

Kalıncam (Tonya-Trabzon, KD Türkiye) Yöresi Geç Kretase Yaşlı Volkanitlerin Jeokimyası ve Petrojenezi

Ferkan SİPAHİ*

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

Geliş tarihi/Received 23.09.2016

Düzeltilerek geliş tarihi/Received in revised form 23.03.2017

Kabul tarihi/Accepted 31.03.2017

Öz

Doğu Karadeniz Bölümü'nde, Kalıncam (Tonya, Trabzon) yöresi volkanitleri Geç Kretase yaşlı olup, tabanda bazalt, andezit ve piroklastitleri, bunları sırasıyla dasit, riyodasit ve piroklastitleri, andezit ve piroklastitleri ve tekrar dasit ve piroklastitleri izlemektedir. Taban bazalt ve andezitlerinde vesiküler, porfirik ve boşluklu doku; mineralojik olarak bazaltda plajiyoklas; andezitte ise plajiyoklas ve daha az olarak amfibol mineralleri bulunmaktadır. Dasit ve riyodasitik kayalar mikrogranü porfirik ve camlı porfirik dokuda olup, plajiyoklas, kuvars ve hornblend minerallerinden oluşmaktadır. Bunların üzerine gelen andezitler camlı-mikrolitik-porfirik dokuda ve plajiyoklas ile hornblendden ibaret bir bileşime sahiptirler. En üstte bulunan dasitik kayalar mikrogranü porfirik ve camlı porfirik dokuda; plajiyoklas, kuvars ve hornblend minerallerinden oluşmaktadır. İncelenen volkanitler kalk-alkali-geçiş? özelliğe sahip olup, yüksek büyük iyon yarıçaplı element (BİYE) ve düşük yüksek çekim alanlı element (YÇAE) içerikleri ve yüksek BİYE/YÇAE oranları ile yitim ilişkili kayaların jeokimyasal özelliğini yansıtmaktadır. Kondirite normalleştirilmiş nadir toprak element dağılımları ($La_N/Lu_N=3.11-13.10$) Kalıncam yöresi volkanitleri için benzer kaynağa işaret eden orta derece zenginleşme göstermektedir. $^{87}Sr/^{86}Sr_{(i)}$ değerleri 0.70727 ilâ 0.70779 arasında, $^{143}Nd/^{144}Nd_{(i)}$ değerleri ise 0.512318 ilâ 0.512656 arasında değişmektedir. İncelenen volkanik formasyonlardaki kayaların bazik-asidik karakterde olması hem yitimden etkilenmiş manto hem de kabuk kaynaklarının olası olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Bazalt, Dasit, Kalıncam, Petrografi, Sr-Nd izotopları, Volkanit

Geochemistry and Petrogenesis of Kalıncam (Tonya-Trabzon, NE Turkey) area Late Cretaceous aged Volcanic Rock

Abstract

Volcanics around the Kalıncam (Tonya, Trabzon) in eastern Black Sea Region of Turkey, is of Late Cretaceous age, basalts, andesites and pyroclastics occur at the base; over these comes dacite, rhyodacite and their pyroclastics, andesite and its pyroclastics with dacite and its pyroclastics, respectively. The vesicular, porphyritic and open space textures are observed in basalts and andesites and as mineralogical components plagioclase in basalt, on the other hand, plagioclase and lesser amount amphibole are seen in andesite. Dacite and rhyodacite rocks have microgranular porphyritic and glassy porphyritic textures, and they consist of quartz and hornblende. The andesites ion have glassy- microlitic- porphyritic texture and have a composition consisting of plagioclase and hornblende. The dacitic rocks located at the top exhibit microgranular porphyritic and glassy porphyritic textures, and mainly they consist of plagioclase,

* Ferkan SİPAHİ, ferkansipahi@gmail.com, Tel: (0456) 233 10 00-1711

quartz and hornblende. The investigated volcanics are of calc-alkaline-transitional? in character and have high large ion lithophile elements (LILE) and low High field strength elements (HFSE) content and high LILE/HFSE ratio, so they reflect the geochemical features of subduction related rocks. Chondrites normalized rare earth element patterns ($La_N/Lu_N=3.11-13.10$) show a moderate enrichment pointing similar source for volcanics around Kalınçam. $^{87}Sr/^{86}Sr$ values changes between 0.70727 and 0.70779; and $^{143}Nd/^{144}Nd$ values ranges from 0.512318 to 0.512656. The fact that the rocks in the studied volcanic formations are of a basic-acidic character indicate that both the mantle which is affected by the subduction and crustal resources are possible.

Keywords: Basalt, Dacite, Kalınçam, Petrography, Sr-Nd isotopes, Volcanics

1. Giriş

Kalınçam (Tonya, Trabzon) yöresi Geç Kretase volkanitleri, Türkiye'nin kuzeydoğusunda ve Alp-Himalaya Dağ kuşağı üzerinde olan Doğu Karadeniz Dağları'nın kuzey kesiminde yer almaktadır (Şekil 1). Volkanitler bimodal olup, bazalt, andezit, dasit ve bunların piroklastik ürünlerinden oluşmaktadır. Ayrıca Kalınçam Volkanitlerini içine alan Doğu Karadeniz Bölgesi volkanizma eşlikli masif sülfid (VMS) yatakları açısından son derece önemli bir bölgedir. Bu yataklar özellikle Geç Kretase (Senoniyen) yaşlı dasitik kayalar (Altun, 1972; Buser ve Cvetic, 1973; Nebioğlu, 1975; Sipahi, 2005; Abdioğlu vd., 2015; Sipahi ve Sadıklar, 2011; Karakaya vd., 2012; Akyürek ve Sipahi, 2014; Sipahi ve Sadıklar, 2014; Sipahi vd., 2014) içinde ve muhtemelen farklı stratigrafik seviyelerde yer almaktadır. Bölgedeki Geç Kretase yaşlı volkanitlerin gelişimi ile ilgili çalışmalar son derece sınırlı jeokimyasal özellikleri ile ele alınmış olup çok az sayıda çalışmada (Sipahi vd., 2014) izotop bileşimleri verilmiştir.

Çalışma alanında MTA ve JICA (1977), Pejatoviç (1979), Gülibrahimoğlu vd., (1984), Güven (1993) ve Özkan ve Yazıcı (2000) tarafından stratigrafik, petrografik ve sınırlı jeokimyasal (Cu, Pb, Zn gibi metal element analizleri) incelemeler yapılmış olup, mevcut volkanitlerin petrolojik ve kökensel özellikleri ortaya çıkarılmamıştır. Yapılan bu çalışmayla Kalınçam yöresinde Çatak, Kızılkaya, Çağlayan ve Çayırbağ formasyonlarındaki Geç Kretase yaşlı volkanitlerin petrografik, jeokimyasal ve izotopik özellikleri incelenerek bölgenin Geç Mesozoyik dönemi

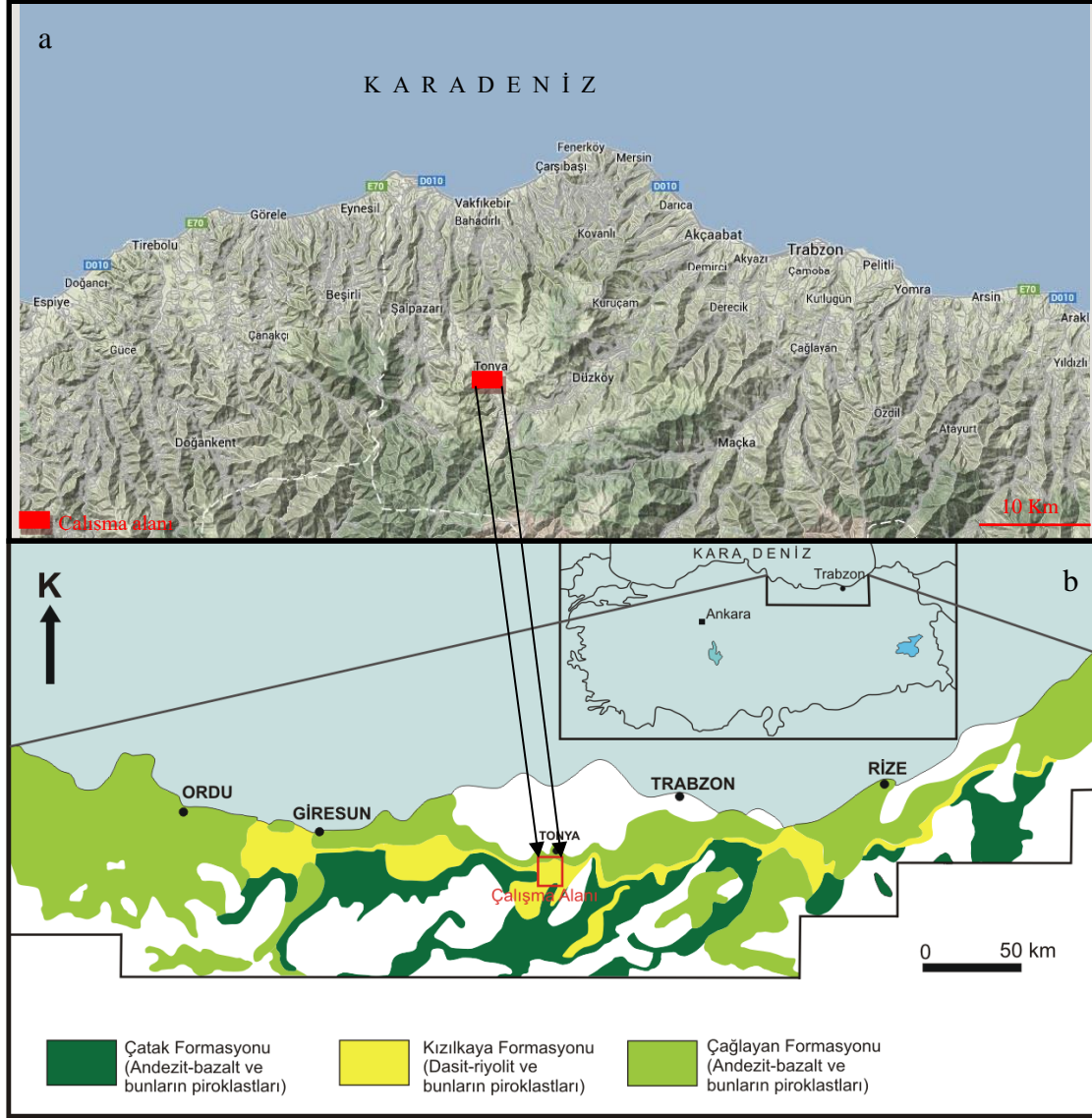
jeodinamik evrimine katkıda bulunulmaya çalışılmıştır.

2. Genel Jeoloji

Doğu Pontidler eski bir magmatik yay ortamını temsil etmektedir (Şengör ve Yılmaz, 1981, Okay ve Şahintürk, 1997). Bölge, Kaledoniyen, Hersiniyen ve Alpin orojenezinin etkisinde kalmış, dolayısıyla da yitim, yay ve yay gerisi oluşumu gibi birçok olay sonucunda şekillenmiştir (Şengör ve Yılmaz, 1981). Tokel (1977), Doğu Pontidler magmatik yayının güneyindeki ofiyolitik kayaları Paleotetis'e ait kalıntılar olarak düşünmüş ve Pontidler'in kapanmış kuzeye dalımlı bir yitim zonu yönünde geliştiğini belirtmiştir. Bektaş (1984)'a göre ise Doğu Pontidler güneye dalımlı bir yitim zonudur. Bektaş (1986), Doğu Pontidler magmatik yayını farklı magmatik, tektonik ve sedimentolojik evrim aşamalarına göre kuzeyden güneye doğru kuzey zon, güney zon ve eksen zonu olmak üzere üç alt zona ayırmıştır. Arslan vd. (1997)'ye göre bölgede üç ana volkanik devre ayırt edilmiş olup, ilk volkanizma erken Jura'da başlamış ve bazik volkanitleri oluşturmuştur. Bu bazik volkanitler toleyitik karakterlidir (Tokel, 1972; Schneider vd., 1988). Bu volkanizmayı takip eden volkanik evre Üst Kretase'de faaliyete geçmiş olup, asidik karakterlidir (Arslan vd., 1997; Sipahi, 2005; Sipahi ve Sadıklar, 2014; Sipahi vd., 2014). Volkanizmanın en şiddetli geçtiği dönem Üst Kretase'dir. Volkanizmanın son aşaması Eosen'de gerçekleşmiştir (Arslan vd., 1997; Temizel vd., 2012; Aydınçakır ve Şen, 2013; Aslan vd. 2014; Yücel vd., 2014; Aydınçakır,

2014; Akaryalı, 2016). Volkanik kayalara bazı alanlarda tortul kayalar eşlik etmektedir. Tüm birimler Geç Kretase'den Eosen'e kadar yaş aralığında değişen farklı bileşim ve özellikteki granitoidler tarafından

kesilmişlerdir (Çoğulu, 1975; Aslan, 2005; Arslan ve Aslan, 2006; Kaygusuz ve Aydınçakır, 2011; Sipahi, 2011; Kaygusuz vd., 2008, 2009, 2012a, 2013, 2014; Temizel vd., 2014).



Şekil 1. (a) Çalışma alanının yer bulduru haritası (<http://www.haritamap.com/ilce/tonya-trabzon>) ve **(b)** Doğu Pontidler'de Geç Kretase yaşlı volkanitlerin dağılımı (Güven, 1993'den sadeleştirilerek).

Doğu Pontidler'de temel kabul edilen Paleozoyik yaşlı kayalar, kristalen şistler ve granitlerden oluşmaktadır. Güney Zonu'nda büyük plütonik kütleler halinde Gümüşhane yöresinde ve Gümüşhane-Köse arasında (Zankı, 1961, 1962; Tokel, 1972; Çoğulu, 1975; Yılmaz, 1976; Açar, 1977; Gedikoğlu, 1978) egemen olan bu kayalar, Kuzey Zonu'nda Schultz-Wetsrum (1961)'e göre küçük mostralalar halinde Giresun güneyinde

metamorfik kayalarla birlikte, Kaygusuz vd. (2012b ve 2012c) tarafından ise Paleozoyik yaşlı granitlerin varlığı Tonya güneyi, Maçka güneyi ve Özdil yöresinde ortaya çıkarılmıştır. Bu taban kayaları Erken-Orta Jura yaşlı volkano-tortul kayalar tarafından aşınma uyumsuzluğu ile üzerlenirler.

