



Erken Miyosen Bigadiç bor havzasındaki volkanik birimlerin petrografik ve jeokimyasal özellikleri: magma karışımının kanıtları, Batı Anadolu-Türkiye

Petrographic and geochemical analyses of Early Miocene volcanic units in the Bigadiç borate basin, western Anatolia-Turkey: evidences of magma mixing/mingling processes

Fuat ERKÜL¹, Sibel TATAR ERKÜL², Cahit HELVACI³

¹Akdeniz Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 07058, ANTALYA

²Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 07058, ANTALYA

³Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İZMİR

Geliş (received) : 25 Mart (March) 2010

Kabul (accepted) : 05 Temmuz (July) 2010

Öz

Batı Anadolu'daki Senozoyik yaşlı alkali ve kalkalkali karakterli volkanizmanın en iyi gözlemlendiği bölgelerden birisi kuzeydoğu doğrultulu Bigadiç bor havzasıdır. Bazalttan rhyolite bileşim gösteren volkanik kayaçların oluşum yaşları 23-17.8 milyon yıl arasındadır. Bigadiç çevresinde, temel kayaçlar üzerindeki Erken Miyosen yaşlı istifler gölsel, flüvyal ve evaporitik tortullar ile bunları kesen kuzeydoğu doğrultulu volkanik çıkış merkezlerinden üretilen lav ve volkaniklastik kayaçlar ile temsil edilmektedir. İki farklı evrede gelişen bu volkanik birimler litolojik, petrografik ve bileşimsel özelliklerine göre, Kocaışkan volkanik birimi, Gölcük bazaltı, Sındırgı, Kayırlar ve Şahinkaya volkanik birimleri olmak üzere beş birim altında incelenmiştir. Gölcük bazaltı hariç, diğer tüm volkanik birimlerde yaygın olarak görülen yuvarlağımsı elipsoidal anklavların boyutları birkaç milimetreden birkaç santimetreye kadar değişmektedir. Kalkalkali bileşim sergileyen Kocaışkan, Sındırgı, Şahinkaya ve Kayırlar volkanik birimleri orta-yüksek, hafif alkali bileşimli Gölcük bazaltı ise yüksek K'ludur. Kalkalkali birimlerin nadir toprak element dağılım desenleri birbirlerine benzerlik göstermektedir. Bu birimler hafif nadir toprak elementlerince zenginleşme gösterirken, hafif alkali bileşimli Gölcük bazaltında ise daha az zenginleşme görülmektedir. Eu anomalisi Kocaışkan ve Sındırgı volkanik birimlerinde, Şahinkaya, Kayırlar ve Gölcük birimlerine göre daha belirgindir. Bigadiç ve çevresinde eş yaşlı alkali-kalkalkali birlikteliği ile karakterize bimodal volkanik kayaçların oluşumunda, magma karışım süreçleri etkili olup, kabuksal kökenli ve manto kökenli iki farklı magma kaynağı etkindir.

Anahtar Kelimeler: Bigadiç, hafif alkali-kalkalkali, kabuksal kökenli ve manto kökenli magma kaynağı, karışım dokuları, mafik mikrogranüler anklav, Miyosen.

ABSTRACT

The NE-trending Bigadiç borate basin is one of the regions that have well-exposed Cenozoic calc-alkaline and alkaline volcanic associations in western Anatolia. Age of basalt to rhyolitic volcanic associations within the basin is between 23 and 17.8 Ma. The Early Miocene successions in the Bigadiç region are represented by lacustrine,

evaporitic and fluvial deposits intercalated with lavas and volcanoclastic rocks which were extruded along NE-trending volcanic centres. These volcanic rocks, formed in two distinct episodes, are divided into five units based on their lithological, petrographical and compositional characteristics such as Kocaiskan volcanic unit, Gölcük basalt, Sındırgı, Kayırlar and Şahinkaya volcanic units. Volcanic units, except for the Gölcük basalt, contain abundant ellipsoidal enclaves with variable sizes ranging from a few millimetres to centimetres. Kocaiskan, Sındırgı, Kayırlar and Şahinkaya volcanic units are calc-alkaline and medium to high-K, while the Gölcük basalt has mildly alkaline nature with high-K. Rare earth element (REE) patterns of the calc-alkaline volcanic units display similar characteristics to each others, distinct fractionation from light rare earth element (LILE) to heavy rare earth element (HREE). However, mildly alkaline Gölcük basalt is characterised by minor enrichment and relatively flat patterns in REE spider diagrams. Bimodal volcanism, which is defined by the association of the mildly alkaline and calc-alkaline associations, was formed by magma mixing/ mingling processes that operated on the mantle- and crust-derived magma sources.

Keywords: Bigadiç, crust and mantle magma origin, mildly alkaline-calcalkaline, mixing textures, mafic microgranular enclave, Miocene.

GİRİŞ

Plütonik ve volkanik kayaçların oluşumunda etkin olan süreçler içerisinde eş yaşlı mafik ve felsik magmaların karışımı oldukça önemlidir ve jeoloji literatüründe günümüze değin bu konu ile ilgili yapılmış bir çok çalışma vardır (Vernon, 1983; Chen vd., 1989; Dodge ve Kistler, 1990; Didier ve Barbarin, 1991; Barbarin ve Didier, 1992; Conrey vd., 1997; Groove vd., 1997; Silva vd., 2000). Mafik ve felsik magmaların karışımı özel bir tektonik ortamı ifade etmemektedir (Eichelberger, 1980; Bacon ve Metz, 1984; Bacon, 1986; Briot, 1990; Stimac vd., 1990; Dorais vd., 1991; Eichelberger vd., 2000).

Bir çok tektonik ortamda bu tür özellikler gösteren volkanik ve plütonik kayaçlar görülebilir. Magma karışımı kalkalkali ortaç magmaların kökeninin açıklanmasında oldukça önemli bir süreç olarak kabul edilmektedir (Kumar, 1995; Wiebe vd., 1997; Kouchi ve Sunagawa 1983, 1985). Bigadiç bor havzası, ekonomik açıdan oldukça önemli bir konuma sahip olması nedeniyle birçok çalışma yapılmıştır (Ercan vd., 1984; Helvacı, 1995; Gündoğdu, 1982, 1985; Gündoğdu vd., 1996; Temel ve Gündoğdu, 1988; Helvacı ve Alonso, 2000). Ancak, bölgede yayılım sunan volkanik birimlerin jeokimyasal özellikleri ve oluşumları sırasında etkin olan magma karışım süreçleri ile ilgili bilgiler kısıtlıdır (Ercan vd., 1984).

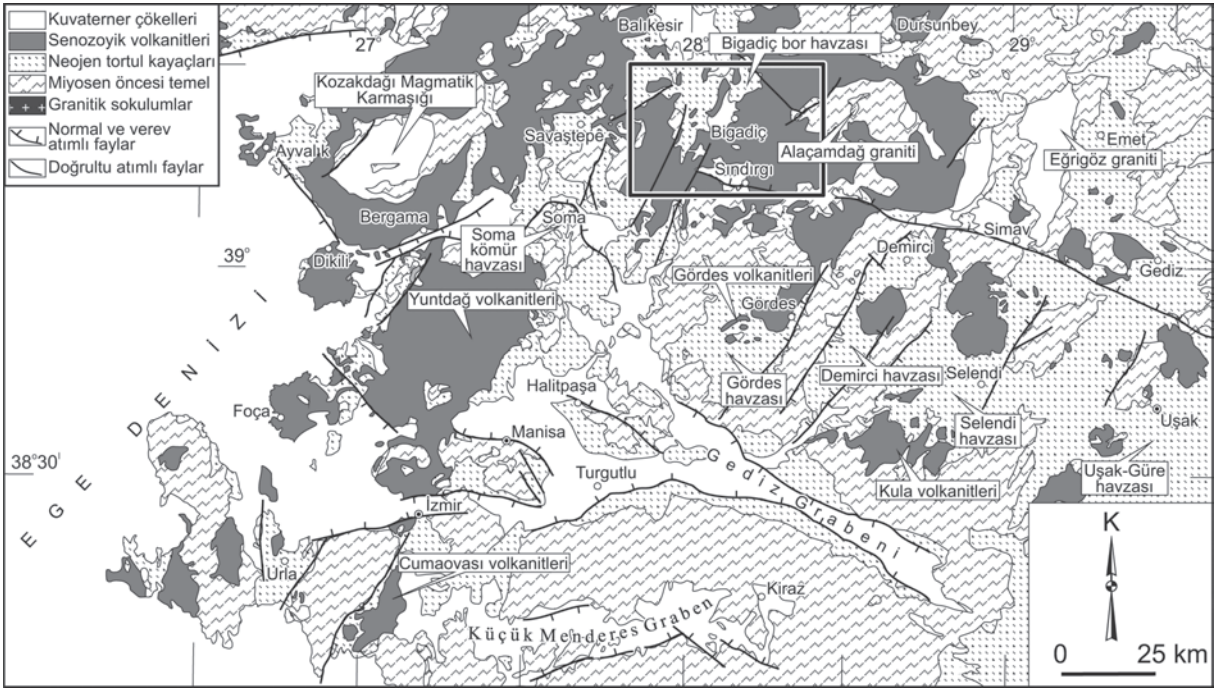
Bu çalışmanın amacı, Batı Anadolu'da Miyosen yaşlı Bigadiç bor havzasındaki (Şekil 1) volkanik kayaçların petrografik ve jeokimyasal

özelliklerini ortaya koymak ve bunların oluşumu ve katılması sırasında etkin olan magma karışımını jeolojik, dokusal ve jeokimyasal verilerle açıklayarak magma kökenine ve ortamına yaklaşımda bulunmaktadır.

JEOLOJİ

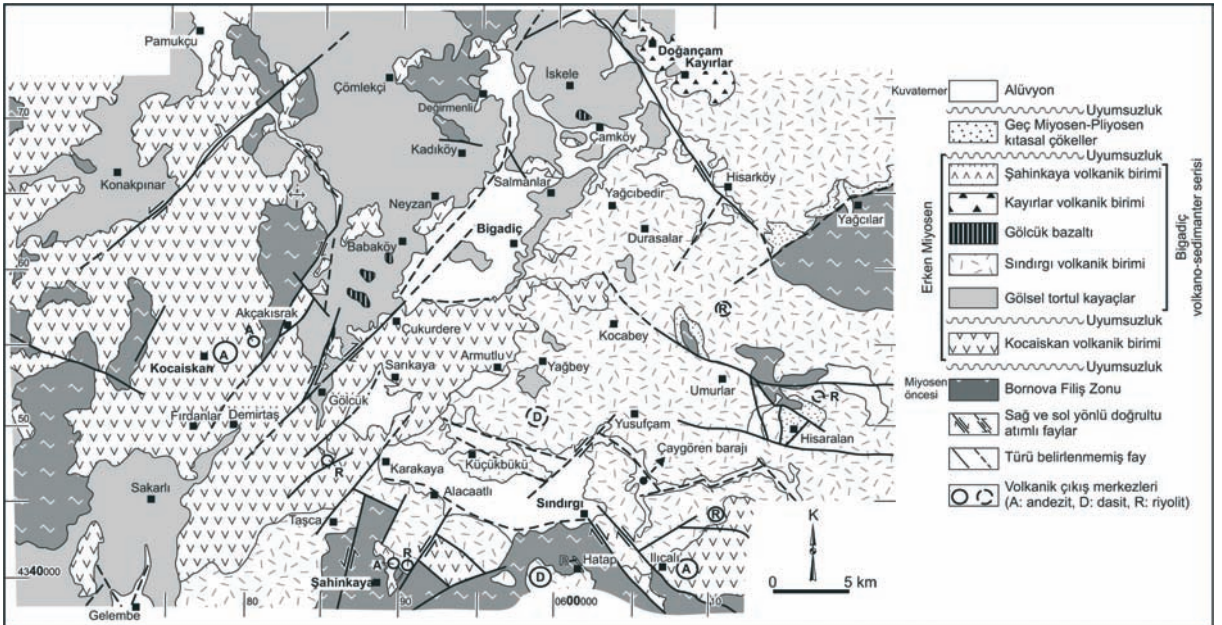
Batı Anadolu geç Oligosen'den itibaren; Mendere Masifi, Sakarya Zonu, Likya napları ve Bornova Fliş Zonu'ndan oluşan temel üzerinde KD doğrultulu havzaların oluşumuna neden olan bir deformasyona uğramıştır (Yılmaz vd., 2000). KD doğrultulu havzaların oluşumu sırasında volkanik aktivite yaygın olarak gelişmiş ve daha önceden gelişen fay zonları boyunca sığ yerleşimli sokulumları ve ilişkili volkanik kayaçları üretmiştir. KD-dogrultulu havzalardan biri olan Bigadiç bor havzası, 50-90 km genişliğinde bir zon boyunca yüzlek verir. Üst Maastrichtiyen-Paleosen yaşlı, türbiditik matris içinde, Mesozoyik kireçtaşı, spilitik volkanitler, çört ve serpantinleşmiş peridotit blokları ve mikritik kireçtaşları merceklerinden oluşan Bornova Fliş Zonu üzerinde yer alır (Erdoğan, 1990; Okay ve Siyako, 1993) (Şekil 2).

Bigadiç çevresinde, temel kayaçlar üzerindeki erken Miyosen yaşlı istifler gölsel, flüvyal ve evaporitik tortullar ile bunları kesen KD-dogrultulu volkanik çıkış merkezlerinden üretilen lav ve volkaniklastik kayaçlar ile temsil edilmektedir. Çalışma alanındaki Miyosen birimleri: Kocaiskan volkanik birimi, Bigadiç



Şekil 1. Batı Anadolu'daki Neojen yaşlı mağmatik kayalar ve havzaları gösteren yerbuldur haritası (Türkiye Jeoloji Haritası, 1964; Bozkurt, 2000; 2001; 2003; Yılmaz vd., 2000'den birleştirilerek).

Figure 1. Location map showing the Western Anatolian Neogene magmatic rocks and basins (Modified from Geological Map of Turkey, 1964; Bozkurt, 2000; 2001; 2003; Yılmaz et al., 2000).



Şekil 2. Çalışma alanının genelleştirilmiş jeoloji haritası (Ercan vd., 1984; Helvacı, 1995; Erkül vd., 2005a, 2005b'den birleştirilerek).

Figure 2. Generalised geological map of the study area (Compiled from Ercan et al. (1984); Helvacı (1995), Erkül et al. (2005a, 2005b)).

volkano-sedimenter serisi, Gölcük bazaltı, Sındırgı, Kayırlar ve Şahinkaya volkanik birimleri olmak üzere altı birim altında incelenmiştir (Erçan vd., 1984; Helvacı, 1995; Erkül vd., 2005a, 2005b) (Şekil 3).

Kocaiskan volkanik birimi, andezitik dom ve dayk gibi volkanik çıkış merkezleri çevresindeki lavlar, piroklastik çökeller ve volkanojenik tortul kayaçlar ile simgelenir. Birime ait andezitlerde soğuma çatlakları yaygın olup, mavimsi gri ve pembe bir matriks içerisindeki plajiyoklaz ve biyotit, amfibol gibi mafik mineraller ile tanınmaktadır. Bigadiç volkano-sedimenter serisi, volkanoklastik kayaçlar ile aralanma sunan, yer yer borat düzeyleri içeren kıltaşı, silttaşı, laminalı kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve çörtlü kireçtaşından oluşan evaporitik-gölsel tortullardan meydana gelmektedir (Gündoğdu, 1982, 1984; Gündoğdu vd., 1996).

Gölcük bazaltı, veziküler bazalt daykları ve lavlarından oluşmaktadır. Bazaltlar, arazide genelde kahve-kırmızı renkleri ile tanınırlar ve vezikülleri yaygın olarak kalsit, kuvars ve zeolit gibi mineraller tarafından doldurulmuştur.

Sındırgı volkanik birimi; dasit ve riyolit bileşimli dom, dayk, lav akıntısı ve otobreşler çevresinde yayılım sunan piroklastik çökellerden oluşmaktadır. Krem ve beyaz renkleri ile ayırt edilen riyolit lavları, ince taneli matriks içinde akma düzlemleri boyunca gözlenen kuvars ve biyotit mineralleri içerir. Riyolit lavlarında koyu gri bantlar ve sferülitler şeklinde izlenen oldukça yaygın devitrifikasyon dokuları gözlenir. Dasitler ise, pembe ve mavimsi gri renkleri ile tanınır ve kıvrımlı akma foliasyon yapısı gösterir. El örneğinde ise, porfirik doku sunan dasit bileşimli lavlar, gri-pembe bir matriks içinde plajiyoklaz, biyotit ve kuvars minerallerinden oluşmuştur.

Kayırlar volkanik birimi andezit ve trakiandezit bileşimli dayklar ve lav akıntılarında meydana gelir. Lav akıntıları farklı litolojik özellikler sunar. Plajiyoklazca zengin lavlar, kahve-gri-mavi renkleri ile tanınır ve matriks içerisindeki plajiyoklaz, biyotit ve amfibol mineralleri ile temsil edilirler. Bu birime ait lavların bazı kesimlerde boyu 2-3 cm'ye ulaşan sanidin fenokristalleri görülmektedir. Birim içerisindeki mafik mikrogranüler anklavların boyutları birkaç

santimetreden desimetreye kadar değişmektedir. Mafik mikrogranüler anklavlar; ana kayaca göre daha koyu renkli ve ince taneli olup, çubuksu amfibol ve az miktardaki feldispat mineralleri içermektedir (Şekil 4a).

