

Küre (Kastamonu) Karmaşığı Ofiyolitik Kayaçları ve Bu Kayaçları Kesen Dasitlerin Kökeni

Origin of the Ophiolitic Rocks and Crosscutting Dacites from the Küre (Kastamonu) Complex

ÖMER FARUK ÇELİK^{1*}

¹Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 41380 İzmit-Kocaeli / Türkiye

Geliş (received) : 30 Haziran (June) 2016

Kabul (accepted) : 10 Eylül (September) 2016

ÖZ

Orta-Pontidler'de Küre Karmaşığı farklı türde magmatik ve çökel kayaçların birlikteliği olarak tanımlanır (ör. bazalt, siyah-şeyl, kumtaşı). Bu kayaçlar tektonizma ve alterasyondan değişik oranlarda etkilenmişlerdir. Bazaltlar masif, breşik ve yastık yapılı olup, tektonik etkiler sonucunda bazı yerlerde siyah şeyl gibi kırıntılı kayaçların altında, bazı yerlerde ise siyah şeyllerin üstünde yer alırlar. Bu kayaçlar dasit-porfir ve dolerit daykları tarafından kesilirler. Sınırlı alanda yüzlek veren gabrolar, genel olarak kaba taneli ve ofitik dokulu olup başlıca plajiyoklaz, piroksen, amfibol ve opak minerallerden meydana gelmektedir. Küre Karmaşığı ofiyolitik kayaçları (gabro, bazalt, dolerit) ve bu kayaçları kesen dasit-porfirler farklı kaynak alanlardan türemişlerdir. Ofiyolitik kayaçların kondrite göre normalize edilmiş nadir toprak elementleri (NTE) diyagramında, genellikle yitim ile ilgili kayaçlarda gözlenen yaklaşık düz bir yönsemeye birlikte bazı gabroların hafif nadir toprak elementlerinde hafif bir zenginleşme gözlenmektedir. Dasit-porfirlerin kondrite göre normalize edilmiş NTE diyagramında, ofiyolitik kayaçlardan farklı olarak, ortaç NTE'lerden hafif NTE'lere doğru belirgin bir zenginleşme, buna karşılık ortaç NTE'lerden ağır NTE'lere doğru yaklaşık düz bir yönseme gözlenmektedir. Ofiyolitik kayaçların $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_0$ oranları 0.7041 ile 0.7059 arasında değişmektedir. Aynı kayaçların ϵCHUR_0 değerleri 6.1 ile 7.2 arasındadır. Bu izotop verileri Küre Karmaşığı ofiyolitik kayaçlarının okyanus ortası sırtı bazaltları (OOSB) ya da tüketilmiş manto kaynağı ile zenginleşmiş manto kaynağının (muhtemelen EMII) karışımı sonucu oluşmuş yitim zonu üstü ofiyolitleri olduğunu işaret etmektedir. Küre Karmaşığı'nı kesen dasit-porfir daykları düşük $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_0$ izotop oranlarına (0.51211–0.51225) ve yüksek $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_0$ oranlarına (0.7072- 0.7108) sahiptir. Negatif ϵCHUR_0 değerleri (-3.5 ve -6.2) gösteren dasit-porfir dayklarının $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_0$ oranları 17.89–18.52, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_0$ oranları ise 15.63–15.64'dür. Bu izotop verileri dasit-porfirlerin EMII kaynak alanıyla ilişkili olduklarını ve dolayısıyla kabuktan türemiş kayaçlar olabileceklerini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Dasit, nadir toprak elementleri, ofiyolit, Sr-Nd-Pb izotopları.

ABSTRACT

The Küre Complex in the Central Pontides has been defined as a rock association composed of various types of magmatic and sedimentary rocks (e.g. basalt, black-shale, sandstone). These rocks were affected by varying degrees of alteration and tectonism. Basalts, which are observed as massive, breccia and pillow structured, are tectonically overlain or underlain by the clastic rocks such as the black shales. These rocks are crosscut by dacite-porphry and dolerite dikes. Gabbros, which are observed in a limited area, consist mainly of plagioclase, pyroxene, amphibole and opaque minerals and are commonly granular and ophitic textured. Chondrite-normalized rare earth elements (REE) of the ophiolitic rocks display commonly flat patterns. Some gabbros exhibit light REE enrichment. These type of distribution patterns in the chondrite-normalized REE diagrams are commonly attributed to the subduction-related rocks. Chondrite-normalized REE diagrams of the dacites exhibit enrichment in light REE and a flat distribution pattern in heavy REE which are different from those of the ophiolitic rocks. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_0$ ratio of the ophiolitic rocks vary between 0.7041 and 0.7059. ϵCHUR_0 values of the same rocks are between 6.1 and 7.2. These isotopic data suggest that the ophiolitic rocks of the Küre Complex were occurred as the supra-subduction ophiolites and were derived from mixing between mid-ocean ridge basalts (Depleted MORB mantle) and an enriched mantle source, most likely EMII. Dacite-porphry dikes cross-

*Ö.F. Çelik
e-posta: celikfrk@gmail.com

cutting the Küre Complex have low $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_0$ ratios (0.51211–0.51225) and high $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_0$ ratios (0.7072–0.7108). $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_0$ and $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_0$ ratios of the dacite-porphry dikes which have negative ϵCHUR_0 values (-3.5 ve -6.2) are 17.89–18.51 and 15.63–15.62 respectively. The isotopic data of the dacite-porphry dikes show that they were originated from the EMII source area, so that they are crustal-derived.

Keywords: Dacite, rare earth elements, ophiolite, Sr-Nd-Pb isotope.

GİRİŞ

Orta Pontidler'de Küre Karmaşığı kabaca silis kırıntılı türbiditlerle (Akgöl Formasyonu) birlikte mafik ve ultramafik kayalardan meydana gelmektedir (Ustaömer ve Robertson, 1994). Orta Pontidler'in kuzey kesimlerinde birçok granitoyit sokulumu yer almakta olup (Şekil 1 ve 2) bu granitoyitlerin ve ilişkili oldukları kayaç ve cevherleşmelerin özellikle son yıllarda radyometrik yöntemlerle tarihlendirilmesi ve modern jeokimyasal analizlerinin yapılması neticesinde bölge kayalarının stratigrafisi ve bölgesel jeoloji içindeki yerleri daha iyi anlaşılmasına başlanmıştır (ör. Nzegge vd., 2006; Okay vd., 2006, 2013; Akbulut vd., 2016; Çelik vd., 2016; Okay vd., 2015). Küre Karmaşığı'na ait Akgöl Formasyonu Orta Jura yaşlı dasit-porfirler ve granitoyitler tarafından kesilmekte, Üst Jura – Alt Kretase kireçtaşları tarafından örtülmektedir (Yılmaz ve Boztuğ, 1986; Ustaömer ve Robertson, 1994; Okay vd., 2014). Dolayısıyla Akgöl Formasyonu için üst yaş sınırı Üst Jura – Alt Kretase kireçtaşları iken, alt yaş sınırı içinde barındırdığı Karniyen ve Noriyen'e karşılık gelen kireçtaşlarıdır (Okay vd., 2015). Okay vd., (2015) Küre Karmaşığı içinde tanımlanan serpantiniter ve filişleri kesen bir granitoyitin biyotitlerinden ^{40}Ar - ^{39}Ar yöntemi kullanarak 162 ± 4 My yaş elde etmişlerdir. Bu yaş verisi ve jeolojik ilişki sayesinde, serpantiniterin Üst Triyas yaşlı türbiditler içine Orta Jura'dan önce ve En Geç Triyas sonrasında yerleştiği sonucu çıkarılmıştır (Okay vd., 2015). Ustaömer ve Robertson (1994) Küre Karmaşığı içinde tanımladıkları serpantiniter, bazalt ve gabroların bir ofiyolitin üyelerine ayrılmış parçaları olduğunu belirtmişlerdir. Sınırlı element analizleriyle birlikte bazaltların toleyitik karakterde olduğunu ve baskın olarak OOSB tipi bazalt özelliğini yansıttıklarını belirten yazarlar, bu kayaların bir bölümünün de bazı ayırım diyagramlarında ada yayı toleyitleri (AYT) tipi olduğuna dikkat çekmişlerdir.

Bu çalışma ile, Küre Karmaşığı içinde yüzlek veren bazalt, gabro, dolerit ve dasit-porfir türü kayaların petrografik ve jeokimyasal özelliklerinin tespiti ile

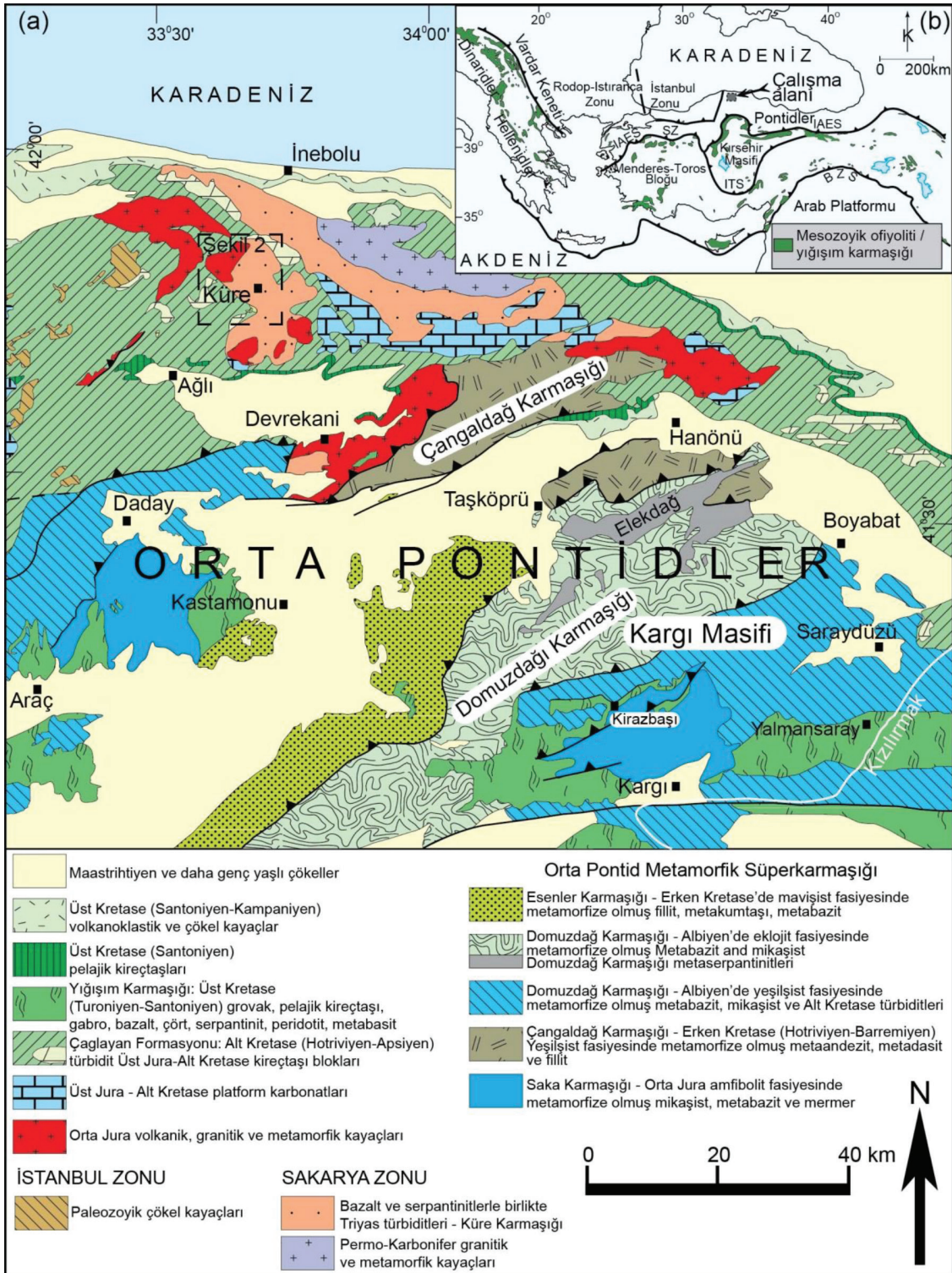
birlikte bu kayaların oluştuğu jeodinamik ortamlar ve manto kaynak alanları, tüm-kaya ana, iz ve nadir toprak elementleri ve Sr-Nd-Pb izotop verileri kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır.

