



Eybek graniti (Biga yarımadası, KB Anadolu) üzerine: Yeni jeokimya verileri ışığında yeni bir değerlendirme

On the Eybek granite (Biga peninsula, NW Anatolia): A new evaluation in the light of new geochemical data

Ş. Can GENÇ, Şafak ALTUNKAYNAK

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 34469 Maslak, İSTANBUL

Geliş (received) : 08 Aralık (December) 2006

Kabul (accepted) : 14 Haziran (June) 2007

ÖZ

Geç Kretase – Erken Tersiyer aralığında Torid-Anatolid platformu ile Sakarya kıtasının çarpışmalarının ardından, kuzeybatı Anadolu'da gelişen yaygın bir magmatik aktivite başlıca granitik plütonlar ve andezitik volkanik kayalar üretmiştir. Biga Yarımadası'nda yüzeyleyen Eybek graniti de bu topluluklardan biridir. Eybek graniti, 26-21 My (Geç Oligosen-Erken Miyosen) yaşlıdır ve kabukta sığ derinliklere (en fazla 1.5 km) kadar yükselmiş bir plütonik gövde niteliğindedir. Granitin etrafında geniş bir kontak metamorfik zon gelişmiş olup, magma sokulum sıcaklığı 728-775°C arasındadır. Diyoritik bileşimli yarı derinlik kayaları (porfiritler) ve andezitik volkanik kayalar ile birlikte zaman, mekan ve kökende ortaklıklar sergilemekte olup, tipik bir "sub-volkanik plüton" özelliğindedir. Eybek graniti petrografik ve jeokimyasal özelliklerine göre başlıca dört tip kayadan oluşur. Bunlar; granit, granodiyorit-kuvars diyorit, monzonit-kuvars monzonit ve kataklastik granodiyoritlerdir. Bu kayaç grupları birbirleriyle tedrici geçişlidirler. Eybek graniti; metalüminyumlu, subalkalen, orta ve yüksek potasyumlu kalkalkalen özelliktedir. Geniş iyon yarıçaplı (LIL) elementler bakımından zenginleşme, Nb, Ta, P ve Ti bakımından fakirleşmeler magma gelişiminde belirgin dalma-batma kayıtlarının varlığını göstermektedir. İz ve nadir toprak elementleri içerikleri, elementler arası oranlar ve bunların birbirleriyle karşılaştırılmasıyla birlikte izotop verileri Eybek granitinin manto ve kabuk karışımı hibrid bir magma kaynağından türemiş olduğuna işaret etmektedir. Bölgenin jeolojik evrimi içerisinde, Eybek granitinin, Orta-Geç Eosen dönemindeki dilim kopması ve buna bağlı gelişen magmatizma ile KB Anadolu'da Kazdağ silsilesinin bir çekirdek kompleksi olarak yükselme evresi (~ 24 MY) arasındaki kritik bir dönemde geliştiği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Biga Yarımadası, granit, jeokimya, petrografi, petroloji.

ABSTRACT

The Tertiary magmatic activity in NW Anatolia postdates the continental collision between the Sakarya and Tauride-Anatolide continental fragments during the Late Cretaceous to Early Tertiary period. This magmatism produced mainly granitic plutons and andesitic volcanic rocks. The Eybek granite, which crops out in Biga Peninsula, is one of the representative plutons, and is Late Oligocene-Early Miocene (21-26 Ma) in age. It is an epizone granite which was emplaced into the shallow levels in the crust (~1.5 km). Eybek granite formed contact metamorphism around its periphery. Magmatic temperature is calculated as 728-775 °C. The Eybek granite shows close relationships with dioritic hypabyssal rocks and andesitic-dacitic volcanic rocks in space and time, and may be considered a "subvolcanic pluton". It is formed from four types of rocks on the basis of their petrographic, geochemical and petrological aspects; granite, granodiorite-quartz diorite, monzonite-quartz monzonite and cataclastic granodiorite. Geochemically, it is metaluminous and subalkaline in nature and has medium to high-K calc-alkaline compositions. They show enrichment in large-ion lithophile elements (LILE) and depletion in Nb, Ta, P and Ti in-

dicating a subduction zone-related magmatic signature for their origin. Trace element, REE compositions, interelement ratios and isotope data indicate collectively that the Eybek granite originated from hybrid magma(s) including mantle and crustal components. The geological evolution of NW Turkey indicates that the Eybek granite developed during a particularly critical time span between the slab beak-off event (Middle-Late Eocene) and exhumation of the Kazdağ core complex.

Key Words: *Biga Peninsula, granite, geochemistry, petrography, petrology.*

GİRİŞ

Kuzeybatı Anadolu'da Geç Kretase sonları ile Tersiyer başı zaman aralığında Neo-Tetis Okyanusu kuzey kolunun kuzeye, Sakarya kıtası altına doğru dalıp-batarak tüketilmesiyle, güneydeki Torid-Anatolid platformu ile kuzeydeki Sakarya kıtası çarpışmışlar ve aralarında, tüm kuzey Türkiye'yi kat eden İzmir-Ankara-Erzincan kenet kuşağı gelişmiştir (Şengör ve Yılmaz, 1981; Şekil 1a). Kuzeybatı Anadolu'da kenet kuşağı gelişiminin ardından, hem kenet kuşağı birimleri; hem de Sakarya kıtasına ait temel kayaları Orta Eosen yaşlı çökel kayalar (Gebeler formasyonu, Akyürek ve Soysal, 1983; Başlamış formasyonu, Akdeniz, 1980) ile uyumsuz olarak örtülmüştür. Bu stratigrafik veri, en azından kıta-kıta çarpışmasının Orta Eosen döneminden önce tamamlanmış olduğunun göstergesidir. Kıta-kıta çarpışmasının ardından, Orta Eosen'den başlayarak tüm batı Anadolu'da yaygın bir magmatik faaliyet meydana gelmiştir. Çarpışma sonrası nitelikli bu magmatik aktivite Orta Eosen döneminde kuzey alanlarda etkin olmuş iken, sırasıyla Oligosen ve Miyosen dönemleri boyunca az çok kesiksiz olarak güneye doğru gençleşerek devam etmiş ve yaygın alanlar kaplamıştır.

Orta Eosen'den Miyosen sonlarına değin etkinliğini sürdürmüş olan bu magmatik aktivite, başlıca granitik kayalar ile bunların yarı derinlik ve yüzey eşdeğeri ürünler oluşturmuştur (Şekil 1b). Birbirleriyle zaman, mekan ve kökünde ortaklıklar sergileyen bu magmatik toplulukların kökeni, tektonik anlamları ve magma kaynağı konusunda günümüzde de sürmekte olan tartışmalar vardır (Fytikas vd., 1984; Yılmaz, 1989; Seyitoğlu vd., 1997; Okay ve Satır, 2000; Delaloye ve Bingöl, 2000; Aldanmaz vd., 2000; Yılmaz vd., 2001).

Biga Yarımadası ve/veya Batı Anadolu'nun Tersiyer magmatizmasının jeolojik-petrolojik nitelikleri üzerinde pek çok çalışma mevcut iken, Eybek graniti üzerine yapılmış analitik veri ağırlıklı

ve ayrıntılı güncel çalışmalar eksiktir. Çok eski haritalar ve raporlar bir yana bırakılırsa, Eybek granitini konu alan çalışmalar başlıca üç grup altında toplanabilir: a) doğrudan Eybek granitini konu alan çalışmalar (Aslaner, 1965; Ayan, 1979), b) Kuzeybatı Anadolu, Biga Yarımadası ve/veya batı Anadolu Tersiyer-Neojen magmatizmasını konu alıp, Eybek granitine de değinen çalışmalar (Bürküt, 1966; Krushensky, 1976; Bingöl vd., 1982; Ercan ve Türkecan, 1984; Ercan vd., 1984; Delaloye ve Bingöl, 2000), c) Biga Yarımadası'ndaki cevherleşmeler, dolayısıyla Eybek granitini de inceleyen çalışmalar (Murakami vd., 2005). Bu çalışmalardan önemli olanları aşağıda kronolojik sırayla özetlenmiştir.

Aslaner (1965)'in Edremit-Havran yörelerini kapsayan çalışma alanı Eybek granitini de içine almaktadır. Yazar; Eybek granitinin Kazdağ masifi kayalarının içine sokulmuş olduğunu, iç kısımlarda homojen, kenar zonlarda kalk-alkalin granitik ve kuvars diyoritik bir yapı gösterdiğini belirterek, granitik gövde içerisinde biyotit-amfibollü ve iki mikalı granitik kayaların varlığını ortaya koymuştur. Bu çalışma kapsamında Aslaner (1965), Eybek granitinden az sayıda ana element jeokimya analizi de yapmıştır. Bu araştırmacı Eybek granitinin yaşını Üst Triyas öncesi olarak vermiştir. Bürküt (1966), Eybek granitini ojit ve biyotitli granodiyorit olarak tanımlamaktadır. Bürküt (1966), birimden az sayıda ana element jeokimya analizi ile birlikte bir örnekten de radyometrik yaş tayini yapmış ve granitin yaşını 35.9 ± 2 My (K-Ar, biyotit) olarak belirlemiştir. Krushensky (1976), Eybek granitinin bir kesimini haritalamış ve petrografik-jeokimyasal özellikleri ile birlikte radyometrik yaşını da araştırmıştır. Yazar birimi granodiyorit, kuvars monzonit olarak tanımlamış ve az sayıda ana element jeokimya analizi yapmıştır. Elde ettiği radyometrik yaş verilerine göre birimin yaşını 23.5 ± 0.6 (K-Ar, biyotit)- 24.2 ± 0.9 My (K-Ar, hornblend) olarak belirlemiştir. Ayrıca graniti kesen pegmatit damarlarının birinden de 22.9 ± 0.6 My (K-Ar) yaş elde etmiştir. Bu araştırmacı, Ey-

bek granitinin çevresinde 20-450 m'ye ulaşan genişliklerde kontak metamorfizma oluşturduğunu ve metamorfizma koşullarının plütonun kenarındaki 5 m kalınlıktaki yersel bir zonda piroksen hornfels fasiyesi koşullarına ulaştığını göstermiştir. Ayan (1979), Eybek granitinin biyotit, ortoklaz ve iki adet tüm kayaç örneği üzerinde 23.9 ± 1.2 ile 30.5 ± 2.2 My (K-Ar) arasında değişen radyometrik yaşlar elde etmiştir. Araştırmacı ayrıca, granitik magmanın eski çevre kayaçları özümlediğini ve granitinin hibrid kökenli olduğunu öne sürmüştür. Bingöl vd. (1982) batı ve KB Anadolu genelinde yapmış oldukları bir çalışma kapsamında, Eybek granitinden de analizler yapmışlar ve birimin KB Anadolu'daki ortaç potasyum değerli seriye ait I-tipi granit özelliğinde olduğunu belirterek, köken olarak kuzey yönlü bir dalma-batma olayını öngörmüşlerdir. Ercan ve Türkecan (1984) ile Ercan vd. (1984)'nin çalışmalarında Eybek granitinin kısa bir petrografik tanımı yapılarak, birim genellikle granodiyorit, yer yer de kuvars monzonit ve hornblendli granit olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca Eybek granitinin kalkalkalen nitelikte olduğu ve kalınlaşmış kıta kabuğunun ergimesinden türediği görüşü öne sürülmektedir. Delaloye ve Bingöl (2000)'ün geniş ölçekli çalışmasında Eybek granitinden de 3 adet örnek derlenerek bunlar üzerinde jeokimyasal analizler ve radyometrik yaş tayinleri yapılmıştır. Bu çalışmada Eybek granitinin yitim ile ilişkili bir plüton olduğu ve yaşının da 26.6 ± 0.8 ile 21.1 ± 0.4 My (K-Ar, biyotit ve hornblend) arasında değiştiği belirtilmiştir. Eybek graniti üzerinde yapılmış en güncel ve kapsamlı çalışmalar, Tepeoba köyü (Edremit KD'su) civarındaki bir Cu-Mo-Au cevherleşmesi kapsamında MTA ile Japon jeologların birlikte yaptığı çalışmalardır. Ancak bu çalışmalar çoğunlukla ya ulaşılabilen araştırma raporları halinde veya bildiri özetleri, ya da kısa ve öz makaleler şeklindedir (Murakami vd., 2005). Bu çalışmalarda cevher üzerinde sülfür ve Re-Os izotop çalışmaları, sıvı kapanım çalışmaları, granitler üzerinde de jeokimyasal analizler, K-Ar yaş tayinleri, Sr izotop çalışmaları yapılmıştır. Bu araştırmacıların yayınlarında izotop analizlerinin sayısal değerleri verilmemekte ancak, Eybek graniti için K-Ar yaş verileri sunulmaktadır (flogopit: 23.8 ± 1.2 – 23.8 ± 1.4 ; muskovit: 22.8 ± 1.4 – 24.6 ± 1.4 ; biyotit: 20.3 ± 1.0 – 21.4 ± 1.2 ; ortoz: 34.7 ± 2.0 My). Bu çalışmaların sonuçlarına göre Eybek granite içerisinde granodiyoritik bir ana gövde ve çeperde de yersel

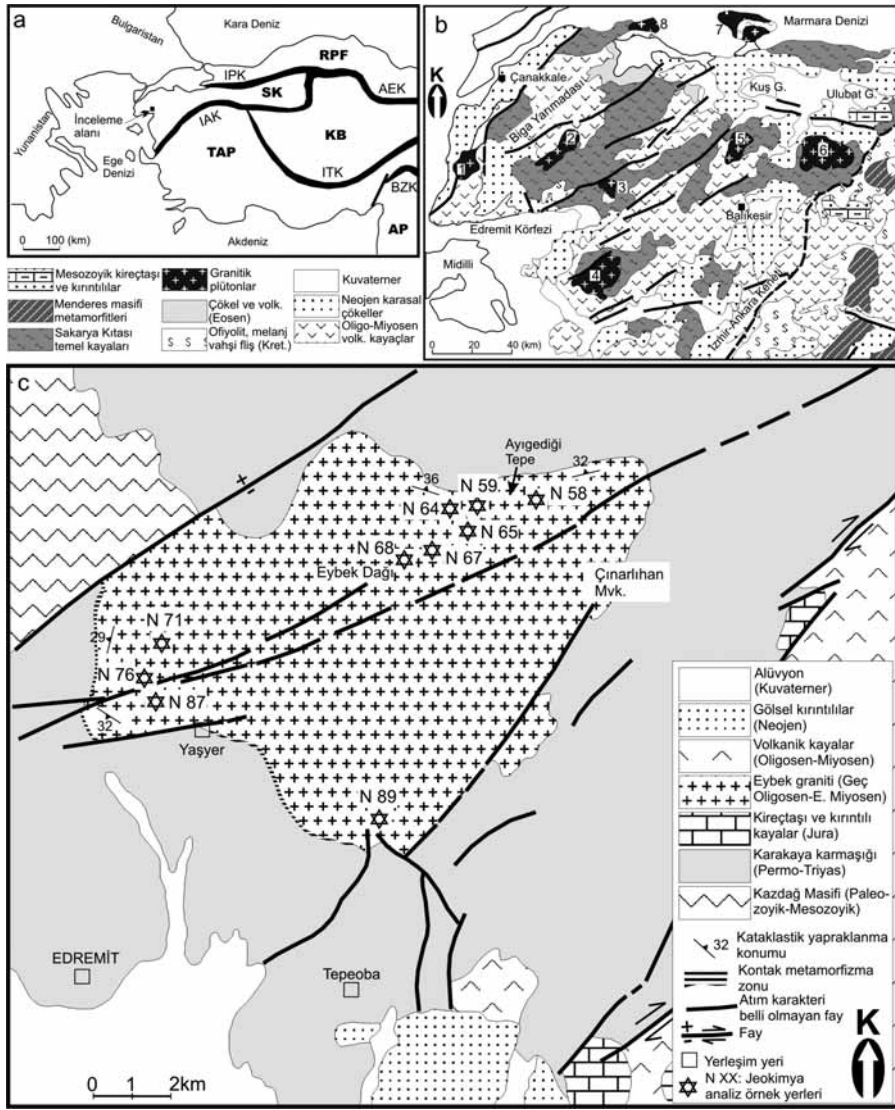
olarak gözlenen granitler yer almaktadır. Granodiyoritik kesim kalkalkalen, I-tipi özelliktedir. Granitler ise S-tipi özellikler sergilemektedir. Sr izotop çalışmalarına göre granitinin gelişimi, granodiyoritlerin yöredeki metapelitik kayaçları özümsemesi şeklinde açıklanmaktadır. Çalışmanın diğer bir önemli bulgusu, plajiklas-hornblend jeobarometresine göre Eybek plütonunun yaklaşık 7.5 km derinlerde ve 2 kb basınç altında kristallendiğidir.

