

GEYVE BOĞAZI VE PAMUKOVA ARASINDA YERALAN GRANİTOYİTİK KAYAÇLARIN PETROGRAFİK VE JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Geochemical and Petrographical Properties of Granitoidic Rocks Located Between Geyve Gorge and Pamukova

Ömer Faruk ÇELİK¹ Ömer Feyzi GÜRER¹ ve İlknur ÖZ¹

ÖZET

Kuzeybatı Türkiye’de Geyve Boğazı’nda ve Pamukova’nın kuzey bölümlerinde yüzlek veren metamorfik kayalar granitoyitik kökenli kayalar tarafından kesilmektedir. Bu kayaların boyutları çok fazla olmayıp dayk, sil ve merceksi yapıdadırlar. Bölge kayaları metamorfizma ve tektonizmadan önemli şekilde etkilenmişlerdir. Ana, iz ve nadir toprak elementleri jeokimyasına göre, granitik kökenli kayaların I-tipi, metalumino-peralumino kalk-alkali özellikte oldukları anlaşılmaktadır. Kayaların A/CNK moloküler oranları 0,88 ile 1,1 arasında değişmekte olup I-tipi granitlere işaret etmektedirler. Kayaların MORB’a göre normalleştirilmiş çoklu element örümcek diagramında büyük iyonlu litofil elementlerin (LILE; ör. Rb, Ba, U, Th ve K), kalıcılığı yüksek elementlere (HFSE; ör. Zr, Ti, Hf, Nb ve Ta) göre zenginleştiği görülmektedir. Kondrit’e göre normalleştirilmiş nadir toprak elementleri (REE) yaklaşık düz [(La/Yb)_N=0.63] ya da hafif nadir toprak elementlerinde (LREE) zenginleşme [(La/Yb)_N = 1,4 - 11,66] desenleri sunarlar. Granitoyit kökenli kayaların REE ve MORB’a göre normalize edilmiş çoklu element desenleri ile birlikte tektonomagmatik ayırım diyagramları, bu kayaların volkanik yay ortam koşullarında oluştuğunu gösterir.

ABSTRACT

The metamorphic rocks cropping out at the northern part of Pamukova and Geyve gorge in NW Turkey were cut by the rocks in granitoidic origin. These rocks are observed as dyke, sill and lenses in the study area and they have not large dimentions. The rocks of the region were highly affected by metamorphism and tectonism. Major, trace and REE geochemistry of the rocks in the granitoidic origin show that they have I-type, metaluminous-peraluminous calc-alkaline characteristics. The ratio of the molecular A/CNK of the granitoidic rocks ranges from 0,88 and 1,1. These ratios indicate to the I-type granites. According to MORB-normalized multi-elements spider diagram, the granitoidic rocks display large-ion lithophile element (LILE; e.g. Rb, Ba, U, Th and K) enrichments compared to high field strength element (HFSE; e.g. Zr, Ti, Hf, Nb and Ta). Chondrite-normalized rare earth elements (REE) exhibit flat [(La/Yb)_N=0.63] or light rare earth element (LREE) enrichment patterns [(La/Yb)_N = 1,4 - 11,66]. The REE and MORB-normalized multi-element patterns and tectonomagmatic discrimination diagrams of the rocks in granitoidic origin, suggest that these rocks were formed in a volcanic arc setting.

GİRİŞ

Armutlu Yarımadası’nda (Şekil 1) Geyve Boğazı ve Pamukova hattı boyunca yüzeyleyen metamorfik kayalar genel olarak iki grup altında toplanmaktadır. Bunlar; göreceli olarak daha yüksek dereceli metamorfizma ürünü Pamukova metamorfikleri ve düşük dereceli metamorfizma ürünü İznik metamorfikleridir (ör. Göncüoğlu ve diğ., 1986). Akartuna (1968) İznik metamorfileriyle Pamukova metamorfilerinin geçişli olduğunu dolayısıyla İznik metamorfilerinin temel kayalarının Pamukova metamorfileri olduğunu rapor etmiştir.

¹Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Umuttepe Yerleşkesi, 41380 İZMİT-KOCAELİ. e-mail: fcelik@kocaeli.edu.tr, ofgurur@kocaeli.edu.tr, ozilknur@kocaeli.edu.tr

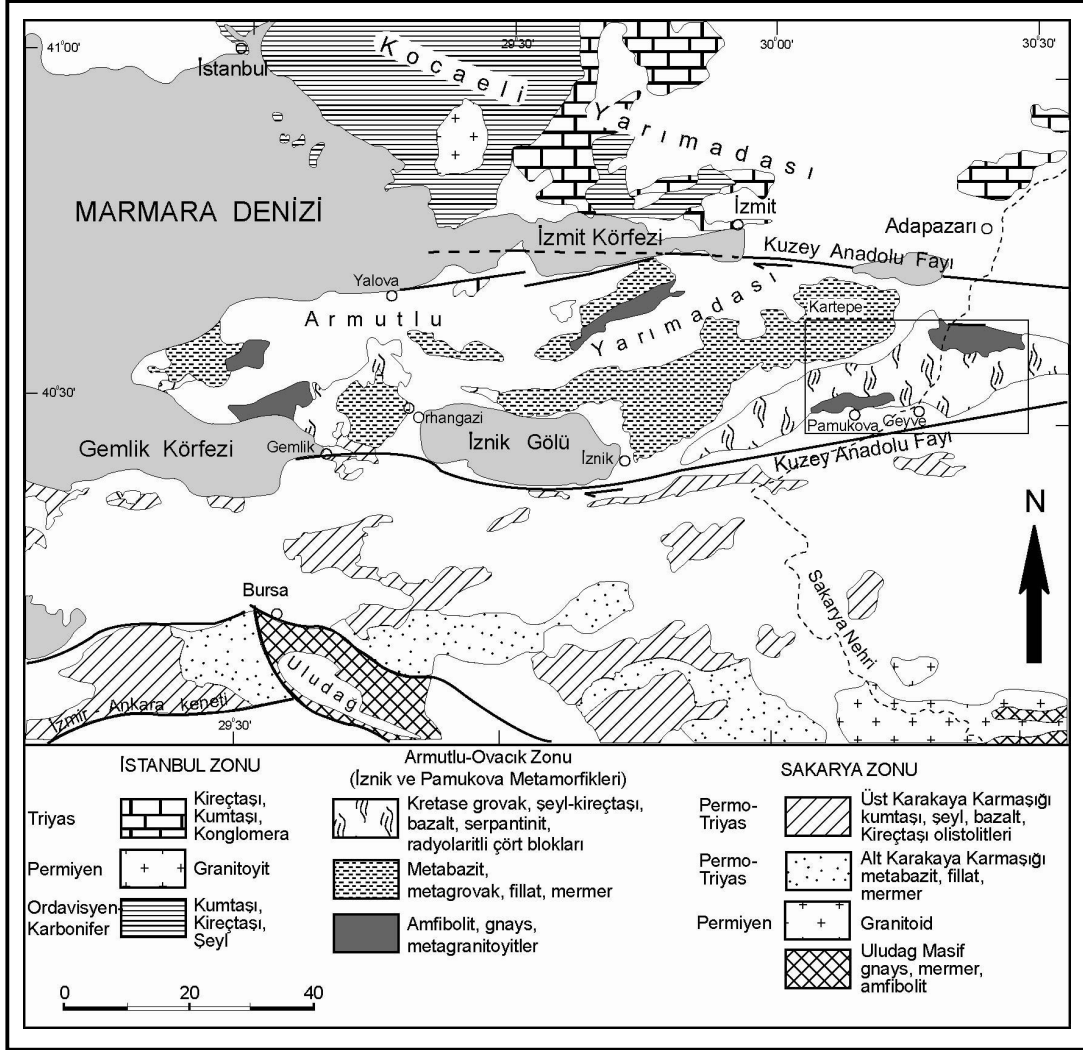
Akartuna ve Atan (1981) birimin yaşını Devoniyen öncesi olarak belirtmişlerdir. Pamukova metamorfitlelerinin tarifi ya da kapsamı da önceki çalışmalara göre farklılık göstermektedir. Örneğin Göncüoğlu ve diğ. (1986), Geyve Boğazı'nın her iki yamacında yer alan yüksek dereceli metamorfik kayalar ile Pamukova kuzeyinde (ör. Paşalar Köyü civarı) yeralan metamorfik kayaları aynı grup içinde, Pamukova metamorfitleleri adı altında incelemiştir. Buna karşın Bozcu (1992) ve Yılmaz (1992) Geyve boğazının her iki yakasında yüzeyleyen metamorfik kayaları Geyve Meta-ofiyoliti olarak değerlendirmişler ve Pamukova kuzeyinde yüzeyleyen metamorfitleleri daha çok Pamukova metamorfitleleri olarak isimlendirmişlerdir. Yılmaz ve diğ. (1995) Geyve boğazının her iki yakasında yüzeyleyen metamorfik kayaların düzenli bir ofiyolitinin metamorfik kalıntıları olduğunu belirtmişler ve Neotetis okyanusunun kuzey koluna ait olduğunu düşündükleri Geyve Meta-ofiyolitinin, İznik metamorfik topluluğu ile birlikte Geç Kretase, muhtemelen Koniasiyen-Santoniyen aralığında metamorfizmaya uğradığını belirtmişlerdir. Şengör ve Yılmaz (1981), Sakarya ve İstanbul zonları arasında İç pontid keneti olarak ifade edilen ve derin stratigrafik, metamorfik ve magmatik dilimlerin olduğu bir sınır hattı yereldiğini ve bu hattın İstanbul ve Sakarya zonları arasında Liyas sürecinde açıldığını ve Erken Eosen sürecinde de kapandığını belirtmişlerdir. Yılmaz (1992), Pamukova metamorfiklerinin yaşını orta sakarya zonundaki benzer kayalarla kıyaslayarak Permian öncesi olarak değerlendirmiştir. Göncüoğlu ve diğ. (1986)'a göre Pamukova metamorfiklerinin tabanında kuvarsitler bulunmaktadır. Buna karşın Bozcu (1992) ve Yılmaz (1992) Pamukova metamorfitleleri içinde gösterdikleri kuvarsitlerin, amfibolitleri de kesen Gökgöz meta-graniti üzerine diskordan olarak geldiğini belirtmişlerdir. Çalışma konusu olan granitoyitik kökenli kayalar hem geyve boğazında yüzeyleyen metamorfik kayaları hem de Pamukova kuzeyinde yüzeyleyen metamorfik kayaları kesmektedirler. Yukarıda belirtildiği gibi Geyve Boğazı - Pamukova hattı boyunca yüzeyleyen yüksek dereceli metamorfik kayalar zamanda ve mekanda farklı gruplar içerisinde tanımlanmıştır. Bu çalışma dahilinde bahsi geçen hat boyunca yüzeyleyen metamorfik kayaları kesen granitoyitik kayaların petrografik ve jeokimyasal analizleri değerlendirilerek karşılaştırılması yapılacaktır.