GENEL JEOLJİ

Orta Pontidler İstanbul ve Sakarya zonlarının yüzlek verdiği bir bölgedir (Şekil 1). İstanbul zonu kabaca Prekambriyen yaşlı metamorfik bir temel ve bu temeli uyumsuz olarak üzerleyen, Ordovisyen'den Karbonifer'e kadar süreklilik sunan transgresif çökel bir istif ve bu istifi yine uyumsuz olarak örten Permo-Triyas yaşlı çökel kayalarla tanımlanır (ör. Aydın vd., 1986; Dean vd., 1997; Görür vd., 1997; Okay vd., 2006). Sakarya Zonu oldukça yoğun deformasyon göstermekle birlikte kısmen metamorfizmaya maruz kalmış Permo-Triyas yaşlı yitim yığılma karmaşığıyla (Karakaya Karmaşığı) temsil edilmektedir (ör. Tekeli, 1981; Okay vd., 2006). İstanbul ve Sakarya zonları Üst Jura yaşlı sığ denizel kireçtaşları tarafından örtülmektedirler (Şekil 1).

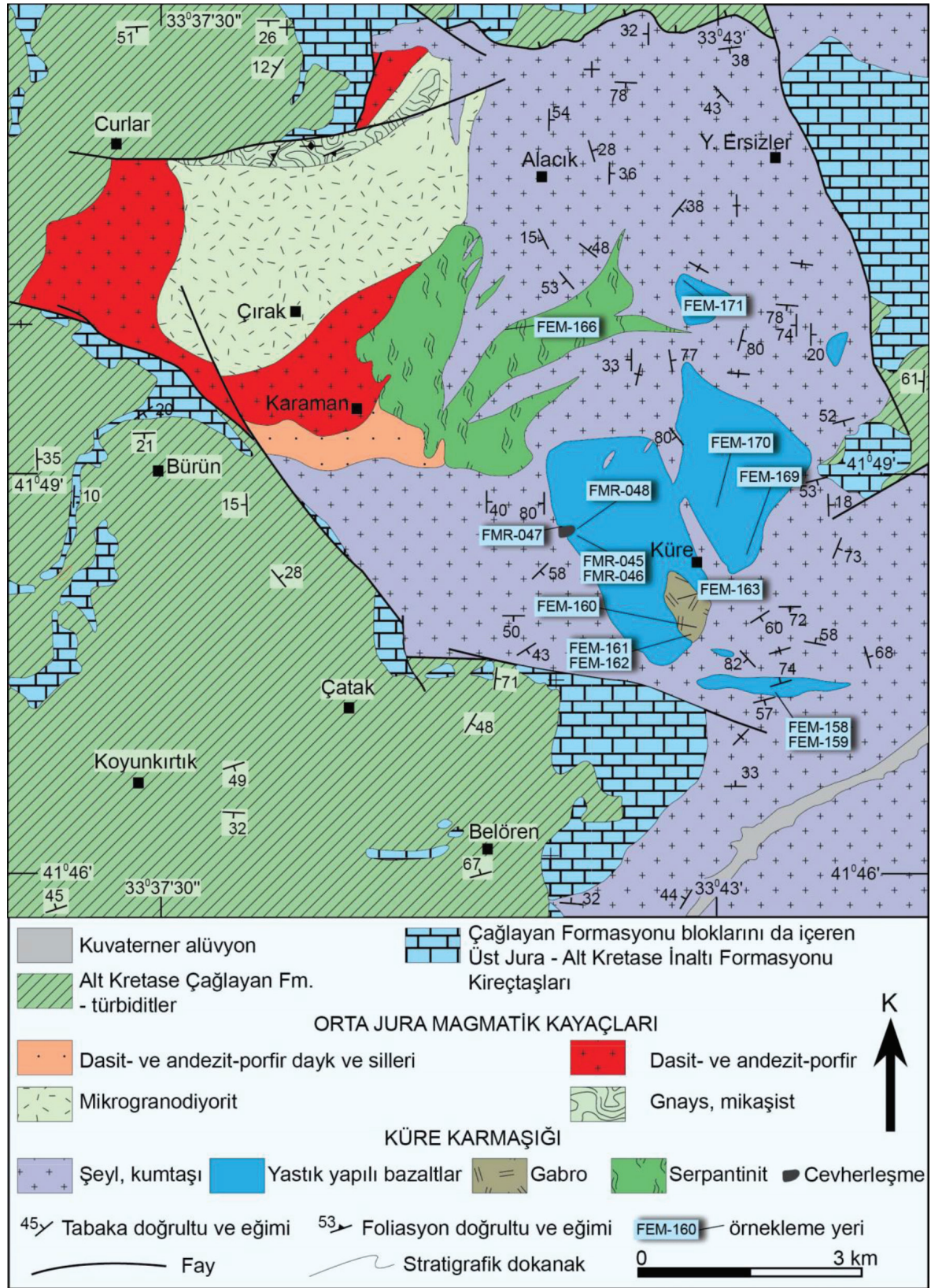
Orta Pontidler'in güney kesimlerinde geniş yayılım gösteren farklı fasiyeslerde başkalaşıma maruz kalmış metamorfik topluluklar önceki çalışmalarda Triyas ve daha yaşlı temel kayaları olarak değerlendirilmiş olsa da (Yılmaz ve Şengör, 1985; Tüysüz, 1990; Ustaömer ve Robertson, 1994, 1999; Yılmaz vd., 1997; Yiğitbaş vd., 1999; Uğuz vd., 2002) radyometrik yaş tayinlerinin özellikle son 10 yıl içinde Türkiye genelinde ve dolayısıyla bölge kayalarında gerçekleştirilmesiyle, temel olarak belirtilen metamorfiklerin düşünülenden farklı olarak Jura ve Kretase yaşlı oldukları tespit edilmiştir (Şekil 1; ör. Aygül vd., 2015; Okay vd., 2006, 2013; 2015; Çelik vd., 2016).

Orta Pontidler'de Sakarya Zonu'nun kristalin temeli Küre'nin kuzeybatısında, İnebolu'nun güneydoğusunda Karadeniz kıyısına yakın sınırlı bir alanda Permo-Karbonifer granitoyitleri (305–290 My) ve meta-sedimanter kayalar olarak yüzlek verir (Nzegge vd., 2006, Şekil 1). Varisken olarak tanımlanan Sivrikaya ve Deliklitaş granitoyitleri peralümino, kalk alkalın



Şekil 1. a) Orta Pontid'lerin doğu kesiminin jeoloji haritası (Okay vd., 2013 ve Çelik vd., 2016'dan değiştirilerek alınmıştır.), b) Doğu Akdeniz bölgesindeki kıtasal bloklar, kenet kuşakları ve çalışma alanı (Kısaltmalar: İAEK, İzmir-Ankara-Erzincan keneti; İTK, İç Toros keneti; BZK, Bitlis-Zagros keneti).

Figure 1. a) Geological map of the eastern part of the Central Pontides (modified from Okay et al., 2013 and Çelik et al., 2016), b) the study area and the main suture belts and continental blocks in the Eastern Mediterranean area (Abbreviations: İAEK, İzmir-Ankara-Erzincan suture; İTK, Inner Tauride suture; BZS, Bitlis-Zagros suture).



Şekil 2. Küre civarının jeoloji haritası (Okay vd., 2015 ve içerisinde değinilen kaynaklar).
Figure 2. Geological map of Küre and surrounding (Okay et al., 2015, references therein).

karakterli olup yüksek potasyum bileşimine sahiptirler (Nzegge vd., 2006). Orta Pontidler'de temeli oluşturan metasedimanter kayaçlar metasilttaşı ve ince taneli metakumtaşları ile arakatlı siyah ve kahverengi sleyt ve fillitlerden oluşmaktadır (Boztuğ ve Yılmaz, 1983).

Orta Pontidler'de yüzlek veren Küre Karmaşığı, kaynaklarda Akgöl Formasyonu olarak geçen Üst Triyas yaşlı siliskirintili türbiditler ve ofiyolitik kayaçlardan meydana gelmektedir (Ustaömer ve Robertson, 1994). Ultramafik (harzburjit, lerzolit, dünit) ve mafik kayaçlarla (bazalt, gabro, dolerit) temsil edilen ofiyolitik kayaçlar farklı derecelerde serpantinleşme ve alterasyon gösterirler (Ustaömer ve Robertson, 1993, 1994; Çakır vd., 2006).

Okay vd. (2015), siliskirintili türbiditler içinde Noriyen (Geç Triyas) yaş aralığına denk gelen *Monotis salinaria* türü fosiller elde ederek, bu fosillerin benzer birimler içerisinde kuzeyde Kırım'ın Torik serisinde de yer aldığına dikkat çekmişlerdir. Küre Karmaşığı'nın bir bölümünü oluşturan Üst Triyas yaşlı orojenik volkano-sedimanter birim, Orta Pontidler'de temel olarak belirtilen Permo-Karbonifer granitoyitlerinin güney kesimini üzerler (Ustaömer ve Robertson, 1994). Akgöl Formasyonu ince tabakalı koyu renkli silttaşı ve kumtaşlarıyla arakatlı siyah şeyllerden meydana gelmekte olup, birçok kesiminde faylı ve kıvrımlı olmak üzere yoğun deformasyon gösterir. Kumtaşları genellikle ince taneli ve ince tabakalı olup kuvars, feldispat ve kayaç parçacıklarından meydana gelir. Kayaç parçaları daha çok andezitik ve daha asidik karakterli volkanik kayaç türlerindedir (Okay vd., 2015).

Küre Karmaşığı Orta Jura yaşlı granitoyitik kayaçlar tarafından kesilmekte olup (Şekil 2) Üst Jura kıtasal kırıntılı kayaçlar ve kireçtaşları tarafından uyumsuz olarak örtülürler (ör. Okay vd., 2015). Küre maden sahası içerisinde de siyah şeyller ve volkanitleri kesen bir dasit-porfir dayk Şekil 3a'da görülmektedir. Ayrıca Küre bakır madeni içerisinde yer alan volkanik kayaçlar, doleritik dayklar tarafından da kesilmektedir. Akgöl Formasyonu'nu stratigrafik olarak örten Üst Jura kireçtaşları ve Akgöl Formasyonu'na solum yapmış Orta Jura yaşlı granitoyitlerde deformasyonun görülmeşi, deformasyonun Geç Triyas veya Erken Jura dönemine karşılık geldiği şeklinde yorumlanmıştır (Okay vd., 2015). Üst Triyas yaşlı türbiditik Akgöl Formasyonu'nun şeyl ve kumtaşları içinde ayrıca Kayabaşı Formasyonu olarak isimlendirilen Anisiyen-Karniyen (Orta-Üst Triyas) yaşlı kireçtaşları

yer almaktadır (Blumenthal, 1948; Önder, 1988; Okay vd., 2015). Küre civarında uzun yıllardan beri işletilen volkanik kökenli masif sülfid yatakları masif, ağırsal ve saçınımlı şekilde olup özellikle masif yapıları olanların Küre Karmaşığı'nın şeyl ve bazaltlarının dokanağında yer aldığı rapor edilmiştir (ör. Akbulut vd., 2016 ve içerisinde değinilen kaynaklar).