Kuzey Zonu'nda Lıyas'ta başlayan ve Erken Kretase sonuna kadar devam eden bazalt,

andezit ve onların piroklastitlerinden oluşan seri “Alt Bazik Volkanik Seri” olarak adlandırılmıştır (Gedikoğlu, 1978; Van, 1990). Kuzey Zonu’nun hemen her kesiminde çoğunlukla merccekler şeklinde görülen ve Berdiga Formasyonu olarak adlandırılan gri renkli kireçtaşları ise Dogger-Malm-Alt Kretase yaşlarını vermektedir (Gedikoğlu, 1978; Bulut, 1989). Alt Kretase yaşlı kayaçlar üzerine uyumsuz olarak gelen Geç Kretase yaşlı birimler tabandan itibaren bazalt, andezit ve içerdikleri ekonomik cevherleşmeler nedeniyle cevherli dasit olarak adlandırılan dasitik tüflerle başlar ve bu seri üzerine uyumlu olarak kırmızı biyomikritler ve hiçbir ekonomik cevherleşme içermeyen mor dasitler uyumlu olarak gelir (Sipahi vd., 2014). Kuzey Zonu’nda Zigana civarında Dasit-I ve Dasit-II olarak Sipahi (2005) ve Sipahi ve Sadıklar (2014) tarafından adlandırılan bu dasitler bimodal karakterde ve volkanik yay ortamlarında gelişmişlerdir. Ayrıca bu Dasit-I ve Dasit-II’deki illitlerde yapılan K-Ar radyometrik yaşlandırmalarda sırasıyla 78.7 ± 2.3 ve 75.3 ± 2.4 My (Kampaniyen–Daniyen) yaşlar belirlenmiştir (Sipahi, 2005).

Geç Kretase-Paleosen geçişi Doğu Pontidler’de yer yer gözlenmekte; Şarman (1975), Tirebolu’nun güneydoğusunda Geç Kretase kireçtaşlarının devamı olarak Paleosen yaşlı birimleri ve Özsayar vd. (1981) ise Hopa-Cankurtaran yöresinde Geç Kretase’den Eosen’e kesintisiz volkano-tortul seri geçişini belirlemiştir. Eosen, genellikle Kretase ve Paleosen yaşlı birimler üzerine taban konglomerası ile gelmekte ve bunları bazalt-andezit ve piroklastitleri ile türbidit çökellerinden oluşan seriler üstlemektedir (Saydam Eker, 2012). Gedikoğlu (1970), Çambaşı ve Gököy yörelerinde Eosen’in taban konglomerası ile başladığını belirtmiştir.

Oligosen, Trabzon, Ünye ve Fatsa yörelerindeki sahil kesimlerinde (Schultz-Westrum, 1961; Özsayar, 1971), Neojene ait volkanitler Trabzon-Çağlayan ile Trabzon-Yomra arasında (Aydın vd., 2008; Yücel vd., 2014) ve tortullar ise Trabzon-Akçaabat ile Rize-Pazar sahillerine yakın yerlerde

mevcuttur (Yalçınlar, 1952; Özsayar, 1971). Kuvaterner yaşlı oluşuklar traverten ve alüvyonlardan oluşmaktadır.

3. Analitik Yöntem

Çalışma alanından alınan 52 adet kayaç örneklerinden mineralojik ve petrografik tayinlerin yapılabilmesi için 35 adet ince kesit Gümüşhane Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, incekesit laboratuvarında hazırlanmış ve ince kesitler Gümüşhane Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Araştırma Mikroskobu Laboratuvarı’ndaki polarizan mikroskopta dokusal ve mineralojik açıdan incelenmiştir. Petrografik incelemeler sonucu seçilen 17 örneğin ana, iz ve nadir toprak element (NTE) analizleri ACME (Vancouver, Kanada) analitik laboratuvarında yaptırılmıştır. Ana ve iz element içerikleri, 0.2 gr toz kayaç örneğinin 1.5 gr LiBO_2 ile çözdürülmesi ve daha sonra 100 ml %5 HNO_3 ’de çözülmesinden sonra ICP-MS ile ölçülmüştür. NTE içerikleri 0.25 gr toz kayaç örneğinin dört farklı asit içerisinde çözdürülmesinden sonra ICP-AES ile analiz edilmiştir. Ateşte kayıp (A.K.) için örnekler 1000°C ’de yakıldıktan sonra ağırlık farkından hesaplanmıştır. Toplam Fe içeriği, Fe_2O_3 cinsinden ifade edilmiştir. Dedeksiyon limitleri, ana oksitler için % ağırlık olarak 0.002 - 0.04, iz elementler için 0.1 - 8 ppm ve NTE için 0.01 - 0.3 ppm arasında değişmektedir.

Sr ve Nd izotop analizleri için seçilen 3 adet kayaç örneği bir VG Sektör 30 kütle spektrometre TIMS aletinde analiz edilmek üzere Thermal Ionization Mass Spectrometry Laboratuvarı (Amerika)’na gönderilmiştir. Sr ve Nd izotop analizi yapılan bütün örnekler, ya Katot taneler (tek filaman için) ya da bir üçlü filament düzeneğinin kenar filamanı üzerine, renyum filaman üzerine yüklenmiştir. Stronsiyum (Sr) numuneleri % 5 nitrik asit içinde eritilmiş ve TaO_2 çözeltisinden 3 damla ve % 5 fosforik asitten 1 damla ile katot taneleri üzerine yüklenmiştir. Rubidyum (Rb) numuneleri % 5 nitrik asit içinde eritilmiş ve katot taneleri üzerine doğrudan yüklenmiştir. Hem Sr hem de Rb numuneleri bir VG Sektör 30 üzerinde analiz edilmiştir. Rb örnekler

minimum bir 5 x 10 (-12) amperde Rb'un kütlesi ya 85 ya da 87'nin yoğunluğu ile çalıştırılmıştır. Çoğu örnekler 1 veya 3x10 (-11) amper'de bu piklerden birinin yoğunlukları ile çalıştırılmıştır. Sonuçların bazılarının tutarsızlıkları, 1x10 (-11) amperin minimum bir yoğunluğu kullanılarak tutarsızlık minimuma indirilmiştir. Tüm Sr numuneleri bir VG Sektör 30 kütle spektrometresi kullanılarak analiz edilmiştir. Sr numunelerinin yoğunluğu 3x10 (-11) amperde minimum bir yoğunlukta Sr kütlesi 88 ile analiz edilmiştir. Neodimyum (Nd) ve samaryum (Sm) örnekleri bir üçlü filament düzeneğinin yalnızca tek bir kenarı üzerine örnek ile üçlü filamanlar kullanılarak analiz edilmiştir. Örnekler % 5 HNO₃ kullanılarak yüklenmiştir. Nd ve Sm örnekleri birbirine kalibre edilmiş beş toplayıcı kullanılarak analiz edilmiştir. Numuneler, 5x10 (-12) amperde aynı zamanda Sm kütle 149 ve 5 x 10 (-12) amperin bir minimumunda Nd kütle 144 ile analiz edilmiştir. Numuneler, aynı zamanda, bir VG Sektör 30 üzerinde çalışılmıştır. ⁸⁷Rb/⁸⁶Sr ve ¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd'un tekrarlanabilirliği % 0.3 içinde ve ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr ve ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd oranları sırasıyla ±0.000025 ve ±0.00003 içindedir. NBS987 standart analizler, 0.710219 (10), 0.710213 (13), 0.710226 (11), 0.710260 (11) değerlerini vermiştir.

4. Bulgular

4.1. Stratigrafi ve Petrografi

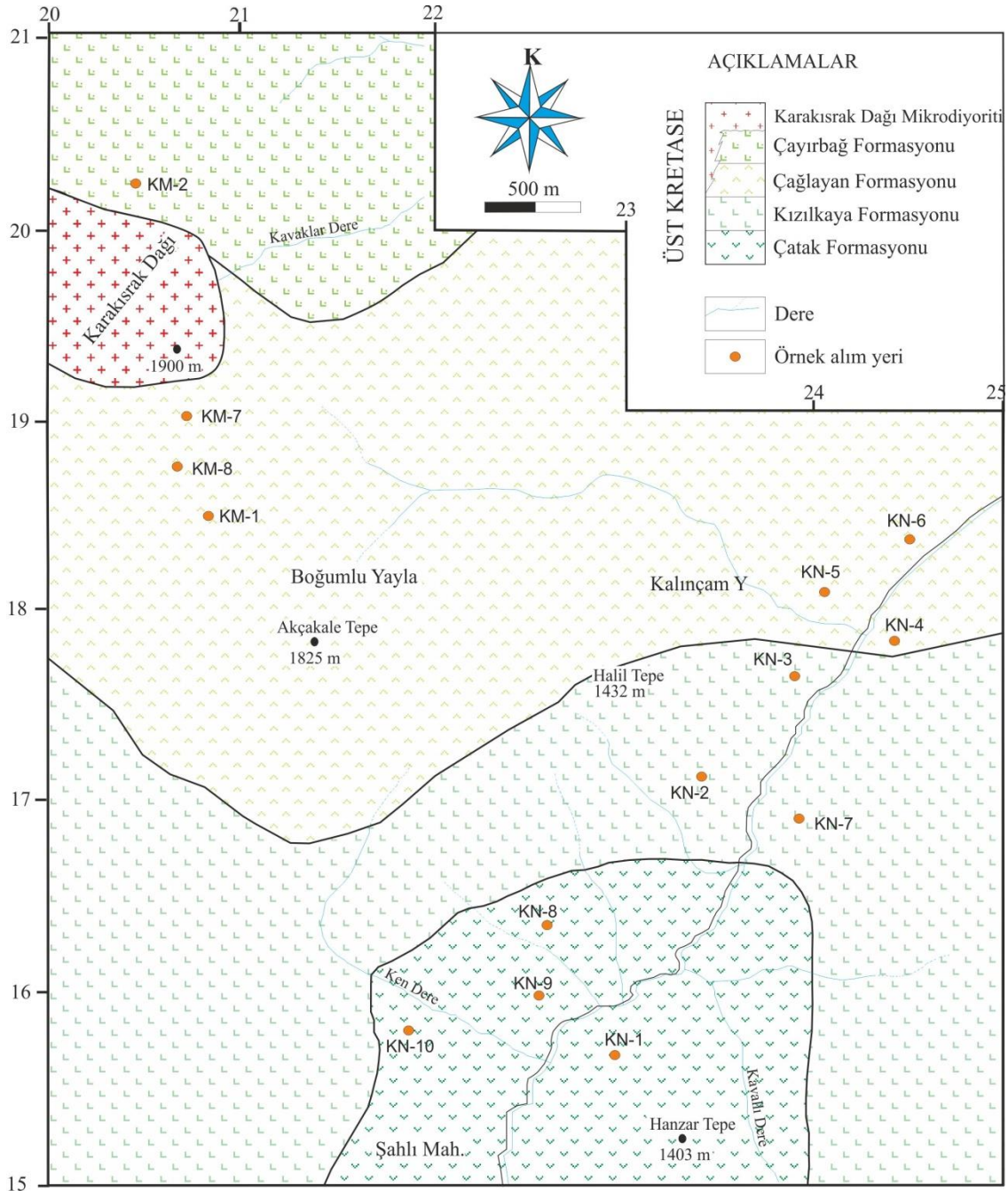
İnceleme alanındaki birimlerin yoğunluğu volkanik karakterli olup, Geç Kretase yaşlıdır (Şekil 2). Çalışma alanının tabanını Çatak Formasyonu (Güven, 1993) olarak adlandırılan bazalt, andezit ve bunların piroklastitleri, bunun üzerine Kızılkaya Formasyonu (Güven, 1993) olarak adlandırılan dasit, riyolit ve bunların piroklastitleri ve bunların da üzerine bazalt, andezit ve piroklastitlerinden oluşan Çağlayan Formasyonu (Güven, 1993) gelmektedir. Çağlayan Formasyonu (Güven, 1993) üzerinde riyolit, riyodasit ve piroklastitlerinden oluşan Çayırbağ Formasyonu (Güven, 1993) bulunmaktadır. Bu birimleri Geç Kretase yaşlı intrüzif

kesmiştir (Güven, 1993). Tabanda bulunan bazalt, andezit ve piroklastitleri arazide koyu gri, yeşil, siyahımsı ve kahverengimsi renklerde görülmekte (Şekil 3a), genel olarak kırıklı ve ayrılmıştır. Bunların üzerine gelen dasitler yer yer kolonsu yapı göstermekte olup, yoğunlukla aglomera ve tüflerden oluşmaktadır (Şekil 3b). Dasitlerde genelde beyaz, beyazımsı sarı, grimsi, açık pembemsi, yeşilimsi beyaz ve açık yeşil yüzey renklerine sahip olup, pirit içeriğinin fazla olduğu yerlerde sarımsı ve kahverengimsi sarı bir görünüm sunmaktadırlar. Dasitler, genel olarak kırıklı olup, silisleşme, serizitleşme, limonitleşme, kloritleşme ve piritleşme şeklinde alterasyona uğramışlardır. Dasit ve piroklastitleri üzerine gelen bazalt ve andezitler arazide koyu gri, yeşil, siyahımsı ve kahverengimsi renklerde (Şekil 3c), yer yer boşluklu olup, boşluklar klorit-kalsit mineralleri ile dolguludur. Bu birimin üzerine uyumlu olarak gelen riyolit, riyodasit ve piroklastitleri genelde beyazımsı gri yüzey renklerine sahip olup (Şekil 3d), genelde kırıklıdır ve silisleşme, karbonatlaşma ve serizitleşme şeklinde ayrışma göstermektedirler.

Tabandaki Çatak Formasyonu'na ait bazaltta vesiküler doku (Şekil 4a) ve andezitte ise porfirik ve boşluklu doku (Şekil 4b) gözlenmekte olup, bazaltta mineralojik bileşen olarak yoğunlukla plajiyoklas mineralleri, andezitte plajiyoklas ve daha az olarak amfibol mineralleri görülmektedir. *Bazalt*; plajiyoklaslar iri ve küçük kristaller halinde öz ve yarı öz şekilde bulunmakta olup, albit ikizi göstermektedir. Plajiyoklasların türü % 51 An içeren labrador olarak tespit edilmiştir. Plajiyoklasların bazılarında zonlanma vardır. Plajiyoklasların bir kısmı tamamen serizitleşmiş ve karbonatlaşmıştır. Kesitin yaklaşık % 90'ı plajiyoklas minerallerinden oluşmaktadır. Ayrıca ovalimsi şekillerde boşluklar bulunmaktadır. Boşlukların kenar kısımlarında ikincil kuvarslar (silis) ve içinde hematitler vardır. Hamurda ikincil kuvars, kalsit ve opak mineraller plajiyoklas minerallerine eşlik etmektedir. Opak mineraller yer yer kümeler halinde görülmektedir. *Andezit*; plajiyoklaslar öz ve yarı öz şekilli iri ve küçük kristaller

halinde bulunur. İncelenen kesitte bolluk oranı yaklaşık % 60-70 arasındadır. Plajiyoklaslar albit ikizi göstermektedir. Plajiyoklaslar andezin bileşiminde olup anortit içerikleri An_{36} (010'a dik kesitlerde)'dür. İri kristaller albit ikizlenmesi gösterir. Kalsit ve serizit en yaygın bozuşma ürünlerini oluşturur Plajiyoklasların

bazılarında zonlanma vardır. Amfiboller genelde Çoğunlukla kalsit ve opak minerallere dönüşmüşlerdir. Amfibolün kenarları boyunca opasitleşme gelişmiştir. Kayaç içerisinde en fazla % 10-15 oranındadır. Ayrıca hamurda ikincil kuvars, serizit, kalsit ve opak mineraller plajiyoklas ve amfibol minerallerine eşlik etmektedir.



