

KARS VOLKANİK PLATOSU'NUN ÇILDİR (ARDAHAN İLİ) KUZEYİNDEKİ BÖLÜMÜNÜN VOLKANOSTRATİGRAFİSİ, PETROGRAFİSİ VE MAGMATİK AYIRIMLAŞMA SÜREÇLERİ

VOLCANOSTRATIGRAPHY, PETROGRAPHY AND MAGMATIC FRACTIONATION PROCESSES OF THE KARS VOLCANIC PLATEAU IN THE NORTH OF ÇILDİR (ARDAHAN, NE TURKEY)

Olgun DURU¹, Mehmet KESKİN¹

*¹ İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mineraloji-Petrografi
Anabilim Dalı, 34320 Avcılar, İstanbul, Türkiye
Yayına Geliş (Received): 23.11.14, Yayına Kabul (Accepted): 14.05.15, Basılma tarihi (Published): Kasım/
November 2015*

**Corresponding author: lineasyon@gmail.com*

Öz

Erzurum-Kars Volkanik Platosu'nun (EKVP) en iyi volkano-stratigrafik kesitlerinden biri, Çıldır kuzeyinde (Ardahan) Gürcistan sınırına yakın Kura nehri kanyonu boyunca görülmektedir. Derinliği kimi yerde 700 m'ye ulaşan Kura kanyonunun dik yamaçlarında sayıları 20'yi aşan lav yaygıları ve piroklastik birimler mostra vermektedir. Aktimur ve diğ. (1991)'nin paleontolojik yaş verilerine göre bu kesit, Üst Miyosen'den Kuvaterner'e kadar neredeyse 10 milyon yıllık bir zaman aralığını kapsamaktadır. Dolayısıyla Doğu Anadolu çarpışma zonunun bu bölümünün Üst Miyosen'den Kuvaterner'e kadar magmatik ve jeodinamik evriminin kayıtlarını içeren bir arşiv niteliği taşımaktadır. Çalışma alanı içinde plato volkanitlerinin temeli yüzeylenmez. Plato istifi üç farklı evrede gelişmiş ve birbirinden litolojik açıdan farklı özellikler sunan dört birimden oluşur. Üst Miyosen-Alt Pliyosen arasında püskürmüş piroklastik ve ortaç nitelikli piroksen-plajiyoklas içerikli lavlardan oluşmuş Birinci Evre ürünleri Kura volkaniti olarak isimlendirilmişlerdir. Pliyosen döneminde püskürmüş İkinci Evre volkanitleri kendi içinde iki faza ayrılır. Birinci faz literatüre "Kars platosu" olarak geçmiş olan tipik plato morfolojisini oluşturan ve bu çalışmada Öncül volkaniti olarak isimlendirilmiş olan birimle temsil edilir. Öncül volkaniti, olivin, piroksen ve plajiyoklas içeren bazik lavlardan oluşur. Kars platosu üzerinde oturan ve Öncül volkaniti'nin lavları ile hemen hemen aynı petrografik ve jeokimyasal özellikler sergileyen ikinci fazdaki küçük volkan konisi ve lav çıkışları, Kalaçatepe volkaniti olarak isimlendirilmişlerdir. Göl ve akarsu ortamında oluşmuş gevşek ve tutturulmamış sedimentler, volkanizmanın birinci ve ikinci evresine ait birimlerle yanal geçişlidir. Pliyosen yaşlı bu çökel birim, Kalkalkale formasyonu olarak adlandırılmıştır. Çarpışma kökenli volkanizmanın üçüncü ve son evresini, Üst Pliyosen-Alt Pleistosen yaşlı Sazlısu volkaniti'nin ortaç-asidik nitelikteki plajiyoklas-piroksen içeren porfirik lavları teşkil eder. Volkanizmanın bütün ürünleri kalkalkali nitelikte olup tipik bir yitim bileşeni içerirler. Ana oksit ve iz element davranışlarına bakıldığında volkanitlerin üç evresinde de susuz ve sulu minerallerin her ikisinin de kristallendiği anlaşılmaktadır. Amfibol kristallenmesine duyarlı Rb-Y ve plajiyoklas kristallenmesine duyarlı Rb-Sr diyagramları üzerinde Rayleigh fraksiyonel kristallenme vektörlerinin petrolojik modellemesinden elde edilen veriler, petrografik gözlem ve jeokimyasal diyagramlardaki trendlerin yorumlanmasından elde edilen mineral davranışları birlikte yorumlandığında, magma odası evriminde fraksiyonel kristallenme sürecinin egemen işlem olduğu anlaşılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Erzurum-Kars Volkanik Platosu, Kura Kanyonu, çarpışma volkanizması, petrolojik modelleme, FC.

Abstract

One of the best transect of the Erzurum-Kars Volcanic Plateau (EKVP) is exposed on the slopes of the River Kura canyon in the North of the town of Çıldır (Ardahan City) close to the state border with Georgia. There are 20 lava and pyroclastic units on the walls of the Kura canyon, which reaches in depth up to 700 m in places. MTA's reports indicate that this section covers an almost 10 Ma time-span from Middle Miocene to Quaternary. The aforementioned stratigraphic section can be regarded as an archive that contains the record of the magmatic and geodynamic evolution of this part of Eastern Anatolia from Middle Miocene to Quaternary. Nowhere in the study area is the basement beneath the volcanic plateau sequence exposed. The volcanic plateau sequence is made of four volcanic unit each consisting of different volcanic lithologies and erupted in three stage. The first stage, named in this study the Kura volcanics, which consist of lavas and pyroclastic, which include commonly plagioclase and pyroxenes minerals as an intermediate chemical composition, erupted between Late Miocene and Lower Pliocene. The second Stage volcanics that erupted during the Pliocene divide into two volcanic phases. The first phase, named in this study as the Öncül volcanics, is made up of basalt, basaltic andesite and basaltic trachy-andesitic lavas that form the typical plateau morphology. These lavas are which dominantly consist of olivine, plagioclase and pyroxene minerals rather monotonous in terms of their petrography and general appearance. Small volcanic cones and lavas of second stage, which are sitting on the plateau and very similar to the Öncül lavas in terms of their petrography and geochemistry are named Kalacatepe volcanics. The first and second stages volcanics are interfingering with lake and fluvial sediments consisting of the alternations of conglomerate, sandstone, mudstone, shale and marl which is named Pliocene aged Kalkalkale formation. The third namely the final stage of collision-related volcanism is represented by the Late Pliocene-Early Pleistocene Sazlısu volcanics which is made of intermediate to acidic lavas consisting of plagioclase and pyroxene phenocrysts. All of the volcanic units are calc-alkaline in character with a distinct subduction signature. Behaviours of major oxides and trace elements indicate that fractional crystallization was an important process during the magma chamber evolution of the volcanic units of the three stages, during which both hydrous and anhydrous minerals were fractionated. The results obtained from modelling of Rayleigh fractionation vectors on Rb-Y and Rb-Sr plots (for amphibole and for plagioclase crystallizations respectively), coupled with variations in fractionation trends on Harker diagrams and petrographic observations indicate that the fractional crystallisation was the dominant process in the magma chamber evolution of all three magmatic stages.

Key words: Erzurum-Kars Volcanic Plateau, Kura canyon, collision-related volcanism, petrologic modeling, fractional crystallization.

GİRİŞ

Doğu Anadolu, kıtasal çarpışmayı izleyen evrede, çarpışma ile kökensel ilişkili oluşmuş genç volkanizmanın dünyada en iyi görüldüğü bölgedir (Keskin ve diğ., 1998). Doğu Anadolu, Arabistan ve Anadolu levhaları arasında yer almış olan Tetis Okyanusu'nun güney koluna ait okyanus tabanının kuzeye doğru dalıp batmasına ve bu okyanusun tükenmesini izleyen evrede bahsedilen levhalar arasındaki kıtasal çarpışmaya bağlı olarak Miyosen'den itibaren, kuvvetli kuzey-güney sıkışmasının etkisi altında ortaya çıkmış yüksek bir platodur (Şengör ve Kidd, 1979). Bu sıkışma sonucu doğu-batı uzanımlı kıvrımlar, ters faylar ve doğrultu atımlı iki ana grup fay sistemleri gelişmiştir (Yılmaz ve diğ., 1987).

Çarpışma yaklaşık Serravaliyen'de (12-13 milyon yıl) başlamış ve bunun sonucunda deniz seviyesinden 2 km yükseklikte bir plato ortaya çıkmıştır. Doğu Anadolu çarpışma sonucunda blok olarak yükselmiştir bu yükselme halen devam etmektedir (Şengör ve Kidd, 1979). Volkanizma bu blok yükselimi ardından başlamış ve bölgede yaygınca yüzey

leyen lav ve piroklastik ürünler üretmiştir (Pearce ve diğ., 1998; Keskin ve diğ., 1998). Söz konusu volkanik birimler bölgenin 2/3 ünü kaplamış ve yer yer 1 km kalınlığa çıkabilen volkanik malzeme oluşturmuşlardır. Doğu Anadolu bölgesinde volkanik aktivite çoklukla açılma çatlakları vasıtasıyla gelişse de, bölgede birçok merkezi çıkış bölgesi bulunmaktadır (Ağrı, Tendürek, Süphan, Nemrut, Etrüsk). Açılma çatlakları boyunca volkanik aktivitenin egemen olduğu en büyük volkanik provens ise Erzurum-Kars Volkanik Platosu (EKVP)'dur (Keskin ve diğ., 1998).

Son on yıl içerisinde yapılan jeofizik çalışmaları (Al-Lazki ve diğ., 2003; Gök ve diğ., 2000 ve 2003; Sandvol ve diğ., 2003; Angus ve diğ., 2006) sonucunda bölgenin güneyinde bulunan Bitlis-Pötürge Masifi ile EKVP'nu güneyden sınırlayan Aras Nehri arasında kalan bölgenin önemli oranda litosferik mantodan yoksun olduğu ve Doğu Anadolu Yığılma Kompleksinin doğrudan astenosferik mantonun üzerinde olduğuna dair bulgular elde edilmiştir (Keskin, 2003, 2007; Şengör ve diğ., 2003, 2008).

Bu bulguların doğrultusunda Doğu Anadolu Bölgesi'nde kabuğun ortalama 45 km kalınlıkta olduğu, güneyde Bitlis-Pötürge Masifine doğru 38 km, kuzeyde EKVP da 50 km ye kadar çıktığı bir aralıkta değişim göstermekte olduğu ortaya çıkarılmıştır (Zor ve diğ., 2003). Bu bulgular, jeodinamik ile volkanizma arasında çok yakın bir ilişki olduğu ve dalan okyanusal litosferin kırılıp astenosfer içine battığı (Keskin, 2003, 2005 ve 2007; Şengör ve diğ., 2003, 2008) ve bölgede kalk-alkaliden alkaliye doğru bir değişimin görülmesinin bu mekanizma ile olduğu şeklinde yorumlanmıştır (Keskin, 2003, 2005, 2007).

Doğu Anadolu'daki bu yoğun volkanizmanın gerçekleştiği önemli bir alan ise EKVP'dur. Keskin (1994); Keskin ve diğ. (1998 ve 2006) tarafından EKVP'nin Erzurum-Kars arasındaki bölümü ayrıntılı olarak çalışılmıştır. Ancak çalışma alanının da içinde bulunduğu EKVP'nin kuzey-kuzeydoğu bölümünde yüzeylenen volkanitler üzerinde proje çalışmaları yapılmışsa da (TÜBİTAK-RFBR Projesi 108Y222: Keskin ve diğ., 2013) henüz yayınlanmamıştır. Çalışma alanını kapsayan kesimin ise ayrıntılı bir volkano-stratigrafik, petrolojik ve jeokimyasal çalışması bulunmamaktadır.

Çalışma alanı içerisinde bulunan Kura nehri volkanik platoyu derinlemesine yarmış ve böylece platoyu oluşturan volkanik lav ve piroklastiklerin oluşturduğu istif oldukça iyi bir şekilde ortaya çıkmıştır. EKVP'nin hiçbir yerinde istif burada olduğu gibi kesintisiz olarak görülmemektedir (Şekil 1). Bu açıdan EKVP'nin bu bölümü, yitim ve onu izleyen kıta-kıta çarpışması sonucunda oluşan bölgesel volkanizmanın kaydını içermesi açısından önemli bir bölgedir. Daha önce Aktimur ve diğ., (1991) tarafından bu alanın genel jeolojisi çalışılmış ve Kura nehrinin oluşturmuş olduğu Kura vadisinde ve yakın çevrede volkanik birimler ayrırtlanmıştır. Söz konusu araştırmacılar, Üst Miyosen'den Kuvaterner'e kadar olan zaman aralığında (~10 milyon yıllık bir periyod) bölgede volkanik aktivite gerçekleştiği ve yüzeylenen volkanik birimlerin bu volkanizmanın ürünleri olduklarını belirtmişlerdir.

ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

Kuzeydoğu Anadolu'da Erzurum ile Kars arasında kalan bölge, denizden ortalama 2 km. yüksekte yer alan bir plato morfolojisi sunar. Erzurum-Kars Volkanik Platosu olarak isimlendirilmiştir. Çalışma alanının da içinde bulunduğu bölgenin okyanus ka-

panmaları ve kıta-kıta çarpışmalarının gerçekleştiği bölgede olmasından dolayı bu alan, birçok kıtasal bloklar ve kenet kuşakları tarafından çevrelenmiş bulunmaktadır (Şekil 1). Şekil 1c'de çalışma alanının içinde bulunduğu bölgedeki kıtasal birlikler gösterilmiş bulunmaktadır. Bölge 5 kıtasal parçanın bir araya gelmesi ile oluşmuştur (Şengör, 2003 ve Keskin, 2007). Şekil 1c'de görüldüğü üzere, çalışma yapılan alanında içinde bulunduğu yer Rodop-Pontid Fragmanı'na karşılık gelmektedir.

