

Taşlyayla (Çaykara, Trabzon, KD Türkiye) Civarı Geç Kretase Yaşlı Kalk-alkali Volkanik Kayaçların Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri

Emre AYDINÇAKIR*

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

Geliş tarihi/Received 16.11.2016

Düzeltilerek geliş tarihi/Received in revised form 13.01.2017

Kabul tarihi/Accepted 15.01.2017

Öz

Sakarya Zonu'nun kuzeydoğusunda yer alan Doğu Pontidler'de Geç Kretase volkanik ve plütonik faaliyetin en yoğun olduğu dönemdir. Bu dönemde, asidik ve bazik volkanik evrelerde oluşan volkanik ve volkano-klastik kayaçlar kalın istif oluşturmuşlardır. Bu çalışmada, Çaykara (Trabzon) İntrüzif Kompleksine ait plütonik kayaçların kesmiş olduğu, Geç Kretase yaşlı Taşlyayla volkanik kayaçlardan elde edilen ilk veriler sunulmuştur. İncelenen volkanik kayaçlar hem Geç Kretase hem de Eosen yaşlı plütonik kayaçlar tarafından kesilmiş, yer yer alterasyona uğratılmıştır. El örneklerinde sarımsı-yeşilimsi-siyahımsı renkli, afanitik dokuludurlar. Mikroskop altında mikrolitik porfirik (plajiyoklas porfirleri içeren) ve entersertal doku gösterirler. Yarı öz ve öz şekilli plajiyoklas minerallerinin An oranları 35-55 arasında değişmektedir. Kimyasal analiz sonuçlarından, bu kayaçların bazalt-bazaltik andezit-andezit-dasit bileşimde olduklarını, Mg# 30-65 arasında değiştiği göstermektedir. İksel mantoya göre normalleştirilmiş iz element diyagramlarında negatif Nb, P, Ti anomalileri ile pozitif Pb anomalisi gözlenmekte olup, büyük iyon çaplı elementler (LILE) yüksek çekim alanlı elementlere (HFSE) göre daha fazla zenginleşmiştir. Kondirite göre normalleştirilmiş nadir toprak element (REE) değişim diyagramlarında (La/Lu)_N oranı 4-15 arasında olup, bazı örnekler hafif pozitif anomalisi gösterirken bazı örnekler negatif Eu anomalisi göstermektedir. Örnekler tektonik ayırtman diyagramlarına düşürüldüğünde ada yayı bazaltlarını temsil eden alanda yer alırlar. Volkanitlerin gelişiminde fraksiyonel kristallenme, magma karışımı±kontaminasyon ve asimilasyon olayları etkili olmuştur. Tüm veriler dikkate alındığında, incelenen Geç Kretase volkanitlerin kaynağının yitim sonucu metasomatizmaya uğramış zenginleşmiş litosferik manto olabileceğini gösterir.

Anahtar kelimeler: Çaykara, Doğu Pontidler, Geç Kretase, Jeokimya, Taşlyayla volkanitleri

Petrographical and Geochemical Features of Late Cretaceous Calc-alkaline Volcanics Around Taşlyayla (Çaykara, Trabzon, NE Turkey)

Abstract

Late Cretaceous era is characterized by densely volcanic and granitic activities in the Eastern Pontides that is northeast part of the Sakarya Zone. In this era, thick pile of volcanic-volano-clastic rocks occurred during the activities of acidic and basic volcanic cycles. In this study, preliminary geochemical results of Late Cretaceous aged volcanic rocks that were cut by the plutons of Çaykara

* Emre AYDINÇAKIR, aydincakir61@gmail.com, Tel: (0456) 233 10 00-1706

Intrusive Complex (Trabzon) are presented. Investigated rocks are cut by both Late Cretaceous and Eocene aged plutonic rocks; therefore, they are altered in some of the locations. They are yellowish- greenish-blackish in hand specimens and show aphanitic textures. They show microlithic porphyritic (including plagioclase porphyries) and intersertal textures under microscope. Euhedral and subhedral plagioclase crystals are anorthite 35 to 55 in composition. From the results of chemical analysis, the volcanic rocks are basalt, basaltic andesite, andesite and dacite in composition and their Mg# is ranging 30 to 65. In the primitive mantle normalized trace element diagram, the samples display negative Nb, P and Ti and positive Pb anomalies. In general, large ion lithophile (LIL) elements enriched compared to the high field strength (HFSE) elements in the same diagram. In chondrite normalized rare earth elements diagram, (La/Lu)_N ratios are ranging from 4 to 15. While some samples are shown slightly negative Eu anomaly, some others show slightly positive anomaly. When the samples are plotted in tectonic discrimination diagrams, they fall in island arc volcanic fields. The main solidification processes involved in the evolution of the volcanics consist of fractional crystallization, crustal contamination ± magma mixing. In the light of all evidence supports the conclusion that the parental magma(s) of the Late Cretaceous volcanics probably derived from an enriched lithospheric mantle, previously metasomatized by subduction.

Keywords: *Çaykara, Eastern Pontide, Late Cretaceous, Geochemistry, Taşlıyayla volcanics*

1. Giriş

Doğu Karadeniz Bölgesi'nde Alpin Metalojen Kuşağı içinde yer alan Doğu Pontidler, Jura, Kretase ve Eosen'deki orojenik aktiviteler sonucu gelişmiş magmatik kayalardan oluşmaktadır (Adamia vd., 1977; Eğin vd., 1979; Şengör ve Yılmaz, 1981; Kazmin vd., 1986; Korkmaz vd., 1995; Çamur vd., 1996; Arslan vd., 1997). Alpin-Himalaya orojenik kuşağında yer alan Pontidler'in jeolojik evrimi, Geç Kretase döneminde Neo-Tetis Okyanusu'nun kuzeye yitimine bağlı olarak oluşan bir yay ortamını yansıtmaktadır (Şengör ve Yılmaz, 1981; Okay ve Şahintürk, 1997; Okay ve Tüysüz, 1999; Aydınçakır, 2016). Pontid yayı kuzeyde Sakarya ve güneyde Anatolid-Torid ya da Kırşehir bloklarının en erken Paleosen'de çarpışmasıyla sonlanmış ve İzmir-Ankara-Erzincan Kenet Kuşağı oluşmuştur (Okay ve Tüysüz, 1999; Şekil 1a). Pontid yayının Karadeniz kıyısı boyunca kalkalkalen andezitik tipte volkanitler, bunlarla ilişkili piroklastik, epiklastik birimler ve çoğunlukla granitik intrüzyonlar ile temsil edilirken (Arslan vd., 1997; Aydınçakır, 2006; Kaygusuz ve Şen, 2011; Aydınçakır ve Kaygusuz, 2012; 2013, 2014; Boztuğ vd., 2006; Kaygusuz ve Aydınçakır, 2009; 2011; Aydın, 2014; Aydınçakır, 2016) nispeten daha güneyde alkali potasik kayalar gözlenmekte-

dir (Bektaş ve Gedik, 1988; Alther vd., 2008; Eyüboğlu, 2010; Gülmez ve Genç, 2015; Aydınçakır, 2016). Doğu Pontidler, Özsayar vd. (1981)'ne göre, yaklaşık olarak Ardanuç-İspir-Kemaliye-Reşadiye sınırı ile kuzey ve güney olmak üzere iki zona ayrılmaktadır. Pontidlerde Üst Kretase'de belirgin farklılıklar olup, kuzey zonda volkanik kayaların, güney zonda tortul kayalar yaygın birimler olarak gözlenmektedirler (Güven, 1993). Ayrıca, Doğu Karadeniz'deki önemli masif sülfid yataklarının Geç Kretase yaşlı dasit-riyodasit ve bunların piroklastikleri ile ilişkili olması, bölgede yapılan çalışmaların daha çok maden yatakları ağırlıklı olmasına neden olmuştur.

Geç Kretase yaşlı kayaç birliklerini jeokimyasal özellikleri ve petrolojik açıdan yorumlamaya yönelik, bu zamana kadar birçok çalışma yapılmıştır (Eğin vd., 1979; Manetti vd., 1983; Akıncı vd., 1991; Tokel, 1995; Çamur vd., 1996; Bektaş vd., 1999; Arslan vd., 1997; Yılmaz vd. 2001; Aydın vd., 2003; Karlı vd., 2004; Boztuğ vd., 2006; Kaygusuz ve Aydınçakır, 2009; Karlı vd., 2010; 2012; Eyüboğlu, 2010; Aydın, 2014; Eyuboglu vd., 2014;). Buna rağmen bu kayaların oluşum zamanları, kökenleri ve tektonik ortamları konusunda bir görüş

birliğin olmaması, bu kayaçların halen tartışmaya açık olduğunu göstermektedir. Pontid yayı boyunca özellikle sahil şeridine paralel uzanan Geç Kretase yaşlı volkanosedimanter kayaç serilerinin bölgedeki gelişimleri daha önce bazı araştırmacılar tarafından çalışılmıştır; Schultze-Westrum (1961) ve Zankl (1961) Pontidlerin özellikle kuzey kesiminde yer alan Geç Kretase kayaçlarının, (i) tortul ara katkılı alt bazik seri, (ii) dasitik seri ve (iii) tortul ara katkılı üst bazik seri şeklinde üç gruba ayrıldığını belirtmişlerdir. Ketin (1966) söz konusu bölgedeki Geç Kretase döneminin litostratigrafik özellikler bakımından kuzey ve güney zon olarak ikiye ayrılabilirliğini; kuzey zonun magmatik aktiviteler açısından yoğun bir bölge olduğunu buna karşın, güney zonun ise tortul çökeller bakımından baskın olduğunu belirtmiştir. Eğin vd. (1979), özellikle Harşit Vadisi boyunca yüzeyleyen Geç Kretase volkanitlerinin genellikle toleyitik karakterde olduğunu belirtmişken, Manetti vd. (1983) söz konusu volkanitlerin Geç Kretase’de kalk-alkali ve alkali-şoşonitik bir özelliğe sahip olduklarını ifade etmiştir. Akıncı vd. (1991), Geç Kretase volkanitlerinin hidrotermal metamorfizmadan etkilenmiş ada yayı toleyitleri olduklarını ve üst mantodan türeyen magmalardan itibaren oluştuklarını ifade etmişlerdir. Çamur vd. (1996), bölgedeki Geç Kretase volkanitlerini; (I) Üst Kretase Alt Volkanik Devri ve (II) Üst Kretase Üst Volkanik Devri olmak üzere iki ana volkanik devire ayırmış, bunların sırasıyla toleyitik ve kalk-alkali özellikte olduklarını ve zenginleşmiş okyanus ortası bazaltlarına benzer bir magmadan itibaren türediklerini ifade etmişlerdir. Altherr vd. (2008) Pontidlerin güney zonunda sınırlı bir alanda yüzeyleyen Maastrihtiyen-Geç Paleosen yaşlı plajiyolösitleri Neotetis yitiminin son evresinin ürünleri olarak yorumlamışlardır. Başer (2016), Artvin-Borçka çevresinde yer alan Geç Kretase yaşlı volkanitleri kökenlerini ve yaşlarını belirlemeye yönelik yaptıkları çalışmayla, Çatak ve Kızılkaya formasyonlarına ait iki adet felsik kayaçtan elde edilen U-Pb zirkon yaşları (sırasıyla 86.5 ± 1 ve 83.5 ± 1.2 My) elde etmiştir. Çalıştığı kayaçların Sr-Nd-Pb izotopik bileşimlerinin, hem kendi içinde hem de

bölgedeki aynı yaşlı ve yitim ilişkili I tip kalk alkali granitoidlerle önemli farklılıklar gösterdiklerini ortaya koymuştur. Mafik kayaçlar için, tüketilmiş ve sonrasında metazomatizmaya uğramış bir manto, felsik kayaçlar için ise asimilasyon ve fraksiyonel kristallenme sürecine maruz kalmış manto ve/veya alt kabuk-ilişkili mafik-ortaç ergiyikler kaynak olarak düşünülmüştür. Pontidlerin kuzeyindeki Geç Kretase yaşlı granitoidik ve subvolkanik kayaçların kökeni ve tektonik ortamı üzerine yapılan çalışmalar, bunların çoğunlukla mafik magmatik anklav içerdiklerini, genellikle I-tipinde (Harşit, Zigana, Maçka, Torul, İkizdere, Kaçkarlar) (Yılmaz-Şahin, 2005; Boztuğ vd., 2006; 2007; Kaygusuz ve Aydınçakır, 2009; Karslı vd. 2010; Aydın, 2014), bazen de A-tipinde (Pirnalli Plütönu; Karslı vd. 2012) kalk-alkali bir özellik sunduklarını ve muhtemelen alt kabuk ve mantodan türeyen kimyasal olarak farklı bileşimdeki eş yaşlı mafik ve felsik magmaların karışımları sonucunda oluştuklarını ortaya koymuştur.

Bu çalışmanın amacı, Doğu Pontid Tektonik Kuşağı'nın doğusunda yer alan Taşlıyayla (Çaykara/Trabzon) civarında Geç Kretase yaşlı volkanik kayaçların petrografik ve jeokimyasal özelliklerini incelemektir.

2. Genel Jeoloji

İnceleme alanı ilk kez Ketin (1966) tarafından sınırlandırılan ve coğrafik olarak Türkiye'nin Karadeniz Bölgesi'ne karşılık gelen "Pontid Tektonik Birliği"nin Doğu kesimini oluşturan ve "Doğu Pontid Orojenik Kuşağı" olarak isimlendirilen birlik içinde yer alır. "Doğu Pontid Orojenik Kuşağı"nın jeodinamik gelişimi sistematik jeolojik, jeokimyasal ve jeokronolojik verilerin eksikliği nedeni ile halen tartışmalıdır. Genel olarak bölgenin jeodinamik gelişimi ile ilgili üç farklı görüş vardır: 1. Bölgenin Paleozoyik'ten Eosen'e kadar devam eden süreçte kuşağın güneyinde yer alan okyanusal litosferin kuzeye doğru yitimi ile şekillendiği (Adamia vd., 1977 ve 1981; Tokel 1981; Ustaömer ve Robertson 1996; Rice vd., 2009; Dilek vd., 2010), 2. Bölgenin Paleozoyik'ten Dogger'e kadar

kuşağın kuzeyinde yer alan Paleotetis okyanus litosferinin güneye doğru yitimi ve Dogger'den sonra da güneyde açılmış olan Neotetis okyanusunun da kuzeye doğru yitimi ve Paleosen'de gerçekleşen çarpışma safhası ile şekillendiği (Şengör ve Yılmaz, 1981; Karlı vd., 2010; Karlı vd., 2012; Dokuz vd., 2013), 3. Bölgenin, kuşağın kuzeyinde yer alan Paleotetis okyanus litosferinin Paleozoyik'ten Eosen'e kadar güney yönlü yitimi ile şekillendiğidir (Bektaş vd., 1999; Eyüboğlu vd., 2007, 2011a, 2011b; Eyüboğlu 2010).

