

Bitlis ignimbiritinin petrografik ve jeokimyasal özellikleri

Petrographic and geochemical characters of the Bitlis ignimbirite

Ayşe Didem KILIÇ^{*1,a}, Büşra ÇAKMAK^{2,b}

¹Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 23000, Elazığ

²Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 23000, Elazığ

• Geliş tarihi / Received: 30.04.2021

• Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 01.07.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 16.07.2021

Öz

Bu çalışmada Nemrut volkanizması ürünü Bitlis ignimbiritlerin mineralojik ve jeokimyasal özellikleri ile faz ilişkileri incelenmiştir. Bitlis ignimbiriti, farklı renk ve bileşim oranına sahiptir. Mineralojik bileşimi plajiyoklaz, sanidin, anortoklaz, ojit, olivin, biyotit, hematit, kuvars ve ilmenitten oluşan piroklastik bir kayaç türüdür. Bitlis ignimbiriti volkanik yay, yay gerisi veya kıta içi alanlarda oluşan, trakit- riyolit bileşimindeki magmanın püskürmesi veya kıta içi çatlaklarda magmanın yükselimi sırasında kirlenmesi sonucu oluşur. İgnimbirit seviyeleri arasında bileşim oranı, kimyasal bileşim ve renk farklılığı vardır. Kaldera öncesi dönemi temsil eden ve başlıca pomza, kayaç parçaları, yönlü fiyammeler, sepiolitik parçacıklar ile sanidin mineraline dönüşüm gibi özellikler en az iki fazı işaret eder ve devitrikasyonda kısmen renk farklılığına sebep olur. Mineral alterasyonları ve yüksek Ba/Sr (1.48-1.92), Ba/Ta (33.0-34.6), Th/La (0.24-0.25), Ba/La (11.2-15) oranlarından ignimbiritin oluşumu sırasında veya sonrasında, metamorfizma veya kabuksal kirlenmenin geliştiğini gösterir. Bitlis ignimbiritinin jeokimyasal özellikleri kısmen küçük hacimli silisik bir volkanizmayı gösterir. Üç farklı seviye arasındaki farklılık, magmatik süreçler ve faz evreleri arasındaki zaman aralığı veya devitrikasyondan kaynaklanabilir.

Anahtar kelimeler: Anortoklaz, Devitrikasyon, İgnimbirit, İz element jeokimyası, Fe-Ti oksit, Nemrut

Abstract

In this study were investigated mineralogical and geochemical properties and phase relations of Bitlis ignimbrites being product of Nemrut volcanism. The Bitlis ignimbirite have different colors and composition ratios. Its mineralogical composition is a pyroclastic rock sequence consisting of plagioclase, sanidine, anorthoclase, augite, olivine, biotite, hematite, quartz and ilmenite. The Bitlis ignimbrite is formed as a result of eruption of magma in trachy-riolite composition formed in volcanic arcs, back-arc or intra-continental areas or contamination of magma during rising in intra-continental fracture. There are differences in component ratio, chemical composition and color between ignimbrite levels. This unit showed pre-caldera period and shows mainly pumice, rock fragments, oriented fiammes, features such as sepiolytic particles together with conversion to sanidine mineral indicate at least two phases and the devitrication partially causes color difference. Mineral alterations and high Ba/Sr (1.48-1.92), Ba/Ta (33.0-34.6), Th/La (0.24-0.25), Ba/La (11.2-15) ratios indicates metamorphism or crustal contamination post or during formation of ignimbrite. The geochemical features of the Bitlis ignimbrite partly show a small volume silicic volcanism. The discrepancy between three levels may be due to time interval between phase stages and magmatic processes or from the devitrication.

Keywords: Anorthoclase, Devitrication, Ignimbirite, Trace element geochemistry, Fe-Ti oxides, The Nemrut

^{*a} Ayşe Didem KILIÇ; adkili@firat.edu.tr, Tel: (0537) 366 71 30, orcid.org/0000-0003-3743-8631

^b orcid.org/0000-0001-7233-8797

1. Giriş

Orta Miyosende, Arap levhası ile Anadolu arasındaki kıta-kıta çarpışması sonucu gelişen Doğu Anadolu volkanizması, genellikle K-G doğrultulu açılma ve tansiyon çatlaklarına bağlı olarak volkanizma oluşumuna sebep olmuştur. Volkanizma bazalttan riyolite kadar değişen bileşimde alkali ve kalk-alkali karakterlidir. Kuzey-Güney yönlü sıkışma ve kalınlaşan kabuk, kısmi ergime ve üst mantolla karışması sonucu genç volkanizmaya sebep olur (Şengör and Kidd 1979; Aydar vd 2003; Karaoğlu vd 2005). Doğu Anadolu'da Van gölünün güneybatısında bulunan ve Nemrut volkanizmasının ilk ürünleri olan Bitlis ignimbiriti ve bazaltik lavlar bu açılma çatlakları boyunca yüzeye ulaşmış piroklastik akma birimleridir. Volkanizmada kaldera öncesi evrede, pomza ve pliniyen geri düşmeleri İlk fazı, pomza ve litik malzemelerce zengin piroklastikler ise ikinci fazı kapsar. İgnimbiritlerde kaynaşma, derecelenme ve dizilimdeki renk farklılığı devitrifikasyon kadar faz evreleri arasında aşılma süreye bağlıdır (Dávila-Harris., 2009). En son fazdan itibaren gelişen, pliniyen pomza ve kül geri düşme ürünleri geniş alanlar kaplar (Kurttaş vd., 2003; Karaoğlu vd., 2005). 90.000-30.000 yıl aralığında oluştuğu kabul edilen ve kaldera oluşumunun ilk evresinde Nemrut volkanizmasının bazaltik lavları üzerinde gelişen Bitlis ignimbiriti, bazı araştırmacılar tarafından Nemrut ignimbiriti olarak adlandırılmış ve piroklastik akma ürünü olarak tanımlanmıştır (Çubukçu vd., 2012; Ercan vd., 1990; Özdemir vd.,2006). Bu çalışmada, Bitlis ignimbiriti terimi tercih edilmiş olup, Bitlis vadisi boyunca yaklaşık 40 km uzunluk ve 30-40 metre kalınlığa sahip bu istif, Dávila-Harris (2009) tarafından doku, renk, kaynaşma, magmatik bileşenler, fenokristal türü, mineral bileşimleri bakımından farklı fazları temsil eder. Bu çalışmanın amacı, yaklaşık 62.3 km³ hacmindeki piroklastik malzemenin püskürmesi sonucu gerçekleştiği düşünülen Bitlis ignimbiritinin farklı renk, mineralojik bileşim ve bileşen oranlarını mineralojik ve petrografik incelemelerle ortaya çıkartmaktır.

