

## Akçaabat (Trabzon) Güneyi ve Çevresindeki Kampaniyen Yaşlı Volkanik Kayaçların Petrografisi, Jeokimyası, Jeokronolojisi ve Petrojenezi

Cem YÜCEL\*

Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

Geliş tarihi/Received 18.11.2016

Düzeltilerek geliş tarihi/Received in revised form 03.01.2017

Kabul tarihi/Accepted 06.01.2017

### Öz

Doğu Pontid Orojenik Kuşağında Akçaabat (Trabzon) güneyi ve çevresinde yüzeyleme veren Kampaniyen yaşlı volkanik kayaçlar; bazalt, bazaltik andezit ve andezit bileşiminde olup, petrografik olarak klinopiroksen ( $Wo_{39-46} En_{40-47} Fs_{8-20}$ ), plajiyoklas ( $An_{80-84}$ ), olivin ve opak minerallerden oluşurlar. Tüm kayaç hamurunda uygulanan  $^{40}Ar-^{39}Ar$  yaşlandırma yöntemiyle volkanitlerin yaşları  $82.61 \pm 0.34$  My (Üst Kretase, Kampaniyen) olarak belirlenmiştir. Volkanitler kalk-alkalen karaktere sahiptirler. İlkel manto (İM)'ya normalize edilmiş iz element değişim diyagramlarında büyük iyon yarıçaplı litofil element (BİLE; Sr,  $K_2O$ , Rb, Ba), Th ve Ce bakımından zenginleşme, Zr, Y, Nb, Ta ve  $TiO_2$  bakımından fakirleşme ile karakterize edilen yitim imzasına sahiptirler. Ayrıca, kondrite normalize edilmiş nadir toprak element (NTE) dağılımları, kayaçların düşük-orta derecede zenginleştiklerini göstermiştir ( $La_N/Lu_N=2-3.4$ ). Volkanitlerin ana magmasının gelişiminde fraksiyonel kristallenmenin rolü magma karışımı ve asimilasyon-fraksiyonel kristalleşmeye (AFC) göre daha etkindir. Tüm bu veriler ışığında Kampaniyen yaşlı volkanitlerin ana magmasının yitim etkisiyle, daha çok akışkanlar tarafından metazomatizmaya uğratılmış spinel lertzolitik bileşimdeki zenginleşmiş bir kaynaktan türediği ve daha sonra kabuk içerisinde özellikle fraksiyonel kristallenme ve daha az oranda da magma karışımı gibi magmatik olayların etkisiyle geliştiği düşünülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Ar-Ar yaşlandırması, Doğu Pontidler, Kampaniyen, Mineral kimyası, Jeokimya, Petroloji

## Petrography, Geochemistry, Geochronology and Petrogenesis of the Campanian Volcanic Rocks in the South of Akçaabat (Trabzon) and Surrounding Area

### Abstract

The Campanian volcanic rocks cropped out in the south of Akçaabat (Trabzon) region and surrounding area in the Eastern Pontides Orogenic Belt are basalt, basaltic andesite and andesite in composition and petrographically consist of clinopyroxene ( $Wo_{39-46} En_{40-47} Fs_{8-20}$ ), plagioclase ( $An_{80-84}$ ), olivine and opaque minerals.  $^{40}Ar-^{39}Ar$  step-heating dating method carried out on groundmass of volcanic rocks yielded  $82.61 \pm 0.34$  Ma (Upper Cretaceous, Campanian). The volcanic rocks have calc-alkaline affinity and primitive mantle (PM) normalized trace element patterns imply subduction fingerprints with enrichment in large ion lithophile elements (LILEs; Sr,  $K_2O$ , Rb, Ba), Th and Ce, and depletion in Zr, Y, Nb, Ta and  $TiO_2$ . Additionally, the chondrite-

\* Cem YÜCEL, cemyucel@gumushane.edu.tr, Tel: (0456) 233 10 00

*normalized rare earth element (REE) patterns show low to medium degree of enrichment ( $La_N/Lu_N=2-3.4$ ). The role of fractional crystallization involved in parental magma generation of the volcanics is more effective than magma mixing and assimilation-fractional crystallization (AFC) processes. In the light of all data, the parental magma(s) of the Campanian volcanics were derived from a enriched lithospheric mantle source in spinel lherzolitic composition, previously enriched by subduction related fluids and it reached the final composition with the effect of fractional crystallization and minor amount of magma mixing.*

**Keywords:** Ar-Ar dating, Eastern Pontides, Campanian, Mineral chemistry, Geochemistry, Petrology

## 1. Giriş

Alp-Himalaya orojenik kuşağının parçası olan ve karmaşık bir yapı sunan Doğu Pontidler, Doğu Akdeniz ve Pontid orojenik kuşağının tektono-magmatik gelişiminin aydınlatılması adına anahtar öneme sahip bir bölgedir. Doğu Pontidler aynı zamanda yitim öncesi riftleşmeyle başlayıp yay volkanizması ve daha sonra çarpışma sonrası volkanizma ve magmatizmayla karakterize olmuş, eski bir yitim zonuna iyi bir örnek olarak kabul edilebilir (örn. Şengör ve Yılmaz, 1981).

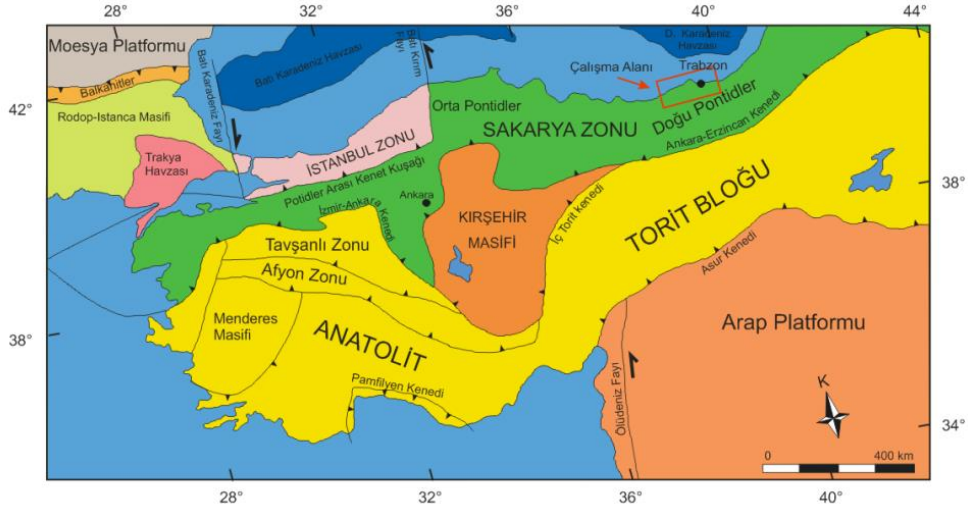
Bölgede Tersiyer dönemini özellikle Eosen magmatizmasını konu alan birçok çalışma bulunmasına rağmen son yıllarda Geç Mesozoyik magmatizması ve jeodinamik gelişimiyle alakalı sınırlı sayıda çalışma vardır. Bunlardan granitik ve gabroyik kayaların mineralojik ve jeokimyasal özelliklerini (örn. Yılmaz ve Boztuğ 1996; Adın vd., 2003; Karlı vd., 2004; Boztuğ vd., 2006; Temizel vd., 2016a, b), jeokronolojik, izotopik ve petrolojik özelliklerini konu alan bazı çalışmalar göze çarpmaktadır (örn. Kaygusuz vd., 2008; Kaygusuz ve Aydınçakır, 2009; 2011; Karlı vd., 2011; Kaygusuz vd., 2013; Aydın, 2014). Geç Mesozoyik dönemi volkanizmasını konu alan çalışmalar ise daha çok alkalin volkanitler üzerinedir (örn. Alther vd., 2008; Eyüboğlu, 2010; Asan, 2015; Aydınçakır, 2016). Geç Kretase yaşlı volkanik kayalar Doğu Pontidlerde geniş alanlarda yayılım göstermesine rağmen bu kayaları konu alan mineralojik, petrokimyasal, jeokronolojik amaçlı çalışmalar yok denecek kadar azdır.

Bu çalışmada Trabzon İli, Akçaabat ilçesinin güneyinde yüzeyleme veren bazaltik kayalar-

ın jeokronolojisi ile mineralojik, petrografik, jeokimyasal ve petrojenetik özellikleri irdelenerek, literatürde var olan eksikliklerin giderilmesi ve bölgenin Geç Mesozoyik dönemi jeodinamik evriminin aydınlatılmasına katkıda bulunulması amaçlanmıştır.

## 2. Bölgesel Jeoloji ve Çalışma Alanının Jeolojisi

Karadeniz kıyısına paralel şekilde doğu-batı doğrultusunda uzanan Pontid Orojenik Kuşağı, Okay ve Tüysüz (1999) tarafından belirlenen Sakarya Zonu içerisinde yer almaktadır (Şekil 1). Eski bir ada yayını temsil eden bu kuşak İzmir-Ankara-Erzincan suture zonu boyunca uzanır ve Jura öncesi temel birimlerindeki farklılıklara göre tektonik olarak batı, orta ve doğu Pontidler olmak üzere üç zona ayrılır (Şengör ve Yılmaz, 1981; Yılmaz vd., 1997; Okay ve Şahintürk, 1997). Alpin orojenezi süresince, bölge Torid-Anatolid platformunun Avrasya plakası ile çarpışmasından etkilenmiş olup, Türkiye'deki Neo-Tetis sisteminin hem aktif hem de pasif kenarları boyunca gelişen magmatizmanın izlerini taşımaktadır (Şengör ve Yılmaz, 1981; Bozkurt ve Mittweide, 2001). Bu tektono-magmatik olaylar yersel ve zamansal olarak birbirinden ayrı dönemler halinde meydana gelmiş olup farklı jeokimyasal özellikteki aktiviteleri işaret ederler. Literatürde farklı yorumlar bulunsa da (Bektaş vd., 1995), Doğu Pontidler yapısal ve litolojik özelliklerine göre güney ve kuzey olmak üzere iki alt birime ayrılmıştır (Özsayar vd, 1981; Okay ve Şahintürk, 1997).



Şekil 1. Türkiye tektonik haritası (Okay ve Tüysüz, 1999).

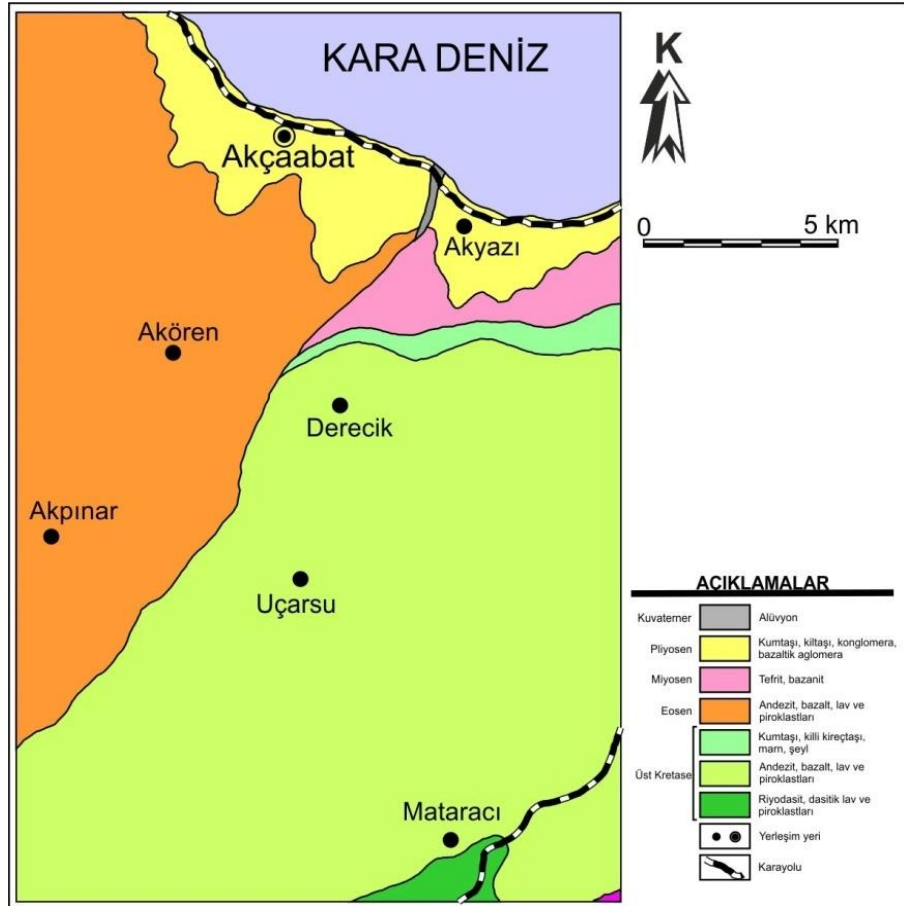
Doğu Pontidlerin kuzeyi genellikle Üst Kretase, Orta Eosen ve Miyosen birimleri tarafından temsil edilirken Güneyi ise daha çok Üst Kretase öncesi birimler tarafından temsil edilmektedir (Arslan vd., 1997; Şen, 2007, Aydınçakır ve Kaygusuz, 2012). Metamorfik kayalar ve bunları kesen granitik intrüzyonlar ve Üst Karbonifer-Alt Permiyen sığ denizel-kıtasa metasedimanter kayaları Pontidler'in kabuk temelini oluştururlar (Yılmaz, 1972; Çoğulu, 1975; Topuz vd., 2007, 2010, 2011; Ustaömer ve Robertson, 2010; Dokuz, 2011; Kaygusuz vd., 2012, 2016). Alt-Orta Jura piroklastikleri ile klastik ve karbonat arakatmanlı sedimanter kayaları, Doğu Pontidler'de temel kayalarını uyumsuz olarak örter ve rift ile ilişkili subalkalen karakterli volkano-sedimanter istif olarak yorumlanır (Ağar, 1977; Robinson vd., 1995; Kandemir, 2004; Dokuz ve Tanyolu, 2006; Şen, 2007; Kandemir ve Yılmaz, 2009). Volkanik kayalar başlıca toleyitik karakterli olup genellikle bazaltik, az miktarda andezitik, trakiandezitik ve bunların piroklastik eşlenikleridir. Jura-Kretase neritik ve pelajik karbonatları uyumlu olarak Jura volkanik ve volkano-tortul biriminin üzerine gelir. Bu karbonatlar da güneyde tortul kayalardan oluşan, kuzeyde ise volkanik kayalardan oluşan Geç Kretase yaşlı birimler tarafından uyumsuz olarak üzerlenir. Geç Kretase yaşlı volkanitler genellikle toleyitiktan kalk-alkalen karaktere kadar değişen dasit, riyolit, andezit, bazalt ve

