

Polatlı Bölgesinde Yüzeyleyen Paleojen Yaşlı Volkanik Kayaçlarda Gözlenen Analsimlerin**Kökene (Orta Anadolu, Ankara, Türkiye)**

Origin of Analcimes Observed in Paleogene Volcanic Rocks Outcropping in Polatlı (Central Anatolia, Ankara, Turkey)

Güllü Deniz Doğan Külahcı¹ , **Elif Varol Muratçay¹** , **Abidin Temel¹** 

¹ Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06800 Ankara, Türkiye

Öz: Polatlı bölgesindeki Paleojen (Eosen?) yaşlı olan, dom ve dayklar şeklinde yüzeyleyen volkanik kayaçlar üzerinde yapılan mineralojik (mikroskopi, mikroprop, SEM, XRD, DTA-TG) ve jeokimyasal incelemeler, bu kayaçlarda bulunan analsim minerallerinin oluşum mekanizmasını ortaya koymuştur. İncelenen bazik karakterdeki bu kayaçlar içerisinde bulunan analsim mineralleri klinopiroksen ve feldispatlarla birlikte gözlenmiştir. Mineralojik incelemelerde analsim dışında sulu minerallerin eksikliği ve XRD, DTA-TG, mikroprop analizleri ve optik mikroskop gözlemleriyle ortaya konulan kalıntı lösit varlığı, analsimlerin lösitlerden iyon değişimi yoluyla oluştuğunu göstermektedir. Analsimlerin SEM görüntülerindeki pürüzlü, düzensiz, çatlaklı ve mikro gözenekli yüzeylere sahip olması da bu dönüşümün bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, jeokimyasal analizler, bölgedeki volkanik kayaçların ilk oluşumları anında ultrapotasik karakterde olduğunu, silikaca doymun olmayan yüksek K₂O içeriklerinin lösit minerallerini oluşturmak için elverişli olduğunu düşündürmektedir. Bu bulgular, Polatlı bölgesindeki volkanik kayaçların, Neotetisin kuzey kolunun kapanmasını takip eden çarpışma ve sonrası dönemindeki kıtasal riftleşme ve gerilme rejimi ile ilişkili volkanik aktiviteler sonucunda oluştuğunu işaret etmektedir. Gerçekleşen bu dalma-batma sürecinde mantoya eklenen yüksek K içeriğine sahip kıtasal bileşenlerin kısmi ergimesi ile K'ca zenginleşen ve homojen olmayan manto kaynağından, ilk aşamada ultrapotasik özellik taşıyan ve sınırlı alanda yüzeyleyen Polatlı volkanik kayaçları oluşmuştur. Bu çalışma ile ise, bahsi geçen volkanik kayaçlarda gözlenen analsim minerallerinin, magmatik süreçlerin erken evrelerinde birincil olarak kristalleşen lösitlerden, postmagmatik süreçlerle iyon değişimi yoluyla oluştuğu ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Analsim, iyon değişimi, lösit, Polatlı, ultrapotasik, volkanizma.

Abstract: Mineralogical (microscopy, microprobe, SEM, XRD, DTA-TG) and geochemical studies of Paleogene (Eocene?) volcanic rocks in the Polatlı region, exposed as domes and dykes, revealed the formation mechanism of analcime minerals within these rocks. The analcimes in these basic rocks were observed with clinopyroxenes and feldspars. The lack of aqueous minerals, aside from analcime, and the detection of residual leucite through XRD, DTA-TG, microprobe analyses, and microscopy, suggest that analcime formed through an ion-exchange process from leucite during post-magmatic evolution. SEM images further support this hypothesis, revealing rough, irregular, cracked, and microporous surfaces of analcime, which are characteristic of this ion-exchange transformation. Additionally, geochemical analyses show that the volcanic rocks were ultrapotassic at the time of their formation, with high K₂O content not saturated with silica; thus,

providing conditions conducive to leucite crystallization. These results suggest that volcanic activity related to continental rifting and tectonic stress during the collision and post-collisional period after the closure of the northern branch of Neotethys produced the volcanic rocks in the Polatlı region. The ultrapotassic characteristics of the Polatlı volcanic rocks, which are confined to a relatively limited area, suggest that they formed from a heterogeneous potassium-enriched mantle source. This source underwent partial melting, incorporating high-K continental components added to the mantle during subduction; thus, enabling the formation of leucite and subsequently analcime in the later stages of magmatic evolution. In this study, the analcime observed in these volcanic rocks subsequently formed from leucite through ion exchange during post-magmatic processes.

Keywords: Analcime, ion exchange, leucite, Polatlı, volcanism, ultrapotassic.

* Yazışma / Correspondence: gdeniz@hacettepe.edu.tr

GİRİŞ

Analsim ($\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$) su içeren bir alüminosilikat minerali olup, birincil oluşumlar olarak magmatik süreçlerle oluşabileceği gibi, metasomatik veya hidrotermal alterasyon, hidroliz gibi değişim süreçleriyle ikincil oluşumlar olarak da meydana gelebilmektedir. Dünyadaki en yaygın analsim oluşumları sedimanter (gölsel) çökel ortamlarında olsa da, fonolit-lamprofir gibi alkali volkanik kayalar içinde, gözenekli volkanik kayaların boşluklarında ve hidrotermal alterasyon sonucunda da oluşabilmektedir (Karlsson ve Clayton, 1991). Analsimin oluşum mekanizması oldukça karmaşık olup, bu mineral önceki çalışmalar ışığında P tipi (Primary-Birincil tip), L (veya X) tipi (Lösit mineralinin dönüşümü ile oluşan tip), H tipi (Hidrotermal tip) ve S tipi (Sedimanter tip) analsimler olarak tanımlanmıştır (Luhr ve Kyser, 1989; Remy ve Ferrell, 1989; Renault, 1993; English, 2001; Bish ve Ming, 2001; Gottardi ve Galli 1985; O'Brien vd., 1988; Karlsson ve Clayton, 1991; Giampolo ve Lombardi, 1994; Demeny vd., 1997; Giampaolo vd., 1997; Dostal

vd., 2003; Deer vd., 2004; Prelevic 2005, Prelevic vd., 2004, 2005, 2008, 2012; Seryotkin ve Bakakin; 2008; Moradian, 2008; Henderson vd., 2014; Zhu vd., 2020; Wang vd., 2022). P tipi (birincil tip) analsimler magmatik kayalarda, L tipi veya X tipi (iyon değişimi ile lösitten dönüşmüş tip) analsimler ise, lösit minerallerinin Na'ca zengin hidrotermal çözeltiler veya sular ile etkileşime girerek düşük/orta sıcaklık ve düşük basınç koşullarında K-Na iyonlarının yer değiştirmesi süreciyle oluşmaktadır (Luhr ve Kyser, 1989; Utada, 2001). H tipi analsimler, hidrotermal alterasyon ile meydana gelirken, S tipi analsimler ise tuzlu-alkali göl suyu ile kil minerallerinin reaksiyonu veya sedimanter kayalardaki gömülme diyajenezi aşamaları (20 °C-120 °C) sırasında volkanik malzemelerin alterasyonu ile oluşmaktadır (Remy ve Ferrell, 1989; Renault, 1993; English, 2001; Bish ve Ming, 2001). İkincil olarak lösitten dönüşüm ile oluşan bu analsimlerin incelenmesi, volkanik kayaları oluşturan magmanın kimyasal karakterinin, metasomatik süreçlerin ve bölgenin

jeodinamik evriminin ortaya konulması için büyük önem taşımaktadır.

Türkiye tektonik birliklerinden Sakarya zonu ile Kırşehir masifinin birleşme zonunda bulunan Ankara ili ve çevresinde, Neojen yaşlı volkanik ve sedimanter kayaçlar yaygın olarak gözlenmekle birlikte (Wilson vd., 1997; Bozkurt vd., 1999; Varol vd., 2007; Temel vd., 2010; Varol vd., 2014, Karaoğlu vd., 2024), Kretase, Paleosen, Eosen dönemlerinde yüzeylenmiş daha yaşlı volkanik kayaçların varlığı da mevcuttur (Çapan 1984; Türkecan vd. 2001; Temel vd. 2001; Gülmez vd. 2016) (Şekil 1a). Bu çalışmanın konusunu oluşturan analsimler ise, Ankara'nın yaklaşık 60 km güneybatısında, Polatlı ilçesi ve çevresindeki (Orta Anadolu, Türkiye) sınırlı alanlarda yüzlek veren volkanik kayaçlar içerisinde yer almaktadır (Şekil 1b). Polatlı bölgesinde analsimlerin varlığı ve oluşumu üzerine Ataman ve Gündoğdu'nun (1981) çalışması mevcut olup, bu çalışma sadece görsel sedimanter çökellerdeki S tipi analsimler üzerine odaklanmış ve bu analsimlerin piroklastik ürünler ve ofiyolitik kayaçlarla ilişkili olduğu ortaya konulmuştur. Bu çalışmadaki bahse konu analsimler ise, çalışma alanında sınırlı bir alanda yüzlek vermiş volkanik kayaçlar içinde fenokristal ve mikrofeno-kristaller halinde yaygın olarak gözlemlenen minerallerdir. Erol (1955), çalışma alanındaki bu volkanik kayaçların, Paleosen-Eosen yaşlı görsel ve flüvyal killi-karbonatlı sedimanter serilerle ara katkılı olduğunu belirtmektedir. Bu bağlamda, analsim içeren bu volkanik kayaçların kesin yaşı belirlenememekle birlikte, genel yaş aralığı Paleojen dönemi olarak değerlendirilmiştir. Bunun yanında, Polatlı çevresinde bu döneme ait yüzeylenen volkanik kayaçların K-Ar yöntemine dayalı yaş tayinleri ile yaklaşık 49,7 milyon yıl önce

oluştugu belirlenmiştir (Temel vd., 2001). Dolayısıyla, çalışılan birimlerin de benzer stratigrafik seviyelerde olabileceği değerlendirilmiştir. Buna göre, analsim içeren Polatlı volkanik kayaçlarının Eosen döneminde meydana gelen volkanik aktiviteler sonucu yüzeye çıkan ürünler olduğu düşünülmektedir.

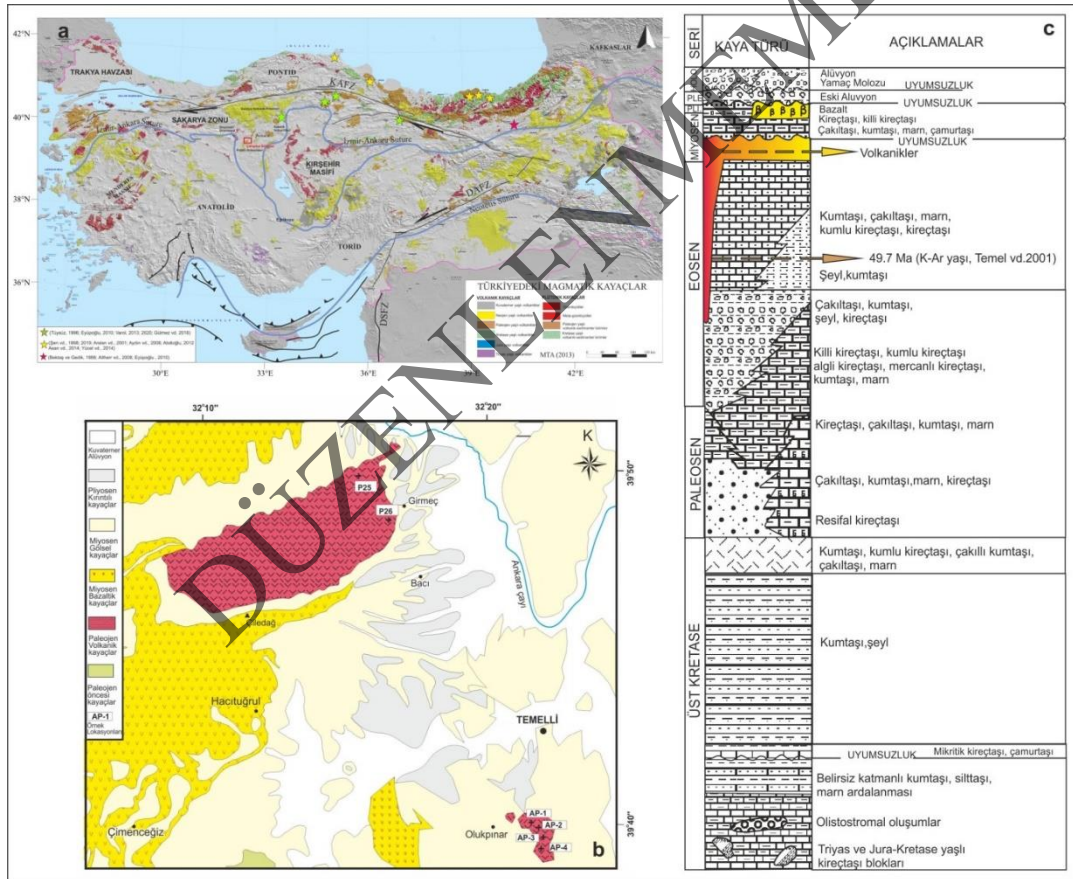
Bu çalışmada, Miyosen dönemde yoğunluğu giderek artan volkanik aktivitenin başlangıç evrelerinde küçük mostralalar halinde yüzeylenen Paleosen (Eosen?) yaşlı Polatlı volkanik kayaçlar ve içerisinde gözlenen analsim mineralleri mineralojik-petrografik, mineral kimyası ve jeokimyasal verilere dayanarak incelenmiştir. Buradan elde edilen bilgilerle, analsimlerin oluşum mekanizması dikkate alınarak, magmanın kristallenmesi sürecinde etkili olan süreçlere dair bilgilerin ortaya konulması amaçlanmıştır.