Şekil 1c'deki alanların hangi tektonik birliklere karşılık geldikleri, şekil açıklamasında verilmiştir. "I" ile gösterilen Rodop-Pontid Fragmanı temelinde metamorfik masif olarak Pulur Kompleksi bulunmaktadır (Topuz ve diğ., 2004). Pulur Kompleksi granülit fasiyesinde kayaçlardan oluşmakta olup kuvars açısından zengin mesokratik gnayslardan silika ve alkalice eksik olan, Fe, Mg ve Al'ca zengin melanokratik kayaçlara doğru değişim göstermektedir (Topuz ve diğ., 2004). Metamorfik temel üzerine Avrasya kıtası kenarının altına doğru kuzeye dalımlı yitim tarafından oluşturulan, Albian-Oligosen yaş aralığında püskürmüş yay magmatizmasına ait oldukça kalın bir istif gelmektedir (Yılmaz ve diğ., 1997). Ayrıca güney kenarında ofiyolitik melanaj üzerlemeleri mevcuttur (Şengör, 2003).

Çalışma alanındaki volkanik istifin çok kalın olması nedeniyle bu birimlerin altında Rodop-Pontid Fragmanı'na ilişkin kıtasal temel görülememektedir. Ancak çalışma alanına yakın yerlerdeki, platonun kuzeyinde bulunan Şavşat (Artvin İli), çalışma ve gözlemler temel ile ilgili fikir vermektedir.

Erzurum- Kars Volkanik Platosu'nun Gürcistan sınırına komşu, ülkemizdeki en doğu kenarını oluşturan çalışma alanında, saha çalışmaları, petrografik ve jeokimyasal analizler sonucunda volkanizmanın istifsel açıdan üç evrede gerçekleştiği, 1. (Kura volkaniti) ve 2. (Öncül volkaniti ve Kalaçatepe volkaniti) volkanik etkinlikleri ile eş zamanlı olarak karasal ve gösel ortamda sedimenter birimlerin (Kalkalkale formasyonu) çökelmiş oldukları saptanmış bulunmaktadır. 2. volkanik etkinliğin devamında ise plato üzerinde lav yaygıları, konilerle temsil edilen Kalaçatepe volkanitleri gelirken, volkanizmanın son evresini oluşturan Sazlısu volkaniti, sırtlar ve domlar olarak görülmektedir (Şekil 1a). İnceleme alanı içerisinde ayrırtlanan birimlerin temelinde ise, üst paragraflarda değinildiği üzere, Rodop-Pontid Fragmanı'na ait formasyonlar bulunmaktadır ancak volkanik plato birimleri oldukça kalın ve geniş yayımlı olduğu için gözlenememektedir.

Ayrıtlanan volkanik birimler, yaşlıdan gence doğru ele alınmakta, bu ayrıtılamada kriter olarak özellikle petrografik ve jeokimyasal tanımlamaların sonuçları kullanılmaktadır.

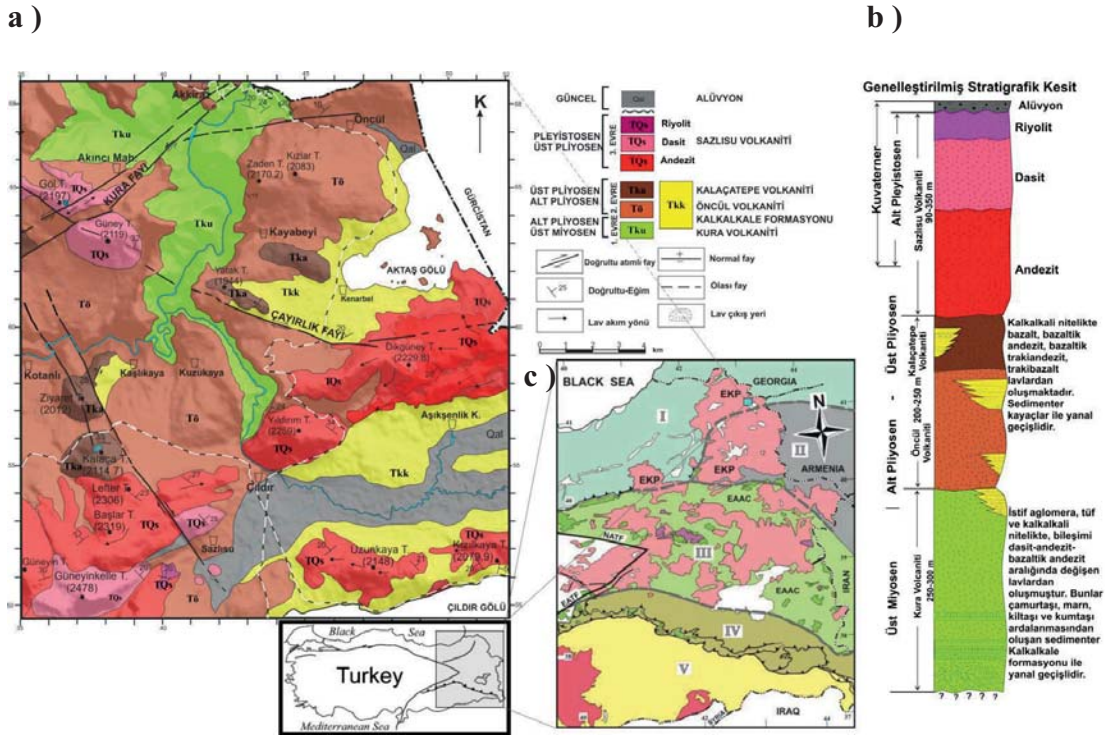
VOLKANOSTRATİGRAFİ

Kura volkaniti

Platoyu derinlemesine kesen Kura nehrinin yamaçlarında yüzeylenen aglomera, tüf ve andezitik lavlardan oluşan birim, Aktimur ve diğ. (1991) tarafından Kura volkanitleri olarak isimlendirilmiştir. Bu çalışma kapsamında yapılan saha gözlemleri, petrografik inceleme ve jeokimyasal analizlerin sonuçlarına göre ise bu birimin ikiye ayrılarak, Kura ve Öncül volkanitleri olarak incelenmesi daha uygun görülmüştür. Aktimur ve diğ. (1991)'nin elde ettikleri fosil bulguları ve Innocenti (1982)'nin radyometrik yaş bulgularına göre bu birimin yaşı Üst Miyosen-Alt Pliyosen olarak belirlenmiştir. Kura

nehirinin doğduğu kollardan başlayarak Gürcistan içlerine kadar uzanan birimin kalınlığı 300 m üzerindedir (Şekil 1b). Birim, inceleme alanında Kura nehri kanyonunda vadi tabanından tavana yakın yerlere kadar gözlenmektedir (Şekil 1a). Tabanda 30 – 50 m kalınlıkta, çok kalın-kalın tabakalı, gri-boz ve dış yüzeyinde oksidasyon nedeniyle yer yer kırmızı renkler sergileyen, 20°-30° ile KD'ya eğimli aglomera seviyeleri ile başlamaktadır. Aglomeraların üzerine ise volkanoklastikler yer almaktadır. Diyajenez geçirmiş volkanoklastikler kendi içinde sarımsı ve boz renkli tabakalar olarak ardalanmaktadır.

Volkanoklastikler üzerine gelen başlangıç lavları ise kalkalkali bileşimde andezit ve dasitten oluşmakta olup üste doğru andezit ardalanmaları ile devam etmektedir. Lavlar yaklaşık 20°-30° KD'ya eğimlidirler. Lav düzeyleri arasında yer yer yatay, yer yer 5°-20° eğimli, beyaz-sarımsı renkli, orta tabakalı tüfler gelmektedir.



Şekil 1. a) Çalışma alanının jeoloji haritası, b) Genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti (ölçeksiz) ve c) Bölgesel jeoloji haritası (Keskin, 2005 ve 2007'den alınmıştır) (I) Rodop-Pontid Fragmanı, (II) Kuzeybatı İran Fragmanı, (III) Doğu Anadolu Yığılma Karmaşığı (DAYK), (IV) Bitlis-Pötürge Masifi, (V) Arap Ön ülke Havzası.

Figure 1. a) Geological map of the study area, b) Generalised stratigraphic column (with no scale) of the study area and c) Generalized geological map and tectonic units of Eastern Anatolia High Plateau (from Keskin, 2005 and 2007) (I) Rhodope-Pontide Fragment, (II) Northwest Iranian Fragment, (III) Eastern Anatolia Accretionary Complex (EAAC), (IV) The Bitlis-Pötürge Massif, (V) Units of the Arabian foreland.

Üste doğru devam eden andezit lavları 4-25 m arasında değişen kalınlıklarda koyu gri-koyu mavimsi renklidirler. Bu lavlar alt düzeylerinde masif, üst düzeylerinde ise vesiküllü olup, yer yer porfirik yer yer afirik dokular sunarlar ve göz ile tanınabilen çubuksu, 1-2 mm boyutlarında plajiyoklas fenokristalleri içerirler. Kimi lav düzeylerinde akmaya bağlı bantlı yapılar bulunmakta olup, bu bantlar boyunca eklem ve ayrılma yüzeyleri görülmektedir. İstifte ara düzeylerde ise istiftteki hâkim lav karakterinden farklı olarak şeker dokulu, koyu gri –mavi renkte bazaltik andezitlere rastlanmaktadır.

Öncül volkaniti

Çalışma alanında Kura vadisi içerisinde volkanizmanın ilk evresine ait Kura lavlarının üzerine uyumlu olarak volkanizmanın ikinci evresini temsil eden Öncül volkaniti gelmektedir (Şekil 1b). Aktimur ve diğ. (1991)'e göre volkanitlerin yaşları Pliyosen'dir. Çalışma alanında geniş alanlarda görülen plato morfolojisini oluşturan, volkanizmanın ikinci evresini temsil eden Öncül volkaniti'ne ait geniş yayımlı bu lavlar oluşturmaktadır. Öncül volkaniti'ne ait lavlar petrografik ve jeokimyasal açıdan incelendiğinde, bunların bazaltik-andezitlerle temsil edildikleri görülmektedir. İstifte aynı zamanda bazalt ve bazaltik trakiandezit (mujearit) kayaları da gözlenmektedir. Öncül volkaniti genel olarak çalışma alanındaki platoların düz ve yayvan üst kesimini oluşturmakta ve geniş yayımlar göstermektedir. Plato yüzeyini oluşturan lav yaygıları çatlak erüpsiyonları, küçük yerel merkezi püskürmeleri temsil eden koniler ve yapısal kırık, çatlaklardan çıkarak yayvan bir morfoloji oluşturmuştur (Şekil 1a). Öncül volkanitinin toplam kalınlığı 60 ila 80 metre arasında değişir. Lav akıntılarının kalınlıkları ise 3 ile 15 metre arasında değişmektedir. Öncül volkanitine ait lavların üst seviyelerine doğru koyu gri-siyahımsı renkli, şeker benzeri ince mikrokristalce zengin bir hamurun bulunduğu, mafik mineral oranında artışlar görülen lav düzeylerine ulaşılır. Bu lav istifinin alt düzeylerindeki lavlarda iri plajiyoklas fenokristalleri gözlenirken ve dolayısıyla porfirik doku belirgin iken, yukarıya doğru kristal boyunun giderek azalması ile bunlar mikro fenokristallere dönüşürler. Genellikle lavlar alt düzeylerde daha masif bir görüntü sunarken istifte yukarıya doğru üst düzeyler vesiküllü olarak gözlemlenmiştir. Vesiküller içinde ise ikincil mineral birikimleri (amigdaller) tespit edilmiştir. Kalsit dolgularına istifin üst düzeylerindeki vesiküller içinde sıkça rastlanılmaktadır.

Kalaçatepe volkaniti

Çalışma alanı içerisinde Öncül volkanitlerine ait lavların oluşturduğu plato düzeyi üzerinde, volkanizmanın ikinci evresinde püskürmüş lavlara çok benzer petrografik ve jeokimyasal özellikler sergileyen bir dizi yerel püskürme merkezi ve bunlara bağlı konilere, küçük lav akışlarına rastlanır (Şekil 1a, b). Bunlar çalışma alanının batısında kalan bazaltik andezitik lavlardan oluşan Ziyaret Tepe ve sırtı ve güneyindeki Kalaça Tepe ile krateri, çalışma alanı merkezinde Kayabeyi Köyü yolu üzerinde yine bazaltik andezitten oluşan Yatak ve Yamaç tepeleri ve Kayabeyi Köyü yolunda trakibazalt lavlarıdır (Şekil 1a). Birimin ortalama kalınlığı yaklaşık 70 m.'dir. Bu lavların en iyi mostraları, Çıldır-Ardahan Karayolu'nun güneyinde Kalaçatepe dolayında görüldüğü için bazaltik andezit ve traki-bazalttan oluşan bu birime Kalaçatepe volkaniti adı verilmiştir. El örneklerinde koyu gri, mavi ve siyah renkli, porfirik dokulu oldukları gözlenmektedir. Aktimur ve diğ. (1991) ile Innocenti ve diğ. (1982b), bu lavların bazalt ve andezit bileşimli ve Kuvaterner yaşlı olduklarını ileri sürmüşlerdir. Ancak yaptığımız saha gözlemleri ve eski çalışmalardaki yaş verilerinin denetirilmesine göre, söz konusu birimlerin Üst Pliyosen yaşlı olduklarını düşünmekteyiz.

