

DEMİRÖREN/GÜMÜŞHANE-TÜRKİYE KUVARS PORFİRİ KAYACI VE İLİŞKİLİ SKARN-METASOMATİZMANIN JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

GEOCHEMICAL PROPERTIES OF DEMİRÖREN/GÜMÜŞHANE QUARTZ PORPHYRY ROCK AND RELATED SKARN- METASOMATISM

Alaaddin VURAL 

Doç. Dr., Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü,
Gümüşhane, Türkiye

Geliş Tarihi / Received: 01.12.2020
Kabul Tarihi / Accepted: 27.12.2020

Araştırma Makalesi/Research Article
DOI: 10.38065/euroasiaorg.394

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, Demirören (Gümüşhane-Türkiye) sahasında yüzeyleyen granitik kayaca bağlı gelişmiş skarn/metasomatizma (S/M) oluşuklarının jeokimyasal olarak incelenmesidir. Bu amaçla sahadan jeokimyasal ve sıvı kapanım amaçlı örnekler alınarak analizleri gerçekleştirilmiştir. Sahada S/M gelişiminin ağırlıklı olarak Üst Kretase volkanik kayalarda geliştiği, Orta-Geç Eosen Volkanik kayalarında ise hidrotermal alterasyon süreçlerinin baskın olduğu tespit edilmiştir. S/M'ya maruz kalmış Üst Kretase volkanik kayalar jeokimyasal olarak değerlendirildiğinde, bazaltik andezit, traki-andezit, andezit karakterinde kayalar olduğu, ağırlıklı olarak subalkalin kalkalkali seride yer aldığı tespit edilmiştir. Bu kayalarda, NMORB'a göre ağır nadir toprak elementlerce zenginleşme gözlenmezken, hafif nadir toprak elementlerce 10 ile 100 kat zenginleşmiş olduğu tespit edilmiştir. Kondrit'e göre kıyaslandığında ise ağır nadir toprak elementlerce 10 kat zenginleşme gözlenirken, uyumsuz elementlerce S/M zonu dışındaki kayalarda ise 100 kadar zenginleşmeler tespit edilmiştir. Yapılan sıvı kapanım çalışmalarında, S/M sürecindeki akışkanların %8.4 ile 25.6 NaCl eşleniği tuzlulukta ve 230-370 °C aralığında homojenleşme sıcaklıklarına sahip oldukları tespit edilmiştir.

Jeokimyasal ve sıvı kapanım verileri birlikte değerlendirildiğinde; Demirören sahasındaki S/M oluşuklarının Üst Kretase yaşlı volkano-tortul istife ait bazalt-andezit ve bu kayalara ait piroklastlar içinde kuvars porfir sokulumunun geç evresinde ve/veya yerleşimi sonrasında nispeten yüksek tuzluluk (%8.4 ile 25.6 NaCl eşleniği) ve 230-370 °C arası sıcaklıklarda geliştiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Skarn/Metasomatizma (S/M), Granitoid, Granodiyorit/Kuvars porfir, Sıvı kapanım, Gümüşhane

ABSTRACT

The aim of this study is to geochemically investigate the skarn/metasomatism (S/M) formations due to granitic rock outcropping in Demirören (Gümüşhane-Türkiye) area. For this purpose, samples were taken from the area for geochemical and fluid inclusion studies and analyzed. It was determined that the development of (S/M) in the field was predominantly developed in Upper Cretaceous volcanic rocks, whereas hydrothermal alteration processes were dominant in Middle-Late Eocene volcanic rocks. When the Upper Cretaceous volcanic rocks exposed to S/M were geochemically evaluated, it was found that they were rocks in the characteristics of basaltic andesite, trachy-andesite, andesite, and were predominantly in the subalkaline calc-alkaline series. While these rocks are not enriched by heavy rare earth elements according to NMORB, it has been determined that they are enriched 10 to 100 times by light rare earth elements. When compared to chondrite, a 10-times enrichment was observed by heavy rare earth elements, and up to 100-times enrichments were detected in rocks outside the (S/M) zone by incompatible elements. In the fluid inclusion studies, it was determined that the fluids in the process of S/M had a salinity of 8.4% to 25.6 NaCl equivalents and homogenization temperatures in the range of 230-370 °C.

When geochemical and fluid inclusion data are evaluated together, it was concluded that the skarn/metasomatism formations in the Demirören area have developed within the basalt-andesite belonging to the Upper Cretaceous aged volcano-sedimentary sequence and the pyroclasts of these rocks. The S/M developed in the late phase of quartz porphyry intrusion and/or after its emplacement, relatively high salinity (8.4 to 25.6% NaCl equivalent) and temperatures between 230-370 °C.

Keywords: Skarn/Metasomatism (S/M), Granitoid, Granodiorite/Quartz Porphyry, Fluid inclusion, Gümüşhane

1. GİRİŞ

Çalışma alanı, Alp-Himalaya Dağ kuşağındaki Doğu Karadeniz Dağları'nın güney kesiminde, Gümüşhane İli'nin yaklaşık 45-50 km Kuzeydoğusundadır (Şekil 1). Bölge Alp orojenez ile etkilenen Doğu Pontid jeotektonik kuşağında yer alması nedeniyle; tektonik konumu, genel jeolojisi ve maden yatağı potansiyeli nedeniyle pek çok araştırmaya konu olmuştur (Tokel 1972, 1977; Yılmaz 1972; Adamia vd., 1977; Özsayar vd., 1981; MTA 1986; Güven 1993; Korkmaz vd., 1995; Arslan vd., 1997; Tuysuz 2000; Arslan ve Aslan 2006; Dokuz vd., 2011; Kaygusuz ve Aydınçakır 2011; Kaygusuz vd., 2012a, 2014; Vural 2013b, a, 2016b, 2017a, 2018a, 2019b, a; Vural ve Erşen 2013; Vural ve Kaygusuz 2016, 2019; Kaygusuz ve Sahin 2016; Sipahi vd., 2017a, b, 2018; Sungur vd., 2018, 2020; Vural ve Ersen 2019; Vural ve Çiçek 2020). Bölge genel jeolojisi ve maden jeolojisi bağlamında doğal bir laboratuvar karakterinde olup, bölgede hem metamorfik, magmatik (plütonik ve volkanik) hem de sedimanter kayalar yüzeylenmekte olup, Paleozoyik-Senozoyik zaman aralığında çok geniş bir yaş spektrumunda kayalara rastlanmaktadır. Maden yatakları bağlamında değerlendirildiğinde ise masif sülfid yatakları, skarn tip yataklar, damar tip baz metal yatakları, epitermal değerli metal (altın-gümüş) yatakları olmak üzere pek çok tipte cevherleşmelere rastlanmaktadır. Bölge yoğun magmatik süreçlerin bir sonucu olarak da yoğun alterasyon gelişimi göstermektedir. Çalışmaya konu olan sahada Doğu Karadeniz Tektonik Kuşağı Kuzey-Güney geçiş zonunda yer almakta olup, çalışma sahasında Mezozoik- Senozoik zaman aralığında kayalar yüzeylenmektedir. Sahadaki birimlerden yaşlıdan gence doğru; Üst Kretase bazalt-andezit ve piroklastları ve yine Üst Kretase Kireçtaşı birimi, bunun üzerinde Eosen aşınma yüzeyini temsil eden taban konglomerası ile başlayan ve yine Eosen andezit-bazalt ve piroklastları ile devam eden volkanik kayalar ve tüm bu birimleri kesen Eosen yaşlı granodiyorit/kuvarsporfir birimi yer almaktadır. Sahadaki granitik sokulumla bağlı olarak gelişmiş alterasyon ve granitik sokulum etkisi ile gelişmiş S/M oluşuklarına rastlanmaktadır.

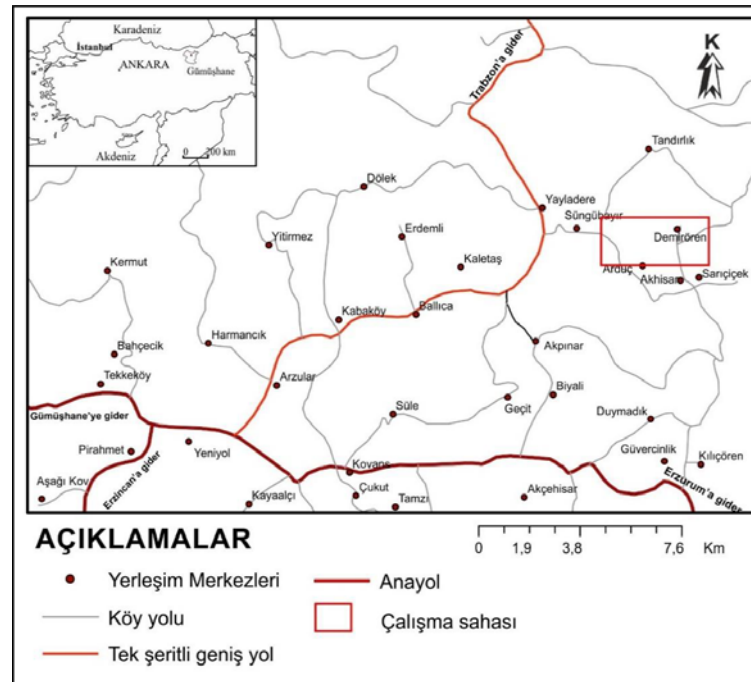
Çalışma kapsamında sahada sokulum yapmış granitik kayalar ve buna bağlı olarak yan kayalarda gelişmiş S/M'nin jeokimyasal özellikleri incelenmiştir. Bu makalede genel itibarıyla granitik kayaların ve ilişkili S/M'ye ait jeokimyasal amaçlı ilk bulgular paylaşılmış olup, detaylı mineralojik-petrografik, cevher mineralojisi, petroloji ve jeokimyasal veriler ayrıca ele alınacaktır.

1.1. Bölgesel Jeoloji

Karadeniz sahili boyunca uzanan tektonik birlikler (Ketin ve Canitez 1972) tarafından Karadeniz Dağları (Pontidler) dikkate alınarak 'Doğu Karadeniz-Doğu Pontid' ve 'Batı Karadeniz-Batı Pontid' olmak üzere iki tektonik zon olarak incelenmiştir. Doğu Karadeniz Bölümü, Doğu Pontidler ise bölgedeki Geç Kretase yaşlı kayalar kuzey ve güney bölgelerinde farklılıklar gösterdiği için Güney (İç) ve Kuzey (Dış) şeklinde bölümlere ayrılmıştır (Akın 1979; Özsayar vd., 1981). Daha sonraki çalışmalarda (Bektaş vd., 1995; Bektaş vd., 1999) tarafından Doğu Karadeniz magmatik yayı maruz kaldığı farklı magmatik, tektonik ve sedimantolojik evrim aşamalarına dayanılarak kuzeyden güneye doğru; Kuzey Zon, Güney Zon ve Eksen Zonu olmak üzere üç alt birliğe ayrılmıştır (Şekil 2).

Doğu Pontidler tabanı Geç Paleozoyik dönemini temsil eden Erken-Orta Karbonifer yaşlı metamorfik kayalar ile Orta-Geç Karbonifer yaşlı granitoidlerden ibarettir (Topuz vd., 2010;

Dokuz 2011; Kaygusuz vd., 2012b). Bunların üzerine uyumsuz olarak, Erken Jura dönemini temsil eden Liyas yaşlı, Neotetis Okyanusu'nun açılması ile ilişkili rift fasiyeleri olarak yorumlanmış, volkano-sedimanter kayaçlar gelmektedir (Arslan vd., 1997; Okay ve Şahintürk 1997). Bu kayaçlar taban konglomerası ile başlamakta ve bazalt diyabaz, çört ve tüf içeren türbiditik karakterdeki birimlerle devam etmektedir (Adamia vd., 1977). Liyas yaşlı volkano-tortul/sedimanter kayaçlar Doğu Pontidlerde değişik bölgelerde Geç Jura-Paleosen yaşlı granitoyidler tarafından kesilmektedir (Yılmaz ve Boztuğ 1996; Okay ve Şahintürk 1997; Kaygusuz vd., 2008, 2010). Liyas volkano tortul birimler Geç Jura-Erken Kretase platform karbonatları tarafından uyumlu olarak örtülürler. Bu karbonat platformu kireçtaşlarının Aluçra (Giresun) yöresindeki eşleniklerine (Pelin 1977) tarafından Berdiga formasyonu ismi verilmiş olup, tüm Doğu Pontidlerde bu isimlendirme genel kabul görmüştür.



