kayaçlar, üst kıtasal kabuk

bileşimine doğru bir yönelim göstererek, bunların gelişiminde (özellikle asidik bileşimli-lere doğru) artan kabuk bileşenin etkisini açık bir şekilde yansıtmaktadır. Kayaçların gelişiminde etkili olan kabuk kontaminasyonu, çevre kayaçlarının tamamen ergitilmesinden ziyade, bunların kısmi ergiyiklerinin girişi şeklinde olmalıdır. Bu durum, belli uyumsuz elementlerde (örneğin K) seçici bir zenginleşme meydana getirmiştir (Watson, 1982; Tindle ve Pearce, 1983).



Şekil 10. Bodrum volkanitlerinin Y-La-Nb üçgen diyagramı. Alanlar, 1- orojenik bölge; 2- kıtasal kabuk etkileri gösteren geç-post orojenik bölge; 3- orojenik olmayan bölge (Cabanis ve Lecolle, 1989) (oklar, MT- okyanus adası bazaltı ve dalma-batma bileşenleri arasındaki karışım hattı; CC- dalma-batma ve üst kabuk (UC) bileşenleri arasındaki karışım hattını göstermektedir).

Figure 10. Y-La-Nb triangular plot of the Bodrum volcanics. Fields are 1- orogenic domain; 2- late to post orogenic domain with continental crust influences; 3- non orogenic domain (Cabanis and Lecolle, 1989) (arrows represent MT-mixing line between an OIB and a subduction component; CC-upper crustal mixing line between a subduction and the upper crustal (UC) component).

Magma Karışımı

Magma karışımı olaylarının, kalkalkalin kayaçların gelişiminde önemli olduğu bilinmektedir (Eichelberger, 1978; Gerlach ve Grove, 1982). Buna göre kayaç kimyasındaki değişim, mafik ve silisik magmaların karışımıyla ilişkili olabilmektedir. Böyle bir modelde, mafik uç üye mantodan geleni, buna karşın silisik uç üye ise, kabuk kon-

taminasyonu ve/veya fraksiyonel kristalleşmeyle türeyebilir (Grove ve Donnelly-Nolan, 1986). İncelenen volkanitlerde benzer magma karışımı ve/veya magma girişimine ait pek çok petrografik veri bulunmaktadır (Robert ve Foden, 1993; Arslan vd., 1998a). Plajiyoklas fenokristalleri ve mikrofeno-kristalleri, bazen rezorbe olmuş ve parçalanmış kristaller şeklinde-dir. Bunlar, bazen halkalı zonlanma ve karakteristik bir şekilde elek dokusu göstermek-tedirler. Böylece bol miktarda cam inklüzyonları içermektedirler. Yer yer elek görünümlü zonun etrafını yeni büyümüş bir kısım çevrelemektedir. Bu özellikler, Tsuchiyama (1985)'nın Di-An-Ab sisteminde deneysel olarak plajiyoklasın kısmi ergimesiyle elde ettiği elek dokulu kristallere benzemektedir.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bodrum volkanitleri, yaş ilişkisi ve ortamsal birliktelik açısından bir bütünlük oluşturmalarına rağmen, petrografik ve jeokimyasal bileşim bakımından farklı özellikler sunmaktadır. Bu farklılıklar yöredeki magmatik gelişimin tek düze olmadığını, kayaçların gelişimi esnasında fraksiyonel, kristalleşme, magma karışımı ve asimilasyon olaylarının birlikte etkili olduğunu göstermektedir. İncelenen volkanik kayaçlarda, bazik-asidik magma karışımını veya girişimini gösteren dengesizlik dokuları yaygındır. Örneğin plajiyoklas fenokristallerinde görülen elek dokusu, yeniden büyümeler ve halkalı zonlanma dengesizlik koşullarını yansıtmaktadır. Volkanik kayaçlardaki bu tip ilişkilerin magma karışımı (Anderson, 1976; Nixon ve Pearce, 1987; Kolisnik, 1990) veya bazik ve asidik magma girişimi (Stimac ve Pearce, 1982) sonucu geliştiği şeklinde yorumlanmaktadır. Plajiyoklaslarda gözlenen elek dokusu ve karmaşık zonlanma, kayaçları üreten ilk kısmi eriyiklerin daha derinlerde oluşan bir magma ile karışması sonucu gelişmiş olabilir. Ayrıca hornblend ve biyotitin dekompozisyonu dengesiz kristalleşmeyi belirtir. Andezitik ergiyiklerde hornblendin duraylı kalabilmesi için su içeriğinin $>4\%$, sıcaklığın $<1050^{\circ}\text{C}$ ve basıncın 2-10 kb olması gerekir (Allen ve Boettcher, 1978; Egger ve Burnham, 1973; Cawthorn ve O'Hara, 1976). Dolayısıyla hornblend ve biyotitin dekompozisyonu, kristallenmekte olan magmanın ısı ve basınç koşullarının magma karışımı/girişimi sonucu değişmesiyle sağlanmış olmalıdır.

