



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Pertek (Tunceli) kuzeybatısındaki geç kretase diyoritik gabroların petrografik, jeokimyasal ve jeotermobarometrik özellikleri

Petrographic, geochemical and geothermobarometric characteristics of the late cretaceous dioritic gabbros in the northwestern Pertek (Tunceli)

Yazar(lar) (Author(s)): Mehmet Ali ERTÜRK

ORCID: 0000-0003-1197-9202

To cite to this article: Ertürk M., “Pertek (Tunceli) Kuzeybatısındaki Geç Kretase Diyoritik Gabroların Petrografik, Jeokimyasal ve Jeotermobarometrik Özellikleri”, *Journal of Polytechnic*, 28(5): 1469-1484, (2025).

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz: Ertürk M., “Pertek (Tunceli) Kuzeybatısındaki Geç Kretase Diyoritik Gabroların Petrografik, Jeokimyasal ve Jeotermobarometrik Özellikleri”, *Politeknik Dergisi*, 28(5): 1469-1484, (2025).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.1717879

Pertek (Tunceli) Kuzeybatısındaki Geç Kretase Diyoritik Gabroların Petrografik, Jeokimyasal ve Jeotermobarometrik Özellikleri

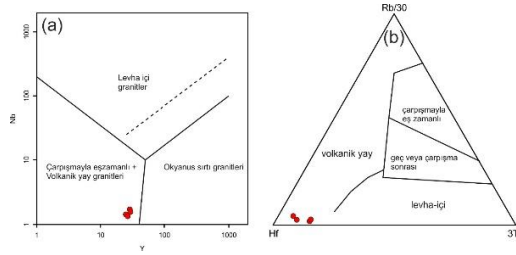
Petrographic, Geochemical and Geothermobarometric Characteristics of The Late Cretaceous Dioritic Gabbros in The Northwestern Pertek (Tunceli)

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Toleyitik, metaliminüs karakterli ve yay tipi magmatizma kökenli diyoritik gabrolar. / Tholeiitic, metaluminous dioritic gabbros of arc-related magmatic origin.

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Pertek (Tunceli) kuzeybatısındaki Geç Kretase diyoritik gabrolar, mineralojik ve kimyasal veriler ışığında aktif yay ortamında kristallenmiş mafik magmaların ürünüdür. / The Late Cretaceous dioritic gabbros in northwestern Pertek (Tunceli) represent mafic magmas crystallised in an active arc setting based on mineralogical and geochemical evidence.



Şekil 8. (a) Y-Nb diyagramı [37] ve (b) Hf-Rb/30-3Ta üçgen diyagramı [39]. / Figure 8. Y-Nb diagram [37] (a) and Hf-Rb/30-3Ta ternary diagram [39].

Amaç (Aim)

Diyoritik gabroların kökeni ve kristallenme koşullarını ortaya koymak. / To reveal the origin and crystallisation conditions of the dioritic gabbros.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Petrografik inceleme, tüm kayaç analizleri ve plajiyoklas-amfibol temelli jeotermobarometri uygulanmıştır. / Petrographic examination, whole rock analyses and plagioclase-amphibole based geothermobarometry were applied.

Özgünlük (Originality)

Bölgedeki gabrolar için mineral kimyası ve jeotermobarometri birlikte ele alınan ilk çalışmadır. / First study combining mineral chemistry and geothermobarometry for the gabbros of the area.

Bulgular (Findings)

Diyoritik gabrolar yay tipi toleyitik magmadan türemiş olup plajiyoklas derinde (~11 kbar), amfibol sığda (~2 kbar) kristallenmiştir. / The dioritic gabbros derived from arc-related tholeiitic magma, with plagioclase crystallising at depth (~11 kbar) and amphibole at shallow levels (~2 kbar).

Sonuç (Conclusion)

Kayaçlar Neotetis'in kapanması sırasında yitim ile ilişkili bir yay ortamını temsil etmektedir. / The rocks represent a subduction-related arc setting during the closure of the Neotethys.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Pertek (Tunceli) Kuzeybatısındaki Geç Kretase Diyoritik Gabroların Petrografik, Jeokimyasal ve Jeotermobarometrik Özellikleri

Araştırma Makalesi / Research Article

Mehmet Ali ERTÜRK

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü 23119 Merkez, Elazığ, Türkiye
(Geliş/Received : 12.06.2025 ; Kabul/Accepted : 31.07.2025 ; Erken Görünüm/Early View : 25.08.2025)

ÖZ

Doğu Anadolu'da yer alan Güneydoğu Anadolu Orojenik Kuşağı'nın bir parçası olan Pertek (Tunceli) kuzeybatısında yüzeylenen Geç Kretase yaşlı diyoritik gabbro intrüzyonları orta-iri taneli kristalin dokuda olup, başlıca plajiyoklas, amfibol ve daha az oranda piroksen minerallerinden oluşmaktadır. Diyoritik gabrolar toleyitik seri karakterinde, mafik bileşimli ve metaliminüs özelliktedir. İz element diyagramlarında büyük iyon yarıçaplı litofil elementlerde pozitif anomaly gözlenirken Nb, Ta ve Ti elementlerinde ise negatif anomaliler gözlenmektedir. Bu durum magmanın bir yitim zonu ortamında gelişmiş olabileceğini göstermektedir. NTE desenleri ise yatay bir görüntü sergilemekte olup, HNTE açısından ise sınırlı bir zenginleşme gözlenmektedir. Bu durum oluşumda spinel-faz kontrollü, yüksek dereceli kısmi ergime süreçlerinin etkili olduğunu düşündürmektedir. Plajiyoklas ve amfibole ait jeotermobarometrik hesaplamalar kristallenme koşullarını ortaya koyarak; plajiyoklaslar için sıcaklık ~1284 °C, basınç ~11 kbar ve amfiboller için ise sıcaklık 955–1037 °C, basınç ise 1.87–2.12 kbar arasında belirlenmiştir. Bu değerler plajiyoklasların derinde ve amfibollerin daha sığ derinlikte kristallendiklerine işaret etmektedir. Tektonik ayrım diyagramları, kayaçların aktif bir yay magmatizması ortamında oluştuğunu açıkça ortaya koymaktadır. Çalışmada elde edilen tüm bulgular, Geç Kretase'de Neotetis'in güney kolunun kapanımı sürecinde aktifleşen yitim zonuna bağlı mafik magmatizmanın, Pertek kuzeybatısında gelişen diyoritik gabrolarla temsil edildiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Pertek (Tunceli), Geç Kretase, yay tipi magmatizma, jeotermobarometre.

Petrographic, Geochemical and Geothermobarometric Characteristics of The Late Cretaceous Dioritic Gabbros in The Northwestern Pertek (Tunceli)

ABSTRACT

The northwestern Pertek region (Tunceli), located within the Eastern Anatolia segment of the Southeastern Anatolian Orogenic Belt, is characterised by Late Cretaceous dioritic gabbro intrusions. These intrusive rocks exhibit medium to coarse-grained crystalline textures and are mainly composed of plagioclase and amphibole, with minor amounts of pyroxene. The dioritic gabbros display tholeiitic affinity, mafic compositions, and metaluminous character. Trace element diagrams show pronounced positive anomalies in large-ion lithophile elements (LILE) such as Cs, Rb, Ba, Th, and U, whereas negative anomalies are evident in high field strength elements (HFSE) such as Nb, Ta, and Ti, suggesting a subduction-related magmatic setting. Chondrite-normalised rare earth element (REE) patterns are relatively flat, with limited enrichment in light rare earth elements (LREE), indicating high-degree partial melting under spinel-facies control. Geothermobarometric calculations based on plagioclase–melt and amphibole chemistry reveal crystallisation conditions, with plagioclase indicating high temperatures (~1284 °C) and pressures (~11 kbar), while amphiboles crystallised at lower temperatures (955–1037 °C) and shallower pressures (1.87–2.12 kbar). These values suggest that plagioclase formed at deeper levels and amphibole crystallised during later, shallower stages of magma evolution. Tectonomagmatic discrimination diagrams indicate that the rocks were emplaced in an active arc magmatic setting. Overall, the findings demonstrate that the dioritic gabbros of northwestern Pertek represent mafic magmatism associated with a subduction zone active during the closure of the southern branch of the Neotethys in the Late Cretaceous.

Keywords: Pertek (Tunceli), Late Cretaceous, arc-related magmatism, geothermobarometer.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Plütonik kayaçlar, kıtasal kabuğun evrimini anlamada jeolojik birer kayıt birimi olup, özellikle yay tipi ve çarpışma sonrası magmatik süreçlerin çözülmesinde kritik veriler sunar [1,2]. Güneydoğu Anadolu Orojenik Güneydoğu Anadolu Orojenik Kuşağı (GAOK),

Türkiye'nin güneydoğusunda Elazığ, Malatya, Tunceli, Bingöl ve Bitlis illerini kapsayan yaklaşık 1000 km uzunluğunda uzanan önemli bir jeotektonik zon olarak tanımlanmaktadır [3-5]. Bu kuşak, kuzeyde Orta Eosen–Geç Miyosen yaşlı volkanik ve sedimanter örtü birimleriyle, güneyde ise Neoproterozoik'ten Erken Miyosen'e kadar uzanan Arap levhasına ait yapılarla

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : erturkmae@gmail.com

sınırlandırılmaktadır [6]. GAOK, farklı kökene sahip tektonostratigrafik birimlerin üst üste binmesiyle oluşan karmaşık yapısal bileşimiyle dikkat çeker [6]. Bu karmaşık tektonostratigrafik yapı, Neotetis'e ait ofiyolit dizileri, yay tipi magmatik ürünler, çarpışma sonrası gelişen granitoid intrüzyonlar ve farklı kökenli metamorfik birimlerden oluşmaktadır. Kuşağın jeodinamik evrimi, Geç Kretase döneminde güneydeki okyanusal litosferin kuzeye doğru dalmasıyla başlamış; bu süreçle birlikte yay magmatizması, okyanus kabuğunun dalması ve sonrasında gelişen kıtasal çarpışma ile ilişkili magmatik olaylar gözlenmiştir [4,7-10].

Bu çalışmada, GAOK'da yer alan Pertek yöresinin kuzeybatısında yüzeylenen Geç Kretase yaşlı diyoritik gabroların petrografik özellikleri, jeokimyasal bileşimleri ve mineral kimyası ayrıntılı olarak incelenerek magmatik evrim süreci boyunca geçirdiği kristallenme koşulları, kaynak bileşimi ve geliştiği tektonik ortam ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Bulguların, bölgedeki yay tipi magmatizmanın ve buna eşlik eden tektonik süreçlerin anlaşılmasına katkı sağladığı düşünülmektedir.

2. BÖLGESEL JEOLJİ ve PETROGRAFI (REGIONAL GEOLOGY and PETROGRAPHY)

Çalışma alanı, Doğu Anadolu'nun önemli jeolojik birimleri arasında yer alan Elazığ-Tunceli illeri sınırındaki Pertek yöresinde, Keban Baraj Gölü'nün kuzey kıyısında yer almaktadır (Şekil 1). Saha, Alp-Himalaya orojenik kuşağının bir parçası olan GAOK da yer almakta olup, özellikle Neotetis'in güney kolunun Geç Kretase döneminde kapanmasına bağlı olarak gelişen magmatizma, skarnlaşma ve metamorfizma süreçlerinin önemli kayıtlarını sunmaktadır [11-12].

Çalışma alanındaki temel kayaç topluluğu Keban Metamorfikleri'nden oluşmakta olup, bu birim başlıca mermer, kalkışist, fillit ve metakonglomera litolojilerinden meydana gelmektedir. Permiyen-Kretase yaşlı olarak tanımlanan Keban Metamorfikleri, bölgenin temelini oluşturur ve Elazığ Magmatik Kompleksi ile tektonik dokanıklı olarak gözlenir [11-12].

