

Afyon Volkanik Kayaçlarının (Batı Anadolu, Türkiye) Mineralojik-Petrografik Özellikleri ve P-T Hesaplamaları

Mineralogical-Petrographical Features and P-T Calculations of Afyon Volcanic Rocks (Western Anatolia, Turkey)

G.DENİZ DOĞAN-KÜLAHCI^{1*}, ABİDİN TEMEL¹, ALAIN GOURGAUD², HÜNKAR DEMİRBAĞ³

¹Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06800, Beytepe-Ankara

²Université Blaise Pascal, OPGC, Laboratoire CNRS, Magmas et Volcans, 5 Rue Kessler-63038, Clermont-Ferrand, France

³Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etüdüleri Daire Başkanlığı, G Blok, Ankara

Geliş (received) : 02 Ekim (October) 2015

Kabul (accepted) : 22 Aralık (December) 2015

ÖZ

Bu çalışmada Afyon ili güneyi ile Şuhut bölgesinin kuzeyi arasında bulunan volkaniklerin, mineralojik-petrografik özellikleri belirlenmiş ve mineral kimyası analizlerinden elde edilen veriler ile termobarometre hesaplamaları yapılmıştır. Çalışma alanında dom, lav domları ile blok ve kül akışları şeklinde görülen trakitik kayaçlarda gerçekleştirilen optik incelemeler sonucunda iki farklı mineralojik bileşim belirlenmiştir. Yüksek K₂O, K₂O/Na₂O oranı ve Mg# değerlerine sahip olan kayaçlar ultrapotasik grup (UPG) olarak adlandırılmış ve ilgili grafiklere yerleştirildiğinde bu gruba ait örneklerin lamproyit tipi kayaç özelliği taşıdığı saptanmıştır. UPG kayaçlarının mineralojik bileşimi amfibol + flogopit + klinopiroksen + olivin + sanidin ve oksit mineraller olarak belirlenirken, diğer Afyon volkanik kayaçlarının mineralojik bileşimi plajiyoklaz + biyotit + amfibol + klinopiroksen ± ortopiroksen ± sanidin ve oksit minerallerden oluşmaktadır. Örneklerin çoğunluğunda hipokristalin porfirik doku gözlenirken, UPG örneklerinde holokristalin porfirik doku gözlenmektedir. Örnekler ana element kimyasal verilerine göre ortaç, karakterde (%52 < SiO₂ < %63), trakit ve trakiandezit olup, tamamı alkali karakterdedir. Mikroprop analizlerinin değerlendirilmesi sonucunda, plajiyoklaz minerallerinin labrador-oligoklaz (An₃₋₆₃), amfibol minerallerinin çermakit, rihterit ve magnezyumlu-hornblend (Mg#54-81), klinopiroksen minerallerinin diyopsit, ojit (Wo₄₃₋₄₇) ve ortopiroksenlerin hipersten (En₄₀₋₇₀) kompozisyonunda olduğu belirlenmiştir. Optik mikroskop incelemelerinde sünger dokulu plajiyoklaz mineralleri gözlemlenmiş ve mikroprop, SEM (taramalı elektron mikroskobu) ve EDS (enerji dağılım spektrometresi) analizleri ile plajiyoklaz minerallerinin bazılarında ters zonlanma saptanmıştır. Bu veriler, Afyon volkanik kayaçlarının magma karışım sürecinden etkilenmiş olabileceğini işaret etmektedir. Bununla birlikte, klinopiroksen-eriyik ikilisinin dengede olduğu koşullar dikkate alınarak yapılan termobarometre hesaplamaları sonucunda, bu minerallerin oluşum sıcaklıklarının en düşük 1087 °C (AD5) ve en yüksek 1141 °C (AD3) olduğu belirlenmiştir. Basınç değerleri 5 ve 10 kbar aralığında değişirken, bu basınç değerleri kullanılarak elde edilen mineral kristallenme derinliklerinin ise, 18 km (AD5)-28 km (AD1) arasında olduğu belirlenmiştir. Klinopiroksen minerallerinin kristallenme derinliğinin farklı olması, bu minerallerin farklı derinliklerde oluşan farklı magma odalarında kristallenmiş olabileceğini düşündürmektedir.

Anahtar Kelimeler: Afyon, volkanizma, mikroprop, termobarometre, klinopiroksen, magma karışımı, SEM.

ABSTRACT

In this study, the mineralogical-petrographical properties of volcanics between the south of Afyon and the north of Şuhut are determined and by the help of the microprobe analyses estimated thermobarometers are calculated. By the help of the previous studies, it is believed that the samples used in this study belong to early-stage volcanism products. As a result of the optical studies, two different mineralogical assemblages are determined from

* G.D. Doğan-Külahcı

e-posta: gdeniz@hacettepe.edu.tr

trachytic rocks, which are seen as domes, lava domes and block and ash flow in the study area. The volcanic rocks, which have high K_2O , K_2O/Na_2O ratio and Mg# values, are classified as ultrapotassic group (UPG) and when this group samples plotted related graphs it has been determined that they are lamproite-type rocks. The mineralogical assemblage of UPG rocks is amphibole + phlogopite+ clinopyroxene+ olivine+ sanidine and oxide minerals, the other Afyon volcanic rocks mineralogical assemblage is plagioclase + biotite + amphibole + clinopyroxene ± orthopyroxene ± sanidin ± phlogopite and oxide minerals. The majority of the samples displaying hypocrystalline porphyritic texture whereas UPG samples have holocrystalline texture. According to major element geochemical data, samples are intermediate trachyte and trachyandesites in composition ($52\% < SiO_2 < 63\%$) and all are alkaline in features. Microprobe analyses reveal that plagioclases are identified as labradorite-oligoclase (An_{3-63}), amphibole minerals are tschermakite, richterite, magnesiohornblend (Mg#54-81), clinopyroxenes are diopside, augite (Wo_{43-47}) and orthopyroxenes are hypersthene (En_{40-74}) in composition. The optical microscopic studies reveals that some plagioclases are reversly zoned and the spongy texture plagioclases are determined at microprobe, SEM (scanning electron microprobe) and EDS (energy-dispersive spectroscopy) analyses. All these suggest that Afyon volcanics can be affected by magma mixing process. However, the calculated minimum temperature is 1087 °C (AD5) and the maximum is 1141 °C (AD3), respectively as a result of thermobarometer calculations which took place in clinopyroxene-liquid equilibria conditions. The pressure values vary from 5-10 kbar, by using the pressure values the calculated mineral crystallization depths are between 18 km (AD5) - 28 km (AD1). The different crystallization depth of clinopyroxenes suggests that these minerals may be crystallized different magma chambers located at different depths.

Keywords: Afyon, volcanism, micoprobe, termobarometer, clinopyroxene, magma mixing, SEM

GİRİŞ

Çalışma alanı, Afyon ilinin güneyi ile batıda Hocalar, güneyde ise Şuhut ile sınırlıdır (Şekil 1.).

Afyon bölgesinde yapılan daha önceki çalışmalarda (Besang, 1977; Savaşçın ve Güleç, 1990; Aydar vd., 2003; Akal, 2003, 2008, Akal vd., 2013; Çoban ve Flower, 2007; Çoban, 2007; Prelevic vd., 2015) bölgeye ait radyometrik yaş verileri sunulmuş, bölgedeki volkanikler silisce doymun olanlar yaşlı (erken evre) ve silisce doymun olmayan genç (geç evre) olmak üzere iki farklı evreye ayrılarak, olası magmatik süreç ve/veya süreçler ortaya konulmaya çalışılmıştır. Literatür bilgilerine göre bölgedeki volkanizmanın yaşı Orta Miyosen olup volkanizma erken ve geç evre olmak üzere ikiye ayrılmıştır (Akal vd., 2013; Aydar vd., 2003; Prelevic vd., 2015). Önceki çalışmalardan yararlanılarak, bu çalışmada yer alan örneklerin erken evre volkanizma ürünleri olduğu düşünülmektedir.

Zamansal ve mekansal dağılıma bakıldığında silisce doymun olan ve silisce doymun olmayan kayaçların varlığı, bölgede farklı magmatik süreçlerin varlığına işaret etmektedir (Akal vd., 2003; Prelevic vd., 2015). Prelevic vd. (2015) ortaya koyduğu yeni Pb, Sr ve Nd radyojenik izotop ve iz element verileri ile, olası magmatik

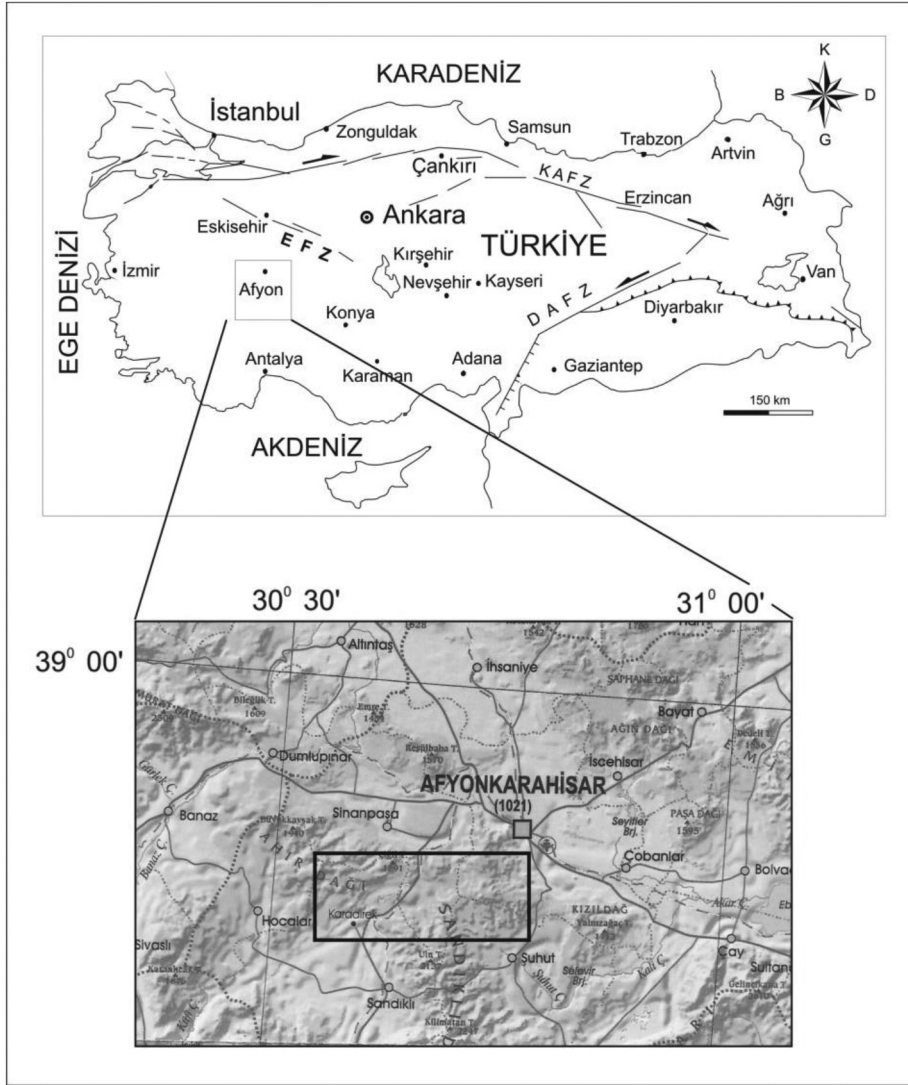
süreçlerle ilgili farklı senaryolar ileri sürmekte ve özellikle de astenosfer-litosfer etkileşimi üzerinde durmaktadır.

Bu çalışmanın amacı ise, Afyon bölgesinde bulunan volkanik kayaçların mineralojik-petrografik özelliklerinin belirlenmesi ve elde edilen analitik veriler yardımı ile kayaç içindeki minerallerin kristallenmeleri sırasındaki termobarometre (Basınç (P) - Sıcaklık (T)) koşullarının ortaya konulmasıdır. Termobarometre hesaplamaları için kayaçlar içinde gözlemlenen ve dengede bulunan klinopiroksenler kullanılmıştır.

Çalışma Alanının Jeolojisi

Çalışma alanının jeoloji haritası için MTA (Maden Tetkik Arama) 1/500.000'lik Türkiye jeolojik haritası kullanılmıştır (Şekil 2). Çalışma alanının temelini Paleozoyik yaşlı metamorfik kayaçlar oluşturmakta ve ardından Neojen yaşlı konglomera, kumtaşı, kireçtaşı seviyeleri ve volkanikler gelmektedir (Kibici vd., 2012).

