

Yolçatı Köyü (Bingöl) Çevresinde Yüzeyleyen Solhan Volkanitlerinin Petrografisi ve Ana Oksit Jeokimyası

Sevcan KÜRÜM^{1*}, Tuğçe BAYKARA², Abdullah SAR¹

¹Fırat Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 23119-Elazığ

²Çelikler Holding, Elbistan - Kahramanmaraş

*¹email:skurum@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 11/04/2018;

Kabul/Accepted: 04/02/2019)

Özet: Bingöl çevresinde geniş yüzeyleme oluşturan volkanik istif, bazik-ortaç bileşimli lavlar ile piroklastiklerden oluşmuştur. Petrografik olarak bazalt, andezit, ve trakitik özellikte olduğu belirlenen bu kayaların plajiyoklas, olivin, sanidin ve piroksen fenokristal ve mikrolitler ile oksitlerden oluştuğu belirlenmiştir. Kayaç türüne göre farklı dokusal özellikler gösteren bu kayalar genel olarak porfirik, vesiküler, glomeroporfirik, intersertal-intergranüler, ofitik-subofitik ve trakitik doku göstermektedir. Kayalarda özellikle plajiyoklas fenokristallerindeki erime-çözünme yapıları, kapanımlar, zonlanmalar ve yeniden büyüme yapısı ile olivin ve piroksenlerde iddingsitleşme ve korona dokusunun oluşumu gibi dengesizlik dokuları, asimilasyon-magma karışımı ve post-magmatik mineral oluşumunu göstermektedir. SiO₂ içeriği %47.07 - 67.18, Mg# ise %52.67-3.84 (bazalt, trakit) arasında değişim gösteren bu volkanik kayaların ana element içeriklerine göre, alkali-kalkalkali özellikte olduğu ve düşük-K'lu seriden şoşonitik özelliğe kadar değiştiği görülür. En düşük-K'a sahip kayalar bazaltlar olup, sırasıyla andezit, trakibazalt, trakiandezit ve en yüksek-K'lu kayalar şoşonitik özellikli trakitlerdir. Alkalen örneklerde Na₂O-2.0 ≥ K₂O olup, örnekler sodik karakterli hawaiiit ve benmoreit olarak tanımlanmıştır. Bu kayalardaki normatif mineral bileşimleri de petrografik özellikler ve ana element bileşimleriyle uyumludur. Normatif kuvars, andezit ve trakitte gözlenirken, nefelin yalnızca trakibazaltlarda gözlenir. Diyopsit ve hipersten hemen tüm kayalarda ve farklı oranlarda bulunurken, kayaların ana oksit bileşimini magnetit ve ilmenit mineralleri oluşturmaktadır.

Anahtar kelimeler: Bingöl, Solhan Volkanitleri, Petrografi, Hawaiiit-Benmoreit, Normatif mineral.

The Petrography and Major Oxide Geochemistry of Solhan Volcanics Around the Yolçatı Village (Bingöl)

Abstract: The large volcanic sequence outcrops around Bingöl and consist of lavas of basic to intermediate composition and pyroclastics. These rocks are petrographically of basaltic, andesitic and trachytic character; display porphyritic, vesicular, glomerophytic, intersertal-intergranular, ophitic-subophitic and trachytic texture and made up of phenocrysts of plagioclase, olivine and sanidine in a matrix of plagioclase, olivine, pyroxene and oxides. In these rocks, melting-dissolving structures, inclusions, zonings and regrowth structures in the plagioclase phenocrysts in particular and disequilibrium textures such as iddingsitization and corona textures in the olivine and pyroxene phenocrysts indicate the formation of an assimilation-magma mixture and post-magmatic minerals. SiO₂ content and Mg # value of the basalt and trachytes vary between 47.07 - 67.18% and 52.67-3.84%, respectively. These volcanic rocks have alkaline-calc-alkaline characteristics according to their main element contents and they range from low-K lavas to shoshonitic lavas. The rocks with the lowest-K are basalts, andesites, trachybasalts, trachyandesites respectively and shoshonitic trachytes have the highest-K content. Alkaline samples have Na₂O-2.0 > K₂O and these were defined as hawaiiites and benmoreites of sodic character. The normative mineral compositions in these rocks are also compatible with petrographic properties and the major element compositions. The andesite and trachyte contain normative quartz, whereas in trachybasalt only nephelines are observed. Diopside and hypersthene are present in almost all rocks and in different ratios, while the major oxide component of these rocks is made up magnetites and ilmenites.

Key words: Bingöl, Solhan volcanites, Petrography, Hawaiiite-Benmoreite, Normative mineral.

1. Giriş

Çalışma alanı, Bingöl ilinin yakın batısında, Elazığ-Bingöl karayolu üzerindeki Yolçatı köyü ve çevresi olarak belirlenmiştir. Bingöl ve çevresinde gerek bölgenin jeolojisine ve gerekse volkanizmasına ilişkin önemli katkılar oluşturmuş, birçok öncel araştırmacının çalışması [1, 2] yakın tarihe kadar devam etmiştir [3 - 6]. Bu çalışmalarda farklı isimlendirmelerin Bingöl / Solhan volkanitleri, [7] kullanıldığı gibi, bu volkanitlerin Pliyo-Kuvaterner yaşlı gölsel-eski akarsu çökelleri ile yanal ve düşey geçişli olması nedeniyle, Miyosen'de başlayıp Pliyo-Kuvaterner'e kadar sürdüğü ileri sürülmektedir [8].

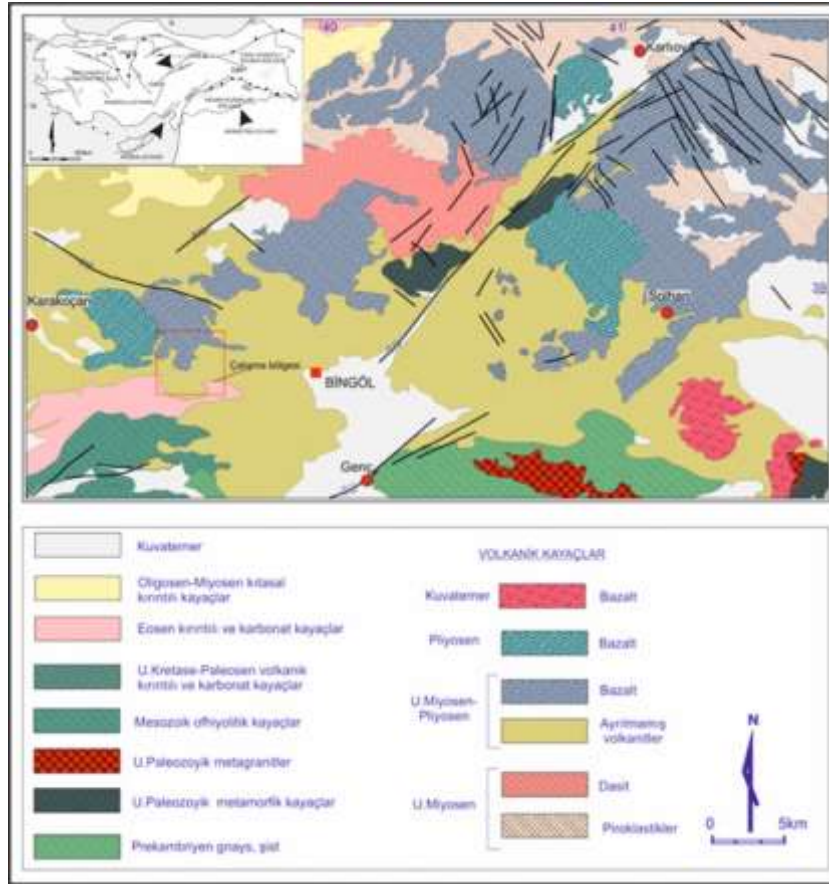
* Sorumlu yazar: skurum@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0001-6121-5564, ² 0000-00016713-3789, ³ 0000-0002-9752-7807

Bölgede volkanizmanın yaklaşık 1000 m. kalınlığa eriştiği ve farklı evrelerde farklı volkanik ürünler oluşturduğu genel kabul görmektedir [3, 7, 9, 10]. Çalışma alanının Doğu Anadolu Bölgesinde olması nedeniyle, volkanizmanın oluşumu ve petrolojisi de bölge tektoniğiyle birlikte yorumlanılmaktadır. Örneğin Orta-Üst Miyosen yaşında olduğu belirtilen Bingöl/Solhan volkanitlerinin, zayıf alkali karakter gösterdiği ve Doğu Anadolu'da kabuğun henüz maksimum kalınlığa erişemediği dönemde, yukarı mantodan sığ derinliklerde kısmî ergimeyle oluştuğu belirtilmektedir [7].