Şekil 2. Kalınçam ve çevresinin jeoloji haritası (Sipahi vd., 2014).



Şekil 3. Çalışma alanındaki Kalınçam yöresindeki volkanitlerinin arazideki görünüşleri. (a) Tabanda, Çatak Formasyonu'ndaki bazalt-andezit, (b) Kızılkaya Formasyonu'ndaki dasitik tüfler, (c) Dasitlerin üzerine gelen Çağlayan Formasyonu'ndaki andezit ve (d) En üstte çayırbağ Formasyonu'ndaki riyodasitler.

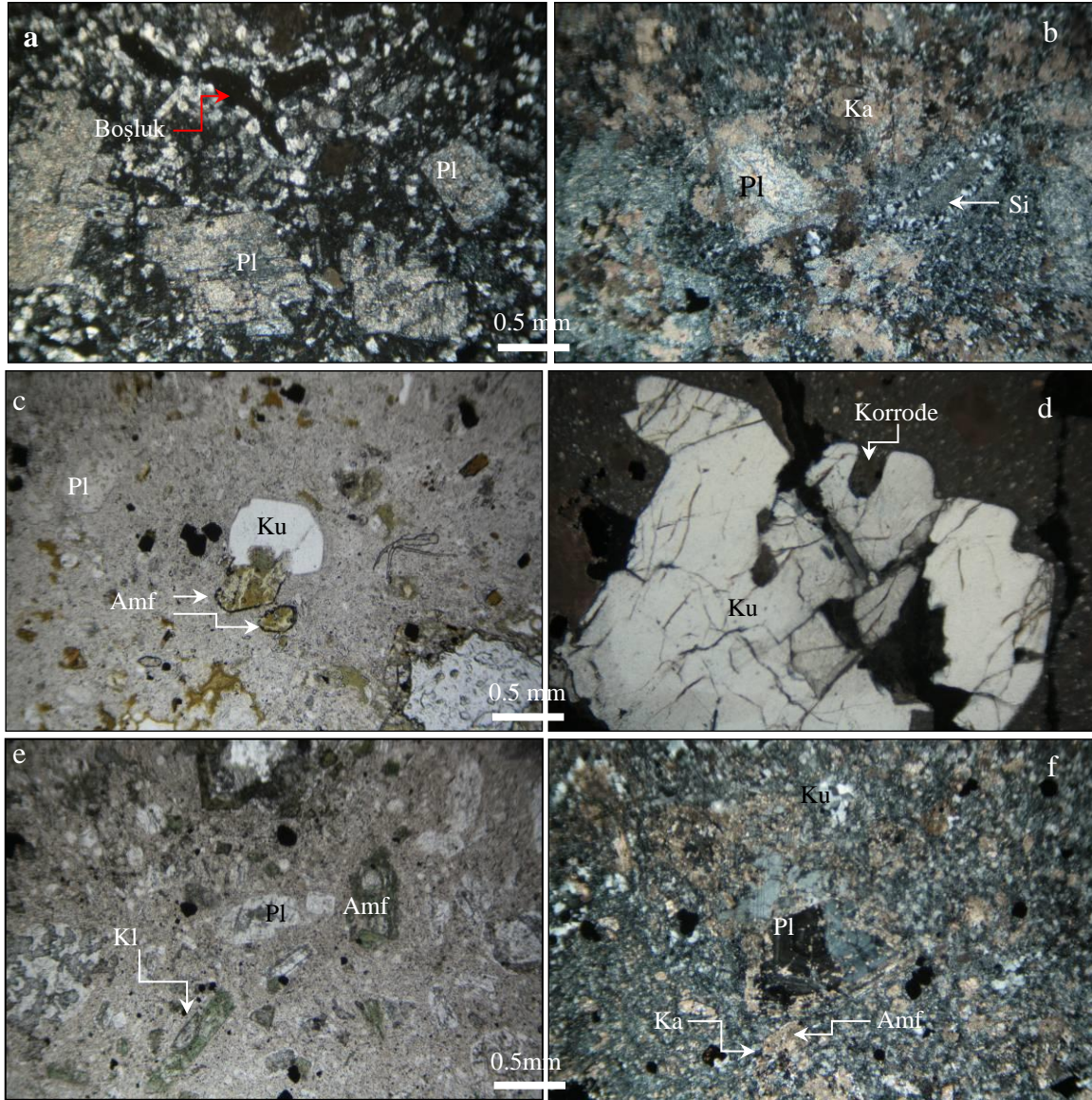
Kızılkaya Formasyonu'ndaki dasitik kayalar mikrogranü porfirik ve camsı porfirik dokuda (Şekil 4c) olup, başlıca plajiyoklas, kuvars ve hornblendden oluşmaktadır. Plajiyoklas mineralleri iri ve ince taneli olup, serizitlemişlerdir. Öz ve yarıöz şekilli plajiyoklaslar kayacın yaklaşık % 50-60'sini oluştururlar. Albit ikizi gösteren 010° 'a dik kesitlerde yapılan cins tayinlerine göre oligoklas (An_{26-28}) bileşimindedir. Kuvars mineralleri iri ve küçük kristalli olup, bazıları korrode olmuştur (Şekil 4d). Kuvarslar yarı özşekilli ve özşekilsizdirler. Kayacın yaklaşık % 30-40'ını oluştururlar. Kuvarsların bazıları kırıklıdır. Ayrıca kayacın kırık ve çatlaklarında ve hamurda ikincil kuvarslar görülmektedir. Kayaçta yaklaşık % 5- 10 arasında olan amfiboller iri ve küçük kristalli olup, öz ve yarı öz şekilli ve bazılarının kenarları opasitlemiş, bazıları ise

kloritleşmiştir. Opak mineraller (yaklaşık % 1-2) yarı özşekilli ve özşekilsiz olup saçınım halinde bulunmaktadır.

Kızılkaya Formasyonu üzerine gelen *Çağlayan Formasyonu'ndaki bazalt ve andezitler* camsı-mikrolitik-porfirik doku (Şekil 4e) olup plajiyoklas ve hornblendden ibaret bir bileşimleri vardır. Öz ve yarı öz şekilli plajiyoklaslar hem fenokristal hem de mikrolitler şeklinde olup açık renkli minerallerin tamamına yakını oluşturmaktadır. Plajiyoklaslar albit ikizli ve bazıları elek dokuludur. Plajiyoklaslar, optik olarak andezin-labrador (An_{37-51}) bileşimindedirler. Plajiyoklasların bazılarında karbonat oluşumları mevcuttur. Plajiyoklas kesitin yaklaşık %60-70'ni oluşturmaktadır. Kayacın yaklaşık % 30-35'i oluşturan hornblendler iri ve küçük kristalli olarak yarı

öz şekilli bulunmaktadır. Genellikle kloritleşmiş, bazılarının kenarları boyunca opasitleşme bazılarında kloritle birlikte karbonatlaşma görülmektedir. Ayrıca kesitte

değişen boyut ve şekillerde opak mineraller vardır. Hamur, plajiyoklas mikrolitleri, hornblend ve opak minerallerden ibarettir.



Şekil 4. Kalınçam yöresindeki volkanitlerin ince kesitteki görünüşleri. (a) Çatak Formasyonu'ndaki bazaltta görülen vesiküler doku (+N, Örn. no: KN-1), (b) andezitte mikrogranü porfirik doku (+N, Örn. no: KN-9), (c) Kızılkaya Formasyonu'ndaki dasitte camsı porfirik doku (//N, Örn. no: KN-3), (d) Kızılkaya Formasyonu'ndaki dasitte mikrogranü porfirik doku içinde korrode olmuş kuvars minerali (+N, Örn. no: KN-2) ve (e) Çağlayan Formasyonu'ndaki porfirik dokulu andezit (//N, Örn. no.: KN-5) ve (f) Çayırbağ Formasyonu'ndaki dasitte mikrogranü porfirik doku (+N, Örn. no.: KM-2). Pl: Plajiyoklas, Ku: Kuvars, Amf: Amfibol, Ka: Kalsit, Si: Silis (İkincil kuvars), Kl: Klorit.

Çayırbağ Formasyonu'ndaki dasitik kayalar mikrogranü porfirik ve camsı porfirik dokuda (Şekil 4f) olup, başlıca plajiyoklas, kuvars ve hornblendten oluşmaktadır. Plajiyoklas mineralleri iri ve ince taneli olup, karbonatlaşma, silisleşme ve az da olsa serizitleşme

göstermektedir. Plajiyoklaslar kayacın yaklaşık % 55-65'sini oluşturur ve yarı özşekilli olarak bulunurlar. Albit ikizi gösteren (010'a dik) kesitlerde yapılan cins tayinlerine göre plajiyoklas andezin (An_{49}) bileşimindedir. Kuvars mineralleri iri ve

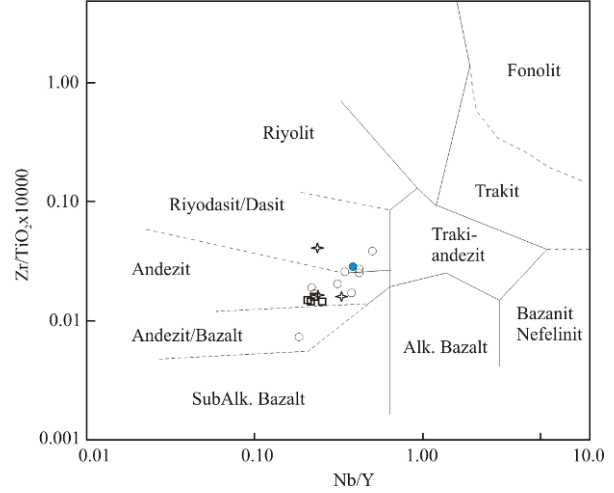
küçük kristalli olup bazıları korrodedir. Kayacın yaklaşık % 30-35'ini oluşturan kuvarslar yarı özşekilli ve özşekilsizdirler. Ayrıca hamurda ikincil kuvarslar görülmektedir. Amfiboller (yaklaşık % 5-10) iri ve küçük kristalli olup yarı öz şekillidirler. Bazı amfibollerin kenarları opasitleşmiş, genelde ise karbonatlaşmışlardır. Opak mineraller yaklaşık % 1-2 oranında, genelde yarı özşekilli ve özşekilsiz olarak, saçınım halinde bulunmaktadır.

4.2. Kalınçam Yöresi Volkanitlerinin Jeokimyası

İncelenen Geç Kretase volkanitlerinin jeokimyasal özelliklerini ortaya koymak üzere ana, iz ve nadir toprak element analizleri yaptırılan 17 adet örneğin analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

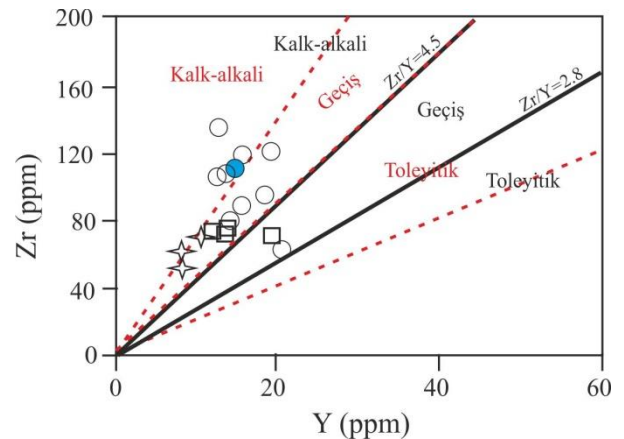
Ana ve İz Element İçerikleri: İncelenen Geç Kretase volkanitlerinin arazi gözlemleri ve mikroskop incelemeleri volkanitlerin değişen oranlarda ayrışma (silisleşme, karbonatlaşma, kloritleşme ve serizitleşme) gösterdikleri ve dolayısıyla Si, Mg, Ca ve K içeriklerinde artma veya azalma belirlenmiştir. Ayrışmanın kayaç sınıflandırmasına etkisini en aza indirmek için ayrışma esnasında daha az hareketli olarak kabul edilen Ti, Zr, Nb ve Y (Barrett vd., 1993) gibi elementlerin bulunduğu diyagramlar tercih edilmiştir. Hidrotermal ayrışma ve yeşilist derecesindeki metamorfizmada şartlarında Ti, Zr ve Nb elementler hareketsiz; Y ise genellikle hareketsiz olup, çok güçlü kloritleşme zonlarında hareketli olabilir (MacLean ve Kranidoitis, 1987; Barrett ve MacLean, 1991; Barrett vd., 1993). Kalınçam yöresinde volkanitlere ait örneklerde Ti ve Y elementi, Zr ve Nb'a göre daha hareketli olarak belirlendiğinden Şekil 5'deki diyagram yorumlanırken bu durum dikkate alınmıştır. Kalınçam yöresinde sırasıyla Çatak Formasyonu'ndaki volkanit örnekleri Nb/Y – Zr/TiO₂ diyagramına göre andezit alanında; Kızılkaya Formasyonu'daki volkanit örnekleri andezit ve riyodasit/dasit alanına; Çağlayan Formasyonu'ndaki volkanit örnekleri andezit/bazalt, andezit ve riyodasit/dasit alanına ve en üstteki Çayırbağ

Formasyonu'ndan alınan volkanit örneği dasit alanına düşmektedir (Şekil 5). İncelenen volkanitlerin hem mikroskop incelenmesi hem de kimyasal özellikleri birlikte değerlendirildiğinde bazalt, andezit ve dasit olarak adlandırılmışlardır.



Şekil 5. Kalınçam yöresi volkanitlerine ait örneklerin Nb/Y–Zr/TiO₂ (Winchester ve Floyd, 1977'den değiştirilerek) diyagramlarındaki konumları.

İncelenen volkanitlere ait örneklerin jeokimyasal özellikleri, AFM (Şekil 6a) ve Yb-La (Şekil 6b) diyagramlarında, bir kaç örnek hariç, kalk-alkali-geçiş alanında yer almaktadır. Kalınçam yöresindeki volkanitler jeokimyasal olarak kalk-alkali geçiş karakterlidir.



Şekil 6. Kalınçam yöresindeki volkanitlerin Y'a karşı Zr diyagramı. Kırmızı renkli toleyitik-geçiş-kalk-alkali eğrisi Barrett ve MacLean 1999'dan ve siyah renkli toleyitik-geçiş-kalk-alkali eğrisi Ross ve Bédard, 2009'dan alınmıştır. Semboller Şekil 5'deki gibidir.

