

Soma Havzası ve Çevresindeki Miyosen Volkanizmasının Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri, Batı Anadolu, Türkiye

Geochemical and Petrographic Features of the Miocene Volcanism Around Soma Basin, Western Anatolia, Turkey

*E. YALÇIN ERSOY¹, FULYA DİNDİ², ÖZGÜR KARAOĞLU¹, CAHİT HELVACI¹

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, TR-35160 İzmir, Türkiye

²Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, TR-35160 İzmir, Türkiye

Geliş (received) : 14 Şubat (February) 2012
Kabul (accepted) : 25 Mart (March) 2012

ÖZ

Batı Anadolu'daki önemli linyit yataklarını içeren Soma havzası ve çevresinde yüzlek veren Miyosen yaşlı volkanik birimler başlıca üç gruba ayrılır. Bunlar: (i) B, KB ve GB'da havza istifi ile kısmen giriklilik sunan ve onları uyumlu üzerleyen alt ve orta Miyosen yaşlı Kozak-Yuntdağı volkanitleri ile KD'da Bigadiç volkanosedimanter havzasına ait Sındırgı-Gelembel volkanitleri, (ii) havza içinde Dededağ volkanitleri ve (iii) havza istifini kesen geç Miyosen Adilköy volkanitleridir. Bu çalışmada Kozak-Yuntdağı ve Dededağ volkanitleri ile Adilköy volkanitlerinin petrografik ve jeokimyasal özellikleri incelenmiş ve petrolojik evrimleri tartışılmıştır.

Kozak-Yuntdağı volkanitleri ortaç-yüksek potasyumlu kalk-alkali andezit, latit, dasit, trakidasit ve riyolitlerden, Dededağ volkanitleri ortaç potasyumlu kalk-alkali andezitlerden ve Adilköy volkanitleri ortaç potasyumlu kalk-alkali bazaltik andezitlerden oluşur. Tüm volkanik birimler ilksel mantoya göre normalleştirilmiş iz element diyagramlarında, Nb, Ta ve Ti gibi yüksek değerlikli kanyonlar bakımından Rb ve Ba gibi geniş iyon çaplı elementlere göre tüketilme sunar. Silika içeriklerine göre incelenen ana ve iz element değişim diyagramları ve iz element oranları Kozak-Yuntdağı volkanitlerinin Dededağ volkanitlerinden ayrılaşmalı kristalizasyon ve muhtemelen kabuksal kirlenme süreçleri eşliğinde türediğini gösterir. Geç Miyosen yaşlı Adilköy volkanitlerinin jeokimyasal özellikleri, bu volkanik birimlerin Kuvaterner Kula volkanitleri gibi başlıca astenosferik kökene sahip olan volkanik birimlerden ve diğer geç Miyosen yaşlı ve astenosferik katkı içeren volkanitlerinden farklı olduğunu gösterir. Bu yönüyle, bölgede geç Miyosen'den itibaren tüm bazaltik volkanitlerde etkisi olduğu düşünülen astenosferik katkının Soma havzası için geçerli olmadığı ve havzadaki volkanizmanın Miyosen boyunca yalnızca litosferik mantodan türediği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Batı Anadolu, Soma havzası, jeokimya, Miyosen volkanizması, petrojenez

ABSTRACT

Miocene volcanic units in the lignite-bearing Soma basin in the western Anatolia can mainly divided into three subgroups: (i) early-middle Miocene Kozak-Yuntdağı volcanites which interfinger with the basin deposits to the W, NW and SW and the Sındırgı-Gelembel volcanites of the Bigadiç volcano-sedimentary basin to the NE; (ii) Dededağ volcanites within basin and; (iii) Adilköy volcanites cutting the basin deposits. In this study, geochemical and petrographic features of the Kozak-Yuntdağı, Dededağ and Adilköy volcanites have been examined and their petrological evolution is discussed.

The early-middle Miocene Kozak-Yuntdağı volcanites include medium- to high-K calc-alkaline andesite, dacite, latite, trachydacite and rhyolites. The Dededağ volcanites are composed of medium-K calc-alkaline andesites. The late Miocene Adilköy volcanites are composed of medium-K calc-alkaline basaltic andesites. On a primitive mantle-normalized multi-element spider diagram, the all volcanic units are characterized by depletions in high-field strength elements (HFSE) such as Nb, Ta and Ti over large ion lithophile elements (LILE), such as Rb and Ba. SiO₂-dependent major and trace element variations and trace element ratios indicate that the Kozak-Yuntdağı volcanites were differentiated from Dededağ volcanites via fractional crystallization coupled with crustal contamination. The geochemical features of the late Miocene Adilköy volcanites show that these volcanic rocks differ from the mainly asthenosphere-derived Quaternary Kula volcanites and the other late Miocene basaltic rocks which have asthenospheric signature in their genesis in the region. In these respects, the asthenospheric contribution, considered for late Miocene to Quaternary volcanism in the region is not valid for the rocks of the Soma basin where the Miocene volcanic rocks have only lithospheric origin.

Keywords: Western Anatolia, Soma basin, geochemistry, Miocene volcanism, petrogenesis

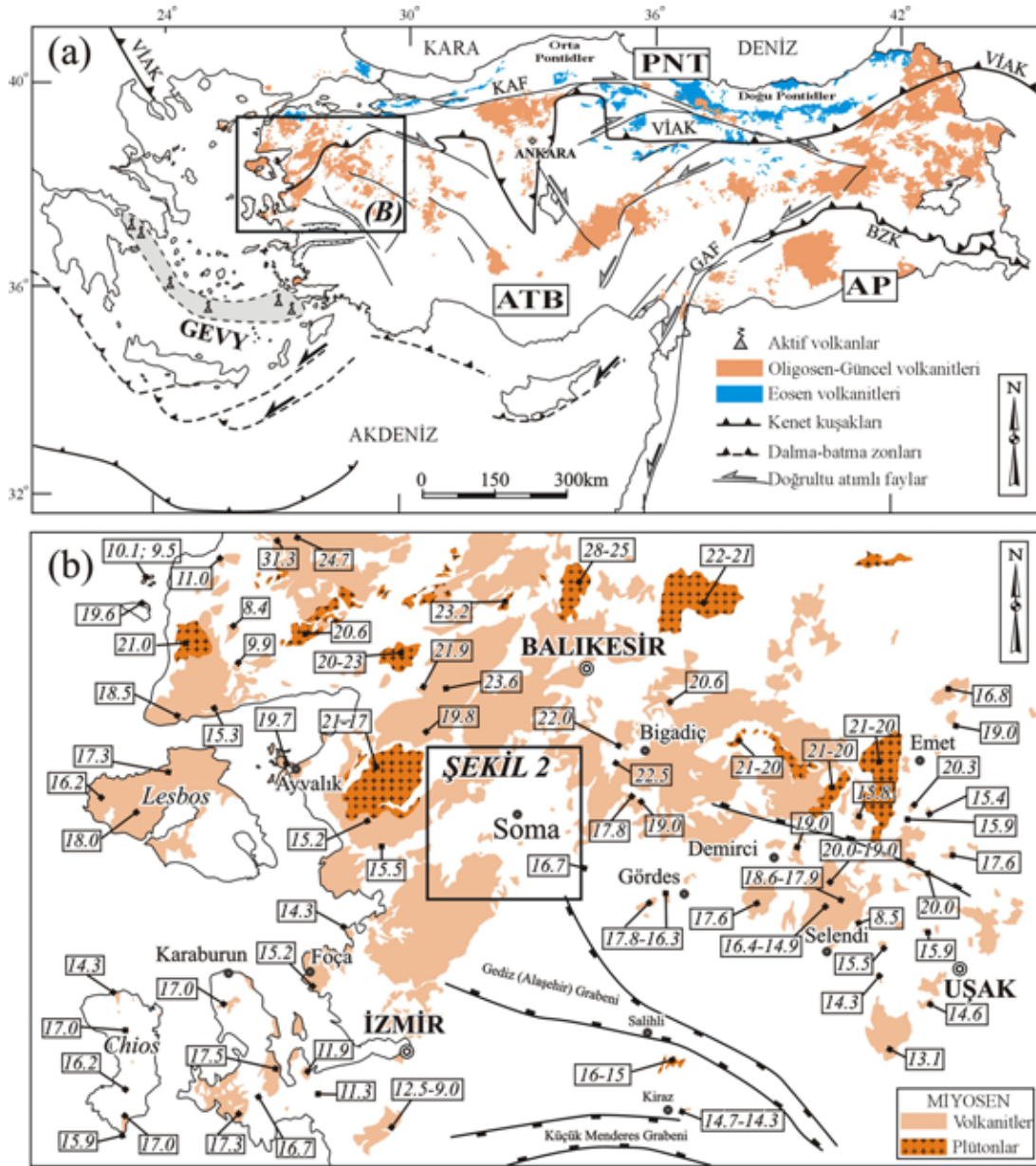
GİRİŞ

Erken Miyosen'den itibaren yaklaşık K-G yönlü genişlemeli tektonik rejim altında deforme olan Batı Anadolu, Miyosen öncesi sıkışma rejimi ile bir araya gelmiş olan çeşitli tektono-stratigrafik birimler ve bunları uyumsuzlukla veya yer yer düşük açılı normal faylar ile üzerleyen Neojen yaşlı volkanik ve sedimanter kayalardan oluşmaktadır. Bölgedeki tektono-stratigrafik birimler kuzeyde Sakarya zonuna ait birimler ile güneyde Anatolid-Torid bloğuna ait birimleri kapsar. Bu iki farklı kıtasal bloğu ayıran Neo-Tetis okyanusunun kuzeye doğru yitimi ve nihayetinde bu kıtaların çarpışma olayları farklı zamanlarda farklı magmatik aktiviteler ile izlenmektedir (Şengör ve Yılmaz, 1981; Şengör, 1987; Okay vd., 1996; Okay ve Satır, 2000).

Bölgedeki magmatik aktivite Marmara kuzeyinde görülen geç Kretase yaşlı ada-yayı magmatik yay ürünleri ile başlayıp Marmara güneyine doğru Eosen yaşlı magmatik birimler (volkanik ve plütonik) ile devam etmektedir (Şekil 1; Borsi vd., 1972; Ercan vd., 1985, 1996; Genç, 1998). Eosen yaşlı volkanik kuşak ile birlikte bu kuşağın daha güneyinde yer alan ve Oligosen'den günümüze kadar çeşitli yaşlar ve bileşimlerde meydana gelmiş olan magmatik kayalar Batı Anadolu volkanik provensini (BAVP) oluşturur. BAVP'de görülen Miyosen yaşlı volkanik kayalar ekonomik kömür veya bor yatakları içeren eş yaşlı gölsel sedimanlar ile birliktelik

sunar (örn., Helvacı ve Yağmurlu, 1995; Helvacı, 1995; Erkül vd., 2005a; Ersoy vd. 2011) Bölgede bu volkanik sedimanter birimlerin çökelindiği havzaların en önemlileri batıdan doğuya doğru Soma, Bigadiç Gördes, Demirci, Selendi, Emet ve Uşak-Güre havzalarıdır. Genellikle KD-GB uzanımlı olan bu havzalardan Demirci, Selendi, Emet ve Uşak-Güre havzaları geç Oligosen-erken Miyosen'den itibaren düşük açılı normal faylar ile yüzelemeye başlayan Menderes Masifi'nin kuzey kanadında yer alır ve bu havzaların tektonik evrimi masifin çok evreli yüzelemesi ile yakından ilişkilidir (örn. Bozkurt, 2003; Purvis ve Robertson, 2004; Ersoy vd., 2011) . Daha batıda yer alan Soma, Bigadiç ve Gördes havzaları ise İzmir-Balıkesir transfer fayı olarak tanımlanan ve Miyosen'den itibaren baskın olarak KD-GB uzanımlı doğrultu atımlı fayların etkin olduğu bir zon içinde kalmaktadır (Sözbilir vd., 2003; Erkül vd., 2005a; Uzel ve Sözbilir, 2008).