Alp-Himalaya kuşağındaki kritik alanlardan biri olan Doğu Pontid Orojenik Kuşağı'nın en yaşlı kayaçları Güney Zon'da yüzeyleme veren Pulur (Topuz vd., 2004a, b, 2007), Ağvanis (Okay, 1984) ve Tokat metamorfik masifleri (Alp, 1972; Özcan vd., 1980; Tüysüz 1996; Yılmaz vd., 1997; Eyüboğlu, 2006), Kurtoğlu (Gümüşhane, Topuz vd., 2007, 2010), Karadağ (Yusufeli, Dokuz, 2000; Dokuz ve Tanyolu, 2006; Ustaömer ve Robertson, 2010), Kopuzsuyu (Bayburt) metamorfikleri, Gümüşhane ve Köse Granitoidleri (Çoğulu, 1975; Topuz vd., 2010; Dokuz, 2011) ile temsil edilmektedir (Şekil 1b). Ayrıca, metamorfizma yaşları tam olarak bilinmemekle birlikte Kuzey Zon'da Dereli (Giresun) ve Çaykara (Trabzon) yörelerinde yüzeyleme veren metamorfik kayaçlarında bölgenin taban kayaçlarını temsil ettiği görüşü yaygındır (Schultze-Westrum, 1961; Zankl, 1962; Boynukalın, 1990). Ayrıca, küçük mostralarda halinde Tonya güneyinde Derinoba ve Kayadibi granitleri (Kaygusuz vd., 2012), Özdil yöresinde Özdil Granitoidi ve Maçka yöresinde Soğuksu ve Seslikaya granitleri (Kaygusuz vd., 2016) ile temsil edilirler. Doğu Pontid Orojenik Kuşağı'nda Triyas dönemini temsil eden kayaçların varlığı tartışmalıdır. Bayburt Demirözü yöresinde metamorfik kayaçlar üzerine gelen ve kırıntılı kayaçlardan oluşan istifin (Karakaya Formasyonu) Triyas yaşlı olabileceği birçok araştırmacı tarafından ileri sürülmüştür (Ağar, 1977; Yılmaz vd., 1997b; Topuz vd., 2004a). Ayrıca Benzer olarak Amasya yöresinde Tokat masifini oluşturan metamorfik kayaçlar üzerine gelen ve çok düşük dereceli metamorfizma izleri taşıyan

kırıntılı kayaçlardan oluşan Karasenir Formasyonu'nun Triyas yaşlı olduğu ileri sürülmüş (Alp, 1972) ancak bu kayaçların otokton mu yoksa allohton mu olduklarına dair tartışmalar bir sonuca bağlanamamıştır. Her iki formasyon için paleontolojik bulguların olmayışı nedeni ile bölgede Triyas'ın varlığı ile net bir bilgiye ulaşılamamıştır. Ancak, son yıllarda Eyüboğlu vd. (2010) tarafından yapılan çalışmalarda Pulur ve Tokat metamorfik masiflerini kesen ultramafik ve mafik intrüzyonlardan Ar/Ar ve U-Pb yaşlandırma metodları ile Geç Triyas yaşı (191 ± 5 ile 212 ± 4 My arasında) elde edilmiş ve daha önce okyanusal kabuğa ait olduğu düşünülen bu kayaçların aslında yaklaşan plaka kenarlarında gelişen yüksek alüminyumca zengin yitim ilişkili magmaların ürünleri olan Alaskan-tip intrüzyonlar olduğu ortaya konulmuştur. Doğu Pontid Orojenik Kuşağı'nda Paleozoyik ve Triyas yaşlı kayaçlar Erken-Orta Jura yaşlı volkano-tortul istif tarafından uyumsuz olarak örtülür. Kuşağın Kuzey Zonu'nda Jura yaşlı sedimanter oluşuklara seyrek rastlanılmakta (Giresun, Dereli) olup, birim genellikle volkanik kayaçlar ile temsil edilmektedir (Boynukalın, 1990; Eyüboğlu vd., 2006; Şen 2007). Doğu Pontid Orojenik Kuşağı'nın Güney Zonu'nda Kuzey Zon'dan farklı olarak Erken-Orta Jura dönemi sedimanter ağırlıklı bir istif ile temsil edilir ve daha geniş alanlarda yüzeyleme verir. Değişik araştırmacılar tarafından farklı adlarla isimlendirilen bu birim, birbirleriyle yanal geçiş gösteren ve kısa mesafelerde kalınlık farkları sunan rift ilişkili birimleri içerir (Karatepe Formasyonu, Seymen, 1975; Temeyaylası Formasyonu, Yüksel, 1976; Hacıören Formasyonu, Pelin, 1977; Hamurkesen Formasyonu, Ağar, 1977; Zimonköy Formasyonu, Eren, 1983; Şenköy Formasyonu, Kandemir, 2004). Geç Jura-Erken Kretase dönemi Doğu Pontid Orojenik Kuşağı'nın tamamında tektonik ve magmatik açıdan duraylılık dönemine karşılık gelmekte olup, tüm bölgede karbonat çökelişi egemendir. İlk kez Pelin (1977) tarafından Alucra (Giresun) yöresinde tipik yüzeylemesini verdiği Berdiga Dağları'na atfen Berdiga Formasyonu olarak

isimlendirilmiş olan bu birim, Kuzey Zon'da genellikle masif tabakalanmalı, gri-bej renkli, yanal devamlılığı olmayan kireçtaşları ile temsil edilir (Taslı, 1984). Bazı kesimlerde ise (Kürtün-Gümüşhane, Doğankent-Giresun) Geç Kretase volkanitleri içinde bloklar şeklinde izlenirler (Eyüboğlu vd., 2006). Magmatik yaygın güney kesiminde ise "Berdiga Formasyonu" genel olarak gri-bej renkli, kalın, yer yer masif katmanlı, çok zengin bentik foraminifer fosilleri içeren, taban seviyeleri yer yer dolomitlerden üst seviyeleri ise çört yumru ve bantlı kireçtaşlarından oluşan, sığ denizel bir istif özelliği sunar (Taslı, 1990; Kırmacı, 1992; Yılmaz, 2002).

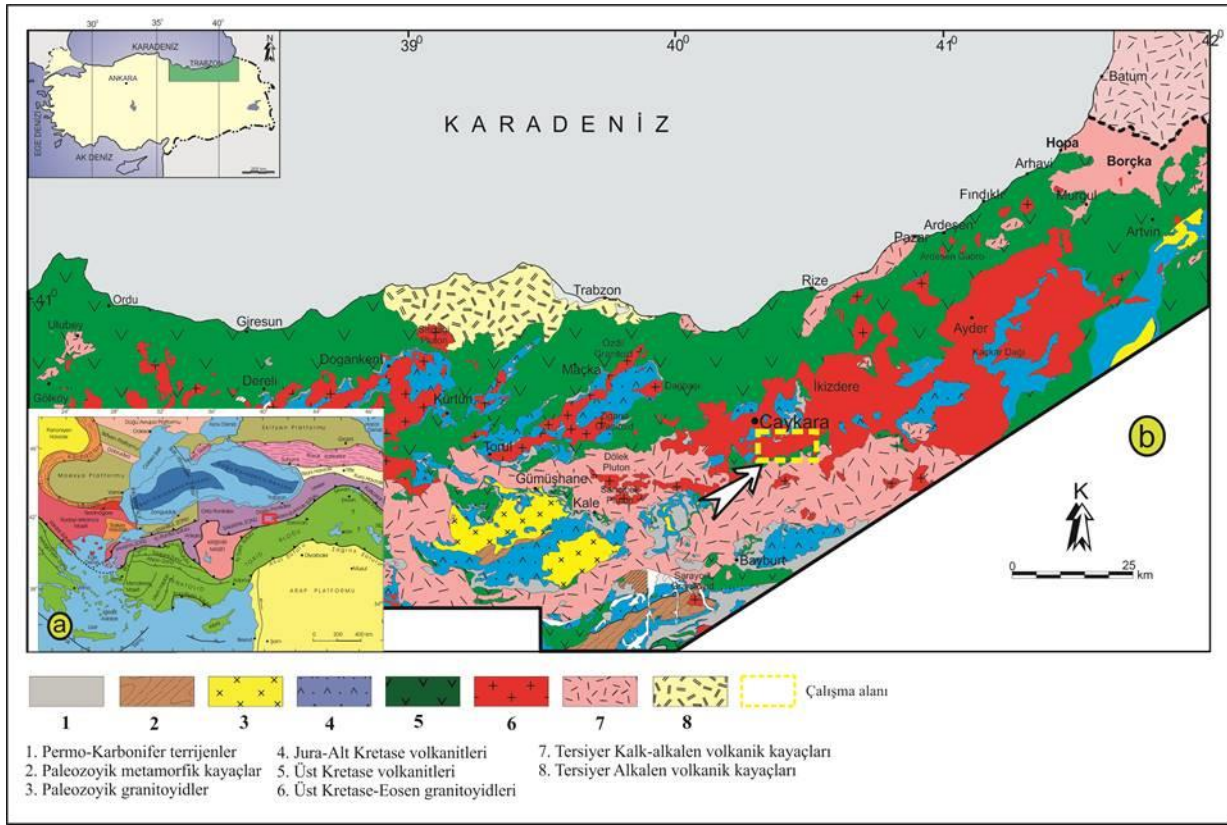
Geç Kretase dönemi, Doğu Pontid Orojenik Kuşağı'nda kuzeyden güneye doğru önemli litolojik farklılıklar gösterir. Kuzey Zon'da şiddetli bir magmatizmanın ürünü olan volkanik kayalar ve granitik intrüzyonlar baskın litolojiyi oluşturur (Yılmaz ve Boztuğ, 1996; Okay ve Şahintürk, 1997; Karlı vd., 2004; Boztuğ vd., 2006; Kaygusuz vd., 2010; Kaygusuz ve Aydınçakır 2009, 2011; Karlı vd., 2010; Aydınçakır ve Şen, 2013; Aydınçakır, 2016). Magmatizmanın durakladığı dönemlerde ise tortul ara seviyelerin çökelişi söz konusudur. Güneye doğru ilerledikçe magmatizmanın şiddeti azalır, potasyum içeriği yükselir ve magmatik kayaç ağırlıklı istif yerini sedimanter kayaç ağırlıklı bir istife bırakır. Sedimanter kayaçlar arasında yer yer tuf ara seviyelerini gözlemek mümkündür. Daha güneyde Bayburt-Amasya hattı boyunca ise Geç Kampaniyen'de başlayan ve Maastrihtiyen sonuna kadar devam eden yüksek potasyumlu magmatizma yaygın olarak gözlenir (Altherr vd., 2008; Topuz vd., 2010; Eyüboğlu, 2010; Gülmez ve Genc, 2015; Aydınçakır, 2016).

Senozoyik dönemi Doğu Pontid Orojenik Kuşağı'nın güney kesiminde sedimanter, kuzey kesiminde ise magmatik ağırlıklı bir istif ile temsil edilmektedir. Güneyde Senozoyik magmatizması Kop Dağları ve Erzincan hattı üzerinde Geç Paleosende başlamış ve kuzeye doğru ilerleyerek Erken Eosen döneminde Gümüşhane-İspir hattı

boyunca asidik magmatizmanın ve volkanosedimanter istif özelliğindeki ürünleri oluşturmuştur (Tokel, 1977; Arslan ve Aliyazıcıoğlu, 2001; Topuz vd., 2005; Arslan ve Aslan, 2006; Karlı vd., 2007; Temizel ve Arslan, 2009; Aslan, 2010; Karlı vd., 2010b, 2011a; Kaygusuz, 2009; Kaygusuz vd., 2011; Kaygusuz ve Öztürk, 2015). Bu magmatizmayı takip eden süreçte aynı alanlarda Eosen havzaları açılmaya başlamış ve bu havzalarda sedimanter kayaç istifleri çökelmeye başlamıştır. Doğu Pontid'lerin Kuzey Zon'unda Senozoyik dönemde magmatizma Güney Zon'dakine göre daha şiddetlidir ve bu dönemde kalk-alkalin granitik ve bazik volkanik kayaların oluşumu söz konusudur (Yılmaz ve Boztuğ, 1996; Şen vd., 1998; Arslan vd., 2000; Boztuğ vd., 2004; Temizel vd., 2012; Arslan vd., 2013; Aydınçakır, 2014; Aydınçakır, 2016; Temizel vd., 2016; Şekil 1b). Sahil kesiminde ise Neojen yaşlı alkalin volkanizma bölgedeki magmatik faaliyetlerin son ürünlerine vücut vermiştir (Aydın, 2003, Aydın vd., 2008; Yücel vd., 2014a; Yücel vd., 2014b; Şekil 1b). Güneyde Neojen tortulları jipsli, tuzlu sığ deniz, lagün ve gölsel fasiyesler olarak gözlenmiştir (Erentöz, 1974; Ketin, 1983).

Doğu Pontid Tektonik Birliği Kuzey Zonu'nda yer alan ve genellikle volkanik ve granitik kayaların egemen olduğu çalışma alanında, en yaşlı kayaları Erken Jura-Geç Kretase yaşlı Berdiga Formasyonu'na ait kireçtaşları oluşturur (Şekil 2). Birimin adı, net olarak gözlendiği Taşlıyayla'ya ithafen Yılmaz Şahin (2005) tarafından verilmiştir. Taşlıyayla volkanik kayaları, Geç Kretase-Paleosen yaşlı Boğalı ve Gündoğdu Plütonları ve Eosen yaşlı Uzuntarla Plütonu tarafından kesilmektedir (Yılmaz-Şahin, 2005; Aydınçakır vd., 2016).

Taşlıyayla volkanitleri, çalışma alanında en geniş yüzeylemeye sahip birim olup, genellikle andezit ve bazaltlardan oluşmaktadır. Birime ait volkanik kayalar, el örneklerinde, grimsi-siyahımsı afanitik doku (çoğunlukla mikrolitik, yer yer mikrolitik porfirik) gösteren masif, çatlaklı şekilde görülür.



Şekil 1. (a) İnceleme alanının Türkiye'nin tektonik birlikleri içerisindeki yeri (Okay ve Tüysüz, 1999'dan alınmıştır), **(b)** Doğu Pontidler'deki volkanitleri ve bunları kesen sokulumların yayılımını gösteren jeolojik harita (Güven, 1993 ve Aydınçakır, 2012'den değiştirilerek).

Plütonların dokanaklarına yakın kısımlarında aşırı derecede çatlaklı, kırıklı ve ayrılmış, bazen pirit gibi sülfürlü mineraller içeren, sarımsı-yeşilimsi renkli, mikrolitik dokulu kayalar şeklinde gözlenirler. Ayrışmanın yoğun olduğu Pelitli Mahallesi civarında eksfoliasyon yapıları gözlenmekte ve kuzeyinde ise yoğun alterasyona uğramış piritli örnekler rastlanılmaktadır.