Kayaçların, düşük $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$, Nb, TiO_2 ve yüksek LILE içerikleriyle belirginleşen jeokimyasal özellikleri, yaklaşan kıta kenarlarında gelişen volkanitlerle (Gill, 1981; Pearce, 1983) benzerlik taşımaktadır. Ayrıca Robert vd. (1992), Bodrum mafik kayaçlarındaki K-grubu element (özellikle Rb, Ba, Sr) ve nadir toprak element zenginleşmesinin kayaçların hem alkalın ve hem de subalkalin karaktere sahip olmalarıyla ilişkili olduğunu ve kondrite oranlanmış iz element değişim diyagramlarının yaklaşan levha sınırındaki kayaçlara benzediğini vurgulamışlardır. Kayaçların uyumsuz element ve nadir toprak element içerikleri dikkate alındığında, ana magmanın doğrudan kalınlaşan kıtasal kabuğun kısmi ergimesinden türemesini imkansız kılmaktadır. Ayrıca Robert ve Foden (1993), Sr ve Nd izotopik bileşimlerini dikkate alarak Bodrum bazik volkanitlerinin manto kökenli olduğunu ve ayrılmış asidik kayaçların ise üst kabuk kökenli olamayacaklarını, hatta kabuk asimilasyonunun farklılaşmış kayaçların gelişiminde etkin bir faktör olmadığını ileri sürmüştür. Ancak Bodrum volkanitlerindeki Nb ve bir bakıma TiO_2 fakirleşmesi, genel olarak sulu koşullar altında meydana gelen ergime sırasındaki aksesuar bir artık fazla ilişkili olabilir (Saunders vd., 1980). Buna karşın, LILE zenginleşmesi esasen kabuk asimilasyonu ve birlikte gelişen fraksiyonel kristalleşme sonucu olmalıdır. Andezitik kayaçlar, sık sık bazalttan daha felsik bileşimlere kadar değişen ayrılma serilerinin bir bölümü olarak kabul edilir (Gill, 1981; Grove ve Kinzler, 1986). Kayaçların jeokimyası (SiO_2 'ye karşı ana ve iz element değişimindeki ilişkiler, düşük Mg-numaraları, düşük Cr ve Ni içerikleri), bunların doğrudan peridotitik bir kaynaktan kısmi ergimeyle türemediklerini ve böyle bir kaynağın ilksel kısmi ergiyiklerini temsil etmediklerini ve mantodan türeyen bir ana magmadan itibaren geliştiklerini açık bir şekilde ortaya koymaktadır. Ayrıca volkanitlerin MORB'a göre iz dağılımlarındaki negatif Nb ve Ti anomalileri ana magmanın gelişiminde yitim bileşeninin etkisinin olduğunu göstermektedir. Jeokimyasal veriler, zenginleşmiş bir manto ve kabuk bileşenlerinden oluşan bir kaynağın varlığına işaret etmektedir. Öyleki, Robert vd. (1992), Ege yöresindeki mafik magmatik kayaçlardan elde etmiş oldukları iz element, Sr ve Nd izotopik verilerine göre; potasik magmatizmanın, zenginleşmiş manto, tüketilmiş manto ve kıtasal kabukdan oluşan üç kaynak bileşeni ile temsil edildiğini ileri sürmüşlerdir. Ayrıca, Bodrum yöresi Üst Miyosen yaşlı ultrapotasik kayaç-