Menderes Masifi'nin kuzey kanadında yer alan KD-GB uzanımlı havzalar erken, orta ve geç Miyosen'de yerleşmiş olan volkanik birimler içerir (Karaoğlu vd., 2010; Ersoy vd., 2011). Bu birimler erken ve orta Miyosen yaşlı (i) yüksek Mg'lu şoşonitik-ultrapotasik seriler (şoşonit ve latit) ve (ii) yüksek K'lu kalk-alkali veya şoşonitik seriler (andezit dasit, trakit ve riyolit) içerir. Geç Miyosen'de görülen (iii) K-alkali bazaltik lavlar K-trakibazalt ve şoşonit olarak sınıflanır. Ayrıca Kuvaterner'de (iv) Na-alkali



Şekil 1. (a) Anadolu'nun tektonik haritası ve bölgedeki Senozoik magmatik kayaların dağılımı. GEVY: Güney Ege Volkanik Yayı; VIK: Vardar-İzmir-Ankara-Erzincan Kenedi; BZK: Bitlis-Zagros Kenedi; PNT: Pontidler; ATB: Anatolide-Torid Bloğu; AP: Arap Platformu; KAF: Kuzey Anadolu Fayı; GAF: Güney Anadolu Fayı (MTA, 2002; 1:500000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası'ndan ve Şengör 1987'den değiştirilerek). (b) Batı Anadolu'da Miyosen magmatik kayaların dağılımı ve radyometrik yaşları. Yaş verileri: Borsi vd. (1972), Ercan vd. (1985, 1995), Pe-Piper vd. (1995); Pe-Piper ve Piper (1992); Aldanmaz vd. (2000), Emre ve Sözbilir (2005), Innocenti vd. (2005), Karacık vd. (2007), Altunkaynak ve Genç (2008); Helvacı vd. (2009); Ersoy vd. (2012).

Figure 1. (a) Tectonic map of the Anatolia showing distribution of the Cenozoic magmatic rocks. GEVY: South Aegean Volcanic Arc; VIK: Vardar-Izmir-Ankara-Erzincan Suture; BZK: Bitlis-Zagros Suture; PNT: Pontides; ATB: Anatolide-Tauride Block; AP: Arabian Platform; KAF: North Anatolian Fault; GAF: South Anatolian Fault. (b) Distribution of the Miocene magmatic rocks in western Anatolia and their radiometric ages. Age data: Borsi et al. (1972), Ercan et al. (1985, 1995), Pe-Piper et al. (1995); Pe-Piper and Piper (1992); Aldanmaz et al. (2000), Emre and Sözbilir (2005), Innocenti et al. (2005), Karacık et al. (2007), Altunkaynak and Genç (2008); Helvacı et al. (2009); Ersoy et al. (2012).

bazaltlardan (bazanit, tefrit ve fonotefrit) oluşan Kula volkanitleri görülür. KD-GB uzanımlı havzalardaki birinci grup mafik volkanik birimlerin jeokimyasal özellikleri, yitim süreçleri ile zenginleşmiş olan litosferik bir manto kaynağına işaret eder (Innocenti vd., 2005; Karaoğlu vd., 2010; Ersoy vd., 2010). Ersoy vd. (2012) yüksek K'lu kalk-alkali kayaların yüksek oranda alt kabuksal malzeme içerdiği ve daha sonraki ayrımlaşmalı kristalizasyon işlevlerine maruz kalarak geniş bileşimsel farklılıkların oluştuğunu önerir. Geç Miyosen bazaltlarının ise, başlıca astenosferik manto kaynağına sahip olan Kula volkanitleri ile litosferik manto kökenine sahip birinci grup kayaları arasında bileşimsel bir geçiş simgelediği (hem astenosferik hem de litosferik manto bileşenleri) yorumlanır. Kuvaterner'de görülen astenosfer kaynaklı volkanik etkinlik bölgede astenosferin yükseldiğine işaret eder (Aldanmaz vd., 2000; Alıcı vd., 2002). Soma havzası ise sıyrılma fayları boyunca yükselen ve yüzeyleyen Menderes Masifi'nin ve aynı bölgede görülen astenosfer kaynaklı volkanizmanın daha batısında yer almaktadır. Havzada geç Miyosen yaşlı bazaltların varlığı, diğer geç Miyosen bazaltlarında görülen astenosfer katkısının araştırılması açısından önemlidir.

Soma havzası'nın ekonomik linyit yatakları içeren Miyosen sedimanter birimleri erken ve orta Miyosen yaşlı felsik volkanik kayalar ile uyumlu olup, geç Miyosen yaşlı mafik volkanik kayalar ile kesilir. Bu volkanik kayalarının jeokimyasal özellikleri bölgedeki Neojen volkanizmasının evriminin tartışılmasında önem taşımaktadır. Bu çalışmada Miyosen yaşlı volkanik birimlerden petrografik ve jeokimyasal verilerin sunulması ve volkanik birimlerin petrolojik evrimlerinin tartışılıp çevrede yüzlek veren diğer volkanik birimler ile karşılaştırmalarının yapılması amaçlanmıştır.

GENEL JEOLJİ

Batı Anadolu'da ekonomik linyit yatakları içeren Soma Havzası, batıda Kozak volkano-plütonik kompleksi, kuzeydoğuda Bigadiç volkano-sedimanter havzası ve güney-güneybatıda Yuntdağı volkanik kompleksi arasında yer alır. Soma Havzası Miyosen'den Kuvaterner'e kadar olan dönemlerdeki tektonik olaylarla

şekillendirilmiş bir havzadır (Brinkmann vd., 1970; Nebert, 1978; İnci, 1998a, 2002; Arpalıyigit ve İnci 2000; İnci vd., 2003).

Havza çevresinde yüzlek veren Neojen öncesi temel kayalarını (a) Sakarya kıtasına ait Karakaya Karmaşığı'na ve (b) İzmir-Ankara Zonu'na ait Bornova Karmaşığı'na (Bornova filiş zonu) ait tectono-stratigrafik birimleri oluşturur (Erdoğan, 1990; Okay ve Siyako, 1991; Okay ve Tüysüz 1999). Bölgede Karakaya Karmaşığı geç Triyas yaşlı olistostromal birimlerden oluşur. Bunlar Kınık güneyinde ve Bergama kuzeyinde yüzlek verirler. Bornova Karmaşığı'na ait birimler geç Kretase-Paleosen yaşlı filiş fasiyesinde çökelmiş kumtaşı-şeyl ardalanmaları ve bunların içinde yer alan blok konumlu ve yaşları Triyas'tan Kretase'ye kadar değişen kireçtaşlarından oluşur. Filiş fasiyesi kayaları genelde Soma kuzeyinde, kireçtaşları ise Soma güneyi ve Kırkağaç çevresinde geniş yüzlekler verirler. Tüm bu birimler Miyosen yaşlı volkanik ve kömür içeren sedimanter kayalar tarafından uyumsuzlukla üstlenir.

Soma havzasının Miyosen istifi İnci (1998a) tarafından iki birimde incelenmiştir: (1) Alt-Orta Miyosen Soma Formasyonu ve (2) Üst Miyosen Deniz Formasyonu. Bu birimler Kuvaterner yaşlı tortullar tarafından uyumsuz üstlenir. Soma Formasyonu tabanda çakıltaşları ile başlayıp üst seviyelere doğru kumtaşları, çamurtaşları ve marn ile devam eder ve kireçtaşı ile son bulur. Birim içinde iki linyit seviyesi bulunur. Soma Formasyonu üzerine uyumsuzlukla gelen Deniz Formasyonu çakıltaşları ile başlar ve üste doğru ince bir kömür seviyesi içeren yeşil renkli alüvyal-gölsel çökeller ile devam eder. Daha üst seviyelerde volkaniklastik çökeller ile giriklilik sunan birim marnlar ve silisleşmiş kireçtaşı ile son bulur. Tüm bu birimler, Soma güneyinde yer alan açık kömür işletmelerinde yüzlek veren bazaltik sokulum ile kesilir. İnci (1998b), Soma Formasyonu'nda Orta Linyit serisi olarak isimlendirilen karbonatça baskın birimlerin fasiyes özelliklerini sedimantolojik, stratigrafik ve paleontolojik açıdan inceleyerek bölgedeki temel kayaları üzerinde alüvyal ve taşkın düzlüğü, sığ tatlı-su karbonat gölleri ve göl kenarı ortamları ile orman ve bataklık ortamlarının geliştiğini önermiştir.

Soma havzası ve çevresindeki volkanik birimleri, (i) kuzeybatıda (Göçbeyli kuzeybatısı) Kozak volkano-plütonik kompleksine ait volkanik birimler, (ii) güney ve güneydoğuda Yuntdağı volkanik kompleksine ait volkanik birimler, (iii) kuzeydoğuda Bigadiç volkano-sedimanter havzasına ait, Sındırgı ve Gelembe çevresinde geniş yüzlekler veren volkanik birimler ve (iv) havza içinde izole yüzlekler veren volkanik çıkışlar oluşturur. Kozak volkano-plütonik ve Yuntdağı volkanik komplekslerine ait volkanik birimler genelde andezitik-dasitik-riyolitik lav, dom ve bunlarla ilişkili piroklastik birimlerden oluşur. Riyolitik ürünler volkanik istifin genelde en üstünde yer alır. Kozak volkano-plütonik ve Yuntdağı volkanik komplekslerine ait volkanik birimler çok benzer petrografik ve jeokimyasal özellikler sunmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada birlikte değerlendirilmiş ve karmaşadan kaçınmak için "Kozak-Yuntdağı" volkanitleri olarak isimlendirilmiştir. Ayrıca Kınık'ın ~5 km güneydoğusunda yer alan Asartepe'de yüzlek veren siyah renkli ve bazalt görünümlü volkanik çıkış ürünleri, kimyasal bileşimleri temelinde Asartepe andeziti olarak isimlendirilmiş (Çizelge 1'de 115 numaralı örnek) ve Kozak-Yuntdağı volkanitlerine dahil edilmiştir. Bergama çevresinde de görülen bu volkanik kayalar daha önceki çalışmalarda "yalancı bazalt" olarak bilinmektedir (Ercan vd., 1987). Kozak-Yuntdağı volkanitlerine ait kayalar Deniş Formasyonu'na ait ince kırıntılı birimleri uyumlu üzerler. Kozak-Yuntdağı volkanitlerinin eşleniği olarak kabul edilebilecek volkanik birimler baskın olarak erken Miyosen yaşlı oldukları bilinmektedir (örn., Bigadiç havzası: Helvacı, 1995; Helvacı ve Alanso 2000; Erkül vd., 2005; Karaburun yarımadası: Helvacı vd., 2009; Gördes ve Demirci havzaları: Ersoy vd., 2011).

Soma ilçesi batısında yer alan Bayat Köyü'nün ~1 km kuzeyinde gri-siyah renkli ve sütunsal soğuma çatlakları sunan andezitik bileşimli volkanik kayalar bu çalışmada "Dededağ volkanitleri" olarak isimlendirilmiştir. Dededağ volkanitleri Deniş Formasyonu'na ait tortulları uyumlu bir şekilde üzerler. "Adilköy volkanitleri" Soma güneyinde iki farklı lokasyonda yüzlek veren bazaltik dayk ve lav akmalarından oluşmuştur. Bunlar, (a) Adilköy çevresinde sütunsal soğuma çatlaklı bazaltik lavlar (910 ve 911 numaralı örneklerin

alındığı lokasyon) ve (b) Soma açık kömür işletmeleri içinde Sarıkaya Tepesi çevresinde Deniş formasyonuna ait kireçtaşlarını kesen dayk yerleşimli kayaçlardır (124, 922-925 numaralı örneklerin alındığı lokasyon). Birime ait lavlar yüzey ayrışmasından oldukça etkilenmiştir.

PETROGRAFI

Kozak-Yuntdağı volkanitlerine ait porfirik doku lu lav örnekleri baskın olarak pembe, yer yer de gri renkli bir hamur içinde plajiolaz, biyotit, amfibol ve az oranda sanidin ile kuvars fenokristalleri içerir. Bazı andezitik örneklerde mafik mineral olarak klinopiroksen gözlenir. Plajiolaz kristallerinde zonlanmalar ve elek dokuları, kuvarsalarda ise körfez yapıları yaygındır. Stratigrafik olarak en üst düzeylerden alınan kayaç örnekleri plajiolaz yanında bol miktarda sanidin ve kuvars içerir. Dededağ volkanikleri koyu gri renkli bir hamura sahiptir ve bol miktarda opasitleşmiş amfibol kristalleri içerir (toplam amfibollerin 80%'i kadar). Bunun yanı sıra az oranda plajiolaz ve klinopiroksen kristalleri görülür. Adilköy volkanitlerine ait lav örneklerinde bol miktarda görülen olivin kristalleri %30-%70 oranında serpantinleşmiş veya iddingsitleşmiştir. Adilköy volkanitlerindeki olivin fenokristallerinin yanında diğer önemli fazlar klinopiroksen mikrofeno-kristalleri ve plajiolaz mikrolitleridir.