Bölgedeki volkanizma, Afrika plakasının, Avrasya plakası altına dalması ve bağlantılı olarak okyanusal basenin kapanıp, çarpışma sürecinin başlaması sonucu oluşmuştur (Şengör vd., 1984; Yılmaz vd., 2000; Işık vd., 2004; Ring ve Collins, 2005; Çemen vd., 2006; Wes-

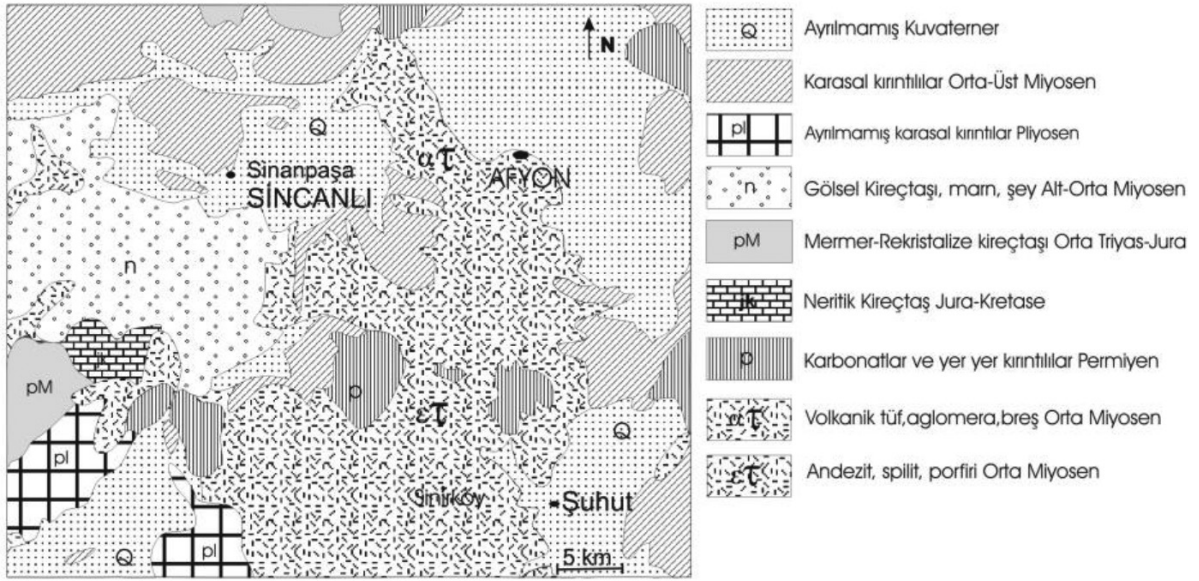


Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.
Figure 1. The location map of the study area.

teway, 2006; Glodny ve Hetzel, 2007; Prelevic vd., 2012). Bölgedeki jeodinamik evrim devam eden bir tartışma konusu olmakla birlikte, bölgede büyük çaplı bir manto heterojenitesi olduğu kabul edilmiştir (Akal vd., 2013). Bölgede kuzeyden güneye doğru değişen jeokimyasal özelliklerin, dalan Ege diliminin geri çekilmesi (slab-roll-back), astenosferik pencerenin (slab window) hareketi ve kalınlaşan Menderes Masifinin çökmesi ya da bu süreçlerin her birinin etkisinin bir sonucu olduğu savunulmaktadır (Şengör, 1985; Spakman ve Wortel, 1988; Seyitoğlu ve Scott, 1996; Wortel ve Sparkman, 2000; Rimmelé vd., 2003; Faccenna vd., 2004;

Glodny ve Hertzal, 2007; Van Hinsbergen vd., 2010; Biryol vd., 2011; Prelevic vd., 2012).

Önceki çalışmacılar, Orta Miyosende Afyon bölgesinde etkili olan volkanizmayı birden çok aşamalı potasik ve ultrapotasik alkali volkaniklerin ardanlanması olarak tanımlamışlardır (Akal, 2003, 2008; Akal vd., 2013). Aydar vd. (2003) Afyon bölgesindeki volkanik aktivitenin yaklaşık 550 km²'lik bir alanı kapladığını ve küçük bir stratovolkan ile temsil edildiğini belirtmiştir. Buna bağlı olarak kalderanın çökmesiyle iki aşamadan oluşan bir volkanik aktivitenin etkin olduğunu savunmuştur. Bunlardan ilkinin lav akıntıları,



Şekil 2. Çalışma alanının jeolojik haritası (MTA-1/500.000'lik jeoloji haritası).
Figure 2. The geological map of the study area (MTA-1/500.000 geology map).

domlar, lahar ve blok ve kül akıntısı şeklinde, ikincisinin ise, kalderanın çökmesinden sonra, iri sanidinlerce zengin trakitik lav domları ve blok ve kül akıntıları ile çığ akıntıları şeklinde yayılım gösterdiğini belirtmiştir. İkinci evrenin sonunda da, hidrovolkanik aktivite, lamprofirik lav akıntıları ve flogopitce zengin dayk intrüzyonlarının görüldüğünü belirtilmiştir.

Bölgedeki son aktivite ürünlerinin alkali lamprofir ve lamproyit özelliğindeki kayalar olması ve lamproyitik özellik gösteren kayaların çok farklı tektonik alanlarda görülmesi (kıta-içi ve yaklaşan levha sınırları) ve lamprofirlerin karmaşık magmatik süreçlerin gelişimi, kısmi ergime, fraksiyonel kristallenme, manto metasomatizması ve K'ca zengin magmaların kabuksal kirlenme süreçlerinin anlaşılmasına olanak sağlaması açısından büyük önem taşımaktadır (Aydar vd., 2003; Akal, 2008).

Çalışmacılar elde ettikleri jeokronolojik- jeokimyasal verilere göre bölgeyi kuzey ve güney olarak ikiye ayırmış ve aynı zamanda kuzeyde bulunan silisçe doygun ($52 < \text{SiO}_2 < 64$) volkanik kayaların daha yaşlı, güneyde bulunan silisçe doygun olmayan volkanik kayaların ise daha genç olduklarını belirlemişlerdir (Aydar vd., 2003; Akal, 2003, Akal vd., 2013).

Bu çalışmada jeokronolojik bir veri olmamakla birlikte, yapılan arazi çalışmaları, örneklerin lokasyonları, elde edilen mineralojik ve ana element kimyası verileri eşliğinde Afyon ili güneyi ve Şuhut'un kuzeyinde yer alan çalışma alanından alınan örneklerin, literatürde belirtilen erken evreye (14.75 ± 0.3 Ma (Besang vd., 1977); 14.23 ± 0.09 Ma (Akal vd., 2013)) ait potasik ve ultrapotasik volkanizma ürünleri olduğu düşünülmektedir. Çalışma alanındaki volkanik kayalar, dom (Şekil 3), lav domları (Şekil 4a) ile blok ve kül akışları (Şekil 5) şeklinde görülmüştür.

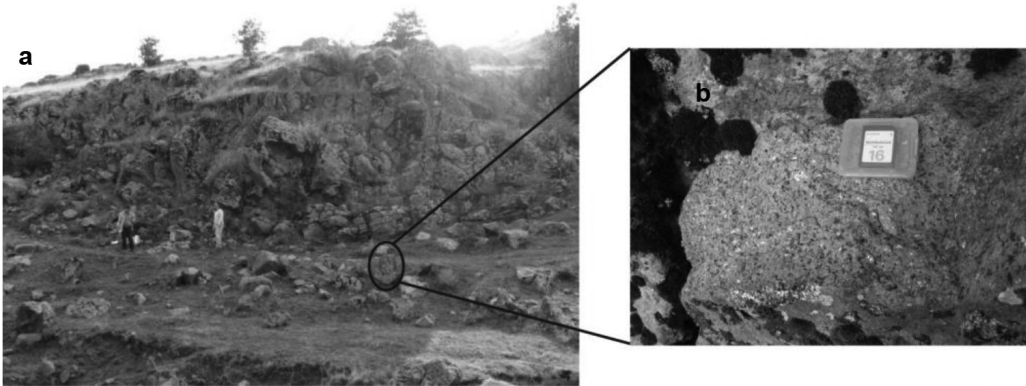
Özellikle trakit örneklerinde önceki çalışmacıların belirttiği gibi iri sanidin fenokristalleri (Şekil 6) ve iri biyotit fenokristallerine (Şekil 4b) rastlanılmıştır. Kayalar açık renkli ve masif görünümündedir. Örneklerde alterasyona çok rastlanılmakla beraber, bazı örneklerde karbonatlaşma ve killeşme görülmüştür. El örneklerinin çoğunda hamur gri renkte olup, ince tanelidir.

ANALİTİK YÖNTEMLER

Afyon Bölgesi volkaniklerinin incelenmesi için öncelikle Afyon-Serban'ın doğusu, Şuhut'un kuzeyi ve Afyon ili merkezinin güneyinde kalan alanda arazi çalışması yapılmış ve



Şekil 3. Taşkesik Deresi yakınında görülen andezitik dom.
Figure 3. The andesitic dome from the Taskesik valley.

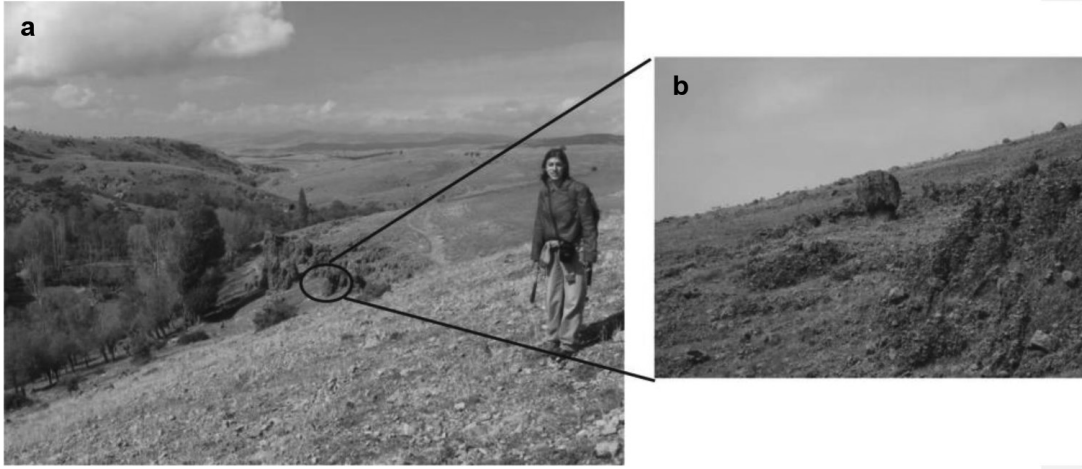


Şekil 4. a) Bol miktarda, iri biyotit mineralleri içeren lav domu (Sarıoğlu Yaylası, Serban'nın doğusu, AD2 örneği).
b) Aynı lav domuna ait iri biyotit minerallerinin yakından görünümü.

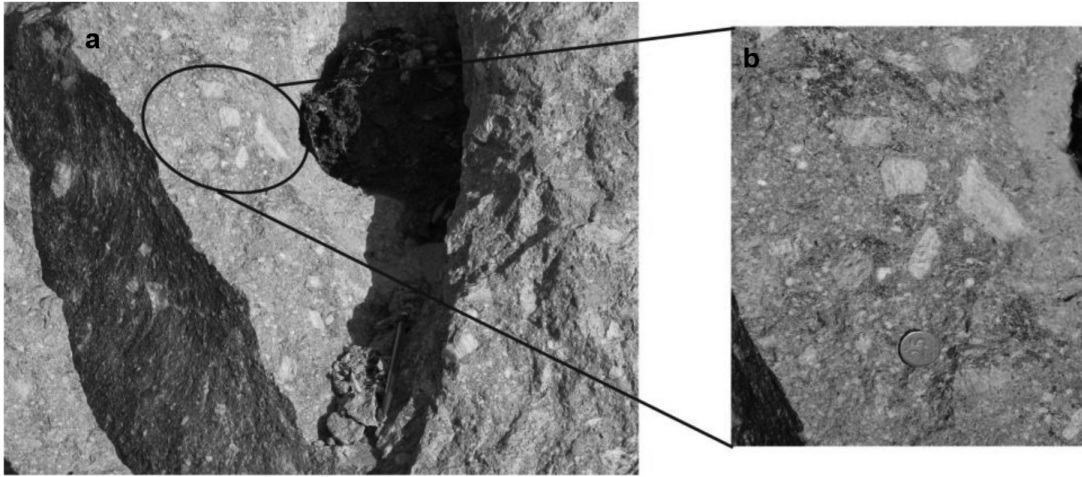
Figure 4. The lava dome that contains plenty of large biotite minerals (Sarıođlu Plateu, East of Serban, Sample AD2). b) The close view of the large biotite minerals from the same lava dome.

çalışmalar sonucunda araziden 16 örnek alınmıştır (Şekil 7). Örneklerin makroskopik incelemelerinin ardından, Blaise Pascal Üniversitesi (Clermont-Ferrand/Fransa), Magma ve Volkan laboratuvarında bulunan ICP-OES cihazında major element analizleri yapılmıştır. Örnekler

laboratuvarda bulunan kesme-öğütme laboratuvarında kesilip, kayalara ait düzgün, alterasyon izi taşımayan parçalardan aynı üniversitenin incekesit-parlatma laboratuvarında incekesitler hazırlanmıştır. Alttan aydınlatmalı polarizan mikroskop ile yapılan mikroskopik incelemeler



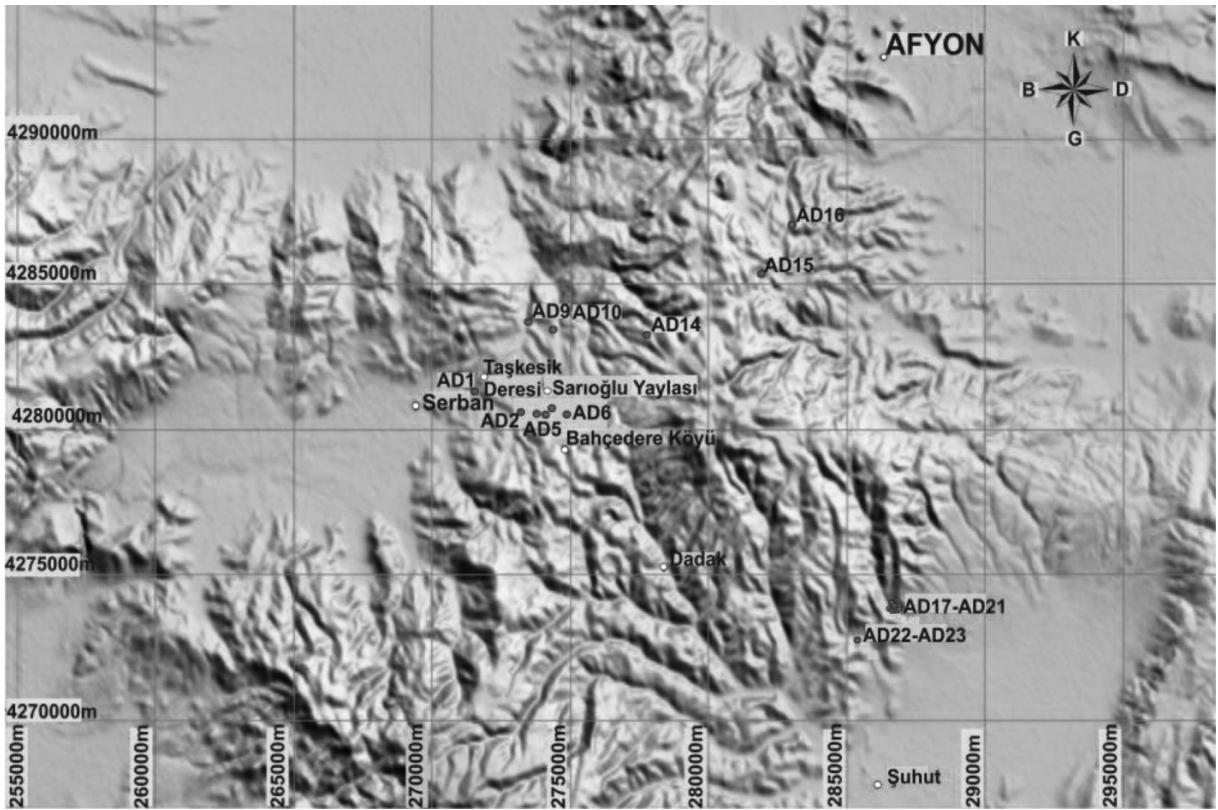
Şekil 5. a) Bahçedere köyü kuzeybatısı, blok ve kül akışları. b) Aynı blok ve kül akışının yakından görünümü.
Figure 5. The Northwest of Bahçedere village, block and ash flows. b) The close view of the same block and ash flows.