2. Analitik yöntemler

Bitlis ignimbiritini temsil eden ve ignimbiritin farklı renk seviyelerinden alınan 23 adet kayaç örneğinin ince kesitleri, Fırat Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği laboratuvarında hazırlanmış ve örneklerin petrografik adlanması, doku ve mineral bileşimleri belirlenmiştir. Petrografik incelemeler sonucu seçilen 12 örnek, jeokimyasal analizler için LA-ICPMS yöntemi kullanılması tercihiyle

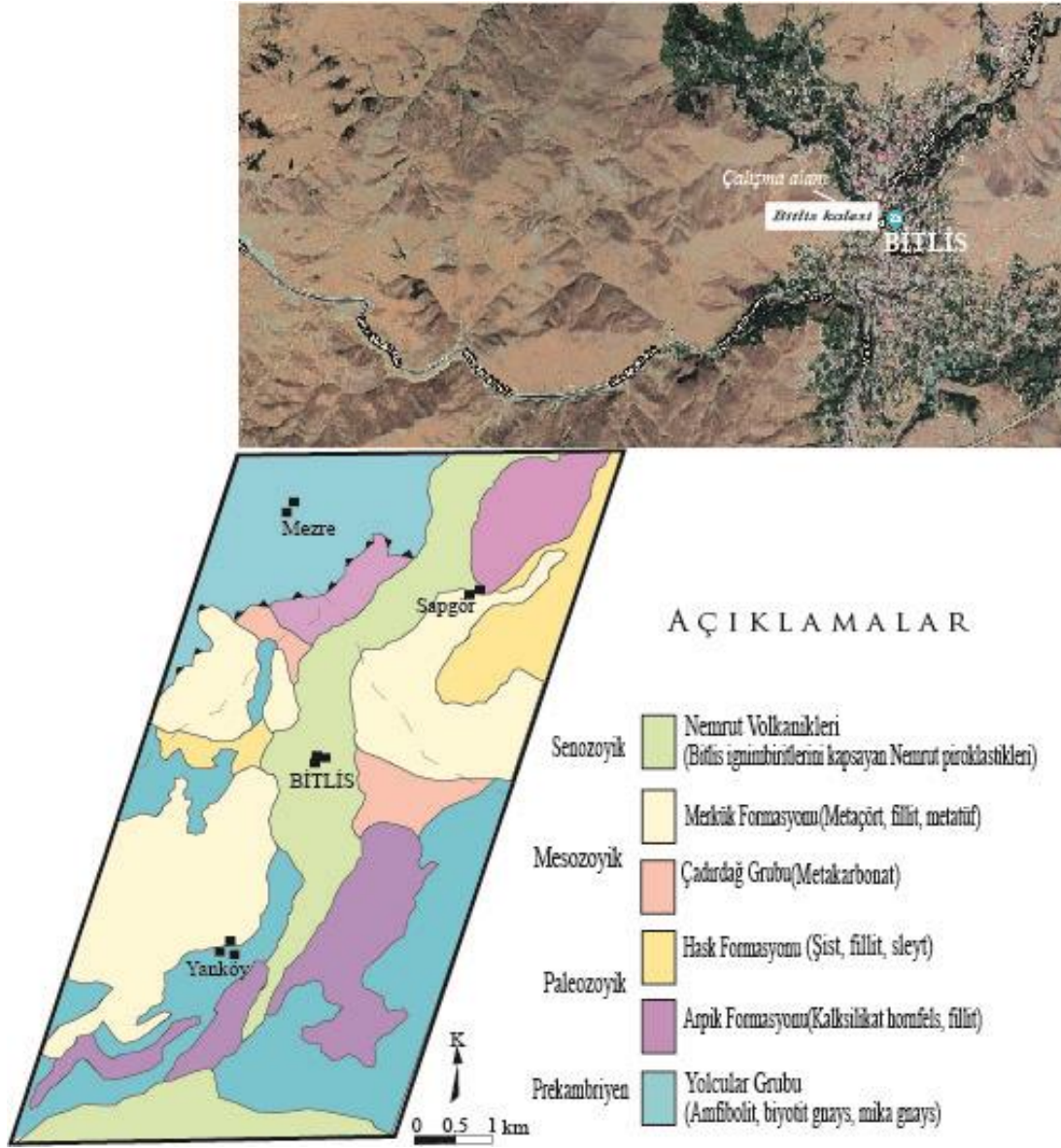
ACME laboratuvarına iletilmiştir (Tablo 1). Major, iz ve nadir toprak elementler 1150 °C'de platin-altın krozeyle 1/5 oranında numune ve lityumtetraborat (Li₂B₄O₇) katılarak elde edilmiş ve cam pelletlerde LA-ICP-MS tekniği ile ölçülmüştür.

Piroklastik malzemenin tane boyunun son derece küçük olması ve bileşenlerinin belirlenememesi nedeniyle, X-ray floresans analizi Ankara Üniversitesi Yerbilimleri Araştırma ve İnceleme merkezinde yapılmıştır. Toz haline getirilen kayaç örnekleri kimyasal analizler için, Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Mineraloji ve Petrografi Araştırma Laboratuvarında "Spectro XLAB 2000 PEDXRF (Polarized Energy Dispersive XRF)" cihazı kullanılarak incelenmiştir. Volkanik kayaçlar (andezit, riyolit, baalt) için USGS'in oluşturduğu standartlar kullanılarak kalibre edilmiştir

3. Bulgular

3.1. Jeoloji

Kuzey-güney doğrultusunda aktif sıkışma rejimi etkisinde yeralan Doğu Anadolu Bölgesi volkanitleri, Pleyistosen-Kuvaterner dönemleri arasında yaygın volkanik faaliyetler sonucu farklı bileşim ve türde kayaç topluluklarından oluşur. Orta Miyosende Arap plakası ile Anadolu plakası arasındaki kıta-kıta çarpışması ile başlayan bu volkanik faaliyet, Neotektonik dönemde K-G doğrultulu açılma çatlaklarına bağlı olarak gelişen volkanik çıkış alanları oluşturur. Genel olarak, alkali ve kalk-alkali karakterli volkanik kayaçlar, bazalttan riyolite kadar değişen bileşimlere sahiptir. Neotektonik dönemden günümüze kadar devam eden sıkışma, kıtasal kabuğun kalınlaşmasına ve gelişen çatlaklardan kısmi ergime ve alttaki üst manto ile karışım sonucunda oluşan yeni malzemenin, yükselerek daha genç yaşlı değişik bileşimli volkanik kayaçların oluşmasını sağlar (Şengün vd., 1991; Şaroğlu vd., 1984,1986; Şengör vd.,1980; Buket vd., 1998). Bitlis ignimbiritinin kaynağı olan Nemrut volkanı, astenosferik manto üzerinde yeralan yığılma prizması ile temsil edilir (Candan vd., 2011). Volkanik kayaç çeşitliliği ve piroklastik malzemenin geniş alanlara yayılımı, 30-40 metre kalınlığa sahip farklı renk ve kaynaşma gösteren piroklastik bir istifin gelişmesine de sebep olmuştur (Şekil 1).