BÖLGENİN JEOLJİSİ

Çalışma alanında ve yakın civarında, en yaşlı birimler Triyas yaşlı Ankara Grubu olarak tanımlanan sedimanter birimlerden oluşur (Akyürek vd., 1997) (Şekil 1c). Bu birimler içinde kimi zaman Paleozoyik yaşlı kireçtaşı blokları dikkat çekmektedir ve kimi yerde diyabaz dayklarının bu birimleri kestiği gözlenmiştir. Bu birimler üzerine Jura yaşlı sedimanter birimler gelmekte, bu birikimle eş yaşlı volkanik kayaçların varlığı kimi yerde küçük mostralalar şeklinde gözlenmektedir (Akyürek vd., 1997). Üst Jura-Alt Kretase yaşlı bej, pembe renkli sığ denizel kireçtaşları, Üst Kretase yaşlı kızılımsı renkli kireçtaşı, çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşından oluşan birimlerce üzerlenmektedir (Ünalın vd., 1976). Kretase'nin sonlarına doğru bu birimlerin üzerine karbonatlı kumtaşı, çakıltaşı çökelleri gelmektedir (Hakyemez vd., 1986). Üst

Kretase dönemde sedimanter birikimlerle eşyaşlı oluştukları bilinen ve Ankara ve çevresinde yüzlek veren volkanik kayaçların varlığı (Akyürek vd., 1997; Gülmez vd., 2016) bilinmektedir. Volkanik kayaçlar, Akyürek vd. (1997) tarafından diğer litolojilerle ilişkilerden yola çıkarak çalışma alanında da içerisinde yoğun lösit oluşumlarının var olduğu birimler olarak tanımlanmıştır. Bu bölgeye ait volkaniklerin yoğunluklu olarak Miyosen dönemde oluşmuş olduğu, bazı kesimlerde ise küçük mostralar halinde sadece Eosen yaşlı volkanik kayaçların bulunduğu belirtilmektedir (Şekil 2) (Türkecan vd., 2001; Temel vd., 2001;

Bilgin, 2014). Paleosen dönemde biriken çakıltaşı, kumtaşı, şeyl, kireçtaşı ardalanmasından oluşan tortullara, Eosen dönemden itibaren ve özellikle Miyosen dönemde yoğun volkanik faaliyetlerle yüzeye ulaşan volkanik ürünlere aynı dönem boyunca çökelen tortul kayaçlar eşlik etmiştir (Akyürek vd., 1997; Varol vd., 2007; Temel vd., 2010). Volkanitlerle eşyaşlı çökelen ve sonrasında da çökmeye devam eden bu sedimanter birimlerin üzerini gevşek, tutturulmamış kum, mil ve çakıllardan oluşan alüvyonlar örtmektedir.



Şekil 1. a) Polatlı-Ankara bölgesini gösteren Türkiye haritası (Kısaltmalar: KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, EFZ: Eskişehir Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu) (Karaoğlu vd., 2024), tektonik çizgisellikler (Karaoğlu vd., 2024). Yıldız ile işaretlenmiş yerler ultrapotassik kayaçları göstermektedir (Bektaş ve Gedik, 1988; Channell vd., 1996; Şen vd., 1998; 2019; Aydın vd., 2008; Altherr vd., 2008; Eyüboğlu, 2010; Abdioğlu, 2012; Asan vd., 2014; Yücel vd., 2014; Varol 2013; 2020; Gülmez vd., 2016) **b)** Çalışma alanının jeoloji haritası (Erol (1955)'ten değiştirilerek alınmıştır). **c)** Haymana-Polatlı Bölgesi'ne ait stratigrafik istif (Bilgin, 2014'ten değiştirilerek alınmıştır).

Figure 1. a) Map of Turkey showing the Polatlı-Ankara region (Abbreviations: KAFZ: North Anatolian Fault Zone, EFZ: Eskişehir Fault Zone, DAFZ: East Anatolian Fault Zone) (Karaoğlu et al., 2024). Locations marked with an asterisk indicate ultrapotassic rocks (Bektaş and Gedik, 1988; Channell et al., 1996; Şen et al., 1998; 2019; Aydın et al., 2008; Altherr et al., 2008; Eyüboğlu, 2010; Abdioğlu, 2012; Asan et al., 2014; Yücel et al., 2014; Varol 2013; 2020; Gülmez et al., 2016) **b)** Geological map of the study area (modified from Erol (1955) **c)** Stratigraphic section for the Haymana-Polatlı region (Modified from Bilgin, 2014).



Şekil 2. a) Çiledağ kuzeyindeki Paleojen yaşlı volkanikler ve Miyosen yaşlı volkano-sedimanter birimler **b)** Bacı köyü kuzeybatısında Miyosen yaşlı volkano-sedimanter birimlerle ve Paleojen yaşlı volkaniklerin dokanağı. (Çizgi ile ayrılmış kısımdaki alt birimler Paleojen yaşlı volkanik kayalar ve üst birimler Miyosen yaşlı volkano-sedimanter birimler gözlenmektedir).

Figure 2. a) Paleogene volcanics north of Çiledağ and Miocene volcano-sedimentary units **b)** Contact of Miocene volcano-sedimentary units and Paleogene volcanics northwest of Bacı village. (The lower units in the section separated by lines are Paleogene volcanic rocks and the upper units are Miocene volcano-sedimentary units).

MATERYAL ve METOD

Araziden alınan örneklerden hem tüm kayaç hem de tüm kayaçtan ayıklanmış analsimler; optik mikroskopi, X-Işını Kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM), mikroprob ve X-Işını Floresans Spektrometresi (XRF) ile analiz edilmiştir. Volkanik kayalar ilk olarak optik mikroskop ile incelenmiştir. Tüm kayaç ve buradan ayıklanan analsim fenokristlerinin mineralojik analizleri Hacettepe Üniversitesi'nde (Ankara, Türkiye) Rigaku D/MAX-2200 marka XRD cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Tozlar, 5 ila 50 °2θ arasında CuKα radyasyonu kullanılarak 2°/dak

hızında taranmıştır. DTA-TG çekimi Rigaku 2.22E2 marka Termogravimetrik ve Diferansiyel Termal Analiz cihazı ile Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü'nde (Ankara, Türkiye) gerçekleştirilmiştir. Mineral kimyası ve SEM incelemeleri Blaise Pascal Üniversitesi'nde (Clermont-Ferrand, Fransa) Cameca SX 100 model elektron mikroprobu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Cihaz 15kV hızlandırma voltajı, 10-12 nA akım ve her bir eleman için 10 sn sayma süresi koşullarında çalışmaktadır. Analsim içeren örneklerin tüm kayaç ana element kimyası Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği

Bölümü'nde (Ankara, Türkiye) 3.0 kW, 100kV Rh-anot tüpü ile donatılmış Philips PW1480 marka XRF Spektrometresi kullanılarak analiz edilmiştir. Ana element analizleri 0,75 g kaya tozu ve 4,5 g lityum tetraborat ile hazırlanan eritişlerinden elde edilen camlar üzerinde gerçekleştirilmiştir.

MİNERALOJİ-PETROGRAFI

Çalışma alanında, analsim içeren volkanik kayalar birbirinden ayrı domlar ve dayklar olarak gözlenmektedir. Bu kayalar porfirik bir doku sergilemekte ve analsimin yanında, feldispat, piroksen, apatit ve Fe-Ti oksitleri içermektedir. Feldispat çoğunlukla mikrofenkristal ve mikrolitler olarak bulunmaktadır. Piroksenlerin bir kısmı özşekilli bir kısmı ise yarı özşekilli olup çoğunlukla klinopiroksen olarak gözlenmektedir (Şekil 3a, b, c ve d). Analsimler fenokristal, mikrofenkristal ve bazı kesitlerde polikristaller olarak bulunmaktadır (Şekil 3a, c, e, g ve h). Apatitler ve oksitler yarı özşekilli olup, seyrek olarak gözlenmektedir. Analsim kristalleri bejimsi, pembemsi renklerde olup, hem kenarlarından itibaren yuvarlaklaşmaya başlamış yarı özşekilli hem de özşekilli kristaller (0,5 cm çapa kadar) olarak görölmektedir. Genellikle çatlaklı olarak gözlenen analsimler, çoğunlukla bulanık halde gözlemlenmektedir. Kalıntı lösitlerin varlığı bazı analsim mineralleri içinde dikkat çekmektedir. Bu kalıntılar birinci dizi girişim renginde olup, dalgalı sönme göstermektedir (Şekil 3f).

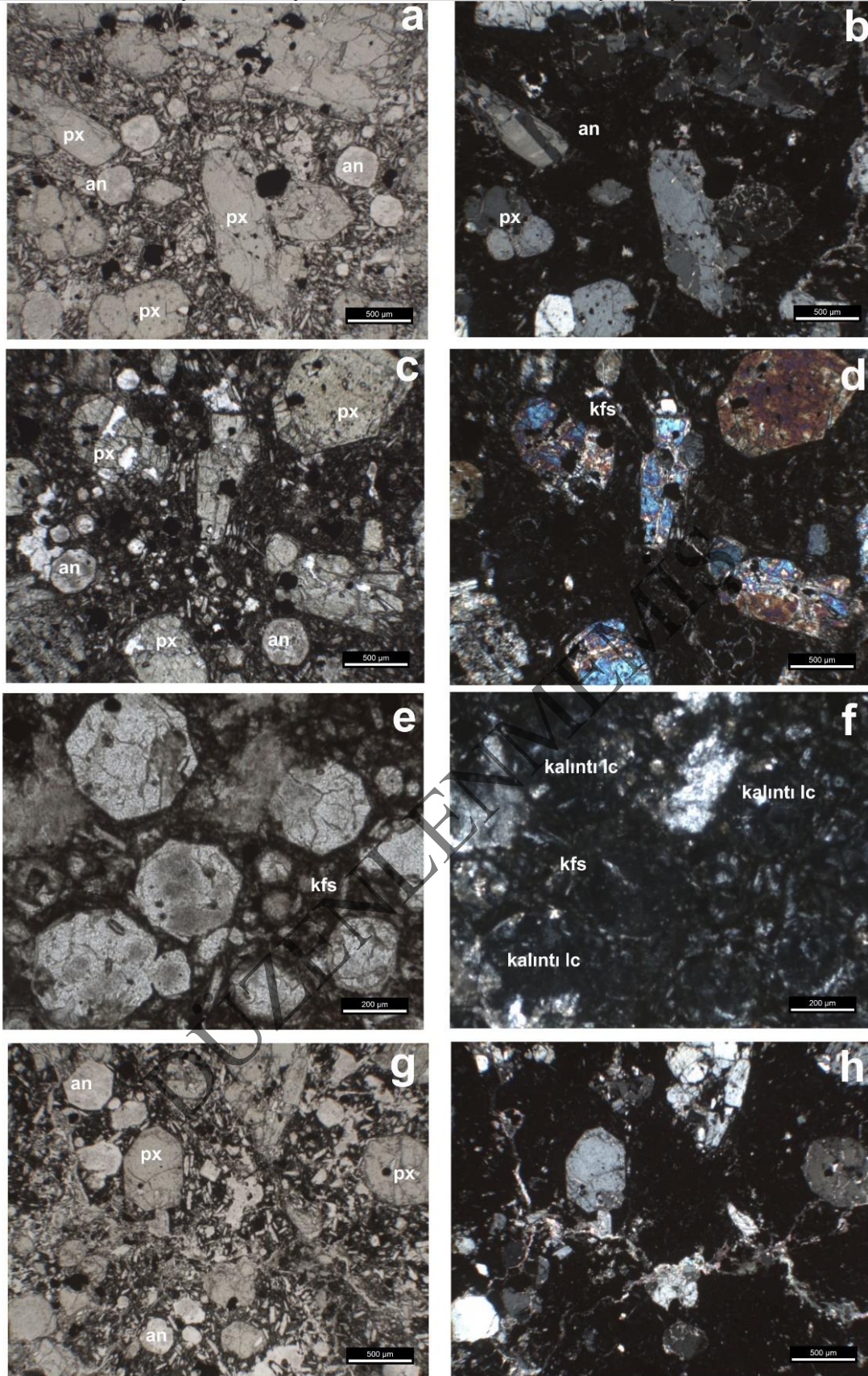
XRD ve DTA-TG ANALİZLERİ

Bölgeden alınmış örneklerden ayrılmış iri analsim fenokristallerinden elde edilen XRD deseni Şekil 4a'da verilmektedir. Bu kristallerden bazıları saf analsimler olup, 5,61, 4,87, 3,78, 3,67, 3,43, 2,93,