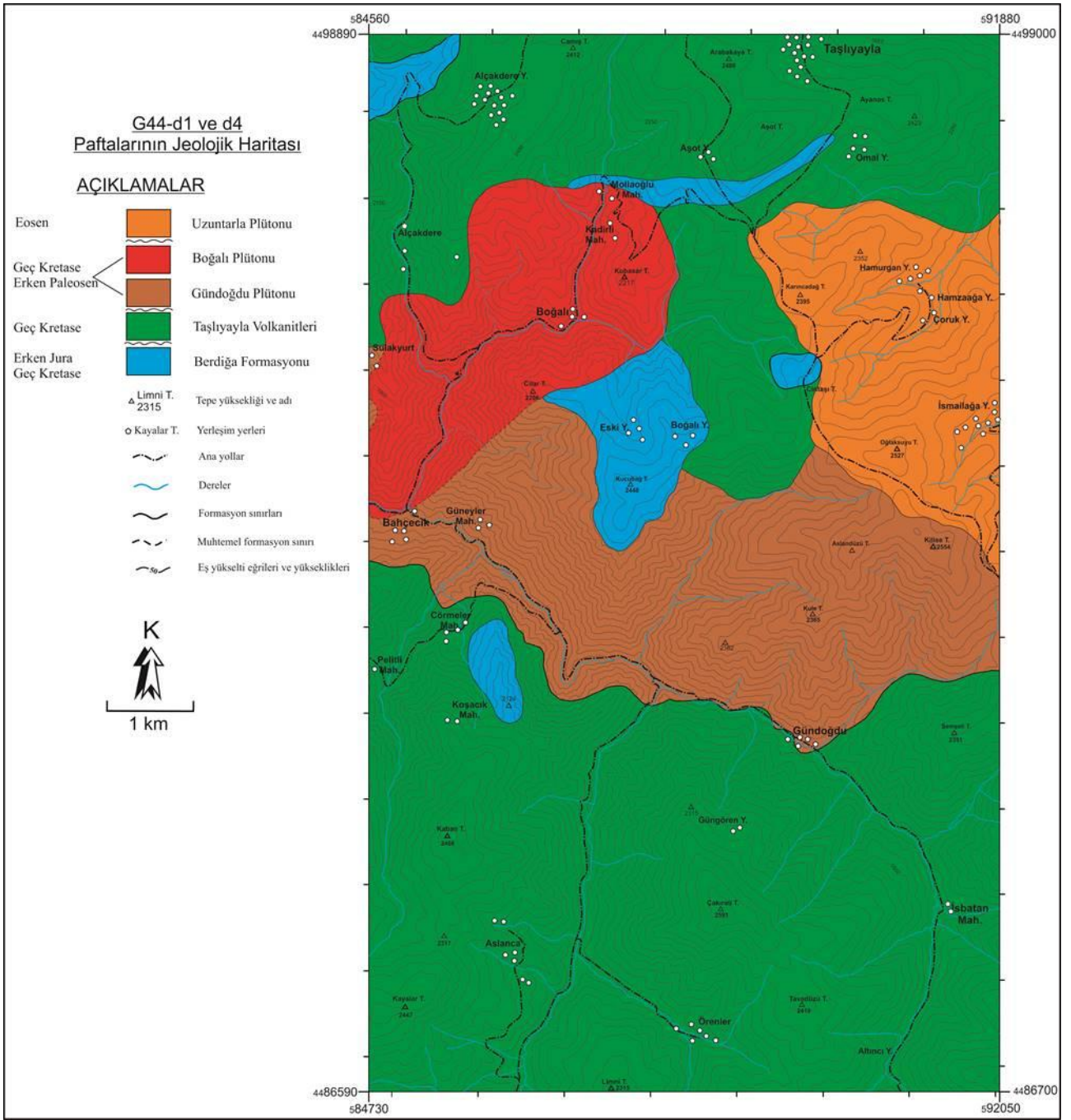
3. Analiz Yöntemler

Çalışma kapsamında, araziden alınan yaklaşık 75 adet el örneğinin ince kesitleri hazırlanarak polarizan mikroskopta ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu örneklerin petrografik özellikleri belirlenerek modal analizleri yapılmış ve adlandırılmışlardır. Arazi çalışmaları ve petrografik incelemeler sonucu mümkün olduğunca ayrışmadan etkilenmemiş 20 örnekten ana oksit, iz ve nadir toprak element analizleri yapılmıştır. Önce çeneli, sonra halkalı öğütücüde yaklaşık 200 meshe kadar öğütülen örnekler ana oksit, iz ve nadir

toprak element analizleri için ACME Analitik Laboratuvarı (Kanada)'na gönderilmiştir. Burada ana oksit ve iz elementler ICP, nadir toprak elementler ise ICP-MS ile analiz edilmiştir. Toz örneklerden 0.2 g alınarak 1.5g LiBO₂ ile karıştırılmış, %5 HNO₃ içeren bir sıvı içinde çözündürülmüştür. Toz örneklerden 0.250 g dört farklı asit içinde çözündürülmüş ve ppm olarak nadir toprak element analizleri gerçekleştirilmiştir. Ana elementler % ağırlık, iz elementler ppm olarak ölçülmüştür.

4. Mineraloji ve Petrografi

Çalışmanın ana konusunu oluşturan Geç Kretase yaşlı Taşhyayla volkanitlerine ait bazalt, andezit ve dasit türü kayaların dokusal özellikleri ile mineralojik-petrografik bileşimleri incelenmiştir. Bazaltların petrografik incelemesinde genellikle mikrolitik porfirik, glomeroporfirik ve poykilitik doku gösterdikleri belirlenmiştir (Şekil 3a, b).



Şekil 2. İnceleme alanının jeoloji haritası

Fenokristal olarak; plajiyoklas, piroksen (ojit) ve opak mineraller içermektedir. Plajiyoklas, genellikle öz ve yarı öz şekilli mikrolitler halinde hamur içerisinde dağılmış halde bulunmakla birlikte, az oranda iri kristaller halinde de bulunur. Albit ikizi gösterenlerde yapılan cins tayinleri An içeriğinin 55-65 arasında değiştiğini ve labrador bileşiminde olduklarını göstermiştir (Şekil 3b). Bazı minerallerde yer yer albit ve polisentetik ikiz görülmekte olup, yaygın bozuşma ürünü

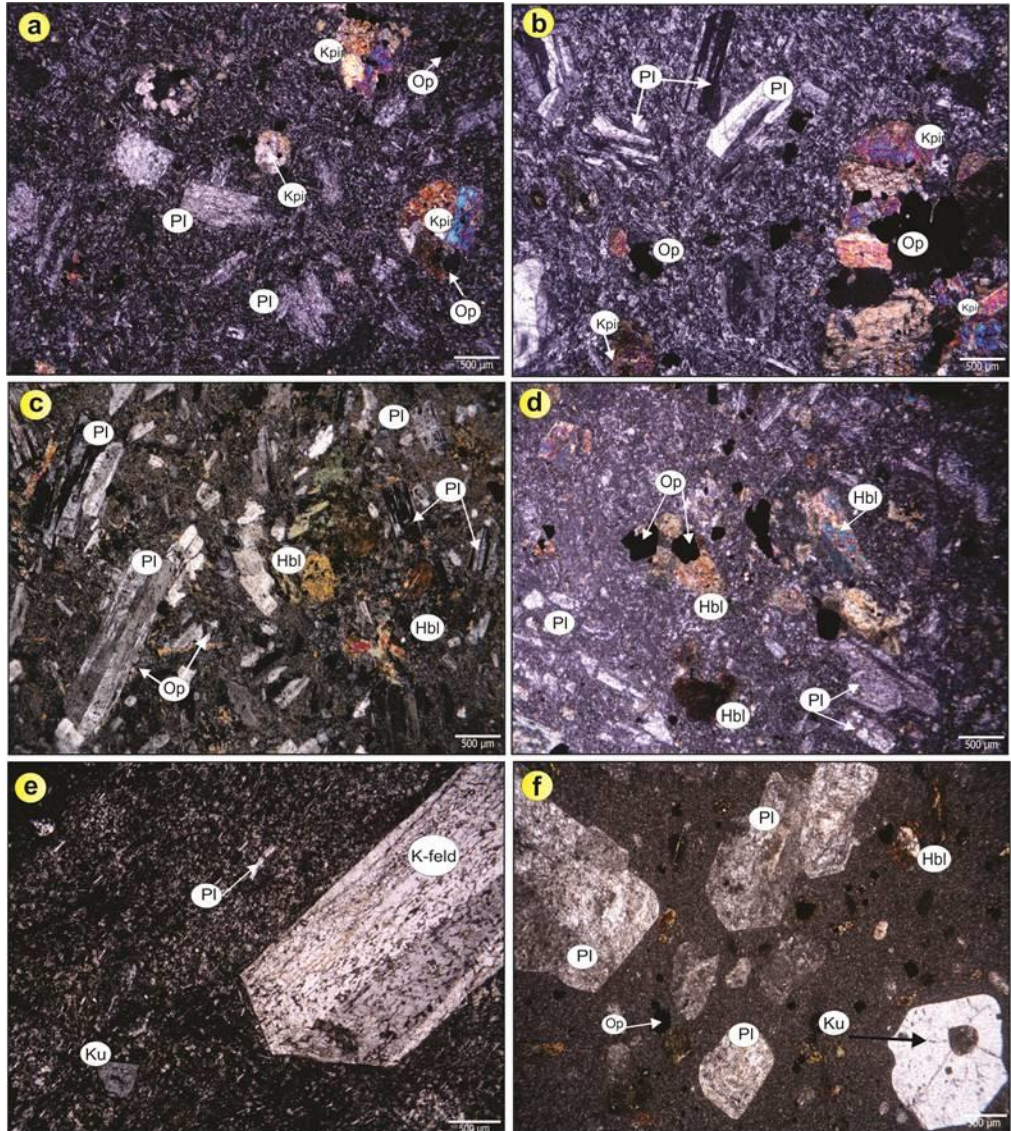
olarak da serizit, kalsit ve kil mineralleri görülmektedir. Piroksenler genellikle yarı öz şekilli, küçük latalar halinde yada matriks içerisinde yer yer kümelenmiş halde bulunmaktadırlar. Yaygın bozuşma ürünü olarak kloritleşmiş ve epidotlaşmışlardır. Piroksenler genellikle ojit bileşimlidirler. Opak mineraller, küçük daneler halinde olup, hamur içerisinde dağınık halde bulunmaktadır. İkincil mineraller, kalsit, klorit ve epidot minerallerinden oluşur. Hamur, plajiyoklas,

klinopiroksen ve opak minerallerin küçük kristallerinden oluşmaktadır (Şekil 3).

Andezitlerin mikroskobik incelemesinde genellikle traktik, porfirik ve mikrolitik porfirik doku gösterdikleri belirlenmiştir. Fenokristal olarak kuvars, plajiyoklas, hornblend ve opak mineraller içermektedir. Plajiyoklaslar, genellikle öz ve yarı öz şekilli, hamur içerisinde dağılmış mikrolitler halinde ve yer yer iri kristaller halinde bulunmaktadır. İri plajiyoklas mineralleri genel olarak zonlu doku göstermektedir (Şekil 3c). Plajiyoklaslarda yaygın bozuşma ürünü olarak serizitleşme görülmektedir. Kuvarlar, nadiren öz şekilli, genel olarak hamur içerisinde küçük yuvarlağımsı şekillerde görülmekte olup, yer yer gözlenen iri

kuvarlar yuvarlak, hamur tarafından yenilme-kemirilme dokusu göstermektedir. Hornblendler, genellikle öz ve yarı öz şekilli kristaller halinde bulunurlar (Şekil 3d). İri kristaller çoğunlukla prizmatik şekilde gözlenirken, öz şekilsiz olan kristaller ince plakalar şeklinde hamur içerisinde dağılmış halde bulunurlar. Çoğunlukla kloritleşme ve epidotlaşma gibi ayrışma ürünleri sergilerler. Opak mineraller, küçük daneler halinde, çoğunlukla hornblendlerin etrafında ve üzerlerinde yuvarlak-kırıklı şekillerde görülmektedirler. İkincil mineraller, serizit, kalsit ve kil minerallerinden oluşur. Hamur, mikrolitler halindeki plajiyoklas, hornblend, kuvars ve opak minerallerin çok küçük kristallerinden oluşmaktadır (Şekil 3c, d).

Şekil 3. Taşhyayla Volkanitlerine ait, (a) bazaltlarda gözlenen mikrolitik porfirik doku, (b) poyikilitik ve glomeroporfirik doku, (c, d ve e) andezitlerde gözlenen mikrolitik porfirik ve traktik doku, (f) dasitlerde gözlenen hamur tarafından yenmiş iri kuvars mineralleri (Ç.N., Pl: Plajiyoklas, Hbl: Hornblend, Op: Opak mineral, Ku: Kuvars, Kpir: Klinopiroksen).



Dasitlerin mikroskobik incelemesinde mikrolitik porfirik doku göstermektedirler. Fenokristal olarak; plajiyoklas, kuvars, alkali feldispat, hornblend ve opak mineraller içermektedir. Plajiyoklaslar iri, öz şekilli levhamsı kristaller, hamurda da mikrolitler halinde bulunur. Plajiyoklaslar bolluk sırasına göre albit ve albit-karlsbad ikizleri gösterirler. 010'a dik kesitlerde yapılan cins tayininde cinsinin % 35-45 An içerikli andezin olduğu saptanmıştır. Bazı örneklerde zonlanma görülmektedir. En yaygın ayrışma türü serizitleşme, kalsitleşme ve killeşme şeklindedir. Alkali Feldispatlar iri, öz veya yarı öz şekilli kristaller halinde olup hamurda küçük kristaller halinde bulunur. Bazı minerallerde karlsbad ikizlenmesi gözlenir (Şekil 3e). Kuvars genelde iri ve özsekilli kristaller halindedir. İri kristallerin bazılarının kenarları hamur tarafından yenmiştir (Şekil 3f). İri kristaller genelde dalgalı sönme gösterirler ve kırıklı yapıdadır. Hornblendler iri öz ve yarı öz şekilli prizmatik kristaller, hamurda da küçük kristaller halinde görülür. Bazı mineraller plajiyoklas ve opak mineral inklüzyonları içerirler. Opak mineraller, küçük daneler halinde olup, hamur içerisinde dağınık halde bulunmaktadırlar. İkincil mineraller, ayrışma ürünü olarak serizitleşme, killeşme, kloritleşme ve yer yer de epidotlaşmalar görülmektedir. Hamur, genel olarak mikrolitler halindeki plajiyoklaslar ile kuvars, hornblend ve opak minerallerin küçük kristallerinden oluşmaktadır.

5. Taşlıyayla Volkanitlerinin Jeokimyası

5.1. Kimyasal Sınıflama

İnceleme alanı içerisinde yer alan ve Geç Kretase'de gelişen volkanik kayalardan (Taşlıyayla Volkanikleri) alınan örneklerin bazılarında ana, iz ve nadir toprak element analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonuçları yorumlanarak volkanitlerin meydana geldikleri magma türleri, kimyasal özellikleri ve bölgenin jeotektoniğine ışık tutulmaya çalışılmıştır.