Şekil 1. İnceleme alanı yerbulduru ve jeoloji haritası (Şengün, 1991'den değiştirilerek)

3.2. Mineraloji-petrografi

Bitlis ignimbiritinin geniş yayılım gösterdiği Bitlis vadisinde yapılan arazi çalışmaları ve elde edilen mineralojik ve petrografik bulgular koyu gri, pembe ve bej renkli seviyeler arasında önemli farklılıklar olduğunu göstermiştir (Şekil 2). Bu farklılıklar, kısmen mineral içeriği daha çok bileşen oranları, renk farklılığı ve tane bağlanma derecesidir.

Volkanik yay, yay gerisi veya kıta içi alanlarda, fonolit, trakit ve riyolit bileşimli magmaların Yükselme sırasında kısmen kirlenmesi veya magma kimyası bu farklılıklara sebep olabilmektedir (Freundt ve Schmincke, 1995).

Petrografik incelemelerde, kısmen camsı, koyu gri-siyah renk ve iyi kaynaşmış homojen bir yapıya

sahip alt seviye, kırmızımsı-pembe renkli, daha fazla fiamme içeren orta seviye ve soluk sarımsı renk gösteren daha az kaynaşmış, litik bileşenler ve kısmen veziküler yapılu üst seviye olarak üç seviyeden oluşur. Kaynaşma derecesi üst seviyeden alt seviyeye doğru artarken, litik/püms parçaları, fiamme ve kayaç parçalarının şekli alttan üste doğru artar (Şekil 2) (Kılıç ve Çakmak, 2019; Riehle, 1973; Koralay ve Kadioğlu, 2008). Kaynaşma ve sıkılaştırma camsı kırıntılarının viskoz deformasyonu sonucu oluşur (Koralay ve Kadioğlu, 2008). Özellikle alt seviye ile orta seviye geçişlerinde, elipsoidal litik parçalar (metamorfik ve volkanik kayaçlar), beyazımsı fibroz püms parçacıkları ve kısmende yassılaştırma azalır. Bitlis ignimbiriti, relikt perlitik, hyaloporfirik veya ötakstitik doku (yassılaştırma fiammeler) gösteren alt seviye, ötakstitik ve trakitik dokuya sahip orta seviye ve veziküler dokuya sahip üst seviyeden

oluşur. Bu seviyeler arasındaki farklılık; Renk, kaynaşma derecesi, magmatik süreçler ve sulu akışkanlardan kaynaklanabilir. Kayaç parçaları ve litik parçacıkların şekli, fiammeler, yoğunluk ve yassılaşıma dereceleri bakımından seviyeler arasında kısmen farklılık olmasına rağmen mineral içeriği tüm seviyelerde benzerdir. Akma bantlarına paralel gelişmiş fiammeler ve kısmen yönlenmiş fenokristaller yüksek viskoziteyi yansıtmaktadır. Ayrıca, istifin tabanına yakın kesimlerde bileşenlerin yönel dokusu azalmıştır. Genel mineral bileşimlerine bakıldığında, ojit, olivin, anortoklaz, sanidin, biyotit, ilmenit ve kuvars görülür (Şekil 2C). Hematit, kuvars ve anortoklaz hem kristal şeklinde hem de hamur malzemesi içerisinde mikrolitler şeklindedir.

Orta seviyedeki belirgin kırmızımsı-pembe rengin doğrudan hamur içerisindeki yaygın demiroksitli/hidroksitli bileşenlerden kaynaklandığı düşünülmese de, yüksek demiroksit/hidroksit miktarının belirlenmiş olması, kısmen etkilenmeyi desteklemektedir. Kayaç parçaları içerisinde metamorfik kayaç parçalarının da bulunması, piroklastiklerin tabanından kopardıkları parçaları akma sırasında bünyelerine almalarından ve kısmen düşük sıcaklıkta değişime uğratmalarından kaynaklanabilir. Orta seviyede bu parçacıkların oranı diğer seviyelere göre yüksektir.

Pomza, kayaç parçaları ve volkan külleri pliniyen pomza geri düşmeleri yani, kaldera oluşumunun ilk fazında, fiammeler-kayaç parçacıkları ve matris içerisindeki yassılaşımış ve yönlü sanidin mineraline dönüşüm ise faz iki aşamasında gelişmiş olabilir. İkinci faz aynı zamanda devitrifikasyonun akma tamamlanmadan hemen önce mineral sınırları boyunca başladığı faz olmalıdır (Şekil 2 A, B).

3.3. Jeokimya

Bitlis ignimbiritinin üç farklı seviyesinden alınan 12 tane örneğe ait tüm kayaç analiz sonuçları Tablo 1 de verilmiştir. Analizi yapılan örneklerin, ana oksit analiz verilerinde SiO_2 değeri: %60-70 olup ortaç-silisik bileşimlidir. Diğer oksit bileşimlerden Fe_2O_3 (%5.08-5.76) ve MnO (%0.12-0.17) değerleri ise, üst (8,9,11,12 nolu örnekler) ve alt seviyeye (4,7,10 nolu örnekler) göre orta seviyede (1,2,3,5,6 nolu örnekler) yüksektir. Örneklerin artan SiO_2 içeriklerine rağmen MgO içeriklerindeki kısmi artış, ojitin varlığına veya fayalitik olivinin toplanmasına bağlanabilir.

Magmanın özelliklerini belirlemek için hazırlanan, A/NK-A/CNK diyagramında peralümin bileşimli olduğu ve toplam alkali ($\text{\%Na}_2\text{O}+\text{\%K}_2\text{O}$)-silis (\%SiO_2) diyagramında görüldüğü üzere ignimbirit örnekleri kalkalkale-toleyitik sınırında olup, traki-dasit alanındadır (Şekil 3). Örneklerdeki volkanik cam oldukça duraysız olup, kolaylıkla devitrifikasyona uğrayarak Kristobalit ve K-feldispat minerallerine dönüşür. Bu durum, kaynak içerisindeki K_2O içeriğinin yüksek olmasıda ignimbirit istifinin ana magma bileşimi kalkalkalen olduğunu işaret etmektedir.

Örnekler Irvine ve Baragar (1971) diyagramında traki-dasit alanında yer alır (Şekil 3B). Ayrıca Peccerillo ve Taylor (1976)'ın önerdiği kalkalkalen ve toleyitik ayrımının yapıldığı ortam diyagramında, toplam alkali ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$), toplam Fe_2O_3 ve MgO üçgen diyagramında kalkalkalen alanda bulunurlar.

