

Tersiyer Yaşlı Altınpınar Hornblendli Andezitlerinin (Torul-Gümüşhane) Petrografisi, Mineral Kimyası ve P-T Kristalleşme Koşulları

Mehmet Ali GÜCER^{*1}, Emre AYDINÇAKIR¹, Cem YÜCEL², Enver AKARYALI¹

¹Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

²Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

Geliş tarihi/Received 03.05.2017

Düzeltilerek geliş tarihi/Received in revised form 21.06.2017

Kabul tarihi/Accepted 14.07.2017

Öz

Doğu Pontid orojenik kuşağında (KD Türkiye) farklı magma türleri altında oluşmuş farklı volkanik kayalar yüzeyleme vermektedir. Tersiyer volkanizması, Gümüşhane ve çevresinde asidik, nötr ve bazik volkanik ve piroklastik kayalardan meydana gelmektedir. Bu volkanizma doğu Pontidler'in evriminde ise önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışma kapsamında Altınpınar (Torul/Gümüşhane) civarında yüzeyleme veren Tersiyer yaşlı hornblendli andezitik kayaların petrografisi, mineral kimyası ve sıcaklık-basınç koşulları irdelenmiştir. Andezitler başlıca hornblend (amfibol), plajiyoklas ($An_{40-61}Ab_{38-57}Or_{1-5}$), klinopiroksen ($Wo_{44-45}En_{43-44}Fs_{12}$) ve opak (genellikle magnetit ve pirit) mineralleri, ikincil kil, serizit, kalsit ve klorit mineralleri içerir ve mikrolitik-porfirik ve vitrofirik porfirik dokular sergiler. Bazı hornblend mineralleri iri kristalli gelişmiş olup, plajiyoklas ve opak mineral kapanımları içermektedir. Tüm hornblendler $Ca_B \geq 1.5$, $(Na+K)_A < 0.5$ ve $Ca_A < 0.5$ parametrelerine sahip kalsik tip olup, magnezyohornblend bileşimi sunmakta, $Mg\# (Mg/Mg+Fe^{2+})$ ise 0.72-0.91 arasında değişmektedir. Andezitlerde kalsik amfibol jeotermobarometri denklemlerini kullanarak hesaplanan tahmini jeotermometre (T), jeobarometre (P) ve oksijen fugasitesi ($fO_2 / \Delta NNO$) değerleri sırasıyla 765 – 867 °C (ort= 790±20 °C); 2.5 – 4 kbar ve –14.4 ile –11.1 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu değerler hornblendlerin kıtasal kabukta 9 – 15 km derinliklerde kristallendiğini işaret etmektedir. Minerallerin kimyasal özellikleri inceleme alanındaki andezitlerin kalk-alkali bir ana magmadan itibaren kristallenmiş olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Altınpınar andezitleri, Doğu Pontidler, Tersiyer volkanizması, jeotermobarometri

Petrography, Mineral Chemistry and P–T Conditions of the Tertiary Hornblende-bearing Andesites in the Altınpınar (Torul-Gümüşhane)

Abstract

In the eastern Pontides orogenic belt (NE Turkey) there are different volcanic rocks exposed that formed under different types of magma. Tertiary volcanism consists of acidic, neutr and basic volcanic and pyroclastic rocks in Gümüşhane and surrounding area. The Eocene volcanism played an important role during the evolution of the eastern Pontides. In this study, petrography, mineral chemistry and P–T conditions of the Tertiary hornblende-bearing andesites in the Altınpınar (Torul-Gümüşhane) are investigated. The andesites are mainly consisting of hornblende (amphibole), plagioclase ($An_{40-61}Ab_{38-57}Or_{1-5}$), clinopyroxene ($Wo_{44-45}En_{43-44}Fs_{12}$), opaque

* Mehmet Ali GÜCER, maligucer@gmail.com, Tel: (0456) 233 10 00-1716

(generally magnetite and pyrite) minerals, with secondary clay, sericite, calcite, chlorite minerals. . The samples commonly exhibit microlitic porphyry and vitrophyric porphyry textures. Some of the hornblende aggregates, occurring in large plates, contain inclusions of plagioclase and opaque minerals. All hornblende minerals are exclusively Ca-type with $Ca_B \geq 1.5$, $(Na+K)_A < 0.5$ and $Ca_A < 0.5$ (apfu) parameters, and magnesiohornblende in composition with $Mg\# (Mg/Mg+Fe^{2+}) = 0.72-0.91$. Estimation of geothermometry (T), geobarometry (P) and oxygen fugacity ($fO_2 / \Delta NNO$) calculations in andesites using calcic amphibole geothermobarometry equations indicates that the crystallization is estimated to have taken place at 765 – 867 °C (mean= 790±20 °C); 2.5 – 4 kbar and, from –14.4 to –11.1, respectively. These calculated values indicate that hornblende minerals are crystallized at depths of 9 - 15 km in continental crust. According to the chemical composition of minerals the andesites are crystallized from a calc-alkaline parent magma.

Keywords: Altınpınar andesites, Eastern Pontides, Tertiary volcanism, geothermobarometry

1. Giriş

Alp-Himalaya kuşağı içerisinde bulunan ve daha yaşlı orojenik dönemleri temsil eden alanların da yer aldığı Türkiye, farklı jeolojik kökenlere sahip birçok tektonik birliğin Neotetis okyanusunun kollarının Alpin orojenezi sırasında kapanmasıyla bir araya gelmesi sonucu oluşmuş ve birçok Alpin tektono-stratigrafik birlikten meydana gelmiştir. Tetis olarak adlandırılan okyanusun değişik kollarının açılıp kapanması sırasında oluşan aktif ve pasif kıta kenar çökelleri ile yay ve suture karmaşıkları içermekte olan kıta parçaları Geç Tersiyer’de bir araya gelerek tek bir kara parçası halini almıştır (Okay, 2008; Göncüoğlu, 2010). Bununla birlikte Pan-Afrikani/Kadomiyen, Variskan ve Kimmeriyen gibi daha eski orojenik dönemlere ait ürünler ise metamorfik-magmatik masifler ve onların üzerine gelen örtü birimleri şeklinde Alpin tektonik birliklerin tabanında yer alırlar.

Alpin tektono-stratigrafik birliğin bir parçası olan ve Doğu Pontid orojenik kuşağı olarak adlandırılan Doğu Karadeniz Bölgesi’nde ise farklı magma türleri altında oluşmuş farklı volkanik ve plütonik kayalar gözlenmekte olup, volkanik kayalar genel olarak üç ana dönemde (Liyas, Geç Kretase, Eosen ve sonrası) gelişmiş volkanik aktiviteler sonucu meydana gelmiştir (Adamia vd., 1977; Eğin vd., 1979; Şengör ve Yılmaz, 1981; Akıncı, 1984; Kazmin vd., 1986; Korkmaz vd., 1995; Çamur vd., 1996; Arslan vd., 1997; Arslan ve Aslan, 2006; Karlı vd., 2007; Aslan, 2010).

Sakarya Zonu’nun bir parçası durumunda olan Doğu Pontidler, Geç Kretase döneminde Neo-Tetis Okyanusu’nun kuzeye yitimine bağlı olarak oluşmuş olup, Üst Kretase magmatik kuşağı bu bölgede oldukça iyi gelişmiştir (Okay ve Şahintürk, 1997; Okay ve Tüysüz, 1999; Şekil 1a ve 1b). Pontidler’in kuzey sınırları boyunca genel olarak kalkalkalen andezitik tipte volkanik kayalar, bunlarla ilişkili piroklastik, epiklastik birimler ve çoğunlukla granitik intrüzyonlar gözlenirken (Arslan vd., 1997; Kaygusuz ve Şen, 2011; Aydınçakır ve Kaygusuz, 2012; Boztuğ vd., 2006; Kaygusuz ve Aydınçakır, 2009; 2011; Aydın, 2014; Yücel vd., 2014; Aydınçakır, 2016), güney kesimlerde genellikle alkali potasik kayalar yayılım göstermektedir (Bektaş ve Gedik, 1988; Alther vd., 2008; Eyüboğlu, 2010; Gülmez ve Genç, 2015; Aydınçakır, 2016).

Doğu Pontidler, özellikle Üst Kretase’de belirgin farklılıklara dayandırılarak, volkanik kayaların hakim olduğu “Kuzey Zon” ve tortul kayaların yaygın olarak gözlendiği “Güney Zon” olmak üzere iki bölüme ayrılarak tanımlanmıştır (Özsayar vd., 1981; Güven, 1993). Buna ek olarak bölgede çok sayıda ve farklı tiplerde maden yatakları gözlenmekte olup (Güven, 1993; Tüysüz vd., 1994; Tüysüz ve Akçay, 2000; Lermi, 2003; Demir, 2005; Demir vd., 2008; Akaryalı, 2010; Akaryalı ve Tüysüz, 2013), porfiri Cu (Au, Mo) yatakları, skarn yatakları, volkanizma ile ilişkili masif sülfid yatakları ve

epitermal Au-Ag yatakları yaygın olarak gözlenmektedir (Tüysüz, 1995; Akçay ve Tüysüz 1998; Akçay ve Arar, 1999; Tüysüz ve Akçay, 2000, Akaryalı ve Tüysüz, 2013; Maden ve Akaryalı, 2015a, 2015b; Akaryalı ve Akbulut, 2016; Akaryalı, 2016). Bununla birlikte, Doğu Pontidler’de yüzeyleme veren ve Gümüşhane yöresinde de yaygın olarak izlenen Eosen volkanitleri (Arslan vd., 1997; Arslan vd., 2000; Arslan ve Aliyazıcıoğlu, 2001; Kaygusuz vd., 2006; Aslan, 2010; Şahin ve Kaygusuz, 2016; Kaygusuz ve Şahin, 2016) genel olarak kalk-alkali özellikte ada yayı volkanizması ürünleri olup, yitim ile ilgili zenginleştirilmiş Okyanus Ortası Sırtı Bazaltı (MORB) benzeri bir manto kaynağından itibaren türemiştir (Tokel, 1972, 1977; Çamur vd., 1996; Arslan vd., 1997). Ancak, yapılan son çalışmalarda Doğu Pontidler’deki Eosen volkanitlerinin zenginleşmiş litosferik mantonun kısmı ergimesinden itibaren oluştuğu (Kaygusuz vd., 2011; Arslan vd., 2013; Aslan vd., 2014) ve buna ilaveten kabuk katkısının da olduğu belirtilmektedir (Temizel vd., 2016).

Bu çalışma kapsamında Altınpınar (Torul/Gümüşhane) civarında yüzeyleme veren hornblendli andezitik kayaçların petrografisi, mineral kimyası ve sıcaklık-basınç koşulları irdelenerek, bölgenin Tersiyer volkanizması literatürüne katkı sağlanması amaçlanmıştır.

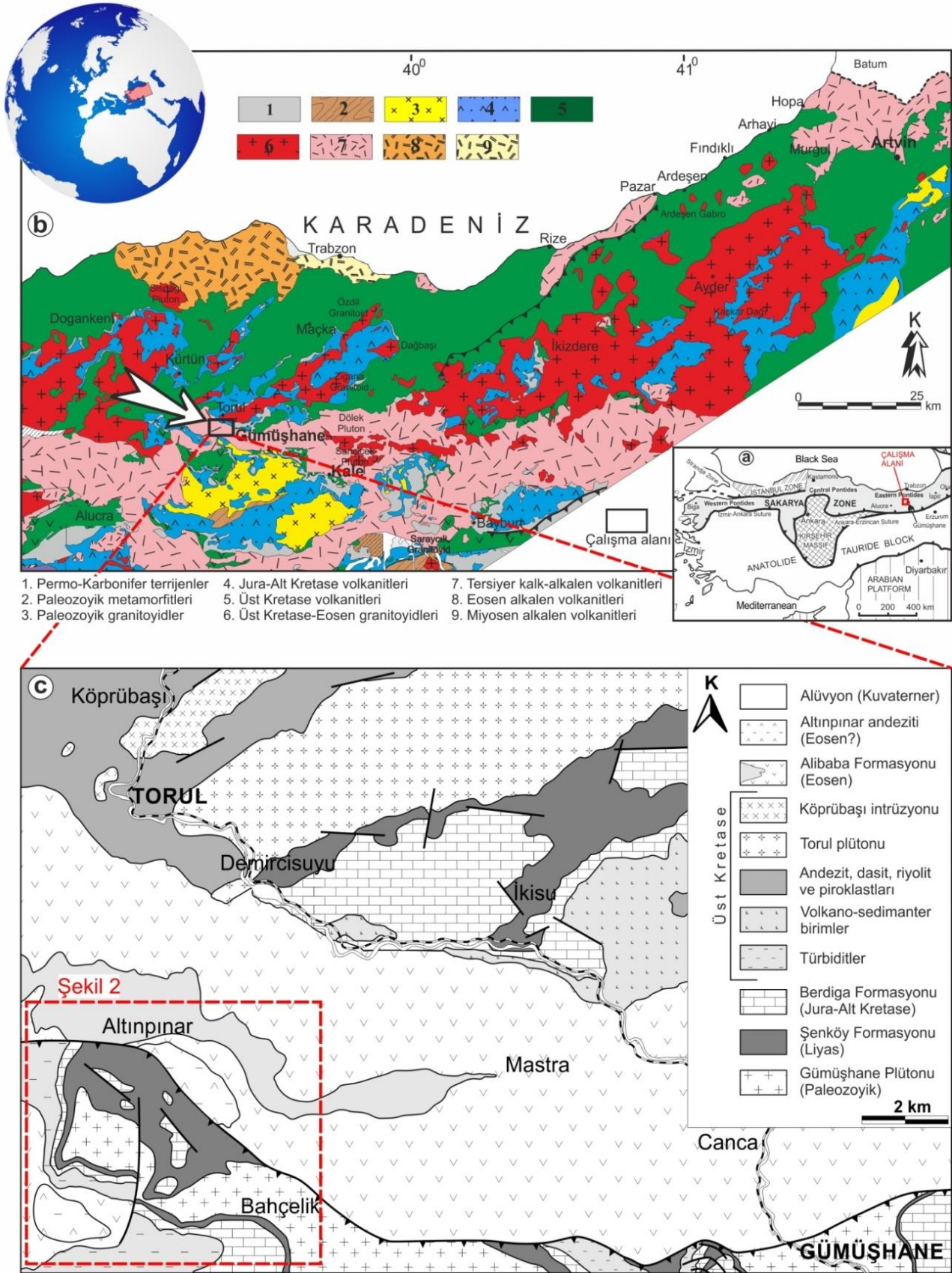
2. İnceleme Alanı ve Çevresinin Jeolojisi

Türkiye’nin kuzeyinde yer alan ve Istranca, İstanbul ve Sakarya olmak üzere üç ana tektonik zona ayrılan Pontidler (Okay, 2008; Okay vd., 2014) içerdikleri farklı tektonik birimlerden dolayı “Batı Pontidler”, “Orta Pontidler” ve “Doğu Pontidler” olmak üzere üç farklı bölgeye ayrılmıştır. İnceleme alanının da içerisinde yer aldığı Doğu Pontidler’in güneyi genellikle Üst Kretase öncesi birimler tarafından temsil edilmektedir (Arslan vd., 1997; Şen, 2007, Aydınçakır ve Kaygusuz, 2012). Güney zonu temel birimlerini Pulur masifi (Topuz ve Altherr, 2004; Topuz vd., 2004a, b, 2007), Ağvanis masifi (Okay, 1984; Altunkaynak, 2000), Tokat metamorfik masifi (Alp, 1972; Özcan vd., 1980; Rojay, 1993; Tüysüz 1996; Yılmaz

vd., 1997; Eyüboğlu, 2006), Kurtoğlu metamorfileri (Topuz vd., 2007, 2010), Karadağ metamorfileri (Dokuz, 2000; Dokuz ve Tanyolu, 2006; Ustaömer ve Robertson, 2010), Kopuzsuyu metamorfileri, Gümüşhane Graniti (Tokel, 1972; Çoğulu, 1975; Yılmaz, 1976; Özdoğan, 1992; Topuz vd., 2010) ve Köse Graniti (Dokuz, 2011), Derinoba ve Kayadibi granitleri (Kaygusuz vd., 2012a, b, 2013), Özdil Granitoidi, Soğuksu ve Seslikaya granitleri (Kaygusuz vd., 2013, 2016) oluşturmaktadır.

Temel kayaçlarını uyumsuz olarak örten Liyas piroklastitleri ile klastik ve karbonat arakatmanlı sedimanter kayaçları, birçok araştırmacı tarafından rift ile ilişkili subalkalen karakterli volkano-sedimanter istif olarak nitelendirilmiştir (Ağar, 1977; Robinson vd., 1995; Dokuz ve Tanyolu, 2006; Şen, 2007; Kandemir ve Yılmaz, 2009). Bölgede volkano-tortul istif üzerine Jura-Alt Kretase sığ platform karbonatları uyumlu olarak gelmekte olup, genellikle 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 (Pelin, 1977; Tash, 1990; Kırmacı, 1992; Yılmaz, 2002). Karbonatlar güney zonunda sedimanter, kuzey zonda ise volkanik kayaçlardan oluşan Geç Kretase yaşlı birimler tarafından uyumsuz olarak üzerlenir.