Bu çalışmada; Eybek granitinin petrografik özellikleri araştırılmış ve birimden tüm kaya jeokimya analizleri ile izotop analizleri yapılmıştır. Elde edilen saha ve laboratuvar verileri, daha önce iletilen görüş ve modellerle karşılaştırılarak tartışılmış ve tüm bu veri esas alınarak, bulgu ve tartışmaların ışığında magma gelişimi, magmatizmanın tektonik ortamı ve kaynak alan özellikleri konuları aydınlatılmaya çalışılmıştır.

JEOLJİK KONUM

Eybek graniti KB Anadolu'da Kazdağları'nın D-GD uzanımında yer alan Kazdağ masifinin dış metamorfik örtüsü (Karakaya karmaşığı; Bingöl vd., 1973a; Okay vd., 1991) içerisine sokulmuş olup, yaklaşık 90 km²'lik bir alan kaplar (Şekil 1c). Dokanak zonlarında kalınlığı yer yer 100-150 m'yi bulan granat, epidot, tremolit, volla-tonit, ve idokrazlı skarn zonu gelişmiştir. Buna göre, Eybek granitinin yöre kayaları içerisine intrü-zif olarak yerleşmiş olduğu açıktır.

Eybek graniti içerisinde petrografik olarak birbirinden farklı 4 kayaç grubu ayırdedilmiştir. Bunlardan ilk 3 tip, kayaçların modal mineralojik bileşimlerine göre, 4. tip ise tamamen dokusal özelliklere göre ayırdedilmiştir. İlk 3 grupta yer alan granit (Tip 1), kuvars monzonit (Tip 2) ve granodiyoritler (Tip 3) arasında sahada gözle ayırdedilebilir keskin sınırlar mevcut olmayıp, aksine farklı kayaç grupları arasındaki ilişkiler dereceli geçişlidir. Tip 4 olarak tanımlanmış olan kayaçlar granit gövdesinin kenar zonlarında yer alırlar ve kataklastik yapraklanma-yönelme sergilemektedirler. Bu tip kayaçlar özellikle güney alanlarda Yaşyer köyü dolaylarında, kuzeyde de Ayıgediği tepe civarında tipik olarak görülmektedir. Eybek granitinin KB ve GD dokanakları faylıdır (Şekil 1c, d). Granitik kayaçlar ile metamorfik yöre kayaları arasında, dokanağın birincil olduğu kesimlerde, granit içerisinde irili ufaklı metamorfik anklavlar bulunur. Metamorfik

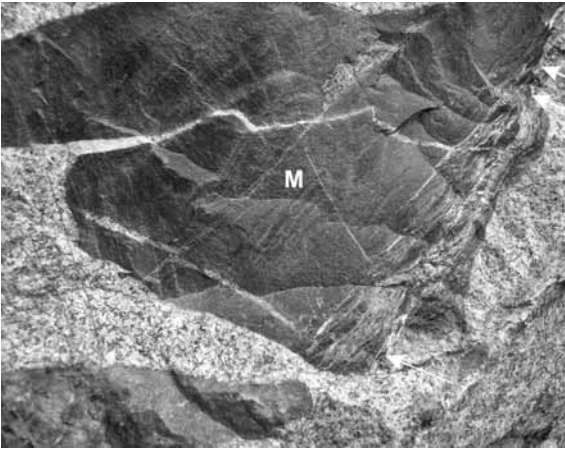


Şekil 1: (a) İnceleme alanının yer bulduru haritası (IPK: İç Pontid keneti, IAK: İzmir-Ankara keneti, AEK: Ankara-Erzincan keneti, BZK: Bitlis-Zagros keneti, ITK: İç Torid keneti, RPF: Rodop-Pontid fragmanı, SK: Sakarya kıtası, TAP: Torid-Anatolide platformu, KB: Kırşehir bloku, AP: Arap platformu), (b) Biga Yarımadası'nda Tersiyer yaşlı granitik ve volkanik toplulukların dağılımını gösteren sadeleştirilmiş jeoloji haritası (1: Ezine-Kestanbol plutonu, 2: Evciler plütönu, 3: Eybek graniti, 4: Kozak plütönu, 5: Ilıca-Şamlı plutonu, 6: Çataldağ plütönu, 7: Kapıdağ plutonları, 8: Karabiga-Şevketiye plutonu) (Genç, 1998'den değiştirilerek alınmıştır), (c) Eybek graniti ve yakın çevresinin jeoloji haritası (Aslaner, 1965; Bingöl vd., 1973b; Okay vd., 1991; Okay ve Satır, 2000'den derlenmiş ve değiştirilmiştir), (d) harita üzerindeki A-A' doğrultusu boyunca jeoloji enine kesiti.

Figure 1 (a) Location map of the study area (IPK: Intra-Pontide suture, IAK: İzmir-Ankara suture, AEK: Ankara-Erzincan suture, BZK: Bitlis-Zagros suture, ITK: Inner Toride suture, RPF: Rodop-Pontid fragment, SK: Sakarya continent, TAP: Toride-Anatolide platform, KB: Kırşehir block, AP: Arabian platform), (b) simplified geology map of the Biga Peninsula, showing the areal distribution of the Tertiary aged granitic and volcanic associations (1: Ezine-Kestanbol pluton, 2: Evciler pluton, 3: Eybek granite, 4: Kozak pluton, 5: Ilıca-Şamlı pluton, 6: Çataldağ pluton, 7: Kapıdağ plutons, 8: Karabiga-Şevketiye pluton) (modified after Genç, 1998), (c) geological map of the Eybek granite and surroundings (Compiled and revised after Aslaner, 1965; Bingöl vd., 1973b; Okay et al., 1991; Okay and Satır, 2000), (d) geological cross section along the A-A' line.

anklavlar hemen her tip granitik kayaç içerisinde bulunabilmekteyse de, plütonik gövdenin kenar zonlarında yaygınlaşmaktadır. Bazı metamorfik anklavların içinde bulunduğu plütonik kayaç ile sınırlarında reaksiyon dokuları gelişmiştir (Şekil 2). Bu özellik, metamorfik anklavların plüton tarafından yer yer özümsemiğini göstermektedir. Eybek granitinin değişik kayaç türleri içinde (Tip 1-4) gözlenen diğer bir anklav türü, mikrogranüler dokulu mafik magmatik anklavlardır. Bunlar, mafik minerallerce zengin, koyu renkli, ince taneli kuvars diyorit ve diyorit bileşimlidirler ve bu özellikleri bakımından Didier ve Barbarin (1991)'in "mafik mikrogranüler magmatik anklav" tanımına uyarlar. Anklavlar genellikle yuvarlak, granitin birincil kenar zonlarında ise uzalmış, lensoidal şekillidirler (Şekil 3). Uzalma yönü granit-yöre kaya dokunağına paraleldir.

Eybek graniti, diyorit-kuvars diyorit bileşimli dayk ve damar kayaçları ile sıkça kesilmektedir. Bunların bazıları tipik sin-plütonik dayklar niteliğindedir. Bu dayklar yanal yönde devamlı olmayıp, kırıklı ve parçalıdır. Koyu renkli dayk malzemesinin parçalanıp kırıldığı kesimler daha açık renkli granitik malzeme ile doldurulmuştur. Bu nedenle sin-plütonik dayklar granit içinde köşeli, aynı yönde dizilmiş ve irili ufaklı çok sayıda anklav kümeleri halinde izlenir. Ayrıca granit,



Şekil 2. Eybek graniti içerisindeki bir metamorfik kayaç anklavı (M) ve bu anklavın kenarları boyunca izlenen tepkime ve özümseme dokuları (ok ile işaretlenmiştir).

Figure 2. Reaction and digestion textures (marked with arrow) along the margins of a metamorphic enclave (M) embedded in the Eybek granite.



Şekil 3. Eybek granitinde uzalmış, lensoid şekilli mafik mikrogranüler magmatik anklav (MME).

Figure 3. Lensoidal shaped and elongated mafic microgranular magmatic enclave (MME) in the Eybek granite.

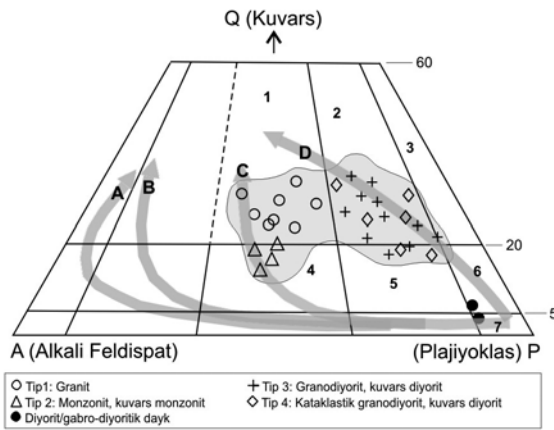
kalınlıkları 1-5 m'yi bulan diyoritik bileşimli porfiri damarlarıyla da kesilmektedir. Bu tür porfiri damarlarının metamorfik temel kayalarını ve breşik granit zonlarını kestiği yerlerde, Tepeoba örneğinde olduğu gibi, molibden ve bakır cevherleşmeleri gelişmiştir.

Eybek graniti kenar zonlarına yakın kesimlerinde sıkça aplitik, seyrek olarak da pegmatitik damarlarla kesilmektedir. Bu damarlar ayrıca metamorfik yöre kayalarını da kesmekte olup, yer yer kataklastik deformasyona uğramışlardır.

PETROGRAFIK ÖZELLİKLER

Eybek granitinin petrografik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla birimden 46 örnek derlenmiş ve bunlardan en taze olan 31'i üzerinde petrografik analizler gerçekleştirilmiştir. Petrografik çalışmalar sonucunda, birim içerisinde birbirinden farklı 4 tip kayaç grubunun varlığı saptanmış olup, bunlar; Tip 1: granit, Tip 2: kuvars monzonit, Tip 3: granodiyorit, ve Tip 4: kataklastik granodiyorit olarak ayırt edilmiştir. Her bir kayaç grubunun modal mineralojik bileşimleri Çizelge 1'de verilmiş ve Şekil 4'deki QAP diyagramında gösterilmiştir.

Granit grubu kayaçlar (Tip 1), yaygınca felsik, az oranda mafik mineral içermeleriyle tanıtmanlardır (Çizelge 1) ve genellikle holokristalen hipidiyomorfik granüler dokuya sahiptirler. Ayrıca bazı örneklerde grafik dokuya da rastlanmıştır.



Şekil 4. Eybek granitinin modal mineralojik bileşimine göre Q-A-P diyagramında (Streckeisen, 1967) sınıflandırılması (1: granit (monzo-granit), 2: granodiyorit, 3: tonalit, 4: kuvars monzonit, 5: kuvars monzo diyorit / kuvars monzo gabro, 6: kuvars diyorit / kuvars gabro, 7: diyorit / gabro; gri oklar Lameyre ve Bonin (1991)'e göre ana plütonik kayaç serileri gidişlerini göstermektedir. A: güçlü alkalin gidişi, B: zayıf alkalin gidişi, C: monzonitik gidişi, D: kalkalkalen gidişi).

Figure 4. Classification of the Eybek granite according to its modal mineralogical composition (Streckeisen, 1967) (1: granite (monzo-granite), 2: granodiorite, 3: tonalite, 4: quartz monzonite, 5: quartz monzo diorite / quartz monzo gabbro, 6: quartz diorite / quartz gabbro, 7: diorite / gabbro; gray arrows indicate the main trends of plutonic rock series. A: strongly alkaline, B: mildly alkaline, C: monzonitic, D: calc-alkaline).

Çizelge 1. Eybek granitinden temsilci örneklerin modal mineral bileşimleri.

Table 1. Representative modal mineralogical composition of the Eybek granite.

Örnek	Tip 1		Tip 2		Tip 3				Tip 4				Dayk						
	N 65	N 64	N 66	N 59	N 58	N 67	N 68	N 69	N 73	N 72	N 87	N 71	N 76	N 88	N 70	N 53	N 89	N 77	N 46
Kuvars	30	35	30	12	11	16	15	15	25	18	18	23	17	18	22	25	7	4	41
Plajjoklas	40	40	28	34	33	48	45	47	43	42	52	41	45	42	36	38	46	54	37
Alkali Feldispat	15	15	40	36	31	10	12	16	9	8	7	8	9	9	13	13	3	6	18
Hornblend				10	14	14	13	10	14	16	14	15	16	14	11	12	17	16	1
Biyotit	10	7		5	6	7	10	8	8	9	6	9	10	6	8	10	15	9	3
Diyopsit/Ojit				1	3		2			4		eser			1		8	10	
Sfen	3	2	1	1		3	1	2		1	1	2	1	2	2	eser	eser	eser	
Apatit							eser	eser	eser	eser		eser	1	eser	eser	1	eser	eser	
Zirkon							eser	eser	eser			eser		eser		eser			
Opak min.	2	1		2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	3	2	1	3	1	eser
Rutil		eser								eser		eser							
Serisit*			eser		eser	eser	eser	eser			eser		1	2eser		eser			
Klorit*		eser	eser	1	eser	eser	eser	eser			eser		3	2	1				
Muskovit*			1											1	1	eser			

* işaretli olanlar alterasyon ile gelişmişlerdir. N 89 ve N 77 no.lu örnekler diyorit/gabro-diyorit, N 46 örneği ise aplitik dayklara aittir

* indicates the alteration minerals. N 89 and N 77 are the diorite/gabbro-dioritic dikes, and N 46 is the aplitic dike.

Plajjoklaslar (An_{23-30}) genellikle zonlanmasız ve ikizlidir. Alkali feldispatlar karsbad ikizli ve peritik ortoz ile temsil edilir. Kuvarlar ya özşekilsiz taneler halinde bulunur veya diğer minerallerin aralarındaki hacimleri doldurmaktadır. Mafik minerallerden egemen olan biyotitlerdir. Bunlar kısa-prizmatik ve levhamsı taneler şeklindedir. Bazı örneklerde seyrek olarak küçük hornblend kristallerine de rastlanmıştır. Sfen ve opak mineraller tüm oranlarda aksesuar mineralleri olarak bulunurlar.