Tablo 1. İncelenen volkanitlere ait örneklerin ana oksit (% ağırlık), iz ve nadir toprak elementlerinin (ppm) analiz sonuçları.

Örn. no	KN-1	KN-8	KN-9	KN-10	KN-2	KN-3	KN-7	KN-4	KN-5	KN-6	KN-12	KN-11	KM-1	KM-7	KM-7a	KM-8	KM-2	
Formasyon adı	Çatak				Kızılkaya			Çağlayan										Çayırbağ
Sembol	□				☆			o										•
SiO ₂	61.51	54.95	51.64	56.15	78.53	64.11	87.32	47.99	58.84	64.71	55.47	60.08	60.69	57.11	67.43	61.01	58.20	
Al ₂ O ₃	16.15	14.22	15.08	14.97	8.62	14.01	7.52	18.30	16.05	14.74	17.33	15.84	17.24	15.82	16.98	16.86	15.55	
Fe ₂ O _{3t}	6.65	5.53	6.35	6.31	4.11	4.32	0.52	9.64	5.71	5.56	6.30	5.91	5.36	5.19	3.79	5.29	4.53	
MgO	5.48	5.07	5.52	4.28	0.38	1.54	0.17	4.03	1.94	0.83	5.27	3.78	2.20	1.58	0.16	1.99	1.02	
CaO	0.23	3.07	3.00	5.26	0.02	3.78	0.04	6.73	6.67	4.28	1.90	2.23	3.74	6.51	2.00	5.41	6.47	
Na ₂ O	2.79	0.64	0.76	1.35	0.03	2.64	0.05	5.09	2.80	2.49	6.92	6.52	3.51	2.53	2.85	3.16	2.33	
K ₂ O	1.47	3.45	2.94	2.71	2.63	1.06	1.79	1.40	2.77	3.50	0.43	0.46	2.78	1.48	2.74	2.24	1.73	
TiO ₂	0.49	0.46	0.51	0.47	0.32	0.43	0.15	0.85	0.52	0.46	0.53	0.49	0.47	0.42	0.35	0.44	0.38	
P ₂ O ₅	0.05	0.06	0.07	0.09	0.03	0.05	0.02	0.25	0.09	0.06	0.07	0.10	0.20	0.19	0.15	0.20	0.17	
MnO	0.17	0.27	0.20	0.13	<0.01	0.19	<0.01	0.17	0.16	0.15	0.10	0.09	0.16	0.17	0.23	0.17	0.14	
A.K.	4.8	12.1	13.8	8.1	5.0	7.8	2.2	5.3	4.3	3.0	5.5	4.3	3.4	8.7	3.0	3.0	9.2	
Top.	99.81	99.84	99.86	99.84	99.63	99.89	99.79	99.73	99.83	99.83	99.84	99.85	99.72	99.75	99.71	99.73	99.71	
Sc	25	21	23	23	12	18	5	13	22	18	21	20	8	7	4	7	6	
Ba	217	480	364	470	2235	96	1285	265	368	417	186	149	1021	947	1154	944	1299	
Co	18.5	15.7	19.6	18.7	10.9	8.1	0.4	28.2	18.5	13.8	21.7	16.2	11.9	7.7	5.8	9.9	8.1	
Cs	1.6	2.2	2.4	1.9	2.1	1.5	0.4	2.6	1.5	4.4	1.9	1.6	2.6	8.0	4.2	2.4	2.4	
Ga	17.3	14.9	15.4	14.6	11.1	13.7	7.0	20.5	15.9	19.2	20.0	15.2	17.1	15.3	16.0	16.3	15.1	
Hf	2.0	2.0	2.0	1.8	1.3	2.2	1.6	1.7	2.3	2.1	2.7	2.5	3.1	2.3	3.1	3.0	2.7	
Nb	4.9	2.8	3.0	2.9	2.8	2.6	2.0	3.8	3.5	5.4	4.0	4.1	6.7	5.8	6.5	6.6	5.6	
Rb	45.0	124.4	87.7	90.3	57.4	22.7	31.6	32.0	81.1	119.8	13.5	18.2	76.7	38.6	75.3	69.7	43.4	
Sr	25.7	40.4	32.1	43.8	86.7	34.3	8.1	1091.7	156.2	116.1	284.2	277.4	552.1	420.4	378.4	506.0	512.0	
Ta	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.5	0.5	
Th	4.6	5.3	5.4	5.1	3.1	5.0	3.0	3.4	6.7	5.8	8.8	7.8	8.9	8.5	12.1	9.7	9.8	
U	1.6	1.7	1.9	1.8	1.4	1.0	1.3	0.8	3.1	2.0	2.8	2.0	2.2	2.1	2.5	2.4	2.5	
V	225	165	168	156	112	137	13	249	162	191	141	145	91	70	45	73	75	
W	5.7	4.7	3.0	1.6	3.8	1.7	3.6	<0.5	1.3	2.4	1.5	1.5	1.1	1.0	1.9	1.0	1.2	
Zr	70.7	73.4	75.1	71.5	51.3	69.9	61.4	62.4	88.7	79.6	105.6	95.0	120.5	107.6	135.4	118.6	110.7	
Y	19.4	12.3	14.0	13.8	8.5	10.8	8.4	20.6	15.7	14.3	12.7	18.5	19.3	13.8	12.9	15.8	14.9	
Tot.C	0.02	2.72	2.96	1.08	0.08	0.69	0.03	0.05	0.62	0.32	0.12	0.16	0.03	1.79	0.08	0.29	1.79	
Mo	1.4	0.9	0.6	1.7	10.8	1.3	5.7	1.7	2.5	1.7	0.5	1.1	1.8	4.3	2.9	5.1	1.2	
Cu	4.9	22.7	2.2	6.1	68.9	30.2	6.8	39.9	92.7	16.7	23.3	36.1	14.3	8.7	6.6	15.2	3.6	
Pb	1.7	4.9	7.4	4.2	110.1	9.5	97.9	3.6	6.0	10.9	25.3	31.0	5.9	6.8	19.4	3.8	13.8	
Zn	407	131	116	79	63	32	6	63	58	57	73	47	57	65	105	45	45	
Ni	10.8	7.7	7.4	10.0	7.7	2.5	5.6	2.7	9.5	6.2	9.8	7.7	4.4	7.7	5.8	7.4	2.6	
As	4.3	0.7	1.7	1.4	277.1	3.2	54.0	2.8	2.5	6.3	20.2	30.4	2.5	2.4	3.5	1.6	2.4	
Sb	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	14.2	0.3	0.6	<0.1	0.2	1.0	0.6	1.2	0.2	0.3	0.2	0.4	0.2	
Ag	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	2.2	<0.1	0.9	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	
Au	2.3	1.0	0.6	<0.5	30.6	<0.5	89.6	0.6	0.8	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	7.5	<0.5	<0.5	0.6	
La	14.3	12.6	12.6	13.7	7.6	9.2	5.1	15.6	16.7	14.3	12.4	22.1	32.4	24.9	32.8	29.0	28.7	

AK: Ateşte kayıp, Fe₂O_{3t}: Fe₂O₃ cinsinden toplam Fe

Tablo 1'in devamı

Örn. No.	KN-1	KN-8	KN-9	KN-10	KN-2	KN-3	KN-7	KN-4	KN-5	KN-6	KN-12	KN-11	KM-1	KM-7	KM-7a	KM-8	KM-2	
Formasyon adı	Çatak				Kızılkaya			Çağlayan										Çayırbağ
Ce	27.3	27.3	25.6	27.9	14.4	16.6	8.9	31.9	33.9	27.5	28.2	40.7	47.4	43.6	56.1	45.1	48.8	
Pr	3.19	2.73	2.91	3.17	1.60	1.84	0.86	4.16	3.76	3.38	3.23	5.03	5.97	4.62	5.34	5.28	5.37	
Nd	11.2	9.7	12.2	12.5	5.7	6.7	3.6	16.4	12.9	12.7	12.4	20.5	21.1	15.6	18.6	19.2	17.9	
Sm	2.76	2.31	2.41	2.60	1.21	1.40	0.61	3.95	3.08	2.74	2.35	4.00	4.04	2.98	2.94	3.59	3.18	
Eu	0.67	0.59	0.63	0.62	0.34	0.50	0.35	1.27	0.69	0.65	0.81	0.80	1.17	0.98	0.90	1.14	1.03	
Gd	3.15	2.49	2.48	2.53	1.50	1.51	0.98	3.90	2.93	2.62	2.32	3.56	3.50	2.81	2.48	3.15	3.17	
Tb	0.48	0.34	0.35	0.38	0.20	0.25	0.18	0.55	0.42	0.39	0.34	0.51	0.48	0.40	0.34	0.44	0.41	
Dy	3.04	2.41	2.38	2.40	1.50	1.67	1.31	3.83	2.78	2.71	2.25	3.01	2.90	2.51	2.52	2.54	2.48	
Ho	0.59	0.40	0.53	0.45	0.32	0.34	0.22	0.67	0.57	0.54	0.45	0.64	0.62	0.49	0.42	0.56	0.55	
Er	1.91	1.36	1.47	1.47	0.76	1.06	0.79	1.96	1.63	1.45	1.37	1.84	1.85	1.35	1.41	1.58	1.54	
Tm	0.29	0.19	0.23	0.22	0.11	0.17	0.15	0.30	0.25	0.21	0.20	0.28	0.31	0.24	0.19	0.25	0.23	
Yb	2.04	1.43	1.46	1.46	0.78	1.19	1.02	1.82	1.42	1.53	1.44	1.69	1.82	1.45	1.57	1.75	1.75	
Lu	0.29	0.20	0.23	0.23	0.16	0.21	0.17	0.30	0.24	0.23	0.24	0.25	0.30	0.25	0.26	0.26	0.27	
(La/Lu) _N	5.12	6.54	5.69	6.18	4.93	4.55	3.11	5.40	7.22	6.45	5.36	9.18	11.21	10.34	13.10	11.58	11.04	
(La/Sm) _N	3.26	3.43	3.29	3.32	3.95	4.14	5.26	2.49	3.41	3.28	3.32	3.48	5.05	5.26	7.02	5.08	5.68	
(Gd/Lu) _N	1.35	1.55	1.34	1.37	1.17	0.90	0.72	1.62	1.52	1.42	1.20	1.77	1.45	1.40	1.19	1.51	1.46	
(Sm+Gd) _N	22.24	18.14	18.54	19.52	10.14	11.00	5.84	29.84	22.91	20.42	17.75	28.95	28.93	22.08	20.83	25.84	24.13	
Eu*	11.12	9.07	9.27	9.76	5.07	5.50	2.92	14.92	11.45	10.21	8.88	14.48	14.46	11.04	10.42	12.92	12.06	
Eu	0.69	0.75	0.78	0.73	0.77	1.05	1.38	0.98	0.69	0.73	1.05	0.64	0.93	1.02	0.99	1.01	0.98	
(Tb/Lu) _N	1.09	1.12	1.00	1.09	0.82	0.78	0.70	1.20	1.15	1.11	0.93	1.34	1.05	1.05	0.86	1.11	1.00	

Eu*=(Sm_N+Gd_N)/2, Eu= Eu_N/Eu*

İncelenen volkanitlere ait örneklerin Zr'na karşı Al₂O₃, TiO₂, P₂O₅, Y, Nb ve Co'ın değişimleri incelenmiştir (Şekil 7). Volkanitlerde Zr artışıyla Th ve Nb içerikleri artarak pozitif bir ilişki görülmektedir. Çatak Formasyonu'nun andezitlerinde Zr artışıyla Al₂O₃, TiO₂, P₂O₅ ve Y'da artış; Co ve Ni'de ise belirgin bir değişiklik görülmemektedir. Kızılkaya Formasyonu'nun dasitlerinde ise Zr ile bu elementler arasında fazla bir ilişki görülmemektedir. Çağlayan Formasyonu'nun bazalt ve andezitlerinde ise Zr artışıyla Al₂O₃ ve P₂O₅'te artma, TiO₂, Y, Co ve Ni'de ise azalma görülmektedir (Şekil 7). Ayrıca pozitif veya negatif yönsemelerin parabolik olması mineral fazlarının ayrılaşmadaki etkisini göstermektedir.

Volkanitlerin element (Al₂O₃-Zr, TiO₂-Zr, P₂O₅-Ce, Sr-Zr, Nb-Zr, Y-Zr) çiftleri kullanılarak bu kayaçların gelişimde etkili

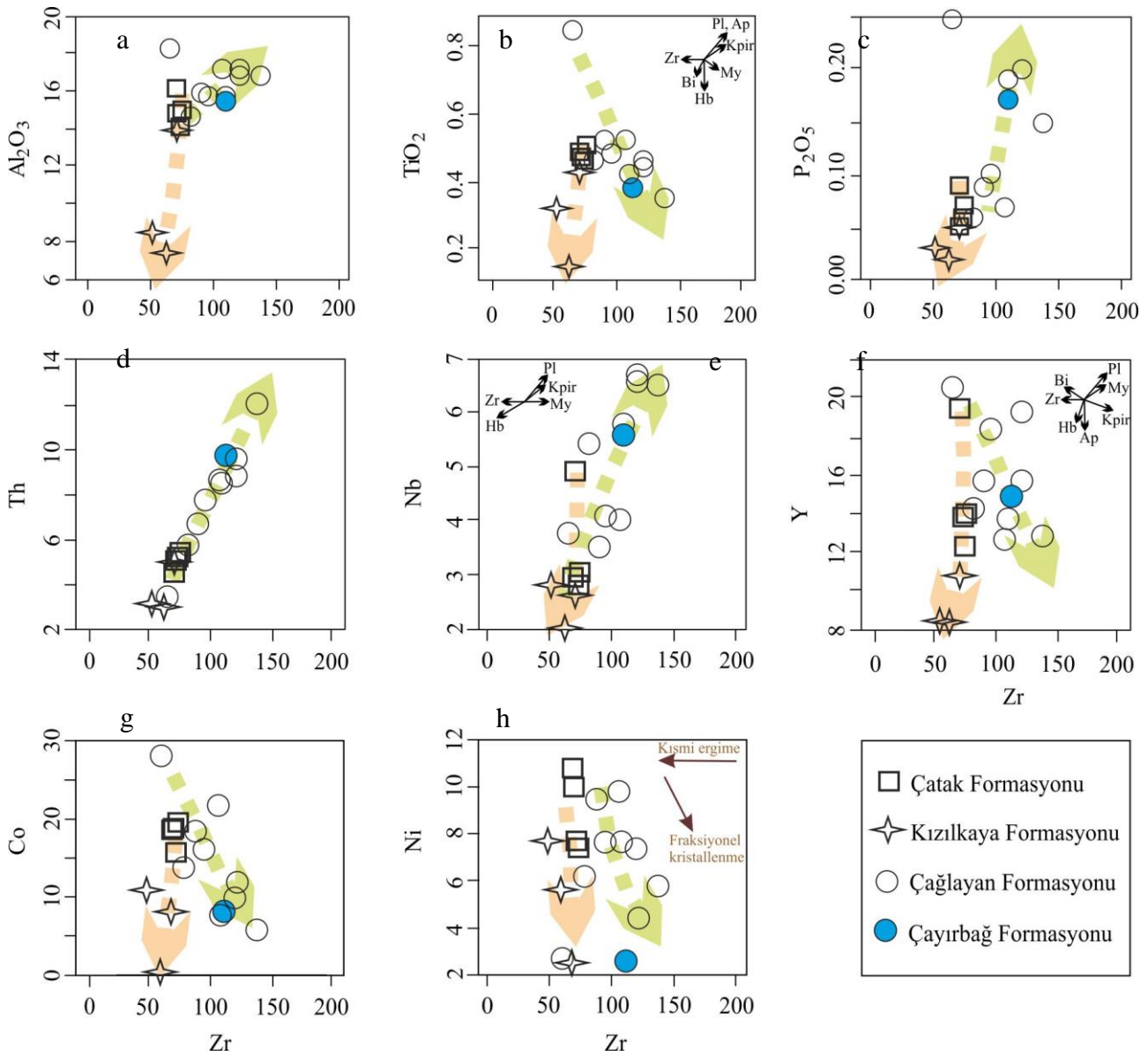
olan mineraller belirlenmeye çalışılmıştır (Şekil 7). Çatak ve Kızılkaya formasyonlarında Zr artışına karşılık Al₂O₃'teki çok az bir değişim plajiyoklas ayrılaşmasına işaret etmektedir. Çağlayan Formasyonu'ndaki bazalt ve andezitlerde Zr değerinin artmasına karşılık Al₂O₃, Y, Co ve Ni'in azalması amfibol ve biyotit ayrılaşmasını, TiO₂'in azalması Fe-Ti oksit ayrılaşmasını göstermektedir.