Keban Metamorfikleri'ni diskordansla örten Elazığ Magmatik Kompleksi, çalışma alanının önemli bir kısmını kaplamakta olup, gabro, diyorit, granodiyorit, kuvars monzodiyorit ve granit gibi plütonik kayaçlardan oluşmaktadır [4]. Bu kompleks, okyanus içi yay ortamında gelişmiş üç evreli bir magmatik aktiviteyle ilişkili olarak tanımlanmış ve Geç Kretase (80-77 Ma) yaşlı olarak tarihlendirilmiştir [4]. Söz konusu magmatizma, yitimle ilişkili metaliminüs, kalk-alkalin karakterde olup, skarnlaşma süreçlerine kaynaklık edecek ısı ve kimyasal girdiyi sağlamıştır [11-12]. Arazi çalışmalarında gözlemlenen diyoritik gabrolar, koyu yeşil ile siyahımsı renkleri sayesinde yüzeyde kolaylıkla ayırt edilebilmektedir. Orta-iri taneli kristalen dokuda olan bu kayaçlar, dayanıklı yapıları nedeniyle genellikle topoğrafyada çıkıntılı alanlarda bulunmaktadır. Özellikle

karbonatlı birimlerle olan dokanaklarında, yer yer kontakt metamorfizma etkilerine rastlanmıştır. Kayaçların mineralojik bileşimi sahada makroskopik olarak incelendiğinde; plajiyoklas, hornblend, piroksen ve yer yer biyotit içerikleri belirgin şekilde görülmektedir. Özellikle Keban Metamorfikleri ile olan temas zonlarında, çatlak ve kırık sistemlerine sokulmuş olan bu diyoritik gabro sokulumlarının, çevre kayaçlarda alterasyon zonlarının gelişimine neden olduğu belirlenmiştir. İncelenen kayaçların taze yüzeyleri açık gri-yeşil renkte olup, altere yüzeylerde sarımsı-kahverengi renk değişimleri dikkat çekmektedir. Bu durum, kayaçların atmosferik koşullara uzun süreli maruziyeti sonucu gelişen yüzey alterasyon süreçlerini yansıtmaktadır. Genel olarak bloklu yapıda olan bu kayaçlar, çatlak sistemleri boyunca belirgin ayrılmalar göstermektedir.

Elazığ Magmatik Kompleksi ve Keban Metamorfikleri'ni açısız uyumsuzlukla örten tortul birimler ise Alibonca Formasyonu ve Karabakır Formasyonudur. Alibonca Formasyonu, konglomera, kumtaşı, kireçtaşı ve marn aralanmasından oluşmakta olup, Alt Miyosen yaşlıdır [11]. Onun üzerine gelen Karabakır Formasyonu ise Geç Miyosen-Pliyosen yaşlı karasal kökenli volkanik ve sedimanter birimleri içermektedir [12].

Bölgedeki başlıca tektonik yapılar, doğu-batı uzanımlı normal ve bindirme fayları ile temsil edilmektedir. Elazığ Magmatik Kompleksi ile Keban Metamorfikleri arasında gelişen kontakt zonlarda yaygın skarn oluşumları izlenmektedir. Özellikle çalışma alanının batısındaki Ayazpınar ve güneydoğusundaki Tuzbaşı civarlarında bu kontakt zonlar belirgindir. Bu dokanaklarda gelişen endoskarn ve ekzoskarn zonları, granat (andradit), piroksen (hedenberjit), manyetit, hematit ve götitten oluşmaktadır [11].

Pertek çevresi, Fe ve Ti açısından zengin skarn tip mineralizasyonlara ev sahipliği yapmaktadır [11]. Özellikle Elazığ Magmatik Kompleksi'nin Keban mermerlerine intrüze olmasıyla birlikte gelişen yüksek sıcaklıklı hidrotermal sistemler (>300 °C), bölgeyi karakterize eden skarnların oluşumunda etkili olmuştur. Manyetit örneklerinde yapılan LA-ICP-MS analizleri, yüksek Ti (>300 ppm), V (>200 ppm), Al₂O₃ (%9.25-9.84) ve MgO (%14.15-15.82) konsantrasyonları belirlenmiştir. Bu veriler hidrotermal bir ortamı destekler niteliktedir [12]. Ayrıca, Tuzbaşı yöresi çevresinde tanımlanan ilmenit içerikli skarnlar, gabro ve diyoritlerin mermerlerle teması sonucu gelişmiş olup, %15'e varan TiO₂ içeriğiyle ekonomik öneme sahiptir [11].

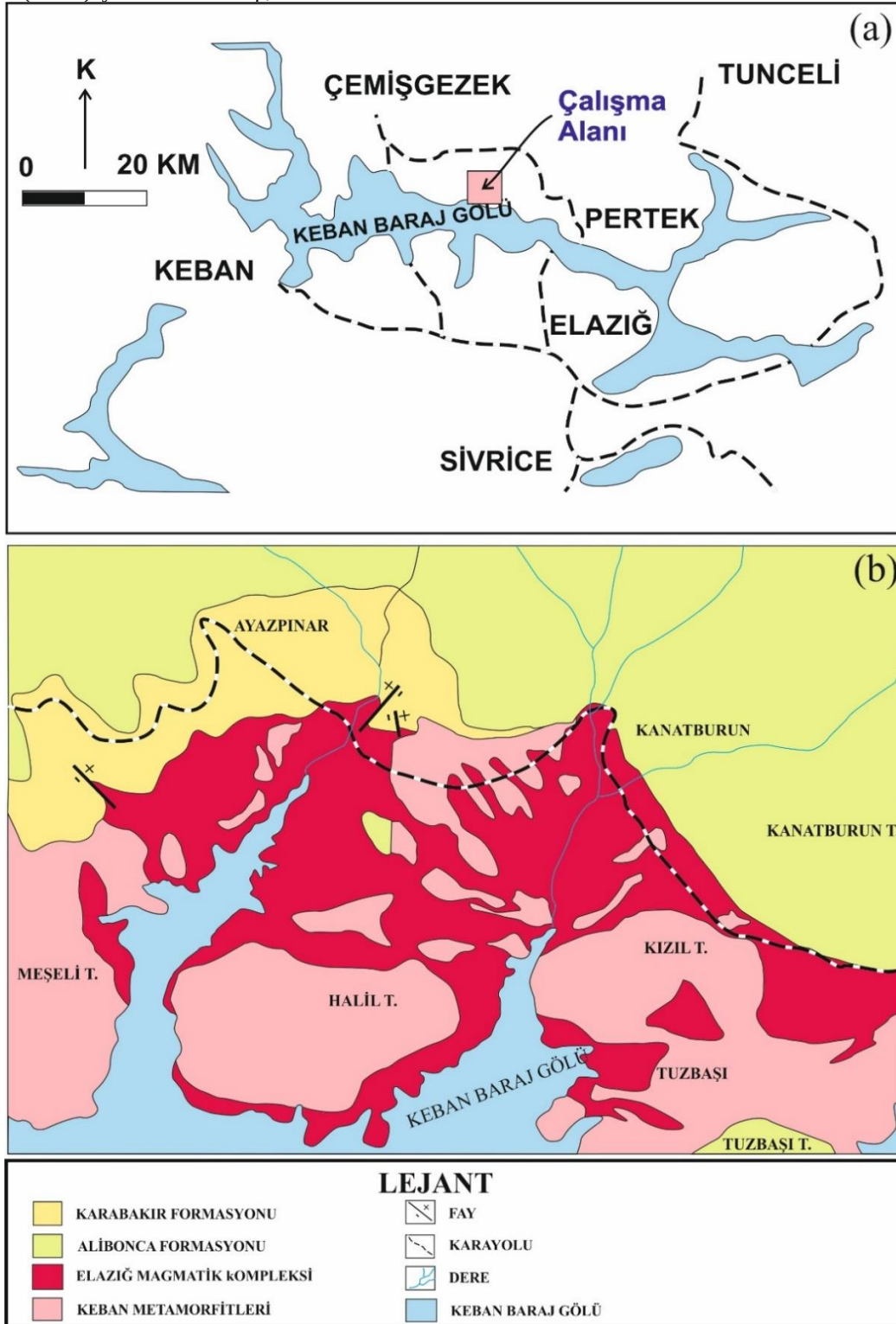
Diyorik gabronun modal bileşiminde en baskın faz olan plajiyoklas (%50-55), yarı otomorf ve anhedral kristaller halinde gelişmiş olup, tipik polisentetik ikizlenmeleri ve hipidiyomorfik taneler dokudaki dağılımlarıyla ayırt edilmektedir (Şekil 2a).

Amfiboller (%25-30), pleokroik özelliklere sahip, yüksek rölyefli ve uzun prizmatik kristaller olup, kayaç dokusunda yaygın şekilde gözlenmektedir (Şekil 2b).

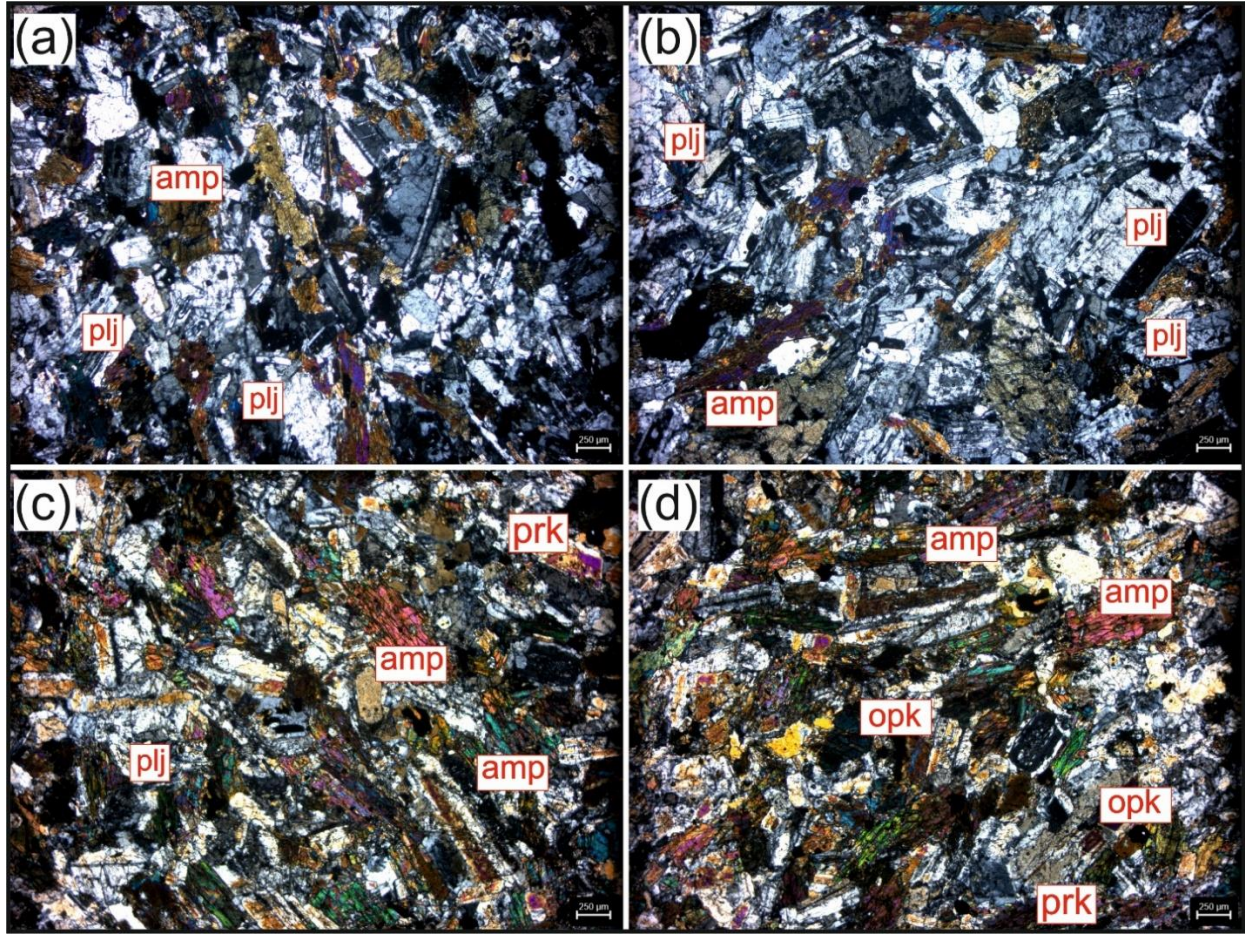
Piroksen fazı (%5–10), daha az miktarda bulunmakta olup, genellikle anhedral, kısa prizmatik kristaller biçiminde ve düşük girişim renkleriyle belirginleşmektedir (Şekil 2c).