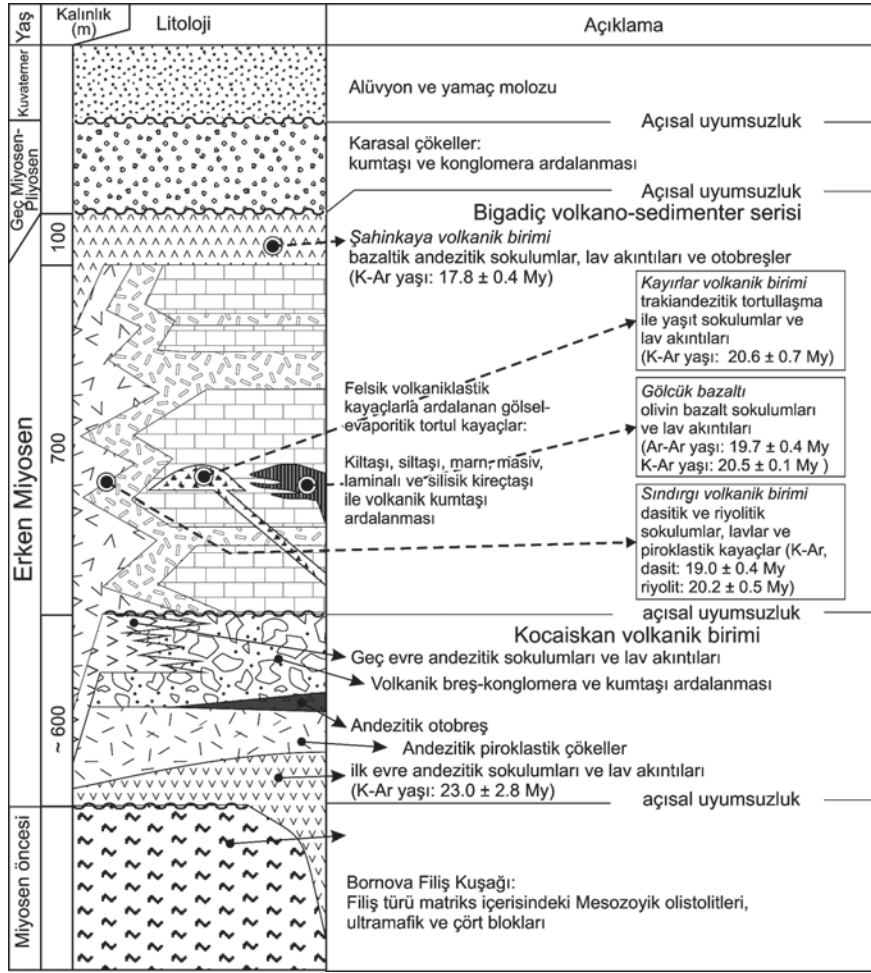
Şahinkaya volkanik birimi ise; lav akıntıları, kolonsal çatlaklanmalar ve nadiren akma bantları sunmakla birlikte, yer yer oldukça masif görünümü olup, bazaltik andezit bileşimli dom ve dayk gibi sokulum kayaçlarından üretilen lavlar ve otobreşlerden oluşur. Bazaltik andezitler, el örneğinde porfirik dokuludur ve matriks içinde feldispat ile biyotit ve amfibol gibi mafik mineraller içerirler. Bazı kesimlerde ise, yuvarlaklaşmış elipsoidal şekilli mafik mikrogranüler anklavlar gözlenmektedir (Şekil 4b).

Kocaiskan volkanik birimi bölgedeki en yaşlı volkanizma olup, Sındırgı volkanik birimi, Bigadiç volkano-sedimenter serisi, Kayırlar ve Şahinkaya volkanik birimleri tarafından uyumsuzlukla üzerlenir. Sındırgı ve Kayırlar volkanik birimleri ile Bigadiç volkano-sedimenter serisi birbirleriyle yanal ve düşey geçişlidir. Bigadiç bor sahasındaki gölsel ve evaporitik çökelim öncesinde, sırasında ve sonrasında farklı karakterdeki volkanizma etkin olmuştur. Bunun en belirgin verilerinden biri, Bigadiç volkano-sedimenter serisine ait flüvyal/gölsel tortullar içerisinde tortullaşma ile eş yaşlı olarak yerleşmiş Sındırgı volkanik birimi, Gölcük bazaltı ve Kayırlar volkanik birimidir. Şahinkaya volkanik birimi ise, Bigadiç volkano-sedimenter serisini uyumlu olarak üstlemektedir. Bölgedeki tüm erken Miyosen yaşlı volkano-sedimenter istifi uyumsuz olarak üstleyen diğer birimler Geç Miyosen-Pliyosen yaşlı karasal çökeller ve alüvyondur (bkz. Şekil 3).

PETROGRAFI

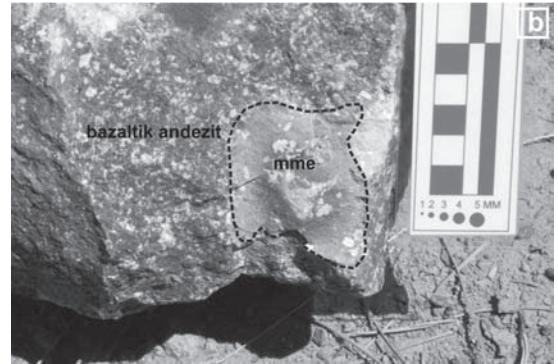
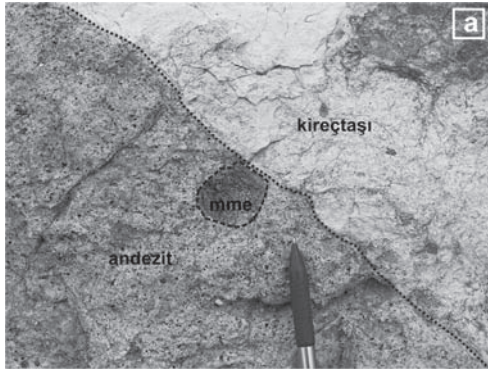
Kocaiskan Volkanik Birimi

Kocaiskan volkanik birimi hipokristalin porfirik dokulu olup andezit, bazalt ve bazaltik andezit bileşimine sahiptir. Ana minerallerden plajiyoklaz (32-44%), biyotit (0-8%) amfibol (0-13%), klinopiroksen (0-11%) ve çok az miktarda kuvars fenokristalleri içermektedir. Hamur içerisinde yarıözşekilli-özşekilli kristaller ve zonlanma polisentetik ikizlenme gösteren plajiyoklaz



Şekil 3. Bigadiç bor havzasının genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (Erkül vd., 2005a, 2005b; 2006'dan değiştirilerek).

Figure 3. Generalised stratigraphic columnar section of the Bigadiç borate basin (after Erkül et al, 2005a, 2005b, 2006).



Şekil 4. Bigadiç bor havzası çevresindeki volkanik kayalarda gözlenen mafik mikrogranüler enklavlar (MME): (a) Kayırılar volkanik birimi; (b) Şahinkaya volkanik birimi.

Figure 4. Mafic microgranular enclaves (MME's) within the volcanic units: (a) Kayırılar volcanic units in the vicinity of Bigadiç borate basin; (b) Şahinkaya volcanic unit.

mineralleri andezin-labrador (An_{35-50}) bileşimindedir. Sönme açıları $12-22^\circ$ arasında değişmektedir. Amfiboller ise, yarı-özşekilli-özşekillidir.

Tipik koyu kahverenkli pleokroyizmaya sahip lamprobolit bileşimli amfiboller yaygındır. Klinopiroksenler kısa prizmatik ve glomeroporfir büyümeleri ile farklılık göstermektedir. Hamur genel olarak hiyalopilitik olup, herhangi bir akma foliyasyonu içermemektedir. Plajiyoklaz fenokristalleri tipik olarak zonludur ve elek dokusu sunmaktadır. Bu doku belli zonlarda yoğunlaşmış küçük, yuvarlak volkanik cam veya benzeri malzeme kapanımlarından meydana gelmektedir. Bu kapanımlar, plajiyoklazların magma ile reaksiyonu sonucu çözünen kısımlarında oluşmaktadır. Plajiyoklazlarda gözlenen zonlanma, minerallerin magma ile tam denge şartları altında kristallenmediğini göstermektedir. Elek dokulu plajiyoklazlarda temiz bir çekirdek etrafında elek dokulu kenarlar, elek dokulu çekirdek etrafında temiz kenarlar, ya da temiz bir çekirdek etrafında elek dokulu kenar ve tekrar temiz bir dışkenar bulunmaktadır. Biotit ve amfibollerin kenarlarında reaksiyon halkası gelişmiştir. Amfibollerin reaksiyon geçirerek opaklaşması yoluyla bazı örneklerde yalancı özşekilli opak mineraller meydana gelmiştir (Şekil 5a-d).

Gölcük Bazaltı

Gölcük bazaltı olivin bazalt bileşimindedir ve bileşenleri, plajiyoklaz, klinopiroksen, volkanik cam mikrolitli intersertal dokulu bir hamur içerisinde dağılan, olivin, plajiyoklaz ve ojit fenokristallerinden oluşmaktadır. Olivin fenokristalleri yarı özşekilli-özşekilli olup, iddingsitleşme ve serpantinleşme türü bozunmalar göstermektedir. Yönlenmiş plajiyoklaz mineralleri tipik akma dokusu oluşturmaktadır. Bazı olivin fenokristalleri ince kesitlerde korunmuş olmasına rağmen, genellikle kırıklardan itibaren serpantin ve iddingsit mineralleri ile çevrelenen pseudomorf şekilleri ile tanınırlar. Özellikle olivin minerallerinin etrafında gelişen belirgin reaksiyon kuşakları görülmektedir.

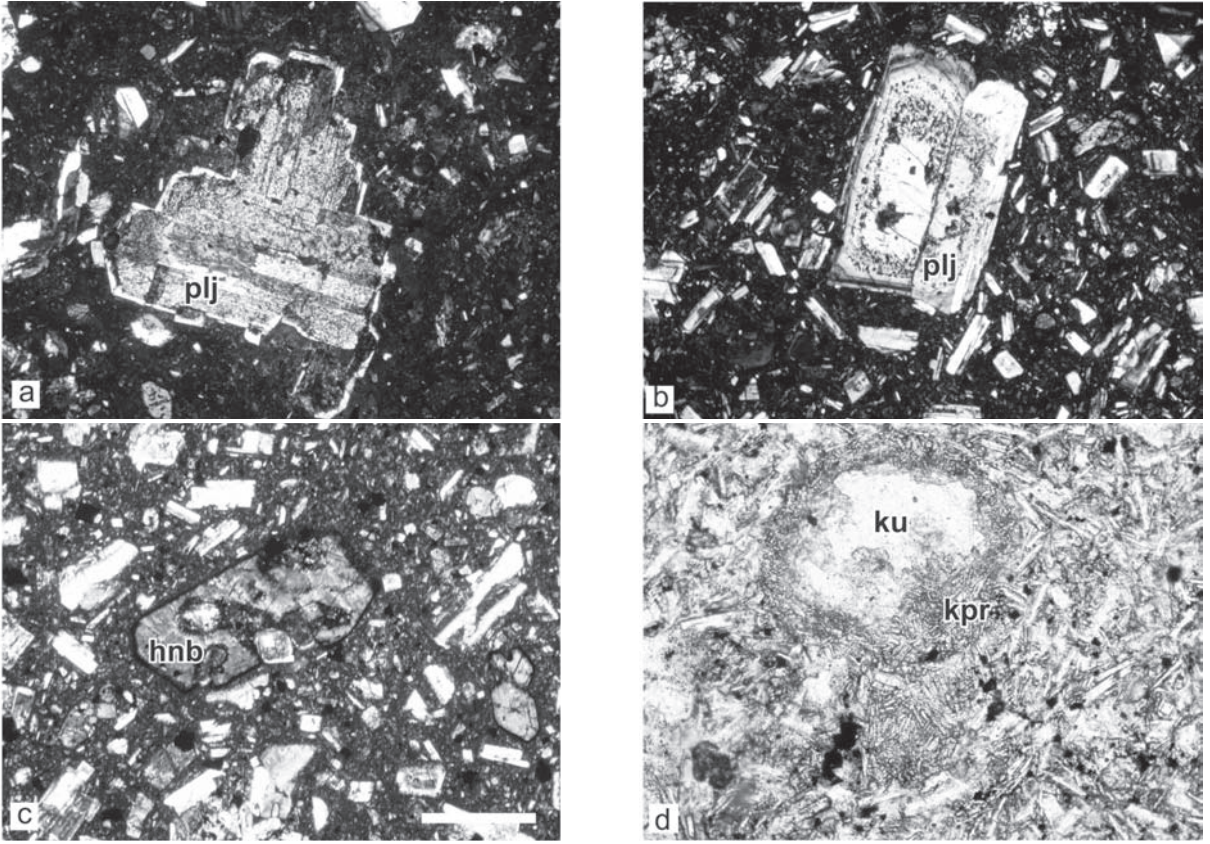
Fenokristaller genellikle yarıözşekilli-özşekillidir. Fenokristallerin arasını dolduran hamur ise, plajiyoklaz mikrolitleri ve bu mikrolitlerini arasını dolduran, çoğunluğu volkan camı olmak üzere,

bir miktarda ojit ve olivin kristallerinden meydana gelmiş olup, tüm kayacın 50-60%'ını oluşturmaktadır. Plajiyoklaz mikrolitlerinin uçlarında ani soğumaya bağlı olarak kırlangıç kuyruğu adı verilen dokular meydana gelmiştir. Gölcük bazaltını oluşturan kayaç örneklerinin tümünde amigdaloidler görülmektedir ve bu amigdaloidler ikincil kuvars ve kalsit bileşimine sahiptir. Kayaçların tamamı, amigdaloidli intersertal dokuya sahiptir. Bunun yanı sıra, mikrolitlerde akış dokusu da yaygın olarak gözlenmektedir.

Sındırgı Volkanik Birimi

Asidik bileşimli volkanizmanın ürünlerini oluşturan birim dasit, riyolit bileşimli olup % 12-28 kuvars, % 10-30 arasında plajiyoklaz, % 0-8 alkali feldispat, % 3-9 biyotit ve % 4-9 amfibol minerallerini içermektedir. Hipokristalin porfirik dokulu bu kayaçlarda değişik boyutlarda plajiyoklaz, biyotit, amfibol minerallerinin biraraya gelmesi ile oluşan glomeroporfirik doku da gözlenmektedir. Tüm örneklerde kuvars ve plajiyoklaz, sanidin fenokristallerinin içinde yüzdüğü matriks cam bakımından zengindir. Amfibol mineralleri hornblend ve lamprobolitten oluşmaktadır. Kuvars mineralleri tipik olarak dengesiz kristalleşmeyi işaret eden körfez yapıları sunmaktadır.

Fenokristaller perlitik, hiyalopilitik ve camsı bir matriks ile çevrelenmektedir. Riyolitik magmanın matriksi, fenokristalleri çevreleyen camsı akış dokusu ile temsil edilmektedir. Plajiyoklaz fenokristalleri elek dokusu sunarken mafik mineraller opak reaksiyon çepere sahiptir. Plajiyoklaz fenokristallerinin alterasyonu, çatlaklar boyunca gelişen serisit, kalsit mineralleri ile temsil edilmektedir. Kayaçta yaygın olarak reaksiyon kuşağına sahip amfibol, biyotit mineralleri, plajiyoklazlardaki elek dokuları ve elek dokulu plajiyoklazlarla temiz plajiyoklazların birlikteliği de gözlenmektedir. Değişik boyutlarda plajiyoklaz, biyotit ve amfibol minerallerinin biraraya gelmesiyle oluşan glomeroporfirik dokular da yer yer gözlenmektedir. Bazı örneklerde, kayacın çatlaklarında karbonatlı sularca ikincil mineral olarak karbonat mineralizasyonları gelişmiştir. İkincil karbonat mineralleri sanidin kristallerinin çatlaklarında görülmektedir (Şekil 6a-d).



Şekil 5. Kocaiskan volkanik biriminin petrografik özellikleri: (a) hyalopilitik matris içinde elek dokusu gösteren plajiyoklaz fenokristalleri (+ nikol), (b) temiz plajiyoklaz mineralleri tarafından çevrilmiş elek dokusu gösteren plajiyoklaz mineralleri (+ nikol), (c) kemirilmiş özşekilli hornblend fenokristalleri (+ nikol), (d) klinopiroksen mikrolitleri tarafından çevrilmiş kuvars fenokristalleri (// nikol), (ölçek: 1mm. plj: plajiyoklaz; ku: kuvars; hnb: hornblend; kpr: klinopiroksen; bi: biyotit; bi+amf: biyotit+amfibol).

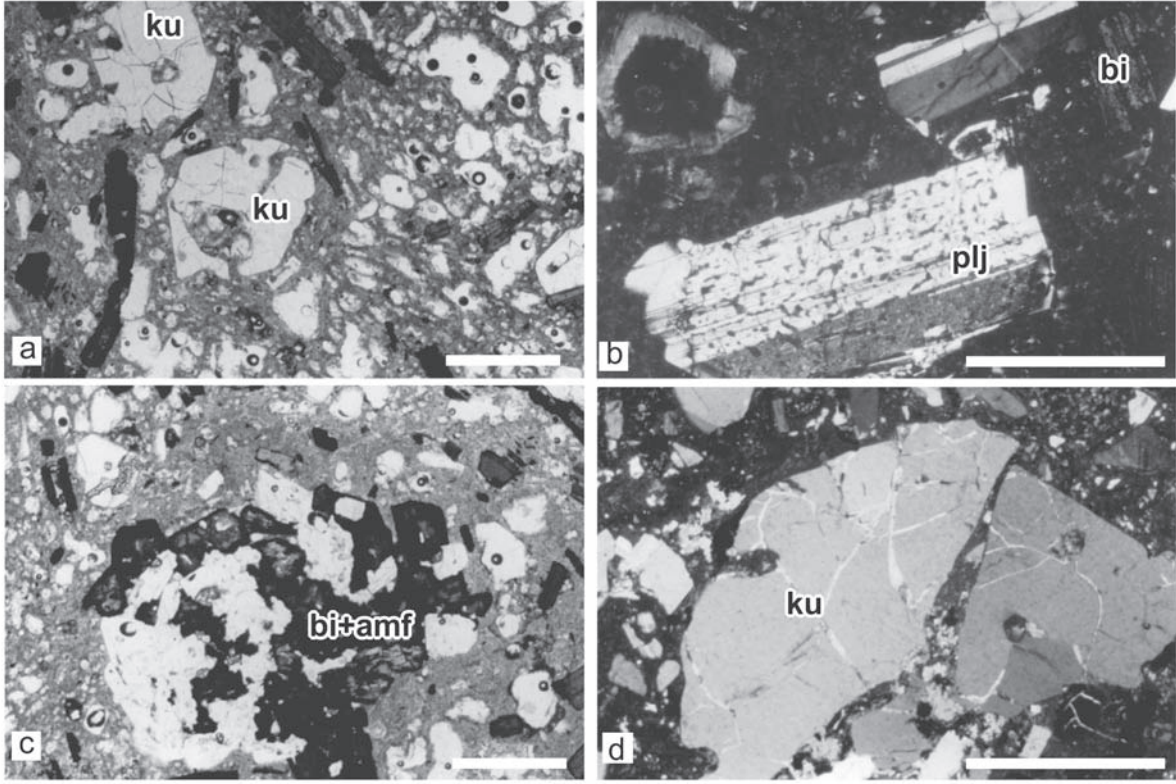
Figure 5. Some petrographic features of the Kocaiskan volcanics: (a) a plagioclase phenocryst showing sieve texture within hyalopilitic matrix (+ nicol), (b) plagioclase phenocrysts with sieve texture surrounded by clear plagioclase zones (+ nicol) (c) association of embayed and euhedral hornblende phenocrysts (+ nicol), (d) a corroded quartz phenocryst surrounded by clinopyroxene microlites (// nicol), (scale bar is 1 mm long, plj: plagioclase, ku: quartz; hnb: hornblende; kpr: clinopyroxene; bi:biotite; bi+amf: biotite+amphibole).