Analizi yapılan örnekler, Maniar ve Piccoli (1989) tarafından önerilen alümino bazlı (A/NK) ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) ve ($\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$) diyagram üzerinde değerlendirilmiş ve oranların alt seviye için 1.52-1.62, orta seviye için 1.48-1.55, üst seviye içinse 1.55-1.94 verileri peralümin özeliği işaret eder.

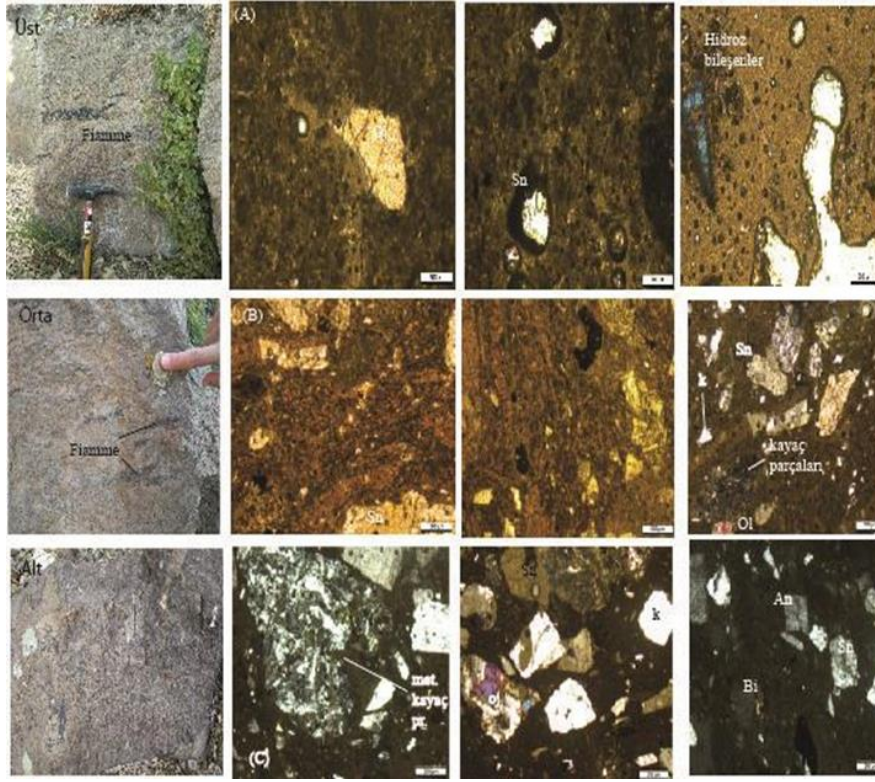
(Şekil 3A). İz element içeriklerinde, tüm seviyelerin Ba içeriği (494-1068 ppm), Rb 89.2-141.5 ppm, Zr 447.3-747.3 ppm, Sr 58.4-123.4 ppm, Hf 9.4-16 ppm, Y değeri 45.2-68.4 ppm, Nb 27.9-39.4 ppm, Th 11.2-18.3 ppm, Nd 36.1-64.3 ppm ve Ta değeri 1.6-2.6 ppm bakımından benzer özellikler gösterirler. İz element oranlarından Sm/Yb oranı, alt seviyede 1.80-1.90 ppm, orta seviyede 1.48-1.61 ppm, üst seviyede 1.58-1.73 ppm dir. La/Yb oranı ise 10.16-10.38 ppm, 7.76-9.31ppm ve 8.60-10.27ppm dir. Sm/Yb oranı ve La/Yb oranları şoşonitik bileşime uygundur. Örneklerin düşük La/Sm (5-9 ppm) ve Sm/Yb (5-12.5 ppm) oranları, yayla ilişkili olmayan yüksek kısmi ergime derecesini işaret eder (Parker, 1970). Yayla ilişkili ignimbiritlere bir örnek Los Frailes (Porco) ignimbiritidir. Bu ignimbiritte La/Sm (7-9 ppm) ve Sm/Yb (7-12 ppm) dir (Kılıç ve İnceöz, 2015). Uyumsuz iz elementlerden düşük Rb/Sr (0.22-0.30) ve Rb/Ba oranlarının düşük olması piroklastik kayaçların mantodan türeyen eiyiklerden itibaren oluştuğunu işaret etmektedir. Çünkü kabuk kayaçlarının Rb/Sr ve Rb/Ba oranları mantodan türeyen eriyiklere oranla yüksektir (Güçtekin, 2017). Yüksek Ba/Sr (1.48-1.92), Ba/Ta (33.0-34.6), Th/La (0.24-0.25) ve Ba/La (11.2-15) oranları ise kısmen alterasyon, kısmen kristalizasyon süreçleri ve yoğun kabuksal

kirlenmenin sonucudur (Özdemir, 2003). Dolayısıyla renk ve bileşen oranı kirlenme, magmatik süreçlere, faz evreleri arasındaki zaman

aralığına bağlanabilirken, ignimbiriti oluşturan kaynak magma aynıdır.

Tablo 1. Bitlis ignimbiriti seviyelerinden alınan örneklerin ana (%), iz (ppm) ve nadir toprak element (ppm) analizleri