bunların piroklastik eşleniklerinden meydana gelmektedir. Bu volkanik birimler ise yine Geç Kretase yaşlı granitler tarafından kesilmektedir (Okay ve Şahintürk, 1997; Yılmaz vd., 1997; Kaygusuz vd., 2010, Kaygusuz vd., 2013). Eosen volkanik ve volkanoklastik kayaları Geç Kretase yaşlı birimleri uyumsuz olarak örter (Güven, 1993; Arslan ve Aliyazıoğlu, 2001; Kaygusuz vd., 2011; Temizel vd., 2012; Arslan vd., 2013; Aydınçakır ve Şen, 2013; Arslan vd., 2014; Aydınçakır, 2014; Temizel vd., 2016c). Doğu Pontidler Paleosen-Alt Eosen döneminde muhtemelen çarpışma nedeniyle deniz seviyesi üzerindedir (Okay ve Şahintürk, 1997; Boztağ vd., 2004). Bölgede yüzeyleme veren Eosen volkanik ve volkanoklastik kayaları aynı yaştaki granitler tarafından kesilir (Arslan ve Arslan, 2006; Karlı vd., 2012; Kaygusuz ve Öztürk, 2015). Arslan (2003), bölgede Tersiyer volkanitlerini litolojik ve jeokimyasal özelliklerine göre kuzeyde alkalin, güneyde kalk-alkalin olmak üzere iki alt birime ayırmıştır. Eosen sonrası yükselme ve erozyon bölgesel olarak oluşmuş havzalar içerisinde kırıntılı kayaların depolanmasına sebep vermiştir (Korkmaz vd., 1995). Orta Eosen'in sonundan Miyosen'e kadar bölge genellikle deniz seviyesinin üzerinde olup volkanizma ve tortullaşmadan çok az etkilenmiştir. Doğu Pontidler'de Miyosen magmatizması kalk-alkalin ve hafifçe alkalin karakterde olup sığ denizel ya da karasal volkanizmayla temsil edilmektedir

(Şen vd., 1998; Aydın vd., 2008; Temizel vd., 2012; Aslan vd., 2014; Yücel vd., 2014). Bu kayalar Miyosen-Pliyosen yaşlı tortul kayalar ve saprolitik killer (Arslan vd., 2006) ve Kuvaterner yaşlı denizel taraçalar (Keskin vd., 2011) tarafından uyumsuz olarak örtülür. Çalışma alanında (Şekil 2) inceleme konusu Geç Kretase yaşlı volkanitler genellikle bazalt ve andezit bileşiminde olup arazide dayklar, az oranda lav akmaları ve bu kayaların piroklastlarından meydana gelmektedir. İstif

içerisinde yer yer kumlu killi kayalardan oluşan tortul birimler de gözlenmekte olup, özellikle bunlardan birkaç seviye halinde gözlenen kırmızı renkli, ince tabakalı mikritik ve biyomikritik kireç taşları dikkat çekmektedir. Çalışma konusu bazaltik volkanitler bazı alanlarda bu kireçtaşlarının tabaka aralarına yerleşerek uyumlu yapılar sergilemektedirler. Çalışma konusu volkanik kayalar arazide genellikle ayrılmış olup eksfoliasyon yapılarıyla tipiktirler.

**Şekil 2.** İnceleme alanının jeoloji haritası (Güven, 1993'den değiştirilerek)



### 3. Analitik Metod

#### 3.1. Mineral Kimyası Analizleri

Petrografik gözlemlerle birim en iyi temsil eden ve en taze volkanik kayac örnekleri mineral kimyası analizleri için belirlenmiştir. Minerallerin (klinopiroksen, plajiyoklas ve Fe-Ti oksitler) ana oksit bileşimleri karbon kaplı parlatılmış kesitler üzerinde CAMECA SX100 marka cihaz kullanılarak Magma ve

Volkan Laboratuvarı'nda (Clermont-Ferrand, France) gerçekleştirilmiştir. Analizler sırasında hızlandırma voltajı 15 kV ve ışın akımı 15 nA olup sayma zamanı pik ve arka plan için sırasıyla 10-20 ve 5-10 sn'dir. Matris etkisi CAMECA™ Phi (r) z Peak Sight© yazılımı kullanılarak düzeltilmiştir. Analizlerde kullanılan standartlar, doğal mineral standartları olup, standart sapma (1σ), Si, Ca, Na ve Al için % 0.1 ile 0.3 ve Fe, Cr,

K, Ti, Mg, ve Mn için % 0.03 ile 0.1 arasındadır.

### 3.2. <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar Yaşlandırma Analizleri

<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar yaşlandırma analizleri, yüzeysel ve hidrotermal alterasyondan etkilenmemiş tüm kayaç örnekleri üzerinde, Rennes1 Üniversitesi (Fransa) Yerbilimleri Jeokronoloji Laboratuvarı'nda lazer prob (CO<sub>2</sub> Synrad®) kullanılarak basamaklı ısıtma tekniğiyle gerçekleştirilmiştir. Örnekler 11x11mm boyutunda küçük paketler halinde Al folyoyla sarılmıştır. Bu paketler irradyasyon kolonuna her on örnekte bir monitör örnek koyacak şekilde yerleştirilmiştir. İrradyasyon işlemi McMaster reaktöründe (Hamilton, Kanada) 13.42 saatte (J/h ≈ 3.71x10<sup>-4</sup> h<sup>-1</sup>). gerçekleştirilmiştir. İrradyasyon standardı TCR sanidindir (28.608 ± 0.033 My; Renne vd, 1998, 2010 ve 2011) Analizlerde basamaklı ısıtma yöntemi Ruffet vd. (1995, 1997) tarafından detaylı olarak tanımlanan yöntemine uygun olarak lazer prob (CO<sub>2</sub> Synrad) ile yapılmıştır. Boş örnekler her ilk veya üçüncü analizde rutin olarak ölçülmüştür ve bir sonraki örneğe ait gaz fazından çıkartılmıştır. İzotop ölçümleri Map215® kütle spektrometresinde yapılmıştır. Plato yaşını belirlemek için serbest kalan toplam <sup>39</sup>Ar<sub>K</sub>'un asgari %70'ine karşılık gelen üç düzenli ardışık basamağa ihtiyaç vardır. Her bir fraksiyonun yaşı plato segmentlerini tamamlayan yaş ile 1σ veya 2σ arasında uyumlu olmalıdır. Tüm <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar sonuçları 1σ seviyesinde gösterilmiştir.

### 3.3. Tüm kayaç ana, iz ve nadir toprak element analizleri

Arazi çalışmalarından elde edilen tüm kayaç örnekleri öncelikle çeneli, daha sonra halkalı öğütücüde yaklaşık 200 mesh boyutuna kadar öğütülerek ana, iz ve nadir toprak element analizleri için ACME (Kanada) Analiz Laboratuvarı ve İTÜ JAL (Jeolojik Araştırmalar) Laboratuvarı'na gönderilmiştir. Burada ana ve iz elementler için öğütülmüş kayaç örnekleri indüksiyonlu eşleşmiş plazma atomik emisyon spektrometresi (ICP-AES), nadir toprak elementler ise eşleşmiş plazma kütle spektrometresi (ICP-MS) tekniği ile

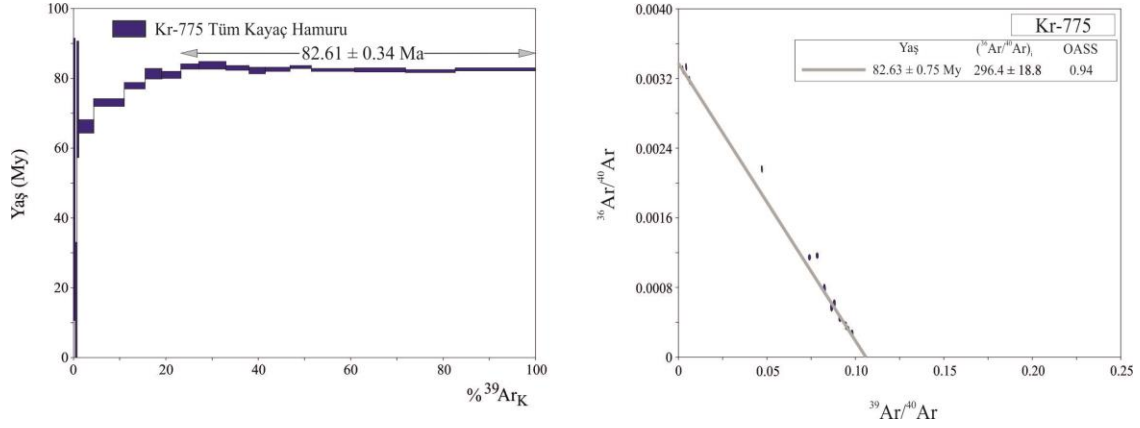
analiz edilmişlerdir. Kayaç toz örneklerinden 0.2 gr alınarak 1.5 gr LiBO<sub>2</sub> ile karıştırılarak, % 5 HNO<sub>3</sub> içeren bir sıvı içinde çözündürülmüştür. Ana elementler % ağırlık, iz elementler ise ppm olarak ölçülmüştür. Nadir toprak elementler ise, kayaç toz örneklerinden 0.25 gr alınarak dört farklı asit içerisinde çözündürülmüş ve ppm olarak tespit edilmiştir. Analizlerde saptama limiti; ana elementler için % 0.001-0.04, iz elementler için 0.1-1 ppm ve nadir toprak elementler için 0.01-0.1 ppm dir.

### 4. <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar yaşlandırması

Bazaltik kayaçların <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar lazer prob analizleri bu kayaçlardan elde edilen tüm kayaç hamuru üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu kayaçlara ait yaş spektrumları ve ters izokron hesaplamalarından elde edilen görünümleri Şekil 3'de yer almaktadır. Elde edilen yaş spektrumunda salınan <sup>39</sup>Ar<sub>K</sub> yaklaşık olarak % 80'ine karşılık gelen düzgün bir plato görülmektedir. Düşük sıcaklıklarda gözlemlenen basamaklanmalar, muhtemelen kayaçta meydana gelen yüzeysel bozuşma sonucunda oluşan ikincil mineral fazlarından kaynaklanan gaz salınımı nedeniyle gelişmiştir. Elde edilen yaşların doğruluğunun kontrol edilmesi için plato yaş hesaplamaları izokron hesaplamalarıyla da desteklenmiştir. Yapılan plato ve izokron hesaplamaları sonucunda bazaltik kayaçlardan Geç Kretase, Kampaniyen'e karşılık gelen 82.61±0.34 My plato yaşı ile 82.63± 0.75 My izokron yaşları elde edilmiştir.

### 5. Petrografi

Çalışma alanında yüzeyleme veren Geç Kretase yaşlı volkanitlerde gerçekleştirilen petrografik çalışmalara göre; kayaçlar genellikle intersertal, mikrolitik porfirik ve kümülofirik doku sergilemektedirler. Kayaçların genel mineralojik bileşimleri klinopiroksen, plajiyoklas, olivin ve opak minerallerden meydana gelmektedir (Şekil 4). Hamur klinopiroksen, plajiyoklas, olivin ve opak minerallerin mikro ve kriptokristalen tanelerinden meydana gelir. Kayaç içerisinde ikincil mineral olarak serisit, kalsit ve zeolitler yer almaktadır.



**Şekil 3.** İncelenen volkanik kayaların  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  yaş spektrumları, plato ve izokron yaşları.

Klinopiroksenler genellikle öz ve yarı öz şekilli fenokristaller halinde yer alırlar. Kenarlar boyunca kemirilmeler (Şekil 4a, b, c) ve belli hatlar boyunca elek dokusu (Şekil 4a), körfez yapıları (Şekil 4d) sıklıkla gözlenmektedir. Bazı fenokristallerin iç kısımlarında kalıntı merkezler yer alır (Şekil 4c). Ayrıca klinopiroksenlerin bazıları kırıklı bir yapı sunmaktadır. Kayaç içerisinde yer yer olivin ve opak minerallerle bir araya gelerek kümülofrik dokuyu oluştururlar (Şekil 4e). En yaygın ayrışma ürünleri kloritlerdir. Plajiyoklaslar genellikle iri öz ve yarı özşekilli fenokristaller ve hamurda mikrolit ve mikrofenokristaller olarak bulunmaktadır. İri kristallerin bazıları zonlu yapı gösterirler (Şekil 4f). Albit ikizi gösteren kristaller çoğunluktadır. Bazı kristallerde kenarlar boyunca kemirilmeler, zonlu olanlarında ise zonlanmalar boyunca elek dokuları gözlenir. En yaygın ayrışma ürünleri kalsit ve kil mineralleridir. Olivinler genellikle öz şekilsiz fenokristaller halinde bulunur. Kırıklı bir yapı sunar. Kenarlar ve kırıklar boyunca iddingsitleşme gözlenir. Opak mineraller ise hamurda dağınık halde ve özellikle klinopiroksenler içinde kapanım olarak yer alırlar.