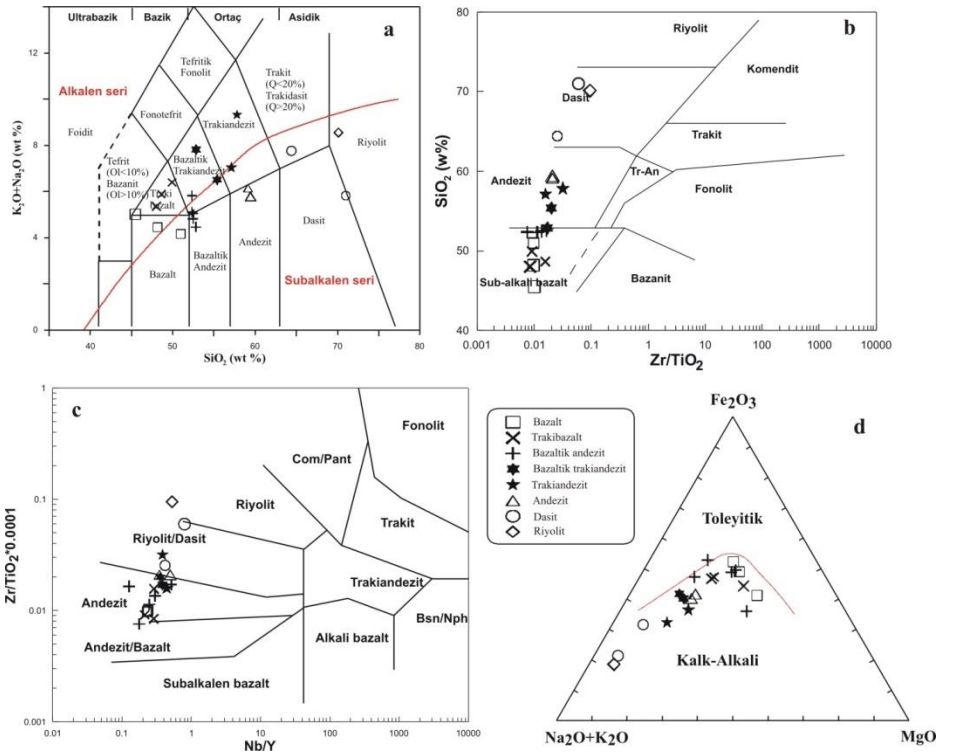
Taşlıyayla volkanitlerinden alınan 20 adet volkanik kayalık örneğinin ana oksit, iz ve nadir toprak element analizleri Tablo 1 ve 2'de verilmiştir. Taşlıyayla Volkanikleri'ni oluşturan

kayaçlarda SiO_2 % 45.48-70.11, Al_2O_3 % 13.18-19.77, CaO % 1.46-9.57, Na_2O % 0.72-6.82, K_2O % 0.71-6.26, TiO_2 % 0.16-1.21, Ni 0.8-65.5 ppm, Rb 13.9-218.3 ppm, Ba 104-1579 ppm, Sr 163.1-1037.7 ppm, Mg# 21.86-49.96, A/CNK değerleri 0.73-1.08 ve $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ oranları 0.16-7.08 arasındadır (Tablo 1). İncelenen volkanik kayalık örnekleri, Le Maitre vd. (1989)'un ana element oksit sınıflama diyagramına aktarıldığında, Taşlıyayla örneklerinin bazalt, trakibazalt, bazaltik andezit, bazaltik trakiandezit, trakiandezit, andezit, dasit ve riyolit bileşimde oldukları belirlenmiştir (Şekil 4a). Kayaçlarda gözlenen alterasyon nedeniyle artan Na-K mobilitesi ve SiO_2 'daki zenginleşmeden dolayı daha az hareketli olan Zr, Y, Nb, Ti, Ga, Cr, Ni, P, Th ve nadir toprak elementleri jeokimyasal ve petrolojik amaçlı kullanılmaktadır (Irvine ve Baragar, 1971). Taşlıyayla örnekleri: SiO_2 -Zr/TiO₂ diyagramı (Winchester ve Floyd, 1977) ve Nb/Y-Zr/TiO₂ (Winchester ve Floyd, 1977)'in kimyasal adlandırma diyagramlarına düşürüldüğünde örneklerin yarı alkali bazalt, andezit, riyolit/dasit bileşim sundukları görülmüştür (Şekil 4b, 4c). Volkanik kayaların afinitelerini belirlemek üzere kullandığımız AFM üçgen diyagramında, Irvine ve Baragar, (1971)'a ait yönsemeye göre örneklerin tamamı kalk-alkali alanda yer almaktadır (Şekil 4d).

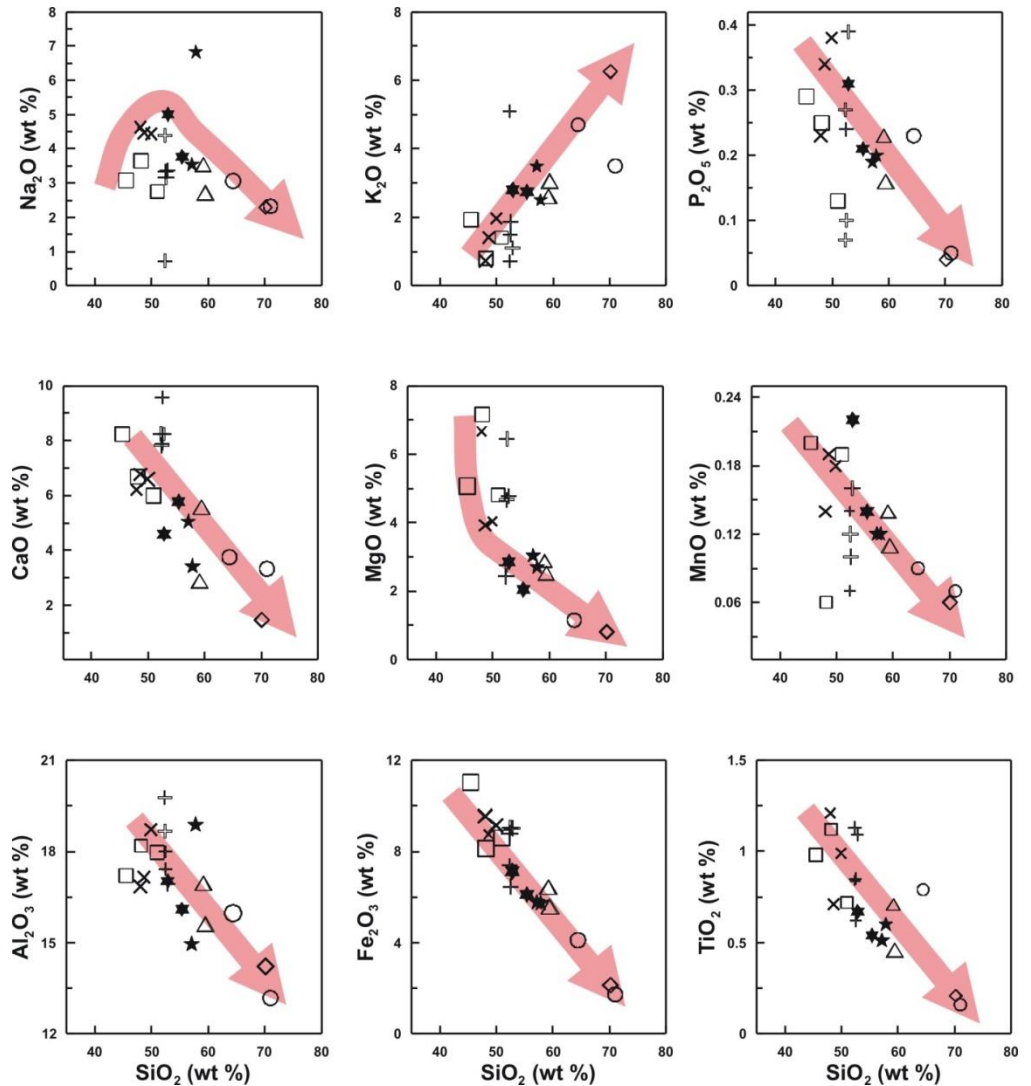
5.2. Ana, iz ve Nadir Toprak Elementler

SiO_2 'ye karşı ana ve iz element değişim diyagramlarının (Şekil 5 ve 6) çoğunlukla iyi korelasyon vermeleri, volkanitlerin gelişiminde ayrışmanın önemli rol oynadığına işaret etmektedir. SiO_2 'ye karşı hazırlanan ana element değişim diyagramlarında; CaO , MgO , P_2O_5 , Na_2O , MnO , Al_2O_3 , Fe_2O_3^* , TiO_2 'de negatif yönde azalan bir yönelim söz konusu iken, K_2O 'da ise pozitif yönde artan bir yönelim görülmektedir (Şekil 5). SiO_2 'ye karşı hazırlanan iz element değişim diyagramlarında (Şekil 6) Ba, Th, Pb, Rb, Hf'da pozitif, Eu, Y ve Co'da ise negative bir ilişki gözlenmektedir. SiO_2 'nin artışıyla CaO , Fe_2O_3^* ve Al_2O_3 azalması önemli ölçüde plajiyoklas ve piroksen ayrışmasını yansıtmaktadır. SiO_2 'ye karşı Al_2O_3^* azalması, volkanik kayaların gelişiminde amfibollerin ayrışmasının da etkili

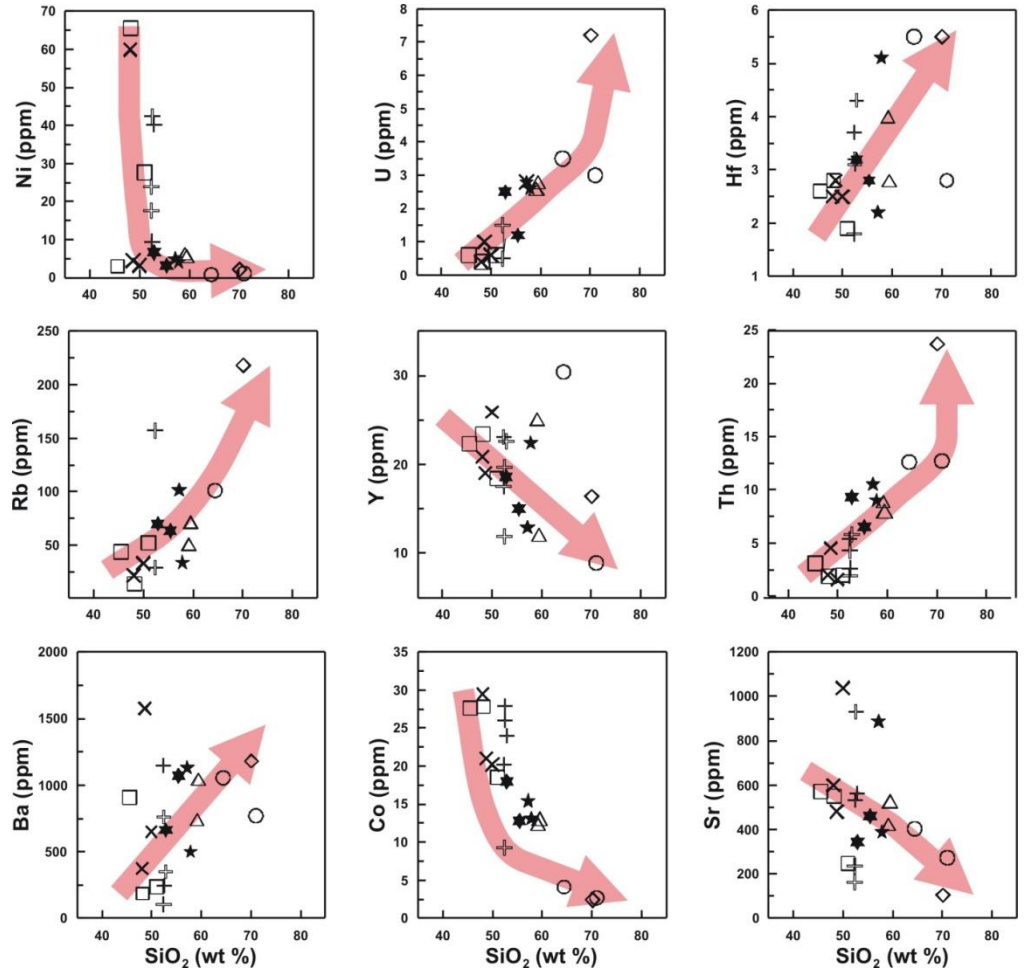
Şekil 4. Taşlıyayla volkanik kayaların (a) SiO₂'ye karşı Na₂O+K₂O (TAS) diyagramı (Le Maitre vd., 1989, Alkali-Subalkali eğrisi (Irvine ve Baragar, 1971), (b) SiO₂-Zr/TiO₂ diyagramı (Winchester ve Floyd, 1977), (c) Nb/Y-Zr/TiO₂ sınıflama diyagramı (Winchester ve Floyd, 1977), (d) AFM diyagramı (Toleyitik-kalk alkali eğrisi Irvine ve Baragar, 1971'den alınmıştır).



Şekil 5. Taşlıyayla volkanitlerinin SiO₂'ye karşı ana element değişim diyagramları (Semboller Şekil 4d'deki gibidir).



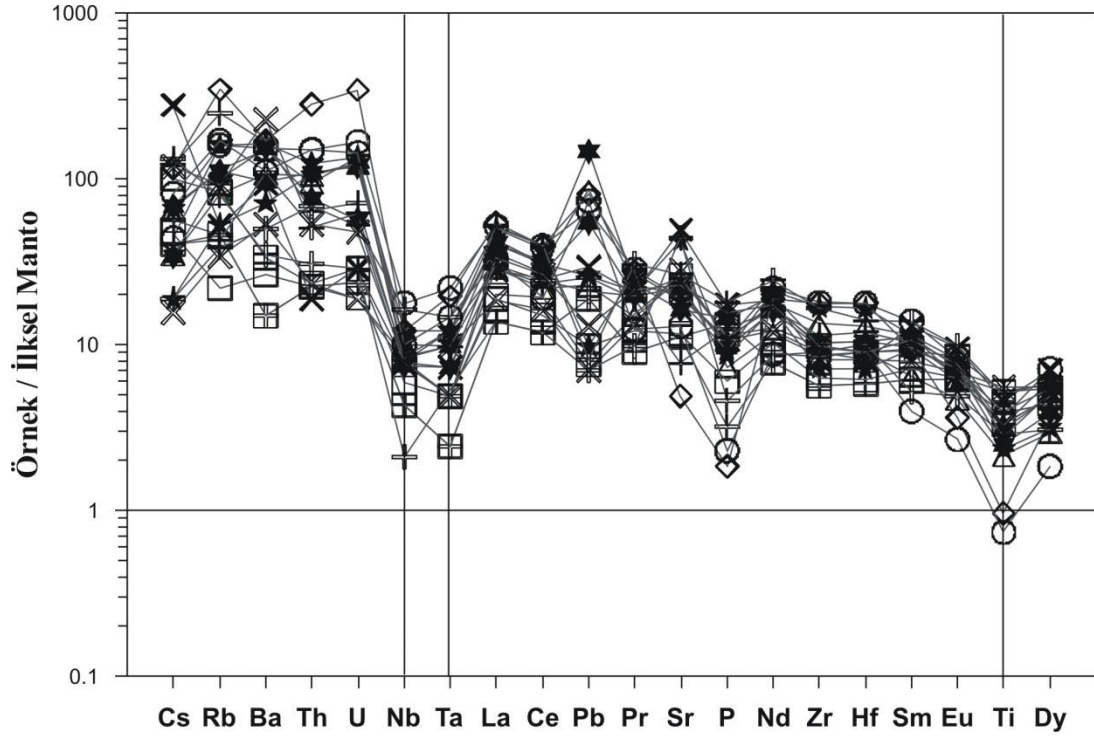
Şekil 6. Taşlıyayla volkanitlerinin SiO_2 'ye karşı iz element değişim diyagramları (Semboller Şekil 4d'deki gibidir).