larının jeokimyasal karakteristiklerinin zenginleşmiş manto bileşeninin varlığına işaret ettiği belirtilmiştir. Bu çalışmada elde edilen bulgular, Bodrum volkanitlerinin zenginleşmiş manto kökenli bir ana magmadan türediğini, kıtasal kabuğun derinliklerindeki magma odasında esasen hornblend denetimli fraksiyonel kristalleşme yoluyla oluştuklarını ortaya koymaktadır.

Genel olarak Batı Anadolu'daki asidik-ortaç volkanizmanın Erken Miyosen döneminde geliştiği kabul edilmektedir (Yılmaz, 1989; Seyitoğlu ve Scott, 1992; Seyitoğlu vd., 1997; Ercan vd., 1997). Ayrıca doğu-batı uzanımlı grabenlerin Erken Miyosen'de gelişmeye başladığı (Seyitoğlu ve Scott, 1992; Purvis ve Robertson, 1997) ve kuzey-güney açılma tektoniğinin Geç Oligosen-Erken Miyosen sürecinde etkili olduğu ortaya konulmuştur (Seyitoğlu vd., 1992). Yılmaz ve Şengör (1982), Ege bölgesinde kıtasal kabuğun kalınlaşması ve kısmi ergimesinin, kabuk kökenli kalkalkalin ve manto kökenli alkalin magmaların karışmasına neden olduğunu belirtmiştir. Orta Miyosen sonundan itibaren Batı Anadolu'da gelişen volkanizmanın bölgede etkili olan ekstansiyonel tektonik rejim sonucu gelişen kıtasal riftleşmeyle ilişkili olduğu ileri sürülmüştür (Borsi vd., 1972; Ercan, 1979, 1981; Ercan vd., 1982, 1984; Şengör ve Yılmaz, 1981; Yılmaz, 1989; Seyitoğlu vd., 1997). Bodrum volkanitlerinin yayılımı, jeokimyasal ve petrolojik özellikleri dikkate alındığında, Batı Anadolu volkanizması içerisinde kendine özgü bir topluluk oluşturduğu görülmektedir. Yöredeki volkanizma, önce patlamalı bir rejimde geniş yayılım gösteren kalkalkalin ve bunu takiben az yayımlı alkalin karakterli ürünler şeklinde gelişmiştir. Bodrum alkalin volkanitlerinin yerleşiminde açılma tektoniğinin önemli bir rol oynadığı söylenebilir. Ancak kalkalkalin volkanitlerin ve özellikle de zenginleşmiş bir manto kaynağından ana magmanın gelişiminde sıkışma tektoniğinin etkili olduğu düşünülmektedir.