Şekil 6. a) Serban'nın kuzeybatısında gözlemlenen iri sanidin fenokristalleri (AD8 örneği). b) Aynı sanidin fenokristallerinin yakından görünümü.
Figure 6. Large sanidine phenocrysts from northwest of Serban (Sample AD8). b) The close view of the same sanidine minerals.

sonucunda, 12 örnekten mikroprop yapılmasına karar verilmiştir. Mikroprop analizleri Blaise Pascal Üniversitesi (Clermont-Ferrand/Fransa), Magma ve Volkan laboratuvarında bulunan Cameca SX-100 (WDS) marka elektron mikroskobunda yapılmıştır. Mikroprop analizleri, fenokristal, mikrofenokristal ve mikrolitler için 15 kv, 10-12 nA ve 10 s koşullarında, cam analizleri için 15 kv, 4 nA ile 5µm, 10 s koşullarında gerçekleştirilmiştir. Hareketli alkali elementlerin ortamdaki göçünü engellemek için öncelikle Na ve K elementleri analiz edilmiştir. Mineral görün-

tülemeleri ve çizgisel kimyasal taramaları için Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği bölümünde bulunan Carl-Zeiss EVO 50 EP SEM (taramalı elektron mikroskobu) ve bütünleşik Bruker XFlash 3001 EDS (enerji dağılım spektrometresi) kullanılmıştır. Üstü açık parlatılmış incekesit üzerinde belirlenen iki nokta arasındaki 300 nokta üzerinde gerçekleştirilen mikrokimyasal analizler için 15 kv ivmelendirici gerilim, 5 nA demet akımı, 40 saniye sayma zamanı ve 10 mm çalışma mesafesi uygulanmıştır.



Şekil 7. Çalışma alanından alınan örneklerin lokasyonları.
Figure 7. The locations of the samples from the study area.

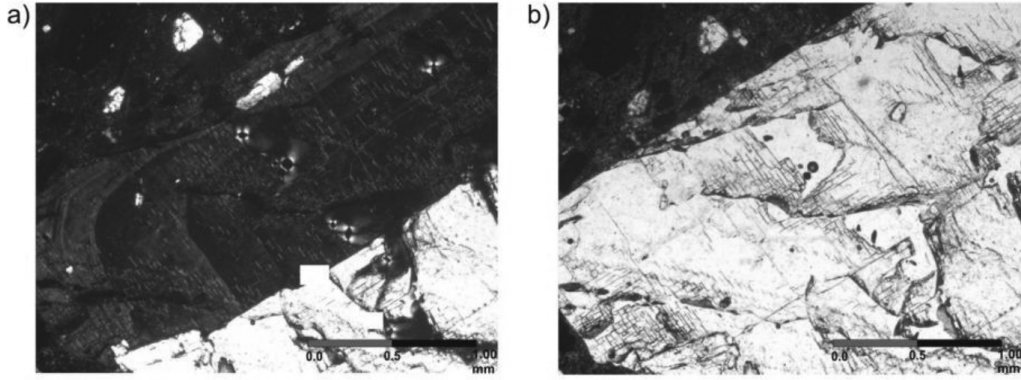
MİNERALOJİK VE PETROGRAFİK ÖZELLİKLER

Afyon Bölgesi'nden alınan trakitik örnekler üzerinde gerçekleştirilen mineralojik incelemeler sonucunda genel mineralojik bileşimin, plajiyoklaz + biyotit + amfibol + klinopiroksen ± ortopiroksen ± sanidin ve oksit mineraller olduğu saptanmıştır. UPG'nin mineralojik bileşimi amfibol + flogopit + klinopiroksen + olivin + sanidin ve oksit mineraller olarak belirlenmiştir. Mineralojik ve jeokimyasal olarak farklılık sunan UPG örnekleri holokristalin porfirik doku gösterirken, diğer örnekler hipokristalin porfirik doku göstermektedir.

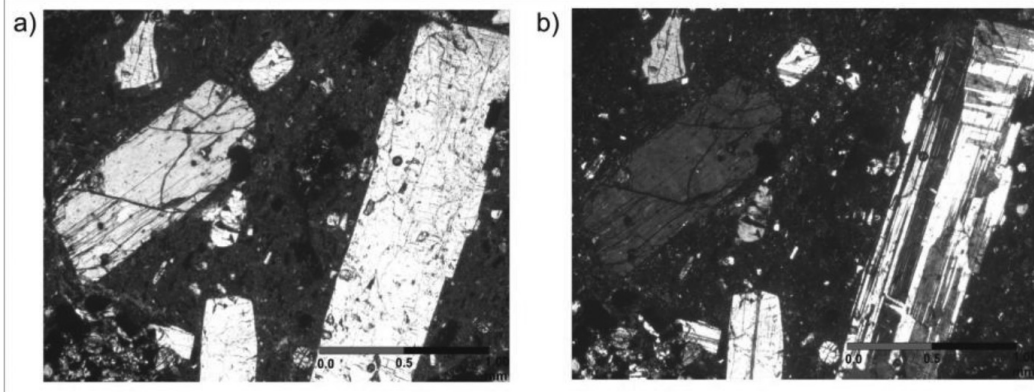
Feldispat mineralleri, örneklerde hem plajiyoklaz, hem de sanidin olarak bulunmaktadır. Sanidin minerali daha çok fenokristal ve mikrofeno-kristal olarak gözlenmekte ve iri sanidin (0.5mm -1cm) fenokristalleri, karlsbad ve basit ikizlenme göstermektedir (Şekil 8). Sanidin mi-

nerallerinden bazılarında AD8 örneğinde olduğu gibi konsantrik zonlanma saptanmıştır (Şekil 8). Plajiyoklaz mineralleri, örneklerin çoğunda fenokristal ve mikrofeno-kristal olarak bulunurken, hamurda mikrolit olarak yer almaktadır. Plajiyoklaz mineralleri polisentetik ikizlenme (Şekil 9) ve konsantrik zonlanma (Şekil 10) göstermektedir. Bunun yanında Şekil 11'de görüldüğü gibi örneklerin bazılarında merkezi kenarlarına göre daha temiz fakat kenarlarından itibaren süngerimsi doku gösteren plajiyoklaz mikrofeno-kristalleri de saptanmıştır.

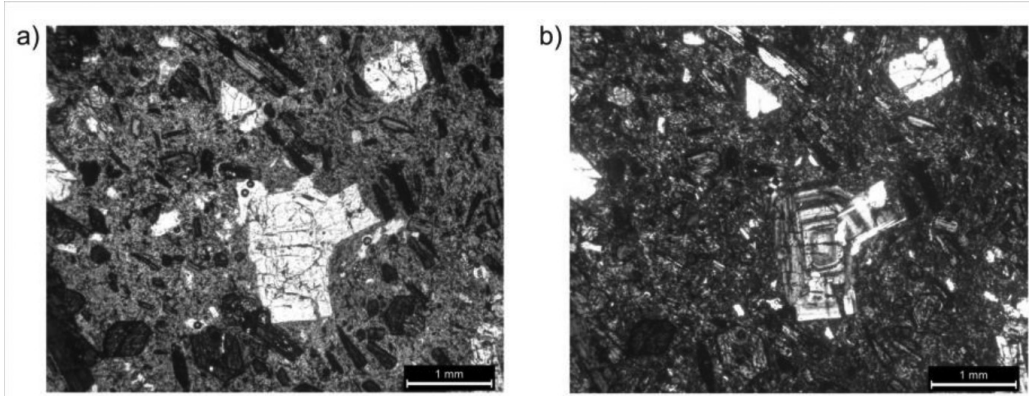
Amfibol mineralleri daha çok fenokristal olarak bulunmakta ve yer yer mikrofeno-kristal olarak da görülmektedir. Amfibollerden bazıları Şekil 12'de görüldüğü gibi altıgen ve çift yönde dilinime sahip kafa kesiti şeklinde gözlenmiştir. Yeşil ve kahverengi olarak iki farklı renkte bulunan amfibollerin bazılarının kenarlarından itibaren opasitleştiği saptanmıştır.



Şekil 8. Konsantrik zonlanma ve karlsbad ikizlenmesi gösteren, iri sanidin fenokristali (AD 8). a) I.Nicol, b) II.Nicol.
Figure 8. Large sanidine phenocrystals showing concentric zoning and carlsbad twinning (AD8). a) I.Nicol, b) II.Nicol.



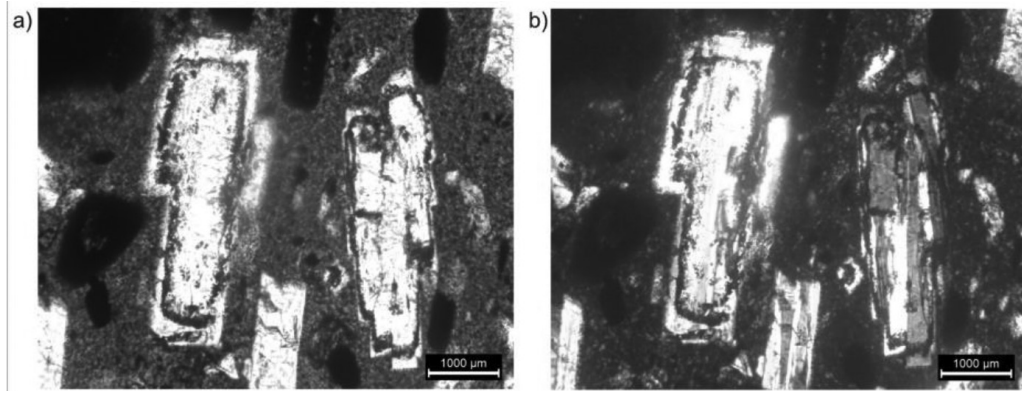
Şekil 9. Polisentetik ikizlenme gösteren plajiyoklaz fenokristali ve koyu kahverengi renkli hamur (AD22). a) I.Nicol, b) II.Nicol.
Figure 9. Plagioclase phenocrystal displaying polysynthetic twinning and deep brownish matrix (AD22). a) I.Nicol, b) II.Nicol.



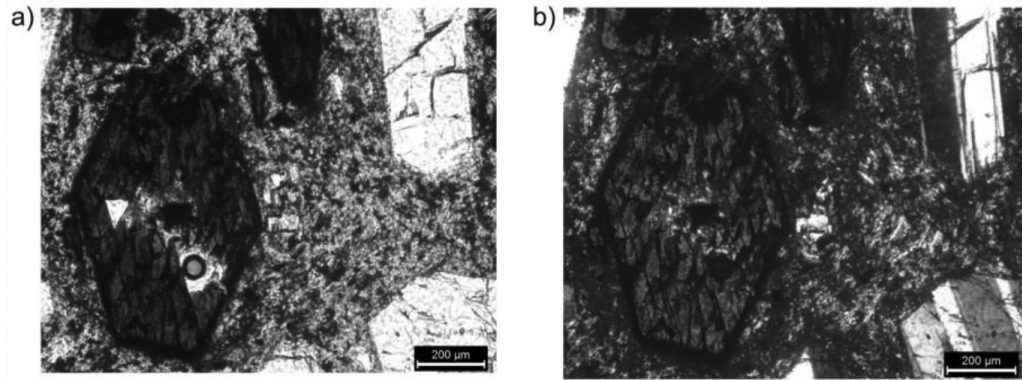
Şekil 10. Konsantrik zonlanma gösteren plajiyoklaz mikrofeno-kristali (AD5). a) I.Nicol, b) II.Nicol.
Figure 10. Plagioclase microphenocrystal displaying concentric zoning (AD5). a) I.Nicol, b) II.Nicol.

Biyotit mineralleri kahverengi ve özellikle UPG örneklerinde koyu kahve-kızıl renkli, yüksek pleokroizmaya sahip ve dilinimli olarak gözlenmiştir (Şekil 13).

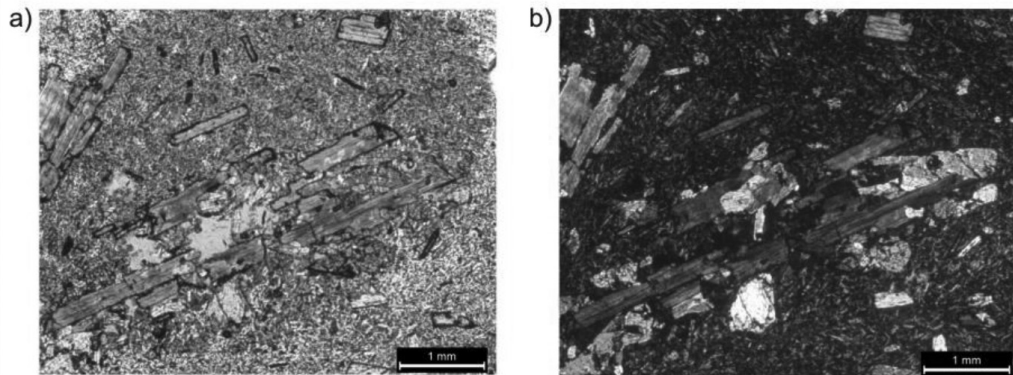
Piroksen mineralinin çoğunlukla klinopiroksen, bazı örneklerde ise ortopiroksen ve klinopiroksen olarak birlikte buldukları gözlenmiştir (Şekil 14).



Şekil 11. Kenarlarından itibaren süngerimsi doku gösteren plajiyoklaz fenokristali (AD13). a) I.Nicol, b) II.Nicol.
 Figure 11. Plagioclase phenocrysts displaying spongy texture from its rims (AD13). a) I.Nicol, b) II.Nicol.