Kayaçta ayrıca ışık geçirmeyen siyah renkli opak mineraller (%3–5) yer almakta olup, bunlar izometrik

kristal şekillerinde gözlenen muhtemel manyetit veya ilmenit mineralleridir (Şekil 2d). Son olarak, apatit ve zirkon yaklaşık <%1 oranında gözlenmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanının Doğu Anadolu'daki genel konumu (Tunceli–Elazığ yöresi) ve yakın çevresinin jeoloji haritası ([11]'den değiştirilerek alınmıştır) (General location of the study area in Eastern Anatolia (Tunceli–Elazığ region) and geological map of its surroundings (modified after [11]))



Şekil 2. Pertek (Tunceli) kuzeybatısında yüzeylenen Geç Kretase yaşlı diyoritik gabro örneklerine ait seçilmiş mikroskobik capraz nikol görüntüleri (plj: plajiyoklas; amp: amfibol; prk: piroksen; opk: opak mineral) (Selected cross-polarized microscopic images of Late Cretaceous dioritic gabbro samples exposed in the northwest of Pertek (Tunceli) (plj: plagioclase; amp: amphibole; prk: pyroxene; opk: opaque mineral))

3. MATERYAL ve METOT (MATERIAL and METHOD)

Taze kayaç örneklerinin tüm kayaç bileşimi (majör, minör ve iz elementler dahil), İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa (İÜC-GGL), Jeoloji Mühendisliği Bölümü'ne bağlı Jeokronoloji ve Jeokimya Laboratuvarı'nda analiz edilmiştir. Majör oksit bileşenleri (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , K_2O , Na_2O ve P_2O_5), PerkinElmer AVIO 200 cihazı kullanılarak İndüktif Eşleşmeli Plazma Optik Emisyon Spektrometrisi (ICP-OES) yöntemiyle belirlenmiştir. İz element konsantrasyonları ve nadir toprak elementleri (NTE'ler) ise, PerkinElmer NexION 2000 kütle spektrometresi ile ESI NWR-213 katı hal lazer ablasyon sistemi kullanılarak lazer ablasyon indüktif eşleşmeli plazma kütle spektrometrisi (LA-ICP-MS) yöntemiyle, yine İÜC-GGL laboratuvarında analiz edilmiştir.

Mineral kimyası analizleri, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa (İÜC-GGL) Jeokronoloji ve Jeokimya Laboratuvarı'nda, PerkinElmer NexION 2000 kütle spektrometresi ile ESI NWR-213 katı hal lazer ablasyon sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizlerde 80 µm lazer nokta çapı tercih edilmiştir. Her bir analiz

noktası için yaklaşık 20 saniye arka plan, 30 saniye ablasyon ve 50 saniye yıkama süresi uygulanmıştır. Lazer, 5 Hz tekrarlama hızında ve 3–5 J/cm² enerji yoğunluğunda çalıştırılmıştır. Taşıyıcı gaz olarak 0.6 L/s debide helyum kullanılmıştır. Cihaz kalibrasyonu, ThO/Th oranı ile yapılmış olup bu oran her zaman %0.05'in altında tutulmuştur. Kütle ayırıcı sistemdeki (QID) ayarlar, hafif, orta ve ağır kütleler için maksimum sinyal alınacak şekilde optimize edilmiştir. İki dedektöre (analog ve puls modu) sahip olan ICP-MS sistemi, geniş bir dinamik aralığa (10⁹'a kadar) sahiptir ve bu sayede majör ve iz elementlerin hassas ölçümünü mümkün kılmaktadır. Analizlerin doğruluğu, BCR-2g cam standardının ⁴³Ca ve ²⁹Si içeriklerinin ikincil elektron mikroskobu-enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (SEM-EDX) ile ölçülmesiyle kontrol edilmiş; majör oksitler için tekrarlanabilir analizlerde hata payı %1'in altında bulunmuştur. Ölçümlerin kalibrasyonu ve sürüklenme kontrolü amacıyla NIST SRM 610 ve 612 cam standartları kullanılmış, ayrıca BCR-2g ve AGV-2g standartları kontrol örnekleri olarak analiz edilmiştir. Tüm veriler, ICPMSDataCal yazılım paketi kullanılarak ve Liu vd. [13] tarafından önerilen veri indirgeme yöntemi doğrultusunda değerlendirilmiştir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA (FINDINGS and DISCUSSION)

4.1. Tüm Kayaç Analizi (Whole Rock Analysis)

Pertek (Tunceli) çevresinde yüzeylenen plütonik kayalara ait örneklerin majör oksit ve iz element bileşimleri belirlenmiş ve petrokimyasal özellikleri değerlendirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, örneklerin toplam majör oksit içerikleri % 99.5 civarında olup, düşük ASK (Ateşte Su Kaybı) değerleri örneklerin alterasyon düzeyinin düşük ve taze karakterli olduğunu göstermektedir (Tablo 1). SiO₂ oranlarının % 50.4–51.6

aralığında değişmesi, bu kayaların mafik bileşimli olduğunu ortaya koymaktadır. Middlemost (1994) sınıflandırmasına dayanan SiO₂–(Na₂O+K₂O) diyagramında (Şekil 3), örnekler “gabro” alanında yer almaktadır [14]. Ancak, bu örneklerin petrografik incelemelerinde belirgin şekilde amfibol bakımından zengindir. Bu mineralojik özellik dikkate alındığında, örneklerin diyoritik gabro olarak sınıflandırılması daha uygun bulunmuştur. Dolayısıyla, kimyasal sınıflandırma gabroya işaret etse de, mineralojik bileşim ve doku özellikleri kayaların diyoritik gabro türünde olduğunu desteklemektedir.

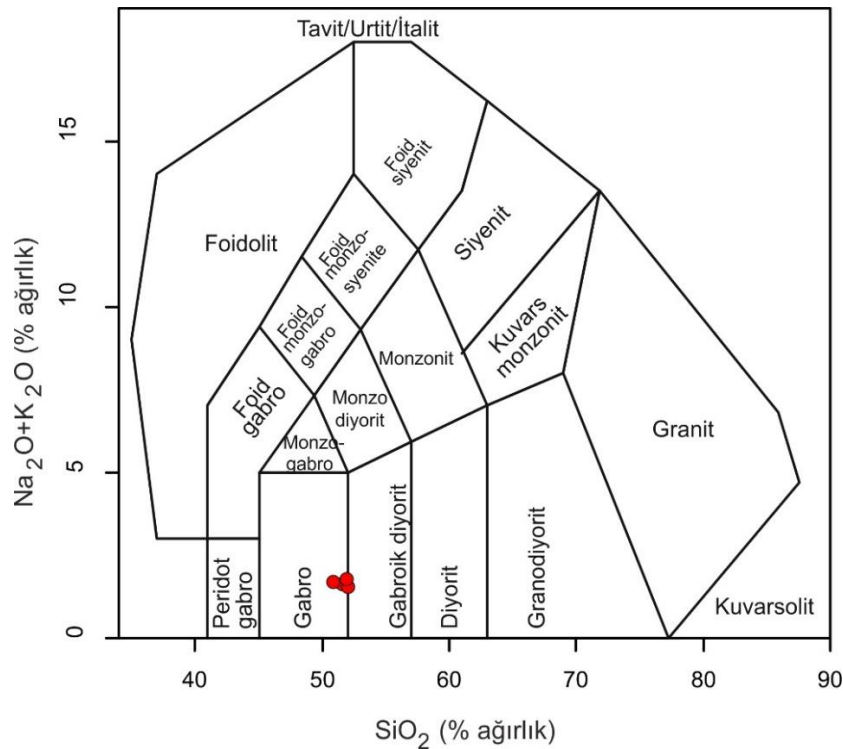
Tablo 1. İncelenen plütonik kayaç örneklerine ait majör oksit (% ağırlık) ve iz element (ppm) analiz sonuçları (Major oxide (wt.%) and trace element (ppm) analysis results of the studied plutonic rock samples)

Sample	D1	D2	D3	D4
Majör oksitler (% ağırlık)				
SiO ₂	51.49	50.44	51.63	51.51
TiO ₂	0.99	1.01	1.01	1.01
Al ₂ O ₃	18.07	18.48	17.71	18.05
Fe ₂ O ₃ ^a	12.98	13.60	13.34	13.26
MnO	0.24	0.24	0.25	0.25
MgO	4.66	4.68	4.65	4.53
CaO	9.17	9.10	8.92	9.00
Na ₂ O	1.59	1.51	1.40	1.37
K ₂ O	0.12	0.10	0.08	0.10
P ₂ O ₅	0.15	0.17	0.15	0.19
ASK (Ateşte su kaybı)	0.08	0.19	0.39	0.26
Toplam	99.54	99.52	99.53	99.53
İz Elementler (ppm)				
Sc	39.75	41.52	39.15	39.62
V	252.63	257.63	259.64	254.54
Cr	5.13	1.54	6.83	12.14
Co	29.45	27.96	28.70	28.01
Ni	5.18	7.46	5.46	4.02
Ga	18.17	20.67	18.66	20.03
Ge	1.70	2.30	1.07	0.63
Rb	1.80	0.81	0.92	1.07
Sr	203.11	208.78	205.32	197.02
Y	26.70	27.30	26.79	25.78
Zr	33.74	55.26	25.21	34.40
Nb	1.11	1.28	1.32	1.16
Cs	0.14	0.03	0.08	0.12
Ba	26.68	21.54	30.20	21.84
La	2.68	2.45	2.65	2.54
Ce	7.92	7.91	8.22	8.16
Pr	1.32	1.47	1.32	1.37

Tablo 1. (Devam) İncelenen plütonik kayaç örneklerine ait majör oksit (% ağırlık) ve iz element (ppm) analiz sonuçları ((Cont'd) Major oxide (wt.%) and trace element (ppm) analysis results of the studied plutonic rock samples)

Nd	7.56	8.01	7.95	7.64
Sm	3.15	2.25	2.52	2.66
Eu	1.19	1.23	0.97	1.09
Gd	3.40	3.41	3.84	4.03
Tb	0.64	0.61	0.67	0.70
Dy	4.82	4.66	4.60	3.95
Ho	0.93	0.88	0.92	0.92
Er	2.73	3.03	3.13	2.73
Tm	0.39	0.47	0.38	0.43
Yb	2.60	2.82	2.66	3.00
Lu	0.46	0.47	0.40	0.43
Hf	1.30	1.26	1.04	1.28
Ta	0.03	0.07	0.06	0.04
Pb	2.25	1.84	1.80	1.92
Th	0.20	0.24	0.32	0.38
U	0.14	0.18	0.22	0.22
Zn	115.62	108.09	105.63	115.66