Bu çalışmanın amacı, genellikle yeterli çalışmanın yapılmadığı Bingöl batısındaki volkanik kayaların mineralojik-petrografik özellikleri, normatif mineral içerikleri ve ana element oksit özelliklerini belirlemektir.

2. Bölgesel-Yerel Jeoloji

Doğu Anadolu'nun yapısal evrimini denetleyen en önemli jeodinamik olay, Arap Plakası ile Anadolu-Avrasya plakasının Geç Oligosen - Erken Miyosen sürecinde Bitlis-Zagros Sütür Zonu boyunca kenetlenmesi olarak kabul edilir [11]. Bu yitim ve çarpışma olayı, Mesozoyik-Senozoyik sürecinde kapanan Neotetis Okyanusunun orojenik işlevleridir [12, 13]. Bu çarpışma ile bölgedeki kabuk kalınlaşması / kısılması [14-21] bu jeodinamik olayın en önemli sonuçlarından biri olarak kabul edilir. Bu jeodinamik olaya bağlı olarak Doğu Anadolu'daki kabuk kalınlaşması sonucunda tüm Anadolu levasının batıya doğru hareketini sağlayan Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ve Kuzey Anadolu Fay Zonunun (KAFZ) gelişimi gerçekleşmiştir [22, 23]. Bölgedeki yaygın volkanik aktivite de bu jeodinamik olaylar sonucunda post-orojenik işlevler olarak oluşmuştur [24-26].



Şekil 1. (a) Anadolu'nun basitleştirilmiş tektonik haritası ve ana Neotektonik yapıları [29, 30], (b) Bingöl ve çevresinin 1/500 000 ölçekli jeolojik haritası [31]. GVP: Galatya Volkanik Provensi, OAVP: Orta Anadolu Volkanik Provensi; VİAS: Vardar-İzmir-Ankara-Erzincan Sütür; KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, BZS: Bitlis-Zagros Süturu, DAVP; Doğu Anadolu Volkanik Provensi.

Çalışma bölgesi, dünyadaki kıtasal çarpışma zonlarının en güzel örneklerinden biri olarak kabul edilen [27, 28] Doğu Anadolu'da bulunur. Lokal olarak Bingöl'ün yakın batısında bulunan bölge (Şekil 1), Arap-Avrasya çarpışma zonunun (Bitlis Sütür Zonu) kuzeyinde yer alır. Çalışma bölgesinin hemen kuzeyinde Karlıova bölgesinde, Karlıova üçlü kavşağının karmaşık, kinematik ve mekanik etkileşimleriyle tektonik oluşumlar, yükselme ve yaygın sismisite ile volkanizma oluşturduğu kabul edilir [32].

Bu bölgede, volkanitlerle beraber Orta Eosen-Üst Oligosen yaşlı Kırkgeçit Formasyonu [33] yüzeyler. Çalışma bölgesi ve yakın çevresinde daha çok kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve killi marn litolojisinde ve kaba ve ince tabakalanma gösteren birimde, tabakalanmanın yönü ve eğimindeki farklılıklar bölgedeki aktif tektonizmanın etkisini işaret etmektedir. Bölgede genellikle yumuşak bir topoğrafya oluşturan birim, litolojik özelliklerine de bağlı olarak ayrılmış-topraklaşmış olup, bitki anomalisi bakımından zengindir.

3. Solhan Volkanitleri ve Lokal Özellikleri

Solhan volkanitleri, çarpışmanın hemen sonrasında başlayan ve birinci evreye ait ilk volkanizma ürünleri olarak tanımlanır [7]. Bu ilk ürünlerin D.Anadolu'nun henüz maksimum kabuk kalınlığına erişmediği dönemlerde üst mantodan, sıg derinliklerde kısmi ergime ile oluştuğu kabul edilir [7, 34]. Araştırmacılar birimin daha sonraki evrelerde oluşan volkanik ürünlerinin ise kabuksal kökenli olduğunu belirtirler. Öncel çalışmalarda [2, 35-37] farklı adlamaların kullanıldığı Solhan volkanitlerinde [38] stratigrafik olarak Orta-Üst Miyosen – Pliyosen yaş aralığı genel kabul görmektedir [7, 24, 36-41]. Ancak Akay ve diğerleri [42], Solhan volkanitleri altındaki sedimanter kayaçlardan elde ettikleri fosillere dayanarak birimin yaşını Erken-Geç Pliyosen olarak belirtmişlerdir. Radyometrik olarak ise, Innocenti ve diğ. [24]'nin, Solhan volkanitleri lavları ile eşdeğer kabul edilen Pasinler yakınındaki lavların yaşları olan ve en yüksek yaş verisi olan $8.3 \pm 0.1 - 5.6 \pm 0.3$ My ile başlayıp, en düşük yaş verisi olan obsidiyenlerde $4.2 \pm 0.1 - 4.7 \pm 0.1$ My [43] aralığında değiştiği kabul edilir. Bu çalışmada Solhan volkanitlerinin yaşı, öncel çalışmalardaki [3-6] veriler ve stratigrafik ilişkilere dayanarak Üst Miyosen olarak kabul edilmiştir.

Solhan Formasyonu, aynı ve/veya farklı çıkış merkezlerindeki farklı mineralojik bileşimli volkanoklastik (aglomera, volkanik breş, lapilli, tüf, kül) ve lavlar (bazalt, bazaltik andezit, andezitik bazalt, andezit, dasit, latit) ile ince-orta katmanlı tüfit, marn, tüflü marn, gölsel kireçtaşı, kumtaşı ve silttaşı gibi kırıntılı sedimanter/volkanoklastik kayaçlar içermektedir [42]. Bu formasyon içerisinde kabul edilen Solhan volkanitlerinin, karasal ortam özellikli ve yaklaşık 1000 m kalınlığa sahip olduğu kabul edilir [3, 7, 9, 10].