GENEL JEOLJİ

Armutlu Yarımadası'nda yüzeyleyen litolojik birimler farklı grup ve isimlerle tarif edilmiştir (Şekil 1). İznik metamorfikleri, Pamukova metamorfikleri, Geyve meta-ofiyoliti ve Armutlu Ovacık zonu, Armutlu Yarımadasında yüzlek veren litojik birimleri tanımlamak için en çok kullanılan isimlerdendir.

Göncüoğlu ve diğ. (1986), düşük dereceli metamorfizma gösteren İznik metamorfitlelerinin yer yer felsik volkanik ve volkanotortul birimler de içeren metakırıntılı-karbonat istifleriyle başladığını ve bu istifin blok, mercek ya da arakatman halinde mermer kütleleri içerdiğini belirtmiştir. Yazarlar bu birimin üzerine çeşitli boyutlarda ofiyolitik mercek, blok ya da kamaları da içeren volkanik / piroklastik kayaların egemen olduğu bir birim geldiğini ve tüm bu birimlerin Senomoniyen – Turoniyen yaşlı kireçtaşları tarafından örtüldüğünü rapor etmişlerdir.

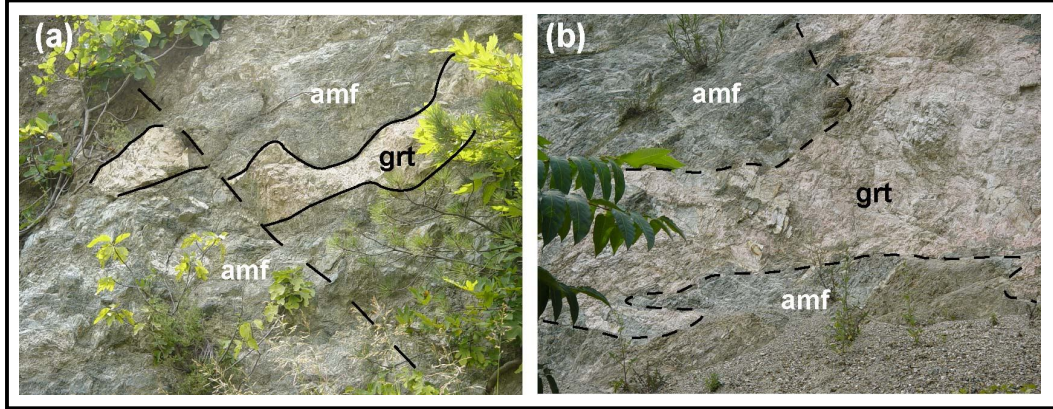
Pamukova metamorfitleleri, Pamukova kuzeyindeki yamaçlarda, Geyve boğazının doğu ve batı yamaçlarında yüzeyler. Bölgede kuvarsitler, metavolkanik arakatlı mermerler, blok halinde mermerler ve amfibolitler gözlenebilmektedir. Amfibolitik kayaların farklı geometrilerde birçok granitik bileşimli kayalar tarafından kesildikleri görülmüştür (Şekil 2). Daha önce belirtildiği gibi bölgede tektono-stratigrafi farklı şekillerde tanımlanmıştır. Şekil 3'de Göncüoğlu ve diğ., 1987 ve 1992'e göre Pamukova metamorfitleleri ve İznik metamorfitlelerinin tektono-stratigrafik konumları dikme kesitler ile gösterilmiştir.



Şekil 1. Kuzeybatı Türkiye'nin jeoloji haritası (Türkecan ve Yurtsever 2002; Aksay ve diğ. 2002; Okay ve diğ., 2008'den değiştirilerek alınmıştır).

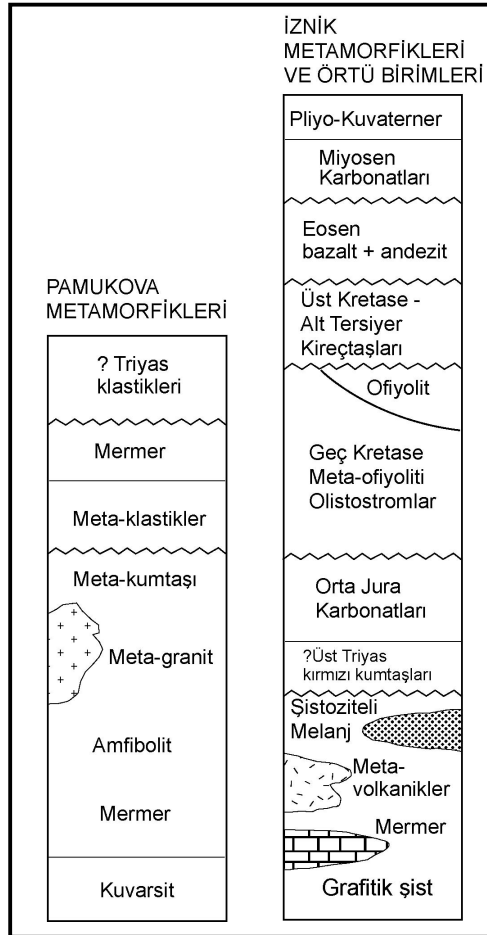
Figure 1. Geological map of northwest Turkey (modified from Türkecan and Yurtsever, 2002; Aksay et al. 2002; Okay et al. 2008).