2,80, 2,70, 2,50, 2,42, 2,23, 1,91 ve 1,87 Å'de yansıma göstermektedir (JCPDS, 1986). Bazı kristaller ise, eser miktarda da olsa lösit kalıntılarının varlığını ortaya koyan piklerde de yansıma göstermektedir (Şekil 4a). Şekil 4b ise, analsimin diferansiyel termal analiz ve termogravimetrik (DTA-TG) analiz sonuçlarını göstermektedir. Kayaç içinde kristal yapısında su içeren tek mineral analsimlerdir, bu analiz ile de kayaç içindeki yüksek miktardaki su kayıpları gözenek suyu ve analsimlerdeki kristal suyuna atfedilebilir.

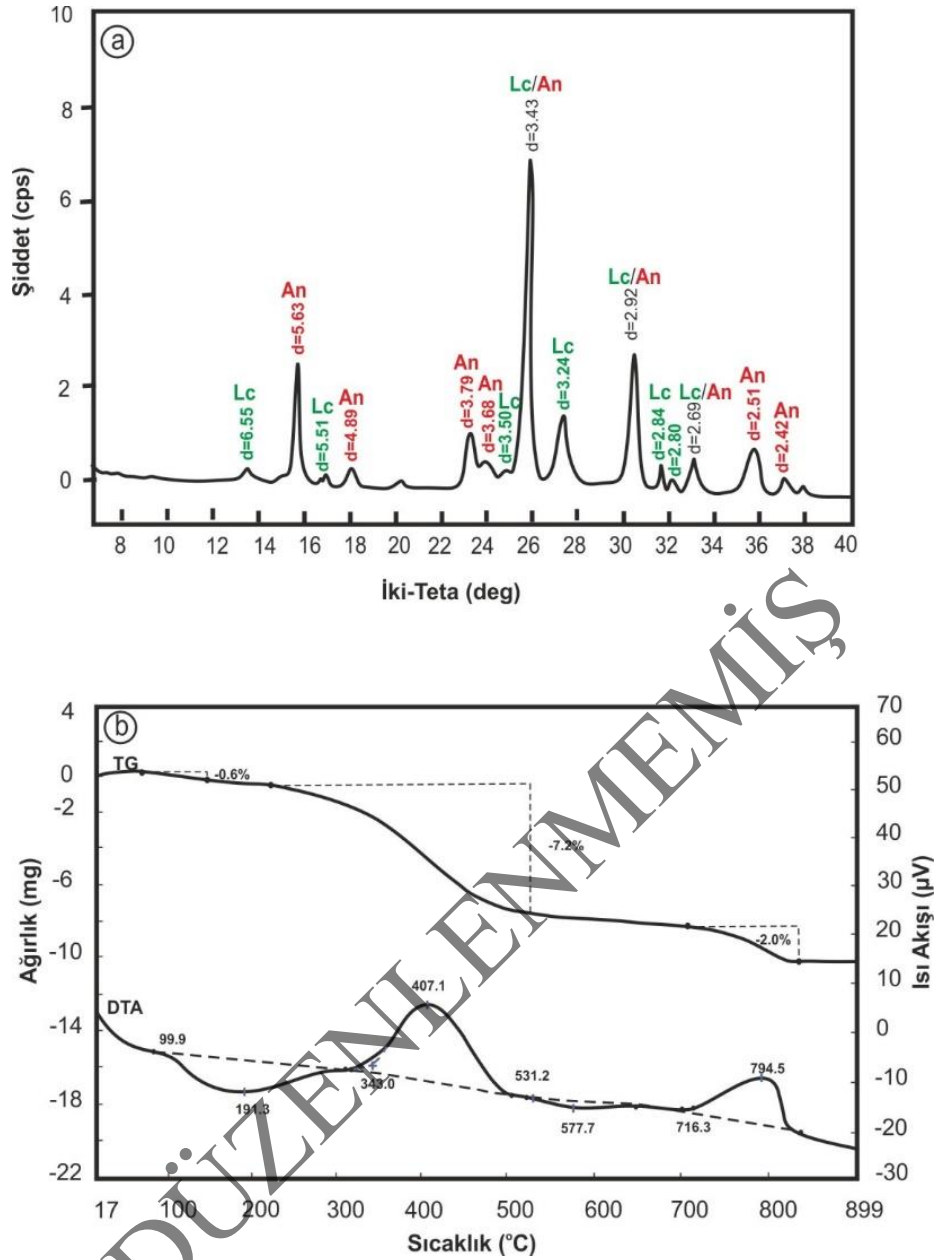
MİNERAL KİMYASI

Mineral kimyası analizleri, fenokristaller ve mikrofenkristaller üzerinde yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar piroksen ve feldispat (Morimoto, 1988) için kullanılan mineral sınıflama diyagramlarına yerleştirilmiş ve adlandırılmıştır (Çizelge 1, 2; Şekil 5). Bunların yanında analsim çözümlenmeleri de gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3). Buna göre, kayalar içinde yoğun olarak gözlenen klinopiroksenlerin, diyopsit kompozisyonunda olduğu belirlenmiştir (Şekil 5a). Feldispatların albit, ortoklaz dışında daha çok bu iki kristalin katı çözelti serisini oluşturan anortoklazlar olduğu, bünyelerinde kimi zaman Na kimi zaman da K'yı fazla miktarda bulundurduğu tespit edilmiştir (Şekil 5b). Analsimlerde yapılan çözümlenmelerde genellikle yüksek Na içeriklerinin yanında bazı minerallerde K oranlarının %0,77-1,5 aralığında olduğu, bunun da kalıntı lösitlerin varlığını desteklediği düşünülmektedir.



Şekil 3. Çalışma alanından alınan örneklerin optik mikroskop görüntüleri. **a, b)** Piroksen ve öz şekilli analcime mikrofenokristalleri, **c, d)** Piroksen mikrofenokristal ve fenokristalleri, piroksenler daha çok klinopiroksen olarak bulunmaktadır, **e, f)** Analcime ve kalıntı lösit kristalleri, **g, h)** Piroksen ve analcime mikrofenokristalleri (a, c, e, g-1.nikol; b, d, f, h-2. nikol) (Kısaltmalar: an: analcime, kfs: K-feldspat, lc: lösit, px: piroksen).

Figure 3. Optical microscopy images of samples from the study area. **a, b)** Pyroxene and euhedral analcime microphenocrysts, **c, d)** Pyroxene microphenocrysts and phenocrysts, pyroxenes are more commonly found as clinopyroxene, **e, f)** Analcime and residual leucite crystals, **g, h)** pyroxene and analcime microphenocrysts (a, c, e, g- plane polarized light; b, d, f, h- crossed polarized light) (Abbreviations: an: analcime, kfs: K-feldspar, lc: leucite, px: pyroxene).



Şekil 4. a) Analsim ve lösit fenokristallerinin XRD deseni (Kısaltmalar: An: Anortit; Lc: Lösit) **b)** Analsim mineralinin diferansiyel termal analiz ve termogravimetrik (DTA-TG) analiz sonuçları.

Figure 4. a) XRD pattern for analcime and leucite phenocrysts (Abbreviations: An: Analcime, Lc: Leucite), **b)** Differential thermal analysis and thermogravimetric (DTA-TG) analysis results for analcime.

Çizelge 1. Polatlı Bölgesi Paleojen yaşlı volkanik kayalardaki klinopiroksen mineralleri üzerinde yapılmış olan mikroprop analiz sonuçları (İyon sayıları 6 O bazına göre hesaplanmıştır).

Table 1. Results of microprobe analysis performed on clinopyroxene minerals in Paleogene volcanic rocks from Polatlı (Calculated based on 6 O).

	Piroksen																			
	P-25										P-26									
	#17	#18	#19	#20	#21	#22	#25	#26	#27	#28	#33	#34	#35	#36	#38	#39	#43	#50	#53	
SiO ₂	52,808	50,083	53,204	48,776	49,499	52,216	50,872	50,605	51,538	50,076	52,083	50,286	50,731	50,417	48,992	50,271	49,184	50,547	48,468	
TiO ₂	0,247	0,594	0,229	0,734	0,621	0,297	0,319	0,450	0,569	0,674	0,287	0,537	0,666	0,676	0,811	0,674	0,774	0,652	0,911	
Cr ₂ O ₃	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Al ₂ O ₃	1,374	3,044	1,034	4,484	4,501	2,067	3,101	3,306	2,872	3,448	2,099	3,397	3,597	3,639	5,215	3,603	4,896	3,930	5,411	
FeO	4,696	9,128	3,822	9,386	10,836	5,056	5,944	8,421	6,059	9,120	4,531	7,957	7,995	8,228	8,470	6,611	9,023	8,158	8,776	
MnO	0,103	0,279	0,087	0,269	0,353	0,120	0,096	0,176	0,139	0,260	0,164	0,249	0,227	0,305	0,256	0,159	0,230	0,234	0,226	
MgO	16,083	13,709	16,836	12,877	12,371	15,904	15,004	13,820	15,057	13,041	15,977	13,702	14,205	14,052	13,210	14,596	13,051	14,037	13,382	
CaO	23,459	21,973	23,755	22,169	21,708	23,640	23,274	22,618	23,471	22,233	23,800	23,376	22,724	22,675	22,766	23,025	21,724	21,768	22,266	
K ₂ O	0,001	0,039	0,020	0,016	0,000	0,000	0,010	0,035	0,000	0,034	0,005	0,000	0,017	0,035	0,024	0,028	0,000	0,023	0,006	
Na ₂ O	0,159	0,271	0,131	0,376	0,532	0,147	0,235	0,361	0,185	0,406	0,190	0,318	0,274	0,295	0,466	0,259	0,386	0,348	0,306	
Toplam	98,930	99,118	99,117	99,085	100,420	99,447	98,852	99,792	99,890	99,291	99,136	99,823	100,436	100,322	100,209	99,226	99,267	99,697	99,753	
Si ⁴⁺	1,955	1,880	1,958	1,834	1,844	1,925	1,891	1,881	1,900	1,879	1,922	1,869	1,872	1,864	1,813	1,868	1,843	1,878	1,804	
Ti ⁴⁺	0,007	0,017	0,006	0,021	0,017	0,008	0,009	0,013	0,016	0,019	0,008	0,015	0,018	0,019	0,023	0,019	0,022	0,018	0,025	
Cr ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Al ³⁺	0,060	0,135	0,045	0,199	0,198	0,090	0,136	0,145	0,125	0,153	0,091	0,149	0,156	0,159	0,228	0,158	0,216	0,172	0,237	
Fe ²⁺	0,145	0,287	0,118	0,295	0,338	0,156	0,185	0,262	0,187	0,286	0,140	0,247	0,247	0,254	0,262	0,205	0,283	0,254	0,273	
Mn ²⁺	0,003	0,009	0,003	0,009	0,011	0,004	0,003	0,006	0,004	0,008	0,005	0,008	0,007	0,010	0,008	0,005	0,007	0,007	0,007	
Mg ²⁺	0,887	0,767	0,924	0,722	0,687	0,874	0,831	0,766	0,827	0,729	0,879	0,759	0,781	0,774	0,729	0,808	0,729	0,778	0,742	
Ca ²⁺	0,931	0,884	0,937	0,893	0,867	0,934	0,927	0,901	0,927	0,894	0,941	0,931	0,898	0,898	0,903	0,917	0,872	0,867	0,888	
K ⁺	0,000	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,002	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	
Na ⁺	0,011	0,020	0,009	0,027	0,038	0,011	0,017	0,026	0,013	0,030	0,014	0,023	0,020	0,021	0,033	0,019	0,028	0,025	0,022	
Wo	0,474	0,456	0,474	0,468	0,458	0,476	0,477	0,467	0,478	0,468	0,480	0,481	0,466	0,466	0,477	0,475	0,463	0,457	0,466	
En	0,452	0,396	0,467	0,378	0,363	0,445	0,428	0,397	0,426	0,382	0,448	0,392	0,406	0,402	0,385	0,419	0,387	0,410	0,390	
Fs	0,074	0,148	0,059	0,155	0,179	0,079	0,095	0,136	0,096	0,150	0,071	0,128	0,128	0,132	0,138	0,106	0,150	0,134	0,144	