Kuvars monzonit bileşimli kayaç grubunda (Tip 2) ana mineraller alkali feldispat ve plajjoklastır (Çizelge 1). Bu kayaç grubu, Eybek graniti genelindeki tüm diğer kayalardan daha iri tanelidir. Özellikle plajjoklas ve alkali feldispatlar iri kristaller halinde bulunurlar. Plajjoklaslar genellikle oligoklas ve az oranda da andezin (An_{26-34}) bileşimlidir. Ortoz türü ile temsil olunan alkali feldispatlar çoğunlukla poikilitik dokulu ve peritik özelliktedir. Kuvarlar neredeyse tamamıyla iri ortoz ve plajjoklasların aralarını doldurmaktadır. Kuvars monzonitik kayaçların mafik mineralleri hornblend, biyotit ve diyopsit/ojit türü klinopiroksendir. Bunlara aksesuar mineralleri olarak sfen, apatit, opak mineraller ve zirkon eşlik etmektedir. Grup genelinde gözlenen ana doku tipi holokristalen hipidiyomorfik-ksenomorfik granüler dokudur.

Granodiyorit grubu adı altında genelleştirilen kayaçlar (Tip 3) aslında granit-granodiyorit, kuvars diyorit türü kayaçları kapsamaktadır. Bu grup kayaçlar hornblend ve biyotitin fazlaca ge-

lişim gösterdiği, nadiren klinopiroksenli, zonlu plajiyoklas kristallerine sahip kayaçlardan oluşur. Kimi zonlanmasız ve albit ikizli kristallerin (010) yüzeylerinde yapılan sönme açısı ölçümlerine göre plajiyoklaslar An_{12-32} arasında değişen bileşimlerdedir. Bazı örneklerde farklı evrelerde gelişmiş plajiyoklas kristalleri belirlenmiştir. Bunlardan erken evrede kristallenmiş olanlar kısmen korozyona uğratılmış olup, daha sonra gelişmiş olan plajiyoklas ve/veya alkali feldispatların içinde kapantı halinde yer almaktadır. Tip 3 kayaçları genellikle holokristalen hipidiyomorfik granüler dokuludurlar ve aksesuar mineralleri olarak sfen, zirkon, apatit ve opak mineraller içerirler.

Eybek granitinde petrografik incelemelere göre ayırt edilen son kayaç grubu kataklastik granitlerdir (Tip 4). Tip 4 kayaçları, diğer grup kayaçlardan farklı olarak bileşimden bağımsız, sadece dokusal niteliklere bağlı olarak ayırt edilmiştir. Bu gruba dahil olan kayaçlar zayıfça yönlü/yapraklanmalı kayaçlardan başlayarak, nispeten ileri derecelerde kataklastik granitlere değin uzanır. Zayıf dereceli kataklastik kayaçlar granit gövdesinin kuzey dokanağı boyunca, daha ileri dereceli kataklastik kayaçlar da G-GB dokanak boyunca görülür.

Düşük dereceli kataklastik granitik kayaçlar Higgins (1971) sınıflamasına göre "kataklasit" olarak tanımlanmıştır. Kataklasitlerde gözlenen ana petrografik özellik tanelerdeki mekanik etkilidir. Bunlar kuvars kristallerinde uzalma, kırılma-ezilme-ufalanma ile birlikte kristaller arasında dantel şekilli girift sınırlar, plajiyoklas ve alkali feldispatlarda kristal kenarlarında ezilme ve kırılmalar ile mika ve hornblend kristallerinde uzalma yönünde birbirine paralel dizilmeler şeklinde kendini göstermektedir. Zayıf dereceli kataklastik kayaçlarda gözlenen diğer unsurlar, plajiyoklas kristalleri ile alkali feldispatlar arasında mirmekit gelişimleri ve mafik minerallerde kloritleşmeler, mikalarda bükülmelerdir.

Zayıf dereceli kataklastik kayaçlara göre daha ileri dereceli kataklastik granitik kayaçlar "protomilonit" (Higgins, 1971) olarak tanımlanmıştır. Protomilonitlerde mekanik etkiler egemendir ve buna az oranda yeni mineral gelişimi eşlik etmektedir. Protomilonitlerin ana özellikleri S/C foliasyonlarının gelişimi, plajiyoklas porfiroklastları çevresinde yeni jenerasyon kuvars kristallenmesi ile muskovit ve klorit gelişimidir. Bu ka-

yaçlarda alkali feldispat ve plajiyoklaslar ile az oranda da kuvarslar iri porfiroklastlar halinde olup, ezilmiş-ufalanmış kuvarso-feldispatik matriks ile kuşatılmışlardır. Porfiroklastları kuşatan matriks tümüyle yönlenmiştir. Kayaçların birincil biyotitleri ile yeni gelişmiş olan muskovit türü mikaları da matrikse paralel olarak dizilmişler ve porfiroklastları kuşatır konum kazanmışlardır. Kuvarslarda ezilme ve kırılmalar, mekanik uzalmalar, dalgalı sönme örnekleri ve mikalarda bükülmeler ile kink bantlaşmaları diğer ana özelliklerdendir.

JEOKİMYASAL ÖZELLİKLER

Eybek granitinden derlenen örneklerin arasından tüm gövdeyi temsil edebilecek nitelikte 10 adet taze örnek seçilerek analiz edilmişlerdir. Bu örneklerden 9 tanesi granitik kayaçlardan, 1'i de graniti kesen diyorit bileşimli bir damardan alınmıştır. Ayrıca jeokimyasal analizi yapılan bir örnek üzerinde Sr ve Nd izotop analizleri de gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir.

Yöntem

Jeokimyasal analizleri yapılacak olan örnekler önce İTÜ Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü Mineral Hazırlama Laboratuvarı'nda öğütülerek toz haline getirilmişlerdir. Daha sonra analiz edilmek üzere ACME Laboratuvarına (Kanada) toz halinde gönderilmiş ve ACME Laboratuvarının belirlediği 4A ve 4B gruplarının (ana, iz ve nadir toprak elementleri) analiz edilmesi istenmiştir.

4A paketinde ana elementler ICP-ES (Jarrel Ash Atomcomp Model 975) ile iz ve nadir toprak elementleri ise (4B paketi) ICP-MS (Perkin Elmer Elan 6100 ICP-Mass Spectrometer) ile yapılmıştır. 4A paketi için, 0.2 g örnek 1.5 g Li-BO₂ ile karıştırılmış ve bu karışım "kül fırınında" 15 dakika süre ile 1050°C de ısıtılmıştır. Erimiş karışım hemen alınarak 100 ml % 5'lik HNO₃ içerisine dökülmüştür. Elde edilen çözelti daha sonra 2 saat kadar titreşime tabii tutulmuş ve sonra polipropilen deney tüplerine konulmuştur.

Hazırlanan çözeltiler ICP ES (Jarrel Ash Atomcomp Model 975) de buharlaştırılarak ana element oksitleri ve bazı iz elementlerin (Ba, Ni, Sr, Sc, Y ve Zr) okunması sağlanmıştır. Ayrıca ateşte kayıp için de 1 g'lık örnekler üzerinde işlem yapılmıştır. Analizler sırasında onaylanmış

Çizelge 2. Eybek granitinden derlenen temsilci örneklerin jeokimya analiz sonuçları ($t\text{Fe}_2\text{O}_3$: toplam demiroksit).
 Table 2. Representative geochemical data for the Eybek granite ($t\text{Fe}_2\text{O}_3$: total iron).

Örnek	Tip 1		Tip 2		Tip 3		Tip 4		Dayk	
	64	65	58	59	67	68	71	76	87	89
SiO ₂	54.25	61.65	74.14	73.24	60.28	62.05	62.03	61.08	60.31	50.21
TiO ₂	0.81	0.46	0.16	0.16	0.74	0.67	0.6	0.65	0.67	0.78
Al ₂ O ₃	15.4	18.62	13.11	13.6	16.16	15.79	16.21	16.88	16.64	13.29
Fe ₂ O ₃	8.09	4.57	1.43	1.2	5.97	5.82	5.91	6.16	6.57	8.35
MnO	0.2	0.06	0.01	0.01	0.1	0.1	0.11	0.11	0.12	0.13
MgO	5.49	1.96	0.39	0.38	2.95	2.74	2.54	2.54	2.78	9.42
CaO	7.24	5.21	1.5	1.62	5.65	5.25	5.82	6.05	6.37	8.85
Na ₂ O	2.51	4.13	2.31	2.41	3.46	3.36	3.76	3.92	3.87	2.72
K ₂ O	4.6	2.64	6.16	5.91	3.37	3.28	1.99	1.83	1.95	1.6
P ₂ O ₅	0.26	0.13	0.03	0.02	0.24	0.21	0.14	0.16	0.14	0.25
A.Z.	0.7	0.7	0.5	1.2	0.8	0.5	0.7	0.3	0.4	4.1
TOPLAM	99.55	100.1	99.74	99.75	99.72	99.77	99.81	99.68	99.82	99.7
A.S.I.	0.99	1.02	0.69	0.97	0.82	0.84	0.85	0.86	0.83	0.59
Mg#	34.92	38.77	57.34	45.89	49.43	48.27	45.97	44.99	45.63	69.09
Sc	22	9	2	2	14	12	14	14	14	28
Cr	191.59	13.69	6.16	6.16	20.53	20.53	6.16	6.84	13.69	444.76
V	152	77	25	20	125	111	120	138	142	186
Ni	20	6.6	2.7	2.3	5.9	6.1	2.7	2.8	2.6	79.6
Co	26.5	11.4	2.7	2.6	16	14.7	14.1	14.5	15.8	34.8
Cu	17.2	7.4	8	12	8.4	86.8	9.5	9.1	12.5	3.4
Zn	35	27	11	10	24	30	33	38	33	20
Ga	17.5	19	12.1	11.6	17.6	17.4	17.2	17.5	20.8	14.9
Rb	194.3	105.6	190.5	186	113.4	114.4	59.3	55.4	65.7	100.8
Sr	552.9	789.5	485.3	504.8	736	636.5	554.8	529.6	587.8	733.7
Y	39.2	15.9	9.8	8.8	26.3	20.2	27.5	26.7	28.7	25.5
Zr	160.2	148.7	146.4	122	160.5	184.6	183.2	227.8	147.1	125.7
Nb	14.3	9.9	4.1	4	14.7	12.5	6.8	5.9	7.1	7.9
Cs	4.7	4.1	5.6	5.4	4	4.9	1.7	1.9	3.6	3.3
Ba	858	653	1174	1139	1291	1081	896	894	787	841
La	42.6	32.2	110.3	94.8	56.8	49.7	22.7	28.7	30.4	51.7
Ce	92	58.7	174.5	142.4	101.5	84.1	46.9	50.6	55.1	91.1
Pr	11.15	6.12	16.07	13.33	11.5	9.62	5.67	6	6.33	10.84
Nd	45.6	22.6	48.2	38.8	43.3	31.5	20.9	22.5	27	42.9
Sm	9.3	4.2	5.4	4.4	7.6	5.5	4.7	4.5	5.4	8.1
Eu	1.69	1.28	0.75	0.82	1.73	1.47	1.14	1.24	1.34	1.86
Gd	7.71	2.96	2.8	2.33	5.76	4.31	4.41	4.75	5.18	5.48
Tb	1.29	0.54	0.37	0.3	0.84	0.6	0.76	0.77	0.74	0.83
Dy	6.38	2.63	1.75	1.4	4.61	3.68	4.32	4.76	4.71	4.5
Ho	1.29	0.48	0.29	0.28	0.87	0.66	0.91	0.87	0.89	0.84
Er	3.44	1.32	1.03	0.87	2.5	2.07	2.74	2.52	2.95	2.26
Tm	0.54	0.23	0.16	0.16	0.38	0.33	0.46	0.42	0.4	0.35
Yb	3.53	1.61	1.06	0.93	2.57	1.99	3.08	2.93	2.9	2.26
Lu	0.49	0.24	0.2	0.15	0.38	0.33	0.44	0.47	0.46	0.31
Hf	4.6	4.2	5.1	4.3	5	5.1	4.8	5.7	4.3	3
Ta	0.8	0.8	0.6	0.5	1.2	0.9	0.5	0.4	0.5	0.5
Pb	5.4	4.1	4.8	4.5	1.9	3.2	2.8	2.1	1.8	3.5
Th	16.6	22.1	93.4	100.5	17.1	32.3	10.1	12.7	10.9	20.3
U	3.7	8.2	14.5	16.2	5.8	7.3	3.1	2.6	3.3	3.5
La _n /Lu _n	57.29	65.62	9.03	13.94	15.53	15.64	5.36	6.34	6.86	17.32
Eu/Eu*	0.59	0.78	0.61	1.11	0.8	0.92	0.77	0.82	0.77	0.85
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr					0.70731					
¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd					0.51245					

referans gereçleri de analize tabi tutulmuş ve bunlardan elde edilen sonuçlar gerçek değerleri ile karşılaştırılarak analizlerin doğruluk ve hassaslık dereceleri test edilmiştir. Gerekli görüldüğü durumlarda analizler tekrarlanmıştır. Referans malzemeleri arasında ACME Laboratuvarı'nın rutin olarak kullandığı CANMET SY-4, STD SO-17 gibi malzemelerin yanı sıra, yazarların isteği doğrultusunda USGS standartlarından W-2, AGV-1, GSP-2, BCR-2'de analiz edilerek daha sağlıklı sonuçların elde edilmesi sağlanmıştır.

Nadir toprak elementleri (REE) analizleri için örnek hazırlanma işlemleri yukarıda belirtilen yöntemlerle, ancak ICP-MS (Perkin Elmer Elan 6100 ICP-Mass Spectrometer de; Grup 4B) yapılmıştır. REE analizlerinde Ba, Co, Cs, Ga, Hf, Nb, Rb, Sn, Sr, Ta, Th, Tl, U, V, W, Y, Zr, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb ve Lu elementleri analiz edilmişlerdir. 0.5 gramlık ikinci bir örnek grubu ise Aqua Regia içerisinde çözündürülmüş ve yine ICP-MS ile analiz edilerek Au, Ag, As, Bi, Cd, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Tl ve Zn element değerleri saptanmıştır. ICP-MS analizlerinde de yine yukarıda belirtilen USGS standartları yazarların kendi örnekleriyle birlikte analiz edilmiştir.

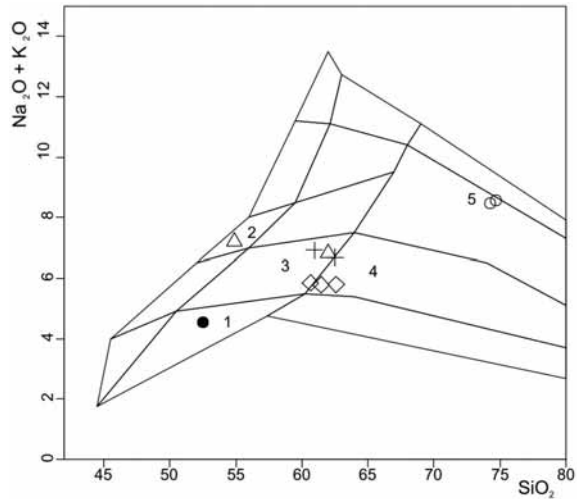
Eybek granitinden sadece bir örneğin izotop analizinin yapılması sebebiyle, analiz yöntemi ayrıca verilmemiştir (izotop analiz yöntemi hakkında gerekli bilgiler <http://www.uni-tuebingen.de/geo/fg/index.html> web adresinden temin edilebilir).