Şekil 12. Altıgen şekilli, çift yönde dilinime sahip, kahverengi renkli, kenarlarından itibaren altere olmuş amfibol minerali (AD5) ve açık kahverengi renkli hamur. a) I.Nicol, b) II.Nicol.
 Figure 12. Amphibole mineral (AD5), hexagonal shape, has two cleavage planes, brown colored and it is getting altered from its rim and light brown colour matrix. a) I.Nicol, b) II.Nicol.



Şekil 13. Kenarlarından itibaren altere olmaya başlamış koyu kahverengi biyotit fenokristalleri ile piroksen minerallerinin de bulunduğu glomeroporfirik doku (AD3). a) I.Nicol, b) II.Nicol.
 Figure 13. Dark brown colored biotite phenocrysts displaying alteration from its rims and glomeroporphyritic texture with pyroxene minerals (AD3) a) I.Nicol, b) II.Nicol.

Olivin mineralleri, UPG örneklerinde mikrofenokristal ve mikrolit olarak gözlenmekte ve glo-meroporfirik doku göstermektedir. (Şekil 15).

Oksit mineraller, hamur içinde yaygın olarak bulunmakta ve diğer minerallerin içinde kapanımlar halinde de gözlenebilmektedir.

Hamur, genelde açık kahverengi renkli (Şekil 10) olmasına rağmen AD1, AD7, AD12 ve AD22 gibi örneklerde koyu kahverengidir (Şekil 9) ve yukarıda bahsedilen mineral kompozisyonlarının mikrolitlerinden oluşmaktadır.

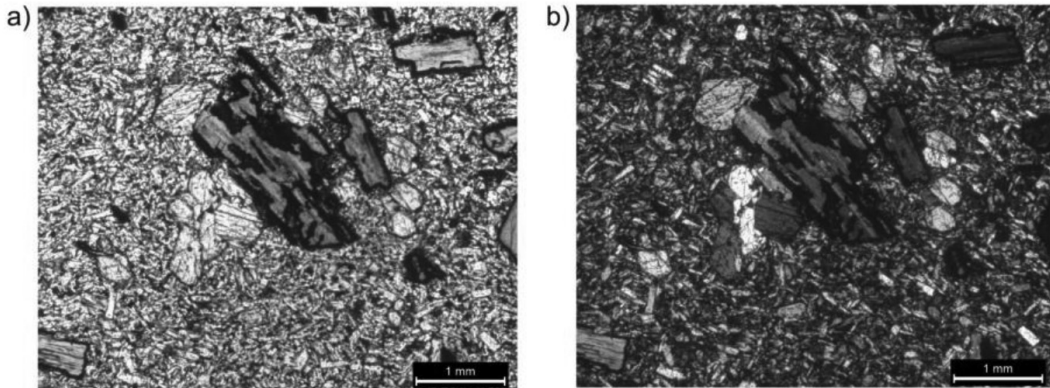
MİNERAL KİMYASI

Elektron mikroprop çözümlenmeleri fenokristaller, mikrofenokristaller ve mikrolitler üzerinde yapılmış, fenokristallerin ve mikrofenokristallerin merkez ve kenarından, mikrolitlerin ise sadece merkezinden ölçüm alınmıştır. Daha sonra yapılan çözümlenmelerden elde edilen sonuçlar mineral sınıflama diyagramlarına yerleştirilerek mineraller detaylı olarak adlandırılmıştır. Temsil edici bazı mikroprop analiz çözümlenme sonuçları, plajiyoklaz (Çizelge 1), amfibol (Çizelge 2), biyotit-flogopit (Çizelge 3) ve klinopiroksen (Çizelge 4) olmak üzere ayrı çizelgelerde sunulmuştur.

Buna göre plajiyoklazların labrador-oligoklaz (An_{3-63}) (Şekil 16), amfibol minerallerinin çermakit, rihterit ve magnezyumlu-hornblend ($Mg\#_{54-81}$) (Şekil 17), klinopiroksenlerin diyop-sit, ojit (Wo_{43-47}) (Şekil 18), ortopiroksenlerin

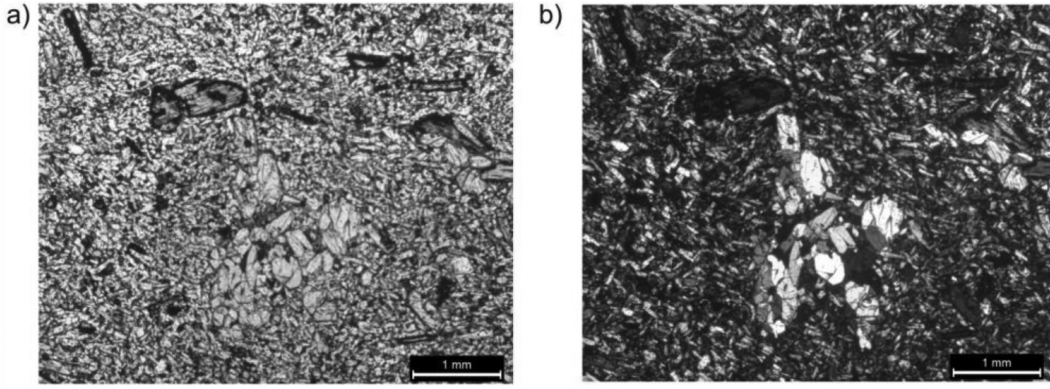
hipersten (En_{40-70}) (Şekil 18) kompozisyonunda ve oksit minerallerinde ilmenit, apatit ve manyetit olduğu belirlenmiştir. Mika grubu mineralleri üzerinde yapılan mineral kimyası çalışmalarıyla bu mineraller biyotit ve flogopit olarak tanımlanmıştır. Mikroprop analizleri sonucunda plajiyoklaz minerallerinde hem normal hem de ters zonlanmanın varlığı saptanmıştır (Çizelge 1). Çizelge 1'de görüldüğü gibi bazı plajiyoklaz minerallerinin merkezi Na'ca zengin olup, kenarlara doğru Ca'ca zenginleşmektedir. Şekil 19'da, AD5 örneğine ait konsantrik zonlu bir plajiyoklazın SEM görüntülenmesi sırasında çizgisel bir hat (A-B) boyunca mineralden elde edilen kütleli elementer analiz sonuçları verilmektedir. Seçilen A-B hattının başlangıç ve bitiş noktaları mineralin dışındaki camı, çizilen kısa kalın çizgiler ise mineralin sınırlarını göstermektedir (Şekil 19a,b). Şekil 19b'de ise A-B hattı boyunca Ca, Na, K ve Al elementlerinin (%) kütleli değişimleri görülmektedir. A-B hattı boyunca ilerlendiğinde Şekil 19b'de görüldüğü gibi mineralin kenarlarında Ca elementinin değeri %7'lerde iken, merkezde bu oran %4'e düşmekte ve Na elementinin değeri ise kenarlarda %3'lerde ilen merkeze gelindiğinde %4-4.5'lere çıkmaktadır. SEM analizinden elde edilen veriler, mineral kimyası sonuçlarını doğrular niteliktedir.

Bunun yanında Şekil 11'de görüldüğü gibi kenarlarından itibaren süngerimsi dokuya sahip plajiyoklaz fenokristallerin olması, magma



Şekil 14. Piroksen mikrofenokristalleri ve kenarlarından itibaren altere olmuş biyotit fenokristalleri (AD2). a) I.Nicol, b) II.Nicol.

Figure 14. Pyroxene microphenocrysts and biotite phenocrysts displaying alteration from its rims (AD2) a) I.Nicol, b) II.Nicol.



Şekil 15. Olivin mikrofenokristal ve mikrolitlerinin gösterdikleri glomeroporfirik doku (AD2). a) I.Nicol, b) II.Nicol.
Figure 15. Olivine microphenocrysts and microlites displaying glomeroporphyritic texture (AD2) a) I.Nicol, b) II.Nicol.

karışım (mixing) sürecinin Afyon volkanik kayaları üzerinde etkili olmuş olabileceğini düşündürmektedir.

TERMOBAROMETRE (P-T) HESAPLAMALARI

Afyon volkanik kayalarındaki minerallerin oluşum sıcaklık-basınç koşulları ile ilgili daha fazla bilgi edinmek amacıyla termobarometre hesaplamaları yapılmıştır. Literatüre göre bu hesaplamalar için mineral-mineral ya da mineral-eriyik birlikteliklerinden yararlanılmakta ve eriyik değerlerini temsil etmesi için örnekten analiz edilen cam mikroprop değerleri veya tüm kayaç analiz sonuçları kullanılmaktadır (Putirka vd., 2003). Bu çalışmada mikroprop yapılan örneklerin cam analiz sonuçları jeotermometre hesaplamaları için yeteri kadar iyi sonuç vermediğinden eriyik yerine tüm kayaç sonuçları kullanılmış ve jeotermometre hesaplamaları Putirka (2008)'ya göre yapılmıştır.

Jeotermometre ve jeobarometre hesaplamaları için araştırmacılar (Nimis, 1995; Nimis ve Ulmer, 1998; Nimis ve Taylor, 2000; Putirka, 2008, Putirka vd.,1996, 2003) tarafından çok sayıda model ileri sürülmüştür. Bu modellerin ortak noktası, yalnız klinopiroksen minerali ya da klinopiroksen-eriyik ikilisinin dengede olduğu koşulların dikkate alınmış olmasıdır. Massotta vd., (2013)'ne göre klinopiroksen minerali, magmatik kayaçlar için magmatik süreçlerin ve kristalizasyon koşullarının belirlenmesi için

en kullanışlı mineraldir. Bu çalışmada klinopiroksen-eriyik dengesi dikkate alınarak yapılan hesaplamalarda elde edilen sıcaklıklar, sırasıyla en düşük 1087 °C (AD5) ve en yüksek 1141 °C (AD3) olarak bulunmuştur (Çizelge 5).

Sıcaklık verilerinden yararlanılarak elde edilen basınç değerleri 5-10 kbar aralığında değişirken, basınç değerleri kullanılarak bu çalışmada elde edilen mineral kristallenme derinliği 18 km (AD5) ve 28 km (AD1) olarak hesaplanmıştır (Putirka, 2008). Sıcaklık değerlerine bakıldığında en düşük sıcaklığa sahip olan AD5'in sığ derinlikte, en yüksek sıcaklığa sahip AD3'ün ise en derinde yer almadığı görülmektedir (Çizelge 5). Sıcaklık ve basınç hesaplamalarından elde edilen sonuçların AD3 örneğinde olduğu gibi doğru orantılı olmamasının, hesaplamalarda kullanılan denge halindeki klinopiroksenlerin tahmini H₂O içeriği farkından kaynaklanabileceği belirtilmektedir (Putirka, 2008). Serban baraj yarmasından alınan trakitik AD1 ve bloktan alınan AD5 örnekleri mekansal olarak birbirlerine yakın olmasına rağmen (Şekil 2) minerallerin kristallenme derinliğinin farklı olması, Afyon volkanik kayalarını oluşturan magmanın yukarı çıkışı sırasında farklı derinliklerde bulunan magma odalarında difransiyasyon olduklarını düşündürmektedir. Afyon il merkezi ile Şuhut'un kuzeyi arasında kalan çalışma alanından elde edilen bu sonuçların, Prelevic vd. (2015) tarafından sunulan ve Şuhut'un güneyindeki çalışma alanlarında bulunan plajiyoklaz ve amfibolce zengin olan örneklerdeki klinopiroksenlerden hesaplanan basınç ve

Çizelge 1. Afyon volkanik kayalar plajiyoklaz mineralleri üzerinde yapılmış temsil edici mikroprop analiz sonuçları (m: merkez, k: kenar) (iyon sayıları 320 bazına göre hesaplanmıştır).

Table 1. Representative microprobe analyses of plagioclase minerals from Afyon volcanics (c: center, r: rim) (calculated for 320).

Örnekler	AD22	AD17	AD16	AD12	AD7	AD5										
Fenokristal																
	13-m	14-k	24-m	25-k	57-m	58-k	151-m	152-k	132-m	133-k	128-m	129-k	25-m	26-k	17-m	18-k
SiO₂	60.71	60.69	60.40	59.13	61.74	64.42	61.32	60.39	61.01	59.10	58.29	59.38	57.55	55.29	54.72	54.36
Al₂O₃	24.06	24.21	24.20	24.63	23.64	22.12	23.63	24.40	23.79	24.36	25.76	25.08	26.84	27.66	27.97	27.99
FeO	0.31	0.32	0.28	0.39	0.60	0.96	0.19	0.24	0.25	0.15	0.31	0.30	0.41	0.42	0.47	0.42
MgO	0.02	0.00	0.033	0.007	0.03	0.04	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.04	0.01
CaO	5.91	6.25	6.50	7.21	5.98	4.05	5.61	6.58	6.03	7.00	7.89	7.36	9.06	10.13	10.68	10.84
Na₂O	7.01	6.88	6.95	6.42	7.17	7.07	7.46	6.98	7.30	6.79	6.57	6.73	5.57	4.99	5.09	4.88
K₂O	1.54	1.38	1.31	1.13	1.03	2.00	1.03	0.86	0.92	0.74	0.60	0.78	0.70	0.61	0.52	0.53
Toplam	99.63	99.78	99.75	98.96	100.24	100.82	99.31	99.48	99.30	98.21	99.42	99.72	100.18	99.13	99.63	99.06
Si	2.74	2.73	2.72	2.69	10.98	11.36	10.99	10.83	10.94	10.74	10.50	10.65	2.59	2.52	2.51	2.51
Al	1.28	1.29	1.28	1.32	4.96	4.60	4.99	5.16	5.03	5.22	5.47	5.31	1.43	1.49	1.51	1.52
Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.14	0.03	0.04	0.04	0.02	0.05	0.05	0.02	0.02	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.29	0.30	0.31	0.35	1.14	0.77	1.08	1.26	1.16	1.36	1.52	1.41	0.44	0.50	0.53	0.54
Na	0.61	0.60	0.61	0.57	2.47	2.42	2.59	2.43	2.54	2.39	2.29	2.34	0.49	0.44	0.45	0.44
K	0.09	0.08	0.08	0.07	0.24	0.45	0.24	0.20	0.21	0.17	0.14	0.18	0.04	0.04	0.00	0.00
An	28.88	30.68	31.53	35.74	30.80	21.90	28.70	33.70	30.80	36.00	39.90	37.20	45.38	50.98	53.68	55.14
Ab	62.11	61.26	60.94	57.56	62.90	65.20	65.00	61.00	63.60	59.50	56.50	58.10	50.47	45.42	46.32	44.86
Or	9.02	8.05	7.53	6.70	6.30	12.90	6.30	5.30	5.60	4.60	3.60	4.70	4.15	3.60	0.00	0.00

Çizelge 2. Afyon volkanik kayalar amfibol mineralleri üzerinde yapılmış temsil edici mikroprop analiz sonuçları (m: merkez.k: kenar) (iyon sayıları 23O bazına göre hesaplanmıştır).