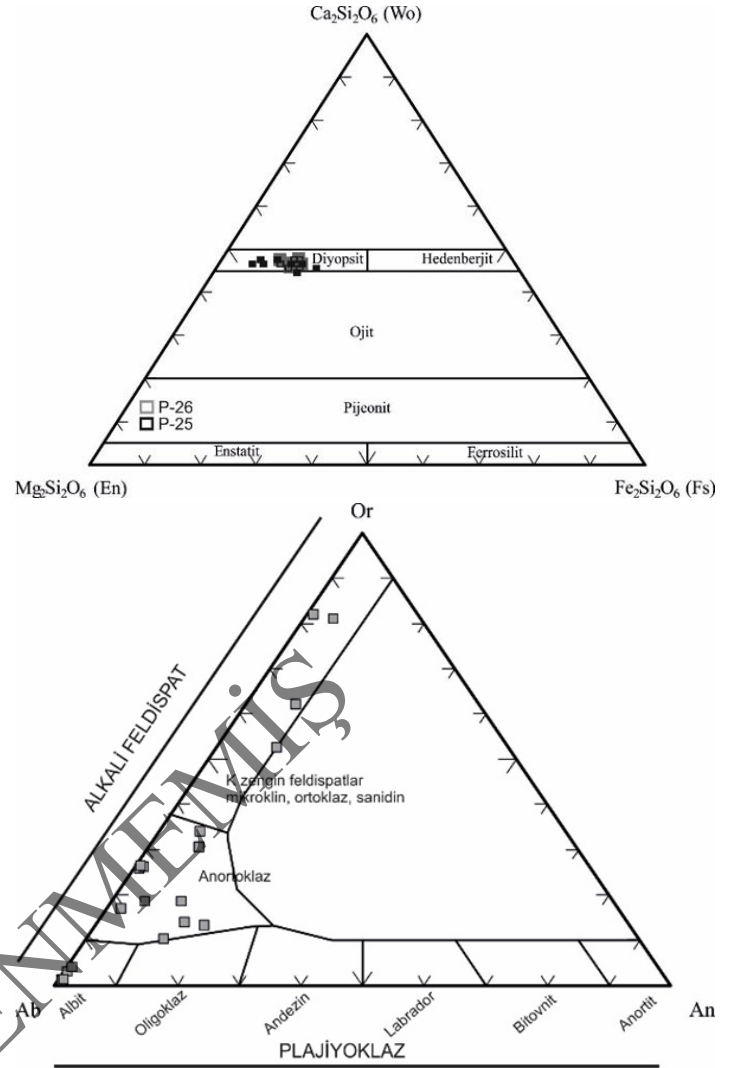
Çizelge 2. Polatlı Bölgesi Paleojen yaşlı volkanik kayalarındaki feldispat mineralleri üzerinde yapılmış olan mikroprop analiz sonuçları (İyon sayıları 32 O bazına göre hesaplanmıştır).

Table 2. Results of microprobe analysis on feldspar minerals in Paleogene volcanic rocks from Polatlı (Calculated based on 32 O).

Plajiyoklaz	P-26		AP-3																						
	#37	#44	#98	#99	#100	#101	#102	#103	#104	#105	#106	#107	#108	#110	#111	#112	#113	#115	#116	#117	#118	#119	#120	#121	#123
SiO ₂	62,478	63,727	61,982	64,138	64,298	65,708	60,683	64,155	64,142	59,573	59,194	64,604	62,454	67,240	68,577	64,893	0,445	0,383	64,701	62,136	63,535	66,562	63,982	64,369	65,858
TiO ₂	0,000	0,033	0,048	0,098	0,000	0,000	0,667	0,000	0,033	0,105	0,012	0,000	0,000	0,013	0,040	0,023	0,000	0,000	0,023	0,000	0,058	0,012	0,045	0,023	0,160
Cr ₂ O ₃	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Al ₂ O ₃	19,644	18,879	20,655	18,703	18,070	21,177	21,424	17,761	20,164	23,072	18,114	18,919	21,018	20,370	19,911	19,045	0,025	0,000	18,486	19,591	20,616	19,410	18,915	18,280	20,566
FeO	0,136	0,100	0,383	0,190	0,207	0,233	0,610	0,169	1,189	0,701	0,410	0,124	0,437	0,143	0,050	0,153	0,228	0,181	0,273	0,385	0,300	0,156	0,138	0,140	0,234
MnO	0,000	0,030	0,015	0,032	0,000	0,009	0,000	0,000	0,070	0,019	0,000	0,063	0,000	0,000	0,000	0,005	0,094	0,036	0,036	0,003	0,000	0,039	0,000	0,000	0,015
MgO	0,005	0,000	0,068	0,045	0,033	0,045	0,121	0,022	0,174	0,129	0,101	0,000	0,041	0,025	0,000	0,010	0,169	0,143	0,090	0,068	0,053	0,036	0,005	0,003	0,000
CaO	0,239	0,008	3,108	0,585	0,151	1,766	3,320	0,056	1,417	5,746	4,613	0,112	2,588	0,707	0,164	0,330	54,012	53,724	0,084	1,291	1,715	0,206	0,222	0,000	1,385
K ₂ O	15,725	16,153	10,512	11,333	16,286	3,510	9,350	16,618	7,021	4,600	10,008	9,248	8,986	1,214	1,445	9,531	0,069	0,028	16,752	10,205	7,185	10,574	14,241	17,165	2,845
Na ₂ O	0,232	0,820	2,159	3,627	0,306	7,565	2,770	0,162	6,104	4,903	2,913	4,894	3,645	10,494	10,548	5,269	0,024	0,030	0,136	3,817	5,469	5,814	0,922	0,036	8,976
Toplam	98,459	99,751	98,931	98,752	99,352	100,012	98,945	98,942	100,314	98,849	95,365	97,964	99,171	100,205	100,735	99,260	55,066	54,525	100,581	97,496	98,931	102,808	98,470	100,018	100,041
Si ⁴⁺	2,933	2,942	2,877	2,952	2,995	2,934	2,810	3,003	2,875	2,728	2,835	2,978	2,866	2,947	2,992	2,944	0,038	0,033	2,978	2,891	2,893	2,903	3,000	2,980	2,916
Ti ⁴⁺	0,000	0,001	0,002	0,003	0,000	0,000	0,023	0,000	0,001	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000	0,002	0,001	0,005
Cr ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Al ³⁺	1,087	1,027	1,130	1,015	0,992	1,114	1,169	0,980	1,065	1,245	1,022	1,028	1,137	1,052	1,024	1,018	0,002	0,000	1,003	1,074	1,106	0,998	1,045	0,997	1,073
Fe ²⁺	0,005	0,004	0,015	0,007	0,008	0,009	0,024	0,007	0,045	0,027	0,016	0,005	0,017	0,005	0,002	0,006	0,016	0,013	0,011	0,015	0,011	0,006	0,005	0,005	0,009
Mn ²⁺	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,003	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001
Mg ²⁺	0,000	0,000	0,005	0,003	0,002	0,003	0,008	0,002	0,012	0,009	0,007	0,000	0,003	0,002	0,000	0,001	0,021	0,018	0,006	0,005	0,004	0,002	0,000	0,000	0,000
Ca ²⁺	0,012	0,000	0,155	0,029	0,008	0,084	0,165	0,003	0,068	0,282	0,237	0,006	0,127	0,033	0,008	0,016	4,904	4,925	0,004	0,064	0,084	0,010	0,011	0,000	0,066
Na ⁺	0,021	0,073	0,194	0,324	0,028	0,655	0,249	0,015	0,530	0,435	0,270	0,437	0,324	0,892	0,892	0,463	0,004	0,005	0,012	0,344	0,483	0,492	0,084	0,003	0,770
K ⁺	0,942	0,951	0,622	0,665	0,968	0,200	0,552	0,992	0,401	0,269	0,611	0,544	0,526	0,068	0,080	0,551	0,007	0,003	0,984	0,606	0,417	0,588	0,852	1,014	0,161
Ab	2,166	7,160	20,004	31,797	2,756	69,721	25,752	1,456	53,048	44,152	24,180	44,327	33,174	89,819	91,014	44,949	0,080	0,101	1,214	33,944	49,075	45,122	8,853	0,318	77,291
Or	96,601	92,801	64,083	65,369	96,493	21,284	57,192	98,266	40,147	27,254	54,659	55,112	53,810	6,837	8,204	53,496	0,152	0,062	98,372	59,711	42,420	53,994	89,969	99,682	16,118
An	1,233	0,039	15,914	2,834	0,751	8,994	17,057	0,278	6,805	28,594	21,161	0,561	13,016	3,344	0,782	1,556	99,768	99,837	0,414	6,345	8,504	0,884	1,178	0,000	6,591

Çizelge 3. Polatlı Bölgesi Paleojen yaşlı volkanik kayalarındaki analsim mineralleri üzerinde gerçekleştirilmiş olan mineral kimyası analiz sonuçları.**Table 3.** Results of microprobe analysis on analcime minerals in Paleogene volcanic rocks from Polatlı.

Analsim	AP-3										P-26														
	#1	#2	#4	#6	#7	#8	#10	#11	#12	#14	#15	#19	#20	#21	#109	#122	#40	#41	#42	#45	#46	#47	#48	#49	#54
SiO ₂	57,33	58,16	57,53	58,93	57,98	57,56	57,38	53,06	57,56	58,94	58,28	57,89	57,52	57,77	57,88	59,63	57,80	55,88	55,52	56,75	59,13	57,66	55,24	54,92	57,57
TiO ₂	0,06	0,02	0,02	0,00	0,01	0,03	0,04	0,00	0,05	0,07	0,03	0,05	0,06	0,08	0,10	0,07	0,00	0,01	0,00	0,04	0,24	0,01	0,00	0,00	0,01
Al ₂ O ₃	23,78	24,31	22,76	24,30	24,17	24,87	24,45	22,31	24,51	24,60	24,36	24,56	24,38	24,35	23,70	24,15	24,53	23,96	24,09	24,22	23,77	24,68	23,95	23,70	23,74
FeO	0,23	0,32	0,26	0,47	0,20	0,28	0,31	0,30	0,29	0,41	0,62	0,34	0,35	0,37	0,48	0,61	0,04	0,00	0,04	0,15	0,38	0,50	0,00	0,04	0,19
MnO	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,05	0,03	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,01	0,00	0,00
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,05	0,15	0,03	0,01	0,00
CaO	0,12	0,13	0,04	0,03	0,06	0,22	0,08	0,11	0,15	0,18	0,06	0,06	0,10	0,22	0,07	0,10	0,07	0,03	0,13	0,12	0,11	0,18	0,23	0,06	0,08
K ₂ O	0,01	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,04	0,02	0,04	0,02	0,03	0,08	0,03	0,00	0,01	0,06	0,04	0,05	0,03	0,33	0,78	0,16	0,02	0,00	1,51
Na ₂ O	10,74	10,87	11,65	10,59	11,14	10,68	11,18	9,08	11,18	9,97	9,17	11,01	11,05	10,04	8,58	6,81	10,58	13,13	13,01	11,15	6,99	7,44	12,07	12,25	10,18
Toplam	92,27	93,83	92,28	94,34	93,56	93,66	93,47	84,88	93,82	94,20	92,59	94,00	93,52	92,88	90,83	91,46	93,09	93,06	92,83	92,76	91,45	90,85	91,56	90,99	93,30

**Şekil 5.** Örneklerin a) piroksen ve b) feldispat mineral kimyası çözümlemeleri.**Figure 5.** Mineral chemistry analyses of a) pyroxene and b) feldspar.

