

Güneydere (Bayburt) civarında yüzeylenen Karbonifer yaşlı granitlerin jeokimyasal ve petrolojik karakteristikleri

Geochemical and petrological features of Carboniferous granites from the Güneydere (Bayburt) area

Mehmet Ali GÜCER^{1*} , Zeynep DELİMEHMET² , Okay ÇİMEN³ 

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

malignucer@gmail.com

²Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane, Türkiye.

6zeynep1@gmail.com

³Coğrafya Bölümü, Edebiyat Fakültesi, Munzur Üniversitesi, Tunceli, Türkiye.

okaycimen@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 02.09.2023

Düzeltilme Tarihi/Revision: 15.01.2024

doi: 10.5505/pajes.2024.99602

Kabul Tarihi/Accepted: 13.02.2024

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Orta-Geç Karbonifer yaşlı granitik kayalar Doğu Sakarya Zonu'nun Doğu Pontid orojenik kuşağında geniş alanlarda dağılım sergilemektedir. Bu tektonik kuşak, geniş yaş ve bileşim aralığında magmatik kayaları içermesi bakımından da Anadolu levhasının önemli bir parçası konumundadır. Bu çalışma, Bayburt'un (KD Türkiye) Güneydere ve yakın civarında yüzeyleme veren Karbonifer yaşlı granitik kayalarda yeni petrokimyasal-petrolojik veriler sunmaktadır. Yaklaşık 5 km bir alanda yüzeyleme veren granitler, çalışma alanında Jura öncesi temel birimleri temsil etmektedir. Bununla birlikte, Erken-Orta Jura yaşlı volkano-klastik ve volkanik birimler ve Geç Jura-Erken Kretase yaşlı kireçtaşları tarafından uyumsuz olarak üzerlenmektedir. Birim başlıca granit, granit porfir ve aplit, daha az oranda ise granodiyorit ve kuvarslı monzonit türü kayalardan meydana gelmektedir. Kayalar yüksek SiO₂ içeriklerine (%60.43-75.51) ve yüksek K'lü kalk-alkaliden şononitiğe kadar uzanan bir bileşime sahip olup I-tipi bir kayaktan itibaren türemiştir. Granitik kayalar matalümin-peralümin karakterli olup çarpışma sonrası volkanik yay granitoidleri ile benzerlik göstermektedir. Tüm-kayaç ana ve iz element trendleri, kayaların oluşumunda plajiyoklaz, hornblend, biyotit, apatit ve Fe-Ti oksit mineral fraksiyonlaşmasının önemli rol oynadığını göstermektedir. Kayaların gelişiminde başlıca fraksiyonel kristallenme, az oranda ise asimilasyon ± magma karışımının rol oynadığı ortaya konmuştur. Ayrıca, tüm-kayaç zirkon değerlerinden itibaren hesaplanan doymuluk sıcaklıkları düşük ilksel magma sıcaklıklarını yansıtmaktadır. Elde edilen sonuçlar incelenen granitlerin ana magmasının alt/orta kıtasal kabuk kayalarının kısmi ergime sonucu türeyerek ve kıtasal magma odasında farklılaşarak yerleştiğini işaret etmektedir.

Anahtar kelimeler: Doğu Karadeniz, Güneydere, Petrokimya, Karbonifer granitleri, Türkiye.

Abstract

Middle-Late Carboniferous granitic rocks are widely observed in larger outcrops in the Eastern Pontide orogenic belt of the Eastern Sakarya Zone. This tectonic belt is an important part of the Anatolian plate in terms of containing igneous rocks with a wide age and composition range. This study presents new petrochemical-petrological data on Carboniferous granites in the Güneydere and surrounding area of Bayburt (NE Turkey). The granitic rocks, which include an area of approximately 5 km, represent the pre-Jurassic basement in the study area. Besides, they are unconformably overlain by Early - Middle Jurassic volcano-clastics units and Late Jurassic - Early Cretaceous limestones. They mainly consist of granite, granite porphyry and aplite, to a lesser extent granodiorite and quartz monzonite. Rocks have high SiO₂ contents (60.43-75.51%) and high K calc-alkali to shoshonitic affinities and have been derived from an I-type source. The granitic rocks are metalumina-peraluminous in character and are similar to post-collisional volcanic arc granitoids. Whole-rocks major and trace element trends show that plagioclase, hornblende, biotite, apatite, and Fe-Ti oxide mineral fractionations play an important role in the formation of the rocks. It has been revealed that fractional crystallization and assimilation±magma mixing processes play a role in the development of granites. Also, the saturation temperatures calculated from the whole-rock zircon values reflect lower initial magma temperatures. All results obtained indicate that parental magma of studied granitic rocks have evolved from lower/middle crust-derived melts as a result of partial melting and differentiated and emplaced in the continental magma chamber.

Keywords: Eastern Black Sea, Güneydere, Petrochemistry, Carboniferous granites, Turkey.

1 Giriş

Yer kabuğu içerisinde farklı biçimlerde ve derinliklere dağılım gösteren plütonik kayalar, bir bölgenin jeolojik geçmişinin ortaya çıkarılmasında ve tektonik gelişiminin anlaşılmasında oldukça önemli veriler sağlamaktadır. Oluşum ve bulunuşlarında, iç kuvvetlerin niteliği, yer kabuğunu oluşturan malzemenin özellikleri, yükselen magmanın akıcılığı, yoğunluğu ve hacmi başlıca etkenler olarak sayılabilmektedir. Kayaların petrolojik karakterlerinin tanımlanmasına yönelik

yeni analitik yöntemlerin geliştirilmesi, özellikle intrüzif kayaların oluşum ve gelişimlerini anlamamıza imkân sağlamıştır. Jeokimyasal veriler, magmatik kayaların oluşumları sırasındaki tektonik ortamlarını ayırt etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, Sakarya Zonu'nun doğu kesimi, paleo-magmatik bir yay olması ve yitimin son aşamalarından çarpışma sonrası süreçlere kadar geçen zaman aralığında meydana gelen tektonik ve petrojenetik süreçlerin çalışılması ve anlaşılması açısından doğal bir laboratuvar olarak kabul edilmektedir.

*Yazışılan yazar/Corresponding author

İncelenen granitik kayaların da bir parçası olduğu Doğu Pontidler (KD-Türkiye), Doğu Sakarya zonunda bulunmakta olup Anadolu levhasının tektonik olarak şekillenmesinde ve günümüzdeki konumunu almasında etkin rol oynayan Alp-Himalaya orojenik kuşağının önemli bir parçası konumundadır. Buna bağlı olarak, geniş yaş ve bileşim aralığında magmatik kayalar yayılım sergilemektedir. Doğu Karadeniz Havzası'nın güney kıyıları boyunca uzanan ve orojenik bir kuşak meydana getiren Doğu Pontidler, Mesozoyik zamanda kuzey yönlü yiten okyanusal levhanın üzerinde meydana gelmiş bir ada yayı olarak da bilinmektedir [1]. Doğu Sakarya Zonunun Jura öncesi temeli;

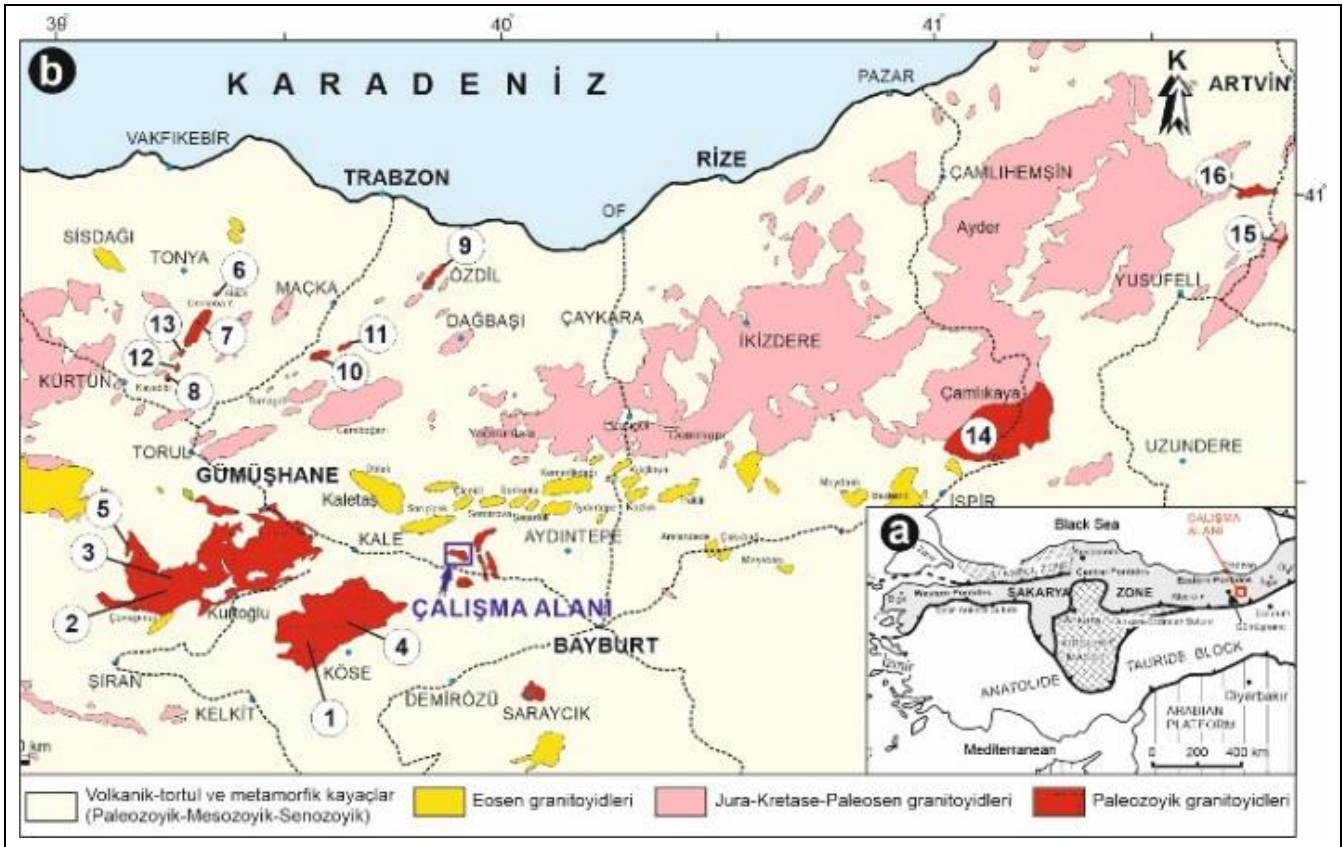
- (i) Pre-Karbonifer metamorfitleti,
- (ii) Erken Karbonifer magmatitleri,
- (iii) Permo-Karbonifer sedimanları ve
- (iv) Permo-Triyas yaşlı düşük dereceli metamorfitletler olmak üzere 4 ana birimle temsil edilmektedir [2]. Buna karşılık, Jura sonrası birimler ise "kuzey zon" ve "güney zon" olarak iki ana bölümde incelenmiştir [3].

Doğu Sakarya Zonu'nda farklı yaş, büyüklük ve bileşime sahip Jura öncesi intrüzif kayalar çoğunlukla Permo-Karbonifer

dönemde yerleşmiştir. Özellikle Karbonifer yaşlı intrüzifler daha büyük kütleler halinde ve çoğunlukla güney zonda dağılım sergilemektedir. Bu intrüzif kütlelerden Bayburt'un KD kesiminde geniş yayılım gösteren Akşar Granitinin batı bölümünü oluşturan Güneydere granitik kayaları çalışma konusu olarak seçilmiştir (Şekil 1). Bu çalışma öncesinde Güneydere granitik kayalarına yönelik herhangi bir jeokimyasal veri mevcut olmayıp genel jeolojisi dışında herhangi detay bir çalışma yapılmamıştır. Dolayısıyla bu çalışma kapsamında Güneydere granitik kayalarının petrografik, jeokimyasal ve petrolojik özellikleri ilk kez detaylı olarak irdelenmiştir.

2 Çalışma alanının jeolojisi

Alpin orojenik kuşağının batısında ve önemli bir parçası konumunda olan Anadolu levhası, jeolojik açıdan farklı birçok tektonostratigrafik mikrolehvanın bir araya gelmesi sonucu şekillenmiştir. Gerek Alpin tektonik birlikleri gerekse Pan-Afrikan, Variskan, Kimmeriyen gibi daha yaşlı orojenik dönemleri temsil eden birimleri içermesi bakımından da önemli bir konumda yer almaktadır.



