

Yamadağı Volkanizmasının Kangal-Divrığı (Sivas) Arasında Kalan Kuzey Kesimlerinin Petrolojisi

Ahmet MAVİ¹, Taner EKİCİ^{2*}

¹ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, Türkiye

² Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

¹ ahmetmavi058@gmail.com, ² tanere7@gmail.com

(Geliş/Received: 06/09/2022;

Kabul/Accepted: 26/11/2022)

Öz: Orta Anadolu'da Torid Tektonik Kuşağı üzerindeki Anatolid levhası üzerinde yeralan Yamadağı Volkanitleri, Malatya ilinin kuzey-kuzeybatısından Sivas ilinin güneydoğusu arasında oldukça geniş bir alanda yüzlekler sunmaktadır. Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Yamadağı Volkanitleri en altta andezitik ve bazaltik aglomera seviyeleri ile başlamakta üzerine çoğunlukla bazalt, trakibazalt ve daha az oranda da andezit ve dasit'lerden oluşan bir istifte gelmektedir. Yamadağı Volkanitlerinin alt seviyelerini oluşturan aglomeralar çoğunlukla bazaltik ve nadiren de andezitiktir. Andezitik aglomeralar açık mor renkli bazaltik aglomeralar ise siyah-mor renkli olarak gözlenmektedir. Aglomeratik seviyeler geçişli olup bunların üzerine de bazalt ve andezitlerden oluşan lav akıntıları gelmektedir. Yamadağı Volkanitleri içerisinde gözlenen andezitik kayalar grimsi mor renkli olup orta-ince tane boyutludur. Bazaltlar ise siyah ve siyahımsı mor renklerde ve ince tanelidirler. Yamadağı Volkanitleri içerisinde gözlenen dasitik kayalar ise grimsi beyaz renki olup, orta ince tanelidirler. Jeokimyasal olarak Yamadağı Volkanitlerinden trakibazaltların alkalın; bazalt, bazaltik andezit ve dasit'lerin ise subalkalin alanda yerleştikleri görülmektedir. Subalkali kayaların toleyitik-kalkalkalin alt gruplarını belirlemeye yönelik AFM üçgen diyagramında ise kalkalkalin karakter gösterdikleri görülmektedir. Yamadağı Volkanitlerinde fraksiyonel kristalleşme etkilerinin yanı sıra dasitik kayalardan bazaltik kayalara doğru kısmi ergime miktarlarında artış olduğu ve hafif nadir toprak elementlerin ağır nadir toprak elementlere göre daha fazla zenginleşmiş olması kabuksal malzeme etkisinin de önemli olduğunu göstermektedir. Yamadağı volkanizmasının Üst Kretase-Eosen döneminde Neotetis okyanusunun kapanmasını izleyen evrede Neotetisin yitimi sonucu litosferik dilimden açığa çıkan akışkanlar tarafından metasomatizmaya uğratılmış bir manto kaynağından itibaren Üst Miyosen-Pliyosen yaş aralığında oluşmuş olabileceği öne sürülmektedir.

Anahtar kelimeler: Orta Anadolu, Volkanizma, Miyosen, Pliyosen

Petrology of the North Sections Between the Kangal-Divrığı (Sivas) of Yamadağı Volcanism

Abstract: The Yamadağı volcanics located on the Anatolide plate on the Tauride Tectonic Belt in Central Anatolia which is outcrop in a very large area between the north-northwest of Malatya province and the southeast of Sivas province. Upper Miocene-Pliocene Yamadağı volcanics start with andesitic and basaltic agglomerate levels at the bottom and are overlain by a succession consisting mostly of basalt, trachybasalt and to a lesser extent andesite and dacite. Agglomerates forming the lower levels of Yamadağı volcanics are mostly basaltic and rarely andesitic. Andesitic agglomerates are observed as light purple colored basaltic agglomerates, black-purple colored. The agglomeratic levels are transitional and overlying these are lava flows composed of basalts and andesites.

Geochemically, trachybasalts from Yamadağı volcanics are alkaline; basalt, basaltic andesite and dacite are observed to be located in the subalkaline area. In the AFM triangle diagram for determining the tholeiitic-calcalkaline subgroups of subalkaline rocks, it is seen that they show calc-alkaline character. In addition to the fractional crystallization effects in Yamadağı volcanics, there is an increase in the amount of partial melting from dacitic rocks to basaltic rocks and the enrichment of light rare earth elements more than heavy rare earth elements shows that the crustal material effect is also important.

It is suggested that the Yamadağı volcanism may have formed in the Upper Miocene-Pliocene age range from a mantle source metasomatized by the fluids released from the lithospheric slice as a result of the subduction of Neotethys in the phase following the closure of the Neotethys ocean during the Upper Cretaceous-Eocene period.

Key words: Central Anatolia, Volcanism, Miocene, Pliocene

1. Giriş ve Stratigrafi

Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Yamadağı Volkanitleri, Torid Tektonik kuşağı üzerindeki Anatolid levhası içerisinde Anatolid-Pontid [1] levhalarının birleşim kuşağında oldukça geniş alanlarda yüzlekler sunmaktadır.

* Sorumlu yazar: tanere7@gmail.com. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0001-5593-8475, ² 0000-0002-7420-3877

Yamadağı Volkanitlerinin en kuzeyindeki lav akıntıları Sivas ilinin Kangal ve Divriği ilçelerine kadar ulaşmaktadır (Şekil 1).

Çalışma alanındaki en yaşlı birimler Üst Kretase yaşlı Güneş Ofiyoliti ile başlamaktadır. Güneş Ofiyoliti genellikle çalışma alanının kısmen orta ve kuzeybatı kesimlerinde yüzeylenmişlerdir. Güneş Ofiyolitini intrüzif sokulumla kesen Maestrihtien yaşlı Yellice Plütону ise çalışma alanının kuzeydoğu kesimlerinde yer almaktadır. Çalışma alanının güneydoğusunda görülen Alt-Orta Miyosen yaşlı Divriği Formasyonu ile Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Yamadağı Volkanitleri genellikle çalışma alanının orta kesimlerinde yüzlekler sunmaktadır (Şekil 2, 3).

Malatya ilinin kuzey-kuzeybatısı ile Sivas ilinin güneydoğusu arasında oldukça geniş bir alanda yüzlekler sunan Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Yamadağı Volkanitleri en altta andezitik ve bazaltik aglomera seviyeleri ile başlamakta üzerine çoğuklukla bazalt, trakibazaltik ve daha az oranda da andezit ve dasit'lerden oluşan bir istif gelmektedir (Şekil 4a). Çalışma alanının büyük bir kısmında yayılım gösteren Yamadağı Volkanitlerinden daha önce yapılan Jeokronoloji çalışmalarında 12-15 Milyon yıl [2], [3], [4], 8.9-14.7 Milyon yıl [5] yaşları saptanmıştır. Saptanan tüm jeokronolojik yaş verileri sadece üst Miyosen yaşını vermiş olsa da Yamadağı Volkanitlerinin Arguvan ilçesi ve civarındaki bazı lav seviyelerinin stratigrafik olarak Pliyosen yaşlı olabilecekları de belirtilmiştir [2].

Yamadağı Volkanitlerinin alt seviyelerini oluşturan aglomeralar çoğunlukla bazaltik ve nadiren de andezitiktir (Şekil 4b). Andezitik aglomeralar açık mor renkli bazaltik aglomeralar ise siyah-mor renkli olarak gözlenmektedir (Şekil 4c). Aglomeratik seviyeler kendi içerisinde geçişli olup bunların üzerine de bazalt ve andezitlerden oluşan lav akıntıları gelmektedir.

Yamadağı Volkanitleri içerisinde gözlenen andezitik kayalar grimsi mor renkli olup orta-ince tane boyutludur. Bazaltlar ise siyah ve siyahımsı mor renklerde ve ince tanelidirlir. Yamadağı Volkanitleri içerisinde gözlenen dasitik kayalar ise grimsi beyaz renkli ve orta ince tanelidirlir.