Yılmaz ve diğ. (1995) Geyve boğazı ve yakın çevresinde yüzeyleyen metamorfik kayaları düzenli eksiksiz bir ofiyolit metamorfik karşılıkları olduğunu ve ultramafik kümülatlardan mafik kümülatlara kadar farklı litolojileri içerdiğini belirtmişlerdir. Mafik kümülatların ise homojen gabro, diorit'ten meydana geldiğini ve anatektik olarak oluştuğunu ileri sürdükleri granitler ile geç safha granitik sokulumları içerdiklerini belirtmişlerdir. Araştırmacılar, Geyve meta-ofiyolitinin, Üst Kretase ve Kretase kayaları da dahil olmak üzere İznik metamorfik topluluğunun üst birimleri üzerinde tektonik olarak yer aldığı rapor etmişlerdir. Benzer olarak Robertson ve Ustaömer (2004) Geyve metaofiyoliti ve Pamukova metamorfikleri bölgesinde yer alan yüksek dereceli amfibolitlerin muhtemelen Prekambriyen yaşlı Armutlu metamorfik temeline ait olduğunu ve Geç Kretase sürecinde İznik metamorfikleri üzerine bindirdiklerini belirtmişlerdir. Üst Kretase yaşlı filişin Pamukova metamorfikleri ile İznik metamorfiklerini uyumsuz olarak örttüğü birçok araştırmacı tarafından genel olarak kabul edilmiştir.



Şekil 2. Granitoyitik kayaçların arazi görüntüleri: Geyve Boğazının amfibolitik (amf) ve granitoyitik kayaçları (grt) arasında İntrüzif (a, b) ve tektonik (a) kontak ilişkileri.

Figure 2. Field views from the granitoidic rocks: Intrusive (a, b) and tectonic (a) contact relations between the granitoid (grt) and the amphibolitic rocks (amf) of the Geyve gorge.



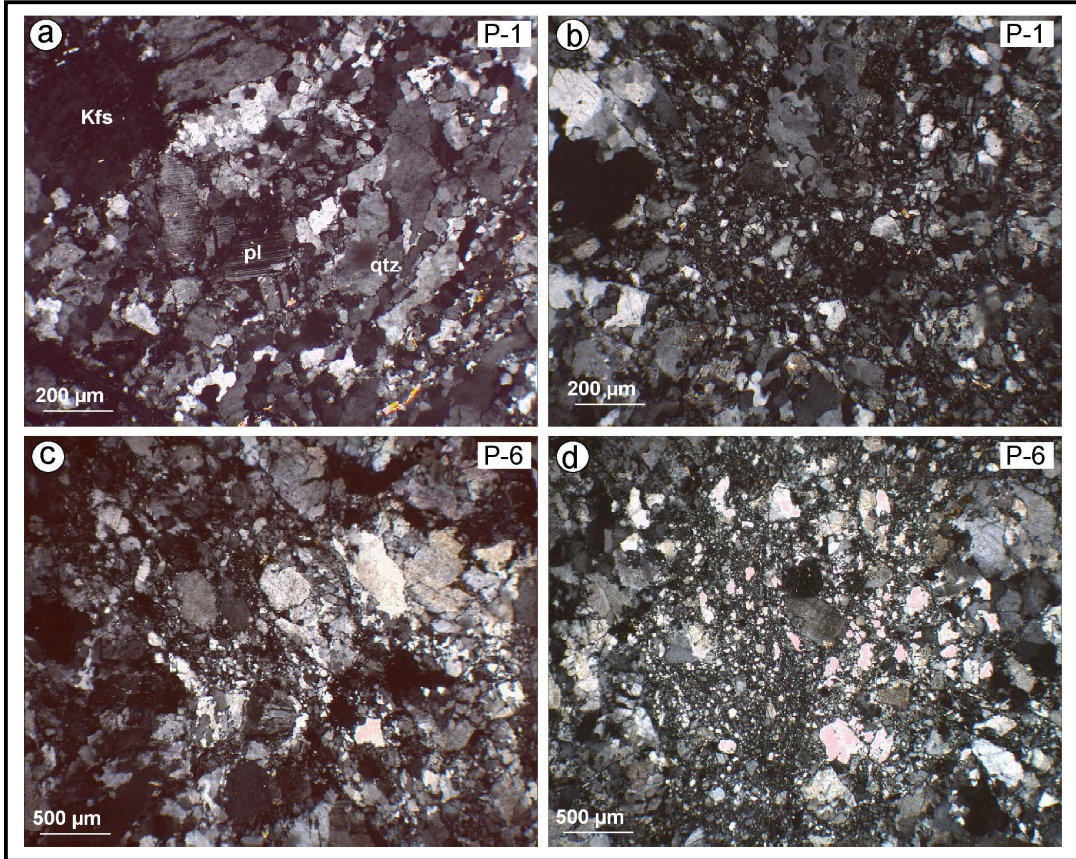
Şekil 3. Pamukova ve İzniK metamorfikleri için basitleştirilmiş tektono-stratigrafik kesitler (Göncüoğlu ve diğ., 1987 ve 1992'e göre).

Figure 3. Simplified tectono-stratigraphic sections for the Pamukova metamorphics and the İznik metamorphics (after Göncüoğlu ve diğ., 1987 and 1992).

Yakın zamanda Okay ve diğ. (2008), Armutlu yarımadasında amfibolitleri kesen meta-granitoyitlerden U-Pb ve Pb-Pb evaporasyon yaş tayini çalışmaları yaparak En Geç Proterozoyik ve Ordavisyen yaşları elde etmişlerdir. Araştırmacılar meta-granitoyidlerden ortalama bir değer olarak 569 My'lık yaş belirlemişler ve bu yaş verisini granitoyidin intrüzyon yaşı olarak rapor etmişlerdir.