Kayırlar Volkanik Birimi

Kayırlar volkanik birimi, “plajiyoklaz içeren” ve “sanidin içeren” lavlar olmak üzere ikiye ayrılır. Plajiyoklaz içeren lavlar amfibol ve piroksen fenokristallerinden oluşurken, sanidin içerenler lamprobolit, sanidinin ve kuvars, olivin bazalt parçaları içerir. Plajiyoklaz içeren lavlar kuvars, plajiyoklaz, biyotit, hornblend, ojit, apatit ve opak mineral fenokristallerinden, hamur ise volkan camı ve mikrolitlerden oluşmaktadır.

Kayaçların tamamı hipohyalin, hipidiyomorf porfirik dokuludur. Plajiyoklaz mineralleri

zonlu doku, polisentetik ikizlenme ve karışık zonlanma gösterirler. Kuvars fenokristalleri, yarı özşekilli-özşekilsiz olup, kısmen piroksenler ile çevrelenmiştir ve körfez yapıları sunmaktadır. Hornblend, biyotit ve ojitlerin hamurla olan dokanıkları keskindir ve reaksiyon dokusu görülmemektedir. Bazı kesimlerde bu minerallerden oluşan kümelenmeler glomeroporfirik doku oluşturur. Sanidin içeren lavlar özşekilli-yarıözşekilli kuvars, sanidin, lamprobolit, biyotit, ojit ve opak minerallerden oluşmakta ve hipokristalin porfirik doku sergilemektedir. Mafik minerallerin tamamının

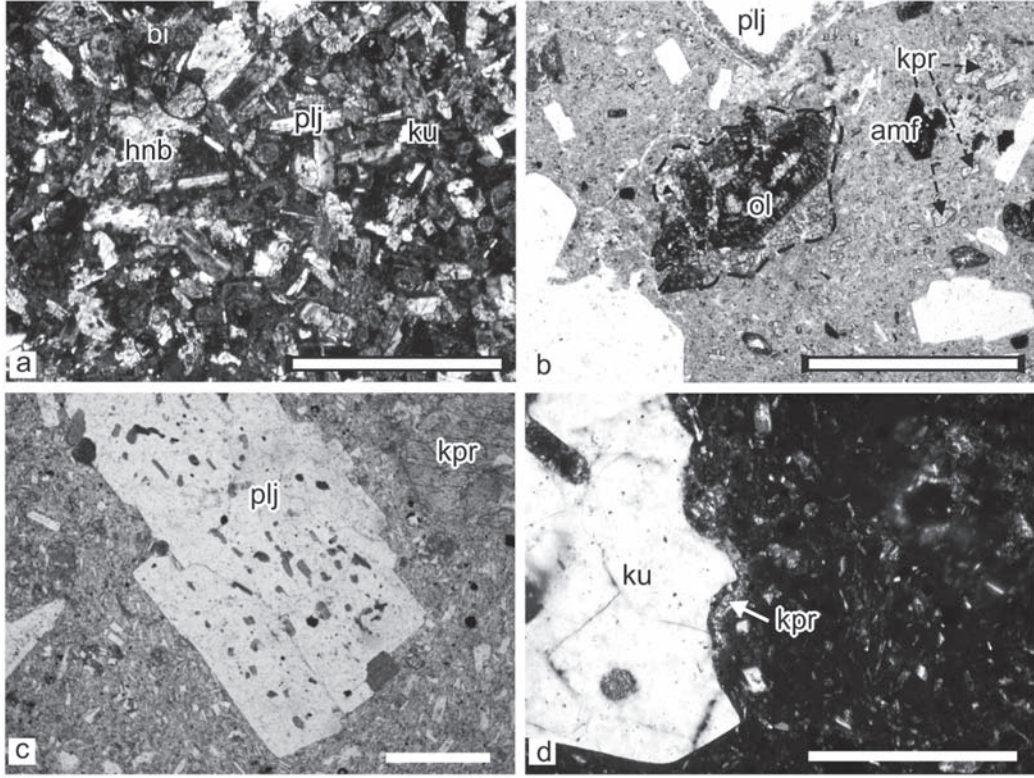


Şekil 6. Sındırgı volkanik biriminin petrografik özellikleri: (a) porfirik dokulu matriks içerisinde korozyona uğramış kuvars fenokristalleri (+ nikel), (b) polisentetik ikizlenme gösteren plajiyoklaz fenokristallerinde gözlenen küçük hamur kapanımları (kapanım içeren ve içermeyen plajiyoklaz fenokristallerinin birlikteliğine dikkat ediniz (+ nikel)), (c) biyotit, hornblend ve plajiyoklaz minerallerinin oluşturduğu glomeroporfirik büyümeler (// nikel), (d) dasitik lavı oluşturan hyalopilitik matriks içerisinde parçalanmış ve körfez yapısı kazanmış iri kuvars fenokristalleri (+ nikel), (ölçek ve kısaltmalar için Şekil 5'e bakınız).

Figure 6. Some petrographic features of the Sındırgı volcanics: (a) deformed and corroded quartz phenocrysts within porphyritic matrix (// nicol), (b) minute melt inclusions within polysynthetically twinned plagioclase phenocrysts (note association of both clear and inclusion-bearing plagioclase phenocrysts (+ nicol)), (c) glomeroporphyritic intergrowths composed of plagioclase, biotite and hornblende (// nicol), (d) strongly deformed and embayed sanidine phenocryst with sericitic fracture infill (+ nicol), (see Figure 5. for scale and symbols).

kenar çepelerinde yaygın olarak reaksiyon kuşakları görülmektedir. Sanidin içeren lavlardaki anklavlar ise, olivin bazalt bileşimli olup Gölcük bazaltını oluşturan lavlarla benzer mineralojik bileşime sahiptir (Şekil 7a-d). Andezit ve trakit tipi olarak iki grupta tanımlanan Kayırlar volkanitlerini oluşturan lavların, sadece kuvars ve sanidin içeriği ile birbirinden ayrılan bu kayaç gruplarının hemen hemen eş zamanlı olarak yerleştikleri stratigrafik verilerle bilinmektedir. Kayırlar volkanik birimini oluşturan bu kayaç grupları arasında meydana gelen mineralojik değişimler, olasılıkla, magmadaki dengesiz mineral topluluklarına işaret etmektedir.

Kayırlar volkanik birimlerine ait lavların asidik bileşimli Sındırgı volkanik birimleri ve bazik bileşimli Gölcük bazaltı ile eş yaşlı olduğu hem stratigrafik, hem de jeokronolojik verilerle ortaya konulmuştur. Kayırlar volkanik birimlerine ait trakit-tipi lavlar içerisinde gözlenen mafik anklavlar ve tam olarak tüketilmemiş körfez yapıları kuvarsin varlığı, asidik bileşimli bir magma içerisine bazik bileşimli bir magmanın karıştığını düşündürmektedir. Asidik bileşimli magmanın içerisine daha bazik bileşime sahip olan Gölcük bazaltını oluşturan magmanın enjeksiyonu veya katılması ile gelen magma miktarı ile kontrol edilen mineral dengelerinin zaman zaman değişmesi olasıdır.



Şekil 7. Kayırlar volkanik birimini oluşturan plajiyoklaz ve sanidinece zengin lavların petrografik özellikleri: (a) plajiyoklaz içeren lavlar içerisinde subofitik doku gösteren mafik mikrogranüler anklavlar (MME) (+ nikol), (b) sanidin içeren lavlardaki olivin bazalt bileşimli anklavlar, (siyah çizgi anklav ve lav matriksi arasındaki sınırı işaret etmektedir (// nikol)), (c) plajiyoklas fenokristalleri içerisindeki mafik mineraller ve ince hamur kapanımları (// nikol), (d) klinopiroksen mineralleri tarafından çevrilmiş korozyona uğramış ve tüketilmiş kuvars fenokristalleri (+ nikol), (ölçek ve kısaltmalar için Şekil 5'e bakınız).

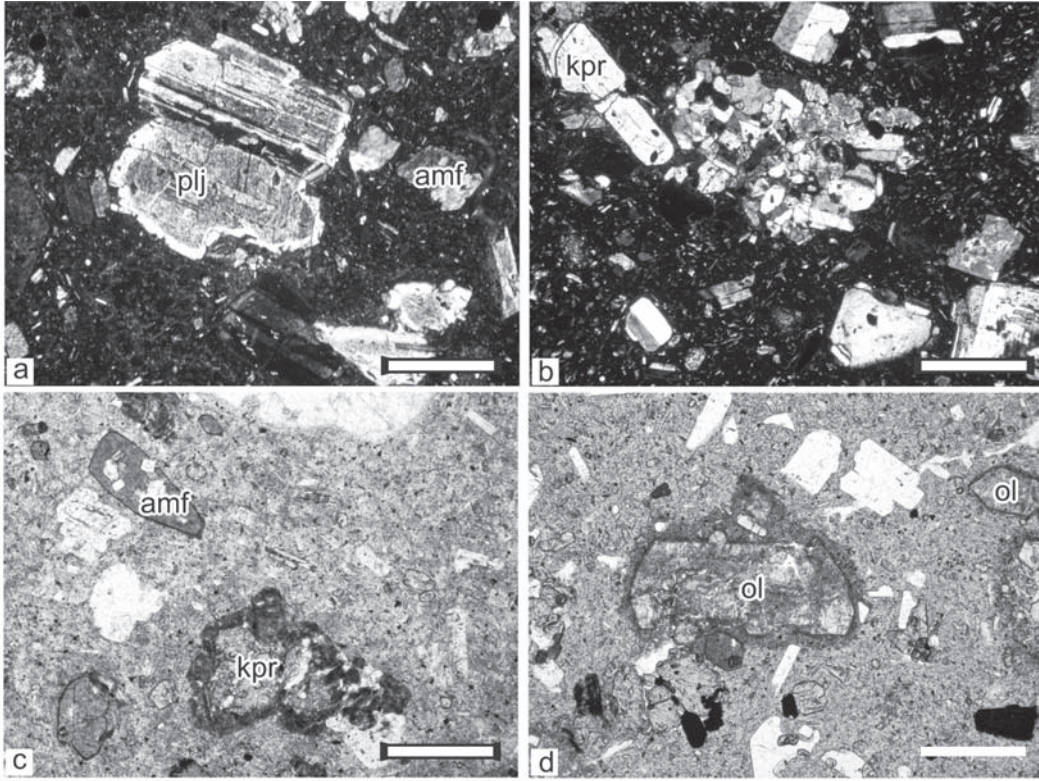
Figure 7. Mafic enclaves within plagioclase-phyric and sanidine-phyric lavas of the Kayırlar volcanics: (a) enclave having subophitic texture within plagioclase-phyric lavas (+ nicol), (b) olivine basaltic enclave within sanidine-phyric lavas, (black broken line illustrates the boundary between enclave and lava matrix (// nicol)), (c) minute melt inclusions and mafic minerals within plagioclase phenocryst (//nicol), (d) corroded and undepleted quartz phenocryst partly surrounded by clinopyroxene (+ nicol), (see Figure 5. for scale and symbols).

Şahinkaya Volkanik Birimi

Bazaltik-andezit bileşime sahip birim, yaklaşık olarak % 0-4 kuvars, % 33-44 plajiyoklaz, % 0-5 biyotit, % 0-14 amfibol, % 0-14 piroksen ve % 0-7 opak minerallerden meydana gelmektedir ve genellikle hipokristalin porfirik doku göstermektedir (Şekil 8a-d). Bazı örneklerde, farklı büyüklüklerdeki plajiyoklaz, amfibol ve biyotit minerallerinin biraraya gelmesiyle glomeroporfirik dokular gelişmiştir. Mikro-fenokristaller ve fenokristaller camsı malzemenin baskın olduğu hamur maddesi içinde yüzer durumdadır. Andezin bileşimli (An=38-50) plajiyoklaz

minerallerinde zonlu dokular gözlenmektedir. Elek dokusu gösteren plajiyoklazların bazıları çekirdekte temiz, bunu saran elek dokulu çevre ve tekrar temiz gözlenen dış çevreye sahip olup, bir kısmı ise yalnızca temiz bir çekirdek etrafında gelişmiş elek dokulu kuşak sunmaktadır.

Amfibol, biyotit minerallerinde reaksiyon kuşakları ve opasitleşme görülmektedir. Amfiboller lamprobolit bileşiminde olup, az miktarda hornblend minerallerinden oluşmaktadır. Andezitlerde gözlenen amfibol, biyotit kristalleri, ya kısmen ya da tamamen opak minerallere dönüşmüştür. Amfibol minerallerinin bazıları yeşil



Şekil 8. Şahinkaya volkanik birimlerinin petrografik özellikleri: (a) elek dokusu gösteren plajiyoklaz mineralleri (+ nicol), (b) plajiyoklaz ve klinopirosken mineralleri içeren glomeroporfirik doku (+ nicol), (c) reaksiyon kenarlı klinopirosken fenokristalleri (// nicol), (d) hyalopilitik matriks içerisindeki olivin mineralleri içeren volkanik kayaç kapanımları (// nicol), (ölçek ve kısaltmalar için Şekil 5'e bakınız).

Figure 8. Some petrographic features of the Şahinkaya volcanic unit: (a) plagioclase phenocrysts with sieve texture (+ nicol), (b) glomeroporphyritic intergrowths composed of plagioclase and clinopyroxene (+ nicol), (c) clinopyroxene phenocryst with reaction rim (// nicol), (d) large olivine-bearing volcanic rock inclusion within hyalopilitic matrix (// nicol), (see Figure 5. for scale and symbols).

pleokroyizma renkleri ile hornblend bileşimine sahip olsa da, genelde kahverengi pleokroyizmaya sahip lamprobolit türündedir.

Şahinkaya andezitleri, Kocaiskan andezitlerinde olduğu gibi, dengesiz kristalleşme göstergesi olarak tüketilmiş piroksen, amfibol, plajiyoklaz ve kuvars mineralleri içerirler. Özellikle dom şeklinde yerleşmiş andezitik lavlarda yaygın olan bu yapıların yanı sıra, serpantinleşmiş olivin, tüketilmiş piroksen ve ince, uzun plajiyoklaz mikrofeno-kristallerinin birarada gözlemlendiği mineral toplulukları bulunmaktadır.

TÜM KAYAÇ JEOKİMYASI

Bigadiç ve çevresinde yüzlek veren volkanik kayaların ana element (SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , tFe_2O_3 ,

MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O ve P_2O_5) ve eser element (Co, V, Cu, Pb, Zn, Rb, Ba, Sr, Ga, Nb, Zr, Y, Th) analizleri Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mineralojik-Petrografik ve Jeokimyasal Araştırma Laboratuvarlarında (MİPJAL) bulunan RİGAKU 3270-E WDS model Rh (rodyum) tüplü X-ışınları Floresans Spektrometresi (XRF) ile USGS-CRPG kayaç standartları eşliğinde gerçekleştirilmiştir. Ana element bileşenleri, oksit cinsinden % ağırlık ve eser element içerikleri ise milyonda bir olarak hesaplanmıştır. Bazı eser-nadir toprak element analizleri ise ACME (Kanada) laboratuvarlarına gönderilen toz numunelerin, (LiBO_2) Lityum metaborat çözeltisi ile eritilerek İndüktif Kuplajlı Plazma Kütle Spektrometresi ile analizi gerçekleştirilmiştir (Çizelge 1; Erkül vd., 2005a, 2005b).

Çizelge 1. Bigadiç Bor Havzası volkanik birimlerinin ana, eser ve nadir toprak element analiz sonuçları.
Table 1. Major, trace and rare earth element analyses results of the volcanic units in the Bigadiç Borate Basin.