ANA ELEMENT OKSİT JEOKİMYASI VE SINIFLANDIRMA

Petrografik analizler sonucunda seçilen 30 adet taze volkanik kaya örneğinin ana ve iz element jeokimyasal analizleri ACME (Kanada) laboratuvarlarında yapılmıştır. Şekil 2'de lokasyonları verilen örneklerin ana element oksit bileşimleri Çizelge 1'de verilmiştir. Tüm örneklerin ana element oksitleri susuz bileşimlerini temsil edecek şekilde %100'e tamamlanmış ve değerlendirmeler bu bileşimler dikkate alınarak yapılmıştır. Kozak-Yuntdağ volkanitlerine ait örneklerin SiO₂ bileşimleri %57,2 ile %71,6 (ağırlık cinsinden) arasında, MgO bileşimleri ise %0,5 ile %5,1 arasında değişmektedir (Çizelge 1). Kozak-Yuntdağ volkanitleri toplam alkali (Na₂O+K₂O) ve silis (SiO₂) bileşimlerine göre andezit, latit, trakit, trakidasit, dasit ve riyolit olarak (Şekil 3a)

Çizelge 1. Volkanik birimlerin Ana ve iz element analiz sonuçları (ana element oksitler ağırlık yüzdesi; iz elementler ppm cinsinden verilmiştir). KK: Kızdırma kaybı, (t): Fe₂O₃ cinsinden toplam demir.

Table 1. Major and trace element results of the volcanic rocks (major element oxides are in wt%, trace elements are in ppm). KK: lost of ignition, (t): total iron as Fe₂O₃.

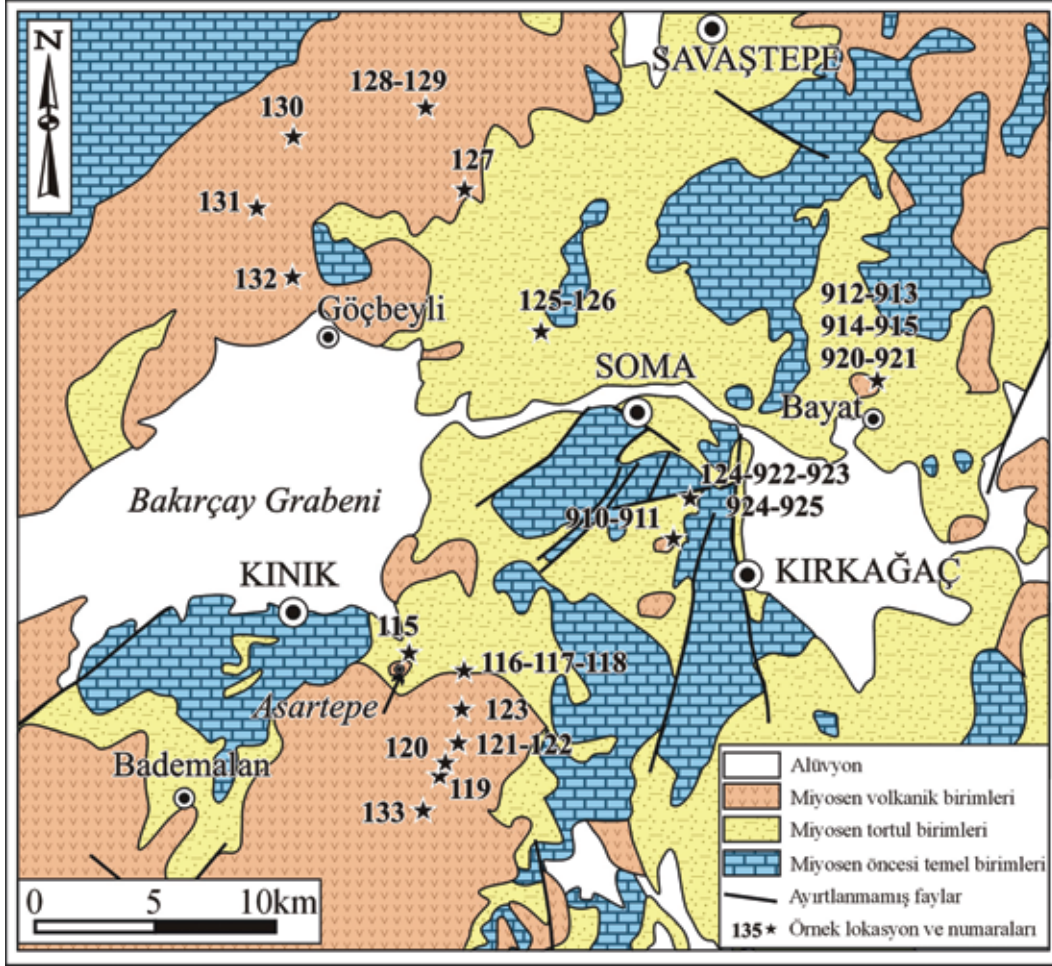
	Adilköy volkanitleri						Dededağ volkanitleri					
	910	911	922	923	924	925	124	912	913	914	915	920
SiO ₂	44.71	44.63	50.1	49.88	50.75	50.55	49.57	56.33	56.51	58.06	54.96	52.81
Al ₂ O ₃	11.26	11.27	12.25	12.2	12.81	12.54	12.07	15.07	15.36	15.58	14.86	14.53
Fe ₂ O ₃ (t)	7.62	7.5	8.13	8.03	8.06	7.89	7.84	5.98	6.05	6.19	6.14	5.54
MgO	11.83	11.79	12.02	12.67	11.8	11.71	11.56	4.53	3.94	3.99	4.64	4.17
CaO	8.95	8.97	8.98	8.73	8.71	8.93	8.33	8.16	8.06	7.26	8.4	10.36
Na ₂ O	1.53	1.54	1.77	1.5	1.65	1.87	1.83	2.55	2.55	2.72	2.6	2.27
K ₂ O	1.2	1.21	1.28	1.08	1.49	1.28	1.33	1.97	1.99	2.13	1.73	1.35
TiO ₂	0.56	0.56	0.6	0.59	0.64	0.62	0.59	0.54	0.55	0.54	0.54	0.53
P ₂ O ₅	0.1	0.1	0.12	0.11	0.13	0.12	0.13	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12
MnO	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.1
KK	11.6	11.7	4	4.5	3.2	3.8	6.1	4.2	4.4	2.8	5.5	7.7
Cs	2.8	2.6	2.8	2.1	3.3	3.1	2.2	7.8	10.6	6.6	10.8	22
Rb	24	23.8	34.7	20	38.7	37.9	34.8	56.8	60	60.9	57	45.4
Ba	456	471	746	729	807	739	762	951	947	1022	883	2073
Sr	842	859.4	853.1	850.4	885.5	851.7	871.8	624.9	619.3	620.4	649.9	634.3
Pb	11.3	11.1	15.9	15.8	17.9	18.6	15.1	3.1	2.5	2.5	4.4	6.2
Th	5.2	5.2	6	6.1	6.8	6.4	7.3	9.4	9.2	9.2	8.4	9
U	2	1.8	3.3	3.4	3.6	3.3	3.4	2.4	2.3	2.6	2.2	1.9
Zr	56	58.1	73.8	65.7	74.7	71.2	65.3	118.9	108.1	116.3	111.5	102.5
Hf	1.4	1.6	2.3	1.9	2.2	2.2	1.9	3.3	3.1	2.7	3.4	3.1
Ta	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4
Y	12.6	12.1	16.1	14.5	15.7	15.5	13.9	16.3	16.5	16.3	16.6	15.6
Nb	3.1	3.1	3.8	3.8	4.1	4	3.9	6.1	5.8	6.2	5.8	5.6
Sc	27	28	30	30	31	30	29	19	20	20	20	20
Ni	152.9	154.8	167.4	158	143.3	163.6	189.7	54.5	52.9	48.5	57.5	30.6
Co	63.7	63.8	45.8	46.1	42.8	45.9	48	45.9	55.9	90	69.2	45
V	189	188	181	177	187	173	190	145	139	139	135	133
La	14.5	14.8	16	15.8	17.1	16.5	15.5	23	22.1	23.1	22.3	20.6
Ce	30.7	31.2	33.3	32.8	35.2	34.5	32.6	45.4	43.6	45.6	44.2	41.4
Pr	3.5	3.59	3.79	3.68	4	3.82	3.71	4.81	4.83	4.93	4.66	4.41
Nd	13	14.5	15	13.7	16.3	14.4	14.1	17.4	17.8	18.5	17.4	17
Sm	2.63	2.58	2.95	2.74	3.05	2.95	2.82	3.17	3.26	3.31	3.24	3.09
Eu	0.78	0.8	0.82	0.79	0.89	0.81	0.76	0.87	0.9	0.9	0.89	0.88
Gd	2.29	2.31	2.76	2.75	2.85	2.81	2.68	2.96	2.94	3.05	3.01	2.74
Tb	0.38	0.39	0.46	0.44	0.48	0.47	0.45	0.5	0.5	0.51	0.5	0.49
Dy	2.15	2.19	2.41	2.52	2.73	2.45	2.56	2.76	2.87	2.73	2.78	2.56
Ho	0.47	0.47	0.56	0.52	0.59	0.57	0.54	0.55	0.6	0.58	0.6	0.56
Er	1.33	1.31	1.58	1.5	1.68	1.65	1.54	1.71	1.68	1.65	1.62	1.63
Tm	0.22	0.21	0.23	0.24	0.25	0.24	0.23	0.26	0.25	0.26	0.25	0.21
Yb	1.32	1.27	1.56	1.6	1.6	1.58	1.49	1.74	1.77	1.81	1.78	1.63
Lu	0.2	0.2	0.24	0.24	0.26	0.25	0.23	0.26	0.26	0.27	0.26	0.24

Çizelge 1. devamı.
Table 1. continued.

Kozak-Yunttađı volkanitleri											
	921	115	116	117	118	119	120	121	122	123	125
SiO ₂	55.76	60.64	67.41	66.8	64.34	62.53	63.18	62.39	59.97	59.32	52.9
Al ₂ O ₃	15.1	15.77	15.85	16.2	16.06	15.83	15.64	15.9	17.68	16.34	14.78
Fe ₂ O ₃ (t)	6.43	5.33	3.23	3.39	3.53	4.45	4.21	4.51	5.5	5.32	6.33
MgO	5.76	3.52	1.06	0.82	1.59	2.18	2.02	2.3	1.56	3.2	2.83
CaO	7.84	6.15	3.23	3.07	3.96	4.33	4.19	4.58	4.61	5.55	8.32
Na ₂ O	2.51	3.67	3.77	3.82	3.6	3.06	3.09	3.04	3.75	2.72	3.24
K ₂ O	1.72	1.65	3.77	3.93	3.82	3.99	3.75	3.9	3.47	3.36	2.38
TiO ₂	0.56	0.54	0.39	0.4	0.4	0.61	0.6	0.61	0.55	0.67	0.78
P ₂ O ₅	0.12	0.09	0.15	0.16	0.16	0.21	0.18	0.18	0.28	0.26	0.29
MnO	0.12	0.08	0.04	0.05	0.1	0.08	0.07	0.07	0.1	0.08	0.1
LOI	3.7	2.3	0.8	1.1	2.1	2.5	2.8	2.2	2.2	2.8	7.7
Cs	6.1	1	5.6	4.6	4.9	5.9	5.4	5.7	3.5	6.7	1.8
Rb	49.4	44.5	145	150.8	151.4	142.8	137.6	134.4	136.8	146.7	62.3
Ba	971	616	1311	1331	1361	1061	952	1062	1593	1106	1137
Sr	614.4	346.8	507.1	513.4	508.9	444	399.6	462.3	683.6	553.4	923.6
Pb	5.8	4.6	6	5.9	10.7	1	1.1	0.9	8.8	2.1	4.8
Th	9	5.2	31.7	31.6	35.1	22.8	18.7	19.3	29.5	20.7	12.8
U	2.2	1.6	5.1	6	6.5	5.6	5	5	6.6	5.8	3.2
Zr	110.3	87.2	198.5	186.3	180.1	174	169.8	181.9	207.3	172.4	138.4
Hf	3.1	2.8	5.7	5.1	5.2	5	4.8	5	5.4	4.9	3.5
Ta	0.5	0.4	1.1	1.1	1.1	1	0.9	0.8	1	0.8	0.6
Y	16.9	18.8	17.2	17.4	20.9	23.7	29.3	25.1	22.1	22.6	19.4
Nb	6	5	11.5	12.5	12.8	11.6	11.1	10.9	12.3	10.6	11.1
Sc	21	18	7	6	7	12	11	12	11	17	18
Ni	56.6	7.8	3.1	2.8	3.7	6.5	6.9	5.2	5.6	7.4	74.8
Co	51.1	40.3	28.1	35.5	28	31.5	25.7	32.8	29.8	36	32.6
V	139	111	49	33	56	88	86	94	96	139	142
La	22.7	15.2	44.2	45.7	48.8	42.1	38.5	39.9	55.7	37.9	33.1
Ce	43.7	31.3	84.9	88.2	94.7	82.7	78.2	76.6	106.1	77.7	65.4
Pr	4.8	3.57	8.59	8.81	9.67	8.83	8.44	8.8	11.13	8.51	7.17
Nd	17.6	13.8	29.3	30.2	33.1	31.8	30.2	33.2	39.7	31.2	27.5
Sm	3.25	2.96	4.73	4.95	5.22	5.7	5.72	5.86	6.41	5.93	5.08
Eu	0.91	0.76	0.85	0.88	0.94	1.13	1.11	1.18	1.27	1.24	1.23
Gd	3.1	3.06	3.75	3.9	4.07	5.05	5.25	5.14	5.04	5.18	4.35
Tb	0.5	0.55	0.56	0.56	0.62	0.77	0.84	0.82	0.75	0.78	0.67
Dy	2.91	3.02	2.84	2.94	3.33	4.11	4.85	4.36	3.86	4.12	3.5
Ho	0.6	0.68	0.56	0.58	0.66	0.82	1	0.92	0.77	0.79	0.71
Er	1.8	1.96	1.63	1.68	1.86	2.39	2.93	2.56	2.23	2.2	2.09
Tm	0.27	0.30	0.27	0.27	0.29	0.38	0.44	0.4	0.34	0.33	0.32
Yb	1.95	1.95	1.77	1.75	1.92	2.48	2.95	2.55	2.26	2.16	1.98
Lu	0.26	0.31	0.28	0.27	0.31	0.38	0.46	0.41	0.35	0.34	0.30

Çizelge 1. devamı.
Table 1. continued.