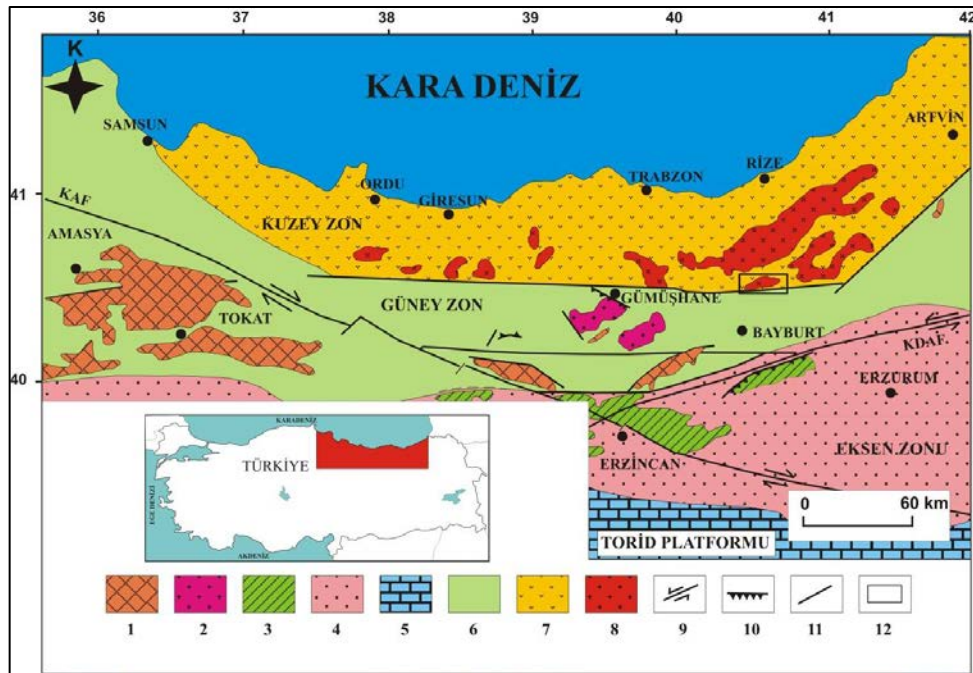
Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası

Üst Kretase'den itibaren Doğu Pontidlerin Kuzey ve Güney Zonu farklı litolojilerin gelişimine sahne olmuştur. Kuzey Zon daha çok yoğun bir magmatik aktiviteye sahipken, Güney Zon ise ağırlıklı olarak distal türbiditik karakterli akıntı sedimanlarının çökelimine sahne olan bir havza özelliği göstermiştir (Bektaş 1986).

Gümüşhane yöresi ve yakın çevresinde bu Geç Jura-Erken Kretase karbonatlar üzerine, bazı yerlerde uyumsuz (Pelin 1977), diğer bazı yerlerde ise uyumlu olarak (Dokuz ve Tanyolu 2006), tane boyu ve tabaka kalınlığı genel olarak üste doğru gittikçe artan, tabanda sarı renkli kumlu kireçtaşları üste doğru kırmızı renkli kırıntılı karbonatlar ile devam eden; ağırlıklı olarak kumtaşı, kıltaşı ve marn ardalanmasından oluşan Geç Kretase yaşlı Kermutdere Formasyonu gelmektedir (Tokel 1972).

Tüm Doğu Pontidler Paleosen-Orta Eosen zaman aralığı içinde su yüzeyi üzerinde kaldığı için erozyona maruz kalmış olup, bahse konu dönem Anatolid-Torid Bloku ile Pontidlerin çarpışması ve Neotetis'in kuzey kolunun kapanmasına karşılık gelen bir uyumsuzluk düzeyine karşılık gelmektedir. Dolayısıyla Pontidlerde, Kuzey ve Güney Zonu'n genel karakteri ile uyumlu olarak Geç Kretase volkanik (Kuzey Zon) ve/veya sedimanter kayaçlar (Güney Zon) Orta-Geç Eosen yaşlı volkano-tortul kayaçlar tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir. (Tokel 1972) tarafından Alibaba formasyonu olarak adlandırılan bu formasyon Gümüşhane yöresinde oldukça geniş bir alanda

yüzlek verir ve pek çok cevherleşmeye de ev sahipliği yapar. Formasyon Gümüşhane ve yakın bölgesinde, tabanda yersel olarak konglomeralar, kumtaşı ve tüfit ara katkılı nummulitli kireçtaşları ile başlayarak, üst seviyelere doğru bazalt, andezit ve ilişkili piroklastikleri ile devam eder, ve yer yer aşınmış olarak bulunan kireçtaşı, kumtaşı, marn, tuf ardalanması ile formasyon son bulur (Aliyazıcıoğlu 1999; Arslan ve Aslan 2006; Vural ve Erdoğan 2013; Vural 2014a; Vural ve Erdoğan 2014; Vural 2015a). Birim (Güven 1993) tarafından Kabaköy formasyonu olarak çok fazla atıf yapılmaktadır. Orta-Geç Eosen yaşlı volkano-tortul bu seri Gümüşhane yöresinin bir çok bölgesinde (Eski Gümüşhane, Gümüştuğ, Sarıçiçek, Dölek, Demirören) Üst-Eosen yaşlı granitik kayalar tarafından kesilmektedir (Karslı vd., 2007; Eyuboglu vd., 2011; Vural ve Şahin 2012; Vural 2014b, 2017b, 2019b; Vural ve Kaygusuz 2016; Vural vd., 2018)Yöredeki en genç kayalar traverten, taraça ve alüvyonlardan oluşur (Vural 2018b, c, 2019c).



Şekil 2. Doğu Pontidlerin ana yapısal özellikleri, 1: Paleozoyik metamorfik temel, 2: Paleozoyik granitler, 3: Serpantinitle, 4: Mesozoyik ve Senozoyik kayalar, 5: Platform karbonatlar, 6: Mesozoyik tortul kayalar, 7: Kretase ve Eosen yay volkanitleri, 8: Üst Kretase ve Eosen yay granitleri, 9: Doğrultu atımlı faylar, 10: Bindirme 11: Normal fay,12: Çalışma alanı, KAF=Kuzey Anadolu Fayı, KDAF=Kuzeydoğu Anadolu Fayı (Bektaş vd., 1995; Bektaş vd., 1999)’dan değiştirilerek).

1.2. Çalışma Sahasının Jeolojisi

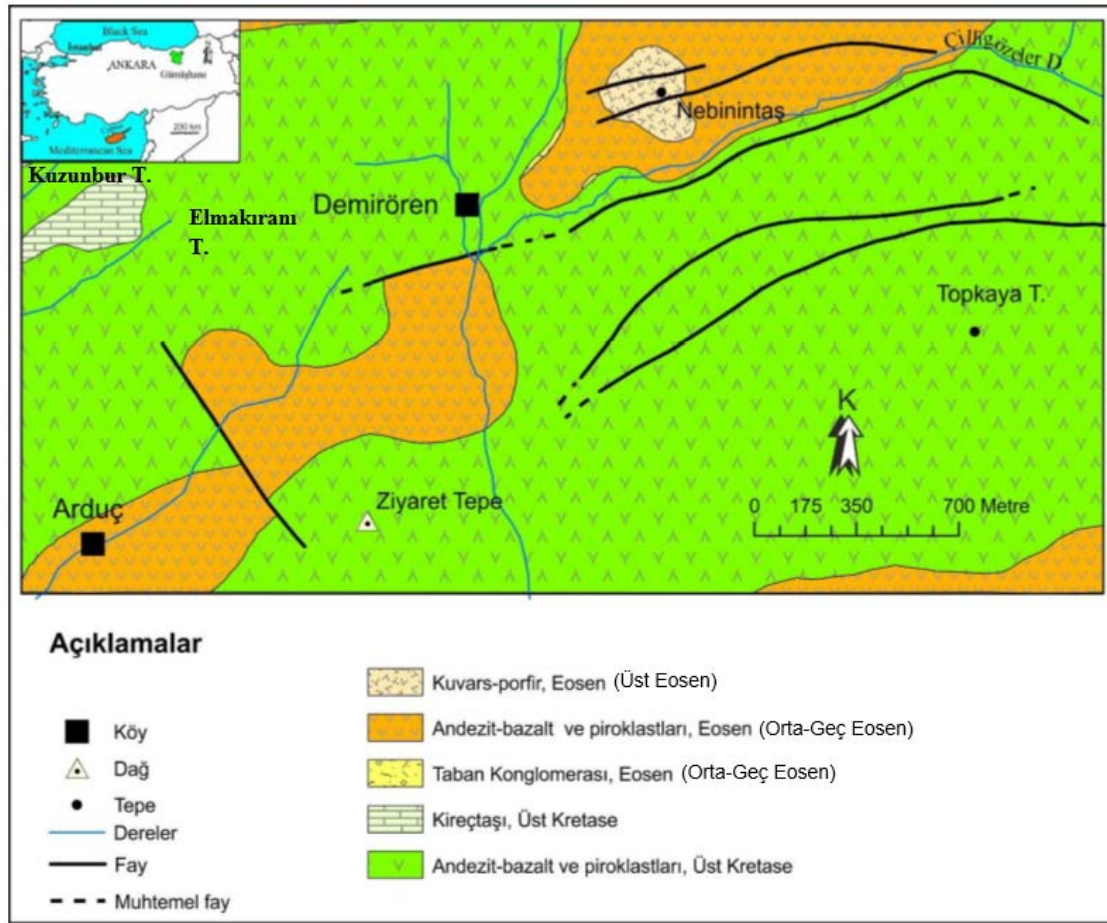
Çalışma sahası, Alp Orojenezi ile etkilenmiş Doğu Pontid Jeotektonik Kuşağı (DPJK) içinde yer alır. Çalışma alanında Mezozoik-Senozoik zaman aralığında yüzeylenen kayaç birimleri tabandan tavana doğru; en altta Üst Kretase yaşındaki andezit-bazalt karakterinde volkanik kayalar ve bu kayalara ait piroklastikleri içeren volkano-tortul birimler ve Üst Kretase yaşlı kireçtaşı birimi yer alır. Üst Kretase volkanikleri üzerine, Orta-Geç Eosen dönemine kadar devam eden bir erozyon döneminin kanıtı olarak taban konglomerasıyla başlayan ve Orta-Geç Eosen andezit-bazalt ve bunların piroklastıklarını içeren bir diğer volkano-tortul kayaç topluluğu gelir. Orta-Geç Eosen volkano tortullar ise Üst-Eosen yaşlı granodiyorit-kuvarsporfir türü intrüzif kayaç tarafından kesilmektedir (Güner vd., 2012; Vural 2013a, 2015b, 2016a, b, 2018d, e) (Şekil 3). Bölgede benzer yaşlı ve ağırlık olarak granodiyorit karakterindeki intrüzif kayalar, Sarıçiçek ve Dölek köyleri ve

yakın civarlarında da geniş alanlarda yüzlek vermekte olup, çalışma sahasında küçük bir alanda mostrasına rastlanmıştır.

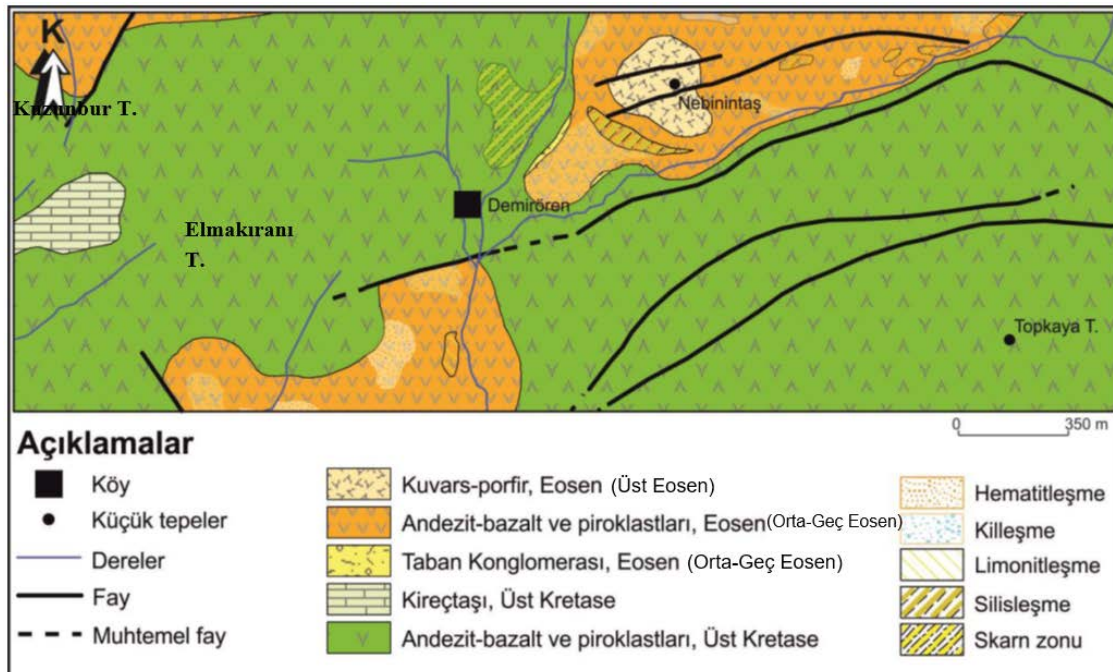
Çalışma sahasının en yaşlı birimi olarak gözlenen Üst Kretase volkanikler, gri siyah, yeşilimsi renkli olup, yer yer kırmızı kireçtaşı, kumtaşı, tuf ara seviyeleri içermektedir. Bu kayalar (Keskin vd., 1989; Güner vd., 2012) tarafından Arduç Formasyonu olarak adlandırılmış ve Üst Kretase (Senoniyen) yaşı verilmiş olup, bu çalışmada da aynı adlandırma ve yaşlandırma kabul edilmiştir. Sahada en yaygın olarak bu kayaç topluluğu yüzlemektedir. Birim içinde çok belirgin ve güçlü bir hidrotermal alterasyon/mineralizasyon görülmemekle birlikte kayaların, genç granitik intrüzyonun hemen batısında yer alan kesiminde S/M gelişimleri tespit edilmiştir (Şekil 4). Bu volkanik kayaç birimi üzerine çalışma sahasının kuzeybatısında, Elmakıranı T. batısında ve Kuzunbur T. mevkiğinde topoğrafik olarak da yüksek kotlarda, bu kayalarla uyumlu bir ilişki gösterdiği düşünülen ve (Keskin vd., 1989) tarafından Kapıkaya Formasyonu olarak adlandırılmış ve yine aynı araştırmacılarca Üst Kretase (Maestrichtiyen) yaşı verilmiş kireçtaşları gelmektedir. Kireçtaşları sahada 100 metre kalınlığa kadar ulaşmakta olup, gri, beyaz, sarımsı renkli, yer yer kristalize, yer yer boşluklu yapı gösterirler (Güner vd., 2012; Vural 2013a).