Örnek kayaç tipi	F-033 K		F-036K		F-037K		F-054K		F-056K		F-057K		F-059K		F-074K		F-075K		F-079K		F-084K		F-086K		F-090K		
	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	B	A	B	A	B	A
SiO ₂	58.07		69.12	61.71	62.95	62.70	59.05	65.11	59.42	60.42	66.77	59.29	59.29	59.29	66.77	59.29	59.29	60.42	66.77	59.29	59.29	59.29	59.29	59.29	59.29	59.29	58.88
TiO ₂	0.82		0.65	0.66	0.68	0.66	0.66	0.33	0.72	0.63	0.35	0.67	0.77	0.67	0.35	0.67	0.77	0.63	0.35	0.67	0.77	0.67	0.77	0.67	0.77	0.67	0.82
Al ₂ O ₃	18.80		15.44	18.56	17.88	16.74	17.25	18.31	16.92	17.13	16.11	16.99	18.28	16.99	16.11	16.99	18.28	17.13	16.11	16.99	18.28	16.99	18.28	16.99	18.28	16.99	17.89
Fe ₂ O ₃	7.40		3.59	6.07	6.27	4.89	6.75	2.70	5.88	5.90	3.32	6.09	7.26	6.09	3.32	6.09	7.26	5.90	3.32	6.09	7.26	6.09	7.26	6.09	7.26	7.09	
MnO	0.10		0.01	0.06	0.06	0.04	0.16	0.06	0.08	0.09	0.10	0.13	0.16	0.09	0.10	0.13	0.16	0.09	0.10	0.13	0.16	0.09	0.16	0.13	0.16	0.12	
MgO	2.25		0.59	1.15	1.03	1.09	2.85	2.68	2.97	2.18	1.26	3.09	1.71	3.09	1.26	3.09	1.71	2.18	1.26	3.09	1.71	3.09	1.71	3.09	1.71	2.12	
CaO	6.22		3.93	3.67	4.11	5.93	5.94	2.95	6.03	5.83	3.61	6.17	5.75	6.17	3.61	6.17	5.75	5.83	3.61	6.17	5.75	6.17	5.75	6.17	5.75	6.43	
Na ₂ O	3.44		2.79	3.29	3.13	3.22	3.47	3.06	3.08	3.07	3.34	4.34	3.11	3.08	3.34	4.34	3.11	3.07	3.34	4.34	3.11	4.34	3.11	4.34	3.11	3.11	
K ₂ O	1.84		2.38	4.11	2.98	2.31	2.20	4.11	1.95	2.03	2.40	2.35	0.91	2.35	2.40	2.35	0.91	2.03	2.40	2.35	0.91	2.35	0.91	2.35	0.91	2.30	
P ₂ O ₅	0.15		0.18	0.17	0.17	0.18	0.18	0.11	0.20	0.15	0.11	0.20	0.16	0.11	0.20	0.16	0.11	0.15	0.11	0.20	0.16	0.11	0.20	0.16	0.11	0.13	
AK	0.41		1.01	0.78	1.39	1.36	1.17	1.46	1.81	1.89	2.28	0.97	1.13	2.28	0.97	1.13	2.28	1.89	2.28	0.97	1.13	2.28	0.97	1.13	2.28	0.96	
Toplam	99.50		99.69	100.23	100.65	99.13	99.68	100.88	99.05	99.32	99.64	99.22	99.74	99.22	99.64	99.22	99.74	99.32	99.64	99.22	99.74	99.22	99.74	99.22	99.74	99.86	
V	185.00		93.40	98.00	130.00	169.00	98.00	40.00	138.00	91.7	51.50	154.00	118.7	154.00	51.50	154.00	118.7	91.7	51.50	154.00	118.7	154.00	118.7	154.00	118.7	118.7	
Ni	5.10		-	4.30	2.60	6.10	-	2.80	4.80	-	-	6.40	-	6.40	-	6.40	-	-	-	6.40	-	6.40	-	6.40	-	-	
Co	37.50		32.20	40.00	33.30	35.90	31.90	23.10	29.20	28.6	51.00	29.00	40.00	29.00	51.00	40.00	28.6	51.00	29.00	40.00	28.6	51.00	40.00	28.6	51.00	24.80	
Cu	7.00		12.00	5.90	5.30	21.70	16.00	33.30	9.70	7.40	2.40	27.90	3.50	27.90	2.40	27.90	3.50	7.40	2.40	27.90	3.50	27.90	3.50	27.90	3.50	7.80	
Zn	58.00		59.00	33.00	42.00	64.00	73.70	38.00	64.00	87.40	66.10	77.00	39.00	77.00	66.10	77.00	39.00	87.40	66.10	77.00	39.00	77.00	39.00	77.00	39.00	77.10	
Ga	21.60		18.30	17.80	18.50	20.00	17.60	18.00	18.00	18.80	19.30	18.80	20.10	18.80	19.30	18.80	20.10	18.80	19.30	18.80	20.10	18.80	20.10	18.80	20.10	19.80	
Rb	70.30		94.10	127.50	104.80	89.90	73.20	99.70	69.10	73.30	96.40	85.00	181.20	85.00	96.40	181.20	73.30	96.40	85.00	96.40	181.20	85.00	181.20	85.00	181.20	94.60	
Sr	485.90		677.90	501.70	451.40	543.0	493.40	409.50	497.20	492.30	477.60	504.50	509.50	477.60	504.50	509.50	492.30	477.60	504.50	509.50	492.30	477.60	504.50	509.50	477.60	452.40	
Y	29.50		20.50	21.30	25.30	34.70	20.20	17.80	25.00	19.70	19.90	24.90	26.30	19.90	24.90	26.30	19.70	19.90	24.90	26.30	19.90	24.90	26.30	19.90	24.90	26.30	
Zr	159.00		199.60	158.80	155.30	163.30	169.90	118.70	173.20	176.50	158.30	151.80	142.20	151.80	158.30	142.20	176.50	158.30	151.80	142.20	151.80	142.20	151.80	142.20	151.80	155.40	
Nb	9.50		11.90	12.30	11.50	9.90	8.50	10.30	10.70	9.00	10.30	9.20	7.00	9.20	10.30	7.00	9.00	10.30	9.20	7.00	9.20	7.00	9.20	7.00	9.20	7.00	
Cs	2.80		-	5.00	5.20	3.20	-	1.20	3.30	-	-	2.50	-	2.50	-	2.50	-	-	-	2.50	-	2.50	-	2.50	-	-	
Ba	634.00		1317.80	1121.80	998.10	1024.60	974.90	1438.90	988.10	911.20	1150.00	808.00	717.10	808.00	1150.00	717.10	911.20	1150.00	808.00	717.10	808.00	717.10	808.00	717.10	808.00	717.10	
La	29.10		-	38.70	37.10	35.50	-	36.30	38.00	-	-	31.70	-	31.70	-	31.70	-	-	-	31.70	-	31.70	-	31.70	-	-	
Ce	49.90		-	62.50	55.70	57.40	-	58.90	62.30	-	-	54.20	-	54.20	-	54.20	-	-	-	54.20	-	54.20	-	54.20	-	-	
Pr	5.90		-	6.64	6.71	6.63	-	6.06	6.75	-	-	5.98	-	5.98	-	5.98	-	-	-	5.98	-	5.98	-	5.98	-	-	
Nd	24.10		-	25.40	24.70	25.70	-	20.60	25.50	-	-	23.00	-	23.00	-	23.00	-	-	-	23.00	-	23.00	-	23.00	-	-	
Sm	5.40		-	4.70	4.50	5.20	-	3.30	5.60	-	-	5.00	-	5.00	-	5.00	-	-	-	5.00	-	5.00	-	5.00	-	-	
Eu	1.19		-	1.24	1.12	1.52	-	0.68	1.34	-	-	1.12	-	1.12	-	1.12	-	-	-	1.12	-	1.12	-	1.12	-	-	
Gd	5.69		-	3.89	4.37	4.98	-	2.78	4.41	-	-	3.84	-	3.84	-	3.84	-	-	-	3.84	-	3.84	-	3.84	-	-	
Tb	0.79		-	0.60	0.68	0.84	-	0.37	0.66	-	-	0.69	-	0.69	-	0.69	-	-	-	0.69	-	0.69	-	0.69	-	-	
Dy	4.81		-	3.55	4.19	4.77	-	2.57	3.94	-	-	4.18	-	4.18	-	4.18	-	-	-	4.18	-	4.18	-	4.18	-	-	
Ho	1.06		-	0.66	0.79	1.02	-	0.50	0.86	-	-	0.79	-	0.79	-	0.79	-	-	-	0.79	-	0.79	-	0.79	-	-	
Er	2.56		-	1.84	1.94	2.82	-	1.50	2.29	-	-	2.25	-	2.25	-	2.25	-	-	-	2.25	-	2.25	-	2.25	-	-	
Tm	0.40		-	0.26	0.30	0.47	-	0.27	0.34	-	-	0.37	-	0.37	-	0.37	-	-	-	0.37	-	0.37	-	0.37	-	-	
Yb	2.73		-	1.47	2.16	2.71	-	1.89	2.33	-	-	2.45	-	2.45	-	2.45	-	-	-	2.45	-	2.45	-	2.45	-	-	
Lu	0.36		-	0.29	0.38	0.47	-	0.30	0.37	-	-	0.41	-	0.41	-	0.41	-	-	-	0.41	-	0.41	-	0.41	-	-	
Hf	4.60		-	4.80	4.50	4.10	-	3.40	4.50	-	-	4.20	-	4.20	-	4.20	-	-	-	4.20	-	4.20	-	4.20	-	-	
Ta	0.60		-	0.90	0.80	0.80	-	0.70	0.80	-	-	0.80	-	0.80	-	0.80	-	-	-	0.80	-	0.80	-	0.80	-	-	
Pb	9.90		39.80	4.10	9.10	9.60	30.90	9.50	7.60	36.10	68.50	9.90	40.30	9.90	68.50	40.30	36.10	68.50	9.90	40.30	9.90	40.30	9.90	40.30	9.90	40.30	
Th	8.40		15.40	21.80	18.70	14.90	8.60	15.20	11.80	9.50	13.60	14.40	11.80	14.40	13.60	14.40	9.50	13.60	14.40	11.80	14.40	11.80	14.40	11.80	14.40	4.10	
U	2.30		-	4.40	5.10	4.40	-	4.00	3.10	-	-	3.90	-	3.90	-	3.90	-	-	-	3.90	-	3.90	-	3.90	-	-	

Çizelge 1. devamı.
Table 1. continued.

Örnek kayaç tipi	F-110K	F-119K	F-148K	F-190K	F-196K	F-001S	F-009S	F-091S	F-123S	F-140AS	F-162S	F-176S	F-177S
	A	A	A	B	A	D	D	D	D	D	D	R	R
SiO ₂	61.54	63.12	63.37	53.21	61.63	71.09	66.17	65.65	71.21	65.99	66.00	74.33	69.14
TiO ₂	0.50	0.63	0.66	0.93	0.51	0.45	0.61	0.65	0.37	0.56	0.40	0.08	0.23
Al ₂ O ₃	16.38	16.23	16.30	18.36	15.61	14.90	15.91	18.30	15.11	15.66	17.75	15.42	16.41
Fe ₂ O ₃	5.22	5.60	5.48	8.93	5.59	3.14	4.04	3.90	2.40	3.88	3.13	0.15	2.55
MnO	0.07	0.10	0.08	0.12	0.10	0.05	0.04	0.04	0.02	0.09	0.03	0.03	0.05
MgO	3.66	2.53	2.12	4.71	3.82	1.23	2.11	1.28	1.45	1.83	1.68	0.19	0.50
CaO	4.81	4.84	4.12	9.02	5.62	2.27	2.86	1.61	2.03	3.33	1.92	1.21	2.12
Na ₂ O	2.90	2.70	3.18	2.61	2.91	2.80	2.81	2.43	2.46	3.37	3.55	3.85	3.83
K ₂ O	2.28	1.64	2.62	0.94	2.11	3.19	3.34	4.08	3.68	3.28	3.95	3.60	3.33
P ₂ O ₅	0.14	0.16	0.14	0.13	0.13	0.13	0.16	0.16	0.10	0.15	0.12	0.08	0.11
AK	1.62	2.09	1.03	2.13	1.79	1.35	1.25	1.81	0.98	1.57	1.40	1.34	1.69
Toplam	99.13	99.63	99.10	101.09	99.84	100.60	99.29	99.92	99.81	99.72	99.93	100.28	99.96
V	101.00	91.60	84.00	133.20	113.00	39.00	79.50	64.00	37.00	76.90	42.00	5.00	33.20
Ni	5.70	-	10.90	-	6.60	8.90	-	4.30	2.10	-	5.50	8.00	-
Co	19.10	33.20	44.10	57.90	20.80	42.70	60.20	25.60	45.80	71.20	39.10	94.30	43.10
Cu	9.30	9.70	10.30	26.80	14.00	4.20	9.00	3.60	2.20	6.70	5.30	6.80	0.80
Zn	39.00	71.00	69.00	78.50	40.00	33.00	67.50	39.00	35.00	70.30	48.00	16.00	71.90
Ga	16.60	20.50	18.60	17.80	17.60	15.70	18.70	17.90	16.00	19.50	16.90	14.30	18.70
Rb	80.50	91.60	108.20	51.30	76.90	109.00	123.10	165.40	152.9	126.70	160.50	115.00	127.00
Sr	408.50	412.20	369.60	784.80	483.20	282.50	410.90	255.40	226.9	419.10	238.50	187.90	385.00
Y	18.50	26.50	24.70	18.50	19.70	14.00	31.10	24.40	18.80	29.30	22.20	16.90	29.40
Zr	121.40	161.70	148.20	147.60	117.0	140.10	192.30	215.4	132.60	192.30	152.50	57.40	191.30
Nb	7.70	9.90	11.00	7.10	7.50	13.20	14.10	16.10	12.20	15.40	13.30	12.90	14.20
Cs	2.90	-	8.10	-	4.90	1.90	-	5.90	10.90	-	6.10	2.10	-
Ba	872.60	702.00	772.10	561.50	865.30	892.80	1289.80	1138.10	886.80	1200.70	876.0	1138.60	1213.10
La	29.30	-	35.70	-	31.40	38.20	-	47.10	39.30	-	42.60	28.00	-
Ce	47.10	-	57.20	-	51.70	59.00	-	76.20	63.50	-	67.50	46.40	-
Pr	4.99	-	6.53	-	5.40	6.38	-	7.39	6.36	-	7.10	4.77	-
Nd	19.50	-	24.40	-	19.80	21.70	-	28.70	21.80	-	24.20	16.40	-
Sm	3.40	-	5.40	-	4.40	4.00	-	5.10	4.40	-	4.80	3.00	-
Eu	0.94	-	1.23	-	1.03	0.86	-	1.09	0.75	-	0.85	0.56	-
Gd	3.03	-	4.44	-	3.49	3.50	-	4.55	3.50	-	3.43	2.47	-
Tb	0.45	-	0.74	-	0.52	0.54	-	0.66	0.54	-	0.62	0.46	-
Dy	3.22	-	4.76	-	3.55	3.38	-	4.16	3.43	-	3.91	2.74	-
Ho	0.60	-	0.91	-	0.70	0.62	-	0.79	0.63	-	0.73	0.53	-
Er	1.75	-	2.55	-	1.92	1.75	-	2.25	1.80	-	1.96	1.51	-
Tm	0.25	-	0.35	-	0.28	0.26	-	0.35	0.27	-	0.33	0.20	-
Yb	1.89	-	2.40	-	1.82	1.76	-	2.20	2.15	-	2.20	1.57	-
Lu	0.29	-	0.35	-	0.31	0.26	-	0.38	0.32	-	0.37	0.22	-
Hf	3.20	-	5.30	-	3.50	3.90	-	5.50	4.50	-	4.60	2.50	-
Ta	0.60	-	1.00	-	0.60	1.30	-	1.40	1.40	-	1.30	1.20	-
Pb	6.50	42.30	6.20	34.40	5.20	4.00	39.80	12.90	4.30	58.00	14.70	5.40	88.40
Th	13.00	6.10	12.9	2.10	11.30	19.30	16.60	20.80	21.10	19.20	19.50	15.60	9.10
U	2.50	-	4.00	-	3.70	3.10	-	5.70	6.30	-	4.80	4.70	-

Çizelge 1. devamı.
Table 1. continued.