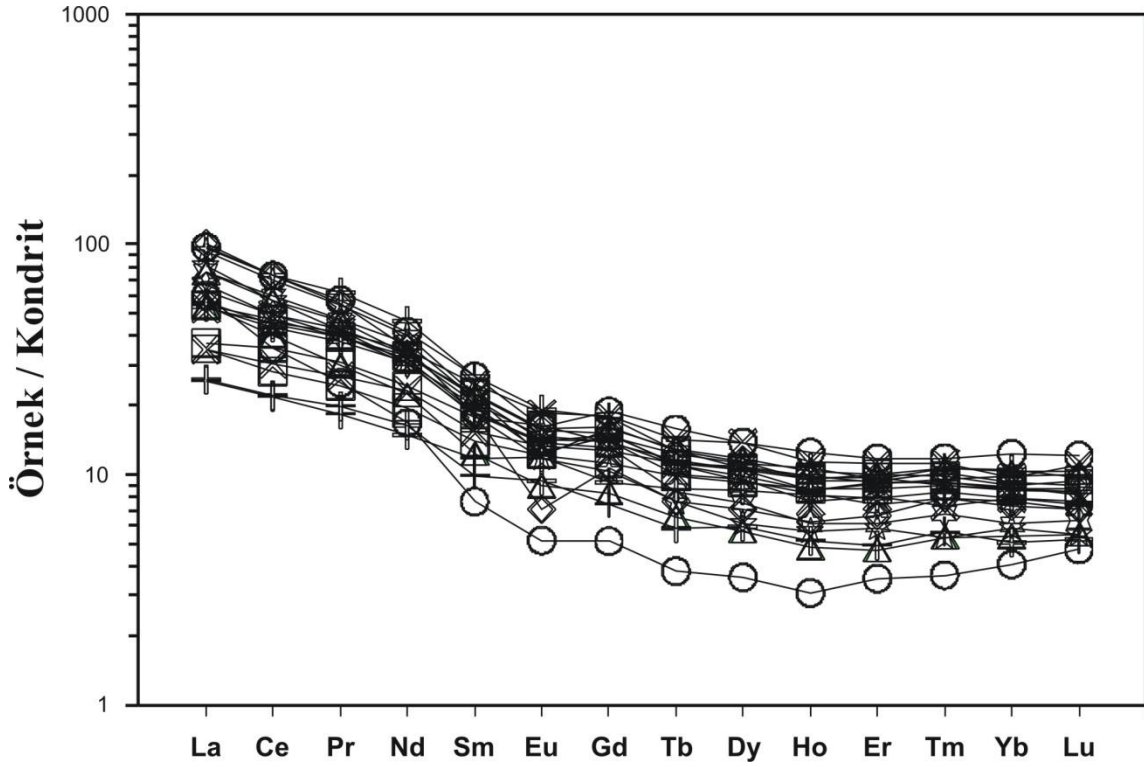
Örneklerin ilksel manto'ya (Sun ve McDonough, 1989) göre normalize edilmiş iz element dağılım diyagramları Şekil 7'de verilmiştir. Genel olarak örnekler kendi içlerinde zenginleşme gösterirken, büyük iyonlu litofil elementlerin (LILE), yüksek çekim alanlı elementlere (HFSE) göre daha fazla zenginleşmiş oldukları görülmektedir. Yüksek Sr, Rb ve Ba (LILE) içeriği volkanik kayalarda kontaminasyonu \pm magma karışımının varlığına işaret etmektedir. Net bir şekilde gözlenen Nb, Ta ve Ti anomalisi ise, kayaların ana magmasının gelişiminde yitim bileşeninin etkili bir şekilde rol oynadığını göstermektedir (Pearce, 1983). İncelenen volkanik kayaların bütün özellikleri dikkate alındığında, Taşlıyayla Volkanitleri'nin iz element karakteristikleri, genel olarak yay volkaniklerine benzerlik sunmaktadır (Pearce, 1982).

İncelenen volkanitlerin kondrite (Taylor ve McLennan, 1985) normalize edilmiş nadir toprak element (NTE) dağılım diyagramında,

örnekler birbirlerine paralel yönde dağılım göstermektedir (Şekil 8) Bu da volkanitleri oluşturan kayaların benzer manto kaynağından türediklerini doğrulamaktadır. İncelenen volkanik kayaların, kondrite göre normalize edilmiş nadir toprak element dağılımlarında (NTE) kayaların Eu değerlerinde belirgin olmamakla birlikte hafif negatif anomalinin görülmesi kayaların gelişiminde az da olsa plajiyoklas ayırılmasının etkisini göstermektedir. Dağılımların orta kısmının çukur olması ve hafif nadir toprak elementlere doğru gidildikçe yukarıya doğru hafif konkav bir yapı sunması, volkanik kayaların gelişiminde piroksen ayırılmasının etkili bir rol oynadığını sunmaktadır. Örneklerin $(\text{Eu}/\text{Eu}^*)_N$ oranları 0.49-1.14 arasında değişim göstermekte olup, $(\text{La}/\text{Lu})_N$ değerleri 3.95-14.53 arasındadır. Volkanitlerin geneline bakıldığında hafif nadir toprak elementler (HNTE), ağır nadir toprak elementlere (ANTE) göre daha fazla zenginleşmiştir (Şekil 8).



Şekil 7. Taşlıyayla volkanitlerinin ilksel mantoya göre (Sun ve McDonough, 1989) normalize edilmiş iz element dağılım diyagramı (Semboller Şekil 4d'deki gibidir)



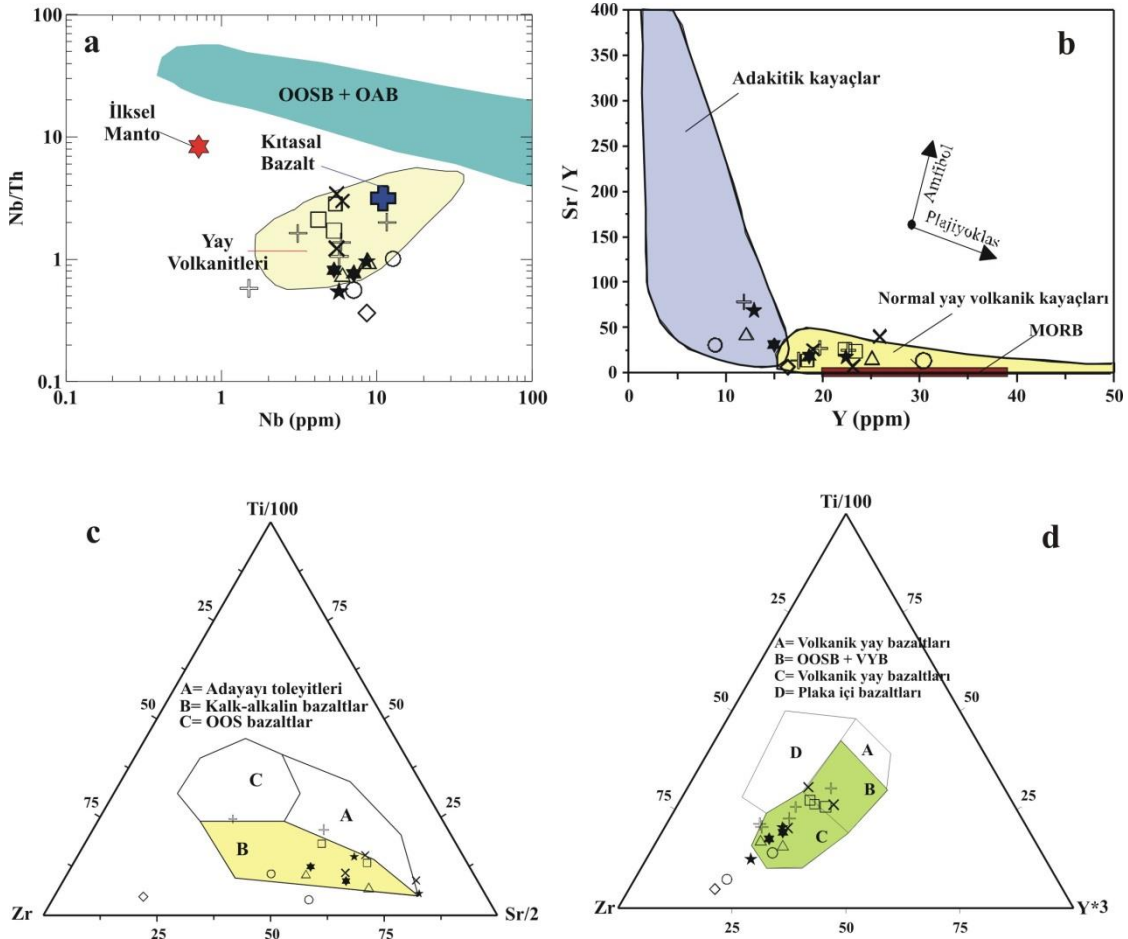
Şekil 8. Taşlıyayla volkanitleri'nin kondritte göre (Taylor ve McLennan, 1985) normalize edilmiş nadir toprak element diyagramı (Semboller Şekil 4d'deki gibidir)

6. Tartışma

6.1. Tektonik Ortam

Taşlıyayla volkanitlerinin jeokimyasal diyagramlarındaki değişimlerine bakıldığında iz element değişimlerinde Nb, Ta, Zr ve Ti bakımından tüketilme, Sr, K, Ba, Rb ve HNTE bakımından bir zenginleşme görülmekte olup, bu değerler volkanitlerin magmasının bir yitim zonu ortamında geliştiğini göstermektedir (Pearce and Peate, 1995; Turner, 2005). Taşlıyayla volkanitleri, OOSB, OAB ve plaka içi bazaltlarından daha yüksek Ba/La (10-69) ve daha düşük Nb/La (0.16-0.47) oranlarıyla orojenik volkanik kayalara benzemektedirler (Sun ve

McDonough, 1989). İncelenen volkanitlerin, alterasyondan fazla etkilenmediği bilinen Ti, Zr, Sr ve Nb gibi elementlerin birbirleriyle ilişkilerine göre tektonik ortamları belirlenmeye çalışılmıştır. Nb'ye karşı Nb/Th (Pearce ve Cann, 1973) tektonik ayırtman diyagramına göre, örnekler yay volkanitleri alanına düşmektedir (Şekil 9a). Sr/Y-Y (Defant ve Drummond, 1990) ayırtman diyagramında örnekler normal yay volkanik serisi alanına düşmektedir (Şekil 9b). Ti/100-Zr-Sr/2 diyagramında (Şekil 9c) ise örneklerin büyük bir kısmı kalk-alkali bazalt alanlarına düşmektedirler. Ayrıca, yine Ti/100-Zr-Y*3 tektonik ayırtman diyagramında örneklerin volkanik yay bazaltları alanına düştüğü görülmektedir (Şekil 9d).

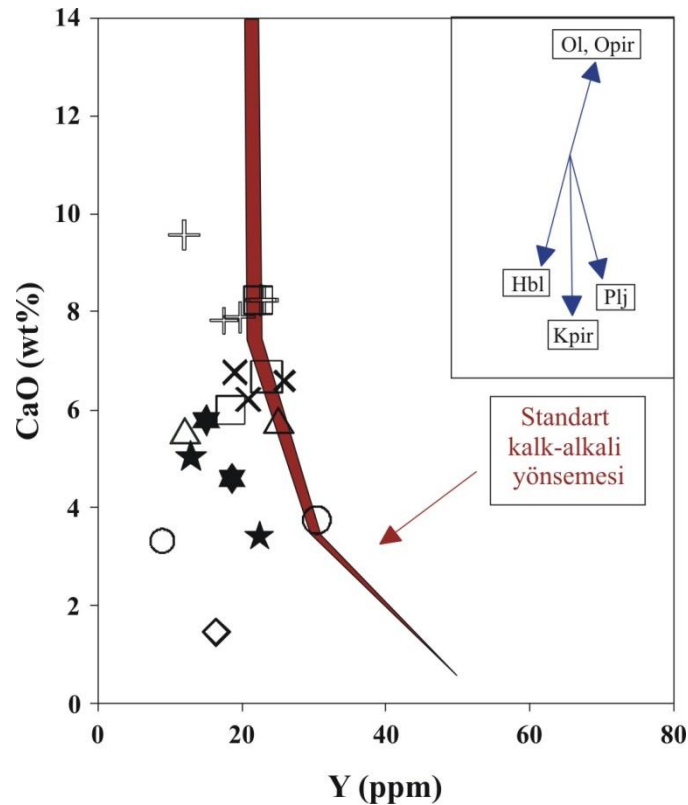


Şekil 9. Taşlıyayla volkanitlerine ait tektonik ayırtman diyagramları (Pearce ve Cann, 1973). (a) Nb (ppm)'ye karşı Nb/Th diyagramı (ilksel manto Hoffmann, 1988), kıtasal bazalt-OOSB+OAB ve Yay volkanitleri alanları (Schmidberger ve Hegner, 1999)'dan alınmıştır, (b) Sr/Y-Y ayırtman diyagramı (Defant ve Drummond, 1990), (c) Ti/100-Zr-Sr/2 diyagramı, (d) Ti/100-Zr-Y*3 diyagramı (Semboller Şekil 4d'deki gibidir)

6.2. Ayrılma

Taşlıyayla volkanitleri düşük MgO, Ni ve Co içeriklerine sahiptirler. Ana ve iz element değişim diyagramları volkanitlerin oluşumunda ayrılmanın etkili olduğunu göstermektedir (Şekil 5 ve 6). Taşlıyayla volkanitlerinin artan SiO₂ içeriğine karşılık TiO₂ ve Fe₂O₃* içeriklerinin giderek azalması Fe-Ti oksitlerin ayrılmasına gösterirken, SiO₂'e karşı CaO, Fe₂O₃* ve MgO daki negatif ilişkiler plajiyoklas (An>50) ve klinopiroksen fazların ana magmadan ayrıldığına işaret etmektedir. SiO₂'e karşı Fe₂O₃* ve Al₂O₃ deki negatif ilişki hornblend ayrılmasını işaret etmektedir. İncelenen volkanik kayaların kondrite normalize edilmiş NTE dağılımlarında kayaların Eu değerlerinde belirgin negatif anomalinin olmaması kayaların gelişiminde plajiyoklas

ayrılmasının fazla etkili olmadığını göstermektedir (Şekil 8). Ana ve iz element değişim diyagramları kayaların gelişiminde klinopiroksen, hornblend, Fe-Ti oksit, plajiyoklas ve apatit mineral ayrılmasının önemli rol oynadığını göstermektedir. Lambert ve Holland (1974) kalk-alkali kayalarda, Y (ppm) elementinin zenginleşmesine ve fakirleşmesine bağlı olarak, J- ve L-tipi olmak üzere değişik farklılaşma yönsemeleri belirlenmiştir (Şekil 10). Buna göre Taşlıyayla volkanitleri, standart kalk-alkali yönsemesine yakın veya biraz daha düşük Y içeriklerine sahip olup, zayıf J-tipi bir yönseme sunarlar. Bu diyagrama göre, volkanik kayaların gelişiminde ilk önce klinopiroksen kontrollü, daha sonra da hornblend kontrollü bir ayrılmanın etkisinin olduğu görülmektedir (Şekil 10).