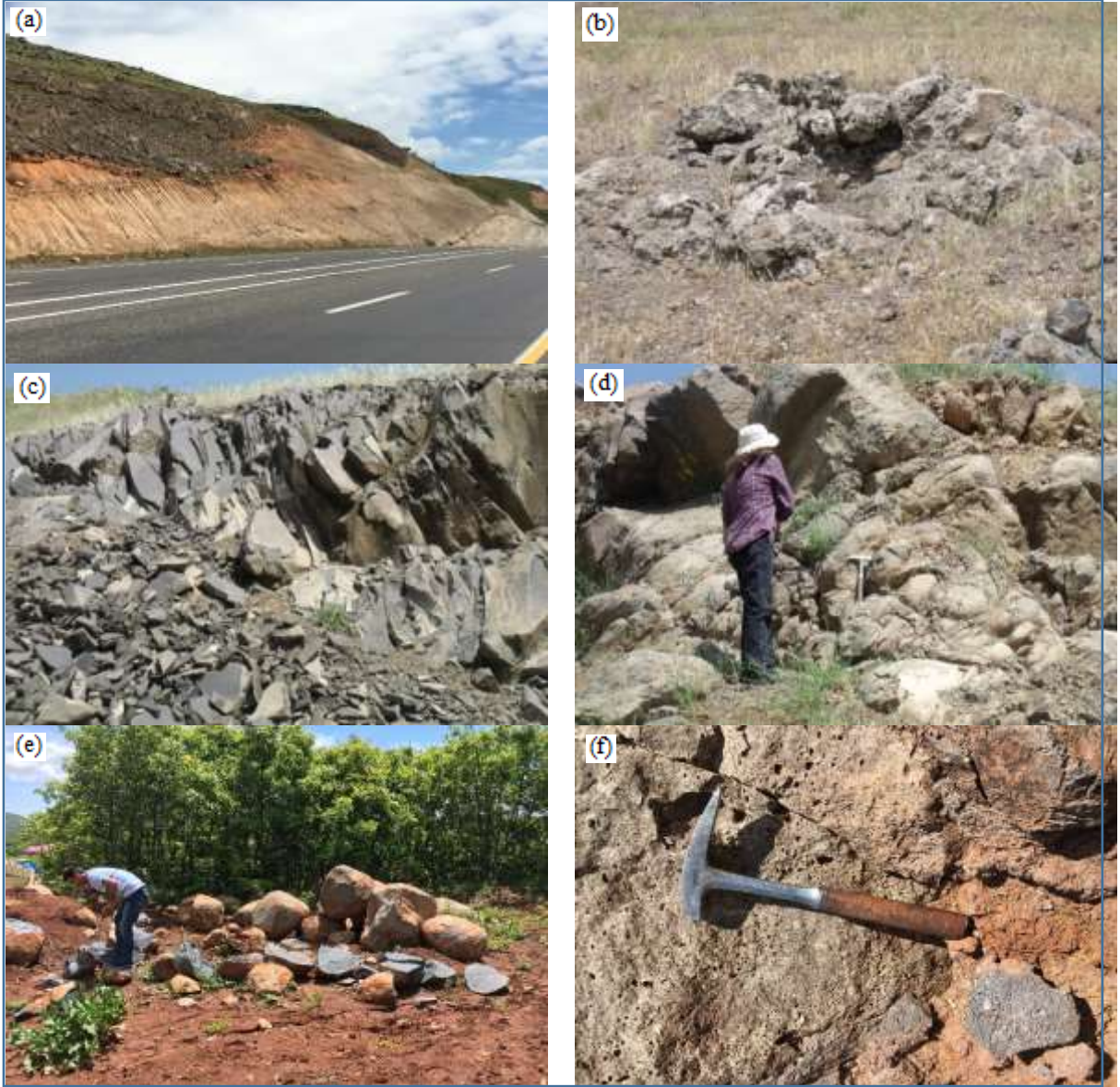
Çalışma konusu volkanitler bölgede geniş yayımlıdır. Esas olarak birincil volkanizma ürünü (lav ürünleri ve piroklastik) kayaçlardan oluşmuştur. Ancak çalışma alanı içerisinde çok yerel olmakla beraber özellikle Karakoçan-Bingöl yol güzergâhında, yaklaşık 30 m kalınlıkta, tabanda genellikle ince katmanlı ve kama şekilli tüfit, marn, tüflü marn seviyeleri içeren, Solhan Formasyonu kırıntılı kayaçları da görülmektedir (Şekil 2a).

Çalışma bölgesinde genellikle yumuşak bir topoğrafya oluşturan piroklastik kayaçlar lapilli ve volkanik çakıl, blok ve bombalardan oluşan, düzgün yüzey görüntüsü olmayan bazen küçük çıkıntılar şeklinde, yumrulu, çatlaklı, çıkıntılı bir yapı oluşturmaktadır (Şekil 2b). Bu piroklastik kayaçlardaki piroklastlar grimsi renkte, çok yoğun gaz boşluklu, yer yer kalsit dolgulu ve yuvarlaklaşmışlardır.

Lavlar ise koyu siyah-grimsi renkli, yer yer soğuma çatlaklı ve ince tabakalanmalı (Şekil 2c) yer yer de yuvarlaklaşmış büyük bloklar şeklinde bulunur (Şekil 2d, e). Lavların kırılgenliği, rengi, çatlaklanması, dokusu, minerallerin boyutları, alterasyonlanması, bloklu, laminalı ve soğuma yapıları (exsfoliasyon soğuma) gibi fiziksel, mineralojik ve morfolojik özellikleri kayaçların türlerine göre farklılık göstermektedir. Özellikle bazaltik lavlarda yuvarlaklaşmış büyük bloklar (Şekil 2e), ince kristalli, çok sert ve keskin kenarlar karakteristik iken, diğer lavlarda daha yumuşak, çok çatlaklı, porfirik-vesiküler doku gibi özellikler baskındır (Şekil 2f). Bazen bu lavlarda uzamış ve/veya yönlenmiş şekilde gaz boşlukları ve feldispatlarda alterasyonlanma görülür (Şekil 2f). Ayrıca en belirgin özelliklerden birisi de lav akıntılarının alt sınırında pişme zonunun bulunmasıdır (Şekil 2a). Pişme zonunun rengi ve kalınlığı lav akıntısının kalınlığı ve diğer özellikleriyle beraber alttaki volkanoklastik/kırıntılı kayaçların türüne göre de değişim göstermektedir.

4. Analitik Metot

Çalışma alanındaki lavlardan petrografik ve jeokimyasal analiz için yaklaşık 40 adet örnek alınmıştır. Petrografik tanımlama için ince kesitlerin hazırlanması Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü İnce Kesit Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Detaylı petrografik tanımlamaların sonucunda belirlenen 15 örneğin ana element analizleri ACME Analitik Laboratuvarında (Vancouver-Canada) yaptırılmıştır. Ana element içerikleri ICP (Inductively Coupled Plasma) yöntemi ile yapılmıştır.



Şekil 2. Volkanitlerin arazi görünümü. (a) Bingöl-Elazığ yolu, yaklaşık 25. km yol yarmasında Solhan Formasyonunun görünümü. Alttaki volkanoklastik/kırıntılı kayalar ile lavların sınır ilişkisi ve dokanakta pişme zonuunun görünümü, (b) çıkıntılar şeklinde bulunan piroklastik kayalar, (c) ince tabakalanmalı, koyu siyah renkli bazik lavlar, (d) exfoliasyon soğuma (e) yuvarlaklaşmış lavlar, (f) porfirik-veziküller dokulu, daha yumuşak ve altereli lavlar.

5. Petrografik Özellikler

Mineralojik, petrografik ve dokusal özellikler dikkate alındığında, çalışma konusu volkanitleri oluşturan lavların esas olarak andezit, bazalt ve trakitik kayalardan oluştuğu belirlenmiştir.

5.1. Andezitler

Andezitler, porfirik, vesiküler ve zayıf akıntı doku özelliği gösterir. Yüksek fenokristal indeksine sahip ve hamuru mikrolitik kristalindir. Hâkim fenokristal fazını plajiyoklas (yaklaşık % 65), sanidin ve piroksenler

oluşturmaktadır. Plajiyoklas fenokristalleri oldukça değişken boyutlu olup, özşekilli ve yarı özşekilli olarak bulunurlar. İkizlenmeli ve yer yer zonlanmalı olan hemen tüm plajiyoklas fenokristalleri genellikle çok yoğun alterasyonlu ve erime çözünme yapıları gösterir (Şekil 3a, b). Plajiyoklaslarda bazen tamamen, bazen düzensiz parçalar halinde, bazen de çatlak ve dilinimler boyunca alterasyonlanma görülür. Diğer fenokristal fazı oluşturan sanidin, plajiyoklaslardan çok daha az oranda olup, düşük rölyefli, gri polarizasyon renkli ve farklı boyutlardadır. Plajiyoklaslarda olduğu gibi bazı özşekilli sanidin kristallerinde de erime-çözünme yapıları görülür. Bazı sanidin fenokristallerinde ise plajiyoklasa benzer alterasyonlanma gözlenir. Ancak, bu alterasyonlu zonlar olası olarak sanidin fenokristalleri içerisindeki plajiyoklas kapanımları olabilir. Andezitlerdeki hamur, esas olarak mikrolitik plajiyoklaslardan oluşmuştur. Kayaç genelinde alterasyonun yoğun olmasından dolayı mikrolitlerde de anortit oranı saptanamamıştır. Bu kayaçlarda mafik mineral olarak piroksen ve ayrıca psödomorf şeklinde opaklaşmış amfibol mineralleri vardır. Andezitlerde bulunan opak mineraller az miktarda ve özşekilsiz küçük kristaller şeklindedir.