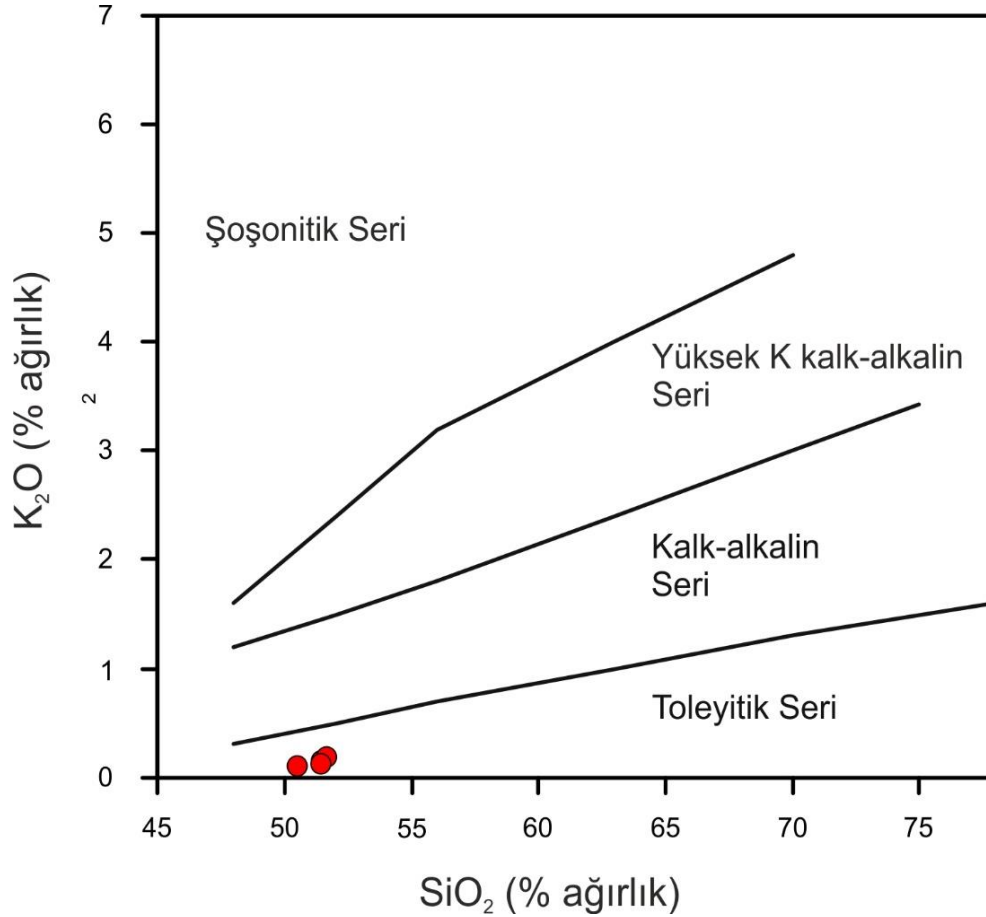
^aToplam demir.



Şekil 3. İncelenen kayaçların sınıflandırma diyagramı [14] (Classification diagram of the studied rocks) [14]

Diyorit gabro örneklerinin magmatik seri özelliklerini belirlemek amacıyla kullanılan K_2O-SiO_2 diyagramı [15] Şekil 4'te sunulmuştur. Bu diyagram, magmatik kayaçların alkali bileşenlerine göre sınıflandırılması açısından yaygın olarak kullanılmakta olup; örneklerin

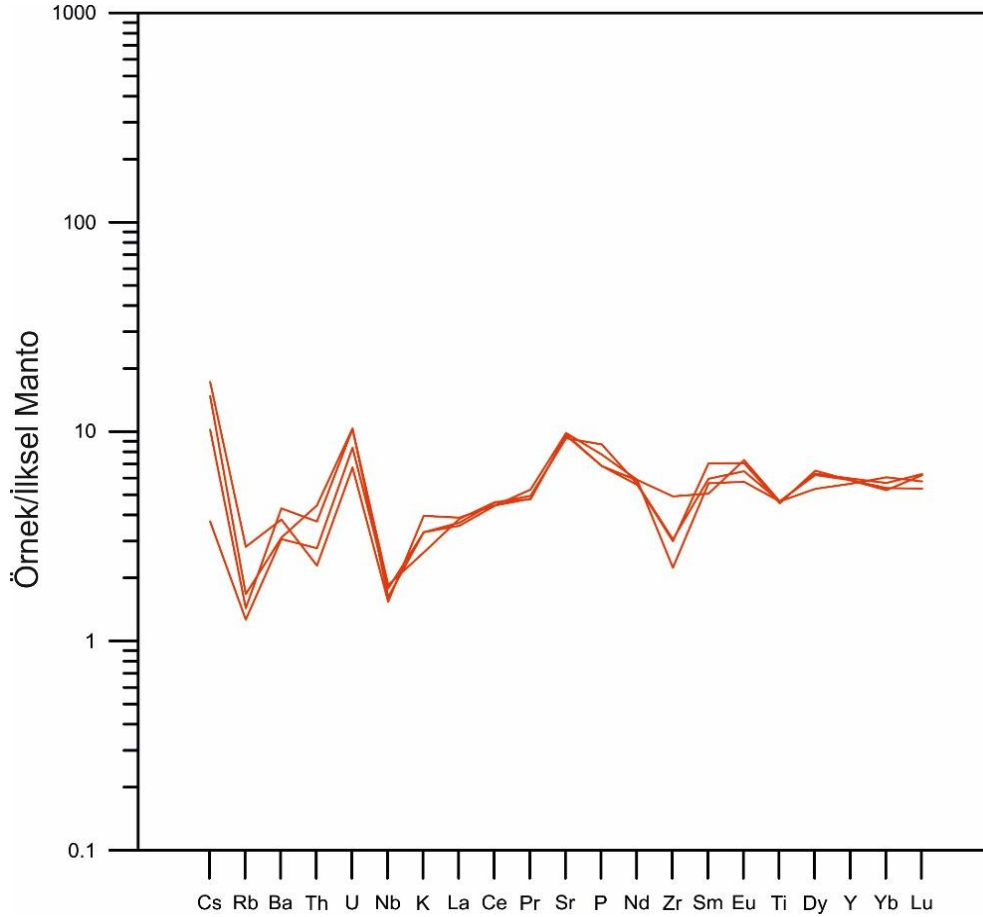
tümü, diyagramda açık bir şekilde toleyitik seri alanında yer almaktadır. Bu durum, incelenen diyoritik gabroların, düşük potasyum içerikli, alkali fakir, ve büyük olasılıkla bir yay ortamı magmatizması ile ilişkili olabileceğini göstermektedir [16].



Şekil 4. Diyoritik gabroların örneklerinin K_2O - SiO_2 diyagramında konumları [15]. Semboller Şekil 3 ile aynıdır (Positions of dioritic gabbro samples on the K_2O - SiO_2 diagram [15]. Symbols are the same as in Figure 3)

Diyoritik gabro örneklerinin ilksel mantoya göre normalize edilmiş iz element desenleri Şekil 5'te sunulmaktadır. Örnekler, Cs, Rb, Ba, Th ve U gibi büyük iyon yarıçaplı elementler (LILE) bakımından, çok elementli dağılım diyagramında gözlenen belirgin pozitif anomaliler nedeniyle görece zenginleşme sergilemektedir. Bu durum, yitim zonu ortamlarında levha sınırları tarafından metasomatize edilmiş bir manto kamasının katkısını düşündürmektedir [17,18]. Nb, Ta ve Ti gibi yüksek çekim alan gücüne sahip elementler (HFSE), çok elementli dağılım diyagramında gözlenen belirgin negatif anomaliler nedeniyle görece fakirleşme sergilemektedir. Bu durum, söz konusu magmatik birimlerin yay volkanizmasıyla ilişkili olduğunu düşündürmektedir. Bu elementler, yitim zonu sınırları tarafından taşınmaya dirençli olduğundan, yitim

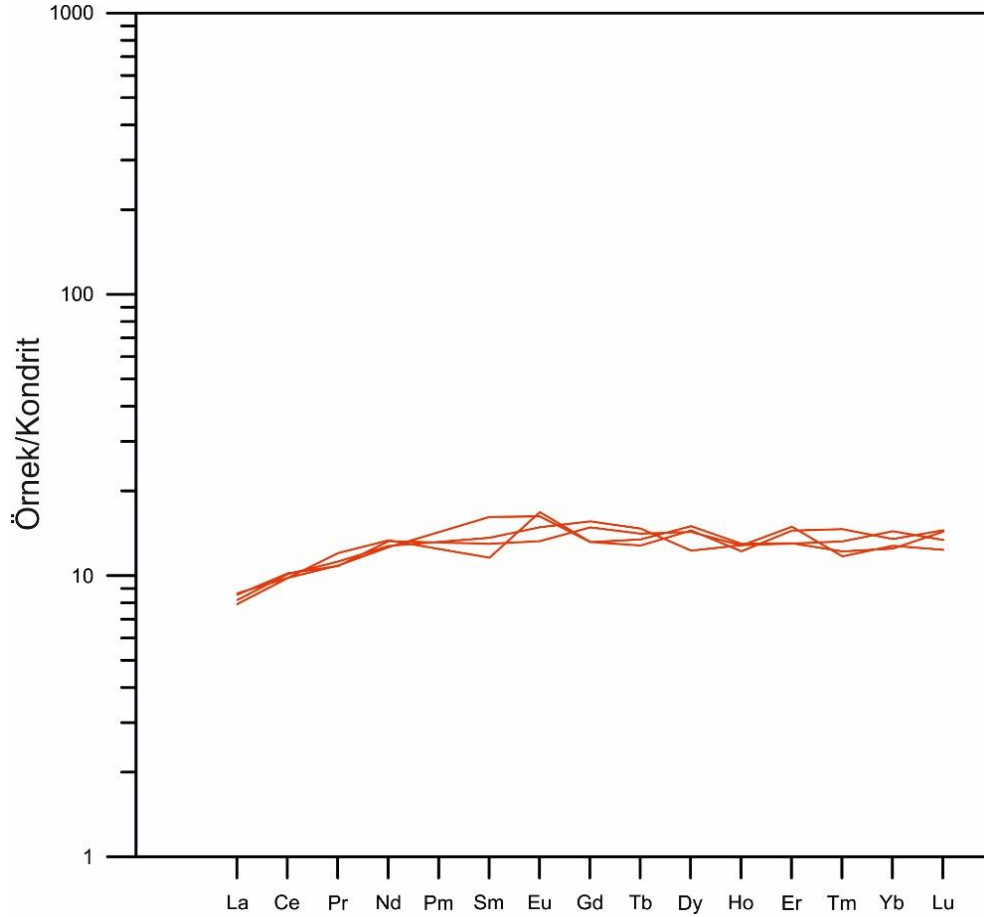
etkisindeki ergiyiklerde sistematik olarak düşük konsantrasyonlarda bulunur [19-20]. Örümcek diyagramındaki farklı örnekler arasında gözlenen jeokimyasal desenlerin benzerliği ve paralelliği, iz element dağılımlarının düşük varyans göstermesi ve tektonik ortamın stabil karakteri ile açıklanabilir. Bu durum, ergimenin muhtemelen jeokimyasal olarak homojen manto kaynağından türediğini ve benzer evrimsel süreçlere tabi kaldığını göstermektedir. Sonuç olarak, büyük iyon yarıçaplı litofil elementlerce (LILE) zenginleşmesi ve Nb-Ta-Ti negatif anomalilerinin varlığı, bu kayaların Geç Kretase döneminde aktif bir okyanus-kıta yakınsama zonunda gelişen yay tipi tektonik ortamda oluştuğunu göstermektedir.