Jeokimya Verileri ve Değerlendirme

Sınıflama ve Ana Element Oksitleri Özellikleri

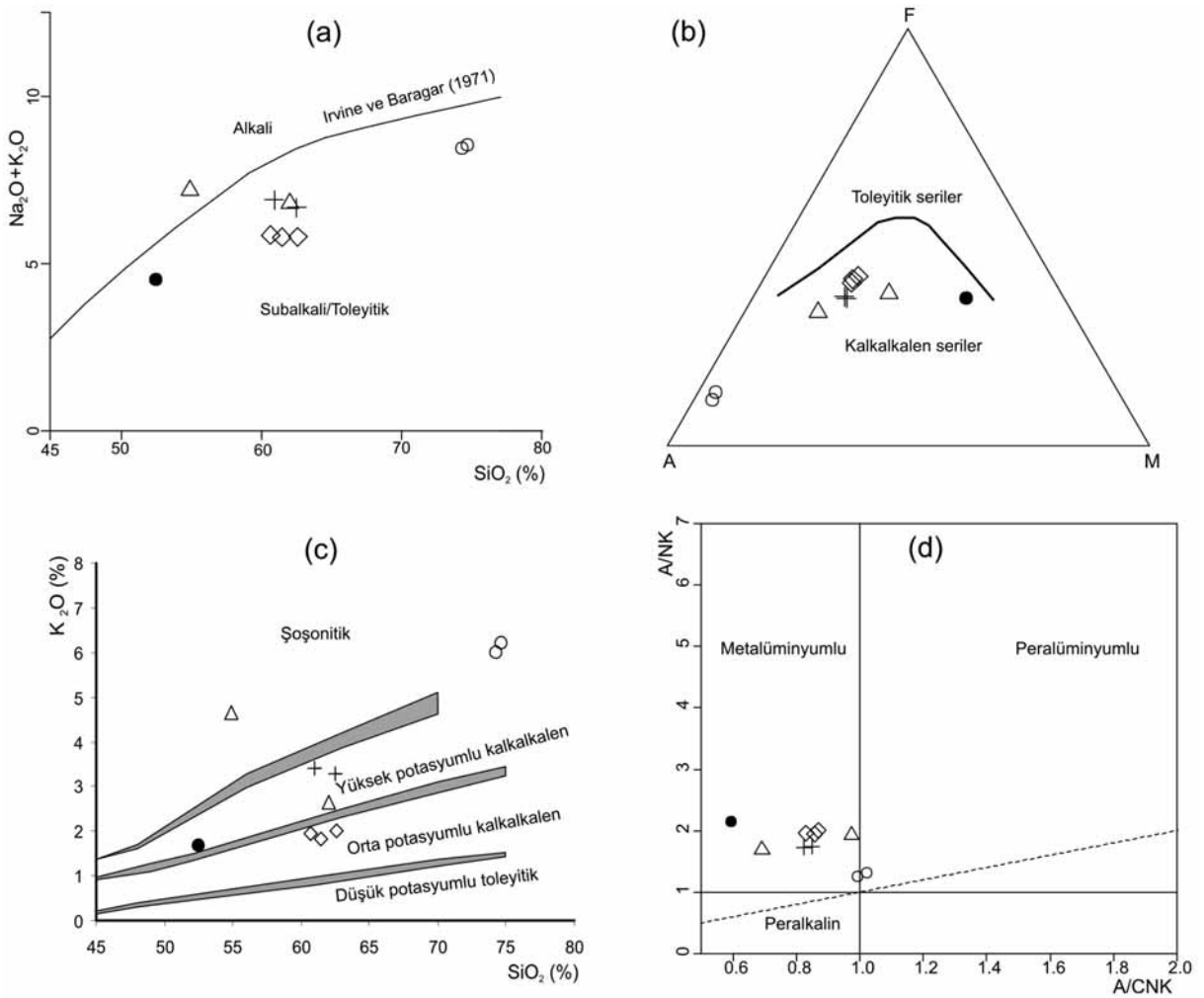
Eybek granitinde SiO_2 değerleri 54.88 ile 74.71 (%) arasında değişmekle birlikte, çoğu 60-62 (%) arasında, bir adet dayk örneği de 52.52 (%) değerine sahiptir (Çizelge 2). Middlemost (1994)'un toplam alkalilere karşı silika (TAS) diyagramında örnekler kuvars diyorit, kuvars monzodiyorit, granodiyorit, kuvars monzonit ve monzonit olarak sınıflandırılmıştır. (Şekil 5). Eybek graniti örnekleri birisi dışında tümüyle subalkali özelliktedir ve tipik bir kalkalkalen özellik sergiler (Şekil 6a, b). K_2O ile SiO_2 arasındaki ilişkiye göre örnekler orta ve yüksek potasyumlu olarak ayrılırlar (Şekil 6c). Örneklerin kalkalkalen özelliği petrografik sonuçlarla da destek-

lenmektedir. Nitekim, QAP diyagramı (bkz. Şekil 4) üzerinde Lameyre ve Bonin (1991) tarafından önerilen başlıca plütonik kayaç serilerinin gidişleri de gösterilmiş, Eybek granitinin bu serilerden kalkalkalen seriler ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Eybek graniti Şekil 6d'de verilen Shand (1943) indeksinde metalüminyumlu olarak sınıflandırılır. Örneklerin bu nitelikleri ASI indeksi ile de desteklenmektedir [ASI, alüminyum doygunluk indeksi = $\text{Molar Al}_2\text{O}_3 / (\text{CaO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$; $\text{ASI} > 1$, ise peralüminyumlu, < 1 metalüminyumlu] (bkz. Çizelge 2). Debon ve Le Fort (1983) tarafından önerilen, A-B parametrelerinin kullanıldığı diyagramda (Şekil 7) Eybek graniti örnekleri aşağıdaki başlıca nitelikleri sergilemektedir: örneklerin tümü metalüminyumlu bölgede yer almakta ve "IV" ile "V" bölgeleri arasındaki sınır boyunca uzanan bir gidiş izlemektedirler (Şekil 7). Debon ve Le Fort (1983)'a göre, A-B diyagramının metalüminus bölgesinde yer alan granitik kayaç grupları mafik mineral olarak hemen her zaman hornblend ve biyotit içermekte, bazen de bunlara klinopiroksenler ile birincil magmatik epidotlar eşlik etmektedir. Bu mineralojik bileşim Eybek granitinin bileşimi ile



Şekil 5. Eybek granitinin toplam alkalilere karşı silika (TAS) diyagramında (Middlemost, 1994) sınıflandırılması (1: kuvars diyorit, 2: monzonit, 3: kuvars monzodiyorit, 4: granodiyorit, 5: granit) (Simgeler Şekil 4'deki gibidir).

Figure 5. Classification of the Eybek granite on the total alkali versus silica (TAS) diagram (Middlemost, 1994) (1: quartz diorite, 2: monzonite, 3: quartz monzodiorite, 4: granodiorite, 5: granite) (Symbols are the same as in Figure 4).



Şekil 6. Eybek granitinin (a) $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 'ya karşı SiO_2 diyagramında, (b) AFM diyagramında (Irvine and Baragar, 1971), (c) K_2O 'ya karşı SiO_2 diyagramında (Rickwood, 1989) ve (d) A/CNK'ya karşı A/NK diyagramında (Shand, 1943) sınıflandırılması (Simgeler Şekil 4 ile aynıdır).

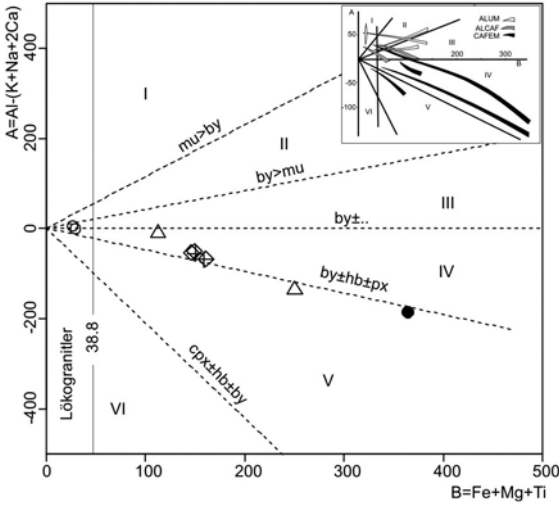
Figure 6. Classification of the Eybek granite (a) on the $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ versus SiO_2 diagram, (b) on the AFM diagram (Irvine and Baragar, 1971), (c) on the K_2O versus SiO_2 diagram (Rickwood, 1989), and (d) on the A/CNK versus A/NK diagram (Shand, 1943) (Symbols are the same as in Figure 4).

uygundur. A-B diyagramında (Şekil 7) metalüminyumlu bölgede çizilmiş olan ve IV ile V alanlarını birbirinden ayıran çizgi hornblend + biyotit ($\text{hb} \pm \text{by}$) içeren topluluklar ile klinopiroksen + hornblend ($\text{cpx} \pm \text{hb}$) içeren toplulukları birbirinden ayırmaktadır. Bu diyagramda Eybek granitinin konumu incelendiğinde, örneklerin (1 dayk ile 1 granit örneği dışında) tümünün $\text{hb} \pm \text{by}$ toplulukları alanında kümelendiği görülür. Tüm bu çıkarımlara göre Eybek granitinin kafemik ve metalüminyumlu tipte olduğu sonucu elde edilir.

Debon ve Le Fort (1983)'a göre; kafemik granit serileri ya sadece manto, ya da daha yaygın olarak manto bileşeninin baskın olduğu, kabuk

ve manto karışımı hibrid magma kaynağından türemektedir. Kimyasal ve mineralojik bileşimlerden türetilen verilere göre Eybek graniti de böyle hibrid bir kaynaktan kökenlenmiş olmalıdır. Bu sonuç, aşağıdaki paragraflarda iz, nadir toprak elementleri (REE) ve izotop verileri ışığında ayrıca tartışılmıştır.

Ana element oksitlerinin SiO_2 'e karşı davranışlarına bakıldığında, CaO , MgO , TiO_2 , P_2O_5 , Fe_2O_3 ve magnezyum numarasının ($\text{Mg\#} = \text{molar } 100 \times \text{MgO} / [\text{MgO} + \text{tFe}_2\text{O}_3]$) artan SiO_2 ile düzenli bir şekilde azaldığı, Na_2O ve K_2O 'da düzensiz bir dağılım ile Al_2O_3 'da ise % 62 SiO_2 değerine kadar artış ve buradan sonra bir azalma



Şekil 7. Eybek granitinin B-A diyagramında (Debon ve Le Fort, 1983) sınıflandırılması (Simgeler Şekil 4 ile aynıdır. I, II ve III numaralı alanlar peralüminyumlu, IV, V ve VI no'lu alanlar ise metalüminyumlu bölgelere karşılık gelmektedir. mu: muskovit, by: biyotit, hb: hornblend, cpx: klinopiroksen, px: piroksen, ALUM: alüminyumlu, ALCAF: alümino-kafemik, CAFEM: kafemik topluluklar).

Figure 7. Classification of the Eybek granite on B-A diagram of Debon and Le Fort's (1983) diagram (Symbols are the same as in Figure 4. I, II and III fields represent the peraluminous, and IV, V and VI fields display the metaluminous domains. mu: muscovite, by: biotite, hb: hornblende, cpx: clinopyroxene, px: pyroxene; ALUM: aluminous, ALCAF: aluminocafemic, CAFEM: cafemic association)

eğilimi gözlenir (Şekil 8). Harker diyagramlarında gözlenen bu özellikler, genel olarak, analizi yapılan kayaçların ortak bir kökene sahip olduklarını ve farklı bileşimdeki kayaçların oluşumunda fraksiyonel kristallenmenin de rol oynadığına işaret etmektedir.

Eybek graniti örneklerinde MgO içeriği tipik granitik kayaçlardan (Tip 1) kuvars diyoritik örneklerle (Tip 3 ve 4) ve diyoritik dayk örneğine doğru dereceli olarak artar. Buna bağlı olarak, magnezyum numarası da (Mg#) 35 ile 69 arasında değişim gösterir. 69'a ulaşan Mg# değeri graniti kesen dayk kayacına aittir. Bu örnek hariç tutulduğunda, magnezyum numarası değerlerinin 35 ile 45 arasında olduğu (sadece 58 no'lu Tip 2 kayacında 57 değerine ulaşmaktadır) görülmektedir. Bu değerlere göre, Eybek granitini oluşturan

magmanın ileri derecede evrimleşmiş bir kaynaktan türemiş olduğu sonucu çıkarılabilir.

İz ve Nadir Toprak Elementlerinin (REE) Dağılımı

Eybek granitinin iz element içerikleri MORB ve kondrite normalize edilmiş diyagramlar üzerinde incelenmiştir (Şekil 9 ve 10). Normal tip okyanus ortası sırt bazaltlarına (N-OOSB) normalize edilmiş örümcek diyagramlarına bakıldığında, göze çarpan ana özellikler; belirgin bir LIL element (K, Rb, Ba, Th, U, vd.) zenginleşmesi, Nb, P ve Ti elementlerinde belirgin negatif anomaliler ile REE'lerde tüketilmelerdir (bkz. Şekil 9). Değişik tip kayaçlar için iz element dağılımları ayrı ayrı irdelendiklerinde, gerek pozitif gerekse negatif anomalilerde Tip 1 kayaçlarının (granit örnekleri) diğerlerine göre daha şiddetli pikler verdikleri görülür.