Şekil 10. Taşlıyayla volkanitlerinin Y (ppm)'a karşı CaO (%) diyagramı (Lambert ve Holland, 1974; Vektörler, bazaltik bileşim için minerallerin ayrılma yönlerini göstermektedir (Semboller Şekil 4d'deki gibidir)

6.3. Özümseme

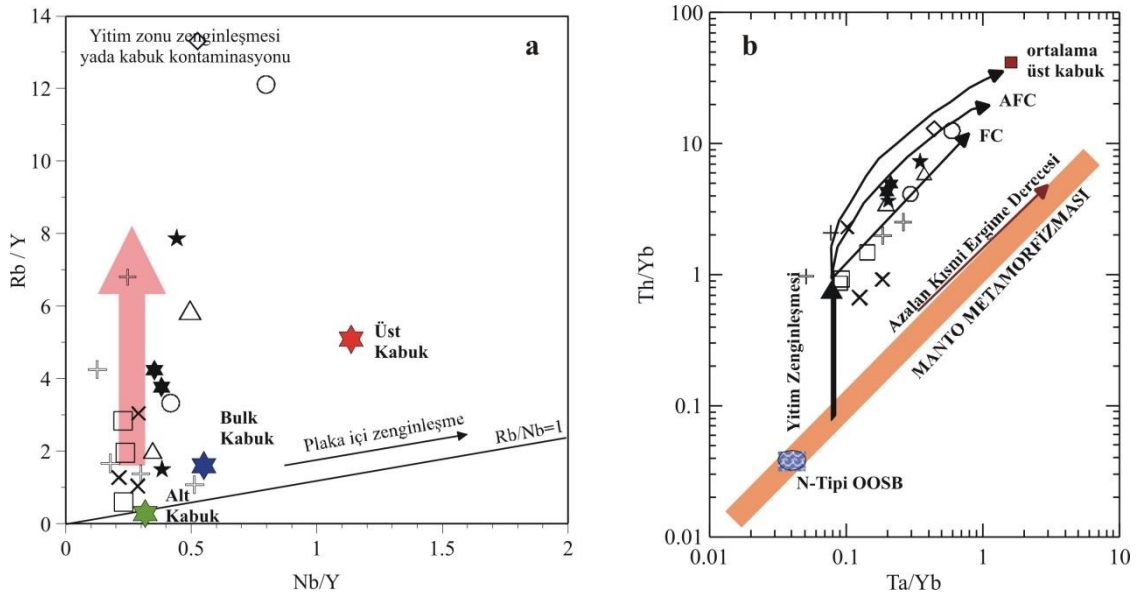
Kayaçlarda gözlenen yüksek SiO₂, La ve Ce içerikleri, LILE element zenginleşmeleri, ana magmanın yükselimi sırasında kabuk malzemesi ile etkileşim içinde olduğunu göstermektedir. Bu zenginleşme, muhtemelen magmanın yükselimi sırasında kıtasal kabuk asimilasyonu veya fraksiyonel kristallenme ile gelişen asimilasyon (AFC) (DePaolo, 1981; Grove vd., 1982) ile açıklanabilir. İncelenen Taşlıyayla volkanitlerinin yitim zonu zenginleşmesi ve/veya kabuk özümlemesi ve ayırılmaşması arasındaki ilişki, Nb/Y'ye karşı Rb/Y gibi iz element oranlarının kullanıldığı diyagramda açıklanabilir (Şekil 11a). Bu diyagramda, Taşlıyayla volkanitleri yitim zonu zenginleşmesi veya kabuk kirlenmesini belirten düşey yönsemelere sahiptir.

İncelenen volkanitlerinin Ta/Yb'ye karşı Th/Yb diyagramı (Pearce vd., 1990) kaynak zenginleşmesinin varlığını belirlemede

kullanılabilir (Şekil 11b). Bu elementlerin varlığı kaynak çeşitliliği ve/veya kabuk kirlenmesinin varlığını belirlemek için de etkin bir şekilde kullanılabilir. Bu diyagramda, volkanik kayaçlar manto yönsemesine paraleldir. Ayrıca grafiğe göre, yitim bileşenlerince zenginleştirilmiş (metasomatize edilmiş) bir kaynaktan itibaren magmalar türemiştir. Kayaçların gelişiminde ayırılmaşmanın (FC) rolünün çok olduğunu ve kayaçların yitim zonu ile ilişkili bir kaynaktan türediğini göstermektedir (Şekil 11a ve b).

6.4. Ana Magmanın Kökeni

Taşlıyayla volkanitlerinin incelenen iz element değişim diyagramlarında göstermiş oldukları Nb, Zr ve Ta gibi yüksek çekim alanlı elementlerce tüketilme, Sr, K, Rb, Ba ve yüksek Ba/La oranları gibi büyük iyon yarıçaplı elementlerce zenginleşme (Şekil 7) değerleri ile tipik olarak yitim zonu volkanik kayaçları özelliği sunarlar (Ewart, 1982; Elburg vd., 2002; Baier vd., 2008).



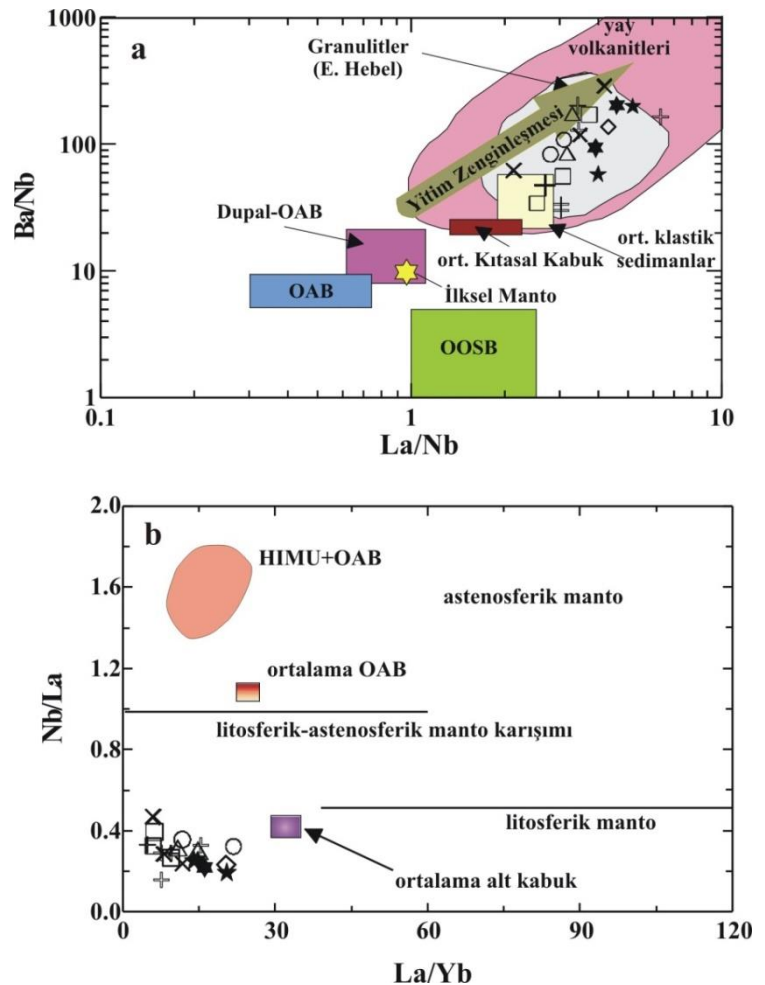
Şekil 11. Taşlıyayla volkanitlerinin (a) Nb/Y'a karşı Rb/Y diyagramı (Üst kabuk, bulk kabuk, alt kabuk bileşimleri, Taylor ve McLennan (1985)'dan alınmıştır), (b) Ta/Yb'a karşı Th/Yb diyagramı (Pearce vd., 1990, FC (ayırılmaşma), AFC (özümleme+ayırılmaşma), yitim zenginleşmesi ve manto metasomatizmasını gösterir vektörler Pearce vd., (1990)'dan alınmıştır; N-tipi OOSB ve ortalama üst kabuk değerleri Sun ve McDonough (1989) ve Taylor ve McLennan (1985)'ten alınmıştır) (Semboller Şekil 4d'deki gibidir).

Yitim ilişkili kıtasal yay magmaları HFSE göre LILE'ce zenginleşme, ANTE'ye göre HNTE'ce zenginleşme ve negatif Nb, Ta, Zr, Hf ve Ti anomalileri ile karakteristiktir (Pearce, 1982; Morris vd., 1990; McCulloch ve Gamble, 1991; Kelemen, 1993; Thirlwall M.F. vd., 1994; Kelemen vd., 2003). LILE ve HNTE'ce (Şekil 7 ve 8) zenginleşme, dalan okyanusal litosferden ve/veya dalan litosfer üzerindeki sedimentlerden açığa çıkan akışkanlar tarafından zenginleştirilmiş (metasomatizmaya uğratılmış) bir kaynak bölgeden (muhtemelen litosferik manto) ana magmanın türeyebileceğini göstermektedir (Ringwood, 1990; Hawkesworth vd. 1991; Cameron vd., 2003; Münker vd., 2004). Kondrite normalize edilmiş NTE diyagramlarında volkanitlerin ANTE değerleri yataya yakın bir yönseme sergilemektedirler. ANTE değerlerindeki bu yatay yönseme volkanitleri oluşturan ana magmanın muhtemelen garnet içeren bir lerzolitik magma kaynağından daha ziyade spinel lerzolitik (<50 km derinlik) bir manto

kaynağından oluşabileceğini işaret etmektedir (Şekil 8).

İncelenen Taşlıyayla volkanitleri OOSB, OAB ve kıtasal volkanitlerle karşılaştırıldığında yüksek La/Nb (2-6) ve Ba/Nb (30-287) oranlarına sahip olup, bu özellikleriyle yay volkanitlerine benzerlik sunarlar (Sun ve McDonough 1989; Şekil 12a). Ayrıca bu düşük değerler, volkanitlerin ana magmasının normal astenosferik mantodan türemediğini göstermektedir. Bradshaw ve Smith (1994) ve Smith vd., (1999)' göre litosferik manto HNTE'lere göre YÇAE'lerce (Nb ve Ta gibi) daha çok tüketilmişlerdir. Bazaltik magmalar için yüksek Nb/La oranı ($\sim >1$) astenosferik manto kaynağını gösterirken, düşük ($\sim <0.5$) oranı ise litosferik manto kaynağını göstermektedir. Taşlıyayla volkanitlerine ait en bazik örneklerin Nb/La oranı (0.15-0.21) iken, La/Yb oranı ise (3-30) arasında olup, bu değerler litosferik manto kaynağını işaret etmektedir (Şekil 12b).

Şekil 12. Taşlıyayla volkanitlerinin (a) Ba/Nb'a karşı La/Nb (Jahn vd., 1999) diyagramı (Yay volkanitleri ve Arkeen granülitleri, Jahn ve Zhang, 1984'den; İlk Manto, Sun ve McDonough, 1989'dan; ort. Kıtasal kabuk, Taylor ve McLennan, 1985 ve Condie, 1993'den; Dupal-OAB, Jahn vd., 1999'dan alınmıştır), (b) La/Yb'a karşı Nb/La diyagramı (ortalama OAB değerleri, Fitton vd., 1991'den, ortalama alt kabuk değerleri, Chen ve Arculus, 1995'den; HIMU+OAB alanları, Weaver vd., 1987'den, astenosferik, litosferik ve karışım manto alanlarını ayıran çizgi Smith vd., 1999'dan alınmıştır) (Semboller Şekil 4d'deki gibidir)



7. Sonuçlar

Doğu Pontid Tektonik Kuşaağı'nın Kuzey Zonu'nda yer alan Taşlıyayla (aykara/Trabzon) volkanitlerin ana ve iz element erikleri genel hatlarıyla incelenerek bulgular sunulmuştur. Geç Kretase volkanitlerinin kimyasal özeliklerini ve petrolojisini irdeleyen bu alışma, Doğu Pontid'ler de daha önce yapılmış Geç Kretase yaşlı volkanikleri konu alan çalışmaların (amur vd., 1996; Arslan vd., 1997; Aydınçakır ve Kaygusuz, 2012; Başer, 2016) bulgularıyla uyumluluk göstermektedir.

Geç Kretase yaşlı Taşlıyayla volkanitleri bazalt, andezit ve dasit bileşiminde, kalk-alkalen karakterli olup, (La/Lu)_N değerleri 4-15 arasındadır (Tablo 2). Örneklerin tümü LILE elementlerce zenginleşmiş, HFSE elementlerce fakirleşmiş olarak grlrlenir. Negatif Nb ve Ta anomalisi kayaçların ana magma gelişiminde yitimin varlığını işaret etmektedir.

Jeokimyasal değişimler, volkanitlerin gelişiminde piroksen, hornblend, plajiyoklas ve Fe-Ti oksit ayrımlaşması etkili olduğunu gösterir. Plajiyoklas minerallerinde görülen elek dokusu, kemirilme ve tekrarlanmalı zonlanma; kuvars minerallerinde gözlenen kemirilme; hornblendlerde gözlenen bozunma yapıları ve opaklaşma ve bazı minerallerin diğer minerallerin içinde inklüzyonlar şeklinde bulunması, Taşlıyayla volkanitlerinin gelişiminde magma karışımının da etkili olduğunu göstermektedir. Örneklerde gözlenen yüksek SiO₂, La, Ce içerikleri, LILE element zenginleşmeleri, ana magmanın kabuk malzemesi ile girişim yaptığına işaret etmektedir.

Sonuç olarak, petrografik ve jeokimyasal veriler volkanitlerin ana magmasının alt kabuk ve/veya st mantodan türemiş olabileceğini, kayaçların fraksiyonel kristallenme, magma karışımı±kontaminasyon ve asimilasyon olayları sonucunda geliştiklerini ve volkanitlerin kaynağının Geç Kretase'de yitim sonucu metasomatizmaya uğramış zenginleşmiş litosferik manto olabileceğini göstermiştir.