Kalkalkale formasyonu

Çalışma alanının doğu kısmında geniş bir alanda yüzeylenen göl ve akarsu ortam koşullarında çökelmiş olan birim Aktimur ve diğ. (1991b) tarafından Kalkalkale Formasyonu olarak tanımlanmış ve isimlendirilmiştir (Şekil 1a,b). Birim çalışma alanı içerisinde Kura ve Öncül volkanitine ait volkanoklastik ve lavlar ile yanal geçişli olarak gözlenmektedir. Çalışma alanı dışında, kuzeyde Kurtkale civarında Kura volkaniti lavları ile yanal yönde geçişi iyi izlenir. Öncül volkaniti lavları ile ise Ziyarettepe sırtında yanal giriklidir. Aynı zamanda Yıldırımtepe'nin güney yamaçlarında yüzeylenmekte olup Sazlısu volkaniti'ne ait lavlar ile örtüldüğü izlenmiştir. Birim yer yer iyi boylanmış, derecelenmiş, iyi yuvarlaklaşmış çakıllardan oluşan çakıltaşı ile başlamakla birlikte, üzerine genelde boz renkli, orta tabakalı, iyi boylanmış, derecelenmeli kumtaşı, kırmızı-yeşil-boz renkli, ince-orta tabakalı çamurtaşı, kırmızı-kirli sarı renkli, ince tabakalı kiltası, kirli beyaz-kirli sarı renkli, orta tabakalı marn aralanması ile bu aralanmaya yer yer katılmış olan gri-boz renkli çapraz tabakalanmalı, boylanmış, derecelenmeli, kumtaşı ve çamurtaşından oluşmuş-

tur. Çalışma alanı içerisinde sedimentlerden fosil bulunamamışsa da Aktimur ve diğerleri (1991b) sedimentler içerisinde *Orientalomys galaticus*, Mimoy's mikro memeli ile *Hipparion sp.* omurgalı fosillerini tespit etmiş ve birimin yaşını Pliyosen olarak saptamışlardır. Birimin kalınlığı çalışma alanı içerisinde yaklaşık 100 metreye kadar çıkmaktadır. Yapılan doğrultu-eğim ölçümlerinden doğrultuların K 30-80 D eğimlerin ise 5-20 GD arasında değiştiği saptanmıştır.

Sazlısu volkaniti

Çalışma alanı içerisinde plato üstünde geniş alanları kaplayan, çoğunlukla andezitik lavlarla temsil edilen oldukça kalın ve geniş sırtlar, dasit domları ve küçük bir alanda yüzeylenen riyolit lavı topluluğu, volkanizmanın üçüncü evresinin sonunda bölgede en son oluşan volkanitlerdir (Şekil 1a). Bunlar, plato yüzeyinin üzerinde yer alan en son volkanik etkinliğin ürünleridir. Stratigrafik olarak volkanizmanın üçüncü ve son evresinin oluşturduğu düşünülmektedir.

Çalışma alanının güneyinde kalan bölgede geniş alanlar kaplayan andezit bileşimli lavların oluşturduğu sırtlar ve dasit bileşimli domlar, bu bölgede yaygındır. Birimin kalınlığı 90 ila 350 m arasında değişmekte olup, yaşı Innocenti ve diğ. (1982b)'nin yaptığı çalışmalar ve saha gözlemleri ile denştirilerek Üst Pliyosen – Alt Pleyistosen olarak saptanmıştır (Şekil 1b). Çoğunlukla mavimsi gri renkli, porfirik dokulu lavlarla temsil edilmektedir ve başlıca plajiyoklas ve piroksen kristalleri içeren andezit, dasit ve riyolitten oluşmaktadır.

PETROGRAFI

Üç farklı evreye ait kayaların dokuları ve mineral içerikleri arasında farklar vardır. Her evredeki lavlar ise kendi aralarında farklı doku özellikleri göstermektedir. Kayaların hamuru volkan camı, mikrolit ve mikrokristallerden oluşmaktadır. Fenokristallerde zonlu dokular, reaksiyon kuşağı ve kemirilmiş sık sık rastlanmaktadır. Kayaların camı hamuru mikroskop altında çoğunlukla gri, kahverengi, rensiz ve bazı kesitlerde ise kırmızımsı görünürken, genel olarak pilotaksitik, intersertal, trakitik, glomeroporfiritik, vitrofirik, seriate, kümülüs, hyalopilitik, hipokristalin, subofitik dokular görülmektedir. Çalışma alanında 1. evreyi oluşturan Kura volkanitine ait lavlar, plajiyoklas ve piroksen kristalleri içermektedir (Şekil 2a ve b). Bu evreye ait bazaltik andezitik bileşimli lav düzeylerinde mafik

mineral oranında artış olup fenokristal bileşimine olivin kristallerinin de girdiği gözlenmektedir. 2. evre (Öncül ve Kalaçatepe volkanitleri) lavlarında diğer iki evrenin lavlarına nazaran mafik minerallerin, felsik minerallere nazaran daha fazla bulunduğu görülmektedir. Piroksen (çoğunlukla klinopiroksen, az olarak ortopiroksen) ve plajiyoklasın hakim olduğu bu lavlarda, çok daha düşük oranda olivine de rastlanmaktadır (Şekil 2c). Volkanizmanın son evresini oluşturan Sazlısu volkaniti lavlarında ise plajiyoklas ve piroksen fenokristalleri yaygın olarak gözlenmekte, camsı hamur içindeki mikrokristallerin ise plajiyoklas ve piroksenden oluştuğu gözlenmektedir (Şekil 2d). Sazlısu volkanitine ait riyolit lavı diğerlerinden farklı olarak amfibol de içermektedir (Şekil 2e).

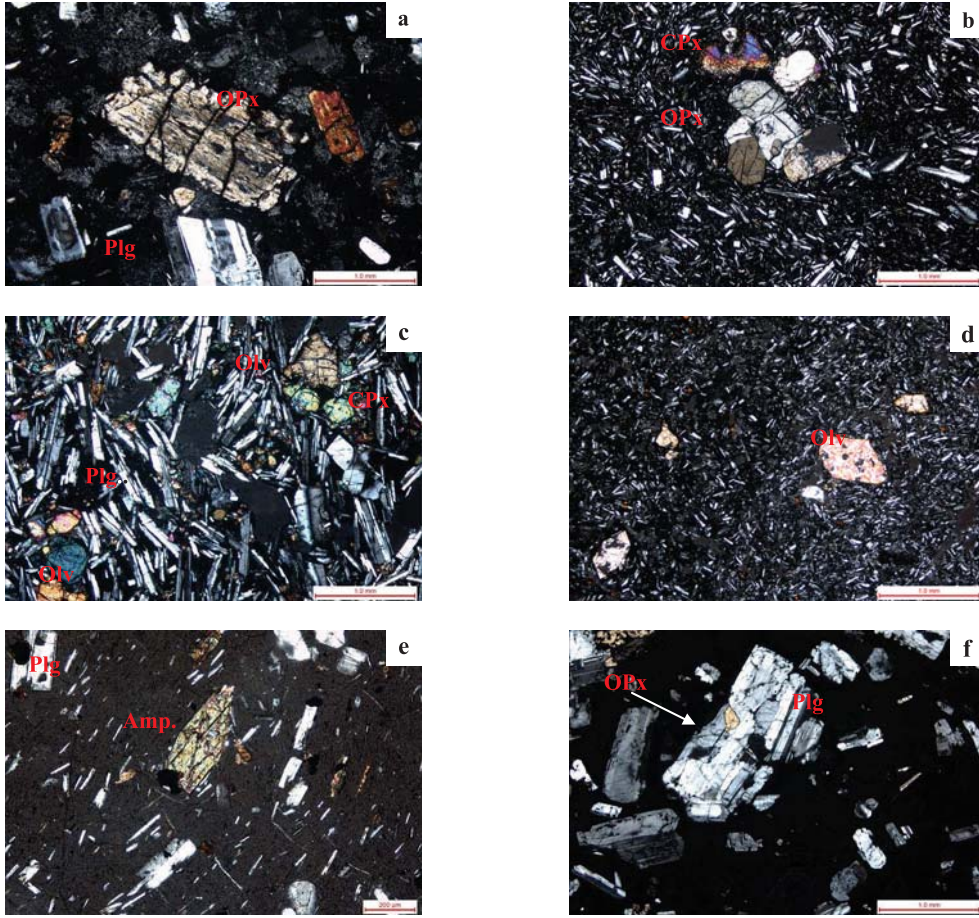
JEOKİMYA

Çalışma alanındaki farklı volkanik birimlerden seçilmiş temsilci numunelerin ICP-MS ile tayin edilmiş olan ana ve iz element konsantrasyonları, Tablo 1'de sunulmaktadır. Kars Platosu'nun kuzeydoğu kenarını oluşturan çalışma alanındaki volkanik ürünler bazalttan riyolite kadar geniş bir bileşim aralığındaki lavlardan meydana gelmiştir (Şekil 3). Her üç evreye ait örnekler K₂O-SiO₂ diyagramına iz düşürüldüğünde 1. ve 2. evre örneklerin orta-K serisi alanı içerisinde dağıldıkları, 3. evre örneklerinin ise yüksek-K serisi alanına yaklaştıkları görülmektedir (Şekil 4). Her üç volkanizmaya ait lavlardan alınmış örneklerin SiO₂ içeriği % 60'dan daha az olan bazalt, bazaltik andezit, trakibazalt, bazaltik trakiandezit ve andezit örnekleri tektonik ortam yorumu yapabilmek amacıyla bazı araştırmacılar (Wood, 1980 ve Pearce et al., 1984) tarafından oluşturulmuş olan tektonik ayırtlama diyagramlarına iz düşürülmüşler ve bunların kalkalkali volkanik yay bazaltı alanlarında yer aldıkları görülmüştür (Şekil 5a ve b). Tektono-magmatik ayırtlama diyagramları (Pearce ve diğ., 1984), çalışma alanındaki tüm evrelere ait volkanizma ürünlerinin volkanik yay alanı içerisinde oldukları görülmektedir (Şekil 5c). Bu bulgulardan yola çıkarak her üç volkanizmaya ait magmaların türemiş olduğu mantonun her üç zaman diliminde de yay bileşeni içerdiğini söyleyebiliriz. Volkanik istif içindeki birimlerin MORB'a ve Kondrite normalize paternlerine bakıldığında (Şekil 6a-f), lavların tümünün iri iyonlu litofil (LIL: Sr, K, Rb, Ba, Th) ve hafif nadir toprak elementlerce (LREE: La, Ce) belirgin bir zenginleşme gösterdiği görülmektedir. Bu bulgu, söz konusu lavlarda tipik bir yitim bileşeninin varlığının işaretçisidir (Pearce

1990; Keskin, 1994a,b, 2007; Keskin ve diğ., 1998; 2006, Duru, 2013a) (Şekil 6). Bu yitim bileşeninin, Üst Kretase-Eosen döneminde bölgede var olan yitimin manto üzerinde oluşturduğu metasomatizma etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Pearce ve diğ., 1990; Keskin ve diğ., 1998, 2006; Keskin, 2007).

Ana element davranışlarına bakıldığında CaO, Fe₂O₃ ve MgO gibi ana oksitlerin zamanla azalması, olivin, piroksen ve plajiyoklasın fraksiyonel kris-

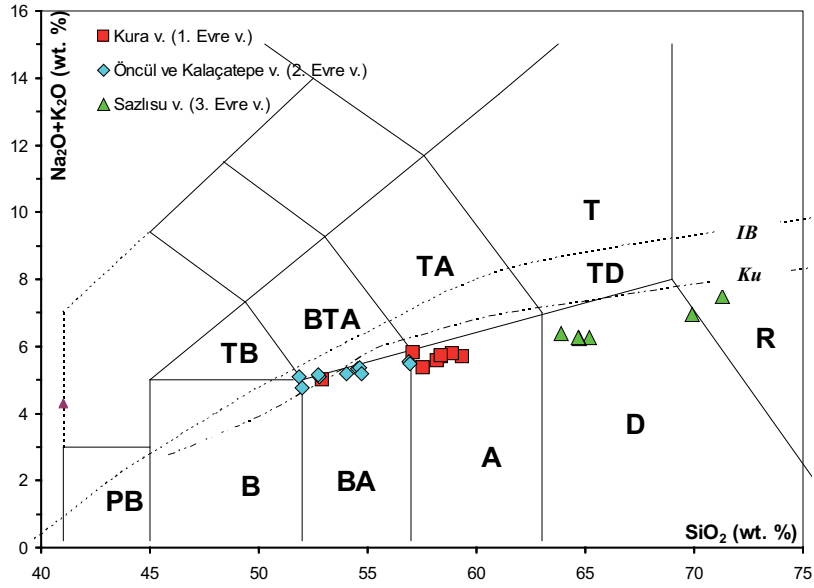
tallenmesi sonucu olmalıdır (Şekil 7a,c,d). Diğer taraftan özellikle son evre lavlarında plajiyoklas ve amfibolün kristalizasyonu, ilk iki evrenin lavlarının tam tersine Al₂O₃ konsantrasyonunun SiO₂'ye karşı hızla azalmasını sağlamıştır (Şekil 7b). İz elementlerde ise ana oksitlerin davranışlarına paralel olarak Mg#, Co, Ni, Y ve Sr elementlerindeki artan SiO₂'ye karşı azalma eğilimi magmadan olivin, piroksen, plajiyoklas ve amfibol minerallerinin kristallenmesi sonucudur (Şekil 7e, f, g, m ve n).