Üst Kretase volkanik birimleri üzerine, Üst Kretase-Paleosen dönemindeki aşınmaya karşılık gelen taban konglomerası (uyumsuzluk düzlemi) ile başlayan Orta-Geç Eosen yaşlı andezit-bazalt ve bu kayaların piroklastlarından oluşan kayaç topluluğu gelir. Sahada taban konglomerası daha çok Demirören köyünün hemen kuzeydoğusunda gözlenmekte olup, 20-30 m kalınlık göstermektedir. Taban konglomerası birimi içinde 1-5 cm boyutlarında çört, tortul, volkanik ve metamorfik kayaç çakılları bulunmakta olup bu çakıllar silis ve kil çimento ile tutturulmuştur. Taban konglomerası seviyesi üzerine gelen andezit-bazalt ve piroklastlarından oluşan bu volkanik kayalar bölgesel jeoloji bölümünde de belirtildiği üzere (Güven 1993) tarafından Kabaköy Formasyonu olarak adlandırılmış ve Orta-Geç Eosen yaşı verilmiştir. Aynı birimler Gümüşhane bölgesinde değişik kesimlerinde rastlanmak olup, (Tokel 1972, 1977) tarafından Alibaba formasyonu olarak adlandırılmış ve Orta-Geç Eosen yaşı verilmiştir. Bu çalışmada da (Tokel 1972) tarafından önerilen Alibaba formasyonu ismi kullanılmıştır.

Alibaba formasyonu yer yer tortul kayaç arakatkıları da içermekte olup, yer yer birim içinde hidrotermal alterasyon gelişimleri görülmektedir (Şekil 4). Silisleşme, hematitleşme, killeşme ve limonitleşme şeklinde izlenen bu alterasyon nedeniyle birim gri beyaz renklidir. İnceleme alanında, Üst Kretase ve Eosen yaşlı volkanikler granodiyorit-kuvars porfir karakterindeki granitik kayalar tarafından kesilmektedir (Demirören Granodiyorit-Kuvars porfir)(Vural 2016a). Sahada en genç intrüzif kayaç birimi olan bu granitik kayacın, sahadaki alterasyon gelişimi ve özellikle Demiören Köyü batısındaki S/M gelişimi ile kökensel ilişkili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3. Çalışması sahasının jeoloji haritası (Güner vd. 2012’den değiştirilerek alınmıştır)



Şekil 4. Çalışma sahası alterasyon ve S/M zonu haritası (Vural 2016a)

2. GEREÇ VE YÖNTEM

Çalışma kapsamında, sahadaki genç granitik sokulumun etkisi ile geliştiği düşünülen S/M'nin incelenmesi amaçlanmış, bu amaçla saha ve laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Arazi Çalışmaları kapsamında sahadaki birimlerin tanımlanması, birimler arasındaki sınır ilişkilerinin, yapısal ve tektonik unsurların belirlenmesi ve S/M gelişimin incelenmesine yönelik olarak gerçekleştirilmiştir. Sahanın jeolojik haritasının revizyonu yapılmış, sahadaki alterasyon gelişimleri ve S/M gelişimin olduğu kesim daha detaylı haritalanmış ve S/M gelişimin arazide dağılımı ve yan kayalarla ilişkisi ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla araziden mineralojik, petrografik, jeokimyasal ve sıvı kapanım amaçlı kayaç örnekleri alınmıştır.

Laboratuvar çalışmaları kapsamında 41 adet örneğin ana, iz ve nadir toprak element (NTE) analizleri ACME Laboratuvarı (Kanada)'nda, İndüktif Olarak Eşleştirilmiş Plazma Atomik Emisyon Spektrometresi (ICP-AES) ve İndüktif Olarak Eşleştirilmiş Plazma Kütle Spektrometresi (ICP-MS) ile gerçekleştirilmiştir. Yine laboratuvar çalışmaları kapsamında ayrıca sıvı kapanım çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Sıvı kapanım çalışmaları için Demirören S/M gelişiminde etkili olan çözeltilerin sıcaklığı, tuzluluğu ve kaynağının ortaya konulabilmesi amacıyla S/M gelişimi ile ilişkili olduğu düşünülen kuvars minerallerinden 10 adet örneğin sıvı kapanım örneği alınmış ve Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü ve Gümüşhane Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında sıvı kapanım çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Tüm kayaç jeokimyası

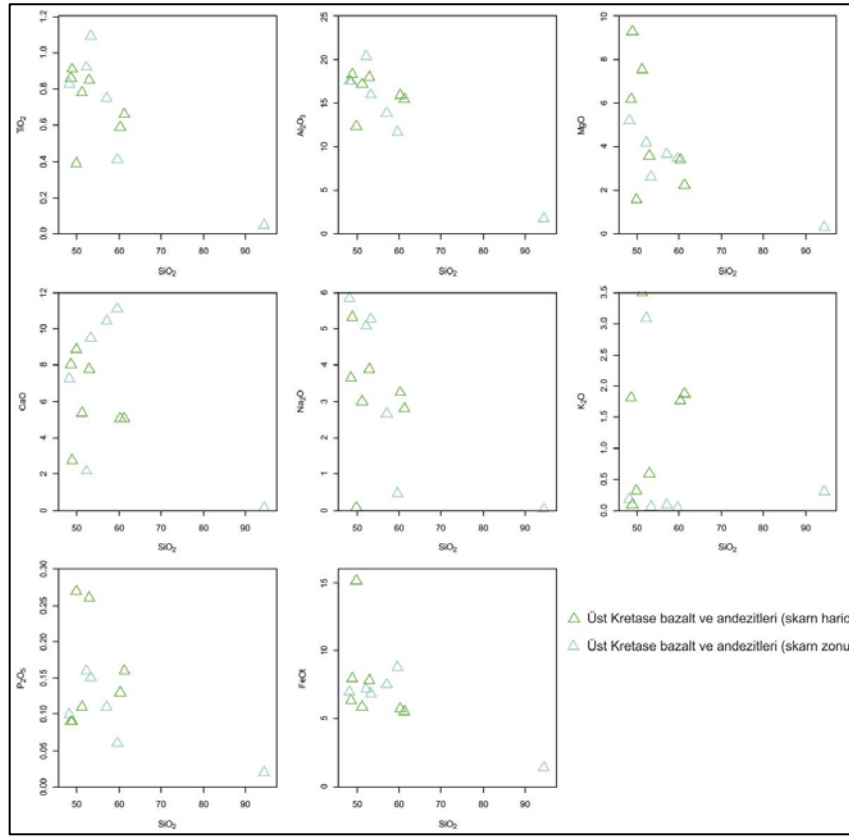
Sahadaki granitik kayalardan, bu kayaların sokulum yaptığı Eosen volkaniklerden, S/M gelişimin gözleendiği Üst Kretase volkanik kayalarından alınan 41 adet örneğin tüm kayaç analizleri ACME Lab (Kanada)'da gerçekleştirilmiş ve elde edilen bulgular petrolojik-jeokimyasal olarak değerlendirilmiştir.

3.1.1. Üst Kretase yaşlı bazalt-andezit ve piroklastları

Çalışma sahasının en yaşlı birimi olan Üst Kretase volkanik kayalarının SiO_2 'e karşı ana oksit diyagramları (Şekil 5) ve SiO_2 'e karşı iz elementlerin karşılaştırıldığı diyagramlar (Şekil 6) verilmiştir.

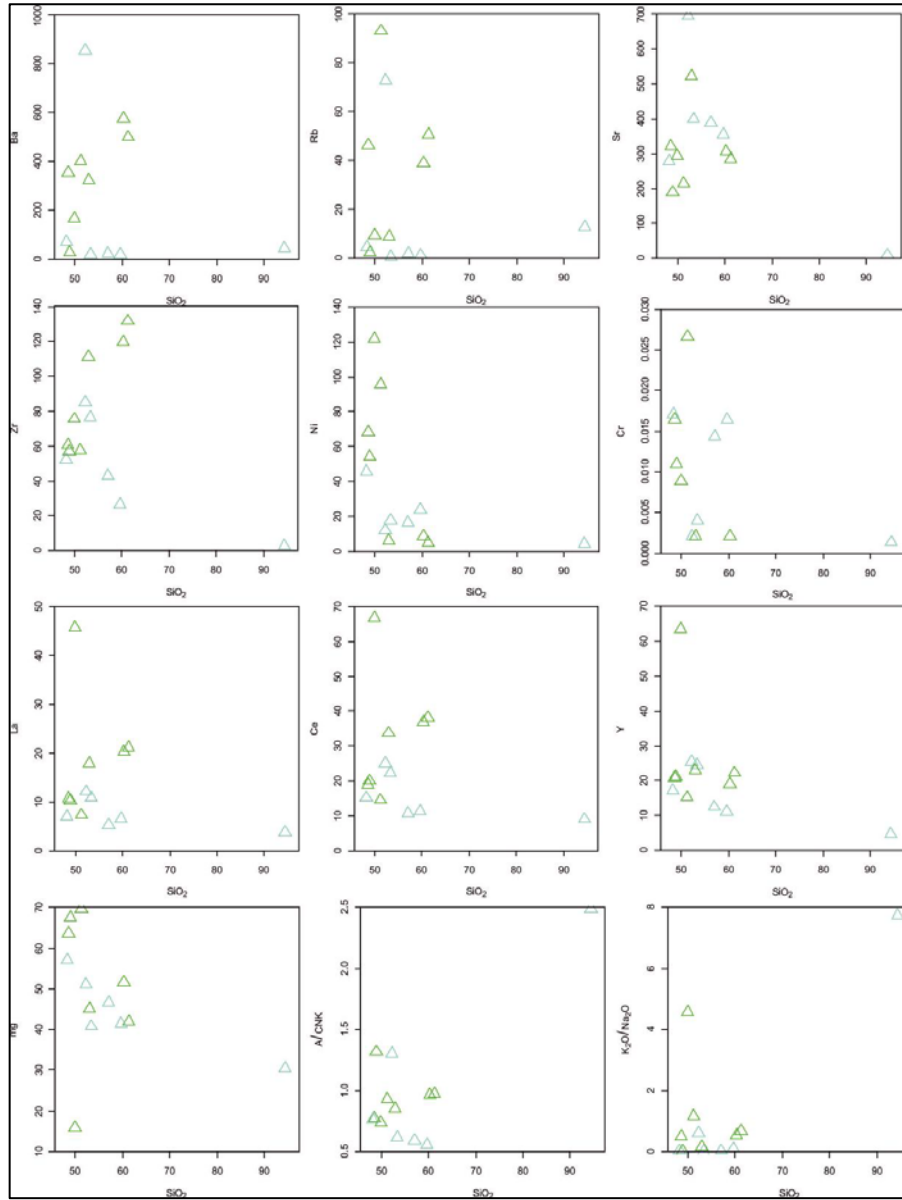
Üst Kretase volkanik kayalarının SiO_2 'e karşı ana oksit içerikleri incelendiğinde, TiO_2 içerikleri ile anlamlı bir koresiyon gözlenememiş olmakla birlikte zayıf bir pozitif korelasyon vardır. Üst Kretase kayalarından sadece bir tanesi yüksek silisleşme etkisi nedeniyle diğer örneklerden farklılık göstermektedir. Al_2O_3 ile negatif bir korelasyon söz konusu olup, benzer durum MgO için de geçerlidir. Özellikle S/M zonu içindeki kayalarda bu negatif ilişki daha güçlüdür. CaO değerleri S/M zonu kayalarda pozitif korelasyon gösterirken, skarn zonu dışındaki kayalarda ise negatif korelasyon vardır. Na_2O hem skarn zonu içindeki kayalarda hemde skarn zonu dışındaki kayalarda zayıf bir negatif korelasyon gösterir. P_2O_5 için anlamlı bir ilişki yoktur. Toplam demire (FeO^t) karşı SiO_2 ise S/M zonu dışındaki volkanik kayalarda zayıf bir negatif korelasyon, S/M zonu içinde ise S/M gelişimine bağlı pozitif korelasyon gözlenmiştir.