Şekil 1(a): Türkiye'nin tektonik haritası ve çalışma alanının konumu. (b): Doğu Karadeniz bölgesindeki bilinen intrüzif kayaların yayılımı ([6],[3] ve [30]'dan değiştirilerek). 1: Köse: 322-307 My [26]. 2: Gümüşhane 338-298 My [23]. 3: Gümüşhane 329-309 My [24]. 4: Köse 360 My [35]. 5: Çamlık 302 My [29]. 6: Alazlı 312 My [30]. 7: Derinoba 317-311 My [27]. 8: Kayadibi 304 My [27]. 9: Özdil 341-323 My [28]. 10: Seslikaya 335 My [28]. 11: Soğuksu 348 My [28]. 12: Şahmetlik 335 My [28]. 13: Kızılağaç 337 My [28]. 14: Çamlıkaya 330 My [36]. 15: Demirkent 325 My [36]. 16: Narlık 330 My [36].

Figure 1(a): Main tectonic units of Turkey and the location of the study area. (b): Distribution of intrusive rocks in the Eastern Black Sea region. (modified from [6],[3] and [30]). 1: Köse: 322-307 Ma [26]. 2: Gümüşhane 338-298 Ma [23]. 3: Gümüşhane 329-309 Ma [24]. 4: Köse 360 Ma [35]. 5: Çamlık 302 Ma [29]. 6: Alazlı 312 Ma [30]. 7: Derinoba 317-311 Ma [27]. 8: Kayadibi 304 Ma [27]. 9: Özdil 341-323 Ma [28]. 10: Seslikaya 335 Ma [28]. 11: Soğuksu 348 Ma [28]. 12: Şahmetlik 335 Ma [28]. 13: Kızılağaç 337 Ma [28]. 14: Çamlıkaya 330 Ma [36]. 15: Demirkent 325 Ma [36]. 16: Narlık 330 Ma [36].

Anadolu levhası, Paleotetis ve Neotetis okyanuslarının farklı kollarının farklı dönemlerde açılıp-kapanması, buna paralel olarak aktif ve/veya pasif kıta kenarı çökelleri ve yay-sütür karmaşıklarının Senozoyik zamanda bir araya gelmesi sonucu şekillenmiştir [4],[5].

Güneydere granitik kayaçlarını da içeren ve İzmir-Ankara-Erzincan suture zonunun kuzeyinde konumlanan Doğu Pontidler (Doğu Sakarya Zonu) ise Mesozoyik zamanda kuzey yönlü yiten okyanusal levhanın üzerinde gelişmiş magmatik yay olarak tanımlanmaktadır [1],[6].

Bu tektonik kuşağın kuzey kesimlerinde daha çok kalk-alkalen volkanik kayaçlar, epiklastik kayaçlar (tüfit, volkanik konglomera, volkanik kumtaşı) ve intrüzyif kayaçlar yaygın olarak gözlenmektedir [7]-[20]. Buna karşılık güney kesimleri boyunca ise sedimanter ve alkali potasik volkanik kayaçların yayılım gösterdiği bilinmektedir [21]-[22],[15],[87]]. Buna ek olarak, Doğu Pontid'lerde Permo-Karbonifer yaşlı ve geniş bileşim aralığına sahip, farklı boyutlarda intrüzyif kütlelerin yer aldığı da görülmektedir [23]-[31] (Şekil 1).

Çalışma alanında temel birimleri Erken Karbonifer yaşlı Pulur ve Kurtoğlu Metamorfileri [32]-[33],[24],[92] ile bunları keserek yerleşen Orta-Geç Karbonifer yaşlı Gümüşhane ve Köse Plütonları oluşturmaktadır [24],[26],[28]-[29]. Saraycık Graniti, daha güneyde Saruhan Granodiyorit ve kuzey kesimde yüzeyleyen Akşar Granitoidi Bayburt yöresinde yer alan başlıca plütonları oluşturmaktadır. Bölgedeki intrüzyif kayaçlar düşük ve yüksek K'lu kalk-alkalin benzeri bir bileşime sahip, metalümin-peralümin karakterli ve granitten alkalin siyenitik türe kadar değişen bileşimler sergilemektedir [34].

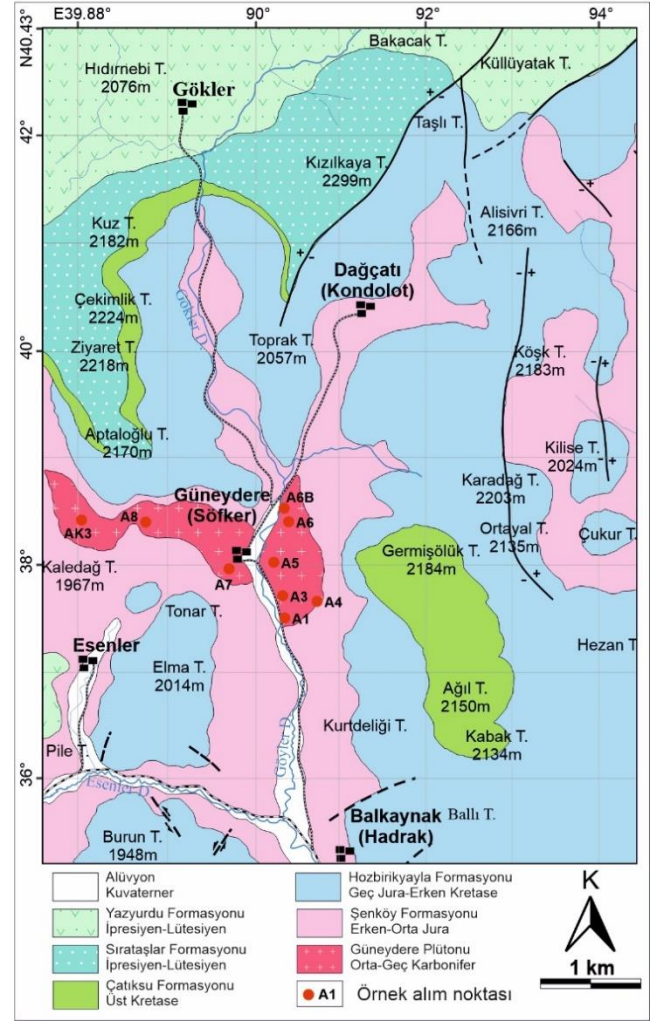
Doğu Sakarya Zonu'nda gözlenen Paleozoyik temel kayaçların yaklaşık %40'ını granitoidler oluşturmaktadır. Her ne kadar Paleozoyik intrüzyonlar güney kesimlerde yaygın mostralara veriyor olsa da [24]-[26]], son yapılan çalışmalar ile bu kütlelerin varlığı kuzey zonda da tanımlanmıştır [27]-[28],[30].

Bölgede Paleozoyik temel birimleri Şenköy Formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülmekte ve başlıca volkanik ve volkanoklastik kayaçlardan meydana gelmektedir [37]-[38]. Bu istif üzerine uyumlu olarak Üst Jura - Alt Kretase yaşlı platform karbonatları gelmektedir [39]. Bölgede Üst Kretase volkanik kayaçları, yine Üst Kretase yaşlı granitler tarafından kesilmektedir [2],[40]-[41], [16]. Bölgede yüzeyleyen tüm birimler taban konglomerası ile başlayan Eosen birimleri tarafından uyumsuz olarak üzerlenmektedir [42]. Eosen birimleri üst kesimlerde volkanik tüf, fosilli kireçtaşı ve volkanitler ile temsil edilmektedir [43]. Alanın en geç birimlerini güncel olarak oluşumu devam eden karasal Kuvaterner alüvyonları ve yamaç molozları oluşturmaktadır. İncelenen Güneydere granitik kayaçları [44] tarafından tanımlanan Akşar Graniti'nin batı kesiminde yer almakta ve genel olarak Güneydere Köyü ve yakın çevresinde, Kaledağ, Tonar ve Aptaloğlu Tepe dolaylarında yayılım sergilemektedir (Şekil 2). Kristalli dokusu ve pembemsi rengi ile sahada diğer birimlerden ayırt edilebilmekte ve çoğunlukla arenalaşmış bir görünüm sunmaktadır.

3 Analitik yöntemler

3.1 Arazi çalışmaları ve örnekleme

Genel olarak mevcut jeoloji haritalarının revize edilmesi ve birimlerin sınır ilişkilerinin gözden geçirilmesi, yapısal ve tektonik unsurların belirlenmesi ve laboratuvar çalışmaları için örneklerinin derlenmesine yönelik aşamaları oluşturmaktadır.



Şekil 2. Güneydere (Bayburt, KD Türkiye) ve civarının jeoloji haritası

Figure 2. Geological map of Güneydere (Bayburt, NE Türkiye) and surrounding area.

Çalışmanın amacına uygun petrografik ve jeokimyasal incelemeler için 20 örnek toplanmış ve sınıflandırılmıştır. Alınan örneklerden taze olanları seçilerek petrografik kesit yapılmış ve mikroskobik inceleme sonunda kayaç türleri belirlenmiştir. Belirlenen örneklerden uygun görülenler jeokimyasal analiz amaçlı ayrılarak toz haline getirilmiştir.

3.2 Mikroskobik tayinler

Petrografik inceleme amaçlı 14 adet örneğin ince kesitleri Gümüşhane Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde hazırlanmıştır. Sahadan alınan kayaçlar belli boyutlara (0.5x2x4 cm) küçültülerek plaka halinde getirilmiştir. Makro örneklerin inceltme işlemleri PetroThin (MA381450) marka cihazda gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan kesitler LEICA DM-EP marka polarizan mikroskop ve aynı mikroskopa bağlı LEICA DFC295 marka kamera ile ayrıntılı olarak incelenmiş ve mikro fotoğrafları çekilmiştir.

3.3 Tüm-kayaç jeokimya analizleri

Altere olmamış 9 adet granit örneğinden tüm-kayaç jeokimya analizleri ACME Lab. (Kanada)'da yapılmıştır. Çeneli kırıcı ve halkalı öğütücüler yardımıyla toz haline getirilen örnekler

analize gönderilmiştir. Analitik prosedüre ilişkin detaylar ise [45] ve [46]'da verilmiştir. Analizler için örnek öğütme işlemleri Gümüşhane Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında çeneli kırıcı ve halkalı öğütücü cihazları ile gerçekleştirilmiştir. Buna ek olarak, Jeokimyasal diyagramların çiziminde Geochemical Data Toolkit (GCDkit) version 6.1_2022 [47] programından yararlanılmıştır.

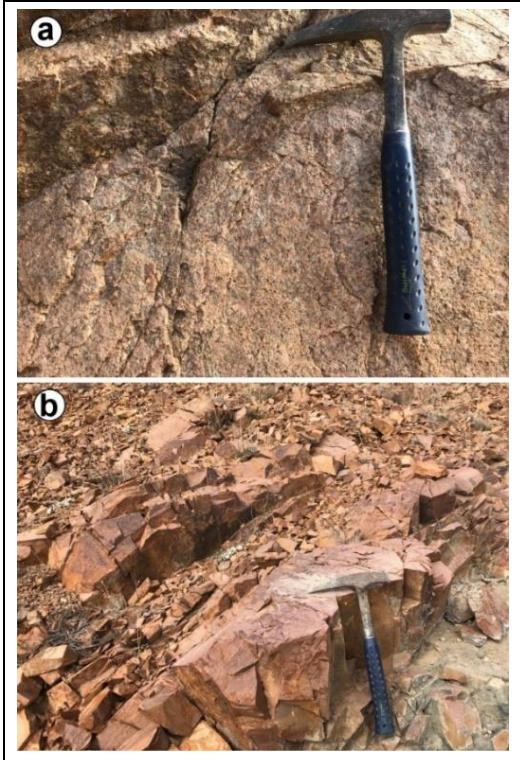
4 Analitik bulgular

4.1 Petrografi

Yaklaşık 5 km²'lik bir alanda yayılım gösteren Güneydere Plütunu tek bir bileşimde olmayıp, granitik kayaların farklı litolojilerinden meydana gelmektedir. Bu litolojilerin ayırtılması ve haritalanması, mevcut çalışma bütçesi ve imkanları ölçüsünde mümkün olamamıştır. Özellikle kenar zonlar boyunca yaygın olarak aplitik granitleri görmek mümkün iken, plütunun iç kesimlerine doğru tane boyutu büyümektedir. Pembemsi renkleri ile dikkat çeken intrüzyif kütle çoğunlukla ayrılmış haldedir. Granitlerde mafik mikrogranüler anklavlara rastlanmamıştır. Genel olarak eş tane boyutlu, iri kristalli ve pembe rengi ile sahada dikkat çekmektedir. Çatlaklı bir görünüme sahip granitlerde genel olarak K-G, KB-GD, KD-GB gelişmiş çatlak sistemleri mevcuttur. Birim içerisinde yüzeyleme veren kayaların litolojileri ağırlıklı olarak granit ve aplit, daha az yayımlı olarak ise granodiyorit ve kuvarşlı monzonit türündedir.