Şekil 2. Volkanizmanın tüm evrelerine ait temsilci örneklerin ince kesit görüntüleri.

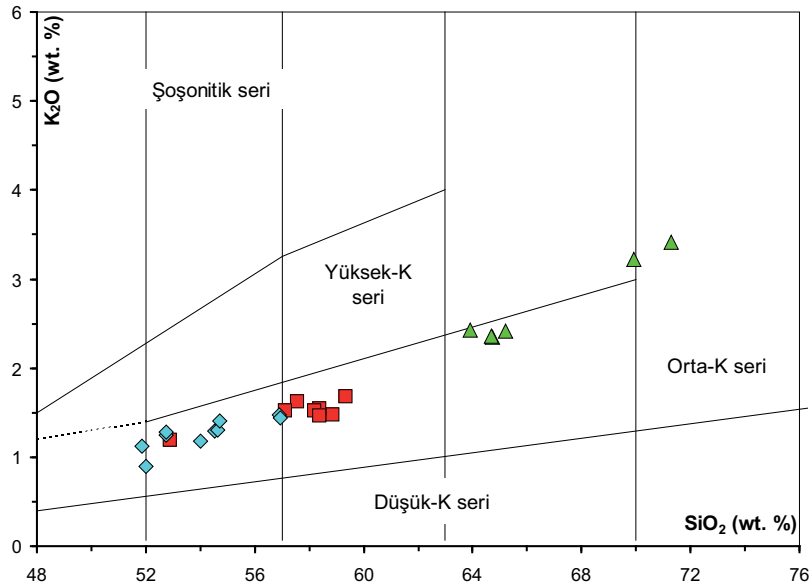
1. Evre (Kura volkaniti) a) Dasit, 11 OD 22, piroksenlerde korozyon dokuları ve minerallerde opaklaşma. **b)** Andezit, 11 OD 43, mafik minerallerin (Ortopiroksenler) bir arada bulunduğu kümülüs dokusu. **2. Evre (Öncül volkaniti) c)** Bazaltik andezit, 11 CL 2, Plajiyoklas lataları, olivin ve piroksen fenokristalleri. **d)** Bazaltik andezit, 11 OD 69, intersertal doku, magma tarafından kemirilmiş ve korozyona uğratılmış olivin fenokristali. **3. Evre (Sazlısu volkaniti) e)** Riyolit, 11 OD 140, vitrofirik doku, plajiyoklas ve amfibol kristalleri **f)** Dasit, 11 OD 57, vitrofirik doku, zonlu ve mixing dokuları gösteren plajiyoklas ve poikilitik doku gösteren piroksen kristali.

Figure 2. Thin section of representative samples on all phases of volcanism. **First stage (Kura volcanics) a)** Dacite, 11 OD 22, **b)** Andesite, 11 OD 43. **Second stage volcanics, c)** Basaltic andesite, 11 CL 2, **d)** Basaltic andesite, 11 OD 69, **Third stage: Sazlısu volcanics, e)** Rhyolite, 11 OD 140, **f)** Dacite, 11 OD 57.



Şekil 3: Çalışma alanındaki volkanik birimlerin Le Bas ve diğ. (1986) diyagramına göre sınıflaması. PB: Pikrobazalt; B: Bazalt; BA: Bazaltik andezit; A: Andezit; D: Dasit; R: Riyolit; TB: Trakibazalt; BTA: Bazaltik trakiandezit; TA: Trakiandezit; TD: Trakidasit; T: Trakit. Alkali-Sub Alkali ayırtlama çizgileri: IB: Irvine ve Baragar (1971); K: Kuno (1966).

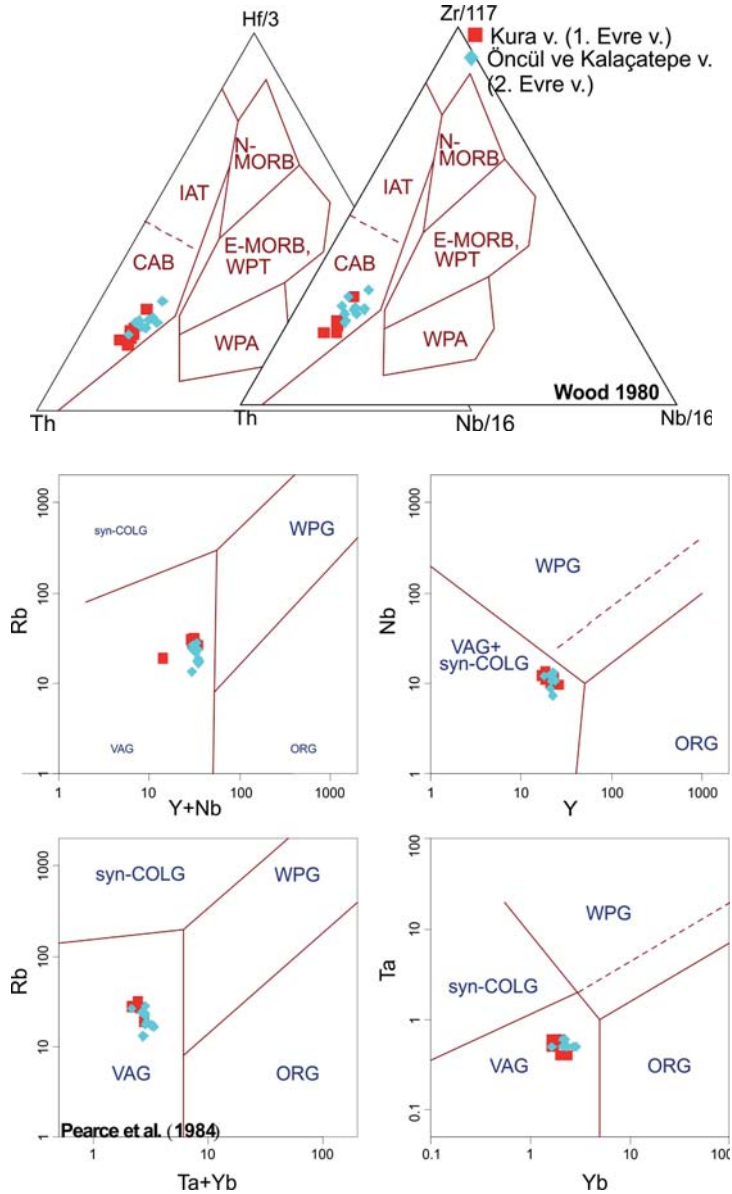
Figure 3: Classification of volcanic units on study area using the diagram of Le Bas et al. (1986). PB: Picrobasalt; B: Basalt; BA: Basaltic andesite; A: Andesite; D: Dacite; R: Rhyolite; TB: Trachybasalt; BTA: Basaltic trachyandesite; TA: Trachyandesite; TD: Trachydacite; T: Trachyte. Alkaline-Subalkaline divides: IB: Irvine and Baragar (1971); K: Kuno (1966).



Şekil 4. Üç farklı volkanik evreye ait ürünlerin K_2O - SiO_2 diyagramındaki yerleri (Peccerillo ve Taylor, 1976). **Figure 4.** Classification of the lavas of three stages of volcanism on K_2O vs. SiO_2 diagram of Peccerillo and Taylor (1976).

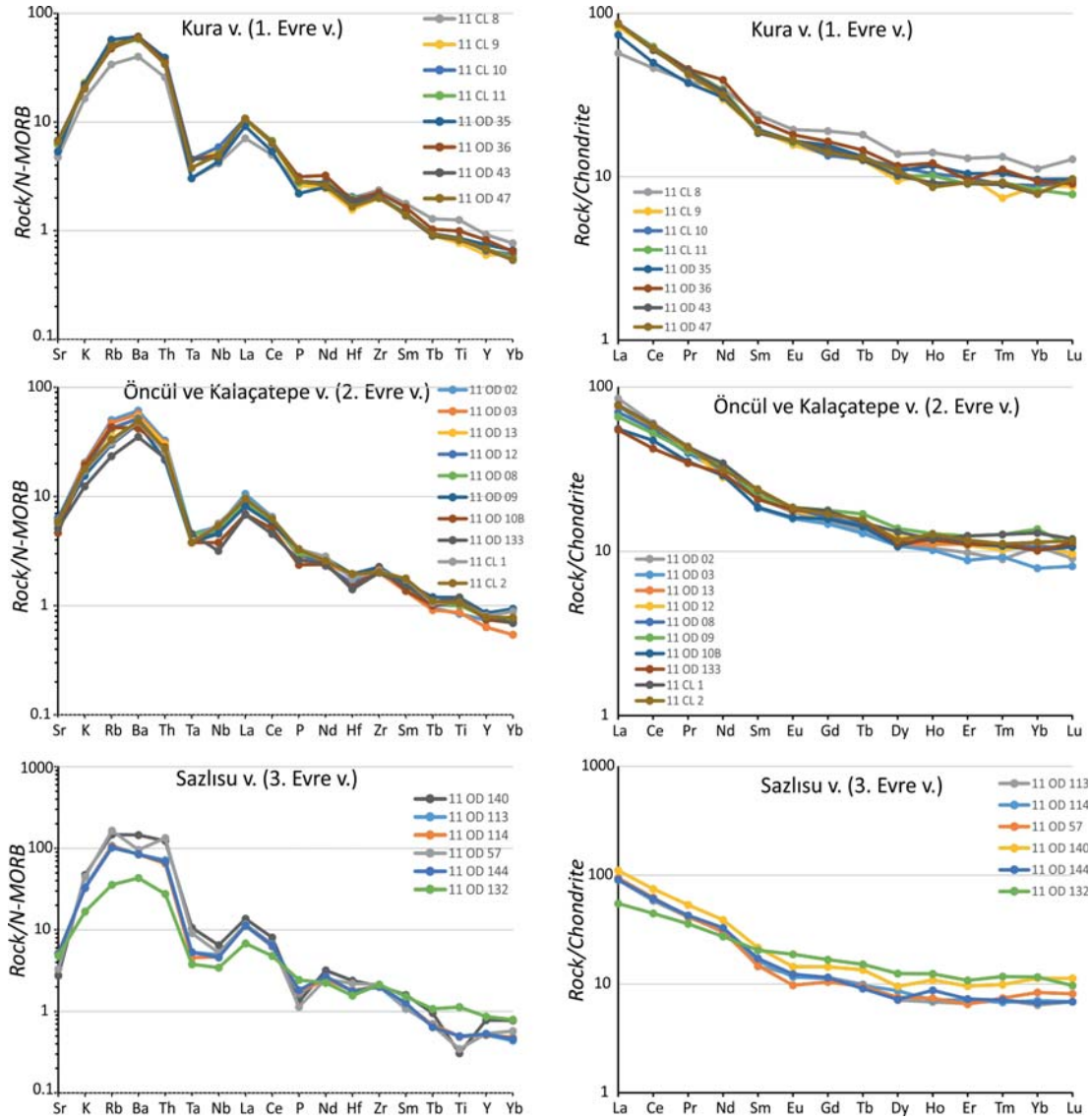
Bunun yanında Ba, Rb, Nb gibi elementlerin ise magmanın evrimleşmesi ile paralel davranarak artış yönelimi izlemesi ise sistemde bu elementleri bünyesine alan K-feldspat, biyotit gibi minerallerin ya hiç kristallenmemiş ya da oldukça az miktarda kristallenmiş olmasından kaynaklanmış olmalıdır (Şekil 7h,i,l). Düşük-Y serisi, magmadan kristallenen mineral grubu içinde amfibol mineralinin yer aldığı ayırılma evrimini karakterize etmektedir.

EKVP'nin geneline bakıldığında düşük-Y serisinin ayırılma evriminde bir magmatik grup olduğu görülmektedir (Pearce ve diğ., 1990; Keskin, 1994; Keskin ve diğ., 1998). Diğer yandan yukarıda bahsi geçen bazı farklılıklara karşılık çalışma alanındaki volkaniklerin jeokimyasal açıdan birbirlerine benzer evrim çizgileri izlemiş olup "düşük-Y (Yitrium)" serisine dâhil oldukları görülmektedir (Şekil 7n).