5.2. Bazaltik kayaçlar

Bazaltik kayaçlar kendi içinde mineralojik ve dokusal farklılıklar gösterirler. Bu farklılıklar fenokristal bileşimi ve dokusal özelliklerine göre aşağıda verilmiştir.

Plajiyoklas ve olivinden oluşmuş porfirik dokulu bazaltlar; Bu kayaçlarda plajiyoklaslar çok iyi zonlanma, olivinler ise iddingsitleşme gösterir (Şekil 3c). Bazı plajiyoklas fenokristallerinde erime-çözünme yapıları çok belirgindir. Fenokristal sınırının çok keskin olduğu bu kayaçlarda hamur malzemesi camsı olup, mikrolitik plajiyoklas ve olivin içerir. Bu bazaltlarda yer yer glomeroporfirik doku, veziküler doku ve reaksiyon dokusu olan korona dokusu da (Şekil 3d) görülmektedir.

Plajiyoklas, piroksen ve olivin fenokristallerinden oluşan bazaltlar; Ana fenokristal fazı oluşturan plajiyoklaslar, genellikle öz ve yarı özşekilli, ikizlenmeli ve bazen zonlanmalı ve iyi gelişmemiş çift yönde dilinimlidirler. Erime çözünme yapılı ve yer yer kemirilmiş plajiyoklaslarda yeniden büyüme zarfı gözlenmektedir (Şekil 3e). Bu özellik magma karışması ve buna bağlı olarak minerallerin kemirilmesi ve dengeye ulaştıktan sonra yeniden büyümesi şeklinde açıklanabilir [44]. Genellikle plajiyoklaslarda ikizlenmeler ve zonlanma yaygınken bazı plajiyoklas fenokristallerinde piroksen ve olivin kapanımları görülmektedir (Şekil 3f). Yaygın olarak camsı ve mikrolitik porfirik doku az oranda da intersertal dokunun görüldüğü bu kayaçlarda, hamur malzemesi fenokristal bileşimi ile aynıdır. Plajiyoklaslar latalar şeklinde iken diğer mineraller düzensiz kristaller şeklindedir. Olivinlerde değişik şekil ve oranlarda iddingsitleşme, piroksenlerde ise canlı polarizasyon rengi ve yoğun gelişmiş çatlaklar baskındır. Genellikle hamurda opak minerallerin çok baskın olduğu bu kayaçlarda yer yer iri kristalli opak mineraller de görülür.

Plajiyoklas klinopiroksen ve olivinden oluşan ofitik-subofitik dokulu bazaltlar; Bu grup bazaltlar, mineralojik olarak diğer bazaltlar ile benzerlik gösterse de dokusal olarak tipik ofitik-subofitik doku özellikleri gösterirler (Şekil 3g). Özşekilsiz ve farklı polarizasyon renkli klinopiroksen fenokristalleri, uzamış plajiyoklas lataları ile dokuyu oluştururken, kayaçta özşekilli, ikizlenmeli, zonlanmalı ve erime-çözünme yapılı plajiyoklas fenokristalleri de bulunmaktadır. Diğer fenokristal fazı oluşturan olivin mineralleri, diğer kayaçlardaki olivinlere (iddingsitleşme vs.) benzerdir. Tüm bu mineraller mikrokristaller şeklinde kayacın hamur malzemesini oluşturur. Ancak plajiyoklas mikrokristalleri latalar halinde ve zonlanmalı olarak bulunurken mafik mineraller özşekilsiz mikrokristalindirler.

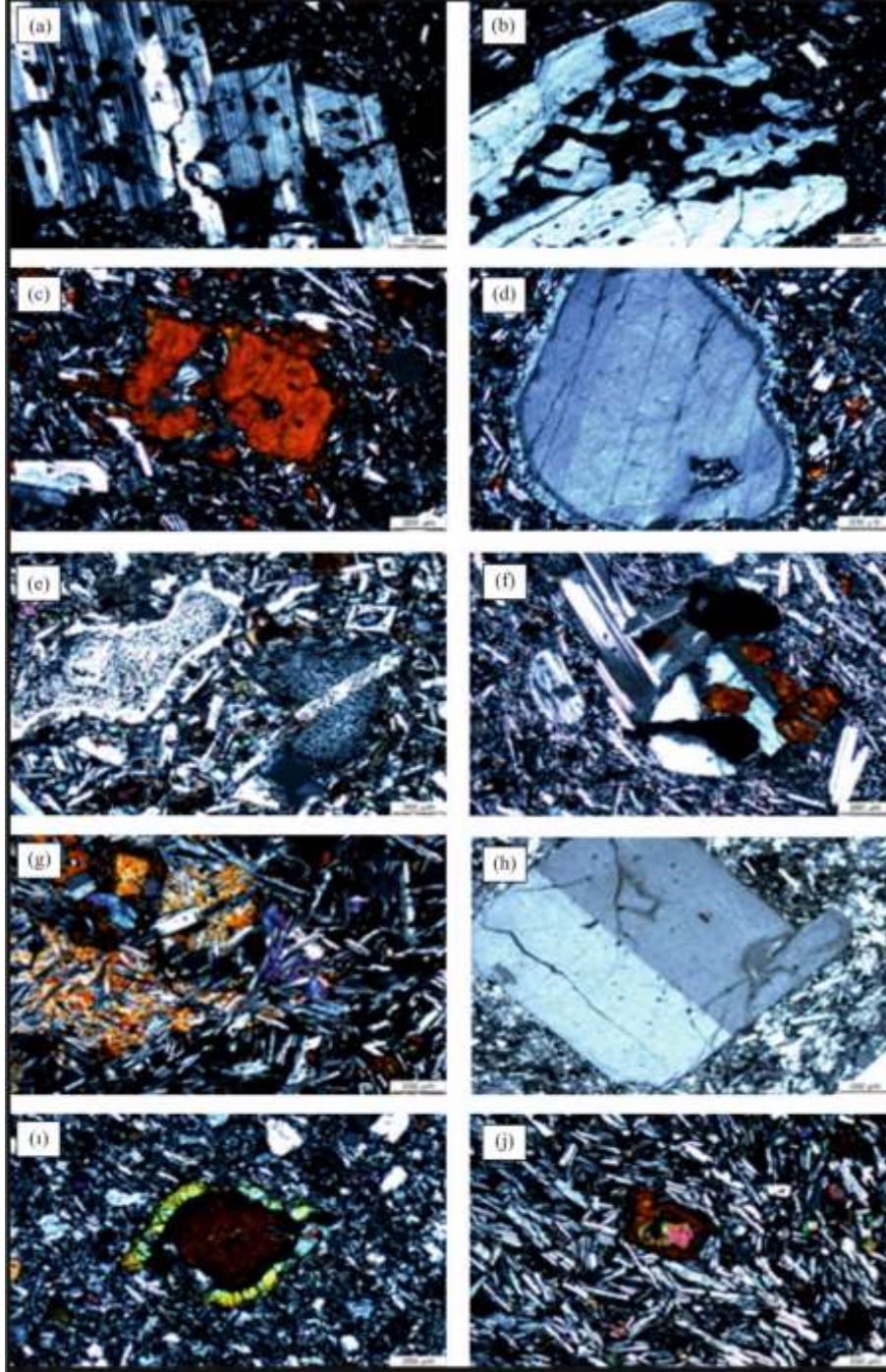
5.3. Trakitik kayaçlar

Mineralojik ve dokusal farklılıklar gösteren trakitik bileşimli kayaçlar trakit, trakiandezit ve trakidasit olarak tanımlanmıştır.