KATKI BELİRTME

Yazarlar, maddi destek sağlayan Selçuk Üniversitesi Araştırma Fonu'na, mikroprob analizlerinin gerçekleştirilmesinde yardımcı olan Y.Doç.Dr. Yusuf K. Kadioğlu'na (AÜ), makaleye yapıcı eleştirileri ile katkıda bulunan Prof.Dr. Yılmaz Savaşçın'a (DEÜ) ve Prof.Dr. Yücel Yılmaz'a (İTÜ) teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Allen, J.G., and Boetcher, A.L., 1978. Amphiboles in andesites and basalts: II. Stability as a function of P-T-fO₂. *American Mineralogist*, 63, 1047-1087.
- Altherr, R., Henjes-Kunst, F., Matthews, A., Friedrichsen, H., and Hansen, B.T., 1988. O-Sr isotopic variations in Miocene granitoids from the Aegean: evidence for an origin by combined assimilation and fractional crystallization. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 100, 528-541.
- Anderson, A.T.J., 1976. Magma mixing: petrologic process and volcanological tool. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 1, 3-33.
- Arslan, M., Kurt, H., and Kayabalı, İ., 1998a. Evidence on mixing of mantle and crustal derived magmas in Bodrum (Muğla) area volcanic rocks, Southwest Turkey. *Mineralogical Magazine*, 62A, 1, 75-76.
- Arslan, M., Kurt, H., ve Aslan, Z., 1998b. Kadıkalesi (Bodrum-Muğla) monzoniti ve kontak kayaların petrografik ve jeokimyasal özellikleri: Batı Anadolu'da potasik magmatizmanın petrojenezi ve gelişimine ait veriler. *Türkiye Cumhuriyeti'nin 75. Yılında Fırat Üniversitesi'nde Jeoloji Mühendisliği Eğitiminin 20. Yılı Sempozyumu Bildiriler Kitabı* (baskıda).
- Borsi, S., Ferrara, G., Innocenti, F., and Mazzuoli, R., 1972. Geochronology and petrology of recent volcanics in the Eastern Aegean Sea. *Bulletin Volcanologie*, 36/3, 473-496.
- Boynton, W.V., 1984. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In P. Henderson (ed.), *Rare Earth Element Geochemistry*, Elsevier, 63-114.
- Cabanis, B., and Leccolle, M., 1989. Le diagramme La/10, Y/15, Nb/8: un outil pour la discrimination des series volcaniques et la mise en evidence des procussus de melanges et/out de contamination crustale. *C.R. Acad. Scie. Paris*, 309, 2023-2029.
- Cawthorn, R.G., and O'Hara, M.J., 1976. Amphibole fractionation in calcalkaline magma genesis. *American Journal of Science*, 276, 309-329.
- DePaolo, D.J., 1981. Trace element and isotopic effects of combined wallrock assimilation and fractional crystallization. *Earth and Planetary Science Letters*, 53, 189-202.
- Eggler, D.H., 1972. Amphibole stability in H₂O-undersaturated calcalkaline melts Earth and Planetary Science Letters, 15, 28-34.
- Eggler, D.H., and Burnham, C.W., 1973. Crystallization and fractionation trends in the system