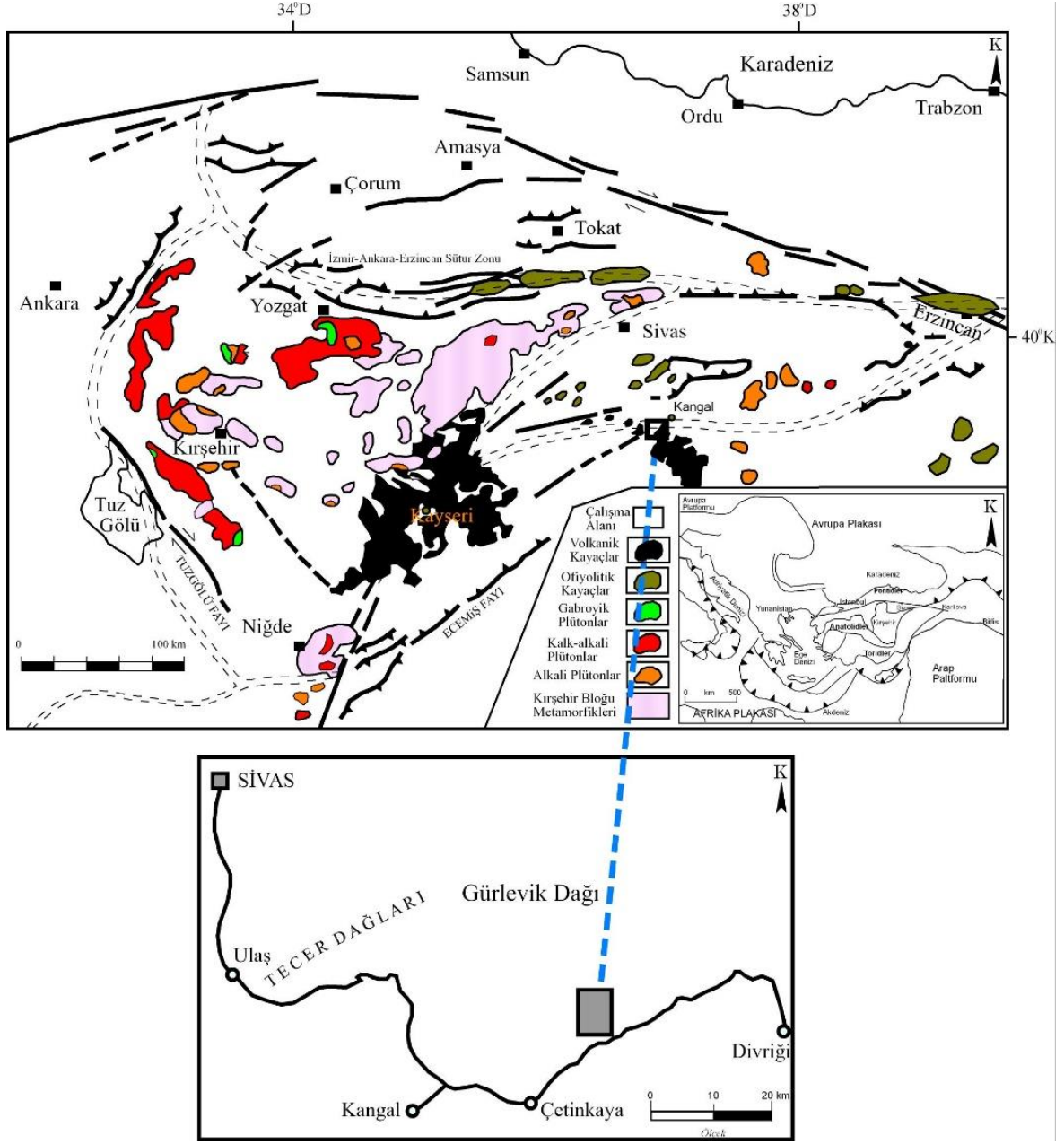
2. Analitik Yöntemler

Arazi çalışmaları kapsamında Sivas ilinin Kangal ve Divriği ilçeleri arasındaki J39 paftasına (1/100.000 ölçekli) ait olan b3 (1/25.000 ölçekli) paftası içerisinde kalan yaklaşık 150 km²'lik alanın jeolojik haritası yapılmıştır (Şekil 3). Bu haritalama çalışması sırasında aynı zamandan bölgede yüzlekler sunan kayaların birbirleriyle olan ilişkileri tanımlanmış ve çalışma sahasında değişik kayalardan toplam 78 tane kayaç numunesi toplanmıştır.

İnceleme alanından toplanan 78 adet kayaç örneğinin tamamının petrografik amaçlı ince kesitleri Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü incekesit laboratuvarında yapılmıştır. İnce kesitlerin mineralojik-petrografik incelemeleri Nikon H 550S Eclipse 50iPOL tipi binoküler alttan aydınlatmalı araştırma mikroskopunda [7], [8], [9], [10] tarafından tanımlanan optik mineralojik özelliklere göre gerçekleştirilmiştir.

Jeokimyasal olarak yorumlanacak olan kayaç numunelerinin altere kısımları çekikle kırılarak temizledikten sonra 3-5 cm'lik parçalar halinde kırılmıştır. Bu örnekler daha sonra Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü kırma-öğütme laboratuvarında Fritsch marka çeneli kırıcı ile 0,5 cm'den daha küçük tane boyuna gelinceye kadar kırılmıştır. Sonrasında bu örnekler aynı laboratuvarında bulunan silikon-karbid havanlı titreşimli değirmen ile 200 mesh elek altına geçebilecek tane boyutuna ulaşınca kadar öğütülmüştür. Elde edilen toz numuneler plastik numune torbalarına konularak jeokimyasal ana, eser ve nadir toprak elementi analizleri ile Kanada Acme laboratuvarına gönderilerek analizleri yapılmıştır.

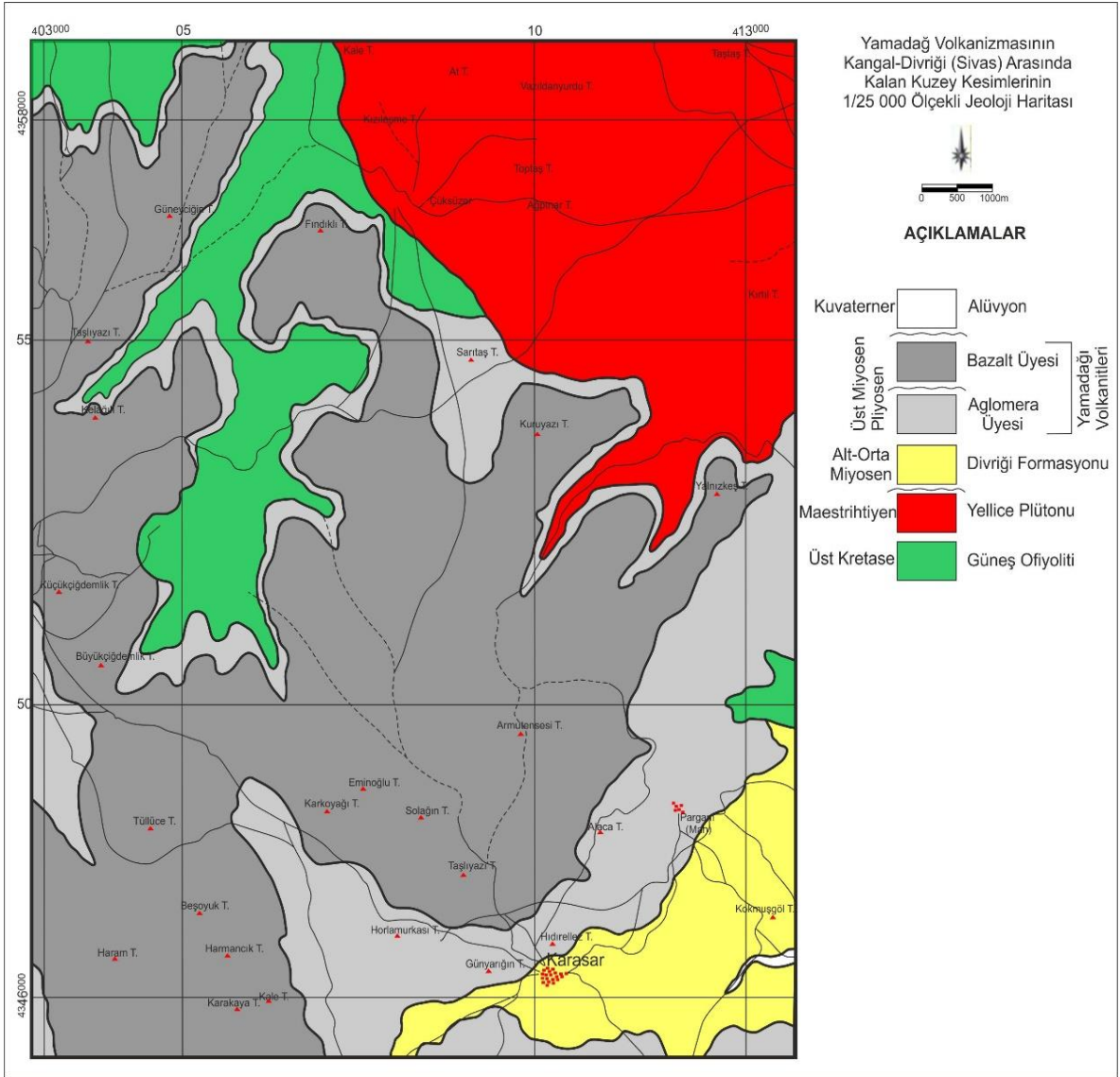
Alterasyon bakımından oldukça iyi durumda oldukları tespit edilen 18 adet kayaç numunesinin ana, eser ve nadir toprak elementi analizleri Acme Analytical Laboratories'de (Vancouver-Kanada) ICP-MS (Inductive Couple Plasma-Mass Spectrometry) yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.