JEOKİMYA

6 adet lav akıntısı üzerinde yapılan ana element analiz sonuçları ve CIPW norm değerleri Çizelge 4'te verilmiştir. Temelli güneyi ve KB'sında dar alanlarda gözlenen volkanik kayaların (Şekil 1b) SiO₂ içerikleri %44,28-51,25 aralığında değişmektedir. Bu değerler örneklerin tamamının bazik özellikte olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışılan örnekler altere olmayıp, elde edilen %6,28-8,01 aralığındaki ateşte kayıp (LOI) değerleri analsimin varlığını desteklemektedir. Örneklerin MgO içerikleri ise, ağırlıkça %2,53-5,07 arasında değişmektedir. Primitif manto değerlerine göre oldukça düşük olan Mg# değerleri (44,5 - 53,3)

örneklerin oluşumları süresince yoğun farklılaşma süreçlerine maruz kaldıklarını ortaya koymaktadır.

Çizelge 4. Polatlı Bölgesi Paleojen yaşlı volkanik kayaların ana Element ve CIPW norm değerleri (P-25 ve P26 örnekleri Temel vd. (2001)'den alınmıştır).

Table 4. Major Element and CIPW norm values for Paleogene volcanic rocks from Polatlı (P-25 and P-26 are taken from Temel et al. (2001)).

Ana Element (%)	Örnekler					
	P-25	P-26	AP-1	AP-2	AP-3	AP-4
SiO ₂	45,8	44,28	49,2	49,5	51,25	49,3
TiO ₂	0,71	0,89	0,47	0,51	0,63	0,58
Al ₂ O ₃	12,04	12,31	17,35	15,63	16,2	17,58
Fe ₂ O ₃	9,78	10,19	6,18	6,42	5,98	6,25
MnO	0,193	0,194	0,211	0,192	0,091	0,135
MgO	5,07	4,42	3,38	3,47	3,45	2,53
CaO	9,63	10,27	5,13	5,5	5,42	5,72
Na ₂ O	3,29	2,86	3,76	3,59	4,22	6,69
K ₂ O	4,37	5,06	7,25	6,87	4,57	2,82
P ₂ O ₅	0,47	0,48	0,28	0,32	0,37	0,29
Ateşte kayıp	7,82	7,85	6,28	6,95	6,83	8,01
Toplam	99,17	98,80	99,49	98,95	99,01	99,91
CIPW						
Kuvars	0	0	0	0	0	0
Anortit	5,63	6,38	9,69	6,76	12,78	10,44
Albit	1,94	0	2,48	6,66	28,49	28,76
Ortoklaz	28,25	16,9	45,92	44,09	29,25	18,14
Nefelin	15,45	14,39	17,13	14,27	5,52	18,14
Lösit	0	12,47	0	0	0	0
Piroksen	35,83	38,4	12,95	17,03	11,32	15,31
Olivin	7,81	5,84	8,69	7,76	8,95	6,14
Kalsilit	0	0	0	0	0	0

Bu ana element değerleri gözönüne alınarak hesaplanan CIPW normatif mineralojik bileşenler Verma vd. (2002) tarafından yazılan 'SINCLAS' yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Buna göre Polatlı volkanik kayalarının jeokimyasal içeriklerinin feldispatoyid minerali üretme potansiyelinde olduğu ortaya konulmuştur.

TARTIŞMA

Analsimlerin Kökeni

Polatlı bölgesinde sınırlı alanlarda yüzlek veren volkanik kayalar içinde yoğun analsim oluşumları dikkat çekmektedir. Bu kayalar üzerinde gerçekleştirilen mineralojik incelemeler sonucunda bazı örneklerde bulunan analsimler içinde lösit kalıntıları gözlenmektedir (Şekil 3f). Literatürde, potasik kayalarda gözlenen analsim varlığı geçmişte de kayacın kökeni ve geçirmiş olduğu

süreçlere dair yapılan yorumlamalarda yanlışlara sebebiyet verebilmektedir. Bu sebeple analsimin varlığının ortaya konulduğu kayalarda, bu mineralin kökenine ve kayacın oluşum mekanizmasına dair yorumların ayrıntılı mineralojik incelemeler sonrasında yapılması gerekmektedir.

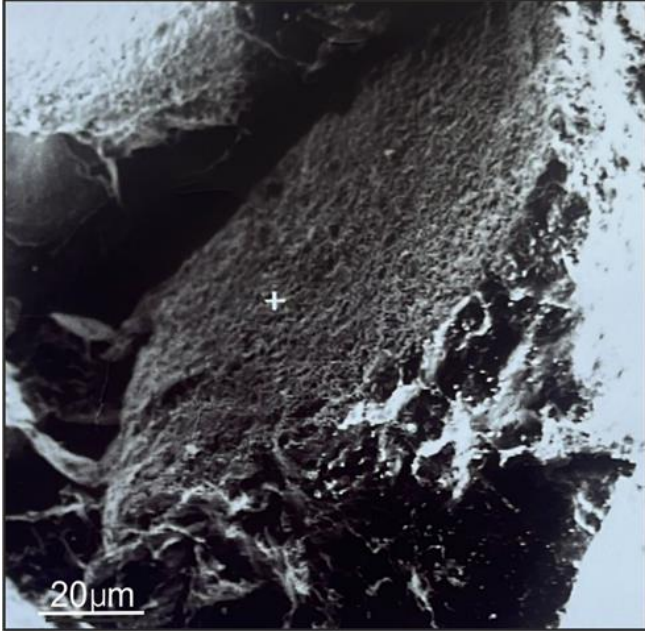
Ankara'dan (Kalecik) başlayarak Orta ve Doğu Pontidlere (Sinop, Samsun, Amasya, Trabzon, Bayburt) kadar devam eden bir kuşak üzerinde postmagmatik süreçte oluşan geç evre analsimlerinin gözlendiği volkanik kayaların varlığı bilinmektedir (Şekil 1a) (Şen vd.,1998; Altherr, vd., 2008; Abdioglu vd., 2012; Asan vd., 2014; Yücel vd., 2014; Varol, 2013; Gülmez vd., 2016; Varol, 2020). Polatlı bölgesinde sınırlı alanda yüzeylenen volkanik kayalarda da fazla miktarda gözlenen, birçoğu kenarlarından itibaren yuvarlaklaşmış, mineralojik incelemeler ile analsim olduğu tespit edilen, farklı boyutlardaki analsimlerin varlığı ilk kez bu çalışmada ortaya konulmuştur (Şekil 3 ve 4). Analsimlerin magmatik kayalar içinde birincil oluşumlar olarak kristalleşmesi durumunda kayaç içinde amfibol, biyotit, filogopit gibi başka sulu minerallerin varlığı da beklenmektedir (Karlsson ve Clayton, 1991). Fakat Polatlı bölgesinden alınmış çalışma konusu bu volkanik kayaların içinde sadece klinopiroksen ve daha çok hamur içinde olmak üzere feldispat mineralleri gözlenmekte, bahsi geçen bu sulu minerallerden hiçbirine rastlanmamıştır. Bunun yanında, optik mikroskop incelemelerinde bazı iri analsim kristalleri içinde kalıntı lösit mineralleri dikkat çekmektedir (Şekil 3f). Bu optik mineralojik gözlemlerden yola çıkılarak, aynı örneklerden ayrılmış analsimler üzerinde gerçekleştirilen XRD

çözümlemeleri ile de kalıntı lösitlerin varlığı ortaya konulmuştur (Şekil 4a).

Bu gözlemler, bu minerallerin analsimizasyon süreci sonucunda kayaç içinde varolan lösitlerden iyon-değişimi yoluyla oluştuğunu düşündürmektedir. Giampaolo vd. (1997)'ye göre eriyiğin içerdiği gaz, soğuma sırasında lösit minerallerinin parçalanmasına yol açmakta ve bu sırada potasyum (K)'un serbest kalmasıyla lösit minerali duraysız hale gelmektedir. K'nın ortamdan serbestleşmesi öncelikle su molekülleriyle karşılaşmaya çalışılırken, ilerleyen süreçte H⁺'nin, Na⁺ ile yer değiştirmesiyle karşılaşmaktadır. Çalışma alanındaki analsim fenokristallerinin merkezinden ölçülen Na₂O ve K₂O elektron mikroprop verilerine bakıldığında, kristallerin %7-13 Na₂O ve %0-0,08 olmak üzere çoğunlukla çok düşük K₂O içeriğine sahip olmasıyla birlikte lösit kalıntılarının gözlemlendiği örnekte K₂O değerlerinin %0,77-1,51 değerlerine kadar çıkabildiği görülmüştür (Çizelge 3). Gözlenen bu yüksek K₂O oranları, mineralin tamamen analsime dönüşemediği şartlarda kalıntı olarak kalan lösitlerin varlığıyla açıklanabilir ve analsim minerallerinin lösitin dönüşümüyle oluştuğunun (L veya X tipi) bir göstergesi olarak kabul edilebilir. Luhr ve Kyser (1989)'e göre L veya X tipi analsim kristallerindeki yüksek Fe₂O₃ oranı (~%0,27) kalıntı lösitin varlığını göstermektedir. Bu çalışmadaki mineral kimyası verilerinden analsim fenokristallerinin çoğunluğunda Fe₂O₃ içeriklerinin bu değerin üzerinde olması da kalıntı lösit varlığını düşündürmektedir. Gupta ve Fyfe (1975) ile Karlssson ve Clayton (1991; 1993) lösitin, analsime dönüşümünün gerçekleşmesinde tane yarıçapı, aktivasyon enerjisi, Na bakımından zengin akışkanların difüzyonu, zaman, sıcaklık ve

ortamdaki su gibi etkenlerin etkili olduğunu belirtmektedirler. Na bakımından zengin bir akışkanın sisteme dâhil olduğu tezi, gerçekleştirilen mikroprop analizlerinden bazik volkanik kayaçlarda görmeye alışık olmadığımız albit ve anortoklaz minerallerinin varlığı ile de desteklenmektedir. Bu durum, hem K ve Na iyon değişiminin gerçekleşmesi ile analsimleşme sürecini hem de bu feldispatların varlığını açıklayabilir (Prelevic vd., 2004; Lustrino vd., 2019).

Bu gözlemlerin yanında, analsimlerin birincil olarak magmadan kristallenmesi durumunda (P tipi), fenokristallerin pürüzsüz ve temiz bir yüzey görünümü sunduğu herhangi bir mikro gözeneklilik ya da çatlak gibi bir yapıyla karşılaşmadığı belirtilmektedir (Putnis vd., 1994; Wang vd., 2022). Hidrotermal dolgu kristalizasyonu ile oluşan analsimler (H tipi) ise, kayaç içinde gözlenen çatlak ve gözeneklerde bulunmaktadır (Zhu vd., 2020). Ancak, analsim, volkanik kayaç içindeki postmagmatik süreçte lösit minerallerinden iyon değişimi ile oluşuyorsa (L tipi veya X tipi) bu durumda kristal yüzeyleri pürüzlü, düzensiz, çatlaklı ve mikro gözenekli olarak görülmektedir (Prelevic vd., 2004; Zhu vd., 2020). Çalışılan örnekler içindeki analsimler kayaç içindeki herhangi bir çatlak veya boşluk içinde oluşmamış olup, tüm kayaç içinde yaygın olarak dağılmış fenokristal veya mikrokristaller olarak bulunmaktadır. Ayrıca analsimlerden elde edilen SEM görüntülerine bakıldığında da bu kristallerin yüzeylerinin pürüzlü, düzensiz ve gözenekli olduğu görülmektedir (Şekil 6). Bu da Polatlı volkanik kayaçları içinde bulunan analsimlerin tamamının iyon değişimi ile lösitten dönüştüğünü desteklemektedir.



Şekil 6. Çalışma bölgesinden alınan örnekte bulunan analcime fenokristalinin pürüzlülüğün gözleendiği SEM görüntüsü.

Figure 6. SEM image of analcime phenocrysts in sample from the study area, where roughness is observed.