Bölgede bazaltik kayaçlar geniş bir yayılıma sahiptir. Bazaltik kayaçlar masif, yastık yapıları ve breşik volkanitler olarak yüzlek verirler (Şekil 3b ,c, d). Küre civarında gözlenen gabro ve bazaltlar genellikle alterdedir. Bazaltlarla türbiditlerin kontağı genellikle faylı olmakla birlikte birkaç lokasyonda yastık yapıları bazalt ve breşlerinin stratigrafik olarak Akgöl Formasyonu'nun siyah şeylleri tarafından üzerlendiği rapor edilmiştir (Bailey vd. 1967; Ustaömer ve Robertson, 1994; Okay vd., 2015). Bununla birlikte siyah şeyllerle volkanitlerin farklı yapısal durumları, bölgenin ekaylı yapısına işaret etmektedir (Şekil 3e ve f). Siyah şeyllerden Küre-Uzunöz arasında ölçülen doğrultu eğim değerleri K46°D/80°GD şeklindedir. Volkanik kayaçlar ve siyah şeyller, ayrıca, hem Küre madeni içerisinde hem de Küre-İnebolu yolu üzerinde geniş yayılım sunmaktadır. Bu alanlar içerisinde hem volkanitlerin kendi içlerinde (breşik ve ezik zonlar olarak) hem de siyah şeyllerle volkanitlerin kendi aralarında tektonik kuvvetlerden etkilendikleri tespit edilmiştir (Şekil 3c).

ANALİTİK YÖNTEM

Küre Karmaşığı'ndan 5 bazalt, 3 gabro, 1 dolerit ve 2 adet dasit numunesi, ana, iz ve nadir toprak element miktarlarının saptanması için Kanada'nın Vancouver şehrinde yer alan ACME Analitik Laboratuvarlarında ICP-ES ve ICP-MS teknikleriyle analiz ettirilmiştir. Yaklaşık 0.2 gr toz numune 1.5 gr LiBO₂ ile birlikte ergitilmiş ve % 5'lik HNO₃'te çözülmüştür. Ana oksitlerin tayininde ICP-ES, iz ve nadir toprak element tayinlerinde ise ICP-MS kullanılmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 1 ve 2'de verilmiştir.

Amfibol kimyası analizleri Cameca SX50 elektron mikroprob cihazıyla Padova Üniversitesi'nde (İtalya) gerçekleştirilmiştir. Sabit artan voltajda, 15kV, amfibol analizleri için ışın akımı 15 nA olarak ayarlanmıştır. FEM-171 numaralı gabro numunesinden elde edilen analiz sonuçları Çizelge 3'te verilmiştir.

Tüm kayaç ana, iz ve nadir toprak element analizleri yapılan tüm örneklerin (FEM-159 numaralı bazalt numunesi hariç) Sr-Nd-Pb izotop analizleri İsviçre'nin Genevre Üniversitesi'nde Mineraloji Bölümü'nde



Şekil 3. a) Küre bakır madeninde siyah şeyller içine sokulum yapmış bir dasit-porfir daykı, b) Kastamonu-Küre yolu üzerinde yer alan yastık yapılı bazaltların genel görüntüsü, c) masif bazaltlarla siyah şeyllerin tektonik ilişkisi, d) breşleşmiş volkanik kayaların yakından görüntüsü, e) siyah şeyl arakatlı kumtaşlarının (Akgöl fm.) bazaltlar üzerinde tektonik olarak yer aldığını gösteren fotoğraf, f) bazaltların siyah şeyl arakatlı kumtaşlarının üzerinde tektonik olarak yer aldığını gösteren fotoğraf.

Figure 3. a) A dacite-porphyr dike intruded into the black-shales in the Küre copper mine, b) a general view of pillow structured basalts located on the Kastamonu-Küre road, c) the tectonic relationship between the massive basalts and the black-shales, d) a close view of volcanic rocks having the breccia structure, e) sandstones intercalated with black-shales that tectonically located on the basalts, f) basalts that tectonically located on the sandstones intercalated with black-shales.

Çizelge 1. Küre Karmaşığı'na ait gabro, dolerit, bazalt ve dasit türü kayaçların ana ve iz element analiz sonuçları.
Table 1. Major and trace element analyses for gabbro, dolerite, basalt and dacite from the Küre Complex.

Kayaç	Gabro	Gabro	Gabro	Dolerit	Bazalt	Bazalt	Bazalt	Bazalt	Bazalt	Dasit	Dasit
Örnek	FEM-160	FEM-163	FEM-171	FMR-046	FMR-045	FMR-048	FEM-158	FEM-159	FEM-169	FEM-166	FMR-047
SiO ₂	55.94	51.68	47.29	45.75	41.78	46.33	41.09	43.66	49.89	61.27	65.46
TiO ₂	1.36	0.43	0.27	1.13	1.21	1.31	1.01	0.95	0.68	0.61	0.29
Al ₂ O ₃	16.32	16.49	13.48	14.3	12.95	15.44	13.65	16.24	17.62	17.32	15.43
Fe ₂ O ₃	10.29	7.78	6.84	9.12	8.02	10.08	7.92	9	9.04	5.86	3.15
MnO	0.09	0.12	0.12	0.14	0.14	0.17	0.17	0.13	0.12	0.09	0.06
MgO	3.39	8.01	15.69	7.12	5.49	7.22	4.62	6.56	6.57	2.83	1.52
CaO	3.61	11.45	11.82	12.24	16.94	9.31	13.73	8.55	7.43	4.27	2.86
Na ₂ O	5.9	1.48	0.7	2.34	1.6	4.23	4.77	3.23	3.77	3.08	2.37
K ₂ O	0.17	0.21	0.11	0.24	0.06	0.2	0.06	0.5	0.16	2.42	2.82
P ₂ O ₅	0.082	0.04	0.024	0.108	0.159	0.132	0.085	0.085	0.045	0.123	0.146
Cr ₂ O ₃	n.d.	0.005	0.164	0.053	0.036	0.041	0.013	0.041	0.047	0.037	0.005
LOI	2.7	2.1	3.1	7.2	11.4	5.3	12.9	11	4.4	1.9	5.8
Toplam	99.85	99.79	99.60	99.74	99.78	99.76	100.01	99.94	99.77	99.81	99.91
İz Elementler (ppm)											
Nb	1	n.d.	0.3	1.5	2.1	1.6	1.2	1.1	0.6	6.2	6.2
Zr	53.6	14.2	13.6	61.4	87.6	77.6	59.7	52.6	35.4	116.4	97.3
Y	33.2	11.7	7.2	20.7	27.7	26.3	23.7	21	14.6	16.2	9.4
Sr	120.1	64.8	61.7	129.4	54	259.6	65.2	107.1	165.4	275.8	103.4
Rb	1.2	1.8	0.8	4.3	1.8	5.9	1.6	14.5	2.9	83.3	110.7
Ba	25	16	13	23	11	36	8	29	20	400	176
Pb	0.1	n.d.	0.1	0.5	0.6	0.3	0.5	0.1	0.8	3.1	34.4
Ga	18.3	12.4	8.9	13.6	15.8	13.4	11.7	13.7	14.3	17.3	16.7
Zn	13	16	8	62	69	77	50	53	61	32	49
Cu	1.2	167.1	4.7	79.2	35.1	71.3	50.4	105	20.9	19.8	3.8
Ni	2.5	31.9	101.8	120.8	52.3	61.5	42	88.1	109.8	9.5	12.2
Co	27.2	34.4	48.1	44.4	26.5	41.9	34.3	46.1	44.4	14.7	5.5
V	421	231	179	278	248	301	267	251	215	89	36
Hf	1.9	0.6	0.5	1.8	2.4	2.3	1.9	1.7	1.2	3.6	2.7
Ta	n.d.	n.d.	n.d.	0.1	0.1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.4	0.6
Th	0.4	n.d.	n.d.	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	n.d.	7.3	10.7
U	0.2	n.d.	n.d.	n.d.	1.9	n.d.	0.9	n.d.	n.d.	2.2	4.9
Mo	0.7	0.6	0.3	0.6	0.3	0.4	0.1	0.6	0.6	3.8	1
Sc	34	41	41	36	32	41	41	46	40	17	6

n.d., Ölçülebilirlik sınırları altında

Çizelge 2. Küre Karmaşığı'na ait gabro, dolerit, bazalt ve dasit türü kayaçların Nadir Toprak Element (NTE) analiz sonuçları (ppm).

Table 2. Rare earth element analyses for gabbro, dolerite, basalt and dacite from the Küre Complex.

Kayaç	Gabro	Gabro	Gabro	Dolerit	Bazalt	Bazalt	Bazalt	Bazalt	Bazalt	Dasit	Dasit
Örnek	FEM-160	FEM-163	FEM-171	FMR-046	FMR-045	FMR-048	FEM-158	FEM-159	FEM-169	FEM-166	FMR-047
La	2.6	0.7	0.7	2.9	4.3	3.6	2.9	2.5	2.1	19.5	22.3
Ce	6.4	1.8	1.6	7.4	11.1	9.6	7.6	6.8	4.9	38	43.9
Pr	1.17	0.31	0.29	1.28	1.9	1.67	1.46	1.24	0.87	4.73	5.08
Nd	6.1	2	1.7	7	9.8	9.6	7.2	6.6	4.3	17.9	18
Sm	2.07	0.76	0.59	2.32	3.03	2.93	2.34	2.11	1.46	3.54	3.66
Eu	0.85	0.34	0.23	0.93	1.11	1.17	0.85	0.8	0.63	0.93	0.84
Gd	3.42	1.38	0.87	3	3.97	3.91	3.3	2.86	2.1	3.46	2.75
Tb	0.76	0.3	0.18	0.61	0.8	0.76	0.66	0.58	0.45	0.55	0.39
Dy	4.96	2.12	1.09	3.88	5.24	4.73	4.03	3.46	2.59	2.85	1.88
Ho	1.1	0.46	0.26	0.82	1.04	1.03	0.86	0.78	0.54	0.62	0.33
Er	3.29	1.38	0.78	2.4	3.04	3.05	2.49	2.26	1.68	1.77	0.89
Tm	0.53	0.24	0.14	0.38	0.47	0.49	0.41	0.37	0.24	0.29	0.13
Yb	3.3	1.42	0.75	2.26	2.99	2.91	2.36	2.11	1.53	1.81	0.94
Lu	0.53	0.22	0.12	0.34	0.45	0.44	0.38	0.32	0.24	0.28	0.14

yapılmıştır. Yaklaşık 130 mg öğütülmüş kayaç numunesi (<70 µm) 4 ml konsantre bir karışımla 140°C' de sıcak tabla üzerinde 7 gün boyunca kapalı teflon kaplarda çözülmüştür. Sıcak tabla üzerinde kurutulmuş numune 3ml nitrik asitte 140°C'de tekrar çözülmüş ve kurutulmuştur. Pb, Sr ve Nd izotop oranları statik modla Thermo TRITON kütle spektrometresinde ölçülmüştür. Ayrıntılı analitik yöntem Çelik vd. (2013)' nin çalışmasında bulunmaktadır.