- andesite-H₂O-CO₂-O₂ at pressures to 10 kb. *Geological Society of America Bulletin*, 84, 2517-2532.
- Eichelberger, J.C., 1978. Andesitic volcanism and crustal evolution. *Nature*, 275, 21-27.
- Ercan, T., 1979. Batı Anadolu, Trakya ve Ege adalarındaki Senozoyik volkanizması. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 9, 23-46.
- Ercan, T., 1981. Batı Anadoludaki Tersiyer volkanitleri ve Bodrum yarımadasındaki volkanizmanın durumu. *İstanbul Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi*, 2/3-4, 263-281.
- Ercan, T., Türkecan, A., ve Günay, E., 1982. Bodrum yarımadasının jeolojisi. *MTA Enstitüsü Dergisi*, 97/98, 21-32.
- Ercan, T., Türkecan, A., ve Günay, E., 1984. Bodrum yarımadasındaki magmatik kayaların petrolojisi ve kökensel yorumu. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 27, 85-98.
- Ercan, T., Satır, M., Sevin, D., ve Türkecan, A., 1997. Batı Anadolu'daki Tersiyer ve Kuvaterner yaşlı volkanik kayalarda yeni yapılan radyometrik yaş ölçümlerinin yorumu. *Maden Tetkik Arama Bülteni*, 119, 103-112.
- Francalanci, L., Civetta, L., Innocenti, F., and Manetti, P., 1990. Tertiary-Quaternary alkaline magmatism of the Aegean-Western Anatolian area: a petrological study in the light of new geochemical and isotopic data. In *International Earth Sciences Congress on Aegean Regions, IESCA 90, Proceedings*, M.Y. Savaşçın and A.H. Eronat (eds.), II, 385-396.
- Genç, Ş.C., 1999. Bodrum volkano-plütonik kompleksinin farklı kayaları arasındaki geçişlerin petrografik verileri, Bodrum yarımadası, GB Türkiye. 11. Mühendislik Haftası Yerbilimleri Sempozyumu, Isparta, Bildiri Özleri, s.43.
- Gerlach, D.C., and Grove, T.L., 1982. Petrology of Medicine Lake Highland volcanics: characterization of end members of magma mixing. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 80, 147-159.
- Gill, J.B., 1978. Role of trace element partition coefficients in models of andesite genesis. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 42, 709-724.
- Gill, J.B., 1981. *Orogenic Andesites and Plate Tectonics*. Springer-Verlag, Berlin, 390p.
- Grove, T.L., and Donnelly-Nolan, J.M., 1986. The evolution of young silicic lavas at Medicine Lake Volcano, California: Implications for the origin of compositional gaps in calc-alkaline series lavas. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 92, 281-302.
- Grove, T.L., and Kinzler, R.J., 1986. Petrogenesis of andesites. *Annual Review Earth Planetary Science*, 14, 417-454.
- Grove, T.L., Gerlach, D.C., and Sando, T.W., 1982. Origin of calcalkaline lavas at Medicine Lake Volcano by fractionation, assimilation and mixing. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 80, 160-182.
- Irvine, T.N., and Baragar, W.R.A., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Science*, 8, 523-548.
- Kolisnik, A., 1990. Phenocrysts zoning and heterogeneity in andesites and dacites of Volcan Popocatepetl, Mexico. MSc. Thesis, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada, 247pp.
- Lambert, R.S.J., and Holland, J.G., 1974. Yttrium geochemistry applied to petrogenesis utilizing calcium-yttrium relationships in minerals and rocks. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 38, 1393-1414.
- Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., and Zanettin, B., 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, 27, 745-750.
- Letterrier, J., Maury, R.C., Thonon, P., Girard, D., and Marchal, M., 1982. Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of paleovolcanic series. *Earth and Planetary Science Letters*, 59, 139-154.
- Montigny, R., and Robert, U.R., 1991. ³⁹Ar/⁴⁰Ar dating on igneous rocks from the Bodrum Volcanic Complex (SW-Turkey). *Terra Abstracts, EUG VI, Strasbourg*, 3, p.500.
- Nixon, G.T., 1988. Petrology of younger andesites and dacites of Iztaccihuatl Volcano, Mexico: I. Disequilibrium phenocryst assemblages as indicators of magma chamber processes. *Journal of Petrology*, 29, 213-264.
- Nixon, G.T., and Pearce, T.H., 1987. Laser-interferometry study of oscillatory zoning in plagioclase: The record of magma mixing and phenocryst recycling in calcalkaline magma chambers, Iztaccihuatl Volcano, Mexico. *American Mineralogist*, 72, 1144-1162.
- Özçiçek, H., ve Özçiçek, B., 1977. Muğla-Bodrum-Karatoprak dolayının Cu-Pb-Zn cevherleşmesi ve ayrıntılı jeoloji etüdü. MTA Enstitüsü Rapor No: 6541 (yayımlanmamış).
- Pearce, J.A., 1983. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: C.J Hawkesworth and M.J. Norry (eds.) *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*. Shiva, Cheshire, 230-249.
- Pearce, J.A., and Norry, M.J., 1979. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y, Nb variations in volcanic rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 69, 33-47.