4.1.1 Granit

Çalışma alanında en yaygın litolojiyi meydana getirir. Çoğunlukla granit, daha az oranda ise aplit türde gözlenmektedir (Şekil 3).

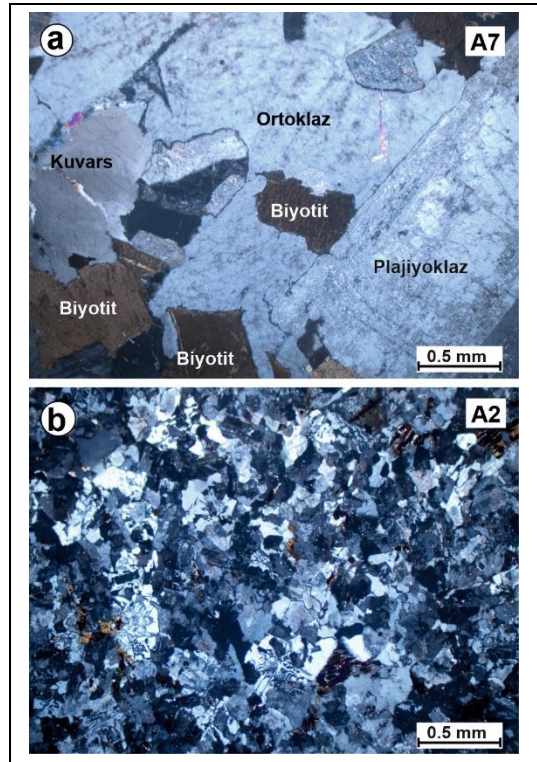


Şekil 3(a): Orta-iri kristalli granit ile (b): İnce kristalli mikrogranitin arazi görünümü.

Figure 3(a): Field view of medium to coarse crystalline granite and (b): Fine-crystalline microgranite.

Tipik pembemsi, yer yer kırmızımsı rengi ile dikkat çekmektedir. İri kristalli feldispat (pembe renkli ortoklaz), kuvars ve plajiyoklaz mineralleri makroskobik olarak tanımlanmaktadır. Yer yer kristal boyutları 2 cm uzunluğu bulmaktadır. Granit ve aplitin ana mineralojisini kuvars, ortoklaz, plajiyoklaz, biyotit ve hornblend mineralleri oluşturmaktadır. Bununla birlikte az oranda opak mineral ile aksesuar mineral olarak zirkon ve apatit mineralleri gözlenmektedir. Alterasyon ürünü olarak serizit, klorit ve kil mineralleri görmek de mümkündür.

Granitler tüm kristalli ince-orta ve yer yer iri taneli doku (Şekil 4) ve aplitler ise ince taneli (<1 mm) granüler ve reaksiyon (grafik ve/veya mirmekitik) dokuları sergilemektedir. Açık renkli mineraller kuvars, ortoklaz ve plajiyoklaz, koyu renkli mineraller biyotit ve çok az hornblend türündedir.



Şekil 4(a): İri kristalli granit ve (b): İnce kristalli mikrogranitin mikroskobik görünümü (çapraz nikol).

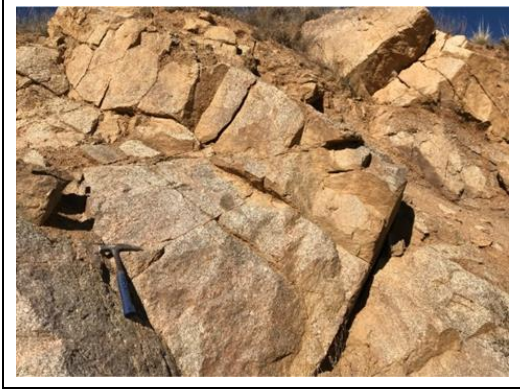
Figure 4(a): coarse crystalline granite and (b): Fine crystalline microgranite in thin section under crossed nicols.

Kuvars öz şekilsiz, yer yer iri kristaller halinde ve yaklaşık %33-37 civarında bulunmaktadır. K-Feldispat ortoklaz türünde ve yaklaşık %27-29 civarında, çoğunlukla yarı öz şekilli ve öz şekilsiz olarak görülmektedir. Bazı kristallerde küçük plajiyoklaz ve amfibol kapanımları da içermektedir. Plajiyoklaz, kayalarda yaklaşık %19-23 arasında olup genellikle yarı öz şekilli olarak görülmektedir. Kristallerde yer yer serizitleşmeler ve killeşmeler de izlenebilmektedir. Yaklaşık %2-4 civarında bulunan biyotit kısmen özşekilli ve çoğunlukla yarı özşekilli gelişmiştir.

4.1.2 Granodiyorit

İncelenen plütun içerisinde pek fazla yayılım göstermeyen bu kayalar genellikle plajiyoklaz bolluğuna göre farklı renk tonlarında (açık griden yer yer açık pembemsiye kadar) ve

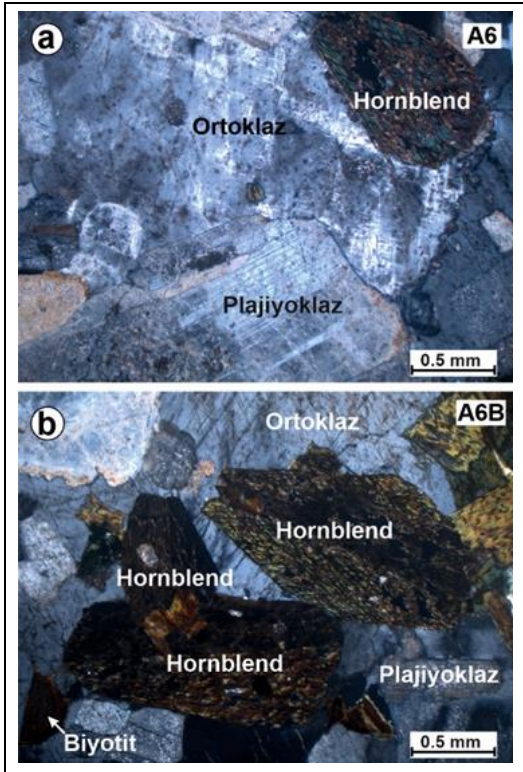
granitlere nazaran daha taze görünümlüdür. Diyaklazlı bir yapı sergileyen bu kayaçlar gözle görülebilecek büyüklükte kuvars, plajiyoklaz, ortoklaz ve ferromagnezyen mineraller içermektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Granodiyorit bileşimli kayaçların arazi görünümü.

Figure 5 Field view of granodioritic rocks.

Tüm kristalli, ince-orta ve yer yer iri taneli (granüler) doku gösteren bu kayaçlar açık renkli minerallerden alkali feldispat, plajiyoklaz ve kuvars, koyu renkli minerallerden ise genellikle hornblend içermektedir (Şekil 6).



Şekil 6. İri kristalli granodiyoritlerin mikroskobik görünümü (çapraz nikol).

Figure 6. Coarse crystalline granodiorites in thin section under crossed nicols.

Plajiyoklaz, çoğunlukla iri kristaller halinde, yarı öz şekilli ve yer yer ayrılmış durumdadır. Bollukları değişmekle birlikte, yaklaşık %38-40 civarında bulunmaktadır. Bazı iri kristallerde hornblend vb. mineral kapanımları görmek mümkündür.

Ortoklaz, genellikle %23-26 civarında görülmekte ve özşekilsiz kristaller halindedir.

Hornblend, yaygın olmayıp, yaklaşık %3-4 civarında bulunmaktadır. Çoğunlukla yarı öz, yer yer ise öz şekilli kristaller halinde, gözlenmektedir Şekil 6(b).

Kuvars, bolluk oranı kayç türüne göre değişmekle birlikte en yaygın mineral grubunu oluşturur. Çoğunlukla öz şekilsiz kristaller halinde, yer yer kırıklı ve çatlaklı yapıda gözlenmektedir. Opak mineraller, küçük ve yer yer çok küçük kristaller halinde, dağınık ve düzensiz şekilde gelişmiştir. Daha çok mafik mineraller ile bir arada gözlenir.

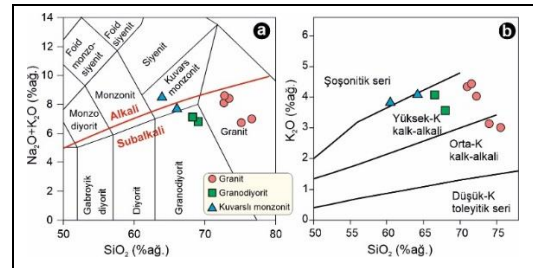
4.1.3 Kuvarşlı monzonit

Plüton içerisinde en az yayılıma sahip kayaç türünü oluşturur. Genel olarak açık renkli ve yer yer pembemsi görünümü ile tipiktir. Çoğunlukla altere olmuş ve bol çatlaklı olan kayaçlar makroskobik ölçekte alkali feldispat, plajiyoklaz, kuvars ve koyu renkli minerallerden hornblend içermektedir. Genellikle tüm kristalli ince-orta ve yer yer iri taneli (granüler) ve poikilitik dokuya sahiptir.

4.2 Tüm-kayaç jeokimyası

Granitik kayaçların petrokimyasal özelliklerini ortaya koymak amacıyla gerçekleştirilen tüm-kayaç analizlerine ait sonuçlar Ek Tablo 1'de sunulmuştur.

Granitler nispeten yüksek SiO_2 (%60.43-75.51) ve Al_2O_3 (%12.56-16.16) içeriklerine sahiptir. Bu kayaçlar nispeten düşük $Fe_2O_3^*$ (%2.38-6.38), MgO (%0.08-1.82) ve TiO_2 (%0.13-0.62), buna karşılık nispeten yüksek K_2O (%3.02-4.43) ve Na_2O (%2.86-4.21) değerleri göstermektedir. Na_2O+K_2O değerleri ise %6.65-8.48 arasında değişmektedir. Toplam silis-alkali adlandırma diyagramında örnekler granit, granodiyorit ve kuvarşlı monzonit olarak sınıflandırılmıştır Şekil 7(a). Örnekler SiO_2 (%ağ.) karşı K_2O (%ağ.) diyagramında Şekil 7(b) çoğunlukla yüksek-K'lu kalk-alkali karakter sergilemektedir.

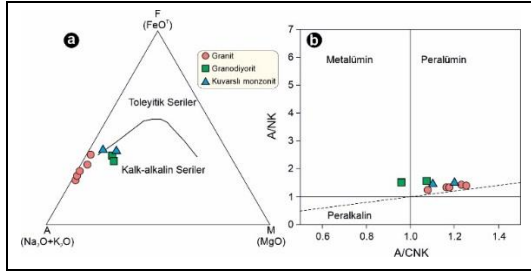


Şekil 7. Granitik kayaçların; (a): Toplam Alkali Silis (TAS) sınıflama [48]. (b): K_2O (%ağ.)- SiO_2 (%ağ.) [49] diyagramları.

Figure 7(a): Total Alkali-Silica (TAS) classification of granitic rocks [48]. (b): K_2O (%w) vs SiO_2 (% wt.) [49] diagrams.

MgO (%0.08-1.82), $Fe_2O_3^*$ (%2.38-6.38) içeriklerinin ve bunlarla ilişkili olarak $Mg\#$ (molar $MgO/(MgO+FeO_{tot})$) düşük (5-42) olması incelenen granitlerin kalk-alkalin benzeri bir bileşime sahip olduğunu işaret etmektedir. Nitekim tüm örnekler AFM sınıflama diyagramına göre "kalk-alkalin" bölgede yer almıştır Şekil 8(a).