## 6. Mineral Kimyası

İncelenen volkanitler içerisinde yer alan klinopiroksen, plajiyoklas ve opak minerallere ait mineral kimyası verileri Tablo 1'de yer almaktadır.

### 6.1. Klinopiroksen

Geç Kretase yaşlı volkanik kayaçlar içerisinde mafik faz olarak en bol bulunan mineral klinopiroksendir. Klinopiroksenler uluslararası mineraloji birliğinin önerdiği sınıflamaya göre (Morimoto vd., 1988) ojit ve diyopsit olarak isimlendirilmişlerdir (Şekil 5a). Bileşimleri  $\text{Wo}_{39-46}\text{En}_{40-47}\text{Fs}_{8-20}$  arasında Mg numaraları (Mg#) ise 0.68-0.85 arasında değişmektedir. Bu klinopiroksenler  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (% 0.04-0.27) ve MgO (% 13.93-16.22),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (% 1.63-3.49),  $\text{TiO}_2$  (% 0.24-0.53) ve FeO (% 5.06-12.00) içeriklerine sahiptirler. Merkez-kenar Mg# dayanılarak klinopiroksenler genellikle normal zonlanma gösterdikleri belirlenmiştir.

### 6.2. Plajiyoklas

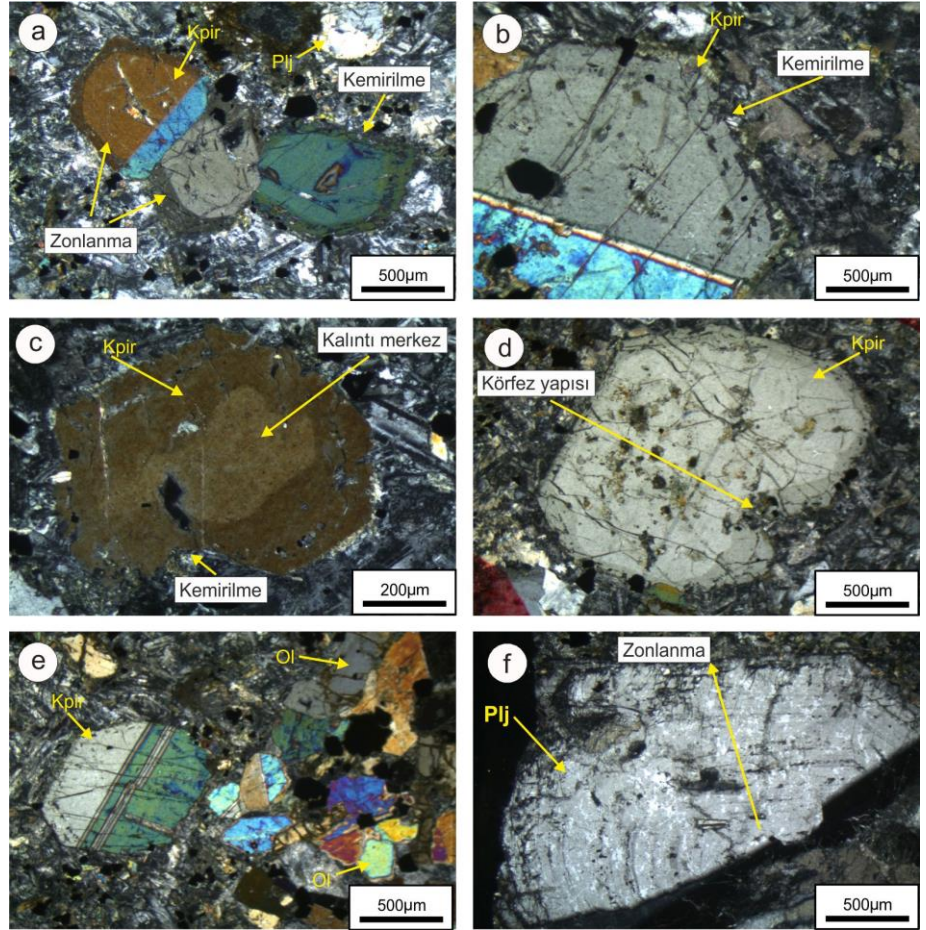
Plajiyoklas bileşimleri  $\text{An}_{80-84}\text{Ab}_{16-20}\text{Or}_{0-1}$  arasında dar bir aralıkta değişim göstermekte olup bitovnit olarak tanımlanmıştır (Şekil 5b). Merkez ve kenar An içeriğine göre aynı volkanik kayaç içerisinde yer alan plajiyoklaslardan bazıları normal zonlanma gösterirken bazıları ters zonlanma gösterirler.

### 6.3. Opak Mineral

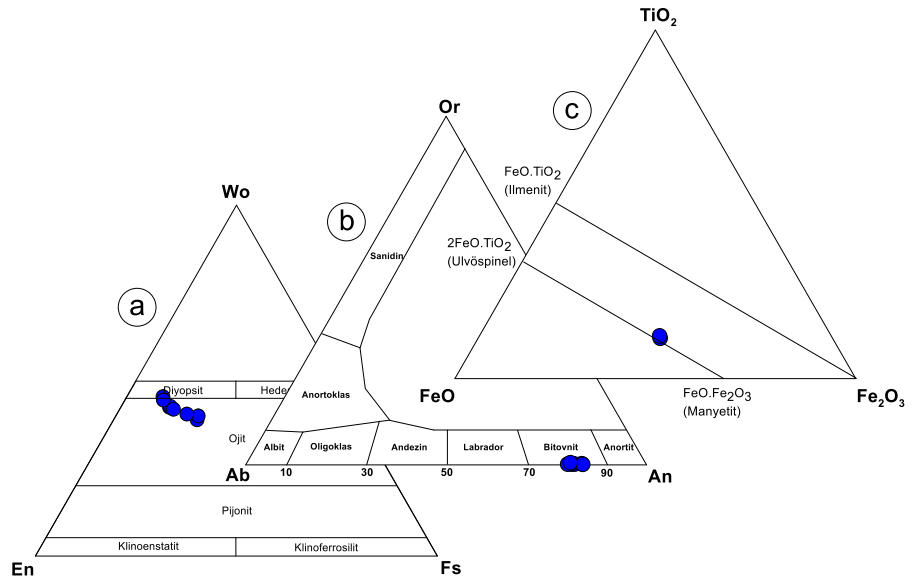
Volkanitlerde özellikle hamurda ve klinopiroksenler içerisinde kapanım olarak bulunan Fe-Ti oksit mineralleri manyetit ve titano-manyetit bileşimindedir (Şekil 5c).



**Şekil 4.** İncelenen volkanik kayalar içerisindeki (a) zonlu ve kemirilmiş klinopiroksen (kpir) ve plajiyoklas (plj) mineralleri (ÇN), (b) kemirilmiş klinopiroksen (kpir) minerali (ÇN), (c) merkezde kalıntı klinopiroksen (kpir) (d) klinopiroksenlerdeki (kpir) körfez yapıları (ÇN) (e) kümülofrik doku içerisinde klinopiroksen (kpir) ve olivin (ol) (ÇN), (f) elek dokulu ve zonlu plajiyoklas (plj) (ÇN).



**Şekil 5.** İncelenen volkanik kayalar içerisindeki (a) klinopiroksenlerin (Morimoto vd., 1988), (b) plajiyoklasların (Deer vd., 1992) ve (c) Fe-Ti oksitlerin bileşimlerini gösteren üçgen diyagramlar.



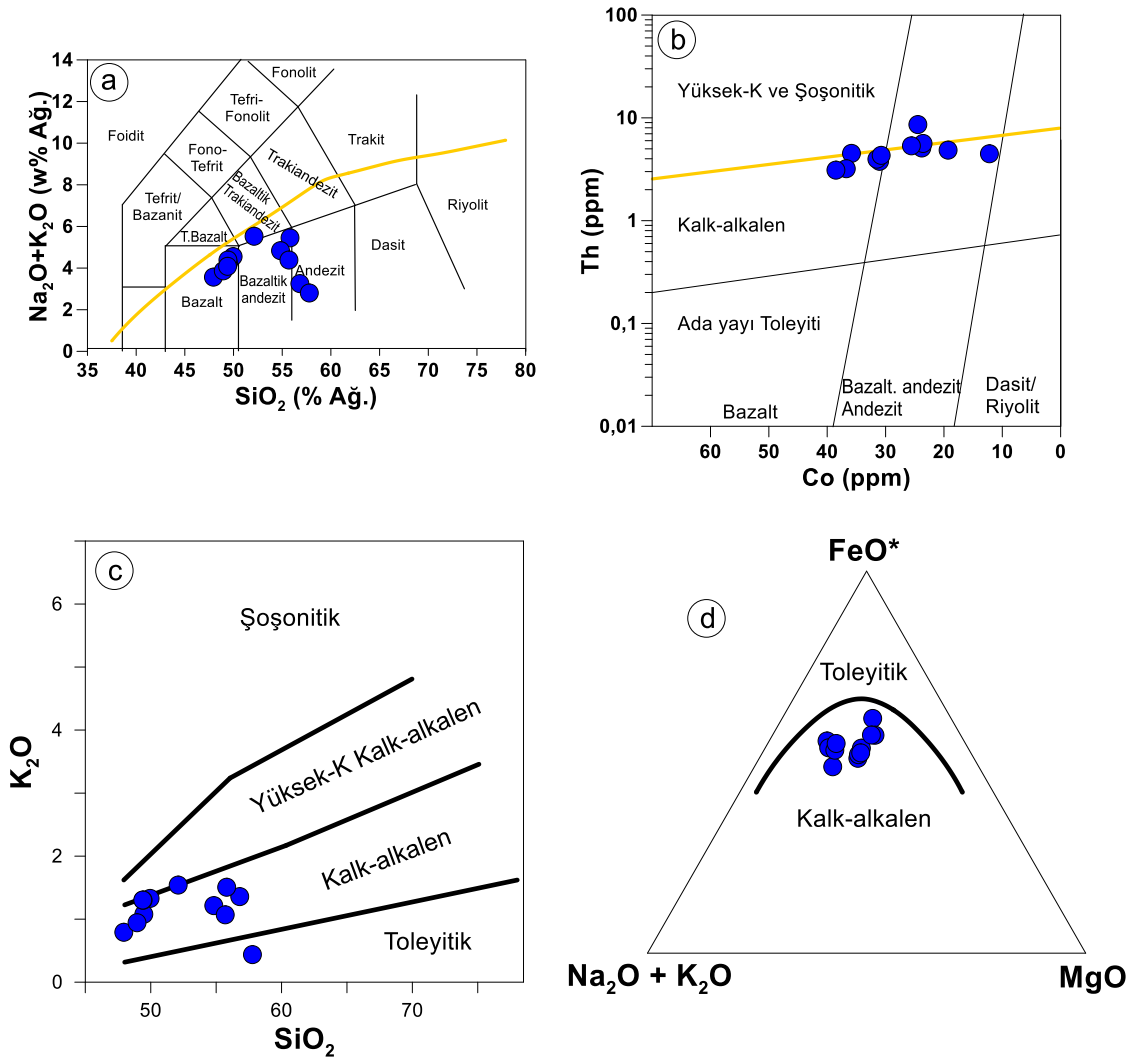
## 7. Petrokimya

Akçaabat (Trabzon) yöresinde yüzeyleme veren Kampaniyen volkanitlerinin tüm kayaç ana, iz ve nadir toprak element (NTE) analiz sonuçları Tablo 2'de özetlenmiştir.

İncelenen volkanik kayaların  $\text{SiO}_2$  içerikleri 47.91 ile 57.78,  $\text{MgO}$  içerikleri 1.50 ile 4.63,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  içerikleri 11.84 ile 18.30 ve  $\text{CaO}$  içerikleri 5.59 ile 11.17 arasında değişim

göstermektedir. Kayaçlara ait  $K_2O/Na_2O$  oranı ise 0.29 ile 0.79 arasında olup örneklerin Magnezyum numaraları ( $Mg\#=100*(MgO/(MgO+Fe_2O_3^*))$ ) i 17.61 ile 31.10 arasında değişim sunmaktadır. Toplam alkali ( $Na_2O + K_2O$ ) silis ( $SiO_2$ ) diyagramında (TAS; Le Maitre vd., 1989) incelenen volkanik kayaçlar subalkalen karaktere sahip bazalt, bazaltik andezit ve andezit oldukları görülmektedir (Şekil 6a). Volkanik kayaçların analiz sonuçlarında gözlenen nispeten yüksek AK (Ateşte kayıp) değerleri, bu kayaçların alterasyondan etkilenmiş olabileceğini düşündürmektedir. Bu yüzden, çalışma konusu volkanik

kayaçların sınıflandırılmasında alterasyon esnasında daha az hareketli olan elementler kullanılarak oluşturulan Hastie vd. (2007) diyagramı kullanılmıştır. İnceleme konusu volkanik kayaçlar kalk-alkalen ve yüksek-K şoşonit ayırım çizgisine yakın alanlarda yer alarak bazalt, bazaltik andezit-andezit bir örneğin ise kalk-alkalen ve adayayı toleyiti ayırım çizgisi üzerinde dasit-riyolit alanında yer aldığı görülmektedir (Şekil 6b).  $SiO_2$ 'ye karşı  $K_2O$  diyagramı ile AFM diyagramında inceleme konusu volkanik kayaçların kalk-alkalen karaktere sahip oldukları görülmektedir (Şekil 6c, d).