Bu örneklerde gerçekleştirilmiş DTA-TG analizlerine bakıldığında, 100 °C'den 300 °C'ye kadar geniş bir sıcaklık aralığında gözlenen ve öncelikle 100 °C'de gözlenen %0,6'lık ağırlık kaybına sebep olan endotermik pik mineraldeki zayıf bağlı sular olarak yorumlanmıştır. Yaklaşık 191 °C'deki endotermik pik, analcimin kristal yapısının dehidrasyonunu göstermekte ve bu da yaklaşık %7'lik bir ağırlık kaybı oluşturmaktadır (Şekil 4b). Bu kayıp, ana element analizlerindeki %6,28-8,01 arasında değişim gösteren ateşte kayıp (LOI) miktarlarıyla da uyumludur (Çizelge 4). Bu yüksek LOI miktarları kayaç içinde gözlenen analcime kristallerine atfedilmelidir, zira örnekler altere olmayıp, kayaç içinde analcime dışında kristal suyu bulduran başka mineral de bulunmamaktadır. İkinci endotermik pik daha dar sıcaklık aralığında yaklaşık 577 °C'de gözlenen pik olup %0,2'lik bir ağırlık kaybını göstermektedir. Isıl işlem sebebiyle örnekte 400 ve 800 °C'de iki ekzotermik pik gözlenmekte, bu piklerin yeni faz oluşumları kristal formunun değişimi veya kristal

yapısının yıkılması gibi nedenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir (Hervig ve Navrotsky, 1984; Giampolo ve Lombardini, 1994; Giampolo vd., 1997; Henderson vd., 2014). Son endotermik pik öncesi yaklaşık 400 °C'deki ekzotermik pik ısıtma işlemiyle analcimin kristal formunun değişmesi ve bu değişim sonrası yapıda kalan kuvvetli bağlı suyun kaybını göstermektedir (Hervig ve Navrotsky, 1984; Giampaolo ve Lombardi, 1994; Giampaolo vd., 1997; Henderson vd., 2014). Yaklaşık 800 °C'deki ekzotermik pik ise devam eden ısıtma işlemiyle analcimin kristal yapısının yıkılarak oksitlere dönüştüğünü düşündürmektedir. Giampaolo ve Lombardi (1994) bu analiz yöntemini hidrotermal alterasyon ile oluşan analcimler (H tipi) ve iyon değişimi sonucunda lösitten dönüşen analcimleri (L veya X tipi) ayırt etmek için kullanmıştır. Çalışmaya göre H tip analcimler, ilk endotermik piki 350-370 °C olacak şekilde dar bir sıcaklık aralığında gösterirken, L tipi (X tipi) analcimlerde bu pik ortalama 235-320 °C sıcaklık aralığında olsa da bazı L tipi analcimler 100-300 °C'ler arasında geniş bir aralıkta pik göstermektedir. Polatlı bölgesinde gözlenen analcimli kayaç örneklerinden elde edilen bu pikler lösitlerden iyon değişimi sonucu oluşmuş analcimlerle uyum göstermektedir.

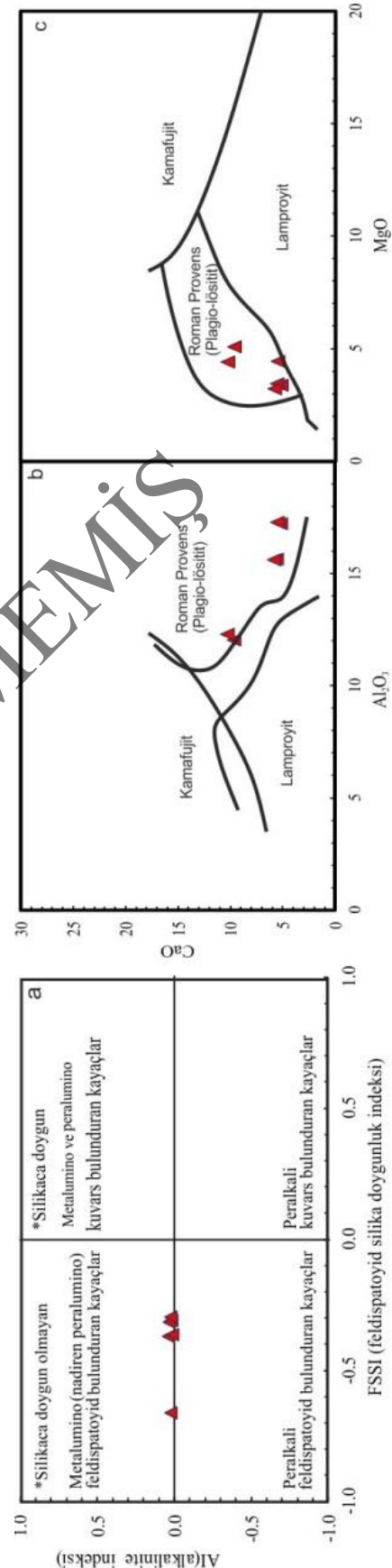
Volkanik Kayaçların Oluşumu ve Gelişimi

Lösitit olarak tanımlanan kayaçlar kıtasal ortamlarda görülen son derece nadir bir volkanik kayaç grubudur (Lustrino vd., 2019). Bu kayaçların isimlendirilmesinde modal mineraloji kullanılmakta ve kayacın lösitit olarak tanımlanması için modal foids/(foids+feldispat) oranının 0,6 ila 0,9 aralığında olması beklenmektedir (Le Maitre, 2002). Çalışılan volkanik kayaçların ana element

jeokimyası ile hesaplanan CIPW normatif mineralojisi bu kayalarda olası nefelin ve lösit oluşturma potansiyelini ortaya koymaktadır (Çizelge 4). Fakat bu modal bileşimlerden elde edilen düşük foids/(foids+feldispat) oranı ile bu kayalara “lösit içeren volkanik kayalar” denilmesi uygun olacaktır (Lustrino vd., 2019). Kayaç içinde bulunan analsimlerin, kristallenme sürecinin erken evrelerinde oluşan birincil lösitlerden iyon değişimiyle dönüştüğünün ortaya konulması ile bu kayaların dönüşüm öncesi yüksek K’ya sahip ultrapotasik kayalar olarak tanımlanması gerektiği kabul edilmelidir. Ultrapotasik kayalar genellikle kıtasal riftleşme ya da kıta-kıta çarpışması sonrası gelişen gerilmeli tektonizmanın hakim olduğu ortamlarda gözlenebilmektedir (McKenzie, 1989; Foley, 1992). Foley vd., (1987)’ye göre ultrapotasik özellik taşıdığı ortaya konulabilen kayalar $K_2O/Na_2O > 2$, $K_2O > 3\%$, $MgO > 3\%$ içeriklerine sahiptir. Frost ve Frost (2008)’in alkalinite indeksine (AI) karşı feldispatoyid silika-doymuluk indeksi (FSSI) tanımlamalarına göre, Polatlı civarındaki bu volkanik kayaların bazaltik özellikteki silikaca doymayan feldispatoyid taşıyan kayalar olduğu ortaya konulmuştur (Şekil 7a).

Alkalilerce zengin kayalar, tipik manto kayalarına göre daha yüksek oranda Na ve K içerirler ve kısmi ergime ile alkali magma üretmeleri dolayısıyla önemlidirler. Bu tip kayalar Na’ca zengin filogopit, amfibol içeren alkali peridotitlerin, Na’ca zengin piroksenler içeren piroksenitlerin, Na’ca zengin granat ve piroksenler içeren eklojit gibi kayaların kısmi ergimesi ile (Foley, 1992) veya dalma-batma ve takip eden çarpışma ortamlarında K’ca zengin kabuk bileşenlerin manto kamasına eklenmesi ile oluşan

yüksek K içeren eriyiklerden oluşabilirler (Lustrino vd., 2019; Şen vd., 2019).



Şekil 7. Çalışma alanından alınan örneklerin a) Alkalinite (AI = $Al - (K + Na) - FSSI$ indeksi (normatif $Q - [Lc + 2(Ne + Kp)]/100$). b) CaO’a karşı çizilen Al₂O₃ diyagramı c) Ca’ya karşılık çizilen MgO diyagramı (Foley vd., 1987).

Figure 7. For samples collected from the study area a) alkalinity ($AI=Al-(K+Na)-FSSI$ index (normative $Q-[Lc+2(Ne+Kp)]/100$), b) CaO vs. Al_2O_3 , c) Ca vs. MgO (Foley et al., 1987).

K'ca zengin olan bu eriyiklerden oluşmuş volkanik kayaçların içine ilerleyen süreçte Na'ca zengin hidrotermal çözeltiler veya suların karışması sonucunda, doğada hareketlilikleriyle tanımlanan alkali elementler (K ve Na) benzer özellikler ve iyonik yarıçapa sahip oldukları için birbirlerinin yerini rahatlıkla alabilirler (Prelevic vd., 2004; Lustrino vd., 2019). Bu sebeple Polatlı civarında analsim içeren volkanik kayaçların ultrapotasik karakterleri Na_2O ve K_2O içerikleri dışında Şekil 7b ve c'deki CaO'ya karşı Al_2O_3 ve MgO içerikleriyle oluşturulmuş diyagramlarla belirlenmiştir. Bu diyagramlardaki element içerikleri, kayaçların içerdiği su ihmal edilerek susuz baza göre tekrar hesaplanarak kullanılmıştır. Buna göre bölgedeki kayaçların tamamı İtalya'daki Roman volkanik provesinden alınmış K bakımından zengin lavlardan yola çıkılarak plagiolösitit veya Roman tipi ultrapotasik kayaçlar olarak tanımlanmıştır (Foley vd., 1987; Foley, 1994).

İzmir-Ankara suture zonunda yer alan çalışma alanı, Geç Kretase (~80 Ma) döneminde Neotetis okyanusunun kuzeye hareketi ile kapanmaya başlayan çarpışma zonunda yer almaktadır. Bu çarpışma sürecinin Paleosen-Eosen sonrasına kadar devam ettiği belirtilmektedir (Okay ve Şahintürk, 1997; Okay vd., 1997 ve 2020). İzmir-Ankara-Erzincan suture zonu boyunca gerçekleşen çarpışmanın takip ettiği süreçte, bu çarpışma zonu civarında Üst Kretase, Paleosen, Eosen ve yoğun bir şekilde Miyosen döneminde Orta Anadolu'nun tamamında olduğu gibi Ankara ve civarında da önemli volkanik faaliyetlerin olduğu pek çok çalışma ile ortaya konulmuştur (Koçyiğit, 1991;

Floyd, 1993; Seyitoğlu ve Büyükönel, 1995; Yılmaz vd., 1997; Boztuğ, 1998; Temel vd., 2001, 2010; Türkecan, 2001; Göçmengil vd., 2019). Bu volkanizma faaliyetleri, yaklaşan levhalar ve sonrasında gerçekleşen çarpışmaya bağlı olarak Geç Kretase döneminde başlamış ve kabuk kalınlaşması sonrasında gelişen gerilme rejimi etkisiyle oluşan litosferik incelleme sırasında gelişmiştir (Okay vd., 2020). Bu incelleme esnasında gerçekleşen kısmi ergimeler çarpışma zonu üzerinde pek çok bölgede Paleojen yaşlı magmatik kayaçların oluşumuna da sebebiyet vermiştir. Çalışma alanında sınırlı alanlarda domlar ve dayklar şeklinde yüzeyleyen ve lösit içeren Polatlı volkanik kayaçlarının da bu dalma-batma ve sonrasındaki çarpışma süreçleri sebebiyle gerçekleşen kısmi ergimelerden oluşan K'ca zengin magmalardan itibaren oluştuğu düşünülmektedir. Türkiye'de pek çok alanda (Afyon, Ankara, Sinop, Samsun, Trabzon, Amasya, Bayburt) sınırlı alanlarda gözlenen bu tip kayaçların varlığı en iyi şekilde, önceki bir dalma-batma olayı sırasında yüksek K içeriğine sahip bileşenlerin manto kaması içine geri dönüşümü ile zenginleşen mekânsal olarak sınırlı, homojen olmayan bir manto kaynağının varlığı ile açıklanabilir. Kısmi ergimenin ilerlemesi ile yüksek K içeren kalkalkali ürünlerin de oluştuğu ve bu ürünlerin de aynı bölge ve yakın civarında Eosen-Miyosen döneminde büyük volkanik kütleler olarak yüzeylendiği önceki çalışmalarda ortaya konulmuştur (Keller vd., 1992; Wilson vd., 1997; Tankut vd., 1998; Temel vd., 2001; Varol vd., 2007; Temel vd., 2010; Varol vd., 2014; Karaoğlu vd., 2024).