Trakitler; Trakitik ve porfirik-glomeroporfirik doku gösteren bu kayaç grubunun ana mineral bileşenlerini plajiyoklas ve sanidin oluşturmaktadır. Kayaçta az oranda bulunan olivin, amfibol, ortopiroksen, klinopiroksen, biyotit gibi mafik mineraller, özşekilsiz ve genellikle küçük kristaldirler. Kayacın esas bileşenini oluşturan sanidinlerin hamur malzemesi ile sınır ilişkisi belirgin olup, özşekilli ve ikizlenmelidir (Şekil 3h).

Trakiandezitler; Kayaç mikrokristalin porfirik dokulu olup, fenokristal oranı <math>< 35\%</math> dir. Kayacın fenokristal bileşeni plajiyoklas, olivin ve piroksenden oluşmuştur. Hamur malzemesi mikrokristalindir ve bu mikrokristaller yer yer fenokristaller etrafında yönelimler gösterirler. Plajiyoklas fenokristallerinde albit ikizlenmesi, zonlanma ve yer yer erime çözünme yapıları çok belirgindir. Olivinler bazen tamamen iddingsitleşmiş iken bazı olivinlerin kenarlarında korona dokusu oluşmuştur (Şekil 3i). Zayıf yeşil bir pleokrizmanın gözleendiği piroksenlerde az

oranda oksitlenme gözlenir. Bazı klinopiroksen minerallerinde yoğun alterasyonlanma, yer yer erime çözünme yapıları gözlenirken bazen de plajiyoklaslar tarafından mantolanmış klinopiroksen mineralleri bulunur. Bazı örneklerde ana mafik mineral bileşimini piroksenler oluşturur. Trakiandezitlerde mikrolitik hamur malzemesi fenokristal bileşimi ile aynıdır.



Şekil 3. İncelenen volkanik kayaçların ince kesit görünüşleri. Andezitlerde (a, b) plajiyoklas fenokristallerinde gözlenen ikizlenme, zonlanma ve erime-çözünmeler. Porfiritik bazaltlarda (c) porfiritik doku ve iddingsitleşmiş olivin, (d) plajiyoklasta korona dokusu, (e) erime çözünme ve yeniden büyüme zarfı, (f) farklı polarizasyon

renkli olivin ve piroksen mineraller ile (g) ofitik-subofitik dokuların görünümü. Trakitlerde (h) sanidin fenokristalli mikro-porfirik doku, (i) korona dokulu olivin, (j) trakitik dokunun görünümü.

Trakibazaltlar; Trakitik ve seri porfirik (seriate porfiric) doku özelliği gösteren bu kayalar, plajiyoklas, klinopiroksen, olivin ve bazı örneklerde çok az sanidin mineralinden oluşmuştur. Yalnızca olivin mineralinin fenokristal faz olarak bulunduğu bazı örneklerde latalar halinde yönelmiş plajiyoklaslarla beraber olivin fenokristalleri tipik trakitik dokuyu oluşturmaktadır (Şekil 3j). Ayrıca bu örneklerdeki olivinlerde iddingsitleşme yaygındır. Trakibazalt olarak tanımlanan bazı örneklerin en belirgin özellikleri olivin ve piroksenlerde çok yaygın olarak korona dokusunun görülmesidir. Hyalo-porfiritik dokulu bu kayalarda mineral bileşimleri hem fenokristal faz olarak hem de hamur içerisinde mikrolitik olarak bulunmaktadır. Plajiyoklas fenokristallerinin ikizlenmeli ve yer yer erime-çözünme yapılarının gözlendiği bu kayalarda az oranda mikrolitik sanidin bulunur. Hamur malzemesindeki mikrolitik mineraller fenokristaller etrafında bazen yönelme göstermektedir.

6. Ana Element Oksit Özellikleri

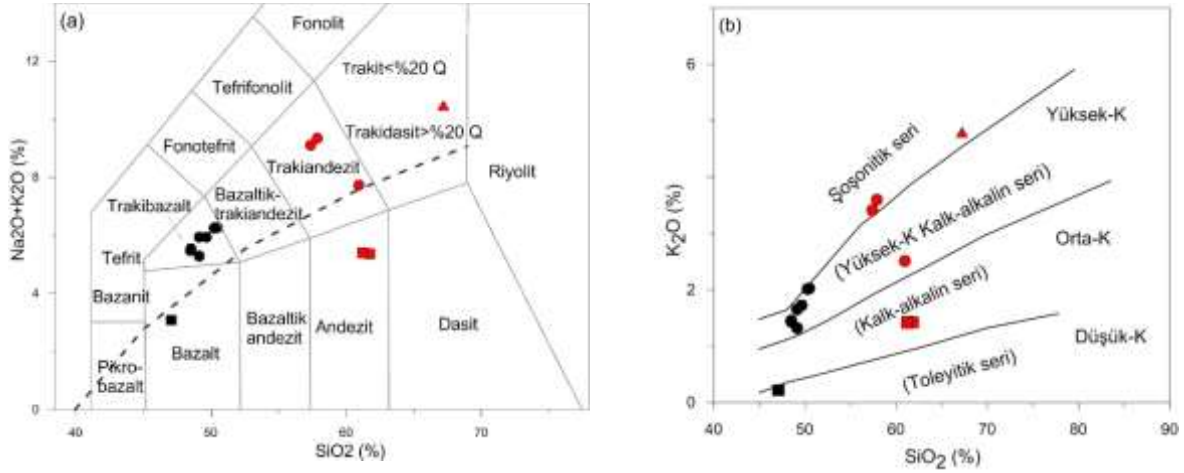
Çalışma konusu volkanitlerden 15 örneğin majör element analiz sonuçları ile normatif mineral dağılımı Tablo 1'de verilmiştir. Örneklerin SiO₂ içeriği dikkate alındığında, %46-52 ile %57-63 arasında değişen iki gruba ayrıldığı görülür. SiO₂ içeriğine bağlı olarak oluşan bu farklılığa rağmen, genel olarak tüm örneklerin ana element dağılımları kendi aralarında birbirine çok yakın değerlerde değişim göstermektedir. Ancak B10 nolu örneğin analiz sonuçları, özellikle SiO₂ değeri de (% 67.18) olmak üzere pek çok majör element değerlerinde de farklılık gösterir. Genel olarak örneklerin düşük (%0.1-1.6) ateşte kayıp (LOI) değerleri bu volkanitlerde alterasyonlanmanın az olduğunu göstermektedir.

Tablo 1. Çalışma konusu volkanik kayalara ait ana oksit (% ağırlık) ve normatif mineral değerleri.