Doğu Pontidler’de Geç Kretase dönemi, kuzeyden güneye doğru belirgin litolojik farklılıklar göstermekler birlikte, Kuzey Zonda yoğun bir magmatizmanın ürünü olan volkanik ve granitoidik birimler baskın litolojiyi oluşturur (Bektaş, 1984; Jica, 1986; Gedik vd., 1992; Yılmaz ve Boztuğ, 1996; Okay ve Şahintürk, 1997; Güngör vd., 1997; Köprübaşı vd., 2000; Kaygusuz, 2000; Boztuğ vd., 2004, 2006; Şahin vd., 2004; Karşı vd., 2004, 2010; Sipahi, 2005, 2011; Kaygusuz vd., 2010, 2011a, 2011b; Kaygusuz ve Aydınçakır, 2009, 2011; Kaygusuz ve Şen, 2011, Aydınçakır ve Şen, 2013; Sipahi ve Sadıklar, 2014; Alemdag vd., 2014, 2015; Alemdag, 2015).



Şekil 1. (a) Türkiye'nin tektonik birlikleri ve inceleme alanının bu birliklerdeki yeri (Okay ve Tüysüz, 1999'dan değiştirilerek), (b) Doğu Pontidler'deki volkanik kayalar ve bunları kesen plütonların yayılımı (Güven, 1993 ve Aydınçakır, 2012'den değiştirilerek), (c) Torul-Gümüşhane arasının jeoloji haritası (Jica, 1986 ve Kaygusuz, 2000'den değiştirilerek).

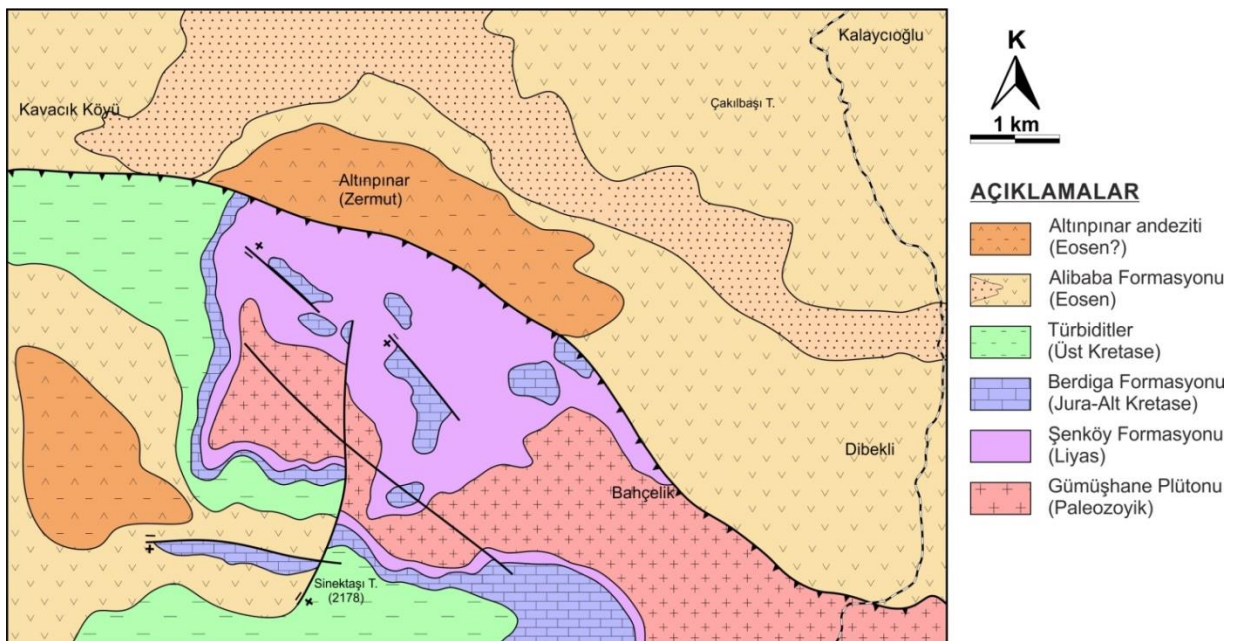
Bölgede mostra veren ve toleyitikten kalk-alkalene kadar geniş bir aralık sunan Geç Kretase volkanitleri, yine Geç Kretase yaşlı granitler tarafından kesilmektedir (Okay ve Şahintürk, 1997; Yılmaz vd., 1997; Kaygusuz vd., 2010, Kaygusuz vd., 2013; Şekil 1c). Çalışma alanının da içerisinde yer aldığı Gümüşhane yöresinde Geç Kretase yaşlı türbiditler Jura-Alt Kretase birimleri üzerine uyumsuz olarak gelir. Yörede geniş alanlarda mostra veren Eosen yaşlı volkanik ve volkano-sedimanter kayalar Geç Kretase birimlerini uyumsuz olarak örter (Güven, 1993; Arslan ve Aliyazıoğlu, 2001). Kuvaterner yaşlı alüvyonlar, çalışma alanının en genç birimini oluşturur (Şekil 2).

Bu çalışmanın ana konusunu oluşturan ve Eosen veya daha genç olduğu düşünülen andezitler yaklaşık KB-GD yönelimli iki farklı kütle halinde izlenebilmektedir. Bu kütlelerden ilki Altınpınar Beldesi sınırları içerisinde, diğeri ise Altınpınar beldesinin yaklaşık 4 km GB istikametinde bulunan Altınpınar yaylası sınırları içerisinde mostra vermektedir (Şekil 2).

3. Analitik Yöntemler

Yapılan çalışmalar kapsamında, inceleme sahasındaki andezitlerden 25 adet el örneği

alınmış ve mikroskopta incelenmek üzere Gümüşhane Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü ince kesit laboratuvarında ince kesitleri hazırlanmıştır. Hazırlanan örnekler polarizan mikroskopta incelenerek her bir örneğin kayaç türü, mineral içerikleri ve dokusal özellikleri ortaya konmuştur. Petrografik incelemeler sonucunda seçilen 3 örneğin parlatılmış kesitte mineral kimyası ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Mineral kimyası analizleri New Mexico Tech (New Mexico, Amerika) Üniversitesi, Jeoloji ve Mineral Araştırma Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Örnekler CAMECA-SX-100 marka bir elektron mikroprob aleti ile analiz edilmiştir. Aletin çalışma şartları 15 kV voltaj ve 20 nA gerçekleştirilmiştir. Analizler 10 µm'lik bir ışın çapında yapılmış ve Si, Al, Ti, Fe, Mn, Mg, Ca, Na ve K elementleri için sayılma zamanı 10 sn'olarak belirlenmiştir. 1 µm'lik bir nokta ışını piroksen, amfibol, Fe-Ti oksit ve zirkon analizleri için kullanılmıştır. Feldispat analizlerinde sodyum buharlaşması (Nielsen ve Sigurdsson, 1981) nedeniyle oluşacak kayıpları önlemek için çok hafif bir odaklanmamış (10 µm) ışın kullanılmıştır. Ölçümler sırasında kaersutit (UCB), diyopsit (UCB), ortoklas (UCB), albit (UCB), anortit (UCB), biyotit ve magnetit (UCB) standartları kullanılmıştır.



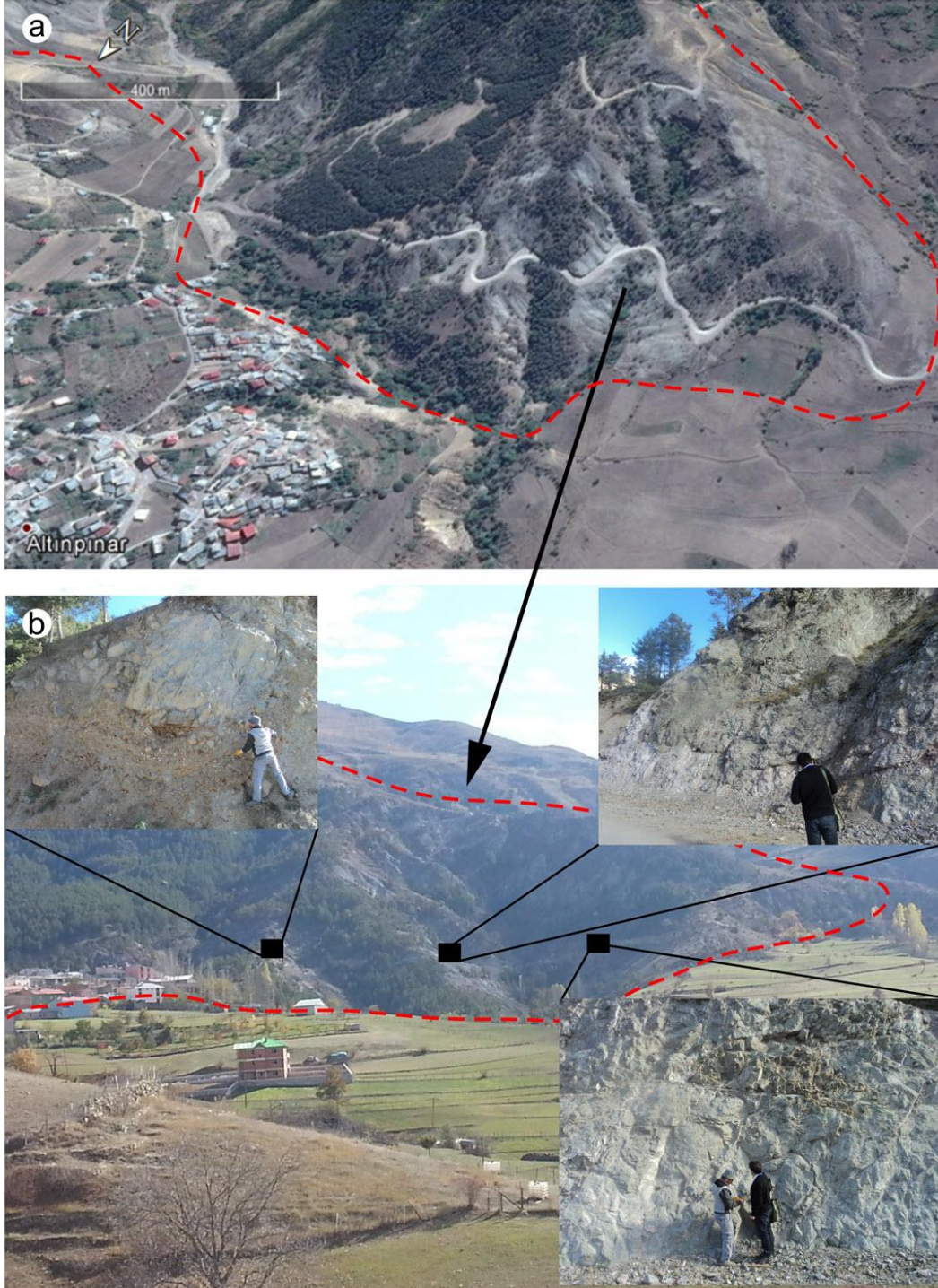
Şekil 2. Çalışma alanı ve civarının 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası (Jica, 1986 ve Kaygusuz vd., 2011'den değiştirilerek).

4. Bulgular ve Tartışma

4.1. Arazi İlişkileri, Mineraloji ve Petrografi

Bol hornblend içerikli andezitler inceleme alanında genel olarak Alibaba Formasyonu içerisinde gözlenmekte olup, sahada izlenebilen kütlelerin yayılımları birkaç metreden yüz metreye kadar değişmektedir

(Şekil 3). Andezitler, sert ve çatlaklı bir yapı sunması ve çevre fasiyeslere oranla taze görünümleri ile dikkat çekmektedir (Şekil 4a). Genellikle açık gri tonlarda gözlenmekte olup, bol miktarda hornblend kristalleri içermeleri ile tipiktir (Şekil 4b). Andezitlerin diğer ana bileşenini oluşturan plajiyoklas kristalleri de sahada makroskobik olarak ayırt edilebilmektedir.



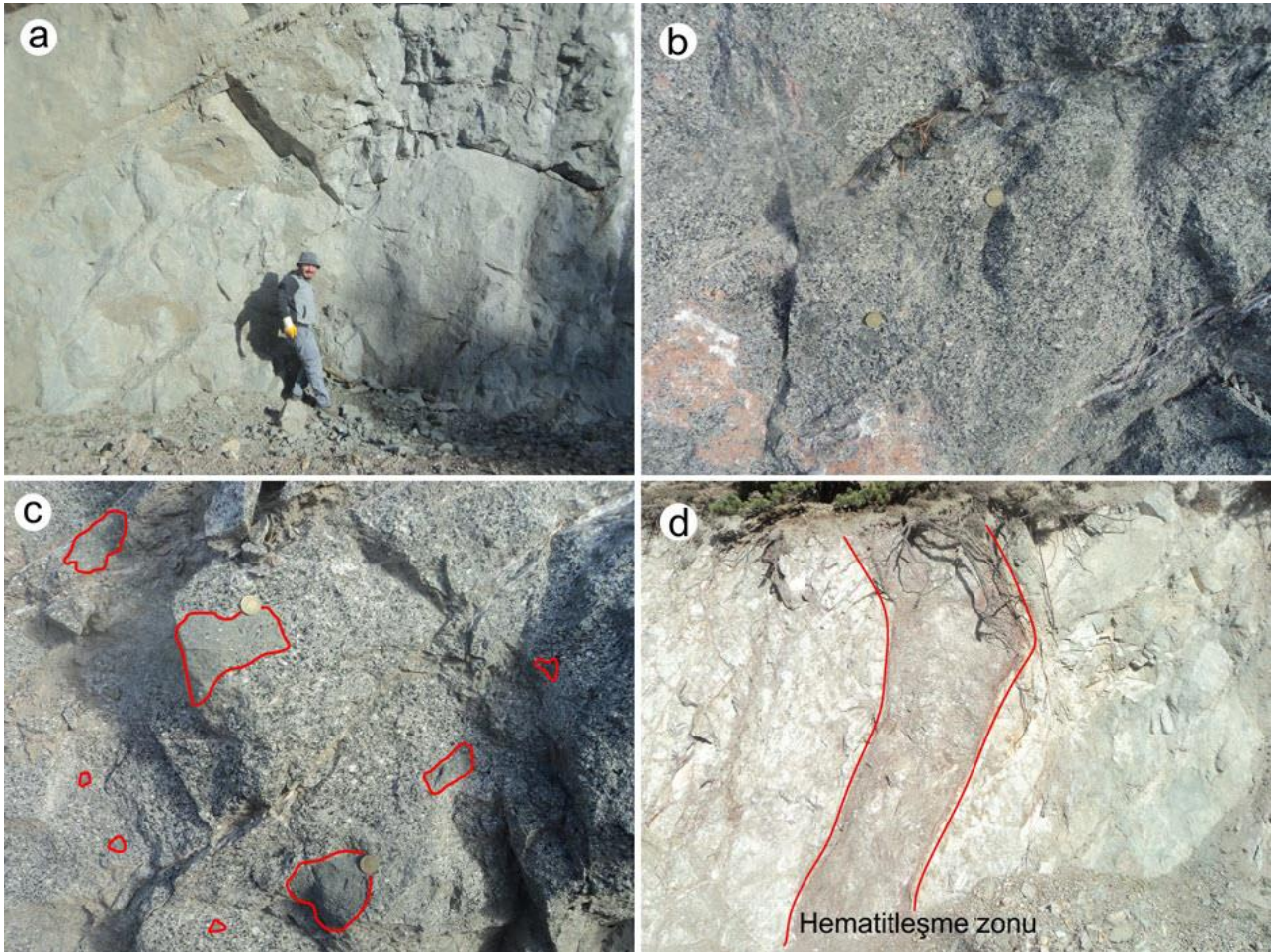
Şekil 3. (a) Altınpınar Beldesinin G-GB kesiminde yüzeyleme veren bol hornblend içerikli andezit kütlelerinin uydu görünümü, (b) Andezit kütlelerinin sahadaki görünümü.

Birim içerisinde, boyutları değişiklik gösteren anklav ve kayaç çakılları yaygın olarak izlenmekte olup (Şekil 4c), andezitlere oranla daha ince kristalli ve koyu renklere sahiptir. Bazı anklavlarda yer yer kloritleşmelere rastlamak da mümkündür. Çalışma alanında andezit kütlelerinin özellikle kenar zonlarında hematitleşme ve kalsitleşme türü ikincil alterasyon ürünlerine de rastlanmaktadır (Şekil 4d). İnceleme alanındaki birimlerde, tektonik faaliyetler sonucu gelişen çatlaklar yoğun olarak ikincil kalsit mineralleri tarafından doldurulmuştur.

Andezitlerde gerçekleştirilen petrografik çalışmalarda, örneklerin mikrolitik-porfirik, vitrofirik-porfirik, yer yer ise glomeroporfirik ve poikilitik doku gösterdikleri belirlenmiştir (Şekil 5). Mineralojik olarak hornblend, plajiyoklas ve klinopiroksen fenokristalleri ile

bu minerallerin mikro ve kriptokristalen tanelerinden meydana gelen hamur malzemesi içermektedir. İkincil olarak kalsit, serizit ve epidot minerallerine rastlanmıştır.