Örnek kayaç tipi	F-194S	F-197S	F-198S	F-201S	F-222S	F-071G	F-199 G	F-266G	F-267G	F-288G	F-269G	F-272G	F-191Ky
	R	D	D	R	R	OB	OB	OB	OB	OB	OB	OB	A
SiO ₂	69.60	75.50	64.38	65.96	69.26	54.57	47.39	52.20	52.65	49.46	49.55	49.99	60.56
TiO ₂	0.17	0.29	0.61	0.46	0.17	1.19	0.91	1.20	1.23	1.05	1.05	1.04	0.70
Al ₂ O ₃	17.60	13.09	15.53	17.21	17.25	15.98	14.21	16.20	16.75	15.91	15.97	15.87	16.79
Fe ₂ O ₃	1.61	2.03	3.90	3.53	1.37	7.46	4.75	8.10	7.64	7.87	7.85	7.72	5.57
MnO	0.03	0.04	0.09	0.07	0.04	0.12	0.19	0.09	0.09	0.08	0.09	0.11	0.08
MgO	0.51	0.65	2.33	2.02	0.43	2.94	1.50	5.08	5.31	5.28	5.38	6.18	4.49
CaO	1.91	2.01	3.98	2.99	2.34	8.11	16.52	7.48	7.75	9.30	9.46	9.47	4.65
Na ₂ O	4.14	2.70	3.06	2.99	4.11	3.01	2.21	3.27	3.37	2.79	2.84	2.88	2.82
K ₂ O	3.21	3.12	3.37	3.89	3.25	2.44	2.12	2.24	2.30	2.10	2.07	2.06	3.80
P ₂ O ₅	0.09	0.10	0.17	0.13	0.09	0.37	0.33	0.50	0.45	0.43	0.41	0.45	0.30
AK	1.19	0.56	1.82	4.48	2.09	2.88	10.63	3.20	2.80	4.90	4.50	3.80	1.63
Toplam	100.06	100.09	99.25	103.73	100.40	99.07	100.76	99.72	100.49	99.35	99.34	99.76	101.39
V	5.00	24.00	66.00	47.00	7.00	150	122.00	157.00	165.00	170.00	167.00	171.00	121
Ni	3.00	4.30	5.30	10.10	10.70	76.0	42.30	57.50	47.00	85.70	84.30	85.70	10.80
Co	35.8	46.6	80.0	43.60	44.00	30.2	30.60	24.90	26.70	30.50	28.10	29.50	23.20
Cu	0.30	2.20	2.60	4.10	1.50	21.50	14.70	14.50	13.20	19.60	18.90	21.90	14.20
Zn	19.00	24.00	47.00	46.00	44.00	46.00	36.00	50.00	49.00	45.00	43.00	40.00	51.00
Ga	15.60	13.70	17.3	16.6	16.00	17.40	15.30	20.30	19.90	17.20	18.50	16.60	16.80
Rb	103.60	114.10	128.8	146.2	125.10	74.30	56.30	61.20	59.80	61.60	61.1	60.8	116.5
Sr	313.60	194.6	340.5	249.3	400.40	641.9	546.2	542.5	595.30	580.30	566.0	592.7	636.5
Y	17.40	17.20	23.70	22.10	17.70	29.70	27.5	29.10	31.00	26.50	25.9	28.1	22.9
Zr	110.50	116.0	159.10	155.9	121.70	186.8	162.0	216.7	228.9	176.60	177.8	177.4	187.8
Nb	11.40	10.30	13.90	13.10	12.40	20.40	16.70	22.50	21.50	15.90	15.10	15.10	15.60
Cs	2.50	3.00	6.60	4.60	8.50	25.70	11.00	14.10	14.00	5.60	5.20	8.50	13.50
Ba	1080.4	730.0	1042.6	902.7	1182.70	1046.2	928.8	1008.0	1044.0	1094.0	1075.0	1083.00	1475.2
La	39.30	31.70	47.30	40.20	41.80	46.00	42.70	37.50	40.60	34.00	34.90	34.70	49.60
Ce	62.60	52.40	78.50	65.40	68.30	74.40	71.00	87.90	96.10	80.90	79.90	80.30	80.80
Pr	6.54	5.17	7.91	6.48	6.99	8.19	7.72	9.66	10.48	8.64	8.72	8.99	8.35
Nd	21.60	17.90	29.60	25.40	24.30	32.50	28.20	35.80	38.30	36.90	34.40	36.90	31.90
Sm	4.10	3.50	5.50	4.90	3.60	5.80	5.90	6.10	7.00	5.90	5.60	6.00	5.10
Eu	0.86	0.63	1.09	0.93	1.02	1.52	1.50	1.51	1.51	1.48	1.44	1.41	1.25
Gd	2.97	2.91	4.30	4.05	2.73	5.01	4.89	4.70	5.36	4.88	4.70	4.35	4.67
Tb	0.42	0.47	0.64	0.52	0.48	0.76	0.74	0.87	1.01	0.85	0.80	0.89	0.66
Dy	2.77	3.18	4.39	3.99	2.87	5.14	5.01	4.59	4.92	3.81	4.25	4.67	3.96
Ho	0.52	0.59	0.79	0.71	0.60	0.91	0.83	0.88	1.01	0.84	0.85	0.88	0.78
Er	1.65	1.68	2.09	2.06	1.67	2.45	2.49	2.93	2.87	2.46	2.54	2.48	2.08
Tm	0.23	0.23	0.38	0.33	0.27	0.33	0.37	0.37	0.43	0.36	0.30	0.35	0.31
Yb	1.53	1.62	2.09	2.03	1.77	2.30	2.45	2.51	2.72	2.45	2.22	2.40	2.15
Lu	0.25	0.25	0.28	0.40	0.29	0.38	0.37	0.38	0.38	0.28	0.33	0.30	0.34
Hf	4.00	3.70	5.00	4.40	4.50	4.40	4.20	5.40	5.50	4.70	4.30	4.00	4.60
Ta	0.90	1.20	1.40	1.40	1.10	1.20	1.10	1.40	1.30	0.90	0.90	0.90	1.20
Pb	4.80	3.00	10.60	16.80	10.00	7.80	6.80	6.10	6.30	4.50	4.80	6.60	13.90
Th	16.90	16.00	19.50	19.40	14.40	12.70	11.80	12.60	13.30	13.50	12.20	11.60	27.70
U	3.90	6.00	5.50	6.20	3.80	3.10	3.10	3.20	3.30	2.60	2.60	2.90	6.90

Çizelge 1. devamı.
Table 1. continued.

Örnek kayaç tipi	F-214Ky		F-216Ky		F-219Ky		F-245Ky		F-248Ky		F-251Ky		F-253Ky		F-255Ky		F-257Ky		F-199Ş		F-266Ş		F-267Ş		F-268Ş	
	A	A	TA	TA	A	A	TA	TA	A	A	TA	TA	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
SiO ₂	60.75	60.72	61.33	59.96	61.27	60.31	60.31	59.76	63.65	64.65	60.79	61.20	60.51	63.20												
TiO ₂	0.68	0.70	0.56	0.70	0.61	0.73	0.75	0.75	0.62	0.65	0.66	0.64	0.68	0.59												
Al ₂ O ₃	16.31	16.97	16.59	16.54	16.44	15.24	16.80	16.80	16.84	15.68	15.59	16.10	17.22	14.63												
Fe ₂ O ₃	5.32	5.54	5.11	5.59	4.63	5.82	5.82	5.82	4.42	4.84	6.34	6.00	5.91	5.63												
MnO	0.09	0.09	0.10	0.10	0.06	0.04	0.06	0.06	0.05	0.08	0.10	0.10	0.10	0.09												
MgO	4.28	4.14	3.64	4.05	4.32	6.65	5.29	4.32	3.72	2.19	4.90	4.63	2.50	4.42												
CaO	4.52	4.64	4.56	4.84	4.40	4.26	4.34	4.34	2.76	2.94	5.37	5.14	5.17	4.69												
Na ₂ O	2.96	2.87	3.11	3.04	2.74	2.89	2.51	2.51	2.21	3.31	2.85	2.87	3.67	2.71												
K ₂ O	3.30	3.71	3.49	3.35	4.20	3.18	3.99	3.99	4.54	4.15	2.48	2.58	2.89	2.45												
P ₂ O ₅	0.27	0.29	0.22	0.29	0.29	0.27	0.31	0.31	0.17	0.17	0.14	0.14	0.14	0.13												
AK	3.10	2.03	1.60	2.02	2.40	2.56	1.90	1.90	2.72	2.09	1.48	1.19	1.07	1.18												
Toplam	101.58	101.70	100.31	100.48	101.36	101.25	101.53	100.59	101.70	100.75	100.70	100.59	99.86	99.72												
V	124.00	121.00	117.00	143.00	122.00	123.00	133.00	133.00	70.00	86.00	135.00	113.00	106.00	107.00												
Ni	6.30	9.00	39.30	4.90	7.50	11.90	15.00	15.00	4.40	5.20	42.70	45.20	12.90	46.50												
Co	44.20	29.10	31.70	29.70	26.00	27.70	21.90	21.90	46.00	34.70	25.30	28.60	59.10	26.60												
Cu	14.60	12.30	16.80	15.70	15.10	16.70	18.50	18.50	4.00	3.60	14.10	16.60	11.50	15.20												
Zn	52.00	49.00	39.00	42.00	50.00	59.00	57.00	57.00	47.00	55.00	54.00	49.00	26.00	47.00												
Ga	17.60	17.00	15.00	17.00	16.80	18.30	17.40	17.40	17.40	16.90	16.10	17.60	19.10	16.10												
Rb	180.00	148.20	126.90	126.40	165.80	107.0	90.20	90.20	188.50	155.8	88.80	89.60	102.70	88.60												
Sr	638.40	631.50	598.90	694.50	569.80	624.0	641.10	641.10	229.50	296.6	419.50	408.30	368.00	407.40												
Y	22.90	23.00	20.00	25.10	24.00	20.30	21.80	21.80	20.10	20.10	29.60	25.10	23.70	24.80												
Zr	177.80	177.40	139.10	183.70	175.00	163.20	214.60	214.60	173.20	184.20	133.60	133.90	138.70	134.10												
Nb	15.20	16.00	13.00	16.30	14.90	15.80	16.00	16.00	13.90	15.20	10.90	10.70	10.80	10.40												
Cs	17.60	14.20	5.90	7.20	6.10	7.00	4.60	4.60	47.30	7.60	2.80	2.70	3.30	2.90												
Ba	1571.70	1491.40	1263.80	1866.50	1448.00	1413.80	1702.80	1702.80	1002.40	990.60	652.50	691.70	741.40	683.90												
La	50.90	54.40	54.40	70.90	55.70	50.70	68.20	68.20	47.50	42.90	31.80	31.50	32.90	30.00												
Ce	79.60	82.70	85.00	102.30	83.80	84.50	100.70	100.70	76.40	70.50	54.30	51.20	57.20	52.20												
Pr	8.47	8.43	8.25	10.75	8.77	8.65	10.71	10.71	7.84	7.66	6.07	5.80	6.27	5.80												
Nd	31.60	31.00	27.80	35.90	32.80	27.70	36.20	36.20	27.80	27.80	23.20	20.90	24.00	21.50												
Sm	6.00	6.00	4.90	6.10	5.20	6.40	6.40	6.40	4.60	5.20	4.90	4.80	5.60	3.80												
Eu	1.26	1.42	1.17	1.40	1.26	1.18	1.35	1.35	1.00	1.16	1.10	1.01	1.12	1.21												
Gd	4.17	4.53	3.21	4.59	4.58	4.35	4.90	4.90	4.16	4.16	4.89	4.10	4.00	4.06												
Tb	0.67	0.78	0.59	0.65	0.78	0.66	0.74	0.74	0.65	0.62	0.80	0.63	0.63	0.63												
Dy	4.22	4.22	3.37	3.69	3.82	3.87	3.88	3.88	3.48	3.69	4.72	4.29	4.70	3.60												
Ho	0.82	0.78	0.72	0.88	0.83	0.77	0.84	0.84	0.77	0.85	0.81	0.79	0.83	0.79												
Er	2.29	2.41	1.90	2.63	2.02	1.98	2.06	2.06	2.01	2.41	2.58	2.25	2.28	2.14												
Tm	0.32	0.30	0.25	0.46	0.32	0.33	0.34	0.34	0.35	0.41	0.32	0.31	0.34	0.35												
Yb	2.48	2.09	1.46	2.27	2.24	1.83	2.08	2.08	1.76	2.20	2.52	2.21	2.05	2.34												
Lu	0.43	0.29	0.29	0.30	0.37	0.29	0.32	0.32	0.39	0.29	0.44	0.36	0.41	0.35												
Hf	5.30	6.20	4.50	5.30	5.30	5.00	5.30	5.30	4.10	5.40	3.80	3.80	4.00	4.60												
Ta	1.20	1.20	1.30	1.20	1.10	1.10	1.20	1.20	1.40	1.50	0.90	0.90	1.10	1.00												
Pb	10.60	12.20	11.50	8.70	8.60	6.20	16.30	16.30	9.10	9.40	7.00	9.80	7.20	9.80												
Th	26.90	28.00	27.70	32.60	27.90	21.90	31.60	31.60	19.30	20.30	10.00	11.60	12.90	11.20												
U	8.10	7.50	7.80	8.80	6.40	5.70	6.30	6.30	4.80	5.20	3.60	4.00	3.60	3.70												

Açıklamalar: K: Kocaışkan volkanik birimi; G: Gölcük bazaltı; S: Sındırgı volkanik birimi; Ky: Kaynar volkanik birimi; Ş: Şahinkaya volkanik birimi; B: Bazalt; A: Andezit; D: Dazit; R: Riyolit;

OB: Olivin Bazalt; TA: Trakiandezit

Abbreviations: K: Kocaışkan volcanic unit; G: Gölcük basalt; S: Sındırgı volcanic unit; Ky: Kaynar volcanic unit; Ş: Şahinkaya volcanic unit; B: Basalt; A: Andesite; D: Dazit; R: Rhyolite; OB: Olivine Basalt; TA: Trachyandesite

$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ (Le Maitre vd., 1989) adlandırma diyagramında, Kocaiskan volkanik birimlerinin genellikle andezit-dasit, trakiandezit, Gölcük bazaltlarının trakibazalt-bazaltik-trakiandezit, Sındırgı volkanik birimlerinin dasit-riyolit, Kayırlar volkanik biriminin trakiandezit-andezit ve Şahinkaya volkanik biriminin ise andezit alanında yer aldığı görülmektedir (Şekil 9a; bknz. Çizelge 1). Kocaiskan volkanik birimlerine ait lavlarda yapılan jeolojik ve petrografik çalışmalarda, andezit ve bazalt türü iki farklı kayaç türü saptanmıştır. Bazalt bileşimine sahip plajiyoklaz (An_{50-58}) ve klinopiroksen fenokristallerinden oluşan lavlar da jeokimyasal adlandırma diyagramlarında andezit alanına düşmektedir.

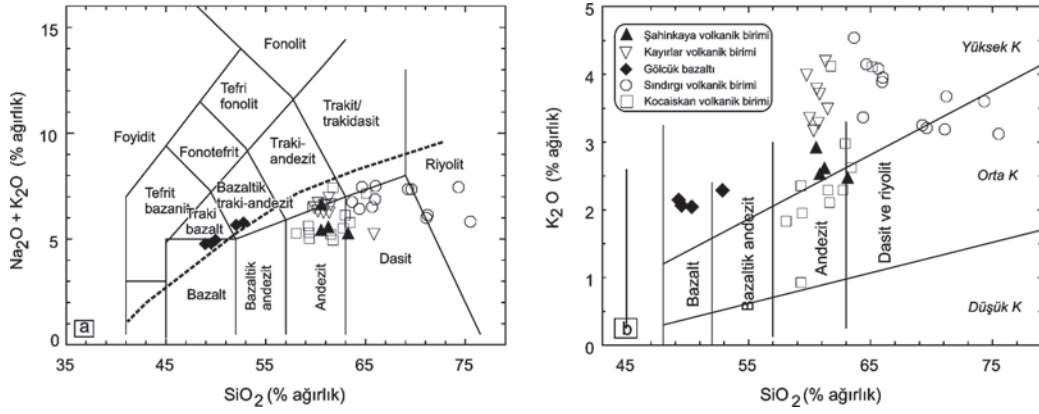
Kalkalkali bileşim sergileyen (Irvine ve Baragar, 1971) (Erkül vd., 2005a, 2005b) Kocaiskan, Sındırgı, Kayırlar ve Şahinkaya volkanik birimleri orta-yüksek, Gölcük bazaltı ise yüksek K'ludur (Şekil 9a-b).

Ana element değişim diyagramlarında kalkalkali bileşim sergileyen birimlerin hafif alkali bileşim sergileyen Gölcük bazaltından farklı bölgede yer aldıkları görülmektedir. Diğer birimlerin Gölcük bazaltı ile aynı gidişleri sunmalarına karşın element oranlarındaki farklılıklar nedeniyle ayrı alanlara düştükleri görülmektedir. Tüm volkanik birimlerde artan silis içeriğine göre Al_2O_3 , tFe_2O_3 , MnO , MgO , CaO ve P_2O_5 değerleri azalış, K_2O içeriğinde artış gözlenmektedir. Na içeriği, silis içeriği yaklaşık % 60'a kadar olan kayaç örneklerinde artan silise paralel bir artış göstermektedir. Silis miktarı % 60-65 arasında düşey dağılım göstermekte ve silis içeriğinin % 66'dan büyük olduğu kayaç örneklerinde ise artan silise bağlı olarak bir azalma göstermektedir (Şekil 10). Na_2O içeriklerinde ise artış gözlenmektedir (Şekil 10a-h). Özellikle CaO'de gözlenen azalmalar kalsik plajiyoklazlarda, MgO'deki azalmalar klinopiroksenlerde ve toplam demirdeki azalmalar ise piroksen ve demiroksitlerin fraksiyonlanması ile ilişkili olabilmektedir (Temel, 2001) (Şekil 10a-h). K ise daha geç evrelerde kristalleştikten, SiO_2 ile pozitif bir gidiş göstermektedir (Temel, 2001). Na içeriğinin göstermiş olduğu farklı davranış, plajiyoklaz minerallerindeki albit bileşeninden kaynaklanmaktadır ve plajiyoklaz minerallerinde gözlenen magma karışımı dokularından da anlaşılacağı gibi mafik ve felsik magma karışımı sırasında plajiyoklaz

oluşumu bakımından normal bir fraksiyonlanmadan ziyade, kalsik ve sodik plajiyoklaz bileşenlerinin hücremsi-süngerimsi biçimli erime-çözünme dokuları, iri plajiyoklazlar içerisinde çivi başlarına benzer küçük plajiyoklazların bulunması, zonlu doku ve ikizlenmenin birlikte görüldüğü karmaşık zonlu plajiyoklaz minerallerinde yüksek sıcaklık ve düşük sıcaklık plajiyoklazlarının birlikte ve özellikle albit uç üyesinin gereğinden fazla veya az bulunmasına (özellikle silis içeriği yaklaşık % 65' den fazla olan kayaçlarda) bağlanmaktadır (bknz. Şekil 10).