Kozak-Yuntdağı volkanitleri							
	126	127	128	129	130	131	133
SiO ₂	53.07	62.49	61.4	68.71	67.78	62.23	61.71
Al ₂ O ₃	14.48	16.7	16.49	15.46	14.18	16.93	16.43
Fe ₂ O ₃ (t)	6.48	4.78	4.4	1.45	3.85	4.53	4.84
MgO	4.75	1.51	1.18	0.56	0.46	1.01	2.84
CaO	7.58	4.07	4.67	2.3	3.14	4.03	4.86
Na ₂ O	3.12	3.71	3.42	2.88	2.43	3.53	3.35
K ₂ O	2.06	3.36	4.06	4.29	2.86	2.86	3.68
TiO ₂	0.77	0.61	0.6	0.18	0.45	0.65	0.51
P ₂ O ₅	0.29	0.33	0.31	0.06	0.19	0.25	0.17
MnO	0.11	0.06	0.09	0.05	0.05	0.04	0.08
LOI	6.9	2	3.1	3.9	4.4	3.7	1.2
Cs	3.1	3.5	1.7	3.7	11	3.8	6.1
Rb	46.7	123.4	116.6	144.2	101.9	104.4	170.4
Ba	1087	1407	1290	1193	1099	1090	979
Sr	894	588	574.6	277.1	389.7	543.7	471
Pb	7.1	4.7	10.2	14.3	4.3	3.2	2.6
Th	12.5	23	22.7	24.2	17.1	19.6	26.6
U	3.1	4	4.2	5.2	3.2	3.9	7.6
Zr	128.7	212	202.1	162.7	127.1	221.4	178.8
Hf	3.2	6.2	5.6	4.6	3.8	6.3	5
Ta	0.7	0.8	0.7	0.9	0.6	0.8	1.1
Y	19.8	14.4	18	13.8	13.2	17.2	21
Nb	10.9	12.7	11.7	11.3	7.8	12.9	12
Sc	18	13	12	3	10	12	13
Ni	74.2	12.2	29.4	0.4	4.3	8.4	8.7
Co	39.7	29.7	32.7	17.3	23.1	37.5	14.3
V	144	67	100		59	110	102
La	31.8	43.6	44.2	43	32.9	47	40.3
Ce	64.2	91.2	90.5	82.2	64.9	98	80.1
Pr	7	9.06	9.79	8.05	6.73	10.66	8.4
Nd	25.9	31.3	34.4	25.6	23.6	37.5	27.9
Sm	5.05	4.91	5.75	3.96	4.16	6.32	5.12
Eu	1.26	1.01	1.13	0.8	0.93	1.16	1.03
Gd	4.42	3.77	4.49	3.03	3.25	4.81	4.19
Tb	0.66	0.52	0.64	0.45	0.48	0.69	0.64
Dy	3.63	2.61	3.32	2.44	2.52	3.51	3.6
Ho	0.73	0.5	0.64	0.48	0.48	0.66	0.73
Er	2.01	1.4	1.7	1.46	1.44	1.78	2
Tm	0.31	0.22	0.26	0.24	0.21	0.27	0.3
Yb	1.97	1.43	1.7	1.59	1.4	1.77	1.88
Lu	0.3	0.22	0.27	0.26	0.22	0.27	0.3



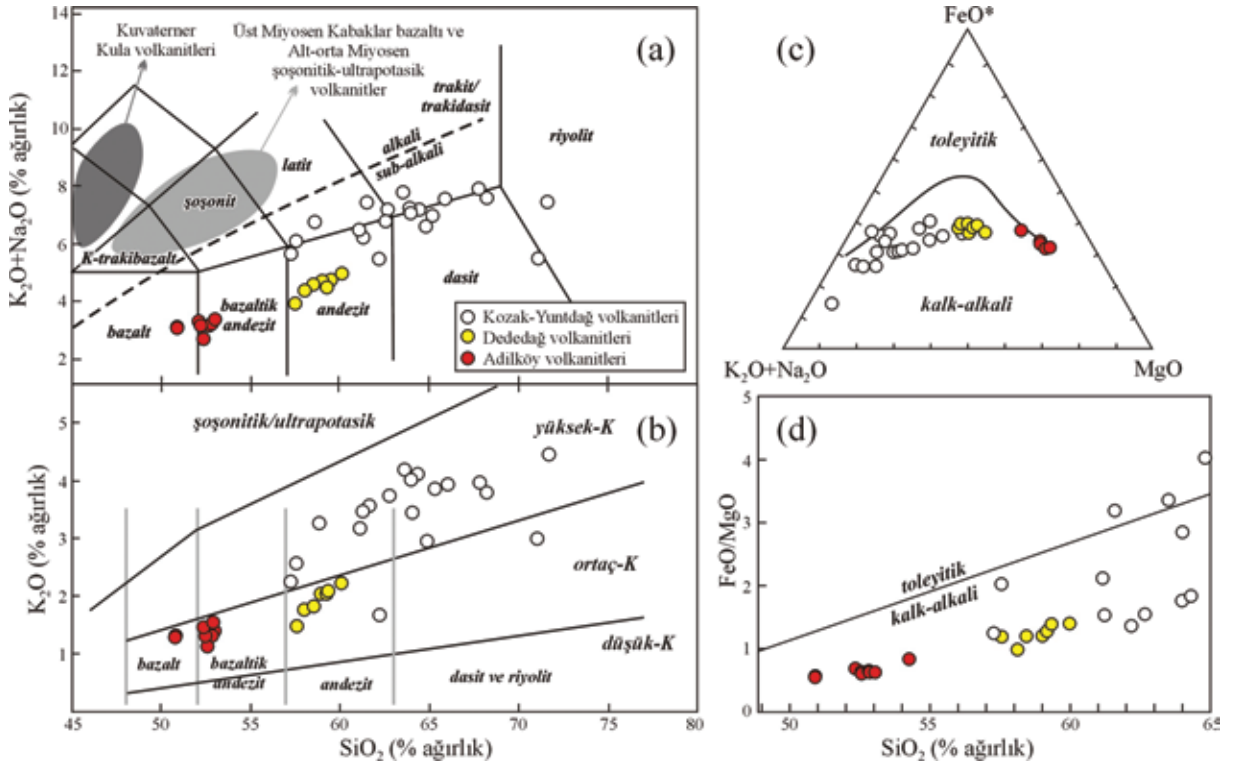
Şekil 2. Soma ve çevresinin jeoloji ve volkanik birimlerden alınan örneklerin lokasyonlarını gösteren harita (MTA (2002) 1:500000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritasından değiştirilerek).

Figure 2. Geological map of the Soma and surroundings showing the sample locations analyzed in this study (modified from MTA (2000) 1:500000 scaled Geological Map of Turkey).

sınıflandırılır. AFM diyagramında (Şekil 3b) kalk-alkali gidiş sunan Kozak-Yuntdağ volkanitleri, K_2O ve SiO_2 bileşimlerine göre temelinde ortaç veya yüksek potasyumlu olarak sınıflandırılır (Şekil 3c). Kayaçların kalk-alkali afiniteleri SiO_2 - FeO/MgO diyagramı ile de desteklenir (Şekil 3d). Böylece Kozak-Yuntdağ volkanitleri ait örnekler ortaç-yüksek potasyumlu kalk-alkali seriler olarak sınıflandırılabilir. Ayrıca, ana element oksit bileşimlerine göre tüm örnekler normatif kuvars (%6,9–%37,4) ve hipersten (%2,0–%9,5) içerir (Çizelge 1). Örneklerin $Mg\#$ değerleri ($Mg\# = 100 * MgO / [MgO + FeO_{toplam}]$) 19,1 ile 59,2 arasında değişmektedir. Bu özelliklerine göre Kozak-Yuntdağı volkanitlerinin silise aşırı doymun ve

ileri derecede evrimleşmiş bir magmadan itibaren farklılaştıkları anlaşılır.

Dededağ volkanitlerine ait örneklerin SiO_2 bileşimleri %57,5 ve %60,0 arasında, MgO bileşimleri ise %4,1 ve %6,0 arasında değişmektedir (Çizelge 1). Birime ait tüm örnekler Şekil 3'de verilen sınıflandırma ve ayırtman diyagramlarına göre ortaç potasyumlu kalk-alkali andezit olarak sınıflandırılır ve isimlendirilir. Örnekler normatif kuvars (%11,4–%14,6) ve hipersten (%4,6–%12,9) içerir ve $Mg\#$ değerleri 56,1–64,0 arasındadır. Bu özelliklere göre Dededağ volkanitlerinin de, tıpkı Kozak-Yuntdağı volkanitleri gibi aşırı doymun ve ileri derecede evrimleşmiş



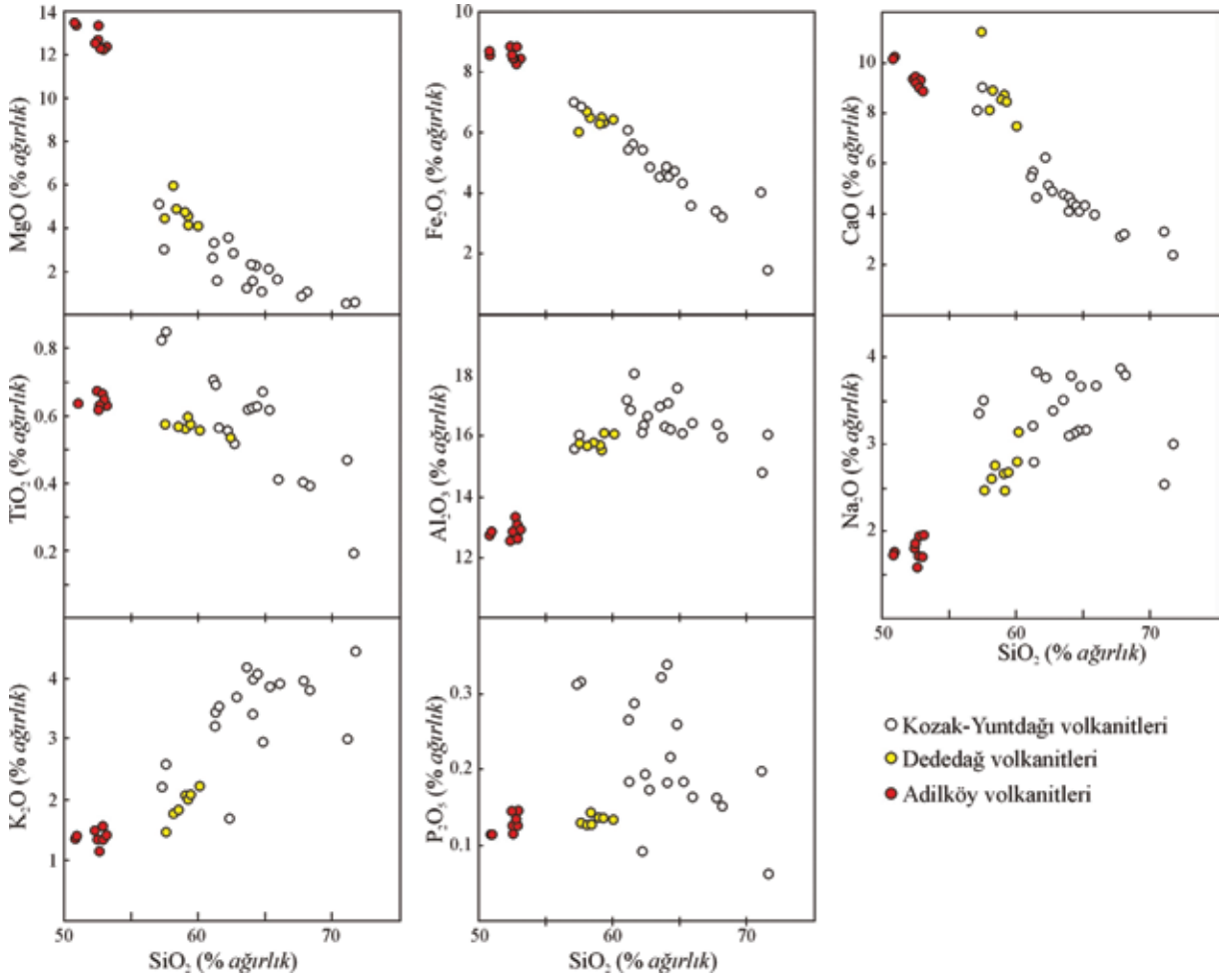
Şekil 3. Soma havzası ve çevresindeki Miyosen volkaniklerinin ana element sınıflandırma/ayırılma diyagramları: (a) toplam alkali-silika (TAS) diyagramı (LeMaitre, 2002) ve alkali-subalkali ayrımı (Irvine ve Baragar, 1971); (b) SiO_2 - K_2O ayırılma diyagramı (LeMaitre, 2002); (c) Subalkali örneklerin AFM diyagramına göre (Irvine ve Baragar, 1971) toleyitik ve kalk-alkali şeklinde sınıflaması; (d) SiO_2 - FeO/MgO diyagramı (Miyashiro, 1974). Örneklerin bileşimleri susuz olarak yeniden hesaplanmıştır.