Bununla birlikte, Al_2O_3 , Zr, Nb, Ce, Y, Ga değerleri örneklerin A-tipinden ziyade I-tipi bir magmadan türediğini, A/NK-A/CNK oranları ise ana magmalarının her ne kadar peralümin karakterini işaret ediyor olsa da Şekil 8(b), mineral parajenezleri metalümin baskın ya da metalümin-peralümin bir özelliği yansıttığını göstermektedir.

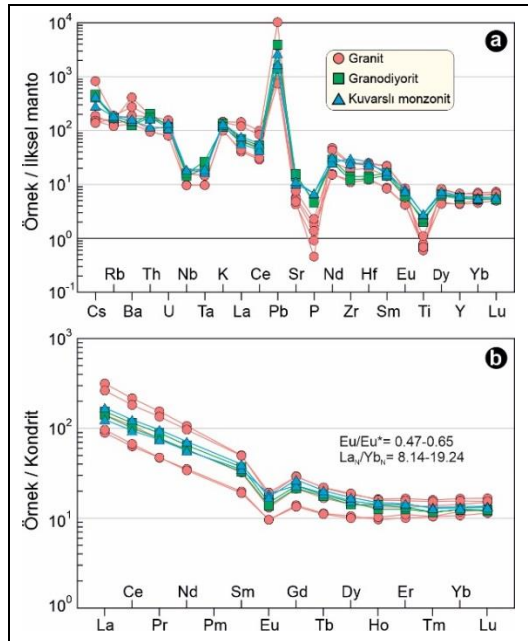


Şekil 8(a): Granitlerin AFM diyagramı [50]. (b): Molar A/CNK'ya karşı A/NK diyagramı [51].

Figure 8(a): AFM diagram of granites [50]. Mol A/CNK vs A/NK diagram [51].

Özellikle plajiyoklaz ve K-feldispat minerallerinde yoğun alterasyon (serizitleşme, killeşme vb.) gözlenmekte, bu nedenle kayaların peralümin ağırlıklı olması, kısmen de olsa kayalardaki yoğun alterasyondan kaynaklanmaktadır.

Granitik kayaların üst ve alt kabuk ile olan benzerlik ve/veya farklılıklarını ortaya koymak amacıyla çoklu iz element dağılım diyagramları hazırlanmıştır (Şekil 9). Bu diyagramlarda örnekler, ilksel manto [52] ve kondrite [53] göre normalize edilmiştir.



Şekil 9. Örneklerin; (a): İlksel mantoya ve (b): Kondrite göre normalize edilmiş çoklu element diyagramları [52]-[53].

Figure 9. Normalized multi-element diagrams of the studied samples according to (a) primary mantle and (b) chondrite [52]-[53].

Nb, Ta, Ce, P ve Ti değerleri ilksel mantoya oranla negatif anomali gösterirken, K, Pb ve Nd içerikleri belirgin bir pozitif yönseme sergilemektedir (Şekil 9a). Genel olarak Cs, Rb, Ba, K gibi büyük iyon yarıçaplı litofil elementler (LILE) ve Ce, Th bakımından zenginleşme gözlenirken, Ti gibi yüksek çekim alanlı elementler (HFSE) ve Nb, Ta, P açısından belirgin tüketilme görülmektedir. Buna karşın, Dy, Y, Yb ve Lu gibi elementlerde paralel yakın bir yönelim gözlenmektedir. Kondrite [53] göre normalize edilmiş nadir toprak element diyagramında ise örneklerin genel itibarıyla yukarıya doğru içbükey bir dağılım sunduğu görülmektedir Şekil 9(b).

Örneklerin tümünde nadir toprak element bakımından zenginleşmenin ($La_N/Yb_N=8.14-19.24$) olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, ağır nadir toprak elementlerin, hafif nadir toprak elementlere kıyasla kendi içlerinde daha az oranda zenginleştiği ($Gd_N/Lu_N=1.09-2.02$; $La_N/Sm_N=3.62-6.32$) dikkat çekmektedir. Plajiyoklaz ve biyotit gibi minerallerin ayrılaşmasını gösteren [56] negatif Eu anomali ($Eu_N/Eu^*=0.47-0.65$) ise tüm örneklerde belirgindir (Şekil 9b).

4.3 Tüm-kayaç jeotermometre hesaplamaları

4.3.1 Zirkon ve apatit jeotermometresi

Granitik kayaların kristallenme sıcaklıklarını ortaya koyabilmek için örneklerin zirkon doygunluk sıcaklıkları (ZDS) ve apatit doygunluk sıcaklıkları (ADS) [55]-[58]'e göre, tüm-kayaç jeokimya analizlerinden itibaren hesaplanarak bulunan sonuçlar Ek Tablo 2'de sunulmuştur. ZDS ve ADS değerleri kayaları oluşturan magmanın yerleşimi sırasındaki en düşük ve en yüksek sıcaklığına ve kayaları oluşturan ergiyeğin bu bileşenler açısından doygunluk durumuna bağlı olarak değişebilmektedir.

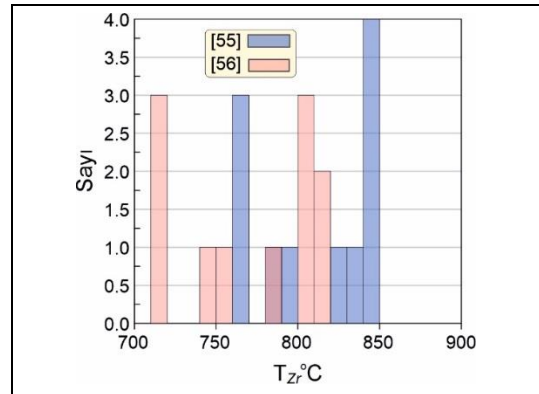
5 Tartışma

5.1 Ana magmanın sıcaklığı

Jeokimya analizlerinden itibaren hesaplanan ve genellikle zirkon açısından doygun orta-felsik magmalarda doğru sonuçlar verebilen ZDS değerleri, intrüzif kayaları oluşturan ana magmanın ilksel sıcaklıklarının tahmin edilmesinde sıklıkla kullanılmaktadır [30],[89]-[91].

Petrografik ve petrokimyasal çalışmalar, Güneydere granitik kayalarının zirkon açısından doygun olduğunu (123-343 ppm) ve ZDS değerlerinin, kayaları oluşturan ana magmanın başlangıçtaki sıcaklıklarını tahmin etmekte kullanılabileceğini işaret etmektedir.

Güneydere örneklerinin ZDS değerleri 768-924 °C (ortalama 812 °C; [55]) ve 712-926 °C (ortalama 772 °C; [56]) arasında değişmektedir (Şekil 10). [55] ve [56]'e göre hesaplanan ZDS değerlerinin çoğunlukla 800 °C civarında dağılım göstermesi düşük ilksel magma sıcaklıklarını yansıtmaktadır. Dolayısıyla, bu değerler Güneydere granitik kayalarının eriyik sıcaklığını temsil edebileceğini ve bu da magma kaynağında yaklaşık 800°C bir ergime sıcaklığı olduğunu göstermektedir. Bu ise söz konusu kayaların orta - alt kıtasal kabuk eriyiklerinin ürünü olduğunu işaret etmektedir.



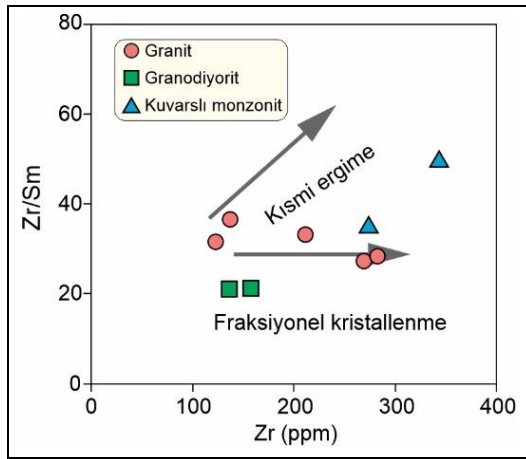
Şekil 10. Örneklerin [55]'e ve [56]'a göre zirkon doygunluk termometresi ($T_{Zr}^{\circ}C$) histogramları.

Figure 10. Zircon saturation thermometer ($T_{Zr}^{\circ}C$) histograms of the studied samples according to [55] and [56].

5.2 Kısmi ergime süreçleri

Kıtasa kabuğun petrolojik olarak farklılaşmasında kısmi ergime süreçleri ana mekanizmayı oluşturmaktadır. Granitik kayaların oluşumunda önemli bir yere sahip olan kısmi ergime miktarı, ilksel ergimeye uğrayan malzemenin mineralojik bileşimi, sıcaklık-basınç koşulları ve su muhtevası gibi şartlara bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Bununla birlikte, kısmi ergimeye karşı oldukça duyarlı Rb, Sr, Ba gibi iz elementler ([59]) ile Zr/Sm, Ce/Y ve Zr/Nb oranları da ([60]-[61]) kısmi ergime derecesi hakkında bilgi vermektedir.

Güneydere örneklerinin Zr içerikleri yüksek olup 343-123 ppm arasında değişmektedir. Kısmi ergimeye işaret eden Zr/Sm oranları ise 20 ile 50 arasında dağılım sergilemektedir. Granitik kayalarda artan Zr içeriğine bağlı olarak artan Zr/Sm oranları, kayaların gelişiminde fraksiyonel kristallenmeden ziyade kısmi ergime süreçlerinin daha etkili olduğunu ifade etmektedir [61]. Ancak, Güneyde örneklerinde bu durumun aksine, artan Zr içeriklerine karşılık Zr/Sm oranları belirgin artış göstermemektedir (Şekil 11). Bu durum kayaların gelişiminde kısmi ergimeden ziyade fraksiyonel kristallenme süreçlerinin daha baskın olduğunu, kısmi ergimenin daha az oranda geliştiğini işaret etmektedir.



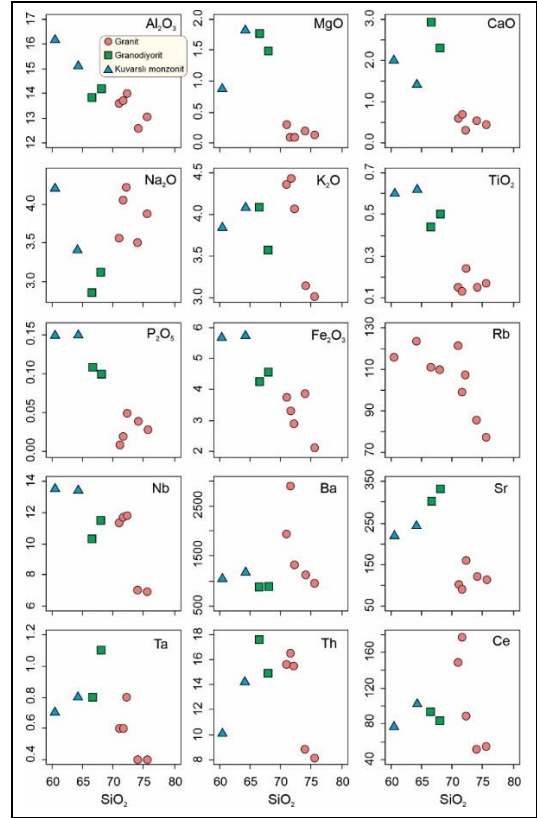
Şekil 11. Örneklerin Zr/Sm-Zr (ppm) [88] diyagramı.

Figure 11. Zr/Sm vs Zr (ppm) [88] diagram.

5.3 Fraksiyonel kristallenme ve asimilasyon (FC-AFC) süreçleri

Magmanın soğuması ve kristallenmesi esnasında bütün silikatlar aynı anda kristallenmeyip kabaca 1500° ile 400°C arasında kademeli olarak kristallenmektedir. Soğumanın ilerleyen safhalarında yüksek sıcaklık minerallerinin bileşimine giren elementler bakımından fakirleşme, düşük sıcaklık minerallerinin bileşimine girecek elementler bakımından ise zenginleşme gözlenir. Magmadaki bu kristallenmeye fraksiyonel veya kesirli kristallenme adı verilir. Magmanın kristallenmesi karmaşık bir süreç olup birçok etkenin tesiri altında meydana gelmektedir. Bazı ana ve iz elementlerde gözlenen artan veya azalan yöndeki değişimler kayaların oluşumunda etkili olan FC-AFC süreçleri hakkında bilgiler verebilmektedir.