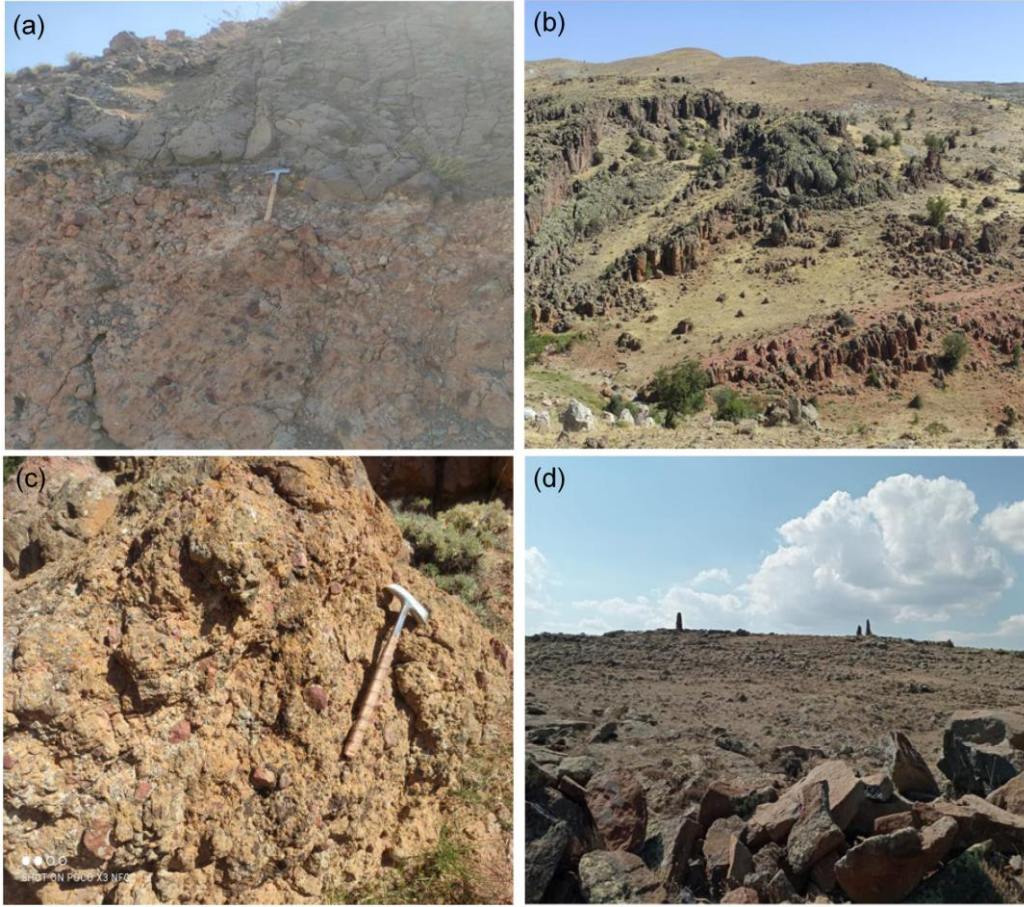
Şekil 1. Çalişma alanının yerbulduru haritası [6].

Jeolojik Yaş	Formasyon Litodem	Litoloji	Açıklamalar
Kuvaterner			Alüvyon
NEOJEN	Pliyosen	Yamadağı Volkanitleri	Bazalt, Andezit, Aglomera
	Miyosen		
	Üst		
	Alt Orta	Divriği Fm.	Kireçtaşı, Konglomera, Kumtaşı
ÜST KRETASE	Maestrihtiyen	Yellice Plütonu	Granitoidler: Siyenit, Granit, Granodiyorit, Diyorit
	Üst Kampaniyen	Güneş Ofiyoliti	Serpantinit, Peridotit, Gabro, Dunit

Şekil 2. Çalışma alanının geliştirilmiş stratigrafik kolon kesiti.



Şekil 3. Çalışma alanının jeoloji haritası



Şekil 4. Çalışma alanının arazi görüntüleri; a) Yamadağı Volkanitlerini oluşturan aglomera seviyeleri ve üzerine gelen bazalt seviyelerinin ilişkileri, b) Yamadağı Volkanitlerinde içerisinde gözlenen bazaltik ve andezitik aglomera seviyelerinin genel görünüşleri, c) Yamadağı Volkanitlerinin taban seviyelerini oluşturan aglomeraların yakın görünüşleri, d) Yamadağı Volkanitlerini oluşturan bazalt lavlarının genel görünümü.

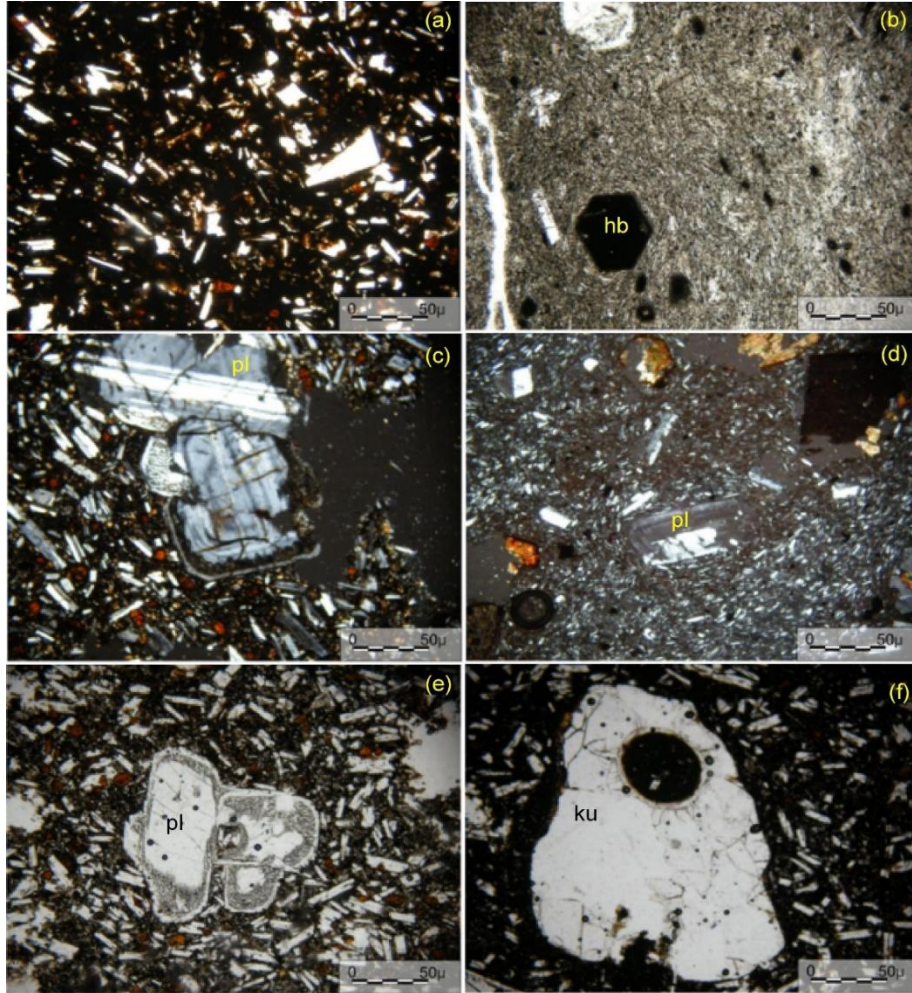
3. Petrografik İnceleme

Çalışma alanındaki en genç birim Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Yamadağı Volkanitleridir. Yamadağı Volkanitlerinin mikroskobik çalışmalarda; bazaltik aglomera, andezitik aglomera, andezit, bazaltik andezit trakibazalt ve bazalt'lardan oluştuğu saptanmıştır [11]. Yamadağı Volkanitlerini oluşturan aglomeratik kayalar bazaltik ve andezitik aglomera bileşimi sergilemektedir. Aglomeratik kayalar genel olarak hipohiyalin porfirik doku sergilemektedir. Bazaltik aglomeralar mineralojik olarak plajiyoklaz, olivin ve ojit mineralleri içerirken (Şekil 5a), andezitik aglomeralar ise plajiyoklaz ve çoğunlukla opasitleşmiş hornblend minerallerinden oluşmaktadır (Şekil 5b). Piroklastik kayalara özgü olarak gelişen akma dokusu, Yamadağı Volkanitlerindeki aglomeratik kayaların büyük çoğunluğunda izlenmektedir. Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Yamadağ Volkanitlerini oluşturan lavlar yaygın olarak bazaltlardan daha az oranda da andezitlerden oluşmaktadır. Bazaltlarda holokristalin porfirik doku, hipokristalin porfirik doku ve hipohiyalin porfirik doku gözlenmektedir. Yamadağ Volkanitlerini oluşturan ve çalışma sahasının en yaygın litodem birimini oluşturan bazaltlar mineralojik bileşim olarak plajiyoklaz, olivin ve ojit minerallerinden oluşmaktadır. Plajiyoklaz mineralleri fenokristaller, mikrofeno-kristaller ve aynı zamanda kayacın hamurunda mikrolitler şeklinde gözlenmektedir. Plajiyoklazlar renksiz, çubuğumsu prizmatik biçimli, polisentetik ikizlenme ve yer yer zonlu dokulu olarak gözlenmektedir (Şekil 5c). Plajiyoklaz fenokristalleri içerisinde magma karışım dokusunun petrografik kanıtları olarak [12], [13], [14] farklı sönme konumlu plajiyoklaz mineralleri de görülmektedir (Şekil 5d). Yine homojen magma karışımının petrografik kanıtlarından olan plajiyoklaz minerallerinin magma ile etkileşimi ile ortaya çıkan erime çözünme yapıları da yaygın olarak izlenmektedir (Şekil 5e).