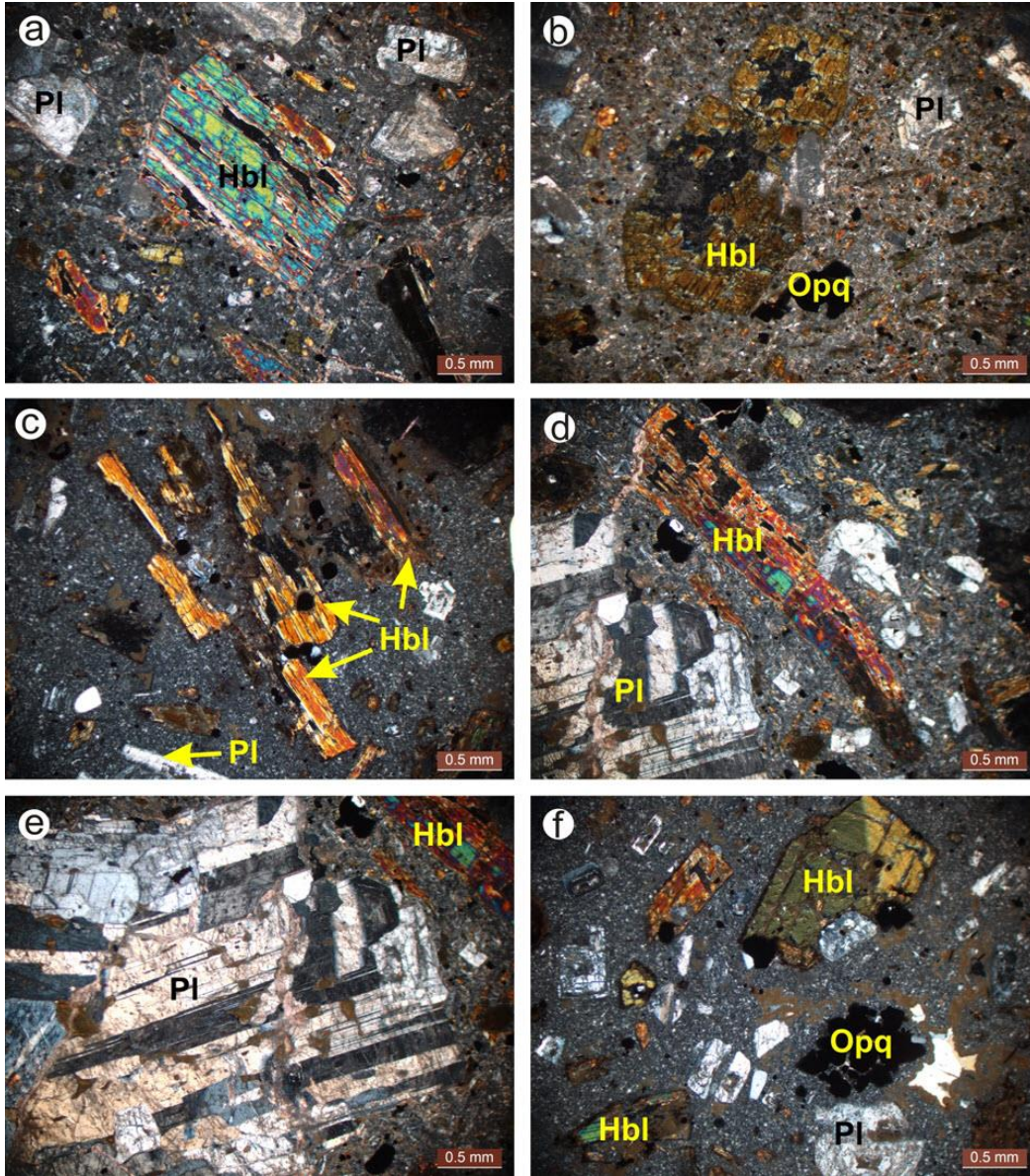
Hornblend fenokristalleri genellikle iri, yarı özşekli ve özşekli gelişmiş olup, dilinim düzlemleri boyunca çatlak ve kırıklar ile birlikte yer yer ayrılmış şekilde gözlenirler (Şekil 5a ve 5b). Uzun eksenli boyunca uzanan kristallerde genellikle hamur tarafından kemirilme dokuları daha sık izlenmektedir (Şekil 5c). Örneklerde yer yer plajiyoklas ve hornblend mineralleri bir arada bulunurlar (Şekil 5d ve 5e). Hornblendler yer yer kırıklı ve kırıklar/dilinimler boyunca altere olmuşlardır (Şekil 6a). Örneklerde gözlenen en yaygın ayrışma ürünlerini klorit mineralleri ve plajiyoklaslardan itibaren gelişmiş olan serizitler oluşturmaktadır.



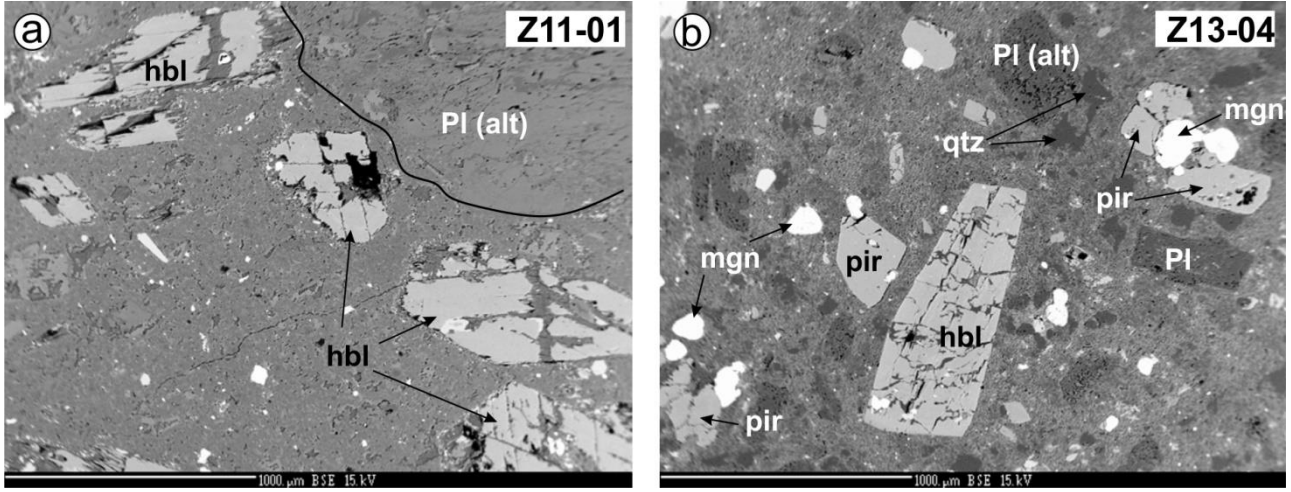
Şekil 4. (a) Hornblendli andezitlerin görünümü, (b) Andezitlerde gözlenen hornblend kristalleri (siyah renkli mineraller), (c) Birim içerisinde gözlenen değişik boyutlardaki anklav ve kayaç çakılları, (d) Andezit kütlelerinin kenar zonlarında gözlenen hematitleşme türü alterasyonlar.

Plajiyoklas mineralleri genel olarak iri kristalli ve yarı özşekilli fenokristaller, hamurda ise mikrokristaller halinde gözlenir. Kristaller büyük oranda albit ikizlenmesi gösterir. Bazı örneklerde farklı büyüklüklerde ve dağınık halde seri dokuyu oluştururlar. Yer yer zonlu plajiyoklaslar da izlenmektedir (Şekil 5f). Yüksek oranda altere olmuş ve albite dönüşmüş plajiyoklasların çevresinde yer yer ikincil kuvars dolguları gözlenmektedir (Şekil 6b). Klinopiroksenler genellikle ince taneli çoğunlukla öz şekilsiz,

yer yer ise yarı özşekilli kristaller halinde gözlenir. Kenarları kemirilmiş ve kırıklı bir yapı sunarlar. Bazı örneklerde kenarları boyunca ayrılarak hornblende dönüşmüşlerdir. Genellikle magnetit mineralleri ile bir arada gözlenmektedirler. Opak mineral oluşumları hamurda dağınık halde ve hornblend minerali içerisinde kapanım halinde bulunurlar. Kayaç içerisinde yer yer hornblend ve plajiyoklas mineralleri ile bir araya gelerek glomeroporfirik dokuyu oluştururlar.



Şekil 5. (a) Yarı özşekilli hornblend fenokristali, (b) Ayrılmış, kırıklı hornblend fenokristali ve opak mineral oluşumu, (c) Kemirilmiş hornblend mineralleri ve vitrofirik-porfirik doku, (d) Plajiyoklas ve hornblend minerallerinin bir arada olduğu glomeroporfirik doku, (e) Plajiyoklas fenokristalleri ve glomeroporfirik doku oluşumu, (f) Yarı özşekilli hornblend ve zonlu plajiyoklas mineralleri (Hbl: Hornblend, Pl: Plajiyoklas, Opq: Opak mineral, mikro-görüntüler çapraz nikolde alınmıştır).



Şekil 6. Z11-01 ve Z13-04 nolu kesitlerinin BSE görüntüleri, (a) Kırıklı ve kırıklar/dilinimler boyunca altere olmuş hornblend kristalleri ile altere plajiyoklas, (b) Hornblend, magnetit ve piroksen kristalleri, yüksek oranda altere olmuş ve albitleşmiş plajiyoklas ile ikincil kuvars dolguları (hbl: hornblend, pl: plajiyoklas, mgn: magnetit, pir: piroksen, qtz: kuvars, pl (alt): altere plajiyoklas/albit).

4.2. Mineral Kimyası

İncelenen andezitlerde yer alan hornblend, plajiyoklas, klinopiroksen ve opak mineralerden mineral kimyası analizleri gerçekleştirilerek kimyasal özellikleri irdelenmiştir.

Hornblendler, Altınpınar andezitlerinde mafik faz olarak en yaygın mineral türünü oluşturur. Örneklerden elde edilen analiz sonuçları ve yapılan hesaplamalar Ek 1'de verilmiştir. Hornblendlerin TiO_2 içerikleri nispeten düşük (% 0.90-1.89) iken, FeO^* (% 11.78-15.27) ve MgO (% 12.42-15.97) içeriği bakımından nispeten zengindir. Örneklerin $Mg\#$ ($Mg/Mg+Fe^{+2}$) değerleri 0.72-0.91 arasında değişmektedir. Hornblendlerde Si, $Ca+Na+K$ ve $Ca+Al^{IV}$ değerleri sırasıyla 6.60-6.97, 2.00-2.29 ve 2.70-3.16 (a.p.f.u.) aralığında değişmekte olup, bu durum hornblendlerin oluşumunda magmatik bir kökeni işaret etmektedir (Leake, 1971; Giret vd., 1980). Amfibollerin, Leake vd. (1997)'nin Si'a karşı $Mg/Mg+Fe^{+2}$ sınıflamasında göre Ca-tipi (kalsik) amfibol oldukları [$Ca_B \geq 1.5$, $(Na+K)_A < 0.5$ ve $Na_B < 0.5$] ve magnezyo-hornblend bileşimi gösterdikleri belirlenmiştir (Şekil 7a). Bununla birlikte, Al^{IV} değerleri 1.03-1.40 arasında değişmekte olup, bu durum magnezyohornblend bileşimini desteklemektedir (Leake vd., 2004). Hornblendlerin $Na+K$ 'a karşı Al^{IV} oranlarının karşılaştırıldığı

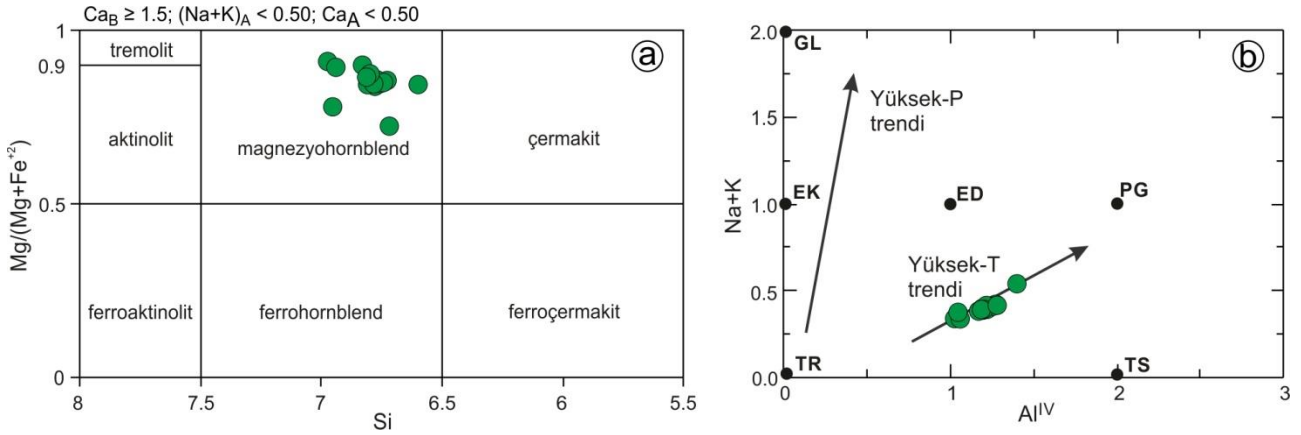
diyagramda ise tremolitten pargazite (yüksek sıcaklık trendine) doğru bir yönseme gösterdiği görülmektedir (Şekil 7b).

Plajiyoklaslar, Altınpınar andezitlerinde hornblendlerden sonra gözlenen en yaygın mineral türünü oluşturur. Örneklerden elde edilen analiz sonuçları ve yapılan hesaplamalar Ek 2'de verilmiştir. Minerallerin kompozisyonu $An_{40-61}Ab_{38-57}Or_{1-5}$ aralığında değişmekte olup, türleri andezin ve labrador olarak belirlenmiştir (Şekil 8a). Plajiyoklaslar bazı örneklerde ayrışarak tamamen albite ve kil minerallerine dönüşmüştür.

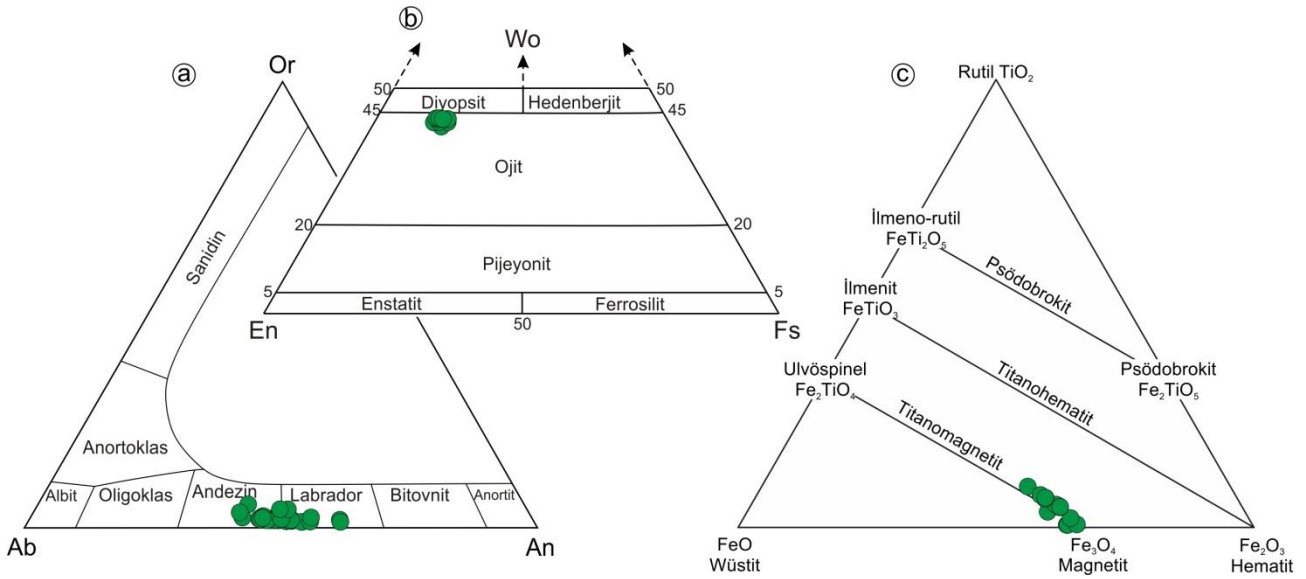
Piroksenler, mafik mineral olarak kayalarda pek yaygın olmayıp, çoğunlukla klinopiroksen türünde gözlenirler. Örneklerden elde edilen mineral kimyası analiz sonuçları ve yapılan hesaplamalar Ek 3'de verilmiştir. İncelenen andezitlerde, Morimoto vd.'nin (1988) sınıflamasına göre klinopiroksenler türleri ojit olarak belirlenmiştir (Şekil 8b). Bu mineraller genel olarak $Wo_{44-45}En_{43-44}Fs_{12}$ bileşimindedir ve Mg numaraları ($Mg\#$) 0.78-0.79 (n=9) arasında değişmektedir. Genellikle düşük TiO_2 (% 0.27-0.40) ve Al_2O_3 (% 1.20-1.80) içeriklerine sahip klinopiroksenlerde MgO ve FeO^* değerleri sırasıyla % 14.63-15.16 ve % 8.11-8.64 arasında değişmektedir. İncelenen andezitlerde gözlenen bir diğer mineral grubu ise Fe-Ti oksitler olup,

minerallere ait kimyası analiz sonuçları Ek 4'de verilmiştir. Kayaçlarda bulunan Fe-Ti oksitler genellikle hamurda ve hornblendler

içerisinde kapanım olarak gözlenmekte ve magnetit (Fe_3O_4) bileşimi sunmaktadır (Şekil 8c).