İncelenen kayalarda SiO₂'ye karşı gözlenen Fe₂O₃, MgO, TiO₂, CaO ve Al₂O₃ dağılımları fraksiyonel kristallenmenin ilk evrelerinde amfibol, Ca-plajiyoklaz, biyotit ve opak minerallerin eriyikten ilk önce ayrıldığını göstermekte olup (Şekil 12) bu minerallerin kristalizasyonu ile ilişkilidir [62].



Şekil 12. Örneklerin SiO₂ (%)'e karşı bazı majör oksit (%) ve iz element (ppm) değişimleri.

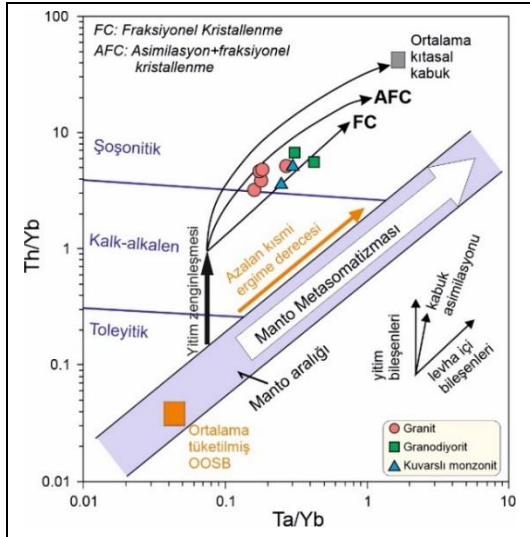
Figure 12. SiO₂ (%) vs some major oxides (wt%) and trace elements (ppm) variation diagrams of the samples.

K₂O değerlerinin düzensiz negatif dağılımı K-feldispat, buna karşın Na₂O'daki düzensiz pozitif yönelim plajiyoklaz ve kısmen K-feldispatın fraksiyonlaşması ile kontrol edilmektedir. Benzer şekilde, TiO₂ ve P₂O₅ değerlerinin negatif yönsmeleri titanomanyetit ve apatit kristallenmesi ile ilişkili olabilmektedir. SiO₂'ye karşı ana oksit ve bazı iz element ikili değişim diyagramlarında incelenen granitlerin oluşumunda kesirli kristallenme olaylarının daha baskın olduğunu işaret etmektedir. Benzer biçimde, ağır nadir toprak elementler ile Y içeriği açısından tüketilmenin ise Zr elementinin fraksiyonlaşmasından kaynaklı olabileceği söylenebilir [62].

Ba, Sr gibi elementlerde gözlenen düzensiz ve azalan dağılımların, feldispat kristallenmesi ile bağlantılı olduğu bilinmektedir ([63], Şekil 12). Özellikle Sr'nin plajiyoklazlarda Ca'nın yerini alması sonucu, Ca açısından zenginleşmiş plajiyoklaz minerallerinin fraksiyonlaşması ile azalan bir ilişki gözlenebilmektedir. Yine, fraksiyonel kristallenme esnasında Rb-K yer değişimleri ile Rb elementi K-feldispat, hornblend, biyotit gibi minerallerin bünyesinde yer alabilmektedir. Kristalizasyon esnasında biyotitin bünyesine katılan Nb ve Ba elementlerinde negatif, biyotit ve zirkonda görülen yüksek dağılım katsayıları nedeniyle Th ve Ce elementlerinde ise düzensiz negatif [64] dağılımlar görülmektedir. Belirgin negatif Eu anomalisi (bkz. Şekil 9), intrüzif kayaların oluşumunda feldispat minerallerinin fraksiyonlaşmasını göstermektedir. Bununla birlikte, Ta, Th ve Ba gibi elementlerde görülen düzensiz dağılımlar kesirli kristalleşmenin yanında asimilasyon ve magma karışımı süreçlerinin de etkili olduğunun bir işaretidir [63]-[64]. Na₂O, K₂O, Ba gibi

elementlerde gözlenen düzensiz dağılımlar magmatik olmayan ikincil bir olayın (alterasyon vb.) etkisini de gösterebilmektedir. Tüm bu değişimler incelenen kayaçların oluşumunda K-feldispat, amfibol, biyotit, piroksen, apatit, zirkon, manyetit gibi minerallerin fraksiyonel kristallenmesinin etkin rol oynadığını göstermektedir. Örneklerde yitim veya kabuksal kirlenmenin bir göstergesi olarak Nb-Ta çiftinde negatif ve Pb'de güçlü pozitif anomali ([65])'te görülmektedir (bkz. Şekil 9).

Kayaçların oluşumunda ve kristallenme süreçlerinde kıtasal kabuk asimilasyonunun etkin olup olmadığı [66]'in diyagramı ile test edilmiştir (Şekil 13). Örneklerin "ortalama kıtasal kabuk" değerine doğru bir dağılım gösterdiği, bunun ise kayaçların ana magmasının yitim bileşenlerince zenginleşmiş bir kaynaktan türediğini ve ilerleyen süreçlerde ise baskın olarak kesirli kristallenme ve kısmen de asimilasyonun etkili olduğunu göstermektedir. Örneklerin manto yönüne çizgisinden uzaklaşmış olması da kayaçların yitim etkisiyle zenginleşmiş mantodan türeyen veya magmanın yükselimi esnasında kabuksal kirlenmeye maruz kalmış magmadan itibaren oluşmuş olduğunun bir işaretidir.



Şekil 13. Örneklerin Th/Yb-Ta/Yb diyagramı [66].

Figure 13. Th/Yb vs Ta/Yb diagram of granitic rocks [66].

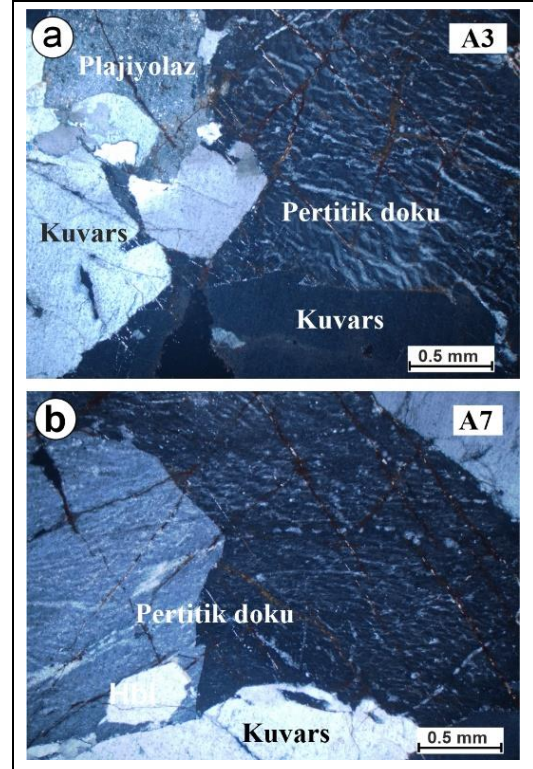
5.4 Magma karışımı süreçleri

Magma karışımı süreçleri, farklı mafik ve felsik bileşimdeki magmaların gerek fiziksel gerekse kimyasal olarak homojen ve/veya heterojen karışımı şeklinde tanımlanmaktadır. Magmaların viskozitesi, karışımının homojen veya heterojen olarak gelişmesindeki en önemli faktörü oluşturmaktadır [67]-[68]).

Güneydere granitik kayaçlarının oluşumunda magma karışımını gösteren bir diğer veri ise ana kayaçlarda görülen karışım dokularıdır. Özellikle elek dokulu, zonlu ve salınlı zonlanma gibi dengesizlik dokuları gösteren plajiyoklaz mineralleri, iri plajiyoklaz mineralleri üzerinde daha küçük plajiyoklaz minerallerinin bulunması, bıçağımsı hornblend mineralleri, plajiyoklaz, ortoklaz ve mafik mineraller üzerinde daha küçük minerallerin oluşturmuş oldukları poiklitik dokulardır (Şekil 14).

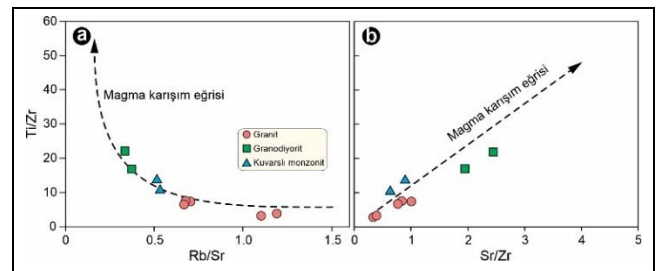
Granitik kayaçlarda gelişen magma karışımı olayları [69] tarafından önerilen Ti/Zr oranlarına karşı Rb/Sr ile Ti/Zr oranlarına karşı Sr/Zr değişim diyagramları ile test edilmiştir.

Magmanın kristallenmesi esnasında, magma karışım olayları meydana gelmiş ise Ti ve Zr oranlarının Rb ve Sr oranlarına göre hiperbolik bir dağılım sunması beklenmektedir. Benzer şekilde Ti ve Zr oranlarının ise Sr ve Zr oranlarına göre lineer pozitif bir dağılımın gözlenmesi beklenmektedir. Bu oranlar Güneydere granitik kayaçlarına uygulandığında söz konusu dağılımlar gözlemlenmiş ve incelenen kayaçların gelişiminde magma karışımı proseslerinin etkili olmuş olabileceği değerlendirilmiştir (Şekil 15).



Şekil 14. Örneklerde gözlenen ve magma karışımını işaret eden iri kristalli ortoklas minerallerinde gelişmiş perthitik doku (eksolüsyon). Görüntüler çapraz nikolde alınmıştır.

Figure 14. Alkali feldspar showing perthitic texture (exsolution), indicating magma mixing in the samples. Images were taken in XPL.



Şekil 15. İncelenen kayaçların magma karışım diyagramları

Figure 15. Magma mixing diagrams of granitic rocks.

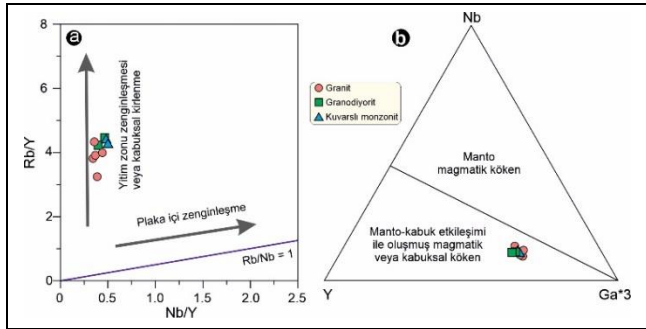
5.5 Ana magmanın kökeni

Granitleri oluşturan magmaların kökenine ilişkin olarak, manto kökenli bazik magmaların fraksiyonel kristallenmesi [70], mafik ve/veya ortaç kabuk kayaçlarının kısmi ergimesi [71] ve manto ve/veya kabuk kökenli mafik ve felsik magmaların karışımı [72] gibi farklı oluşum mekanizmaları önerilmiştir.

İncelenen kayaçların SiO₂ içeriklerinin kısmen geniş bir aralıkta (%60-76) değişmesi, buna karşılık Mg# değerlerinin ise çoğunlukla düşük ve geniş (5-42) aralıkta dağılım sergilemesi, ilksel bir manto ergiyiği ile uyumsuzdur. Bu değerler daha çok bir manto kaynağını veya mafik-ortaç alt kabuğun kısmi ergimesini ([73]-[75], [71]) işaret etmektedir. Bununla birlikte, elde edilen veriler kayaçların alt kabuk ve manto türevli felsik ve mafik magmaların karışımı sonucu, fraksiyonel kristallenme ile ([76]-[79]) oluşmuş olabileceğini de düşündürmektedir.

Ana magmanın kökeninin ortaya konmasında Y ve Nb elementlerinden de yararlanılmakta olup oranlarının (Y/Nb) 1.2'den büyük olması kabuk, 1.2'den küçük olması ise manto kökenli bir magmayı işaret etmektedir [81]. Güneydere örneklerinin Y/Nb oranlarının 2.01 ile 2.93 arasında değişmesi, mantodan ziyade kabuk kökenli bir magmayı göstermektedir.

Mantodan veya kabuktan türeyen magmaların ayırt edilmesinde kullanılan bir diğer parametre ise Nb ve Ta oranları olup bu değer mantodan türeyen magmalar için 17.5, kabuktan türeyen magmalar içinse 11-12 aralığındadır [81]. İncelenen granitik kayaçların Nb/Ta değerlerinin 10.45-19.50 arasında değişmesi kabuk ve manto karışımı bir kökeni işaret etmektedir. Nb/Y oranları (0.34-0.50) ise nispeten yitim zenginleşmesini Şekil 16(a) ifade etmektedir. Benzer şekilde, Nb, Y ve Ga değerleri incelenen kayaçların doğru manto-dan türemediğini, bunun yerine manto-kabuk etkileşimi sonucu oluşmuş veya kabuksal kökenli bir magmayı işaret etmektedir Şekil 16(b).



