



Torul (Gümüşhane) Volkaniklerinin Petrografik ve Petrolojik Özellikleri (KD Türkiye); Fraksiyonel Kristallenme ve Magma Karışımına İlişkin Bulgular

*Petrographical and Petrological Features of Torul (Gümüşhane) Volcanites (NE Turkey); Evidences for Fractional Crystallisation and Magma Mixing/Mingling*

Abdullah Kaygıusuz Karadeniz Teknik Üniversitesi, Gümüşhane Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 29000, Gümüşhane (e-posta: abdullah@ktu.edu.tr)  
Cüneyt Şen Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon (e-posta: csen@ktu.edu.tr)  
Zafer Aslan Karadeniz Teknik Üniversitesi, Gümüşhane Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 29000, Gümüşhane (e-posta: aslan@ktu.edu.tr)

### Öz

Doğu Pontid'lerin Kuzey-Güney Zonu geçişinde yer alan Torul ve çevresinde yüzeylenen Liyas, Üst Kretase ve Eosen yaşlı volkanik kayalar mineralojik, petrografik ve kimyasal olarak incelenmiştir.

Liyas volkanitleri başlıca bazalt, bazaltik andezit ve traki-andezitten oluşmaktadır. Bazaltlar labrador ( $An_{51-63}$ ), olivin ve ojitten; andezitler ise oligoklas ( $An_{27-28}$ ), hornblend ve annit ( $Mg\# 0.58-0.67$ ) minerallerinden oluşmaktadır. Bu volkanik kayalar orta-yüksek potasyumlu, toleyük-kalk-alkalen karakterli olup,  $(La/Lu)_N$  değerleri 16.0-23.8 arasında değişmektedir.  $SiO_2$ 'ye karşı ana ve iz elementi değişim diyagramları iyi derecede korelasyon göstererek, kayaların gelişiminde olivin, klinopiroksen, plajiyoklas ve Fe-Ti oksit fraksiyonlaşmasının etkili olduğuna işaret etmektedir. Kayalar yüksek LILE (Ba, Rb, Sr) ve LREE (La, Ce) fakat düşük HFSE (Zr, Y, Ti) içeriklerine sahiptirler. İz element dağılımları N-tipi MORB'a benzerlik sunarlar. Ba/La oranları 3-9 arasındadır ve OIB'lere yakınlık gösterirler. Ba/Nb, Nb/Th, Th/Y ve Nb/Y oranları OIB'lere: K/Rb, K/Ba, Sr/Rb, Zr/Nb, Ba/Th, Ba/La, Zr/Rb ve Y/Nb oranlarında N-tipi MORB'a benzerlik gösterirler.

Bimodal karakterli Üst Kretase volkanitleri andezit, dasit ve riyolit bileşimlidir. Andezitler andezin ( $An_{41-49}$ ), aktinolitik hornblend ( $Mg\# 0.83-0.84$ ), magnezyo-hornblend ( $Mg\# 0.79$ ) ve biyotitten; dasitler oligoklas, sanidin, kuvars ve annit ( $Mg\# 0.58-0.62$ )'den; riyolitler ise andezin-oligoklas ( $An_{27-34}$ ), kuvars, sanidin, biyotit ve hornblend minerallerinden oluşmaktadır. Volkanitler kalk-alkalen karakterli olup, orta-yüksek potasyum içeriğine sahiptirler ve  $(La/Lu)_N$  değerleri 3.7-14.7 arasındadır. Artan  $SiO_2$ 'ye karşı  $K_2O$ , Rb, Th, Ba ve Nb içerikleri pozitif korelasyon göstererek, kayaların gelişiminde plajiyoklas, hornblend ve Fe-Ti oksit fraksiyonlaşmasının etkili olduğuna işaret etmektedir. N-tipi MORB'a göre normalize edilmiş iz element değişim diyagramında LILE elementlerce zenginleşmiş, HFSE elementlerce fakirleşmişlerdir. Negatif Nb ve Ti anomalileri, ana magmanın gelişiminde yitim bileşeninin etkisinin olduğunu göstermektedir. Ba/La oranları 15-46 arasında olup ada yayı bazaltlarına yakınlık gösterirler. La/Nb, Ba/Nb,

Ba/Th, Rb/Nb, K/Nb, Ba/La, K/Ba, Nb/Th, Zr/Nb ve Sm/Nd oranları adayı kalk-alkalen bazaltlara benzerlik gösterirler.