Figure 3. Major element classification and discrimination diagrams for the Miocene volcanic rocks of the Soma basin and surrounding: (a) Total alkali-silica (TAS) plot with IUGS fields after LeMaitre (2002). The alkaline-sub-alkaline line is according to Irvine and Baragar (1971); (b) SiO_2 - K_2O discrimination diagram of LeMaitre (2002). The sub-alkaline samples subdivided as tholeiitic and calc-alkaline according to (c) AFM diagram of Irvine and Baragar (1971) and (d) SiO_2 - FeO/MgO diagram of Miyashiro (1974). Compositions of the samples are recalculated on an anhydrous base.

bir magmadan itibaren farklılaştığı, ancak daha ilksel magma bileşimlerini temsil ettikleri görülmür. Bu nedenle ve aynı yaşta oldukları kabulü temelinde, bu kayaların, Yuntadağı volkaniklerinin daha ilksel magma bileşimlerini temsil ettikleri düşünülebilir.

Jeolojik veriler temelinde Soma ve çevresindeki en genç volkanizmayı (muhtemelen geç Miyosen yaşlı) temsil eden Adilköy volkanitlerine ait örnekler silisçe çok daha fakir ($SiO_2 = \%50,9$ – $\%54,3$) ve magnezyumca zengin ($MgO = \%9,8$ – $\%13,5$; $Mg\# = 68,3$ – $75,8$) olup ortaça potasyumlu kalk-alkali bazalt ve bazaltik andezit olarak sınıflandırılırlar (Şekil 3). Ancak bazalt olarak isimlendirilen örneklerin LOI değerleri (ateş-

te kayıp) değerlerine göre çok yüksektir ($\sim \%12$). Bu iki örneğin silis içeriği de diğer örneklerden oldukça yüksek sapma sunar. Bu nedenle bu iki örnek göz ardı edildiğinde silis içeriklerinin $\%52,5$ ve $\%53,1$ arasında değiştiği ve tüm örneklerin bazaltik andezit olduğu kabul edilebilir. Bu birime ait örneklerin yüzey ayrışmasından etkilendiği göz önünde tutularak analiz sonuçları $Nb/Y-Zr/TiO_2$ (Winchester ve Floyd, 1977) diyagramında (burada gösterilmemiştir) değerlendirildiğinde andezit/bazalt ve andezit alanlarına düştükleri görülmür. Adilköy volkanitlerine ait bazı örnekler normatif kuvars ($\%0,3$ – $5,0$) içerirken diğerleri normatif olivin içerirler ($\%0,5$ – $8,2$) ve bu temelde silise doygun veya aşırı doygun



Şekil 4. Soma havzası ve çevresindeki Miyosen volkaniklerinin SiO₂ içeriklerine göre ana element oksit değişim diyagramları. Örneklerin bileşimleri susuz olarak yeniden hesaplanmıştır.

Figure 4. SiO₂-dependent major element variation diagrams of the Miocene volcanic rocks of the Soma basin and surrounding. Compositions of the samples are recalculated on an anhydrous base.

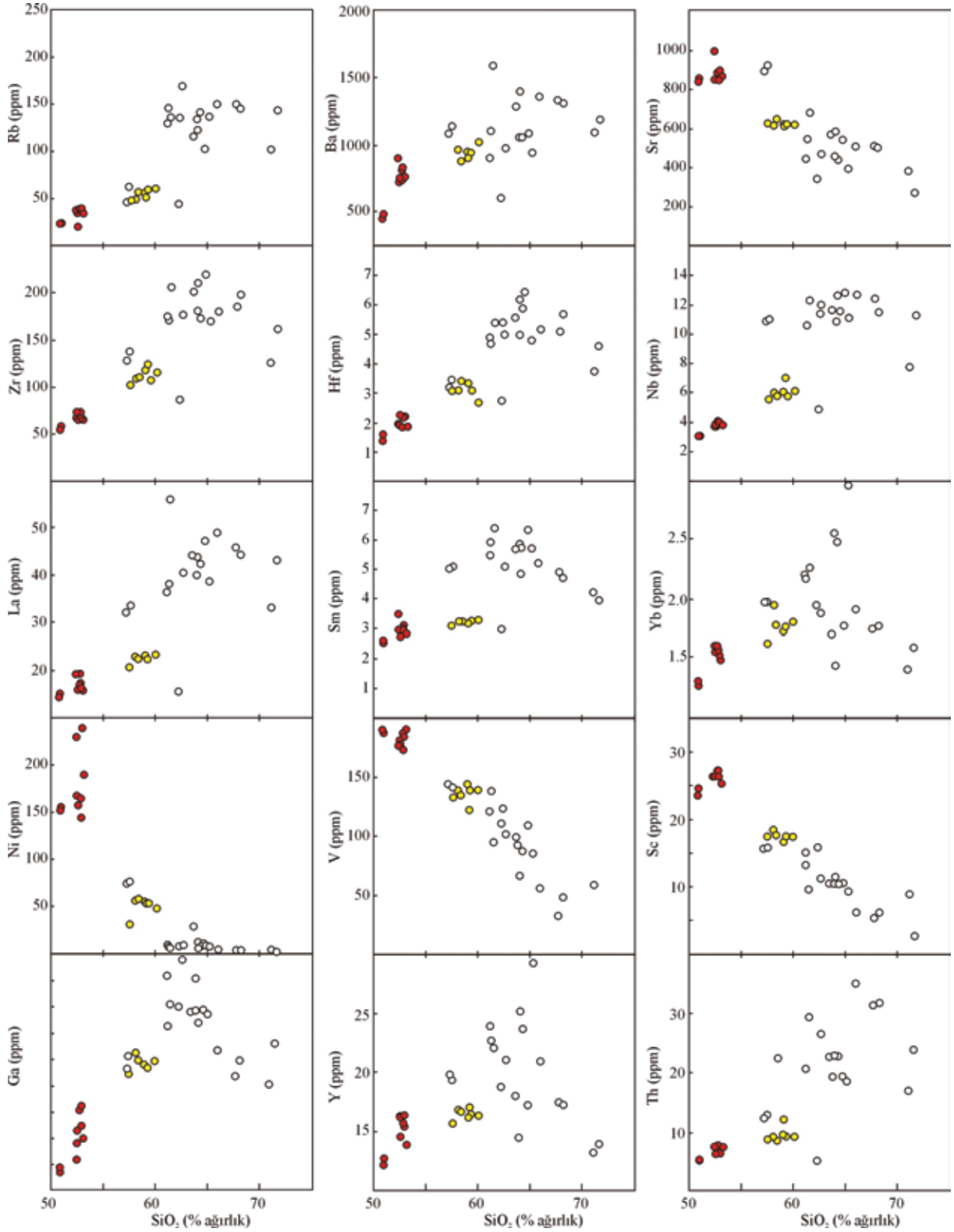
magma bileşimlerini temsil ederler. Bu özellikleri ile Adilköy volkanitlerine ait örnekler bölgedeki en ilksel magma bileşimine sahiptirler.

Soma havzası ve çevresindeki Miyosen volkanik birimlerine ait örneklerin SiO₂ içeriklerine bağlı ana element oksit bileşimlerindeki değişimler Şekil 4'de verilen diyagramlarda verilmiştir. Örneklerin MgO, Fe₂O₃ ve CaO içerikleri artan SiO₂ içeriklerine göre düzgün bir biçimde azalış gösterir. Örneklerin TiO₂ içerikleri, SiO₂ = ~%57 den itibaren iki farklı yönelim sunarak azalır. Benzer iki farklı yönelim diğer ana element oksit içeriklerinde de görülmektedir. Özellikle Al₂O₃, Na₂O, K₂O ve P₂O₅ içerikleri,

SiO₂ = ~%65'e kadar artmakta, ~%65'den itibaren azalmaktadır.

İZ ELEMENT JEOKİMYASI

Kozak-Yuntdağı ve Dededağ volkanitlerine ait örneklerin manto mineralleri için uyumlu olan elementlerden Ni içerikleri sırasıyla 0,4–74,8 ve 30,6–57,5 ppm arasında değişmektedir. Adilköy volkanitlerinin ise Ni içerikleri daha yüksek olup 143,3–239,0 arasındadır. Benzer durum Cr içerikleri için de geçerlidir. Soma havzası ve çevresindeki Miyosen volkanitlerinin iz element içeriklerindeki değişimler, SiO₂ içeriklerindeki artışa bağlı olarak Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Soma havzası ve çevresindeki Miyosen volkaniklerinin SiO₂ içeriklerine göre iz element değişim diyagramları. Örneklerin bileşimleri susuz olarak yeniden hesaplanmıştır.

Figure 5. SiO₂-dependent trace element variation diagrams of the Miocene volcanic rocks of the Soma basin and surrounding. Compositions of the samples are recalculated on an anhydrous base.

Tüm volkanik birimlerin Ni, V, Sc ve Sr içerikleri artan silis içeriği ile birlikte düzenli olarak azalırken Rb, Ba, Zr, Hf, Nb, La, Sm, Ga ve Y içerikleri belirli bir SiO_2 içeriğine kadar artış gösterirken daha yüksek silis bileşimleri için azalma sunarlar. Kozak-Yuntdağı volkanitlerine ait örneklerin La/Yb değerleri, Asartepe andeziti (La/Yb=7,8) hariç 13,1–30,5 arasındadır. Dededağ volkanitlerinin La/Yb oranları da Yuntdağı volkanitlerine benzerlik sunar (11,6–13,2). Adilköy volkanitlerinin ise La/Yb oranları göreceli olarak daha düşük olup 9,9 ile 12,5 arasında değişir. Kozak-Yuntdağı volkanitlerinden Asartepe andezitinin lantanid grubu element (LGE) içeriği (toplam LGE=79,4) diğer örneklerle oranla (toplam LGE=143,2–235,9) çok daha düşüktür ve Dededağ volkanitleri ile yaklaşık aynı bolluklara sahiptir (toplam LGE=97,4–107,2).