Şekil 16. İncelenen kayaçların magma köken diyagramları [80].

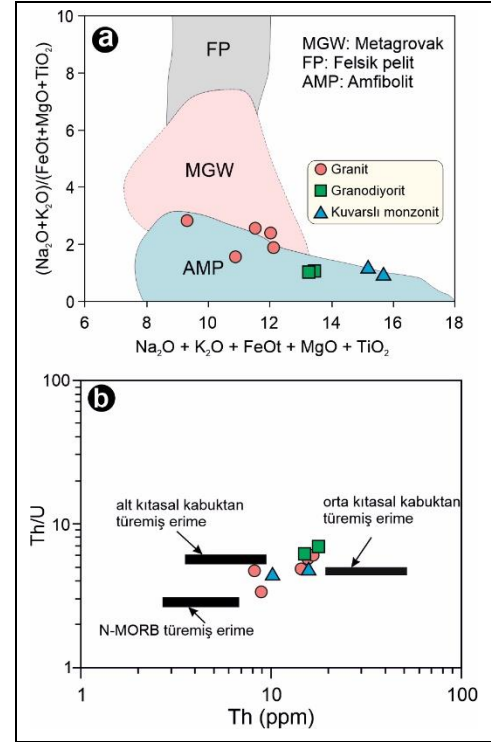
Figure 16. Discrimination diagrams of magma origin of granitic rocks [80].

Yüksek K içeren kalk-alkalen granitik kayaçlarda yapılan çalışmalar, bu kayaçların farklı kabuk kayalarının kısmi ergimesi ile oluşabileceğini göstermiştir [71]. Bununla birlikte, farklı tür ve bileşime sahip kıtasal kabuk kayaçlarının, farklı ergime koşullarında kısmi ergime sonucu oluşan magmalarının bileşimleri bazı jeokimyasal parametreler ile ayırt edilebilmektedir [82]. Buna göre, Güneydere granitik kayaçlarının çoğunlukla amfibolit kökenli eriyiklerden türemiş olduğu ortaya konmuştur Şekil 17(a). Örneklerin Th içerikleri 8.10-17.6 ppm, U içerikleri ise 1.70-3.30 ppm arasında değişmekte olup kayaçları oluşturan ana eriyiklerin alt-orta kıtasal kabuktan türediğini göstermektedir Şekil 17(b).

5.6 Tektonik konum

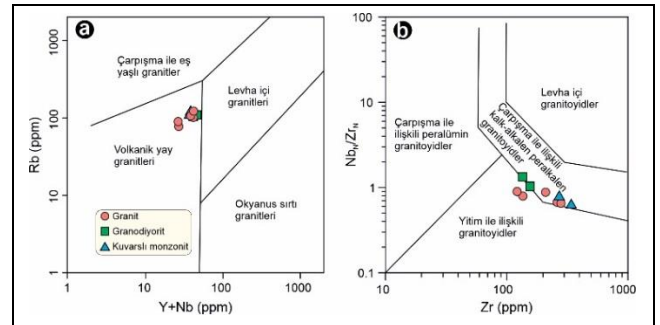
Güneydere granitik kayaçlarının Rb, Y ve Nb içerikleri "volkanik yay granitleri" ortamını ([83]) gösterirken Şekil 18(a), Nb ve Zr değerleri büyük oranda "çarpışma ile ilişkili kalk-alkalen-peralkalen granitoidler" ortamını [84] işaret etmektedir Şekil 18(b). Bununla birlikte, kayaçlarda element değerleri

geniş aralıklarda değişse bile, Th/Hf oranlarında bariz değişikliklerin gözlenmediği de de bilinmektedir [85].



Şekil 17. Granitlerin; (a): [82] ve (b): [93]'e göre köken ayırtman diyagramları.

Figure 17. Origin variation diagrams according to; (a): [82] and (b): [93] for granitic rocks.



Şekil 18. İncelenen granitlerin tektonik ayırtman diyagramları.

Figure 18. Tectonic discrimination diagrams for granitic rocks.

6 Sonuçlar

- 1) İncelenen granitik kayaçları ağırlıklı olarak granit ve aplit ile az oranda granodiyorit ve kuvarslı monzonit oluşturmaktadır. Başlıca minerallerini değişen oranlarda kuvars, plajiyoklaz, ortoklaz biyotit ve hornblend teşkil etmektedir,
- 2) Petrokimyasal olarak matalümin-peralümin karakteri, yüksek K içerikli kalk-alkali benzeri ve I-tipi bir kaynağı işaret etmektedir. Oluşumlarında başlıca plajiyoklaz+K-feldispat+hornblend±biyotit fraksiyonlaşması ve asimilasyon süreçleri etkili olmuştur. Bazı dokusal ve petrokimyasal özellikler granitik kayaçların gelişiminde magma karışım

(mixing) süreçlerinin de etkili olduğunu göstermektedir.

- 3) İz elementlerde gözlenen değişimler, kondrite normalize edilmiş NTE diyagramında gözlenen zenginleşmeler, yüksek SiO₂ (60.43-75.52) ve K₂O (3.02-4.43) içerikleri ile düşük Mg# (<42) ve yüksek Na₂O içerikleri (2.86-4.21) çalışılan kayaların ana magmasının muhtemelen mantodan türeyemeyeceğini, bunun yerine kabuksal kayaların kısmı ergimesinden türeyebileceğini işaret etmektedir,
- 4) Ana magmalarının amfibolit kökenli eriyiklerden türemiş olduğu, alt-orta kıtasal kabuktan kısmi ergime sonucu türeyen ergime ürünleri ile benzerlik gösterdiği ve kıtasal magma odasında farklılaşarak yerleştiği belirlenmiştir,
- 5) Örneklerin ZDS değerleri 768-846 °C ve 712-814 °C arasında değişmekte olup ilksel magma sıcaklıklarını düşük olduğunu, dolayısıyla bu değerlerin incelenen kayaların alt/orta kıtasal kabuktan türemiş eriyiklerden itibaren oluştuğunu desteklemektedir,
- 6) Tektonik konumları "volkanik yay granitleri" ortamı ile benzerlik göstermekte ve büyük oranda "çarpışma ile ilişkili kalk-alkalen-peralkalen granitoidler" ortamını işaret etmektedir. Tüm bu bulgular incelenen granitlerin çarpışma sonrası oluştuğunu ve volkanik yay ile ilişkili olduğunu göstermektedir.

7 Conclusions

- 1) Studied granitic rocks mainly consist of granite, aplite, granodiorite, and quartz monzonite. They are mainly consisting of quartz, plagioclase, orthoclase, biotite and hornblende minerals,
- 2) Petrochemically, the rocks have matalumin-peralumin character, high K calc-alkali affinity and are derived from an I-type source. Mainly plagioclase + K-feldspar + hornblende ± biotite fractionation and assimilation processes were effective in the formation of the rocks. Both textural and petrochemical features in the rocks showed that magma-mixing processes may have occurred in the formation of the granitic rocks,
- 3) The changes observed in trace elements, the enrichment in the chondrite normalized REE, high SiO₂ (60.43-75.52) and K₂O (3.02-4.43), low Mg# (<42) and high Na₂O (2.86-4.21) contents indicate that the main magma of granitic rocks cannot be derived from the mantle, but rather from partial melting of crustal rocks,
- 4) It has been revealed that the rocks are generally formed from a main magma derived from amphibolite and are the products of melting derived from the middle-lower continental crust. The findings show that they were differentiated and emplaced in the continental magma chamber,
- 5) The calculated zircon saturation temperatures (768-846 °C and 712-814 °C) reflect low primary magma temperatures and support that they are products of melting derived from the lower/middle continental crust.

- 6) It has been determined that the rocks are similar to volcanic arc granites and mostly exhibit the character of collision zone granitoids. In light of these data, it can be said that granitic rocks were formed tectonically after collision and are related to volcanic arcs.

8 Teşekkür

İkinci yazarın yüksek lisans tezinden üretilen bu çalışma Gümüşhane Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (GÜBAP) Koordinatörlüğü tarafından maddi olarak desteklenmiştir (Proje No: 21.E0115.07.02). Arazi çalışmalarındaki yardımlarından dolayı Jeoloji Yük. Müh. Ekrem SARI'ya, makalenin inceleme ve değerlendirme aşamalarındaki değerli katkı ve yorumlarından dolayı Baş Editör Doç. Dr. Fatma IŞIK, alan editörü Doç. Dr. Barış SEMİZ ve hakemlere, makalenin dizisinde emek veren Dergi Sekreteryasına ve Adnan ATLAY'a şükranlarımızı sunarız.

9 Yazar katkı beyanı

Yapılan çalışmalarda Mehmet Ali GÜCER fikrin oluşması ve tasarlanması, literatür çalışmaları, alanının jeolojisi ve araziden örnek derleme, analitik verilerin elde edilmesi ve değerlendirilmesinde; Zeynep DELİMEHMET fikrin oluşması, literatür çalışmaları, araziden örnek derleme, analitik verilerin elde edilmesi ve sonuçların değerlendirilmesinde; Okay ÇİMEN elde edilen verilerin değerlendirilmesi ve yorumlanması konularında katkı sunmuşlardır.

10 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

"Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur".
"Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır".

11 Kaynaklar

- [1] Şengör AMC, Yılmaz Y. "Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach". *Tectonophysics*, 75, 181-241, 1981.
- [2] Okay Aİ, Şahintürk Ö. *Geology of the Eastern Pontides*. Editors: Robinson AG. Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region, 291-311, Boulder, Tulsa: AAPG Bulletin, 1997.
- [3] Güven İH. "Doğu Karadeniz Bölgesi'nin 1/25.000 Ölçekli Jeolojisi ve Komplikasyonu Raporu". MTA, Ankara, Türkiye, 58, 1993.
- [4] Okay Aİ. "Geology of Turkey: A synopsis". *Anschnitt*, 21, 19-42, 2008.
- [5] Göncüoğlu MC. "Türkiye Jeolojisine Giriş: Alpin ve Alpin Öncesi Tektonik Birliklerin Jeodinamik Evrimi". MTA, Ankara, Türkiye, 5, 2010.
- [6] Okay Aİ, Tüysüz O. "Tethyan sutures of northern turkey. the mediterranean basin: tertiary extension within the alpine orogen". *Geological Society, London, Special Publications*, 156, 475-515, 1999.
- [7] Arslan M, Tüysüz N, Korkmaz S, Kurt H. "Geochemistry and petrogenesis of the eastern pontide volcanic rocks, Northeast Turkey". *Chemie der Erde-Geochemistry*, 57, 157-187, (1997).
- [8] Kaygusuz A, Şen C. "Calc-alkaline I-Type plutons in the Eastern Pontides, NE Turkey: U-Pb zircon ages, geochemical and Sr-Nd isotopic compositions". *Chemie der Erde Geochemistry*, 71, 59-75, 2011.