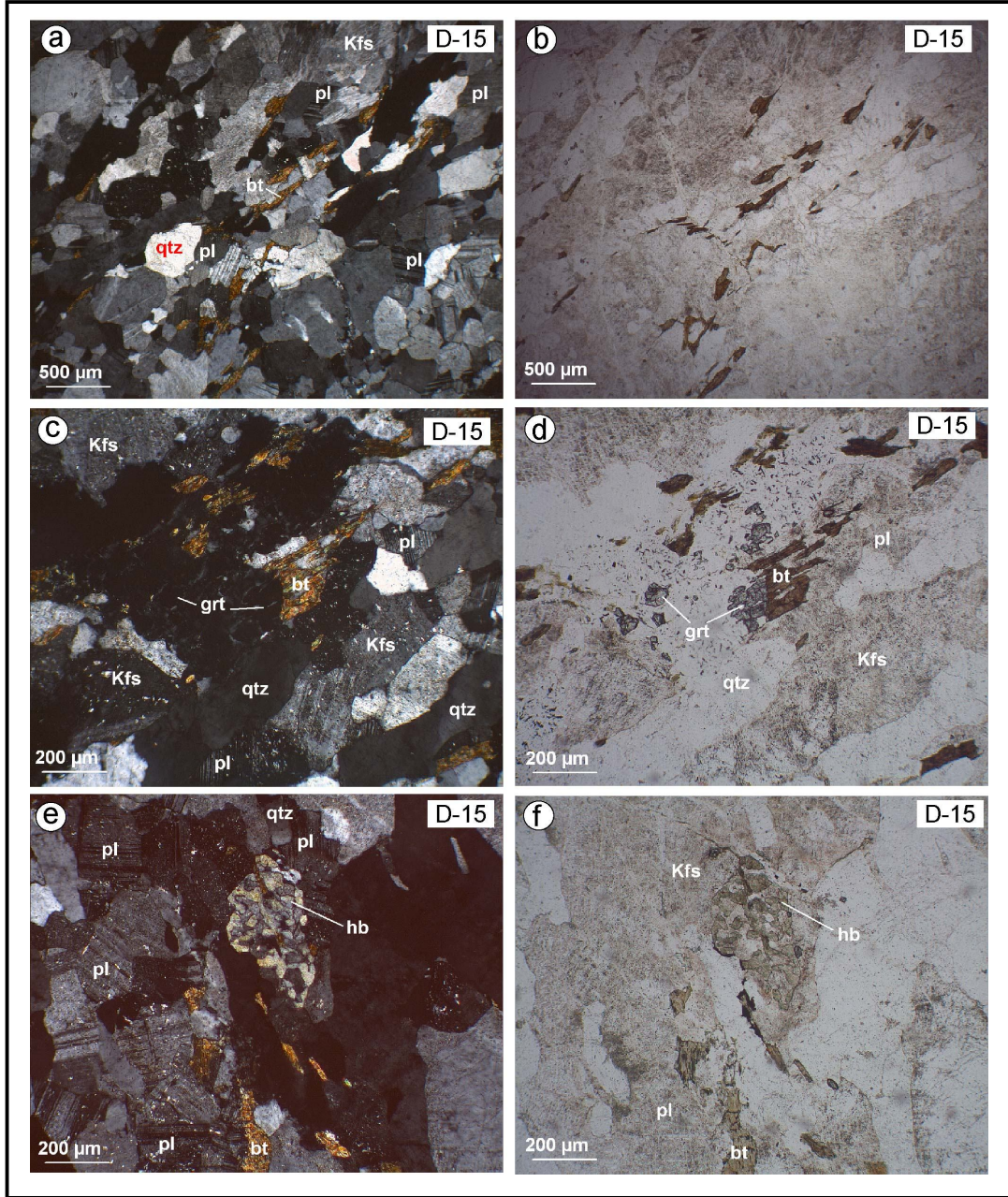
MİNERALOJİ VE PETROGRAFİ

Pamukova'nın kuzeyinden derlenen P-1 numaralı kayaç örneği genel olarak ince taneli kuvars ve feldspat minerallerden meydana gelmektedir. K-feldspatlar ve plajiyoklaslar iri porfiroklastlar olarak da gözlemlenmiştir. Kuvars minerallerinde mozaik dokulu yeniden kristallenmeler ile biyotitlerde de az miktarda kloritleşme gözlenmiştir. Bu örnekte deformasyona bağlı dalgalı sönmeli ve alt taneli kuvars kristallerinin tane sınırı göçü ile oluşmuş girintili – çıkıntılı tane sınırları gözlenmektedir (Şekil 4 a).



Şekil 4. Granitoyitik kayaçların mikroskopik görüntüleri (çift nikol görüntüsü): a) Örnek P-1'in genel görünüşü. b) Kataklastik deformasyon ve kenetli alt-tane sınırları gösteren kuvars kristallerinin yeniden kristallenmeleri. c) Örnek P-6'nın genel görünümü. d) Örnek P-6'da gelişmiş kataklastik deformasyonun mikroskop görünümü. Kısaltmalar: pl, plajiyoklaz; Kfs, K-feldspat; qtz, kuvars.

Figure 4. Microscopic views (crossed polarized light) of the granitoidic rocks: a) General view of the sample P-1. b) Cataclastic deformation and recrystallization of quartz crystals with sub-grains that show sutured grain boundaries. c) General view of the sample P-6. d) Microscopic view of cataclastic deformation in sample P-6. Abbreviations: pl, plagioclase; Kfs, K-feldspar; qtz, quartz.



Şekil 5. a) Grano-lepidoblastic doku gösteren gnays (çift nikol görüntüsü). b) D-15 numaralı örneğin tek nikol'de görünüşü. c) D-15 numaralı örnekte granat oluşumu. d) Granat'ın tek nikoldeki görüntüsü. e) Hornblend – plajiyoklaz simplektit. f) Hornblende – plajiyoklaz simplektitin tek nikol görüntüsü. Kısaltmalar: pl, plajiyoklaz; Kfs, K-feldspat; qtz, kuvars; bt, biyotit; grt, granat; hb, hornblend.

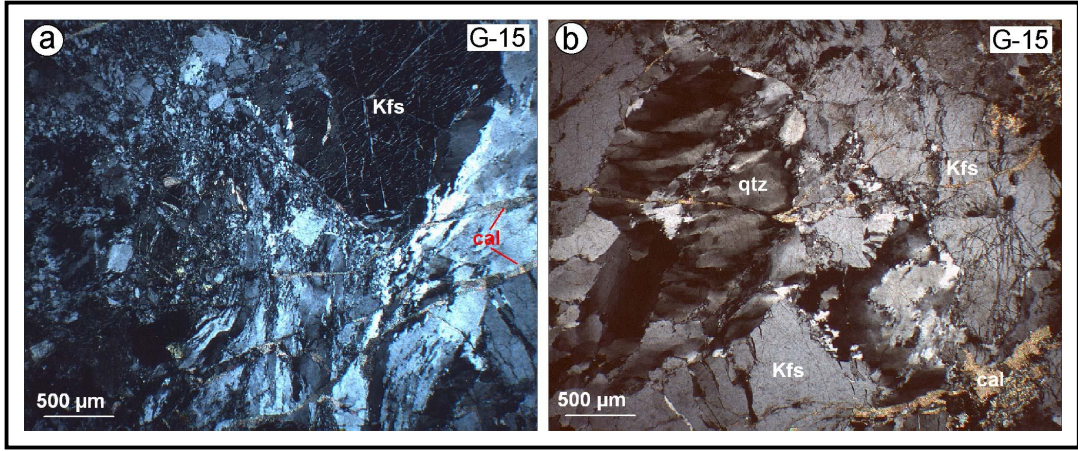
Figure 5. a) Gneiss showing grano-lepidoblastic texture (crossed polarized light). b) a plane polarized light view of sample D-15. c) garnet formation in sample D-15. d) a plane polarized light view of garnet. e) Hornblende – plagioclase symplectite. f) a plane polarized light view of hornblende – plagioclase symplectite. Abbreviations: pl, plagioclase; Kfs, K-feldspar; qtz, quartz; bt, biotite; grt, garnet; hb, hornblende.

Bir başka ifade ile kayaçta mevcut kuvars kristallerinde biriken yüksek enerjili kuvars alt tanelerinin oluşumu ve alt tanelerden itibaren tane göçü, depolanan enerjiyi dengelemek ya da serbestleştirmek üzere oluşmuştur. Kayacın sınırlı mineral içeriği metamorfizma koşullarının belirlenmesine engel oluşturmaktadır ve genel olarak düşük dereceli metamorfizmadan etkilendiği söylenebilir. Bu durum mineral topluluğu içerisinde çok az oranda gözlenen (% 2 - 3) mafik nitelikli minerallerin (biyotit) ve alt tane oluşumu sergileyen kuvars minerallerinin çok zayıf yönlendirmelerinden görülebilmektedir. K-feldspatlarda pertit gelişimi gözlenmiştir. Ayrıca, muhtemelen kayaçların yüzeyleme süreçlerinde, kataklastik metamorfizmadan da etkilendiği anlaşılmaktadır (Şekil 4 b). Bu durum minerallerdeki kırıklı köşeli breşik yapılardan ve gerilmeye bağlı olarak oluşmuş dalgalı sönmelerden anlaşılmaktadır.

Eskiyayla ve Paşalar Köyleri arasından derlenen P-6 numaralı kayaç örneği, P-1 ile benzer özelliklere sahiptir ancak P-1'e göre daha iri tanelidir (Şekil 4 c, d).