Şekil 5. Diyoritik gabro örneklerine ait ilksel mantoya göre normalize edilmiş çoklu element desenleri (normalize değerler [21]’e göredir) (Primitive mantle–normalized multi-element patterns of dioritic gabbro samples (normalization values after [21]))

Diyoritik gabro örneklerine ait kondrit-normalize edilmiş nadir toprak elementleri dağılımları Şekil 6’da sunulmuştur. Tüm örnekler genel olarak düz bir desene sahip olup, hafif nadir toprak elementleri (HNTE; $La_N/Yb_N = 0.53 - 0.69$) ile ağır nadir toprak elementleri (ANTE; $Gd_N/Lu_N = 0.91 - 1.20$) arasında belirgin bir farklılık gözlenmemiştir. Özellikle La_N/Yb_N oranlarının 0.57 ile 0.69 arasında değişmesi, örneklerde hafif nadir toprak elementleri (HNTE) zenginleşmesinin belirgin olmadığını, NTE deseni hemen hemen yataya yakın gözlenirse de, ANTE’lerin HNTE’lere göre hafif bir yükseklik sunduğu gözlenmiştir. Söz konusu düz NTE desenleri, genellikle spinel-peridotit bileşimli bir manto kaynağından, yüksek dereceli kısmi ergime koşullarında türeyen magmalarla ilişkilendirilir [21-22]. Granat fazı, ANTE elementlerini güçlü biçimde bünyesinde tutabildiğinden, derin kaynaklardan türeyen magmalarda genellikle HNTE zenginleşmesine neden olur. Ancak

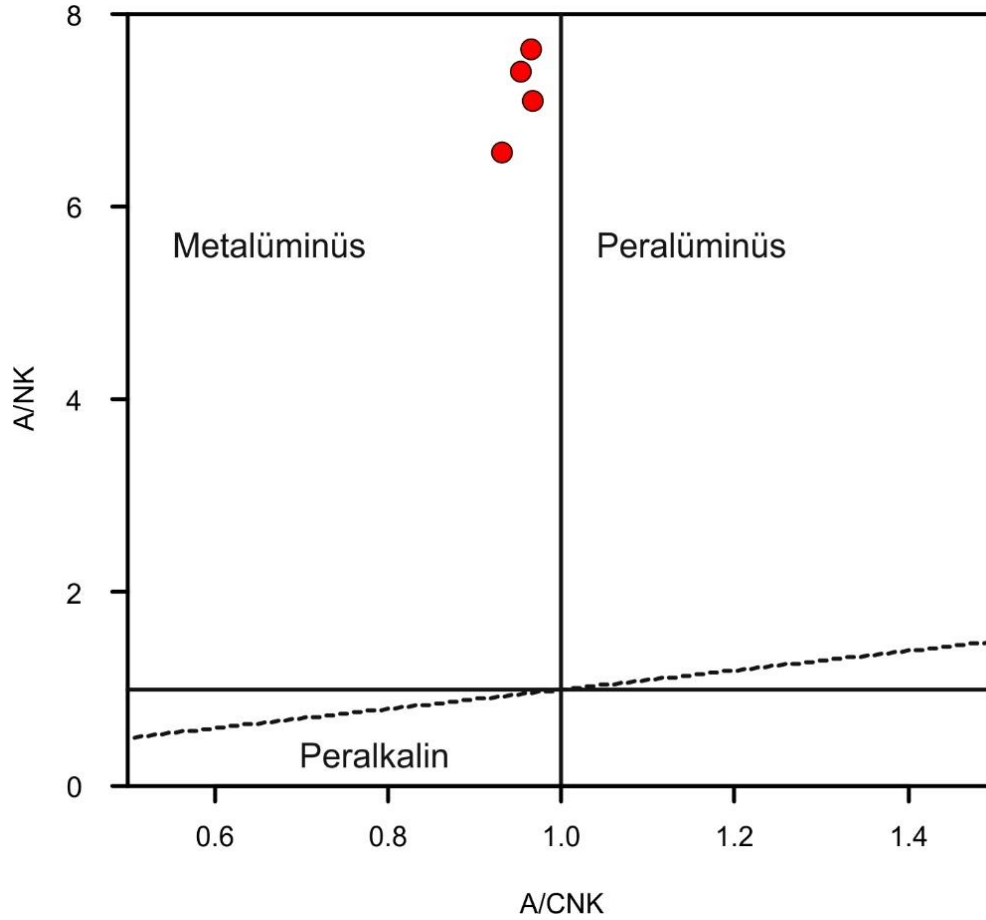
burada gözlemlenen yatay desen, ergimenin daha sıkı seviyelerde, granat-faz kontrolü olmaksızın gerçekleştiğini desteklemektedir. Öte yandan, örnekler arasında NTE desenlerinin paralel seyretmesi, magmatik kaynağın jeokimyasal olarak homojen olduğunu ve benzer petrojenez süreçlerine tabi kaldıklarını düşündürmektedir [23]. Eu anomalilerinin ($Eu/Eu^* = 0.96 - 1.36$) belirgin olmaması da, plajiyoklasın ergime veya kristal fraksiyonlaşma sırasında önemli bir rol oynamadığını göstermektedir. Bu bulgular, incelenen diyoritik gabroların, Geç Kretase döneminde sıkı derinlikte spinel-fazlı bir manto kaynağında gelişen yüksek dereceli kısmi ergimeyle oluştuğunu ve fraksiyonel kristallenmenin sınırlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 6. Diyoritik gabro örneklerine ait kondrit-normalize edilmiş nadir toprak element (NTE) desenleri (normalize değerler [21]'e göredir) (Chondrite-normalized rare earth element (REE) patterns of dioritic gabbro samples (normalization values after [21]))

Diyoritik gabro örneklerinin alüminyum doygunluk derecelerini değerlendirmek amacıyla kullanılan Shand [24] diyagramı Şekil 7'de sunulmuştur. Bu diyagramda yatay eksen A/CNK, dikey eksen ise A/NK oranlarını göstermektedir. Bu oranlar, magmatik kayaçların peralkalin, metaliminüs veya peraliminüs karakterini belirlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır [25]. İncelenen örneklerin tümü metaliminüs alan içerisinde konumlanmaktadır. Bu durum, örneklerin bileşiminde alüminyumun alkalilere kıyasla fazlalığını ve potansiyel

olarak muskovit veya granat gibi alüminyum fazlarının kristallenmesine uygun koşulları işaret etmektedir [1,24]. Bu tür karakteristikler, magmanın kabuksal katkı almış olabileceğini veya su içeriği yüksek bir ergiyikten türediğini düşündürmektedir. Diyagram üzerinde örneklerin birbirine yakın konumlarda gruplanması, jeokimyasal anlamda benzer evrimsel süreçlere ve bunun yanında da ortak bir magmatik kökene işaret etmektedir.



Şekil 7. Shand [24] diyagramına göre çizilmiş A/NK – A/CNK diyagramı; analiz edilen plütonik kayaç örneklerinin alümina doygunluk durumlarına göre metaliminüs, peraliminüs ve peralkalin bileşimler olarak sınıflandırılmasını göstermektedir. $A/CNK = \text{mol Al}_2\text{O}_3 / (\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$; $A/NK = \text{mol Al}_2\text{O}_3 / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$. Semboller Şekil 3 ile aynıdır (A/NK – A/CNK diagram drawn according to Shand [24], showing the classification of the analyzed plutonic rock samples as metaluminous, peraluminous, and peralkaline compositions based on their alumina saturation states. $A/CNK = \text{mol Al}_2\text{O}_3 / (\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$; $A/NK = \text{mol Al}_2\text{O}_3 / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$. Symbols are the same as in Figure 3)

4.2. Mineral Kimyası (Mineral Chemistry)

İncelenen kayaçlara ait plajiyoklas ve amfibol minerallerinin mineral kimyası sonuçları Tablo 2’de sunulmuştur. Örnek grubuna ait plajiyoklas ve amfibol mineralleri, mikroskopik gözlemler ve mineral kimyası sonuçları temelinde değerlendirilmiş; elde edilen kimyasal veriler, uluslararası sınıflandırma diyagramlarına aktarılmıştır (Şekil 8a–b).

Plajiyoklas fazları, Or–Ab–An üçgen diyagramında [26] değerlendirilmiş olup, tüm analiz sonuçları %80–85 Anortit (An) içeriği ile bitovnit–anortit bileşim aralığında konumlanmaktadır (Şekil 8a). Bu yüksek An içeriği, plajiyoklasların Ca bakımından zengin (kalsik) olduğunu ve yüksek sıcaklık koşullarında kristallenmiş mafik magmatik sistemlerle ilişkili olduğunu göstermektedir. Diyoritik gabrolarda yaygın olarak gözlenen bu tür plajiyoklaslar, erken evre kristallenme ürünleri olarak değerlendirilir ve kayaçların magmatik evrim sürecinde ilk safhalara karşılık gelir [27].

Amfibol mineralleri, Leake vd. [28] tarafından geliştirilen uluslararası sınıflandırmaya göre

değerlendirilmiş ve Şekil 8b’de sunulmuştur. Örneklere ait amfibol analizlerinin büyük çoğunluğu magnezyo-hastingsit alanında konumlanmakta olup, yalnızca birkaç örnek edenit alanına düşmektedir. Bu dağılım, örnekler arasında hem silisyum içeriği hem de $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}^{+2})$ oranları açısından çeşitlilik olduğunu göstermektedir.

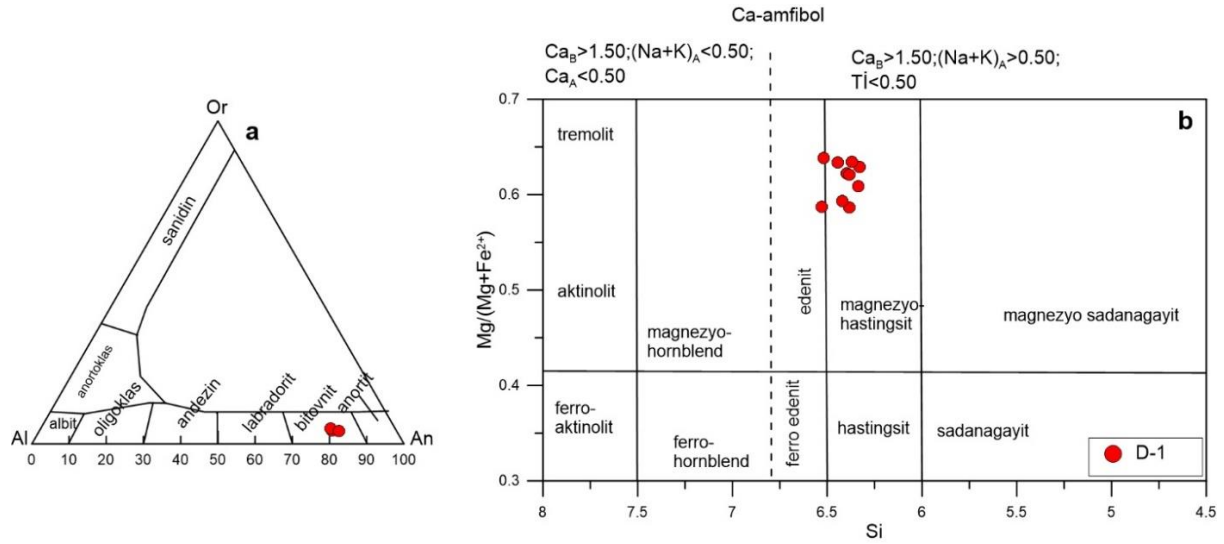
Magnezyo-hastingsit, edenite göre daha Fe-zengin, daha düşük Mg# değerine sahip, orta evrimleşmiş Ca-amfibol grubundadır. Bu tür bileşimler, magmanın daha ileri evrim geçirmiş, Mg bakımından nispeten fakirleşme ve Fe’ce zenginleşmenin olduğu bir kristallenme ortamına işaret eder. Buna karşın edenit bileşiminde yer alan birkaç analiz, magmatik sistemin Mg açısından daha zengin, daha erken evrede kristallenmiş bileşenlerini yansıtmaktadır.