SONUÇ

Polatlı bölgesindeki Paleojen (Eosen?) yaşlı olarak tanımlanan volkanik kayaçlar üzerinde yapılan

mineralojik ve jeokimyasal incelemeler, analsimlerin lósit minerallerinden iyon değişimi yoluyla oluştuğunu göstermektedir. Çalışma alanında birbirinden ayrı domlar ve dayklar şeklinde yüzlek veren bu kayaçlar içindeki analsim mineralleri, klinopiroksen ve feldispatlarla birlikte gözlenmektedir. Magmatik kökenli analsim oluşumu için bu minerallerin yanında sulu minerallerin varlığı beklenirken, alınan örneklerde yapılan incelemelerde amfibol, biyotit ve filogopit gibi sulu minerallerden hiçbirine rastlanmamıştır. Bunun yerine, lósit kalıntıları gözlenmiş ve analsimlerin postmagmatik süreçler sırasında, geç evre magmatik çözeltilerle gelişen ve erken evrede oluşan lósitlerden iyon değişimi ile oluştuğu fikri güçlenmiştir.

XRD, optik mikroskobik incelemeler, mikroprop analizleri, SEM gözlemleri de bu dönüşümü doğrulamış, analsimlerin pürüzlü yüzey yapıları bu tespiti desteklemiştir. DTA-TG analizleri, yüksek sıcaklıklarda analsimlerin kristal yapısında meydana gelen değişimlerle ilişkili olarak kristal suyunun kaybını ve oksitlere dönüşümünü göstermiştir. Polatlı bölgesindeki analsimlerin birincil lósitten iyon değişimi ile dönüştüğüne dair bulgular bu analizlerle de ortaya konulmuştur.

Jeokimyasal analizler, analsimlerin varolduğu volkanik kayaçların ultrapotasik özellik taşıdığını, yüksek K₂O ve Na₂O içeriğine sahip olduğunu göstermektedir. Bu incelemeler, Polatlı bölgesindeki volkanizmanın, Neotetisin kapanışını takip eden İzmir-Ankara sùtur zonu boyunca gerçekteşen çarpışmanın ilerleyen safhalarında gelişen kıtasal riftleşme, kabuk kalınlaşması ve gerilme rejiminin bir sonucu olarak eriyiğın yüzeye ulaşmasını göstermektedir. Paleojen dönemde gerçekteştiği düşünölen bu volkanik faaliyetler

sonucu oluşan Polatlı volkanik kayaçları, yüksek K içeriğine sahip bileşenlerin mantoya geri katılımı ile zenginleşen, homojen olmayan bir manto kaynağının kısmi ergimesiyle ilişkilendirilmiştir. Bu da bölgedeki volkanik kayaçların oluştukları zamanda ultrapotasik karakterde olduğunu ve kayaçların içinde gözlenen analsimlerin bu eriyiklerin kristalleşme sürecinde erken evrede oluşan lósitlerden iyon dönüşümüyle oluştuklarını ortaya koymaktadır.

EXTENDED SUMMARY

The analcimes that are the subject of this study are located within volcanic rocks that crop out in Polatlı, which is approximately 60 km southwest of Ankara (Central Anatolia, Turkey) (Figure 1b). In the study area, Paleogene volcanic rocks are intercalated with pre-Neogene rocks and sedimentary series, together with Neogene volcanic and sedimentary rocks (Erol, 1955). Loss on ignition (LOI) values in the range of 6.28-8.01% indicate the presence of analcime. The samples consist of analcime with clinopyroxenes and feldspars. The study aimed to understand the origin of analcime with the help of X-ray diffraction (XRD), differential thermal analysis and thermogravimetric analyses (DTA-TG), microprobe analyses (EMPA), and microscopic observations. Many analcime crystals separated from whole rock samples were identified as pure analcime with peaks observed at 5.61, 4.87, 3.78, 3.67, 3.67, 3.43, 2.93, 2.80, 2.70, 2.50, 2.42, 2.23, 1.91 and 1.87 °A, although some samples also retained peaks for leucite crystals. Analcimes are the only minerals that can retain water in these rocks. In Figure 4b, the endothermic peak causing a weight loss of 0.6% at 100 °C on DTA-TG analyses is interpreted as

weakly-bound water in the mineral. The endothermic peak at approximately 191 °C indicates dehydration of the analcime crystal structure and a weight loss of approximately 7%. A second endothermic peak is observed in the narrower temperature range at approximately 577 °C, indicating a weight loss of 2.0%. Two exothermic peaks are observed at 400 and 800 °C, and these are thought to be caused by new phase formation, change in crystal form, or destruction of the crystal structure. In addition to having high Na concentration, certain analcime minerals have K concentrations between 1 and 1.5% according to EPMA analysis. In light of all these data, the Paleogene volcanic rocks in the Polatlı region were formed by volcanic activity related to the continental rifting and extension regime following the closure of the northern branch of Neotethys

during the collision and subsequent periods. The ultrapotassic characteristics of the Polatlı volcanic rocks, which are confined to a relatively limited area, suggest that they originated from a potassium-enriched, heterogeneous mantle source. This source underwent partial melting, incorporating high-K continental components added to the mantle during subduction; thus, enabling the formation of leucite and subsequently analcime in the later stages of magmatic evolution. This study shows that the analcime minerals observed in these volcanic rocks formed through ion exchange from leucite minerals during the post-magmatic process.

KATKI BELİRTME

Yazarlar, bu çalışmanın geliştirilmesinde değerli katkıları sunan editör ve hakemlere teşekkür eder.

ORCID

Güllü Deniz Doğan Külâhçı  <https://orcid.org/0000-0003-2143-4046>

Elif Varol Muratçay  <https://orcid.org/0000-0003-0884-186X>

Abidin Temel  <https://orcid.org/0000-0002-8051-4065>

KAYNAKLAR / REFERENCES

Abdioğlu, E. (2012). Mineralogy and chemistry of zeolites and associated minerals in Tertiary alkaline volcanics from the Eastern Pontides, NE Turkey. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen*, 189(1), 35–47. <https://doi.org/10.1127/0077-7757/2011/0208>

Akyürek, B., Duru, M., Sütçü, Y.F., Papak, İ., Şaroğlu, F., Pehlivan, N., Gönenç, O., Granit, S. ve Yaşar, T. (1997). 1/100.000 ölçekli açınısama nitelikli Türkiye Jeoloji haritaları. Ankara-F15 paftası, No:55. MTA Yayınları.

Altherr, R., Topuz, G., Siebel, W., Şen, C., Meyer, H.P., Satır, M. & Lahaye, L. (2008). Geochemical and Sr–Nd–Pb isotopic characteristics of Paleocene plagioclitites from the Eastern Pontides (NE Turkey). *Lithos*, 105, 149–161.

Asan, K., Kurt, H., Francis, D. & Morgan, G. (2014). Petrogenesis of the Late Cretaceous K-rich rocks from the

Central Pontide orogenic belt, North Turkey. *Island Arc*, 23, 102–124. <https://doi.org/10.1111/iar.12061>

Ataman G. ve Gündoğdu N. (1981). Anadolu Tersiyerinde analsimli zonlar ve bunların jeolojik konumu. *Yerbilimleri*, 7, 9–14.

Aydın, F., Karslı, O. & Chen, B. (2008). Petrogenesis of the Neogene alkaline volcanics with implications for post collisional lithospheric thinning of the Eastern Pontides, NE Turkey. *Lithos*, 104, 249–266.

Bektaş, O. ve Gedik, İ. (1988). Koplarda Lösitli Şoşonitik Volkanizmalı Yeni Bir Formasyon (Everekhanları Formasyonu) ve Bu Bulgunun Doğu Pontid Arkı (KD Türkiye) Evrimi ile Olan İlişkileri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 31(2), 11–20. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/d286e3e7989a832_ek.pdf

Bilgin, Z. R. (2014). Türkiye Jeoloji Haritaları, Ankara-İ-28 Paftası (Rapor No: 208), Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.

Bish, D. L. & Ming, D. W. (2001). Natural Zeolite: Occurrence, Properties, Applications. *Mineralogical Society of America*, 45, 662.

Bozkurt, E., Koçyiğit, A., Winchester, J.A., Holland, G. & Beyhan, A. (1999). Petrochemistry of the Oyaca–Kedikayası (Ankara) dacites as evidence for the post-collisional tectonic evolution of north-central Anatolia, Turkey. *Geological Journal*, 34(3), 223–231.

- Boztuğ, D. (1998). Post-Collisional Central Anatolian Alkaline Plutonism, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 7(3), 145-166. https://journals.tubitak.gov.tr/earth/vol7/iss3/4?utm_source=journals.tubitak.gov.tr%2Fearth%2Fvol7%2Fiss3%2F4&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages
- Channell, J. E. T., Tüysüz, O., Bektas, O. & Sengör, A. M. C. (1996). Jurassic-Cretaceous paleomagnetism and paleogeography of the Pontides (Turkey). *Tectonics*, 15(1), 201-212.
- Çapan, U. Z. (1984). Ankara melanji içindeki zeolitli alkali bazaltik volkanizmanın karakteri ve yaşı hakkında: *Türkiye Jeoloji Kurumu 38. Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Bildiri özetleri*, (s.: 121-123). Ankara. JMO Yayınları.
- Deer, W. A., Howie, R. A., Wise, W. S. & Zussman, J. (2004). *Rock Forming Minerals, Volume 4B, Framework Silicates: Silica Minerals, Feldspatoids and the Zeolites*. The Geological Society, London, xv + 982 pp.
- Demeny, A., Harangı, S., Forizs, I. & Nagy, G. (1997). Primary and secondary features of analcimes formed in carbonate-zeolite ocelli of alkaline basalts (Mecsek Mts., Hungary): textures, chemical and oxygen isotope compositions. *Geochemical Journal*, 31, 37-47.
- Dostal, J., Breitsprecher, K., Church, B. N., Thorkelson, D. & Hamilton, T. S. (2003). Eocene melting of Precambrian lithospheric mantle: Analcime-bearing volcanic rocks from the Challis Kamloops belt of south central British Columbia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 126, 303 – 326.
- English, P. M. (2001). Formation of analcime and moganite at Lake Lewis, central Australia: significance of groundwater evolution in diagenesis. *Sedimentary Geology*, 143, 219-244.
- Erol, O. (1955). *W. Weingart 56/2, 56/4 (Sivrihisar) ve 57/1, 57/3 (Ankara) paftalarının jeolojik haritası hakkında raporuna ait korelasyon revizyon raporu* (Rapor No: 2473). MTA.
- Eyüboğlu, Y. (2010). Late Cretaceous high-K volcanism in the eastern Pontide orogenic belt: implications for the geodynamic evolution of NE Turkey. *International Geology Review*, 52, 142-186. <https://doi.org/10.1080/00206810902757164>
- Floyd P. A. (1993). Geochemical discrimination and petrogenesis of alkali basalt sequences in part of the Ankara mélange, Central Turkey. *Journal of Geological Society London*, 150, 541-550.
- Foley, S. (1992). Vein-plus-wall-rock melting mechanisms in the lithosphere and the origin of potassic alkaline magmas. *Lithos*, 28(3), 435-453.
- Foley, S. (1994). Geochemical and experimental studies of the origin of ultrapotassic igneous rock. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen*, 167(1), 1-55.
- Foley, S. F., Venturelli, G., Green, D. H. & Toscani, L. (1987). The ultrapotassic rocks: characteristics, classification and constraints for petrogenetic models. *Earth Science Reviews*, 24, 81-134.
- Frost, B. R. & C.D. Frost. (2008). A Geochemical Classification for Feldspathic Igneous Rocks. *Journal of Petrology*, 49, 11, 1955-1969.
- Giampaolo C. & Lombardi G. (1994). Thermal behavior of analcimes from two different genetic environments. *European Journal of Mineralogy*, 6, 285–289.
- Giampaolo, C., Godano, R. F., Di Sabatino, B. & Barrese, E. (1997). The alteration of leucite-bearing rocks: a possible mechanism. *European Journal of Mineralogy*, 9, 1293–1310.
- Gottardi, G. & Galli, E. (1985). *Natural Zeolites*. Springer-Verlag, Berlin, 409 p.
- Göçmengil, G., Karacık, Z., Genç, Ş. C., Prelevic, D. ve Billor, Z. (2019). ⁴⁰Ar-³⁹Ar ages and petrogenesis of middle Eocene post-collisional volcanic rocks along the Izmir-Ankara-Erzincan suture zone, NE Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 173, 121-142.
- Gupta, A. K. & Fyfe, W. S. (1975). Leucite survival; the alteration to analcime. *The Canadian Mineralogist*, 13, 361–363.
- Gülmez, F., Genç, Ş. C., Prelevic, D., Tüysüz, O., Karacık, Z., Roden, M.F. & Billor, Z. (2016). Ultrapotassic volcanism from the waning stage of the Neotethyan subduction: a key study from the Izmir–Ankara–Erzincan Suture Belt, Central Northern Turkey. *Journal of Petrology*, 57(3), 561–593. <https://doi.org/10.1093/petrology/egw021>
- Hakyemez, Y., Barkut, M. Y., Bilginer, E., Pehlivan, Ş., Can, B., Dağer, Z. ve Sözeri, B. (1986). *Yapraklı-İlgaz-Çankırı-Çandır dolayının Jeolojisi* (Rapor No:261). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara, 114 s.
- Henderson, C. M. B., Hamilton, D. L. & Waters, J. P. (2014). Phase equilibria in NaAlSiO₄-KAlSiO₄-SiO₂-H₂O at 100 MPa pressure: equilibrium leucite composition and the enigma of primary analcime in blairmorites revisited. *Mineralogical Magazine*, 78(1), 171–202. <https://doi.org/10.1180/minmag.2014.078.1.13>
- Hervig, R.L. ve Navrotsky, A. (1984). Thermochemical study of glasses in the system NaAlSi₃O₈-KAlSi₃O₈-Si₄O₈ and the join Na_{1.6}Al_{1.6}Si_{2.4}O₈-K_{1.6}Al_{1.6}Si_{2.4}O₈. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48(3), 513-522. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(84\)90279-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90279-5)
- JCPDS (1986). *International Centre for Diffraction Data*, (1986).
- Karaoğlu, Ö., Varol Muratçay, E., Lustrino, M., Chiaradia, M., Toygar Sağın, Ö., Hemming, S. R. & Uysal, İ. (2024). Large-volume and swift magmatic response to Late Cenozoic segmentation of the subducted Neotethyan oceanic slab: evidence from the Galatian Volcanic Province, northwestern Turkey. *International Geology Review*, 66(19), 3428–3456. <https://doi.org/10.1080/00206814.2024.2333003>