Nuriosmaniye ve İkraniye arasından alınan D-15 numaralı kayaç örneği gnays olup genel olarak kaba taneli grano-lepidoblastik dokudadır (Şekil 5 a, b). Mineral birlikteliği olarak kayacın genelini plajiyoklaz, potasyumlu feldspat ve kuvars mineralleri kaplamaktadır. Kayaçta yönlendirmeyi biyotit mineralleri belirginleşmektedir. Opak mineraller özellikle lineasyonlar boyunca yer almaktadır. Bunun yanı sıra kayacın birkaç yerinde çok az miktarda ve çok küçük boyutlarda granat kristaloblastlarına rastlanılmıştır (Şekil 5 c, d). Bunlara ilave olarak ince kesitin sadece bir yerinde hornblend ve plajiyoklaz mineralleri arasında simplektitik doku gözlenmiştir (Şekil 5 e, f). Bilindiği üzere simplektitik dokular genellikle yüksek dereceli ve kuru koşullarda mevcut bulunan kayaçların yavaş soğumaları süreçlerinde tamamlanmamış tepkime dokularını yansıtmaktadırlar. D-15 numaralı örnekte hornblendin varlığı tepkimede akışkanlarında katkısı olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla sistemde gerekli miktarda serbest akışkan fazın ya da sulu silikat ergiyik fazın varlığı düşünülmektedir. Kayacın genel metamorfizmasına ilave olarak, kırıklar boyunca çok az miktarda breşik yapı gözlemlenmiştir.

Paşalar Köyü'nün doğusundan alınan G-15 numaralı örnek çok kaba taneli potasyumlu feldspatlardan meydana gelmektedir. Kayaç kaba taneli granit benzeri bir doku sunsa da daha ince taneli olan kesimlerinde kıvrımlı yapılara rastlanılmıştır. Kayaç içinde kataklastik metamorfizma izlerinin yanı sıra bazı minerallerde de bükülmelerle belirginleşen sünek deformasyon izlerine rastlanması, oluşan dokuların kayacın sünek davranış gösterdiği derinliklerden kırılma davranış gösterdiği derinliklere doğru yükselimi şeklinde düşünülmüştür. Bu örnekte de deformasyona bağlı dalgalı sönmeli ve alt taneli kuvars kristallerinin tane sınırı göçü ile oluşmuş girintili – çıkıntılı tane sınırları gözlenmektedir. Potasyumlu feldspatlarda plajiyoklas kusmaları şeklinde ortaya çıkan pertitik doku da belirlenmiştir (Şekil 6 a, b). Feldspatların kırık ve çatlaklarında kalsit gelişimleri yaygın olarak gözlemlenmiştir. Ayrıca kayacın kırık ve çatlaklarında kalsitin yanı sıra prehnitlerin varlığı kayacın deformasyon süreçlerinde düşük dereceli metamorfizmadan etkilendiğini göstermektedir.



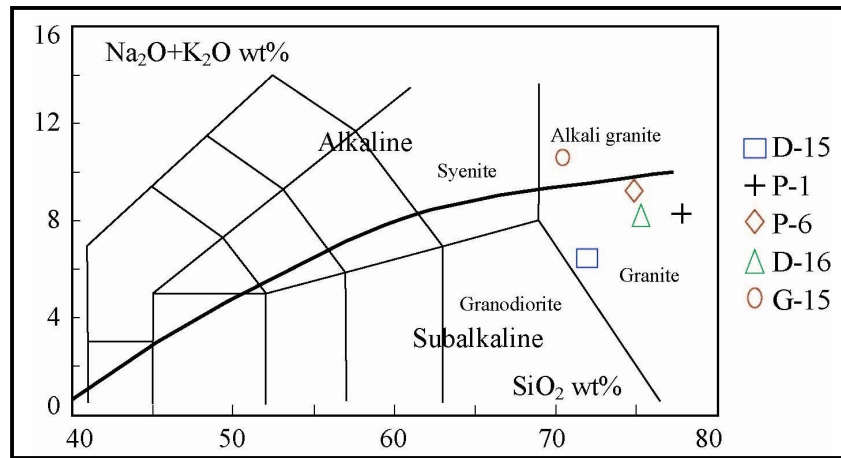
Şekil 6. a) Kaba taneli granitik kayacın mikroskop görüntüleri: a) Perthitik doku gösteren K-feldspat. b) Dislokasyon oluşumu ve göçü nedeniyle kuvarslarda uzun altane gelişimi ve dalgalı sönme. Kısaltmalar: Kfs, K-feldspat; cal, kalsit; qtz, kuvars.

Figure 6. Microscopic views of the coarse grained granitoidic rock: a) K-feldspar showing perthitic texture. b) Undulose extinction and elongate subgrains in quartz due to dislocation formation and migration. Abbreviations: Kfs, K-feldspar; Cal, calcite; qtz, quartz.

JEOKİMYA

Tüm kaya ana, iz, ve nadir toprak elementleri analizleri (Çizelge 1) Kanada Actlabs laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Toplam alkallerin ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) silika (SiO_2) içerikleriyle karşılaştırıldığı diyagramda (Le Maitre, 1989), granitoidik kökenli kayaların bir örnek dışında sub-alkali karakterde oldukları anlaşılmaktadır (Şekil 7). Aynı diyagramda bir örnek dışında diğer örneklerin granit bölgesine karşılık geldikleri görülmektedir. Irvine ve Baragar (1971)'in AFM üçgen diyagramında ise tüm örneklerin kalk-alkali karakterde oldukları belirlenmiştir.



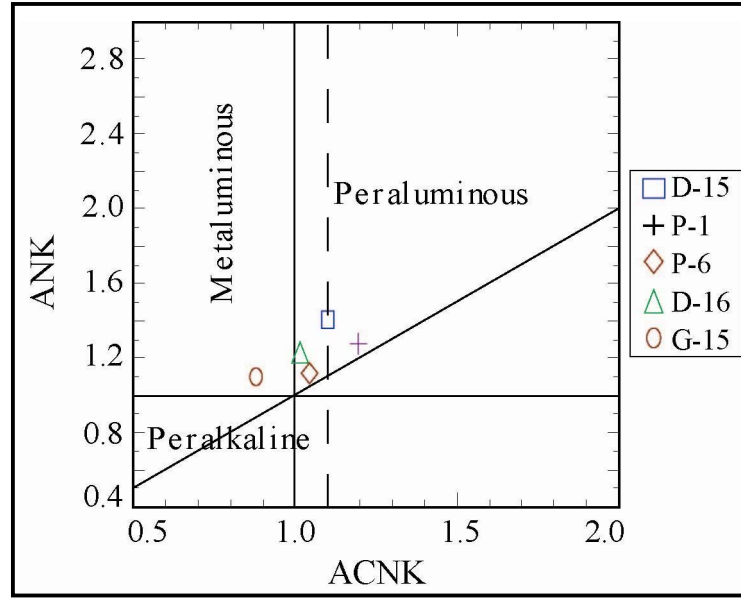
Şekil 7. Toplam alkallerin ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) silis içerikleriyle karşılaştırıldığı diyagram (Le Maitre, 1989). Alkali ve subalkali kayaları ayıran sınır çizgisi Irvine ve Baragar (1971)'e göre.

Figure 7. Total alkalis (Na₂O + K₂O) versus silica diagram (Le Maitre, 1989). The boundary line distinguishing alkalic and subalkalic rocks is after Irvine and Baragar (1971).

Çizelge 1. Geyve boğazı – Pamukova’ dan Granitoyitik kayaçların ana, iz ve NTE analizleri.
Table 1. Major, trace and REE analysis for granitoidic rocks from Geyve gorge - Pamukova.