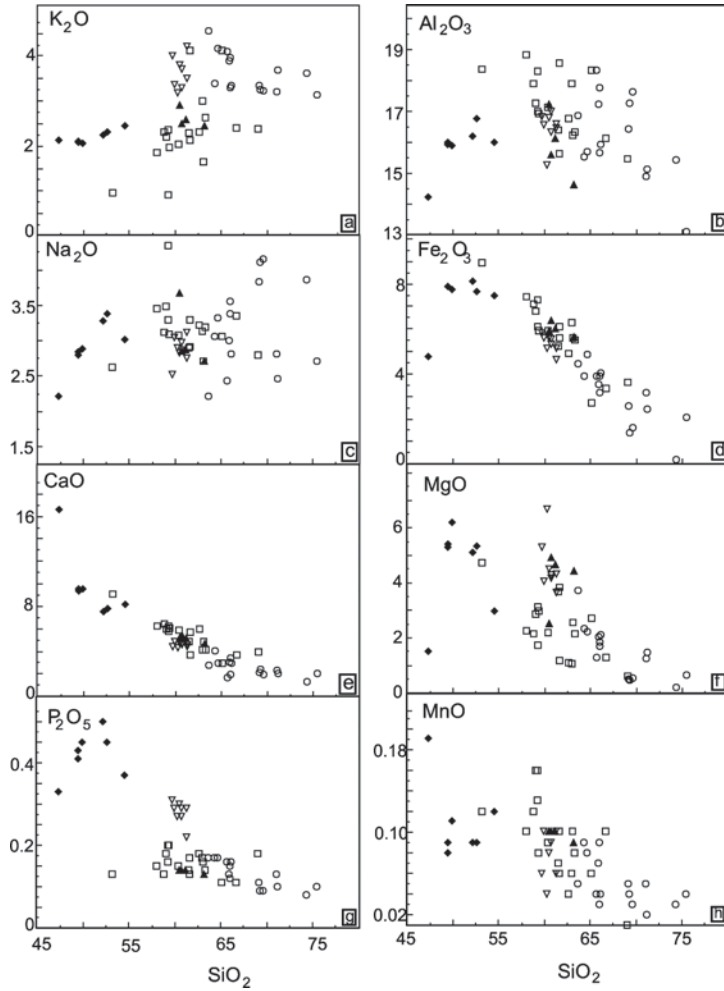
Büyük iyon çaplı elementlerden Ba içerikleri artan silis içeriğine göre 58-64 (milyonda bir) aralığında sabit kalmakta, daha sonra artan silis içeriğine bağlı tekrar artmaktadır. Ba dalgalanmasının, tıpkı Na dalgalanmasında olduğu gibi, magma karışmasına bağlı olarak meydana gelen ve yüksek sıcaklık ve düşük sıcaklık feldispatlarının birlikteliğini sağlayan oluşum koşulları nedeniyle, tıpkı Na içeriğinde olduğu gibi, Ba içeriğinde de bileşimsel dalgalanmaların meydana geldiği düşünülmektedir. Sr içerikleri ise, artan silis içeriğine göre negatif eğilim sunmaktadır. Aynı özellik, artan silis miktarına göre azalan CaO diyagramında da göze çarpmaktadır. Sr elementinin negatif bir ilişki göstermesi, Sr'un plajiyoklaz minerallerinde Ca elementinin yerini alması nedeniyle Ca'ca zengin plajiyoklazların fraksiyonlanması ile ilişkilidir. SiO_2 ile uyumsuz elementlerden Ba arasındaki pozitif ilişki ve uyumlu elementlerden Sr arasında gelişen negatif ilişki klasik fraksiyonel kristalleşme eğilimlerine karşılık gelmektedir (Temel, 2001) (Şekil 11).

Eser elementlerden kalıcılığı yüksek element (high field strength element, HFSE) olarak tanımlanan Nb, Y, Zr, Yb, Th ve U elementlerinin silise göre değişimine bakıldığında, tıpkı ana element değişim diyagramlarında olduğu gibi, hafif alkali bileşim sergileyen Gölcük bazaltının diğer volkanik birimlerden ayrı alanda yer aldığı görülmektedir (Şekil 11). Y, Yb, Zr elementlerinde artan silis içeriğine koşut olarak azalmaktadır. Kalkalkali bileşime sahip volkanik birimlerin Nb, Th ve U bakımından zenginleşmiş olduğu, hafif alkali bileşimli Gölcük bazaltlarının ise daha düşük SiO_2 içeriklerine karşın (örneğin, Şahinkaya volkanik birimine göre) söz konusu uyumsuz elementler bakımından daha da zenginleşmiş ve evrimleşmiş olduklarını göstermektedir (Şekil 11)



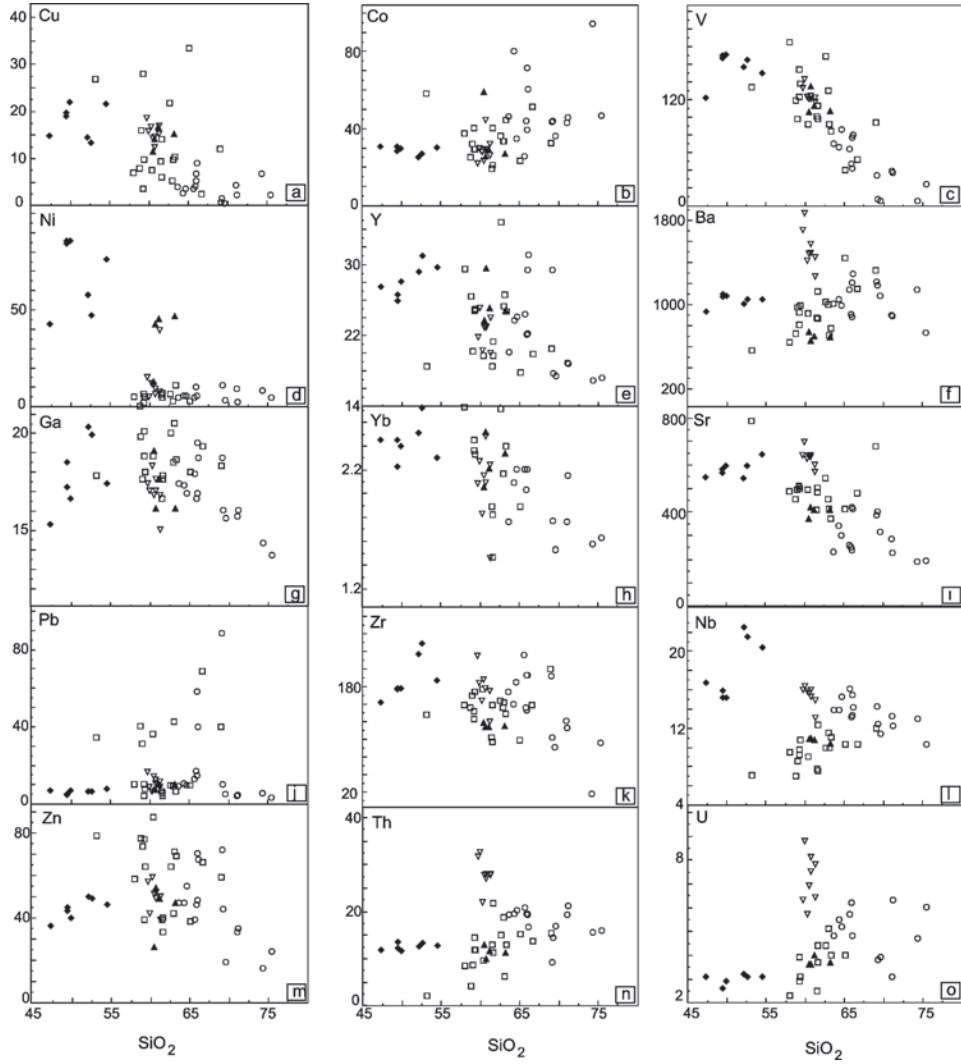
Şekil 9. Bigadiç bor havzası çevresindeki volkanik birimlerin: (a) toplam alkali-silis [Le Maitre vd. (1989), alkali-subalkali ayırım çizgisi kesikli çizgi ile gösterilmiştir ve Irvine ve Baragar (1971)'den alınmıştır], (b) K_2O - SiO_2 değişim diyagramındaki konumu (Le Maitre vd., 1989).

Figure 9. Chemical classification of the volcanic rock samples from the Bigadiç borate basin: (a) TAS diagram of Le Maitre et al. (1989) and (b) SiO_2 vs. K_2O diagram.



Şekil 10. Bigadiç bor havzası çevresindeki volkanik birimlerin ana element silis değişim diyagramlarındaki davranışları (açıklamalar için Şekil 9'a bakınız).

Figure 10. Major oxides vs SiO_2 variation diagrams for the volcanic rocks in the Bigadiç borate basin (see Figure 9 for legend).



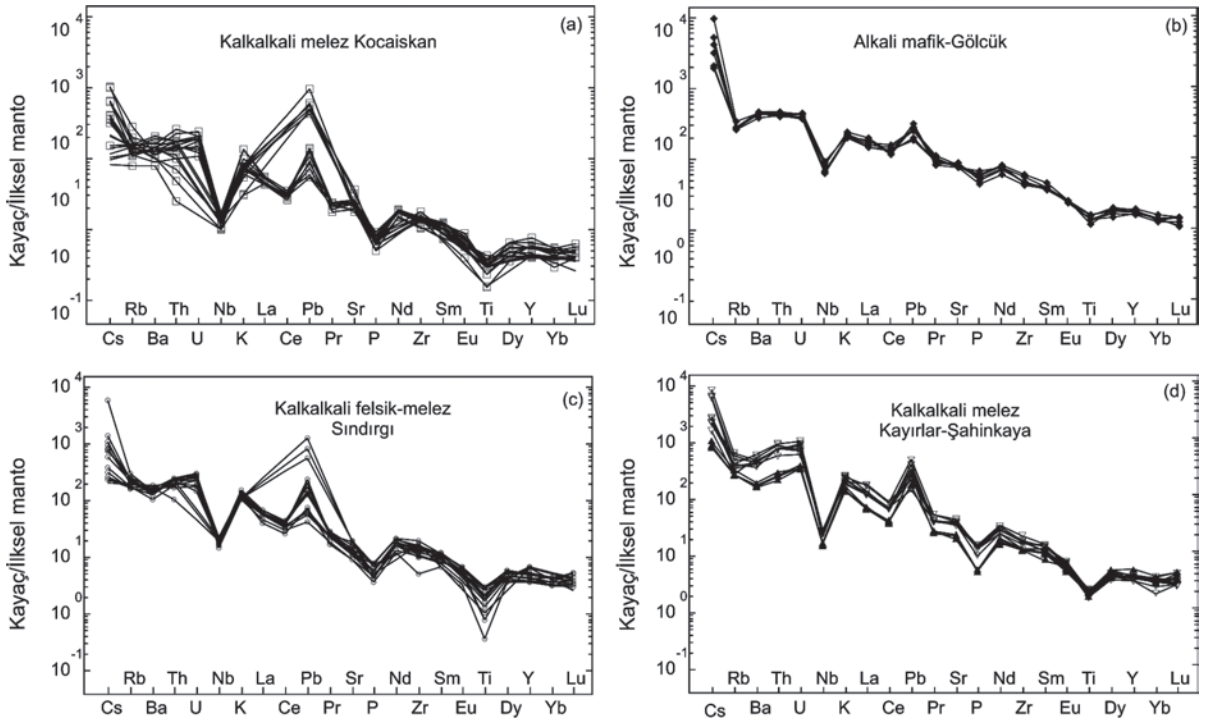
Şekil 11. Bigadiç bor havzası çevresindeki volkanik birimlerin eser element silis değişim diyagramlarındaki davranışları (açıklamalar için Şekil 9'a bakınız).

Figure 11. Trace element vs SiO_2 variation diagrams for the volcanic rocks in the Bigadiç borate basin (see Figure 9 for legend).

Geçiş metallere V, Co, Ni, Cu, Pb, Zn ve Ga içeriklerinin silise göre değişimi incelendiğinde, hafif alkali bileşimli Gölçük bazaltına ait kayaç örneklerinin kalkalkali bileşimli kayaç örneklerinden farklı bir alanda yer aldıkları görülmektedir (bkz. Şekil 11). Volkanik birimlerin tümünde artan silis içeriğine bağlı olarak Cu, V, Ni, Ga elementlerinde azalış, Co ve Pb elementlerinde ise artış gözlenmektedir.

İlksel mantoya göre normalize edilmiş örümcek diyagramlarında (Sun ve McDonough, 1989) ortaç bileşimli kalkalkali kayaçlar, Cs, Rb gibi büyük iyon yarıçaplı elementleri, Th, U, gibi geçiş

elementleri, La, Pr, Nd gibi hafif nadir toprak elementleri bakımından zenginleşmiştir (Şekil 12a-d). Bigadiç ve çevresini oluşturan bu volkanik birimlerin tamamında ise, belirgin bir şekilde Nb, Ti ve P elementleri bakımından tüketilme görülmektedir. Volkanik kayaçlarda Rb, Ba ve Zr zenginleşmeleri, magmatik farklılaşma sırasında mika, zirkon, apatit ve titano-manyetit minerallerinin karışması şeklinde yorumlanmaktadır (Deniel vd., 1998). Bu durumda, magmaların kirletilmiş oldukları, ya da bu minerallerce zengin bir magma ile karıştığı (mixing/mingling) düşünülmektedir.



Şekil 12. Bigadiç bor havzası çevresindeki volkanik birimlerin prim-normalize eser element diyagramındaki konumları (normalleştirme değerleri, Sun ve McDonough, 1989'dan alınmıştır; açıklamalar için Şekil 9'a bakınız).

Figure 12. Prim-normalized trace element spider diagrams, (normalizing values are from Sun and McDonough, 1989; see Figure 9 for legend).

Kondrit normalize (Sun ve McDonough, 1989) nadir toprak element diyagramlarında riyolitik-dasitik bileşime sahip Sındırgı volkanik biriminin hafif nadir toprak elementlerince özellikle de La ve Ce elementlerince zenginleştiği, Eu elementince ise hafifçe tüketildiği görülmektedir (Şekil 13a-d). Kalkalkali bileşimli Kocaiskan-Sındırgı ve Kayırlar-Şahinkaya volkanik birimlerinin nadir toprak element dağılım desenleri birbirlerine benzerlik göstermekte ve hafif nadir toprak elementlerince zenginleşme sunarken, hafif alkali bileşime sahip Gölcük bazaltının ise, daha az zenginleştiği gözlenmektedir. Kocaiskan ve Sındırgı volkanik birimlerinde Eu anomalisi Şahinkaya, Kayırlar ve Gölcük bazaltına göre daha belirgin şekilde görülmektedir.

TARTIŞMA

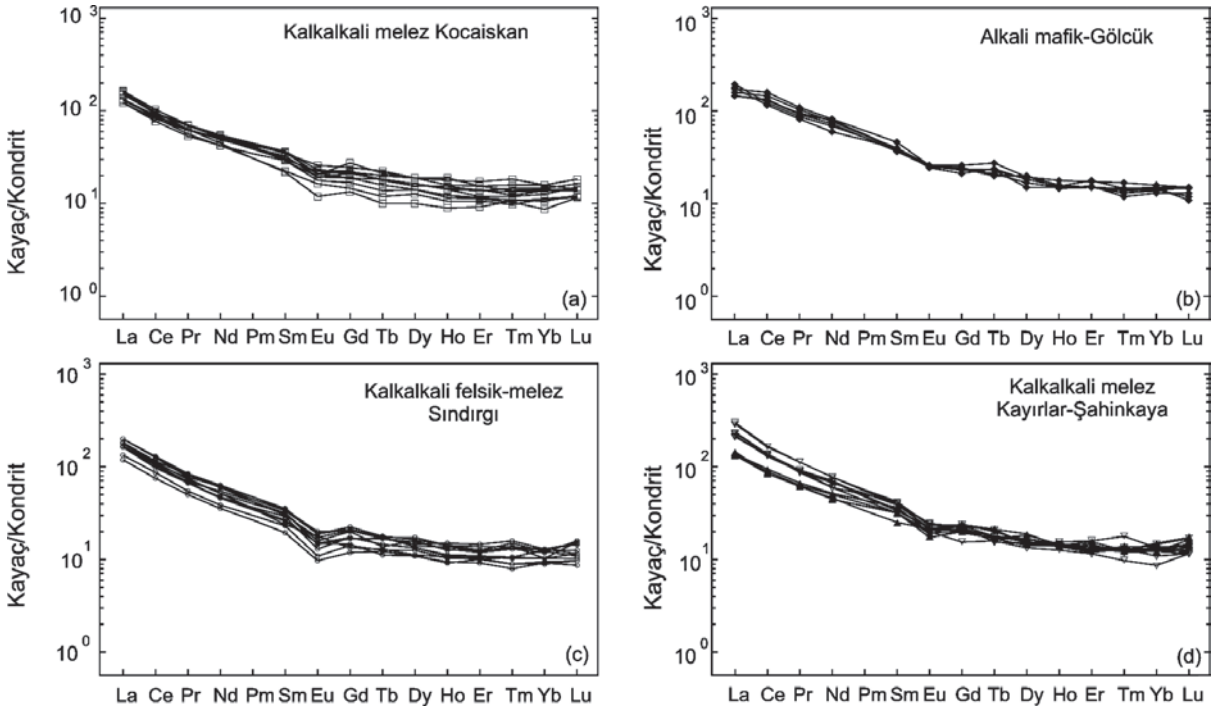
Mafik Mikrogranüler Anklavlar

Bigadiç bor havzası içerisinde yüzlek veren volkanik kayaçların oluşumunda etkin olan magma karışımının kanıtları yüzlek/harita ölçeğinde

mükemmel şekilde görülmektedir. Farklı bileşimlerdeki iki eş yaşlı magmanın fiziksel ve kimyasal olarak heterojen karışımının en belirgin göstergesi santimetre-desimetre boyutlarında, yuvarlağımsı-elipsoidal şekilli mikrogranüler anklavlar (Gourgaud, 1991; Hibbard, 1991), gerek ince taneli dokusu gerekse daha koyu rengi ile ana kayaçtan kolaylıkla ayırt edilmektedir (bknz. Şekil 4a-b).

Magma Karışımı

Ayrıntılı petrografik incelemelerde Bigadiç ve çevresinde yüzlek veren volkanik birimlerin evriminde magmaların homojen karışımının etkin olduğu görülmektedir. Bu veriler; çeşitli mineral dokuları ile belirgindir, magmada meydana gelen dengesizlikler sonucu oluşan süngerimsi plajiyoklazlar, amfibol, piroksen ve kuvars minerallerinde kemirilmeler, minerallerin dış bölümlerindeki hamur kapanımları, iskeletimsi plajiyoklaz mineralleri (Eichelberger, 1978, 1980; Hibbard, 1995; Wiebe, 1994) bunlara örnek olarak verilebilir.



Şekil 13. Bigadiç bor havzası çevresindeki volkanik birimlerin kondrit normalize nadir toprak element örümcek diyagramlarındaki konumları (normalleştirme değerleri, Sun ve McDonough 1989'dan alınmıştır; açıklamalar için Şekil 9'a bakınız).