- Peccerillo, A., and Taylor, S.R., 1976. Geochemistry of Eocene calcalkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58, 63-91.
- Pişkin, Ö., 1980. Kadıkalesi-Girebelen (Bodrum yarımadası) hidrotermal ve kontakt metasomatik Pb, Zn, Cu cevherleşmelerinin mineralojik ve jeolojik incelenmesi. Doçentlik Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir.
- Purvis, M., and Robertson, A.H.F., 1997. Multiphase rifting in rapidly extending continental crust (west Turkey). *Terra Nova Abstract Supplement*, 1, 398.
- Robert, U., 1976. Donnees nouvelles sur ile volcanisme du sud-est de la Mer Egee: Existenced un episode a character alkalin. *International Congress on Thermal Waters Geothermal Energy and Vulcanos of the Mediterranean Area, Atina*, 211-224.
- Robert, U., and Cantagrel, J.M., 1977. Le volcanisme basaltique dans le sud-est de la mer Egee: Donnees geochronologiques et relations avec la tectonique. VI Colloquium on the Geology of the Aegan Region, *Proceedings, Athenes*, III, 961-967.
- Robert, U., and Foden, J., 1993. Geochemical and isotopic (Sr, Nd) variations in magmatic series from the Bodrum volcanic complex (SE Aegean). *Bulletin of Geological Society of Greece*, XXVIII/2, 275-291.
- Robert, U., Foden, J., and Varne, R., 1992. The Dodecanese Province, SE Aegean: a model for tectonic control on potassic magmatism. *Lithos*, 28, 241-260.
- Saunders, A.D., Tarney, J., and Weaver, S.D., 1980. Transverse geochemical variations across the Antarctic Peninsula: Implications for the genesis of calcalkaline magmas Earth and Planetary Science Letters, 46, 344-360.
- Savaşçın, Y., 1990. Magmatic activities of Cenozoic compressional and extensional tectonic regime in western Anatolia. In *International Earth Sciences Congress on Aegean Regions, IESCA 90, Proceedings*, M.Y. Savaşçın and A.H. Eronat (eds.), II, 429-434.
- Savaşçın, Y., and Güleç, N., 1990. Relations between magmatic and tectonic activities in western Turkey: geological and geochemical features with examples from the coastal section. In *International Earth Sciences Congress on Aegean Regions, IESCA 90, Proceedings*, M.Y. Savaşçın and A.H. Eronat (eds.), II, 300-313.
- Seyitoğlu, G., and Scott, B.C., 1992. Late Cenozoic volcanic evolution of the NE Aegean region. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 54, 157-176.
- Seyitoğlu, G., Scott, B.C., and Rundle, C.C., 1992. Timing of Cenozoic extensional tectonics in west Turkey. *Journal of Geological Society of London*, 149, 533-538.
- Seyitoğlu, G., Anderson, D., Nowell, G., and Scott, B.C., 1997. The evolution from Miocene potassic to Quaternary sodic magmatism in western Turkey: implications for enrichment processes in the lithospheric mantle. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 76, 127-147.
- Stimac, J.A., and Pearce, T.H., 1982. Textural evidence of mafic-felsic magma interaction in dacite lavas, Clear Lake, California. *American Mineralogist*, 77, 795-809.
- Sun, S., and McDonough, W.F., 1989. Chemical isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle compositions and processes. In: A.D. Saunders and M.J. Norry (eds.) *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society of London Special Publication, 42, 313-345.
- Şengör, A.M.C., and Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Taylor, S.R., and McLennan, S.M., 1985. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Blackwell, Oxford, 312pp.
- Tindle, A.G., and Pearce, J.A., 1983. Assimilation and partial melting of continental crust: evidence from the mineralogy and geochemistry of autoliths and xenoliths. *Lithos*, 16, 185-202.
- Tsuchiyama, A., 1985. Dissolution kinetics of plagioclase in melt of the system diopside-albite-anorthite and origin of dusty plagioclase in andesites. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 84, 1-16.
- Watson, E.B., 1982. Basalt contamination by continental crust: some experiments and models. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 80, 73-87.
- Yılmaz, Y., 1989. An approach to the origin of young volcanic rocks of western Turkey. In *Tectonic evolution of the Tethyan Region*, A.M.C. Şengör (ed.), Kluwer Academic Publishers, 159-189.
- Yılmaz, Y., ve Şengör, A.M.C., 1982. Ege'de kabuk evrimi ve neomagmatizmanın kökeni. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özetleri Kitabı*, 64-65.