Örnek no	Bazalt	Trakibazaltlar							Andezitler			Trakiandezitler			Trakit
	B-30	B-8	B-11	B-12	B-16	B-25	B-26	B-34	B-3	B-5	B-13	B-1	B-14	B-27	B-10
SiO ₂	47.07	50.47	50.24	48.48	49.66	49.11	49.14	48.5	61.25	61.74	61.20	60.93	57.38	57.85	67.18
Al ₂ O ₃	17.10	16.58	16.61	16.73	16.70	16.81	16.82	16.58	16.62	16.46	16.54	16.92	17.79	17.80	13.90
Fe ₂ O ₃	10.78	11.58	11.54	11.88	11.21	11.79	11.37	11.98	5.66	5.40	5.69	6.08	7.52	7.22	5.16
MgO	7.57	5.05	4.48	6.49	6.15	6.02	6.47	6.11	3.24	2.92	3.06	1.38	2.22	2.02	0.13
CaO	11.58	6.31	6.36	7.93	7.37	7.33	8.00	7.81	6.01	5.78	5.97	4.21	4.15	3.93	0.48
Na ₂ O	2.85	4.24	4.24	4.04	4.22	4.30	3.98	4.09	3.98	3.94	3.97	5.22	5.71	5.75	5.68
K ₂ O	0.23	2.03	2.02	1.44	1.73	1.65	1.32	1.46	1.44	1.43	1.42	2.51	3.41	3.60	4.80
TiO ₂	1.74	2.08	2.07	2.33	2.08	2.27	2.35	2.31	0.85	0.81	0.86	0.96	1.15	1.07	0.46
P ₂ O ₅	0.19	0.72	0.73	0.46	0.49	0.50	0.44	0.46	0.21	0.20	0.22	0.37	0.23	0.22	0.04
MnO	0.16	0.17	0.16	0.17	0.16	0.17	0.16	0.17	0.09	0.09	0.09	0.11	0.14	0.14	0.25
LOI	0.4	0.5	1.2	-0.3	-0.1	-0.3	-0.4	0.2	0.5	1.0	0.8	1.1	0.1	0.2	1.6
Topl.	99.74	99.75	99.75	99.72	99.74	99.73	99.73	99.73	99.85	99.85	99.84	99.86	99.86	99.85	99.67
Normatif mineraller															
Kuvars (Q)	-	-	-	-	-	-	-	-	15.03	16.62	15.46	9.95	-	-	13.69
Ortoklas (Or)	1.36	12.00	11.94	8.51	10.22	9.75	7.80	8.63	8.51	8.45	8.39	14.83	20.15	21.27	28.37
Albit (Ab)	24.12	35.88	35.88	31.82	34.36	33.75	33.68	32.63	33.68	33.34	33.59	44.17	48.32	48.65	44.77
Anortit (An)	33.19	20.21	20.32	23.26	21.52	21.69	24.13	22.57	23.23	23.00	23.12	15.32	12.84	12.13	-
Nefelin (Ne)	-	-	-	1.28	0.73	1.43	-	1.07	-	-	-	-	-	-	-
Dioyopsid (Di)	18.48	5.19	5.26	10.53	9.55	9.21	10.20	10.63	4.21	3.53	4.10	2.61	5.14	4.90	1.87
Hipersten (Hy)	2.61	7.29	7.96	-	-	-	0.93	-	9.49	8.86	9.10	5.79	3.19	3.56	4.14
Olivin (Ol)	9.87	6.69	5.13	12.54	12.16	12.18	11.60	11.92	-	-	-	-	3.22	2.59	-
Magnetit (Mt)	15.63	16.79	16.73	17.22	16.25	17.09	16.49	17.37	8.21	7.83	8.25	8.82	10.90	10.47	6.03
Ilmenit (Il)	3.31	-	3.93	4.43	3.95	4.31	4.46	4.39	1.61	1.54	1.63	1.82	2.18	2.03	0.87
Apatit (Ap)	0.44	-	1.69	1.07	1.14	1.16	1.02	1.07	0.49	0.46	0.51	0.86	0.53	0.51	0.09
Mg#	52.67	40.86	38.09	46.40	46.51	44.72	47.42	44.70	47.56	46.15	46.01	26.45	31.87	30.72	3.84

Petrografik çalışmalarla bazalt, andezit, trakibazalt, trakiandezit ve trakit bileşiminde olduğu belirlenen volkanik kayalar, silis ve alkali değerlerinin esas alındığı toplam alkali-silis (TAS) [45] isimlendirilme diyagramında sınıflandırılmıştır (Şekil 4a). TAS diyagramında, bazalt ve andezit bölgesindeki 3 örneğin dışında diğer örneklerin genel olarak alkalin bölgesinde ve trakitik özellikte (trakibazalt, trakiandezit ve trakit) olduğu görülmektedir. Alkalin özellikli bu kayaların Na₂O ve K₂O değerleri dikkate alınarak değerlendirildiğinde

($\text{Na}_2\text{O}-2.0 \geq \text{K}_2\text{O}$), sodik bileşimli oldukları görülür. Buna göre trakibazaltların havaiit, trakiandezitlerin benmoreit ve trakitin ise normatif kuvars içeriğine bağlı olarak ($\text{kuvars} < \%20$) [46] trakit bileşiminde olduğu görülür. TAS diyagramında alkali özellik gösteren örneklerin Na_2O bakımından zenginleşmesi normatif mineral bileşimleriyle de uyumluluk gösterir (Tablo 1). Alkalen bileşimli örneklerin tamamı yüksek oranda albit ($\%31.82-48-65$) ve sanidin ($\%7.80-28.37$) içerirken bazı trakibazalt örnekleri ise çok düşük oranda da olsa normatif nefelin ($\%0.73-1.28$) içermektedir. Benzer şekilde, $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ diyagramında (Şekil 4b) [47] bazalt örneği hariç diğer örneklerin orta ve yüksek K'lu kalkalkalen özellikte olması bunu teyit etmektedir. Ayrıca tüm andezitler ve trakit ile B1 kodlu

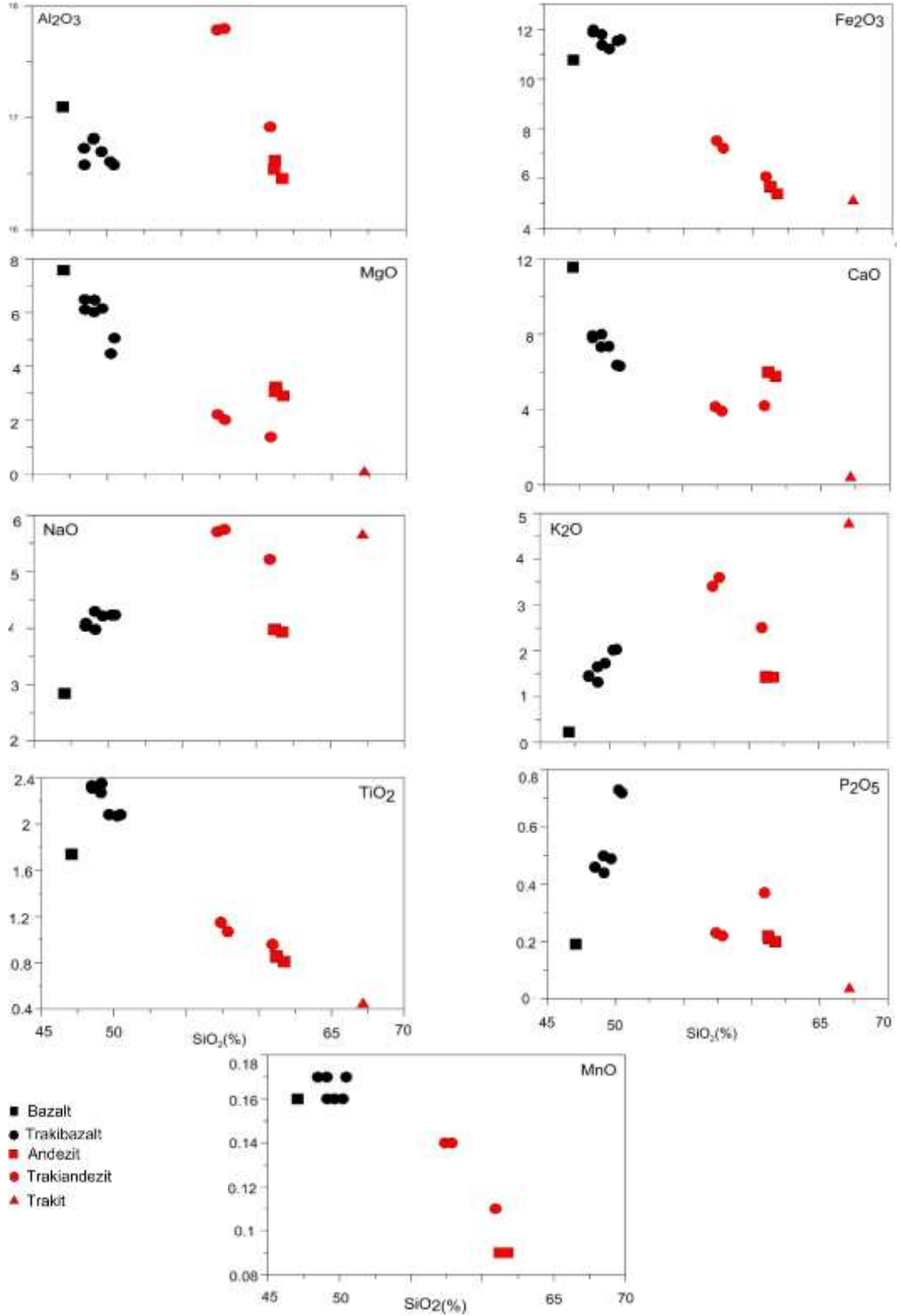


Şekil 4. İncelenen volkanik kayaların (a) $\text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ diyagramı ile (b) $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$ diyagramında dağılımları.