8. Teşekkür

Bu alışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TBTAK) tarafından 114Y219 numaralı proje ile maddi olarak desteklenmiştir. Bu alışma sırasında görüş ve önerilerinden yararlandığım Prof. Dr. Cüneyt şen'e, arazi çalışmalarındaki katkılarından dolayı Jeoloji Mühendisleri Sinan Yılmazzer ile Buket Dündar'a teşekkür ederim. Ayrıca, makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılarından dolayı editör ve hakemlere teşekkür ederim.

9. Kaynaklar

Adamia, S.A., Lordkipanidze, M.B., Zakariadze, G.S., 1977. Evolution of an active continental margin as exemplified by the Alpine history of Caucasus, Tectonophysics, 40, 183-199.

Adamia, S.A., Chkhotua, T., Kekelia, M., Lordkipanidze, M., Shavishvili, I., Zakariadze, G., 1981. Tectonics of the Caucasus and adjoining regions: implications for the evolution of the Tethys ocean, Journal of Structural Geology, 3, 4, 437-447.

Ağar, ., 1977. Demirz (Bayburt) ve Kse (Kelkit) blgesinin jeolojisi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstanbul.

Akıncı, ., Barbieri, M., Calderoni, G., Ferrini, V., Masi, U., Nicoletti, M., Petruciani, C., Tolomeo, L., 1991. The Geochemistry of Hydrothermaly Altered Rocks of the Lower Volcanic Cycle from the Eastern Pontides (Trabzon, NE Turkey), Chemie der Erde, 51, 173-186.

Alp, D., 1972. Amasya Yöresinin Jeolojisi, İstanbul Üniversitesi Fen Fak. Monografileri, 22, İstanbul, 135.

Altherr, R., Topuz, G., Siebel, W., şen, C., Meyer, H.P., Satır, M., 2008. Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic

- characteristics of Paleocene plagioclinites from the Eastern Pontides (NE Turkey), Lithos, 105, 149-161.
- Arslan, M., Tüysüz, N., Korkmaz, S., Kurt, H., 1997. Geochemistry and Petrogenesis of the Eastern Pontide Volcanic Rocks, Northeast Turkey, Chemi der Erde, 57, 157-187.
- Arslan, M., Şen, C., Aliyazıcıoğlu, İ., Kaygusuz, A. ve Aslan, Z. 2000. Comparative geology, mineralogy and petrology of Eocene (?) volcanics in Trabzon and Gümüşhane areas (NE, Turkey). Earth Science and Mining Conference, Journal of Conference Book 1, 39-53.
- Arslan, M., Aliyazıcıoğlu, İ., 2001. Geochemical and Petrological Characteristics of the Kale (Gümüşhane) Volcanic Rocks: Implications for the Eocene Evolution of Eastern Pontide Arc Volcanism, Northeast Turkey, International Geology Review, 43, 595-610.
- Arslan, M., Aslan, Z., 2006. Mineralogy, petrography and whole-rock geochemistry of the Tertiary granitic intrusions in the Eastern Pontides, NE Turkey, Journal of Asian Earth Sciences, 27, 177-193.
- Arslan, 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., 2010. U-Pb zircon SHRIMP age, geochemical and petrographical characteristics of tuffs within calc-alkaline Eocene volcanics around Gümüşhane (NE Turkey), Eastern Pontides, Neues Jahrbuch für Mineralogie, 187, 3, 329-346.
- Aydın, F. 2003. Değirmendere vadisi (Trabzon-Esiroğlu, KD-Türkiye) volkanitlerinin mineral kimyası, petrolojisi ve petrojenezi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Aydın, F., Karslı, 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.
- Aydın, F., 2014, Geochronology, Geochemistry and Petrogenesis of the Maçka Subvolcanic Intrusions: Implications for the late Cretaceous Magmatic and Geodynamic Evolution of the Eastern Part of the Sakarya Zone, Northeastern Turkey, International Geology Review, 56,10, 1246-1275.
- Aydınçakır, E., 2012. Borçka (Artvin, KD-Türkiye) Yöresi tersiyer Volkanitlerinin Petrografisi, Jeokimyası ve Petrojenezi, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 200s.
- 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., 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 Pontides (NE Turkey), Lithos, 172-173, 98-117.

- Aydıncakır, E., 2014. The Petrogenesis of Early Eocene Non-adakitic Volcanism in NE Turkey: Constraints on the Geodynamic Implications, Lithos, 208/209, 361-377.
- Aydıncakır, 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.
- Aydıncakır, E., Yılmaz, S., DüNDAR, B., Al-Mashramah, Y. A. A., Aydın, F., Dokuz, A., Şen, C., 2016. Taşlıyayla volkanitlerinin (Çaykara güneyi-Trabzon) Jeokimyasal Özellikleri, 7. Jeokimya Sempozyumu, Bildiri Özleri Kitabı, 16-18 Mayıs, Ankara Üniversitesi, Antalya, 244-245.
- Baier, J., Audetat, A., Kepler, H., 2008. The origin of the negative niobium tantalum anomaly in subduction zone magmas, Earth and Planetary Science Letters, 267, 290-300.
- Başer, R., 2016. Artvin-Borçka (KD-TÜRKİYE) Çevresindeki Geç Kretase Volkanitlerinin Petrolojisi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 110s.
- Bektaş, O., Gedik, İ. 1988. A new formation with leucitebearing shoshonitic volcanism in the Kop area (Everekhanları Formation) and its relationship with the evolution of the eastern Pontide arc, NE, Turkey. Geological Society of Turkey Bulletin, 31, 11-19.
- Bektaş, O., Sen, C., Atici, Y., Köprübasi, N. 1999. Migration of the Upper Cretaceous subduction-related volcanism towards the back-arc basin of the Eastern Pontide magmatic arc (NE Turkey), Geological Journal, 34, 95-106.
- Boynukalın, S., 1990. Dereli (Giresun) baraj yeri ve göl alanının mühendislik jeolojisi ve çevre kayaçlarının jeomekanik özellikleri, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Boztuğ, D., Jonckheere, R.c., Wagner, G.A., Yeğingil, Z., 2004. Slow Senonian and fast Paleocene-Early Eocene uplift of the granitoids in the Central Eastern Pontides, Turkey: apatite fission-track results. Tectonophysics, 382, 213-228.
- Boztuğ, D., Erçin, A.İ., Kuruçelik, M.K., Göç, D., Kömür, İ., İskenderoğlu, A., 2006. Geochemical characteristics of the composite Kaçkar batholith generated in a Neo-Tethyan convergence system, Eastern Pontides, Turkey. Journal of Asian Earth Sciences, 27, 286-302.
- Boztuğ, D., Jonckheere, R.C., Wagner, G.A., Erçin, A.I., Yeğingil, Z., 2007. Titanite and zircon fission-track dating resolves successive igneous episodes in the formation of the composite Kaçkar batholith in the Turkish eastern Pontides. International Journal of Earth Sciences, 96, 875-886.
- Bradshaw, T.K., Smith, E.I., 1994. Polygenetic Quaternary volcanism at Crater Flat, Nevada, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 63, 165-182.
- Cameron, B.I., Walker, J.A., Carr, M.J., Patino, L.C., Matias, O., Feigenson, M.D., 2003. flux versus decompression melting at stratovolcanos in southeastern Guatemala, Journal of Volcanology Geothermal Research, 119, 21-50.
- Chen, W., Arculus, R.J., 1995. Geochemical and isotopic characteristics of lower crustal xenoliths, San Francisco Volcanic Field, Arizona, USA, Lithos, 110, 99-119.

- 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.
- Çamur, M.Z., Güven, T.B., Er, M., 1996. Geochemical characteristics of the eastern Pontide volcanics: An example of multiple volcanic cycles in arc evolution, Turkish Journal of Earth Sciences, 5, 123-144.
- Chawthorn, R.G., O'Hara, M.J., 1976. Amphibole fractionation in calcalkaline magma genesis, American Journal of Science, 276, 309-329.
- Çoğulu, E. 1975. Gümüşhane ve Rize Bölgelerinde Petrografik ve Jeokronolojik Araştırmalar, İTÜ Kütüphanesi, 1034, İstanbul.
- Defant, M. J., Drummond, M. S., 1990. Derivation of Some Modern Arc Magmas by Partial Melting of Young Subducted Lithosphere, Nature, 347, 662-665.
- DePaolo D. J., 1981. Trace element and isotopic effects of combined wallrock assimilation and fractional crystallization, Earth and Planetary Science Letters, 53, 189-202.
- Dilek, Y., Imamverdiyev, N., Altunkaynak, Ş., 2010. Geochemistry and tectonics of Cenozoic volcanism in the Lesser Caucasus (Azerbaijan) and the peri-Arabian region: collision-induced mantle dynamics and its magmatic fingerprint, International Geology Review, 52, 4-6, 536-578.
- Dokuz, A., 2000. Yusufeli Yöresinin Jeolojisi, Jeotektoniği, Magmatik-Metamorfik Kayaçların Jeokimyası ve Petrojenezi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- 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 (Arvin), NE Turkey, Turkish Journal of Earth Sciences, 15, 181-209.
- 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: Köse composite pluton, Godwana Research, 19, 926-944.
- Dokuz, A., Uysal, İ., Siebel, W., Turan, M., Duncan, R., Akçay, M., 2013. Post-collisional adakitic volcanism in the eastern part of the Sakarya Zone, Turkey: evidence for slab and crustal melting, Contributions to Mineralogy and Petrology, 166, 1443-1468.
- EğİN, D., Hirst, D.M., Phillips, R., 1979. The petrology and geochemistry of volcanic rocks from the northern Harşit river area, Pontid Volcanic Province, Northeast Turkey, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 6, 105-123.
- Elburg, M.A, Bergen, M.V., Hoogewerff, J., Foden, J., Vroon, P., Zulkarmain, I., 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.
- Erentöz, C., Ketin İ. 1974. Explanatory text of the geological map of Turkey at 1/500.000 G scale (Kars): Spec. Publ. Of Min.Res. and Expl., 57.
- Eyüboğlu, Y., Bektaş, O., Pul, D., 2007. Mid-Cretaceous olistostromal ophiolitic melange developed in the back-arc basin of the eastern Pontide magmatic arc (NE Turkey), International Geology Review, 49, 12, 1103-1126.

- 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.
- Eyüboğlu, Y., Chung, S.L., Santosh, M., Dudas, F.O., Akaryali, E., 2011a, Transition from shoshonitic to adakitic magmatism in the Eastern Pontides, NE Turkey: implications for slab window melting, Gondwana Research, 19, 413-429.
- Eyüboğlu, Y., Santosh, M., Dudas, F.O., Chung, S.L., Akaryali, E., 2011b. Migration magmatism in a continental arc: Geodynamics of the Eastern Mediterranean revisited, Journal of Geodynamics, 52, 2-15.
- Eyuboglu, Y., Santosh, M., Yi, K., Tuysuz, N., Korkmaz, S., Akaryali, E., Dudas, F.O., Bektas, O., 2014. The Eastern Black Sea-type volcanogenic massive sulfide deposits: geochemistry, zircon U–Pb geochronology and an overview of the geodynamics of ore genesis, Ore Geology Review, 59, 29–54.
- Ewart, A., 1982. The mineralogy and petrology of Tertiary-Recent orogenic volcanic rocks: with special reference to the andesitic-basaltic compositional range. In R.S. Thorpe, (eds.) *Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks*. John Wiley, New York, 29-95.
- Fitton, J.G., James, D., Leeman, W.P., 1991. Basic magmatism associated with Late Cenozoic extension in the western United States: compositional variations in space and time, Journal of Geophysical Research, 96, 13693-13712.
- Grove, T.L., Gerlach, D.C., Sando, T.W., 1982. Origin of Calcalkaline Lavas at Medicine Lake Volcano by Fractionation, Assimilation and Mixing, Contributions to Mineralogy and Petrology, 80, 160-182.
- Gülmez, F., Genc, S. C., 2015. Amasya Civarı Geç Kretase Yaşlı Ultrapotasyik Volkaniklerinde Farklılaşma Süreçleri. Maden Teknik Arama Dergisi, 151, 153–172.
- Güven İ.H. 1993. Doğu Karadeniz Bölgesi'nin 1/25.000 ölçekli jeolojisi ve komplikasyonu, MTA (Ankara), (yayınlanmamış).
- Hawkesworth, C.J., Hergt, J.M., McDermott, F., Ellam, R.M., 1991. Destructive Magmatic Magmatism and the Contributions from the Mantle Wedge and Subducted Crust, Australian Journal of Earth Sciences, 38, 577-594.
- Hofmann, A.W., 1988. Chemical differentiation of the Earth: the relationship between mantle, continental crust and oceanic crust, Earth and Planetary Science Letters, 90, 297-314.
- Irvine, T. N., Baragar, W.R.A., 1971. A guide to the chemical classification of common volcanic rocks, Canadian Journal of Earth Sciences, 8, 523-548.
- Jahn, B.M., Zhang, Z.Q., 1984. Archean granulite gneisses from eastern Hebei Province, China: rare earth geochemistry and tectonic implications, Contributions to Mineralogy and Petrology, 85, 224-243.
- Jahn, B.M., Wu, F.Y., Lo, C.H., 1999. Crust-mantle interaction induced by deep subduction of the continental crust: geochemical and Sr-Nd isotopic evidence from post-collisional mafic-ultramafic intrusions of the northern Dabie Complex, Central China, Chemical Geology, 157, 119-146.