Örnek	Det. Sırlar1	G15	P-1	P-6	D-15	D-16
SiO ₂	0.01	70,46	77,84	74,86	71,96	75,29
Al ₂ O ₃	0.01	14,22	12,44	13,26	14,32	13,35
Fe ₂ O ₃ (T)	0.01	0,53	0,37	0,33	2,82	0,32
MnO	0.001	0,01	0,01	0,04	0,04	0,00
MgO	0.01	0,14	0,09	0,08	0,44	0,04
CaO	0.01	1,66	0,41	0,48	1,48	1,27
Na ₂ O	0.01	2,75	3,88	3,27	5,74	3,60
K ₂ O	0.01	7,86	4,41	5,98	0,74	4,56
TiO ₂	0.001	0,06	0,06	0,03	0,42	0,02
P ₂ O ₅	0.01	0,02	0,03	0,02	0,07	0,04
LOI	0.01	1,02	0,45	0,32	0,66	0,50
Total	0.01	98,72	99,98	98,67	98,69	98,99
Sc	1	2,00	1,00	3,00	4,00	< 1
Be	1	1,00	2,00	4,00	1,00	< 1
V	5	11,00	< 5	< 5	17,00	< 5
Cu	10	< 10	< 10	< 10	20,00	< 10
Ga	1	15,00	13,00	19,00	15,00	12,00
Ge	0.5	1,60	1,10	2,50	0,60	1,00
Rb	1	200,00	82,00	282,00	18,00	79,00
Sr	2	157,00	119,00	56,00	408,00	124,00
Y	0.5	18,60	21,40	27,30	29,40	7,80
Zr	1	9,00	47,00	30,00	464,00	22,00
Nb	0.2	6,50	10,50	29,80	75,10	1,90
Cs	0.1	0,90	0,50	5,80	0,60	0,40
Ba	3	826,00	414,00	164,00	318,00	5397,00
La	0.05	1,79	7,09	5,82	54,30	5,28
Ce	0.05	3,19	15,00	12,80	107,00	9,58
Pr	0.01	0,36	1,86	1,50	10,60	0,97
Nd	0.05	1,65	8,21	6,68	34,90	3,58
Sm	0.01	0,49	2,15	1,81	6,00	0,80
Eu	0.005	0,47	0,50	0,15	0,77	0,45
Gd	0.01	0,91	2,41	2,08	4,78	0,96
Tb	0.01	0,28	0,55	0,55	0,89	0,18
Dy	0.01	2,21	3,62	3,70	5,22	1,21
Ho	0.01	0,53	0,72	0,78	1,05	0,26
Er	0.01	1,83	2,22	2,49	3,32	0,81
Tm	0.005	0,31	0,38	0,43	0,51	0,13
Yb	0.01	2,03	2,63	2,98	3,34	0,85
Lu	0.002	0,31	0,41	0,46	0,49	0,14
Hf	0.1	0,70	2,50	2,10	11,00	1,00
Ta	0.01	1,32	2,04	8,38	9,39	0,22
Tl	0.05	1,00	0,42	1,03	0,10	0,38
Pb	5	33,00	25,00	20,00	< 5	7,00
Bi	0.1	0,50	< 0.1	0,60	< 0.1	< 0.1
Th	0.05	3,80	10,30	11,10	21,30	2,21
U	0.01	2,60	3,67	6,05	3,85	0,56
(La/Yb) _N		0,63	1,93	1,40	11,66	4,46

Granitoyitik kökenli kayaçların A/CNK ($Al_2O_3/CaO+Na_2O+K_2O$) oranlarının A/NK (Al_2O_3/Na_2O+K_2O) oranlarıyla kıyaslandığı diyagramda örneklerin metalimüno ve peralüminö bölgesine karşılık geldikleri görülmektedir (Şekil 8). Tüm örneklerin A/CNK moloküler oranları hesaplandığında 0,88 ile 1,1 arasında değiştiği görülmüştür. Dolayısıyla Chappell ve White (1974)'ün sınıflamasına göre bu kayaçlar I tipi granitler olarak değerlendirilebilirler.

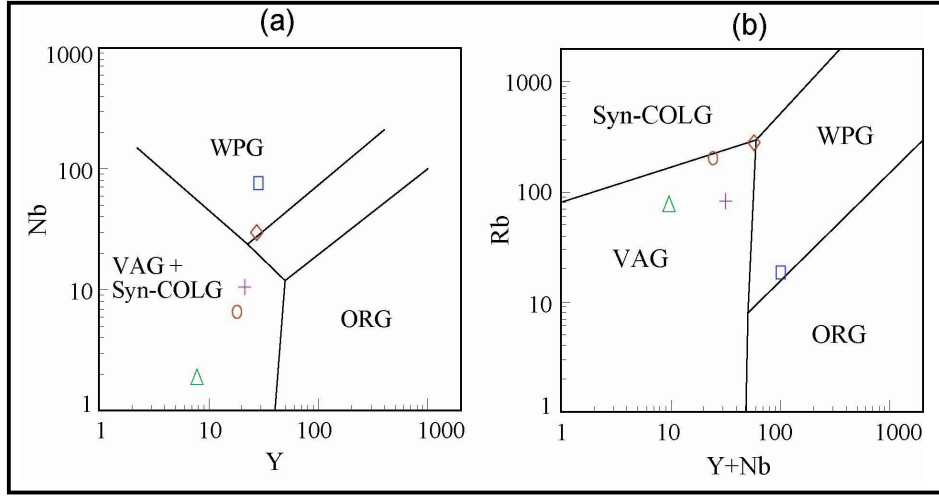


Şekil 8. Granitoyitik bileşimli kayaçların A/CNK oranlarının A/NK oranlarıyla kıyaslandığı diyagram (Maniar ve Piccolli, 1989'a göre).

Figure 8. A/CNK versus A/NK (after Maniar and Piccolli, 1989) diagrams for the granitoidic rocks.

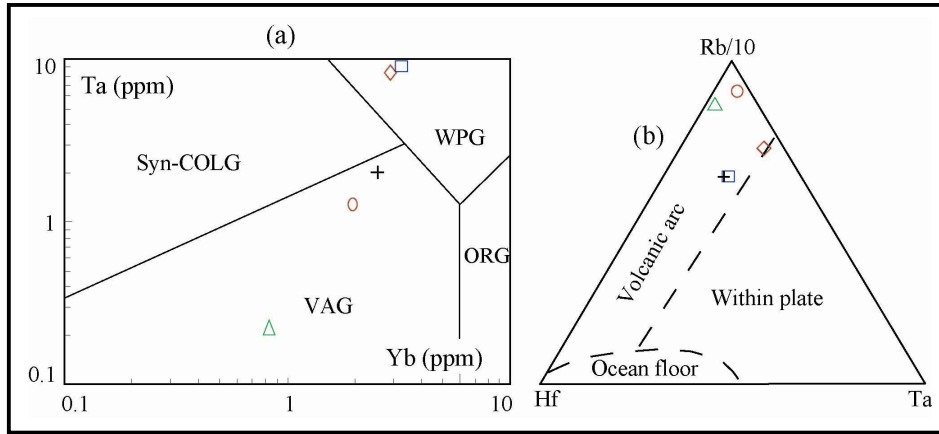
Granitik malzemelerin hangi tektonomagmatik ortam koşullarında oluştuğu özellikle mobil olmayan elementlerin kullanımıyla fikir verebilmektedir. Bu elementler çeşitli ayırım diyagramlarında tektonomagmatik ortamın belirlenmesinde kullanılmaktadır (ör. Pearce ve diğ., 1984). Nb içeriklerinin Y içerikleri ile kıyaslandığı diyagrama göre Pamukova civarında yer alan (P-1, G-15) örneklerle Nuriösmaniye - İkraniye arasında yer alan D-16 numaralı örneğin volkanik yay granitleri ile çarpışmayla eş zamanlı granitler bölgesine düştükleri buna karşılık D-15 numaralı örnek ile Pamukova kuzeyinden derlenen P-6 numaralı örneğin plaka içi granitleri bölgesine karşılık geldikleri görülmektedir (Şekil 9 a). Nb - Y diyagramının volkanik yay granitleri ve çarpışmayla eş yaşlı granitler ayırımını yapamamasından dolayı bu ayırımı yapabilecek Rb - Y+Nb diyagramı kullanılmıştır. Buna göre D-15 numaralı örnek dışında tüm örneklerin volkanik yay granitleri olduğunu göstermektedir (Şekil 9 b).