Olivin mineralleri; fenokristal, mikrofenokristal ve mikrolitler şeklinde gözlenmekte olup, yüksek optik engebeli, çatlaklı bir yapıya sahip olup yaygın olarak da iddingsitleşme gösterdiği için kızılımsı renklindedir. Piroksen grubu minerallerden yaygın olarak ojit mineralleri de fenokristal, mikrofenokristal ve kayacın hamurunda mikrolitler şeklinde gözlenmektedir. Klinopiroksenlerden ojit minerali renksiz olup, yarı özşekilli/özşekilli, pleokroyizma göstermemektedir. Özşekilli olan ojit mineralleri C optik eksenine dik geçmiş kesitlerinde sekizgen ve dilinimler arası açısı yaklaşık dik konumdadır.

Yamadağı Volkanitleri içerisinde nadiren ikincil olarak yerleşmiş ve daha sonra da kenar zonlarından itibaren magma ile sıcak dokanak etkileşimine uğramış ikincil kuvars mineraline de rastlanmıştır (Şekil 5f).

Çalışma sahasında yaygın olarak görülen Yamadağı Volkanitlerini oluşturan bir diğer kayaç grubu ise andezit ve bazaltik andezitlerdir. Andezitlerin mineralojik bileşimi plajiyoklaz, hornblend ve daha az oranda da kersütit minerallerinden oluşmaktadır. Andezitler dokusal olarak ise hipokristalin porfirik doku ve hipohiyalin porfirik doku göstermektedir. Hornblendler genellikle yeşilimsi, prizmatik, yüksek optik engebeli yarı özşekilli ve özşekilli fenokristaller olarak gözlenmektedir. Andezitler içerisinde gözlenen kersütitler ise kızılımsı kahverengi, yüksek optik engebeli mineraller şeklinde gözlenmektedir. Dasitik kayaçlar ise kuvars, plajiyoklaz ve hornblend minerallerinden oluşmaktadır. Özellikle kuvars mineralleri dasitik kayaçlar içerisinde mikrolitler halindedir.



Şekil 5. Yamadağı Volkanitlerinin incekesit görüntüleri; a) Bazaltik aglomeralarda gözlenen hipohiyalin porfirik dokunun görünümü, b) Andezitik aglomeralarda tamamen opasitleşmiş hornblend mineralinin görünümü, c) Bazaltlarda gözlenen zonlu dokulu plajiyoklaz mineralinin görünümü, d) Bazaltlarda gözlenen farklı sönme konumlu plajiyoklaz mineralinin görünümü, e) Bazaltlarda gözlenen erime çözünme yapılarının görünümü, f) Bazaltlarda gözlenen ikincil kuvars mineralinin görünümü (pl: plajiyoklaz, hb: hornblend, ku: kuvars).

4. Jeokimyasal İnceleme

Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Yamadağı Volkanitleri toplam alkali-silis [15] adlandırma diyagramında bazalt ve andezit olarak adlandırılmışlardır (Şekil 6). Yamadağı Volkanitlerinin ana element, iz element ve nadir toprak elementi analiz sonuçları da Tablo 1’de verilmiştir.

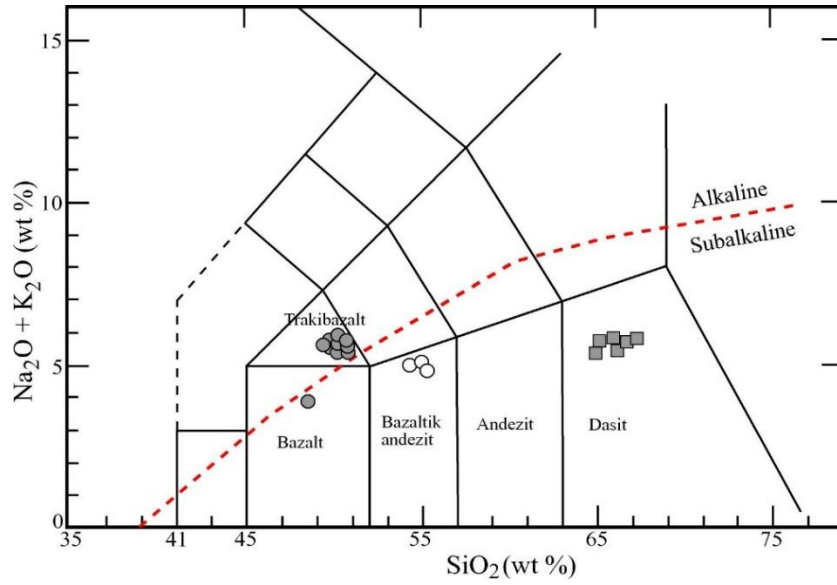
Yamadağı Volkanitlerinin jeokimyasal karakterini belirlemeye yönelik hazırlanan toplam alkali-silis diyagramına bakıldığında trakibazaltların alkalın, bazalt, bazaltik andezit ve dasit’lerin ise subalkalin alanda yerleştikleri görülmektedir (Şekil 6). Subalkali kayaçların toleyitik-kalkalkalin alt gruplarını belirlemeye yönelik AFM diyagramında ise kalkalkalin karakter [16] gösterdikleri görülmektedir (Şekil 7).

Tablo 1. Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Yamadağı Volkanitlerinin ana element, iz element ve nadir toprak elementleri analiz sonuçları. (AK: Ateşte kayıp)

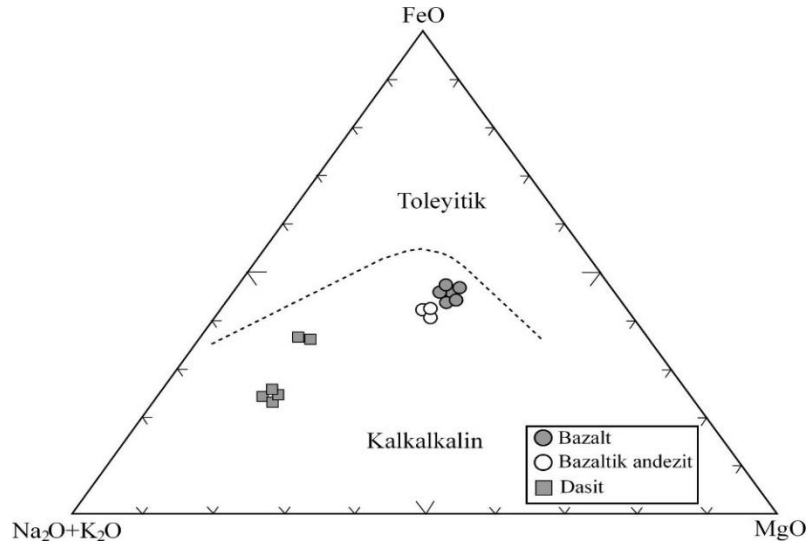
Örnek	DA-3	DA-6	DA-7	DA-10	DA-14	DA-21	DA-23	DA-29	DA-30
SiO ₂	66.14	65.89	66.63	65.02	67.13	55.02	54.30	65.13	55.31
TiO ₂	0.47	0.47	0.45	0.52	0.46	1.13	1.12	0.52	1.11
Al ₂ O ₃	16.49	16.44	16.16	16.89	16.16	16.56	16.33	16.69	16.71
Fe ₂ O ₃	3.32	3.29	3.27	3.89	3.25	8.23	8.20	3.94	8.09
MgO	1.40	1.35	1.30	1.34	1.29	5.03	5.03	1.29	4.93
MnO	0.07	0.06	0.06	0.07	0.06	0.14	0.14	0.08	0.13
CaO	4.43	4.51	4.24	4.83	4.19	7.82	8.04	5.04	7.36
Na ₂ O	4.23	4.04	4.10	4.24	4.36	3.85	3.83	4.40	3.91
K ₂ O	1.29	1.73	1.57	1.18	1.44	1.19	1.17	1.20	1.04
P ₂ O ₅	0.23	0.22	0.21	0.30	0.20	0.17	0.20	0.32	0.18
Cr ₂ O ₃	0.003	0.004	0.004	0.003	0.003	0.020	0.020	0.06	0.018
AK	1.8	1.8	1.8	1.5	1.3	0.6	1.4	1.2	1.0
Toplam	99.87	99.86	99.86	99.86	99.86	99.79	99.80	99.86	99.80
K	10709	14361	13033	9796	11954	9879	9713	9962	8633
Ti	2817	2817	2697	3117	2757	6773	6713	3117	6653
P	1004	960	916	1309	873	742	873	1396	785
Ni	20	20	20	20	20	58	68	20	43
Sc	6	6	6	7	6	20	19	7	20
V	53	49	56	57	55	147	150	63	148
Co	20.2	21.6	26.2	16.0	31.7	52.7	42.2	16.3	39.4
Ga	16.6	17.7	17.1	16.8	16.7	16.5	15.1	15.6	15.9
Rb	31.3	37.6	35.8	23.7	37.2	27.1	28.4	22.0	39.1
Sr	304	319	317	419	314	346	338	401	345
Y	15.5	14.0	13.9	20.8	14.1	20.1	21.3	15.9	21.2
Zr	244	247	244	235	240	132	130	219	137
Nb	7.7	7.9	8.4	12.5	8.3	6.6	5.8	11.2	6.9
Cs	0.8	0.9	0.7	0.1	0.9	0.8	1.2	0.2	1.9
Ba	318	332	331	348	352	238	251	322	240
La	27.4	25.6	25.6	36.9	26.0	16.6	17.4	32.2	18.5
Ce	49.2	48.3	46.7	61.2	45.4	33.8	32.3	55.7	34.5
Pr	5.28	5.16	5.15	6.39	5.13	3.70	3.58	5.60	3.81
Nd	20.0	19.0	18.8	25.2	19.2	15.7	14.3	20.8	15.4
Sm	3.81	3.47	3.56	4.42	3.47	3.00	3.14	3.71	3.28
Eu	1.05	1.00	1.07	1.27	0.97	1.09	1.09	1.09	1.09
Gd	3.40	3.37	3.23	4.32	3.17	3.81	3.83	3.55	3.90