Uyumsuz ve Nadir Toprak Element İçerikleri: Kalınçam Volkanitlerinin iz ve nadir toprak element değerleri Zenginleşmiş Okyanus Ortası Sırtı Bazaltlarının (Z-OOSB) değerlerine oranlandığında Sr hariç, K, Rb, Ba ve Th gibi büyük iyon yarıçaplı elementler (BİYE) bakımından zenginleşme, yüksek çekim alanlı elementler (YÇAE) bakımından ise bir fakirleşme görülmektedir (Şekil 8). BİYE'lerden özellikle Rb ve Th'da

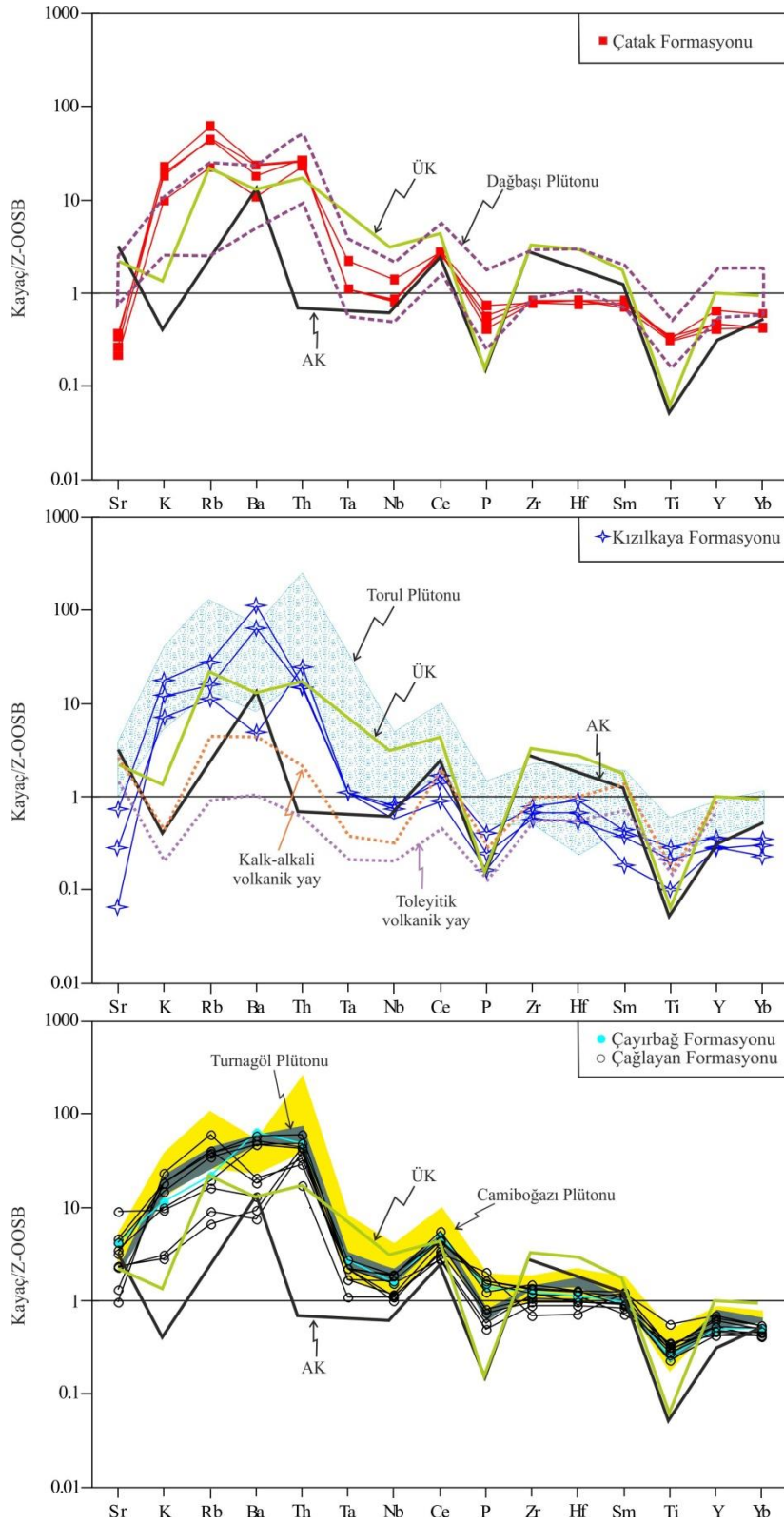
zenginleşme en yüksek değere ulaşmaktadır. Volkanitler yüksek BİYE ve düşük YÇAE içerikleri ile yüksek BİYE/YÇAE oranları yitim ilişkili kayaçların tipik karakterlerini yansıtmaktadırlar.

YÇAE'lerden Ce'de çok az zenginleşme; Ta, Nb, P ve Ti'da negatif anomali gözlenmektedir. P'da görülen negatif anomali oldukça tipik olup, farklılaşma sırasında meydana

gelen apatitin fraksiyonel kristallenmeyi; Ti'daki negatif anomali ise yitim kökeni işaret edebilir. Ayrıca incelenen volkanitlerin anomali değerleri kalk-alkali volkanik yaylarınkinden YÇAE'lerce fazla BİYE'lerle benzer bir dağılım göstermektedir. Dolayısıyla kayaçların köken magmalarının yitim ilişkili tektonik ortamların jeokimyasal özelliğini yansıttığı düşünülmektedir.



Şekil 7. Kalınçam yöresindeki volkanitlerin ana oksit (%) ve iz (ppm) element çiftlerinin değişim diyagramları. Mineral vektörleri Pearce ve Norry (1979)'dan alınmıştır. Pl: Plajiyoklas, Bi: Biyotit, Hb: Hornblend, My: Manyetit, Kpir: Klinopiroksen, Zr: Zirkon, Ap: Apatit.



Şekil 8. Kalınçam yöresi volkanitlerinin zenginleşmiş okyanus ortası sırtı bazaltına (Z-OOSB değerleri Sun ve McDonough, 1989'dan alınmıştır) göre normalleştirilmiş uyumsuz element çizgiselleme. AK: Alt kabuk (Weaver ve Tarney, 1984), ÜK: Üst kabuk (Taylor ve McLennan, 1981).

Kalınçam yöresi volkanitlerinin nadir toprak element (NTE) değerleri kondirit değerlerine

göre normalleştirilmesinde paralel bir dağılım mevcut olup La_N/Lu_N oranları 3.11–13.10

arasında değişmektedir (Şekil 9). Çatak Formasyonu andezitlerinde La_N/Lu_N oranları 5.12-6.18 arasında, Kızılkaya Formasyonu dasitlerinde La_N/Lu_N oranları 3.11-4.98 arasında, Çağlayan Formasyonu andezitlerinde La_N/Lu_N oranları 5.40-13.10 ve Çayırbağ Formasyonu dasitinde La_N/Lu_N oranı 11.04'dür. Ayrıca ağır nadir toprak element (ANTE) bakımından yataya yakın bir dağılım sunarlar. Volkanitlerde Eu anomalisi 0.64-1.38 arasında değişmektedir. Eu anomalisi Çatak Formasyonu andezitlerinde 0.69-0.78 arasında, Kızılkaya Formasyonu'ndaki dasitlerde 0.77-1.38 arasında, Çağlayan Formasyonu'ndaki bazalt ve andezitlerde 0.64-1.05 arasında ve en üstteki Çayırbağ Formasyonu dasitinde 0.98'dir. Özellikle Çatak Formasyonu'ndaki andezitlerde görülen negatif Eu anomalisi, düşük basınç (≤ 10 kb) plajiyoklas ayrımlaşmasının göstergesi olabilir (Briggs ve McDonough, 1990). Kızılkaya Formasyonu dasitleri kalk-alkali dasitlerle benzer yönseme göstermektedir. İncelenen volkanitler, Doğu Karadeniz Bölgesi'nde benzer stratigrafik seviyeye sahip olan Geç Kretase yaşlı plütonik kayalar, Murgul yöresi Kızılkaya Formasyonu'na denk dasitler (Sipahi vd., 2014) ve Zigana yöresi Çatak Formasyonu'na denk bazalt ve Kızılkaya Formasyonu'na denk Dasit-I ve Çayırbağ Formasyonu'na denk Dasit-II (Sipahi ve Sadıklar, 2014) ile karşılaştırıldığında genel olarak benzer yönsemeye sahip oldukları görülmektedir.

Sr-Nd İzotop İçerikleri: İncelenen volkanitlerin izotop verileri Tablo 2'de verilmiştir. Sr hidrotermal ayrışma esnasında genellikle hareketli olduğu için, örnekler dikkatli bir şekilde seçilmiştir. İncelenen kayaların ilksel Sr-Nd izotopik bileşimleri sırasıyla 80 My ve 70 My yaşlar kullanılarak hesaplanmıştır. Kızılkaya Formasyonu'ndaki dasitik kayaların $I_{Sr}(80 \text{ My})$ izotopik bileşimleri 0.70727-0.70779 arasında değişmekte ve $\epsilon Nd_{(80 \text{ My})}$ bileşimi 1.2'dir (Tablo 2). Çağlayan Formasyonu'ndaki andezitin $^{87}Sr/^{86}Sr_{(i)}$ (0.70760) izotop bileşimi dasitik kayalarınki ile benzer, fakat $\epsilon Nd_{(i)}$ (-5.5) izotopik bileşimleri dasitik kayalarınkinden farklıdır. Şekil 10'da

görüldüğü gibi, Kızılkaya Formasyonu dasit örnekleri Sr-Nd izotop diyagramının toplam yerküre alanına yakın ve kıta kenarı volkanitleri alanında almaktadır. Çağlayan Formasyonu andezit örneği ise zenginleşmiş alana yakın bulunmaktadır. İncelenen dasit örnekleri Geç Kretase yaşlı Kızılkaya Formasyonu dasitlerine denk Murgul dasitleri (Sipahi vd., 2014) ile benzerlik çizgisellikte olup, kıta kenarı volkanitleri alanındadır. Diyagramda örnekler diğer bölgelerdeki volkanitlerden farklı bir trendler göstermekte ve alanların dışında yer almaktadır. Çağlayan Formasyonu andezit örneği, Tersiyer volkanitleri (Temizel vd., 2012), Dağbaşı Plütonu (Kaygusuz vd., 2009, 2011), Turnagöl Plütonu (Kaygusuz vd., 2013) ve Torul Plütonu (Kaygusuz vd., 2008) ile benzer çizgisellikte olup, Torul Plütonu'na yakın alanda bulunmaktadır.

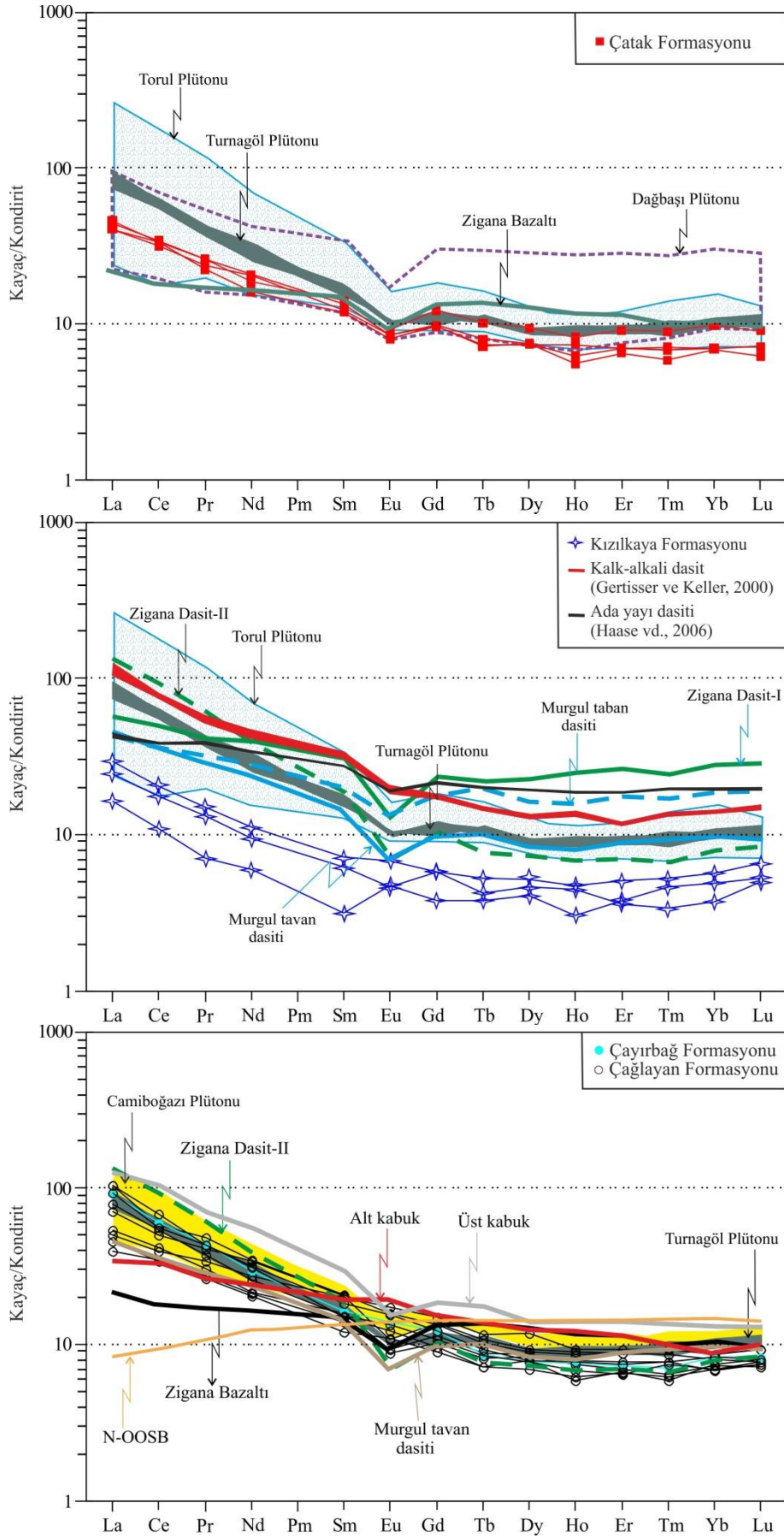
5. Tartışma

5.1. Alterasyonun Elementler Üzerindeki Etkisi

İncelenen volkanitlerin değişen oranlarda alterasyona uğradığı gerek arazi çalışmaları gerekse mikroskop incelemeleri sırasında belirlenmiştir. Dolayısıyla Kalınçam yöresindeki volkanitler çalışılırken alterasyonun etkisini en aza indirgenecek şekilde örnekleme ve sonrasında kimyasal analizler için örnek seçimi yapılmıştır. İncelenen volkanitlerin oluşum süreçleri yorumlanırken altere ortamlarda hareketsiz veya çok az hareketli olarak bilinen Ti, Zr (Hf), Ta, Nb, Y, Cr, Ni ve nadir toprak (özellikle de ağır nadir toprak) elementler tercih edilmiştir.