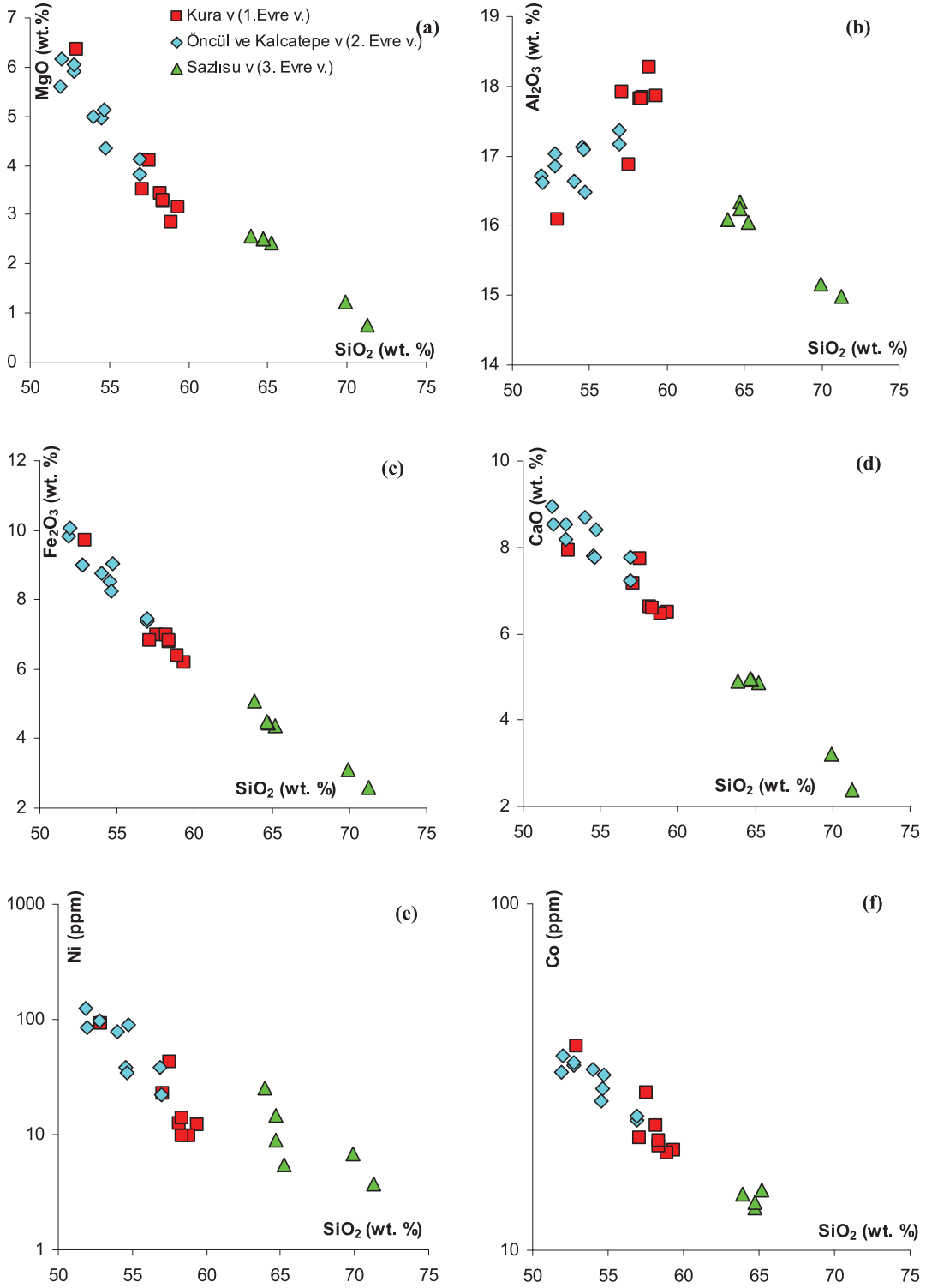
Şekil 5. %60'dan az SiO_2 içeren lavaların tektonik ayırım diyagramlarındaki yerleri. a,b) Wood (1980), IAT:Ada Yayı Toleyitleri; CAB:Kalkalkali Bazaltlar; E-MORB:Zenginleşmiş MORB; WPT:Toleyitik Plaka İçi Bazaltlat c) Pearce et al. (1984), Syn-COLG:Syn-Tektonik Granitler; VAG: Volkanik Yay Granitleri; WPG:Plaka İçi Granitler; ORG:Okyanus Sırtı Granitleri. .

Figure 5. Tectonic discrimination diagrams of lavas with $\text{SiO}_2 < 60\%$. a,b) Wood (1980). c) Pearce et al. (1984).

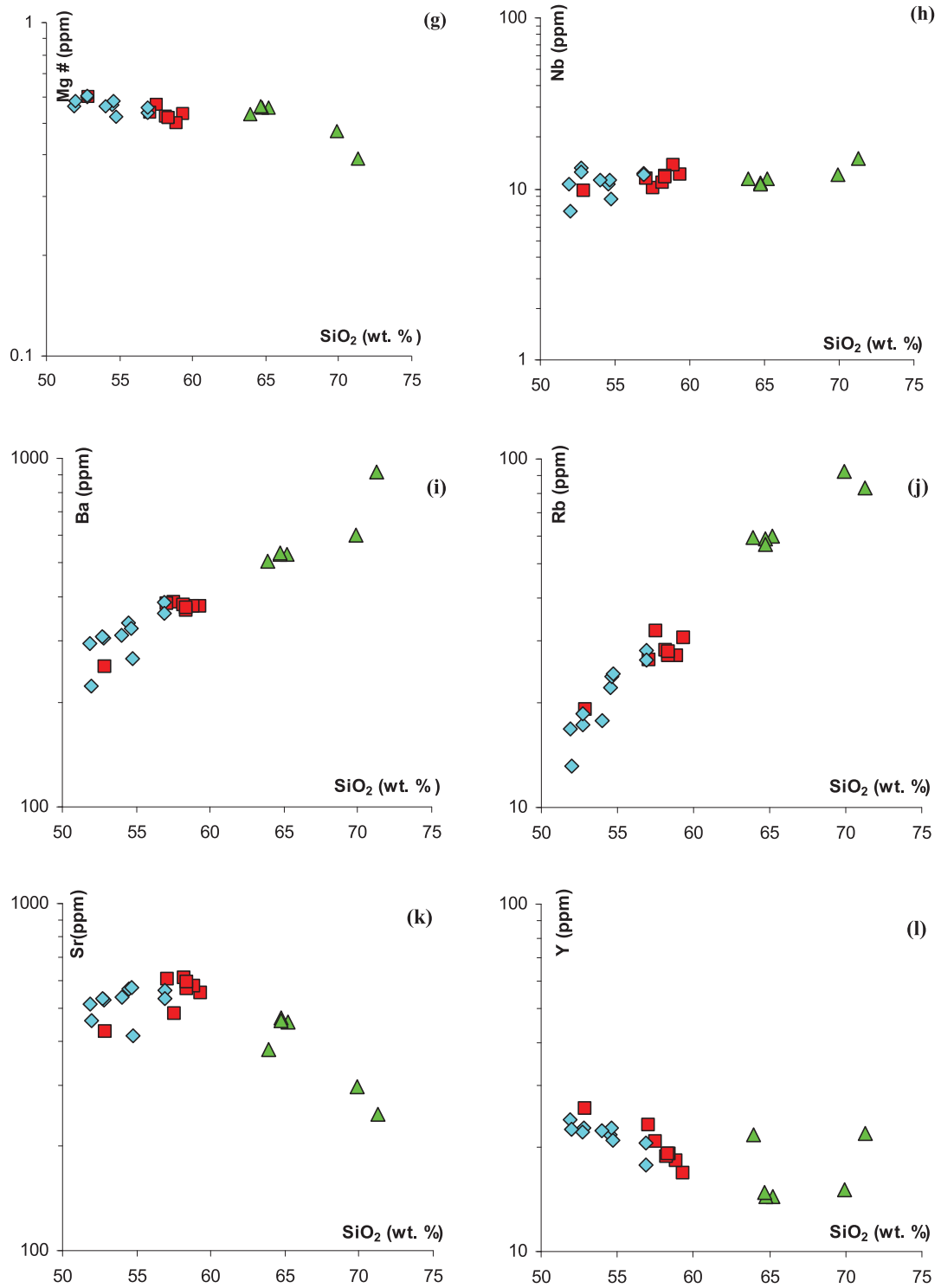


Şekil 6. Volkanizmanın üç evresine ait temsilci lavların N-Tipi MORB'a göre normalize edilmiş multi element paternleri (element sırası: Pearce ve diğ., 1990 ile aynıdır) ve Sun ve McDonough (1989)'un Kondrit değerlerine normalize Nadir Toprak Element (NTE) diyagramları.

Figure 6. N-Type Normalized multi-element (element order is that of Pearce and et al.(1990) and REE (from Sun and McDonough, 1989) patterns of representative lavas from three stages



Şekil 7: Major oksit ve iz element Harker diyagramları.
Figure 7: Major okside and trace element Harker diagrams.



Şekil 7 (devam)
Figure 7 (continued)

FRAKSİYONEL KRİSTALLENME SÜREÇLERİNİN PETROLOJİK MODELEMESİ

Major element oksitleri ve iz element Harker diyagramlarında, her üç volkanik evre ürünleri için gözlenen genel trendlerde, bazı elementler bir takım saçılımlar göstermekle birlikte, bunlar genel olarak fraksiyonel kristallenme (FC) süreci ile uyum içindedir. FC sırasındaki iz element konsantrasyonlarının değişimi ve bu değişimlerin petrolojik anlamı, söz konusu elementlerin birbirlerine karşı iz düşürüldükleri log-log diyagramları üzerinde daha iyi incelenebilir. Bu grafiklerin en elverişli yönü, teorik ve gerçek (gözlemlenen) FC trendleri arasında bir karşılaştırmaya ve dolayısıyla petrolojik modellemeye olanak vermeleridir (Keskin ve diğ., 1998). FC modellemesinde en sık kullanılan metod, FC'ü vektörlerle ifade etmek ve bu vektörleri de diyagramlar üzerine iz düşürmektir. En sık kullanılan ise "Rayleigh" fraksiyonelleşme vektörleridir. Bu vektörlerin oluşturulmasında kullanılan formül:

$$C_L/C_0 = F^{(D-1)}$$

olarak ifade edilir. (C_L = İz elementin magma evriminin herhangi bir evresinde sıvıdaki konsantrasyonu, C_0 = İz elementin primitif başlangıç magma bileşimindeki konsantrasyonu, F = Geriye kalan ergiyik % oranı, D = Tüm kayaç ayırılma katsayısı). Her bir mineral topluluğunun herhangi bir element için tüm ayırılma katsayıları (Bulk partition coefficient: D), topluluktaki her mineralin o element için mineral-ergiyik ayırılma katsayısının (partition coefficient: K_d) o mineralin kaya içindeki % oranı ile çarpılması ve bunun farklı mineraller için yapılması ve ardından da tüm ağırlıklı değerlerin toplanması ile belirlenmiştir. Yukarıda verilmiş olan

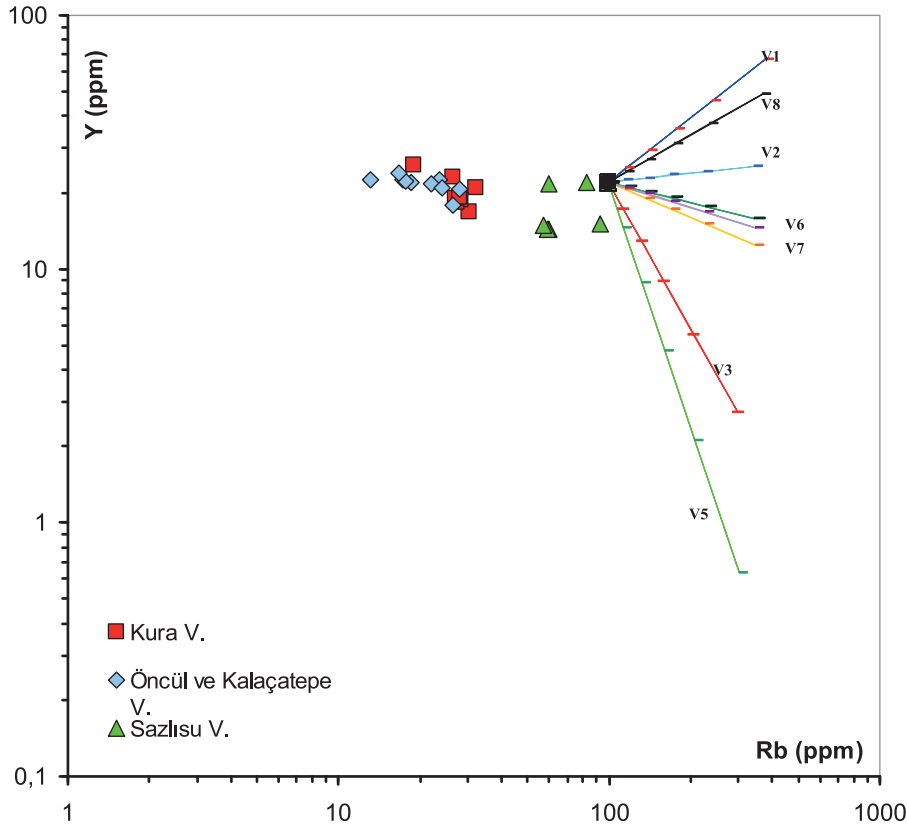
eşitlik, farklı mineral bileşimlerine ve oranlarına sahip magmalar için teorik ayırılma vektörlerinin modellenmesi ve bu teorik vektörler ile doğal örneklerin oluşturduğu trendler arasındaki ilişkinin ortaya çıkarılmasına olanak sağlar (Ayrıntılı bir tartışma ve prosesin modellenmesi ile ilgili bilgi için: Keskin, 2002). Çalışma alanı içerisinde yüzeylenen volkanitlerin jeokimyasal analizlerinden elde edilmiş sayısal veriler ile fraksiyonel kristallenme işlemini araştırmak amacıyla ilk önce bazı minerallerle uyumlu ve uyumsuz elementler arasında log-log diyagramları oluşturulmuş ve daha sonra en iyi uyumu sergileyen bu iz element çiftleri için Rayleigh fraksiyonlanma eşitliği ile Keskin

(2002)'nin FC-Modeler programı kullanılarak ayırılma vektörleri modellenmiştir.