MİNERALOJİ VE PETROGRAFI

Sınırlı alanda yayılım gösteren gabroyik kayaçlar, genel olarak kaba taneli ve ofitik dokulu olup plajiyoklaz, piroksen, amfibol ve opak minerallerden meydana gelmektedir (Şekil 4a). Plajiyoklazlarda alterasyon olağan olup kil minerali dönüşümleri tespit edilmiştir. Bazı numunelerde muhtemel hidrotermal süreçler etkisinde oluşmuş epidot, kuvars ve klorit mineralleri belirlenmiştir. Amfiboller kalsik amfibol bileşiminde olup magnezyumlu hornblend, tremolit

ve aktinolitlerle temsil edilirler (Şekil 5). Amfibollerin Si kation değerleri 6.86 ile 7.72, X_{Mg} (Mg/Mg+Fe⁺²) değerleri ise 0.85 ile 0.99 aralığında değişmektedir (Çizelge 3). Tremolit ve aktinolitler hidrotermal süreçlerde gelişmiş olabilir ancak magnezyumlu hornblendler kayacın magmatik dokusuyla uyumluluk gösterdiklerinden magmatik kökenli amfiboller olarak değerlendirilmişlerdir. Bu durum petrografik analizlerde magnezyumlu hornblendlerin kenar kısımlarında iğne şekilli tremolit ve aktinolit gelişimlerinin gözlenmesiyle de tespit edilmiştir. Bununla birlikte amfibol grubu mineraller gabro ve bazaltların tümünde gözlenmemiştir.

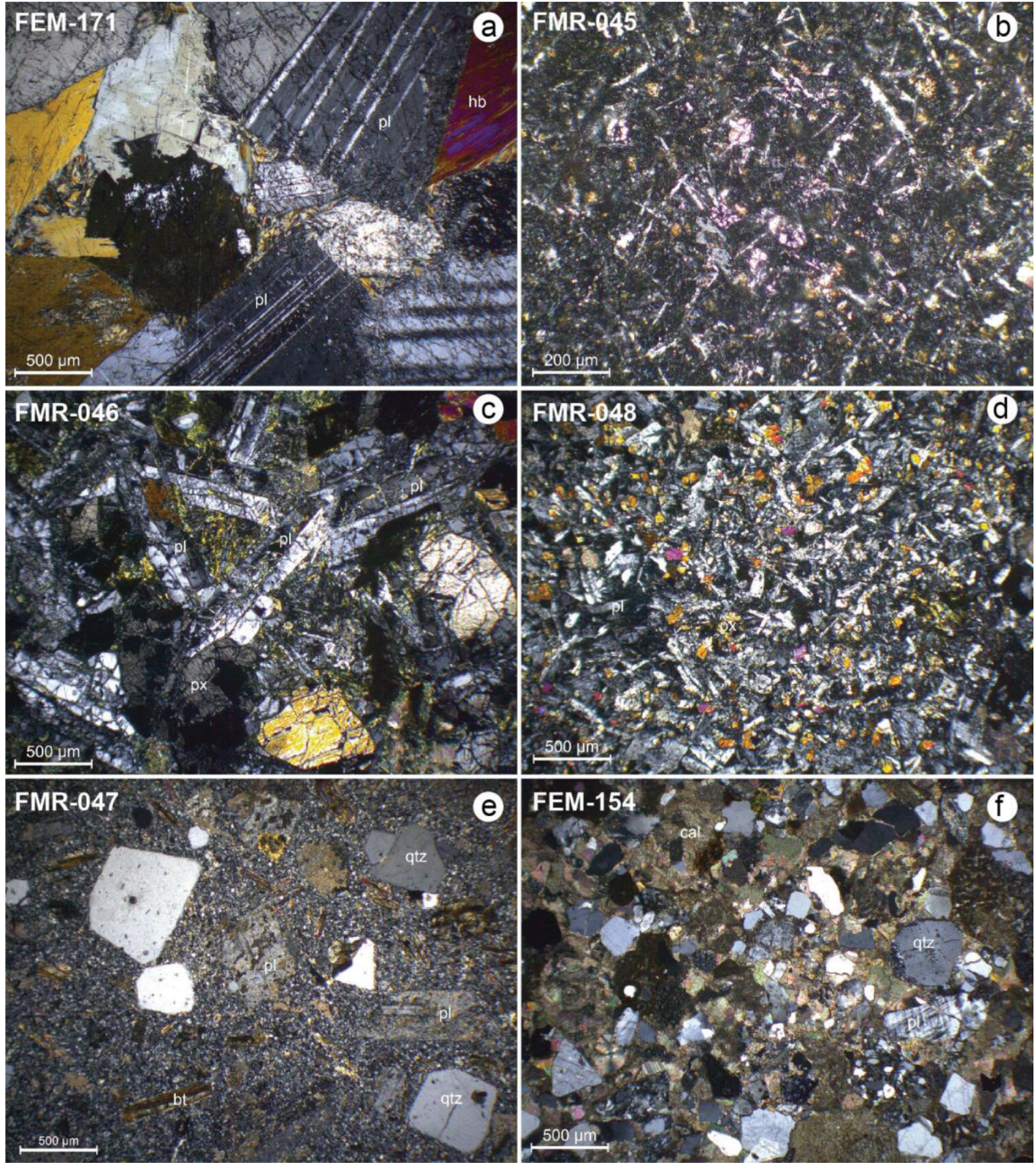
Küre maden ocağı içerisinde yastık yapılı bazaltlarda alterasyon yaygın olup, plajiyoklazlarında kloritleşmeler ve kayaç genelinde kalsit ve epidot gelişimi olağandır (Şekil 4b). Yastık yapılı altere bazaltlar doleritler tarafından kesilirler. FMR-046 numaralı dolerit örneği sub-ofitik doku göstermektedir (Şekil 4c). Bu kayaç başlıca piroksen, plajiyoklaz ve opak minerallerden

Çizelge 3. Küre Karmaşığı gabrosuna ait temsili amfibol analizleri (Hesaplamalar Tindle ve Webb (1994)'e göredir).
Table 3. Representative amphibole analyses from gabbro of the Küre Complex (The calculations are after Tindle and Webb (1994)).

Örnek	FEM171 r2-1	FEM171 r2-10	FEM171 r3-5	FEM171 r3-6	FEM171 r3-10	FEM171 r4-1	FEM171 r4-2	FEM171 r4-13	FEM171 r4-19	FEM171 r4-20
SiO ₂	52.18	54.39	48.05	54.59	52.19	53.22	53.36	52.94	54.12	53.73
TiO ₂	0.71	0.39	1.57	0.34	1.01	0.78	0.82	0.82	0.33	0.39
Al ₂ O ₃	3.53	2.66	7.04	1.46	3.84	2.71	2.76	3.25	2.73	3.08
FeO	9.73	7.66	9.59	9.19	9.02	8.74	8.88	8.74	8.34	8.03
MnO	0.18	0.09	0.12	0.14	0.13	0.19	0.13	0.17	0.19	0.25
MgO	18.57	19.93	16.68	18.75	17.94	19.05	19.21	18.80	19.40	19.24
CaO	11.14	11.97	11.64	12.07	11.79	11.43	11.27	11.37	11.32	11.52
Na ₂ O	0.83	0.44	1.36	0.25	0.64	0.52	0.42	0.62	0.55	0.60
K ₂ O	0.18	0.13	0.27	0.05	0.09	0.17	0.20	0.19	0.14	0.18
Cr ₂ O ₃	0.22	0.15	0.56	0.20	0.35	0.10	0.11	0.12	0.08	0.12
Toplam	97.28	97.81	96.89	97.05	96.98	96.93	97.17	97.02	97.19	97.13
Si	7.292	7.512	6.866	7.673	7.364	7.443	7.419	7.403	7.508	7.482
Ti	0.075	0.041	0.169	0.036	0.107	0.082	0.086	0.086	0.034	0.041
Al ^{IV}	0.581	0.432	1.134	0.241	0.636	0.447	0.453	0.536	0.446	0.505
Al ^{VI}	0.000	0.000	0.052	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.025	0.017	0.063	0.023	0.039	0.012	0.013	0.013	0.009	0.013
Fe ³⁺	1.069	0.762	0.693	0.606	0.625	0.893	1.020	0.864	0.924	0.807
Fe ²⁺	0.068	0.123	0.454	0.474	0.438	0.129	0.013	0.158	0.044	0.128
Mn	0.021	0.010	0.015	0.017	0.015	0.023	0.016	0.020	0.022	0.029
Mg	3.869	4.104	3.554	3.929	3.773	3.971	3.982	3.920	4.013	3.994
Ca	1.668	1.771	1.781	1.818	1.782	1.713	1.680	1.703	1.683	1.718
Na	0.224	0.119	0.376	0.067	0.175	0.141	0.112	0.168	0.147	0.161
K	0.032	0.023	0.049	0.009	0.016	0.031	0.035	0.034	0.024	0.032
OH*	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Toplam Kat#	16.924	16.913	17.206	16.893	16.973	16.885	16.826	16.905	16.854	16.911
X _{Mg}	0.983	0.971	0.887	0.892	0.896	0.968	0.997	0.961	0.989	0.969

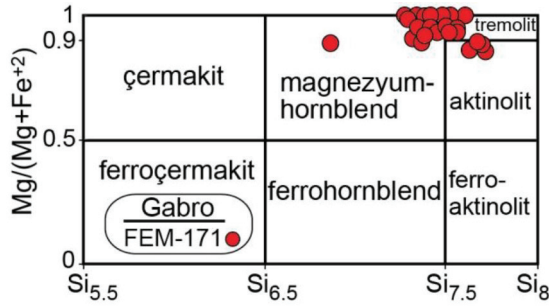
oluşmakta olup kestiği yastık yapılı bazaltlara göre daha taze durumdadır. Kayaçta piroksen ve plajiyoklaz dışında kalsit, klorit ve epidot dönüşümleri belirlenmiştir. Maden ocağından alınan bazaltik

karot numuneleri (FMR-048), diğer numunelere nazaran daha taze plajiyoklaz ve piroksen mineralleri içermektedir (Şekil 4d). Piroksenlerden itibaren sınırlı klorit, kalsit ve epidot oluşumları bu numunede de



Şekil 4. Ofiyolitik kayalar ve dasit-porfirlerin polarize ışık mikroskop görüntülerinden temsili örnekler, a) başlıca plajiyoklaz, piroksen ve amfibolden oluşan taneli dokulu gabro, b) yaygın kloritleşme gösteren bir bazalt, c) sub-ofitik dokulu dolerit, d) mikrokristalen dokulu bazalt, e) mikrogranüler porfirik dokulu dasit-porfir, f) kumtaşı (Kısaltmalar: pl, plajiyoklaz; hb, hornblend; px, piroksen; bt, biyotit; cal, kalsit; qtz, kuvars).