Table 2. Representative microprobe analyses of amphibole minerals from Afyon volcanics (c: center. r: rim) (calculated 23O).

Örnekler	AD7							AD22							AD2			AD14		
	31-m	AD5	32-k	8-m	9-k	15-m	16-k	60-m	61-k	49-m	50-k	53-m	54-k	12-m	13-k	80-m	81-k			
Na ₂ O	2.05		2.03	1.97	1.84	1.93	2.08	1.89	1.93	2.41	2.54	2.51	2.59	5.40	5.29	1.62	1.60			
MgO	12.03		11.04	11.57	11.52	11.64	11.69	12.16	12.43	14.39	15.17	15.42	14.65	17.15	14.33	11.00	11.74			
K ₂ O	1.65		1.82	1.74	1.73	1.69	1.61	1.60	1.70	1.41	1.14	1.36	1.16	3.46	3.77	1.51	1.05			
CaO	11.44		11.35	11.81	11.53	11.42	11.79	11.84	11.84	11.09	10.97	11.14	10.39	5.36	4.55	11.17	11.62			
TiO ₂	2.37		2.42	2.41	2.33	2.41	2.74	2.30	2.41	3.71	3.62	3.55	3.61	5.73	8.01	1.82	1.55			
FeO	14.67		15.67	14.80	15.82	15.23	15.05	14.59	14.15	9.72	8.85	8.50	9.98	6.94	8.92	16.19	16.32			
MnO	0.28		0.29	0.28	0.25	0.27	0.28	0.27	0.15	0.14	0.11	0.11	0.16	0.11	0.15	0.32	0.38			
SiO ₂	42.01		41.45	41.27	41.36	41.56	41.59	41.56	40.64	40.60	40.96	41.91	40.17	53.20	51.67	44.70	44.55			
Al ₂ O ₃	11.62		11.52	11.58	11.88	11.82	11.82	11.50	11.79	13.92	13.40	12.57	1.40	0.64	0.38	9.40	8.37			
Toplam	98.18		97.59	97.48	98.30	98.07	98.65	97.70	97.15	97.44	96.79	97.11	96.67	98.01	97.12	97.76	97.22			
T																				
Si	6.06		6.07	6.02	6.00	6.01	5.97	6.01	5.90	5.75	5.79	5.92	5.70	7.53	7.58	6.54	6.51			
Al ^{iv}	1.94		1.94	1.98	2.00	1.99	2.00	1.96	2.02	2.25	2.21	2.09	2.30	0.11	0.07	1.46	1.44			
Ti	0.26		0.27	0.26	0.25	0.26	0.30	0.25	0.26	0.40	0.39	0.38	0.39	0.61	0.88	0.20	0.17			
Toplam(T)	8.26		8.27	8.26	8.25	8.26	8.27	8.22	8.18	8.40	8.39	8.38	8.39	8.25	8.53	8.20	8.12			
C																				
Al ^{vi}	0.04		0.05	0.01	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.07	0.02	0.01	0.04	0.00	0.00	0.16	0.00			
Ti	0.26		0.27	0.26	0.25	0.26	0.30	0.25	0.26	0.40	0.39	0.38	0.39	0.61	0.88	0.20	0.17			
Fe ³⁺	1.65		1.59	1.67	1.66	1.66	1.75	1.77	1.72	1.15	1.05	1.00	1.18	0.46	0.00	1.07	1.46			

Çizelge 2. Devam ediyor.
Table 2. Continued.

Örnekler	AD7							AD22							AD2			AD14	
	AD5	31-m	32-k	8-m	9-k	15-m	16-k	60-m	61-k	49-m	50-k	53-m	54-k	12-m	13-k	80-m	81-k		
Mg	2.59	2.41	2.49	2.52	2.49	2.51	2.50	2.62	2.69	3.04	3.20	3.24	3.10	3.62	3.13	2.40	2.56		
Fe⁺²	0.12	0.33	0.26	0.14	0.26	0.19	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	0.98	0.92	0.54		
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.05		
Toplam(C)	4.66	4.64	4.69	4.60	4.69	4.69	4.64	4.67	4.70	4.66	4.64	4.63	4.71	5.00	5.00	4.79	4.77		
B																			
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
Fe⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
Ca	1.43	1.42	1.48	1.44	1.48	1.46	1.45	1.50	1.54	1.34	1.31	1.32	1.29	0.81	0.72	1.54	1.59		
Na	0.57	0.58	0.52	0.56	0.52	0.54	0.55	0.50	0.46	0.66	0.70	0.69	0.71	1.12	1.15	0.46	0.41		
Toplam (B)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.93	1.87	2.00	2.00		
A																			
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	0.35	0.00	0.05		
K	0.30	0.34	0.32	0.32	0.32	0.31	0.30	0.29	0.32	0.26	0.21	0.25	0.21	0.63	0.71	0.28	0.20		
Toplam(A)	0.31	0.34	0.32	0.32	0.32	0.31	0.32	0.33	0.40	0.26	0.21	0.25	0.21	0.99	1.06	0.28	0.24		
Toplam	15.31	15.34	15.32	15.32	15.31	15.31	15.29	15.30	15.31	15.26	15.21	15.25	15.21	15.63	15.71	15.28	15.20		

Çizelge 3. Afyon volkanik kayaçları mika mineralleri üzerinde yapılmış temsil edici mikroprop analiz sonuçları (m: merkez.k: kenar) (iyon sayıları 120 bazına göre hesaplanmıştır).

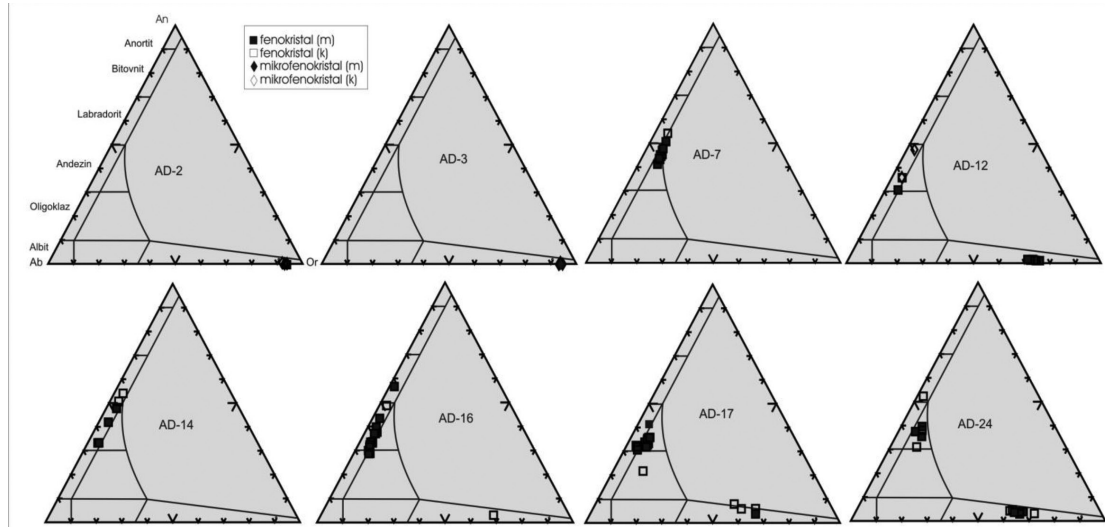
Table 3. Representative microprobe analyses of mica minerals from Afyon volcanics (c: center. r: rim) (calculated 120).

Örnekler	AD2				AD3				AD7				AD22				AD24	
	36—m	7—k	82—m	4—k	4—m	14—k	22—k	26—m	18—k	19—m	38—k	16—k	22—m	24—m	115—m	120—k		
	flogopit								biyotit									
SiO₂	41.13	40.36	40.84	41.29	41.55	42.00	41.99	41.82	37.12	37.10	36.51	35.45	36.51	37.31	37.47	38.66		
TiO₂	2.97	4.01	2.76	2.95	2.75	2.96	2.98	2.96	3.88	3.57	5.90	5.87	5.90	5.78	6.12	5.90		
Al₂O₃	12.07	11.47	12.61	12.10	12.41	11.85	12.02	12.08	14.06	14.10	13.19	12.81	13.19	13.13	13.12	14.30		
FeOt	3.96	7.35	2.86	4.17	3.36	3.83	3.53	3.28	14.96	15.90	12.53	13.16	12.53	15.10	11.41	7.64		
MnO	0.08	0.00	0.03	0.05	0.05	0.04	0.01	0.00	0.10	0.18	0.07	0.05	0.07	0.05	0.08	0.13		
MgO	24.02	22.35	24.15	23.89	23.83	24.42	24.39	24.21	15.19	14.80	17.62	19.40	17.62	14.32	17.59	18.60		
CaO	0.01	0.02	0.01	0.04	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.06		
Na₂O	0.23	0.22	0.26	0.22	0.22	0.21	0.18	0.23	0.56	0.57	0.35	0.49	0.35	0.61	0.70	0.48		
K₂O	10.55	10.16	10.76	10.55	10.83	10.56	10.61	10.59	9.48	9.38	9.40	8.80	9.40	9.37	9.25	9.40		
Cr₂O₃	0.45	0.04	1.37	0.45	1.04	0.27	0.37	0.80	0.02	0.01	0.02	0.04	0.02	0.03	0.07	0.01		
NiO	0.11	0.01	0.20	0.11	0.17	0.11	0.13	0.14	0.09	0.02	0.03	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00		
Toplam	95.58	96.12	95.83	95.92	96.21	96.29	96.21	96.14	95.45	95.64	95.61	96.13	95.61	95.71	95.81	95.16		
Si	3.20	3.17	3.19	3.21	3.22	3.23	3.23	3.23	3.03	3.04	3.22	2.88	3.15	3.06	3.00	3.05		
Ti	0.17	0.24	0.16	0.17	0.16	0.17	0.17	0.17	0.24	0.22	0.14	0.36	0.00	0.36	0.37	0.35		
Al	1.11	1.06	1.16	1.11	1.13	1.07	1.09	1.10	1.36	1.36	1.12	1.22	1.34	1.27	1.24	1.33		
Fe	0.26	0.48	0.19	0.27	0.22	0.25	0.23	0.23	1.02	1.09	0.96	0.89	0.90	1.03	0.76	0.50		
Mn	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01		
Mg	2.79	2.61	2.81	2.77	2.76	2.80	2.80	2.79	1.85	1.81	1.43	2.35	2.27	1.75	2.10	2.19		
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01		
Na	0.04	0.00	0.04	0.00	0.03	0.03	0.04	0.04	0.09	0.09	0.29	0.00	0.00	0.00	0.11	0.07		
K	1.05	1.02	1.07	1.05	1.07	1.04	1.04	1.03	0.99	0.98	0.15	0.91	1.03	0.98	0.95	0.94		
Toplam	8.61	8.58	8.62	8.58	8.60	8.59	8.59	8.58	8.59	8.60	8.31	8.61	8.70	8.44	8.54	8.45		

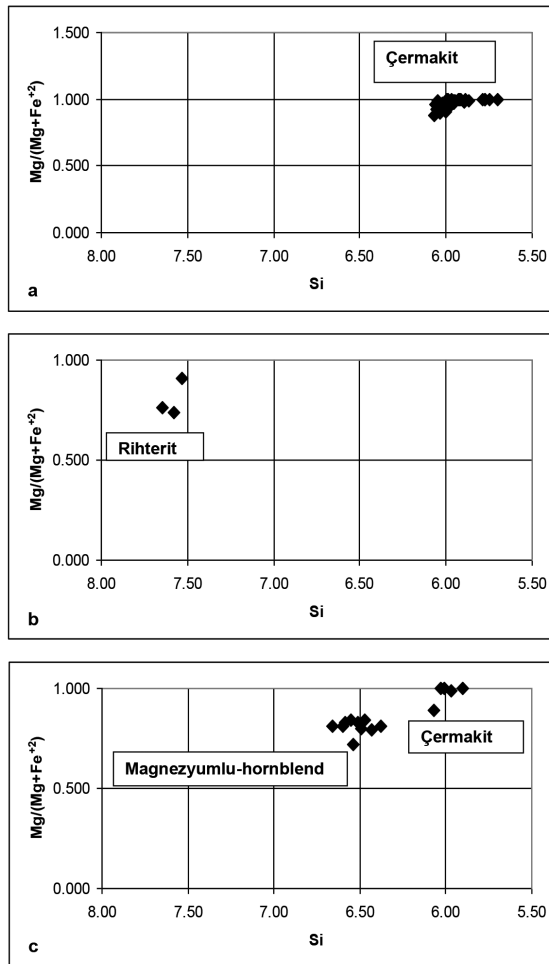
Çizelge 4. Afyon volkanik kayalar klinopiroksen mineralleri üzerinde yapılmış temsil edici mikroprop analiz sonuçları (m: merkez, k: kenar) (iyon sayıları 4 katyon, 6O bazına göre hesaplanmıştır).

Table 4. Representative microprobe analyses of clinopyroxene minerals from Afyon volcanics. (c: center, r: rim) (calculated 4 cation and 6O).