Şekil 7. (a) $\text{Ca}_B \geq 1.5$; $(\text{Na}+\text{K})_A < 0.50$ ve $\text{Ca}_A < 0.50$ parametrelerine sahip kalsik amfibollerin sınıflaması (Leake vd., 1997); Ca_B : Formülde B odacığına giren Ca kasyonu miktarı, $(\text{Na}+\text{K})_A$: A odacığına giren toplam Na ve K kasyonu miktarı, Ca_A : A odacığına giren Ca kasyonu miktarı). (b) Amfibollerin Al^{IV} 'e karşı Na+K diyagramı. Uç üye bileşenleri; GL: Glokofan, EK: Ekermanit, ED: Edenit, PG: Pargazit, TR: Tremolit, TS: Çermakit (Guilmette vd., 2008).



Şekil 8. Altınpınar andezitlerine ait (a) Feldispatların Ab-An-Or üçgen diyagramı, (b) Wo-En-Fs üçgen diyagramı (Morimoto vd., 1988), (c) Fe-Ti oksit minerallerinin bileşimi (Bacon ve Hirschmann, 1988).

4.3. Andezitlerin P-T Kristallenme Koşulları

Volkanik kayaçları oluşturan magmaların kabukta yerleştiği ve depolandığı derinlikleri belirlemek ve termal gelişimini anlayabilmek için bazı kayaç yapıcı minerallerin kimyasal özellikleri kullanılmaktadır. Özellikle

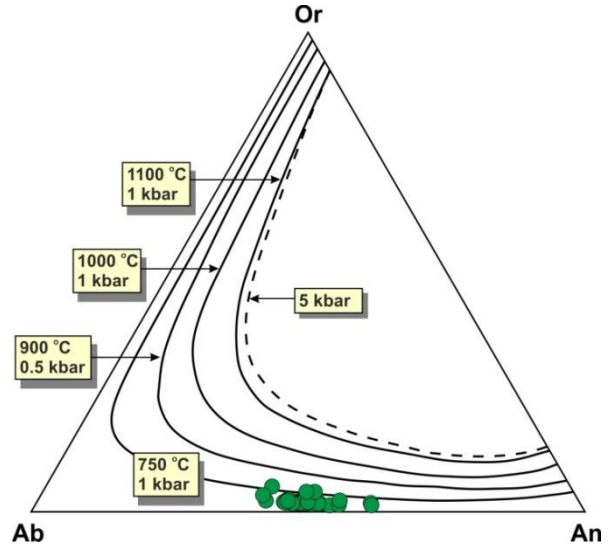
hornblend-plajiyoklas birlikteliği içeren kayaçlar jeotermobarometre hesaplamaları için uygun mineralojik bileşime sahip olmaktadır.

Feldispat mineralleri için Deer vd. (1992) tarafından önerilen ve Ab-An-Or üçgen

diyagramı üzerinde gösterilen eş sıcaklık eğrileri, magmatik kayalarda etkili bir jeotermometre olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem çalışma konusunu oluşturan

andezitlerdeki plajiyoklaslara uygulandığında, örneklerin Ab-An-Or üçgen diyagramında 650-800 °C sıcaklık eğrileri arasında dağılım gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 9).

Şekil 9. Andezitlerde gözlenen plajiyoklasların Ab-An-Or üçgen diyagramdaki kristallenme sıcaklıklarının belirlenmesi (sıcaklık eğrileri Fuhrman ve Lindsley, 1988'e göredir).

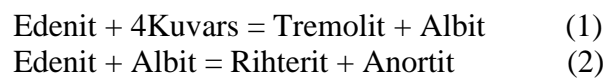


Çalışma alanında jeotermobarometre hesaplamalarının yapıldığı bir diğer önemli mineral grubu ise hornblendlerdir. Altınpınar hornblendli andezitleri özellikle hornblend-plajiyoklas birliktelikleri içermesi bakımından hesaplamalar için uygun mineralojik bileşim sunmaktadır. Ancak, hornblend oluşumundan sonra sistemde aktinolite dönüşüm, kloritleşme, opak mineral oluşumları yaygın olacağından bu gibi alterasyona uğramış bileşimler özellikle hesaplamaların dışında tutulmalıdır (Hammarstrom ve Zen, 1986). Bununla birlikte, amfibol ve plajiyoklas gibi minerallerin kimyasal bileşimlerinin artan sıcaklık ve basınç koşullarına göre değişim gösterdiği de bilinmektedir (Laird ve Albee, 1981; Hammarstrom ve Zen, 1986).

Basınç (P) koşullarını belirlemek amacıyla çeşitli araştırmacılar tarafından hornblendlerin Al içeriğinden hareketle kristallenme basınçlarının hesaplandığı deneysel korelasyonlar kullanılmıştır. Bu korelasyonların hornblendlerin ve buna bağlı olarak komşu minerallerin kristalizasyon basıncını verdiği kabul edilmekte (Ghent vd., 1991) olup, hesaplanan basınçlar hornblendlerin kristallenme derinliklerini yansıtabilmektedir. Ancak hornblendlerde $Al = 0.79$ sınırı alt sınırını oluşturmakta olup

(Leake, 1971), toplam Al (Al^T) < 0.79 olması durumunda negatif basınçlar söz konusu olmaktadır. Hornblendlerin kristallenme basınçları ile Al^T içerikleri arasında oluşturulan deneysel korelasyonlar çalışma alanındaki örnekler üzerine uygulandığında basınç (P) değerleri; $P_1 = 2.6-3.7$ kbar (ort = 3.0 ± 0.3 kbar; Hammarstrom ve Zen, 1986), $P_2 = 2.7-3.9$ kbar (ort = 3.1 ± 0.3 kbar; Hollister vd., 1987), $P_3 = 2.1-2.9$ kbar (ort = 2.4 ± 0.2 kbar; Johnson ve Rutherford, 1989), $P_4 = 3.2-4.2$ kbar (ort = 3.6 ± 0.3 kbar; Schmidt, 1992) ve $P_5 = 2.6-3.6$ kbar (ort = 3.0 ± 0.3 kbar; Anderson ve Smith, 1995) olarak elde edilmiştir (Tablo 1).

Sıcaklık (T) koşullarını belirleyebilmek amacıyla, özellikle kalk-alkali granitoidlerdeki amfibol-plajiyoklas çiftlerinde geliştirilen jeotermometre için önerilen net-transfer değişim reaksiyonları (1) ve (2) kullanılmıştır (Holland ve Blundy, 1994).



Jeotermometre hesaplamalarında her iki değişim reaksiyonu için de denge ilişkisi (3) nolu denklemde verilmektedir (Blundy ve Holland, 1990);

$$T=(0.677P-48.98+Y)/(-0.0429-0.008314\ln K) \quad (3)$$

Burada T sıcaklık (kelvin ölçeğine göre olup dönüşüm için: $^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273.15$), P basınç (kbar), Y ise plajiyoklasın ideal olmaması durumu olup, $X_{\text{Ab}} > 0.5$ için $Y=0$, $X_{\text{Ab}} < 0.5$ için $Y= -8.06 + 25.5(1 - X_{\text{Ab}})^2$ 'dir. Değişim reaksiyonlarının dağılım katsayısı ise $K = X_{\text{Ab}}(\text{Si}-4)/(8-\text{Si})$ olarak verilmektedir. 500-1100 $^{\circ}\text{C}$ arasındaki sıcaklıklarda oluşmuş

amfibol-plajiyoklas birlikteliklerinde kullanılan bu termometre An_{92} 'den daha az kalsik plajiyoklas ve birim formülünde 7.8'den daha az Si içeren amfibol birliktelikleri için kullanılmaktadır (Blundy ve Holland,1990).

Yapılan hesaplamalara göre, Altınpınar andezitlerinde sıcaklık aralıklarının birbirine oldukça yakın olduğu ve genel olarak 790 – 810 (± 22) $^{\circ}\text{C}$ arasında değiştiği belirlenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Altınpınar hornblendli andezitlerinin Al in-hornblend barometre ve hornblend-plajiyoklas termometre hesaplamaları ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması.

Referans		Al in Hornblend (Al-Hbl) Barometresi		
Basınç P (kbar)		P_{\min}	P_{\max}	P_{ort} (n= 14)
Hammarstrom ve Zen (1986); P_1		2.6	3.7	3.0 \pm 0.3
Hollister vd. (1987); P_2		2.7	3.9	3.1 \pm 0.3
Johnson ve Rutherford (1989); P_3		2.1	2.9	2.4 \pm 0.2
Schmidt (1992); P_4		3.2	4.2	3.6 \pm 0.3
Anderson ve Smith (1995); P_5		2.6	3.6	3.0 \pm 0.3
Hbl-Pl (Blundy ve Holland, 1990) Termometresi*				
Sıcaklık T ($^{\circ}\text{C}$)		T_{\min}	T_{\max}	T_{ort} (n= 41)
P_1 ortalama için T_1		765	827	801 \pm 22
P_2 ortalama için T_2		764	826	799 \pm 21
P_3 ortalama için T_3		775	837	810 \pm 22
P_4 ortalama için T_4		757	819	792 \pm 21
P_5 ortalama için T_5		766	828	801 \pm 22

$P_1= -3.92+5.03\text{Al}^{\text{T}}$; $P_2= -4.67+5.64\text{Al}^{\text{T}}$; $P_3= -3.46+4.23\text{Al}^{\text{T}}$; $P_4= -3.01+4.76\text{Al}^{\text{T}}$; $P_5= 4.76\text{Al}^{\text{T}}-3.01-[(T-675)/85] \times [0.53\text{Al}^{\text{T}}+0.005294 \times (T-675)]$. * T_1 - T_5 sıcaklıkları, her bir P_1 - P_5 ortalama basınç değerleri kullanılarak Blundy ve Holland (1990) termometre yöntemine göre hesaplanmıştır.

Bununla birlikte, örneklerin sıcaklık ve basınç koşullarını karşılaştırabilmek amacıyla; Holland ve Blundy (1994) tarafından önerilen net-transfer değişim reaksiyonları (1) ve (2)'nin kullanıldığı ve Schmidt (1992), Schmidt (1993) ve Anderson ve Smith (1995) basınç değerlerinin temel alınarak hesaplandığı reaksiyonlarda elde edilen sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde çıkan değerlerin daha önce elde edilen değerler ile örtüştüğü görülmektedir.

Amfiboller, 1.5-12 kbar basınç aralığında veya kabuktan Moho'ya (kabuk-manto sınırı) yakın derinliklerde yaklaşık % 2'nin üzerindeki su içeriğinde duraylı kalk-alkali

magmalar için tipik minerallerdir. Bu faz bileşimi ana magmanın basınç-sıcaklık (P - T) ve oksijen fugasitesini (f_{O_2}) yansıtır ve amfibol/amfibol-plajiyoklas jeotermobarometrelerini kalibre etmek için kullanılır (Schmidt, 1992; Anderson ve Smith, 1995; Blundy ve Holland, 1990). Son zamanlarda bazı araştırmacılar (Wones, 1989; Ridolfi vd., 2010) f_{O_2} ve P - T parametrelerinin tahmininde ampirik (deneysel) formüller önermiştir. Çalışma alanındaki andezitlerde bulunan hornblendler, Ridolfi vd. (2010) tarafından önerilen (4) nolu eşitliğe göre kalibre edilmiş ve amfibol jeotermometresi hesaplamaları için örneklere uygulanmıştır.

Tablo 2. Altınpınar hornblendli andezitlerinin hornblend-plajiyoklas (Hbl-Pl) termobarometre hesaplamaları ve elde edilen değerlerin karşılaştırılması.

Schmidt basınç değerleri temel alınarak hesaplanan Hbl-Pl termobarometre hesaplamaları				
	Min	Mak	Ort (n=13)	Referans
P (kbar)	3.3	4.2	3.6±0.2	Schmidt (1992); Schmidt (1993)
T (°C) HB1 '94*	732	849	765±29	Holland ve Blundy (1994)
T (°C) HB2 '94**	751	854	786±25	Holland ve Blundy (1994)
Anderson ve Smith basınç değerleri temel alınarak hesaplanan Hbl-Pl termobarometre hesaplamaları				
	Min	Mak	Ort (=13)	Referans
T (°C) HB1*	737	791	759±12	Holland ve Blundy (1994)
P(kbar) HB1*	2.0	3.0	2.4±0.2	Anderson ve Smith (1995)
T (°C) HB2**	747	791	768±11	Holland ve Blundy (1994)
P(kbar) HB2**	2.0	2.8	2.2±0.2	Anderson ve Smith (1995)

*HB1'94, Holland ve Blundy (1994) Hbl-Pl termometre kalibrasyon reaksiyonu: edenit + 4 kuvars = tremolit + albit

**HB2'94, Holland ve Blundy (1994) Hbl-Pl termometre kalibrasyon reaksiyonu: edenit +albit=rihterit+anortit

$$T = -151.487\text{Si}^* + 2,041 \quad (4)$$

Burada;

$$\text{Si}^* = \text{Si} + \frac{^{4}\text{Al}}{15} - 2^{[4]}\text{Ti} - \frac{^{6}\text{Al}}{2} - \frac{^{6}\text{Ti}}{1.8} + \frac{\text{Fe}^{+3}}{9} + \frac{\text{Fe}^{+2}}{3.3} + \frac{\text{Mg}}{26} + \frac{^{\text{B}}\text{Ca}}{5} + \frac{^{\text{B}}\text{Na}}{1.3} - \frac{^{\text{A}}\text{Na}}{15} + \frac{^{\text{A}}\square}{2.3} \quad (5)$$

Diğer yandan, andezitlerde jeobarometrik hesaplamalar, Ridolfi vd. (2010) tarafından önerilen ve toplam Al içeriğinin dikkate alındığı (6) nolu eşitliğe göre yapılmıştır.

$$P = 19.209e^{(1.438A/tot)}, R^2 = 0.99 \quad (6)$$

Yapılan hesaplamalarda hornblendlerin sıcaklık (T) değerleri 790-867 °C (n= 17) arasında değişmekte olup ortalama 815 ± 18 °C sıcaklık değeri vermektedir. Hesaplanan basınç (P) değerleri ise 0.9-1.7 kbar (n= 17) arasında değişmekte ve ortalama 1.3 ± 0.2 kbar değeri vermektedir (Tablo 3; Şekil 10a).

Magmatik kayaların kristallenme süreçlerindeki bir diğer önemli etmen ise oksijen fugasitesi (f_{O_2}) olup, oksijenin kısmi basıncı olarak tanımlanmaktadır. Oksijen fugasitesi, kayacı oluşturan ergiyiğin basınç-sıcaklık ilişkisini kontrol etmekle birlikte, kayaç oluşturu mineralerin duraylılık alanlarını da etkilemektedir. Sıcaklığın bir fonksiyonu

olarak değişmekte olan bu değer, sıcaklık artışına bağlı olarak genellikle yükselmektedir (Wones, 1989; Ridolfi vd., 2008; 2010). Bununla birlikte kayaları oluşturan silikat ergiyiğinin içerdiği oksijen miktarı sıcaklığın kaynağı ve gazların karışım oranları ile kontrol edilmektedir.

İnceleme alanındaki andezitlerde oksijen fugasitesi hesaplamaları Wones (1989) (7) ve Ridolfi vd. (2010) (8) tarafından önerilen ampirik formüllere göre gerçekleştirilmiştir.

$$\log f_{\text{O}_2} = -30930/T + 14.98 + 0.142(P-1)/T \quad (7)$$

Burada, T; kelvin cinsinden sıcaklık ve P; bar cinsinden basıncı ifade etmektedir.

$$\Delta\text{NNO} = 1.644\text{Mg}^* - 4.01 \quad (8)$$

Burada;

$$\text{Mg}^* = \text{Mg} + \frac{\text{Si}}{47} - \frac{^{6}\text{Al}}{9} - 1.3^{[6]}\text{Ti} + \frac{\text{Fe}^{+3}}{3.7} + \frac{\text{Fe}^{+2}}{5.2} - \frac{^{\text{B}}\text{Ca}}{20} - \frac{^{\text{A}}\text{Na}}{2.8} + \frac{^{\text{A}}\square}{9.5}$$

Wones (1989)'a göre yapılan hesaplamalarda fO_2 değerleri -12.7 ile -14.4 arasında olup, ortalama fO_2 değeri -13.4 ± 0.6 olarak hesaplanmıştır. Hornblendlerin Mg indeksi dikkate alınarak Ridolfi vd. (2010)'a göre gerçekleştirilen hesaplamalarda ise en düşük -12.6 , en yüksek -11.1 ve ortalama -11.9 ± 0.3 değerleri elde edilmiştir (Tablo 3; Şekil 10b). Relatif oksijen fugasitesi (ΔNNO) ise 1.0 ile 2.1 arasında olup, 1.7 ± 0.2 ortalama değeri sunmaktadır.