trakiandezit örneği normatif kuvars içerirken, diyopsit tüm kayalarda, hipersten ise bazı trakibazaltlar hariç yine diğer kayalarda bulunmaktadır. Örneklerin Mg# değerleri ($\text{Mg\#} = 100 \times \text{MgO} / (\text{MgO} + \text{FeO}^*)$) trakit örneği hariç (B10, $\%3.84$) en yüksek $\%52.67$ ile bazalıtta ve en düşük $\%26.45$ ile trakiandezit örneğinde olmak üzere değişim gösterir. Buna göre bu volkanitlerin bir kısmı normatif kuvars ve hipersten içeren, silise aşırı doymun ve ileri derecede evrimleşmiş bir magmadan itibaren farklılaşırken, silisçe daha fakir olan diğer magma ise yüksek Mg# değerlerine sahip olup, normatif olivin \pm hipersten içeren silise doymun magma bileşimini temsil ettiği söylenebilir.

Ana oksit elementlerin SiO_2 ile olan değişimlerine bakıldığında (Şekil 5), SiO_2 içeriğine göre kayaların bazik ve daha asidik bileşimliler olmak üzere iki farklı grup şeklinde bulunduğu görülür. Bu diyagramlarda benzer şekilde bazı ana element dağılımlarında da farklı yönelimler görülmektedir. Tüm bu elementlerde en düzenli yönseme MgO, TiO₂, CaO ve Fe₂O₃ dağılımlarında, negatif şekildedir. Na₂O ve K₂O'ın ise artan SiO_2 oranıyla birlikte zayıf bir pozitif yönseme gösterdiği görülür.

Örneklerin Al₂O₃ değerleri özellikle yüksek SiO_2 'li örneklerde çok belirgin negatif yönsemelidir. Yüksek ve düşük SiO_2 'li kayalardaki en belirgin farklı yönelimler P₂O₅ ve MnO dağılımlarında gözlenir. P₂O₅- SiO_2 değişiminde bazik bileşimli örnekler pozitif yönelim gösterirken daha asidik örnekler ise negatif bir yönelim göstermektedir. Benzer şekilde MnO'te asidik örneklerde, daha bazik olanlardan farklı olarak negatif yönseme göstermektedir. B10 kodlu trakit örneğinin Al₂O₃ ve MnO değeri diğer tüm örneklerden oldukça düşük ($\%13.90$, $\%0.13$) olduğundan, bu diyagramlarda aşırı sapma göstermektedir ve bu nedenle diyagramda değerlendirilmemiştir. Trakit örneği 1 adet (B10) olduğundan bu sapma ve örnek ile ilgili yorum yapmak sağlıklı olmayacaktır. Ancak kuvars içeren trakitlerin (B10= $\%13.69$; Tablo 1) nefelin içerenlere göre daha düşük Al₂O₃ içermesi ve buna bağlı olarak ta düşük MnO içeriği beklenir. Ana element oksitlerde gözlenen bu şekildeki negatif veya pozitif korelasyonlar, genellikle fraksiyonel kristalleşme süreçlerini gösterirken az oranda da magma karışımını işaret etmektedir.



Şekil 5. Major element oksitlerin %SiO₂ ile değişimleri (Al₂O₃ ve MnO diyagramında trakit örneği)

7. Sonuçlar

Arap-Avrasya çarpışma zonunun (Bitlis Sütur Zonu) kuzeyinde yer alan ve Bingöl'ün yakın batısında bulunan bu volkanik kayalar, Solhan Formasyonu içerisinde tanımlanan Solhan volkanitleridir. Bölgedeki volkanizma bazalttan trakite değişen kalkalkalen ile havaiit ve benmoreit bileşimli zayıf alkali özelliklidir. Petrografik verilerde belirlenen bazı reaksiyon dokuları magma karışımına işaret eder. Normatif mineral bileşenlerine göre bu volkanik kayalardan bir kısmı normatif kuvars ve hipersten içerirken bir kısmı ise normatif olivin ± hipersten içerir.

Ana oksit özelliklerine göre, orta ve yüksek-K'lu kalkalkalen özellikli bu volkanitler, SiO₂ içeriğine göre bazik ve daha asidik bileşimliler olmak üzere iki farklı yönseme gösterir. Böylece petrografik ve normatif mineral bileşimi ile ana element değişimlerine göre bu volkanitlerin silise aşırı doygun ve ileri derecede evrimleşmiş bir magma ile silisçe daha fakir ve yüksek Mg# değerlerine sahip bir magmadan farklılaştıklarını söylemek olasıdır.

Sonuç olarak, coğrafik konumu nedeniyle Doğu Anadolu Volkanik Provensi içinde tanımlanan bu volkanitler, öncel alımlarda da belirtildiği gibi bölgenin jeodinamiğinde etken olan Arap-Avrasya levhaları çarpışması ve çarpışma sonrası volkanizma, yani post orojenik volkanik aktivite ürünü olarak tanımlanabilir.