Eosen volkanitleri andezit bileşiminde olup başlıca mineralleri andezin ( $An_{3-4}$ )-oligoklas ( $An_{2-29}$ ) magnezyo-hastinjitik hornblend ( $Mg\# 0.72-0.92$ ), magnezyo-hastinjit ( $Mg\# 0.84-0.91$ ), şannakitik hornblend ( $Mg\# 0.70-0.77$ ), ojit ( $0.43-0.44$ ), diyopsit ( $Wo_{46}$ ) ve biyotit oluşturur. Kalk-alkalen karakterli volkanikler orta-yüksek potasyum içeriğine sahiptirler ve  $(La/Lu)_N$  değerleri 4.6-6.9 arasındadır. Eosen volkanitlerinin gelişiminde plajiyoklas, piroksen, hornblend ve Fe-Ti oksit fraksiyonlaşması etkili olmuştur. Kayalar yüksek LILE ve LRFIE, düşük HFSE içeriklerine sahiptirler. MORB'a göre iz element dağılımlarındaki negatif Nb ve Ti anomalileri, ana magmanın gelişiminde yitim bileşeninin etkisinin olduğunu göstermektedir. Ba/La oranları 43-80 arasında olup adayı bazaltlarına benzerlik gösterirler. Ba/Nb, Ba/Th, Rb/Nb, K/Nb, Ba/La, K/Rb, Zr/Rb, Sm/Nd ve Zr/Ba oranları TAB'lere benzerlik gösterirler.

Kayaçalarda magma karışımı veya girişimine (magma mixing) işaret eden dengesizlik dokularından bazıları olan plajiyoklas [ardaki salınlı zonlanma, elek dokusu, resorbe plajiyoklas, kemirilmiş kuvars, hornblend ve biyotitlerde gözlenen opaklaşma ve bozunma yapıları yaygın olarak gözlenmiştir. Plajiyoklas fenokistallerinde kenardan merkeze doğru anortit içeriklerinde azalma, hornblend ve piroksen fenokistallerinde kenardan merkeze doğru Mg numaralarının düşmesi şeklinde gözlenen ters zonlanmalar jeokimyasal olarak magma karışımını (magma mixing) desteklemektedir. Ayrıca Üst Kretase yaşlı dasitler içerisinde gözlenen bazik bileşimli anklavlar, Torul volkanitlerinin gelişiminde magmamingleme önemli rol oynadığını göstermektedir.

Fraksiyonel kristallenme ile birlikte asimilasyon da volkaniklerin gelişiminde önemli rol oynamışlardır. Örneklerde gözlenen yüksek  $SiO_2$ , La ve Ce içerikleri, LILE element zenginleşmeleri, yüksek  $K_2O/Na_2O$  ve düşük Ti/Yb (491-4280) oranları ve düşük konsantrasyonlarda  $P_2O_5$  (0.02-0.54) içerikleri ana magmanın kabuksal malzeme ile girişim yaptığını işaret etmektedir.

Mineralojik, petrografik ve jeokimyasal veriler Torul volkanik kayaçlarının ana magmasının alt kabuk ve/veya üst mantodan türediğini, kayaçların fraksiyonel kristallenme, magma karışımı ± kontaminasyon/asimilasyon olayları sonucunda geliştiğini ve volkanitlerin kaynağının Lias'ta zenginleşmiş, Üst Kretase ve Eosen'de de yitim sonucu metasomatizmaya uğramış okyanus ortası bazalt mantosu olabileceğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Fraksiyonel Kristallenme, Gümüşhane, Magma Karışımı, Petroloji, Torul volkanitleri

#### Abstract

*Mineralogical, petrographical and geochemical features of Liassic, Upper Cretaceous and Eocene volcanic rocks in the Torul region, which are situated along the transition between the Northern and Southern Zones of Eastern Pontides, are investigated.*