- [9] Aydınçakır E, Kaygusuz A. "Geç Kretase Yaşlı Dağbaşı (Araklı, Trabzon) volkanitlerinin petrografik ve jeokimyasal özellikleri, KD Türkiye". *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(2), 123-142, 2012.
- [10] Ceryan Ş, Tüdeş Ş, Ceryan N, Aydın A. "Kürtün Granodiyoriti'ndeki ayrıışmış kaya malzemesinin sınıflandırılmasında ve mühendislik özelliklerinin tahmin edilmesinde elastik dalga hızının kullanılması". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(2), 213-222, 2007.
- [11] Kaygusuz A, Aydınçakır E. "Mineralogy, whole-rock and Sr-Nd isotope geochemistry of mafic microgranular enclaves in Cretaceous Dağbaşı Granitoids, Eastern Pontides, NE Turkey: Evidence of magma mixing, mingling and chemical equilibration". *Chemie der Erde-Geochemistry*, 69, 247-277, 2009.
- [12] Kaygusuz A, Aydınçakır E. "U-Pb zircon SHRIMP ages, geochemical and Sr-Nd isotopic compositions of Cretaceous plutons in the eastern Pontides (NE Turkey): The Dağbaşı plüton". *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen*, 188(3), 211-233, 2011.
- [13] Aydın F. "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, 2014.
- [14] Yücel C, Arslan M, Temizel İ, Abdioğlu Yazar E. "Volcanic facies and mineral chemistry of Tertiary volcanics in the northern part of the Eastern Pontides northeast Turkey implications for pre eruptive crystallization conditions and magma chamber processes". *Mineralogy and Petrology*, 108 (3), 439-467, 2014.
- [15] Aydınçakır E. "Subduction-related Late Cretaceous high-K volcanism in the Central Pontides orogenic belt: Constraints on geodynamic implications". *Geodinamica Acta*, 28(4), 379-411, 2016.
- [16] Sipahi F, Gücer MA, Sadıklar MB. "Zigana Dağı (Gümüşhane, KD Türkiye) Dayklarının Jeokimyası ve Jeolojik Anlamı". *Yerbilimleri*, 40(3), 293-325, 2019.
- [17] Sipahi F, Kaygusuz A, Saydam Eker Ç, Vural A, Akpınar İ. "Late cretaceous arc igneous activity: The eğrikar monzogranite example". *International Geology Review*, 60(3), 382-400, 2018.
- [18] Karlı O, Dokuz A, Kandemir R. "Zircon Lu-Hf isotope systematics and U-Pb geochronology, whole-rock Sr-Nd isotopes and geochemistry of the early Jurassic Gokcedere pluton, Sakarya Zone-NE Turkey: a magmatic response to roll-back of the Paleo-Tethyan oceanic lithosphere". *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 172, 1-27, 2017.
- [19] Karlı O, Aydın F, Uysal I, Dokuz A, Kumral M, Kandemir R, Budakoglu M, Ketenci M. "Latest Cretaceous "A2-type" granites in the Sakarya Zone, NE Turkey: Partial melting of mafic lower crust in response to roll-back of Neo-Tethyan oceanic lithosphere". *Lithos*, 302-303, 312-328, 2018.
- [20] Kaygusuz A, Arslan M, Temizel İ, Yücel C, Aydınçakır E. "U-Pb zircon ages and petrogenesis of the Late Cretaceous I-type granitoids in arc setting, Eastern Pontides, NE Turkey". *Journal of African Earth Sciences*, 174, 1-25, 2021.
- [21] Eyüboğlu Y. "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, 2010.
- [22] Gülmez F, Genc S.C. "Amasya civarı geç kretase yaşlı ultrapotasik volkaniklerinde farklılaşma süreçleri". *Maden Teknik Arama Dergisi*, 151, 153-172, 2015.
- [23] Çoğulu E. Gümüşhane ve Rize Granitik Plütonlarının Mukayeseli Petrolojik ve Jeokronometrik Etüdü. Doçentlik Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1975.
- [24] Topuz G, Altherr R, Wolfgang S, Schwarz WH, Zack T, Hasanözbek A, Mathias B, Satır M, Şen C. "Carboniferous high-potassium I-type granitoid magmatism in the Eastern Pontides: The Gümüşhane pluton (NE Turkey)". *Lithos*, 116, 92-110, 2010.
- [25] Ustaömer T, Robertson HFA. "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, 2010.
- [26] Dokuz A. "A salb detachment and delemantion model for the generation of Carboniferous high potassium I-type magmatism in the Eastern Pontides: The Köse composite Pluton". *Gondwana Research*, 19, 926-944, 2011.
- [27] Kaygusuz A, Arslan M, Siebel W, Sipahi F, İlbeyli N. "Geochronological evidence and tectonic significance of Carboniferous magmatism in the southwest Trabzon area, eastern Pontides, Turkey". *International Geology Review*, 54 (15), 1776-1800, 2012.
- [28] Kaygusuz A, Arslan M, Sipahi F, Temizel İ. "U-Pb zircon chronology and petrogenesis of Carboniferous plutons in the northern part of the Eastern Pontides, NE Turkey: Constraints for Paleozoic magmatism and geodynamic evolution". *Gondwana Research*, 39, 327-346, 2016.
- [29] Karlı O, Dokuz A, Kandemir R. "Subduction-related Late Carboniferous to Early Permian Magmatism in the Eastern Pontides, the Camlik and Casurluk plutons: Insights from geochemistry, whole-rock Sr-Nd and in situ zircon Lu-Hf isotopes, and U-Pb geochronology". *Lithos*, 266, 98-114, 2016.
- [30] Kaygusuz A. "Geochronological age relationships of Carboniferous Plutons in the Eastern Pontides (NE Turkey)". *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 9(1), 1299-1307, 2020.
- [31] Gücer MA, Sarı E. "Karbonifer pamuktaş plütonu'nun petrografisi, jeokimyası ve petrolojik özellikleri, Bayburt (KD Türkiye)". *Yerbilimleri*, 42(1), 85-120, 2021.
- [32] Topuz G, Altherr R, Kalt A, Satır M, Wemer O, Schwarz WH. "Aluminous granulites from the Pulur complex, NE Turkey: a case of partial melting, efficient melt extraction and crystallization". *Lithos*, 72, 183-207, 2004.
- [33] Topuz G, Altherr R, Schwarz WH, Dokuz A, Meyer HP. "Variscan amphibolite-facies rocks from the Kurtoğlu metamorphic complex. Gümüşhane area, Eastern Pontides, Turkey". *International Journal of Earth Sciences*, 96, 861-873, 2007.
- [34] Yılmaz S, Boztuğ D. "Space and time relations of three plutonic phases in the Eastern Pontides, Turkey". *International Geology Review*, 38, 935-956, 1996.
- [35] Bergougnan H. Etudes géologiques dans Test-Anatolien. Doktora Tezi (Yayımlanmamış). Université de Pierre et Marie Curie, Paris, 1987.

- [36] Ustaömer T, Robertson AHF, Ustaömer PA, Gerdes A, Peytcheva I. "Constraints on Variscan and Cimmerian magmatism and metamorphism in the Pontides (Yusufeli-Artvin area), NE Turkey from U-Pb dating and granite geochemistry". *Geological Society London Special Publications*, 49-74, 2013.
- [37] Kandemir R, Yılmaz C. "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, 2009.
- [38] Dokuz A, Tanyolu E. "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, 2006.
- [39] Pelin S. *Alucra (Giresun) Güneydoğu Yöresinin Petrol Olanakları Bakımından Jeolojik İncelemesi*. Yayın No. 87. Trabzon, Türkiye, Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayınları, 1977.
- [40] Yılmaz Y, Tüysüz O, Yiğitbaş E, Genc ŞC, Şengör AMC. *Geology and Tectonics of the Pontides*. Editors: Robinson AG, Regional and petroleum geology of the Black Sea and Surrounding Region, 183-226, Boulder, Tulsa, USA, AAPG Press, 1997.
- [41] Kaygusuz A, Sipahi F, İlbeyli N, Arslan M, Chen B, Aydınçakır E. "Petrogenesis of the Late cretaceous Turnagöl intrusion in the eastern pontides: implications for magma genesis in the arc setting". *Geoscience Frontiers*, 4, 423-438, 2013.
- [42] Gücer MA. "Origin, petrogenesis and geodynamic implications of the early Eocene Altınpınar adakitic andesites in the eastern Sakarya Zone, northeastern Turkey". *Geochemistry*, 81(2), 1-21, 2021.
- [43] Saydam Eker Ç, Akpınar İ, Sipahi F. "Organic geochemistry and element distribution in coals formed in Eocene lagoon facies from the Eastern Black Sea Region, NE Turkey". *Turkish Journal of Earth Sciences*, 25, 467-489, 2016.
- [44] Keskin İ, Korkmaz S, Gedik İ, Ateş M, Gök L, Küçümen Ö, Erkal T. "Bayburt Dolayının Jeolojisi MTA Raporu". Ankara, Türkiye, 8995, 1989.
- [45] Gücer MA, Arslan M, Sherlock SC, Heaman LM. "Permo-Carboniferous granitoids with Jurassic high temperature metamorphism in Central Pontides, Northern Turkey". *Mineralogy and Petrology*, 110(6), 943-964, 2016.
- [46] Gücer MA, Arslan M, Çimen O, Sherlock SC. "Petrology and ^{40}Ar - ^{39}Ar dating of paragneisses from the Devrekani Massif (Central Pontides, Northern Turkey): Implications for the Jurassic high-T metamorphism in an extensional tectonic environment". *Journal of Asian Earth Sciences*, 181, 1-17, 2019
- [47] Janoušek V, Farrow CM, Erban V. "Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: introducing Geochemical Data Toolkit (GCDkit)". *Journal of Petrology*, 47(6), 1255-1259, 2006.
- [48] Middlemost EA. "Naming materials in the magma/igneous rock system". *Earth-Science Reviews*, 37, 215-224, 1994.
- [49] Peccerillo A, Taylor SR. "Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey". *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58, 63-81, 1976.
- [50] Irvine TN, Baragar WRA. "A guide to chemical classification of the common volcanic rocks". *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8, 523-548, 1971.
- [51] Shand SJ. *Eruptive Rocks. Their Genesis, Composition, Classification, and Their Relation to Ore-Deposits with a Chapter on Meteorite*. 3rd ed. New York, USA, Wiley, 1943.
- [52] Sun S, McDonough WF. "Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes". *Geological Society, London, Special Publications*, 42, 313-345, 1989.
- [53] Boynton WV. *Cosmochemistry of the Rare Earth Elements: Meteorite Studies*. Editors: Henderson P. Rare Earth Element Geochemistry, 63-114, Amsterdam, Netherlands, Elsevier Press, 1984.
- [54] McLennan SM. *Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes*. Editors: Lipin BR, MacKay GA. Geochemistry and mineralogy of rare earth elements, 169-200, Chantilly, VA, USA, MSA Press, 1989.
- [55] Watson EB, Harrison M. "Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. *Earth and Planetary Science Letters*, 64, 295-304, 1983.
- [56] Boehnke P, Watson EB, Trail D, Harrison TM, Schmitt AK. "Zircon saturation re-revisited". *Chemical Geology*, 351, 324-334, 2013.
- [57] Harrison TM, Watson EB. "The behavior of apatite during crustal anatexis: Equilibrium and kinetic considerations". *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, 1467-1477, 1984.
- [58] Pichavant M, Montel J.-M, Richard LR. "Apatite solubility in peraluminous liquids: experimental data and an extension of the Harrison-Watson model". *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56, 3855-3861, 1992.
- [59] Patiño Douce AE, Johnston AD. "Phase equilibria and melt productivity in the pelitic system: implications for the origin of peraluminous granitoids and aluminous granulites". *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 107, 202-218, 1991.
- [60] Daniel C, Aydar E, Gourgaud A. "The Hasan Dagi stratovolcano (Central Anatolia, Turkey): evolution from calc-alkaline to alkaline magmatism in a continental collision zone". *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 87, 275-302, 1998.
- [61] Lai SC, Liu CY, Yi HS. "Geochemistry and petrogenesis of Cenozoic andesite-dacite associations from the Hoh Xil region, Tibetan Plateau". *International Geology Review*, 45, 998-1019, 2003.
- [62] Thirlwall MF, Smith TE, Graham AM, Theodorou N, Hollings P, Davidson JP. "High field strength element anomalies in ARC lavas: source or processes". *Journal of Petrology*, 35, 819-838, 1994.
- [63] Rollinson HR. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. 1st ed. New York, USA, Wiley, 1993.
- [64] Mahood G, Hildreth W. "Large Partition Coefficients for Trace Elements in Highsilica Rhyolites". *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47, 11-30, 1983.
- [65] Taylor SR, McLennan SM. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. 1st ed. Oxford, UK, Blackwell Scientific Publications, 1985.