**Şekil 6.** İncelenen Kampaniyen volkanitlerinin; (a)  $SiO_2$ 'ye karşı  $Na_2O+K_2O$  (TAS) diyagramı (Le Maitre vd., 1989). Alkali-Subalkali ayırım eğrisi Irvine ve Baragar (1971)'e göre, (b) Th (ppm)'a karşı Co (ppm) diyagramı (Hastie vd., 2007), (c)  $SiO_2$ 'ye karşı  $K_2O$  diyagramı (Peccerillo ve Taylor, 1976), (d) AFM diyagramı (Irvine ve Baragar, 1971).



**Tablo 1.** Kampanyen yaşlı volkanik kayalara ait klinopiroksen, opak mineral ve plajiyoklasların mikroprob analiz sonuçları

Klinopiroksen										Opak Mineral										Plajiyoklas									
Örnek	Kr 775	Kr 775	Kr 775	Kr 775	Kr 775	Kr 775	Kr 775	Kr 775	Kr 775	Örnek	Kr 775	Kr 775	Kr 775	Kr 775	Kr 775	Kr 775	Kr 775	Kr 775	Kr 775	Örnek	Kr 775	Kr 775	Kr 775	Kr 775	Kr 775	Kr 775	Kr 775		
Mineral	kpir-1	kpir-1	kpir-1	kpir-1	kpir-1	kpir-2	kpir-2	kpir-2	kpir-2	Mineral	Opak	Opak2	Opak2	Opak2	Opak2	Opak2	Opak2	Opak2	Opak2	Mineral	Pij1	Pij1	Pij1	Pij1	Pij1	Pij1	Pij1	Pij1	
SiO <sub>2</sub>	51.14	51.42	50.96	51.76	51.55	50.94	51.34	50.98	50.98	SiO <sub>2</sub>	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	SiO <sub>2</sub>	47.49	47.14	47.44	47.41	46.70	47.00	47.57		
TiO <sub>2</sub>	0.26	0.26	0.45	0.25	0.24	0.54	0.32	0.53	0.53	TiO <sub>2</sub>	10.55	11.59	11.59	11.59	11.59	11.59	11.59	11.59	11.59	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32.06	32.31	31.80	31.52	32.95	31.91	32.32		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.15	3.02	1.63	3.23	3.08	1.81	3.49	2.40	2.40	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.95	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	FeO	0.71	0.77	0.75	0.74	0.80	0.71	0.75		
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.24	0.19	0.04	0.21	0.27	0.00	0.04	0.01	0.01	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	CaO	16.73	16.75	16.67	16.20	17.17	17.40	16.44		
FeO	6.96	6.97	12.00	5.06	5.38	11.82	7.62	9.98	9.98	FeO	76.55	78.75	78.75	78.75	78.75	78.75	78.75	78.75	78.75	Na <sub>2</sub> O	2.11	2.01	2.12	2.19	1.82	1.81	2.11		
MnO	0.21	0.20	0.35	0.11	0.14	0.40	0.23	0.34	0.34	MnO	0.33	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	K <sub>2</sub> O	0.04	0.04	0.06	0.04	0.06	0.03	0.11		
MgO	16.22	16.08	14.16	16.37	16.42	13.93	15.80	14.84	14.84	MgO	0.24	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
CaO	20.85	20.96	18.73	22.50	21.89	19.35	20.35	19.62	19.62	CaO	0.06	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	Toplam	99.14	99.02	98.84	98.09	99.50	98.86	99.29		
Na <sub>2</sub> O	0.24	0.20	0.21	0.12	0.16	0.26	0.17	0.18	0.18	Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Toplam	8.82	8.77	8.84	8.89	8.66	8.77	8.82		
K <sub>2</sub> O	0.04	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Si	7.02	7.08	6.99	6.97	7.20	7.02	7.06		
Toplam	99.30	99.30	98.53	99.62	99.14	99.06	99.35	98.87	98.87	Toplam	24	24	24	24	24	24	24	24	24	Al	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.12		
Si	1.89	1.90	1.94	1.90	1.90	1.93	1.90	1.92	1.92	Si	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	Fe <sup>(III)</sup>	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.12		
Ti	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	Ti	2.50	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	Ca	3.33	3.34	3.33	3.25	3.41	3.48	3.26		
Al	0.14	0.13	0.07	0.14	0.13	0.08	0.15	0.11	0.11	Al	1.09	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	Na	0.76	0.72	0.77	0.79	0.65	0.66	0.76		
Cr	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	Cr	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	K	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03		
Fe <sup>(III)</sup>	0.21	0.22	0.38	0.16	0.17	0.37	0.24	0.31	0.31	Fe <sup>(III)</sup>	9.81	10.04	10.04	10.04	10.04	10.04	10.04	10.04	10.04	Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
Mn	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	Fe <sup>(II)</sup>	10.32	10.63	10.63	10.63	10.63	10.63	10.63	10.63	10.63	Toplam	20	20	20	20	20	20	20		
Mg	0.89	0.89	0.80	0.90	0.90	0.79	0.87	0.83	0.83	Mn	0.09	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	Toplam	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
Ca	0.83	0.83	0.76	0.88	0.86	0.78	0.81	0.79	0.79	Mg	0.11	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	Toplam	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
Na	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	Ca	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Toplam	20	20	20	20	20	20	20		
Toplam	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Toplam	24	24	24	24	24	24	24	24	24	Toplam	20	20	20	20	20	20	20		
Mg #	0.81	0.80	0.68	0.85	0.84	0.68	0.79	0.73	0.73	Mg #	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Toplam	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
Wo	43	43	39	46	45	40	42	41	41	Wo	10.55	11.59	11.59	11.59	11.59	11.59	11.59	11.59	11.59	An	81.20	81.98	80.99	80.20	83.63	84.00	80.67		
En	46	46	41	46	47	40	45	43	43	En	41.45	42.51	42.51	42.51	42.51	42.51	42.51	42.51	42.51	Ab	18.55	17.79	18.68	19.58	16.03	15.84	18.70		
Fs	11	11	20	8	9	20	13	17	17	Fs	39.25	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	Or	0.25	0.23	0.32	0.22	0.34	0.16	0.63		

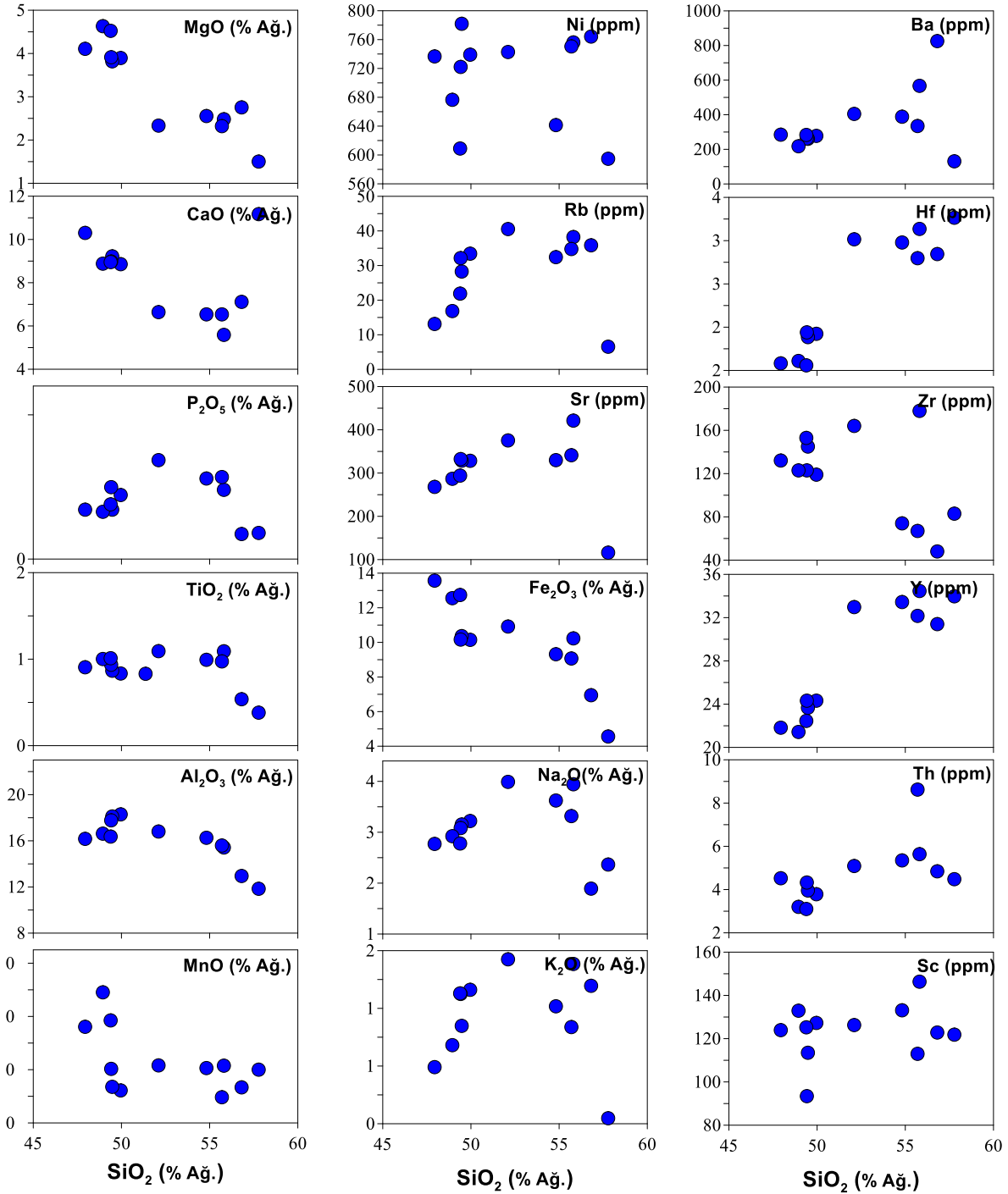
**Tablo 2.** Kampaniyen yaşlı volkanik kayaların ana (%) ve iz (ppm) ve nadir toprak element (ppm) analizleri.

Örnek No	Kr 775	Kr 777	Kr 791	Kr 778	Kr 779	Kr 780	Kr 783	Kr 784	Kr 785	Kr 786	Kr 788	Kr 789	Kr 790
SiO <sub>2</sub>	56.81	47.94	52.10	55.81	57.78	54.82	55.70	49.96	49.48	49.42	48.95	49.39	51.37
TiO <sub>2</sub>	0.54	0.91	1.09	1.09	0.38	0.99	0.97	0.83	0.87	0.93	1.00	1.01	0.83
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.95	16.17	16.80	15.42	11.84	16.26	15.59	18.30	18.11	17.77	16.62	16.37	17.59
Fe <sub>2</sub> O <sub>3*</sub>	6.95	13.57	10.92	10.23	4.56	9.32	9.07	10.14	10.36	10.16	12.55	12.74	9.17
MnO	0.15	0.19	0.16	0.16	0.16	0.16	0.14	0.14	0.15	0.16	0.22	0.20	0.15
MgO	2.75	4.11	2.33	2.48	1.50	2.55	2.32	3.90	3.82	3.91	4.63	4.52	4.14
CaO	7.11	10.30	6.64	5.59	11.17	6.53	6.54	8.85	9.22	8.98	8.88	8.96	8.56
Na <sub>2</sub> O	1.89	2.77	3.99	3.94	2.36	3.62	3.32	3.22	3.15	3.08	2.92	2.78	2.72
K <sub>2</sub> O	1.36	0.79	1.54	1.51	0.44	1.21	1.07	1.33	1.08	1.30	0.94	1.30	1.06
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.09	0.17	0.34	0.24	0.09	0.28	0.28	0.22	0.17	0.25	0.16	0.19	0.12
AK	8.83	2.87	3.94	3.36	9.64	4.16	4.89	3.00	3.47	3.93	2.99	2.44	4.10
<b>Toplam</b>	<b>99.42</b>	<b>99.79</b>	<b>99.87</b>	<b>99.83</b>	<b>99.93</b>	<b>99.91</b>	<b>99.88</b>	<b>99.90</b>	<b>99.87</b>	<b>99.89</b>	<b>99.87</b>	<b>99.89</b>	<b>99.81</b>
Zr	56.70	48.00	132.00	164.00	178.00	83.00	74.00	67.00	119.00	145.00	123.00	123.00	153.00
Y	20.40	31.40	21.82	32.97	34.46	33.97	33.44	32.16	24.32	23.67	24.32	21.42	22.44
Sr	281.10		267.98	375.37	421.09	115.96	329.69	341.35	328.35	328.53	332.37	286.90	294.10
U	0.70	1.07	0.62	1.31	1.33	1.06	1.24	1.51	0.99	1.12	0.95	0.58	0.65
Rb	20.90	35.85	13.10	40.52	38.24	6.54	32.41	34.76	33.42	28.27	32.14	16.83	21.87
Th	2.50	4.84	4.52	5.09	5.64	4.48	5.35	8.62	3.78	3.96	4.32	3.20	3.10
Ta	0.20												
Pb	3.20	83.83	57.02	38.31	45.88	33.17	65.05	90.04	36.47	32.39	38.66	72.31	38.34
Zn		172.65	264.56	178.87	179.58	126.46	198.73	225.09	149.48	161.05	145.37	300.10	192.29
Cu	33.60	80.63	92.87	71.57	54.41	49.56	89.85	38.03	38.33	44.87	28.25	123.68	145.31
Ni	22.00	764.20	736.70	742.83	756.08	594.68	641.41	750.55	739.04	781.98	722.03	676.50	608.98
Co	25.50	19.28	35.84	23.78	23.57	12.19	25.58	24.45	31.02	31.48	30.76	36.74	38.51
Ba	209.00	825.33	284.44	404.23	566.66	131.13	388.74	334.56	277.42	260.72	262.75	217.59	282.97
Nb	2.40												
Hf	1.50	3.08	2.07	3.21	3.31	3.41	3.18	3.04	2.34	2.31	2.35	2.09	2.05
W	0.50	48.00	132.0	164.0	178.0	83.0	74.0	67.00	119.0	145.0	123.0	123.0	153.0
La	8.60	12.56	8.34	16.49	16.94	15.34	16.50	16.43	11.91	11.68	11.79	8.03	8.35
Ce	19.60	26.00	18.73	34.97	37.04	29.38	36.35	36.03	25.46	24.81	25.39	18.06	18.87
Pr	2.53	3.67	2.61	4.81	4.98	4.23	4.85	4.96	3.49	3.47	3.39	2.61	2.67
Nd	11.10	13.15	10.08	17.29	18.08	15.51	16.50	17.53	12.45	11.97	11.81	9.67	9.46
Sm	2.73	3.64	2.83	4.34	4.82	4.07	4.62	4.56	3.21	3.21	3.32	2.75	2.72
Eu	0.92	1.24	1.06	1.49	1.71	1.07	1.55	1.57	1.21	1.17	1.16	1.08	1.06
Gd	3.11	4.30	3.42	5.30	5.95	4.77	5.33	5.42	3.80	4.02	4.07	3.49	3.42
Tb	0.58	0.94	0.68	0.99	1.14	0.95	0.99	1.09	0.75	0.73	0.81	0.65	0.69
Dy	3.34	4.57	3.47	5.00	5.47	4.98	5.16	5.48	3.72	3.90	3.86	3.55	3.72
Ho	0.74	1.26	0.89	1.35	1.37	1.35	1.33	1.30	0.94	0.90	0.93	0.87	0.86
Er	2.24	3.04	2.32	3.30	3.52	3.45	3.53	3.21	2.65	2.46	2.48	2.23	2.42
Tm	0.31	0.57	0.40	0.56	0.52	0.57	0.62	0.58	0.38	0.36	0.41	0.40	0.42
Yb	1.96	3.29	2.10	3.12	3.23	3.46	3.31	3.33	2.28	2.33	2.12	2.17	2.20
Lu	0.32	0.56	0.43	0.51	0.58	0.65	0.58	0.62	0.39	0.36	0.41	0.36	0.34
Mg#	31.10	28.40	23.24	17.61	19.50	24.79	21.51	20.37	27.75	26.93	27.81	26.94	26.21
(La/Lu) <sub>N</sub>	2.79	2.32	2.00	3.36	3.04	2.44	2.94	2.76	3.19	3.35	3.02	2.32	2.54
(Eu/Eu*) <sub>N</sub>	0.96	0.96	1.04	0.95	0.98	0.74	0.95	0.96	1.06	0.99	0.96	1.06	1.06
(Dy/Yb) <sub>N</sub>	1.11	0.90	1.08	1.04	1.10	0.94	1.01	1.07	1.06	1.09	1.18	1.06	1.10
Ce/Pb	6.13	0.31	0.33	0.91	0.81	0.89	0.56	0.40	0.70	0.77	0.66	0.25	0.49