5.2. Fraksiyonel Kristallenme

Ana ve iz elementler, ada yayı volkanitlerinin çeşitli türlerinin oluşumunda etkili olan fraksiyonel kristallenmenin önemini belirtmektedir (Thirlwall vd., 1996). İncelenen volkanitler N-MORB-normalleştirilmiş negatif Nb, Ti ve P_2O_5 anomalileri hornblende, Fe-Ti oksit ve apatit fraksiyonlaşmasını gösterebilir.



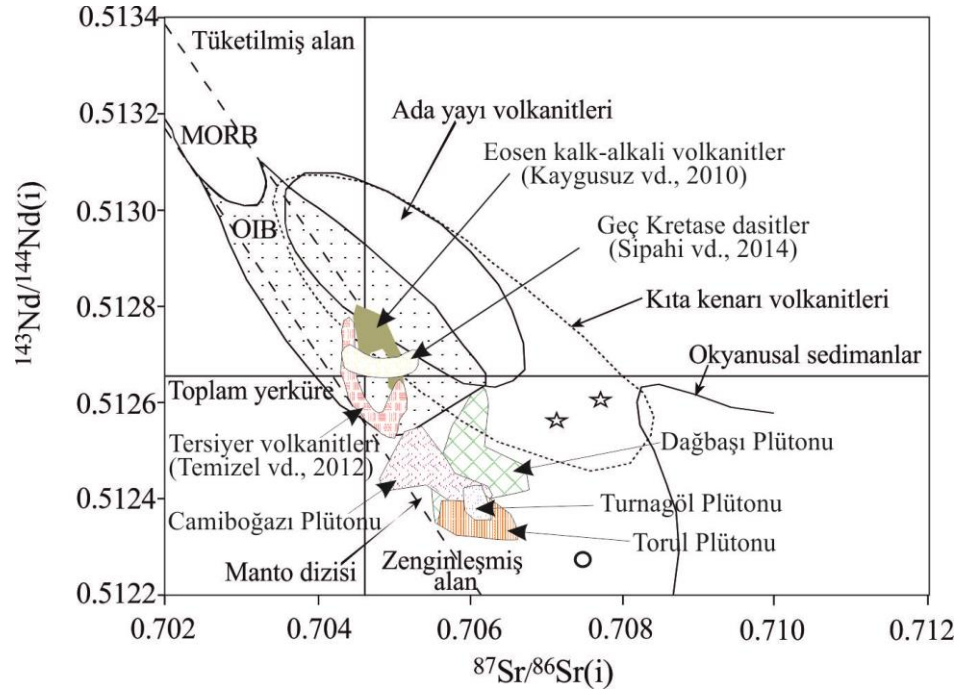
Şekil 9. Kalınçam yöresi volkanitlerinin kondirite göre normalleştirilmiş NTE dağılımları, (kondirit değerleri Taylor ve McLennan, 1985'den; N-OOSB değerleri Sun ve McDonough, 1989'dan alınmıştır).

Tablo 2. İncelenen volkanitlerin Sr ve Nd izotop analizleri.

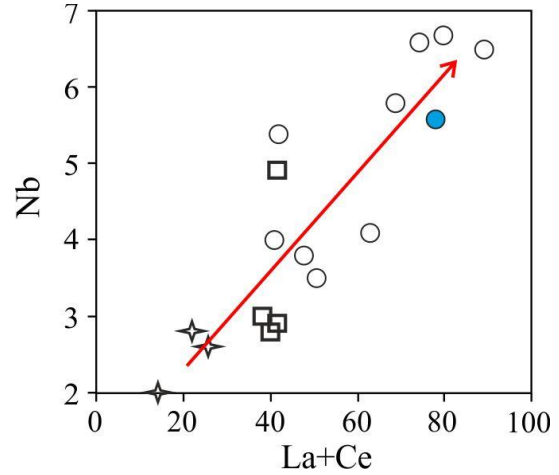
Örnek	Kayaç türü	Rb (ppm)	Sr (ppm)	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	<i>I</i> _{Sr} (t)	Sm(ppm)	Nd(ppm)	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	ε _{Nd} (0)	f _{Sm/Nd}	ε _{Nd} (T) (τ)	T _{DM} (Ga)
Kızılkaya Formasyonu														
KZ 2	Dasit	57.4	86.7	1.91995	0.709452	0.70727	1.21	5.7	0.1283	0.512623	-0.3	-0.35	0.3	0.94
KZ 7	Dasit	31.6	8.1	11.31358	0.720650	0.70779	0.61	3.6	0.1024	0.512656	0.4	-0.48	1.2	0.68
Çağlayan Formasyonu														
KZ 12	Andezit	55.47	284.2	0.56602	0.708159	0.70760	2.35	12.4	0.1146	0.512318	-6.2	-0.42	-5.5	1.28

Not: $\epsilon_{Nd} = ((^{143}Nd/^{144}Nd)_s / (^{143}Nd/^{144}Nd)_{CHUR} - 1) \times 10000$, $f_{Sm/Nd} = (^{147}Sm/^{144}Sm)_s / (^{147}Sm/^{144}Sm)_{CHUR} - 1$, $(^{143}Nd/^{144}Nd)_{CHUR} = 0.512638$, ve $(^{147}Sm/^{144}Sm)_{CHUR} = 0.1967$. Model yaşları lineer izotopik büyüme oranı eşitliği kullanılarak hesaplandı: $T_{DM} = 1/l \times \ln(1 + ((^{143}Nd/^{144}Nd)_s - 0.51315) / ((^{147}Sm/^{144}Nd)_s - 0.2137))$.

Şekil 10. İncelenen volkanitlerin Sr-Nd izotop bileşimleri. Manto dizisinin sınırları DePaolo ve Wasserburg (1979)'dan çizilmiştir. Semboller Şekil 7'deki gibidir.



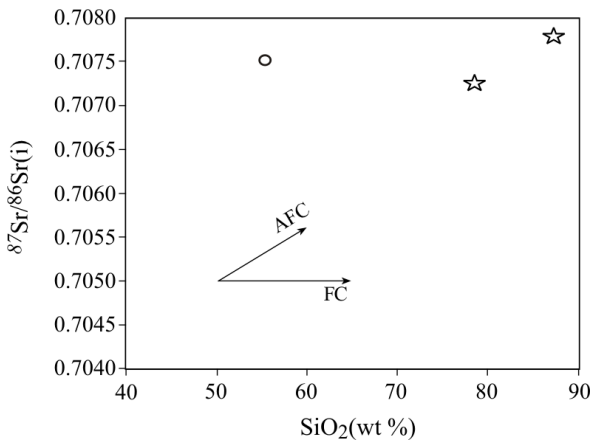
İncelenen volkanitlerdeki mineral ayrışması için Zr-TiO₂, Zr-Y ve (La+Ce)-Nb değişim diyagramları oluşturulmuştur (Şekil 7b, 7f ve 11). Çatak Formasyonu andezitinde TiO₂ az da olsa artarken Zr değişmemektedir. Benzer ilişki (La+Ce) ile Nb ve Zr ile Y arasında görülmekte olup hornblend ayrışmasına dikkat çekmektedir. Kızılkaya Formasyonu Zr ile TiO₂ ve Zr ile arasındaki pozitif ilişkiler plajiyoklas ayrışması olarak yorumlanabilir (Şekil 7a ve f). Çağlayan Formasyonu'nda bazalt ve andezitte TiO₂'ın hemen hemen sabit kalmasına karşılık Zr'un artması (Şekil 7a), aynı şekilde Y artarken Zr'un da artması (Şekil 7f) daha çok hornblend birikimini işaret etmektedir. Dolayısıyla incelenen volkanitlerde amfibol ve plajiyoklas ayrışmasına bağlı bir farklılaşmanın etkin olduğu anlaşılmaktadır. İnce kesitte Çatak ve Çağlayan formasyonlarındaki andezit ile Kızılkaya ve Çayırbağ dasitlerinde amfibolün varlığı bu ayrışmayı doğrulamaktadır. Ayrıca Kalınçam yöresindeki volkanitlerde La+Ce ile Nb arasında görülen pozitif ilişki ve bunlar arasındaki korelasyonu gösteren çizginin orjinden geçmesi bu dört formasyonun benzer kökenli bir kaynaktan türediklerini gösterebilir (Şekil 11).



Şekil 11. İncelenen volkanitlere ait La+Ce karşı Nb değişim diyagramı.

Yay-magmasına dayanan bir çok çalışma, manto kökenli yay magmalarının iz element ve izotop bileşimlerinin değişimlerinin bir süreci olarak kabuk materyalinin asimilasyonu için delil sağlamaktadır (Thirlwall vd., 1996; George vd., 2004; McDermott vd., 2005). Bu çalışmadaki Çatak Formasyonu'nun andezitleri 12.6-14.3 ppm La ve 25.6-27.9 ppm Ce, Kızılkaya Formasyonu'nun dasitleri 5.1-9.2 ppm La ve 8.9-16.6 ppm Ce, Çağlayan Formasyonu'nun bazalt ve andezitleri 12.4-32.8 ppm La ve 27.5-56.1 ppm Ce değerlerine sahiptir.

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}$ ve $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(i)}$ oranlarının SiO_2 'e karşı değişimindeki pozitif ve negatif yönseme magmanın AFC süreçlerinden etkilendiğini göstermesine karşılık, hemen hemen sabit yönseme önemli fraksiyonel kristallenmeyi göstermektedir. İncelenen volkanit örneklerinin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}$ ve $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(i)}$ içeriğinin SiO_2 'e karşı değişimi hemen hemen sabit yönseme göstermektedir (Şekil 12). Bunların hepsi incelenen volkanitlerin benzer yitim kökenli kaynaklardan ve kimyasal farklılıkları kontrol eden AFC süreçlerinden ziyade fraksiyonel kristalizasyondan oluştuğunu belirtmektedir.



Şekil 12. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}$ değerine karşı SiO_2 değişimlerini gösteren grafik. Semboller Şekil 9 ile aynıdır.

5.3. Kaynak Karakteristikleri

Doğu Karadeniz Bölgesi'nde magmatik yay ortamında Üst Kretase volkanizması bazik-asidik ürünlerin tekrarlanmasıyla bimodal volkanizma karakterinde görülmektedir. İnceleme alanında Geç Kretase yaşlı sırasıyla bazalt-andezitten oluşan Çatak Formasyonu, dasitten oluşan Kızılkaya Formasyonu, bazalt-andezitten oluşan Çağlayan Formasyonu ve dasitten oluşan Çayırbağ Formasyonu bu bimodal niteliği yansıtmaktadır. Yitim ilişkili volkanik kayaçların magmasının oluşumu için olası mekanizmalar (1) manto kamasının kısmi ergimesi, (2) yiten okyanus kabuğunun kısmi ergimesi (Singer vd., 1992; McCulloch vd., 1994; Pearce vd., 1995; Beard, 1995) veya (3) alt kabuğun ergimesi olarak düşünülmektedir. Fraksiyonel kristallenmeyle

bazaltik veya andezitik magmadan türeme çalışma alanının dışındaki bazaltik veya andezitik kayaçlara göre dasitik kayaçların büyük hacimli yapısından dolayı uygun görülmektedir (Şekil 2).

İncelenen geç Kretase yaşlı volkanik kayaçlar BİYE'lere göre YÇAE'lerce azalmıştır. Andezitten dasite farklılaşma BİYE'lerdeki azalma ve YÇAE'lerdeki azalma ile belirgindir (Şekil 8). Manto kaması Z-MORB'dakine göre YÇAE'lerce fakirdir (Hawkesworth vd., 1997). Dasitik kayaçlardaki YÇAE'lerin azalması yitim zonunun üst kısmında üretilen magmanın karakteristiği olarak düşünülür. BİYE zenginleşmesinin ise ada yaylarının karakteristiğini yansıttığı düşünülmektedir (Thompson vd., 1984; White ve Patchett, 1984; Briggs ve McDonough, 1990). Çatak ve Kızılkaya ile Çağlayan ve Çayırbağ formasyonlarına ait kayaçların benzer NTE dağılımları benzer ana magmanın farklılaşmasını yansıtabilir. Çatak Formasyonu andezitlerine göre, dasitik kayaçlardaki ağır NTE azalması, eriyik çıkmasından sonra kalıntıda kalan ağır NTE'lerin amfibolde yoğunlaştığı mafik bir kaynağı gösterebilir (Drummond ve Defand, 1990; Condie, 1993). İncelenen volkanitlerde BİYE ve hafif NTE'lerin bollukları ve düşük YÇAE ve ağır NTE içerikleri, bunların zenginleşmiş bir kaynaktan türeyen ana bir magmalardan itibaren geliştiğini önerebilir.