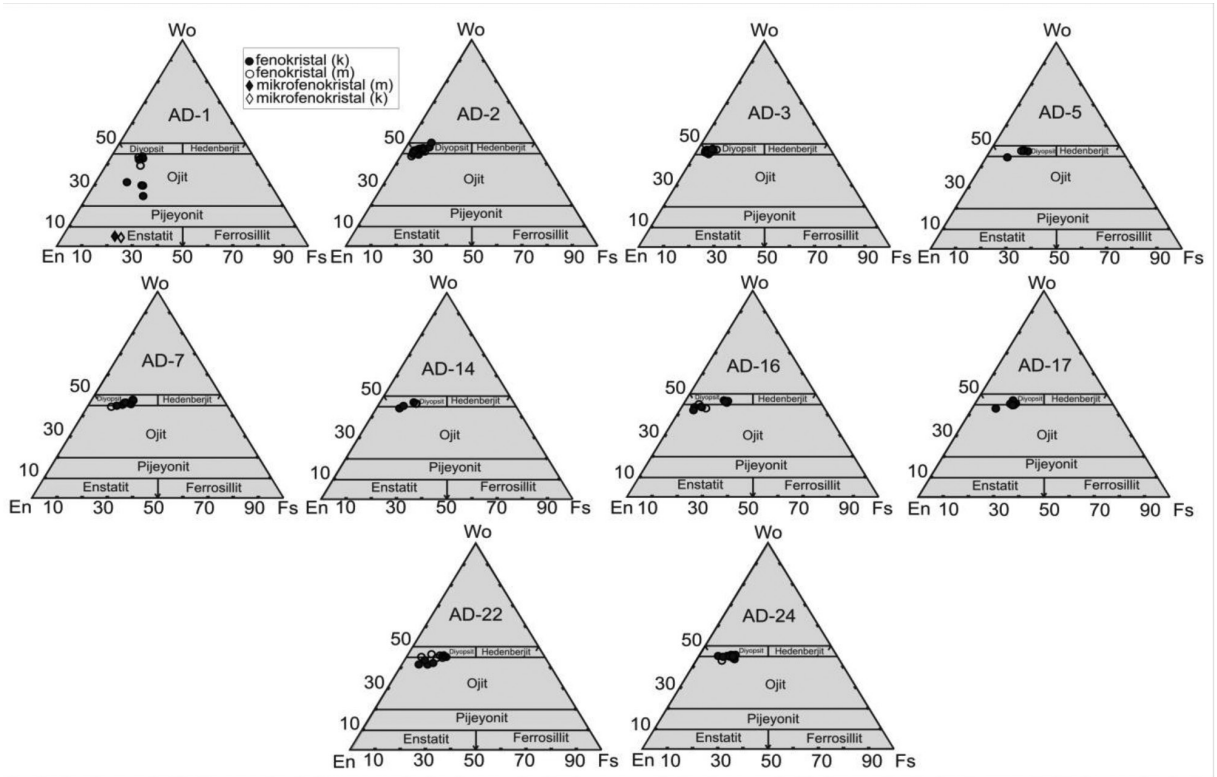
Örnekler	AD2		AD3		AD7		AD14		AD22		AD1		AD16		AD24		
	Mikrofenokristal						Fenokristal						Mikrofenokristal				
	15—m	16—k	55—m	56—k	5—m	7—k	92—m	93—k	66—m	67—k	55—m	56—k	143—m	144—k	109—m	110—k	
SiO ₂	53.64	53.90	55.81	54.48	49.67	50.65	50.84	51.32	54.47	52.67	53.51	48.79	52.12	52.53	52.79	53.26	
TiO ₂	0.61	0.66	0.41	0.37	0.61	0.42	0.57	0.42	0.25	0.41	0.51	1.63	0.21	0.45	0.24	0.31	
Al ₂ O ₃	0.20	0.14	0.26	0.23	3.96	3.66	3.33	2.50	0.81	1.58	3.06	6.76	1.94	1.85	1.93	1.21	
FeO	4.02	4.86	2.85	3.85	9.67	9.61	7.94	8.56	4.26	7.46	7.86	7.37	8.97	5.84	8.14	6.23	
MnO	0.12	0.21	0.07	0.14	0.35	0.32	0.21	0.42	0.11	0.25	0.28	0.20	0.64	0.17	0.39	0.19	
MgO	17.20	16.83	18.28	17.03	12.31	12.34	14.22	14.06	19.01	15.44	20.03	14.71	13.05	16.59	14.41	16.54	
CaO	23.56	23.48	22.94	23.76	22.28	22.69	22.57	22.63	20.80	21.79	14.77	19.68	22.61	21.21	20.89	21.05	
Na ₂ O	0.22	0.17	0.13	0.19	0.60	0.59	0.37	0.44	0.16	0.48	0.40	0.65	0.50	0.33	0.49	0.23	
Toplam	99.63	100.24	100.81	100.06	99.44	100.34	100.06	100.42	100.51	100.54	100.51	99.92	100.06	99.02	99.34	99.09	
Si	1.97	1.97	2.00	1.99	1.86	1.89	1.88	1.90	1.97	1.93	1.93	1.80	1.94	1.94	1.97	1.97	
Al ^{iv}	0.01	0.01	0.00	0.01	0.14	0.12	0.12	0.10	0.03	0.07	0.07	0.21	0.06	0.06	0.03	0.03	
Al ^{vi}	0.00	0.00	0.01	0.00	0.04	0.05	0.03	0.01	0.00	0.00	0.06	0.09	0.03	0.02	0.05	0.03	
Fe ⁺³	0.05	0.03	0.00	0.01	0.10	0.09	0.09	0.10	0.01	0.06	0.01	0.08	0.05	0.03	0.00	0.00	
Fe ⁺²	0.08	0.12	0.09	0.11	0.20	0.21	0.16	0.16	0.12	0.17	0.23	0.15	0.23	0.15	0.25	0.19	
Mn	0.02	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	
Mg	0.94	0.92	0.98	0.93	0.69	0.69	0.78	0.78	1.02	0.85	1.08	0.81	0.73	0.91	0.80	0.91	
Ca	0.00	0.00	0.88	0.93	0.90	0.91	0.90	0.90	0.81	0.86	0.57	0.78	0.90	0.84	0.84	0.84	
Na	0.02	0.00	0.01	0.01	0.04	0.04	0.03	0.03	0.01	0.03	0.03	0.05	0.04	0.02	0.04	0.02	
Toplam	4.00	4.00	3.98	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
Ae	1.94	0.41	0.00	0.51	10.70	8.81	9.11	10.68	1.24	6.20	0.92	7.93	5.54	3.36	0.00	0.00	
Aug	98.06	99.59	98.88	99.49	85.29	86.58	88.23	88.71	98.46	93.59	92.82	82.77	91.58	94.39	94.48	97.36	
Wo	46.46	46.18	45.27	46.99	47.16	47.66	46.33	46.00	41.05	44.20	30.15	42.73	46.81	43.30	43.90	42.89	
En	47.16	46.03	50.21	46.89	36.26	36.07	40.58	39.78	52.22	43.58	56.86	44.44	37.64	47.11	42.11	46.89	
Fs	6.38	7.78	4.52	6.12	16.58	16.27	13.10	14.22	6.73	12.22	12.99	12.83	15.55	9.59	13.99	10.22	
Mg#	88.42	86.02	91.91	88.79	69.39	69.61	76.12	74.59	88.81	78.68	81.96	78.05	72.17	83.47	75.92	82.55	



Şekil 16. Afyon volkanik kayaların plajiyoklaz minerallerinin (mol%) kompozisyonu (Ab: Albit, An: Anortit, Or: Ortoklaz).
 Figure 16. Compositions of feldspars (mole%) from Afyon volcanics (Ab: Albite, An: Anorthite, Or: Orthoclase).

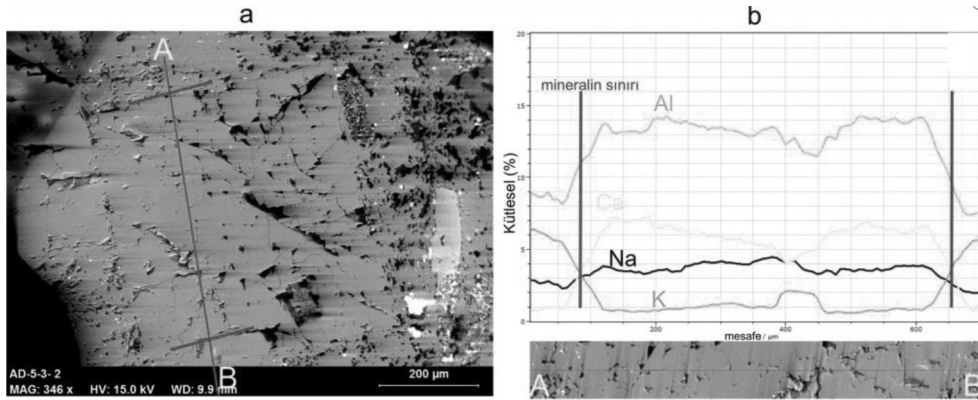


Şekil 17. Afyon volkanik kayalarının (AD2, AD5, AD7, AD12, AD14, AD22) amfibol sınıflama diyagramı (Leake vd.,1997). (a) sodik-kalsik b, (b) sodik-kalsik a, (c) kalsik b.
 Figure 17. Amphibole classification diagram of Afyon volcanics (Leake vd., 1997). (a) sodic-calcic b, (b) sodic-calcic a, (c) calcic b.



Şekil 18. Afyon volkanik kayalar piroksen minerallerinin Wo-En-Fs diyagramı üzerindeki gösterimi (Wo:Vollostonit, En:Enstatit, Fs:Ferrosillit) (Morimoto, 1989).

Figure 18. Compositional variations of pyroxenes from Afyon volcanics in Wo-En-Fs diagrams. (Wo: Wollastonite, En: Enstatite, Fs: Ferrosillite). (Morimoto, 1989).



Şekil 19. SEM görüntülemesi a) AD5'e ait konsantrik zonlu plajiyoklaz ve çizgisel analiz için seçilen A-B hattı. b) A-B hattı boyunca elementlerin kütleli yüzde (%) değişim çizelgesi.
Figure 19. Displaying of SEM image. a) Concentric zoning plagioclase of AD5 and A-B line of line scanning analysis. b) The mass percentage (%) change of elements along the A-B line.

sıcaklık değerleriyle de uyumlu olduğu belirlenmiştir. Prelevic vd., (2015)'nin, Putirka (2008)'yı kullanarak elde ettikleri kristallenme basıncı 9-12 kbar, sıcaklık 1040-1150 °C ve derinlik 10-

45 km arasında değişmektedir. Araştırmacılar, elde ettikleri bu veriler ile, Şuhut'un güneyinde bulunan plajiyoklaz ve amfibolce zengin olan Afyon volkanik kayalarının kaynak bileşenleri

Çizelge 5. Afyon volkanik kayalarından hesaplanan sıcaklık, basınç ve derinlik değerleri.
Table 5. The calculated temperature, pressure and depth values of Afyon volcanics.

Örnekler	Sıcaklık T (°C) Putirka, 2008			Basınç P(kbar) Putirka, 2008			Ortalama Sıcaklık T (°C) ((Eq32d+Eq33+Eq34)/3))	Ortalama Basınç P(kbar) ((Eq32a+32b+32c))	Derinlik (km)
	Eq 32d	Eq33	Eq34	Eq32a	32b	32c			
AD1	1195	1074.7	1082.8	8.3	6.7	13.5	1119	10	28
	1196	1081.7	1083.4	9.2	6.8	15.7			
AD3	1168	1056.2	1095.5	1.6	4.5	14.1	1141	7	26
	1237	1120.8	1166.9	2.2	4.3	14.9			
AD5	1148	1043.9	1084.2	3.6	5.5	10.3	1087	6	18
	1155	1023.2	1066.4	2.8	4.3	7.2			
AD22	1175	1064.3	1093.8	2	4.8	8.1	1108	5	19
	1174	1066.5	1073.5	2	2.7	8.6			
AD24	1198	1093	1111.4	5.1	6.9	9.1	1120	5	19
	1177	1067.9	1094.8	1.7	4.3	7.3			
	1175	1068.3	1097.4	1.7	4.4	7.6			

farklı magmalardan, farklı yollar izleyerek birden fazla differensiyasyon sürecinden geçerek oluştuğunu savunmuşlardır.

JEOKİMYA

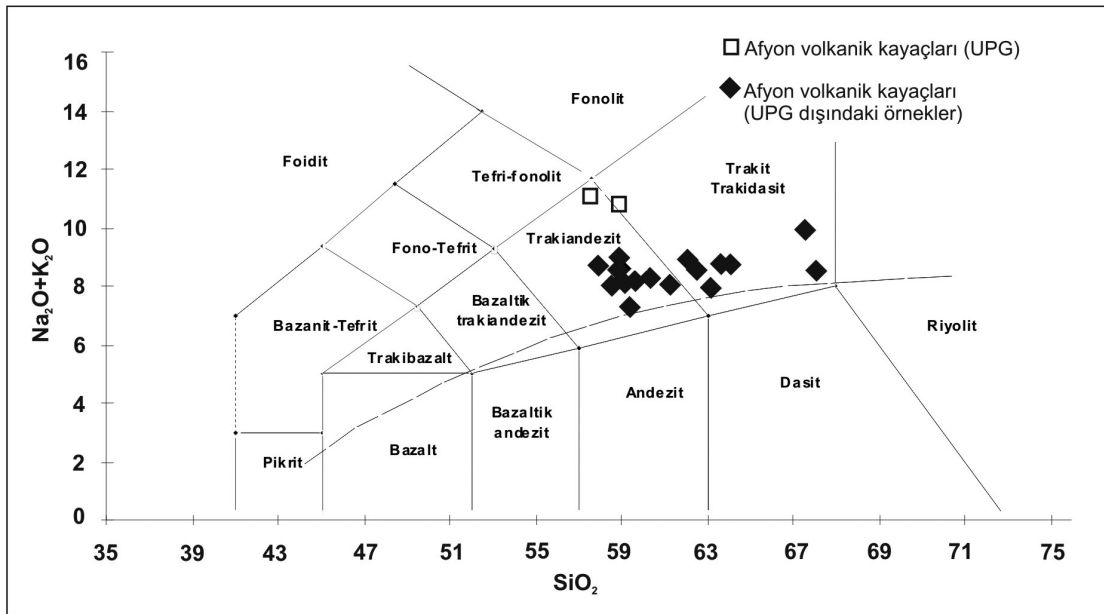
Afyon Bölgesinden alınmış çoğu ortaç karakterdeki (%52 < SiO₂ < %63) 16 örnekten elde edilen ana element ve CIPW normatif değerleri Çizelge 6' da verilmiştir. Örneklerin ateşte kayıp (LOI) değerleri %0.16 ile %3.66 arasında değişmektedir. Ana element değerleri susuz baza göre yeniden hesaplanmış ve toplam alkali (%Na₂O+%K₂O) – silis (%SiO₂) diyagramına (TAS) (Le Bas vd., 1986) yerleştirilmiştir. Buna göre örnekler trakiandezit ve trakit bölgesinde yer almaktadır (Şekil 20). Miyashiro (1978)'nin aynı diyagram üzerinde belirlediği alkali-subalkali ayırım çizgisine göre örneklerin hepsi alkali özellik göstermektedir. TAS diyagramına (Şekil 20) ve Çizelge 6'ya bakıldığında UPG örnekleri yüksek Na₂O+K₂O ve yüksek MgO değerleri ile diğer örneklerden ayrılmaktadırlar. Foley vd. (1987)'ne göre K₂O içeriği (>%3) olan, yüksek K₂O/Na₂O (>%3) oranına ve yüksek Mg# değerine sahip potasyumca zengin magmatik kayalar, ultrapotasik kayalar olarak adlandırılmaktadır.