- [66] Pearce JA. *The Role of Sub-Continental Lithosphere in Magma Genesis at Destructive Plate Margins*. Editors: Hawkesworth CJ, Norry MJ. Continental basalts and mantle xenoliths, 230-249, Cheshire, UK, Shiva Publishing, 1983.
- [67] Fernandez AN, Barbarin B. *Relative Rheology of Coeval Mafic and Felsic Magmas: Nature of Resulting Interaction Processes And Shape And Mineral Fabric of Mafic Microgranular Enclaves*. Editors: Didier J, Barbarin B. Enclaves and granite petrology, 263-275, Amsterdam, Netherlands, Elsevier, 1991.
- [68] Didier J, Barbarin B. *Enclaves and Granite Petrology*, 1st ed. Amsterdam, Netherlands, Elsevier, 1991.
- [69] Maia de Hollanda MHB, Pimentel MM, Jardim de Sá EF. "Paleoproterozoic subduction-related metasomatic signatures in the lithospheric mantle beneath NE Brazil: inferences from trace element and Sr-Nd-Pb isotopic compositions of Neoproterozoic high-K igneous rocks". *Journal of South American Earth Sciences*, 15, 885-900, 2003.
- [70] Li XH, Li WX, Li ZX, Lo CH, Wang J, Ye MF, Yang YH. "Amalgamation between the Yangtze and Cathaysia Blocks in South China: constraints from SHRIMP U-Pb zircon ages, geochemistry and Nd-Hf isotopes of the Shuangxiwu volcanic rocks". *Precambrian Research*, 174, 117-128, 2009.
- [71] Roberts MP, Clemens JD. "Origin of high-potassium, calcalkaline, I-type granitoids". *Geology*, 21, 825-828, 1993.
- [72] Ackerman L, Krňanská M, Siebel W, Strnad L. "Geochemistry of the drahotín and mutěňín intrusions, west bohemian shear zone, bohemian massif: contrasting evolution of mantle-derived melts". *Mineralogy and Petrology*, 99, 185-199, 2010.
- [73] Grove TL, Donnelly-Nolan JM. "The evolution of young silicic lavas at medicine lake volcano, california: implications for the origin of compositional gaps in calc-alkaline series lavas". *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 92, 281-302, 1986.
- [74] Bacon CR, Druitt TH. "Compositional evolution of the zoned calc-alkaline magma chamber of mount mazama, crater lake, oregon". *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 98, 224-256, 1988.
- [75] Şen C, Dunn T. "Dehydration melting of a basaltic composition amphibolites at 1.5 and 2.0 GPa: implications for the origin of adakites". *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 117, 394-409, 1994.
- [76] Barbarin B. "A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments". *Lithos*, 46, 605-626, 1999.
- [77] Chen B, Jahn BM, Zhai MG. "Sr-Nd isotopic characteristics of the mesozoic magmatism in the taihang-yanshan orogen, North China craton, and implications for archaic lithosphere thinning". *Journal of the Geological Society London*, 160, 963-970, 2003.
- [78] Karlı O, Chen B, Aydın F, Şen C. "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, 2007.
- [79] Yang JH, Fu Y, Wu FY, Wilde SA, Xie LW, Yang YH, Liu XM. "Tracing magma mixing in granite genesis: in Situ U-Pb dating and Hf-Isotope analysis of zircons". *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 153, 177-190, 2007.
- [80] Eby GN. "Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenetic and tectonic implications". *Geology*, 20, 641-644, 1992.
- [81] Green TH. "Significance of Nb/Ta as an indicator of geochemical processes in the crust-mantle system". *Chemical Geology*, 120, 347-359, 1995.
- [82] Patiño Douce AE. "What do experiments tell us about the relative contributions of crust and mantle to the origin of granitic magmas". *Geological Society of London Special Publication*, 168(1), 55-75, 1999.
- [83] Pearce JA, Harris NBW, Tindle AG. "Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks". *Journal of Petrology*, 25, 956-983, 1984.
- [84] Thiéblemont D, Tégnyey M. "Une discrimination géochimique des roches différenciées témoin de la diversité d'origine et de situation tectonique des magmas calcio-alkalins". *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 319, 87-94, 1994.
- [85] McLennan SM, Taylor SR. *Archean Sedimentary Rocks and Their Relation to the Composition of the Archean Continental Crust*. Editors: Kröner A, Hanson GN, Goodwin AM. Archean geochemistry, 42-72, Berlin, Germany, Springer, 1984.
- [86] Bea F, Fershtater GB, Corretgé LG. "The geochemistry of phosphorus in granite rocks and the effects of aluminium". *Lithos*, 48, 43-56, 1992.
- [87] Kurt H, Koçak K, Asan K, Karakaş M. "Niğde, Elmalı Güneyi s-tipi biyotit granitoidleri ve anklavlarının petrolojisi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(2), 249-258, 2006.
- [88] Lai SC, Liu CY, Yi HS. "Geochemistry and petrogenesis of Cenozoic andesite-dacite associations from the hoh xil region, tibetan plateau". *International Geology Review*, 45, 998-1019, 2003.
- [89] Kaygusuz A, Guloglu ZS. "Petrographical, Geochemical and Petrological Characteristics of the Mafic Microgranular Enclaves in the Arpaköy (Kürtün/Gümüşhane) Granitoid". *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 11(1), 1982-1997, 2022.
- [90] Kaygusuz A, Arslan M, Temizel İ, Yücel C, Aydınçakır E. "U-Pb zircon ages and petrogenesis of the late cretaceous I-type granitoids in arc setting, Eastern Pontides, NE Turkey". *Journal of African Earth Sciences*, 174, 1-25, 2021.
- [91] Kaygusuz A, Aydınçakır E, Yücel C, Atay HE. "Petrographic and geochemical characteristics of Carboniferous plutonic rocks around Erenkaya (Gümüşhane, NE Turkey)". *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 10(2), 1774-1788, 2021.
- [92] Dokuz A, Gücer MA, Karlı O, Yi K. "From cadomian back-arc basin to rheic ocean closure: The geochronological records of the Kurtoğlu Massif, eastern Sakarya Zone, Turkey". *International Journal of Earth Sciences*, 111(4), 1333-1355, 2022.
- [93] Rudnick RL, Gao S. *Composition of the Continental Crust*. Editors: Holland HD, Turekian KK. Treatise on Geochemistry, 1-64, Oxford, UK, Elsevier-Pergamon, 2003.

Ek Tablo 1

Appendix Table 1

Ek Tablo 1: İncelenen granitik kayaların ana (%ağ.), iz (ppm) ve nadir toprak element (ppm) analiz sonuçları.

Appendix Table 1: Major oxide (wt%), trace (ppm) and rare earth element (ppm) analysis results of the studied granitic rocks.

Örnek No	A1	A4	A5	A8	AK3	A6	A6B	A3	A7
	Granit				Granodiyorit			Kuvarslı Monzonit	
SiO ₂	71.56	73.97	75.51	72.16	70.95	66.49	67.96	60.43	64.19
Al ₂ O ₃	13.73	12.56	13.04	13.98	13.58	13.83	14.18	16.16	15.09
Fe ₂ O ₃ *	3.69	4.33	2.38	3.25	4.17	4.75	5.09	6.31	6.38
MgO	0.09	0.19	0.12	0.08	0.29	1.77	1.48	0.87	1.82
CaO	0.69	0.54	0.43	0.30	0.60	2.92	2.31	1.99	1.41
Na ₂ O	4.05	3.51	3.87	4.21	3.56	2.86	3.13	4.20	3.40
K ₂ O	4.43	3.14	3.02	4.06	4.35	4.08	3.57	3.83	4.08
TiO ₂	0.13	0.15	0.17	0.24	0.15	0.44	0.50	0.60	0.62
P ₂ O ₅	0.02	0.04	0.03	0.05	0.01	0.11	0.10	0.15	0.15
MnO	0.06	0.06	0.03	0.04	0.07	0.14	0.10	0.08	0.11
Cr ₂ O ₃	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
A.K.	1.10	1.20	1.20	1.40	1.80	2.20	1.30	5.10	2.40
Toplam	99.86	99.85	99.91	99.89	99.78	99.75	99.83	99.83	99.81
Ba	2902	1118	941	1327	1934	887	883	1048	1168
Sc	8.00	4.00	4.00	8.00	7.00	8.00	9.00	13.00	12.00
Be	1.00	<1	2.00	3.00	1.00	2.00	3.00	4.00	2.00
Co	1.40	3.10	1.40	2.20	1.90	6.40	7.10	6.70	9.40
Ni	10.00	13.80	9.30	10.70	13.10	9.00	9.50	10.70	19.30
Cs	1.30	1.50	1.20	1.10	6.60	3.30	3.70	2.30	3.40
Ga	21.10	14.30	15.10	18.20	19.30	17.30	19.10	20.50	18.80
Hf	7.80	3.80	4.00	6.20	7.40	4.40	4.00	8.10	7.20
Nb	11.70	7.00	6.90	11.80	11.30	10.30	11.50	13.50	13.50
Rb	99.30	85.50	77.20	107.20	121.20	110.70	110.10	115.70	123.20
Sn	6.00	6.00	3.00	4.00	6.00	4.00	5.00	3.00	3.00
Sr	90.20	121.70	114.00	159.70	101.90	300.90	331.60	217.30	241.50
Ta	0.60	0.40	0.40	0.80	0.60	0.80	1.10	0.70	0.80
Th	16.50	8.80	8.10	15.50	15.60	17.60	14.90	10.10	14.20
U	2.70	2.60	1.70	2.70	3.30	2.50	2.40	2.30	2.90
V	<8	9.00	15.00	11.00	<8	38.00	39.00	41.00	53.00
W	1.30	1.20	1.30	1.20	1.10	0.70	1.40	1.00	1.90
Zr	282.40	122.70	136.90	210.80	268.50	157.00	135.90	343.30	273.40
Y	30.40	19.70	20.20	26.80	30.90	26.10	24.70	27.20	28.10
La	99.30	28.00	30.30	44.40	83.00	48.40	44.30	39.50	53.40
Ce	177.40	51.50	54.80	88.10	149.40	93.90	82.60	77.00	102.10
Pr	19.16	5.80	5.84	9.47	16.69	10.99	9.60	9.27	11.91
Nd	64.70	21.40	20.60	35.40	58.80	39.30	35.10	34.20	43.30
Sm	9.89	3.90	3.74	6.34	9.77	7.30	6.48	6.87	7.85
Eu	1.33	0.71	0.71	0.97	1.43	1.10	1.02	1.38	1.27
Gd	7.66	3.64	3.50	5.57	7.58	6.00	5.63	6.05	7.00
Tb	1.04	0.54	0.53	0.80	1.05	0.87	0.84	0.90	0.97
Dy	5.95	3.42	3.24	4.63	6.12	4.90	4.61	5.06	5.51
Ho	1.18	0.70	0.74	0.97	1.15	0.91	1.02	1.03	1.08
Er	3.50	2.12	2.33	2.78	3.32	2.66	2.81	3.00	3.06
Tm	0.52	0.34	0.34	0.45	0.50	0.38	0.38	0.43	0.42
Yb	3.48	2.25	2.51	2.99	3.28	2.61	2.63	2.82	2.73
Lu	0.54	0.37	0.40	0.49	0.50	0.39	0.40	0.44	0.43
Mg#	4.61	8.00	9.08	4.65	12.11	42.47	36.55	21.45	36.11
A/CNK	1.08	1.24	1.25	1.18	1.17	0.96	1.07	1.10	1.20
Eu/Eu*	0.47	0.58	0.60	0.50	0.51	0.51	0.52	0.65	0.52

Fe₂O₃*: Fe₂O₃ cinsinden toplam demir. A.K. (Ateşte Kayıp): Toplam uçucu içeriği. Mg# = molar MgO / molar (MgO+FeO*)x100. Eu/Eu* = Eu_N / √(Sm_NxGd_N), N= Kondrit değerleri [53].

Ek Tablo 2

Appendix Table 2

Ek Tablo 2: İncelenen granitik kayaların tüm kayaç zirkon ve apatit jeotermometresi.

Appendix Table 2: Whole-rock zircon and apatite geothermometry of the studied granitic rocks.

Örnek No	M	Zr.sat ¹	T °C (zirkon) ²	Zr.sat ³	T °C (zirkon) ⁴	A/CNK	T °C (apatit) ⁵	T °C (apatit) ⁶
A1	1.359	101	841	170	806	1.1	777	724
A3	1.522	116	846	205	806	1.1	839	750
A4	1.136	84	782	131	743	1.2	857	694
A5	1.109	82	794	127	758	1.3	847	679
A6	1.623	126	768	231	712	1.0	877	
A6B	1.431	107	770	185	719	1.1	883	828
A7	1.343	100	839	167	804	1.2	884	715
A8	1.236	91	823	147	789	1.2	860	735
AK3	1.256	93	845	151	814	1.2	719	610

M: Katyonik oran $[100x(\text{Na}+\text{K}+2\text{Ca})/(\text{Al.Si})]$. 1: Zirkon saturasyonu ve 2: Zirkon jeotermometresi [55], 3: Zirkon saturasyonu ve 4: Zirkon jeotermometresi [56], 5: Apatit jeotermometresi [57] ve 6: Apatit jeotermometresi [86]'e göre hesaplanmıştır.