Tb	0.49	0.45	0.47	0.62	0.42	0.62	0.61	0.49	0.60
Dy	2.85	2.55	2.62	3.52	2.56	3.95	3.59	2.95	3.79
Ho	0.49	0.51	0.47	0.70	0.49	0.80	0.79	0.55	0.80
Er	1.46	1.36	1.18	2.05	1.29	2.41	2.49	1.54	2.33
Tm	0.22	0.19	0.18	0.28	0.16	0.33	0.32	0.22	0.35
Yb	1.31	1.30	1.19	1.74	1.12	2.20	2.09	1.38	2.11
Lu	0.22	0.19	0.17	0.25	0.16	0.31	0.34	0.23	0.32
Hf	5.4	5.2	5.1	5.1	5.0	3.3	3.1	4.8	3.3
Ta	0.6	0.5	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.8	0.5
Th	6.4	6.6	6.9	8.8	6.5	6.8	7.3	8.3	8.4
U	1.8	1.8	2.1	2.2	1.9	2.1	2.0	2.0	2.3
Örnek	DA-41	DA-43	DA-44	DA-46	DA-47	DA-56	DA-57	DA-74	DA-75
SiO ₂	50.49	50.77	50.45	49.86	50.12	50.20	49.87	50.29	50.36
TiO ₂	1.70	1.69	1.72	1.72	1.72	1.73	1.73	1.70	1.68
Al ₂ O ₃	16.27	16.39	16.38	16.38	16.28	16.43	16.56	16.14	16.13
Fe ₂ O ₃	9.79	9.84	10.05	9.95	9.73	10.00	10.09	9.83	9.92
MgO	6.12	5.86	5.97	6.00	5.37	5.62	5.80	6.02	6.50
MnO	0.15	0.15	0.17	0.13	0.14	0.13	0.14	0.12	0.12
CaO	7.18	7.06	7.08	7.22	7.26	7.18	7.24	6.95	7.03
Na ₂ O	4.26	4.20	4.29	4.21	4.15	4.25	4.30	4.16	4.13
K ₂ O	1.38	1.42	1.38	1.36	1.49	1.38	1.40	1.35	1.32
P ₂ O ₅	0.36	0.36	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37
Cr ₂ O ₃	0.021	0.023	0.048	0.023	0.021	0.023	0.022	0.020	0.021
AK	2.0	1.9	1.8	2.5	3.1	2.4	2.2	2.8	2.1
Toplam	99.74	99.74	99.74	99.75	99.75	99.75	99.74	99.75	99.74
K	11456	11788	11456	11290	12369	11456	11622	11207	10958
Ti	10190	10130	10310	10310	10310	10370	10370	10190	10070
P	1571	1571	1614	1614	1614	1614	1614	1614	1614
Ni	107	110	111	109	104	110	115	109	109
Sc	17	17	18	17	17	18	18	17	17
V	164	161	166	177	163	176	183	169	161
Co	43.2	39.8	42.9	43.4	36.5	42.9	39.8	36.6	38.8
Ga	16.4	16.7	17.7	16.1	15.9	16.5	16.0	16.1	15.8
Rb	31.7	34.8	30.9	29.2	35.4	30.0	29.8	29.7	29.5
Sr	507	517	523	497	559	493	492	482	486
Y	24.2	25.4	23.8	23.5	25.0	24.5	24.3	23.5	23.9
Zr	204	205	205	201	205	201	200	196	198
Nb	13.2	13.9	13.1	13.5	13.6	13.7	13.8	13.2	12.9
Cs	0.9	0.8	1.1	1.4	1.0	1.2	0.8	1.2	1.1
Ba	264	307	274	258	400	269	259	263	248
La	26.5	29.3	25.7	25.8	33.2	26.8	26.2	25.2	25.9
Ce	50.3	55.9	52.2	50.9	63.3	52.5	48.8	50.8	49.0
Pr	5.70	6.30	5.75	5.59	6.57	5.82	5.76	5.51	5.51
Nd	23.3	23.4	24.3	23.1	25.9	22.9	23.6	21.9	22.7
Sm	4.71	5.12	5.03	5.09	5.02	4.74	4.64	4.62	4.60
Eu	1.56	1.57	1.61	1.48	1.58	1.52	1.53	1.47	1.57
Gd	4.78	5.17	5.46	5.32	5.26	4.94	5.15	4.94	5.09
Tb	0.76	0.76	0.73	0.74	0.76	0.75	0.76	0.72	0.73
Dy	4.62	4.54	4.67	4.67	4.34	4.40	4.61	4.44	4.22

Ho	0.89	0.92	0.91	0.87	0.91	0.82	0.88	0.88	0.85
Er	2.52	2.62	2.53	2.37	2.45	2.52	2.34	2.45	2.26
Tm	0.33	0.34	0.36	0.31	0.34	0.33	0.34	0.31	0.32
Yb	2.15	2.25	2.03	1.99	2.11	2.12	2.19	2.05	2.19
Lu	0.33	0.33	0.34	0.30	0.31	0.29	0.30	0.31	0.31
Hf	4.4	4.4	4.8	4.0	4.4	4.5	4.2	4.4	4.0
Ta	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8	0.6	0.7	0.5	0.7
Th	7.1	8.1	7.6	7.0	10.6	7.1	7.5	6.8	6.8
U	1.7	2.0	1.7	1.5	2.5	1.5	1.4	1.6	1.7



Şekil 6. Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Yamadağı Volkanitlerinin toplam alkali-silis [15] diyagramındaki konumları.

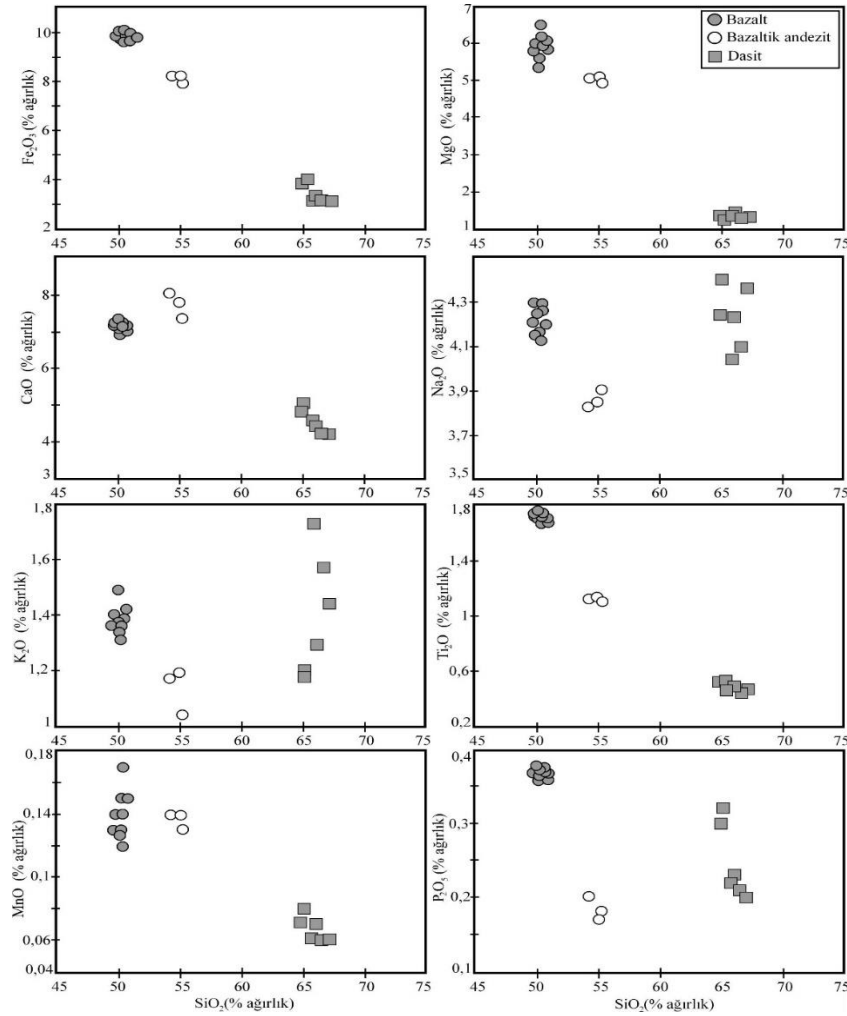


Şekil 7. Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Yamadağı Volkanitlerinin AFM üçgen diyagramındaki konumları [16]. Fraksiyonel kristalleşme