Üst Kretase volkanik kayalarının SiO_2 'e karşı iz element değişimleri irdelendiğinde ise S/M zonu dışındaki kayaların SiO_2 'e karşı Ba, Rb, Sr, Zr, La, Ce elementlerince pozitif korelasyon, S/M zonu içinde Ba, Rb elementlerince anlamlı bir ilişki gözlenememiş, Zr, Sr, Cr, Ni, La, Ce, Y elementlerince negatif bir ilişki görülmüştür. Zr elementince S/M zonu içinde negatif korelasyon, S/M zonu dışında ise pozitif korelasyonun gözlenmesi dikkat çekicidir. Mg elementince hem S/M zonunda hem de dışında negatif korelasyon mevcuttur. Benzer negatif korelasyon A/CNK ile SiO_2 arasında da gözlenmiştir.



Şekil 5. Üst Kretase Volkanik kayaçlarının SiO_2 ’e karşı ana oksit diyagramları

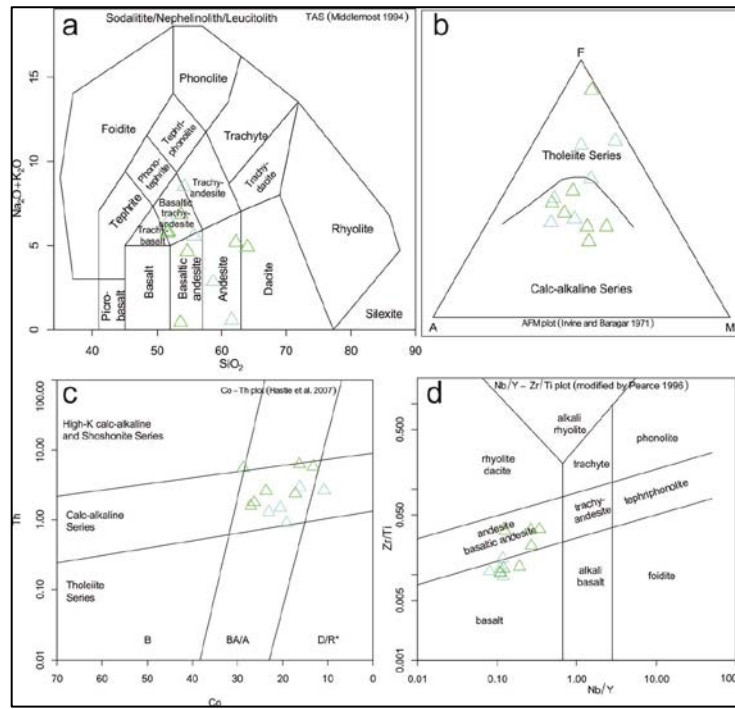
Üst Kretase volkanik kayaçlarının, Toplam Alkali-silisyum (TAS), AFM ve iz elementlerden yararlanılarak sınıflandırılma diyagramları (Şekil 7 a-d) verilmiştir. Üst Kretase volkanik kayaçlarının toplam alkaliye karşı SiO_2 içeriklerine göre (TAS diyagramı) incelendiğinde, kayaçların bazaltik andezit, andezit ve trakiandezit alanına düştüğü, bir örneğin ise andezit-dasit sınırında yer aldığı görülmektedir (Şekil 7a). Bu diyagram bilindiği gibi taze/altere olmamış kayaçlarda sağlıklı sonuçlar verirken, alterasyon/skarnlaşma vb. durumlarda etkilenmeye açıktır. Bu tür etkilere karşı dirençli elementlerden yararlanılarak oluşturulan iz element diyagramlarından biri olan ve (Pearce 1996) tarafından değiştirilerek oluşturulan Zr/Ti-Nb/Y diyagramı değerlendirildiğinde, hem S/M zonu içindeki hemde S/M zonu dışındaki volkanik kayaçların andezit, bazaltik andezit ve bazalt alanına düştüğü görülmektedir (Şekil 7d). Kayaçların magma serileri incelendiğinde, AFM diyagramında (Şekil 7b) çoğunlukla kalk alkali seri içinde yer aldıkları, birkaç örneğin ise toleyitik seri alanı düştüğü görülmektedir. AFM diyagramı da alterasyon/skarnlaşma gibi ikincil etkiler nedeniyle sapmalar göstermektedir. Kayaçlar Hastie ve diğ. (2007) tarafından önerilen Th-Co diyagramında (Şekil 7c) değerlendirildiğinde ise Kalk-alkalin seri alanına düştüğü görülmüştür.



Şekil 6. Üst Kretase Volkanik kayaçlarının SiO_2 'e karşı iz element diyagramları (sembol açıklamaları Şekil 5'de)

Üst Kretase volkanik kayaçlarının NMORB ve Kondrite göre normalize edilmiş örümcek diyagramları oluşturulmuştur (Şekil 8). Kayaçların iki örnek haricinde birbirleri ile genel bir uyumluluk gösterdiği ve NMORB'a göre ağır nadir toprak elementlerince zenginleşme gözlenmezken hafif nadir toprak elementlerince 10 ile 100 kat zenginleşmiş olduğu, Kondrit'e göre kıyaslandığında ise ağır nadir toprak elementlerce 10 kat bir zenginleşme gözlenirken, uyumsuz elementlerce S/M zonu dışındaki kayaçlarda 100 kata varan zenginleşmeler gözlenmiştir. S/M zonundaki kayaçlarda ise 10 kata varan zenginleşmeler görülmektedir. S/M zonu içinde yer alan örnek genel eğilimden sapmalar göstermektedir. Bu da skarnlaşma(metasomatizma)nın etkisi olarak değerlendirilmiştir. S/M zonu dışındaki bir örnekte ise kurşun değerleri neredeyse 1000 kata varan zenginleşme göstermektedir ki, bu sahada hidrothermal alterasyonun etkisinin bir sonucu olarak yorumlanmıştır.

Üst Kretase volkanik kayaçlar tektonik ortamlarına göre (Pearce 2008) tarafından önerilen tektonik sınıflama diyagramlarına göre değerlendirildiğinde volkanik yay dizisi alanına düştüğü görülmektedir (Şekil 9).



Şekil 7. Üst Kretase Volkanik kayaçlarının a) TAS, b) AFM, c) Th-Co diyagramı, d) Zr/Ti-Nb/Y iz elementlere göre kayaçların kimyasal sınıflandırma diyagramları (sembol açıklamaları Şekil 5'te)

3.1.2. Eosen Alibaba Formasyonu

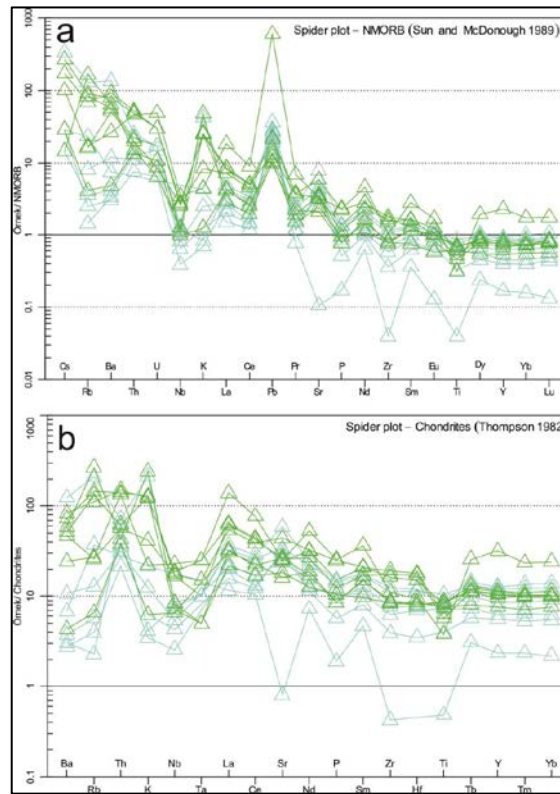
Çalışma sahasındaki Eosen yaşlı volkanik kayaçlarının SiO_2 'e karşı ana oksit diyagramları (Şekil 10) ve SiO_2 'e karşı iz elementlerin karşılaştırıldığı diyagramlar (Şekil 11) oluşturulmuştur. Eosen volkanik kayaçlarının SiO_2 'e karşı ana oksit içeriklerinin karşılaştırılması yapıldığında, TiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Na_2O içeriklerinin, SiO_2 ile negatif korelasyon gösterdiği, MgO , K_2O , P_2O_5 ve FeO içeriklerinin ise anlamlı bir koresalyona sahip olmadığı gözlenmiştir. Eosen volkanik kayaçlarının SiO_2 'e karşı iz element değişimleri irdelendiğinde; Ba, Sr, Rb, Ni elementlerinin SiO_2 ile negatif korelasyon gösterdiği, La, Y, elementlerinin anlamlı bir ilişki göstermediği, Ce, A/CNK ve $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 'ye göre SiO_2 içeriklerinin ise pozitif korelasyon gösterdiği tespit edilmiştir.

Eosen volkanik kayaçlarının, Toplam Alkali, AFM ve iz elementlerden yararlanılarak sınıflandırılma diyagramları (Şekil 12) oluşturulmuştur. Eosen volkanik kayaçlarının toplam alkaliye karşı SiO_2 içeriklerine göre (TAS diyagramı) değerlendirmesi yapıldığında, dört kayaç örneğinin riolitik alana, bir kayaç örneğinin de andezit alanına düştüğü görülmektedir (Şekil 12a). Bu diyagram bilindiği gibi taze/altere olmamış kayaçlarda sağlıklı sonuçlar verirken, alterasyon/skarnlaşma vb durumlarda etkilenmeye açıktır. Kimyasal veriler ile petrografik incelemeler bu bağlamda bire bir örtüşmemektedir. Bu farklılığın en önemli sebebi sahada özellikle Eosen volkanik kayaçlarında yoğun bir alterasyonun gelişmiş olmasıdır. Bu tür etkilere karşı dirençli elementlerden yararlanılarak oluşturulan iz element diyagramlarından biri olan ve (Pearce 1996) tarafından değiştirilerek oluşturulan Zr/Ti-Nb/Y diyagramında kayaç verileri değerlendirildiğinde kayaçların andezit, bazaltik andezit, trakiandezit ve riolit-dazit alanı düştüğü görülmüştür (Şekil 12d).

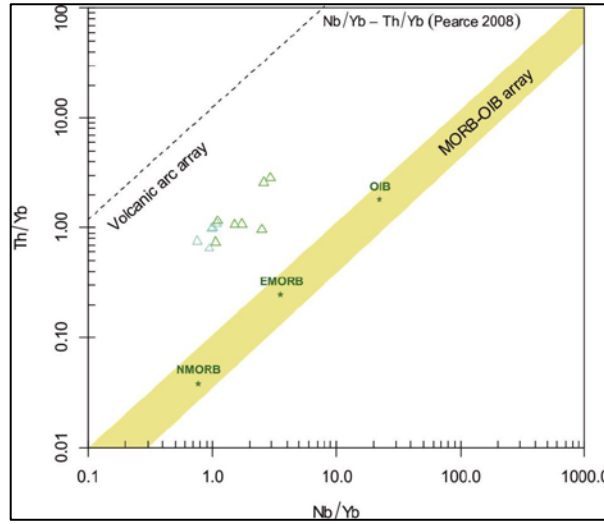
Kayaçların magma serileri incelendiğinde, AFM diyagramında (Şekil 12b) kayaçların kalk-alkali serisi içinde yer aldıkları görülmüştür. AFM diyagramı da alterasyon/skarnlaşma gibi ikincil etkiler nedeniyle sapmalar göstermektedir. Bu da dikkate alınarak kayaçlar (Hastie vd., 2007) tarafından önerilen Th-Co diyagramında değerlendirildiğinde (Şekil 12c) ise Kalk-alkalin ve yüksek K-

kalkalkalin ve Şoşonitik seri alanına düştüğü görülmüş olup, (Peccherillo ve Taylor 1976)'ya K_2O değeri dikkate alındığında Kalk-alkalin ve yüksek K- kalkalkalin alanda yer aldığını teyit etmektedir.