Örnek grubunda edenit ve magnezyo-hastingsit birlikteliği, bu diyoritik gabroların tek evreli bir kristallenme sürecinden çok, çok evreli ve kademeli bir magmatik farklılaşma süreci geçirdiğini göstermektedir. Bu dağılım ayrıca, oksijen fugasitesi, magma karışımı veya Fe–Ti oksit ayrışması gibi faktörlerin sistem

üzerindeki etkilerine de işaret etmektedir. Özellikle edenit bileşiminin daha yüksek Mg# ve daha düşük Si içeriğine sahip olması, erken evrede kristallenmiş amfibollerin varlığını desteklemektedir.

Bu mineral kimyasal sınıflamalar, sahada gözlemlenen orta taneli, hornblend ve plajiyoklas bakımından zengin

gabroik doku ile tam bir uyum göstermektedir. Elde edilen veriler, örneklerin temsil ettiği diyoritik gabroların, orta derinlikli plütonik bir ortamda, mafik bileşimli ancak kademeli olarak evrimleşen bir ergiyikten kristallendiğini düşündürmektedir



Şekil 8. (a) Diyoritik gabro örneklerine ait plajiyoklas minerallerinin Or–Ab–An üçgen diyagramındaki konumları [26]; (b) Amfibol minerallerinin Mg#–Si diyagramındaki dağılımı [27] ((a) Positions of plagioclase minerals from dioritic gabbro samples in the Or–Ab–An triangular diagram [26]; (b) Distribution of amphibole minerals in the Mg#–Si diagram [27])

Tablo 2. Pertek çevresinde yüzeyleyen diyoritik gabro örneklerinin plajiyoklas ve amfibol minerallerinde yapılan mineral kimyası analiz sonuçları (Mineral chemistry analysis results of plagioclase and amphibole minerals from dioritic gabbro samples exposed around Pertek)

Örnek	D1-amf	D1-amf	D1-amf	D1-amf	D1-amf	D1-amf	D1-amf	D1-amf	D1-amf	D1-amf	D1-feld	D1-feld	D1-feld
Majör oksitler (% ağırlık)													
SiO ₂	42.53	42.82	42.38	42.84	42.64	42.72	43.23	43.20	42.10	43.74	41.26	41.91	42.43
TiO ₂	2.36	2.44	2.30	2.55	2.39	2.52	2.45	2.44	2.37	2.36	1.13	0.94	1.22
Al ₂ O ₃	9.39	9.39	9.27	9.74	9.35	9.77	9.84	9.66	9.25	9.45	5.01	4.64	6.29
Fe ₂ O ₃	16.55	16.25	18.21	16.43	17.91	16.62	16.02	17.72	16.40	15.99	34.53	34.82	30.17
MnO	0.36	0.34	0.39	0.37	0.40	0.35	0.33	0.33	0.33	0.32	0.55	0.60	0.49
MgO	15.76	15.80	14.48	15.18	14.66	15.25	15.54	14.15	14.30	15.82	9.58	10.28	10.59
CaO	9.99	10.00	9.91	9.90	9.75	9.85	9.84	9.80	12.35	9.71	4.77	3.85	5.88
Na ₂ O	1.87	1.82	1.66	1.77	1.55	1.69	1.60	1.29	1.43	1.51	0.58	0.48	0.62
K ₂ O	0.13	0.13	0.15	0.14	0.15	0.16	0.14	0.18	0.16	0.13	0.21	0.20	0.24
P ₂ O ₅	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01
Toplam	98.97	99.00	98.77	98.95	98.82	98.94	99.01	98.80	98.71	99.06	97.63	97.72	97.94
İz Elementler (ppm)													
Sc	182.39	179.50	177.87	193.59	170.62	188.67	201.57	199.10	187.76	187.57	78.95	70.84	107.31
V	312.47	309.33	329.70	333.55	322.59	342.67	336.76	334.64	327.23	337.52	316.23	429.71	338.57
Co	58.59	57.45	55.70	55.30	56.62	56.94	56.45	52.18	52.80	56.87	61.00	62.00	57.12
Ni	5.87	5.52	5.61	6.47	4.54	5.91	5.94	6.56	6.30	4.92	3.47	4.16	3.43

Tablo 2. (Devam). Pertek çevresinde yüzeyleyen diyoritik gabro örneklerinin plajiyoklas ve amfibol minerallerinde yapılan mineral kimyası analiz sonuçları ((Cont'd). Mineral chemistry analysis results of plagioclase and amphibole minerals from dioritic gabbro samples exposed around Pertek)

Ga	14.13	14.12	14.72	14.41	15.00	15.31	14.38	14.80	13.67	14.13	23.75	22.94	17.83
Ge	1.57	1.34	1.87	1.53	1.67	1.99	1.54	1.89	1.64	1.70	1.99	2.00	2.07
Rb	0.40	0.36	0.61	0.51	0.45	0.48	0.48	0.54	0.50	0.33	0.66	0.87	0.56
Sr	53.10	52.71	47.56	55.75	53.05	53.27	51.86	47.41	51.10	51.87	17.82	12.31	27.86
Y	76.87	76.20	82.26	77.22	69.73	75.38	81.15	82.49	77.39	75.65	66.65	63.65	78.45
Zr	26.49	27.17	30.16	30.63	33.45	30.65	29.68	32.22	31.60	27.96	30.40	32.12	45.25
Nb	1.25	1.28	1.21	1.38	1.32	1.32	1.21	1.13	1.20	0.90	1.04	0.93	1.40
Cs	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.03	0.01
Ba	9.37	9.46	9.66	9.99	10.94	10.04	9.16	11.11	11.61	8.97	9.16	7.13	8.10
La	0.97	1.00	1.66	1.22	1.44	1.47	1.19	2.54	3.26	1.04	3.25	2.53	2.97
Ce	5.78	5.61	8.07	6.28	6.79	7.49	6.15	9.74	10.43	6.04	16.68	13.37	14.85
Pr	1.50	1.59	1.88	1.68	1.62	1.84	1.61	2.05	1.97	1.55	3.40	2.81	3.09
Nd	12.16	12.43	14.19	13.06	12.15	13.57	12.61	14.25	13.29	11.61	19.48	16.73	19.86
Sm	6.49	7.04	7.13	7.19	6.52	6.77	6.63	6.84	6.72	6.18	6.93	5.59	8.33
Eu	2.02	1.96	2.23	2.13	1.98	2.19	2.19	2.31	2.39	2.07	1.40	1.14	1.58
Gd	10.63	10.56	11.56	10.52	9.70	10.72	10.60	11.46	10.60	10.10	8.89	8.02	10.38
Tb	1.97	2.02	2.07	2.05	1.85	1.97	2.05	2.09	1.96	1.91	1.57	1.45	2.02
Dy	15.12	14.42	14.89	14.54	13.42	14.53	15.85	15.61	14.51	14.65	11.46	10.47	13.69
Ho	3.08	2.96	3.29	3.00	2.81	3.08	3.28	3.27	3.12	3.00	2.39	2.24	2.92
Er	9.02	8.97	9.58	9.00	8.08	9.03	9.44	9.92	9.19	8.77	7.41	7.53	9.58
Tm	1.11	1.15	1.25	1.15	1.01	1.10	1.17	1.26	1.16	1.14	1.11	1.06	1.31
Yb	7.41	7.54	8.09	7.52	7.32	7.80	8.06	8.20	8.02	7.64	7.65	7.48	8.94
Lu	1.05	0.99	1.18	1.10	0.90	0.98	1.16	1.17	1.18	1.06	1.21	1.19	1.24
Hf	1.65	1.39	1.70	1.71	1.76	1.61	1.76	1.70	1.81	1.46	1.48	1.38	2.18
Ta	0.04	0.05	0.04	0.05	0.06	0.04	0.05	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04
Pb	0.39	0.35	0.88	1.51	0.75	0.69	0.66	1.69	1.97	0.86	2.32	0.68	0.55
Th	0.05	0.06	0.28	0.11	0.10	0.15	0.13	0.44	0.38	0.11	0.34	0.31	0.33
U	0.06	0.05	0.27	0.13	0.12	0.13	0.14	0.37	0.30	0.12	0.19	0.15	0.19
B	2.51	3.21	2.60	3.37	2.55	3.51	2.07	3.24	3.62	1.95	2.80	1.73	2.27
Zn	121.42	120.91	144.18	132.33	152.05	135.49	132.59	164.21	140.47	130.58	310.91	335.88	264.35

4.3. Plajiyoklas Jeotermobarometrik Hesaplamaları (Plagioclase Geothermobarometric Calculations)

D-1 örnek grubuna ait diyoritik gabro kayalarından seçilen plajiyoklasın kimyasal verileri, Putirka [29,30] tarafından geliştirilen modeller aracılığıyla değerlendirilmiştir (Tablo 3). Kristallenme sıcaklıkları, Putirka [31] Eşitlik 23 kullanılarak hesaplanmış ve 1283.9–1284.4 °C aralığında bulunmuştur. Bu yüksek sıcaklık değerleri, örneklerin yüksek sıcaklıkta kristallenmiş, Ca bakımından zengin mafik magmalarla ilişkili intrüzif bir ortamda oluştuğunu göstermektedir.

Basınç değerleri, Putirka [30] Eşitlik 25a kullanılarak hesaplanmış ve 10.71–11.17 kbar aralığında bulunmuştur.

Bu değerler, yaklaşık 35–40 km'lik kabuk derinliğini temsil etmektedir ve kayaların orta–derin seviyeli plütonik ortamlarda kristallendiğini göstermektedir.

Magma su içeriği ise Model H [30] ile tahmin edilmiş ve %1.79–1.91 aralığında bulunmuştur. Bu değerler, diyoritik gabrolar gibi su bakımından nispeten fakir, yüksek sıcaklıklı mafik bileşimli magmatik sistemlere işaret etmektedir.

Sonuçlar, sahada gözlenen hornblend–plajiyoklas birlikteliği, gabroik doku, ve plajiyoklasın yüksek An bileşimi ile uyumludur. Elde edilen basınç–sıcaklık değerleri, kayaların orta derinlikte, su içeriği düşük, Mg ve Ca açısından zengin bir ergiyikten türediğini doğrular niteliktedir.