Çalışma alanındaki üç evrenin volkanitleri için FC süreçleri, Rayleigh fraksiyonlanma vektörleri oluşturularak test edilmiştir. Şekil 8 ve 9'da verilen her bir vektör farklı mineral topluluklarının fraksiyonel kristallenme sürecini temsil edecek şekilde F 'in (F : geriye kalan magma %'si) bir fonksiyonu olarak hesaplanıp diyagram üzerine iz düşürülmüştür. Kuramsal olarak Rayleigh fraksiyonel kristallenme sürecinden etkilenmiş olan volkanik örnekler için uyumlu ve uyumsuz element çiftlerinin normal-normal eksenli diyagramlarda oluşturulabilecekleri trendler paraboliktir. Burada sunulduğu gibi eksenler logaritmik ölçeğe dönüştürüldüğünde, parabol de vektörlere dönüştürülür (Keskin, 2002). Bu vektörlerin her birinin log-log diyagramlar üzerindeki konumu hassas bir şekilde o magmaların başlarından geçen fraksiyonel kristallenme süreçlerinde hangi bileşimde magmadan hangi minerallerin hangi yüzdelerde kristallendiklerini yansıtmaktadır. Minareler-ergiyik ayırılma katsayıları her bir element için <http://earthref.org/GERM> (GERM Partition Coefficient (K_d) Database of Earth Reference Data and Models website) internet sitesinden ve Keskin (1994)'den alınmıştır. Bu çalışma kapsamında fraksiyonel kristallenmenin modellenmesinde Y-Rb ve Sr-Rb log-log değişim diyagramları kullanılmıştır. Diyagramlarda yatay eksene yüksek derecede uyumsuz element olması ve bu yüzden kristallenme sürecinde konsantrasyonun sürekli artması yüzünden indeks element olarak kabul edilmesi nedeniyle Rb elementi yerleştirilmiştir. Düşey eksene ise ilk diyagramda amfibolün etkisinin belirlenebilmesi için Y ve diğerinde plajiyoklas mineralinin etkisinin belirlenmesi için Sr elementi yerleştirilmiştir. Sr elementi plajiyoklas ile uyumludur (ortaç bileşimdeki magma için $^{Pj/Sr}K_{dsr} \sim 2.6$) ve uyumluluk derecesi ve dolayısıyla K_d değeri magma evrimleştikçe artar. Aynı şekilde Y elementi de amfibol ile uyumludur ve magma evrimleştikçe K_d değeri artmaktadır. Ortaç bileşimli magmalar için $^{Amp/Sr}K_{dy} \sim 3$ 'dür. Bunlarla beraber Rb için ortaç bileşimde magma için $^{Pj/Sr}K_{dRb} \sim 0.13$ ve $^{Amp/Sr}K_{dRb} \sim 0.13$ 'dür. Diyagramlar üzerine modellenerek iz düşülen her bir vektörel eğilimin başlangıç noktasının ne olduğu önemli değildir, zira vektörlerin geometrik konumları (açıları) ve boyları bu tür diyagramlarda başlangıç bileşiminden bağımsız ve sabittir (vektörlerin modellenmesinin teorisi ve ayrıntılı açıklaması, FC-Modeler adlı yazılım ile birlikte Keskin, 2002'de verilmektedir). Şekil 8'de

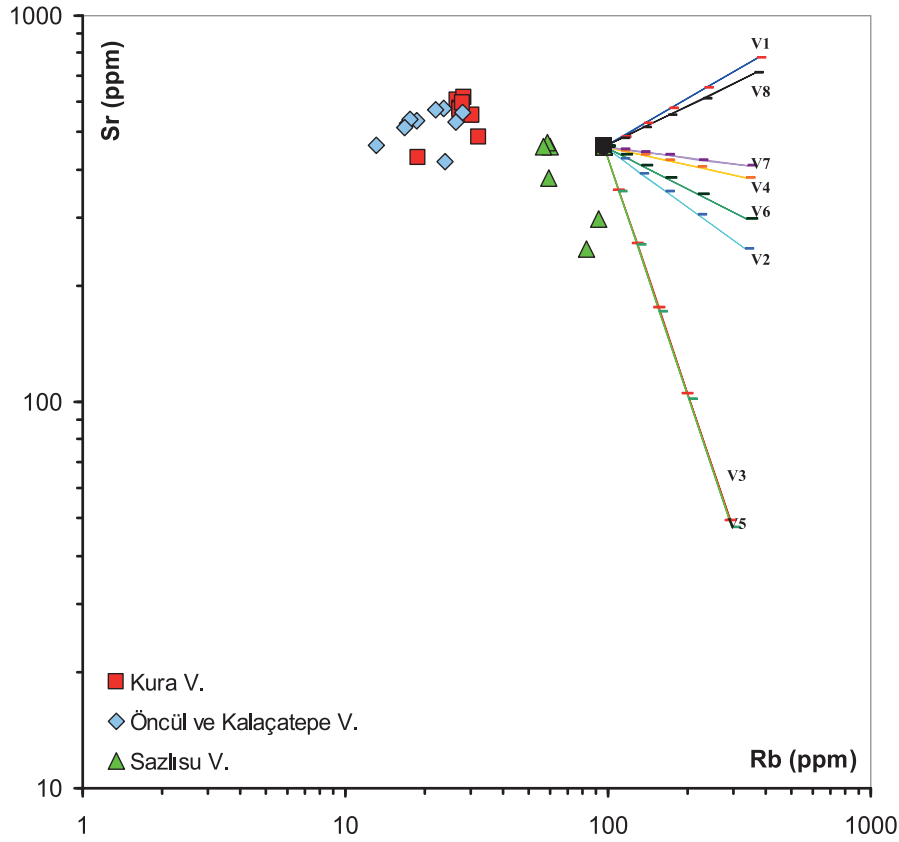
verilmiş olan Rb-Y diyagramı incelendiği zaman ise her üç evre volkanitlerinin Y konsantrasyonlarının Rb arttıkça tedricen azaldığını yani negatif gradyanı olan bir trendin ortaya çıktığı görülmektedir. Diyagram üzerinde (B) Bazik, (I) ortaç, (A) asit bileşimden ve farklı minerolojik kombinasyondan oluşan 8 ayrı fraksiyonel kristallenme vektörü modellenmiştir. Bu negatif trend üzerinde yer alan veri noktalarının, modellenen Rayleigh fraksiyonel kristallenme vektörleri arasında en çok V_6 ve V_7 'ye uygun eğilim gösterdikleri görülmektedir.

V_6 ve V_7 vektörlerine uygun olarak gözlenen üç evre volkanizmasındaki negatif eğilim, sulu minerallerden amfibolün az oranlarda kristallenmesi ile açıklanabilir (bu elementlerin kullanıldığı modeller daha önce Pearce ve diğ., 1990 ve Keskin ve diğ., 1998 tarafından Doğu Anadolu volkanizmasının EKVP ve diğer volkanik alanları için kullanılmıştır ve negatif gradyanlı trendler düşük-Y serisi olarak isimlendirilmiştir). Şekil 9'de verilmiş olan Rb-Sr diyagramı incelendiği zaman, veri noktalarının iki ayrı davranış sergilendiği



Şekil 8: Çalışma alanının volkanik birimleri arasında Y iz elementinin davranışındaki değişimleri gösteren Rb'a karşı Y log-log diyagramı. Faz Kombinasyonları: V_1 : Plg₅+Opx₂+Cpx₂₅+Olv₀₅ (B); V_2 : Amp₂+Plg₅+Opx₀₅+Cpx₂+Olv₀₅ (I); V_3 : Amp₂+Plg₄+Opx₁₅+Cpx₂₀+Olv₀₅ (A); V_4 : Amp₂₅+Plg₃₇+Opx₁+Cpx₂+Olv₀₅+Grn₀₅ (I); V_5 : Amp₂₅+Plg₄+Opx₁+Cpx₁₈+Olv₀₅+Grn₀₂ (A) V_6 : Amp₂+Plg₄+Opx₁₂+Cpx₂+Olv₀₅+Grn₀₃ (I); V_7 : Amp₂₅+Plg₃₅+Opx₁+Cpx₂+Olv₈+Grn₀₂ (I); V_8 : Amp₂₅+Plg₄₇+Opx₁+Cpx₁+Olv₀₅+Grn₀₃ (B). Amp: Amfibol; Plg: Plajiyoklaz; Opx; Ortopiroksen; Cpx: Klinopiroksen; Olv: Olivin; Grn: Granat. (B): Bazik; (I): Ortaç; (A): Asit. Kristalizasyon %75'de tamamlanacak şekilde modellenmiştir. Vektörler üzerindeki kristalizasyon aralığı işaretleri %15'e karşılık gelir.

Figure 8: Rb vs. Y log-log diagram displaying the variations among volcanic units of study area. Amp: Amphibole; Plg: Plagioclase; Opx: Orthopyroxene; Cpx: Clinopyroxene; Olv: Olivine; Grn: Garnet. (B): Basic, (I): Intermediate; (A): Acidic. Crystallization ends at 75%. Tick marks: 15%. Phase combinations are given above.



Şekil 9: Çalışma alanının volkanik birimleri arasında Sr iz elementinin davranışındaki değişimleri gösteren Rb'a karşı Sr log-log diyagramı. Faz Kombinasyonları:

V_1 : Plg₅+Opx₂+Cpx₂₅+Olv₀₅ (B); V_2 : Amp₂+Plg₅+Opx₀₅+Cpx₂+Olv₀₅ (I); V_3 : Amp₂+Plg₄+Opx₁₅+Cpx₂₀+Olv₀₅ (A);
 V_4 : Amp₂₅+Plg₃₇+Opx₁+Cpx₂+Olv₀₅+Grn₀₃ (I); V_5 : Amp₂₅+Plg₄+Opx₁+Cpx₁₈+Olv₀₅+Grn₀₂ (A)
 V_6 : Amp₂+Plg₄₅+Opx₁+Cpx₁₇+Olv₀₅+Grn₀₃ (I); V_7 : Amp₂₅+Plg₃₅+Opx₁+Cpx₂+Olv₈+Grn₀₂ (I);
 V_8 : Amp₂₅+Plg₄₇+Opx₁+Cpx₁+Olv₀₅+Grn₀₃ (B). Amp: Amfibol; Plg: Plajiyoklaz; Opx: Ortopyroksen; Cpx: Klinopyroksen; Olv: Olivin; Grn: Granat. (B): Bazik; (I): Ortaç; (A): Asit Kristalizasyon %75'de tamamlanacak şekilde modellenmiştir. Vektörler üzerindeki kristalizasyon aralığı işaretleri %15'e karşılık gelir.

Figure 9: Rb vs. Sr log-log diagram displaying the variations among volcanic units of study area. Amp: Amphibole; Plg: Plagioclase; Opx: Orthopyroxene; Cpx: Clinopyroxene; Olv: Olivine; Grn: Garnet. (B): Basic, (I): Intermediate; (A): Acidic. Crystallization ends at 75%. Tick marks: 15%. Phase combinations are given above.

gözlenmektedir. İlki özellikle 2. evre volkanizmasına ait olan Öncül ve Kalaçatepe volkanitlerinin bazik lavlarına ait veri noktalarının izledikleri hafif pozitif trend, diğeri ise 1. ve 3 evre volkanizması ürünleri olan Kura ve Sazlısu volkanitlerine ait ortaç, asidik lavlara ait veri noktalarının gösterdiği negatif gradyana sahip trend. V_1 , V_7 ve V_8 vektörleri ilk trende uyumlu görülmektedir. Ancak V_1

amfibolsüz bazik bir magmayı modellerken, V_7 ve V_8 'in daha uygun olabileceği görülmektedir. Negatif gradyana sahip trend ise ortaç bileşimdeki

magmanın modellendiği V_2 ve V_6 vektörlerine daha uyumludur. Bu vektörlerin her birine ait faz kombinasyonları yani mineral yüzde oranları, şekillerin altında verilmiştir.

SONUÇLAR

Kuzeydoğu Anadolu'da bulunan Erzurum-Kars Volkanik Platosu, çarpışma kökenli volkanizmanın dünyada en iyi görüldüğü alanlardan biridir. Bu makalenin konusunu oluşturan EKVP'nin kuzeydoğu kenarını oluşturan çalışma alanı, çarpışma kökenli volkanik birimlerin plato üzerindeki en iyi kesitlerden birini içermektedir.