Figure 13. Chondrite-normalized rare earth element spider diagrams. (Normalizing values are from Sun and McDonough (1989); see Figure 9 for legend).

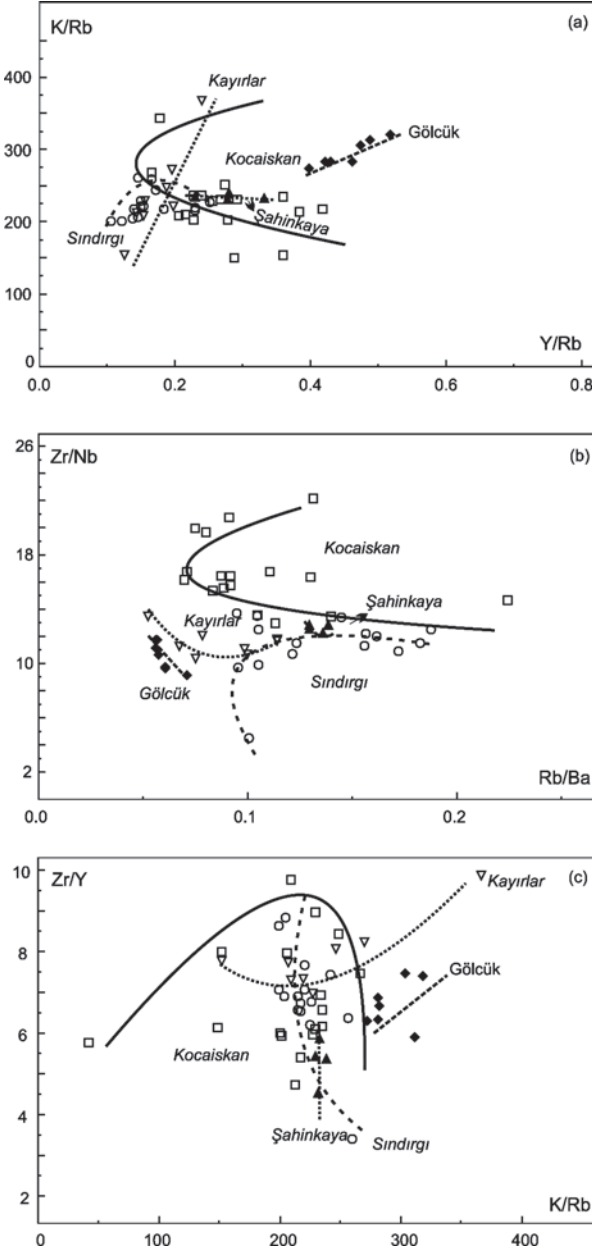
Dokusal ve mineralojik açıdan mafik mikrogranüler anklav ve ana kayacın dokusal özellikleri birbirinden tamamen farklıdır. Anklavlar ana kayaca göre daha ince taneli görünüm sunmaktadır. Başlıca, olivin, plajiyoklaz, ojit ve opak mineral fenokristallerinden ve hamurdan meydana gelmiştir. Hamurun çoğunluğu kristallerden oluşmakta, daha az miktarda volkan camı içermektedir. Olivinler, ileri derecede iddingsitleşmiş ve serpantinleşmiştir. Tipik olarak mikrolitik doku görülmektedir. Meydana gelen bu mikrolitik doku anklavı oluşturan magmanın ana magma ile eriyik halinde iken reaksiyona girdiğini göstermektedir (Alpaslan, 2001; Eichelberger, 1980; Bacon ve Metz, 1984; Koyagushi, 1986; Gourgaud, 1991).

Asidik ve bazik magmanın homojen ve heterojen şekilde karışması sonucu ortaya çıkan ve karışımın etkilerini gösteren çeşitli mikroskobik dokular (Şekil 5-8) plajiyoklaz minerallerinin etrafını saran hamur kapanımları, plajiyoklaz minerallerinde gelişen elek dokuları (süngerimsi plajiyoklazlar), iskeletimsi plajiyoklazlar, zonlu ve

karmaşık dokulu plajiyoklazlar, plajiyoklaz mineralleri içerisindeki hamur kapanımları, mafik minerallerinin etrafında gelişen reaksiyon çerçeveleri, hornblend minerali içerisinde gelişen eriyik kapanımları, bıçağımsı biyotit gelişimidir (Eichelberger, 1975; Eichelberger, 1978; Sakuyama, 1981; Koyagushi, 1986; Luhr ve Carmichael, 1980; Huppert vd., 1982; Alpaslan, 2001).

Viskozite özellikleri bakımından Newtonian davranış aşamasında olan eşyaşlı felsik ve mafik magmaların homojen karışmaları (magma mixing) sonucu meydana gelen hibrid magmalardan itibaren oluşan kayalardaki eser element/ eser element oranlarının (HFSE/HFSE-LILE/LILE) birbirlerine göre olan değişim diyagramlarında daima hiperbolik trendlerin elde edildiği bilinmektedir (Cox vd., 1984; Seymour ve Vlasopoulos, 1992). K/Rb-Y/Yb değişim diyagramında Kocaiskan, Sındırgı ve Şahinkaya, Zr/Nb-Rb/Ba diyagramında, Gölcük bazaltı hariç diğerlerinin, Zr/Y-K/Rb ise Kocaiskan, Sındırgı, Kayırlar volkanik birimlerinin hiperbolik gidişler sunmaktadır (Şekil 14a-c). Kalkalkali volkanik

birimlerde görülen mafik mikrogranüler anklav ve karışım dokularının izlerinin jeokimyasal olarak da izlendiği görülmektedir.



Şekil 14. Bigadiç bor havzası çevresindeki volkanik birimlerin: (a) Zr/Nb-R/Ba; (b) K/Rb-Y/Rb; (c) Zr/Y-K/Rb diyagramındaki konumları (Hipربولik eğilimler karışımı işaret etmektedir; Cox vd., 1984; Seymour ve Vlassopoulos, 1992), (açıklamalar için Şekil 9'a bakınız).

Figure 14. (a) Zr/Nb-R/Ba; (b) K/Rb-Y/Rb; (c) K/Rb-Y/Rb plots of the Bigadiç borate basin volcanics (Hyperbolic distributions indicate mixing (diagrams are taken from Cox et al., 1984; Seymour and Vlassopoulos, 1992; see Figure 9 for legend).

Bigadiç Volkanik Birimlerinin Evrimi

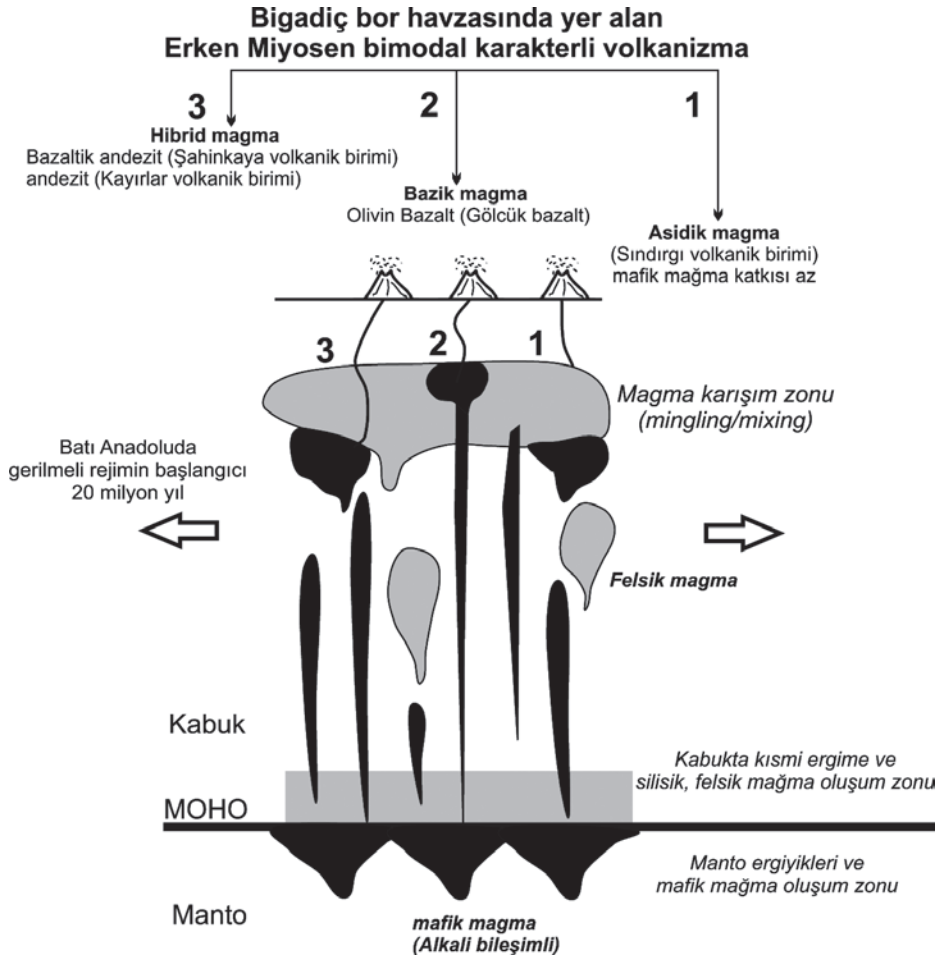
Batı Anadolu'da genişleme tektoniğinin Erken Miyosen ($\approx 20-21\text{My}$)'den itibaren başladığını kanıtlayan birçok çalışma vardır (Seyitoğlu ve Scott, 1992, 1996; Bozkurt ve Park, 1994; Emre ve Sözbilir, 1996; Seyitoğlu vd., 1992, 1996, 1997; Koçyiğit vd., 1999; Işık ve Tekeli, 2001; Sözbilir, 2001, 2002; Işık vd., 2004; Erkül vd., 2005a, 2005b; Ring ve Collins, 2005; Thomson ve Ring, 2006; Erkül, 2010). Önceki çalışmalarda elde edilen jeolojik ve jeokimyasal veriler, Batı Anadolu'daki kalkalkalin, şoşonitik, potasik ve ultrapotasik karaktere sahip volkanik birimlerin volkanik yay, ya da çarpışma sonrası ortamda oluştukları öne sürülmektedir (Fytikas vd., 1979, 1984; Pe-Piper ve Piper, 1989, 2001; Altunkaynak ve Yılmaz, 1998; Genç, 1998; Karacık ve Yılmaz, 1998; Aldanmaz vd., 2000; Yılmaz vd., 2001; Altunkaynak ve Dilek, 2006; Dilek ve Altunkaynak, 2007; Dilek ve Altunkaynak, 2009; Dilek vd., 2009). Bigadiç volkanik birimlerini oluşturan kalkalkali volkanikler volkanik yay ya da çarpışma sonrası ortamda yer alırken, Batı Anadolu'da ilk kez tanımlanan Erken Miyosen yaşlı hafif alkali Gölcük bazaltı ise levha içi alkali bölgede yer almaktadır (Erkül vd., 2005a). Bigadiç bor havzasında dağılım sunan Sındırgı, Kayırlar ve Şahinkaya volkanik birimleri kalkalkali ve Gölcük bazaltı ise hafif alkali karaktere sahiptirler. Bu birimlere ait radyometrik yaşlar ise, kalkalkali ve hafif alkali kayaç topluluklarının eş yaşlı olduğunu işaret etmektedir (bkz. Şekil 3; Erkül vd., 2005a, 2005b). Eş yaşlı kalkalkali ve hafif alkali birlikteliği bölgedeki bimodal volkanizmayı temsil etmektedir. Bigadiç bor havzasındaki Erken Miyosen yaşlı bimodal volkanizmanın, Batı Anadolu'da 20 milyon yıl önce aktif olan gerilmeli tektonik rejimin başlangıcı ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Erkül vd., 2005a, 2005b). Bimodal volkanizma, benzer şekilde Foça volkanik sahasında da tanımlanmış olup Orta Miyosen yaşlı riyolit ve bazalt birlikteliği ile temsil edilmektedir (Akay ve Erdoğan, 2004; Altunkaynak vd., 2010). Foça'daki bimodal volkanizma da benzer şekilde gerilme rejiminin başlangıcı ile ilişkilendirilmiştir. Bigadiç bor havzası ve Foça bölgesindeki bimodal volkanizma, dünyada tanımlanan örnekleri ile jeokimyasal açıdan uyumluluk göstermektedir (Ngounouno vd.,

2000; Fan vd., 2001; Guo vd., 2001; Kabeto vd., 2001; Brown vd., 2002; Moraes vd., 2003).

Bigadiç ve çevresindeki bu volkanik kayaçların oluşumu ve yerleşimi Şekil 15'de kısaca özetlenmiştir. Tektonik gerilme sonucu manto ergiyikleri üzerinde basıncın azalması ile mafik faz oluşmuştur. Bu mafik faz alkali özellik sergilemekte olup, ağır nadir toprak elementlerince zengin olan Gölcük bazaltını oluşturmuştur. Kabuğun alt kısmında biriken bu mafik magma uçucunun bulunmadığı ergime reaksiyonları için gerekli ısı kaynağını oluşturarak, kısmi ergime ile riyolitik ve dasitik bileşime sahip Sındırgı volkanik birimini oluşturmuştur. Özellikle, Rb, Ba, K, Th, LREE'de zenginleşme ve Sr, Nb, Y,

Hf, Zr, Ti elementlerinde tüketilme, negatif Eu anomalisi ve düşük miktarlardaki MgO oranı nedeniyle Sındırgı volkanik birimlerinin kabuksal kökenli olduğu kabul edilmektedir. Eş yaşlı levha içi mafik magma ile volkanik yay/çarpışma sonrası ortamda oluşmuş kabuksal kökenli felsik magmanın belirli oranlarda karışmasından ise melez Kayırlar ve Şahinkaya volkanik birimleri oluşmuştur (Şekil 15).

Gerek sınıflama ve element değişimlerine, gerekse tektonik ortam verilerine göre (Erkül vd., 2005a, 2005b) Bigadiç bor havzasında eş yaşlı felsik-mafik magmaların karışması sonucunda melez karaktere sahip bazaltik andezit ve trakiandezit bileşimli volkanik kayaçlar oluşmuştur



Şekil 15. Bigadiç bor havzası çevresindeki volkanik birimlerin evrimini gösteren şematik şekil (Lindline vd., 2000'den modifiye edilmiştir).

Figure 15. A schematic model for extension related bimodal volcanic associations in the Bigadiç borate basin (modified from Lindline et al., 2000).

(bknz. Şekil 15). Erken Miyosen'de felsik-mafik magmaların karışımının ilk ürünü olarak kabul edilen kalkalkali bileşimli melez Kocaiskan volkanik biriminin ise, gerek arazi gerekse yaş aralıklarındaki boşluklar nedeniyle diğer birimlerle kökensel ilişkisi net değildir.

SONUÇLAR

Bigadiç ve çevresindeki Erken Miyosen volkanizması, iki evre ile temsil edilmektedir. Bu volkanizmanın ürünleri birbirlerinden açısız uyumsuzlukla ayrılır. Kocaiskan volkanik birimi üzerine uyumsuzlukla gelen Sındırgı, Kayırlar ve Şahinkaya volkanik birimleri ile Gölcük bazaltı ikinci evrenin volkanik ürünlerini oluşturmaktadır. Eş yaşlı riyolitik/dasitik magmadan oluşan Sındırgı volkanik birimi ile olivin bazalttan oluşan Gölcük bazaltının homojen/heterojen karışımının Kayırlar ve Şahinkaya volkanik birimlerini oluşturduğu bu çalışma ile ortaya konulmuştur.

Kalkalkali bileşim sergileyen birimler içerisinde görülen yuvarlağımsı elipsoid boyutları birkaç milimetreden birkaç santimetreye değişen anklavlar magmaların heterojen karıştığını göstermektedir. Homojen karışım ile belirginleşen mikroskobik dokular ise; plajiyoklaz minerallerinin etrafını saran hamur kapanımları, plajiyoklaz minerallerinde gelişen elek dokuları, iskeletimsi plajiyoklazlar, zonlu ve karmaşık dokulu plajiyoklazlar, hornblend minerali içerisinde gelişen eriyik kapanımları ve bıçağımsı biyotit gelişimidir.

Jeokimyasal olarak HFSE/HFSE-LILE/LILE değişim diyagramlarında gözlenen hiperbolik gidüşler de Bigadiç volkanik birimlerinin oluşumu sırasında eş yaşlı zıt bileşimlerindeki magma kaynaklarının belirli oranlarda karıştığına işaret etmektedir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, Dokuz Eylül Üniversitesi (Proje no: 0922.20.01.36) ve Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (Project no: YDABÇAG-100Y044) tarafından desteklenmiştir. Yazarlar değerli görüş, eleştiri ve katkılarından dolayı Abidin Temel ve Ercan Aldanmaz'a teşekkürlerini sunar.