Tablo 3. Pertek (Tunceli) çevresinde yüzeyleyen diyoritik gabro örneklerine ait plajiyoklas–eriyik çiftlerine dayalı jeotermobarometrik hesaplamalar. Sıcaklık değerleri Putirka [31] Eşitlik 23, basınç değerleri ise Putirka [29] Eşitlik 25a formülleri kullanılarak hesaplanmıştır (Geothermobarometric calculations based on plagioclase–melt pairs of dioritic gabbro samples exposed around Pertek (Tunceli). Temperature values were calculated using Equation 23 of Putirka [31], and pressure values were calculated using Equation 25a of Putirka [29])

	D1-feld	D1-feld	D1-feld
Sıcaklık (°C)	1283.9	1284.4	1284.1
Basınç (kbar)	11	11.17	10.71
H ₂ O (ağ.%)	1.88	1.91	1.79

4.4. Amfibol Jeotermobarometrik Hesaplamaları (Amphibole Geothermobarometric Calculations)

Bu çalışmada analiz edilen Geç Kretase yaşlı diyoritik gabro örneklerinde yer alan amfibol minerallerine ait jeotermobarometrik hesaplamalar, magmatik koşulların yüksek sıcaklık ve orta-yüksek basınç değerlerinde gerçekleştiğini ortaya koymaktadır (Tablo 4). Amfibol kimyasına dayalı hesaplamalarda elde edilen sıcaklık değerleri 955–1037 °C aralığında değişmekte olup ortalama ~1004 °C civarındadır. Bu değerler, amfibol oluşumunun magmanın kristallenme evresinde, plajiyoklas ve piroksen ile birlikte eş zamanlı kristallendiğini ve gabroik litolojilere uygun yüksek sıcaklık ortamlarında geliştiğini göstermektedir [31].

Basınç verileri ise 1.87–2.12 kbar aralığında olup ortalama ~2.00 kbar civarındadır. Bu değerler, litostatik basınca göre yaklaşık 6.5–7.5 km derinlikteki kristallenme ortamlarına karşılık gelmektedir. Elde

edilen derinlik verileri hem okyanusal (6.59–7.50 km) hem de kıtasal (7.06–8.02 km) jeotermal gradyanlar açısından değerlendirildiğinde, magma yerleşiminin okyanusal kabuğa yakın bir ortamda veya okyanus-kıta geçiş zonlarında gerçekleşmiş olabileceğini göstermektedir.

Amfibolün logfO₂ değerleri -7.69 ile -9.73 arasında değişmektedir. Bu değerler, magmatik sistemin hafifçe indirgen koşullarda kristallendiğini ve oksijen fugasitesinin NNO (nikel–nikel oksit) tamponuna yakın olduğunu göstermektedir. Özellikle logfO₂'nin -9.73 gibi düşük değerlere ulaştığı örneklerde, daha indirgen bir ortamın etkili olduğu ve bu durumun mineral bileşenleri üzerinde yansıma bulduğu değerlendirilebilir [32]. Oksijen fugasitesindeki bu çeşitlilik, muhtemelen magma odası içindeki oksidasyon–indirgenme dengesizliklerinden veya mineral ayrışmalarından kaynaklanmaktadır.

Tablo 4. Pertek çevresinde yüzeylenen diyoritik gabro örneğine ait amfibol mineral kimyasına dayalı kristallenme sıcaklığı (T), basınç (P), oksijen fugasitesi (logfO₂), eriyik su içeriği (H₂O_{ergiyik}) ve bu parametrelere ait belirsizliklerin Ridolfi ve Renzulli [31] yöntemi ile hesaplanan değerleri Crystallization temperature (T), pressure (P), oxygen fugacity (logfO₂), melt water content (H₂O_{melt}), and related uncertainties of the dioritic gabbro sample exposed around Pertek, calculated based on amphibole mineral chemistry using the method of Ridolfi and Renzulli [31]

	D1-amf	D1-amf	D1-amf	D1-amf	D1-amf	D1-amf	D1-amf	D1-amf	D1-amf	D1-amf
Sıcaklık (°C)	1036.80	1024.59	1013.11	998.01	1003.87	1005.13	986.27	955.01	1035.41	985.29
Basınç (kbar)	1.92	1.92	1.90	2.1	1.93	2.11	2.12	2.08	1.87	1.91
Okyanus derinliği (km)	6.77	6.76	6.71	7.41	6.80	7.45	7.50	7.33	6.59	6.74
Kıtasal derinlik (km)	7.25	7.23	7.19	7.93	7.28	7.98	8.02	7.85	7.06	7.21
logfO ₂	-7.69	-7.95	-8.37	-8.75	-8.54	-8.54	-8.85	-9.73	-8.00	-8.68
H ₂ O ergiyik (% ağ.)	3.97	3.91	4.38	3.96	4.26	4.00	3.93	4.37	6.64	3.98

Eriyik içeriğindeki H₂O miktarı ise % 3.91 ile % 6.64 arasında değişmektedir. Bu değerler, suya doymuş magmatik koşullarda kristallenmenin gerçekleştiğini göstermektedir. Özellikle % 6.64 gibi yüksek H₂O içerikleri, magmanın su açısından zengin olduğunu ve bunun da amfibolün stabilite alanını genişlettiğini göstermektedir. Bu durum, magmanın, yükselimi sırasında su içeriğini büyük ölçüde koruduğunu ve bunun amfibol kristallenmesini tetikleyerek erken evrelerde geliştiğini düşündürülebilir [27,33].

4.5. Tektonik Yerleşim (Tectonic Setting)

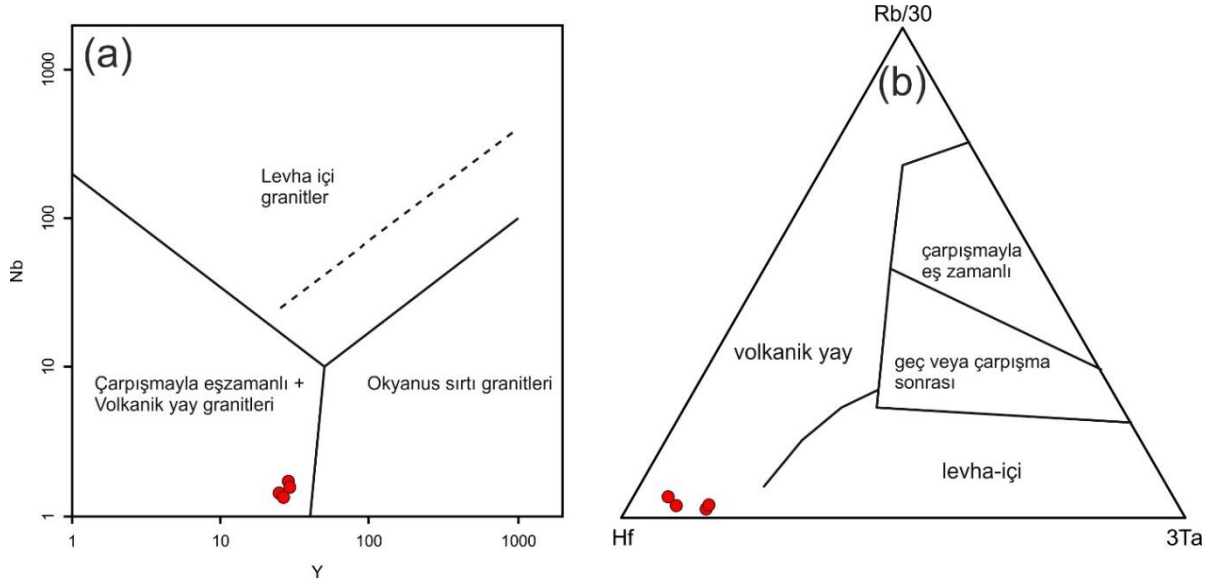
Magma kökeninin ve evrimsel sürecinin anlaşılmasında tektonik ortamların belirlenmesi temel bir parametredir. Özellikle yay tipi, çarpışma sonrası ve levha içi gibi farklı tektonik rejimlerde gelişen magma, ayırt edici jeokimyasal iz bırakmaktadır. Ayrıca, magmatik kökenli kayaçların doğal yapı malzemesi olarak kullanımı, literatürde çeşitli çalışmalarla incelenmiştir [34-36]. Magmatik kökenli kayaçların doğal yapı malzemesi olarak kullanımı, farklı mineralojik ve fiziksel özellikleri nedeniyle çeşitli çalışmalarda detaylı biçimde incelenmiştir [34-36]

Diyoritik gabro örneklerinin oluştuğu tektonik rejimin belirlenebilmesi amacıyla çeşitli element oranlarına dayalı çoklu ayırım diyagramları kullanılmıştır. Bu diyagramlar, magmanın kaynağındaki farklılıklar ve yitim zonlarının etkisiyle şekillenen iz element davranışlarını temel alarak, magmatik süreçlerin tektonik bağlamda yorumlanmasını mümkün kılmaktadır. İncelenen örneklerin konumlandığı jeokimyasal alanlar, Pertek yöresindeki Geç Kretase magmatizmasının aktif kenar kuşağı (volkanik yay) koşullarında geliştiğini güçlü biçimde desteklemektedir.

Gabroik diyorit örneklerinin magmatik kökenini ve tektonik ortamını belirlemek amacıyla kullanılan Nb–Y diyagramı Şekil 9a’da sunulmuştur. Bu diyagram, Pearce vd. [37] tarafından granitoidlerin farklı tektonik ortamlarda gelişip gelişmediğini ayırt etmek üzere geliştirilmiş ve yaygın olarak kullanılmaktadır. İncelenen örneklerin tamamı, bu diyagramda açık biçimde “çarpışmayla eş zamanlı ve volkanik yay granitleri” alanında konumlanmaktadır. Bu alan, Nb ve Y elementlerinin düşük konsantrasyonlarda bulunduğu magmatik ürünleri tanımlar. Bu tür elementel düşüklükler, yay tipi magmatizmada yaygın olarak gözlenir; çünkü yitim zonlarında Nb ve Y gibi yüksek çekim alan gücüne sahip elementler kaynağa tutulur ve ergiyik faza sınırlı şekilde geçer [38]. Bu jeokimyasal

özellikler dikkate alındığında, incelenen gabroik diyorit örnekleri, yüksek Nb ve Y içeriğiyle karakterize edilen levha içi (intraplate) veya okyanus sırtı (ridge-type) granitlerinden farklıdır. Örneklerin “yay graniti” alanında toplanması, onların yitim ilişkili magmatik süreçlerle ilişkili oluştuğunu açıkça göstermektedir.

Diyoritik gabro örneklerinin oluştuğu tektonik ortamı değerlendirmek amacıyla kullanılan Rb/30–Hf–3Ta üçgen diyagramı Şekil 9b’de sunulmuştur. Harris vd. [39] tarafından geliştirilen bu diyagram, magmatik kayaçların volkanik yay (volcanic arc), çarpışmayla eş zamanlı (syn-collisional), çarpışma sonrası (post-collisional) veya levha içi (intraplate) ortamlarda gelişip gelişmediğini ayırt etmek için kullanılan etkin bir jeokimyasal ayırım aracıdır. İncelenen örneklerin tamamı, üçgenin Hf ucuna yakın, volkanik yay alanında konumlanmaktadır. Bu dağılım, söz konusu diyoritik gabroların aktif bir yakınsama zonunda, büyük olasılıkla okyanus-kıta çarpışması sürecine bağlı olarak gelişen yay tipi magmatizma sonucu oluştuğunu göstermektedir. Örneklerin bu alanda gruplaşması, yitimle ilişkili magmatik koşulları yansıttığı gibi, bölgenin jeodinamik evrimiyle de örtüşmektedir.



Şekil 9. İncelenen kayaçların tektonik ortamlarının belirlenmesine yönelik olarak kullanılan (a) Y–Nb diyagramı [37] ve (b) Hf–Rb/30–3Ta üçgen diyagramı [39]. Semboller Şekil 3 ile aynıdır ((a) Y–Nb diagram [37] and (b) Hf–Rb/30–3Ta triangular diagram [39] used to determine the tectonic settings of the studied rocks. Symbols are the same as in Figure 3

5. RESULTS BULGULAR (FINDINGS)

Pertek (Tunceli) yöresindeki yüzeylenen Geç Kretase yaşlı diyoritik gabroların mineralojik, jeokimyasal ve jeotermobarometrik özellikleri kapsamlı bir biçimde değerlendirilerek, bölgedeki yay tipi magmatizmanın evrimine ışık tutmaktadır.