Nb - Y diyagramında plaka içi granitleri özelliğinde olana iki örnek Ta - Yb diyagramında da aynı tektonomagmatik ortama işaret etmektedir (Şekil 10 a). Bütün bunlara karşılık Harris ve diğ. (1986)'nın volkanik yay, okyanus tabanı ve plaka içi tipi granitleri birbirlerinden ayıran üçgen diyagramı kullanıldığında çelişkili örnekler dahil tüm örneklerin Ta içeriği açısından tüketilmiş olduğunu ve volkanik yay sahasına karşılık geldikleri görülmüştür (Şekil 10 b). Brown ve diğ. (1984)'e göre olgunlaşmış yaylarda Nb miktarının artması, Rb/Zr oranının artması sonucunu doğurmaktadır.



Şekil 9. Granitoyitik bileşimli kayaçların Nb – Y (a) ve Rb – Y+Nb (b) oranlarına dayalı tektonomagmatik ortam ayırım diagramları (Pearce 1996, ve Pearce ve diğ. 1984'e göre). Kısaltmalar: WPG = Plaka içi granitleri; VAG = Volkanik yay granitleri; syn-COLG = çarpışmayla eş zamanlı granit; ORG = okyanus sırtı granitleri.

Figure 9. Tectonomagmatic discrimination diagrams based on Nb versus Y (a) and Rb versus Y+Nb (b) for the granitoid rocks (after Pearce 1996, and Pearce et al. 1984). Abbreviations: WPG = within-plate granite; VAG = volcanic-arc granite; syn-COLG = syn-collisional granite; ORG = ocean-ridge granite.

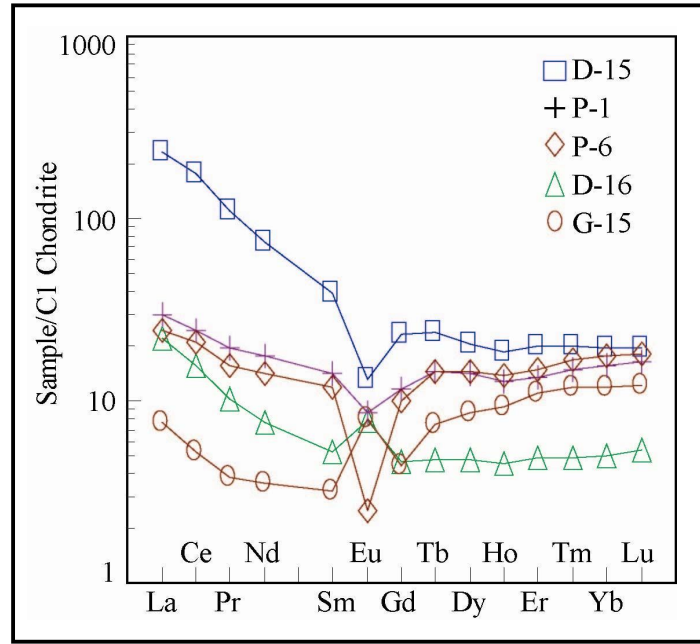


Şekil 10. Granitoyitik kayaçların iz-element ayırım diyagramları. (a) Ta – Yb diyagramındaki bölgeler Pearce ve diğ. (1984)'e göredir. (b) Rb-Hf-Ta üçgen diagramı (Harris ve diğ. 1986'e göredir).

Figure 10. Trace-element discrimination diagrams of the granitoidic rocks. (a) Ta versus Yb fields are from Pearce et al. (1984), (b) Rb–Hf–Ta triangular diagram (after Harris et al. 1986).

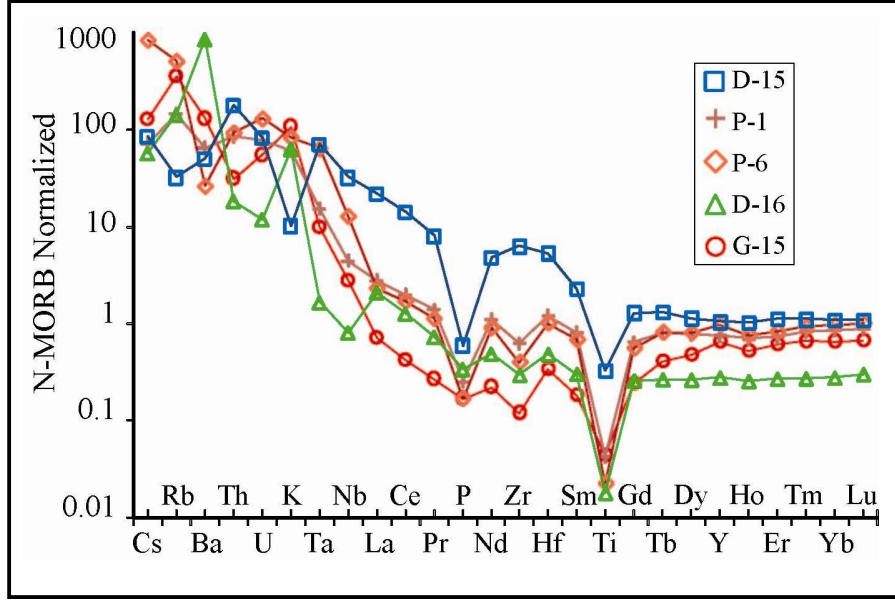
Mevcut örneklerin Rb/Zr oranlarıyla Nb içeriklerinin kıyaslanmasına göre örneklerin bir kısmının kıtasal yay ve olgun kıtasal yay oranları göstermesi, ayrıca granit bileşimli kayaçların metalumina ile peralumina doğası, muhtemelen, mantodan türeyen magmanın kıtasal kabuk ile kirlendiğine işaret etmektedir.

Kondrit'e göre normalleştirilmiş nadir toprak elementleri diagramında G-15 numaralı örnek yaklaşık düz bir gidiş sunmaktadır [(La/Yb)_N=0.63] buna karşın diğer örneklerin hafif nadir toprak elementlerinde (LREE) bir zenginleşme [(La/Yb)_N=1,4 - 11,66] HREE' lerde ise yaklaşık düz bir gidiş görülmektedir (Şekil 11). G-15 ve D-16 numaralı örneklerin Eu/Eu* [=Eu_{cn} / (Sm_{cn}XGd_{cn})^{0.5}] oranları sırasıyla 2,14 ve 1,58'dir. Bu oranlara göre kayalara feldspat birikiminden söz edilebilir. Buna karşın P-1, P-6 ve D-15 numaralı örneklerde Eu/Eu* oranı 0,23 ile 0,66 arasında değişmekte, dolayısıyla Eu değerlerinin negatif anomali göstermeleri ile plajiyoklaz fraksiyonlaşmasından bahsedilebilir.



Şekil 11. Granitoyitik kayaların Kondrit'e göre normalleştirilmiş nadir toprak elementleri diyagramı (REE). Normalleştirilmiş değerler Sun ve McDonough (1989)'dan alınmıştır.
Figure 11. Chondrite-normalized rare earth elements (REE) diagram for the granitoidic rocks. Normalizing values are from Sun and McDonough (1989).