Fe<sub>2</sub>O<sub>3\*</sub>: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> cinsinden toplam demir. A.K. ( Ateşten Kayıp): Toplam uçucu içeriği. Mg# = 100 X MgO / (MgO + Fe<sub>2</sub>O<sub>3\*</sub>)

$\text{SiO}_2$ 'ye karşı ana ve iz element değişim diyagramlarını Şekil 7'de yer almaktadır. Bu diyagramlarda artan  $\text{SiO}_2$ 'ye karşı ana oksitlerden  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  ve iz elementlerden  $\text{Ni}$ ,  $\text{Zr}$  ve  $\text{Sc}$  negatif ilişki gösterirken, yine iz elementlerden  $\text{Hf}$ ,  $\text{Y}$ ,  $\text{Ba}$  ve  $\text{Th}$  pozitif ilişkiler sergilemektedir.  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  ve  $\text{K}_2\text{O}$  gibi ana oksitler ve iz elementlerden  $\text{Rb}$  ve  $\text{Sr}$ 'da ise eğriler şeklinde

bir değişim gözlenmiştir. Bu diyagramlarda gözlenen negatif ya da pozitif düzenli değişimler çalışma konusu volkanitlerin gelişiminde fraksiyonel kristallenmenin etkinliğini ortaya koyarken eğriler şeklinde gözlenen değişimler bu kayaçların gelişiminde asimilasyonun da etkisini ifade etmektedir.



Şekil 7. İncelenen Kampaniyen volkanitlerinin  $\text{SiO}_2$ 'ye karşı ana oksit ve iz element değişim diyagramları.

İncelenen Kampaniyen yaşlı volkanik kayaların iz element içerikleri, ilksel mantoya (İM; Sun ve McDonough, 1989) göre oranlanarak elde edilen dağılım diyagramlarıyla (Şekil 8a) köken magma özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. İncelenen volkanitler, genel olarak büyük iyon yarıçaplı litofil element (BİLE; Sr, K<sub>2</sub>O, Rb ve Ba), Th ve Ce içerikleri bakımından zenginleşme, yüksek çekim alanlı elementlerden (YÇAE) olan Zr, TiO<sub>2</sub>, Y, Nb ve Ta içerikleri bakımından fakirleşme ile karakterize edilirler.

İncelenen volkanik kayaların kondrite (Taylor ve McLennan, 1985) normalize edilmiş nadir toprak element (NTE) dağılımları Şekil 8b'de görülmektedir. Hafif nadir toprak elementlerde (HNTE) zenginleşme yaklaşık 22-46 kat, ağır nadir toprak elementlerde (ANTE) zenginleşme ise 8-17 kat arasında değişmektedir. Bu kayaların La<sub>N</sub>/Lu<sub>N</sub> oranları 2-3.4 arasında değişim gösterir. İncelenen volkanitlerin kondrite normalize edilmiş NTE dağılımlarında bir örnek hariç (Eu<sub>N</sub>/Eu\* = 0.74) önemli bir Eu anomalisinin (Eu<sub>N</sub>/Eu\*) = 0.95-1.06 bulunmaması (Şekil 8b) plajiyoklas fraksiyonlaşmasının fazla etkili olmadığını vurgulamaktadır.

Zr-Yx3-Ti/100 tektonik ortam (Pearce ve Can, 1973) ve ana magma tipleri (Pearce, 1996) ayırtman diyagramında incelenen volkanitler kayalarının büyük bölümü B (adayayı toleyiti) ve C (kalk-alkalen bazalt) alanlarında yer almaktadır (Şekil 9a, b). Genel

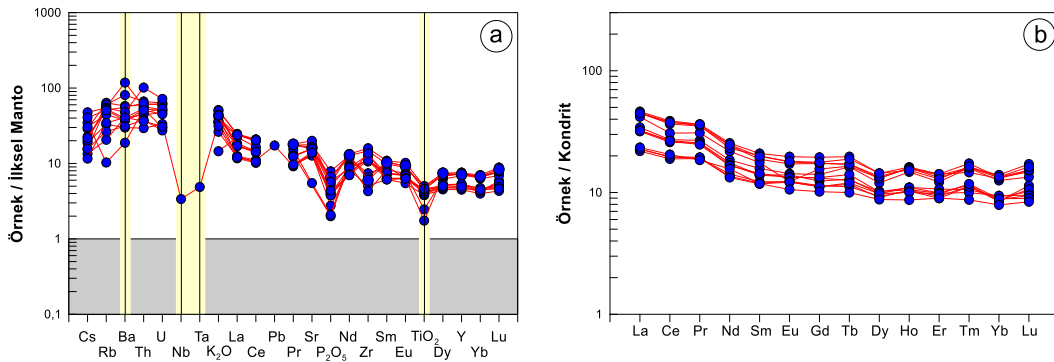
olarak incelenen volkanitlerin büyük bir bölümü çarpışma zonu (VAB/LİB) volkanitlerine ait alana düşmektedir. Ayrıca, volkanitlerin ana magma tiplerinde yitim izi etkisi açıkça görülmektedir.

## 8. Tartışmalar

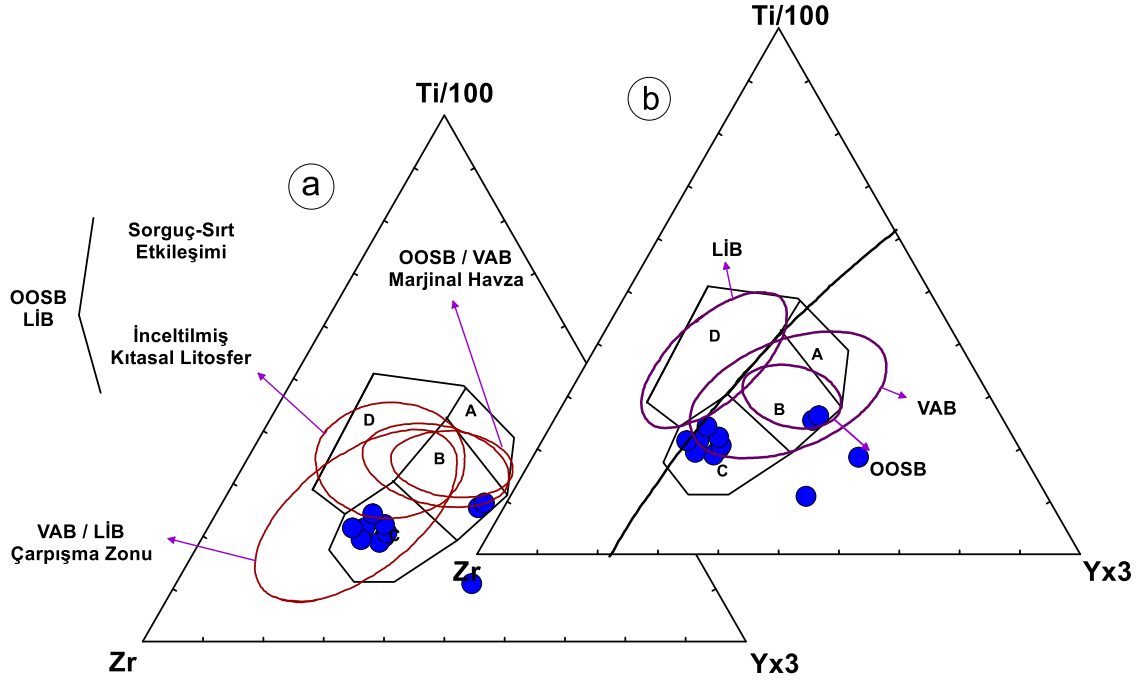
### 8.1. Ayrışma (Fraksiyonel Kristallenme, FC)

İnceleme konusu volkanitlerin SiO<sub>2</sub>'ye karşı ana, iz ve NTE değişim diyagramlarına bakıldığında gözlenen yönsemeler, petrografik olarak bu kayalar içerisinde mafik mineral fazı olarak yer alan olivin, klinopiroksen, plajiyoklas ve Fe-Ti oksit gibi diğer mineral fazlarının ayrışmasına işaret etmektedir.

Kampaniyen yaşlı volkanitlerin gelişiminde ayrışmanın rolünü ortaya koyabilmek için iz element çiftlerinden veya oranlarından yararlanılarak ayrışma yönlerini gösteren vektörler oluşturulmuştur. Teorik olarak oluşturulan Rayleigh ayrışma vektörleri oluşturulurken Keskin (2002) tarafından önerilen FC-Modelleme programından faydalanılmıştır. Modellemede kullanılan mineral ergiyik paylaşım katsayıları Rollinson (1993), Keskin (2002), McKenzie ve O'Nions (1991) ve <http://earthref.org/databases/> web adresindeki GERM sitesinden alınmıştır. Volkanitlerin gelişimi esnasında hangi minerallerin hangi oranlarda ayrışmaya uğradıkları ele alınmıştır.



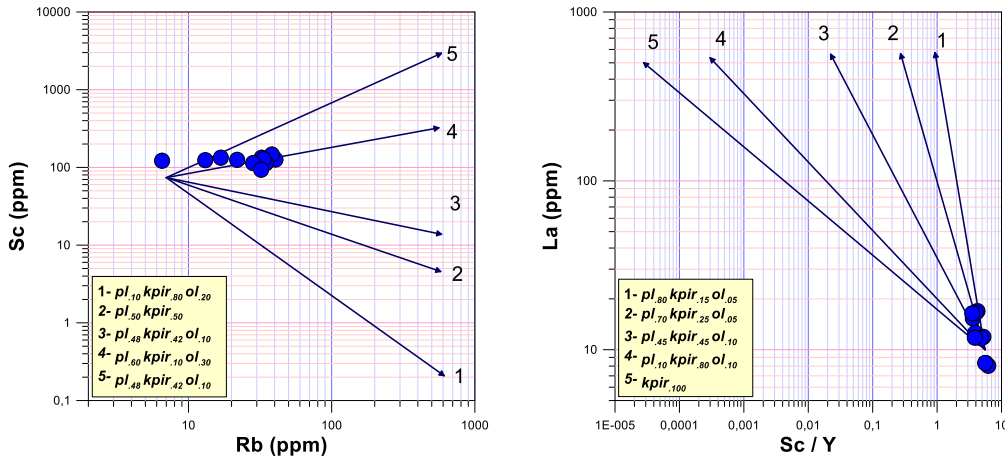
**Şekil 8.** İncelenen Kampaniyen volkanik kayalarının (a) İM'ye göre normalize edilmiş iz element dağılımları. İM değerleri, Sun ve McDonough (1989)'dan, (b) kondrite göre normalize edilmiş NTE diyagramları. Kondrit değerleri, Taylor ve McLennan (1985)'den alınmıştır.