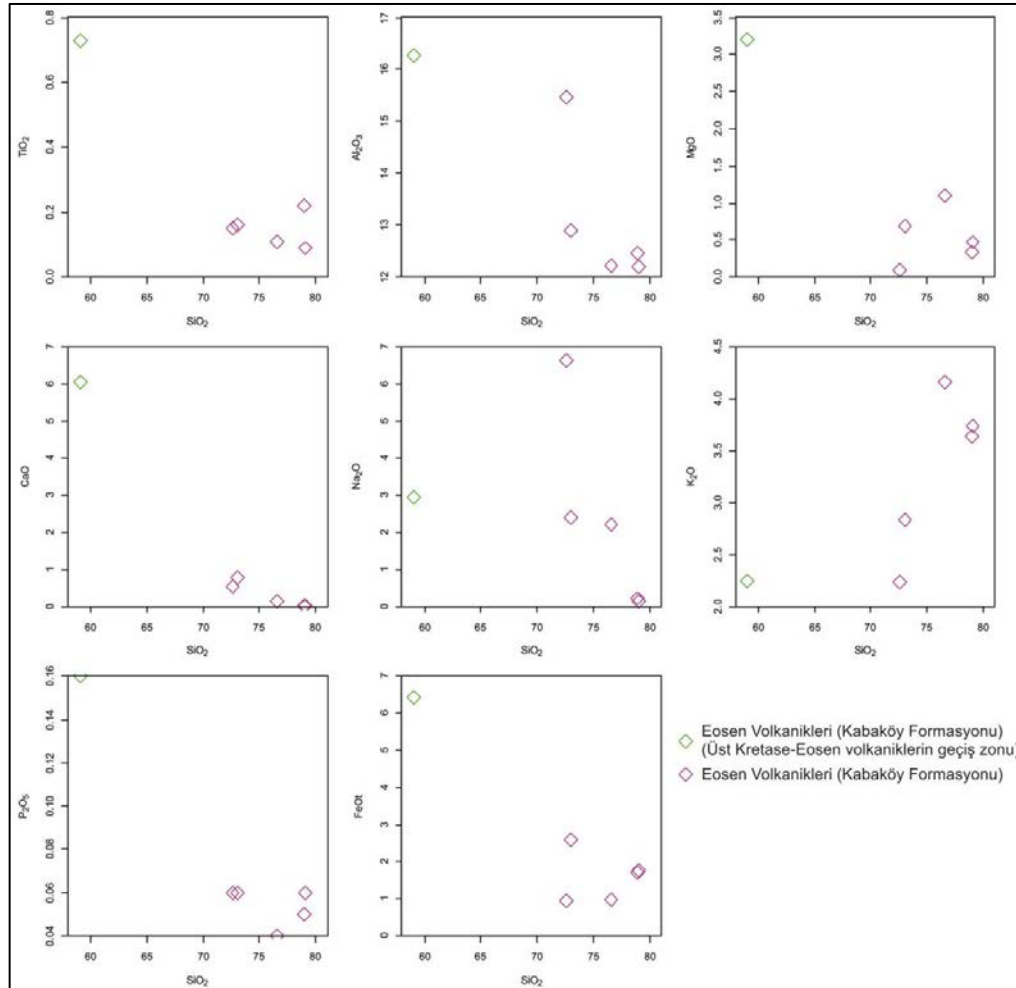
Orta-Geç Eosen volkanik kayaçlarının (Alibaba formasyonu) NMORB ve Kondrite göre normalleştirilmiş örümcek diyagramları oluşturulmuştur (Şekil 13). Kayaçların genel olarak birbiri ile uyumluluk içinde olduğu ve NMORB'a göre ağır nadir toprak elementlerince üç örnekte 1/10 oranına varan tükenmeler görülürken, üç element için ise herhangi bir zenginleşme gözlenmemiştir. Kayaçlar hafif nadir toprak ve uyumsuz elementlerce ise 10 ile 100 kat zenginleşmiş olduğu gözlenmiştir. Kurşun elementin 100 kata kadar varan zenginleşmesinin hidrotermal alterasyon sürecinin etkisi ile olduğu tahmin edilmektedir. Kayaçlar, Kondrit'e göre kıyaslandığında ise Sr ve Ti elementlerince bir zenginleşme veya tükenme gözlenmezken, ağır nadir toprak elementlerce 10 kata varan, hafif nadir toprak ve uyumsuz elementlerce ise 600-700 kata kadar zenginleşme gözlenmiştir. Eosen volkanik kayaçlar tektonik ortamlarına göre Pearce (2008) tarafından önerilen tektonik sınıflama diyagramlarına göre değerlendirildiğinde volkanik yay dizisi alanına düştüğü görülmektedir (Şekil 14).



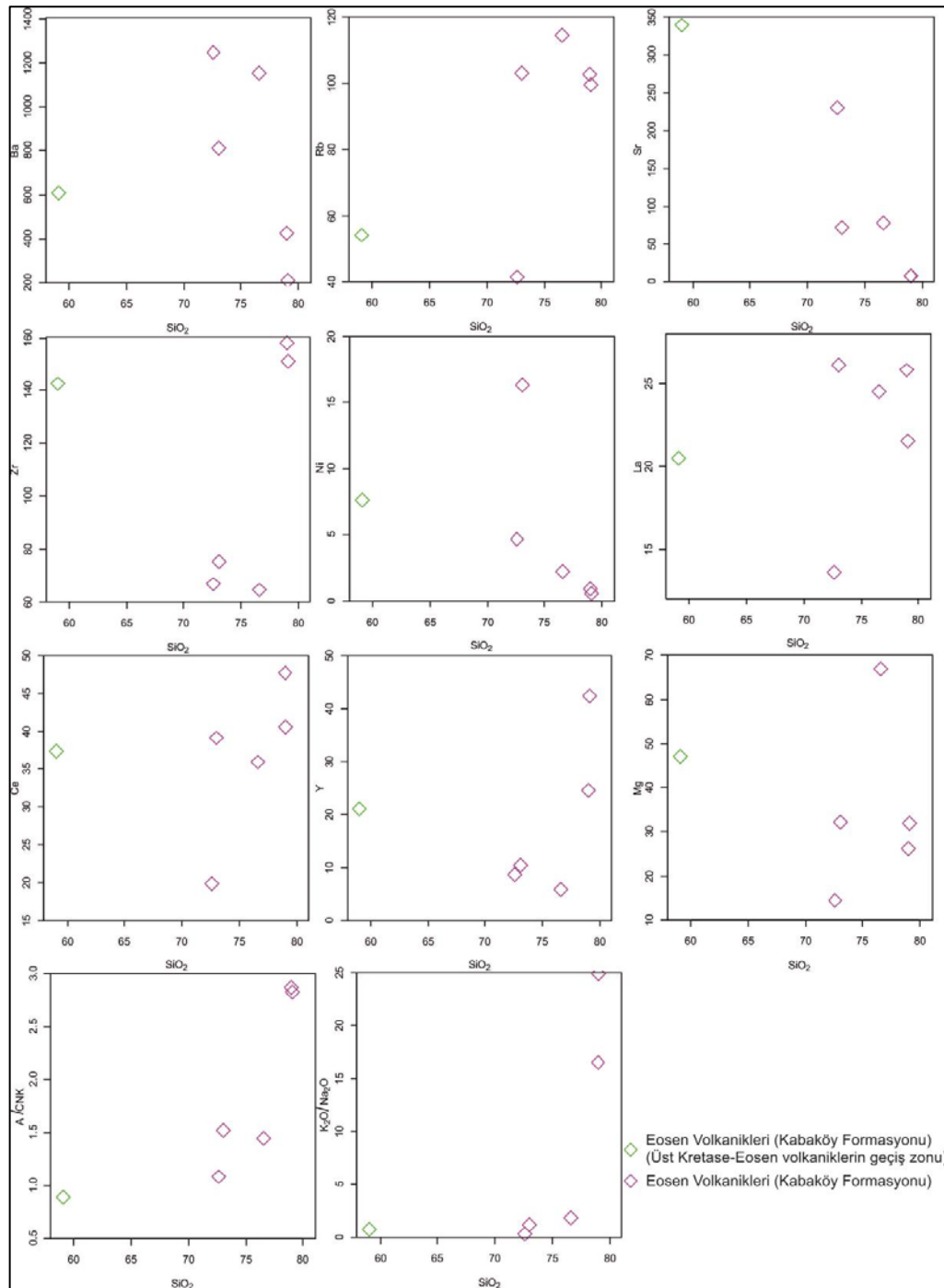
Şekil 8. Üst Kretase Volkanik kayaçlarının a) NMORB ve b) Kondrite göre oluşturulmuş örümcek diyagramları (sembol açıklamaları Şekil 5'te)



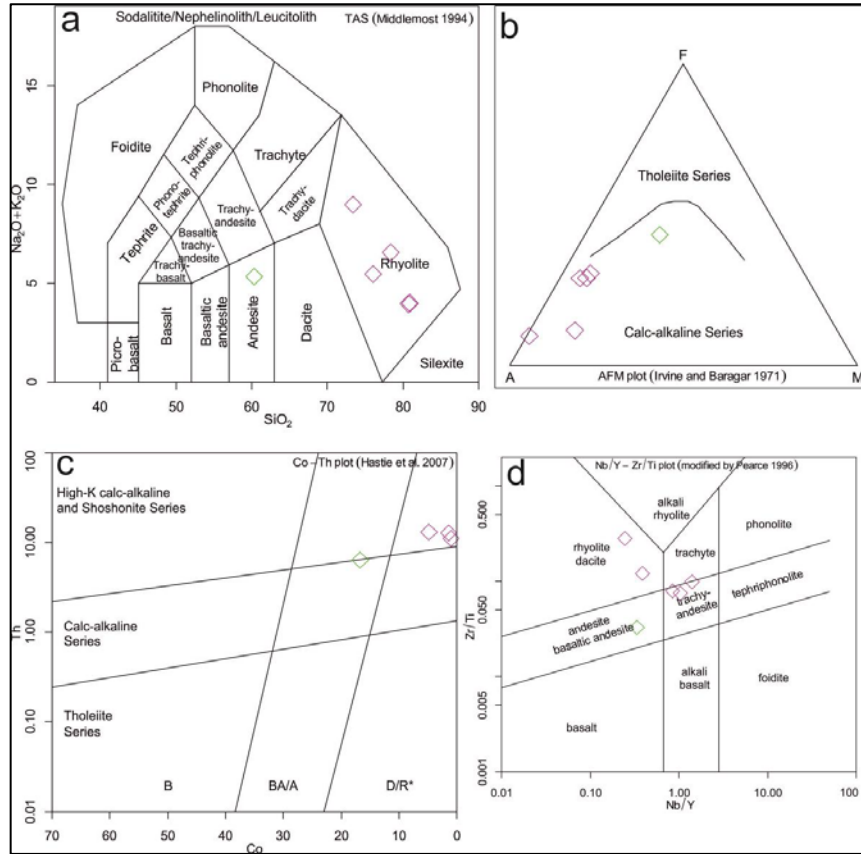
Şekil 9. Üst Kretase Volkanik kayaçlarının Pearce (2008) tarafından önerilen Nb/Yb-Th/Yb diyagramına göre tektonik ortam sınıflandırması (sembol açıklamaları Şekil 5'te)



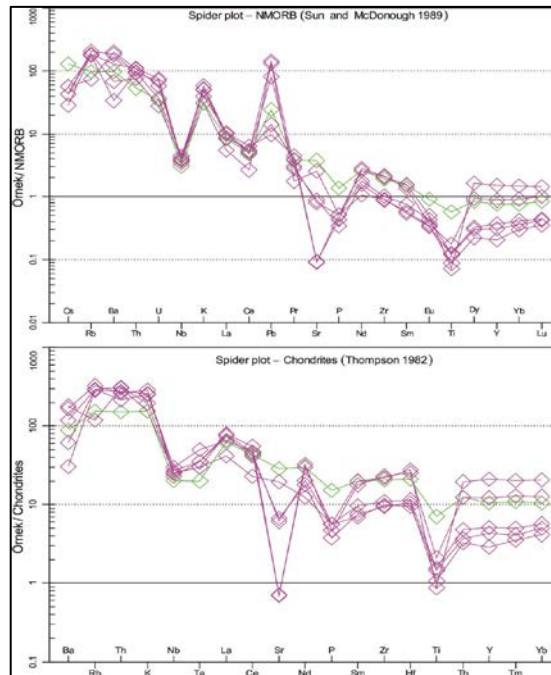
Şekil 10. Eosen volkanik kayaçlarının SiO₂'e karşı ana oksit diyagramları



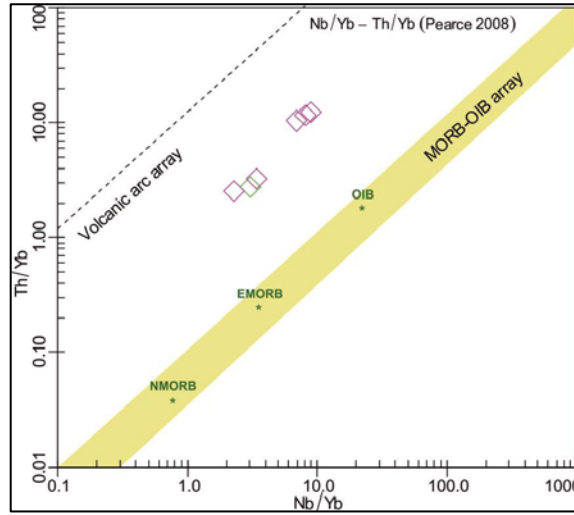
Şekil 11. Eosen volkanik kayaların SiO_2 'e karşı iz element diyagramları



Şekil 12. Eosen volkanik kayaçlarının a) TAS, b) AFM, c) Th-Co diyagramı, d) Zr/Ti-Nb/Y iz elementlere göre kayaçların kimyasal sınıflandırma diyagramları (sembol açıklamaları Şekil 10’da verilmiştir)