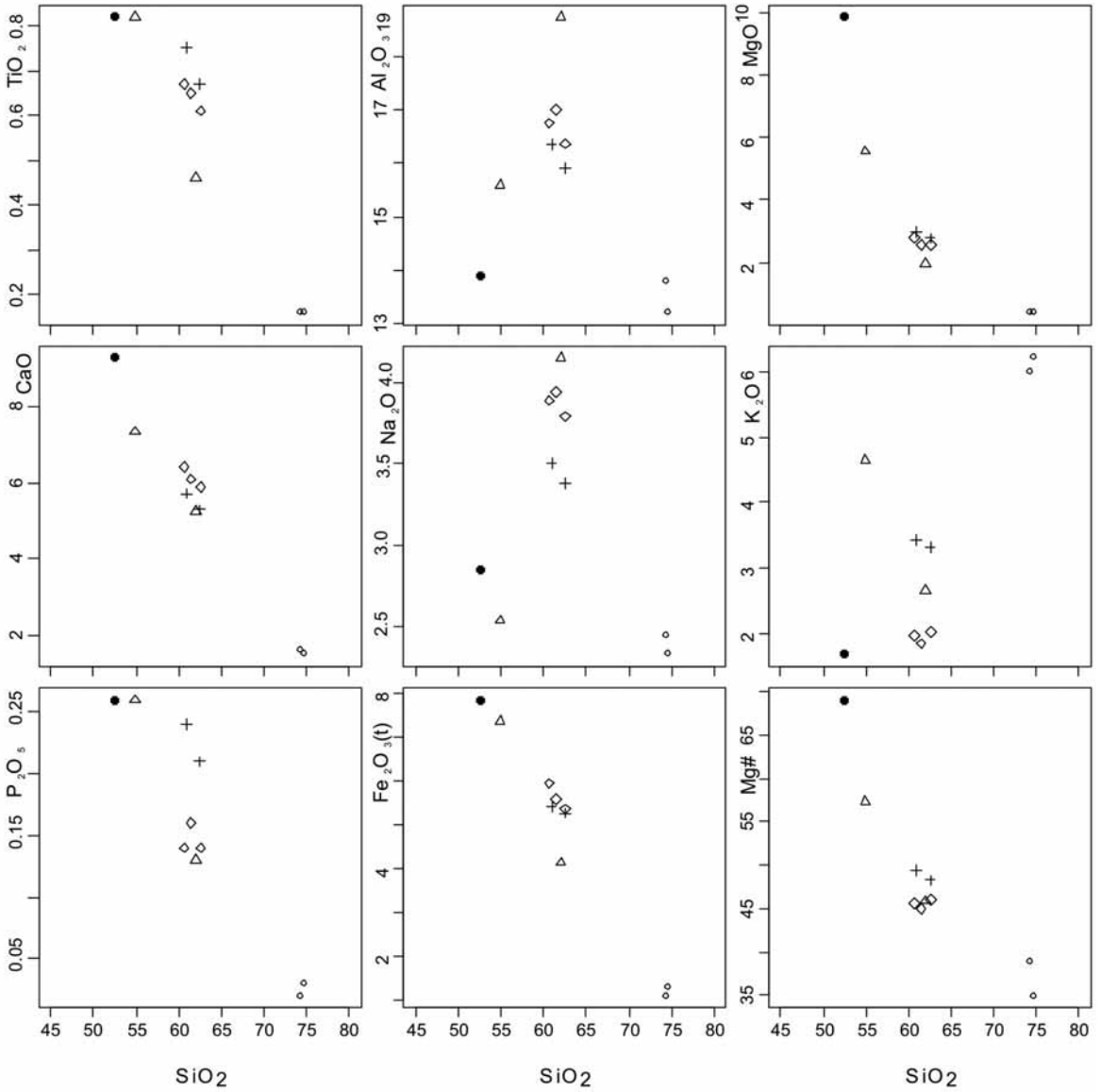
Eybek granitinin toplam REE içeriği 131 ile 362 ppm arasında değişim göstermektedir. Bunların C1 türü kondrite normalize edilmiş örümcek diyagramındaki dağılımları irdelendiğinde, aşağıdaki başlıca karakteristiklere sahip oldukları anlaşılmaktadır. LREE'lerde belirgin, ancak kayaç tiplerine göre değişken bir zenginleşme vardır. Bu nedenle, La_n/Lu_n oranları 5.36 ile 65.62 arasında değişim (ortalama olarak= 21.28'dir). Kayaç tiplerine göre bu oranlar Çizelge 2'de verilmiştir. Bu değerlerden anlaşılacağı gibi, kuvars diyoritik-granodiyoritik kayaçlardan (5.36-15.53) granitlere doğru bu oran giderek artar ve Tip 1 kayaçlarında en büyük değerlere ulaşır (57.29-65.62). Kondrite normalize edilmiş örümcek diyagramında gözlenen bir diğer unsur, MREE'lerde belirgin bir tüketilmenin varlığıdır. HREE'lerde ise, MREE'lere oranda bir miktar zenginleşme söz konusudur (bkz. Şekil 10). Bunun sonucu olarak, Tip 2'ye ait 58 no'lu örnek hariç, yukarı doğru konveks, kaşık şekilli bir desen gözlenir. Böyle bir desenin genellikle amfibol ayrılaşmasının sonucunda geliştiği bilinmektedir. Şekil 10'dan çıkarılabilecek diğer bir sonuç, Eybek graniti örneklerinde az çok negatif bir Eu anomalisinin varlığıdır. Bilindiği üzere, bir kayaçta Eu anomalisinin varlığı Eu/Eu^* oranı ile ($= Eu_n / (Sm_n + Gd_n)^{0.5}$) tanımlanmaktadır. Bu oran 1 değerinden büyükse pozitif, küçükse negatif bir anomaliden söz edilir. Eybek graniti örneklerinde bu değerler: Tip 1 (granit) için 0.59-0.78, Tip 2 (kuvars monzonit) 0.61-1.11, Tip 3 (granodiyorit) 0.80-0.92, Tip 4 (kataklastik granodiyorit) 0.77-0.82 ve graniti kesen dayk için de 0.85 düzeyindedir. Bu değerlere göre, Eu ba-

kımından genellikle orta derecede negatif anomalinin varlığından söz edilebilir. Bu negatif anomali plajiyoklas ayrılaşmasına işaret etmektedir. Tip 2 serisinden bir örnekte (örnek 59) ise zayıf bir pozitif Eu anomalisi (1.11) vardır.

İzotop Verileri

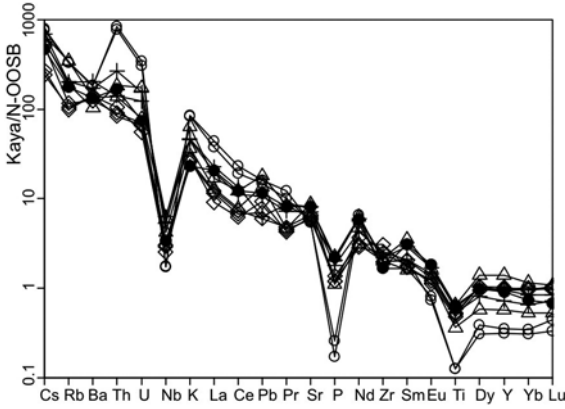
Bu çalışmada sadece bir örnek üzerinde (Tip 3-granodiyorit; örnek 67) Sr ve Nd izotop analizi yapılmış olup, literatürde de Eybek granitine ilişkin başka izotop verisine rastlanmamıştır. Bu neden-

le, sadece belirtilen örneğin izotop değeri hakkında bilgi verilmiş ve değerlendirme yapılmıştır. Örnek 67'de ölçülmüş $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranı 0.707313, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ oranı ise 0.512453'dür. Ölçülen bu izotop değerleri, birimden elde edilen radyometrik yaşların (Krushensky, 1976; Delaloye ve Bingöl, 2000) ortalaması olan 23.3 My'a göre hesaplanarak ilksel izotop oranları $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}=0.707165$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(i)}=0.512437$ ve $\epsilon\text{Nd}_{(T; 23.3)}=-3.3$ olarak bulunmuştur. Negatif ϵNd değerleri Eybek granitini oluşturan magmanın zenginleşmiş manto veya manto ile kabuk kö-



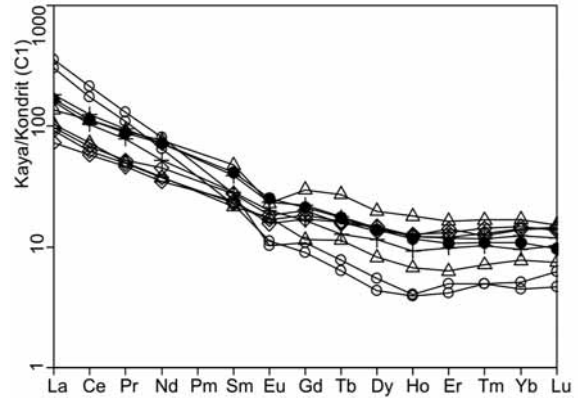
Şekil 8. Eybek graniti ana element oksitlerinin SiO_2 ile değişimlerini gösterir Harker tipi diyagramlar (Simgeler Şekil 4 ile aynıdır).

Figure 8. Major oxides variations diagrams against the SiO_2 for the Eybek granite (Symbols are the same as in Figure 4).



Şekil 9. Eybek graniti için N-OOSB'a (normal tip okyanus ortası sırt bazaltı) normalize edilmiş çoklu element dağılım örnekleri (Normalleştirme değerleri Sun ve McDonough, 1989'dan alınmıştır. Simgeler Şekil 4'deki gibidir).

Figure 9. N-MORB normalized multi-element patterns for the Eybek granite (Normalizing values are after Sun and McDonough, 1989. Symbols are the same as in Figure 4).



Şekil 10. Eybek granitinde Kondrite göre normalize edilmiş nadir toprak elementleri dağılım örnekleri (Normalleştirme değerleri Boynton, 1984'den alınmıştır. Simgeler Şekil 4'deki gibidir).

Figure 10. Chondrite normalized REE patterns for the Eybek granite (Normalizing values are after Boynton, 1984. Symbols are the same as in Figure 4).

kenli hibrid bir kaynaktan türemiş olduğuna işaret etmektedir (Wilson, 1989; Rollinson, 1993).

Yerleşme ve Sıcaklık Koşulları

Saha jeolojisi ve petrografik çalışmalar ile Eybek granitinin kabukta sığ derinliklere yerleşmiş (epizonal) bir magmatik gövde olduğu sonucuna varılmıştır. Bunu destekleyen başlıca veriler aşağıda sunulmuştur.

a) Eybek graniti kendisiyle yaşıt ve bileşim olarak da benzer volkanik kayalarla birliktelik göstermektedir (Altunkaynak ve Yılmaz, 1998; Genç, 1998).

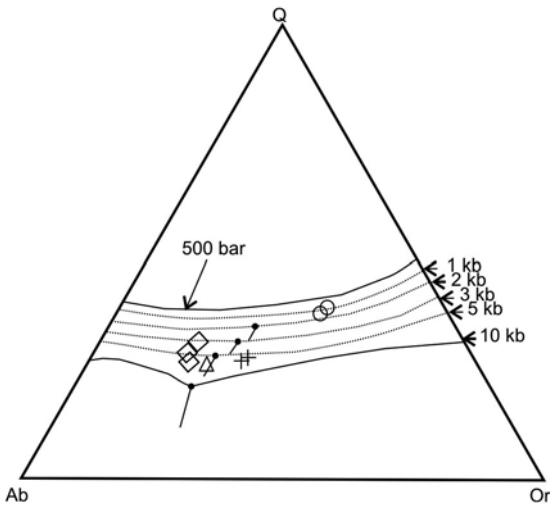
b) Granit, yaş ve bileşimce kendisiyle benzer porfiri damarları ile yer yer kesilmektedir. Bu porfiri damarları bazı alanlarda, birimin üstünde yer alan volkanik seri içerisinde sonlanmakta ve onlarla yanar geçişler göstermektedir (Genç vd., 2004).

c) Granitin kenar zonlarında genişliği yer yer 100-150 m'ye ulaşabilen kontak metamorfizma ve skarn zonu gelişmiştir (bkz. Şekil 1c).

d) Eybek granitine komşu alanlarda yapılan jeokimyasal-petrolojik çalışmalarda (Yılmaz vd., 2001; Altunkaynak ve Yılmaz, 1998; Genç, 1998) yaşları kabaca 24-20 My olan volkanik kayalar ile granitlerin aynı kökenden türemiş oldukları belirtilmektedir.

Bu verilere göre; Eybek graniti kabukta sığ derinliklere yerleşmiş, bir kesimi hipabisal porfiri tip kayaları oluşturmuş, bir kesimi de yüzeye ulaşarak volkanik istifi meydana getirmiştir. Dolayısıyla Eybek graniti "sub-volkanik plüton"lar kategorisine dahildir. Eybek granitinin dokusal özellikleri de bu sonucu destekler niteliktedir. Çünkü granit gövdesi içerisinde (a) derinde ve yavaş soğuma ile katılan hipidiyomorfik granüler dokulu kesimler ve (b) kabukta sığ derinliklerde ve hızlı soğuma sonucu katılan grafik, granofirik ve mikrogranüler porfirik dokulu kesimler mevcuttur.

Eybek granitinden alınan bazı örneklerde kayanın ana bileşenlerini oluşturan kuvars, plajiyoklas ve alkali feldispat oranları hemen hemen birbirine eşit görünmekte ve bunların toplamı % 80'i aşmaktadır. Ko-ötektik kristallenmeyi düşündüren bu veri, petrografik incelemelerde görülen grafik-granofirik dokuların varlığı ile desteklenmektedir. Bu tür örneklerin Tuttle ve Bowen (1958)'in Q-Or-Ab üçgen diyagramında üçlü en küçük kristallenme (ternary minimum) noktasının yakınında yer alması (Şekil 11), kabukta sığ derinliklerde (0.5 kb) ko-ötektik bir kristallenmeyi göstermektedir. Q-Or-Ab diyagramında Tuttle ve Bowen (1958)'in önerdiği farklı P_{H_2O} eğrileri eklenmiş, sonuçta Eybek granitine ait bazı örneklerin önemsiz sapmalar dışında,



Şekil 11. Eybek graniti örneklerinin Tuttle ve Bowen (1958)'in Q-Ab-Or-(H₂O) sistemindeki yeri (Simgeler Şekil 4 ile aynıdır).

Figure 11. Q-Ab-Or-(H₂O) triangle diagram (Tuttle and Bowen, 1958) for the Eybek granite (Symbols are the same as in Figure 4).

0.5 kb (1.5 km) koşullarına kadar yükselip kristallendikleri anlaşılmıştır. Bu veri, Eybek granitinin evrimine epizonda, derinlerde başlayıp, subvolkanik derinliklere kadar yükselmiş olduğunu göstermektedir. Petrografik-mineralojik özelliklerden hareketle elde edilen bu sonuç Murakami vd. (2005)'nin plajjoklas-hornblend jeobarometre hesaplamaları ile elde ettikleri, yaklaşık 2 kb basınç ve 7.5 km derinlik değerleriyle de uyum içerisindedir.

Eybek granitinde Zr içeriği, 122 ile 227 ppm arasında değişmektedir (bkz. Çizelge 2). Örneklerin bazılarında zirkon mineralinin aksesuar minerali olarak bulunduğu da petrografik çalışmalar ile belirlenmiştir. Watson ve Harrison (1983) ile Watson (1996)'a göre, granitik kayalarda kayacın bulk zirkon içeriğinden hareketle, soku- lüm yapan magmanın sahip olabileceği en yüksek sıcaklık koşulu hesaplanabilmektedir. Bu araştırmacıların önerdikleri formüllere göre hesaplamalar yapılarak, Eybek granitinin en yüksek sokulum sıcaklığının genellikle 728 ile 775° C arasında değiştiği belirlenmiştir.

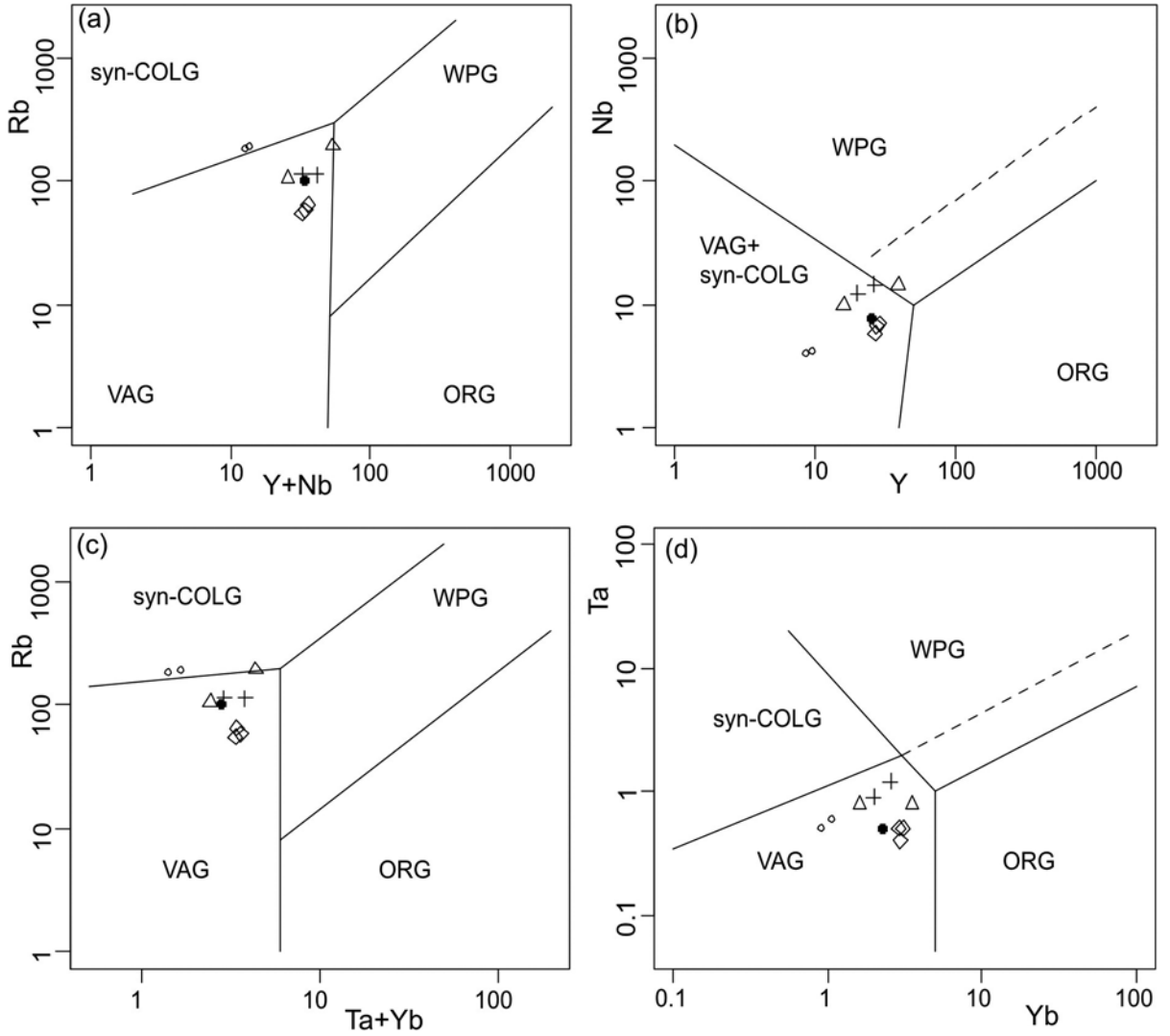
VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA

Eybek graniti ve bu granitin bir parçası olduğu KB Anadolu genç magmatizması üzerindeki en

önemli tartışmalar; magmanın kaynak alanı, magma gelişimini denetleyen tektonik ortam ve magmanın zaman içindeki evrimi konularında yoğunlaşmaktadır. Bu tartışmalara ve magmatizmanın özellikleri üzerinde öne sürülen değişik model ve görüşlere değinmeden önce, sadece jeokimyasal verilerden hareketle Eybek granitinin tektonik ortamının ne olabileceği sorusu irdelenmiştir. Jeokimya temeline dayalı çalışmalarda bu amaçla, analiz sonuçları tektonik ayırım diyagramları olarak bilinen ve magma gelişim ortamları hakkında ön fikirler ve yaklaşımlar sağlayabilen birkaç diyagrama izdüşürülmekte, buradan elde edilen sonuçlar yorumlanmaktadır. Buna paralel olarak, Eybek graniti örnekleri de bir dizi tektono-magmatik ayırım diyagramına uygulanmış ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Pearce vd. (1984) tarafından granitik kayaların tektonik ortamlarını ayırt etmek için önerilen bir dizi diyagramda (Şekil 12) Eybek graniti örnekleri volkanik yay granitleri ve çarpışma ile yaşit granitler olarak sınıflandırılmaktadır. Benzeri sonuçlar Batchelor ve Bowden (1985) ile Wood (1980)'un önerdikleri diyagramlarda da görülür (burada ayrıca gösterilmemiştir). Dolayısıyla sadece bu tip tektono-magmatik ayırım diyagramlarına bakıldığında, Eybek graniti yay graniti olarak değerlendirilebilir. Nitekim geçmişte bazı araştırmacılar (örneğin; Fytikas vd., 1984; Delaloye ve Bingöl, 2000) bu görüşü savunmuşlardır. Gerçekten bu görüşü kuvvetlendiren jeokimyasal bulgular sadece örneklerin bir dizi tektono-magmatik ayırım diyagramlarında yay graniti olarak sınıflandırılması değildir. Örneğin, Eybek graniti örneklerinin tümünde önemli bir LILE zenginleşmesi ile çarpıcı bir negatif Nb anomalisi (ve negatif P ile Ti anomalileri; bkz. Şekil 9) bu düşüncüyü destekleyen jeokimyasal bulgulardır. Ancak bu veriler, doğrudan Eybek granitinin yay graniti olarak tanımlanabilmesi için yeterli değildir. Zira, yay granitleri ile çarpışma ile ilgili granitik topluluklar jeokimyasal olarak birbirlerinden çok zor ayrılmakta, bazen da ayrılmamaktadır (örneğin, Pearce vd., 1984).

Eybek graniti örneklerinde Pb içerikleri 1.8-5.4 arasındadır. Tüm kayaç tiplerinin genel Pb ortalaması ise 3.41 ppm'dir. Bu değerler, ilksel mantolarda (P-MORB), normal MORB, zenginleşmiş MORB, okyanus adası bazaltları (PM: 0.185, N-MORB: 0.30; E-MORB: 0.60; OIB: 3.20; Sun ve McDonough, 1989) ve kıtasal kabuk değerleri (üst kabuk: 17-18, Shaw vd.,



Şekil 12. Eybek granitinin tektonik ortam ayrımı için iz element ayrım diyagramları: (a) Rb - Y+Nb, (b) Nb - Y, (c) Rb - Ta+Yb ve (d) Ta - Yb diyagramları (Pearce vd., 1984) (Simgeler Şekil 4'dekiler ile aynıdır).

Figure 12. Trace element discrimination diagrams for the Eybek granite: (a) Rb vs Y+Nb, (b) Nb vs Y, (c) Rb vs Ta+Yb and (d) Ta vs Yb diagrams (Pearce et al., 1984) (Symbols are the same as in Figure 4).

1994; Rudnick ve Gao, 2004; orta kabuk: 15-15.3, Gao vd., 1998; Rudnick ve Fountain, 1995; Rudnick ve Gao, 2004; alt kıtasal kabuk: 3.3-6.0, Rudnick ve Taylor, 1987; Shaw vd., 1994; Rudnick ve Fountain, 1995; Taylor ve McLennan, 1985, 1995) ile karşılaştırıldığında, örneklerin Pb içeriklerinin OIB ve alt kıtasal kabuk ile uyum içinde olduğu görülmektedir. Örneklerin Ce içerikleri 46.9 – 174.5 ppm arasında değişmekte olup, ortalama olarak da 89.7 ppm'dir. Bu değerler Rudnick ve Gao (2004) tarafından önerilen alt kıta kabuğu (20-21 ppm), orta kabuk (53 ppm) ve üst kıtasal kabuk ortalama değerinden (63 ppm) de yüksektir. Birimin

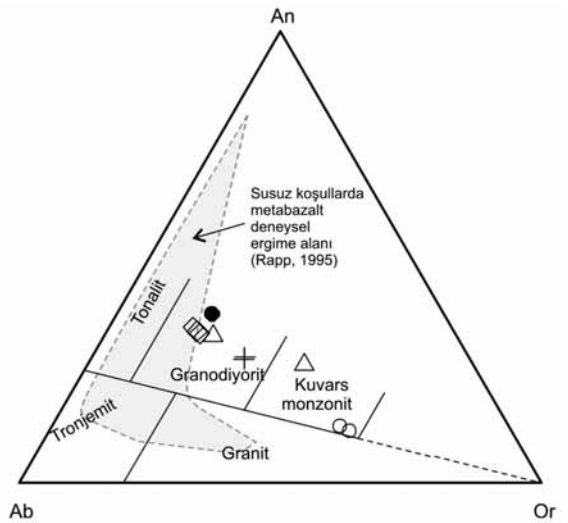
genelinde Ce/Pb oranları ortalama olarak 26.3 ppm'dir. Literatürde MORB için verilen Ce/Pb oranları 25'dir (Hart and Gaetani, 2006). Ayrıntıda bu değerler BSE (Bulk Silicatic Earth): 11, N-MORB: 24.1, EM1: 20.5±0.4, EM2: 20.9±1.4 ve HIMU: 32.1±2.0 olarak verilmektedir (Hofmann, 2006; Hofmann vd., 1986; Hart ve Gaetani, 2006). Önerilen bu değerler gözetildiğinde, Eybek graniti örneklerinin BSE değerinin üzerinde ve N-MORB ile benzer olduğunu görülmektedir. Benzer şekilde, örneklerin Nd/Pb oranları ortalaması 11.07'dir ve bu değer N-MORB ortalaması (23), BSE değeri (8.3), OIB ortalaması (15), üst genel kıtasal kabuk değer-

leri (1.6 – 3.6) ile karşılaştırıldığında, daha çok BSE değeri üzerinde ve N-MORB ve OIB ile benzer olduğu görülür. Pb, Nd ve Ce içerikleri ve elemental oranları birlikte değerlendirildiğinde, Eybek granitinin ne tamamen MORB (veya OIB), ne de kıta kabuğuna benzediği sonucuna ulaşılmaktadır. Bu sonuç da magmanın her iki kaynaktan kökenlenmiş hibrid nitelikli olabileceği görüşünü güçlendirmektedir. Bu durum, Eybek granitinin izotop içeriğinden de anlaşılabilir. Çünkü elde edilen ilksel Sr ve Nd değerleri sırasıyla $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}=0.707165$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(i)}=0.512437$ (ve $\hat{\text{A}}\text{Nd}(T: 23.3)=-3.3$)'dır. Bu değerler, Batı Anadolu tüketilmiş manto değerleri (Kula; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.70321-0.70317$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.513023-0.513068$; Gülen, 1990) ve KB Anadolu'da üst kıtasal kabuk değerleri ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.71320-0.71910$; Bingöl, 1971) veya literatürden derlenmiş kıta kabuğu ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.71730-0.71730$ - $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.51218$; Plank ve Langmuir, 1998) değerleri ve tüketilmiş manto verileri ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.70274-0.70311$ - $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.5130-0.5131$; Saunders vd., 1988) ile karşılaştırıldığında, Eybek granitinin izotop değerlerinin manto ve kabuk değerleri arasında yer aldığı görülür. Bu da magma gelişiminde tekdüze ve/veya homojen bir kaynaktan çok, manto ve kabuk bileşenleri içeren hibrid bir magmatizmanın varlığına işaret ediyor olmalıdır. Nitekim, Aldanmaz vd. (2000) batı Anadolu'da Eybek graniti ile aynı dönemde gelişen volkanik kayaların yaklaşık %10-50 oranında kabuk malzemesi içerdiğini petrolojik modellerle ortaya koymuşlardır.

Eybek graniti gerek mineralojik, gerekse jeokimyasal karakteri bakımından I-Tipi granitlerle yakın benzerlikler gösterir. Örneklerin metalüminyumlu karakteri, magmanın kıtasal kökenli ve peralüminyumlu sedimanter bir protolitin ergimesinden türemediğini açıkça ortaya koymaktadır. Bu durumda, magma kaynağı olarak metalüminyum karakterli bir manto veya aynı karakterde magmatik (volkanik veya plütonik) kaynağın aranması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Şekil 13'de gösterilen normatif bileşenlerine göre Eybek graniti örneklerinin susuz metabazalt veya amfibolit ergimesinden (alt kıtasal kabuk) türemiş olmadığı görülmektedir. Rapp vd. (1991), Rapp (1995) ile Rapp ve Watson (1995)'un deneysel verilerine göre sadece 1000° C'nin üzerindeki sıcaklıklarda metabazaltik-amfibolitik kaynağın dehidrasyonel ergimesi ile metalüminyumlu, yüksek Na_2O ve düşük magnezyum nu-

maralı granitik magmalar gelişmektedir. Şekil 14'de gösterildiği gibi, Eybek graniti örnekleri Na_2O bakımından metabazalt-amfibolitlerden türeyen magmalara göre daha fakirdir. Örneklerin belli bir kaynak alanında kümelenmedikleri, metabazalt, metaandezit ve metagrovak bölgelerinde saçıldıkları diyagramda görülmektedir. Bu tartışmaların ışığında, Eybek graniti için söz konusu olabilecek magma kaynakları: (a) metasomatize edilmiş ve zenginleştirilmiş bir manto kamasının kısmi ergimesi (buna altere okyanus kabuğunun kısmi ergimesi de eşlik edebilir), (b) kıtasal kökenli ve andezit bileşimli magmatik kayaların ve metagrovakların kısmi ergimesi, (c) manto kökenli magmaların kıtasal kökenli magmalar ile karışması veya manto kökenli magmanın kıta kabuğu geci ile kirletilmesi ve hibridleşme olabilir.

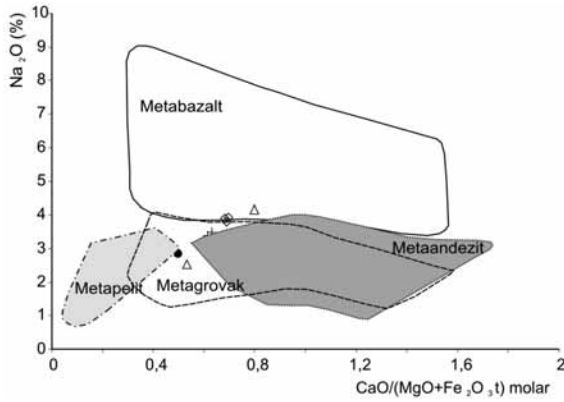
Metasomatize edilmiş bir kaynağın varlığı, Eybek granitinde açık bir şekilde gözlenen LILE (geniş iyon yarıçaplı elementler)'deki (örn., Rb, Ba, Th, K) zenginleşme ve Nb, Ta gibi elementlerdeki negatif anomalilerden görülmektedir



Şekil 13. Eybek graniti örneklerinin normatif feldispat üçgen diyagramındaki (An-Ab-Or; O'Connor, 1965) konumu (Gri gölgeli kesim susuz koşullarda metabazalt ergimesi ile üretilen magma alanını temsil etmektedir. Rapp, 1995. Simgeler Şekil 4'deki gibidir).

Figure 13. Normative Ab-Ab-Or triangle diagram (O'Connor, 1965) for the Eybek granite (Gray shaded field indicates the melting experiments of metabasalts under anhydrous conditions. Rapp, 1995. Symbols are the same as in Figure 4).

(bkz. Şekil 9). Bu etkiler, dalan levhadan ayrılan elementlerin manto kamasına katılmaları ve kısmi ergime olayları sırasında zenginleşmeye neden olmaları şeklinde açıklanabilir. Bu esnada, Nb ve Ta gibi HFS (kalıcılığı yüksek elementler) dalan levhada tutulmakta ve manto kamasına katılmamaktadır (Perfit vd., 1980; Pearce, 1983; Arculus ve Powel, 1986). Ayrıca, benzer etkiler manto kökenli olup, kıtasal kabuk ile kirletilmiş magmalarda da izlenmektedir. Bunun en tipik örnekleri doğu Anadolu'daki Ağrı Dağı volkanı örneğinde görülebilmektedir (Pearce vd., 1990).



Şekil 14. Eybek granit örneklerinin Na_2O (%) – molar $\text{CaO}/(\text{MgO}+\text{FeO}_{\text{tot}})$ diyagramı. (Diyagram içindeki alanlar belirtilen ana kayaların ergimesinden türeyen ergiyik alanları olup, Altherr ve Siebel, 2002'den alınmıştır. Semboller Şekil 4'deki gibidir).

Figure 14. Na_2O (%) versus molar $\text{CaO}/(\text{MgO}+\text{FeO}_{\text{tot}})$ diagram for the Eybek granite (Fields display the partial melts obtained from the melting of different protoliths indicated in the figure, after Altherr and Siebel, 2002. Symbols are the same as in Figure 4).

Eybek granitinin tümüyle kıtasal kökenli andezit, granodiyorit ve metagrovak gibi bir kaynağın kısmi ergimesinden türemesi mümkün görünmemektedir. Çünkü birimden elde edilen Sr izotop değeri kıtasal kayaların ergimesinden türemiş granitik kayalar için nispeten düşük, Nd değeri ise yüksektir. Ayrıca epsilon Nd değeri, (-3.3) manto ve kabuk karışımını işaret etmektedir. Bu veri, yukarıda değinilen olasılıklardan sonucunu (c şıkkı) desteklemektedir. Dolayısıyla, Eybek granitinin oluşumu için manto ve kabuk karışımı hibrid bir kaynak, önerilebilecek en uygun çözümdür.