**Şekil 9.** İncelenen volkanitlerin Zr-Yx3-Ti/100 tektonik ayırtma diyagramları (Pearce ve Cann, 1973). Üçgen diyagramlar üzerindeki elips alanlar Pearce (1996)'dan alınmıştır. (a) ana magma tiplerinin ve (b) geçişli magma tiplerinin görüldüğü diyagram. VAB: volkanik yay bazaltları, OOSB: okyanus ortası sırtı bazaltı, LIB: levha içi bazaltı.

Çizilen bu diyagramlarda hangi elementin hangi oranda ayrılmaya katıldığı Şekil 10a-b' de gösterilirken, ayrılaşma vektörlerinin değerleri ise Tablo 3' de verilmiştir. Buradan yola çıkarak çizilen Sc'ye karşı Rb ve La'ya karşı Sc/Y

diyagramlarında bazik volkanitlerin gelişiminde yaklaşık olarak %40-80 plajiyoklas, %15-42 klinopiroksen ve %10 olivin ayrılaşmasının etkili olduğu düşünülmektedir.



**Şekil 10.** İncelenen volkanik kayaçların gelişiminde etkili olan minerallerin ayrılaşma yönlerini ve oranlarını gösteren değişim diyagramları.



## 8.2. Asimilasyon-Fraksiyonel Kristallenme (AFC) ve Magma Karışımı

Asimilasyon -fraksiyonel kristallenme (AFC), herhangi bir magmanın soğuması esnasında, etkileşime geçtiği kayaçları asimile ederek ilksel bileşimini değiştirmesi ve bu esnada katılaşmakta olan minerallerin magmadan ayrılmasını konu almaktadır. Yani, magmanın soğuması sırasında hem ayrımlaşma hem de asimilasyon aynı anda etkindir. İncelenen Kampaniyen yaşlı volkanitlerin SiO<sub>2</sub>'ye karşı ana, iz ve NTE değişim diyagramlarına bakıldığında gözlenen eğriler volkanik kayaçların gelişiminde AFC'nin etkili olup olmadığı sorusunu akla getirmiştir.

İncelenen volkanitlerin iz element içeriklerinden ve/veya oranlarından yararlanarak, bu kayaçların gelişiminde etkisi olması muhtemel AFC, De Paolo (1981) tarafından önerilen formüller kullanılarak hesaplanmaya çalışılmıştır. İz element AFC modellemesinde, ilksel magma kaynağı olarak, Kampaniyen yaşlı bazik bileşimli

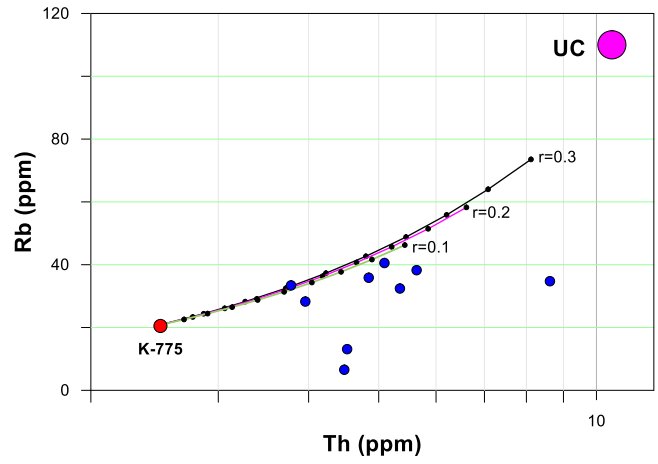
volkanitlerden en mafik bileşime sahip olan Kr-775 numaralı bazalt örneği, kabuk değeri için ise Taylor ve McLennan (1985) tarafından belirlenen Üst Kabuk bileşimi kullanılmıştır. AFC vektörlerinin değerleri Tablo 4'de verilmiştir. Çizilen Rb'a karşı Th diyagramında (Şekil 11), örnekler genellikle bir örnek hariç  $r=0.1$  eğrisi altında kalmaktadır. Buradan yola çıkarak inceleme konusu volkanitlerin gelişiminde AFC'nin önemli bir rol oynamadığı söylenebilir.

Kayaçlarda petrografik olarak gözlenen ve dengesiz kristallenmeyi ifade eden klinopiroksenlerde kemirilme, körfez yapıları, elek dokusu ve zonlanmalar, plajiyoklaslarda kemirilmeler, elek dokusu ve albit ikizli ve zonlanma gösteren kristallerin varlığı ve mineral kimyası analizleri sonucunda plajiyoklaslarda belirlenen normal, ters zonlanmalar ve ayrıca aynı kayaç içerisinde hem normal hem ters zonlanmanın görülmesi, incelenen volkanik kayaçların gelişiminde asimilasyondan ziyade magma karışımının etkisini işaret etmektedir.

**Tablo 3.** Kampaniyen yaşlı bazik volkanitlerin gelişiminde etkili olan minerallerin ayrımlaşma yönlerini belirlemek için hesaplanan C<sub>L</sub> (elementin ergiyikteki konsantrasyonu) değerleri. FC-Modelleme Programı'nda (Keskin, 2002) kullanılan dağılım katsayıları Keskin vd. (1998)'den alınmıştır.

Vektör No	Element veya element oranı	Element ve element oranlarına göre hesaplanan C <sub>L</sub> değerleri					
		F=%100	F=%80	F=%60	F=%40	F=%20	F=%1
Vektör 1	Rb	7.00	8.69	11.49	17.03	33.36	609.96
	Sc	74.00	55.68	38.59	23.01	9.51	0.21
Vektör 2	Rb	7.00	8.67	11.42	16.83	32.69	575.57
	Sc	74.00	64.67	54.35	42.55	27.99	4.58
Vektör 3	Rb	7.00	8.67	11.44	16.89	32.88	585.19
	Sc	74.00	68.21	61.42	52.97	41.14	13.79
Vektör 4	Rb	7.00	8.66	11.38	16.73	32.36	559.11
	Sc	74.00	79.47	87.13	99.19	123.79	322.58
Vektör 5	Rb	7.00	8.67	11.43	16.88	32.84	583.17
	Sc	74.00	88.46	111.36	154.02	268.17	2945.99
Vektör 1	Sc/Y	5.56	5.10	4.56	3.89	2.98	0.93
	La	10.00	12.17	15.67	22.39	41.19	574.12
Vektör 2	Sc/Y	5.56	4.80	3.98	3.05	1.94	0.27
	La	10.00	12.16	15.65	22.33	40.99	566.24
Vektör 3	Sc/Y	5.56	4.25	3.01	1.85	0.81	0.02
	La	10.00	12.15	15.63	22.28	40.86	561.05
Vektör 4	Sc/Y	5.56	3.45	1.87	0.79	0.18	0.00
	La	10.00	12.13	15.55	22.07	40.17	534.56
Vektör 5	Sc/Y	5.56	3.08	1.44	0.49	0.08	0.00
	La	10.00	12.09	15.44	21.79	39.28	501.19

**Şekil 11.** İncelenen volkanik kayaların AFC modellemesini gösteren Rb karşı Th diyagramı.



### 8.3. Kaynak Karakteristikleri

İncelenen volkanitlerin İlk Manto (İM)'ya göre normalize edilmiş iz element değişimlerinde gözlenen özellikle BİLE (Sr, K, Rb ve Ba), Th ve Ce içerikleri bakımından zenginleşme, yüksek çekim alanlı elementlerden (YÇAE) olan Zr, Ti, Y ve Nb, Ta içerikleri bakımından fakirleşmeyle özellikle yitim ile ilişkili ortamlarda oluşan volkanitlerin petrokimyasal özellikleriyle benzerlik sunduğunu söylenebilir (Pearce vd., 1990). Ayrıca, bunların yanı sıra inceleme konusu olan volkanik kayalarda gözlenen yüksek Th/Yb (1.28-2.59 ppm) oranları, volkanitlerin ana magmasının/magmalarının litosferik manto kaynağından türemiş

olabileceğini gösterir (Pearce ve Peate, 1995; Churikova vd., 2001; Elburg vd., 2002; McDermott vd., 2005; Zellmer vd., 2005). Kaynak alanda meydana gelen zenginleşme Ce/Pb sistematiğinden faydalanarak ortaya koyulabilir. Ce'ye kıyasla Pb yitim sırasında ortamda etkin olan akışkan fazında yeralma eğiliminde olup (örn. Miller vd., 1994; Chauvel vd., 1995) düşük Ce/Pb oranı yitim esnasında sedimanların etkisiyle meydana gelen metazomatizmayı işaret etmektedir (örn. Tatsumi, 2000; Kelemen vd., 2003). İnceleme konusu volkanitlerde gözlenen düşük Ce/Pb oranı (0.25-6.19) bu kayaların astenosferik manto kaynağından ziyade yitimin etkisiyle zenginleşmeye uğramış daha sıg bir manto kaynağı göstermektedir.

**Tablo 4.** Kampaniyen yaşlı volkanitlerin AFC modellemesinde hesaplanan  $C_L$  (elementin ergiyikteki konsantrasyonu) değerleri.

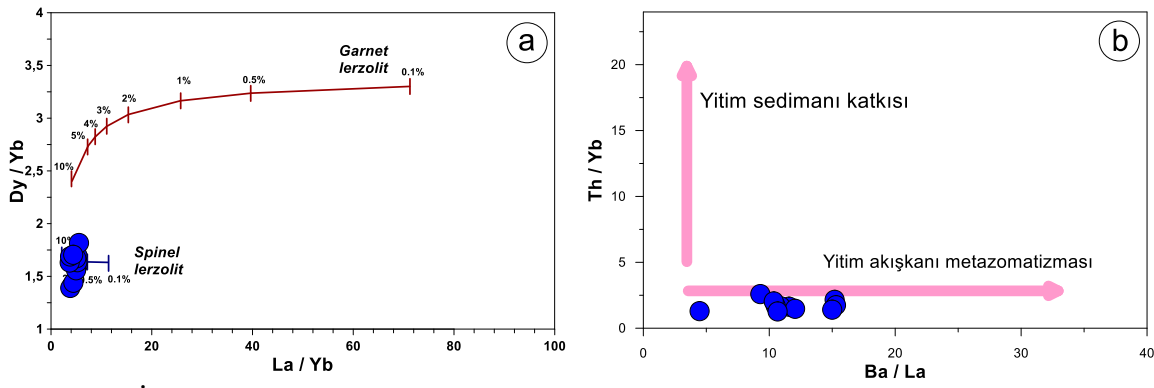
		$C_L$ (Elementin Ergiyikteki Konsantrasyonu) Değerleri									
		$F=1$	$F=0.9$	$F=0.8$	$F=0.7$	$F=0.6$	$F=0.5$	$F=0.4$	$F=0.3$	$F=0.2$	$F=0.1$
Rb	$r=0.1$	20.90	22.57	24.41	26.46	28.76	31.36	34.31	37.70	41.64	46.26
Th		2.50	2.69	2.90	3.14	3.40	3.70	4.04	4.43	4.89	5.43
Rb	$r=0.2$	20.90	23.36	26.08	29.11	32.50	36.32	40.67	45.66	51.44	58.24
Th		2.50	2.77	3.06	3.39	3.76	4.18	4.66	5.21	5.85	6.61
Rb	$r=0.3$	20.90	24.38	28.22	32.50	37.29	42.68	48.81	55.84	63.99	73.54
Th		2.50	2.86	3.27	3.72	4.23	4.80	5.45	6.21	7.08	8.12

$Dy_N/Yb_N$  oranının 1.06'nın üzerinde olan değerler granat lertzolitik bir ergiyiği karakterize ederken, 1.06'nın altında olduğu durumlar ise spinel lertzolitik kaynaktan türeyen ergiyikleri ifade etmektedir (Blundy vd., 1998). İncelenen volkanik kayaların  $Dy_N/Yb_N$  oranı 0.90 ile 1.11 arasında değişmekte olup spinel lertzolitik bir kaynağı

ifade etmektedir. Ayrıca, farklı manto kaynaklarına modal olmayan fraksiyonel kısmi ergime modeli uygulanarak elde edilen ergiyiklerin oluşturdukları yönsemeler  $Dy/Yb$  karşı  $La/Yb$  diyagramında açıkça görülmektedir. Bu manto kaynaklarına ait modal bileşimler ve ergime oranları ile hesaplamalarda kullanılan mineral/ergiyik

ayrılma katsayıları Tablo 5’de verilmiştir. Buna göre, incelenen volkanitlerin ana magmasının düşük derecede (yaklaşık %0.01-0.5) kısmi ergimeye uğramış, spinel içeren lertzolitik bir manto kaynağından türediği söylenebilir (Şekil 12a). LILE ve LREE elementler yitim esnasında yiten plakadan türeyen akışkanlar yoluyla hareketli hale gelerek yitim kamasına doğru yukarıya taşınırlar (Churikova vd., 2001; Elburg vd., 2002). Ba, Pb ve Sr elementlerindeki zenginleşme genellikle sulu akışkanlarla ilişkilendirilmekte olup, yiten plaka kısmi

ergiyiklerinin ise mantoda Nb, Th, La, Ce ve Nd elementleri bakımından zenginleşmeye neden olduğu ileri sürülmektedir (Kelemen vd., 2003; Castillo ve Newhall, 2004). İncelenen volkanitlerin, Ba/La karşı Th/Yb (Şekil 12b) diyagramına bakıldığında, volkanitlerin ana magmasında yitim akışkanı metazomatizmasının izi açıkça görülmektedir. Bu nedenle, İncelenen Kampaniyen yaşlı volkanitlerde gözlenen önemli LILE ve LREE zenginleşmeleri, zenginleşmiş manto kaynağına işaret eder (Rogers vd., 2000; Condie vd., 2002; Zhao vd., 2006).