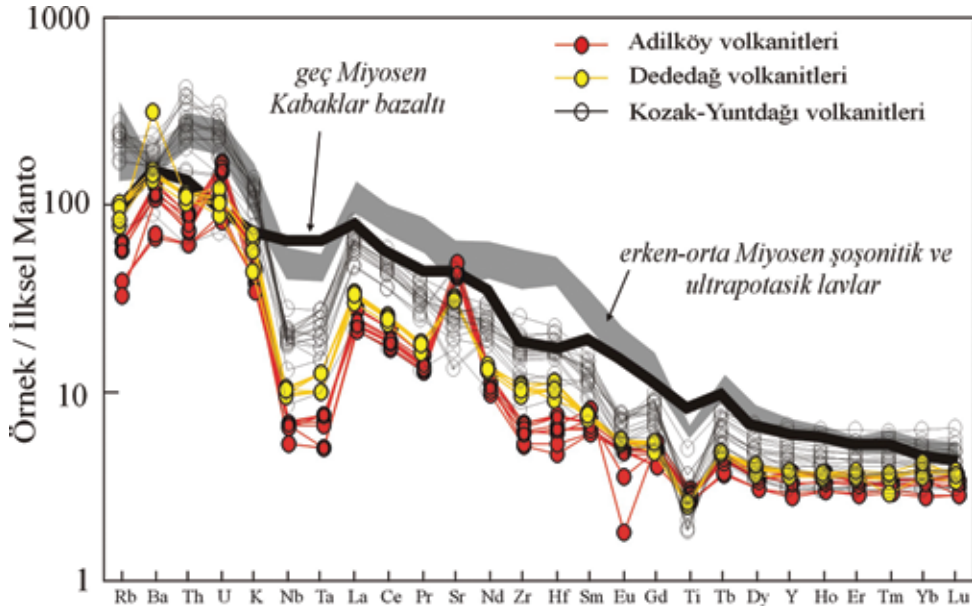
Çalışma alanındaki volkanik birimlerin ilksel mantoya göre oranlanmış çoklu element diyagramı Şekil 6'da verilmiştir. Tüm volkanik birimler yaklaşık aynı desenleri sunar. Bu diyagrama göre örneklerin tümü Rb ve Ba gibi geniş iyon çaplı litofil elementler (GÇLE) bakımından ileri derecede zenginleşme, Nb, Ta ve Ti gibi yüksek değerlikli katyonlar (YDK) bakımından tüketilme sunar. Kozak-Yuntdağı volkanitlerine ait örneklerdeki GÇLE zenginleşmesi (tıpkı hafif LGE de olduğu gibi) diğer birimlerinkine oranla daha yüksektir. Tüm örnekler, hafif LGE'den (HLGE) orta LGE'ye (OLGE) doğru azalan bir desen sunarken, ağır LGE (ALGE) içerikleri düz bir desen sunar. Volkanik birimlerin HLGE içerikleri Adilköy volkanitlerinden Kozak-Yuntdağı volkanitlerine doğru belirgin bir artış gösterir. Tüm volkanik birimlerin ALGE içerikleri yaklaşık aynı iken, Kozak-Yuntdağı volkanitlerine ait örneklerinin ALGE içerikleri geniş bir aralık sunar. Dededağ volkanitleri hariç diğer birimler Eu elementi için belirgin bir negatif aykırılık (*anomaly*) gösterir.

Kozak-Yuntdağı ve Dededağ volkanitleri çalışma alanının daha doğusunda, Mendere Masifi'nin kuzey kanadında yüzlek veren erken-orta Miyosen yaşlı şoşonitik-ultrapotasik mafik volkanitler ile karşılaştırıldığında daha düşük iz element bolluklarına sahiptir (Şekil 6). Ayrıca, geç Miyosen yaşlı Adilköy bazaltları, Mendere Masifi'nin kuzey kanadındaki Selendi havzasında yüzlek veren geç Miyosen yaşlı Ka-

baklar bazaltına göre çok daha düşük iz element bollukları ve çok daha güçlü negatif Nb-Ta aykırılıkları ile simgelenir. Bu özellikleri ile bu iki üst Miyosen bazaltının farklı kökene sahip olduğunu ve ayrı ayrı değerlendirilmesi gerektiğini gösterir.

PETROJENEZ

Soma havzası ve çevresinde yüzlek veren volkanik birimler (i) erken ve orta Miyosen yaşlı ortaç-yüksek potasyumlu kalk-alkali seriler (Kozak-Yuntdağı ve Dededağ volkanitleri) ve (ii) geç Miyosen yaşlı ortaç potasyumlu kalk-alkali bazaltik andezitler (Adilköy volkanitleri) olarak sınıflandırılmıştır. Batı Anadolu'daki geç Senozoik volkanizması yaygın olarak üç ana grupta incelenir. Bunlar (i) erken ve orta Miyosen yaşlı başlıca litosferik manto kökenli yüksek MgO içeren şoşonitik-ultrapotasik seriler, (ii) erken ve orta Miyosen yaşlı alt kabuksal magmaların litosferik mantodan türeyen magmalarla karışmasından oluşan yüksek potasyumlu kalk-alkali seriler ve (iii) Kuvaterner yaşlı astenosferik manto kökenli alkali bazaltlardır (Kuvaterner Kula volkanitleri). Ayrıca ilk ve son grup arasında bileşimsel geçişi temsil ettiği düşünülen geç Miyosen yaşlı alkali bazaltlar görülmektedir (örn. Kabaklar bazaltı; Innocenti vd., 2005; Ersoy vd., 2008). Zaman ve konum bakımından Adilköy volkanitlerinin de bu ara bileşimi temsil ettiği düşünülebilir. Ancak ayrışma ve magmatik farklılaşmadan çok fazla etkilenmeyen ve bu özellikleri ile kaynak bölgesi özelliklerini yansıtan Nb, Ta, Hf ve Zr gibi yüksek değerlikli katyon oranları incelendiğinde, Adilköy volkanitlerinin astenosferik (nispeten zenginleşmiş OIB tipi manto) kökenli Kula volkanitleri ile litosferik manto kökenli erken-orta Miyosen şoşonit ve ultrapotasikleri arasında geçişi simgeleyen Kabaklar bazaltından farklı olarak yine litosferik kökene sahip olduğu görülmektedir (Şekil 7a). Diğer taraftan Adilköy volkanitlerinin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ bileşimleri 0,707186–0,707219 ve $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ bileşimleri ise 0.512450 civarında olup (Innocenti vd., 2005) Sr-Nd izotop değişimleri diğer geç Miyosen bazaltlarına göre ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.70352\text{--}0.70427$ ve $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.51273\text{--}0.51288$; Ersoy vd., 2008) daha çok evrimleşmiştir.



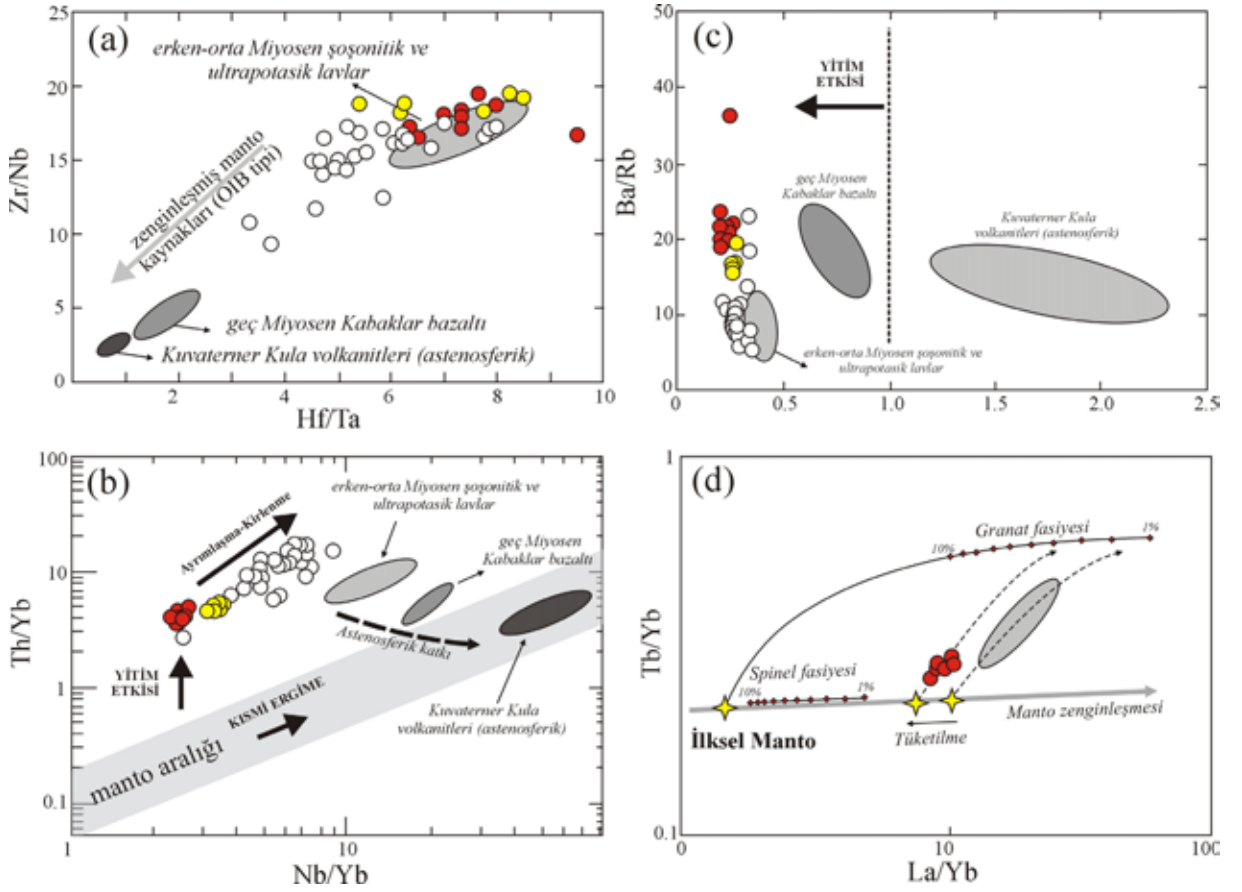
Şekil 6. Soma havzası ve çevresindeki volkanik kayaların İlksel Mantoya (PM) göre oranlanmış çoklu element diyagramı (İlksel manto değerleri: Palme ve O'Neil, 2004).

Figure 6. Primitive mantle normalized multi-element diagram of the Miocene volcanic rocks of the Soma basin (Primitive mantle values from Palme and O'Neil, 2004).

Adilköy volkanitleri ile diğer geç Miyosen bazaltları arasındaki bileşimsel farklılık volkanik birimlerin Nb/Yb–Th/Yb oranları ile de desteklenmektedir (Şekil 7b). Geç Miyosen Kabaklar bazaltı erken-orta Miyosen şoşonitik-ultrapotasik lavları ile Kuvaterner Kula volkanitleri arasında yer alırken geç Miyosen Adilköy volkanitleri Kozak-Yuntdağı ve Dededağ volkanitlerinin daha ilksel bileşimlerini temsil edecek değerlere sahiptir. Diğer taraftan kayaların Ba/Rb ve Nb/La oranları incelendiğinde Adilköy volkanitlerinin Menderes Masifi'nin kuzey kesimindeki havzalarda yüzlek veren erken-orta Miyosen yaşlı şoşonitik-ultrapotasik volkanitlere benzerlik sunduğu görülür (Şekil 7c). Ancak K ve diğer uyumsuz iz element bollukları göz önüne alındığında şoşonitik-ultrapotasik lavların çok daha fazla zenginleştiği görülür (Şekil 6). Bu zenginleşme Şekil 7b'de Nb/Yb oranlarına da yansımaktadır. Ersoy vd. (2010) Batı Anadolu'daki yüksek Mg ve K içeren mafik lavların jeokimyasal özelliklerini karşılaştırmış ve batıdan doğuya (Menderes Masifi'ne) doğru lavlardaki uyumsuz iz element içeriklerinin belirgin biçimde arttığını ve bu artışın kabuksal kirlenme ile

değil, mantodaki zenginleşme süreçleri ile ilişkili olabileceğini önermiştir. Konum bakımından Adilköy volkanitleri daha batıda yer almaktadır ve jeokimyasal özellikleri bu sonucu desteklemektedir. Bu jeokimyasal özellikleri temelinde geç Miyosen yaşlı Adilköy volkanitlerinin başlıca litosferik manto kökenli olduğu (örn. Nb ve Ta negatif aykırılıkları) ve bölgedeki diğer geç Miyosen lavlarından (özellikle Kabaklar bazaltı) farklı bir kökene sahip olduğu ortaya konulabilir.

Soma havzasındaki tüm volkanik birimlerin Nb/La oranları 1'den küçük olup kökenlerinde yitim zonu etkilerinin olduğuna işaret eder (Şekil 7c). Bu yorum volkanik birimlerin kalk-alkali karakterleri ve Şekil 6'da gösterilen çoklu element diyagramlarında ortaya çıkan negatif Nb, Ta ve Ti aykırılıkları ile de desteklenir. Yaklaşık sabit Nb/La oranlarına karşılık değişken Ba/Rb oranları ise, ayrılaşmalı kristalizasyon etkilerinin yanı sıra kökenlerindeki yitim zonu bileşiminin, yiten sedimanlardan farklı derecede türeyen akışkan ve ergiyiklerin etken olduğuna işaret edebilir.



Şekil 7. Soma havzası ve çevresindeki volkanik kayaların Hf/Ta-Zr/Nb, Nb/Yb-Th/Yb (Pearce 1983), Nb/La-Ba/Rb (Wang vd., 2004) ve La/Yb-Tb/Yb diyagramları (Veriler: Kula volkanitleri: Alıcı vd. 2002; erken-orta Miyosen şoşonitik ve ultrapotassik lavları geç Miyosen Kabaklar bazaltı: Ersoy vd., 2011). Granat ve spinel fasiyesi ergime modelleri Ersoy vd. (2008)'den alınmıştır.

Figure 7. Hf/Ta-Zr/Nb, Nb/Yb-Th/Yb (Pearce 1983), Nb/La-Ba/Rb (Wang et al., 2004) and La/Yb-Tb/Yb diagrams for the volcanic rocks in the Soma basin and surroundings (Data: Kula volcanites: Alıcı et al. 2002; early-middle Miocene shoshonitic and ultrapotassic lavas and late Miocene Kabaklar basalt: Ersoy et al., 2011). Garnet and spinel-facies melting trends are from Ersoy et al. (2008).