Magma kaynak alanı irdelemelerini izleyen diğer önemli soru, Eybek granitinin ne tür bir tektonik rejimin etkisi altında geliştiğidir. Bu soru aslında KB-B Anadolu'nun genç magmatizmasının kökeni sorusu ile özdeşdir. Literatürden bildirildiği üzere, söz konusu alanlarda çalışan araştırmacılar birbirleri ile örtüşmeyen çözümler ve modeller önermişlerdir. Aşağıdaki paragraflarda bu modellerin özellikle Eybek granitinin gelişim zamanına (26-21 My) karşılık gelen bölümleri özetlenerek, bu çalışmada elde edilen veriler ve bölgesel jeolojik özellikler ışığında tartışılmıştır.

1. *Süregelen yay ortamı ile magma gelişimi:* Bu görüş, Fytikas vd. (1984)'nin çalışmalarından bu yana değişik zamanlarda değişik araştırmacılar tarafından dile getirilmiştir. Fytikas vd. (1984) tarafından önerilmiş olan bu model, kuzey alanlarda var olan bir yitim (dalma-batma) zonunun zaman içerisinde gençleşerek güneye doğru göç etmesi ve buna bağlı olarak magmatik etkinliğin de güneye doğru gençleştiğini savunmaktadır. Bu modele göre Eybek graniti "yay graniti" olarak değerlendirilmektedir (Ercan, 1979; Fytikas vd, 1984; Gülen, 1990; Delaioye ve Bingöl, 2000).

Jeokimyasal veriler, Eybek granitini oluşturan magmanın gelişiminde önemli miktarlarda yitim kayıtlarının varlığına işaret etmektedir. Ancak bölgede, jeolojik ve yapısal olarak o dönemde aktif bir yayın varlığına işaret eden herhangi güçlü bir veri bulunmamaktadır. Literatürde mevcut tek veri, Kiklad adalarında dar bir alandaki Eosen yaşlı mavi şistlerin varlığıdır (Avigad vd., 1997). Ancak, Kiklad'lardaki Eosen yaşlı mavi şistlerle yaşıt olan ve KB Anadolu'da yüzeylenen bazı volkanik ve plütonik birimlerin (örneğin, Fıstıklı graniti ve Kızderbent volkaniti, Balıklıçeşme volkanikleri, Orhaneli granitik plütonu) çarpışma sonrası magmatizması (post-collisional) ürünlerini temsil ettikleri son yıllardaki çalışmalarla ortaya konmuş durumdadır (Harris vd, 1994; Genç ve Yılmaz, 1997; Genç, 1998; Altunkaynak ve Dilik, 2006; Altunkaynak, 2007).

2. *Gerilme-kabuk incilmesi yoluyla magmatizma gelişimi:* Bu modele göre Batı Anadolu, Geç Oligosen'den günümüze değin sürekli K-G yönlü bir gerilme rejiminin etkisindedir ve magmatizma tümüyle "Basin and Range" tipi gerilmeli bir magmatizma niteliğindedir (Seyitoğlu ve Scott, 1992; Seyitoğlu vd., 1997). Bu model altında değerlendirilebilecek bir diğer görüş, Okay ve Satır

(2000)'ın KB Anadolu'da Kazdağ çekirdek kompleksinin sıyrılıp yükselmesine dayanarak gerilmenin Geç Oligosen'den itibaren aktif olduğu ve masifin kuzeyinde yer alan Evciler granitinin (ve aynı kategorideki Eybek granitinin) gerilme ile yaşıt geliştiğidir. Benzer bir görüş Yaltırak ve Okay (2004) tarafından da önerilmiştir.

Eybek graniti ve Kazdağ çekirdek kompleksinin sıyrılma yaşları ile sıyrılmaya bağlı gelişen metamorfizma yaşları hemen hemen üstelenmektedir. Bu durum, ilk bakışta Eybek granitinin gerilme ile yaşıt (syn-extensional) bir granitik gövde olduğunu düşündürmektedir. Ancak; kuzey alanlardaki Orta Eosen magmatik yaşlı birimler bir yana bırakılırsa, Biga Yarımadası'ndaki volkanizmanın yaşları 26-27 My'lara değin inmektedir. Diğer taraftan, söz konusu volkanik birimlerin bölgenin aynı yaştaki plütonik kayaçlarla mekan ve kökensel açıdan ortak oldukları da bilinmektedir (Yılmaz, 1989; Genç, 1998; Altunkaynak ve Yılmaz, 1998; Karacık ve Yılmaz, 1998; Yılmaz vd., 2001). Kazdağ çekirdek kompleksini oluşturan gerilmenin yaşları Okay ve Satır (2000) tarafından 24 My olarak verilmiş olduğuna göre, 25 My yaşlı Balya dasiti (Ağdemir vd., 1994), 27-25 milyon yıl yaşlı Katrandağ plütonu (Delaloye ve Bingöl, 2000), 27-31 My yaşlı Evciler plütonu (Delaloye ve Bingöl, 2000) ve 26-21 My yaşlı Eybek graniti etkinliklerine Biga Yarımadası'ndaki gerilmeli tektonik rejim öncesinde başlamış olmalıdırlar. Biga Yarımadası'nda yüzeylenen Tersiyer yaşlı (Orta Eosen-Üst Miyosen) volkanik birimlerinin Üst Oligosen-Alt Miyosen aralığında (26-21 My) gelişmiş olanları volkanik etkinliklerine gerilme rejiminin başlamasından yaklaşık 2 My kadar önce başlamış ve sürekli olarak 20 My dönemine kadar devam etmiştir. Diğer taraftan, Biga Yarımadası'nda Orta-Üst Eosen'den itibaren başlayıp kesiksiz bir şekilde Oligosen sonuna değin sürmüş olan magmatik etkinliğin ürünleri petrolojik olarak birlerine benzerler. Bu petrolojik ortaklık da yukarıda varılan sonucu destekleyen diğer bir bulgudur. Kazdağ veya Menderes masifi çekirdek komplekslerine (Bozkurt ve Park, 1994; Okay ve Satır, 2000; Yaltırak ve Okay, 2004) benzer kıtasal gerilmeli alanlarda sıkça görülen sıyrılma ile yaşıt, tümüyle kıtasal malzemenin kısmi ergimesinden türemiş "S" tipi granitlerin Eybek alanında olmayışı da aynı modelin geçerli olamayacağına işaret etmektedir.

Eybek graniti tümüyle metamorfik temel kayalarının içine yerleşmiştir. Metamorfik temel kayaları

ise, Eybek graniti ile yaşıt volkanik kayaçlar ve bunlarla stratigrafik ilişkili çökel kayaçlar tarafından uyumsuzlukla örtülmektedir. Bu ilişkilere dayanarak, Neojen yaşlı çökel ve volkanik kayaçların oluştuğu dönemde granitin henüz yüzeylenmemiş olduğu ileri sürülebilir. Ancak, inceleme alanı dışında (Küçükkuyu civarındaki Mihlıçay kuzeyinde Sarıyer sırtı, Narlı köyü yakınlarında Sarıkız tepe dolayında), literatürde Küçükkuyu formasyonu olarak adlandırılan (Siyako vd., 1989) gösel türbidit istifi içinde granit çakıl ve bloklarının bulunması (Yılmaz vd., 1997), Erken Miyosen başında Eybek granitinin kısmen yüzeylenmiş olduğuna işaret etmektedir. Bu yüzeylenme, granitin katılmasından sonra gerçekleşmiş olmalıdır.

3. Çarpışma sonrası'nda (post-collisional) farklı mekanizmalarla magmatizma gelişimi: Bu başlık altında toplanan modeller, Eosen'den günümüze değin devam eden çarpışma sonrası magmatizmasının değişik dönemlerde farklı tektonik rejimler altında geliştiğini savunmaktadır ve kendi içinde farklı modelleri içerir.

3.a. Sıkışma-kıta kabuğu kalınlaşması yolu ile magma gelişimi: Bu modele göre Batı Anadolu, Geç Kretase'den Orta Miyosen sonlarına değin K-G yönlü sıkışmalı bir tektonik rejimin etkisi altındadır ve sürekli kısalıp kalınlaşmıştır. Bunun sonucunda da bölgede "Tibet-Tipi" bir magmatizma gelişmiştir (Şengör ve Yılmaz, 1981; Yılmaz, 1989; Genç ve Yılmaz, 1997; Altunkaynak ve Yılmaz, 1998; Karacık ve Yılmaz, 1998; Yılmaz vd., 2001).

3.b. Dilim kopması (slab break-off) ya da kıtasal litosferin kısmen veya tamamen giderilmesi (lithospheric delamination- partial delamination) ile magmatizma gelişimi: Batı Anadolu'da kıta-kıta çarpışmasının ardından, dilim kopması nedeniyle magmatizma gelişimi gerek KB Anadolu'daki Eosen yaşlı granitler (Köprübaşı ve Aldanmaz, 2004; Altunkaynak, 2007), gerekse Eybek graniti ile benzer özellikler gösteren Oligo-Miyosen yaşlı granitlerin (Boztuğ vd., 2006) gelişimi için önerilen güncel bir modeldir. Bu model, kopan dilim tarafından boşaltılan hacimin sıcak astenosfer tarafından işgal edilmesi sonucunda, nispeten soğuk ve daha önceki dalma-batma olayları ile metasomatize olmuş kıtasal litosfer tabanının sıcak astenosfer tarafından kısmi ergimeye uğratılması esasına dayanır. Aldanmaz vd. (2000) batı Anadolu genç magmatizması üzerine yaptığı petrolojik çalışmada, Eybek graniti ile yaşıt (Geç Oligosen-Erken Miyosen) volkanik toplulukların kıta li-

tosferi tabanının kopup astenosfere gömülmesine (delamination) bağlanmış, volkanizmanın sergilediği dalma-batma imzalarını da daha önce meydana gelen (Geç Kretase-Erken Tersiyer) yitim olayının etkileri şeklinde açıklamıştır. Bu mekanizmada da, dilim kopması modelinde olduğu gibi, manto ve kabuk kombinasyonundan türemiş magmalar gelişebilmektedir (Aldanmaz, 2000). Tümüyle yay ve tümüyle gerilme modeli dışında kalan bu modeller, az çok benzerdir ve bazı ortak özellikler sergilerler. Bu modellerin tümü, manto gereci ile kabuksal malzeme karışımı bir magmatizmanın oluşumunu açıklayabilmektedir.

Yılmaz (1989) tarafından ana hatlarıyla ortaya atılan sıkışma ve kıtasal kalınlaşma modeli, ayrıntılar bir yana bırakılırsa, aslında bu başlık altındaki tüm alt mekanizmaları da kapsar niteliklidir. Geçmiş yıllarda "Tibet-Tipi" olarak tanımlanan ve sıkışma rejimi altında geliştiği düşünülen magmatizma, güncel olarak sadece kısalıp-kalınlaşma şeklinde değil, kıtasal litosferin kısmen yada tamamen koparak astenosfer içine gömülmesi ve hatta dalan okyanus kabuğundan dilim kopması ile kıtasal litosfere ısı transfer edilerek kısmi erozyona uğratılması (convective removal) mekanizmaları ile açıklanmaktadır (Boztuğ vd., 2006; Altunkaynak ve Dilek, 2006). Bu çerçeveden bakıldığında, Eybek granitinin Orta Eosen'de meydana gelmiş olan dilim kopması mekanizmasını izleyen dönem ile (Köprübaşı ve Aldanmaz, 2004; Altunkaynak ve Dilek, 2006; Altunkaynak vd., 2006) Kazdağ çekirdek masifinin (Okay ve Satır, 2000) oluştuğu dönem arasında gelişmiş olduğu görülmektedir. Orta Eosen-Geç Oligosen dönemleri arasında kabuk katkısının giderek artması ve dalma-batma kayıtlarındaki azalma (Altunkaynak ve Dilek, 2006) ile bölgenin jeolojisi, süregelen deformasyon nedeniyle dilim kopmasının ardından kabuk kalınlaşmasının bir süre daha devam ettiğine işaret etmektedir. Bu nedenle Eybek granitinin gelişimi yukarıda (3a) ve (3b) modelleri başlığı altında tanımlanan petrojenetik mekanizmalarla mümkün görünmektedir. Bölgesel jeolojik araştırmaların sonuçları ve yapısal veriler ile stratigrafik ilişkiler Eybek granitinin ikinci maddede bahsedilen sıyrılmaya fayları denetiminde yüzeylenmiş olabileceğini düşündürmektedir.

SONUÇLAR

Eybek graniti; diyoritik yarı derinlik kayaçları (porfiritletler) ve andezitik volkanik kayaçlar ile birlikte zaman, mekan ve kökende ortaklıklar ser-

gileyen tipik bir "sub-volkanik plüton"dur. Başlıca dört tip kayaç grubundan oluşur. Bunlar, granit, granodiyorit-kuvars diyorit, monzonit-kuvars monzonit ve kataklastik granodiyoritlerdir. Kataklastik granitler granit gövdesinin kuzey ve güneybatı sınırı boyunca yaygındır. Eybek graniti kabukta 1.5 km kadar sığ derinliklere yükselmiş epizonal bir plütondur. Zirkon doygunluk indeksine göre magma sokulum sıcaklığı en fazla 728-775° C olarak hesaplanmıştır.

Eybek graniti metalüminyumlu, orta ve yüksek potasyumlu kalkalkalen özellikte olup, bu bakımdan "I-Tipi" granitlere benzer. Ana element içerikleri ve bunların silika ile değişimleri, magma kristallenme evriminde ayrılaşmalı kristallenmenin önemli rol oynamış olduğunu göstermektedir. KB Anadolu'nun diğer plütonlarında olduğu gibi, Eybek granitinde de geniş yon yarıçaplı (LIL) elementlerde belirgin bir zenginleşme ve Nb, Ta, P ve Ti bakımından da fakirleşmeler gözlenir. Bu da magma gelişiminde dalma-batma kayıtlarının varlığına işaret eder.

Pb, Ce, Nd içerikleri, elementler arası oranlar ve bunların birbirleriyle karşılaştırılmaları, ayrıca izotop verileri ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}=0.707165$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(i)}=0.512437$; $\text{ÅNd}_{(T: 23.3)}=-3.3$) bir arada değerlendirildiğinde, Eybek granitinin manto ve kabuk karışımı hibrid bir magma kaynağından türediği anlaşılmaktadır.