Petrografik olarak plajiyoklas, amfibol ve daha az oranda piroksen minerallerinden oluşan bu kayaçlar, tamamen kristalin, orta–iri taneli bir plütonik dokuda gelişmiştir.

Jeokimyasal veriler, kayaçların mafik bileşimli, toleyitik seri karakterinde olduğunu ve Nb–Ta–Ti gibi elementlerde negatif anomaliler göstererek, yitim zonu magmatizmasıyla ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Mineral kimyası verileri ve jeotermobarometrik hesaplamalar, kristallenme sürecinin farklı evrelerini ayrıntılı olarak yansıtmaktadır. Plajiyoklas minerallerine dayalı hesaplamalar (Putirka, 2005; 2008), kristallenme sıcaklığının ~1284 °C, basıncın ise ~11 kbar olduğunu

göstermektedir. Bu yüksek sıcaklık ve basınç koşulları, kristallenmenin derin seviyeli (~35–40 km) bir plütonik ortamda, yüksek dereceli kısmi ergime ile oluşan mafik magmalarla gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, plajiyoklasın yüksek An (%80–85) içeriği, Ca açısından zengin bir ergiyikten erken evre kristallenme ile oluştuğunu desteklemektedir.

Diğer yandan, amfibol minerallerine dayalı hesaplamalar, sıcaklığın 955–1037 °C, basıncın ise ~1.87–2.12 kbar (yaklaşık 6.5–7.5 km) aralığında olduğunu göstermektedir. Bu değerler, amfibolun daha geç evrede, plajiyoklasla kıyasla daha sık bir ortamda kristallendiğini ve kristallenme sırasında magmanın oksijen fugasitesinin hafifçe indirgen ($\log fO_2$: -7.7 ile -9.7) olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, amfibolun suca doymuş koşullarda kristallendiğini gösteren H_2O içerikleri (%3.9–6.6), ergiyik bileşiminin uçucu bakımından zengin olduğunu ve bu durumun amfibolün erken stabilizasyonuna olanak sağladığını göstermektedir.

Her iki mineral grubunun jeotermobarometrik değerleri birlikte değerlendirildiğinde, diyoritik gabroların kristallenme sürecinin çok evreli, su bakımından zengin ve indirgen karakterli bir magmatik sistemde geliştiği anlaşılmaktadır. Derin kaynaklı, yüksek sıcaklıklı mafik ergiyikten türeyen bu kayalar, zamanla daha sık seviyelere yükselmiş ve burada amfibol gibi minerallerin kristallenmesine elverişli koşullar oluşmuştur. Söz konusu kristallenme dizilimi ve bileşen özellikleri, magmanın evrimsel soğuma süreci ile uyumludur.

Tektonik sınıflama diyagramları incelendiğinde, tüm örneklerin aktif bir volkanik yay ortamında oluştuğu belirlenmiştir. Bu durum, Neotetis'in güney kolunun kapanımı sürecinde gelişen yitim ilişkili magmatizmanın, Pertek bölgesinde izlediği jeodinamik süreci yansıtmaktadır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmanın değerlendirilmesine katkı sağlayan sayın editöre ve anonim hakemlere değerli görüş ve önerileri için teşekkür ederiz.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Mehmet Ali Ertürk: Deneyleri gerçekleştirerek sonuçları analiz etti ve bu çalışmayı yazdı.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Chappell, B. W. & White, A. J. R., "Two contrasting granite types", *Pacific Geology*, 8, 173–174, (1974).
- [2] Eby, G. N., "Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications", *Geology*, 20(7), 641–644, (1992).
- [3] Karaoğlu, F., Parlak, O., Hejl, E., Neubauer, F. & Klötzli, U., "The temporal evolution of the active margin along the Southeast Anatolian Orogenic Belt (SE Turkey): Evidence from U–Pb, Ar–Ar and fission track chronology", *Gondwana Research*, 33, 190–208, (2016).
- [4] Sar, A., Ertürk, M. A. & Rizeli, M. E., "Genesis of Late Cretaceous intra-oceanic arc intrusions in the Pertek area of Tunceli Province, eastern Turkey, and implications for the geodynamic evolution of the southern Neo-Tethys: Results of zircon U–Pb geochronology and geochemical and Sr–Nd isotopic analyses", *Lithos*, 350–351, 105263, (2019).
- [5] Ertürk, M. A., "Geochronology and petrology of Late Cretaceous subduction-related volcanics from Elazığ, SE Türkiye: Insights into deciphering petrogenesis and magma generation processes", *Geochemistry*, 85, 126234, (2025).
- [6] Ertürk, M. A., Beyarslan, M., Chung, S.-L. & Lin, T.-H., "Eocene magmatism (Maden Complex) in the Southeast Anatolian Orogenic Belt: Magma genesis and tectonic implications", *Geoscience Frontiers*, 9(6), 1829–1847, (2018).
- [7] Rızaoğlu, T., Parlak, O., Höck, V., Koller, F., Hames, W. E. & Billor, Z., "Andean-type active margin formation in the eastern Taurides: Geochemical and geochronological evidence from the Baskil granitoid (Elazığ, SE Turkey)", *Tectonophysics*, 473, 188–207, (2009).
- [8] Sar, A., Rizeli, M. E. & Ertürk, M. A., "Geçityaka Köyü (Tunceli) Çevresindeki Elazığ Magmatik Kompleksi'ne Ait Kayaların Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri", *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 9(2), 680–694, (2022).
- [9] Beyarslan, M. & Bingöl, A. F., "Zircon U–Pb age and geochemical constraints on the origin and tectonic implications of Late Cretaceous intra-oceanic arc magmatism in the Southeast Anatolian Orogenic Belt (SE-Turkey)", *Journal of African Earth Sciences*, 147, 477–497, (2018).
- [10] Ertürk, M. A., Sar, A. & Rizeli, M. E., "Petrology, zircon U–Pb geochronology and tectonic implications of the A1-type intrusions: Keban region, eastern Turkey", *Geochemistry*, 82(3), 125882, (2022).
- [11] Altunbey, M. & Sağiroğlu, A., "Skarn-type Ilmenite mineralization of the Tuzbaşı–Tunceli region, Eastern Turkey", *Journal of Asian Earth Science*, 21, 481–488, (2003).
- [12] Kara, H., Yalçın, C., Ertürk, M. A. & Kalender, L., "Mineral chemistry and iron isotope characteristics of magnetites in Pertek Fe-skarn deposit (Türkiye)", *Minerals*, 15, 369, (2025).

- [13] Liu, Y. S., Hu, Z. C., Gao, S., Günther, D., Xu, J., Gao, C. G. & Chen, H. H., "In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard", *Chemical Geology*, 257(1-2), 34-43, (2008).
- [14] Middlemost, E. A. K., "Naming materials in the magma/igneous rock system", *Earth-Science Reviews*, 37(3-4), 215-224, (1994).
- [15] Peccerillo, A. & Taylor, S. R., "Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey", *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58(1), 63-81, (1976).
- [16] Gill, J. B., *Orogenic andesites and plate tectonics*, Springer-Verlag, (1981).
- [17] Pearce, J. A. & Peate, D. W., "Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas", *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 23, 251-285, (1995).
- [18] Hawkesworth, C. J., Turner, S. P., McDermott, F., Peate, D. W. & Van Calsteren, P., "Thorium and uranium isotope variations in arc magmas: Implications for element transfer from the subducted crust", *Science*, 260(5106), 1157-1161, (1993).
- [19] Wood, D. A., "The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary Volcanic Province", *Earth and Planetary Science Letters*, 50(1), 11-30, (1980).
- [20] Pearce, J. A., "A user's guide to basalt discrimination diagrams", in: Wyman, D. A. (Ed.), *Trace element geochemistry of volcanic rocks: Applications for massive sulphide exploration*, 12, 79-113, Geological Association of Canada, Short Course Notes, (1996).
- [21] Sun, S. S. & McDonough, W. F., "Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes", in: Saunders, A. D. & Norry, M. J. (Eds.), *Magmatism in the ocean basins*, 42, 313-345, Geological Society (Special Publications), (1989).
- [22] McKenzie, D. & O'Nions, R. K., "Partial melt distributions from inversion of rare earth element concentrations", *Journal of Petrology*, 32(5), 1021-1091, (1991).
- [23] Rollinson, H., *Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation*, Longman Scientific & Technical, (1993).
- [24] Shand, S. J., *Eruptive rocks: Their genesis, composition, classification, and their relation to ore deposits with a chapter on meteorites*, John Wiley and Sons, (1943).
- [25] Maniar, P. D. & Piccoli, P. M., "Tectonic discrimination of granitoids", *Geological Society of America Bulletin*, 101(5), 635-643, (1989).
- [26] Deer, W. A., Howie, R. A. & Zussman, J., *An introduction to the rock-forming minerals (2nd ed.)*, Longman, (1992).
- [27] Winter, J. D., *Principles of igneous and metamorphic petrology (2nd ed.)*, Pearson Education, (2010).
- [28] Leake, B. E. et al., "Nomenclature of amphiboles: Report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association", *European Journal of Mineralogy*, 9(4), 623-651, (1997).
- [29] Putirka, K. D., "Igneous thermometers and barometers based on plagioclase + liquid equilibria: Tests of some existing models and new calibrations", *American Mineralogist*, 90, 336-346, (2005).
- [30] Putirka, K. D., "Thermometers and barometers for volcanic systems", in: Putirka, K. D. & Tepley, F. J. (Eds.), *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 69(1), 61-120, (2008).
- [31] Ridolfi, F. & Renzulli, A., "Calcic amphiboles in calc-alkaline and alkaline magmas: Thermobarometric and chemometric empirical equations valid up to 1,130 °C and 2.2 GPa", *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 163(5), 877-895, (2012).
- [32] Putirka, K., "Amphibole thermometers and barometers for igneous systems and some implications for eruption mechanisms of felsic magmas at arc volcanoes", *American Mineralogist*, 101(4), 841-858, (2016).
- [33] Spear, F. S., *Metamorphic phase equilibria and pressure-temperature-time paths*, Mineralogical Society of America, (1993).
- [34] Şimşek, O., "Nevşehir (Kavak) yöresi vişne renkli ignimbiritin duvar kaplamasında kullanılabilirliğinin araştırılması", *Politeknik Dergisi*, 25(1), 281-289, (2022).
- [35] Gültekin, A., Hosseinnezhad, H. & Ramyar, K., "Agrega türünün geopolimer betonun yüksek sıcaklık direncine etkisi", *Politeknik Dergisi*, 26(2), 913-921, (2023).
- [36] Arı, A. C., "Investigation of the effect of using epoxy coatings on salt crystallization in ignimbrite (Nevşehir-Türkiye) stones", *Politeknik Dergisi*, 28(1), [in press], (2025).
- [37] Pearce, J. A., Harris, N. B. W. & Tindle, A. G., "Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks", *Journal of Petrology*, 25(4), 956-983, (1984).
- [38] Pearce, J. A., "Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries", in: Thorpe, R. S. (Ed.), *Andesites: Orogenic andesites and related rocks*, 525-548, Wiley, (1982).
- [39] Harris, N. B. W., Pearce, J. A. & Tindle, A. G., "Geochemical characteristics of collision zone magmatism", *Geological Society, London, Special Publications*, 19, 67-81, (1986).