Ana oksitler	Üst seviye				Orta seviye				Alt seviye			
	8	9	11	12	1	3	5	6	2	4	7	10
SiO ₂	65.3	64.26	64.80	64.73	64.7	63.6	64.67	64.3	64.5	65.4	64.35	65.9
Al ₂ O ₃	15.9	15.52	16.15	15.79	15.9	15.6	15.57	16.1	15.1	15.8	15.49	15.6
Fe ₂ O ₃	4.52	4.90	4.73	4.12	5.16	5.08	5.76	5.34	4.87	4.75	4.83	3.19
MgO	0.12	0.17	0.13	0.14	0.12	0.22	0.19	0.14	0.21	0.18	0.15	0.10
CaO	0.98	1.42	0.97	0.98	1.39	1.46	1.32	1.16	1.31	1.31	1.36	0.94
Na ₂ O	5.28	4.83	5.29	5.01	5.37	5.54	5.24	5.38	4.90	5.32	4.90	4.52
K ₂ O	4.98	5.00	5.11	5.10	4.98	5.01	4.81	5.04	5.04	5.00	5.09	5.07
TiO ₂	0.50	0.50	0.51	0.50	0.48	0.40	0.50	0.52	0.42	0.47	0.46	0.40
P ₂ O ₅	0.12	0.12	0.11	0.12	0.14	0.07	0.14	0.10	0.07	0.17	0.11	0.10
MnO	0.15	0.07	0.08	0.09	0.12	0.14	0.17	0.14	0.11	0.11	0.07	0.06
Cr ₂ O ₃	0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.003	0.003	<0.002	0.002	0.003	0.002	<0.002	0.003
Ateşte kayıp	1.9	2.9	1.8	2.6	1.3	2.6	1.4	1.4	3.1	1.2	2.9	3.8
A/CNK	1.41	1.37	1.42	1.39	1.35	1.30	1.36	1.39	1.33	1.35	1.36	1.48
Ba	1038	862	1068	999	982	494	1040	982	820	998	864	752
Ni	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Sc	8	7	8	6	8	5	10	6	8	9	7	5
Be	5	5	9	6	4	2	4	2	4	5	5	6
Co	1,7	1,8	1,7	1,7	2,4	1,9	2,7	2,3	2,7	2,0	1,7	1,1
Cs	2,8	5,8	2,2	3,5	4,0	3,3	4,1	3,0	5,5	4,7	5,5	5,1
Ga	26,2	26,1	27,0	27,0	26,3	23,8	24,5	25,8	25,7	25,0	27,5	27,2
Hf	14,4	14,0	13,9	11,8	13,9	9,4	13,0	13,6	14,5	13,5	15,0	16,0
Nb	38,4	34,7	39,4	35,5	35,8	34,2	27,9	32,2	34,3	36,0	33,4	34,9
Rb	117,4	130,5	116,9	123,4	128,5	89,2	126,3	123,9	137,8	133,1	134,4	141,5
Sn	6	6	10	6	6	5	5	6	6	5	6	7
Sr	107,2	89,4	110,6	97,2	111,9	68,0	123,4	111,2	64,6	112,5	83,8	58,4
Ta	2.1	2.2	2.0	2.1	2.2	1,6	2,2	2,2	2,2	2,1	2,2	2,6
Th	17.1	16.0	17.2	16.3	16.7	11,2	15,9	16,6	16,4	15,9	17,5	18,3
Ce	109.7	127.2	107.9	120.8	121.5	80,7	110,0	115,2	124,0	109,3	125,9	135,6
Pr	17.28	15.94	17.81	17.33	13.96	9,70	14,91	14,20	14,68	13,29	15,94	16,10
Nd	64.3	61.8	66.2	65.6	51.6	36,1	59,2	53,7	56,8	47,9	61,3	60,9
Sm	12.98	12.26	13.13	13.10	10.21	7,80	11,43	10,60	11,36	10,07	12,58	12,01
Eu	2.77	2.40	2.03	2,87	2,64	1,61	3,11	2,65	2,20	2,60	2,27	2,03
Gd	11.28	11.46	11,84	11,80	10,49	7,73	11,25	10,05	10,93	9,74	10,1	12,00
Tb	1.98	1.95	1.98	1.93	1.76	1,31	1,89	1,70	1,85	1,66	1,92	1,98
Dy	11.41	11.31	11,70	11,54	10,26	7,94	11,40	10,05	11,37	9,89	11,35	11,77
Ho	2.40	2.37	2,39	2,38	2,31	1,79	2,46	2,17	2,46	2,11	2,39	2,46
Yb	6.83	6.80	7,03	6,85	6,61	5,27	7,40	6,43	7,39	6,57	6,85	7,46
Er	7.44	6.56	6,92	7,38	6,73	5,01	7,53	6,44	7,13	6,85	6,98	7,67
La	70.9	69.1	72,0	71,7	61,6	40,9	61,2	60,2	63,6	58,1	70,4	68,7
Tm	1.05	1.04	1,04	1,02	1,04	0,79	1,09	0,93	1,09	1,01	1,08	1,12
Zr	664.6	747.3	652.1	670.1	632.4	447.3	595.3	664.6	670.5	610.5	651.6	652.1
Y	61.6	66.9	61.5	64.3	57.6	45.2	62.3	61.6	65.2	55.1	63.4	60.1
U	5.2	5.5	5.5	5.5	5.5	3.7	5.3	5.3	5.7	5.5	5.6	6.6
Sm/Yb	1.90	1.80	1.86	1.89	1.54	1.48	1.54	1.61	1.58	1.58	1.73	1.60
La/Yb	10.38	10.16	10.24	10.46	9.31	7.76	8.27	9.36	8.60	8.84	10.27	9.20
La/Ba	0.068	0.080	0.067	0.071	0.062	0.082	0.058	0.061	0.077	0.058	0.081	0.091
La/Nb	1.848	1.971	1.827	2.019	1.720	1.195	2.186	1.875	1.854	1.611	2.107	1.968
Nb/Y	0.623	0.518	0.640	0.552	0.621	0.756	0.447	0.522	0.526	0.653	0.521	0.580
Zr/Nb	17.30	21.53	16.55	18.87	18.71	13.07	21.33	20.65	18.62	16.95	19.75	18.62
Zr/Y	10.78	11.17	10.60	10.42	10.97	9.89	9.55	10.78	10.28	11.07	10.27	10.85
Eu/Eu*	0.22	0.20	0.15	0.16	0.25	0.20	0.27	0.25	0.19	0.26	0.20	0.16
Gd/Gd*	4.74	5.26	5.90	4.37	4.76	5.33	4.50	4.62	5.39	4.57	4.82	5.98
Ce/Ce*	1.59	1.91	1.54	1.73	2.08	2.05	1.83	1.98	1.87	1.86	2.09	2.77

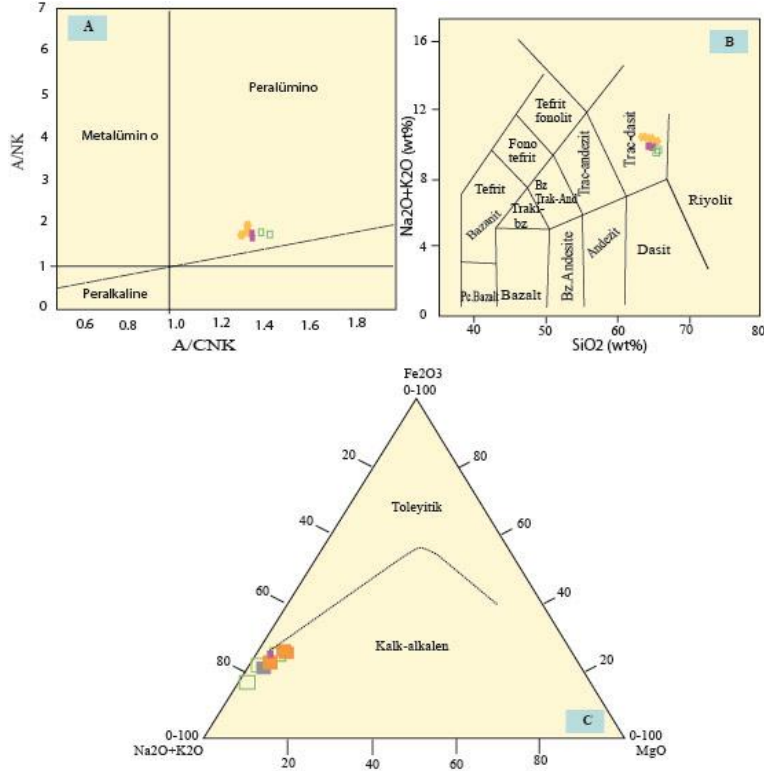


Şekil 2. Bitlis İgnimbiritinin farklı seviyelerinin makro ve mikro görüntüsü. A) Tüf genel görünüm ve pomza parçaları, B) Camsı tüf içerisinde sanidin kristali, C) Plajiyoklaz, ojit, kuvars fenokristalleri ve metamorfik kumtaşı parçası