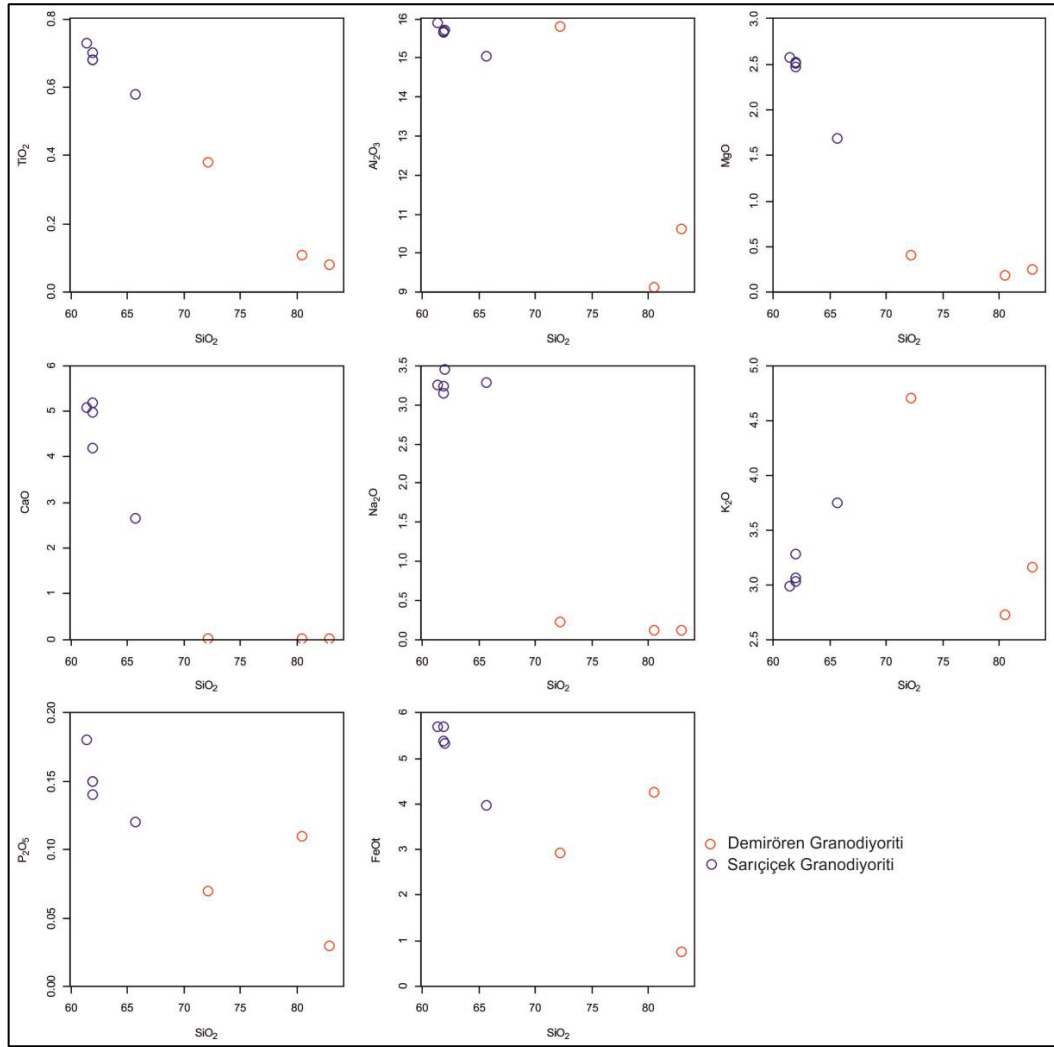
Şekil 13. Üst Kretase Volkanik kayaçlarının a) NMORB ve b) Kondrite göre oluşturulmuş örümcek diyagramları (sembol açıklamaları Şekil 10’da)



Şekil 14. Eosen Volkanik kayaçlarının Pearce (2008) tarafından önerilen Nb/Yb-Th/Yb diyagramına göre tektonik ortam sınıflandırması (sembol açıklamaları Şekil 10’da)

3.1.3. Demirören Granodiyorit-Kuvars Porfir

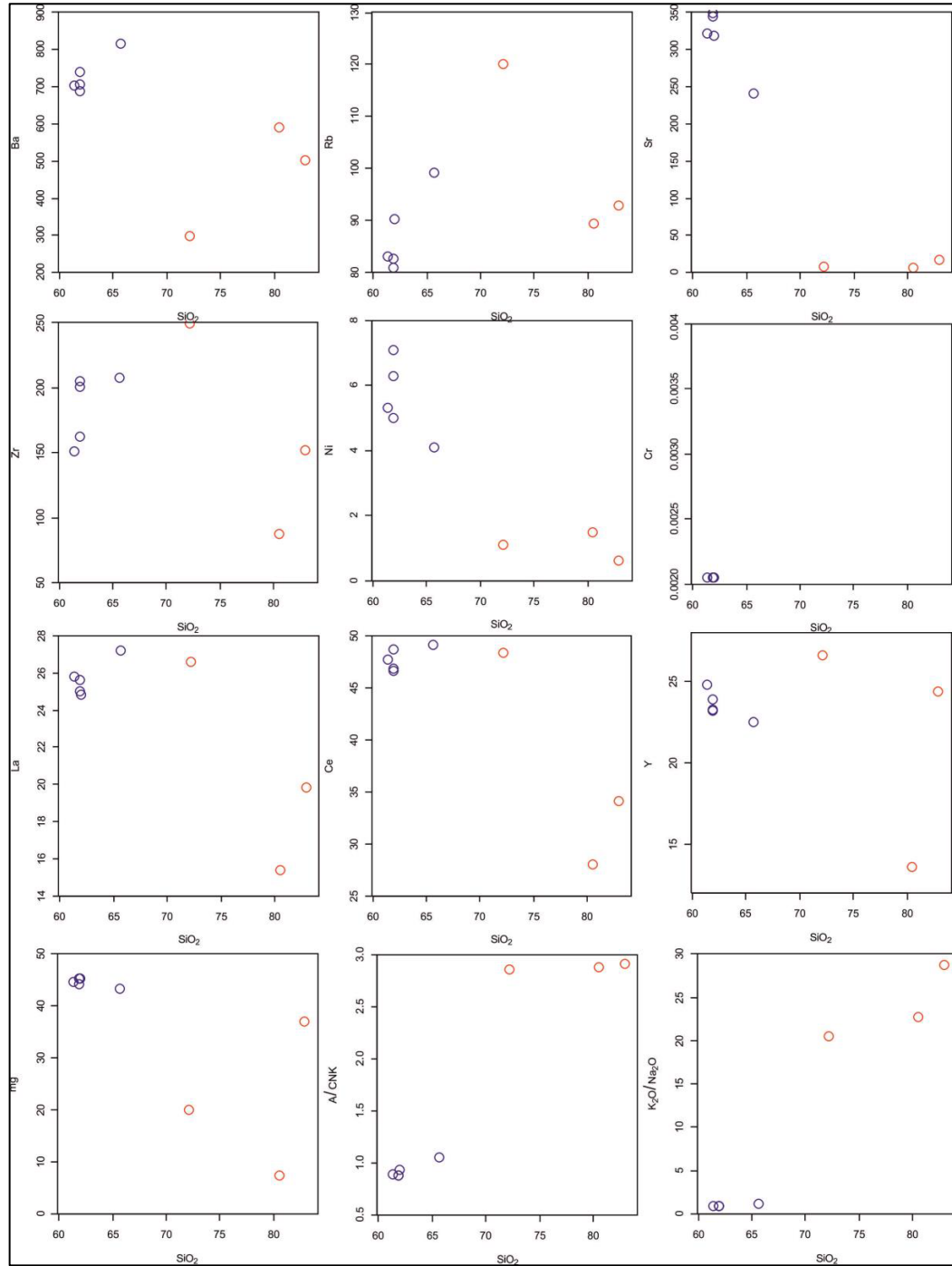
Çalışma sahasındaki Demirören Granodiyoriti’nin (kuvars porfir) SiO_2 ’e karşı ana oksit diyagramları (Şekil 15) ve SiO_2 ’e karşı iz elementlerin karşılaştırıldığı diyagramlar (Şekil 16) oluşturulmuştur. Bu çalışma sahadaki granitik sokulumun değerlendirilmesi yapılırken, çalışma sahasının yakın kesiminde yer alan ve Demirören granodiyorite ile ilişkili olduğu düşünülen, (Karlı vd., 2007) tarafından Sarıççek granodiyoriti olarak adlandırılmış kayaçlara veriler birlikte irdelenmiştir.



Şekil 15. Demirören Granodioriti'nin SiO₂'e karşı ana oksit diyagramları

Demirören granitik kayacının SiO₂'e karşı ana oksit içeriklerinin karşılaştırılması yapıldığında, TiO₂, MgO, P₂O₅ ve toplam demirin ve nispeten Al₂O₃, CaO, Na₂O'nin negatif korelasyon gösterdiği, K₂O ise anlamlı bir ilişki göstermediği tespit edilmiştir (Şekil 15). SiO₂'e karşı iz element konsantrasyonları karşılaştırıldığında ise; Sr, Ni, Mg'un negatif korelasyon gösterdiği, Rb, A/CNK ve K₂O/Na₂O içeriklerinin pozitif korelasyon gösterdiği, La, Ce, Y elementlerinin ise anlamlı bir ilişki göstermediği tespit edilmiştir (Şekil 16). Ana ve iz elementlerin SiO₂'e karşı davranışları irdelendiğinde; sahadaki Sarıçiçek Granodioritin kendi içinde bir bütünlük gösterdiği, Demirören Granodioritin ise yer yer sapmalar gösterdiği görülmüştür. Bunun en önemli nedenin kayaçtaki dikkat çekici olarak gelişmiş hidrotermal alterasyon olduğu düşünülmektedir.

Granitik kayacın SiO₂'te karşı toplam alkali (TAS) diyagramları yardımıyla sınıflandırıldığında (Şekil 17a), ağırlıklı olarak diyorit-granodiorit ve granit alanına düştüğü görülmektedir. Sarıçiçek Granodiorit kayacının diyorit ve granodiorit alanına düşerken Demirören Granodioriti'nin ise granit alanına düştüğü görülmüştür. Kimyasal analiz sonuçları da, kayaçlarda görülün yoğun alterasyon nedeniyle petrografik çalışmalarla elde edilen kayaç sınıflamasından sapmalar vermiştir (Şekil 17a). Demirören Granodioritin magma serisi AFM diyagramı ile irdelendiğinde, kayaçların ağırlıklı olarak kalkalkalin seri içinde yer aldığı görülmüştür (Şekil 17b).

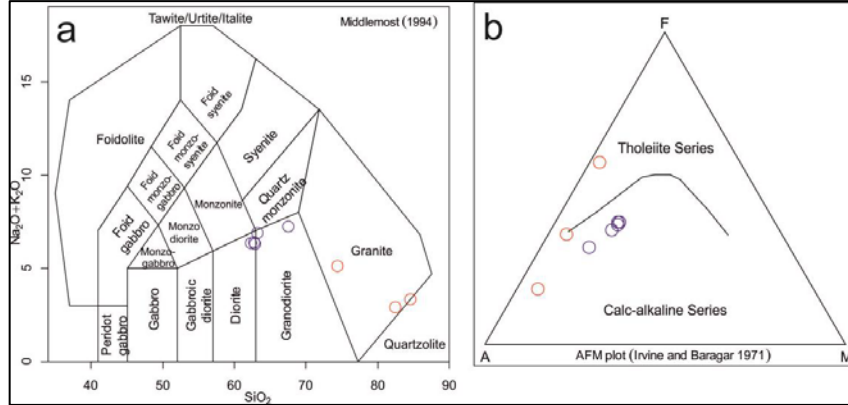


Şekil 16. Demirören Granodiyoriti'nin SiO₂'e karşı iz element diyagramları (sembol açıklamaları Şekil 14'te)

Demirören Granodiyorit ve sahanın yakınında yüzeyleyen granitik kayaçların (Sun ve Mcdonough 1989) tarafından önerilen ilksel manto (Şekil 18 a) ve (Boynton 1984) tarafından önerilen Nadir Toprak Elementleri (NTE) kondrite göre (Şekil 18b) normalleştirilmiş örümcek diyagramları oluşturulmuştur. Sahada yakınındaki granitik kayaçlarla çalışma sahasındaki Demirören Granodiyoriti'nin uyumlu bir desene sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 18). Kayaçların ilksel mantoya göre Eu elementince dikkat çekici bir anomali göstermezken NTE-kondrit normalleşmelerinde Eu negatif anomali gözlenmekte olup, çalışma sahası yakınındaki kayaçlarda bu anomali değeri düşükken, çalışma sahasında ise daha yüksek olarak gözlenmiştir.

Granitik kayaçlar tektonik ortamlarına göre (Schandl ve Gorton 2002) tarafından çeşitli iz elementlerden yararlanılarak oluşturulan tektonik sınıflama diyagramlarına göre değerlendirildiğinde aktif kıtasal kenar alanına düştüğü görülmektedir (Şekil 19).