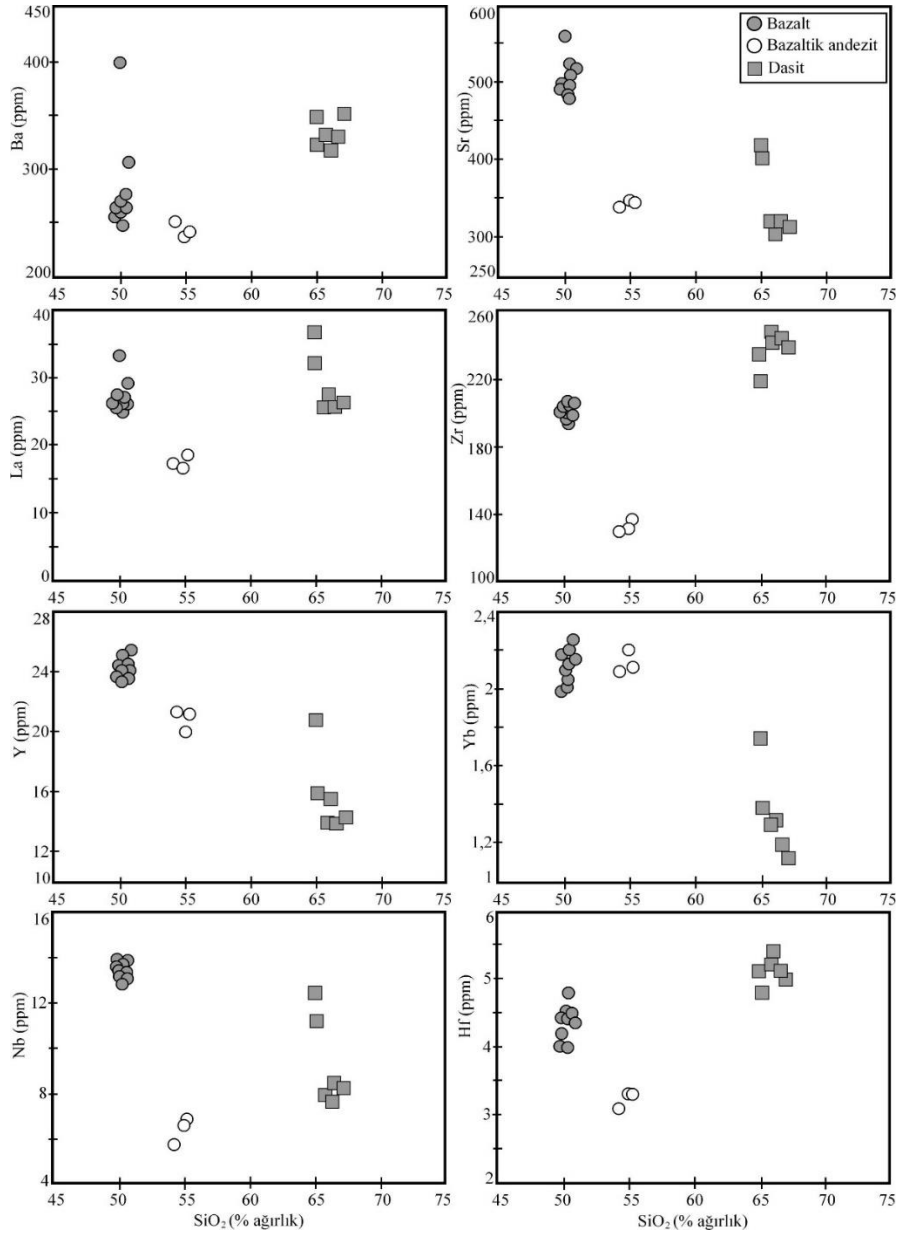
Yamadağı Volkanitlerinin ana element içeriklerine baktığımızda SiO_2 içeriklerinin % 49,87-67,13 aralığında olduğu görülmektedir. Yamadağı Volkanitlerinin ana ve eser element içerikleri ayrışma indisi olarak alınan SiO_2 'ye göre değişim diyagramlarına bakıldığında uyumlu eğilimler izlenmektedir (Şekil 8; 9).

Yamadağı Volkanitlerinin bazaltik uç üyelerinin magmadan itibaren meydana gelen ilk kristalleşmelerle, kristallerin magma ortamında sıvı-kristal temasının kesilmesi ile oluşan fenokristallerin magma ortamından uzaklaşması ile oluştuğu düşünülmektedir. Sonrasında magma ortamının bazik kayaçları oluşturan mineraller / elementler bakımından fakirleşmesi ve bu minerallerin / elementlerin tüketilmesi ile sonraki evrelerde de ortaç ve asidik kayaçların oluştuğu ana ve eser elementlerin SiO_2 'ye karşı olan diyagramlarındaki uyumlu eğilimlerde izlenmektedir (Şekil 8; 9).

Ana elementlerdeki bu uyumlu eğilimler bazaltlardan dasitlere doğru Fe_2O_3 , MgO , CaO , TiO_2 , MnO ve P_2O_5 'de azalma şeklinde izlenirken, K_2O ve Na_2O 'da ise nispeten artma eğilimi şeklindedir (Şekil 8). Benzer durum eser elementlerin SiO_2 'ye olan değişim diyagramlarında da izlenmektedir. Eser elementlerin değişim diyagramlarında bazaltlardan dasitlere doğru Ba, Zr, La ve Hf element oranlarında artma görülürken, Sr, Y, Yb ve Nb elementlerinde ise azalma eğilimi izlenmektedir (Şekil 9). Bazik kayaçlarda bol gözlenen elementler magmanın kristalleşmesinin ilk evrelerinde Sr, Y, Yb ve Nb gibi elementler Ca-plajiyoklaz, olivin ve piroksen minerali tarafından tüketilmekte ve kristalleşmenin son evrelerinde dasitik kayaçlarda nispeten daha az miktarlarda görülmektedir. Bazik magmatik kayaçlarda dasitik kayaçlara göre daha az bulunan Ba, Zr, La ve Hf gibi elementler ise kristalleşmenin ilk evrelerinde sıvı fazda kalmayı tercih ederken, bazik kayaçların magma ortamını terk etmesinden sonra kristalleşmenin geç evrelerinde Na-plajiyoklaz ve hornblend minerallerin bünyesinde girerek kristalleşmektedir.

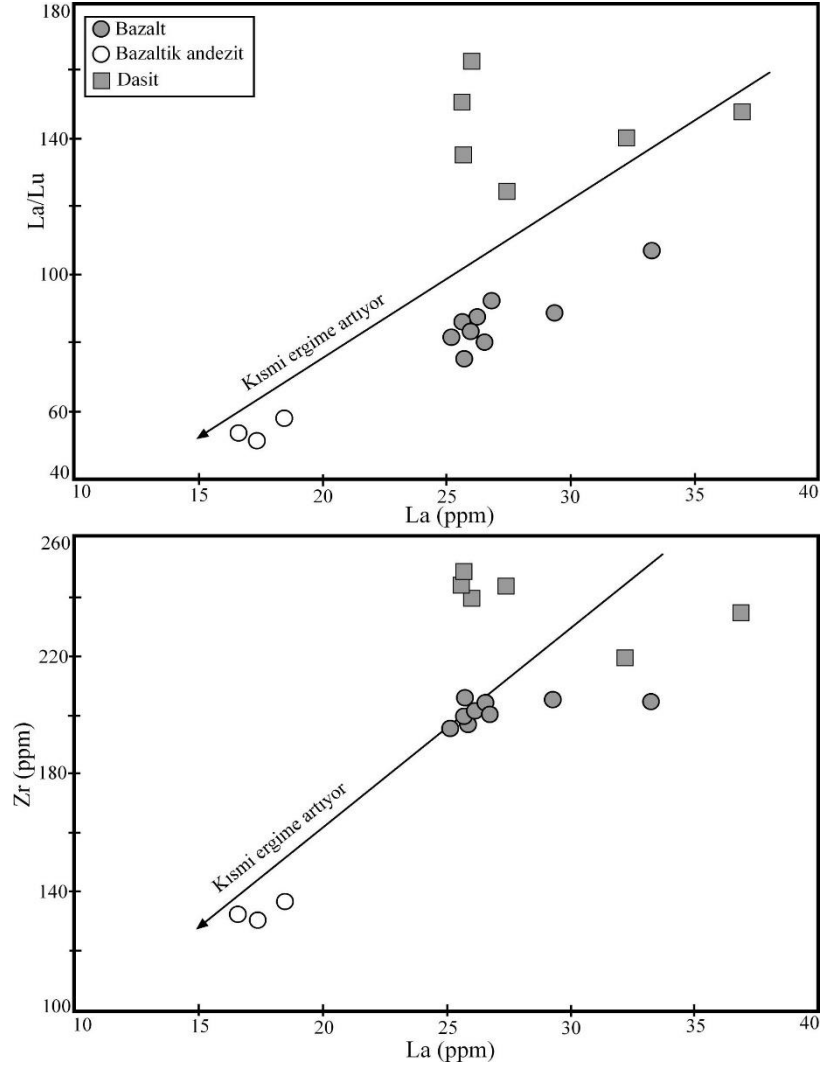


Şekil 8. Yamadağı Volkanitlerinin ana element içeriklerinin SiO_2 'ye göre olan değişim diyagramındaki konumları.