Çalışma alanında Üst Miyosen'den Kuvaterner'e kadar ki zaman aralığında meydana gelen volkanizmanın üç evrede aktivite gösterdiği anlaşılmıştır. Volkanizmanın ilk evresini Kura kanyonu içerisinde platonun taban düzeyini oluşturan, yaşlı Aktimur ve diğ. (1991)'e göre Üst Miyosen-Alt Pliyosen olan Kura volkaniti meydana getirmektedir. Tabanda aglomeralar ile başlayan istif, plajiyoklas-piroksen andezit lav düzeylerinin ardalanmasından oluşmuştur. Volkanizmanın ikinci evresi ise Pliyosen dönemine karşılık gelmektedir. İkinci evreyi oluşturan iki birim ayrılmıştır. Birinci faz Kars platosu morfolojisini oluşturan bazaltik, bazaltik andezitik ve bazaltik trakiandezitik bileşimli, monoton görünüşlü ve plajiyoklas, piroksen ve olivin fenokristallerince zengindir ve bu çalışmada Öncül volkaniti olarak adlandırılmıştır. İkinci Evre'nin ikinci fazını ise Öncül volkaniti ile hemen hemen aynı petrografik ve jeokimyasal özellikleri gösteren ancak onun oluşturduğu geniş plato üzerinde oturan küçük volkan konileri ve lav çıkışları oluşturur. Bu çalışmada Kalaçatepe volkaniti olarak isimlendirilmiştir. Volkanizmanın birinci ve ikinci evresi ile yanal geçişli olarak Pliyosen yaşlı göl ve akarsu ortamında oluşmuş, çakıldaş, kumtaşı, çamurtaşı, kıltaşı-marn ardalanmasından oluşan sedimenter birim, Kalkalkale Formasyonu'dur. Çarpışma ile ilişkili volkanizmanın son evresini Üst Pliyosen-Alt Pleyistosen yaşlı Sazlısu volkaniti oluşturur. Plato üzerinde sırtlar ve domlar olarak görülen birim, çoğunlukla porfirik dokulu ve başlıca plajiyoklas ve piroksen kristallelerinden oluşan andezitik, dasitik ve riyolitik lavlardan meydana gelmiştir. Volkaniklerin tektonik ayırım ve sınıflama diyagramları, bunların kalkalkali volkanik yay bazaltı alanları ve çarpışmayla ilişkili volkanik yay alanlarına iz düştüklerini göstermektedir. Ana, iz ve REE element analizleri her 3 volkanik evre içinde HFSE elementlere göre LIL ve LRE elementlerce zenginleşme sergilemektedir. Bu veri her üç volkanik evrenin yitim bileşeni içerdiğine işaret etmektedir. Ayrıca her üç evrenin ürünlerinde kalkalkali karakterli oldukları görülmektedir. Ana oksit

ve iz element Harker diyagramlarında ki eğilimlere bakıldığında fraksiyonel kristallenme proseslerinde olivin, piroksen (yaygın olarak klinopiroksen, az olarak ortopiroksen), plajiyoklas, amfibol minerallerinin egemen kristallenme mineralleri olduğu görülmüştür.

EKVP'nin genelinde görülen Düşük-Y serisi trendi, çalışma alanındaki her üç volkanik evredeki lavlarda da görülmektedir. Çalışma alanındaki volkaniklerde FC (fraksiyonel kristallenme) en önemli magmatik procestir. Bu proceste Y'un yansıttığı amfibol kristallenmesi ve Sr'un yansıttığı plajiyoklas kristallenmesinin önemi büyüktür. Rayleigh fraksiyonel kristallenme vektör modellemelerinden elde edilen sonuçlar, daha önce petrografik gözlemler ve jeokimyasal trendlerin yorumu ile elde edilmiş olan mineral kombinasyonları, yani olivin, piroksen, plajiyoklas, amfibol ve çok az oranda granatın magmadan kristallenmeleri ile uyum içindedirler.

TEŞEKKÜR

Yazarlar makale hakkında değerli görüşlerinden dolayı Prof.Dr. Timur USTAÖMER, Prof. Dr. Ş. Can GENÇ, Prof. Dr. Zekiye KARACIK, Prof. Dr. Ercan ALDAMAZ, Doç. Dr. Ömer Faruk ÇELİK, Yard.Doç.Dr. Namık AYSAL'a teşekkür ederler. Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje no:16732

SUMMARY

The Erzurum-Kars Plateau (EKP) comprises one of the best exposed transects across a collision-related volcanic province in Eastern Anatolia. This part of the EKP includes a complete record of volcanism from almost Middle Miocene to Quaternary (Keskin et al., 1998). The EKP consist of a thick sequence of collision-related volcanism, reaching up 1 km in thickness. Volcanic products across the EKP display a wide compositional range from basalts to rhyolites. Our field observations revealed that the magmas reached to the surface through volcanic vents and fissures. Moreover, its well-studied tectonic setting provides a basis for evaluating possible causal links between magmatism and tectonics in collision zones (Keskin et al., 1998). The study area contains a complete record of volcanism from Upper Miocene to Quaternary. During our research on the EKP we covered an area of almost 300 km² around Town of

Çıldır and its villages. We studied the whole area, mapped the volcanic and sedimentary units and collected samples. In terms of its tectonic setting, The Eastern Anatolia region is located over the Africa-Eurasia collision zone between the Arabian foreland in the SW and the Lesser Caucasus in the NE. The EKP exhibits a plateau morphology lying over 2000 m above sea level. Even though there is a slight spatial change in geochemical character of volcanic units across in the study area, the volcanic units persistently display a calc-alkaline character with a distinct subduction signature. They display a wide compositional range from basalts to rhyolites. Geotectonic discrimination diagrams indicate that all volcanic samples plot into the fields for volcanic arc basalts and syn-collisional lava areas.

We differentiated the volcanics into three units corresponding to three volcanic stages on the basis of their volcano-stratigraphic position as well as their chemical characteristics. From oldest to youngest, these are: (1) The First Stage Kura Volcanics (Upper Miocene-Lower Pliocene), (2) The Second Stage Öncül and Kalaçatepe Volcanics (Lower Pli-

ocene-Upper Pliocene), and (3) The Third Stage Sazlısu Volcanics (Upper Pliocene-Lower Pleistocene). Petrographical observations, which are consistent with the findings from the major- and trace –element diagrams, indicate that lavas of the Early and Late Stages contain both anhydrous and hydrous crystallization assemblages in contrast to the Middle Stage lavas consisting predominantly of anhydrous mineral assemblages such as olivine, pyroxene and plagioclase. Although trace element diagrams imply the existence of amphibole crystallization, this particular hydrous mineral is absent in thin sections of these lavas. This may be due to resorption of that particular mineral as first suggested by Lambert et al. (1974), and later supported by Pearce et al. (1990) and Keskin et al. (1998 and 2006). All these findings indicate that FC is the most important process in the magma chamber evolution of the studied NE part of the EKP. Variations of lava series on both Rb-Y (i.e. implying FC of amphibole) and Rb-Sr (i.e. implying FC of plagioclase) diagrams support this interpretation

Tablo 1: Örneklerin jeokimya analiz sonuçları. (LOI: Ateşte su kızdırma kaybı, Sum : Toplam; A: Andezit; B: Bazalt; BA: Bazaltikandezit; BTA: Bazaltik trakiandezit; D: Dasit; R: Riyolit)

Table 1: Results of geochemistry of samples. (LOI: Loss In Ignation; Sum: Total; A: Andesite; B: Basalt; BA: Basalticandesite; BTA: Basaltic trachyandesite; D: Dacite; R: Rhyolite)

Örnek No	11 CL 8	11 CL 9	11 CL 10	11 CL 11	11 OD 35	11 OD 36	11 OD 43	11 OD 47	11 CL 1
Formasyon	Kura	Kura	Kura	Kura	Kura	Kura	Kura	Kura	Öncül
Sınıflandırma	BA	A	A	A	A	A	A	A	BA
Boylam (38 T)	344033	343567	343501	343363	344537	344406	343528	343492	346229
Enlem	4568057	4568026	4568221	4568298	4567632	4567771	4568231	4568413	4566919
SiO ₂	52.91	59.35	58.87	58.40	57.56	57.11	58.22	58.38	52.76
TiO ₂	1.58	0.96	1.06	1.04	1.05	1.24	1.03	1.04	1.33
Al ₂ O ₃	16.09	17.86	18.27	17.83	16.87	17.92	17.82	17.81	16.86
Fe ₂ O ₃	9.72	6.20	6.37	6.80	6.98	6.84	7.00	6.82	9.01
MnO	0.15	0.09	0.08	0.10	0.14	0.09	0.11	0.09	0.14
MgO	6.36	3.14	2.84	3.27	4.09	3.52	3.43	3.28	5.92
CaO	7.94	6.48	6.48	6.59	7.73	7.16	6.61	6.58	8.54
Na ₂ O	3.81	4.02	4.32	4.16	3.76	4.29	4.05	4.25	3.85
K ₂ O	1.19	1.67	1.47	1.54	1.62	1.52	1.52	1.46	1.24
P ₂ O ₅	0.30	0.30	0.33	0.32	0.25	0.36	0.33	0.33	0.38
LOI	0.2	1.7	1	0.6	2.6	1.3	1.1	1.2	0.7
Sum	100.06	100.1	100.1	100.07	100.09	100.07	100.14	100.07	100.06
Co	38.8	19.4	19	20	28.5	21.1	22.8	20.8	34.1
Cr	164.21	34.21	20.53	20.53	68.42	34.21			129
Ni	91.4	12.2	9.6	9.6	42.5	22.9	12.3	13.9	98.6
Rb	19	30.5	27.3	27.2	32	26.6	28.3	27.9	17.3
Sr	428	554.2	577.3	569.6	482.9	603.5	611.6	593.8	525.6
Y	25.7	16.8	18.3	19	20.8	23	18.8	19.1	22.6
Nb	9.7	12.2	13.7	11.8	10.1	11.5	10.9	11.6	13.2
Ba	252	376	374	366	385	384	378	371	304
Cs	0.3	0.7	0.6	0.7	0.7	0.3	0.7	0.5	0.4
La	17.7	25.7	26.9	26.7	22.9	27	26.9	26.8	24.1
Ce	37.4	48.4	50.5	50.4	40.4	49.1	48.1	49.3	47.6
Pr	4.7	5.31	5.55	5.51	4.58	5.57	5.4	5.18	5.26
Nd	20.8	17.8	19.2	20.4	18.4	23.5	20.1	19	20.6
Sm	4.66	3.76	3.81	3.79	3.76	4.31	3.61	3.69	4.59
Eu	1.44	1.16	1.23	1.2	1.23	1.34	1.23	1.24	1.36
Gd	4.93	3.53	3.49	3.97	4.05	4.26	3.84	3.64	4.57
Tb	0.86	0.6	0.61	0.62	0.63	0.69	0.6	0.62	0.71
Dy	4.44	3.05	3.71	3.25	3.49	3.76	3.27	3.53	4.23
Ho	1.01	0.74	0.75	0.73	0.84	0.87	0.66	0.62	0.85
Er	2.73	2.12	2.08	1.9	2.2	2.01	1.91	1.94	2.61
Tm	0.43	0.24	0.29	0.3	0.34	0.36	0.29	0.3	0.41
Yb	2.34	1.84	1.85	1.74	2.01	1.96	1.64	1.65	2.7
Lu	0.41	0.28	0.3	0.25	0.31	0.29	0.31	0.31	0.38
Hf	4.1	3.2	4.2	4.1	3.7	3.9	3.8	3.4	3.6
Ta	0.4	0.6	0.6	0.5	0.4	0.6	0.6	0.5	0.5
Pb	0.4	1	1.4	0.9	0.7	0.7	0.6	1.8	0.7
Th	3.1	4.3	4.7	4.2	4.7	4.3	4.1	4.1	3.1
Zr	174.6	146.9	154.1	153	147.3	165.7	154.5	148.3	155.4
Mg#	0.6	0.53	0.50	0.52	0.57	0.54	0.52	0.52	0.60

Tablo 1 devam
Table 1 continued

Örnek No	11 CL 2	11 OD 02	11 OD 03	11 OD 13	11 OD 12	11 OD 08	11 OD 09	11 OD 10B	11 OD 133
Formasyon	Öncül	Öncül	Öncül	Öncül	Öncül	Kalaçatepe	Kalaçatepe	Kalaçatepe	Kalaçatepe
Sınıflandırma	BTA	BA	BA	BA	BA	BA	TB	BA	B
Boylam (38 T)	346095	344116	344116	343882	343884	343750	343625	343437	341292
Enlem	4567002	4557685	4557685	4558315	4558325	4559231	4561777	4563480	4568306
SiO ₂	52.75	56.92	56.93	54.51	54.63	54.02	51.87	54.72	51.99
TiO ₂	1.33	1.05	1.08	1.26	1.27	1.25	1.48	1.36	1.48
Al ₂ O ₃	17.03	17.16	17.36	17.13	17.10	16.64	16.71	16.49	16.62
Fe ₂ O ₃	9.01	7.39	7.46	8.52	8.26	8.77	9.83	9.05	10.05
MnO	0.14	0.11	0.09	0.12	0.11	0.14	0.16	0.16	0.18
MgO	6.05	3.83	4.14	4.98	5.14	5.00	5.60	4.35	6.15
CaO	8.20	7.77	7.22	7.81	7.78	8.70	8.94	8.42	8.53
Na ₂ O	3.86	4.07	4.03	4.04	4.07	3.98	3.98	3.79	3.86
K ₂ O	1.29	1.47	1.44	1.29	1.30	1.19	1.12	1.41	0.89
P ₂ O ₅	0.38	0.32	0.33	0.35	0.35	0.34	0.38	0.27	0.30
LOI	0.2	1.2	1.3	1.2	0.7	1.8	1.4	2.3	1.2
Sum	100.1	100.1	100.1	100.0	100.0	100.1	100.1	100.1	100.1
Co	34.7	23.8	24.3	27	29.2	33.2	32.5	32	36.5
Cr	136.84	75.26	95.79	109.47	102.63	102.63	88.95	136.84	123.16
Ni	98.2	38.8	21.9	38.3	34.1	79.1	123.4	90.2	85.8
Rb	18.6	28.1	26.4	22	23.7	17.7	16.8	24.1	13.1
Sr	532.9	560.1	531.1	569	573.5	539.5	514.2	417.3	461.4
Y	22	20.6	17.8	21.6	22.6	22.2	23.9	20.9	22.4
Nb	12.6	12.4	12	10.6	11.3	11.3	10.7	8.8	7.4
Ba	309	385	358	338	325	311	294	265	222
Cs	0.2	0.6	0.3	0.3	0.6	0.2	0.4	0.6	0.1
La	23.8	26.4	24	24	24.1	21.8	20.4	17.2	17
Ce	46.9	48.7	43.4	46.3	45.5	44.4	42.2	38.2	34.1
Pr	5.23	5.31	4.83	5.15	5.19	4.87	4.97	4.28	4.2
Nd	18.8	19.8	18.2	19.8	16.9	20.1	20	17.4	17.9
Sm	4.66	4.13	3.57	4.3	4.12	4.05	4.24	3.62	4.04
Eu	1.36	1.28	1.17	1.37	1.31	1.36	1.37	1.19	1.32
Gd	4.35	3.95	3.8	4.23	4.14	4.15	4.61	4.07	4.47
Tb	0.74	0.64	0.61	0.68	0.68	0.69	0.8	0.67	0.72
Dy	3.77	3.67	3.47	3.54	3.95	3.44	4.44	3.47	3.62
Hb	0.91	0.75	0.73	0.79	0.83	0.9	0.92	0.87	0.84
Er	2.46	2.06	1.85	2.32	2.29	2.35	2.6	2.32	2.31
Tm	0.36	0.29	0.3	0.34	0.33	0.35	0.41	0.35	0.36
Yb	2.37	2.23	1.65	2.31	2.27	2.22	2.85	2.13	2.11
Lu	0.37	0.29	0.26	0.31	0.31	0.34	0.34	0.34	0.36
Hf	4	4	3.8	4	3.3	3.7	4	3	2.9
Ta	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.6
Pb	0.5	0.6	0.9	0.5	0.4	0.7	0.8	0.4	0.9
Th	3.3	3.9	3.7	3.6	3.2	3.2	2.6	3.4	2.7
Zr	150.3	151.8	149	158.9	158.2	152.6	167.5	163.3	148.5
Mg#	0.60	0.54	0.55	0.57	0.58	0.56	0.56	0.52	0.58