Adilköy volkanitlerine göre çok daha ileri derecede evrimleşmiş olan erken-orta Miyosen yaşlı Kozak-Yuntdağı ve Dededağ volkanitlerinin YDK oranları da litosferik manto kökenine işaret etmektedir. Şekil 6'da gösterildiği gibi, Adilköy volkanitlerinin iz element bollukları Kozak-Yuntdağı ve Dededağ volkanitlerine göre daha düşüktür. Ayrıca yüksek Mg# değerleri ve düşük silis içerikleri de göz önüne alındığında Adilköy volkanitlerinin Soma havzasındaki diğer volkanik birimlerin daha ilksel bileşimlerini temsil ettiği sonucuna varılabilir. Kayaların artan silis içeriklerine göre çizilen ana ve iz element değişim diyagramlarında, bu iki

kaya grubu arasında küçük bir bileşimsel boşluk bulunmasına karşın göstermiş oldukları bileşimsel yönelimler bu yorumu destekler. Ancak aynı jeokimyasal özellikler, Adilköy volkanitlerinin, erken ve orta Miyosen yaşlı şoşonitik ve ultrapotassik bileşimli kayalarına göre iz elementler bakımından daha tüketilmiş bir kayaktan türediği şeklinde de yorumlanabilir. Bu yorum kayaların Tb/Yb ve La/Yb element oranları kullanılarak test edilebilir (Şekil 7d). Şekil 7d'de ilksel mantonun zenginleşmesi ile bu manto bileşiminden granat ve spinel fasiyesinde meydana gelebilecek ergimelerin jeokimyasal değişimleri gösterilmiştir. Erken ve orta Miyosen

yaşlı şoşonitik ve ultrapotasik kayaçların göstermiş olduğu yönelim, bu volkanik kayaların ilksel mantoya göre daha çok zenginleşmiş bir mantodan granat fasiyesinde meydana gelecek bir ergime ile oluştuklarını, buna karşın geç Miyosen Adilköy volkanitlerinin ise erken ve orta Miyosen yaşlı volkanik kayalara göre biraz daha tüketilmiş bir mantodan türediğini göstermektedir. Bu durum batı Anadolu mantosunun zamanla tüketildiğine işaret eder.

Menderes Masifi'nin kuzeyinde yer alan KD-GB havzalarda yüzlek veren erken-orta Miyosen yaşlı kalk-alkali andezit-dasit-riyolit bileşimli kayaçların, eş yaşlı ve şoşonitik-ultrapotasik kayaçlardan farklılaşma işlemleri ile meydana gelebileceği ve kökeninde başlıca orta kabuksal ergiyiklerin rol aldığı önerilmiştir (Ersoy vd., 2012). Bu nedenle Soma havzasındaki erken ve orta Miyosen yaşlı kalk-alkali andezit-dasit-riyolit bileşimli volkanitlerin kökenlerinde alt kabuksal ergiyiklerin rol aldığı düşünülebilir. Şekil 4 ve 5'de bu iki kaya grubu arasında görülen bileşimsel boşluk alt kabuksal ergiyiklerin etkisi ile açıklanabilir. Bu diyagramlarda düşük SiO_2 içerikli Adilköy volkanitleri mantodan türeme bileşimleri temsil ederken daha yüksek SiO_2 içeren kayaçlar alt kabuktan türeyen ve daha sonrasında mantodan türeyen magmalarla karışmış olan bileşimleri simgeleyebilir.

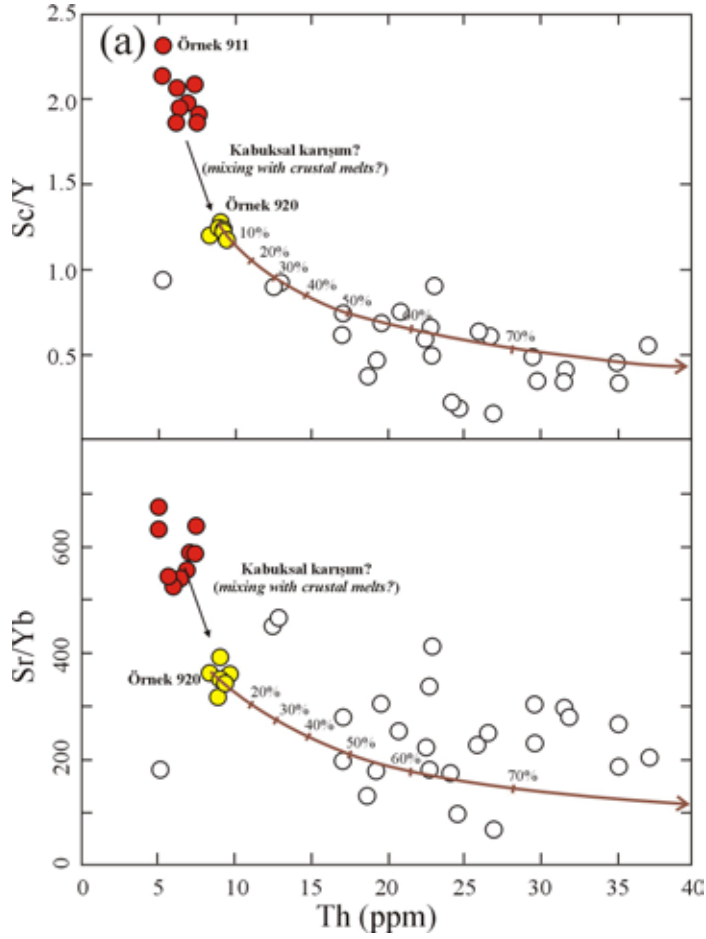
Soma havzası volkanitlerine ait örneklerin MgO ve Fe_2O_3 içerikleri artan SiO_2 içeriklerine göre düzgün biçimde azalması lavların oluşumu sırasında olivin ve/veya piroksen (\pm biyotit, amfibol) gibi mafik minerallerin magmadan ayrıldığına işaret eder. Klinopiroksen ayrışması ayrıca magmanın CaO , Sc ve V içeriklerini de azaltır (Şekil 4) ve birçok örnekte petrografik olarak klinopiroksenlerin varlığı ile de desteklenir. Örneklerin Ni (ve Co) içerikleri ise özellikle Adilköy ve Dededağ volkanitleri için azalma sunar. Adilköy volkanitlerinde petrografik olarak gözlemlenen olivin fenokristalleri bu volkanik kayaların gelişiminde başlıca olivinin ayrıştığını gösterir ve bu durum aniden azalan Ni (ve Co) içerikleri ile de desteklenir.

Plajyoklaz ayrışmasının belirteci olan artan silis içeriğine karşı azalan CaO ile birlikte Na_2O ve Al_2O_3 azalması, Soma havzası ve

çevresindeki volkanik birimlerden yalnızca SiO_2 içeriği $\sim\%62$ 'den yüksek örnekler ile tanımlanmaktadır. Nitekim plajyoklazlar için uyumlu olan Sr elementi de özellikle Yuntdağı volkanitlerinde düzenli azalma göstermektedir. Magmadan K-feldspat ayrışması azalan K_2O ve Al_2O_3 içeriği ile birlikte azalan Ba (ve Sr) içerikleri ile belirlenir. Şekil 4 ve 5'de görüldüğü gibi K_2O , Al_2O_3 ve Ba içerikleri $\text{SiO}_2 = \sim\%67$ 'den itibaren azalmaktadır. Petrografik olarak örneklerde K-feldspat mineralleri (sanidin) oldukça asidik örneklerde bulunmaktadır. Bu durumda Kozak-Yuntdağı volkanitlerini oluşturan magmadan K-feldspat ayrışmasının oldukça geç evrelerde, magma asidikleşmeye başladıkça ortaya çıktığı sonucuna varılır. Magmadan geç evrede kristalleşen minerallerden birisi de apatittir. Apatit ayrışması P_2O_5 içeriğindeki azalış ile desteklenir. Yuntdağı volkanitlerine ait örneklerin P_2O_5 içerikleri $\text{SiO}_2 = \sim\%65$ 'den itibaren azalmaktadır. Bu durum, geç evre kristalizasyonda sanidin ve apatitin birlikte ayrıştığını gösterir. Şekil 5'de örneklerin La içeriklerinin $\sim\%65$ 'den itibaren azaldığı görülmektedir. Bu durum asidik örnekler için apatit ayrışmasının diğer bir verisidir.

Rb ve Ba (ve Ni) biyotiti için uyumlu elementlerdir. Şekil 5'de örneklerin Rb içeriklerinin $\text{SiO}_2 = \sim\%65$ 'e kadar arttığı $\text{SiO}_2 = \sim\%65$ 'den itibaren sabitlendiği görülür. Bu durum biyotit kristalizasyonun da sanidin ve apatitle birlikte olduğunu gösterir. Sm gibi OLGE elementleri amfibol için uyumlu elementlerdir. Şekil 5'de örneklerin Sm içeriklerinin $\text{SiO}_2 = \sim\%65$ 'e kadar arttığı $\text{SiO}_2 = \sim\%65$ 'den itibaren sabitlendiği görülür.

Özet olarak, Soma Havzası'nda yüzlek veren volkanik birimlerde görülen jeokimyasal farklılıklar kristal ayrışması süreçleri ile açıklanabilmektedir. İlk evrede ($\text{SiO}_2 < \sim\%62$) olivin(?) + klinopiroksen ayrışması; ikinci evrede ise ($\text{SiO}_2 > \sim\%62$) klinopiroksen + plajyoklaz + biyotit + amfibol + K-feldspat (sanidin) + apatit mineral toplulukları ayrışmıştır. Ayrışmalı kristalizasyon işlevlerini iz element içeriklerini kullanarak modellemek üzere ortalama bir ayrışan mineral topluluğu seçilmiş ($\text{olv}_{\%15} + \text{kps}_{\%15} + \text{amf}_{\%15} + \text{bio}_{\%5} + \text{plj}_{\%50}$) ve Ersoy vd. (2012) tarafından derlenen dağılım katsayıları kullanılarak teorik ayrışma gidişleri Th içeriklerine karşı



Şekil 8. Soma havzası ve çevresindeki volkanik kayaların Th'a göre (a) Sc/Y ve (b) Sr/Yb değişim diyagramları. Teorik ayrılmışmalı kristalizasyon eğrileri Ersoy vd., (2011) tarafından verilen parametrelere göre çizilmiştir. *Figure 8. Th-dependent (a) Sc/Y, (b) K/V and (c) Sr/Yb variation diagrams for the volcanic rocks in the Soma basin and surroundings. Theoretical fractional crystallization curves are plotted using parameters given by Ersoy et al (2011).*

Sc/Y ve Sr/Yb oranları için Şekil 8'de verilmiştir. İz element model sonuçları Soma havzasındaki volkanik birimlerin jeokimyasal farklılıklarının başlıca ayrılmışmalı kristalizasyon süreçleri ile denetlendiğini gösterir.

Ayrılmışmalı kristalizasyon süreçleri genel olarak kabuksal kirlenme süreçleri ile birlikte gerçekleşir ve yüksek SiO₂ içeriğine sahip çevre kayaların özümlemesi magmatik evrim sırasında volkanik kayaların hızlı bir biçimde asidikliğini artırır. Kabuksal kirlenme süreçlerinin sayısal modellenmesi özellikle ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr izotop bileşimleri kullanılarak yapılabilir. Soma havzası volkanitlerinden yeterli izotopik analiz bulunmasa da, volkanik birimlerin daha önce yayımlanmış izotop

bileşimleri Soma havzasındaki en ilksel bileşime sahip volkanitlerin nispeten düşük ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr içeriğine (örn., Adilköy volkanitleri: 0,707219 - 0,707186; Innocenti vd., 2005), evrimleşmiş bileşimleri temsil eden andezitik-dasitik volkanitler ise nispeten daha yüksek ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr içeriğine (örn., Kozak-Yuntdağı volkanitleri: 0,707737; Innocenti vd., 2005) sahiptir. Sonuç olarak Soma havzasındaki volkanik birimlerin Sr izotop verileri, kayaların evrimleşmesinde ayrılmışmalı kristalizasyonun kabuksal kirlenme ile birlikte geliştiğine işaret etmektedir.

SONUÇLAR

Soma havzası ve çevresinde yüzlek veren volkanik birimler; (i) havzadaki kömür içerikli Miyosen tortullar ile giriklilik sunan erken-orta Miyosen yaşlı ortaç-yüksek potasyumlu kalk-alkali seriler (Kozak-Yuntdağı ve Dededağ volkanitleri) ve (ii) geç Miyosen yaşlı ortaç potasyumlu kalk-alkali bazaltik andezitler (Adilköy volkanitleri) olarak sınıflandırılmıştır.