- Karlsson, H. R. & Clayton, R. N. (1991). Analcite phenocrysts in igneous rocks: Primary or secondary. *American Mineralogist*, 76, 189–199.
- Karlsson, H. R. & Clayton, R. N. (1993). Analcime phenocrysts in igneous rocks; primary or secondary? Reply. *American Mineralogist*, 78, 230–232.
- Keller, J., Jung, D., Eckhardt, F. J. & Kreuzer, H. (1992). Radiometric ages and chemical characterization of the Galatean Andesite massif, Pontus, Turkey. *Acta Vulcanologica*, 2, 267–276.
- Koçyiğit, A. (1991). Neotectonic structures and related landforms expressing the contractional and extensional strains along the North Anatolian Fault at the north-western margin of the Erzincan Basin, NE Turkey. *Bulletin of the Technical University of Istanbul*, 44, 455–473.
- Le Maitre R. W. (2002). *Igneous rocks: a classification and glossary of terms*. Cambridge University Press, Cambridge 236 s.
- Luhr, J. F. & Kyser, T. K. (1989). Primary igneous analcime: The Colima minettes. *American Mineralogist*, 74(1-2), 216–223.
- Lustrino, M., Fedele, L., Agostini, S., Prelević, D. & Salari, G. (2019). Leucitites within and around the Mediterranean area. *Lithos*, 324–325, 216–233. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2018.11.007>
- McKenzie, D. (1989). Some remarks on the movement of small melt fractions in the mantle. *Earth and Planetary Science Letters*, 95(1), 53–72.
- Moradian, A. (2008). A contribution to the genesis of analcime after leucite in potassic volcanic rocks of the Nadik area, Kerman, Iran. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 19(1), 31–48.
- Morimoto, N., Fabries, J., Ferguson, A. K., Ginzburg, I. V., Ross, M., Seifert, F. A., Zussman, J., Aoki, K. & Gottardi, G. (1988). Nomenclature of pyroxenes. *Mineralogical Magazine*, 52, 535–550.
- O'Brien, H. E., Irving, A. J. & McCallum, I. S. (1988). Complex zoning and resorption of phenocrysts in mixed potassic mafic magmas of the Highwood Mountains province, Montana. *American Mineralogist*, 73, 1007–1024.
- Okay, A. I. & Şahintürk, Ö. (1997). Geology of the Eastern Pontides. In A.G. Robinson (Ed.), *Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region*, American Association of Petroleum Geologists (AAPG) Memoir No. 68, 291–311.
- Okay, A. I., Şahintürk, Ö. & Yakar, H. (1997). Stratigraphy and tectonics of the Pulur (Bayburt) region in the Eastern Pontides. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration Institute*, 119, 1–24.
- Okay, A. I., Sunal, G., Sherlock, S., Kylander-Clark, A. R. C. & Özcan, E. (2020). İzmir-Ankara Suture as a Triassic to Cretaceous Plate Boundary—Data From Central Anatolia. *Tectonics*, 38, Article e2019TC005849. <https://doi.org/10.1029/2019TC005849>
- Prelevic, D. (2005). Mediterranean Tertiary lamproites: a review of their origin, geodynamic significance and the relation with contemporaneous volcanism. *Bulletin Academie Serbe des Sciences et des Arts*, 130, 57–85.
- Prelević, D., Foley, S. F., Cvetković, V. & Romer, R. L. (2004). Origin of minette by mixing of lamproite and dacite magmas in Veliki Majdan, Serbia. *Journal of Petrology*, 45, 759–792.
- Prelević, D., Foley, S.F., Romer, R. L., Cvetković & Downes, H. (2005). Tertiary ultrapotassic volcanism in Serbia: constraints on Petrogenesis and mantle source characteristics. *Journal of Petrology*, 46, 1443–1487.
- Prelević, D., Foley, S. F., Romer, R. & Conticelli, S. (2008). Mediterranean Tertiary lamproites derived from multiple source components in postcollisional geodynamics. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72, 2125–2156.
- Prelevic, D., Akal, C., Foley, S.F., Romer, R. L., Stracke, A. & Van Den Bogaard, P. (2012). Ultrapotassic mafic rocks as geochemical proxies for postcollisional mantle dynamics of lithosphere: the case of SW Anatolia-Turkey. *Journal of Petrology*, 53(5), 1019–1055. <https://doi.org/10.1093/petrology/egs008>
- Putnis, A., Putnis, C. & Giampaolo, C. (1994). The microtexture of analcime phenocrysts in igneous rocks. *European Journal of Mineralogy*, 6, 627–632.
- Remy, R. R. & Ferrell, R. E. (1989). Distribution and origin of analcime in marginal lacustrine mudstones of the Green River Formation, south-central Uinta Basin, Utah. *Clays and Clay Minerals*, 37, 419–432.
- Renaut, R. W. (1993). Zeolitic diagenesis of late Quaternary fluviolacustrine sediments and associated calcrete formation in the Lake Bogoria Basin, Kenya Rift Valley. *Sedimentology*, 40, 271–301.
- Seryotkin, Yu.V. & Bakakin, V. V. (2008). The thermal behavior of secondary analcime as leucite derivative and its structural interpretation. *Russian Geology and Geophysics* 49, 153–158.
- Seyitoğlu, G. & Büyükönel, G. (1995). Geochemistry of Ankara volcanics and the implications of their K-Ar dates on the Cenozoic stratigraphy of Central Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 4(2), 87–92.
- Şen, C., Arslan, M. & Van, A. (1998). Geochemical and petrological characteristics of the Pontide Eocene (?) alkaline province, NE Turkey. *Turkish Journal of Earth Science*, 7, 231–239.
- Şen, C., Aydınçakır, E., Yağcıoğlu, U. C. & Bak, T. (2019). Sakarya Zonunun Güney Kesiminde Yüzeyleyen Geç Kretase Alkalen Volkanitlerinin Jeokimyasal Özelliklerinin Karşılaştırılması. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9, 1–15.
- Tankut, A., Wilson, M. & Yihunie, T. (1998). Geochemistry and tectonic setting of Tertiary volcanism in the Güvem area, Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 285–301.

- Temel, A., Varol, E., Yürür, T., Alıcı, P. ve Gourgaud, A. (2001). Ankara'nın GB'sında yer alan volkaniklerin kökeni ve tektonik ilişkisi (Proje No: 9901602007). TÜBİTAK.
- Temel, A., Yürür, T., Alıcı, P., Varol, E., Gourgaud, A., Bellon, H. ve Demirbağ, H. (2010). Alkaline series related to Early-Middle Miocene intra-continental rifting in a collision zone: An example from Polatlı, Central Anatolia, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 38(6), 289–306. <https://doi.org/10.1016/j.jseae.2009.12.017>
- Türkecan, A., Yıldırım, T., Satır, M., Açıkgöz, S & Sevin, D. (2001). Ankara ve yakın çevresinin Tersiyer volkanizması. *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, 54. Bilimsel Teknik Kurultayı, Mineraloji-Petrografi oturumu, Bildiri Özetleri* (s.: 66-67). Ankara.
- Utada, M. (2001). Zeolites in hydrothermally altered rocks. In Bish, D. L. & Ming, D. W. (Eds.), *Natural Zeolites: Occurrence, Properties, Applications, Reviews in Mineralogy and Geochemistry, Mineralogical Society of America*, 45, 305-322.
- Ünalın, G., Yüksel, V., Tekeli, T., Gönenç, O., Seyirt, Z ve Hüseyin, S. (1976). Haymana-Polatlı yöresinin Üst Kretase-Alt Tersiyer stratigrafisi ve paleocoğrafik evrimi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 19(2), 159-169. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/0f994031e91866a_ek.pdf
- Varol, E. (2013). The derivation of potassic and ultrapotassic alkaline volcanic rocks from an orogenic lithospheric mantle source: the case of the Kalecik district, Ankara, Central Anatolia, Turkey. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen*, 191(1), 55–73. <https://doi.org/10.1127/0077-7757/2013/0247>
- Varol, E. (2020). Interpretation of the origin of analcimes with mineralogical, microtextural, and geochemical investigations: a case study from Aktepe region (NE of Kalecik, Ankara, Central Anatolia, Turkey). *Arabian Journal of Geosciences*, 13, Article 343. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05315-9>
- Varol, E., Temel, A., Gourgaud, A. & Bellon, H. (2007). Early Miocene adakite-like volcanism in the Balkuyumcu region, Central Anatolia, Turkey: Petrology and geochemistry. *Journal of Asian Earth Science*, 30, 613 – 628.
- Varol, E., Temel, A., Yürür, T., Gourgaud, A. & Bellon, H. (2014). Petrogenesis of the Neogene bimodal magmatism of the Galatean Volcanic Province, Central Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 280, 14-29. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2014.04.014>
- Verma, S. P., Torres-Alvarado, I. S & Sotelo-Rodriguez, Z. T. (2002). SINCLAS: Standard igneous norm and volcanic rock classification system. *Computers & Geosciences*, 28, 711–715. [https://doi.org/10.1016/S0098-3004\(01\)00087-5](https://doi.org/10.1016/S0098-3004(01)00087-5)
- Wang, J., Liang, C., Cao, Y. & Tian, Y. (2022). Occurrence, Genesis, and Significance of Analcime in Fine-Grained Sedimentary Rocks. *Geofluids*, 2022, Article 3633047, 17. <https://doi.org/10.1155/2022/3633047>
- Wilson, M., Tankut, A. & Güleç, N. (1997). Tertiary volcanism of the Galatia province, north-west central Anatolia, Turkey. *Lithos*, 42, 105–121.
- Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Genc, S.C. & Sengör, A. M. C. (1997). Geology and tectonic evolution of the Pontides. In Robinson, A. G. (Ed.), *Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region. American Association of Petroleum Geologists Memoir*, 68, 183–226. <https://doi.org/10.1306/M68612C11>
- Yücel, C., Temizel, İ., Abdioğlu, E., Arslan, M. & Yağcıoğlu, U.C. (2014). Origin of analcimes in the Tertiary volcanic rocks from the Eastern Pontides (NE Turkey): a textural, mineralogical and geochemical approach. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen* 191(3), 277–299. <https://doi.org/10.1127/0077-7757/2014/0261>
- Zhu, S., Cui, H., Jia, Y., Zhu, X., Tong, H. & Ma, L. (2020). Occurrence, composition, and origin of analcime in sedimentary rocks of non-marine petroliferous basins in China. *Marine and Petroleum Geology*, 113, Article, 104164. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2019.104164>