Ergiyikteki su içeriğinin (H_2O_{ergiyik}), Moore vd. (1998) ve Newman ve Lowenstern (2002) çözülebilirlik modellerine göre amfibol

bileşimleri ile iyi bir korelasyon vermediği, buna karşın yapılan çalışmalar tutarlı (ideal) amfibollerin bileşimlerinin H_2O_{ergiyik} ile ilişkili olduğunu ve amfibollerin mineral kimyasının fH_2O 'dan etkilendiğini göstermektedir (Ridolfi vd., 2010). Dolayısıyla, amfibollerde bulunan oktahedral Al (Al^{VI}) ergiyikteki H_2O içeriğine duyarlı olup, oktahedral Al indeksine ($^{[6]}Al^*$) göre H_2O_{ergiyik} şu şekilde hesaplanmaktadır (9):

$$H_2O_{\text{ergiyik}} = 5.215^{[6]}Al^* + 12.28 \quad (9)$$

Burada;

$$^{[6]}Al^* = ^{[6]}Al + \frac{^{[4]}Al}{13.9} - \frac{Si + ^{[6]}Ti}{5} - \frac{^C Fe^{+2}}{3} - \frac{Mg}{1.7} + \frac{^B Ca + ^A \square}{1.2} + \frac{^A Na}{2.7} - 1.56K - \frac{Fe\#}{1.6}$$

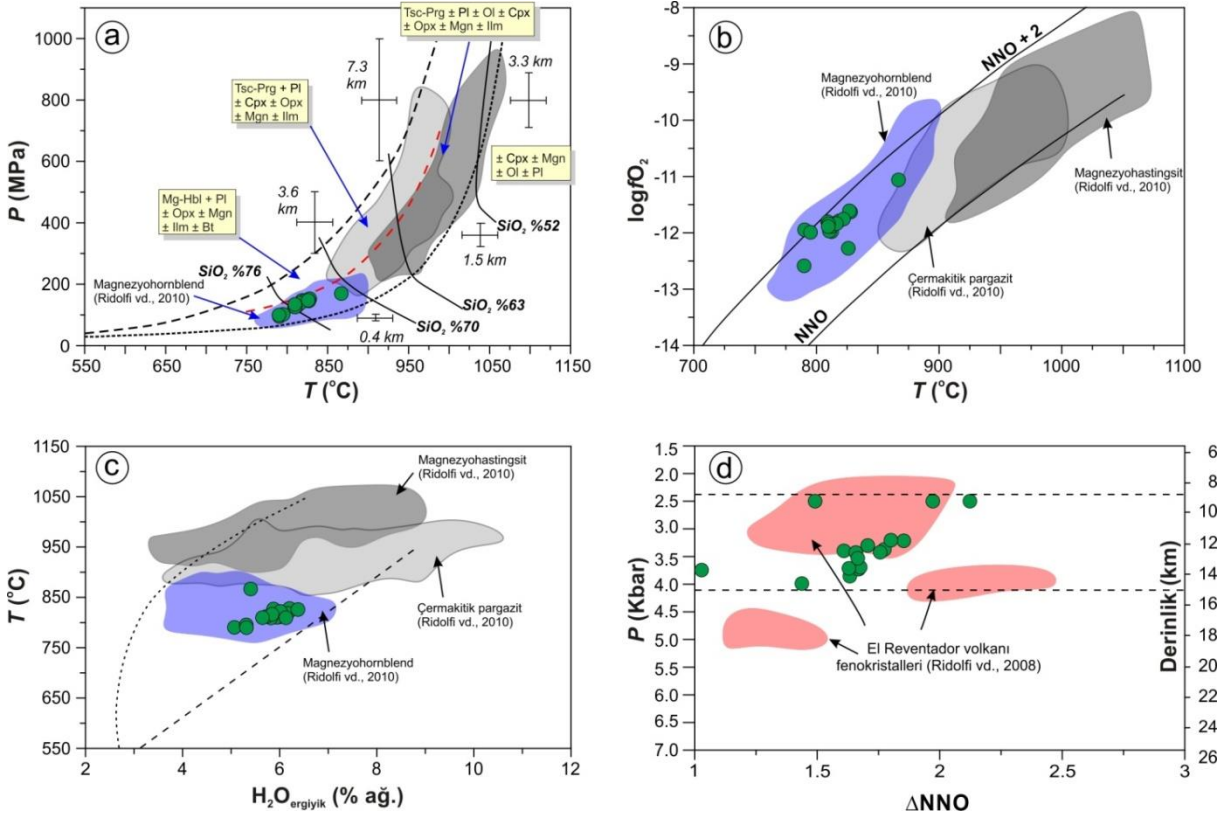
İnceleme alanındaki andezitler için yapılan hesaplamalarda H_2O_{ergiyik} değerleri en düşük 5.1 , en yüksek 6.4 ve ortalama 5.7 ± 0.4 olarak hesaplanmış (Tablo 3) ve sıcaklığa göre dağılımı Şekil 10c'de verilmiştir.

Hornblend minerallerinde gerçekleştirilen tüm çalışmalarda sıcaklık (T) değerlerinin $765 - 867$ °C (ort= 790 ± 20 °C); basınç (P)

değerlerinin $2.5 - 4$ kbar ve oksijen fugasitesinin (fO_2) -14.4 ile -11.1 arasında değiştiği ortaya konmuştur. Elde edilen bu değerler hornblendlerin $9 - 15$ km derinliklerde kristallendiğini (kıtasal kabukta 1 kbar = 3.78 km derinlik kabul edilerek hesaplanmıştır; Ridolfi vd., 2010) göstermektedir (Şekil 10d).

Tablo 3. Altınpınar hornblendli andezitlerinin amfibol termobarometresi (Ridolfi vd., 2010), oksijen fugasitesi hesaplamaları ve elde edilen değerlerin karşılaştırılması.

Referans		Amfibol Termobarometresi		
Sıcaklık T (°C)		T_{min}	T_{mak}	T_{ort} (n= 17)
Ridolfi vd. (2010)		790	867	815 ± 18
Basınç P (kbar)		P_{min}	P_{mak}	P_{ort} (n= 14)
Ridolfi vd. (2010)		0.9	1.7	1.3 ± 0.2
Referans		Oksijen Fugasitesi (fO_2)		
		fO_{2min}	fO_{2mak}	fO_{2ort} (n= 41)
Wones (1989)		-14.4	-12.7	-13.4 ± 0.6
Ridolfi vd. (2010)		-12.6	-11.1	-11.9 ± 0.3
		ΔNNO_{min}	ΔNNO_{mak}	ΔNNO_{ort}
Ridolfi vd. (2010)		1.0	2.1	1.7 ± 0.2
Referans		Ergiyikteki Su İçeriği (H_2O_{ergiyik})		
		H_2O_{ergiyik} (%ağ.) _{min}	H_2O_{ergiyik} (%ağ.) _{mak}	H_2O_{ergiyik} (%ağ.) _{ort}
Ridolfi vd. (2010)		5.1	6.4	5.7 ± 0.4

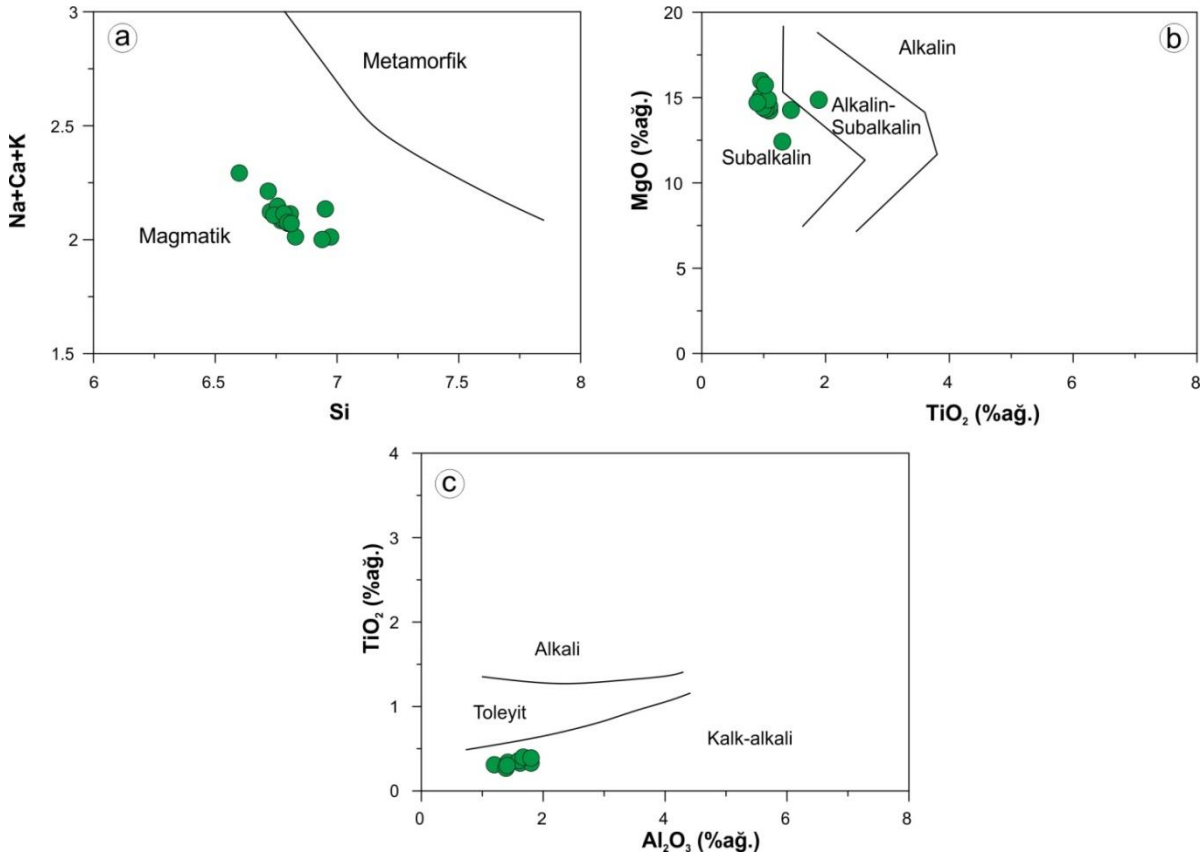


Şekil 10. Altınpınar hornblendli andezitlerinin (a) Basınç (P) – Sıcaklık (T), (b) Oksijen fugasitesi (fO_2) - Sıcaklık (T), (c) Sıcaklık (T) – H_2O_{ergiyik} (%ağ.) ve (d) Basınç (P) - ΔNNO – derinlik (km) değerlerinin karşılaştırılması (Ridolfi vd., 2010). P (kbar) değerleri Altınpınar andezitlerinde hesaplanan tüm basınçların ortalama değer aralığını yansıtmaktadır. Kapalı alanlar magnezyo-hornblend (Ridolfi vd., 2010) ve El Reventador volkanı (Ekvador) fenokristalleri (Ridolfi vd., 2008) veri dağılımlarını yansıtmaktadır.

4.4. Magma Özellikleri ve Jeotektonik Ortam

Minerallerin kimyasal özelliklerinin, magmatik seriler ve magmatik kayaların tektonik ortamlarının ayırt etmek için kullanıldığı bilinmektedir (Le Bas, 1962; Leterrier vd., 1982; Nachit, 1986; Abdel-Rahman, 1994; Molina vd., 2009). Andezitlerde gözlenen hornblend fenokristalleri kalsik bileşimde (magnezyo-hornblend) olup, Na, Ca, K ve Si içeriklerine göre magmatik bir oluşum ortamını yansıtmaktadır (Şekil 11a). Bununla birlikte, hornblend ve piroksen minerallerinin magmatik afinite ayırtman diyagramlarına bakıldığında, Altınpınar hornblendli andezitlerinin kalk-alkalin bir magmadan itibaren türediklerini işaret etmektedir (Şekil 11b ve 11c). Ancak mineral kompozisyonları kullanılarak oluşturulan bu diyagramlarda kalk-alkali, yüksek-K kalk-alkali ve şoşonitik ayırımı yapılamamaktadır. Buna karşın, Gümüşhane

çevresinde Eosen volkanizması üzerine yapılan bazı çalışmalar, bu volkanizma ürünlerinin kalk-alkali bir magmadan türediğini işaret etmektedir (Aslan, 2010; Karşlı vd., 2010; Eyüboğlu vd., 2013). Dolayısıyla, çalışma konusunu oluşturan andezitlerin de kalk-alkali bir magmadan itibaren türemiş olabileceğini desteklemektedir. Bununla birlikte, yapılan son çalışmalar Doğu Pontidler'deki Eosen volkanitlerinin zenginleşmiş litosferik mantonun kısmı ergimesinden itibaren oluştuğunu ve buna ilaveten kabuk katkısının da gözlendiğini işaret etmektedir (Kaygusuz vd., 2011; Arslan vd., 2013; Aslan vd., 2014; Temizel vd., 2016). Eosen volkanitlerinde gerçekleştirilen petrokimyasal çalışmalar ise volkanitleri oluşturan ana magmanın olasılıkla Paleosen-Eosen döneminde Pontid yayının kalınlaşmasından sonra kısmi ergime ile üst manto-kabuk sınırında türemiş olabileceğini göstermektedir (Aslan, 2010).



Şekil 11. Altınpınar hornblendli andezitlerinde (a) Si'ya karşı Na+Ca+K magmatik ve metamorfik amfibol ayırım diyagramı (Sial vd., 1998), (b) Amfibol kompozisyonunun magmatik afinite ayırım diyagramı (Molina vd., 2009), ve (c) Piroksen kompozisyonunun magmatik afinite ayırım diyagramı (Le Bas, 1962).

5. Sonuçlar

Eosen veya daha genç olduğu düşünülen bol hornblend içeren andezitler Alibaba Formasyonu içerisinde gözlenmekte olup, arazide izlenebilen kütlelerin yayılımları birkaç metreden birkaç yüz metreye kadar değişmektedir. Andezitler mikrolitik-porfirik, vitrofirik-porfirik, yer yer ise glomeroporfirik ve poikilitik doku göstermekte olup, hornblend, plajiyoklas, klinopiroksen ve opak mineral fenokristallerinden oluşmaktadır.

Hornblendler Ca-tipi (kalsik) olup, magnezyohornblend bileşimine sahiptir. Kimyasal olarak magmatik bir kökeni işaret etmektedir. Plajiyoklasların kompozisyonu $An_{40-61}Ab_{38-57}Or_{1-5}$ aralığında değişmekte ve andezin-labrador kompozisyonunu yansıtmaktadır. Piroksenlerin türleri ojit olarak belirlenmiş olup, $Wo_{44-45}En_{43-44}Fs_{12}$ bileşimindedir ve $Mg\# = 0.78-0.79$ aralığında değişmektedir. Fe-Ti oksitler genellikle hamurda ve hornblendler içerisinde kapanım

olarak gözlenmekte ve magnetit (Fe_3O_4) bileşimi sunmaktadır.

Hornblend minerallerinde gerçekleştirilen hesaplamalarda sıcaklık (T) değerlerinin 765 - 867 °C (ort= 790±20 °C); basınç (P) değerlerinin 2.5 - 4 kbar ve oksijen fugasitesinin (fO_2) -14.4 ile -11.1 arasında değiştiği ortaya konmuştur. Elde edilen bu değerler hornblendlerin kıtasal kabukta 9-15 km derinliklerde kristallendiğini işaret etmektedir.

Minerallerin kimyasal özellikleri kullanılarak yapılan ayırtma diyagramları, andezitlerin kalk-alkalin bileşimli bir magmadan itibaren türemiş olabileceğini göstermektedir. Değişik araştırmacılar tarafından çalışma alanı ve yakın çevresinde yapılan petrokimyasal çalışmalar, Eosen volkanitlerini oluşturan ana magmanın Paleosen-Eosen döneminde Pontid yayının kalınlaşmasından sonra kısmi ergime ile üst manto-kabuk sınırında türemiş olabileceğini işaret etmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından 113Y381 numaralı ve Gümüşhane Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri birimi (GÜBAP) tarafından 16.F5114.02.02 numaralı projeler ile maddi olarak desteklenmiştir. Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı Baş Editör Serhat DAĞ, Bölüm Editörü Selçuk ALEMDAĞ ve Hakemlere teşekkür ederiz.