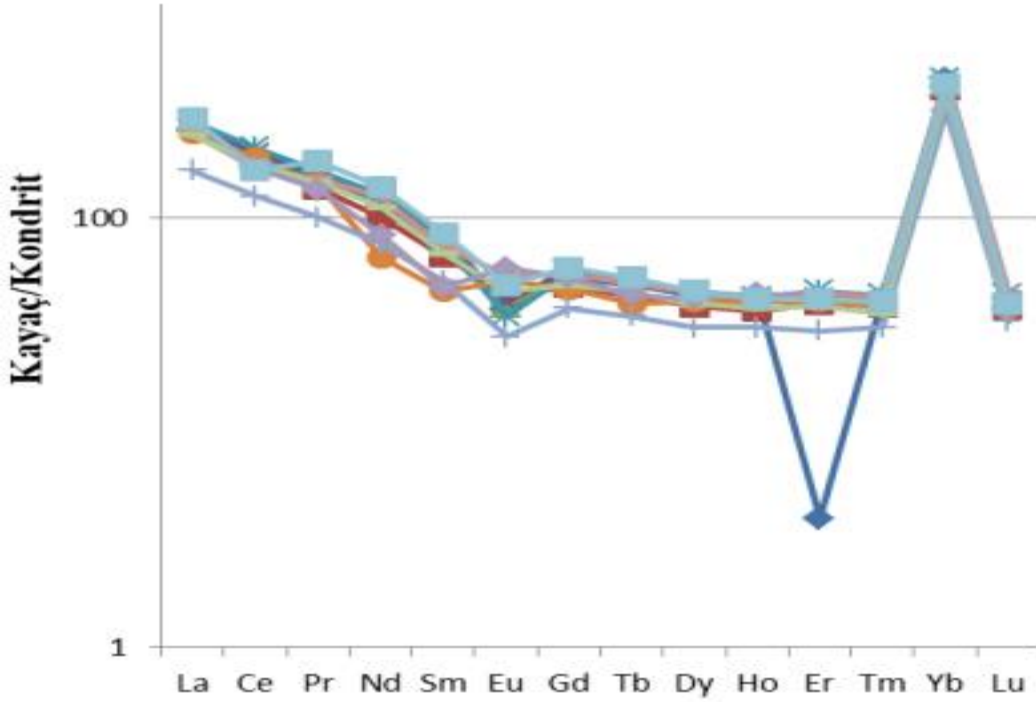
Analizi yapılan ignimbirit örneklerinin kondrite göre normalize edilmiş örümcek diyagramında (Şekil 4), Eu ve bir örnekte Er negatif anomali, Yb ise pozitif anomali göstermektedir. Europyumun negatif anomali vermesi feldispatların eriyikten fraksiyonel kristallenme veya kısmi ergimeler ile uzaklaştırılmalarını işaret etmektedir (Rollinson, 1993). Zirkon, sfen gibi minerallerin kalıntı fazda yoğunlaşmasından kaynaklanır. Bu çalışmada, $Ce/Ce^* = 3 Ce / (2La + Nd)$, $Eu/Eu^* = 3Eu / (2Sm + Tb)$ ve $Gd/Gd^* = 2Gd / (Eu + Tb)$ oranları bu formüllerle hesaplanmıştır. Eu/Eu^* ve Ce/Ce^* oranları kirlenme, kristalleşme ve oksidasyon hakkında önemli bilgi verir. Analiz yapılan örneklerin negatif Eu anomali (Eu/Eu*=0.21), pozitif Ce/Ce* (1.94) değerleri ve LILE elementlerin tüketilmiş olması, magma serilerinin oluşumu sırasındaki plajiyoklaz kristalizasyonu veya plajiyoklaz minerali bakımından fraksiyonlaşmaya uğrayan, kıta kabuğu ve kirlenmeyi işaret eder (Pearce, 1983). Kondrite göre normalize edilmiş diyagramlarda (Şekil 5), pozitif Ce, negatif Eu görülür. Bu, hidrotermal akışkanların etkisiyle kirlenmenin işaretidir. İgnimbiritin orta, üst seviyesine ait örnekler, alt seviye örneklerine göre daha düşük Rb, Hf ve Cs, ayrıca negatif Eu, Sr ve Ti anomali, farklılaşma sırasındaki plajiyoklaz fraksiyonlaşmasını, apatit, demiroksit ve/veya

demir-hidrooksit fraksiyonlaşmasının işaretidir (Kaya ve Kılıç, 2018; Ayalew vd., 2002).

İgnimbiritlerde düşük La/Sm (5-9 ppm) ve Sm/Yb (5-12.5 ppm) değerleri, yayla ilişkili olmayan ve kısmi ergime derecesinin yüksek olduğu magmayı işaret eder. Yayla ilişkili olan ve küçük ebatlı patlamalı volkanizma ürünü Los Frailes (Porco) ignimbiritinin La/Sm (7-9 ppm) ve Sm/Yb (7-12 ppm) değerlerinden farklıdır. Ayrıca, üç farklı seviyeden alınmış ignimbiritlerin La/Ba (0.071, 0.068, 0.073), Nb/Y (0.58, 0.58, 0.57) ve Zr/Nb (18.56, 18.44, 18.48) iz element oranları birbirine yakındır. Uyumsuz iz elementlerden düşük Rb/Sr (0.22-0.30) ve yüksek Th/U (3.22-3.47) oranı, ötaktik kristalizasyon veya püskürmenin hemen öncesinde gelişen kristalizasyonu gösterebilir (Mandeville vd., 1996). Analizi yapılan örneklerin yüksek Ba/Sr (1.48-1.92), Ba/Ta (33.0-34.6), Th/La (0.24-0.25) ve Ba/La (11.2-15) oranları kısmen alterasyonu, farklı kristalizasyon süreçlerini ve yoğun kabuksal kirlenmeden kaynaklanabilir. Bileşim, renk ve bileşen oranı bu kirlenme, magmatik süreçler ve faz evreleri arasındaki zaman aralığından etkilenmiş olmakla birlikte, diyagramlardan da görülebileceği gibi aynı magma ürünüdürler. Ancak, sonraki süreçler (kristalizasyon, devitrifikasyon) ignimbirit morfolojisinde belirleyici olmuştur.