Bu oranlar UPG örnekleri için sırasıyla K₂O (>%9), K₂O/Na₂O (>%10) ve Mg# değerleri (75-77) arasındadır. Bu veriler doğrultusunda mineraloji-petrografi bölümünde de değinildiği gibi ultrapotasik kayaç özelliği taşıyan AD2 ve AD3 örneklerine UPG adı verilmiştir. Örneklerin CIPW norm değerlerine bakıldığında (Çizelge 6) Afyon volkanik kayaların tamamının normatif kuvars, UPG örneklerinin normatif ortoklaz, diğerleri normatif plajiyoklaz ayrıca AD6 hariç hepsinin diyopsit, hipersten ve aksesuar mineraller (apatit, manyetit ve ilmenit) içerdiği görülmektedir. Bu veriler ile mineralojik gözlemler karşılaştırıldığında, UPG örnekleri için bir uyumsuzluk olduğu saptanmıştır. UPG örneklerinin CIPW norm değerlerine bakıldığında normatif olivin olmamasına rağmen, mineralojik gözlemler sırasında (Şekil 15), olivin mikrofenkristal ve mikrolitlerine rastlanılmaktadır. Bu tür uyumsuzluklar genel olarak kayaların oluşum sürecinde dengesiz koşulların (zonlu mineraller, reaksiyon kuşakları ve kapanımların) var olması, sıcaklık, basınç ve su içeriği gibi değişken faktörlerin etkisiyle açıklanmaktadır (Best, 1982).

Ultrapotasik kayaların değerlendirildiği diyagramlara bakıldığında (Foley vd., 1987) UPG örneklerinin lamproyit alanına düştüğü

Çizelge 6. Afyon volkanik kayaçlarının ana element çözümüleme ve CIPW normatif değerleri.
Table 6. Major element results and CIPW norm values of Afyon volcanics.

Ana element (%)	AD1	AD2	AD3	AD5	AD6	AD7	AD8	AD9	AD11	AD12	AD13	AD14	AD16	AD17	AD22	AD24
SiO ₂	63.38	56.98	57.68	57.61	61.33	61.37	60.33	57.76	63.17	62.23	59.54	57.89	62.48	57.88	58.66	58.03
TiO ₂	0.62	2.23	2.24	0.95	0.71	0.66	0.86	0.94	0.72	0.73	0.82	0.76	0.62	0.90	0.87	0.92
Al ₂ O ₃	16.37	11.00	11.17	16.62	16.11	16.08	17.05	16.27	16.13	16.48	16.34	15.27	15.27	15.02	14.51	14.23
Fe ₂ O ₃	3.76	5.04	5.49	6.07	5.07	4.61	5.82	6.29	3.71	5.10	5.70	5.67	4.58	6.24	5.99	6.48
MnO	0.10	0.06	0.05	0.07	0.06	0.06	0.05	0.08	0.08	0.05	0.06	0.10	0.09	0.08	0.10	0.11
MgO	2.00	5.98	5.87	2.61	2.16	1.83	1.57	2.97	1.94	1.88	2.26	3.52	1.93	2.88	3.13	3.26
CaO	3.73	4.22	3.67	4.72	3.59	4.35	4.47	5.08	4.07	3.64	5.01	5.81	3.92	5.56	5.34	5.45
Na ₂ O	4.35	0.84	0.94	3.60	3.42	3.82	3.65	3.45	3.59	4.08	3.65	3.19	3.74	3.39	3.11	2.89
K ₂ O	4.32	9.69	10.00	4.75	4.70	4.56	4.55	4.53	4.39	4.68	4.54	4.78	4.89	5.06	5.37	5.84
P ₂ O ₅	0.23	0.79	0.77	0.69	0.49	0.43	0.60	0.69	0.27	0.46	0.55	0.55	0.45	0.54	0.68	0.75
Toplam	98.85	96.84	97.89	97.69	97.64	97.79	98.96	98.06	98.08	99.35	98.46	97.55	97.97	97.54	97.75	97.97
Ateşte Kayıp	0.16	2.17	1.96	1.59	2.08	1.87	0.65	1.36	1.72	0.79	1.1	1.94	0.86	1.64	1.77	1.6
CIPW																
Q	11.25	2.92	2.81	5.28	12.67	10.90	9.88	6.03	14.71	10.29	7.89	5.56	12.14	4.91	6.49	5.16
Or	25.90	59.36	60.60	28.85	28.55	27.68	27.29	27.43	26.51	27.97	27.39	29.10	29.58	30.80	32.62	35.39
Ab	37.34	2.74	1.84	31.35	29.77	33.17	31.38	29.94	31.03	34.90	31.50	27.76	32.43	29.52	27.08	25.09
An	12.54	-	-	15.59	15.03	13.60	16.94	15.89	15.28	12.94	15.08	13.64	10.68	11.16	10.01	8.83
Ac	-	4.08	5.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Di	3.79	12.87	10.74	3.18	-	4.64	1.32	4.33	2.86	1.84	5.44	10.01	5.09	11.11	10.29	11.31
Hy	5.73	11.44	12.65	9.85	9.06	5.59	7.85	10.44	5.84	7.27	7.60	8.89	5.69	6.98	7.84	8.10
Oi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mt	1.18	0.31	-	2.39	2.34	2.13	2.27	2.47	1.71	2.32	2.23	2.24	2.11	2.47	2.36	2.55
Il	1.19	4.40	4.36	1.86	1.39	1.29	1.66	1.84	1.41	1.40	1.58	1.49	1.21	1.76	1.69	1.79
Ap	0.54	1.91	1.82	1.64	1.16	1.02	1.41	1.64	0.64	1.08	1.29	1.31	1.07	1.29	1.62	1.79
Mg#	60	77	75	54	55	53	42	56	60	51	52	63	55	55	58	57



Şekil 20. Afyon volkanik kayaların Toplam Alkali-SiO₂ diyagramı (Le Bas vd.,1986). (Alkali-Subalkali ayırım çizgisi Miyashiro,1978'den alınmıştır).

Figure 20. The Total Alkaline vs. SiO₂ diagram of Afyon volcanic samples (Le Bas vd.,1986) (Alkaline-subalkaline discrimination line is from Miyashiro, 1978).

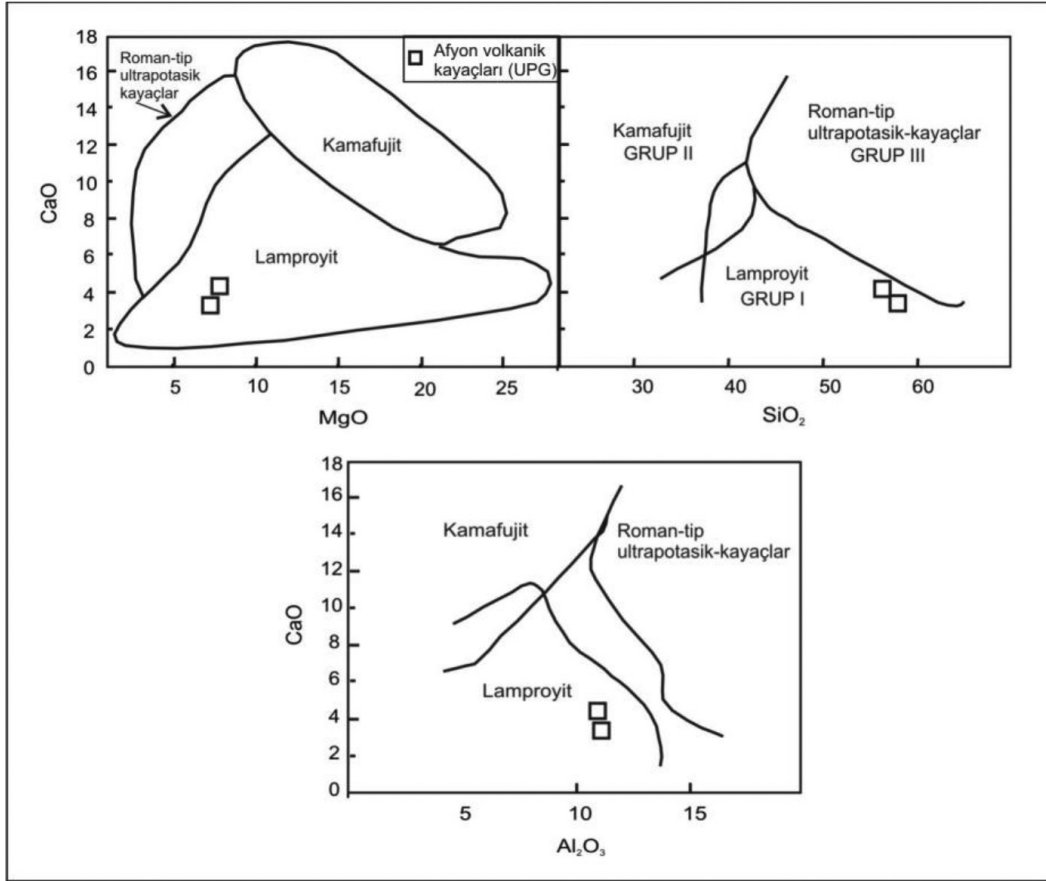
görülmektedir (Şekil 21). Mineralojik gözlemler, mineral kimyası ve jeokimyasal veriler birlikte değerlendirildiğinde, UPG grubu örneklerin lamproyit özelliği gösteren kayalar olduğu tespit edilmiştir. Önceki çalışmacılar da, bu çalışmada sunulan alanın daha güneyinde bulunan lokasyonlarda alkali lamprofir ve lamproyit özellik gösteren kayalar tespit etmiştir (Aydar vd., 2003; Akal, 2008; Prelevic vd., 2012, 2015).

Ana elementlerin MgO ile olan değişim diyagramları Şekil 22a' da görülmektedir. Buna göre, MgO'nun azalmasıyla SiO₂, Al₂O₃ ve Na₂O içeriğinde artış bunun yanında CaO ve Fe₂O₃ bir azalış gözlenmiştir. Bu durum, bölgedeki örneklerin oluşumu sırasında fraksiyonel kristalleşme sürecinin etkili olduğunu düşündürmektedir. Bu sürecin etkili olduğu şartlarda, kristalleşmenin ilk evrelerinde oluşan olivin, piroksen, Ca-plajiyoklaz ve opak minerallerin (apatit, manyetit, ilmenit) ortamda bulunan CaO, Fe₂O₃, P₂O₅, TiO₂ elementlerini bünyelerine alması sebebiyle, MgO miktarının azalmasına bağlı olarak artık eriyik bu elementler bakımından fakirleşecek fakat buna karşın, SiO₂ ve Na₂O bakımından zenginleşecektir. CaO/Al₂O₃ - SiO₂ (Şekil 22b)' de gözlenen negatif eğilim, magmanın

diferansiyasyonu olmasıyla (SiO₂ arttıkça), piroksen ve Ca-amfibol minerallerinin fraksiyonlandığını göstermekte ve fraksiyonel kristalleşmenin etkin bir süreç olduğunu kanıtlamaktadır.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

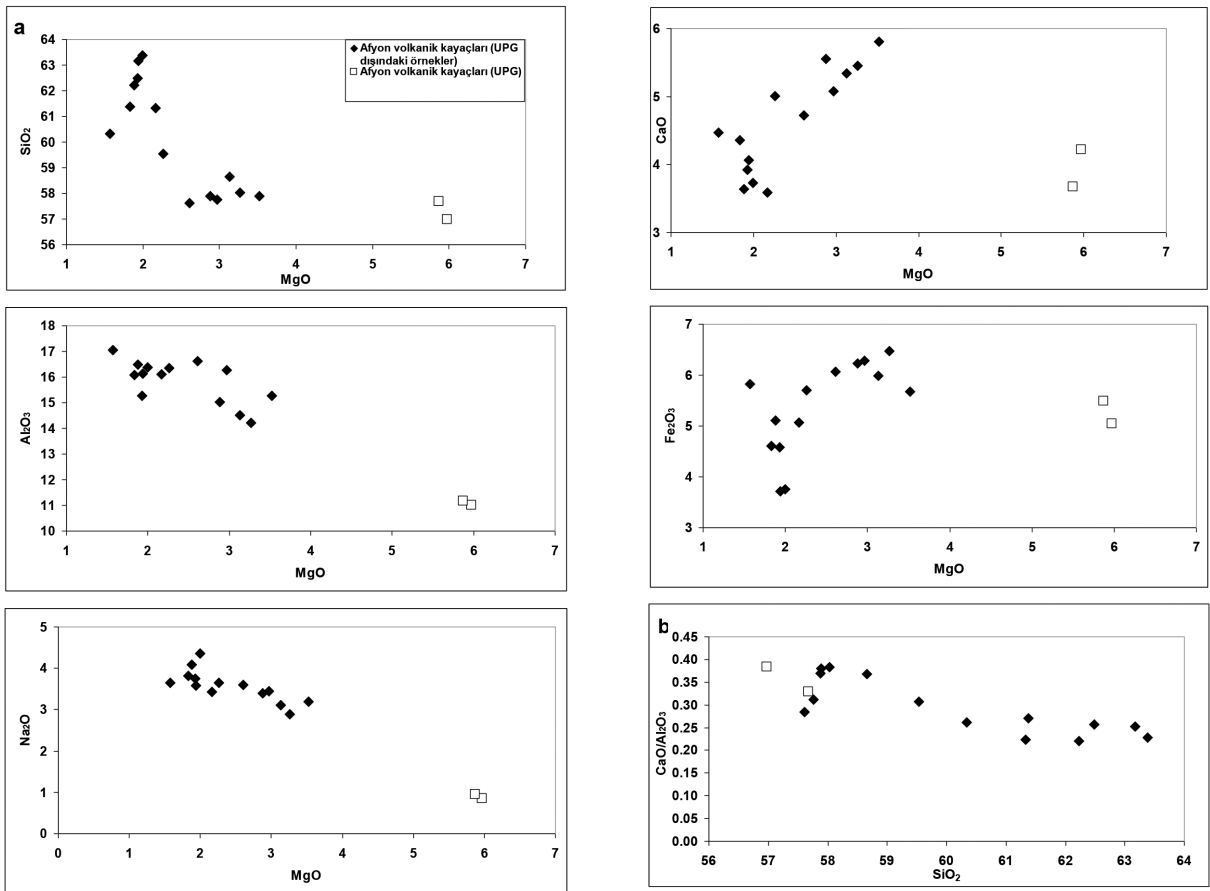
Bu çalışmada Orta Miyosen dönemindeki aktivitelerle oluşmuş ve erken evreye ait olduğunu düşünülen Şuhut'un kuzeyinde yer alan Afyon volkanik kayalarının mineralojik-petrografik özellikleri belirlenmiş ve mikroprop analizleri yardımıyla, mineral-eriyik dengesinde olan klinopiroksen minerallerinden termobarometre hesaplamaları yapılmıştır. TAS diyagramına göre trakiandezit ve trakit olarak belirlenen örneklerin tamamı alkali özelliindedir. Yüksek K₂O, K₂O/Na₂O oranı ve Mg# değerlerine sahip ultrapotasik gruba (UPG) ait örneklerin lamproyitik özelliği taşıdığı saptanmıştır. UPG'ye ait kayaların mineralojik bileşimi amfibol + flogopit + klinopiroksen + olivin + sanidin ve oksit minerallerden oluşurken, UPG dışındaki örneklerde plajiyoklaz + biyotit + amfibol + klinopiroksen ± ortopiroksen ± sanidin ve oksit mineraller olduğu gözlenmiştir. Örnekler çoğunlukla