Tablo 1 devam
Table 1 continued

Örnek No	11 OD 113	11 OD 114	11 OD 57	11 OD 140	11 OD 144	11 OD 138
Formasyon	Sazlısu	Sazlısu	Sazlısu	Sazlısu	Sazlısu	Sazlısu
Sınıflandırma	D	D	D	R	D	D
Boylam (38 T)	341283	341806	338679	339950	340853	336379
Enlem	4550875	4551217	4550815	4550840	4552802	4564415
SiO ₂	65.21	64.72	69.90	71.30	64.70	63.91
TiO ₂	0.43	0.61	0.62	0.38	0.62	0.76
Al ₂ O ₃	16.04	16.35	15.17	14.98	16.25	16.08
Fe ₂ O ₃	4.36	4.46	3.09	2.60	4.47	5.10
MnO	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08
MgO	2.43	2.50	1.24	0.74	2.52	2.57
CaO	4.87	4.94	3.21	2.37	4.97	4.91
Na ₂ O	3.83	3.87	3.73	4.09	3.89	3.95
K ₂ O	2.42	2.35	3.22	3.41	2.36	2.42
P ₂ O ₅	0.13	0.19	0.20	0.15	0.21	0.20
LOI	1	1	2.1	2.4	1.3	0.8
Sum	100.0	100.1	100.2	100.1	100.1	99.99
Co	14.9	13.3	7	3.6	13.7	14.5
Cr						
Ni	5.5	14.6	6.8	3.7	9	25.4
Rb	60	58.9	92.2	82.7	56.9	59.6
Sr	457.8	467.7	297.6	248.1	458.2	378.8
Y	14.4	14.4	15	21.9	14.8	21.7
Nb	11.5	10.9	12.2	15.1	10.7	11.4
Ba	529	530	603	915	533	506
Cs	1.7	1.8	2.6	2.5	1.9	1.4
La	28	28.2	29.2	34.2	28.3	28.4
Ce	46.9	48.3	50.2	60.4	49	51.4
Pr	5.01	5.17	5.09	6.51	5.21	5.55
Nd	18.7	18	18.2	23.3	19.7	20.4
Sm	2.84	3.2	2.88	4.2	3.35	4.09
Eu	0.9	0.86	0.72	1.07	0.91	1.08
Gd	2.99	2.91	2.71	3.73	2.97	3.92
Tb	0.47	0.46	0.45	0.64	0.43	0.59
Dy	2.29	2.79	2.43	3.06	2.32	3.69
Ho	0.49	0.51	0.53	0.78	0.63	0.74
Er	1.39	1.5	1.37	2.01	1.53	2.31
Tm	0.23	0.22	0.24	0.32	0.23	0.32
Yb	1.34	1.47	1.75	2.36	1.4	2.1
Lu	0.22	0.22	0.26	0.36	0.22	0.31
Hf	3.7	3.7	4.5	4.9	3.6	4.2
Ta	0.7	0.6	1.2	1.4	0.7	0.7
Pb	0.3	0.6	0.3	0.3	0.3	0.7
Th	8.6	7.8	16.1	14.8	8.2	9.7
Zr	150	148.5	158.1	151.3	147.8	174.9
Mg#	0.56	0.56	0.47	0.39	0.56	0.53

DEĞİNİLEN BELGELER

- Aktimur, H. Tahsin, Tekirli, M. Ender, Yurdakul, M. Emin, Ürgün, B. Müfit, Ercan, T., 1991.** Ardahan-C36 Paftası, 1/100.000 Ölçekli Açınama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları, *MTA JEOLJİ ETÜDLERİ DAİRESİ RAPORU NO:39*.
- Aktimur, H. Tahsin, Tekirli, M. Ender, Yurdakul, M. ERCAN, Keçer, M., Aktimur, S., Ürgün, B. Müfit, Gürbüz, M., Can, B., Yaşar, T., 1991b.** Kars, Arpaçay ve Çıldır dolayının jeolojisi, *MTA RAPORU DERLEME NO:9257*, (yayınlanm)
- Al-lazki, A., Seber, D., Sandvol, E., Türkelli, N., Mohammad, R., Barazangi, M., 2003.** Tomographic Pn velocity and anisotropy structure beneath the Anatolian plateau (eastern Turkey) and the surrounding regions. *Geophysica Research Letter*. 30(24): 8043-8046.
- Angus, D.A., Wilson, D.C., Sandvol, E., Ni, J.F., 2006.** Lithospheric structure of the Arabian and Eurasian collision zone in Eastern Turkey from S-wave receiver functions. *Geophysical Journal of International*. 166 (3): 1335-1346.
- Duru, O. ve Keskin, M., 2012a.** Kars Volkanik Platosu'nun Doğusunun Volkano-stratigrafisi ve Petrografisi, Çıldır Kuzeyi, Ardahan. 65. *Türkiye Jeoloji Jeolji Kurultayı Bildiri Kitapçığı*, 386-387.
- Duru, O. ve Keskin, M., 2012b.** Kars Volkanik Platosu'nun Çıldır (Ardahan İli) Kuzeyindeki Kesiminin Volkano-stratigrafisi, Petrolojisi ve Kimyasal stratigrafisi. *V. Jeokimya Sempozyumu Bildiri Özleri Kitapçığı*, 239-240.
- Duru, O., 2013,** Kars Volkanik Platosu'nun Çıldır (Ardahan İli) Kuzeyindeki Bölümünün Volkanostratigrafisi, Petrolojisi ve Jeokimyası. Yüksek Lisans Tezi, 238 syf.
- Duru, O. ve KESKİN, M., 2013.** Kars Volkanik Platosu'nun Doğusunun Volkano-stratigrafisi, Jeokimyası ve Petrolojisi, Çıldır Kuzeyi, Ardahan. 66. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Kitapçığı*, 370-371.
- Gök, R., Sandvol, E., Türkelli, N., Seber, D., Barazangi, M., 2003.** Sn attenuation in the Anatolian and Iranian plateau and surrounding regions. *Geophysical Research Letter*. 30(24): 8038 -8042.
- Innocenti, F., Manetti, P., Mazzuoli, R., Pasquare, G., and Villari, L., 1982a.** Anatolia and north-western Iran, in *Andesites*, Ed. R.S. Thorpe, John Wiley & Sons.
- Innocenti, F., Mazzuoli, R., Pasquare, G., Radi-cati Di Brozolo, F., Villari, L., 1982b.** Tertiary and Quaternary volcanism of the Erzurum-Kars area (Eastern Turkey): Geochronological data and geodynamic evolution. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, (13): 223-240.
- Keskin, M., 1994.** Genesis of collision-related volcanism on the Erzurum-Kars Plateau, Northeastern Turkey. Doktora tezi, Durham Üniversitesi, Durham, İngiltere, 358 s.
- Keskin, M., Pearce, J.A., Mitchell, J.G., 1998.** Volcano-stratigraphy and geochemistry of collision-related volcanism on the Erzurum-Kars Plateau, North Eastern Turkey, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, (85): 355-404.
- Keskin, M., 2002.** FC-Modeler: a Microsoft® Excel© spreadsheet program formodeling Rayleigh fractionation vectors in closed magmatic systems. *Computers and Geosciences* (28): 919-928.
- Keskin, M., 2003.** Magma generation by slab steepening and breakoff beneath a subduction-accretion complex: An alternative model for collision-related volcanism in Eastern Anatolia, Turkey. *Geophysical Research Letter*. 30, (24): 8046-8050.
- Keskin, M., 2005.** Domal uplift and volcanism in a collision zone without a mantle plume: Evidence from Eastern Anatolia: <http://www.mantleplumes.org/Anatolia.html>
- Keskin, M., Pearce, J.A., Kempton, P.D., Greenwood, P., 2006.** Magma – crust interactions and magma plumbing in a postcollisional setting: Geochemical evidence from the Erzurum-kars volcanic plateau, Eastern Turkey. *Geological Society of America Special Paper*, (409): 475-505.
- Keskin, M., 2007.** Eastern Anatolia: A hot spot in a collision zone without a mantle plume. *GSA Special Paper*. (430): 695-722.
- Keskin, M., Genç, Ş.C., Aysal, N., Özeren, M.S., Sharkov, E.V., Lebedev, V.A., Chugaev, A., Oyan, V., Özdemir, Y., Ünal, E., Karaoğlu, Ö., Duru, O., 2013.** Arap-Avrasya kıtasal çarpışma kuşağındaki tektono-magmatik işlemler ve bunların jeodinamik önemi: Kars Platosu'ndan Arap ön-ülkesine uzanan bir jeotravers boyunca orojenik'ten anorojenik'e değişim gösteren çarpışma kökenli Senozoik volkanitlerinin jeolojik, petrolojik, jeokimyasal ve jeokronolojik incelemesi, *TÜBİTAK-RFBR 108Y222 nolu uluslararası proje raporu*, 394 syf.

- Lambert, R.S.T., Holland, J.G., Owen, P.F., 1974.** Chemical petrology of a suite of calc-alkaline lavas from Mount Ararat, Turkey. *J. Geol.* 82, 419–438.
- Pearce, J.A., Cann, J.R., 1973.** Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth and Planetary Science Letters*, 19, 290–300.
- Pearce, J.A., Beder, J.F., De Long, S.E., Kidd, W.S.F., Low, P.J., Güner, Y., Şaroğlu, F., Yılmaz, Y., Moorbath, S., Mitchell, G.J., 1990.** Genesis of collision volcanism in Eastern Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, (44): 189-229.
- Sandol, E., Türkelli, N., Barazangi, M., 2003.** The Eastern Turkey Seismic Experiment: The study of a young continent-continent collision. *Geophysical Research Letter*. 30(24): 8035-8038.
- 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.
- Şengör, A.M.C., Özeren, S., Zor, E., Genç, T., 2003.** East Anatolian high plateau as a mantle-supported, N-S shortened domal structure. *Geophysical Research Letter*. 30(24): 8043-8045.
- Şengör, A.M.C., Özeren, S., Keskin, M., Sakıncı, M., Özbakır, A.D., ve Kayan, I., 2008.** Eastern Turkish high-plateau as a small Turkish type orogen: Implications for post-collisional crust-forming processes in Turcic type orogens, *Earth sciences Reviews*, (90): 1-48.
- Topuz, G., Aalther, R., Kalt, A., Satır, M., Werner, O., and Schwarz, W.H., 2004.** Aluminous granulites from the Pular complex, NE Turkey: A case of partial melting, efficient melt extraction and crystallization: *Lithos*, v. 72, p. 183–207, doi: 10.1016/j.lithos.2003.10.002.
- Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Genç, S.C., and Sengör, A.M.C., 1997.** Geology and tectonic evolution of the Pontides, in Robinson, A.G., ed., *Regional and petroleum geology of the Black Sea and surrounding region: Tulsa, Oklahoma, American Association of Petroleum Geologists Memoir* 68, p. 183–226.
- Zor, E., Gürbüz, C., Türkelli, N., Sandvol, E., Seber, D., Barazangi, M. 2003.** The crustal structure of the East Anatolian Plateau from receiver functions. *Geophysical Research Letter*, 30(24): 8040-8044.
- Wood, D.A., 1980.** The application of a Th–Hf/Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. *Earth and Planetary Science Letters*, 50, 11–30.