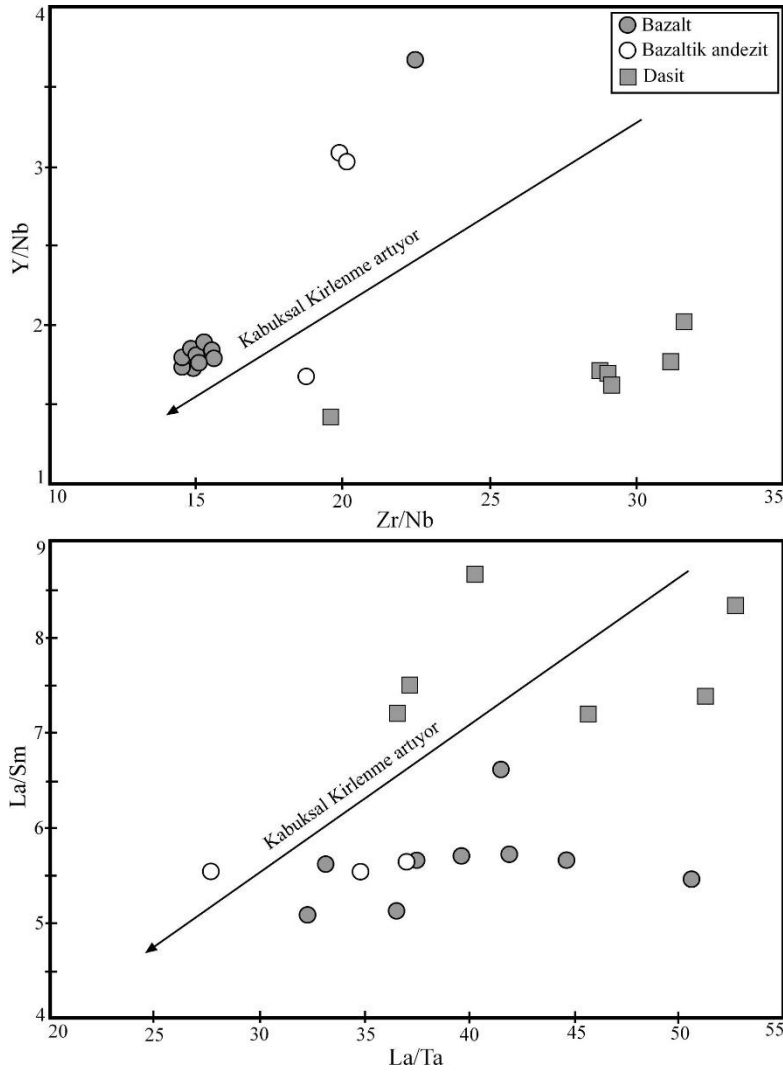
Şekil 9. Yamadağı Volkanitlerinin bazı eser element içeriklerinin SiO_2 'ye göre olan değişim diyagramındaki konumları. Kısmi ergime

Yamadağı Volkanitlerinin kısmi ergime oranlarına baktığımızda ise dasitik volkanik kayalardan bazaltik volkanik kayalara doğru kısmi ergime miktarlarında artış olduğu bazı eser elementlerin birbirlerine göre olan Harker değişim diyagramlarında belirgin olarak izlenmektedir [18]. Burada özellikle hafif nadir toprak element miktarlarının ağır toprak elementlere göre oranlandığında, bazalt ve bazaltik andezitlerdeki oranlarının dasitlere göre nispeten daha yüksek olması ile birlikte bazalt ve bazaltik andezitlerde kısmi ergime miktarları dasitlere göre daha fazladır. Benzer şekilde Zr gibi kalıcılığı düşük elementlerle Lu gibi ağır nadir toprak elementlerin birbirlerine göre konumları dikkate alındığında da benzer ilişki görülmüştür (Şekil 10).



Şekil 10. Yamadağı Volkanitlerinin a) La/Lu-La ve b) Zr-La değişim diyagramındaki konumları [18]. Kabuksal kirlenme.

Yamadağı Volkanitlerinin kabuksal kirlenme etkilerine baktığımızda ise dasitik volkanik kayalarda kabuksal kirlenme etkileri gözlenmezken, bazaltik andezitlerde çok az, bazaltlarda ise belirgin miktarda kabuksal kirlenmenin etkileri eser elementlerin birlerine göre oranlandığı Harker değişim diyagramlarında izlenmektedir [18] (Şekil 11).



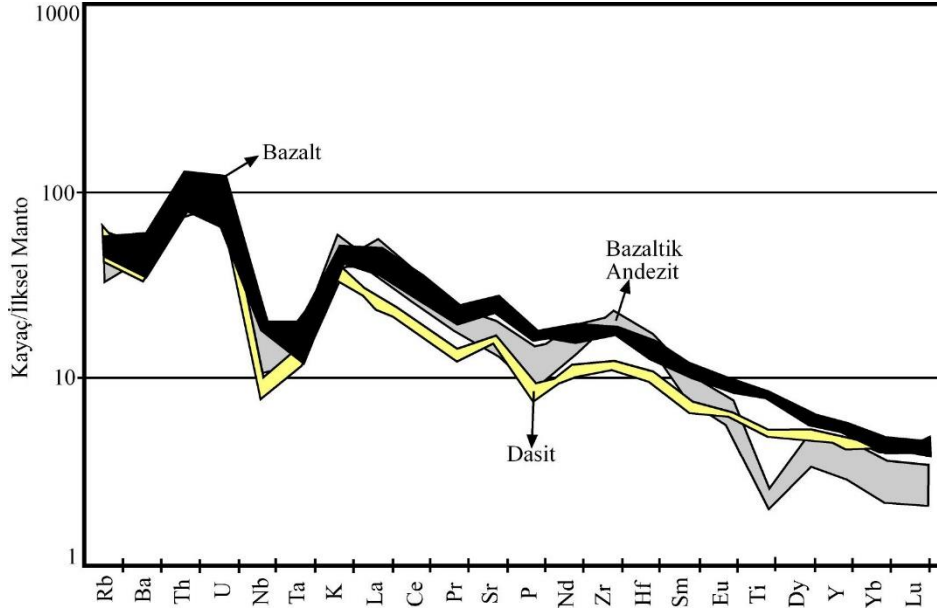
Şekil 11. Yamadağı Volkanitlerinin a) Y/Nb-Zr/Nb ve b) La/Sm ve La/Ta değişim diyagramındaki konumları [18]. Manto kaynağı

Yamadağı Volkanitlerinin birincil mantoya göre normalize edilmiş örümcek diyagramındaki iz element dağılım desenleri incelendiğinde hafif nadir toprak elementlerin ağır nadir toprak elementlere göre daha fazla zenginleşmiş olduğu izlenmektedir (Şekil 12). Hafif nadir toprak elementleri zenginleşmesinin daha fazla olması Yamadağı Volkanitlerinin magmadan itibaren kristallenmesi esnasında kabuksal kökenli malzeme katkısının daha fazla olduğuna işaret etmektedir.