6. Kaynaklar

- Abdel-Rahman, A.M., 1994. Nature of Biotites from Alkaline, Calc-Alkaline, and Peraluminous Magmas. Journal of Petrology, 35, 2, 525-541.
- Adamia, S.A., Lordkipanidze, M.B. ve Zakariadze, G.S., 1977. Evolution of an active continental margin as exemplified by the Alpine history of Caucasus. Tectonophysics, 40, 183-199.
- Ağar, Ü., 1977. Demirözü (Bayburt) ve Köse (Kelkit) bölgesinin jeolojisi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstanbul.
- Akaryalı, E. ve Tüysüz, N., 2013. The genesis of the slab window-related Arzular low-sulfidation epithermal gold mineralization (Eastern Pontides, NE Turkey). Geoscience Frontiers, 4-4, 409-421.
- Akaryalı E. ve Akbulut K., 2016. Constraints of C–O–S isotope compositions and the origin of the Ünlüpinar volcanic-hosted epithermal Pb–Zn±Au deposit, Gümüşhane, NE Turkey. Journal of Asian Earth Sciences, 117, 119-134.
- Akaryalı, E., 2010. Arzular (Gümüşhane KD-Türkiye) Altın Yatağının Jeolojik, Mineralojik, Jeokimyasal ve Kökensel İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Akaryalı, E., 2016. Geochemical, fluid inclusion and isotopic (O, H and S) constraints on the origin of Pb–Zn ± Au vein-type mineralizations in the Eastern Pontides Orogenic Belt (NE Turkey). Ore Geology Reviews, 74, 1-14.
- Akçay, M. ve Arar, M., 1999. Geology, Mineralogy and Geochemistry of the Çayeli Massive Sulphide Ore Deposit, Rize, NE Turkey, Mineral Deposits: Processes to Processing, Standley et al. (eds), Balkema, Rotterdam, 459-462.
- Akçay, M. ve Tüysüz, N., 1998. Murgul Cu Madeni Çevresinde Ağır Elementlerin Yanal Dağılımı ve Çevresel Kirlilik Üzerine Etkileri, Geosound, 30, 725-741.
- Akıncı, Ö.T., 1984. The Eastern Pontide volcano-sedimentary belt and associated massive sulphide deposits. In: J.E. Dixon & A.H.F. Robertson (eds.), The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean, Geological Society, London, Special Publications, 17, 415-428.
- Alemdag, S., 2015. Assessment of Bearing Capacity and Permeability of Foundation Rocks at the Gumustas Waste Dam Site, (NE Turkey) Using Empirical and Numerical Analysis. Arabian Journal of Geosciences, 8, 1099–1110.
- Alemdag, S., Akgün, A., Kaya, A., Gökçeoğlu, C., 2014. A large and rapid planar failure: causes, mechanism and consequences (Mordut, Gumushane, Turkey), Arabian Journal of Geosciences, 7 (3), 1205-1221.
- Alemdag, S., Kaya, A., Karadağ, M., Gurocak, Z., Bulut, F. 2015. Utilization of the limit equilibrium and finite element methods for the stability analysis of the slope debris: An example of the Kalebasi District (NE Turkey).

- Journal of African Earth Sciences, 106, 134-146.
- 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. ve Satır, M., 2008. Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic characteristics of Paleocene plagioclites from the Eastern Pontides (NE Turkey), Lithos, 105, 149-161.
- Altunkaynak, L., 2000. Ağvanis masifi doğu kesimi ve çevre kayaçlarının jeolojisi, petroğrafisi ve jeokimyası, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Anderson, J.L. ve Smith, D.R., 1995. The Effect of Temperature and Oxygen Fugacity on Al-in-Hornblende Barometry. American Mineralogist, 80, 549-59.
- Arslan, M. ve 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. ve Aslan, Z., 2006. Mineralogy, petrography and whole-rock geochemistry of the Tertiary granitic intrusions in the Eastern Pontides, Turkey. Journal of Asian Earth Sciences, 27, 177-193.
- Arslan, M., 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., 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.
- Arslan, M., Tüysüz, N., Korkmaz, S. ve Kurt, H., 1997. Geochemistry and petrogenesis of the eastern Pontide volcanic rocks, Northeast Turkey, Chemie der Erde, 57, 157-187.
- 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 – Abhandlungen, 187/3, 329-346.
- Aslan, Z., Arslan, M., Temizel, İ. ve Kaygusuz, A., 2014. K-Ar dating, whole-rock and Sr-Nd isotope geochemistry of calc-alkaline volcanic rocks around the Gümüşhane area: implications for post-collisional volcanism in the Eastern Pontides, Northeast Turkey. Mineralogy and Petrology, 108, 245-267.
- Aydınçakır, E. ve 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., 2012. Borçka (Artvin, KD-Türkiye) Yöresi tersiyer Volkanitlerinin Petroğrafisi, Jeokimyası ve Petrojenezi, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 200s.

- Aydınçakır, E., 2016. Subduction-related Late Cretaceous high-K volcanism in the Central Pontides orogenic belt: Constraints on geodynamic implications, Geodinamica Acta, 28(4), 379-411.
- Aydınçakır, E., ve 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.
- Aydin, 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.
- Bacon, C.R. ve Hirschmann, M.M., 1988. Mg/Mn Partitioning as a Test for Equilibrium Between Coexisting Fe-Ti Oxides, American Mineralogist, 73, 57-61.
- Bektaş, O. ve 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., 1984., Doğu Pontidler'de Üst Kretase Yaşlı Şoşonitik Volkanizma ve Jeotektonik Önemi, KÜ Dergisi, 3, 1-2, 53-62, Trabzon.
- Blundy, J.D. ve Holland, T.J.B., 1990. Calcic Amphibole Equilibria and A New Amphibole-Plagioclase Geothermometer. Contributions to Mineralogy and Petrology, 104, 208-24.
- Boztuğ, D., Erçin, A.İ., Kuruçelik, M.K., Göç, D., Kömür, İ. ve İskenderoğlu, A., 2006. Geochemical characteristics of the composite Kaçkar batholith generated in a Neo-Tethyan convergence system, Eastern Pontides, Turkey. Journal of Asian Earth Sciences, 27, 286-302.
- Boztuğ, D., Jonckheere, R.c., Wagner, G.A. ve 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.
- Çamur, M.Z., Güven, T.B. ve 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.
- Çoğulu, E., 1975. Gümüşhane ve Rize Bölgelerinde Petrografik ve Jeokronolojik Araştırmalar, İTÜ Kütüphanesi, 1034, İstanbul.
- Deer, W.A., Howie, R.A. ve Zussman, J., 1992. An introduction to the rock forming minerals: (2nd): London, Longman.
- Demir, Y., 2005. İstala ve Köstere (Zigana/Gümüşhane) Cu-Pb-Zn Madenleri ve Yan Kayaçlarının Mineralojisi ve Dokusal Özelliklerinin Karşılaştırılması İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Demir, Y., Uysal, İ., Sadıklar, M.B. ve Sipahi, F., 2008. Mineralogy, Mineral Chemistry, and Fluid Inclusion Investigation of Köstere Hydrothermal Vein-Type Deposit (Gümüşhane, NE-Turkey). Neues Jahrbuch für Mineralogie - Abhandlungen, 185, 2, 215-232.

- Dokuz, A. ve Tanyolcu, E., 2006. Gechemical 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., 2000. Yusufeli yöresinin jeolojisi, jeotektoniği, magmatik-metamorfik kayaların jeokimyası ve petrojenezi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- 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, Gondwana Research, 19, 926-944.
- Eğın, D., Hirst, D.M. ve 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.
- Eyüboğlu, Y., 2006. Doğu Pontid Magmatik Yayı'nda (KD Türkiye) Alaska-Tip Mafik- Ultramafiklerin Tanımı ve Jeotektonik Önemi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimler Enstitüsü, Trabzon.
- 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., Santosh, M., Dudas, F.O., Akaryalı, E., Chung, S.L., Akdağ, K. ve Bektaş, O., 2013. The Nature of Transition from Adakitic to non-Adakitic Magmatism in a Slab Window Setting: a Synthesis from the Eastern Pontides, Ne Turkey. Geoscience Frontiers, 4(4), 353-375.
- Fuhrman, M.L. ve Lindsley, D.H., 1988. Ternary feldspar modeling and thermometry: American Mineralogist, 73, 201-215.
- Gedik, A., Ercan, T., Korkmaz, S. ve Karataş, S., 1992. Rize-Fındıklı Çamlıhemşin arasında (Doğu Karadeniz) yer alan magmatik kayaların petrolojisi ve Doğu Pontidlerdeki bölgesel yayılımları, Türkiye Jeoloji Bülteni, 35, 15-38.
- Ghent, E.D., Nicholls, J., Siminy, P.S., Sevigny, J.H. ve Stout, M.Z., 1991. Hornblende Geobarometry of the Nelson Batholith, Southeastern British Columbia: Tectonic Implications. Canadian Journal of Earth Sciences, 28, 1982-1991.
- Giret, A., Bonin, B. ve Leger, J.-M., 1980. Amphibole compositional trends oversaturated and undersaturated alkaline plutonic ringcomplexes. Canadian Mineralogist, 18, 481-495.
- Göncüoğlu, M.C., 2010. Türkiye Jeolojisine Giriş: Alpin ve Alpin Öncesi Tektonik Birliklerin Jeodinamik Evrimi. MTA Gen. Müd. Monografi Serisi No: 5, 69 s., Ankara.
- Guilmette, C., Hebert, R., Dupuis, C., Wang, C. ve Li, Z., 2008. Metamorphic History and Geodynamic Significance of High-Grade Metabasites from the Ophiolitic Melange Beneath the Yarlung Zangbo Ophiolites, Xigaze Area, Tibet. Journal of Asian Earth Sciences, 32, 423-437.
- Gülmez, F. ve Genc, S.C., 2015. Amasya Civarı Geç Kretase Yaşlı Ultrapotasik Volkaniklerinde Farklılaşma Süreçleri. Maden Teknik Arama Dergisi, 151, 153-172.
- Güngör, Y., Boztuğ, D. ve Yılmaz, O., 1997. Kaçkar Batoliti Altıparmak Dağı-Soğanlı Dağı arası (GD Çamlıhemşin-Rize) kesiminin

- petrografik, jeokimyasal ve petrojenetik incelenmesi. Çukurova Üniversitesinde Jeoloji Mühendisliği Eğitiminin 20. Yılı Sempozyumu, 30 Nisan - 3 Mayıs 1997, Adana, Bildiri Özetleri, s. 223-224.
- Güven İ.H. 1993. Doğu Karadeniz Bölgesi'nin 1/25.000 ölçekli jeolojisi ve komplikasyonu, MTA (Ankara), (yayınlanmamış).
- Hammarstrom, J.M. ve Zen, E., 1986. Aluminum in Hornblende: An Empirical Igneous Geobarometer. American Mineralogist, 71, 1297-1313.
- Holland, T. ve Blundy, J., 1994. Non-ideal Interactions in Calcic Amphiboles and Their Bearing on Amphibole-Plagioclase Thermometry. Contributions to Mineralogy and Petrology, 116, 433-47.
- Hollister, L.S., Grisson, G.C., Peters, E.K., Stowel, H.H. ve Sisson, V. B., 1987. Confirmation of the empirical calibration of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons. American Mineralogist, 72, 231-239.
- Jica, 1986. The Republic of Turkey Report on the Cooperative Mineral Exploration of Gümüşhane Area, Consolidated Report. Japanese International Cooperation Agency, Metal Mining Agency of Japan.
- Johnson, M.C. ve Rutherford, M.J., 1989. Experimental Calibration of the Aluminum in Hornblende Geobarometer with Application to Long Valley Caldera (California) Volcanic Rocks. Geology, 17, 837-841.
- Kandemir, R. ve Yılmaz, C., 2009. □Lithostratigraphy, Facies and Deposition Environment of the Lower Jurassic Ammonitico Rosso Type Sediments (ARTS) in the Gumushane Area, NE Turkey: Implications for the Opening of the Northern Branch of the Neo-Tethys Ocean. Journal of Asian Earth Sciences, 34, 586-598.
- Karlı, O., Aydın, F. ve Sadıklar, 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, 64, 155-170.
- Karlı, O., Chen, B., Aydın, F. ve Şen, C., 2007. Geochemical and Sr–Nd–Pb isotopic compositions of the Eocene Dölek and Sariçiçek 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., Kandemir, R. ve Wijbrans, J.R., 2010. 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.
- Kaygusuz, A. ve Aydınçakır, E., 2009. Mineralogy, Whole-Rock and Sr–Nd isotope geochemistry of mafic microgranular enclaves in Cretaceous Dağbaşı Granitoids, Eastern Pontides, NE Turkey: Evidence of magma mixing, mingling and chemical equilibration. Chemie der Erde, 69, 247-277.
- Kaygusuz, A. ve 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 - Abhandlungen, 188, 3, 211-233.

- 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., 2000. Torul ve Çevresinde Yüzeyleyen Kayaçların Petrografik ve Jeokimyasal İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ, Fen. Bil. Enst., 235 Sayfa, Trabzon.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., İlbeyli, N., Sipahi, F. ve Aydınçakır, E., 2012b. Doğu Pontid Kuzey Zonunda yüzeyleyen Paleozoyik yaşlı granitlerin U-Pb zirkon yaşlandırması, Sr-Nd-Pb-O izotop sistematiği ve jeodinamik evrimi, (Tübitak Projesi) Proje No: 109Y052.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel, W. ve Şen, C., 2011a. Geochemical and Sr-Nd Isotopic Characteristics of Post-Collisional Calc-Alkaline Volcanics in the Eastern Pontides (NE Turkey). Turkish Journal of Earth Sciences, 20, 137-159.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Sipahi, F., ve 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, doi:10.1016/j.gr.2016.01.011.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Wolfgang, S., Sipahi, F. ve İlbeyli, N., 2012a. Geochronological evidence and tectonic significance of Carboniferous magmatism in the southwest Trabzon area, Eastern Pontides, Turkey. International Geology Review, 54 (15), 1776-1800.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Wolfgang, S. ve Şen, C., 2011. Geochemical and Sr Nd isotopic characteristics of post collisional calc alkaline volcanics in the Eastern Pontides NE Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences, 1, 20, 137-159.
- Kaygusuz, A., Siebel, W., İlbeyli, N., Arslan, M., Satır, M. ve Şen, C., 2010. Insight Into Magma Genesis at Convergent Plate Margins – A Case Study From the Eastern Pontides (NE Turkey). Neues Jahrbuch für Mineralogie - Abhandlungen, 187/3, 265-287.
- Kaygusuz, A., Sipahi, F., İlbeyli, N., Arslan, M., Chen, B., ve Aydınçakır, E., 2013. Petrogenesis of the Late Cretaceous Turnagöl intrusion in the Eastern Pontides: Implications for magma genesis in the arc setting. Geoscience Frontiers, 4; 423-438.
- Kaygusuz, A. ve Şahin, 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 (2), 473-486.
- Kaygusuz, A., Şen, C. ve Aslan, Z., 2006. Petrographic and petrological features of Torul (Gümüşhane) volcanites (NE Turkey); Evidences for fractional crystallisation and magma mixing/mingling. – Geological Bulletin of Turkey, 49: 49-82.
- Kazmin, V.G., Sbertshikov, I.M., Ricou, L.E., Zonenshain, L.P., Boulin, J. ve Knipper, A.I., 1986. Volcanic belts as marker of the Mesozoic-Cenozoic evolution of Tethys. Tectonophysics, 123, 123-152.
- 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. ve Keskin, İ., 1995. Stratigraphy of the Eastern Pontides, NE-Turkey. *Geology of the Black Sea Region*, MTA, Ankara, 59-69.
- Köprübaşı, N., Şen, C. ve Kaygusuz, A., 2000. Doğu Pontid ada yayı granitoidlerin karşılaştırılmalı petrografik ve kimyasal özellikleri. *Uygulamalı Yerbilimleri*, 1, 111-120.
- Laird, J. ve Albee, A.L., 1981. Pressure, Temperature and Time Indicators in Mafic Schist: Their Application to Reconstructing the Polymetamorphic History of Vermont. *American Journal of Science*, 281, 127-175.
- Le Bas, M.J., 1962. The role of aluminum in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage. *American Journal of Science*, 260, 267-288.
- Leake, B.E., 1971. On Aluminous and Edenitic Hornblendes. *Mineralogical Magazine*, 38, 389-407.
- Leake, B.E., Woolley, A.R., Birch, W.D., Burke, E.A.J., Ferraris, G., Grice, J.D., Hawthorne, F.C., Kisch, H.J., Krivovichev, V.G., Schumacher, J.C., Stephenson, N.C.N. ve Whittaker, E.J.W., 2004. Nomenclature of Amphiboles; Additions and Revisions to the International Mineralogical Association's Amphibole Nomenclature. *American Mineralogist*, 89, 883-887.
- Leake, E.B., Wooley, A.R., Arps, C.E.S., Birch, W.D., Gilbert, M.C., Grice, J.D., Hawthorne, F.C., Kato, A., Kisch, H.J., Krivovichev, V.G., Linthout, K., Laird, J., Mandarino, J., Maresch, W.V., Nickhel, E.H., Rock, N.M.S., Schumacher, J.C., Smith, D.C., Stephenson, N.C.N., Ungaretti, L., Whittaker, E.J.W. ve Youzhi, G., 1997. Nomenclature of Amphiboles Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names. *European Journal of Mineralogy*, 9, 623-651.
- Lermi, A., 2003. Midi (Karamustafa / Gümüşhane, KD Türkiye) Zn-Pb Yatağının Jeolojik, Mineralojik, Jeokimyasal ve Kökensele İncelemesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Letierrier, J., Maury, R.C., Thonon, P., Girard, D. ve Marchal, M., 1982. Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of Paleo-volcanic series. *Earth and Planetary Science Letters*, 59, 139-154.
- Maden, N. ve Akaryalı, E., 2015a. A review for genesis of continental arc magmas: U, Th, K and radiogenic heat production data from the Gümüşhane Pluton in the Eastern Pontides (NE Türkiye), *Tectonophysics* 664, 225–243.
- Maden, N. ve Akaryalı, E., 2015b. Gamma ray spectrometry for recognition of hydrothermal alteration zones related to a low sulfidation epithermal gold mineralization (Eastern Pontides, NE Türkiye), *Journal of Applied Geophysics* 122, 74-85.
- Molina, J., Scarrow, J., Montero, P.G. ve Bea, F., 2009. High-Ti amphibole as a petrogenetic indicator of magma chemistry: evidence for mildly alkalic-hybrid melts during evolution of Variscan basic–ultrabasic magmatism of Central Iberia. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 158, 69-98.
- Moore, G., Vennemann, T. ve Carmichael, I.S.E., 1998. An empirical model for the solubility of H₂O in magmas to 3 kilobars. *American Mineralogist*, 83, 36–42.