İncelenen volkanitlerin, Zr (ppm)'a karşı Hf (ppm), Nb (ppm) ve Ce (ppm) diyagramları ile La (ppm)'a karşı Ce (ppm) diyagramında pozitif bir ilişki gösterdikleri açıkça görülmektedir (Şekil 13). Volkanitlere ait örneklerin korelasyon doğruları orjinden ve/veya orjine çok yakın bir noktadan geçmektedir. Bu durum bazaltik, andezitik ve dasidik volkanik kayaçların benzer kaynaktan türeyebileceklerine işaret etmektedir. Ayrıca, sadece ayrılaşma olayının değişmeyen uyumsuz element oranını koruyabildiği bilinmektedir (Innocenti vd., 1980). Ayrıca yüksek Th ve U değerleri (Çatak Formasyonu andezitinde Th 4.6-5.4 ppm arasında ve U 1.6-1.9 ppm arasında, Kızılkaya Formasyonu dasitinde Th 3-5 ppm arasında ve U 1-1.4 ppm, Çağlayan Formasyonu bazaltı ve

andezitinde Th 3.4-12.1 ppm arasında ve U 0.8-3.1 ppm arasında ve Çayırbağ Formasyonu dasitinde Th 9.8 ppm ve U 2.5 ppm) ise; volkanitlerin yiten kabuk malzemesinin karışmasıyla zenginleşmiş bir manto kaynağından türediklerini ifade etmektedir (Faure ve Mensing, 2005).

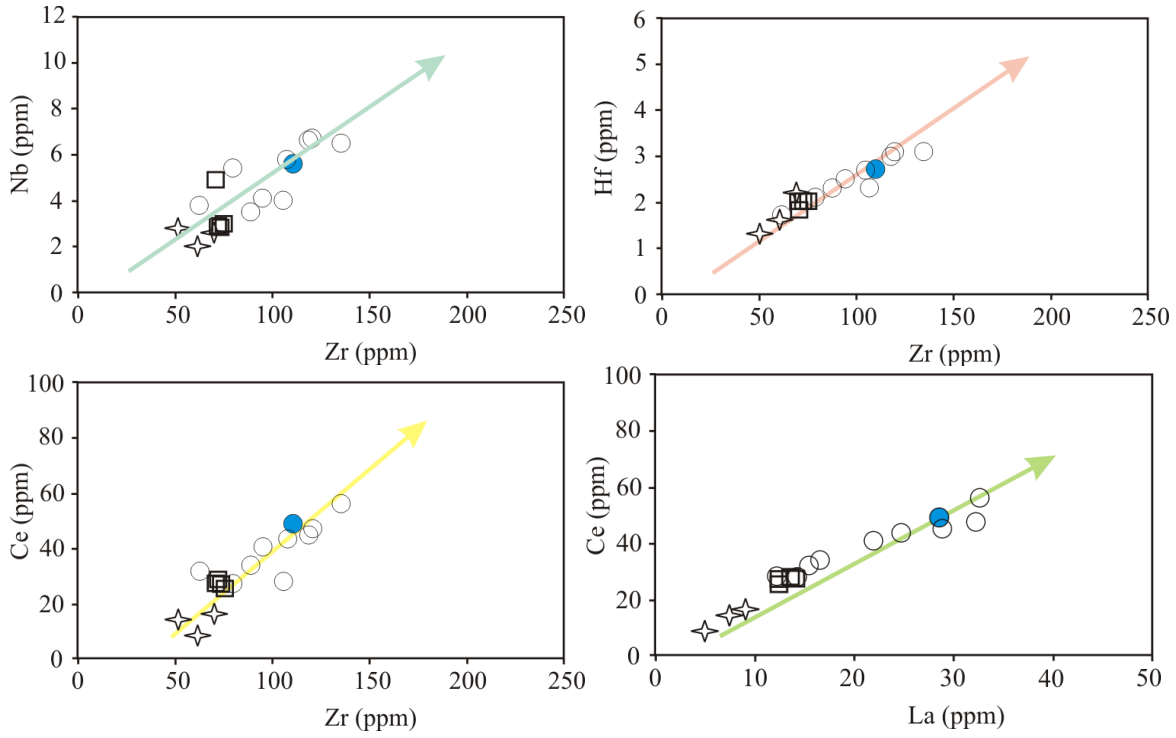
Geç Kretase (77 My) yaşlı Torul Plütonu'nun $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ değerleri 0.7034 ilâ 0.7079 arasında ve $\epsilon\text{Nd}_{(i)}$ değerleri -3.1 ilâ -5.3 arasında değişmektedir (Kaygusuz vd., 2008). Geç Kretase (82-88 My) yaşlı Dağbaşı Plütonu'nun $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}$ değerleri 0.7057-0.7067 arasında ve $\epsilon\text{Nd}_{(i)}$ değerleri -3.2 ilâ 1.5 arasında değişmektedir (Kaygusuz ve Aydınçakır, 2011). Geç Kretase (78 My) yaşlı Turnagöl Plütonu $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ değerleri 0.7060 ilâ 0.7063) arasında ve $\epsilon\text{Nd}_{(i)}$ değerleri -2.6 ilâ -3.1 arasında değişmektedir (Kaygusuz vd., 2013). Geç Kretase (74-76 My) yaşlı Camiboğazı Plütonu'nun $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranları 0.70498 ilâ 0.70622 arasında ve $\epsilon\text{Nd}_{(i)}$ isotopic bileşimleri -2.79 ilâ -0.36 arasındadır (Kaygusuz vd., 2014). Geç Kretase Torul, Sarıosman, Dağbaşı ve Turnagöl plütonlarının $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}$ ve $\epsilon\text{Nd}_{(i)}$ değerleri bakımından benzer olup mafik bir alt kabuk kaynağının dehidratasyonla erimesi sonucu oluşmuş olabileceği belirtilmektedir (Kaygusuz vd., 2008, 2009, 2013, 2014; Kaygusuz ve Aydınçakır, 2011). Çalışma alanındaki Kızılkaya Formasyonu'ndan alınan dasitik kayaçların $I_{\text{Sr}}(80 \text{ My})$ izotopik bileşimleri 0.70727-0.70779 arasında değişmekte, $\epsilon\text{Nd}_{(80 \text{ My})}$ bileşimi 0.3-1.2 ve Çağlayan Formasyonu'ndaki andezitin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}$ bileşimleri 0.70752, $\epsilon\text{Nd}_{(i)}$ bileşimi -5.5'dir. Çalışma alanındaki Çağlayan Formasyonu'ndaki andezit örneği, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(80 \text{ My})}$ değerleri ile $\epsilon\text{Nd}_{(80 \text{ My})}$ diyagramında Geç Kretase yaşlı Torul ve Turnagöl Plütonlarının yakın alanına düşmekte, Kızılkaya Formasyonu'ndaki dasit örnekleri ise Geç Kretase yaşlı Camiboğazı ve Dağbaşı Plütonlarına yakın bir alanda yer almaktadır (Şekil 10). İnceleme alanındaki örneklerin kökensel olarak magmalarının benzer kaynaktan türemesi veya hatta aynı/benzer magmalardan farklılaşması ve incelenen dasitik ürünlerin Geç Kretase yaşlı Dağbaşı, Torul, Camiboğazı ve Turnagöl Plütonik

kütlelerinin ekstrüzyon ürünleri olabileceği düşünülmektedir. İncelenen volkanik kayaçlar (intrüzyon eşlenikleri ile beraber) yay magmatizması ürünü ve dolayısıyla manto kaynağı yitim sınırları ve/veya ergiyikleri ile zenginleşmiş olabilir. İncelenen volkanik formasyonlardaki kayaçların hem bazik hemde ortaç karakterde olması hem yitimden etkilenmiş manto hem de kabuk kaynakları olmasının daha olası olduğuna dikkat çekmektedir.

6. Sonuçlar

Kalınçam yöresi volkanitlerini oluşturan Geç Kretase yaşlı Çatak Formasyonu'nun bazalt ve andezitlerinde vesiküller, mikrogranü porfirik ve boşluklu doku gözlenmekte ve mineralojik bileşen olarak bazaltta çoğunlukla plajiyoklas; andezitte ise plajiyoklas ve daha az olarak amfibol mineralleri görülmektedir. Kızılkaya Formasyonu'nun dasit ve riyodasitik kayaçları mikrogranü porfirik ve camsı porfirik dokuda olup, başlıca plajiyoklas, kuvars ve hornblendden oluşmaktadır. Çağlayan Formasyonu'nun andezitleri camsı-mikrolitik-porfirik dokuda ve plajiyoklas ile hornblendden ibaret bir bileşime sahiptirler. En üstte bulunan dasitik kayaçlar mikrogranü porfirik ve camsı porfirik dokuda olup, başlıca plajiyoklas, kuvars ve hornblendden oluşmaktadır.

Kalınçam yöresi volkanitleri kalk-alkali-geçiş? karakterlidir. Volkanitler yüksek BİYE ve düşük YÇAE içerikleri ile yüksek BİYE/YÇAE oranları yitim ilişkili kayaçların tipik karakterlerini yansıtmaktadırlar. YÇAE'lerden Ce'de çok az zenginleşme; Ta, Nb, P ve Ti'da negatif anomali gözlenmektedir. P'da görülen negatif anomali, farklılaşma sırasında meydana gelen apatitin fraksiyonel kristallenmeyi; Ti'daki negatif anomali ise yitim kökeni işaret edebilir. Çatak ve Kızılkaya formasyonlarında Zr artışıyla Al_2O_3 'teki çok az bir değişim plajiyoklas ayırılmasını işaret etmektedir. Çağlayan Formasyonu'ndaki bazalt ve andezitlerde Zr değerinin artmasıyla Al_2O_3 , Y, Co ve Ni'in azalması amfibol ve biyotit ayırılmasını, TiO_2 'in azalması Fe-Ti oksit ayırılmasını göstermektedir.



Şekil 13. İncelenen volkanitlerin a) Zr-Nb, b) Zr-Hf, c) Zr-Ce ve d) La-Ce diyagramlarındaki konumları. Semboller Şekil 9'daki gibidir.

Çatak Formasyonu andezitlerinde La_N/Lu_N oranları 5.12-6.18 arasında, Kızılkaya Formasyonu dasitlerinde La_N/Lu_N oranları 3.11-4.98 arasında, Çağlayan Formasyonu andezitlerinde La_N/Lu_N oranları 5.40-13.10 ve Çayırbağ Formasyonu dasitinde La_N/Lu_N oranı 11.04'dür. Ayrıca ağır nadir toprak element (ANTE) bakımından yataya yakın bir dağılım sunarlar. Volkanitlerde Eu anomalisi 0.64-1.38 arasında değişmektedir. Eu anomalisi Çatak Formasyonu andezitlerinde 0.69-0.78 arasında, Kızılkaya Formasyonu'ndaki dasitlerde 0.77-1.38 arasında, Çağlayan Formasyonu'ndaki bazalt ve andezitlerde 0.64-1.05 arasında ve en üstteki Çayırbağ Formasyonu dasitinde 0.98'dir. Dasitler hariç diğer volkanitler negatif Eu anomalisi göstermektedir. Negatif Eu (0.64-0.78) anomalisi gösteren volkanitlerin oluşumlarında plajiyoklas fraksiyonlaşmasının etkinliğini belirtmektedir. Kalınçam yöresi volkanitleri benzer $^{87}Sr/^{86}Sr$ içeriği ve hafifçe farklı ϵNd değerlerine sahiptirler. Dolayısıyla, incelenen volkanik formasyonlardaki kayaların bazik-ortaç-dasidik karakterde olması hem yitimden etkilenmiş manto hem de kabuk kaynakları olmasının olası olduğunu göstermektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Araştırma Fonu (GÜBAP) tarafından 13.F5114.02.5 nolu proje ile desteklenmiştir. Yazar, makaleye yapıcı katkılarda bulunan hakeme teşekkür eder. Ayrıca, arazi çalışmaları sırasında yardımlarından dolayı Meltem YILMAZ ve Nazire YILMAZ'a, katkılarından dolayı Abdullah KAYGUSUZ'a teşekkür eder.

7. Kaynaklar

- Ağar, Ü., 1977. Demirözü (Bayburt) ve Köse (Kelkit) bölgesinin jeolojisi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi, İstanbul.
- Akaryalı, E., 2016, Geochemical, fluid inclusion and isotopic (O, H and S) constraints on the origin of Pb-Zn±Au vein-type mineralizations in the Eastern Pontides Orogenic Belt (NE Turkey), *Ore Geology Reviews*, 74, 1–14.
- Altun, Y., 1972. Çayeli-Madenköy Bakır-Çinko yatağının jeolojisi ve

- cevherleşmeye ilişkin sorunlar, MTA Dergisi, 89, 10-24.
- Arslan, M., Tüysüz, N., Korkmaz, S. ve Kurt, H., 1997. Geochemistry and petrogenesis of the eastern pontide volcanic rocks, Northeast Turkey, *Chemie der Erde/Geochemistry*, 57, 157-187.
- 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*, 108 (2), 245-267.
- 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 Sci.*, 27, 177–193.
- Aslan, Z., 2005. Petrography and Petrology of the Calc-Alkaline Sarıhan Granitoid (NE Turkey): An Example of Magma Mingling and Mixing, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 14, 2005, 185-207.
- 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., Şen, C., 2013. Petrogenesis of the post-collisional volcanic rocks from the Borçka (Artvin) area: implications for the evolution of the Eocene magmatism in the Eastern (NE Turkey). *Lithos*, 172, 98–117.
- Aydın, F., Karlı, O., Chen, B., 2008. Petrogenesis of the Neogene alkaline volcanics with implications for post collisional lithospheric thinning of the Eastern Pontides, NE Turkey. *Lithos*, 104, 249–266.
- Barrett, T.J., Cattalani, S. ve MacLean, W.H., 1993. Volcanic lithochemistry and alteration at the delbridge massive sulphide deposits, Noranda Quebec, *Journal of Geochemical Exploration*, 48, 135-173.
- Barrett, T.J. ve MacLean, W.H., 1994. Mass changes in hydrothermal alteration zones associated with VMS deposits in the Noranda area, *Exploration and Mining Geology*, 3, 131-160.
- Barrett, T.J. ve MacLean, W.H., 1991. Chemical, Mass, and Oxygen Isotope Changes During Extreme Hydrothermal Alteration of an Archean Rhyolite, Noranda, Quebec, *Economic Geology*, 86, 406-414.
- Barrett, T.J. ve MacLean, W.H., 1999. Volcanic sequences, lithochemistry and hydrothermal alteration in some bimodal volcanic-associated massive sulfide systems, volcanic-associated massive sulfide systems: Processes and examples in modern and ancient settings. Eds: Barrie, C.T., Hannington, M.D. 8, 101-131, *Reviews in Economic Geology*.
- Beard, J.S., 1995. Experimental, geological, and geochemical constraints on the origins of low-K silicic magmas in oceanic arcs, *Journal of Geophysical Research*, 100, 15593–15600.
- Bektaş, O., 1984. Pontidlerde Üst Kretase yaşlı şoşonitik volkanizma ve jeotektonik önemi, *KTÜ_Yer Bilimleri Dergisi*, 3, 1-2, 53-62.
- Bektaş, O., 1986. Paleostress trajectories and polyphase rifting in arc-backarc of eastern pontides, *MTA Bulletin*, 103-104, 1-15.
- Briggs, R.M. ve McDonough, W.F., 1990. Contemporaneous convergent margin and intraplate magmatism, North Island, New Zeland, *Journal of Petrology*, 3, 14, 813-851.
- Buket, E. ve Temel, A., 1998. Major-element, trace-element, and Sr–Nd isotopic geochemistry and genesis of Varto (Muş) volcanic rocks, Eastern Turkey,