Çalışma sahası granitik kayacı Pearce vd., (1984)'e göre değerlendirildiğinde volkanik yay granitleri (VAG) alanına düştüğü görülmektedir (Şekil 20) ki, bu da bölgesel yorumlarla uyum göstermektedir.



Şekil 17. Demirören Granodioriti'nin (Middlemost 1994) TAS diyagramı ve (Irvine ve Baragar 1971) AFM diyagramına göre sınıflandırılması volkanik kayaçların ve granitik kayaçların (sembol açıklamaları Şekil 14'te)

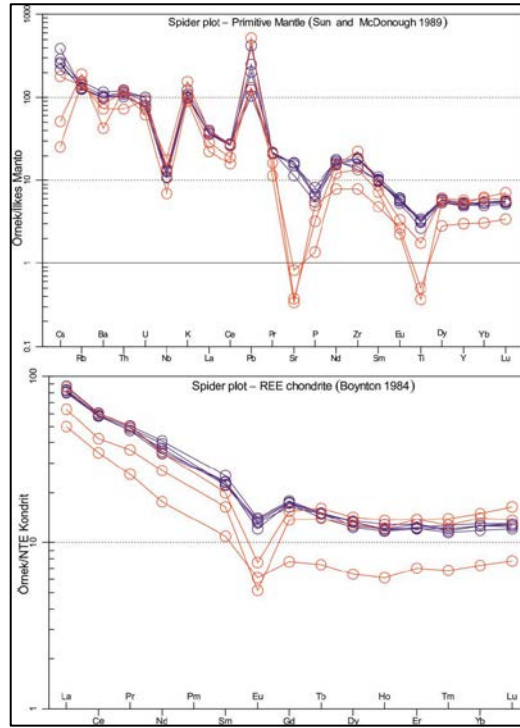
3.2. Sıvı Kapanım Çalışmaları

Sıvı Kapanım Çalışmalarında homojenleşme (T_h) ve ergime (T_m) sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Örneklerden elde edilen son buz ergime sıcaklığı (T_m) (Roedder 1984) tarafından önerilen H_2O - $NaCl$ - KCl faz diyagramları ve (Shepherd vd., 1985) tarafından önerilen “% Tuz-Donma sıcaklığı diyagramları” ile sıvı kapanımlarının tuzlulukları % $NaCl$ eşdeğer olarak tespit edilmiştir.

Bu sıvı kapanımlarda yapılan ısıtma ve soğutma deneylerinde homojenleşme sıcaklıklarının 230-370°C arasında değiştiği ortalama 260°C'lık sıcaklıklar elde edilmiştir.

Sıvı kapanımlar içinde muhtemel mevcut gazların tespit edilmesine yönelik olarak yapılan soğutma/dondurma çalışmalarında CO_2 'in ağırlıklı olarak varlığı tespit edilmiştir (-56.7 ile -61°C'ta varan donma sıcaklıkları nedeniyle). Kapanımlar içinde CO_2 gazı yanında bir miktar CH_4 gazının da olduğu tahmin edilmektedir.

Sıvı kapanım verilerinden nispeten yüksek tuzluluk değerleri elde edilmiştir (% 8.4- 25.6 $NaCl$ eşdeğeri), homojenleşme sıcaklık verilerinin de 230-370°C arasında değiştiği görülmüştür. Farklı yatak tiplerinde sıvı kapanımların karakteristik homojenleşme sıcaklıklarına (T_m) karşı tuzluluk değerleri dikkate alındığında sıvı kapanım verilerinin ağırlıklı olarak skarn alanına düştüğü görülmüştür. Tüm sıvı kapanım verileri değerlendirildiğinde dolayısıyla metasomatizmanın mezotermal-hidrotermal evrede geliştiği ve magmatik akışların etkisi ile birlikte meteorik katılımların da son evrede sisteme dahil olduğu kanaatine ulaşılmıştır.

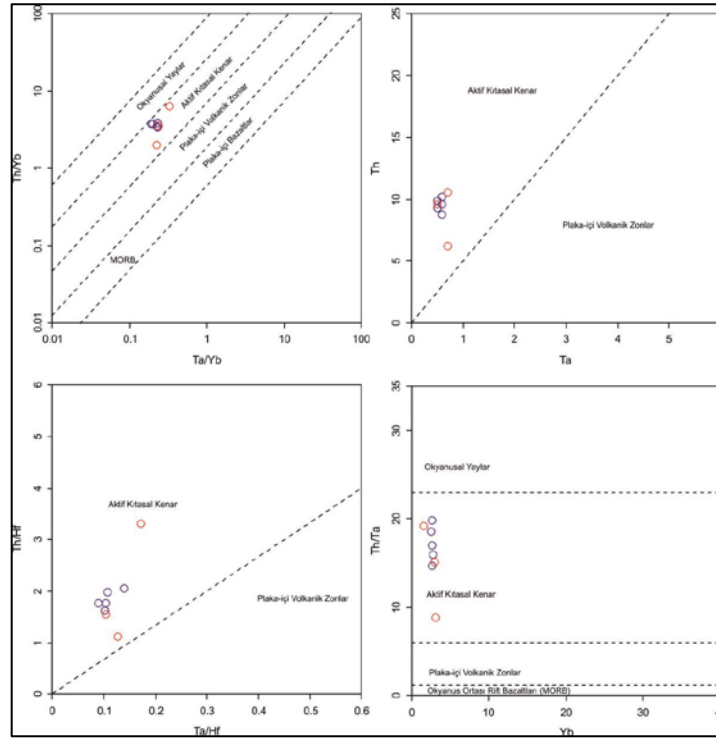


Şekil 18. Üst Eosen granitik kayaların a) NMORB ve b) Kondrite göre oluşturulmuş örümcek diyagramları (sembol açıklamaları Şekil 14’te)

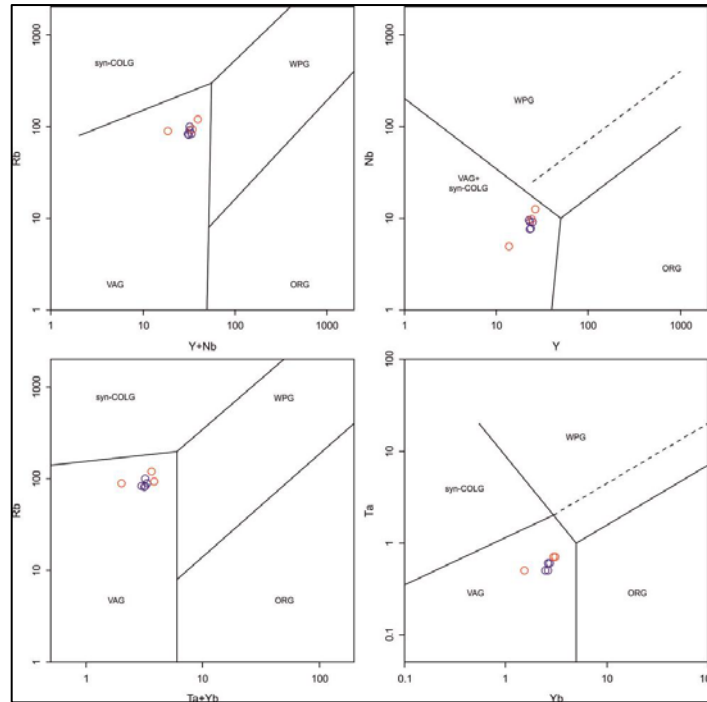
4. SONUÇLAR

Sahadaki skarn oluşumu doğrudan intrüzyonla dokanakta gelişmemiş olup, intrüzyon ilişkili bir skarn gelişimi söz konusudur. Mineralojik-petrografik incelemeler, sıvı kapanım çalışmaları birlikte değerlendirildiğinde cevherleşmenin genel skarn oluşumlarına göre daha düşük sıcaklık ve tuzlulukta oluştuğu, muhtemelen sıg ortamda geliştiği, intrüzyonun yükselimin son evre ürünleri ile ilişkili olduğu tahmin edilmektedir. Ayrıca sahada yükselim kaynaklı olarak kuvvetli skarn gelişiminin aşınmayla uzaklaşmış olabileceği kanaatine varılmıştır. Sahada manyetit ve hematitin yaygın olarak rastlanması, düşük miktarda da piritlere rastlanması oksitlenme ortamına işaret etmektedir. Yine skarn zonu içinde epidotların ikincil olarak gelişmiş olması da oksidasyon ortamını desteklemektedir. Manyetitlerde görülen martitleşmeler sıcaklığın azalmasının işaretidir (Ramdohr 1980).

Sonuç olarak sahada sadece bazalt-andezit ve bu kayaların piroklasları içinde skarnlaşma söz konusu olup, skarnlaşma granitoid sokulumun geç evresinde ve yerleşim sonrasında nispeten yüksek tuzlulukta, 230-370 °C’lık sıcaklıklarda gelişmiş ekzo S/M karakterindedir.



Şekil 19. Schandl ve Gorton (2002)'e göre granitik kayaların sınıflandırılması (sembol açıklamaları Şekil 14'te)



Şekil 20. Granitik kayaların Pearce vd. (1984)'e göre sınıflandırılması (sembol açıklamaları Şekil 14'te)

Katkı Belirtme: Bu Bu çalışma Gümüşhane Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü (GÜBAP) tarafından desteklenmiştir (Proje Destek No: 13.F5114.02.08).

Bu çalışma “International Black Sea Coastline Countries Scientific Research Symposium-V”te kısmen sunulmuştur.

KAYNAKÇA

- Adamia S, Lordkitanidze MB, Zakariadze GS (1977) Evolution of an Active Continental Margine as Exemplified by the Alpine History of Caucasus. *Tectonophysics* 40:183–189
- Akın H (1979) Geologie, Magmatismus und Lagerstaettenbildung im Ostpontischen Gebirge/Türkei aus der Sicht der Plattentektonik. *Geologische Rundschau* 63:253–283
- Aliyazıcıoğlu İ (1999) Kale (Gümüşhane) Yöresi Volkanik Kayaçlarının Petrografik, Jeokimyasal ve Petrolojik incelenmesi. *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*
- Arslan M, Aslan Z (2006) Mineralogy, petrography and whole-rock geochemistry of the Tertiary granitic intrusions in the Eastern Pontides, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences* 27:177–193. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2005.03.002>
- Arslan M, Tüysüz N, Korkmaz S, Kurt H (1997) Geochemistry and petrogenesis of the eastern Pontide volcanic rocks, Northeast Turkey. *Chemie der Erde Geochemistry* 57:157–187
- Bektaş O (1986) Paleostress Trajectories and Polyphase Rifting in Arc - Back Arc of Eastern Pontides. *Bulletin of Mineral Research and Exploration* 103–104:1–15
- Bektaş O, Sen C, Atici Y, et al (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. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1034\(199901/06\)34:1/2<95::AID-GJ816>3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1034(199901/06)34:1/2<95::AID-GJ816>3.0.CO;2-J)
- Bektaş O, Yılmaz C, Taslı K, et al (1995) Cretaceous rifting of the eastern Pontide carbonate platform (NE Turkey): the formation of carbonates breccias and turbidites as evidences of a drowned platform. *Geologia* 57:233–244
- Boynton WV (1984) Cosmochemistry of the rare earth elements. İçinde: Henderson P (ed) *Rare earth element geochemistry*. Elsevier, Amsterdam
- Dokuz A (2011) A slab detachment and delamination model for the generation of Carboniferous high-potassium I-type magmatism in the Eastern Pontides, NE Turkey: The Köse composite pluton. *Gondwana Research* 19:926–944. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2010.09.006>
- Dokuz A, Tanyolu E (2006) Geochemical constraints on the provenance, mineral sorting and subaerial weathering of Lower Jurassic and Upper Cretaceous clastic rocks of the eastern Pontides, Yusufeli (Artvin), NE Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences* 15:181–209
- Dokuz A, Uysal I, Kaliwoda M, et al (2011) Early abyssal- and late SSZ-type vestiges of the Rheic oceanic mantle in the Variscan basement of the Sakarya Zone, NE Turkey: Implications for the sense of subduction and opening of the Paleotethys. *Lithos* 127:176–191. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2011.08.015>
- Eyuboglu Y, Santosh M, Dudas FO, et al (2011) Migrating magmatism in a continental arc: Geodynamics of the Eastern Mediterranean revisited. *Journal of Geodynamics* 52:2–15. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2010.11.006>
- Güner S, Yazıcı E, Dursun Ö, Akyürek S (2012) Gümüşhane-Demirören Sahasının Maden Jeolojisi Raporu. Ankara
- Güven İ (1993) Doğu Pontidlerin 1/25000 Ölçekli Kompilasyonu. MTA Genel Müdürlüğü, Ankara