Şekil 3. Kayaçların a) K_2O karşı SiO_2 , b) Na_2O+K_2O (%) karşı SiO_2 (%) (TAS) sınıflama diyagramı (Peccerillo ve Taylor, 1976), c) AFM ayırtman diyagramı (Irvine ve Baragar, 1971).



Şekil 4. İgnimbirit örneklerinin Kondrite göre normalize edilmiş diyagramları (Evensen vd., 1978).

4. Tartışma ve sonuçlar

Bitlis İgnimbiriti, tabandan tavana doğru koyu gri, pembe ve soluk gri/bej renk özelliği gösterir. Mineral bileşimi, fiamme yapısı, rekristalize pümis, skorya, kül ve diğer piroklastik ürünlerin İyi

kaynaşmış olması, akışının İgnimbirit oluşumu sırasında aşırı derecede sıcak olduğunun işaretidir. İgnimbiritin oluşumunda stratosfere yüksek oranda gaz, volkanik kül bırakan ve kısa, yüksek yoğunluklu plinien patlamalı faz, tefra ve yoğunluk akmasının ardından sıcak gaz ve kayaç akışının,

dolayısıyla piroklastik kayalar oluşturulan kaldere çökmesi, pümis ve volkanik kül yayılımını sağlayan fazların işareti olabilir. Pliniyen pomza geri düşmeleri ve pomza akıntısını kapsayan faz 1 ve pomza akıntıları ve tefrayı kapsayan faz 2, Bitlis ignimbritlerinde mevcuttur. Başlangıç evresi, pliniyen pomza geri düşmeleri ve iyi kaynaklanmış pomza akıntısını kapsayan bu ignimbirit, Nemrut volkanik patlamaları sonucunda, bölgedeki faylarca kesilen kalderada, lav ürünleri ve piroklastik ürünler olarak yerleşmiştir. Kırık veya çatlak yüzeyinden çıkabilen bu lav ürünleri ve yükselen magmanın çevredeki yan kayaların patlamalı volkanik faaliyeti ile oluşan piroklastikleri kapsar. Bitlis ignimbriti, piroklastik akıntı ürünleri olup. içerisinde pomza. kayalar parçaları. mineraller ve volkan küllerini bulundurlar. İgnimbiritin her seviyesinde, hızlı soğuma sonucu camı görünüm kazanmış ve daha sonra eriyip tekrar katılmış yassı şekilli pomza olan fiammeler yaygındır.

Arazi gözlemleri, mikroskopik ve jeokimyasal incelemeler, kalkalkalin bileşimdeki Bitlis ignimbiritinin, Nemrut volkanına ait küçük hacimli piroklastikler olduğu önceki araştırmacılarında (Ercan vd., 1990; Şaroğlu ve Yılmaz, 1986) ifade ettiği gibi doğrulanmıştır. Kıtasal kabuğun anateksisiyle oluşan silisik magma ürünü bu istif, kabuksal asimilasyonla birlikte mantodan ayrılan mafik veya andezitik eriyiklerin fraksiyonel kristalizasyonu ürünüdür (Nesbitt, 1979). Genelde kalın, dar yayımlı ve küçük hacimli olan, karasal silisik lavlar; viskozite, püskürme şiddeti ve püskürme hacmi silisik lav akıntılarının büyüklüğünü belirleyen en önemli faktördür. İgnimbiritin seviyeleri arasındaki renk farklılığı, bileşen oranı (kayalar parçaları, pümis, fiamme, cam, kül), kirlenme, magmatik süreçler, faz evreleri arasındaki zaman aralığı ve devitrifikasyon gibi birçok etkene bağlıdır. Kalk-alkalin karakterdeki ignimbirit (Ercan vd., 1990; Özdemir, 2003; Şengün vd., 1991; Şaroğlu ve Yılmaz, 1986; Aydar vd., 1964; Freundt, 1995) Nemrut volkanının püskürmesi sırasında büyük patlama hacmine sahip ancak dar bir yayılıma sahip piroklastitlerdir (Nesbitt, 1979). Dar yayılım alanına sahip olması, püskürme kolonunun kısa olmasından veya ince kıtasal kabuktan kaynaklanabilir. Çünkü asitik volkanizma içeriğindeki fazların fazlalığı nedeniyle daha geniş alanlara yayılır. Küçük yayılım hacmine sahip ignimbritlere bir önemli örnek Doğu-Orta Avrupa'daki Carpathian-Pannonian bölgesindeki ignimbritler verilebilir (Rao ve Nofaresti, 2008). İz element jeokimyası bakımından küçük yayılım hacmine sahip bitlis ignimbiriti ile benzer

özellikler gösterir. Özellikle, yüksek Ba/Sr (1.48-1.92), Ba/Ta (33.0-34.6), Th/La (0.24-0.25) ve Ba/La (11.2-15) oranları her iki ignimbirit türünde de benzer olup, devitrifikasyon, metamorfizma ve yoğun kabuksal kirlenmeyle ilişkilendirilmiştir.

Teşekkür

Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Birimi (FÜBAP) tarafından desteklenen MF 19.11 nolu proje kapsamında yapılmış, bir çalışmasıdır. Desteklerinden dolayı üniversitemiz BAP birimine teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Ayalew, D., Barbey, P., Marty, B., Reisberg, L., Yirgu, G. and Pik, R., (2002). Source, genesis, and timing of giant ignimbrite deposits associated with Ethiopian continental flood basalts, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 66, 1429–1448. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(01\)00834-1](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(01)00834-1)
- Aydar, E., Gourgaud, A., Ulusoy, I., Dignonnet, F., Labazuy, P., Şen, E., Bayhan, H., Blumenthal, M. M., and van der Kaaden, G., and Vlodavetz V I. (1964). Turkey & Caucasus. Catalog of active volcanoes of the world and solfatara fields, Rome: IAVCEI 17, 1-23.
- Buket, E. and Temel, A. (1998). Major-element, trace-element, and Sr–Nd isotopic geochemistry and genesis of Varto-Mus volcanic rocks, Eastern Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 405-422. [https://doi.org/10.1016/s0377-0273\(98\)00064](https://doi.org/10.1016/s0377-0273(98)00064)
- Candan, O., Oberhanslı, R., Dora O.Ö., Çetinkaplan, M., Koralay, E., Rimmel, G., Chen, F. ve Akal, C., (2011). Menderes masifinin Pan-Afrikan temel ve paleozoyik erken tersiyer örtü serilerinin polimetamorfik evrimi. *Maden Tetnik Arama Dergisi*, 142, 123-165, Ankara.
- Çubukçu, H. E, Ulusoy, İ., Ersoy, O, Aydar, E., Şen, E., Gourgaud, A. and Guillou, H. (2012). Mt Nemrut Volcano (Eastern Turkey): Temporal petrological evolution, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 209-210, 33-60. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2011.08.005>
- Dávila-Harris P., (2009). Explosive ocean-island volcanism: the 1.8–0.7Ma explosive eruption history of Cañadas volcano recorded by the pyroclastic successions around Adeje and Abona, Southern Tenerife, Canary Islands [unpublished Ph.D. Thesis]: Leicester, University of Leicester, UK.
- Ercan, T., Fujitani, T., Matsuda, J.I., Notsu, K., Tokel, S. and Ui, T. (1990). Doğu ve Güneydoğu Anadolu Neojen-Kuvaterner volkaniklerine

ilişkin yeni jeokimyasal, radyometrik ve izotopik verilerin yorumu, Maden Teknik Arama Dergisi, 110, 143-164.