Şekil 12. İncelenen volkanik kayaçların (a) Dy/Yb’ye karşı La/Yb diyagramı, (b) Ba/La karşı Th/Yb diyagramı.

Tablo 5. Modal olmayan fraksiyonel kısmi ergime modellemelerinde kullanılan değişik manto kaynakları, modal bileşimleri, ergime oranları ve mineral/ergiyik dağılım katsayıları.

Manto kaynakları	Modal Bileşimleri	Ergime Oranları		
Granat lertzolit	Ol <sub>0.5</sub> Opir <sub>0.3</sub> Kpir <sub>0.15</sub> Grt <sub>0.05</sub>	Ol <sub>0.05</sub> Opir <sub>0.2</sub> Kpir <sub>0.3</sub> Grt <sub>0.45</sub>		
Spinel lertzolit	Ol <sub>0.5</sub> Opir <sub>0.35</sub> Kpir <sub>0.1</sub> Spl <sub>0.05</sub>	Ol <sub>0.22</sub> Opir <sub>0.3</sub> Kpir <sub>0.38</sub> Spl <sub>0.01</sub>		
Dağılım katsayıları :	$D_{La}$	$D_{Dy}$	$D_{Yb}$	
Olivin	0.0028	0.007	0.0015	
Ortopiroksen	0.008	0.022	0.042	
Klinopiroksen	0.002	0.33	0.28	
Granat	0.0014	1.06	4.01	
Spinel	0.01	0.01	0.01	

\* Dağılım katsayıları Keskin (1994), Foley vd. (1996), Rollinson (1993), McKenzie ve O’Nions (1991) ve <http://earthref.org/databases/> web adresindeki GERM sitesinden alınmıştır.

\* Kaynak bileşimleri: İlksel manto NTE bileşimi Sun ve McDonough, 1989)

\* Ol: Olivin, Opir: Ortopiroksen, Kpir: Klinopiroksen, Grt: Granat, Spl: Spinel

## 9. Sonuçlar

$^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  yaşlandırma metodu volkanik kayalarında hamur ayrımlarında gerçekleştirilmiştir. Yapılan plato ve izokron hesaplamaları sonucunda bazaltik kayalarından Geç Kretase, Kampaniyen'e karşılık gelen  $82.61 \pm 0.34$  My plato yaşı ile  $82.63 \pm 0.75$  My izokron yaşı elde edilmiştir.

Kampaniyen yaşlı bazalt, bazaltik andezit ve andezitler genellikle intersertal, mikrolitik porfirik ve kümülofrik doku sergilemekte olup, başlıca klinopiroksen ( $\text{Wo}_{39-46}$   $\text{En}_{40-47}$   $\text{Fs}_{8-20}$ ), plajiyoklas ( $\text{An}_{80-84}$ ), olivin ve Fe-Ti oksit içerirler.

Klinopiroksenlerde kemirilme, körfez yapıları, elek dokusu ve zonlanmalar, plajiyoklaslarda gözlenen kemirilmeler, elek dokusu ve albit ikizli ve zonlanma gösteren kristallerin varlığı gibi dokusal özellikler gözlenir. Bunlarla beraber, mineral kimyası analizleri sonucunda plajiyoklaslarda gözlemlenen normal, ters zonlanmalar ve aynı kayaç içerisinde hem normal hem ters zonlanmanın görülmesi incelenen volkanik kayaların gelişiminde magma karışımının etkisini işaret etmektedir.

Ana oksit ve iz element değişim diyagramlarında gözlenen düzgün yönsemeler ve yapılan FC modellemeleri, incelenen volkanik kayaların gelişiminde etkin olan ana magmatik olayın fraksiyonel kristallenme olduğunu göstermektedir.

İncelen volkanitlerin İlksel Manto'ya normalize iz element dağılımları, yitim zonu zenginleşmesinin izlerini taşıyan büyük iyon yarıçaplı elementlerde (Sr,  $\text{K}_2\text{O}$ , Rb, Ba), Th ve Ce zenginleşme, Zr, Y, Nb, Ta ve  $\text{TiO}_2$  içeriklerinde fakirleşmeyi işaret etmektedir. Kondrite normalize NTE değişimlerinde düşük-orta derecede zenginleşmeyle ( $\text{La}_N/\text{Lu}_N=2-3.4$ ) genellikle birbirine paralel dağılım göstermeleri, volkanitlerin benzer kaynaktan itibaren oluştuğunu gösterir. İncelenen volkanitlerdeki BİLE bakımından zenginleşmeler, ana magmalarında kabuk kirlenmesi ve/veya magma karışımının varlığına işaret ederken, negatif Nb ve Ta

anomalileri ise yitim bileşenin katkısını ifade etmektedir.

Tüm bu veriler ışığında Kampaniyen yaşlı volkanitlerin yitim etkisiyle daha çok akışkanlar tarafından metazomatizmaya uğratılmış spinel lertzolitik bileşimdeki zenginleşmiş bir kaynaktan türeyerek daha sonra kabuk içerisinde fraksiyonel kristallenme ve daha az oranda magma karışımı gibi magmatik olayların etkisiyle geliştikleri söylenebilir.

## 10. Katkı Belirtme

$^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  yaşlandırma analizlerinin yapımı sırasındaki yardımlarından dolayı Dr. Gilles Ruffet'a, mikroprop analizleri sırasındaki yardımlarından dolayı Jean-Luc Devidal'e, arazi çalışmalarındaki yardımlarından dolayı tüm stajerlere ve değerli görüş ve katkılarından dolayı Prof. Dr. Mehmet Arslan, Doç. Dr. Emel Abdioğlu Yazar ve Doç. Dr. İrfan Temizel'e teşekkür ederim.

## 11. Kaynaklar

Ağar, Ü., 1977. Demirözü (Bayburt) Köse (Kelkit) Bölgesinin Jeolojisi, Doktora Tezi, İ.Ü. Fen Fakültesi, İstanbul.

Altherr, R., Topuz, G., Siebel, W., Şen, C., Meyer, H.P ve Satır, M., 2008. Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic characteristics of Paleocene plagioclites from the Eastern Pontides (NE Turkey), Lithos, 105, 149-161.

Arslan, M., Tüysüz, N., Korkmaz, S. ve Kurt, H., 1997. Geochemistry and Petrogenesis of the Eastern Pontide Volcanic Rocks, Northeast Turkey, Chemie der Erde, 57, 157-187.

Arslan, M. ve Aslan, Z., 2006. Mineralogy, petrography and whole-rock geochemistry of the Tertiary granitic intrusions in the Eastern Pontides, Turkey, Journal of Asian Earth Sciences, 27, 177-193.

- Arslan, M., Kadir, S., Abdioğlu, E. ve Kolaylı, H., 2006. Origin and formation of kaolinite in saprolite of the Tertiary alkaline volcanic rocks, Eastern Pontides, NE Turkey. Clay Minerals, 41, 599-619.
- Aslan, M., Temizel, İ., Abdioğlu, E., Kolaylı, H., Yücel, C., Boztuğ, D. ve Şen C., 2013. 40Ar 39Ar dating, whole-rock and Sr-Nd-Pb isotope geochemistry of post-collisional Eocene volcanic rocks in the southern part of the Eastern Pontides (NE Turkey): implications for magma evolution in extension-induced origin, Contributions to Mineralogy and Petrology, 166, 113-142.
- Aslan, Z., Arslan, M., Temizel, İ., Kaygusuz, A., 2014. K-Ar dating, whole-rock and Sr-Nd isotope geochemistry of calc-alkaline volcanic rocks around the Gümüşhane area: implications for post-collisional volcanism in the Eastern Pontides, Northeast Turkey, Mineralogy and Petrology, 107/4, DOI: 10.1007/s00710-013-0294-2.
- Asan, K., Kurt, H., Francis, D., Morgan, G., (2014) Petrogenesis of the late Cretaceous K-rich volcanic rocks from the Central Pontide orogenic belt, North Turkey. Island Arc doi: 10.1111/iar.12061.
- Aydin, F. (2014). Geochronology, geochemistry, and petrogenesis of the Mačka subvolcanic intrusions: Implications for the Late Cretaceous magmatic and geodynamic evolution of the eastern part of the Sakarya Zone, northeastern Turkey. International Geology Review, 56, 1246-1275.
- Aydin, F., Karanlı, O. ve Sadıklar, M.B. 2003. Mineralogy and chemistry of biotites from eastern Pontide granitoid rocks, NE Turkey: Some petrological implications for granitoid magmas, Chemie Der Erde-Geochemistry, 63, 163-182. doi:10.1078/0009-2819-00027.
- Aydin, F., Karanlı, O. ve Chen, B., 2008a. Petrogenesis of the Neogene alkaline volcanics with implications for post-collisional lithospheric thinning of the Eastern Pontides, NE Turkey, Lithos 104, 249-266.
- Aydınçakır, E., Kaygusuz, A., 2012. Geç Kretase Yaşlı Dağbaşı (Araklı, Trabzon) Volkanitlerinin Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri, KD Türkiye, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2(2), 123-142 .
- Aydınçakır, E., Ően, C., 2013. Petrogenesis of the post-collisional volcanic rocks from the Borčka (Artvin) area: implications for the evolution of the Eocene magmatism in the Eastern Pontides (NE Turkey), Lithos, 172-173, 98-117 .
- Aydınçakır, E., 2014. The Petrogenesis of Early Eocene Non-adakitic Volcanism in NE Turkey: Constraints on the Geodynamic Implications, Lithos, 208/209, 361-377 .
- Aydınçakır, E., 2016. Subduction-related Late Cretaceous high-K volcanism in the Central Pontides orogenic belt: constraints on geodynamic implications, Geodinamica Acta, 28(4), 379-411. DOI: 10.1080/09853111.2016.1208526.
- Bektaş O, Yılmaz C, Taslı K, Akdađ K, Özgür S (1995) Cretaceous rifting of the eastern Pontide carbonate platform (NE Turkey): the formation of carbonates breccias and turbidites as evidences of a drowned platform. Geologia, 57 (1-2):233-244.
- Blundy, JD., Robinson, JAC. ve Wood, BJ., 1998. Heavy REE are compatible in clinopyroxene on the spinel lherzolite solidus, Earth and Planetary Science Letters, 160, 493-504.
- Bozkurt E, Mittwede SK (2001) Introduction to the geology of Turkey-a synthesis, Intern Geol Rev, 43:578-594.



- Boztuğ, D., Erçin, Aİ., Kuruçelik, MK., Göç, D., Kömür, İ. ve İskenderoğlu, A. 2006. Geochemical characteristics of the composite Kaçkar batholith generated in a Neo-Tethyan convergence system, Eastern Pontides, Turkey. Journal of Asian Earth Science, 27, 286-302.
- Castillo, PR. ve Newhall, CG., 2004. Geochemical constraints on possible subduction components in lavas of Mayon and Taal volcanoes, southern Luzon, Philippines, Journal of Petrology, 45, 1089–1108.
- Chauvel C, Goldstein S L, Hofmann AW (1995) Hydration and dehydration of oceanic-crust controls Pb evolution in the mantle. Chem Geol, 126(1): 65-75.
- Churikova, T., 2001. Dorendorf, F. ve Worner, G., Sources and fluids in the mantle wedge below Kamchatka, Evidence from across-arc geochemical variation, Journal of Petrology, 42, 1567-1593.
- Condie, K.C., Frey, B.A. ve Kerrich, R., 2002. The 1.75-Ga Iron King Volcanics in westcentral Arizona: a remnant of an accreted oceanic plateau derived from a mantle plume with a deep depleted component, Lithos, 64, 49-62.
- Çoğulu, E., 1975. Gümüşhane ve Rize Bölgelerinde Petrografik ve Jeokronolojik Araştırmalar, İTÜ Kütüphanesi, 1034, İstanbul.
- Deer WA, Howie RA, Zussman J (1992) An Introduction to the rock forming minerals, 2nd edn. Longman, London, 696 pp.
- DePaolo, DJ., 1981. Trace element and isotopic effects of combined wall-rocks assimilation and fractional crystallization, Earth and Planetary Science Letters, 53, 189-202.
- Dokuz, A., 2011. A slab detachment and delamination model for the generation of Carboniferous high-potassium I-type magmatism in the Eastern Pontides, NE Turkey: the Köse composite pluton. Gondwana Research, 19, 926–944.
- Dokuz, A., Tanyolu, E., (2006). Geochemical constraints on the provenance, mineral sorting and subaerial weathering of lower Jurassic and upper Cretaceous clastic rocks from the Eastern Pontides, Yusufeli (Artvin), NE Turkey, Turkish Journal of Earth Sciences, 15, 181–209.
- Elburg, MA., Bergen, MV., Hoogewerff, J., Foden, J., Vroon, P., Zulkarnain, I. ve Nasution, A., 2002. Geochemical trends across an arc–continent collision zone: magma sources and slab–wedge transfer processes below the Pantar Strait volcanoes, Indonesia, Geochimica et Cosmochimica Acta, 66, 2771–2789.
- Eyüboğlu, Y., 2010. Late Cretaceous high-K volcanism in the Eastern Pontide Orogenic Belt, and its implications for the geodynamic evolution of NE Turkey. International Geology Review, 52 (2-3), 142-186.
- Güven İ'H (1993) Doğu Pontidler'in 1:25000 ölçekli jeolojisi ve kompilasyonu [1:25000 Scale Geology and Compilation of the Eastern Pontide]. General Directorate of Mineral Research and Exploration of Turkey (MTA), Ankara (unpublished).
- Hastie, T., Taylor, J., Tibshirani, R. ve Walther, G., 2007. Forward stagewise regression and the monotone lasso. Electron. J. Statist, 1, 1–29.
- Irvine, TN. ve Baragar, WRA., 1971. A guide to the chemical classification of common volcanic rocks, Canadian Journal of Earth Sciences, 8, 523-548.
- Keskin S, Pedoja K, Bektaş O (2011) Coastal Uplift along the Eastern Black Sea Coast: New Marine Terrace Data from Eastern Pontides, Trabzon (Turkey) and a Review. J Coastal Res, 27 (6):63 – 73.
- Kandemir, R., 2004. Sedimentary characteristics and depositional conditions of Lower-Middle Jurassic