- Hastie AR, Kerr AC, Pearce JA, Mitchell SF (2007) Classification of altered volcanic island arc rocks using immobile trace elements: development of the Th Co discrimination diagram. *Journal of Petrology* 48:2341–2357
- Irvine TN, Baragar WRA (1971) A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences* 8:523–548
- Karlı O, Chen B, Aydın F, Şen C (2007) Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic compositions of the Eocene Dölek and Sarıçiçek 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. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2007.03.005>
- Kaygusuz A, Arslan M, Siebel W, et al (2014) LA-ICP MS zircon dating, whole-rock and Sr-Nd-Pb-O isotope geochemistry of the Camiboğazı pluton, Eastern Pontides, NE Turkey: Implications for lithospheric mantle and lower crustal sources in arc-related I-type magmatism. *Lithos* 192–195:271–290
- Kaygusuz A, Arslan M, Siebel W, et al (2012a) Geochronological evidence and tectonic significance of Carboniferous magmatism in the southwest Trabzon area, eastern Pontides, Turkey. *International Geology Review* 54:1776–1800. <https://doi.org/10.1080/00206814.2012.676371>
- Kaygusuz A, Arslan M, Siebel W, et al (2012b) Geochronological evidence and tectonic significance of Carboniferous magmatism in the southwest Trabzon area, eastern Pontides, Turkey. *International Geology Review* 54:1776–1800. <https://doi.org/10.1080/00206814.2012.676371>
- Kaygusuz A, 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. <https://doi.org/10.1127/0077-7757/2011/0201>
- Kaygusuz A, Sahin K (2016) Petrographical , geochemical and petrological characteristics of Eocene volcanic rocks in the Mescitli area , Eastern Pontides (NE Turkey). *Journal of Engineering Research and Applied Science* 5:473–486
- Kaygusuz A, Siebel W, Ilbeyli N, et al (2010) Insight into magma genesis at convergent plate margins a case study from the eastern Pontides (NE Turkey). *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen* 187:265–287. <https://doi.org/10.1127/0077-7757/2010/0178>
- Kaygusuz A, Siebel W, Şen C, Satir M (2008) Petrochemistry and petrology of I-type granitoids in an arc setting: The composite Torul pluton, Eastern Pontides, NE Turkey. *International Journal of Earth Sciences* 97:739–764. <https://doi.org/10.1007/s00531-007-0188-9>
- Keskin İ, Korkmazer S, Gedik İ (1989) Bayburt Dolayının Jeolojisi. Ankara, Türkiye
- Ketin İ, Canitez N (1972) Yapısal Jeoloji. İstanbul İTÜ Kütüphanesi
- Korkmaz S, Tüysüz N, Er M, et al (1995) Stratigraphy of Eastern Pontides, NE Turkey. İçinde: Erler A et al. (ed) *Geology of Black Sea Region Proce. of the Inter. Symp. On the Geology of Black Sea Region*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Turkey, ss 59–66
- Middlemost EAK (1994) Naming materials in the magma/igneous rock system. *Earth Science Reviews* 37:215–224. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(94\)90029-9](https://doi.org/10.1016/0012-8252(94)90029-9)
- MTA (1986) The Republic of Turkey report on the cooperative mineral exploration of Gümüşhane area, consolidated report
- Okay AI, Şahintürk Ö (1997) Geology of the Eastern Pontides. İçinde: Robinson AG (ed) *Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region*. AAPG Memoir 68, ss 291–311
- Özsayar T, Pelin S, Gedikoğlu A (1981) Doğu Pontidlerde Kretase. *KTÜ Yer Bilimleri Dergisi* 1:65–114

- Pearce JA (2008) Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust. *Lithos* 100:14–48
- Pearce JA (1996) A user's guide to basalt discrimination diagrams. İçinde: Wyman DA (ed) *Trace Element Geochemistry of Volcanic Rocks: Applications for Massive Sulphide Exploration*. Geological Association of Canada, Short Course Notes 12, ss 79–113
- Peccherillo A, Taylor SR (1976) Geochemistry of eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 58:63–81. <https://doi.org/10.1007/BF00384745>
- Pelin S (1977) Alucra (Giresun) Güneydoğu yöresinin petrol olanakları bakımından jeolojik incelemesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayını, Yayın No. 87, Trabzon
- Ramdohr P (1980) *The Ore minerals and their intergrowths*, 2. edn. Pergamon Press, Oxford
- Roedder E (1984) *Fluid inclusion: Review in Mineralogy*. Mineralogical Society of America, Washington, D.C.
- Schandl ES, Gorton MP (2002) Application of high field strength elements to discriminate tectonic settings in VMS environments. *Economic Geology* 97:629–642
- Shepherd TJ, Rankin AH, Alderton DHM (1985) *A practical guide to fluid inclusion studies*. Blackie
- Sipahi F, Akpınar İ, Eker ÇS, et al (2017a) Formation of the Eğrikar (Gümüşhane) Fe–Cu skarn type mineralization in NE Turkey: U–Pb zircon age, lithogeochemistry, mineral chemistry, fluid inclusion, and O–H–C–S isotopic compositions. *Journal of Geochemical Exploration* 182:. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.08.006>
- Sipahi F, Kaygusuz A, Saydam Eker, et al (2018) Late Cretaceous arc igneous activity: the Eğrikar Monzogranite example. *International Geology Review* 60:382–400. <https://doi.org/10.1080/00206814.2017.1336120>
- Sipahi F, Vural A, Akpınar I, et al (2017b) Comparison of Fluid Inclusions of Eğrikar Fe–Cu, Kopuz Fe And Karadag Fe–Cu Skarns Occurrences (Gümüşhane, Turkey). İçinde: ICENS 2017, 3th International Conference on Engineering and Natural Science. ss 561–561
- Sun SS, McDonough WF (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. İçinde: Saunders AD, Norry MJ (ed) *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society, Special Publications 42, London, ss 313–347
- Sungur A, Vural A, Gundogdu A, Soylak M (2020) Effect of antimonite mineralization area on heavy metal contents and geochemical fractions of agricultural soils in Gümüşhane Province, Turkey. *Catena* 184:104255. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104255>
- Sungur A, Vural A, Gündoğdu A, Soylak M (2018) Gümüştuğ Köyü (Torul - Gümüşhane) Tarım Topraklarında Manganın Jeokimyasal Karakterizasyonu. İçinde: International Trace Analysis Congress (ITAC 2018/ES-AN 2018). Sivas-Turkey, s 231
- Tokel S (1972) Stratigraphical and volcanic history of Gümüşhane region
- Tokel S (1977) Doğu Karadeniz bölgesinde Eosen yaşlı kalkalkalen andezitler ve jeotektonizma. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni* 20:49–54
- Topuz G, Altherr R, Siebel W, et al (2010) Carboniferous high-potassium I-type granitoid magmatism in the Eastern Pontides: The Gümüşhane pluton (NE Turkey). *Lithos* 116:92–110. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2010.01.003>

- Tuysuz N (2000) Geology, lithogeochemistry and genesis of the Murgul massive sulfide deposit, NE-Turkey. *Chemie der Erde* 60:231–250
- Vural A (2013a) Demirören (Gümüşhane) Altın Zenginleşme Sahasında Toprak ve Bitki Jeokimyası Çalışması
- Vural A (2019a) Investigation of the radiation risk to the inhabitants in the region close to the hydrothermal alteration site, Gümüşhane/Turkey. *Journal of Engineering Research and Applied Science* 8:1168–1176
- Vural A (2018a) Metalojenik Kuşaklardaki Kayaçların Element Temel Değerlerinin Tıbbi Jeoloji Açısından İncelenmesi: Karamustafa Vadisi (Gümüşhane). İçinde: 71. TJK Abstract Book. ss 875–876
- Vural A (2019b) Evaluation of Soil Geochemistry Data of Canca (Gümüşhane-Ne Turkey) By Processing Inverse Distance Weighting and Kriging Interpolation Methods-First Findings. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration* 158:195–216. <https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.430531>
- Vural A (2017a) Gold and silver content of plant *Helichrysum arenarium*, popularly known as the golden flower, growing in Gümüşhane, NE Turkey. *Acta Physica Polonica A* 132:. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.132.978>
- Vural A (2014a) Trace/heavy metal accumulation in soil and in the shoots of acacia tree, Gümüşhane-Turkey. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration* 148:85–106
- Vural A (2015a) Biogeochemical characteristics of *Rosa canina* grown in hydrothermally contaminated soils of the Gümüşhane Province, Northeast Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* 187:. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4708-y>
- Vural A (2017b) K-Ar dating for determining the age of mineralization as alteration product: A case study of antimony mineralization vein type in granitic rocks of Gümüşhane area, Turkey. *Acta Physica Polonica A* 132:792–795. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.132.792>
- Vural A (2014b) Toprak ve Akasya ağacı sürgünlerindeki iz/ağır metal dağılımı, Gümüşhane-Türkiye. *MTA Dergisi* 148:85–106
- Vural A (2018b) Zenginleştirilmiş Jeoturizm Rotası: Karadag ve Artabel Gölleri. İçinde: 71. Türkiye Jeoloji Kurultayı. ss 481–482
- Vural A (2019c) Zenginleştirilmiş Jeoturizm Güzergahlarına Dair Farkındalık Oluşturulması : Eski Gümüşhane - Dörtkonak Güzergahı[Creation of Awareness of Enhanced Geotourism Routes: Old Gümüşhane-Dörtkonak Route]. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi* 10:250–274
- Vural A (2018c) Gümüşhane-Zigana Zenginleştirilmiş Jeoturizm Güzergâhı [Gümüşhane-Zigana Enriched Geotourism Route]. İçinde: II. International Sustainable Tourism Congress. ss 607–617
- Vural A (2018d) Relationship between the geological environment and element accumulation capacity of *Helichrysum arenarium*. *Arabian Journal of Geosciences* 11:258. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3609-0>
- Vural A (2018e) Demirören (Gümüşhane) ve Çevre Kayaçlarının Element İçeriklerinin Tıbbi Jeoloji Açısından İncelenmesi. İçinde: 71. TJK Abstract Book. April 23-27, 2018 Ankara-Turkey, ss 885–886
- Vural A (2016a) Demirören (Gümüşhane) Fe-Skarn Yatağının Jeolojik, Jeokimyasal ve Köken Özellikleri Açısından İncelenmesi

- Vural A (2016b) Avliyana (Torul-Gümüşhane) Antimonit Cevherleşmesinin Jeolojisi-Mineralojisi ve Kökeninin Araştırılması. Gümüşhane
- Vural A (2013b) Assessment of Heavy Metal Accumulation in the Roadside Soil and Plants of Robinia pseudoacacia, in Gumushane, Northeastern Turkey. Ekoloji 10:1–10. <https://doi.org/10.5053/ekoloji.2013.891>
- Vural A (2015b) Contamination assessment of heavy metals associated with an alteration area: Demirören Gumushane, NE Turkey. Journal of the Geological Society of India 86:215–222. <https://doi.org/10.1007/s12594-015-0301-9>
- Vural A, Çiçek B (2020) Cevherleşme Sahasında Gelişmiş Topraklardaki Ağır Metal Kirliliği. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi 8:1533–1547. <https://doi.org/10.29130/dubited.643775>
- Vural A, Erdoğan M (2014) Eski Gümüşhane Kırkpavli Alterasyon Sahasında Toprak Jeokimyası. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 4:1–15
- Vural A, Erdoğan M (2013) İz Bulucu Elementlerden Yararlanarak Toprak Jeokimyası İle Altın Cevherleşmesinin Araştırılması: Kırkpavli, Gümüşhane-Türkiye. İçinde: 66. Türkiye Jeoloji Kurultayı 1-5 Nisan 2013. Ankara, Türkiye
- Vural A, Ersen F (2019) Geology , mineralogy and geochemistry of manganese mineralization in Gumushane , Turkey. Journal of Engineering Research and Applied Science 8:1051–1059
- Vural A, Erşen F (2013) Eski Gümüşhane (Argyropolis) Manganez Yataklarının Jeolojik Ve Jeokimyasal Özellikleri. İçinde: 66. Türkiye Jeoloji Kurultayı 1-5 Nisan 2013. Ankara, Türkiye, ss 162–163
- Vural A, Kaygusuz A (2019) Paleozoyik Yaşlı Artabel Plütonunun (Gümüşhane) Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri. İçinde: 3. Uluslararası GAP Matematik-Mühendislik-Fen ve Sağlık Bilimleri Kongresi. 29 Kasım-01 Aralık 2019. İKSAD, Şanlıurfa, Türkiye
- Vural A, Kaygusuz A (2016) Avliyana (Torul-Gümüşhane) Antimonit Cevherleşmesinin Jeolojisi-Mineralojisi ve Kökeninin Araştırılması
- Vural A, Kaygusuz A, Dönmez H, Yücel C (2018) Geochemistry and Geochronology of the Avliyana Granitoid (Gümüşhane/NE Turkey). İçinde: 71. TJK Abstract Book. 23-27 April 2018, Ankara, ss 391–392
- Vural A, Şahin E (2012) Gümüşhane Şehir Merkezinden Geçen Karayolunda Ağır Metal Kirliliğine Ait İlk Bulgular. Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2:21–35
- 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 (1972) Petrology and structure of the Gümüşhane granite and surrounding rocks, NE Anatolia