- Journal of Volcanology and Geothermal Research, 85, 405–422.
- Bulut, F., 1989. Çambaşı (Çaykara-Trabzon) barajı ve hidroelektrik santral yerlerinin mühendislik jeolojisi açısından incelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Buser, S. ve Cvetic, S., 1973. Geology of the environs from the Murgul copper deposits, Turkey, MTA Bulletin, 81, 22-45.
- Condie, K.C., 1993. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales, Chemical Geology, 104, 1-37.
- Çoğulu, E., 1975. Gümüşhane ve Rize granitik plütonlarının mukayeseli petrojeolojik ve jeokronometrik etüdü, Doçentlik Tezi, İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul.
- Deniel, C., Aydar, E. ve Gourgaud, A., 1998. The Hasan Dagi stratovolcano (Central Anatolia, Turkey): evolution from calcalkaline to alkaline magmatism in a collision zone, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 87, 275–302.
- DePaolo, D.J. ve Wasserburg, G.J., 1979. Petrogenetic mixing models and Nd–Sr isotopic pattern, Geochimica Cosmochimica Acta, 43, 615–627.
- Drummond, M.S. ve Defand, M.J., 1990. A model for trondjemite-tonalite-dacite gen-esis and crustal growth via slab melting: archean to modern comparison, Journal Geophysical Research 95, 21503–21521.
- Faure, G. ve Mensing, T.M., 2005. Isotopes: Principles and Applications, 3rd ed. John Wiley and Sons, USA, 897p.
- Gedikoğlu, A., 1970. Etude Geologique De La Region De Gölköy (Province D’Ordu- Turquie), Phd Thesis, Faculte Des Sciences DE l’Universite De Grenoble.
- Gedikoğlu, A., 1978. Harşit granit karmaşığı ve çevre kayaları. (Doçentlik Tezi), KTÜ Yer Bilimleri Fakültesi, Trabzon.
- George, R., Turner, S., Hawkesworth, C., Nye, C., Bacon, C., Stelling, P. ve Dreher, S., 2004. Chemical versus temporal controls on the evolution of tholeiitic and calc-alkaline magmas at two volcanoes in the Aleutian arc, Journal of Petrology, 45, 203-219.
- Gülibrahimoğlu, İ., Nalbantoğlu, A.K., Saraloğlu, A., Doksanbir, T., Yağcı, A. ve Kırıcı, M., 1984. Trabzon-Maçka güneyi yöresinin jeoloji raporu, MTA Rapor No: JD-383, Trabzon.
- Güven, İ.H., 1993. Doğu pontidlerin 1/250.000 ölçekli kompilasyonu, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Hawkesworth, C.J., Turner, S.P., Mcdermott, F., Peate, D.W. ve Van Calsteren, P., 1997. U-Th isotopes in arc magmas: implications for element transfer from the subducted crust, Science, 276, 551–555.
- Innocenti, F., Mazzuoli, C., Pasquare, G., Serri, G. ve Villari L., 1980. Geology of the volcanic area North of Lake Van, Turkey, Geologische Rundschau, 69, 292-322.
- Irvine, T.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.
- Karlı, O., Dokuz, A., Uysal, İ., Aydın, F., Kandemir, R. ve Wijbrans, J., 2009. Generation of the Early Cenozoic adakit volcanism by partial melting of mafic lower crust, Eastern Turkey: Implications for crustal thickening to delamination. Lithos, doi: 10.1016/J.Lithos.2009.08.003.
- Kaygusuz, A. ve Aydınçakır, E., 2011. Petrogenesis of a Late Cretaceous composite pluton from the eastern Pontides: the Dağbaşı pluton, NE Turkey, Neues Jahrbuch für

- Mineralogie (Abhandlungen), 188, 211–233.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., İlbeyli, N. ve Sipahi, F., 2012a. Doğu pontid kuzey zonu ve kuzey-güney zon geçişinde yüzeylenen Kretase-Paleosen yaşlı granitoidik sokulumların petrokimyası, Sr-Nd-Pb-O izotop jeokimyası, jeokronolojisi ve jeodinamik gelişimi. Tübitak Projesi Raporu, No: 109Y052.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel, W., Sipahi, F. ve İlbeyli, N., 2012b. Geochronological evidence and tectonic significance of carboniferous magmatism in the southwest Trabzon area, eastern pontides, Turkey, *International Geology Review*, 54,15, 1776–1800.
- Kaygusuz, A., Arslan, M. ve Sipahi, F., 2012c. Doğu Pontid Kuzey Zonu'nda yüzeylenen Paleozoyik yaşlı granitlerin U-Pb zirkon yaşlandırması, Sr-Nd-Pb-O izotop sistematiği ve jeodinamik evrimi, Tübitak Projesi Raporu, No: 112Y015.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel, W., Sipahi, F., İlbeyli, N. ve Temizel, İ., 2014. LA-ICP MS zircon dating and whole-rock Sr-Nd-Pb-O isotope geochemistry of the Camiboğazı pluton, Eastern Pontides, NE Turkey: Petrogenesis and tectonic implications of arc-related I-type magmatism, *Lithos*, 192-195, 271-290.
- Kaygusuz, A., Chen, B., Arslan, Z., Wolfgang, S. ve Şen, C., 2009. U–Pb zircon SHRIMP ages, geochemical and Sr–Nd isotopic compositions of the Early Cretaceous I type Sariosman pluton, eastern Pontides, NE Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 18, 549–581.
- 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 Earth Sciences*, 97, 739–764.
- Kaygusuz, A., Sipahi, F., İlbeyli, 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.
- Keskin, M., Pearce, J.A., Kempton, P.D. ve Greenwood, P., 2006. Magma-crust interactions and magma plumbing in a postcollisional setting: geochemical evidence from the Erzurum-Kars volcanic plateau, eastern Turkey. In: Dilek, Y., Pavlides, S. (Eds.), *Postcollisional Tectonics and Magmatism in the Mediterranean Region and Asia*, Geological Society of America Special Paper, 409, 475–505.
- Kurt, H., Asan, K. ve Ruffet, G., 2008. The relationship between collision-related calc-alkaline, and within-plate alkaline volcanism in the Karacadağ area (Konya-Türkiye, central Anatolia), *Chemie der Erde*, 68, 155–176.
- Lambert, R.S.J. ve Holland, J.G., 1974. Yttrium Geochemistry Applied to Petrogenesis Utilizing Calcium-Yttrium Relationships in Minerals and Rocks, *Geochimica Cosmochimica Acta*, 38, 1393–1414.
- McCulloch, M.T., Kyser, T.K., Woodhead, J.D. ve Kinsley, L., 1994. Pb–Sr–Nd–O isotopic constraints on the origin of rhyolites from the Taupo volcanic zone of New Zealand: evidence for assimilation followed by fractionation from basalt, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 115, 303–312.
- 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.

- MTA ve JICA., 1977. Report on Geological Survey of Trabzon Area, Northeastern Turkey. MTA Raporu, No:190, Ankara.
- Özkan, İ. ve Yazıcı, E.N., 2000. AR:69849 Nolu Trabzon-Tonya-Kalıncam Yöresindeki Ruhsat Sahasına ait 2. Dönem Raporu. MTA, Ankara.
- Özsayar, T., 1971. Paläontologie Und Geologie Des Gebietes Östlich Trabzon (Anatolien), Gieben, Geology Schrift., 165-183, Gieben.
- Özsayar, T., Pelin, S. ve Gedikoğlu, A., 1981. Doğu pontidlerde Kretase, KTÜ Yer Bilimleri Dergisi, 2, 65-114.
- Pearce, J.A., Baker, P.E., Harvey, P.K. ve Luff, I.A., 1995. Geochemical evidence for subduction fluxes, mantle melting and fractional crystallization beneath the South Sandwich Island Arc, Journal of Petrology, 36, 1073– 1109.
- Pearce, J.A. ve Norry, M.L., 1979. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y, and Nb variations in volcanic rocks, Contributions to Mineralogy and Petrology, 69, 33-47.
- Pejatoviç, S., 1979. Metallogeny of the pontid-type massive sulphide deposits, mineral geochemistry of massive sulphide-associated hydrothermal sediments of the Brunswick horizon, bathurst mining camp, New Brunswick, Canadian Journal of Earth Sciences, 33, 252-283.
- Ross, P.-S. ve Bédard, J.H., 2009. Magmatic affinity of modern and ancient subalkaline volcanic rocks determined from trace-element discriminant diagrams, Canadian Journal of Earth Sciences, 46, 11, 823-839.
- Saydam Eker, Ç., 2012. Petrography and Geochemistry of Eocene sandstones from eastern Pontides (NE TURKEY): Implications for source area weathering, provenance and tectonic setting, Geochemistry International, 50, 683-701.
- Schneider, H.J., Özgür N. ve Palacios, C.M., 1988. Relationship between alteration, rare earth element distribution and mineralisation of the Murgul copper deposit, northern Turkey, Economic Geology, 83, 1238–1246.
- Schultz-Wetsrum, H.H., 1961. Kuzeydoğu Anadolu Doğu pontid mineral bölgesinin jeolojisi ve maden yatakları ile ilgili mütaalalar. MTA Dergisi, 57, 63-71.
- Singer, B.S., Myers, J.D. ve Frost, C.D., 1992. Mid-Pleistocene lavaş from the Segum volcanic center, central Aleutian Arc: closed system fractional crystallization of a basalt to rhyodacite eruptive süite, Contributions to Mineralogy and Petrology, 110, 87– 112.
- Sipahi, F., 2005. Zigana dağı (Torul-Gümüşhane) volkanitlerindeki hidrotermal ayrışmaların mineraloji ve jeokimyası, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Sipahi, F., 2011. Formation of skarns at Gümüşhane (Northeastern Turkey). Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen, 188, 169-190.
- Sipahi, F. ve Sadıklar, M.B., 2014. Geochemistry of dacitic volcanics in the eastern pontides (NE Turkey), Geochemistry International, 4, 329-349.
- Sipahi, F., Sadıklar, M.B. ve Şen, C., 2014. The Geochemical and Sr-Nd isotopic Characteristics of Murgul (Artvin) Volcanics in the Eastern Black Sea Region (NE Turkey), Chemie der Erde/Geochemistry, 74, 331-342.
- Sun, S. ve McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalt, implications for mantle composition and processes, magmatism in the oceanbasins. Eds: Saunders, A.D. ve Norry, M.J., 42, 313-345, Geological Society of London, Special Publication.
- Şarman, E., 1975. İsrail ve Eseli güneyindeki G41-b1, b2, b3, b4, G42-a1, a4

- paftalarına ait sahanın 1/10000 ölçekli jeolojik etüt raporu, MTA Maden Etüd Rapor No:1259, Ankara.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach, *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Taylor, S.R. ve McLennan, S.M., 1981. The composition and evolution of the continental crust: rare earth element evidence from sedimentary rocks, *Philosophical Transactions of the Royal Society*, A301, 381-399.
- Taylor, S.R. ve McLennan, S.M., 1985. The continental crust, its composition and evolution. Blackwell, Oxford, 312s.
- Temel, A., Gündoğdu, M.N., Gourgaud, A. ve Le Pennec, J.L., 1998. Ignimbrites of Cappadocia (Central Anatolia, Turkey): Petrology and geochemistry, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 447-471.
- Temizel, I., 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.
- Temizel, I., Arslan, M., Abdioğlu, E. ve Yücel, C., 2014. Mineral chemistry and thermobarometry of the Eocene monzogabbroic stocks from the Bafra (Samsun) area in Turkey: implications for disequilibrium crystallization and emplacement condition. *International Geology Review* 56 (10), 1226-1245.
- Thirlwall, M.F., Graham, A.M., Arculus, R.J., Harmon, R.S. ve Macpherson, C.G., 1996. Resolution of the effects of crustal assimilation, sediment subduction, and fluid transport in island arc magmas: Pb-Sr-Nd-O isotope geochemistry of Grenada, Lesser Antilles, *Geochimica Cosmochimica Acta* 60, 4785-4810.
- Thompson, R.N., Morrison, M.A., Hendry, G.L. ve Parry, S.J., 1984. An assessment of the relative roles of crust and mantle in magma genesis: an elemental approach, *Philos. Trans. Royal Society London* A310, 549-590.
- Tokel, S., 1977. Doğu Karadeniz bölgesinde Eosen yaşlı kalkalkalen andezitler ve jeotektonizma, *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 20, 49-54.
- Tokel, S., 1972. Stratigraphical and Volcanic History of the Gümüşhane Region, Doktora Tezi, University College, London.
- Van, A., 1990. Pontid kusağında Artvin bölgesinin jeokimyası, petrojenezi ve masif sülfat mineralizasyonları, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Varol, E., Temel, A., Gourgaud, A. ve Bellon, H., 2007. Early Miocene 'adakite-like' volcanism in the Balkuyumcu region, central Anatolia, Turkey: petrology and geochemistry, *Journal of Asian Earth Sciences*, 30, 613-628.
- White, W.M. ve Patchett, J., 1984. Hf-Nd-Sr isotopes and incompatible element abundances in island arcs: implications for magma origins and crust-mantle evolution, *Earth Planet Science Letters*, 67, 167-185.
- 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.
- Yalçın, H., Gündoğdu, M.N., Gourgaud, A., Vidal, P. ve Uçurum, A., 1998. Geochemical characteristics of Yamadağı volcanics in central east Anatolia: an example from collision-zone volcanism, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 303-326.

- Yalçınlar, İ., 1952. İspir-Pazar-Arhavi ve Yusufeli arasındaki bölgenin jeolojisi, MTA Rapor No: 2022, Ankara.
- Yılmaz, Y., 1976. Geochemical study of the Gümüşhane granite, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Mecmua Seri B, 39, 3-4, 173-203.
- 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. Mineral. Petrol., 108, 439–467.
- Zankl, H., 1961. Magmatismus und Bauplan des Ostpontischen Gebirges im Querprofil des Harsit-Tales, NE Anatolien, Geologische Rundschau, 51, 218-239.
- Zankl, H., 1962. Magmatismus und Bauplan des Ostpontischen Gebirges im Querprofil des Harsit-Tales, Bayerische Akademie der Wissenschaften, Abhandlungen, Neue Folge, München, Heft, 109, 61-91.