KAYNAKLAR

- Akay, E., and Erdoğan, B., 2004. Evolution of Neogene calc-alkaline to alkaline volcanism in the Aliğa-Foça region (western Anatolia, Turkey). *Journal of Asian Earth Sciences*, 24, 367-387.
- Aldanmaz, E., Pearce, J.A., Thirlwall, M.F., and Mitchell, J.G., 2000. Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in the western Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 102, 67-95.
- Alpaslan, M., 2001. Volkanik kayalarda magma karışım dokuları ve mekanizmaları, D. Boztuğ ve N. Otlu (editörler), *Magmatik Petrojenez, TÜBİTAK Lisansüstü Yaz Okulu, Akçakoca*, s. 244-262.
- Altunkaynak, Ş., and Yılmaz, Y., 1998. The Mount Kozak magmatic complex, Western Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 211-231.
- Altunkaynak, Ş., and Dilek, Y., 2006. Timing and nature of postcollisional volcanism in western Anatolia and geodynamic implications. In: Y. Dilek and S. Pavlides (eds.), *Postcollisional Tectonics and Magmatism in the Mediterranean Region and Asia: Geological Society of American Special Paper 409*, pp. 321-351.
- Altunkaynak, S., Rogers, N. W., and Kelley, S. P., 2010. Causes and effects of geochemical variations in late Cenozoic volcanism of the Foça volcanic centre, NW Anatolia, Turkey. *International Geology Review*, 52, 579-607.
- Bacon, C.R., 1986. Magmatic inclusions in silicic and intermediate volcanic rocks. *Journal of Geophysical Research*, 91, 6091-6112.
- Bacon, C.R., and Metz, J., 1984. Magmatic inclusions in rhyolites, contaminated basalts, and compositional zonation beneath the Coso volcanic field, California. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 85, 346-365.
- Barbarin, B., and Didier, J., 1992. Genesis and evolution of mafic microgranular

- enclaves through various types of interaction between coexisting felsic and mafic magmas. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh Earth Sciences*, 83, 145-153.
- Bozkurt, E., 2000. Timing of extension on the Büyük Menderes Graben, western Turkey and its tectonic implications. In: *Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surroundings Area*, E., Bozkurt, J.A., Winchester, J.D.A., Piper, (eds.). Special Publications, 173, Geological Society of London, pp. 385-403.
- Bozkurt, E., 2001. Neotectonics of Turkey- a synthesis. *Geodinamica Acta*, 14, 3-30.
- Bozkurt, E., 2003. Origin of NE-trending basins in western Turkey. *Geodinamica Acta*, 16, 61-81.
- Bozkurt, E., and Park, R.G., 1994. Southern Menderes Massif - an incipient metamorphic core complex in western Anatolia, Turkey. *Journal of the Geological Society*, 151, 213-216.
- Briot, D., 1990. Magma mixing versus xenocryst assimilation: the genesis of trachyandesites in Sancy volcano, Massif Central, France. *Lithos*, 25, 227-241.
- Brown, S.J.A., Barley, M.E., Krapez, B., and Cas, R.A.F., 2002. The Late Archaean Melita Complex, Eastern Goldfields, Western Australia: shallow submarine bimodal volcanism in a rifted arc environment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 115, 303-327.
- Chen, Y.D., Price, R.C., and White, A.J.R., 1989. Inclusions in three S-type granites from southeastern Australia. *Journal of Petrology*, 30, 1181-1218.
- Conrey, R.M., Sherrod, D.R., Hooper, P.R., and Swanson, D.A., 1997. Diverse primitive magmas in the Cascade arc, northern Oregon and southern Washington. *The Canadian Mineralogist*, 35, 367-396.
- Cox, K.G., Bell, J.D., and Pankhurst, R.J., 1984. *The Interpretation of Igneous Rocks*. Allen and Unwin, London.
- Deniel, C., Aydar, E., and Gourgaud, A., 1998. The Hasan Dağı Stratovolcano (Central Anatolia, Turkey): evolution from calc-alkaline to alkaline magmatism in a collision zone. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 87, 275-302.
- Didier, J. and Barbarin, B. (eds.), 1991. *Enclaves and Granite Petrology: Developments in Petrology 13*, Elsevier, Amsterdam.
- Dilek, Y., and Altunkaynak, Ş., 2007. Cenozoic crustal evolution and mantle dynamics of post-collisional magmatism in western Anatolia. *International Geology Review*, 49, 431-453.
- Dilek, Y., and Altunkaynak, Ş., 2009. Geochemical and temporal evolution of Cenozoic magmatism in western Turkey: mantle response to collision, slab break-off, and lithospheric tearing in an orogenic belt. *Geological Society of London Special Publications*, 311, 213-233.
- Dilek, Y., Altunkaynak, Ş., and Öner, Z., 2009. Syn-extensional granitoids in the Menderes core complex and the late Cenozoic extensional tectonics of the Aegean province. U. Ring and B. Wernicke (eds.), *Extending a Continent: Architecture, Rheology and Heat Budget*. Geological Society of London Special Publications, 321, 197-223.
- Dodge, F.C.W., and Kistler, R.W., 1990. Some additional observations on inclusions in the granitic rocks of the Sierra Nevada. *Journal of Geophysical Research*, 95, 17841-17848.
- Dorais, M.J., Whitney, J.A., and Stormer, (Jr.) J.C., 1991. Mineralogical constraints on the petrogenesis of trachytic inclusions, Carpenter ridge tuff, Central San Juan Volcanic Field, Colorado. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 107, 219-230.
- Eichelberger J.C., 1975. Origin of andesite and dacite: evidence of mixing at Glass Mountain in California and at other circum pacific volcanoes, *Geological Society of America Bulletin*, 86, 1381-1391.
- Eichelberger J.C., 1978. Andesite volcanism and crustal evolution. *Nature*, 275, 21-27.
- Eichelberger J.C., 1980. Vesiculation of mafic magma during replenishment of silicic

- magma chambers. *Nature*, 288, 446-450.
- Eichelberger, J.C., Chertkoff, D.G., Dreher, S.T., and Nye, C.J., 2000. Magmas in collision: rethinking chemical zonation in silicic magmas. *Geology*, 28, 603-606.
- Emre, T., and Sözbilir, H., 1996. Tertiary detachment faulting, core complex uplift, and graben evolution in the western Anatolia extensional province, Turkey. In: Anonymous (eds.), 30th International Geological Congress, Abstracts, p. 288.
- Ercan, T., Günay, E., Çevikbaş, A., Ateş, M., Küçükayman, A., Can, B. ve Erkan, M. 1984. Bigadiç çevresinin (Balıkesir) jeolojisi, magmatik kayaçların petrolojisi ve kökensel yorumu. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Dairesi Raporu, Ankara (yayımlanmamış).
- Erdoğan, B., 1990. Stratigraphic features and tectonic evolution of the İzmir-Ankara Suture Zone in the region between İzmir and Seferihisar. *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni*, 2, 1-20.
- Erkül, F., 2010. Tectonic significance of synextensional ductile shear zones within the Early Miocene Alaçamdağ granites, northwestern Turkey. *Geological Magazine*, 147 (4), 611-637.
- Erkül, F., Helvacı, C., and Sözbilir, H., 2005a. Evidence for two episodes of volcanism in the Bigadiç borate basin and tectonic implications for western Turkey. *Geological Journal*, 40 (5), 545-570.
- Erkül, F., Helvacı, C., and Sözbilir, H., 2005b. Stratigraphy and geochronology of the Early Miocene volcanic units in the Bigadiç borate basin, Western Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 14 (3), 227-253.
- Erkül, F., Helvacı, C., and Sözbilir, H., 2006. Olivine basalt and trachyandesite peperites formed at the subsurface/surface interface of a semi-arid lake : An example from the Early Miocene Bigadiç basin, western Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 149 (3-4), 240-262.
- Fan, W.M., Guo, F., Wang, Y. J., Lin, G., and Zhang, M. 2001. Post-orogenic bimodal volcanism along the Sulu orogenic belt in eastern China. *Physics and Chemistry of the Earth Part a-Solid Earth and Geodesy*, 26, 733-746.
- Fytikas, M., Giuliani, O., Innocenti, F., Manetti, P., Mazzuoli, R., Peccerillo, A., and Villari, L., 1979. Neogene volcanism of the northern and central Aegean region. *Annales Géologiques des Pays Helléniques*, 30, 106-129.
- Fytikas, M., Innocenti, F., Manetti, P., Mazzuoli, R., Peccerillo, A. And Villari, L. 1984. Tertiary to Quaternary evolution of volcanism in the Aegean region. In: J.E. Dixon and A.H.F. Robertson (eds.), *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*, Geological Society of London Special Publication, 17, 687-699.
- Genç, Ş.C. 1998. Evolution of the Bayramiç magmatic complex, northwestern Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85 (1-4), 233-249.
- Gourgaud, A., 1991. Comagmatic enclaves in lavas from the Mont-Dore composite volcano, Massif Central, France, In: J. Didier, and B. Barbarin (eds.), *Enclaves and Granite Petrology*, Elsevier, pp. 221-233.
- Groove, T.L., Donnely-Nolan, J.M., and Housch, T., 1997. Magmatic processes that generated the rhyolite of Glass Mountain, Medicine Lake Volcano, north California. *Contributions Mineralogy and Petrology*, 127, 205-223.
- Guo, F., Fan, W.M., Wang, Y.J., and Lin, G. 2001. Petrogenesis of the late mesozoic bimodal volcanic rocks in the southern Da Hinggan Mountains, China. *Acta Petrologica Sinica*, 17, 161-168.
- Gündoğdu, M.N. 1982. Neojen yaşlı Bigadiç sedimanter baseninin jeolojik, mineralojik ve jeokimyasal incelenmesi, Doktora Tezi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara (yayımlanmamış).

- Gündoğdu, M.N., 1984. Bigadiç gölsel Neojen basenin jeolojisi. *Yerbilimleri*, 11, 91-104.
- Gündoğdu, M.N., 1985. Bigadiç Gölsel Neojen Baseninde karbonat mineralleri ile simektitlerin dağılımı. II. Ulusal Kil Sempozyumu, s. 123-140.
- Gündoğdu, M.N., Yalçın, H., Temel, A., and Clanner, N., 1996. Geological, mineralogical and geochemical characteristics of zeolite deposits associates with borates in the Bigadiç, Emet and Kırka Neogene lacustrine basins, Western Turkey. *Mineralium Deposita*, 31 (6), 492-513.
- Helvacı, C., 1995. Stratigraphy, mineralogy and genesis of the Bigadiç borate deposits, Western Turkey. *Economic Geology*, 90, 1237-1260.
- Helvacı, C., and Alonso, R.N., 2000. Borate deposits of Turkey and Argentina; A summary and geological comparison. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 24, 1-27.
- Hibbard, M.J., 1991. Textural anatomy of twelve magma-mixed granitoid systems. In: J. Didier and B. Barbarin (eds.), *Enclaves and Granite Petrology. Developments of Petrology*, Elsevier, pp. 431-444.
- Hibbard, M.J. 1995. *Petrography to Petrogenesis*. Prentice Hall, New York.
- Huppert, H.E., Sparks, R.S.J., and Turner, J.S., 1982. Effects of volatiles on mixing in calc-alkaline magma systems. *Nature*, 297, 554-557.
- Irvine, T.N., and Baragar, W.R.A., 1971. A guide to the chemical classification of common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8, 523-548.
- Işık, V., and Tekeli, O., 2001. Late orogenic crustal extension in the northern Menderes massif (western Turkey): evidence for metamorphic core complex formation. *International Journal of Earth Sciences*, 89 (4), 757-765.
- Işık, V., Tekeli O., and Seyitoğlu, G., 2004. The $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age of extensional ductile deformation and granitoid intrusion in the northern Menderes core complex: implications for the initiation of extensional tectonics in western Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 23, 555-566.
- Kabeto, K., Sawada, Y., Iizumi, S., and Wakatsuki, T., 2001. Mantle sources and magma-crust interactions in volcanic rocks from the northern Kenya rift: geochemical evidence. *Lithos*, 56, 111-139.
- Karacık, Z., and Yılmaz, Y., 1998. Geology of the ignimbrites and the associated volcanoplutonic complex of the Ezine area, northwestern Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 251-264.
- Koçyiğit, A., Yusufoglu, H., and Bozkurt, E. 1999. Evidence from the Gediz graben for episodic two-stage extension in western Turkey. *Journal of the Geological Society, London*, 156, 605-616.
- Kouchi, A., and Sunagawa, I., 1983. Mixing basaltic and dacitic magmas by forced convection. *Nature*, 304, 527-528.
- Kouchi, A., and Sunagawa, I., 1985. A model for mixing basaltic and dacitic magmas as deduced from experimental data. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 89, 17-23.
- Koyaguchi, T., 1986. Textural and compositional evidence for magma mixing and its mechanism, Abu volcano group, Southwestern Japan. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 93, 33-45.
- Kumar, S., 1995. Microstructural evidence of magma quenching inferred from enclaves hosted in the Hodrusa Granodiorites, Western Carpathians. *Carpathian Geology*, 46, 379-382.
- Le Maitre, R.W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre, J., Le Bas, M.J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorensen, H., Strohriegel, A., Woolley, A.R., and Zanettin, B., 1989. *A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. Recommendations of the IUGS Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks*, Blackwell Scientific Publication, Trowbridge, Wilts.
- Lindline, J., Crawford, W.A., Crawford, M.L., and Omar, G.I., 2000. Post accretion

- magmatism within the Kuiu-Etolin igneous belt, southeastern Alaska. *The Canadian Mineralogist*, 38 (4), 951-974.
- Luhr, J.F., and Carmichael, I.S.E., 1980. The Colima volcanic complex, Mexico, I. post-caldera andesites from Volcan Colima. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 71, 343-372.
- Moraes, R., Fuck, R.A., Pimental, M.M., Gioia, S., and Figueiredo, A.M.G., 2003. Geochemistry and Sm-Nd isotopic characteristics of bimodal volcanic rocks of Juscelandia, Goias, Brazil: Mesoproterozoic transition from continental rift to ocean basin. *Precambrian Research*, 125, 317-336.
- Ngounouno, I., Deruelle, B., and Demaiffe, D. 2000. Petrology of the bimodal Cenozoic volcanism of the Kapsiki plateau (northernmost Cameroon, Central Africa). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 102 (1-2), 21-44.
- Okay A.I., and Siyako M. 1993. The revised location of the İzmir-Ankara Suture in the region between Balıkesir and İzmir. In: *Tectonics and Hydrocarbon Potential of Anatolia and Surrounding Regions*. S. Turgut (ed.). pp. 333-355.
- Pe-Piper, G., and Piper, D.J.W., 1989. Spatial and temporal variation in Late Cenozoic back-arc volcanic rocks, Aegean Sea Region. *Tectonophysics*, 169, 113-134.
- Pe-Piper, G. and Piper, D.J.W. 2001. Late Cenozoic post-collisional Aegean igneous rocks: Nd and Sr isotopic constraints on petrogenetic and tectonic models. *Geological Magazine*, 138, 653-668.
- Ring, U., and Collins, A.S., 2005. U-Pb SIMS dating of synkinematic granites: timing of core complex formation in the northern Anatolide belt of western Turkey. *Journal of the Geological Society*, 162, 289-298.
- Sakuyama, M., 1981. Petrological study of the Myoko and Kurohime volcanoes, Japan: crystallization sequence and evidence for magma mixing. *Igneous Petrology*, 224, 553-583.
- Seyitoğlu, G., and Scott, B., 1992. Late Cenozoic volcanic evolution of the northeastern Aegean region. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 54, 157-176.
- Seyitoğlu, G., and Scott, B.C., 1996. The cause of N-S extensional tectonics in western Turkey: Tectonic escape vs back-arc spreading vs orogenic collapse. *Journal of Geodynamics*, 22, 145-153.
- Seyitoğlu, G., Scott, B., and Rundle, C.C. 1992. Timing of Cenozoic extensional tectonics in west Turkey. *Geological Society of London*, 149, 533-538.
- Seyitoğlu, G., Anderson, D., Nowell, G., and Scott, B., 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.
- Seymour, K.S.T., and Vlassopoulos, D., 1992. Magma mixing at Nisyros volcano, as inferred from incompatible trace-element systematic. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 50, 273-299.
- Silva, M.M.V.G., Neiva, A.M.R., and Whitehouse, M.J., 2000. Geochemistry of enclaves and host granites from the Nelas area, Central Portugal. *Lithos*, 50, 153-170.
- Sözbilir, H., 2001. Extensional tectonics and the geometry of related macroscopic structures with their relations to the extensional tectonics: Field evidence from the Gediz detachment, western Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 10, 51-67.
- Sözbilir, H., 2002. Revised stratigraphy and facies analysis of Palaeocene-Eocene supra-allochthonous sediments (Denizli, SW Turkey) and their tectonic significance. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 11, 87-112.
- Stimac J.A., Pearce T.H., Donnelly-Nolan J.M., and Hearn J.R.B.C., 1990. The origin and implications of undercooled

- andesitic inclusions in rhyolites, Clear Lake volcanics, California. *Journal of Geophysical Research*, 95, 17729-17746.
- Sun, S.S., and McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes. In: A.D. Saunderson and M.J. Norry (eds.), *Magma-tism in the Ocean Basins*, Geological Society Special Publication, 42, 313-345.
- Temel, A., 2001. Post-collisional miocene alkaline volcanism in the Oğlakçı region, Turkey: Petrology and geochemistry. *International Geology Review*, 43 (7), 640-660.
- Temel, A., and Gündoğdu, M.N., 1988. Distribution and characteristics of primary sedimentary structures in borate containing sedimentary units within the Bigadiç lacustrine volcanosedimentary basin of Neogene age, NW Turkey. *METU Journal of Pure and Applied Sciences*, 21, 251-269.
- Thomson, S.N., and Ring, U., 2006. Thermochronologic evaluation of postcollision extension in the Anatolide orogen, western Turkey. *Tectonics*, 25(3) (TC3005, doi: 10.1029/2005TC001833).
- Türkiye Jeoloji Haritası-İzmir, (1:500.000), 1964. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Vernon, R.H., 1983. Restite, xenoliths and microgranitoid enclaves in granites. Clarke Memorial Lecture, *Proceedings of the Royal Society*, 116, 77-103.
- Wiebe, R.A., 1994. Silicic magma chambers as traps for basaltic magmas: the Cadillac mountain intrusive complex, Mount Desert island, Maine. *Geological Journal*, 102, 423-427.
- Wiebe, R.A., and Adams, S.D., 1997. Felsic enclave swarms in the Gouldsboro granite, Coastal Maine: a record of eruption through the roof of a silicic magma chamber. *Geological Journal*, 105, 617-627.
- Yılmaz, Y., Genç, Ş.C., Gürer, F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., Altunkaynak, Ş., and Elmas, A., 2000. When did the western Anatolian grabens begin to develop? E. Bozkurt, J.A. Winchester and J.D.A. Piper (eds.), *Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area*, Geological Society, London, Special Publications, 173, 353-384.
- Yılmaz, Y., Genç, C., Karacık, Z., and Altunkaynak, Ş., 2001. Two Contrasting magmatic associations of NW Anatolia and their tectonic significance. *Journal of Geodynamics*, 31, 243-271.