- Morimoto, N., Fabries, J., Ferguson, A.K., Ginzburg, I.V., Ross, M., Seifert, F.A., Zussman, J., Aoki, K. ve Gottardi, G., 1988. Nomenclature of Pyroxenes. American Mineralogist, 73, 1123–1133.
- Nachit, H., 1986. Contribution a letude analytique et experimental des biotite des granitoids Applications typologiques. PhD, University of Western Brittany, Brest, France (in French).
- Newman, S. ve Lowenstern, J.B., 2002. VolatileCalc: a silicate melt–H₂O–CO₂ solution model written in Visual Basic for excel. Computers and Geosciences, 28, 597–604.
- Okay, A.I. ve Şahintürk, Ö., 1997. Geology of the Eastern Pontides, In: Robinson, A.G. (Editor), Regional and petroleum geology of the Black Sea and surrounding region, AAPG Bulletin, 68, 291-311.
- 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, London, Special Publications, 17, 455-466.
- Okay, A.I., 2008. Geology of Turkey: A Synopsis. Anschnitt, 21, 19-42.
- Okay, A.I., Sunal, G., Tüysüz, O., Sherlock, S., Keskin, M. ve Kylander-Clark, A.R.C., 2014. Low-Pressure-High-Temperature Metamorphism During Extension in A Jurassic Magmatic Arc, Central Pontides, Turkey. Journal of Metamorphic Geology, 32, 49-69.
- Okay, A.İ. ve Tüysüz, O., 1999. Tethyan Sutures of Northern Turkey. The Mediterranean Basin: 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. ve Tekeli, O., 1980. Amasya-Turhal arasındaki bölgenin jeolojisi, MTA Rap. No: 6722.
- Özdoğan, K., 1992. Karadağ (Torul-Gümüşhane) ve yakın çevresinin jeolojisi-mineralojisi-petrografisi ve maden zuhurlarının jenetik incelenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniv. Fen Bil. Enstitüsü, Konya.
- Özsayar, T., Gedikoglu, A. ve Pelin, S., 1981. Artvin Yöresi Yastık-Lavların Yaşına İlişkin Paleontolojik Veriler, KTÜ.,Yerbilimleri Dergisi, 1, 1, 38-42.
- Pelin, S. 1977. Alucra (Giresun) Güneydogu yöresinin petrol olanakları bakımından jeolojik incelenmesi, K.TÜ. Yayınları, 87, 103s, Trabzon.
- Ridolfi, F., Puerini, M., Renzulli, A., Menna, M. ve Toulkeridis, T., 2008. The magmatic feeding system of El Reventador volcano (Sub-Andean zone, Ecuador) constrained by texture, mineralogy and thermobarometry of the 2002 erupted products. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 176, 94–106.
- Ridolfi, F., Renzulli, A. ve Puerini, M., 2010. Stability and chemical equilibrium of amphibole in calc-alkaline magmas: an overview, new thermobarometric formulations and application to subduction-related volcanoes. Contributions to Mineralogy and Petrology, 160, 45–66.
- Robinson, A.G., Banks, C.J., Rutherford, M.M. ve Hirst, J.P., 1995. Stratigraphic and structural development of the Eastern Pontides, Turkey, Journal of Geological Society of London, 152, 861-872.

- Rojay, B., 1993. Tectonostratigraphy and neotectonic characteristics of the southern margin of Merzifon-Suluova Basin (Central Pontides, Amasya), Phd Thesis, Middle East Technical University, Ankara.
- Schmidt, M.W. 1993. Phase relations and compositions in tonalite as a function of pressure: an experimental study at 650 °C. American Journal of Science, 293, 1011-60.
- Schmidt, M.W., 1992. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer. Contributions to Mineralogy and Petrology, 110, 304-10.
- Sial, A.N., Ferreira, V.P., Fallick, A.E., Jeronimo, M. ve Cruz, M., 1998. Amphibole rich clots in calc-alkalic granitoids in the Borborema province northeastern Brazil. Journal of South American Earth Sciences, 11, 457-471.
- Sipahi, F., 2005. Zigana Dağı (Torul-Gümüşhane) volkanitlerindeki hidrotermal ayrışmaların mineraloji ve jeokimyası, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon.
- Sipahi, F., ve Sadıklar, M. B., 2014. Geochemistry of Dacitic Volcanics in the Eastern Pontide (NE Turkey). Geochemistry International, 52, 4, 329-349.
- Sipahi, F., 2011. Formation of Skarns at Gümüşhane (Northeastern Turkey). Neues Jahrbuch für Mineralogie - Abhandlungen, 188, 2, 169-190.
- Şahin, K. ve Kaygusuz, A., 2016. Mescitli (Torul/Gümüşhane) ve Çevresindeki Eosen Yaşlı Volkanik Kayaçların Petrografik, Jeokimyasal ve Petrolojik Özellikleri. Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6 (2), 89-116.
- Şahin, S. Y., Güngör, Y. ve Boztuğ, D., 2004. Comparative petrogenetic investigation of Composite Kaçar Batholith granitoids in Eastern Pontide magmatic arc, Northern Turkey. Earth, Planets and Space, 56, 429-446.
- 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., 1990. Gümüşhane-Bayburt yörelerindeki Üst Jura-Alt Kretase yaşlı karbonat istiflerinin stratigrafisi ve mikropaleontolojik incelemesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Temizel İ., Arslan M., Yücel C., Abdioğlu Yazar E. ve 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.
- Tokel, S., 1972. Stratigraphical and volcanic history of the Gümüşhane region (Ne Turkey), PhD. Thesis, University Colloge, London.
- Tokel, S., 1977. Doğu Karadeniz Bölgesi'nde Eosen yaşlı kalk-alkalen andezitler ve jeotektonizma. TJK Bülteni, 20,1, 49-54.
- Topuz, G. ve Altherr, R., 2004. Pervasive rehydration of granulites during exhumation-an example from the Pulur complex, Eastern Pontides, Turkey. Mineralogy and Petrology, 81, 165-185.

- Topuz, G. Altherr, R. Kalt, A. Satır, M. Wemer, O. ve Schwarz, W.H. 2004a. Aluminous granulites from the Pular complex, NE Turkey: a case of partial melting, efficient melt extraction and crystallization, Lithos, 72, 183-207.
- Topuz, G., Altherr, R., Satır, M. ve Schwarz, W.H., 2004b. Low-grade metamorphic rocks from the Pular complex, NE Turkey: implications for pre-Liassic evolution of the Eastern Pontides, International Journal of Earth Sciences, 93, 72-91.
- Topuz, G. Altherr, R. Schwarz, W.H. Dokuz, A. ve Meyer, H.P. 2007. Variscan amphibolite-facies rocks from the Kurtoğlu metamorphic complex. Gümüşhane area, Eastern Pontides, Turkey, International Journal of Earth Sciences, 96, 861-873.
- Topuz, G. Altherr, R. Wolfgang, S. Schwarz, W.H. Zack, T. Hasanözbek, A. Mathias, B. Satır, M. ve Şen, C.2010. Carboniferous high-potassium I-type granitoid magmatism in the Eastern Pontides: The Gümüşhane pluton (NE Turkey), Lithos, 116, 92-110.
- Tüysüz, N. ve Akçay, M., 2000. Doğu Karadeniz Bölgesindeki Altın Yataklarının Karşılaştırmalı İncelemesi, Cumhuriyetin 75. Yılı Yer Bilimleri ve Madencilik Kongresi, Ekim MTA, Ankara, Bildiriler Kitabı: 625-645.
- Tüysüz, N., 1995. Lahanos (Espiyeye-Giresun) Masif Sülfür Yatağına Ait Cevher Mineralleri ve Dokularının Cevher Oluşumu Açısından İncelenmesi. Geosound, 26, 79-92.
- Tüysüz, N., Özdoğan, K., Er, M., Yılmaz, Z. ve Ağanoğlu, A., 1994. Pontid Adayayında Carlin Tipi Kaletaş (Gümüşhane) Altın Zuhuru. Türkiye Jeoloji Bülteni, 37, 41-46.
- Tüysüz, O., 1996. Amasya ve çevresinin jeolojisi, Türkiye 11. Petrol Kongresi Bildirileri, 32-48.
- Ustaömer, T. ve Robertson, H.F.A, 2010. Late Paleozoic-Early Cenozoic development of the Eastern Pontides (Artvin area), Turkey: stages of closure of Tethys along the southern margin of Eurasia, Geological Society, London, Special Publications, 340, 281-327.
- Wones, D.R., 1989. Significance of the assemblage titanite + magnetite + quartz in granitic rocks. American Mineralogist, 74, 744-749.
- Yılmaz, C., 2002. Gümüşhane-Bayburt yöresindeki mesozoyik havzalarının tektono-sedimentolojik kayıtları ve kontrol etkenleri, Türkiye Jeoloji Bülteni, 45, 1, 141-165.
- Yılmaz, S. ve Boztaş, D., 1996. Space and time relations of three plutonic phases in the Eastern Pontides, Turkey, International Geology Review, 38, 935-956.
- Yılmaz, Y., 1976. Geochemical study of the Gümüşhane Granite, İst. Üniv. Fen. Fak. Mec. Seri B, 39, 3-4, 173-203.
- Yılmaz, Y., Tuysuz, O., Yiğitbaş, E., Genc, Ş.C. ve Şengör, A.M.C., 1997. Geology and tectonics of the Pontides. In:Robinson, A.G.(ed), Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region. AAPG Memoirs 68, 183-226.
- Yücel, C., Arslan, M., Temizel, İ. ve Abdioğlu, E., 2014. Volcanic facies and mineral chemistry of Tertiary alkaline volcanics in the northern zone of the Eastern Pontides, northeast Turkey: Implications for pre-eruptive crystallization conditions and magma chamber processes. Mineralogy and Petrology, 108, 3, 439-467.

Ek 1. Altınpınar hornblendli andezitlerine ait amfibol minerallerinin mikroprob analiz sonuçları ve yapılan hesaplamalar.

Mineral	Amfibol																
Örnek No	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z13	Z13				
Analiz No	Z11-01	Z11-02	Z11-03	Z11-04	Z11-05	Z11-06	Z11-07	Z11-08	Z11-09	Z11-10	Z11-11	Z11-12	Z11-13	Z11-14	Z13-04	Z13-18	Z13-19
Profil	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez	kenar	
SiO ₂	47.22	47.85	47.82	47.41	47.88	47.43	48.36	47.19	47.75	47.40	47.85	49.43	47.99	49.98	45.59	48.27	45.19
TiO ₂	1.02	0.99	0.93	1.09	1.09	1.01	0.95	1.03	1.01	0.99	1.07	0.96	0.90	1.02	1.89	1.44	1.30
Al ₂ O ₃	8.59	8.49	8.00	7.99	8.08	8.39	7.86	8.39	7.89	8.15	7.80	6.68	8.08	7.09	8.88	6.75	8.10
FeO	13.31	13.35	13.21	13.90	13.50	13.02	13.08	13.59	13.36	13.37	13.21	11.78	13.24	12.72	11.80	13.40	15.27
MnO	0.51	0.48	0.51	0.54	0.52	0.50	0.48	0.50	0.48	0.49	0.52	0.55	0.49	0.53	0.38	0.56	0.54
MgO	14.48	14.56	14.74	14.23	14.48	14.68	15.01	14.33	14.62	14.43	14.88	15.97	14.70	15.73	14.86	14.27	12.42
CaO	11.15	11.10	11.10	11.10	11.01	11.38	10.78	11.09	11.24	11.09	11.06	11.07	11.05	11.19	11.31	11.41	11.29
Na ₂ O	1.28	1.18	1.18	1.15	1.17	1.17	1.19	1.19	1.15	1.19	1.18	1.04	1.21	1.04	1.67	1.09	1.19
K ₂ O	0.37	0.43	0.34	0.40	0.41	0.48	0.31	0.44	0.43	0.46	0.37	0.30	0.32	0.32	0.38	0.38	0.38
F	0.11	0.20	0.12	0.15	0.10	0.08	0.11	0.04	0.07	0.16	0.13	0.12	0.20	0.13	DLA	DLA	DLA
Cl	0.04	0.05	0.04	0.04	0.05	0.05	0.03	0.05	0.04	0.05	0.04	0.03	0.04	0.03	DLA	DLA	DLA
H ₂ O	1.99	1.96	1.99	1.96	2.00	2.01	2.01	2.02	2.01	1.96	1.99	2.01	1.95	2.03	1.99	1.99	1.99
Toplam	100.00	100.53	99.92	99.89	100.24	100.16	100.09	99.84	100.01	99.67	100.02	99.87	100.08	101.74	98.69	99.50	97.61
Si	6.73	6.77	6.80	6.78	6.80	6.76	6.83	6.74	6.81	6.78	6.80	6.97	6.81	6.94	6.60	6.95	6.72
Al ^{IV}	1.27	1.23	1.20	1.22	1.20	1.24	1.17	1.26	1.19	1.22	1.20	1.03	1.19	1.06	1.40	1.05	1.28
Al ^{VI}	0.17	0.19	0.14	0.12	0.15	0.16	0.14	0.15	0.13	0.16	0.10	0.08	0.16	0.10	0.11	0.10	0.14
Ti	0.11	0.11	0.10	0.12	0.12	0.11	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.11	0.21	0.16	0.15
Fe ⁺³	1.06	1.07	1.09	1.07	1.07	0.98	1.19	1.08	1.01	1.03	1.11	1.05	1.08	1.08	0.83	0.74	0.84
Fe ⁺²	0.52	0.51	0.48	0.59	0.53	0.57	0.36	0.54	0.58	0.57	0.46	0.34	0.49	0.39	0.60	0.87	1.05
Mn	0.06	0.06	0.06	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.06	0.06	0.05	0.07	0.07
Mg	3.07	3.07	3.13	3.03	3.07	3.12	3.16	3.05	3.11	3.08	3.15	3.36	3.11	3.26	3.21	3.06	2.75
Ca	1.70	1.68	1.69	1.70	1.68	1.74	1.63	1.70	1.72	1.70	1.68	1.67	1.68	1.66	1.75	1.76	1.80
Na	0.35	0.32	0.33	0.32	0.32	0.32	0.33	0.33	0.32	0.33	0.32	0.28	0.33	0.28	0.47	0.30	0.34
K	0.07	0.08	0.06	0.07	0.07	0.09	0.06	0.08	0.08	0.08	0.07	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07
Toplam	15.12	15.08	15.08	15.09	15.07	15.15	15.01	15.11	15.11	15.11	15.08	15.01	15.07	15.00	15.29	15.13	15.21
OH*	1.94	1.90	1.94	1.92	1.94	1.95	1.94	1.97	1.96	1.92	1.93	1.94	1.90	1.94	2.00	2.00	2.00
Mg#	0.85	0.86	0.87	0.84	0.85	0.85	0.90	0.85	0.84	0.84	0.87	0.91	0.86	0.89	0.84	0.78	0.72

Not: Ana oksit değerleri % ağırlık cinsindedir. Yapısal formüller 23 oksijene göre hesaplanmıştır. Mg# = Mg/(Mg+Fe⁺³). DLA: Dedeksiyon Limiti Altında

Ek 2. Altınpınar hornblendli andezitlerine ait plajiyoklas minerallerinin mikroprob analiz sonuçları ve yapılan hesaplamalar.