Figure 4. Representative microscopic polarized light views of the ophiolitic rocks and dacite-porphiry, a) a granular gabbro consisting mainly of plagioclase, pyroxene and amphibole, b) a basalt showing extensive chloritization, c) a dolerite with sub-ophitic texture, d) microcrystalline textured basalt, e) a dacite-porphiry with microgranular porphric texture, f) sandstone (Abbreviations: pl, plagioclase; hb, hornblend; px, pyroxene; bt, biotite; cal, calcite; qtz, quartz).



Şekil 5. Küre Karmaşığı gabrosuna ait amfibollerin kimyasal bileşimleri (Leake vd. (1997)' ne göre hazırlanmıştır.).

Figure 5. Chemical composition of amphiboles from the gabbro of the Küre Complex (after Leake et al. 1997).

belirlenmiştir. Siyah şeylleri kesen lökokratik kayacın mikrogranular-porfirik dokulu dasit-porfir olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4e). Kayaç felsik mineraller olarak, altere plajiyoklaz ve kuvars minerallerinden, mafik mineral olarak ise çoğunlukla kloritleşmiş ve altere olmuş biyotit minerallerinden meydana gelmektedir. Kuvarslar matriksi oluşturan daneler şeklinde ve iri porfirik kristaller olarak gözlemlenmiştir. Ayrıca kalsit gelişimi ve bazı kuvarslarda simplektitik dokuya benzer dengesizlik dokuları gözlenmiştir. Kumtaşlarının petrografik olarak incelenmelerinde, kalsit bir çimento içerisinde kuvars, feldispat, muskovit, biyotit ve opak minerallerle birlikte fosilli kireçtaşı parçaları da içerdikleri tespit edilmiştir (Şekil 4f).

JEOKİMYA

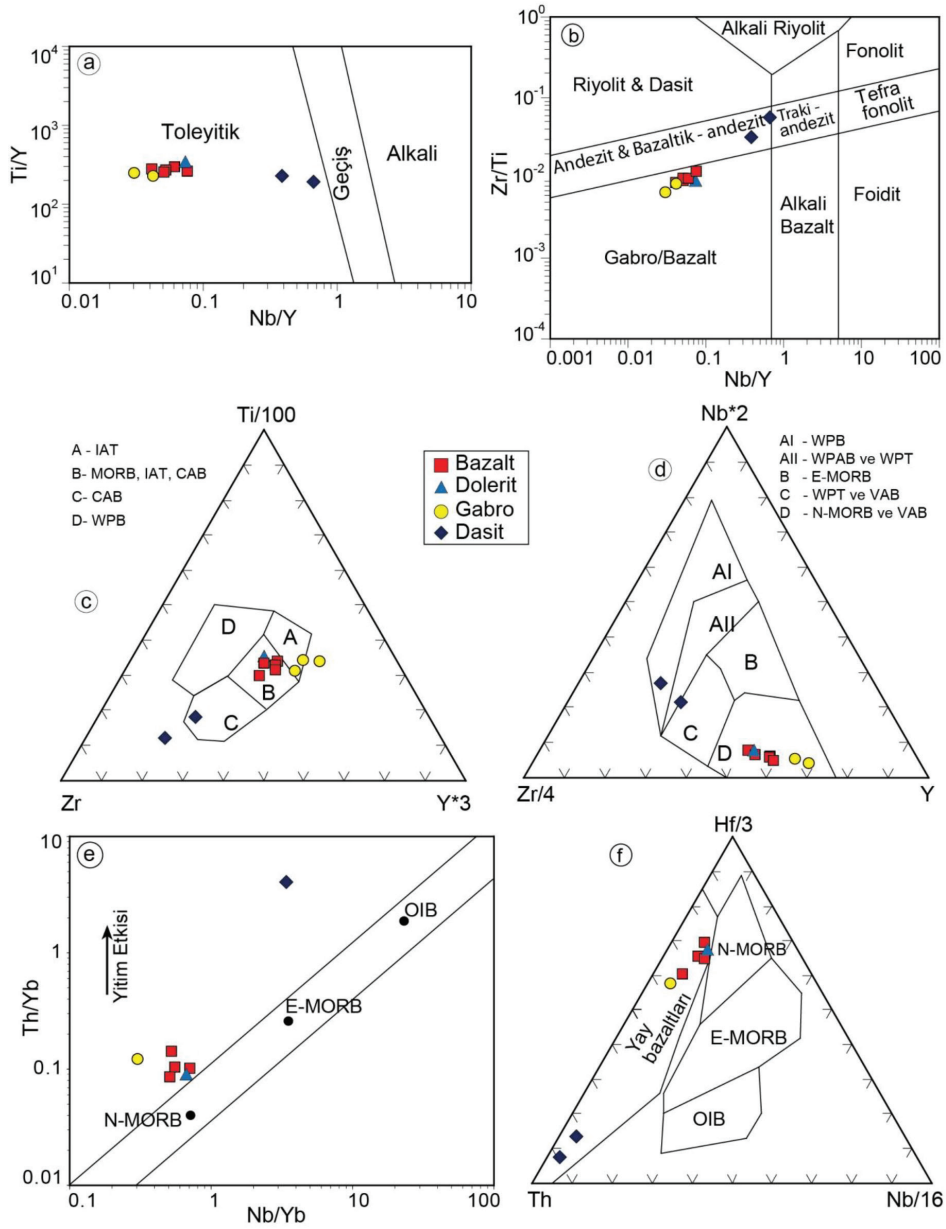
Petrografik incelemeler ve jeokimyasal analiz sonuçları, inceleme konusu kayaların değişik oranlarda alterasyona maruz kaldıklarını göstermektedir. Tüm kaya analizleri için seçilen numuneler, agat havanda öğütülüp toz haline getirilmeden önce altere olan kısımlarından arındırılarak en taze kısımları elde edilmeye çalışılmıştır. Numunelerin ateşte kayıp değerleri % 1.9 ile 12.9 arasında değişmektedir (Çizelge 1). Dolayısıyla jeokimya analiz sonuçları değerlendirilirken alterasyon süreçlerinde göç etmeyen, daha çok kalıcılığı yüksek (HFS) elementler ile nadir toprak elementler (NTE) hesaba katılmıştır.

Ana-İz ve Nadir Toprak Elementler (NTE) Jeokimyası

Küre Karmaşığı ofiyolitik kayalarına ait derinlik, yarı derinlik ve yüzey kayaları toleyitik karakterde olup,

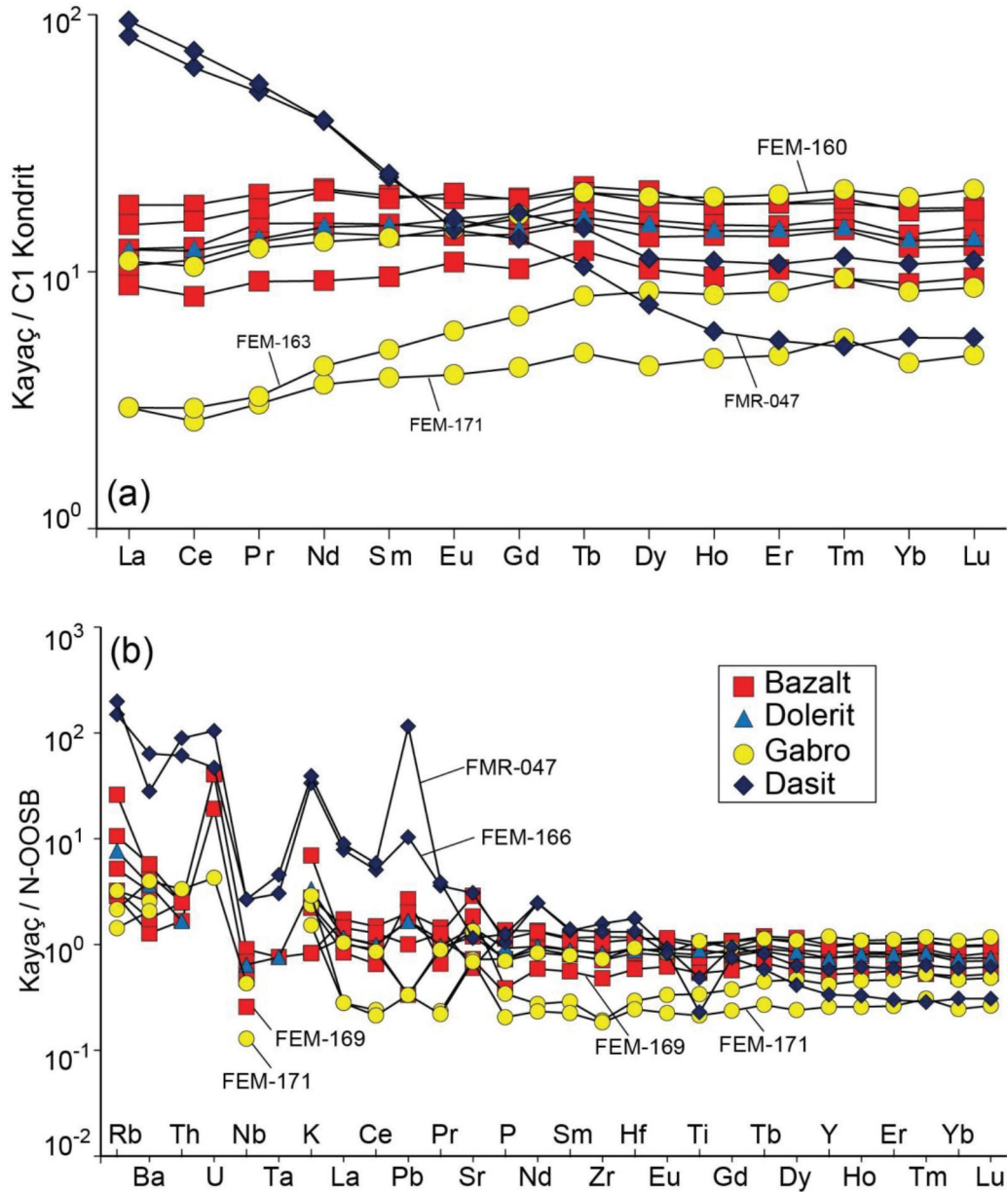
Zr/Ti oranlarının Nb/Y oranlarıyla kıyaslandığı diyagramda gabro/bazalt, andezit ve bazaltik andezitlerle temsil edilmektedirler (Şekil 6a ve b). Gabroların Sm/Yb oranları 0.5 ile 0.8 arasında olup, dolerit ve bazaltların 1, dasit-porfirlerin ise daha yüksek değerlerdedir (2-3.9). Gabro, dolerit ve bazaltların Ce/Sm oranları birbirlerine yakın değerler gösterirken (2.4-3.7) dasit porfirlerin Ce/Sm oranları yüksek değerlerdedir (10.7 ve 12.0). Gabro, dolerit ve bazaltların Nb/Yb (0.3-0.7) ve Th/Yb (~0.1) oranları düşük değerler gösterirken dasit-porfirlerin Nb/Yb (3.4-6.6) ve Th/Yb (4-11.4) oranları çok daha yüksektir. Pearce ve Cann (1973)'in Ti-Zr-Y diyagramına göre gabrolar ada yayı toleyitleri (AYT) özelliğinde olup, bazaltlar ve bazaltları kesen dolerit numuneleri yitimle ilgili (ör. AYT) ya da okyanus ortası sırtı bazaltları (OOSB) alanında dağılım sunmaktadır (Şekil 6c). Aynı diyagramda dasit numuneleri kalk alkali bazalt niteliği göstermektedirler. Diğer yandan Meschede (1986)'nin Nb-Zr-Y tektonomagmatik ortam ayırtman diyagramında bazalt, gabro ve doleritlerin tamamı N-OOSB ve volkanik yay bazaltları (VYB) alanına karşılık gelmektedirler (Şekil 6d). Pearce (1982)'nin Th/Yb-Nb/Yb ve Wood vd. (1979)'nin Hf-Th-Nb diyagramlarında gabro ve bazalt numunelerinin açık bir şekilde yitimle ilgili oldukları anlaşılmış olmakla birlikte bazı numunelerde Th içerikleri ölçülebilirlik sınırları altında kaldıkları için (FEM-163, FEM-169, FEM-171) diyagramda yer almamışlardır (Şekil 6e ve f). Bunların dışında, burada hepsi sunulmayan, örneğin Cabanis ve Lecolle (1989)'in Y-La-Nb tektonomagmatik ortam ayırtman diyagramında da dolerit, gabro ve bazaltların yitimle ilgili toleyitik bölgeye karşılık gelirken, dasit-porfirlerin kalk-alkali bölgeye iz düştükleri görülmüştür. Bazaltların ve onları kesen dolerit daykının kondrite göre normalize edilmiş NTE diyagramında (Şekil 7a) ada yayı toleyitlerinde gözlenen, ağır NTE'lerden hafif NTE'lere doğru, yaklaşık düz ($La_N/Yb_N = 0.8-1$) bir yönseme sunmalarına rağmen hafif NTE'lerde bir miktar tüketilme gözlenmektedir. Aynı kayaların N-OOSB'na göre normalize edilmiş çoklu element diyagramlarında da büyük iyonlu litofil elementlerde (ör: K, Rb, Sr) göreceli bir zenginleşme, buna karşılık kalıcılığı yüksek elementlerde (ör: Nb, Zr, Ti) çok belirgin olmayan bir tüketilme gözlenmektedir (Şekil 7b).