Teşekkür

Bu çalışma Fırat Üniversitesi Araştırma Projeleri Birimi (FÜBAP) tarafından MF.16.08 nolu proje ile desteklenmiştir. Bu nedenle Fırat Üniversitesi Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Altınlı E. Doğu ve Güneydoğu Anadolu'nun jeolojisi. MTA Dergisi 1966; 66: 35-73.
- [2] Şaroğlu F, Güner Y. Doğu Anadolu'nun jeomorfolojik gelişimine etki eden öğeler: Jeomorfoloji, tektonik, volkanizma ilişkileri. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni 1981; 24(2), 39-50.
- [3] Türkekcan A. Muş yöresindeki Pliyosen yaşlı volkanitlerin petrolojisi. MTA Dergisi 1991; 112: 85-102.
- [4] Bigazzi G, Yeğingil Z, Ercan T, Oddone M, Özdoğan M. Doğu Anadolu'daki obsidiyen içeren volkaniklerin Fizyon Track yöntemiyle yaş tayini. Türkiye Jeoloji Bülteni 1997; 40(2): 57-72.
- [5] Poidevin JL. Provenance studies of obsidian artefacts in Anatolia using the fission track dating method. An overview. L'Obsidienne au Proche et Moyen Orient, du Volcan à l'Outil. In: Gourgaud A, Gratuze B, Poupeau G, Poidevin JL, Cauvin MC, editors, BAR International Series Hadrian Books (Oxford), 1998; 738: 105-156.
- [6] Hubert-Ferrari A, King G, Van Der Woerd J, Villa I, Altunel E, Armijo R. In Collision and Collapse at the Africa-Arabia-Eurasia Subduction Zone, Longterm Evolution of the North Anatolian Fault: New Constraints from its Eastern Termination. Geological Society London, Special Publication 2009; 311: 133-154.
- [7] Yılmaz Y, Şaroğlu F, Güner Y. Initiation of the neomagmatism in East Anatolia. Tectonophysics 1987; 134: 177-199.
- [8] Seymen İ, Aydın A. Bingöl deprem fayı ve bunun Kuzey Anadolu Fayı ile ilişkisi. MTA Derg 1972; 79: 1-8.
- [9] Yılmaz Y. Türkiye'nin jeolojik tarihinde magmatik etkinlik ve tektonik evrimle ilişkisi. Türkiye Jeoloji Kurumu, Ketin Simpozyumu Bildiriler Kitabı 1984; 63-81.
- [10] Ercan T, Fujitani T, Matsuda JI, Notsu K, Tokel S, Ui T. Doğu ve Güneydoğu Anadolu Neojen-Kuvaterner volkanitlerine ilişkin yeni jeokimyasal, radyometrik ve izotopik verilerin yorumu. Maden Tetkik ve Arama Dergisi 1990; 110: 143-164.
- [11] Dilek Y, Altunkaynak S. Cenozoic crustal evolution and mantle dynamics of post-collisional magmatism in western Anatolia. International Geology Review 2007; 49: 431-453.
- [12] Dilek Y, Pavlides S. Post-collisional Tectonics and Magmatism in the Mediterranean and Asia. Geological Society of America, Special Papers 2006; 409.
- [13] Taymaz T, Eyidoğan H, Jackson J. Source parameters of large earthquakes in the east Anatolian fault zone (Turkey). Geophys. J. Int 1991; 106: 537-550.
- [14] Şengör A.M.C., Kidd, W.S.F. (1979). Post-collisional tectonics of the Turkish-Iranian Plateau and a comparison with Tibet. Tectonophysics, 55: 361-376.
- [15] Şengör, AMC. Türkiye'nin neotektoniğinin esasları. Türkiye Jeoloji Kurumu yayını 1980; 40s.
- [16] Şengör A.C, Yılmaz Y. Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. Tectonophysics 1981; 75: 181-241.
- [17] Fytikas M, Innocenti F, Manetti P, Mazzuoli R, Peccerillo A, Villari L. Tertiary to Quaternary evolution of volcanism in the Aegean region: In: Dixon JE, Robertson AHF, editors. The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean. The Geological Society, London, Special Publications 1984; 17: 687-700.
- [18] Buket E, Temel A. Major-element, trace-element, and Sr-Nd isotopic geochemistry and genesis of Varto (Muş) volcanic rocks, Eastern Turkey. Journal of Volcanology and Geothermal Research 1998; 5: 405-422.

- [19] Temel A, Gündoğdu N, Gourgaud A, Le Pennec JL. Ignimbrites of Cappadocia, Central Anatolia, Turkey: petrology, geochemistry and evolution through time. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 1998; 85: 447–441.
- [20] YılmazY, GünerY, Şaroğlu F. Geology of the Quaternary Volcanic Centres of the East Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 1998; 85: 173-210.
- [21] Yürür TM, Chorowicz J. Recent volcanism tectonics and plate kinematics near the junction of the African, Arabian and Anatolian Plates in the Eastern Mediterranean, *J. Volcanology and Geothermal Research* 1998; 85: 1–15.
- [22] McKenzie DP. Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophysical Journal of Royal Astronomical Society* 1972; 30: 109–185.
- [23] McKenzie D, Yılmaz Y. Deformation and volcanism in western Turkey and the Aegean. *Bulletin of Technical University* 1991; 44: 345–373.
- [24] Innocenti F, Mazzuoli R, Pasquarè G, Radicati Di Brozolo F, Villari L. Tertiary and Quaternary Volcanism of the Erzurum, Kars area (Eastern Turkey): Geochronological data and geodynamic evolution. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 1982; 13: 223-240.
- [25] Şengör AMC, Görür N, Şaroğlu F. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. *The Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication* 1985; 37: 227-264.
- [26] Koçyiğit A, Yılmaz A, Adamia S, Kuloshvili S. Neotectonics of east Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: Implication for transition from thrusting to strike-slip faulting. *Geodinamica Acta* 2001; 14: 177-195.
- [27] Keskin M. Magma generation by slab steepening and breakoff beneath a subduction-accretion complex: An alternative model for collision-related volcanism in Eastern Anatolia, Turkey. *Geophys. Res. Lett* 2003; 30: 8-46.
- [28] Keskin M. Domal uplift and volcanism in a collision zone without a mantle plume: Evidence from Eastern Anatolia. 2005; <http://www.MantlePlumes.org/Anatolia.html>.
- [29] Göncüoğlu MC. Türkiye Jeolojisi'ne Giriş: Alpin ve Alpin öncesi tektonik birliklerin jeodinamik evrimi. Monografi Serisi No: 5, MTA Ankara, 2010.
- [30] Ersoy YE, Helvacı C, Palmer MR. Petrogenesis of the Neogene volcanic units in the NE–SW–trending basins in western Anatolia, Turkey. *Contrib Mineral Petrol* 2012; 163: 379-401.
- [31] MTA. 1/500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara 2002.
- [32] Karaoğlu Ö, Selçuk AS, Gudmundsson A. Tectonic controls on the Karlıova triple junction (Turkey): Implications for tectonic inversion and the initiation of volcanism. *Tectonophysics* 2017; 694: 368-384.
- [33] Perinçek D. The geology of Hazro-Korudağ-Çüngüş-Maden-Ergani-Hazar-Elazığ- Malatya Area, Guide Book. The Geological Society of Turkey 1979.
- [34] Yılmaz Y. Comparison of young volcanic associations of western and eastern Anatolia formed under a compressional regime: a review. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 1990; 44: 69–87.
- [35] Türkünal S. Doğu ve Güneydoğu Anadolu'nun jeolojisi. *Jeol. Müh. Odası Yayınları*, 8, Ankara 1985.
- [36] Buket E, Görmüş S. Stratigraphy of the Tertiary sequence in the Varto (Muş) basin. *Bulletin of the Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University* 1986; 13: 17-31.
- [37] Tutkun SZ. Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Eşil (Erzincan) ve Karlıova (Bingöl) arasındaki kesiminin tektonostratigrafisi. Melih Tokay Jeoloji Simpozyumu, Bildiri özleri 1987; ODTÜ, Ankara.
- [38] Şaroğlu F, Yılmaz Y. Doğu Anadolu'nun Neotektoniği ve ilgili magmatizması. *Türkiye Jeol. Kur. İhsan Ketin Simpozyumu Özel Sayısı* 1984; 149-162.
- [39] Tokel S. Erzurum-Muş bölgesi 1:25 000 ölçekli Erzurum J 46 c3, J 46 c4 paftalarına ait jeolojik rapor. MTA Rap., 4175 (yayımlanmamış) 1966; Ankara.
- [40] Şaroğlu F, Yılmaz Y. Effects of neotectonics on geological evolution in Eastern Anatolia. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri* 1986; 5-6.
- [41] Tarhan N. Hıms-Varto-Karlıova (Erzurum-Muş-Bingöl) Dolayındaki Neojen Volkanitlerinin Jeolojisi ve Petrolojisi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi* 1991; 113: 45-60.
- [42] Akay E, Erkan E, Ünay E. Muş Tersiyer havzasının stratigrafisi. *MTA Derg* 1989; 109: 59-76.
- [43] Chataigner C, Poidevin JL, Arnaud NO. Turkish occurrences of obsidian and use by prehistoric peoples in the Near East from 14,000 to 6000 BP. *J. Volcanol. Geotherm. Res* 1998; 85: 517-537.
- [44] Vernon RH. *A Practical Guide to Rock Microstructure*. Cambridge University Press 2004.
- [45] Le Maitre W, Bateman P, Dudek A, Keller J, et al. *A Classification of Igneous rocks and Glossary of Term: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks*. Blackwell Scientific Publications, Oxford 1989.
- [46] Le Bas M, Le Maitre RW, Streckeisen A, Zanettin B. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology* 1986; 27: 745–50.
- [47] Peccerillo A, Taylor SR. Geochemistry of Eocene Calc-Alkaline Volcanic Rocks from the Kastamonu Area, Northern Turkey. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 1976; 58: 63-81.