- Freundt, A. and Schmincke, H.U. (1995). Eruption and emplacement of a basaltic welded ignimbrite during caldera formation on Gran Canaria, Bulletin of Volcanology, 56, 640-659.
- Irvine, T.N. and Baragar, W.R.A. (1971). A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks, Canadian Journal of Earth Science, 8, 448-523.
- Karaoğlu, Ö., Özdemir, Y., Tolluoğlu, A. Ü., Karabıyıkçoğlu, M., Köse, O. and Froger, J. L. (2005). Stratigraphy of the volcanic products around Nemrut Caldera: Implications for reconstruction of the caldera formation, Turkish Journal of Earth Science, 14, 123-143.
- Kay, S. M., Mpodozis, C. and Coira, B. (1987). Neogene magmatism, tectonism, and mineral deposits of the central andes (22°S to 33°S Latitude), 258, 4600.
- Kaya, H. ve Kılıç, A.D. (2018). Pütürge metamorfitletindeki amfibolit fasiyesi granatların mineralojisi ve Sm-Nd İzotop jeokimyası, Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(3), 499-508. <https://doi.org/10.18185/erzifbed.411764>
- Kılıç, A. D. ve Çakmak, B. (2019). Bitlis ignimbiritlerinin petrografik ve jeokimyasal özellikleri, FÜBAP-MF.19.11 Yüksek Lisans Tezi Araştırma Projesi.
- Kılıç, A.D. and İnceöz, M. (2015). Mineralogical, Geochemical and isotopic effect of silica in ultramaphic systems, Eastern Anatolian Turkey, Geochemistry International, 53(4), 369-382. <https://doi.org/10.1134/S0016702915040035>
- Koralay, T. And Kadioğlu, Y.K. (2008). Reasons of different colors in the ignimbrite lithology: Micro-XRF and confocal raman spectrometry method, Spectrochimica Acta Part A, 69, 947-955, <https://doi.org/10.1016/j.saa.2007.05.063>
- Kurttaş, T. and Tolluoğlu, A.Ü. (2003). Morphological analysis of active Mount Nemrut stratovolcano, eastern Turkey: evidences and possible impact areas of future eruption, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 123, 301-312. [https://doi.org/10.1016/s0377-0273\(03\)00002-7](https://doi.org/10.1016/s0377-0273(03)00002-7)
- Le Maitre R.W., Bateman P., Dudek A., Keller J., Lameyre J., Le Bas M.J., Sabine P.A., Schmid R., Sorensen H., Streckeisen A., Woolley A.R. and Zanettin B. (1989). A classification of igneous rocks and glossary of terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks. Blackwell Scientific Publications, Oxford, U.K.
- Mandeville, C. W., Carey, S. and Sigurdsson, H. (1996). Magma mixing, fractional crystallization and volatile degassing during the 1883 eruption of Krakatau volcano, Indonesia, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 74, 243-274. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(96\)00060-1](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(96)00060-1)
- Maniar, P.D. and Piccoli, P.M. (1989). Tectonic discrimination of granitoids, Bulletin Geology Society America, 101, 635-643. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1989\)101](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1989)101)
- McDonough, W. And Sun, S.S. (1989). The composition of the Earth, Chemical Geology, 120, 223-253.
- Nesbitt, H.W. (1979). Mobility and fractionation of rare earth elements during weathering of a granodiorite, Nature, 279, 206-210.
- Özdemir, Y. (2003). Nemrut Kalderası güneyi'nin jeolojisi, mineralojisi ve petrografisi, The geology, mineralogy and petrography of the southern Nemrut Caldera, MSc Thesis, Yüzüncü Yıl University, Van, Turkey [in Turkish with English abstract, unpublished].
- Özdemir, Y., Karaoğlu, Ö., Tolluoğlu, A.Ü. and Güleç, N. (2006). Volcanostratigraphy and petrogenesis of the Nemrut stratovolcano (East Anatolian High Plateau): the most recent postcollisional volcanism in Turkey, Chemical Geology, 226, 189-211, <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2005.09.020>
- Parker, A. (1970). An index of weathering for silicate rocks, Geological Magazine, 107, 501-504.
- Pearce, J.A. (1983). Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: Hawkesworth, C.J., Norry, N.J. Eds., Continental Basalts and Mantle Xenoliths', Shiva, Cheshire, UK, 230-249.
- Peccerillo, A. and Taylor, S.R. (1976). Geochemistry of Eocene calcalkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey, Contribution and Mineralogic Petrology, 58, 63-91.
- Rao, K.S. and Nofaresti, H. (2008). Brittle failure in heterogeneous crystalline rocks, Defence Science Journal, 58(2), 285-294.
- Riehle, J.R. (1973). Calculated compaction profiles of rhyolitic ash-flow tuffs, Geology Society American Bulletin, 84, 2193-2216.
- Rollinson, H.R. (1993). Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation. John Wiley & Sons Inc., New York. 352pp.

Sun, S.S. and McDonough, W.F. (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D. and Norry, M.J. (eds.), *Magmatism in ocean basins*, Geological Society of London Special Publication, 42, 313-345.

Şaroğlu, F. ve Yılmaz, Y. (1984). Doğu Anadolu'nun neotektoniği ve ilgili magmatizması, *Ketin Sempozyumu bildirileri*, 149-162. <https://doi.org/10.25288/tjb.593423>

Şaroğlu, F. ve Yılmaz, Y. (1986). Doğu Anadolu'da neotektonik dönemdeki jeolojik evrim ve havza modelleri, *Maden Teknik Arama Dergisi*, 107, 73-94.

Şengör, A.M.C. (1980). Türkiye'nin neotektoniğinin esasları, *Türkiye Jeoloji Kurultayı Kitaplığı*, 40s. Ankara.

Şengün, M., Çağlayan, M. A. ve Sevin, M. (1991). Bitlis Masifi Bitlis-Tatvan- Hizan Şirvan dolayının jeolojisi, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeolojik Etütleri Dairesi, Rapor No: 9105*, Ankara, 1991.