Gabroların kondrite göre normalize edilmiş La_N/Yb_N oranları 0.4 ile 0.7 arasında olup, dolerit ve bazaltlarınkinden (0.8-1) daha düşüktür. Bununla birlikte, gabroların kondrite göre normalize edilmiş NTE diyagramlarında, yitimle ilişkili kayalarda



Şekil 6. Küre Karmaşığı'na ait gabro, bazalt, dolerit ve dasitler için tektonomagmatik ayırım diyagramları, a) Nb/Y – Ti/Y diyagramı (Pearce, 1982' ye göre), b) Nb/Y – Zr/Ti diyagramı (Pearce, 1996' ya göre), c) Ti–Zr–Y tektonomagmatik ortam ayırım diyagramı (Pearce ve Cann 1973'e göre), d) Nb–Zr–Y üçgen diyagramı (Meschede 1986' ya göre), e) Th/Yb – Nb/Yb diyagramı (Pearce 1982' ye göre), f) Hf–Th–Nb üçgen diyagramı (Wood vd., 1979' a göre) (Kısaltmalar: IAT, ada yayı toleyitleri; N-MORB, normal okyanus ortası sırtı bazaltları; E-MORB, zenginleşmiş okyanus ortası sırtı bazaltları; CAB, kalk-alkali bazalt; OIB, okyanus adası bazaltları; WPB, plaka içi bazaltları; WPAB, plaka içi alkali bazaltları; WPT, plaka içi toleyitleri; VAB, volkanik yay bazaltları).

Figure 6. Tectonomagmatic discrimination diagrams for the gabbro/dolerite, basalt and dacite-porphry of the Küre Complex, a) Nb/Y vs. Ti/Y plot (after Pearce, 1982), b) Nb/Y vs. Zr/Ti plot (after Pearce, 1996), c) Ti–Zr–Y tectonomagmatic discrimination diagram (after Pearce and Cann 1973), d) Nb–Zr–Y triangular diagram after Meschede (1986), e) Th/Yb – Nb/Yb diagram (after Pearce 1982), f) Hf–Th–Nb triangular diagram after Wood et al., (1979) (Abbreviations: IAT, island arc tholeiite; N-MORB, normal-mid-ocean ridge basalts; E-MORB, enriched mid-ocean ridge basalts; CAB, calc-alkaline basalt; OIB, ocean island basalt; WPB, within-plate basalt; WPAB, within-plate basalt alkaline basalts; WPT, within-plate tholeiites; VAB, volcanic arc basalts).



Şekil 7. a) Küre Karmaşığı'na ait gabro, bazalt, dolerit ve dasitler için kondrite göre normalleştirilmiş NTE diyagramı, b) Aynı kayaların N-OOSB'ye göre normalleştirilmiş çoklu element diyagramı (normalleştirilen tüm değerler Sun ve McDonough (1989)' a göre).

Figure 7. a) Chondrite-normalized rare earth elements (REE) diagram for gabbro, basalt, dolerite and dacites from the Küre Complex, b) N-MORB-normalized multi element diagram of the same rocks (all normalising values after Sun and McDonough (1989)).

da gözlenebilen Lantanyum (La) zenginleşmesi görülmektedir (Şekil 7a). Gabroların N-OOSB'na göre normalize edilmiş çoklu element diyagramında bazı elementler (ör. U, Th, Ta) ölçüm sınırları altında kaldığı için görülmemektedir ancak genel olarak mevcut elementlerin tüketilmiş bir kayaktan geldiği anlaşılmaktadır (Şekil 7b). Bölgedeki siyah şeylleri

ve bazaltları kesen dasitlerin kondrite göre normalize edilmiş NTE diyagramları incelendiğinde, bunların bölgedeki ofiyolitik kayaların NTE dağılımlarından farklı oldukları ($La_N/Yb_N = 7.7-17$) ve özellikle hafif NTE içerikleri bakımından oldukça belirgin bir zenginleşme ($La_N/Sm_N = 3.6-3.9$) gösterdikleri, buna karşılık düze yakın ağır NTE desenleri sundukları

görülmektedir (Şekil 7a). Aynı kayaçların N-OOSB'na göre normalize edilmiş çoklu element diyagramında büyük iyonlu litofil elementlerde bir zenginleşme, buna karşılık kalıcılığı yüksek elementlerde (ör. Nb, Ta, Ti) yitim etkisiyle oluşan kayaçlara benzer şekilde tüketilme gözlenmiştir (Şekil 7b).

Radyojenik izotop (Nd, Sr, Pb) jeokimyası

Küre Karmaşığı ofiyolitik kayaçlarının (gabro, bazalt ve dolerit) ve dasit-porfirlerinin $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ve $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ilksel ve günümüz değerleri incelendiğinde farklı kaynakların ürünleri oldukları açık bir şekilde görülmektedir (Şekil 8a). Gabroların $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(0)}$ izotop oranları 0.51273 ve 0.51274, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(0)}$ izotop oranları ise 0.7046-0.7051 arasında değişmektedir. Bazaltların ve onları kesen dolerit daykının $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(0)}$ (0.51269-0.51275) ve $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(0)}$ (0.7041-0.7059) izotop oranları gabroların izotop oranlarına yakın değerlerdedir. Buna karşılık dasit-porfirlerin $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(0)}$ (0.51212 ve 0.51225) ve $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(0)}$ (0.7073-0.7109) izotop oranları gabro, dolerit ve bazaltların izotop oranlarından oldukça farklı değerlere sahip olup EMII kaynak alanına işaret etmektedirler (Şekil 8).

Tüm kaya analizlerinde bazı numunelerin (ör. FMR-048, FEM-169) Uranyum (U), Toryum (Th) değerleri, uygulanan analiz yönteminin ölçülebilirlik sınırları altında kalmıştır (Çizelge 1). Ayrıca bazı numuneler ölçüm sınırlarına yakın değerler içermektedirler. Ölçülebilirlik sınırları altında kalan numunelerin ilksel izotop değerleri hesaplanmadığından Şekil 8'deki ilgili diyagramlarda gösterilmemiştir. İlksel izotop oranları hesaplanabilen gabro, dolerit ve bazaltların $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(0)}$ oranları 15.12 ve 18.40 arasında geniş bir dağılım gösterirken, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(0)}$ oranları (15.37-15.49) birbirlerine daha yakın değerlerdedir. Dasit-porfirlerin $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(0)}$ oranları ofiyolitik kayaçlarından farklı olarak 17.89 ve 18.52, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(0)}$ oranları ise 15.63'dür.

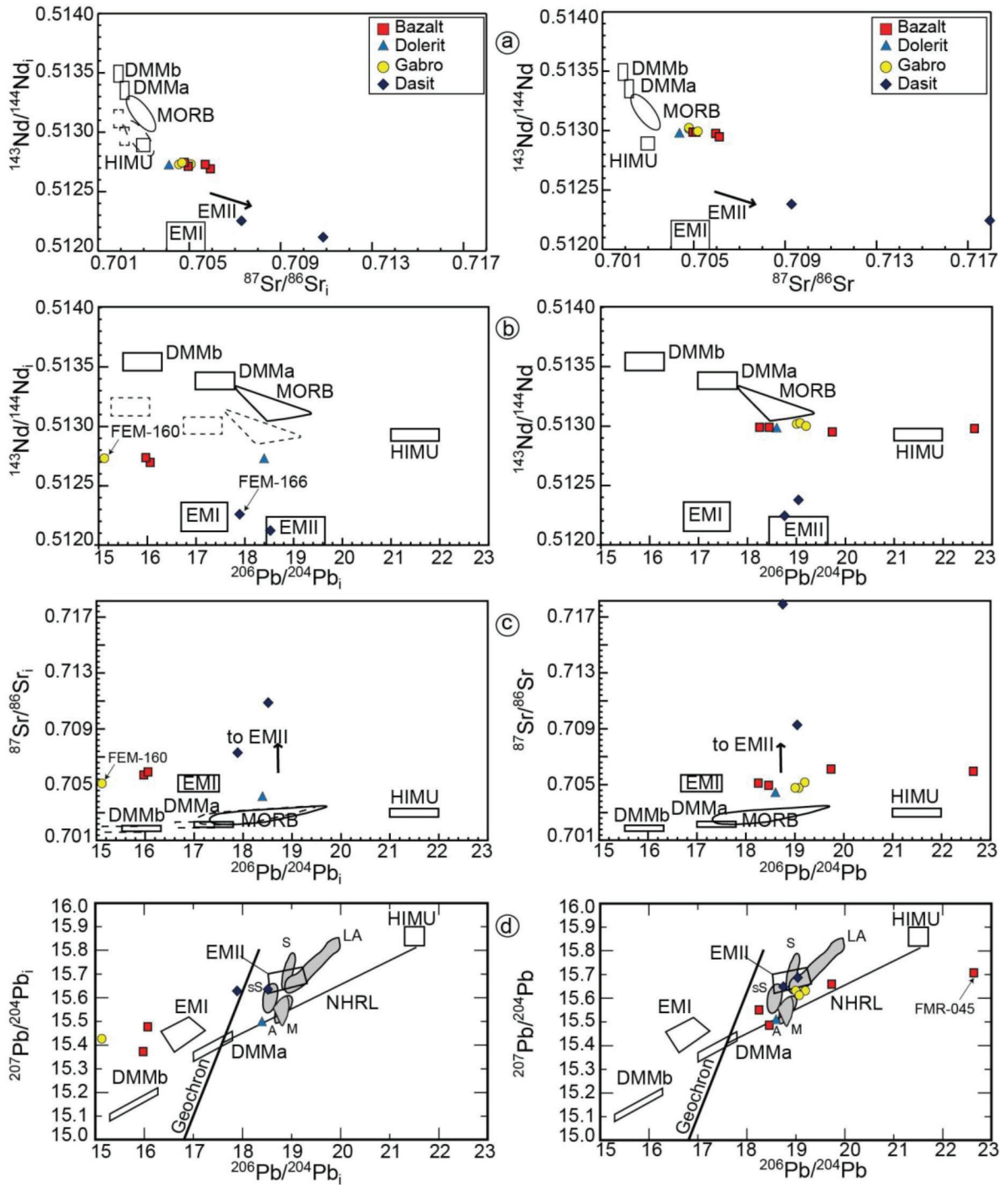
TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Küre Karmaşığı'nın bazaltları masif, breşik ve yastık yapılı olarak gözlemlenmiştir. Bazaltların, bazı yerlerde Akgöl Formasyonu'nun siyah şeyl ve kumtaşları üzerine tektonik olarak geldiği, bazı yerlerde ise Akgöl Formasyonu'nun siyah şeyl ve kumtaşları, bazaltları tektonik olarak üzerlediği tespit edilmiştir. Bu durum Küre Karmaşığı'nın ekaylı yapısını göstermektedir. Gabrolar genellikle taneli ve ofitik dokulu