- Şenköy Formation in the around of Gümü,shane [Ph.D. thesis]: Trabzon, Turkey, Karedeniz Technical University, unpublished, 274 p.
- Kandemir, R., Yılmaz, C., 2009. Lithostratigraphy, facies, and deposition environment of the lower Jurassic Ammonitico Rosso type sediments (ARTS) in the Gümü,shane area, NE Turkey: Implications for the opening of the northern branch of the Neo-Tethys Ocean, Journal of Asian Earth Sciences, 34, 586–598.
- Karlı, O., Aydın, F. ve Sadıklar, M.B. 2004. The morphology and chemistry of K-feldspar megacrysts from İkizdere Pluton: Evidence for acid and basic magma interactions in granitoid rocks, NE Turkey, Chemie Der Erde-Geochemistry, 64, 155-170. doi:10.1016/j.chemer.2003.02.001.
- Karlı, O., Uysal, İ., Ketenci, M., Dokuz, A., Aydın, F., Chen, B., Kandemir, R. ve Wijbrans, J., 2011. Adakite-like granitoid porphyries in Eastern Pontides, NE Turkey: potential parental melts and geodynamic implications, Lithos, 127, 354-372.
- Karlı, O., Dokuz, A., Uysal, İ., Ketenci, M., Chen, B. ve Kandemir, R., 2012. Deciphering the shoshonitic monzonites with I-type characteristic, the Sıdağı pluton, NE Turkey: magmatic response to continental lithospheric thinning, Journal of Aesian Earth Science, 51, 45-62.
- Kaygusuz, A. ve Aydınçakır, E., 2009. Mineralogy, Whole-Rock and Sr–Nd isotope geochemistry of mafic microgranular enclaves in Cretaceous Dağbaşı Granitoids, Eastern Pontides, NE Turkey: Evidence of magma mixing, mingling and chemical equilibration. Chemie der Erde, 69, 247-277.
- Kaygusuz A, Aydınçakır E (2011) U-Pb zircon SHRIMP ages, geochemical and Sr-Nd isotopic compositions of Cretaceous plutons in the eastern Pontides (NE Turkey): The Dağbaşı pluton. Neues Jahr Miner 188(3):211-233.
- Kaygusuz, A., Siebel, W., Şen, C. ve Satır, M., 2008. Petrochemistry and petrology of I-type granitoids in an arc setting: The composite Torul Pluton, Eastern Pontides, NE Turkey. International Journal of Earth Sciences, 97, 739-764.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel, W. ve Şen, C., 2011. Geochemical and Sr-Nd Isotopic Characteristics of Post-Collisional Calc-Alkaline Volcanics in the Eastern Pontides (NE Turkey), Turkish Journal of Earth Sciences, 20, 137–159.
- Kaygusuz A, Arslan M, Siebel W, Sipahi F, İlbeli N (2012) Geochronological evidence and tectonic significance of Carboniferous magmatism in the southwest Trabzon area, eastern Pontides, Turkey. Int Geol Rev, 54(15):1776–1800.
- Kaygusuz, A., Sipahi, F., İlbeli, N., Arslan, M., Chen, B., ve Aydınçakır, E., 2013. Petrogenesis of the Late Cretaceous Turnagöl intrusion in the Eastern Pontides: Implications for magma genesis in the arc setting. Geoscience Frontiers, 4; 423-438.
- Kaygusuz, A., ve Öztürk, M., 2015. Geochronology, geochemistry, and petrogenesis of the Eocene Bayburt intrusions, Eastern Pontide, NE Turkey: implications for lithospheric mantle and lower crustal sources in the high-K calc-alkaline magmatism. Journal of Asian Earth Sciences, 108, 97-116.
- Kelemen, PB., Hanghøj, K. ve Greene, AR., 2003. One view of the geochemistry of subduction-related magmatic arcs, with an emphasis on primitive andesite and lower crust. In: The Crust (ed. R.L., Rudnick) vol. 3. Treatise on Geochemistry (eds. H.D., Holland and K.K., Turekian). Elsevier-Pergamon, Oxford.

- Keskin, M., 2002. FC-Modeler: a Microsoft® Excel© spreadsheet program for modeling Rayleigh fractionation vectors in closed magmatic systems, Computers and Geosciences, 28, 8, 919-928.
- Korkmaz S, Tüysüz N, Er M, Musaoğlu A, Keskin İ (1995) Stratigraphy of Eastern Pontides, NE Turkey. In: Erler A et al (eds) Geology of black Sea Region. Proce. of the Inter. Symp. On the Geology of Black Sea Region, MTA, Ankara, pp 59–6.
- Le Maitre, R.W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre Le Bas, M.J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorensen, H., Streckeisen, A., Woolley, A.R. ve Zanettin, B., 1989. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms, Blackwell, Oxford.
- McDermott, F., Delfin, F.G., Defant, M.J., Turner, S. ve Maury, R., 2005. The petrogenesis of magmas from Mt. Bulusan and Mayon in the Bicol arc, the Philippines, Contributions to Mineralogy and Petrology, 150, 652-670.
- McKenzie, D. ve O’Nions, R.K., 1991. Partial melt distribution from inversion of rare earth element concentrations, Journal of Petrology, 32, 1021-1091.
- Miller DM, Goldstein SL, Langmuir CH (1994) Cerium/lead and lead isotope ratios in arc magmas and the enrichment of lead in the continents. Nature, 368: 514-520.
- Morimoto, N., Fabries, J., Ferguson, A.K., Ginzburg, IV., Ross, M., Seifert, FA., Zussman, J., Aoki, K. ve Gottardi, G., 1988. Nomenclature of pyroxenes. Mineral Mag, 52, 535–550.
- Okay, A.İ. ve Şahintürk, Ö., 1997. Geology of the Eastern Pontides. In: Robinson, A.G. (ed.), Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region, American Association of Petroleum Geologists Memoir, 68, 291-311.
- Okay, A.İ. ve Tüysüz, O., 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. Geological Society of London, Special Publications 156, 475–515.
- Özsayar T, Pelin S, Gedikoğlu A (1981) Doğu Pontidler’de Kretase. KTU Yer Bilimleri Dergisi, 1:65–114.
- 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.
- Pearce, J.A. and Cann, J.R., 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses, Earth and Planetary Science Letters, 19, 290-300.
- Pearce, J.A. ve Peate, D.W., 1995. Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas, Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 23, 251–285.
- Peccerillo, A. ve Taylor, S.R., 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey, Contributions to Mineralogy and Petrology, 58, 63–81.
- Renne PR, Swisher CC, Deino AL, Karner DB, Owens TL, DePaolo DL (1998) Intercalibration of standards, absolute ages and uncertainties in  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating. Chem Geol, 145:117–152.
- Robinson, A.G., Banks, C.J., Rutherford, M.M. ve Hirst, J.P.P., 1995. Stratigraphic and structural development of the Eastern Pontides, Turkey, Journal of the Geological Society of London, 152, 861-872.
- Rogers, N., Macdonald, R., Fitton, J. G., George, R., Smith, M. ve Barreiro, B. 2000. Two Mantle Plumes Beneath the East African Rift System: Sr, Nd and Pb Isotope Evidence from Kenya Rift Basalts. Earth and Planetary Science Letters, 176, 387-400.

- Rollinson, H.R., 1993. Using Geochemical Data: Evolution. Presentation. Interpretation, John Wiley Sons. Inc.
- Ruffet, G., Féraud, G., Ballèvre, M. ve Kiénast, J. R., 1995. Plateau ages and excess argon in phengites: an  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  laser probe study of Alpine micas (Sesia Zone, Western Alps, northern Italy). Chemical Geology (Isotopic Geoscience Section), 121, 327-343.
- Ruffet, G., Gruau, G., Ballèvre, M., Féraud, G. ve Philippot P., 1997. Rb-Sr and  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  laser probe dating of high-pressure phengites from the Sesia zone (western Alps): underscoring of excess argon and new age constraints on the high-pressure metamorphism. Chemical Geology, 141, 1-18.
- Sun, S. ve McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalt: Implications for mantle composition and processes, In: A.D. Saunders, M.J. Norry, (eds.), Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society of London Special Publication, 42, 313-345.
- Şen C, Arslan M, Van A (1998) Geochemical and petrological characteristics of the Pontide Eocene (?) alkaline province, NE Turkey. Turkish J Earth Sci, 7:231-239.
- Şen, C., 2007. Jurassic Volcanism in the Eastern Pontides: Is it Rift Related or Subduction Related?, Turkish Journal of Earth Sciences, 16, 523-539.
- Şengör, AMC. ve Yılmaz, Y. 1981. Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach, Tectonophysics, 75, 181-241.
- Taylor, S.R. ve McLennan, S.M., 1985. The Continental Crust, Its Composition and Evolution. Blackwell, Oxford.
- Temizel, İ., Arslan, M., Abdioğlu, E., Kaygusuz, A. Ve Aslan, Z., 2016a. Petrographical and whole-rock geochemical characteristics of Late Cretaceous aged syenitic intrusions in the Ordu area (NE Turkey). World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS) Abstract Collection Book, 5-9 September, Prague, Czech Republic, 160.
- Temizel, İ., Baki-Eraydın, T., Arslan, M., Abdioğlu, E., Kaygusuz, A. ve Aslan, Z., 2016b. Mineral chemistry and whole-rock geochemical characteristics of Late Cretaceous aged gabbroic pluton in the Giresun area (NE Turkey). World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS) Abstract Collection Book, 5-9 September, Prague, Czech Republic, 161.
- Temizel, İ., Arslan, M., Yücel, C., Abdioğlu, A., ve Ruffet, G., 2016c. Geochronology and geochemistry of Eocene-aged volcanic rocks around the Bafra (Samsun, N Turkey) area: constraints for the interaction of lithospheric mantle and crustal melts. Lithos, 258-259, 92-114.
- Topuz, G., Altherr, R., Schwarz, W.H., Dokuz, A. ve Meyer, H.P., 2007. Variscan amphibolite-facies rocks from the Kurtoğlu metamorphic complex. Gümüşhane area, Eastern Pontides, Turkey, International Journal of Earth Sciences, 96, 861-873.
- Topuz, G., Altherr, R., Siebel, W., Schwarz, W.H., Zack, T., Hasözbeke, A., Barth, M., Satır, M. ve Şen, C., 2010. Carboniferous high-potassium I-type granitoid magmatism in the Eastern Pontides: the Gu'mu's hane pluton (NE Turkey). Lithos 116, 92-110.
- Topuz, G., Okay, A.I., Altherr, R., Schwarz, W.H., Siebel, W., Zack, T., Satır, M. ve Şen, C., 2011. Post-collisional adakite-like magmatism in the Ağvanis Massif and implications for the evolution of the Eocene magmatism in the Eastern Pontides (NE Turkey), Lithos 125, 131-150.
- Temizel, İ., Arslan, M., Ruffet, G. ve Peucat, J.J., 2012. Petrochemistry, geochronology and Sr-Nd isotopic systematics of the Tertiary collisional

- and post-collisional volcanic rocks from the Ulubey (Ordu) area, eastern Pontide, NE Turkey: Implications for extension-related origin and mantle source characteristics, Lithos, 128, 126-147.
- Ustaömer, T. ve Robertson, H.F.A, 2010. Late Paleozoic-Early Cenozoic development of the Eastern Pontides (Artvin area), Turkey: stages of closure of Tethys along the southern margin of Eurasia, Spacial Publications, Geological Society London, 340, 281-327.
- URL-1, <http://earthref.org/databases>. Paylaşım katsayısı. 21 Mayıs 2013.
- Yılmaz Y (1972) Petrology and structure of the Gümüşhane granite and surrounding rocks, North-eastern Anatolia. PhD Thesis, University of London, 260p.
- Yılmaz, S. ve Boztuğ, D. 1996. Space and time relations of three plutonic phases in the Eastern Pontides, Turkey, International Geology Review, 38, 935-956.
- Yılmaz, A., Engin, T., Adamia S. ve Lazarashvili T. 1997. Geoscientific studies of the area along Turkish-Georgian Border, MTA, Ankara.
- Yücel, C., Arslan, M., Temizel, İ., ve Abdioğlu, E., 2014. Volcanic facies and mineral chemistry of Tertiary volcanics in the northern part of the Eastern Pontides, northeast Turkey: Implications for pre-eruptive crystallization conditions and magma chamber processes, Mineralogy and Petrology, 108, 439-467.
- Zellmer, G.F., Annen, C., Charlier, B.L.A., George, R.M.M., Turner, S.P. ve Hawkesworth, C.J. 2005. Magma evolution and ascent at volcanic arcs: constraining petrogenetic processes through rates and chronologies. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 140, 171-191.
- Zhao, D., Lei, J., Inoue, T., Yamada, A., Gao, ve S., 2006. Deep structure and origin of the Baikal rift zone. Earth and Planetary Science Letters, 243, 681-691.