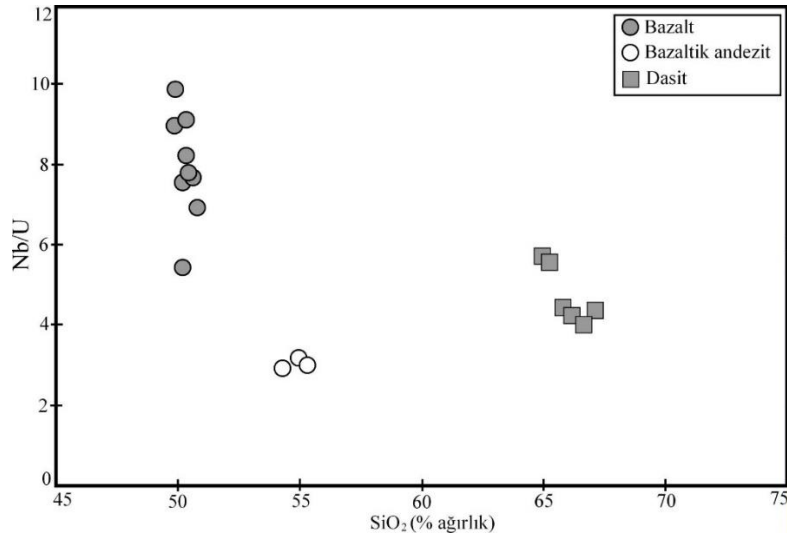
Yamadağı Volkanitleri içerisindeki bazaltlarda ve bazaltik andezitlerde Sr ve K gibi kalıcılığı düşük elementler ile Zr, Th gibi kalıcılığı düşük elementlerde pozitif dağılım deseni gözlenirken, Nb, Ta ve P gibi kalıcılığı yüksek elementlerde negatif dağılım desenleri gözlenmektedir. Dasitlerde ise Sr, Rb, K gibi kalıcılığı düşük elementlerde ve Zr, Th gibi kalıcılığı düşük elementlerde pozitif dağılım deseni gözlenmekte, Nb, Ti ve P gibi kalıcılığı yüksek elementlerde ise negatif dağılım desenleri görülmektedir (Şekil 12). Pozitif dağılım desenleri gösteren elementlerin bölümsel ergime süreçleri esnasında bölümsel ergimeye bol miktarda katıldıkları, Nb, Ti, Ta ve P gibi negatif dağılım deseni gösteren elementlerin ise bölümsel ergime süreçlerine çok fazla katılmadıkları düşünülmektedir [17], [18].

Yamadağı Volkanitlerinin SiO_2 'ye göre olan bazı değişim diyagramındaki konumları incelendiğinde kökenleri hakkında bilgiler edinilebilmektedir. Örneğin Nb/U'un SiO_2 'ye göre olan değişim diyagramındaki konumları incelendiğinde Yamadağı Volkanitlerinin tamamının 2-10 arasında yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 13). Kabuksal kökenli kayaç değerlerinin yaklaşık 8.93, alt kıtasal kabuk kayaçlarının yaklaşık 25 ve manto kökenli kayaç değerlerinin 49 ± 10 civarında konumlandığı [19] düşünüldüğünde Yamadağı Volkanitlerinin

kabuksal kökenli kayalardan itibaren türemiş olabileceği ya da magmanın soğuması esnasında kabuksal etkileşimin miktarının oldukça etkin olduğu şeklinde yorumlanabilmektedir.



Şekil 12. Yamadağı Volkanitlerinin eser element konsantrasyonlarının ilksel mantoya göre [20] normalize edilmiş örümcek diyagramındaki konumları.



Şekil 13. Yamadağı Volkanitlerinin Nb/U-SiO₂ değişim diyagramındaki konumları.

5. Tartışma ve Sonuçlar

Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Yamadağı Volkanitleri baskın olarak bazalt ve trakibazalt ile bazaltik andezit ve dasitlerden oluşmakta ve kalkalkalin karakter sergilemektedir. Ana element ve eser element değişim diyagramlarında bu volkanitlerin oluşum sürecinde fraksiyonel kristalleşme süreçlerinin varlığı izlenmektedir. Bazaltik andezitlerden dasitlere doğru geçişte bileşimsel bir boşluğun varlığı da görülmekte olup, bunun temel nedeninin Yamadağ Volkanitlerini oluşturan magmanın kabuksal kayalarla etkileşimi sonucu silis içeriğindeki ani yükseliş olabileceği öngörülmektedir. Yamadağ Volkanitlerinde kısmi ergime süreçlerinin etkinliği de eser elementlerin değişim diyagramlarında görülmektedir. Ayrıca bazik magmatik kayalardan asidik magmatik

kayaçlara doğru kabuksal kirlenmenin etkileri de belirgin bir şekilde artış göstermiştir. Yamadağı Volkanitlerinde hafif nadir toprak elementlerin ağır nadir toprak elementlere göre daha fazla zenginleşmiş olması ve Nb/U oranlarının 10'un altında olması kabuksal köken etkilerinin belirgin olduğunu göstermektedir.

Yamadağı Volkanitlerinin petrografik ve jeokimyasal karakteristikleri ve daha önce yapılmış çalışmalardan elde edilen jeokronolojik yaş verileri bölgesel jeoloji içerisinde birlikte değerlendirildiğinde [2],[5] ve çalışma alanının da Yamadağı volkanizmasının kuzey kesimlerini oluşturması sebebiyle, Yamadağı volkanizmasının Üst Kretase-Eosen döneminde Neotetis okyanusunun kapanmasını izleyen evrede Neotetisin yitimi sonucu litosferik dilimden açığa çıkan akışkanlar tarafından metasomatizmaya uğratılmış bir manto kaynağından itibaren Üst Miyosen-Pliyosen yaş aralığında oluşmuş olabileceği öne sürülebilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyon Başkanlığı (CÜBAP) tarafından M-2021-812 numaralı proje ile desteklenmiştir. Yazarlar bu projeye desteklerinden dolayı CÜBAP'a teşekkür ederler.

Kaynaklar

- [1] Ketin, İ., (1966). Anadolu'nun tektonik birlikleri, MTA Dergisi, 66, 20-34, Ankara.
- [2] Ekici, T., (2003). Arguvan-Arapkir (Malatya) arasında Malatya fay hattı boyunca gözlenen neojen volkaniklerinin petrolojisi. Çukurova Üniversitesi (Doktora Tezi)
- [3] Ekici, T., Alpaslan, M., Parlak, O., Temel, A., (2007). Geochemistry of the Pliocene basalts erupted along the Malatya-Ovacık fault zone (MOFZ), eastern Anatolia, Turkey: Implications for source characteristics and partial melting processes. *Chemical Earth Geochemistry* 67 (2007) 201-212.
- [4] Ekici, T., Alpaslan, M., Parlak, O., Uçurum, A., (2009). Geochemistry of the Miocene Collision-related Yamadağı (Eastern Anatolia) Calc-alkaline Volcanics, Turkey. *Turkish Journal of earth Sciences*, Vol. 18, 2009, pp. 511-528.
- [5] Kürüm, S., Önal, A., Boztuğ, D., Arslan, M., Spell, R. (2004). ⁴⁰Ar/³⁹Ar age determination and geochemistry of the widespread Yamadağı volcanics in the Arapkir, N Malatya region, Eastern Anatolia, Turkey. *Proceedings 5th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology*, Thessaloniki, Greece.
- [6] Okan, Aİ, Tüysüz, O., (1999). Tethyan sutures of northern Turkey. *Geology Society of London, Spec. Publ.* 156, 475-515. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1999.156.01.22>
- [7] Moorhouse, W.W. (1969). *The study of rocks in thin section*. Harper and Row, New York, 514 pp.
- [8] Erkan, Y. (2011). *Kayaç Oluşturan Önemli Minerallerin Mikroskopta İncelenmesi*, TMMOB Jeol. Müh. Odası, 5. Baskı. Sayfa, 436. ISBN: 975-395-137-X.
- [9] MacKenzie, W.S. and Guilford, C. (1980). *Atlas of rock forming minerals in thin section*. John Wiley and Sons, Inc, New York.
- [10] Yardley, B.W.D., MacKenzie W.S. ve Guilford, C. (1990). *Atlas of metamorphic rocks and their textures*. John Wiley and Sons, Inc, New York.
- [11] Streckeisen, A., (1979). Classification and Nomenclature of Volcanic Rocks, Lamprophyres, Carbonatites and Melilitic Rocks. *Geology*, 7, 331-335.
- [12] Hibbard, M.J., (1991). Textural anatomy of twelve magma mixed granitoid systems: in Didier, J and Barbarin, B. (eds), *Enclaves and Granite Petrology, Development in Petrology*, Elsevier, 431-444.
- [13] Hibbard, M.J., (1995). *Petrography to Petrogenesis*. Prentice Hall: Englewood Cliffs.
- [14] Yılmaz, S. ve Boztuğ, D., (1994). Granitoid Petrojeninde Magma Mingling/Mixing Kavramı, Türkiye'den Bazı Örnekler, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 44-45, 1-20.
- [15] Le Maitre, R.W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre Le Bas, M.J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorensen, H., Streckeisen, A., Wolley, A.R., and Zonettin, B. (1989). *A classification of igneous rocks and glossary of terms*. Blackwell, Oxford.
- [16] Irvine, T.N and Barager, W.R.A., (1971). Major and trace element abundances in volcanic rocks and orogenic areas. *Bull. Geol. Soc. A.*, 83- 29-40.
- [17] Pearce, J.A., (1983). The role of subcontinental lithosphere in magma genesis destructive plate margins. In: Hawkesworth, C.J., Nory, M.J (eds), *Continental Basalt and Mantle Xenoliths*. Shiva, Nantwich, pp. 230-249.
- [18] Wilson, M. (1989). *Igneous petrogenesis*: London, Chapman and Hall, 466 p.
- [19] Rudnick, R. L., Fountain, D. M. (1995). and Composition of the Continental Crust: A Lower Crustal Perspective. *Review of Geophysics*, 33(3): 267-309.
- [20] 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 basin*. Geol. Soc. London. Spec. Publ. No: 42, pp. 313-345