Adilköy volkanitlerinin jeokimyasal özellikleri, bölgedeki astenosferik katkı içeren diğer üst Miyosen bazaltlarından (örn, Selendi havzasındaki Kabaklar bazaltı) farklılık gösterir ve litosferik manto kökenine sahiptir. Ayrıca Dededağ volkanitlerine ait örnekler Kozak-Yuntdağı volkanitlerine aitlerin ilksel bileşimlerini simgelemektedir. Çeşitli iz elementleri ile desteklenen bu özellikleri temelinde ayrılaşmalı kristalizasyon işlevleri modellendiğinde Kozak-Yuntdağı volkanitlerinin Dededağ volkanitlerini üreten magmalardan ayrılaşmalı kristalizasyon ve muhtemelen kabuksal kirlenme işlevleri ile türediği sonucuna varılmıştır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma 2009.KB.FEN.026 numaralı Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) tarafından desteklenmiştir. Yazarlar kurum çalışanları ile değerli görüş ve katkılarından ötürü Ş. Can GENÇ ve Faruk AYDIN'a teşekkür eder. TKİ Soma Linyit İşletmeleri saha çalışmaları sırasında lojistik destek sağlamıştır.

KAYNAKLAR

- Aldanmaz, E., Pearce, J.A., Thirlwall, M.F. ve 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.
- Alıcı, P., Temel, A. ve Gourgaud, A., 2002. Pb-Nd-Sr isotope and trace element geochemistry of Quaternary extension-related alkaline volcanism: a case study of Kula region (western Anatolia, Turkey). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 115, 487-510.
- Altunkaynak, Ş., Genç Ş.C., 2008. Petrogenesis and time-progressive evolution of the Cenozoic continental volcanism in the Biga Peninsula, NW Anatolia (Turkey), *Lithos*. 102, 316-340.
- Arpalıyığıt, İ. ve İnci, U., 2000, Kırkağaç diri fay zonu, Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu, BADSEM-2000, Bildiriler, 184-189, İzmir.
- Borsi, J., Ferrara, G., Innocenti, F. ve Mazzuoli, R., 1972. Geochronology and petrology of recent volcanics in the eastern Aegean Sea (West Anatolia and Lesvos Iceland). *Bulletin of Volcanology*, 36, 473-496.
- Bozkurt, E., 2003. Origin of NE-trending basins in western Turkey. *Geodinamica Acta*, 16, 61-81.
- Brinkmann, K., Feist, R., Marr, W.U., Nickel, E., Schlimm, W. ve Walter, H.R., 1970. Soma dağlarının jeolojisi: Maden Tetkik Arama Enstitüsü Dergisi, 74, 41-57.
- Emre, T., Sözbilir, H., 2005. Küçük menderes grabeni doğu ucundaki andezitlerin (Başova-Kiraz/İzmir) jeolojisi, petrografisi ve jeokimyası. *Bulletin Mineral Research and Exploration Institute (Turkey)*, 131, 1-19.
- Ercan, E., Satır, M., Sevin, D., Türkecan, A., 1996. Some new radiometric ages from Tertiary and Quaternary volcanic rocks from West Anatolia. *Bulletin Mineral*

- Research and Exploration Institute (Turkey), 119, 103-112.
- Ercan, T., Çevikbaş, A., Günay, E., Ateş, M., Can, B. ve Küçükayman, A., 1985a. Bigadiç çevresindeki (Balıkesir) magmatik kayaların petrolojisi ve evrimi: Jeomorfoloji Dergisi, 13, 57-69.
- Ercan, T., Satır T., Steinitz, G., Dora, A., Sarıfakıoğlu, E., Adis, C., Walter, H-J., Yıldırım, T., 1995. Biga Yarımadası ile Gökçeada, Bozcaada ve Tavşan Adalarındaki (KB Anadolu) Tersiyer Volkanizmasının Özellikleri, Bulletin Mineral Research and Exploration Institute (Turkey). 177, 55-86.
- Ercan, T., Satır, M., Kreuzer, H., Türkecan, A., Günay, E., Çevikbaş, A., Ateş, M., Can, B. 1985b. Batı Anadolu Senozoyik volkanitlerine ait yeni kimyasal, izotopik ve radyometrik verilerin yorumu. Türkiye Jeoloji Bülteni, 28, 121-136.
- Ercan, T., Türkecan, A., Can, B., Günay, E., Çevikbaş, A. ve Ateş, M., 1987. Batı Anadolu'da Manisa-Balıkesir arasındaki Tersiyer yaşlı bazaltların özellikleri. Jeoloji Mühendisliği. 30-31, 31-42.
- Erdoğan, B., 1990. İzmir-Ankara zonunun İzmir ile Seferhisar arasındaki bölgede stratigrafik özellikleri ve tektonik evrimi. TPJD Bülteni, 2/1, 1-20.
- Erkül, F., Helvacı, C. ve Sözbilir, H., 2005. Evidence for two episodes of volcanism in the Bigadic borate Basin and tectonic implications for western Turkey. Geological Journal, 40, 545-570.
- Ersoy E.Y., Helvacı C. ve Palmer M.R., 2011. Stratigraphic, structural and geochemical features of the NE-SW trending Neogene volcano-sedimentary basins in western Anatolia: implications for associations of supradetachment and transensional strike-slip basin formation in extensional tectonic setting, Journal of Asian Earth Science, 41, 159-183.
- Ersoy, E., Helvacı, C., Sözbilir, H., Erkül, F. ve Bozkurt, E., 2008. A geochemical approach to Neogene-Quaternary volcanic activity of western Anatolia: An example of episodic bimodal volcanism within the Selendi Basin, Turkey. Chemical Geology, 225, 265-282.
- Ersoy, E.Y., Helvacı, C. ve Sözbilir, H., 2010. Tectono-stratigraphic evolution of the NE-SW- trending superimposed Selendi basin: Implications for late Cenozoic crustal extension in Western Anatolia, Turkey. Tectonophysics, 488, 210-232.
- Ersoy, Y., Helvacı, C. ve Palmer, M.R., 2012. Petrogenesis of the Neogene volcanic units in the NE-SW-trending basins in western Anatolia, Turkey. Contributions to Mineralogy and Petrology, 163, 379-401.
- Genç, Ş.C., 1998. Evolution of the Bayramiç Magmatic Complex, Northwestern Anatolia. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 85(1-4), 233-249.
- Helvacı, C., 1995. Stratigraphy, mineralogy, and genesis of the Bigadiç borate deposits, Western Turkey. Economic Geology, 90, 1237-1260.
- Helvacı, C. ve Alonso, R.N., 2000, Borate deposits of Turkey and Argentina; a summary and geological comparison. Turkish Journal of Earth Sciences, 24, 1-27.
- Helvacı, C. ve Yağmurlu, F., 1995. Geological setting and economic potential of the lignite and evaporite-bearing Neogene basins of Western Anatolia, Turkey. Israel Journal Earth Sciences, 44, 91-105.
- Helvacı, C., Ersoy, E.Y., Sözbilir, H., Erkül, F., Sümer, Ö., Uzel, B., 2009. Geochemistry and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Geochronology of Miocene volcanic rocks from the Karaburun Peninsula: implications for amphibole-bearing lithospheric mantle source, Western Anatolia. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 185, 181-202.
- İnci, U., 1998a. Synvolcanic alluvial sedimentation in lignite-bearing Soma basin. Turkish Journal of Earth Sciences, 7, 63-78.
- İnci, U., 1998b. Lignite and carbonate deposition in Middle Lignite sequence of the Soma Formation from Soma coalfield, western Turkey. International Journal of Coal Geology, 37, 287-313

- İnci, U., 2002. Depositional evolution of coal successions in the Soma coalfield, western Turkey. *International Journal of Coal Geology*, 51, 1–29.
- İnci, U., Sözbilir, H., Erkül, F., ve Sümer, Ö. 2003. Urla – Balıkesir arası depremlerin nedeni fosil bir fay [The reason of the earthquakes between the Urla and Balıkesir is a fosil fault], *Cumhuriyet Gazetesi Bilim Teknik Dergisi*, 848, 6-7.
- Innocenti, F., Agostini, S., Di Vincenzo, G., Doglioni, C., Manetti, P., Savaşçın, M.Y. ve Tonarini, S., 2005. Neogene and Quaternary volcanism in Western Anatolia: magma sources and geodynamic evolution. *Marine Geology*, 221, 397-421.
- Irvine, N. ve Baragar, W.R.A., 1971. A guide to chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Science*, 8, 523-548.
- Karacık Z., Yılmaz Y., Pearce J.A., 2007. The Dikili-Çandarlı volcanics, Western Turkey; magmatic interactions as recorded by petrographic and geochemical features. *Turkish J. Earth Sci.* 16, 493–522.
- Karaoğlu, Ö., Helvacı, C. ve Ersoy, E.Y., 2010. Petrogenesis and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Geochronology of the Volcanic Rocks of the Uşak and Güre basins, western Türkiye. *Lithos*, 119, 193-210.
- Le Maitre, R.W., 2002. *Igneous Rocks: a Classification and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks*. Cambridge: Cambridge University Press, 236.
- Miyashiro, A., 1974. Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *American Journal of Science*, 274, 321-355.
- Nebert, K., 1978. Linyit içeren Soma Neojen bölgesi, Batı Anadolu: Maden Tetkik Arama Enstitüsü Dergisi, 90, 20-70.
- Okay, A.I. ve Satır, M., 2000. Coeval plutonism and metamorphism in a latest Oligocene metamorphic core complex in northwest Turkey. *Geological Magazine* 5, 495-516
- Okay, A.I. ve Siyako, M., 1991, İzmir Balıkesir arasında İzmir-Ankara Neo-Tetis kenarının yeni konumu. Türkiye ve Çevresinin Tektoniği-Petrol Potansiyeli, Ozan Sungurlu Sempozyumu Bildirileri. Ozan Sungurlu Bilim, Eğitim ve Yardım Vakfı, Ankara, 333–355.
- Okay, A.I. ve Tüysüz, O., 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. In: Durand, B., Jolivet, L., Horvath, E & Seranne, M. (Eds). *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen*. Geological Society, London, Special Publications, J56o 475-515.
- Okay, A.I., Satır, M., Maluski, H., Siyako, M., Monie, P., Metzger, R. ve Akyüz, S., 1996. Paleo- and Neo-Tethyan events in northwestern Turkey: Geologic and geochronologic constraints. *The Tectonic Evolution of Asia*, 420-441, Cambridge University Press.
- Palme, H. ve O'Neill, HStC., 2004. Cosmochemical estimates of mantle composition. In: Holland HD, Turekian KK (eds) *Treatise on geochemical*, vol 2. Elsevier, Amsterdam, pp 1–38.
- Pearce J.A., 1983. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: Hawkesworth CJ, Norry MJ (eds) *Continental basalts and mantle xenoliths*. Shiva Publishing, Nantwich, 230–249.
- Pe-Piper, G. ve Piper, D.J.W., 1992. Geochemical variation with time in the Cenozoic high-K volcanic rocks of the island of Lesbos, Greece: Significance for shoshonite petrogenesis, *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 53, 371–387.
- Pe-Piper, G., Piper, D.J.W., Kotopouli, C.N., Panagos, A.G., 1995. Neogene volcanoes of Chios, Greece: The relative importance of subduction and back-arc extension: *Geol. Soc. London Spec. Publ.* 81, 213–232.
- Purvis, M. ve Robertson, A., 2004. A pulsed extension model for the Neogene-Recent E-W-trending Alaşehir Graben and the

- NE–SW-trending Selendi and Gördes Basins, western Turkey. *Tectonophysics*, 391, 171-201.
- Şengör, A.M.C., 1987. Cross-faults and differential stretching of hangingwalls in regions of low-angle normal faulting: examples from western Turkey, *Geological Society, London*, 1987, pp. 575–589.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Sözbilir, H., Erkül, F. ve Sümer, Ö., 2003. Gümüldür (İzmir) ve Bigadiç (Balıkesir) arasında uzanan Miyosen sonrası yaşlı KD-Doğrultulu accommodation zonuna ait saha verileri, *Batı Anadolu, Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, Abstracts*, 85-86.
- Uzel, B. ve Sözbilir, H., 2008. A First record of strike-slip basin in western Anatolia and its tectonic implication: The Cumanovası basin as an example. *Turkish Journal of the Earth Science*. 17, 559-591.
- Wang, K.-L., Chung, S.-L., O'Reilly, S.Y., Sun, S.-S., Shinjo, R., Chen, C.-H., 2004. Geochemical constraints for the genesis of post-collisional magmatism and the geodynamic evolution of the Northern Taiwan Region. *Journal of Petrology* 45, 975–1011.
- Winchester, J.A. ve Floyd, P.A., 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology* 20, 325-343.