olup başlıca plajiyoklaz, piroksen ve amfibol minerallerinden meydana gelirler. Amfiboller kalsik amfibol bileşiminde olup magnezyumlu hornblend, tremolit ve aktinolitlerle temsil edilirler. Gabro, dolerit ve bazaltlarda en yaygın alterasyon mineralleri klorit, epidot, kalsit ve kuvars olup, alterasyon kayaçlarda farklı derecelerde dir.

Küre Karmaşığı'nın gabro, bazalt ve doleritlerden oluşan ofiyolitik kayaçlarıyla bu kayaçları kesen dasit-porfir dayklarının farklı kökenlerden geldikleri tüm-kayaç ana-iz NTE ve izotop jeokimyası çalışmalarıyla tespit edilmiştir. Ofiyolitik kayaçların (gabro, bazalt ve dolerit) $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(0)}$ (0.51269-0.51274) ve $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(0)}$ (0.7041-0.7059) izotop oranları bu kayaçların aynı kaynaktan türemiş olabileceğine işaret etmektedir (Çizelge 4, Şekil 8a). Radyojenik izotoplar, Küre Karmaşığı'nın ofiyolitik kayaçlarının tüketilmiş manto ve yitime uğrayan sedimanların (büyük olasılıkla EMII) karışımından meydana gelmiş olabileceğini göstermekte olup, bu kayaçların oluşumunda HIMU bileşeni etkisi görülmemektedir (Şekil 8). Bu türlü izotop dağılımlarının okyanusal kabuk üstünde gelişen ada yaylarında görülmekte olduğu ve dolayısıyla yitim zonu üstünde gelişen kayaçların karakteristiklerinden olduğu bilinmektedir. Bu çalışmaya ait iz element jeokimyası da bu kayaçların yitim zonu üstü ofiyolitleri şeklinde oluşmuş olabileceğini desteklemektedir. Küre ofiyolitinin yitim zonu üstü ofiyoliti şeklinde oluşmuş olabileceği önceki çalışmalarda da belirtilmiştir (ör. Ustaömer ve Robertson 1994, 1999; Çakır vd., 2006).

Ofiyolitik kayaçların izotop kimyası sonuçlarına benzer sonuçlar başka çalışmalarda da tespit edilmiş olup özellikle Sr izotoplarındaki ilksel ve günümüz izotop oranları arasında fazla bir fark olmamasının nedeni mafik kayaçlardaki Rb/Sr değerlerinin düşük olmasıyla ilişkilendirilmiştir (ör. Chiaradia, 2009; Çelik vd., 2013; Çelik vd., 2016). Bazaltların Sr izotoplarına göre kabaca ikiye ayrıldıkları söylenebilir. Bu örneklerin yüzey kayaçları olması ve benzer Nd izotop oranlarına sahip olmaları nedeniyle deniz suyu alterasyonunun bu kayaçları etkilemiş olabileceği düşünülebilir. Ofiyolitik kayaçlardan hesaplanabilen Pb (ör. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$) izotop değerleri ise oldukça fazla değişkenlik göstermektedirler (Şekil 8b, c ve d). Bu durumun en önemli nedeni U, Th ve Pb elementlerinin bu kayaçlarda çok az miktarda oluşu ve alterasyon süreçlerinde Pb'nin daha mobil olmasıdır (ör. Chiaradia, 2009). Neodmiyum (Nd) düşük çözünürlüğe sahip olup sulu akışkan fazda çok düşük hareketliliğe



Şekil 8. Küre Karmaşığı'nın gabro, bazalt, dolerit ve dasitlerine ait, a) Nd-Sr, b) Nd-Pb, c) Sr-Pb ve d) Pb-Pb ilksel ve günümüz izotop oranları diyagramları (Manto ve uç üye bileşimleri Zindler ve Hart (1986)' a göre. MORB, DMMa ve DMMb kesikli çizgi alanları Hart vd. (1999) ile Workman ve Hart (2005)' in ilgili alanlarının element içerikleri ve izotop bileşimlerinin kullanımıyla 160 My'a göre düzeltilmiştir.).

Figure 8. a) Nd-Sr, b) Nd-Pb, c) Sr-Pb ve d) Pb-Pb diagrams of present day and initial isotopic ratios for gabbros, basalts, dolerites and dacites of the Küre Complex (Mantle end member compositions are from Zindler and Hart (1986). The dashed contour fields of MORB, DMMa and DMMb were corrected to 160 Ma ago using element concentrations and isotopic compositions of those reservoirs from Hart et al. (1999) and Workman and Hart (2005)).

Çizelge 4. Sr-Nd-Pb izotop oranları.

Table 4. Sr-Nd-Pb isotopes ratios.

Numune	Kayaç	Sm (ppm)	Nd (ppm)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}$	$^{143}\text{Nd} / ^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd} / ^{144}\text{Nd}_{(i)}$	$\epsilon\text{CHUR}_{(t)}$
				ölçülen	ilksel (a)	ölçülen	ilksel	
FMR-045	Bazalt	3.03	9.8	0.705957	0.705683	0.512976	0.512732	6.86
FMR-048	Bazalt	2.93	9.6	0.704958	0.704771	0.512987	0.512747	7.15
FEM-158	Bazalt	2.34	7.2	0.706112	0.70591	0.512949	0.512693	6.09
FEM-169	Bazalt	1.46	4.3	0.705088	0.704944	0.512984	0.512716	6.55
FMR-046	Dolerit	2.32	7	0.704369	0.704095	0.512982	0.51272	6.63
FEM-160	Gabro	2.07	6.1	0.705158	0.705076	0.512997	0.51273	6.81
FEM-163	Gabro	0.76	2	0.70478	0.704551	0.513027	0.512728	6.77
FEM-171	Gabro	0.59	1.7	0.704791	0.704684	0.513015	0.512742	7.04
FMR-047	Dasit	3.66	18	0.717915	0.710862	0.512245	0.512116	-6.16
FEM-166	Dasit	3.54	17.9	0.709274	0.707286	0.512378	0.512254	-3.48
Numune	Kayaç	$^{206}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}_{(i)}$	$^{207}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}_{(i)}$	$^{208}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}_{(i)}$	
		ölçülen	ilksel	ölçülen	ilksel	ölçülen	ilksel	
FMR-045	Bazalt	22.6414	15.9714	15.7063	15.3721	38.0264	37.6830	
FMR-048	Bazalt	18.4583	n.d.	15.4863	n.d.	38.1353	n.d.	
FEM-158	Bazalt	19.7351	16.0677	15.6591	15.4754	38.4325	38.1668	
FEM-169	Bazalt	18.2491	n.d.	15.5485	n.d.	38.2515	n.d.	
FMR-046	Dolerit	18.5968	18.3976	15.5015	15.4915	38.0462	37.7864	
FEM-160	Gabro	19.1972	15.1249	15.6303	15.4263	38.9451	36.2893	
FEM-163	Gabro	19.0746	n.d.	15.6108	n.d.	38.7975	n.d.	
FEM-171	Gabro	19.0041	n.d.	15.6304	n.d.	38.8233	n.d.	
FMR-047	Dasit	18.7491	18.5198	15.6471	15.6358	38.7415	38.5778	
FEM-166	Dasit	19.0446	17.8914	15.6860	15.6292	39.0943	37.8438	

(a) ilksel oranlar dasit porfirler için 160 My, diğer kayaçlar için 200 My olarak hesaplanmıştır.

n.d. = Pb, U veya Th analitik ölçüm limitlerinin altında olduğu için tespit edilmedi.

sahipken, Pb elementi yitim süreçlerindeki metasomatizma olaylarında sulu akışkan fazla birlikte daldan dilimden manto kamasına kolaylıkla göç edebilir (ör. Kessel vd., 2005). Dolayısıyla evrimleşmiş Pb izotop değerleriyle birlikte göreceli ilksel Nd izotop değerleri, daldan dilimden türeyen akışkanlarla birlikte sisteme katılan Pb izotoplarının anomalileri olabilir.

Ayrıca alterasyon süreçlerinde ebeveyn (ör. Th, U) ve yavru izotoplar (ör. Pb) akışkanlardaki farklı çözünlüklükleriyle sistemden farklı derecelerde uzaklaştırılırlar, dolayısıyla hesaplanan ilksel izotop değerleri magmatik kristallenme esnasındaki gerçek değerleri yansıtmaz ve sistem açık sistem olarak davranır (ör. Chiaradia, 2009). Ölçümü yapılabilenlerden iki bazalt

(FMR-045 ve FEM158) ve bir gabro numunesi Pb izotopları yönünden oldukça saçınım göstermekte olup FMR-045 NHRL'nin altında kalmaktadır. Bu durum, bu kayaların alterasyondan etkilendiklerini ve dolaşısıyla 'açık sistem' davranışı gösterdikleri şeklinde değerlendirilmiştir (Şekil 8d).