- Kandemir, R., 2004. Gümüşhane ve yakın yörelerindeki Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy Formasyonu'nun Çökel Özellikleri ve Birikim Koşulları, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Karlı, O., Aydın, F., Sadıklar, 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.
- Karlı, O., Chen, B., Aydın, F., Şen, C., 2007. Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic compositions of the Eocene Dölek and Sarıççek Plutons, Eastern Turkey: implications for magma interaction in the genesis of high-K calc-alkaline granitoids in a post-collision extensional setting, Lithos, 98, 67-96.
- Karlı, O., Dokuz, A., Uysal, İ., Aydın, F., Bin, C., Kandemir, R., Wijbrans, J.R., 2010. Relative contributions of crust and mantle to generation of Campanian high-K calc-alkaline I-type granitoids in a subduction setting, with special reference to the Harşit pluton, Eastern Turkey, Contribution to Mineralogy and Petrology, 160, 467-487.
- Karlı, O., Dokuz, A., Uysal, İ., Aydın, F., Kandemir, R., Wijbrans, J.R., 2010b. Generation of the Early Cenozoic adakitic volcanism by partial melting of mafic lower crust, Eastern Turkey: implication for crustal thickening to delamination, Lithos, 114, 109-120.
- Karlı, O., Caran, Ş., Dokuz, A., Çoban, H., Chen, B., Kandemir R., 2012. A-type granitoids from the Eastern Pontides, NE Turkey: Records for generation of hybrid A-type rocks in a subduction-related environment, Tectonophysics, 530-531, 208-224.
- Kaygusuz, A., 2009. K/Ar ages and geochemistry of the collision related volcanic rocks in the Ilıca (Erzurum) area, eastern Turkey, Neues Jahrbuch für Mineralogie, 186, 21-36.
- Kaygusuz, A., 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-Geochemistry, 69, 247-277.
- Kaygusuz, A., Wolfgang, S., İlbeyli, N., Arslan, M., Satir, M., Şen, C., 2010. Insight into magma genesis at convergent plate margins – a case study from the eastern Pontides (NE Turkey). Neues Jahrbuch Für Mineralogie, 187/3, 265-287.
- Kaygusuz, A. ve Şen, C., 2011. Calc-alkaline I-Type plutons in the Eastern Pontides, NE Turkey: U-Pb zircon ages, geochemical and Sr-Nd isotopic compositions. Chemie der Erde, 71, 59-75.
- Kaygusuz, A., Sipahi, F., İlbeyli, N., Arslan, M., Chen, B., 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., Arslan, M., Sipahi, F., Temizel, İ., 2016. U–Pb zircon chronology and petrogenesis of Carboniferous plutons in the northern part of the Eastern Pontides, NE Turkey: Constraints for Paleozoic magmatism and geodynamic evolution, Gondwana Research, 39, 327-346.
- 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 Jahrbuch Für Mineralogie, 188, 3, 211-233.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel W., Şen, C., 2011. Geochemical and Sr-Nd Isotopic Characteristics of Post-Collision Calc-Alkaline Volcanics in the Eastern Pontides (NE Turkey), Turkish Journal of Earth Sciences, 20, 137-159.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Wolfgang, S., Sipahi, F., İlbeyli, N., 2012. Geochronological evidence and tectonic significance of Carboniferous magmatism in the southwest Trabzon area, Eastern Pontides, Turkey. International Geology Rewieve, 54 (15), 1776-1800.
- Kaygusuz, A., 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.
- Kazmin, V.G., Sbertshikov, I.M., Ricou, L.E., Zonenshain, L.P., Boulin, J., Knipper, A.I., 1986. Volcanic belts as marker of the Mesozoic-Cenozoic evolution of Tethys, Tectonophysics, 123, 123-152.
- Kelemen, P.B., 1993. Genesis of high Mg andesites and the continental crust: Role of melt/rock reaction in the upper mantle, Eos (Transactions, American Geophysical Union), 74, 684.
- Kelemen, P.B., Yogodzinski, G.M., Scholl, D.W., 2003. Along strike variation in the Aleutian island arc: genesis of high-Mg# andesite and implications for continental crust. In: Eiler, J. (ed.) Inside the Subduction Factory, Geophysical Monograph, American Geophysical Union, 138, 223-276.
- Ketin, İ., 1966. Anadolu'nun Tektonik Birlikleri, MTA Yayını, 66, 113-127, Ankara.
- Ketin, İ., 1983. Türkiye Jeolojisine Genel Bir Bakış, İ.T.Ü. Kütüphanesi, 1259, 536.
- Kırmacı, Z., 1992. Alucra-Gümüşhane-Bayburt Yörelerindeki (Doğu Pontid Güney Zonu) Üst Jura-Alt Kretase Yaşlı Berdiga Kireçtaşı'nın Sedimentolojik İncelemesi, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Korkmaz, S., Tüysüz, N., Er, M., Musaoğlu, A., Keskin, İ., 1995. Stratigraphy of the Eastern Pontides, NE-Turkey. Geology of the Black Sea Region, MTA, Ankara, 59-69.
- Lambert, R.J., Holland, J.G., 1974. Yttrium Geochemistry Applied to Petrogenesis Utilizing Calcium-Yttrium Relationships in Minerals and Rocks, Geochimica et Cosmochimica Acta, 38, 1393-1414.
- 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., Zanettin, B., 1989. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms, Blackwell, Oxford.
- Manetti, P., Peccerillo, A., Poli, G., Corsini, F., 1983. Petrochemical Constraints on the Models of Cretaceous-Eocene Tectonic Evolution of the Eastern Pontic Chain (Turkey), Cretaceous Research, 4, 159-172.
- McCulloch, M.T., Gamble, J.A., 1991. Geochemical and geodynamical constraints on subduction zone magmatism, Earth and Planetary Science Letter, 102, 358-374.
- Morris, J.D., Leeman, W.P., Tera, F., 1990. The subducted component in island arc lavas constraints from Be isotopes

- and B-Be systematics, Nature, 344, 31-36.
- Münker, C., Wörner, G., Yogodzinski, G., Churikova, T., 2004. Behaviour of high field strength elements in subduction zones: constraints from Kamchatka-Aleutian arc lavas, Earth Planet. Sci. Lett., 224, 275-293.
- Okay, A.I., 1984. Distribution and characteristics of the northwest Turkish blueschists. In: The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean (ed. J.E. Dixon ve A.H.F. Robertson), Geological Society Special Publication, 17, 455-466.
- Okay, A.I., Şahintürk, Ö., 1997. Geology of the Eastern Pontides, In: Robinson, A.G. (Editor), Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region, American Association Petroleum Geologist, 68, 291-311.
- Okay, A., Tüysüz, O., 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. In: Durand, B., Jolivet, L., Horvath, F., Serane, M. (Eds.), The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen, Geological Society, London, Special Publications, 156, 475-515.
- Özcan, A., Erkan, A., Keskin, A., Keskin, E., Oral, A., Özer, S., Sümegeç, M., Tekeli, O., 1980. Amasya-Turhal Arasındaki Bölgenin Jeolojisi, MTA Rap. No: 6722.
- Özsayar, T., Gedikoglu, A., Pelin, S., 1981. Artvin Yöresi Yastık-Lavaların Yaşına İlişkin Paleontolojik Veriler, KTÜ.,Yerbilimleri Dergisi, 1, 1, 38-42.
- Pearce, J.A., 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., 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate margins. In: R. S. Thorpe (ed.), Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks. Wiley. New York. 525-548.
- Pearce, J.A., 1983. Role of the subcontinental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In C. J., Hawkesworth ve M. J. Norry, (eds.), Continental Basalts and Mantle Xenoliths, Shiva, Cheshire, 230-249.
- Pearce, J.A., Bender, J.F., De Long, S.E., Kidd, W.S.F., Low, P.J., Güner, Y., Şaroğlu, F., Yılmaz, Y., Moorbath, S., Mitchell, J.J., 1990. Genesis of collision volcanism in eastern Anatolia Turkey, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 44, 189-229.
- Pearce, J.A., Peate, D.W., 1995. Tectonic implications of composition of volcanic arc magmas, Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 23, 251-285.
- Pelin, S., 1977. Alucra (Giresun) Güneydogu Yöresinin Petrol Olanakları Bakımından Jeolojik İncelenmesi, K.T.Ü. Yayinlari, 87, 103.
- Rice, S.P., Roberson, A.H.F, Ustaömer, T., İnan, T., Taşlı, K., 2009. Late Cretaceous-early Eocene tectonic development of the Tethyan suture zone in the Erzincan area, eastern Pontides, Turkey, Geological Magazine, 146, 4, 567-590.
- Ringwood, A.E., 1990. Slab-mantle Interactions: 3. Petrogenesis of Intraplate Magmas and Structure of the Upper Mantle, Chemical Geology, 82, 187-207.
- Schmidberger, S.S., Hegner, E., 1999. Geochemistry and isotope systematics of calc-alkaline volcanic rocks from the Saar-Nahe basin (SW German)-implications for Late Variscan

- orogenic development, Contributions to Mineralogy and Petrology, 135, 373-385.
- Schultze-Westrum, H.H., 1961. Giresun Civarındaki Aksu Deresinin Jeolojik Profili, Kuzeydoğu Anadolu'da Doğu Pontus Cevher ve Mineral Bölgesinin Jeolojisi ve Maden Yatakları ile İlgili Mütealalar, MTA Dergisi, 57, 63-71.
- Seymen, İ., 1975. Kelkit vadisi kesiminde Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Tektonik Özelliği, Doktora Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Smith, E.I., Sanchez, A., Walker, J.D. ve Wang, K., 1999. Geochemistry of mafic magmas in the Hurricane Volcanic field, Utah: implications for small and large scale chemical variability of the lithospheric mantle, Journal of Geology, 107, 433-448.
- Şen, C., Arslan, M., Van, A., 1998. Doğu Pontid (Kd Türkiye) Eosen (?) Alkaleen Volkanik Provensinin Jeokimyasal ve Petrolojik Karakteristikleri, Tübitak Yayınları, Turkish Journal of Earth Sciences, 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, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach, Tectonophysics, 75, 181-241.
- Taşlı, K., 1984. Hamsiköy (Trabzon) Yöresinin Jeolojisi, K.Ü., Dergisi, 3, 69-76.
- Taşlı, K., 1990. Gümüşhane-Bayburt Yörelerindeki Üst Jura-Alt Kretase Yaşlı Karbonat İstiflerinin Stratigrafisi ve Mikropaleontolojik İncelemesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Taylor, S.R., McLennan, S.M., 1985. The Continental Crust, Its Composition and Evolution. Blackwell, Oxford, 312.
- Temizel, İ., Arslan, M., 2009. Mineral Chemistry and Petrochemistry of Post-Collisional Tertiary Mafic to Felsic Cogenetic Volcanics in the Ulubey (Ordu) Area, Eastern Pontides, NE Turkey, Turkish Journal of Earth Sciences, 18, 29-53.
- Temizel, İ., Arslan, M., Ruffet, G., Peucat, J.J., 2012. Petrochemistry, geochronology and Sr-Nd isotopic systematic 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, İ., Arslan, M., Yücel, C., Abdioğlu, E., Ruffet, G., 2016. 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.
- Thirlwall, M. F., Smith, T.E., Graham, A.M., Theodorou, N., Hollings, P., Davidson, J.P., Arculus, R.J., 1994. High field strength element anomalies in arc lavas; source or process? Journal of Petrology, 35, 3, 819-838.
- Tokel, S., 1977. Doğu Karadeniz Bölgesi'nde Eosen Yaşlı Kalkalkalen Andezitler ve Jeotektonizma, TJK Bülteni, 20, 1, 49-54.
- Tokel, S., 1981. Plaka Tektoniğindeki Magmatik Yerleşimler ve Jeokimya: Türkiye'den Örnekler, Yeryuvarı ve İnsan, 6, 53-65.

- Tokel, S., 1995. Magmatic and geochemical evolution of the Pontide segment of the Northern Tethys subduction system. In: Erler, A., Ercan, T., Bingöl, E., Örçen, S. (eds), *Geology of the Black Sea Region*. Mineral Research and Exploration Institute of Turkey Publications, 163-170.
- Topuz, G., Altherr, R., Kalt, A., Satır, M., Wemer, O., Schwarz, W.H., 2004a. Aluminous granulites from the Pulur complex, NE Turkey: a case of partial melting, efficient melt extraction and crystallization, Lithos, 72, 183-207.
- Topuz, G., Altherr, R., Satır, M., Schwarz, W.H., 2004b. Low-grade metamorphic rocks from the Pulur complex, NE Turkey: implications for pre-Liassic evolution of the Eastern Pontides, International Journal of Earth Science (Geol Rundsch), 93, 72-91.
- Topuz, G., Altherr, R., Schwarz, W.H., Siebel, W., Satır, M., Dokuz, A., 2005. Postcollisional plutonism with adakite-like signatures: the Eocene Saraycik granodiorite (Eastern Pontides, Turkey), Contributions to Mineralogy and Petrology, 150, 441-455.
- Topuz, G., Altherr, R., Schwarz, W.H., Dokuz, A., 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., Wolfgang, S., Schwarz, W.H., Zack, T., Hasanözbek, A., Mathias, B., Satır, M., Şen, C., 2010. Carboniferous high-potassium I-type granitoid magmatism in the Eastern Pontides: The Gümüşhane pluton (NE Turkey), Lithos, 116, 92-110.
- Turner, S.P., 2005. Some remarks on magmatic processes beneath island arc volcanoes. *Advances in Science, Earth Sciences, Imperial College Press*, 131-155.
- Tüysüz, O., 1996. Amasya ve Çevresinin Jeolojisi, Türkiye 11. Petrol Kongresi Bildirileri, 32-48.
- Ustaömer, T., Robertson, H.F.A., 1996. Paleotethyan tectonic evolution of the north Tethyan margin in the central Pontids, N Turkey. In: Erler, A., Ercan, T., Bingöl, E., Örçen, S. (Eds.), *Proceedings of the International Symposium on the Geology of the Black Sea Region*, Ankara, 24-33.
- Ustaömer, T., 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, Special Publications, Geological Society London, 340, 281-327.
- Weaver, B.L., Wood, D.A., Tarney, J., Joron, J., 1987. Geochemistry of ocean island basalt from the South Atlantic: Ascension, Bouvet, St. Helena, Gough and Tristan da Cunda. In: Fitton, J.G ve Upton, B.G.J. (eds), *Alkaline Igneous Rocks, Geological Society, London, Special Publications*, 30, 253-267.
- Winchester, J.A., Floyd, P.A., 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. Chemical Geology, 20, 325-343.
- Yılmaz, C., Şen, C., Özgür, S., 2001. Timing of the Earliest Andesitic Volcanicity Activity in the Eastern Pontide Volcanic Arc, *International Earth Science Collection on the Aegean Region*, İzmir, 47-55.
- Yılmaz, C., 2002. Gümüşhane- Bayburt Yöresindeki Mesozoyik Havzalarının Tektono-Sedimentolojik Kayıtları ve

- Kontrol Etkenleri, Türkiye Jeoloji Bülteni, 45, 1, 141-165.
- Yılmaz, A., Engin, T., Adamia S., Lazarashvili T., 1997. Geoscientific Studies Of The Area Along Turkish-Georgian Border, MTA, Ankara.
- Yılmaz, S., Boztuğ, D., 1996. Space and time relations of three plutonic phases in the Eastern Pontides, Turkey, International Geology Review, 38, 935-956.
- Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Genç, Ş. C., Şengör, A.M.C., 1997b. Geology and tectonics of the Pontides, In: Robinson, A.G. (Ed.), Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region, Memoir, American Association of Petroleum Geologists, 68, 183–226.
- Yılmaz-Şahin, S., 2005. Transition from Arc-to Post-Collision Extensional Setting Revealed by K-Ar Dating and Petrology: An Example from the Granitoids of the Eastern Pontides Igneous Terrane, Araklı-Trabzon, NE Turkey, Geological Journal, 40, 425-440.
- Yücel, C., Temizel, İ., Abdioğlu, E., Arslan, M., Yağcıoğlu, U. C., 2014a. Origin of analcimes in the Tertiary volcanic rocks from the Eastern Pontides (NE Turkey): A textural, mineralogical and geochemical approach, Neues Jahrbuch Für Mineralogie, 191, 277–299.
- Yücel, C., Arslan, M., Temizel, İ., Abdioğlu, E., 2014b. 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.
- Yüksel, S., 1976. Şiran Batı Yöresi Mesozoyik Karbonat Kayaçları ve Eosen Flişinin Petrografik ve Sedimentolojik İncelemesi, Doçentlik Tezi, K.T.Ü., Trabzon.
- Zankl, H. 1962. Magmatismus und Bauplan des Ostrpontischen Gebirges im Querprofil des Harşit-Tales, Bayerische Akademie der Wissenschaften. Abhandlungen. Neue Folge, Heft 109, 61-90, München.