Granitoyit kökenli kayaların MORB'a göre normalleştirilmiş çoklu element örümcek diyagramında Rb, Ba, U, Th ve K gibi büyük iyonlu litofil elementlerde, Zr, Ti, Hf, Nb ve Ta gibi kalıcılığı yüksek elementlere göre bir zenginleşme görülmektedir (Şekil 12). Ayrıca tüm örneklerde çok belirgin Ti tüketimi de gözlenmektedir. D-15 numaralı örnek diğer örneklerden farklılık sunmakta olup K içeriğinde göreceli olarak tüketilme ile birlikte Zr içeriğinde de göreceli zenginleşme göstermektedir. Kalıcılığı yüksek olan elementlerdeki tüketilme yitim ile ilişkili magmaların özelliklerinden olup, bu durum diğer taraftan kabuksal kirlenme ya da magma kaynağının dalan litosferik dilimden ayrılan akışkanlar ile büyük iyonlu litofil elementler açısından zenginleşmesi ile de açıklanır (ör. McCulloch ve Gamble, 1991). Aynı diyagramda P içeriklerinde belirgin bir şekilde tüketilme görülmektedir. Bu durum, muhtemelen, granitik magmanın fraksiyonlaşmasında kalsiyumca zengin amfibollerin ya da apatitin etkisini göstermektedir. Özellikle D-15 ve P-6 numaralı örneklerde negatif Eu anomolileri belirgin olup Ba içeriklerinde de göreceli tüketilme mevcuttur. Aynı örneklerde gözlenen belirgin negatif Nb, P ve Ti anomolileri bu kayaların plajiyoklaz, K-feldspat, amfibol, biyotit ve aksesuar mineralleri ayrışmasıyla beraber fraksiyonel kristallenmeye maruz kaldıklarını gösterebilir.



Şekil 12. Granitoyitik kayaların N-MORB'a göre normalleştirilmiş çoklu element diagramı. Normalleştirilmiş değerler Sun ve McDonough (1989)'dan alınmıştır.

Figure 12. N-MORB-normalized multi-element patterns for the granitoidic rocks. N-MORB normalizing values are from Sun and McDonough (1989).

SONUÇLAR

Amfibolitik türde metamorfik kayalar içerisinde belirlenen granitoyitik kökenli kayaların mineral zenginliği genel olarak sınırlı olup genel olarak kuvars, K-feldspat, plajiyoklaz ve biyotit minerallerinden meydana gelmektedir. Bazı kayalar çok kaba taneli olup daha çok K-feldspatlardan oluşmaktadır. Bazı kayalarda metamorfizmayı belirleyecek herhangi bir mafik mineral bulunmamakta, kayaç daha çok K-feldspat, plajiyoklaz ve kuvars minerallerinden meydana gelmektedir. Bu tür kayalarda kataklastik metamorfizmanın etkileri daha belirgindir. Diğer taraftan metamorfizmanın etkilerinin belirgin şekilde görüldüğü, yönlü mafik ve felsik mineraller içeren gnays türü kayalarda mevcuttur. Bazı granitoyitik bileşimli kayalarda metamorfizmanın belirlenememiş olması metamorfizma sonrasında da granit gelişimi olduğu ihtimalini düşündürmektedir. Bununla birlikte Geyve Boğazı ve Pamukova civarından derlenen granitoyitik bileşimli kayaların jeokimyasal analiz değerlendirmeleri, bu kayaların benzer jeokimyasal özelliklerde olduklarını göstermiştir. Bu durum Okay ve diğ. (2008)'in Geyve Boğazı ve Pamukova civarında amfibolitleri kesen meta-granitlerden aldıkları yaklaşık 569 My'lık benzer yaş verileri ile de teyit edilmektedir. Dolayısıyla Geyve Boğazı ve Pamukova hattı boyunca yüzeyleyen granitoyitik kayaların aynı kökenden gelmiş olabilecekleri ve daha çok mafik nitelikli metamorfik kayaların da granit gelişimi esnasında benzer jeolojik süreçlerden geçtikleri ya da benzer kökenli olabilecekleri söylenebilir.

KAYNAKLAR

AKSAY, A., PEHLİVAN, S., GEDİK, I., BİLGİNER, E., DURU, M., AKBAŞ, B., ALTUN, I., 2002. Türkiye Jeoloji Haritası, Zonguldak paftası, ölçek 1:500 000. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.

- AKARTUNA, M., 1968. Armutlu yarımadasının jeolojisi. İstanbul Üniv. Fen. Fak. Monog. 20, 1 – 105.
- AKARTUNA, M., ve ATAN, O.R., 1981. Geyve-İkramiye-Fındıksuyu (Sakarya) dolayının jeolojisi; S.Ü. Fen Fakültesi, Yer Bilimleri Dergisi, 1, 25-46.
- BOZCU, M., 1992. Geyve (Adapazarı ili) Sapanca dolayının jeolojik ve petrolojik incelemesi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 247p.
- BROWN, G.C, THORPE., R.S., and WEBB, P.C ., 1984. The geochemical characteristics of granitoids in contrasting arcs and comments on magma sources. J Geol Soc Lond 141, 413–426.
- CHAPPELL, B.W., and WHITE, A.J.R., 1974. Two contrasting granite types. Pac. Geol. 8, 173–174.
- GÖNCÜOĞLU, M.C., ERENDİL, M., TEKELİ, O., ÜRGÜN, B.M., AKSAY, A., ve KUŞÇU, G., 1986. Armutlu Yarımadası'nın doğu kesiminin jeolojisi. MTA Rapor, No. 7786 43p.
- GÖNCÜOĞLU, M.C., ERENDİL, M., TEKELİ, O., AKSAY, A., KUŞÇU, A., and ÜRGÜN, B., 1987. Geology of the Armutlu Peninsula. Correlations of Variscan and Pre-variscan Events in the Alpine–Himalayan Mountain Belt. Field Meeting. Turkey. Guide Book for the Field Excursion Along Western Anatolia, Turkey. IGCP Project, MTA. 5, 12–18.
- GÖNCÜOĞLU, M.C., ERENDİL, M., TEKELİ, O., AKSAY, A., KUŞÇU, and A., ÜRGÜN, B., 1992. Introduction to the geology of the Armutlu Peninsula. ISGB-92, Guide Book, pp. 26–36.
- HARRIS, N.B.W, PEARCE, J.A., and TINDLE, A.G., 1986. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. In: Coward MP, Ries AC (eds) Collision tectonics. Geological Society of London Special Publication, 19, 67–81.
- IRVINE, T.N., BARAGAR, W.R.A., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Can. J. Earth Sci. 8, 523–548.
- LE MAITRE, R.W., 1989. A classification of igneous rocks and glossary of terms: Oxford, UK, Blackwell, 193 p.
- MANIAR, P.D., and PICCOLLI, P.M., 1989. Tectonic discrimination of granitoids. Bull Geol Soc Am 101, 636–643.
- MCCULLOCH, M.T., and GAMBLE, J.A., 1991. Geochemical and geodynamical constraints on subduction zone magmatism. Earth and Planetary Science Letters, 102, 358–374.
- OKAY, A.I., BOZKURT, E., SATIR, M., YİĞİTBAŞ, E., CROWLEY, Q.G., and SHANG, C.K., 2008. Defining the southern margin of Avalonia in the Pontides: Geochronological data from the Late Proterozoic and Ordovician granitoids from NW Turkey. Tectonophysics. 461, 252-264.
- PEARCE, J. A., 1996. Sources and settings of granitic rocks. Episodes, 19, 120–125.
- PEARCE, J.A., HARRIS, N.B.W., and TINDLE, A.G., 1984. Trace element discrimination the tectonic interpretation of granitic rocks. J. Petrol. 25, 956–983.

ROBERTSON, A.H.F., and USTAÖMER, T., 2004. Tectonic evolution of the Intra-Pontide suture zone in the Armutlu Peninsula, NW Turkey. *Tectonophysics* 381, 175–209.

SUN, S.S., and MCDONOUGH, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders AD, Norry MJ (eds) *Magmatism in the ocean basins*. Geological Society of London Special Publication. 42, 313–347.

ŞENGÖR, A.M.C., and YILMAZ, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach: *Tectonophysics*, 75, 181-241.

TÜRKECAN, A., YURTSEVER, A., 2002. Türkiye Jeoloji Haritası, Zonguldak paftası, ölçek 1:500 000. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.

YILMAZ, K., 1992. Mekece (Adapazarı) – Bahçecik (Kocaeli) Dolayının jeolojik ve petrolojik incelemesi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi. 260p.

YILMAZ, Y., GENÇ, Ş.C., YİĞİTBAŞ, E., BOZCU, M., and YILMAZ, K., 1995. Geological evolution of the Late Mesozoic continental margin of Northwestern Anatolia. *Tectonophysics*, 243, 155-171.