Küre Karmaşığı ofiyolitik kayaları ve kırınıtlı çökel kayalarını kesen dasit-porfirler düşük $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(t)}$ (0.51211–0.51225) oranlarıyla Küre Karmaşığı'nın ofiyolitik kayalarından bariz bir şekilde ayrılmaktadır, dolayısıyla bu kayaların ofiyolitik kayalarla ilgili olmadıkları ve kabuktan veya eski bir temelden türemiş kayalar oldukları anlaşılmaktadır. Dasit-porfirlerde ilksel ve günümüz izotop değerleri incelendiğinde uyumsuzluk olduğu ve bir örnekte (FMR-047) radyojenik ^{87}Sr 'nin anomali verdiği görülmektedir dolayısıyla sisteme hidrotermal etki neticesinde Sr girdisi olduğu büyük olasılıktır. Dasit porfirlerin negatif epsilon değerleri ($\epsilon\text{CHUR}_{(t)} = -6.2, -3.5$), radyojenik Sr ve Pb değerleri beraber değerlendirildiğinde EMII kaynak alanına işaret ettikleri, dolayısıyla ofiyolitik kayaların kaynak alanlarından farklı olarak kabuktan türeme kayalar oldukları açıktır. Bu özellik bu kayaların tabanında yer alan kıtasal bir kabuğa işaret etmektedir. Böyle bir kaynak, Küre'nin hemen kuzey doğusunda yüzlek veren Sakarya Zonu'nun Permo-Karbonifer yaşlı temeli (granitik ve metamorfik kayaç topluluğu) olabilir. Bu durumda Sakarya Zonu'nun Permo-Karbonifer yaşlı temel kayalarının Küre bölgesinin tabanında da devam ettiği düşünülebilir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma TÜBİTAK 106Y222 numaralı proje ile desteklenmiştir. Yazar, izotop analizlerinin gerçekleştirilmesini sağlayan Cenevre Üniversitesi'nden Massimo Chiaradia'ya ve mineral kimyası analizine destek sağlayan Padova Üniversitesi'nden Andrea Marzoli'ye teşekkür eder. Yazar, Küre Maden Ocağı ve çevresinde çalışma yapılmasına müsaade eden Cengiz Holding yetkililerine ve mühendislerine teşekkür eder. Yazar, makalenin değerlendirilme aşamasında yapıcı öneri ve düzeltmeleri ile katkı sağlayan hakem İbrahim Uysal (KTÜ)' a, ismi belirtilmeyen diğer hakeme ve editörlere teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Aygül, M., Okay, A.I., Oberhansli, R., Schmidt, A., and Sudo, M., 2015. Late Cretaceous infant intra-oceanic arc volcanism, the Central

Pontides, Turkey: Petrogenetic and tectonic implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 111, 312-327.

Aydın, M., Şahintürk, O., Serdar, H.S., Özçelik, Y., Akarsu, I., Üngör, A., Çokuğraş, R., and Kasar, S., 1986. Geology of the region between Ballıdağ-Çangaldağ (Kastamonu). *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 29, 1-16.

Akbulut, M., Oyman, T., Çiçek, M., Selby, D., Özgenç, İ., and Tokçer, M., 2016. Petrography, mineral chemistry, fluid inclusion microthermometry and Re–Os geochronology of the Küre volcanogenic massive sulfide deposit (Central Pontides, Northern Turkey). *Ore Geology Reviews*, 76, 1-18.

Bailey, E.H., Barnes, J.W., and Kupfer, D.H., 1967. Geology and ore deposits of the Küre District, Kastamonu Province, Turkey. In CEN-TO Summer Training Program in Geological Mapping Techniques, 11-94.

Blumenthal, M.M., 1948. Geology of the North Anatolian Mountain Ranges Between Bolu and Lower Kızılırmak (in Turkish). Ankara: Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Publication, Series B, 13, 265.

Boztuğ, D., and Yılmaz, O., 1983. Mineralogical-petrographic and geochemical study of the Büyükçay-Elmalçay granitoid (Kastamonu) and its country rocks. *Yerbilimleri*, 10, 71-88.

Cabanis, B., and Lecolle, M., 1989. Le diagramme La/10–Y/15–Nb/8: un outil pour la discrimination des series volcaniques et la mise en evidence des processus de mélange et/ou de contamination crustale. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series II* 309, 2023-2029.

Chiaradia, M., 2009. Adakite-like rocks from fractional crystallization and assimilation of mafic lower crust: Eocene Macuchi arc (Western Cordillera, Ecuador). *Chemical Geology*, 265, 468-487.

Çakır, Ü., Genç, Y., and Paktunç, D., 2006. Intrusive Iherzolites within the basalts of Küre ophiolite (Turkey): an occurrence in the Tethyan suprasubduction marginal basin. *Geological Journal*, 41, 123-143.

Çelik, Ö.F., Chiaradia, M., Marzoli, A., Billor, Z., and Marschik, R. 2013. The Eldivan ophiolite and volcanic rocks in the İzmir-Ankara-

- Erzincan suture zone, Northern Turkey: Geochronology, whole-rock geochemical and Nd–Sr–Pb isotope characteristics. *Lithos*, 172-173, 31-46.
- Çelik, Ö.F., Chiaradia, M., Marzoli, A., Özkan, M., Billor, Z., and Topuz, G., 2016. Jurassic metabasic rocks in the Kızılırmak accretionary complex (Kargı region, Central Pontides, Northern Turkey). *Tectonophysics*, 672-673, 34-49.
- Dean, W.Y., Martin, E., Monod, O., Demir, O., Rickards, A.B., Bultynck, P., and Bozdoğan, N., 1997. Lower Paleozoic stratigraphy, Karadere-Zirze area, central Pontides, northern Turkey. In: Göncüoğlu, M.C., Derman, A.S. (Eds.), *Early Paleozoic Evolution in NW Gondwana*. Turkish Association of Petroleum Geologists, Special Publications, 3, 32-38.
- Görür, N., Monod, O., Okay, A.I., Şengör, A.M.C., Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Sakıncı, M., and Akkök, R., 1997. Palaeogeographic and tectonic position of the Carboniferous rocks of the western Pontides (Turkey) in the frame of the Variscan belt. *Bulletin de la Societe Geologique de France*, 168, 197-205.
- Hart, S.R., Blusztajn, J., Dick, H.J.B., Meyer, P.S., and Muehlenbachs, K., 1999. The fingerprint of seawater circulation in a 500-meter section of ocean crust gabbros. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 63, 4059-4080.
- Kessel, R., Schmidt, M.W., Ulmer, P., and Pettke, T., 2005. Trace element signature of subduction-zone fluids, melts and supercritical liquids at 120-180 km depth. *Nature*, 437, 724-727.
- Leake, B.E., Woolley, A.R., Arps, C.E.S., Birch, W.D., Gilbert, M.C., Grice, J.D., Hawthopne, F.C., Kato, A., Kisch, H.J., Krivovichev, V.G., Lint-hout, K., Laird, J., Mandarino, J., Maresch, W.V., Nickel, E.H., Rock, N.M.S., Schumacher, J.C., Smith, D.C., Stephenson, N.C.N., Ungaretti, L., Whittaker, E.J.W., and Youzhi, G., 1997. Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, commission on new minerals and mineral names. *American Mineralogist*, 82, 1019-1037.
- Meschede, M., 1986. A method of discriminating between different types of midoceanic ridge basalts and continental tholeiites with the Nb–Zr–Y diagram. *Chemical Geology*, 56, 207-218.
- Nzegge, O.M., Satır, M., Siebel, W., and Taubald, H., 2006. Geochemical and isotopic constraints on the genesis of the Late Palaeozoic Deliktaş and Sivrikaya granites from the Kastamonu granitoid belt (Central Pontides, Turkey). *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen*, 183, 27-40.
- Okay, A.I., Tüysüz, O., Satır, M., Özkan-Altıner, S., Altıner, D., Sherlock, S., and Eren, R.H., 2006. Cretaceous and Triassic subduction-accretion, HP/LT metamorphism and continental growth in the Central Pontides, Turkey. *Geological Society of America Bulletin*, 118, 1247-69.
- Okay, A.I., Sunal, G., Sherlock, S., Altıner, D., Tüysüz, O., Kylander-Clark, A.R.C., and Aygül, M., 2013. Early Cretaceous sedimentation and orogeny on the southern active margin of Eurasia: Central Pontides, Turkey. *Tectonics*, 32, 1247-71.
- Okay, A.I., Sunal, G., Tüysüz, O., Sherlock, S., Keskin, M., and Kylander-clark, A.R.C., 2014. Low-pressure– high-temperature metamorphism during extension in a Jurassic magmatic arc, Central Pontides, Turkey. *Journal of Metamorphic Geology*, 32, 49-69.
- Okay, A.I., Altıner, D., and Kılıç, A.M., 2015. Triassic limestone, turbidites and serpentinite—the Cimmeride orogeny in the Central Pontides. *Geological Magazine*, 152, 460-479.
- Önder, F. 1988. Taxonomic features of the Triassic conodonts in the Kayabaşı Formation (in Turkish). *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Seri A5*, 67-90.
- Pearce, J.A., 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Thorpe, R.S. (Ed.), *Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks*. John Wiley and Sons, 252-548.
- Pearce, J.A., and Cann, J.R., 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analysis. *Earth and Planetary Science Letters*, 19, 290-300.

- Pearce, J.A., 1996. A user's guide to basalt discrimination diagrams. In: Wyman, D.A. (Ed.), Trace Element Geochemistry of Volcanic Rocks: Applications for Massive Sulphide Exploration: Geological Association of Canada, Short Course Notes, 12, 79-113.
- Sun, S.S., and McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A., Norry, M.J. (Eds.), Magmatism in the Ocean Basins, 42. Geological Society of London Special Publication, 313-345.
- Tekeli, O., 1981. Subduction complex of pre-Jurassic age, northern Anatolia, Turkey. *Geology*, 9, 68-72.
- Tindle, A.G., and Webb, P.C., 1994. PROBE-AMPH a spreadsheet program to classify microprobe-derived amphibole analyses. *Computers and Geosciences* 20, 1201-1228.
- Tüysüz, O., 1990. Tectonic evolution of a part of the Tethyside orogenic collage: the Kargı Masif, northern Turkey. *Tectonics*, 9, 141-60.
- Uğuz, M.F., Sevin, M., and Duru, M., 2002. Geological Map Series of Turkey, Sinop Sheet, 1: 500 000. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Ustaömer, T., and Robertson, A.H.F., 1993. Late Palaeozoic–Early Mesozoic marginal basins along the active southern continental margin of Eurasia: evidence from the Central Pontides (Turkey) and adjacent regions. *Geological Journal*, 28, 219-238.
- Ustaömer, T., and Robertson, A.H.F., 1994. Late Paleozoic marginal basin and subduction-accretion: evidence from the Palaeotethyan Küre Complex, Central Pontides, northern Turkey. *Journal of the Geological Society of London*, 151, 291-306.
- Ustaömer, T., and Robertson, A.H.F., 1999. Geochemical evidence used to test alternative plate tectonic models for pre-Upper Jurassic (Palaeotethyan) units in the Central Pontides, N Turkey. *Geological Journal*, 34, 25-53.
- Wood, D.A., Joron, J.L., and Treuil, M., 1979. A reappraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magma series erupted in different tectonic settings. *Earth and Planetary Science Letters*, 45, 326-336.
- Workman, R.K., and Hart, S.R., 2005. Major and trace element composition of the depleted MORB mantle (DMM). *Earth and Planetary Science Letters*, 231, 53-72.
- Yılmaz, O., and Boztuğ, D., 1986. Kastamonu granitoid belt of northern Turkey: first arc plutonism product related to the subduction of the Paleo-Tethys. *Geology*, 4, 179-183.
- Yılmaz, Y., and Şengör, A.M.C., 1985. Palaeo-Tethyan ophiolites in northern Turkey: petrology and tectonic setting. *Ofioliti*, 10, 485-504.
- Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Can Genç, Ş., and Şengör, A.M.C., 1997. Geology and tectonic evolution of the Pontides. In Robinson A.F. (Ed), Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region. American Association of Petroleum Geologists Memoir, 68, 183-226.
- Yiğitbaş, E., Elmas, A., and Yılmaz, Y., 1999. Pre-Cenozoic tectono-stratigraphic components of the Western Pontides and their geological evolution. *Geological Journal*, 34, 55-74.
- Zindler, A.E., and Hart, S.R., 1986. Chemical geodynamics. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 14, 493-571.