Şekil 21. Ultrapotasik kayalarda ana element (%) değişim diyagramları.
Figure 21. Major oxide (%) variation diagrams of ultrapotassic rocks.

hipokristalin porfirik doku gösterirken, UPG örnekleri holokristalin porfirik doku göstermektedir. Çalışma alanından alınan el örneklerinde, iri sanidin kristallerine ve iri, koyu kahverengi mika minerallerine rastlanılmıştır. Mineral kimyası çözümlenmeleriyle, bu iri mika minerallerinin bir bölümünün flogopit olduğu, plajiyoklazların laborator-oligoklaz (An_{3-63}), amfibollerin çermakit, rihterit ve magnezyumlu-hornblend ($Mg\#_{54-81}$), klinopiroksenlerin diyopsit, ojit (Wo_{43-47}) ve ortopiroksenlerin hipersten (En_{40-70}) kompozisyonunda olduğu belirlenmiştir. Mikroprop ve SEM analizleri ile saptanan ters zonlama gösteren plajiyoklazlar ve mineralojik gözlemler sırasında belirlenen kenarları süngerimsi, merkezi daha temiz ya da merkezi süngerimsi, kenarları daha temiz olan plajiyoklazların varlığı, magma karışım (mixing) sürecinin erken evreye ait Afyon volkanikleri üzerinde etkili olmuş olabileceğini düşündürmektedir. Daha önce verilen literatür

bilgileri ışığında, bölgenin karmaşık bir jeodinamiğe sahip olması ve heterojenik bir mantodan (Akal vd., 2013) söz edilmesi de bu görüşü destekler niteliktedir. Bunun yanında klinopiroksenleriyik ikilisinin dengede olduğu koşullar dikkate alınarak yapılan termobarometre hesaplamalarına göre en düşük sıcaklık 1087 °C (AD5) ve en yüksek sıcaklık 1141 °C (AD3) olarak bulunmuştur. Sıcaklık verilerinden yararlanılarak elde edilen basınç değerleri de 5-10 Kbar aralığında değişmektedir. Basınç değerlerinden elde edilen verilere göre ise, minerallerin kristallenme derinliği 18 km (AD5) ve 28 km (AD1) arasındır. AD1 ve AD5 örneklerinin mekansal olarak birbirlerine yakın olması (Şekil 7) fakat minerallerin kristallenme derinliğinin farklı olması, Afyon volkanik kayaçlarının oluşumları sırasında farklı derinliklerde bulunan magma odalarından fraksiyonlanma süreciyle oluştuklarını düşündürmektedir.



Şekil 22. a) Afyon volkanik kayaların ana element oksit değişim diyagramları. b) SiO₂-CaO/Al₂O₃ grafiği.
Figure 22. Major element oxide variation diagrams of Afyon volcanics. b) SiO₂-CaO/Al₂O₃ graph.

KATKI BELİRTME

Yazarlar, major element analizlerinin yapılması sırasındaki yardımlarından dolayı Mhammed Benbakkar'a, mikroprop analizleri sırasındaki yardımlarından dolayı Jean-Luc Devidal'e, taramalı elektron mikroskop görüntülemeleri içinde Yrd.Doç.Dr. Evren Çubukçu ve Araş.Gör. Efe Akkaş'a, incekesit fotoğraflarının çekilmesi için laboratuvarında yardımcı olan Araş.Gör. Caner Diker'e, değerli görüş ve katkılarından dolayı hakemlere ve editörlere teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Akal, C. 2003. Mineralogy and geochemistry of melilite leucites, Balıkcıhisar, Afyon; Turkey. Turkish Journal of Earth Science, 12, 215-239.
- Akal, C. 2008. K-richterite-olivine-phlogopite-diopside-sanidine lamproites from the

Afyon volcanic province, Turkey. Geological Magazine, 145, 570-585.

- Akal, C., Helvacı, C., Prelevic, D., ve Van den Bogaard, P. 2013. High-K volcanism in the Afyon region, western Turkey: from Si-oversaturated to Si-undersaturated volcanism. International Journal Science, 102, 435-453.
- Aydar, E., Bayhan, H., ve Gourgaud, A. 2003. The lamprophyres of Afyon stratovolcano, western Anatolia, Turkey: description and genesis. Comptes Rendus Geoscience, 335, 279-288.
- Besang, C., Eckhart, F.J., Harre, W., Kreuzer, H., ve Muller, P. 1977. Radiometrische Altersbestimmungen an neogenen Eruptivgesteinen der Türkei. Geologisches Jahrbuch, 25, 3-36.
- Best, M.G., 1982. Igneous and Metamorphic Petrology, Freeman, Appendix E, 616-619.

- Biryol, C.B., Beck, S.L., Zandt, G., ve Özacar, A.A. 2011. Segmented African lithosphere beneath the Anatolian region inferred from teleseismic P-wave tomography. *Geophysical Journal International*, 184, 1037-1057.
- Çemen, I., Catlos, E.J., Göğüş, O., ve Özerdem, C. 2006. Post-collisional extensional tectonics and exhumation of the Menderes Massif in the Western Anatolia Extended Terrane, Turkey. In: Dilek, Y (ed) *Postcollisional tectonics and magmatism in the Eastern Mediterranean Region: GSA's Special Publication*, 409, 353-379.
- Çoban, H. 2007. Basalt magma genesis and fractionation in collision and extension-related provinces: A comparison between eastern, central and western Anatolia. *Earth-Science Reviews*, 80, 3-4, 219-238.
- Çoban, H., ve Flower, M.F.J. 2007. Late Pliocene lamproites from Bucak, Isparta (southwestern Turkey): Implications for mantle "wedge" evolution during Africa-Anatolian plate convergence. *Journal of Asian Earth Sciences*, 29, 1, 160-176.
- Faccenna, C., Piromallo, C., Crespo-Blanc, A., Jolivet, L., ve Rossetti, F. 2004. Lateral slab deformation and the origin of the western Mediterranean arcs. *Tectonics*, 23, TC1012.
- Foley, S.F., Venturelli, G., Green, D.H. ve Toscani, L. 1987. The ultrapotassic rocks: characteristics, classification and constraints for petrogenetic models. *Earth Science Reviews*, 24, 81-134.
- Glondy, J., ve Hetzel, R. 2007. Precise U-Pb ages of syn-extensional Miocene intrusions in the central Menderes Massif, western Turkey. *Geological Magazine*, 144, 235-246.
- Işık, V., Tekeli, O., ve Seyitoğlu, G. 2004. The $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age of extensional ductile deformation and granitoid intrusion in the northern Menderes core complex: implications for the initiation of extensional tectonics in western Turkey. *Journal of Asian Earth Science*, 23, 555-566.
- Kibici, Y., Dinç, D., ve Uçar, A. 2012. Afyonkarahisar yöresi volkanik kayaların mineralojik ve petrografik özellikleri. *Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 29, 53-70.
- Leake, B.E., Woolley, A.R., Arps, C.E.S., Birch, W.D., Gilbert, M.C., Grice, J.D., Hawthorne, F.C., Kato, A., Kisch, H.J., Krivovichev, V.G., Linthout, K., Laird, J., Mandarino, J., Maresch, W.V., Nickel, E.H., Rock, N.M.S., Schumacher, J.C., Stephenson, N.C.N., Whittaker, E.J.W. ve Youzhi, G. 1997. Nomenclature of amphiboles: report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names. *Mineralogical Magazine*, 61, 295-321.
- Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A. ve Zanettin, B. 1986. A Chemical Classification of Volcanic Rocks Based on the Total Alkali – Silica Diagram. *Journal of Petrology*, 27, 745-750.
- Masotta, M., Mollo, S., Freda, C., Gaeta, ve Moore, G. 2013. Clinopyroxene-liquid thermometers and barometers specific to alkaline differentiated magmas. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 166, 1545-1561.
- Miyashiro, A. 1978. Nature of alkalic rock series, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 66, 91- 104.
- Morimoto, N. 1989. Nomenclature of pyroxenes. *Canadian Mineralogist*, 27, 143-156.
- Nimis, P. 1995. A clinopyroxene geobarometer for basaltic systems based on crystal-structure modeling. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 121, 115-125.
- Nimis, P., ve Ulmer, P. 1998. Clinopyroxene geobarometry of magmatic rocks, Part 1: an expanded structural geobarometer for anhydrous and hydrous basic and ultrabasic systems. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 133, 122-135.

- Nimis, P., ve Taylor, W.R. 2000. Single clinopyroxene thermobarometry for garnet peridotites, Part 1: Calibration and testing of a Cr-In cpx barometer and an enstatite-in-cpx thermometer, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 139, 541-554.
- Prelevic, D., Akal, C., Foley, S.F., Romer, R.L., Stracke, A., ve 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, 1019-1055.
- Prelevic, D., Akal, C., Romer, R.L., Mertz-Kraus, R., ve Helvacı, C. 2015. Magmatic Response to Slab Tearing: Constraints from the Afyon Alkaline Volcanic Complex, Western Turkey. *Journal of Petrology*, 1-36.
- Putirka, K., Johnson, M., Kinzler, R., ve Walker, D. 1996. Thermobarometry of mafic igneous rocks based on clinopyroxene-liquid equilibria, 0-30 kbar, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 123, 92-108.
- Putirka, K., Mikaelian, H., Ryerson, F., ve Shaw, H. 2003. New clinopyroxene-liquid thermometers for mafic, evolved, and volatile-bearing lava compositions, with applications to lavas from Tibet and the Snake River Plain, Idaho, *American Mineralogist*, 88, 1542-1554.
- Putirka, K. 2008. Thermometers and Barometers for Volcanic Systems, Minerals, Inclusions and Volcanic Processes, *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, (eds: Putirka, K., Tepley, F.), Mineralogical Society of America, 69, 61-120.
- Rimmelé, G., Oberhänsli, R., Goffé, B., Jolivet, L., Candan, O., ve Çetinkaplan, M. 2003. First evidence of high-pressure metamorphism in the 'Cover Series' of the southern Menderes Massif. Tectonic and metamorphic implications for the evolution of SW Turkey. *Lithos*, 71, 19-46.
- Ring, U., ve Collins, A.S. 2005. U-Pb SIMS dating of synkinematic granites: timing of core-complex formation in the northern Anatolide belt of western Turkey. *Journal of the Geological Society, London*, 162, 289-298.
- Savaşçın, M.Y., ve Güleç, N. 1990. Relationship between magmatic and tectonic activities in W. Turkey. *IESCA Proceedings II*, 300-331.
- Seyitoğlu, G., ve Scott, B.C. 1996. The cause of N-S extensional tectonics in western Turkey: tectonic escape vs back-arc spreading vs orogenic collapse. *Journal of Geodynamics*, 22, 145-153.
- Sparkman, W., ve Wortel, M.J.R. 1988. The Hellenic subduction zone: a tomographic image and its geodynamic implications. *Geophys Res Lett*, 15, 60-63.
- Şengör, A.M.C., Satır, M., ve Akkök, R. 1984. Timing of tectonics events in the Menderes Massif, western Turkey: implications for tectonic evolution and evidence for Pan-African basement in Turkey. *Tectonics*, 3, 693-707.
- Şengör, A.M.C. 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. In: Biddle KT, Christie-Blick N(eds). *Strike-slip deformation, and formation, and sedimentation*. *SEPM Special Publication*, 37, 227-264.
- Van Hinsbergen, D.J.J., Kaymakçı, N., Sparkman, W., Torsvik, ve T.H. 2010. Reconciling the geological history of western Turkey with plate circuits and mantle tomography. *Earth Planet Science Letters*, 297, 674-686.
- Westaway, R. 2006. Cenozoic cooling histories in the Menderes Massif, western Turkey, may be caused by erosion and flat subduction, not low-angle normal faulting. *Tectonophysics*, 412, 1-25.
- Wortel, M.J.R., ve Sparkman, W. 2000. Subduction and slab detachment in the Mediterranean-Carpathian region. *Science*, 290, 1920-1917.
- Yılmaz, Y., Genç, C., Gurer, F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., Altunkaynak, S., ve Elmas, A. 2000. When did the wes-

tern Anatolian grabens begin to develop? In: Bozkurt, E., Winchester, J. A. and Piper, J. D.A. (eds). *Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area*. Geological Society, London, Special Publications, 173, 353-384.