Bu çalışmada elde edilen veri, bulgu ve yapılan tartışmalar ışığında, bölgenin jeolojik evriminde Eybek granitinin Orta Eosen dönemindeki dilim kopması olayına bağlı gelişen magmatizma ile KB Anadolu'da Kazdağ silsilesinin bir çekirdek kompleksi olarak yükselme evresi (24 My; Okay ve Satır, 2000) arasındaki kritik bir dönemde gelişmiş olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilimsel Araştırma ve Geliştirme Destekleme Programı (BAP) birimince desteklenen "Batı Anadolu Plütonik topluluklarının jeokimyası, petrolojisi, jeokronolojisi ve bölge jeodinamiği içindeki yeri" başlıklı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Yazarlar, makalenin iyileştirilmesinde önemli katkıları olan Prof. Dr. Reşat Ulusay'a ve ayrıca makaleyi titizlikle değerlendirip yararlı ve önemli eleştiriler yaparak ilk metnin gelişmesini sağlayan hakemler Prof. Dr. Nilgün Güleç ve Prof. Dr. Durmuş Boztuğ'a teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Ağdemir, N., Kırıkoğlu, M.S., Lehmann, B., and Tietze, J., 1994. Petrology and alteration of the epithermal Balya Pb-Zn-Ag deposit, NW Turkey. *Mineral Deposita*, 29, 366-371.
- Akyürek, B. ve Soysal, Y., 1983. Biga yarımadası güneyinin (Savaştepe-Kırkağaç-Bergama-Ayvalık) temel jeoloji özellikleri. *MTA Dergisi*, 95/96, 1-12.
- Akdeniz, N., 1980. Başlamış formasyonu. *Jeoloji Mühendisliği*, 10, 39-47.
- Altherr, R., and Siebel, W., 2002. I-type plutonism in a continental back-arc setting: Miocene granitoids and monzonites from the central Aegean Sea, Greece. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 143, 397-415.
- Aldanmaz, E., Pearce, J.A., Thirlwall, M.F., and Mitchell, J.G., 2000. Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia. *Turkey. Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 102, 67-95.
- Altunkaynak, Ş., 2007. Collision-driven slab breakoff magmatism in northwestern Anatolia, Turkey. *Journal of Geology*, 115, 63-82.
- Altunkaynak, Ş., and Yılmaz, Y., 1998. The Kozak magmatic complex; Western Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, (1-4), 211-231.
- Altunkaynak, Ş., and Dilek, Y., 2006. Timing and nature of postcollisional volcanism in western Anatolia and geodynamic implications. In: *Postcollisional Tectonics and Magmatism in the Mediterranean Region and Asia*, Y. Dilek and S. Pavlides (eds.), Geological Society of America Special Paper, 409, 321-351.
- Altunkaynak, Ş., Genç, Ş.C., Dönmez, M., and Akçay, A.E., 2006. Tertiary post-collisional magmatism in NW Turkey and its geodynamic implications, International Conference on Continental Volcanism (IAVCEI 2006), Guangzhou, China, Abstracts and Program, p.113.
- Arculus, R.J., and Powell, R., 1986. Source component mixing in the regions of arc magma generation. *Journal of Geophysical Research*, 91, 5913-5926.
- Aslaner, M., 1965. Etude geologique et petrographique de la region d'Edremit-Havran (Turquie). *Mineral Research and Exploration Institute of Turkey Bulletin*, 119., 1-98.
- Avigad, D., Garfunkel, Z., Jolivet, L., and Azanon, J. M., 1997. Back-arc extension and denudation of Mediterranean eclogites. *Tectonics*, 16, 924-41.
- Ayan, M., 1979. Geochronological and petrological studies of the Eybek granodiorite pluton (Edremit). *De La Faculte Des Sciences De L'Universite D'Ankara, Serie C1*, 22, 19-31.
- Batchelor, R.A., and Bowden, P., 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. *Chemical Geology*, 48, 43-55.
- Bingöl, E., 1971. Fiziksel (radyometrik-radyojenik) yaş tayini metotlarını sınıflama denemesi ve Rb-Sr ve K-A metotlarının Kazdağ'da bir uygulaması. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 14, (1), 1-16.
- Bingöl, E., Akyürek, B. ve Korkmazer, B., 1973a. Biga Yarımadası'nın jeolojisi ve Karakaya formasyonunun bazı özellikleri. *Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi Bildiriler Kitabı*, MTA, 70-75.
- Bingöl, E., Akyürek, B. ve Korkmazer, B., 1973b. 1:25.000 ölçekli çeşitli gayeli jeolojik haritalarından Biga Yarımadası jeolojisinin ön kompilasyonu. 1:100.000 ölçekli jeoloji haritası (yayımlanmamış).
- Bingöl, E., Delaloye, M., and Ataman, G., 1982. Granitic intrusions in Western Anatolia: A contribution of the geodynamic study of this area. *Eclogae Geologicae Helveticae*, 75, 437-446.
- Boynton W.V., 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: *Rare Earth Element Geochemistry*, P. Henderson P (ed.). Elsevier, Amsterdam, 63-114.
- Bozkurt, E., and Park, R.G., 1994. Southern Menderes Masif: An incipient metamorphic core-complex in western Ana-

- tolia. *Journal of Geological Society London*, 151, 213-216.
- Boztuğ, D., Harlavan, Y., Can, İ., Ramazan, S., Şahin, S.Y. ve Altunkaynak, Ş., 2006. Kuzeybatı Anadolu'da Neo-Tetis çarpışma zonu boyunca litosferik dilim kopmasından türemiş Ilica, Çataldağ (Balıkesir) ve Kozak (İzmir) granitoidlerinin jeokimyası ve K-Ar soğuma yaşları. 59. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri, Ankara, 34-35.
- Bürküt, Y., 1966. Kuzeybatı Anadolu'da yer alan plütonların mukayeseli jenetik etüdü. Doktora Tezi, İ.T.Ü. Maden Fakültesi, İstanbul (yayımlanmamış).
- Debon, F., and Le Fort, P., 1983. A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. *Trans. Royal Society of Edinburg, Earth Sciences*, 73, 135-149.
- Delaloye, M., and Bingöl, E., 2000. Granitoids from western and northwestern Anatolia: geochemistry and modelling of geodynamic evolution. *International Geology Review*, 42, 241-263.
- Didier, J., and Barbarin, B., 1991. The different types of enclaves in granites. Nomenclature. *Enclaves and Granite Petrology*, J. Didier and B. Barbarin (eds.), Elsevier, Amsterdam, 19-23.
- Ercan, T., 1979. Batı Anadolu, Trakya ve Ege adalarındaki Senozoyik volkanizması. *Jeoloji Mühendisliği*, 9, 23-46.
- Ercan, T. ve Türkecan, A., 1984. Batı Anadolu-Ege Adaları-Yunanistan ve Bulgaristan'daki plütonların gözden geçirilişi. *Ketin Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 189-208.
- Ercan, T., Günay, E. ve Türkecan, A., 1984. Edremit-Korucu yöresinin (Balıkesir) Tersiyer stratigrafisi magmatik kayaların petrolojisi ve kökensel yorumu. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 27, 21-30.
- Fytikas, M., Innocenti, F., Manetti, P., Mazzouli, R., Peccerillo, A., and Villari, L., 1984. Tertiary to Quaternary evolution of volcanism in the Aegean region. *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*, J.E. Dixon and A.H.F. Robertson (eds.), Geological Society Special Publication, 17, 687-699.
- Gao, S., Luo, T. C., Zhang, B. R., Zhang, H. F., Han, Y. W., Hu, Y. K., and Zhao, Z. D., 1998. Chemical composition of the continental crust as revealed by studies in east China. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 62, 1959-1975.
- Genç, Ş.C., 1998. Evolution of the Bayramiç magmatic complex. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85 (1-4), 233-249.
- Genç, Ş.C., and Yılmaz, Y., 1997. An example of the post-collisional magmatism in northwestern Anatolia: the Kızderbert volcanics (Armutlu Peninsula, Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 6, 33-42.
- Genç, Ş.C., Dönmez, M., Akçay, A., and Altunkaynak, Ş., 2004. The Middle Eocene to Late Miocene magmatic evolution of the Biga Peninsula, NW Turkey. 32nd International Geological Congress, Florence, Italy, Abstracts Part 2, p.1298.
- Gülen, L., 1990. Isotopic characterization of Aegean magmatism and geodynamic evolution of the Aegean subduction. *International Earth Sciences Colloquium on the Aegean Region (IESCA)*, M.Y. Savaşçın and A. H. Eronat (eds.), İzmir, Turkey, Proceedings II, 143-166.
- Harris, N.B.W., Kelley, S., and Okay, A.I., 1994. Post-collision magmatism and tectonics in northwest Anatolia. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 117, 241-252.
- Hart, S.R., and Gaetani, G.A., 2006. Mantle Pb paradoxes: the sulphide solution. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 152, 295-308.
- Higgins, W.M., 1971, Cataclastic rocks, U.S. Geological Survey Professional Paper, 687, p.97.
- Hofmann, A.W., 2006. Lead in oceanic basalts and the mantle – 20 years later. *Geophysical Research Abstracts*, 8, p.10305.
- Hofmann, A.W., Jochum, K.P., Seufert, H.M., and White, W.M., 1986. Nb and Pb in

- oceanic basalts: New constraints on mantle evolution. *Earth and Planetary Science Letters*, 79, 33-45.
- 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.
- Karacık, Z., and Yılmaz, Y., 1998. Geology of the ignimbrites and the associated volcano-plutonic complex of the Ezine area, northwestern Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85 (1-4), 251-264.
- Köprübaşı, N., and Aldanmaz, E., 2004. Geochemical constraints on the petrogenesis of Cenozoic I-Type granitoids in Northwest Anatolia, Turkey: Evidence for magma generation by lithospheric delamination in a post-collisional setting. *International Geology Review*, 46, 705-729.
- Krushensky, R.D., 1976. Neogene calc-alkaline extrusive and intrusive rocks of the Karalar-Yeşiller area, North west Anatolia, Turkey. *Bulletin of Volcanology*, 40, 336-360.
- Lameyre, J., and Bonin, B., 1991. Granites in the main plutonic series. In: *Enclaves and Granite Petrology*, J. Didier and B. Barbarin (eds.), Amsterdam, Elsevier, 3-17.
- Middlemost, E. A. K., 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system. *Earth- Science Reviews*, 37, 215-224.
- Murakami, H., Watanabe, Y., and Stein, H., 2005. Re-Os ages for molybdenite from the Tepeoba breccia-centered Cu-Mo-Au deposit, western Turkey: Brecciation-triggered mineralization. *Mineral Deposit Research*, 1, 805-808.
- O'Connor, J.T., 1965. A classification for quartz-rich igneous rocks based on feldspar ratios. *United States Geological Survey Prof Paper 525-B*, B79-B84.
- Okay, A.İ., and Satır, M., 2000. Coeval plutonism and metamorphism in a latest Oligocene metamorphic core complex in northwest Turkey. *Geological Magazine*, 137, 495-516.
- Okay, A.İ., Siyako, M., and Bürkan, K.A., 1991. Geology and tectonic evolution of the Biga Peninsula, northwest Turkey. *Bulletin of the Technical University of İstanbul, Special Issue on Tectonics*, 44, 191-256.
- Pearce, J.A., 1983. Role of subcontinental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*, C.J. Hawkesworth and M.J. Norry (eds.), Shiva Publishing, 230-249.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W., and Tindle, A.G., 1984. Trace-element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25, 956-983.
- Pearce, J.A., Bender, J.F., De Long, S.E., Kidd, W.S.F., Low, P.J., Güner, Y., Şaroğlu, F., Yılmaz, Y., Moorbath, S., and Mitchell, J.J., 1990. Genesis of collision volcanism in eastern Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44, 189-229.
- Perfit, M.R., Gust, D.A., Bence, A.E., Arculus, R.J., and Taylor, S.R., 1980. Chemical characteristics of island-arc basalts: Implications for mantle sources. *Chemical Geology*, 30, 227-256.
- Plank, T., and Langmuir, C.H., 1998. The chemical composition of subducting sediment and its consequences for the crust and mantle. *Chemical Geology*, 145, 325-394.
- Rapp, R.P., 1995. Amphibole-out phase boundary in partially melted metabasalt, its control over liquid fraction and composition, and source permeability. *Journal of Geophysical Research*, 100, 15601-15610.
- Rapp, R.P., and Watson, E.B., 1995. Dehydration melting of metabasalt at 8-32 kbar: implications for continental growth and crust-mantle recycling. *Journal of Petrology*, 36, 891-931.
- Rapp, R.P., Watson, E.B., and Miller, C.F., 1991. Partial melting of amphibolite/eclogite and the origin of Archean trondhjemites and tonalites. *Precambrian Research*, 51, 1-25.

- Rickwood, P.C., 1989. Boundary lines within petrological diagrams which use oxides of major and minor elements. *Lithos*, 22, 247-263.
- Rollinson, H.R. 1993. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. Longman Scientific and Technical, John Wiley Sons, New York,.
- Rudnick, R.L., and Fountain, D.M., 1995. Nature and composition of the continental crust: a lower crustal perspective. *Reviews of Geophysics*, 33 (3), 267-309.
- Rudnick, R.L., and Gao, S., 2004. Composition of the continental crust. In: *Treatise on Geochemistry Volume 3, Crust*, R.L. Rudnick, H.D. Holland and K.K. Turekian (eds), Elsevier & Pergamon, 1-64.
- Rudnick, R.L. and Taylor, S.R., 1987. The composition and petrogenesis of the lower crust: a xenolith study. *Journal of Geophysical Research*, 92, (B13), 13981-14005.
- Saunders, A.D., Norry, M.J., and Tarney, J., 1988. Origin of MORB and chemically depleted mantle reservoirs: trace element constraints. *Journal of Petrology Special Litosphere Issue*, 415-445.
- Seyitoğlu, G., and Scott, B.C., 1992. Late Cenozoic volcanic evolution of the northeastern Aegean region. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 54, 157-176.
- 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*, 97, 127-147.
- Shand, S. J., 1943. *Eruptive Rocks. Their Genesis, Composition, Classification, and Their Relation to Ore-Deposits with a Chapter on Meteorite*. New York, John Wiley & Sons.
- Shaw, D.M., Reilly, G.A., Muysson, J.R., Pattenden, G.E., and Campbell, F.E., 1967. An estimate of the chemical composition of the Canadian Precambrian Shield. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 4, 829-853.
- Shaw, D. M., Dickim, A. P., Li, H., McNutt, M. H., Schwarcz, H. P., and Truscott, M. G., 1994. Crustal geochemistry in the Wawa-Foley region, Ontario. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 31 (7), 1104-1121.
- Siyako, M., Bürkan, K.A. ve Okay, A.İ., 1989. Biga ve Gelibolu Yarımadaalarının Tersiyer jeolojisi ve hidrokarbon olanakları. *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni*, 1(3), 183-199.
- Streckeisen, A.L., 1967. Classification and nomenclature of igneous rocks (final report of an inquiry). *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen*, 107, 144-240.
- Sun, S., and McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Magmatism in the Ocean Basins*, A.D. Saunders and M.J. Norry, (eds.), Geological Society Special Publications, 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.
- Taylor, S.R., and McLennan, S.M., 1995. The chemical evolution of the continental crust. *Review Geophysics*, 33, 241-265.
- Tuttle, O. F., and Bowen, N.L., 1958. Origin of granite in the light of experimental studies in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8\text{-KAlSi}_3\text{O}_8\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$. *Geological Society of America Memoir*, 74.
- Watson, E.B., 1996. Dissolution, growth and survival of zircons during crustal fusion: kinetic principles, geological models and implications for isotopic inheritance. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth and Environmental Sciences*, 87, 43-56.

- Watson, E.B., and Harrison, T.M., 1983. Zircon saturation revisited: temperature and compositional effects in a variety of crustal magma types. *Earth and Planetary Science Letters*, 64, 295–304
- Wilson, M., 1989. *Igneous Petrogenesis*. Unwin. Hyman, London.
- Wood, D.A., 1980. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. *Earth and Planetary Science Letters*, 50, 11-30.
- Yaltırak, C. ve Okay, A.İ., 2004. Edremit Körfezi kuzeyinde Paleotetis birimlerinin jeolojisi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi*, 3 (1), 67-79.
- 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, the Hague, 159-189.
- Yılmaz, Y., Genç, Ş.C., Gürer, Ö.F., Elmas, A., Karacık, Z., Altunkaynak, Ş. ve Güleç, N., 1997. Ayvalık-Dikili-Çandarlı-Bergama arasında (Edremit-Bergama grabenleri çevresinde) genç magmatizmanın jeolojik ve petrolojik araştırılması. TÜBİTAK Projesi Raporu, Rapor No: YDABÇAG-228/G – YDABÇAG-420/G (yayımlanmamış).
- Yılmaz, Y., Genç, Ş.C., Karacık, Z. and Altunkaynak, Ş., 2001. Two contrasting magmatic associations of NW Anatolia and their tectonic significance. *Journal of Geodynamics*, 31 (3), 243-271.