Mineral	Plajiyoklas															
	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11		
Örnek No	Z11-21	Z11-22	Z11-23	Z11-24	Z11-25	Z11-26	Z11-27	Z11-28	Z11-29	Z11-32	Z11-33	Z11-35	Z11-36	Z11-37	Z11-38	Z11-39
Analiz No	kenardan - merkeze															
Profil	kenardan - kenara															
SiO ₂	58.18	56.77	56.25	55.52	55.92	56.19	56.05	56.12	56.42	52.30	54.79	55.10	56.04	54.59	55.45	57.46
Al ₂ O ₃	26.28	27.17	27.58	27.87	27.75	27.69	27.77	27.61	27.43	30.10	28.38	28.22	27.88	28.74	28.02	26.44
FeO*	0.32	0.25	0.33	0.31	0.24	0.20	0.19	0.22	0.19	0.36	0.29	0.30	0.21	0.21	0.20	0.21
CaO	8.27	9.00	9.38	9.98	9.71	9.58	9.62	9.60	9.44	12.54	10.39	10.27	9.76	10.72	10.13	8.37
Na ₂ O	6.06	5.99	5.63	5.53	5.62	5.74	5.74	5.76	5.86	4.37	5.33	5.26	5.57	5.09	5.39	6.37
K ₂ O	0.90	0.35	0.30	0.33	0.32	0.36	0.33	0.34	0.36	0.32	0.27	0.30	0.29	0.23	0.30	0.40
SrO	0.08	0.15	0.16	0.13	0.14	0.18	0.17	0.15	0.14	0.14	0.15	0.16	0.13	0.19	0.18	0.13
BaO	0.03	0.05	0.01	0.06	0.01	0.04	0.06	0.03	0.07	0.02	DLA	0.03	0.06	0.04	0.02	0.08
Toplam	100.13	99.72	99.64	99.73	99.71	99.96	99.93	99.84	99.91	100.14	99.60	99.65	99.94	99.81	99.67	99.47
Si	2.61	2.56	2.54	2.51	2.53	2.53	2.53	2.53	2.54	2.38	2.48	2.50	2.52	2.47	2.51	2.59
Al	1.39	1.44	1.47	1.49	1.48	1.47	1.48	1.47	1.46	1.61	1.52	1.51	1.48	1.53	1.49	1.41
Ca	0.40	0.43	0.45	0.48	0.47	0.46	0.46	0.46	0.46	0.61	0.50	0.50	0.47	0.52	0.49	0.40
Na	0.53	0.52	0.49	0.49	0.49	0.50	0.50	0.50	0.51	0.39	0.47	0.46	0.49	0.45	0.47	0.56
K	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02
Toplam	4.99	4.99	4.98	5.00	4.99	4.99	5.00	5.00	5.00	5.02	5.00	4.99	4.99	4.99	4.99	4.99
Or	5.28	2.06	1.79	1.93	1.88	2.10	1.93	1.98	2.09	1.83	1.58	1.77	1.71	1.36	1.76	2.34
Ab	54.00	53.51	51.13	49.10	50.20	50.93	50.92	51.02	51.80	37.97	47.38	47.25	49.94	45.59	48.19	56.58
An	40.72	44.43	47.08	48.97	47.92	46.97	47.16	46.99	46.11	60.20	51.04	50.98	48.35	53.06	50.05	41.08

Not: Ana oksit değerleri % ağırlık cinsindedir. Yapısal formüller 8 oksijene göre hesaplanmıştır. An, Ab ve Or: sırasıyla Anortit, Albit ve Ortoklas yüzdeleri. Fe⁺² toplam Fe olarak alınmıştır. DLA: Dedeksiyon Limiti Altında

Ek 2. devamı

Mineral		Plajiyoklas																
Örnek No	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11					
Analiz No	Z11-40	Z11-41	Z11-42	Z11-43	Z11-44	Z11-45	Z11-46	Z11-48	Z11-49	Z11-50	Z11-52	Z11-53	Z11-54					
Profil	kenardan - kenara			merkez			kenar			merkezden - kenara			merkez			kenar		
SiO ₂	56.61	55.27	56.16	54.68	54.68	55.47	56.64	58.21	52.70	56.61	55.66	55.48	55.99	55.89	55.65	55.03	56.24	
Al ₂ O ₃	27.31	28.29	27.53	29.61	29.61	28.14	27.32	26.57	29.86	27.43	28.44	28.05	27.96	27.79	27.89	28.43	27.73	
FeO*	0.25	0.21	0.22	0.29	0.29	0.20	0.21	0.28	0.28	0.25	0.22	0.24	0.22	0.23	0.27	0.35	0.25	
CaO	9.31	10.21	9.45	11.22	11.22	10.12	9.21	8.19	12.14	9.36	10.22	10.03	9.89	9.71	10.07	10.38	9.76	
Na ₂ O	5.98	5.40	5.77	4.98	4.98	5.42	5.95	6.40	4.22	5.89	5.54	5.53	5.61	5.72	5.52	5.36	5.78	
K ₂ O	0.33	0.29	0.30	0.25	0.25	0.26	0.45	0.60	0.23	0.35	0.28	0.34	0.36	0.31	0.36	0.30	0.30	
SrO	0.17	0.16	0.13	0.17	0.17	0.14	0.16	0.21	0.13	0.19	0.12	0.15	0.13	0.21	0.20	0.19	0.15	
BaO	DLA	0.04	0.07	0.07	0.07	0.04	0.02	0.11	DLA	0.06	0.06	0.05	0.04	DLA	DLA	0.03	0.02	
Toplam	99.96	99.86	99.62	101.26	101.26	99.81	99.98	100.56	99.57	100.12	100.54	99.87	100.20	99.86	99.96	100.05	100.22	
Si	2.55	2.50	2.54	2.44	2.44	2.51	2.55	2.60	2.40	2.55	2.50	2.51	2.52	2.52	2.51	2.49	2.53	
Al	1.45	1.51	1.47	1.56	1.56	1.50	1.45	1.40	1.60	1.45	1.50	1.49	1.48	1.48	1.48	1.51	1.47	
Ca	0.45	0.49	0.46	0.54	0.54	0.49	0.44	0.39	0.59	0.45	0.49	0.49	0.48	0.47	0.49	0.50	0.47	
Na	0.52	0.47	0.51	0.43	0.43	0.47	0.52	0.55	0.37	0.51	0.48	0.48	0.49	0.50	0.48	0.47	0.50	
K	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	
Toplam	5.00	5.00	4.99	5.00	5.00	4.99	5.00	4.99	4.99	4.99	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	
Or	1.91	1.70	1.76	1.45	1.45	1.53	2.61	3.49	1.37	2.04	1.62	1.98	2.09	1.81	2.09	1.75	1.74	
Ab	52.73	48.07	51.57	43.90	43.90	48.46	52.49	56.53	38.09	52.16	48.72	48.95	49.59	50.67	48.76	47.46	50.83	
An	45.36	50.23	46.67	54.65	54.65	50.01	44.90	39.98	60.55	45.80	49.66	49.07	48.31	47.53	49.15	50.79	47.43	

Not: Ana oksit değerleri % ağırlık cinsindedir. Yapısal formüller 8 oksijene göre hesaplanmıştır. An, Ab ve Or: sırasıyla Anortit, Albit ve Ortoklas yüzdeleri. Fe²⁺ toplam Fe olarak alınmıştır. DLA: Dedeksiyon Limiti Altında.

Ek 2. devamı

Mineral		Plajiyoklas												
Örnek No	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z13	Z13	
Analiz No	Z11-61	Z11-62	Z11-63	Z11-64	Z11-65	Z11-68	Z11-68	Z11-68	Z11-68	Z11-68	Z11-68	Z13-08	Z13-36	Z13-41
Profil	kenar	kenar	kenar	kenar	merkez	kenar	kenar	merkez	kenar	kenar	kenar	kenar	kenar	merkez
SiO ₂	56.51	56.04	56.65	56.77	56.78	55.73	55.73	56.78	55.73	55.73	55.73	53.51	55.45	55.61
Al ₂ O ₃	27.42	27.87	27.79	27.43	27.40	28.74	28.74	27.40	28.74	28.74	28.74	28.55	27.65	27.33
FeO*	0.21	0.25	0.24	0.26	0.24	0.36	0.36	0.24	0.36	0.36	0.36	0.41	0.43	0.48
CaO	9.15	9.85	9.48	9.20	9.29	9.91	9.91	9.29	9.91	9.91	9.91	10.73	9.81	9.58
Na ₂ O	5.87	5.74	5.92	6.05	6.01	5.52	5.52	6.01	5.52	5.52	5.52	4.72	5.19	5.40
K ₂ O	0.44	0.32	0.30	0.33	0.39	0.34	0.34	0.39	0.34	0.34	0.34	0.39	0.70	0.71
SrO	0.18	0.16	0.22	0.18	0.17	0.19	0.19	0.17	0.19	0.19	0.19	0.21	0.19	0.13
BaO	0.02	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08	0.06	0.06
Toplam	99.81	100.27	100.63	100.24	100.31	100.81	100.81	100.31	100.81	100.81	100.81	98.59	99.47	99.30
Si	2.55	2.52	2.54	2.55	2.55	2.49	2.49	2.55	2.49	2.49	2.49	2.46	2.52	2.53
Al	1.46	1.48	1.47	1.45	1.45	1.52	1.52	1.45	1.52	1.52	1.52	1.55	1.48	1.46
Ca	0.44	0.47	0.45	0.44	0.45	0.48	0.48	0.45	0.48	0.48	0.48	0.53	0.48	0.47
Na	0.51	0.50	0.51	0.53	0.52	0.48	0.48	0.52	0.48	0.48	0.48	0.42	0.46	0.48
K	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04
Toplam	4.99	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.99	4.99	5.00
Or	2.58	1.85	1.74	1.91	2.25	1.99	1.99	2.25	1.99	1.99	1.99	2.35	4.16	4.18
Ab	52.34	50.38	52.13	53.30	52.72	49.20	49.20	52.72	49.20	49.20	49.20	43.28	46.88	48.38
An	45.08	47.77	46.13	44.79	45.03	48.81	48.81	45.03	48.81	48.81	48.81	54.37	48.96	47.43

Not: Ana oksit değerleri % ağırlık cinsindedir. Yapısal formüller 8 oksijene göre hesaplanmıştır. An, Ab ve Or: sırasıyla Anortit, Albit ve Ortoklas yüzdeleri. Fe⁺² toplam Fe olarak alınmıştır.

Ek 3. Altınpınar hornblendli andezitlerine ait klinopiroksen minerallerinin mikroprob analiz sonuçları ve yapılan hesaplamalar.

Mineral		Klinopiroksen											
Örnek No	Z13	Z13	Z13	Z13	Z13	Z13	Z13	Z13	Z13	Z13	Z13	Z13	Z13
Analiz No	Z13-03	Z13-05	Z13-06	Z13-14	Z13-15	Z13-16	Z13-17	Z13-20	Z13-21	Z13-14	Z13-15	Z13-16	Z13-17
Profil (m-k)	merkez	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez	kenar
SiO ₂	52.70	52.24	52.04	52.45	52.23	52.49	52.34	52.12	52.43	52.45	52.23	52.49	52.34
TiO ₂	0.31	0.33	0.34	0.33	0.27	0.36	0.30	0.40	0.39	0.33	0.27	0.36	0.30
Al ₂ O ₃	1.20	1.62	1.42	1.80	1.39	1.60	1.41	1.67	1.80	1.80	1.39	1.60	1.41
Cr ₂ O ₃	DLA	0.01	DLA	0.02	DLA	DLA	0.01	0.04	DLA	DLA	DLA	DLA	0.01
FeO*	8.11	8.61	8.64	8.59	8.51	8.57	8.16	8.33	8.39	8.64	8.51	8.57	8.16
MnO	0.55	0.43	0.41	0.43	0.42	0.42	0.44	0.41	0.43	0.43	0.42	0.42	0.44
MgO	14.94	14.80	14.63	15.16	14.70	14.89	14.84	14.79	14.78	14.80	14.70	14.89	14.84
CaO	21.42	21.29	21.15	20.97	21.15	21.26	21.38	21.30	21.40	21.42	21.15	21.26	21.38
Na ₂ O	0.33	0.36	0.34	0.36	0.34	0.32	0.31	0.34	0.34	0.33	0.34	0.32	0.31
Toplam	99.55	99.68	98.96	100.10	99.02	99.91	99.18	99.39	99.97	99.55	99.02	99.91	99.18
Si	1.96	1.94	1.95	1.94	1.96	1.95	1.96	1.94	1.94	1.96	1.96	1.95	1.96
Al	0.05	0.07	0.06	0.08	0.06	0.07	0.06	0.07	0.08	0.06	0.06	0.07	0.06
Ti	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Fe ⁺²	0.22	0.22	0.23	0.22	0.23	0.23	0.22	0.22	0.23	0.22	0.23	0.23	0.22
Fe ⁺³	0.03	0.05	0.04	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03
Mn	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mg	0.83	0.82	0.82	0.84	0.82	0.82	0.83	0.82	0.82	0.83	0.82	0.82	0.83
Ca	0.85	0.85	0.85	0.83	0.85	0.85	0.86	0.85	0.85	0.86	0.85	0.85	0.86
Na	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Toplam	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Mg#	0.79	0.79	0.78	0.79	0.78	0.78	0.79	0.79	0.78	0.79	0.78	0.78	0.79
Wo	0.45	0.45	0.45	0.44	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
En	0.44	0.43	0.43	0.44	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
Fs	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12

Not: Ana oksit değerleri % ağırlık cinsindedir. Fe⁺² toplam Fe olarak alınmıştır. Mg# = Mg/(Mg+Fe⁺²). Yapısal formüller 6 oksijene göre hesaplanmıştır. DLA: Dedeksiyon Limiti Altında

Ek 4. Altınpınar hornblendli andezitlerine ait Fe-Ti oksit minerallerinin mikroprob analiz sonuçları ve yapılan hesaplamalar.

Mineral		Fe-Ti oksit																									
Örnek No	Z9	Z9	Z9	Z9	Z9	Z9	Z9	Z9	Z9	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z13	Z13	Z13	Z13	Z13	Z13	Z13	Z13		
Analiz No	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez	merkez	merkez	merkez	merkez	merkez	merkez	merkez	merkez	merkez	merkez	merkez	merkez	merkez	merkez	merkez	merkez	merkez	
SiO ₂	1.69	2.42	2.48	2.44	1.41	0.89	0.06	0.07	0.06	0.24	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.11	0.22	0.10	0.24	0.11	0.24	0.10	0.24	0.11	
TiO ₂	1.24	3.11	0.52	0.50	0.63	1.93	4.82	4.33	4.58	4.87	4.39	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	6.17	6.02	8.45	6.73	6.73	8.45	6.73	6.73	6.25	
Al ₂ O ₃	0.57	2.29	0.71	0.67	0.41	0.67	1.52	1.50	1.60	1.30	1.46	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	2.13	1.90	2.42	2.43	2.43	2.42	2.43	2.43	2.22	
Cr ₂ O ₃	0.05	0.10	DLA	0.01	DLA	0.11	0.10	0.09	0.11	0.09	0.11	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.03	0.05	0.06	0.13	0.13	0.06	0.13	0.06	0.07	
FeO*	84.74	80.45	84.56	84.62	86.06	85.03	85.02	86.11	86.15	85.10	85.55	86.11	86.11	86.11	86.11	86.11	86.11	82.55	82.37	79.44	81.18	81.18	79.44	81.18	81.18	82.50	
MnO	0.36	0.33	0.15	0.12	0.21	0.20	1.09	0.89	1.02	1.10	1.05	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.86	0.87	1.36	1.22	1.22	1.36	1.22	1.22	1.39	
MgO	0.07	0.07	0.05	0.03	0.04	0.04	DLA	0.04	0.11	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.47	0.21	0.43	0.45	0.45	0.43	0.45	0.45	0.26	
CaO	0.20	1.46	0.21	0.27	0.12	0.15	0.01	0.01	0.02	0.11	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.11	0.06	0.18	0.18	0.06	0.18	0.06	0.05	
Toplam	88.91	90.23	88.68	88.66	88.89	89.03	92.62	93.04	93.65	92.84	92.66	93.04	93.04	93.65	92.84	92.66	92.38	91.79	92.34	92.58	92.58	92.58	92.34	92.58	92.58	92.92	
Si	0.54	0.54	0.80	0.78	0.45	0.29	0.02	0.02	0.02	0.07	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.03	0.07	0.03	0.03	0.07	0.07	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Ti	0.30	0.73	0.13	0.12	0.15	0.47	1.12	1.00	1.05	1.13	1.02	1.00	1.00	1.05	1.13	1.02	1.43	1.41	1.96	1.56	1.56	1.56	1.96	1.56	1.56	1.44	
Al	0.22	0.84	0.27	0.25	0.16	0.25	0.55	0.54	0.58	0.47	0.53	0.54	0.54	0.58	0.47	0.53	0.77	0.70	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.80	
Cr	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.02	
Fe ⁺³	14.09	12.16	13.89	13.94	14.63	14.21	13.14	13.39	13.26	13.10	13.38	13.39	13.39	13.26	13.10	13.38	12.29	12.33	11.11	11.11	11.83	11.83	11.11	11.83	11.11	12.22	
Fe ⁺²	8.64	8.88	8.78	8.76	8.49	8.63	8.85	8.77	8.75	8.87	8.74	8.77	8.77	8.75	8.87	8.74	9.02	9.11	9.42	9.05	9.05	9.05	9.42	9.05	9.05	8.98	
Mn	0.10	0.09	0.04	0.03	0.06	0.05	0.29	0.23	0.26	0.29	0.27	0.23	0.23	0.26	0.29	0.27	0.22	0.23	0.36	0.32	0.32	0.32	0.36	0.32	0.32	0.36	
Mg	0.03	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02	0.00	0.02	0.05	0.01	0.01	0.02	0.02	0.05	0.01	0.01	0.22	0.10	0.20	0.21	0.21	0.21	0.20	0.21	0.21	0.12	
Ca	0.07	0.49	0.07	0.09	0.04	0.05	0.00	0.00	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.01	0.04	0.01	0.01	0.04	0.02	0.02	0.06	0.06	0.02	0.02	0.06	0.02	
Toplam	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	

Not: Ana oksit değerleri % ağırlık cinsindedir. Yapısal formüller 32 oksijene göre hesaplanmıştır. DLA: Dedeksiyon Limiti Altında