*Liassic volcanics are mainly basaltic, basaltic andesitic and trachy-andesitic in composition. Basalt contains labrador ( $An_{51-63}$ ), olivine and augite, while andesite contains oligoclase ( $An_{27-28}$ ), hornblende and annite ( $Mg\# 0.58-0.67$ ). These volcanics have medium-high K contents, and are tholeiitic to calc-alkaline in nature.  $(La/Lu)_N$  values are between 16.0 and 23.8.  $SiO_2$  versus major and trace element variation plots show good correlation, suggesting significant role of olivine, clinopyroxene, plagioclase and Fe-Ti oxide*

*fractionation during the evolution. The rocks have high LILE (Ba, K, Sr) and LREE (La, Ce) but low Hf/SE (Zr, Y, Ti) contents. Trace element distributions show similarities of N-type MORB sources. Ba/La ratios are between 3 and 9, and show similarities of ocean island basalt. Ba/Nb, Nb/Th, Th/Y and Nb/Y ratios show similarities of ocean island basalt, while K/Rb, K/Ba, Sr/Rb, Zr/Nb, Ba/Th, Ba/La, Zr/Rb and Y/Nb ratios show similarities of N-type MORB.*

*Upper Cretaceous volcanics are bimodal and, are andesite, dacite and rhyolite in composition. Andesite contains andesine ( $An_{41-49}$ ), acinoliitic hornblende (Mg# 0.83-0.84), magnesio-hornblende (Mg# 0.79) and biotite; dacite contains oligoclase, sanidine, quartz and annite (Mg# 0.58-0.62); rhyolite contains andesine-oligoclase ( $An_{27-34}$ ), quartz, sanidine, biotite and hornblende. (La/Lu)N values are between 3.7 and 14.7, increasing in  $SiO_2$  versus  $K_2O$ , Rb, Th, Ba and Nb contents show positive correlation, suggesting significant plagioclase, hornblende and Fe-Ti oxide fractionation during the evolution of volcanics. These volcanics enriched LILE elements but depleted HFSE elements at the N-type MORB normalised element diagrams. Negative Nb and Ti anomalies show influence of subduction component during the evolution of main magmas. Ba/La ratios are between 15 and 40, and show similarities of typical island arc basalt. La/Nb, Ba/Nb, Ba/Th, Rb/Nb, K/Nb, Ba/La, K/Ba, Nb/Th, Zr/Nb and Sm/Nd ratios show similarities of island arc calc-alkaline basalt.*

*Eocene volcanics are andesite in composition and contain andesine ( $An_{41-44}$ )-oligoclase ( $An_{41-44}$ ), magnesio-hastingsitic hornblende (Mg# 0.72-0.92), magnesio-hastingsitic (Mg# 0.84-0.91), tschermakitic hornblende (Mg# 0.70-0.77), augite (Wo<sub>43-44</sub>), diopside (Wo<sub>46</sub>) and biotite. These volcanics are calc-alkaline in character, and has medium-high K contents. (La/Lu)N values are between 4.6 and 6.9. Fractionation of plagioclase, pyroxene, hornblende and Fe-Ti oxide played an important role in Eocene volcanic rocks. Rocks have high LILE and LREE contents and low HFSE contents. Negative Nb and Ti anomalies according to the N-type MORB shows influence of subduction component during the evolution of main magmas. Ba/La ratios are between 43 and 80, and show similar U<sub>i</sub> of island arc basalt. Ba/Nb, Ba/Th, Rb/Nb, K/Nb, Ba/La, K/Rb, Zr/Rb, Sm/Nd and Zr/Ba ratios show similarities of island arc calc-alkaline basalt.*

*Disequilibrium textures showing magma mixing such as oscillatory zoning, sieve textured and resorbed plagioclase phenocrysts, embayed quartz, breakdown of hornblende and biotites are commonly observed in these rocks. Reverse zoning such as decreasing of anorthite contents of plagioclase phenocrysts from rim to core, decreasing of Mg number of hornblende and pyroxene phenocrysts from rim to core, suggesting of magma mixing geochemically. In addition, basic enclaves observed in Upper Cretaceous dacites show significant role of magma mingling during the evolution of Torul Volcanics.*

*Assimilation with together fractional crystallisation has significant role the evolution of volcanics. High  $SiO_2$ , La and Ce contents, LILE enrichment, high  $K_2O/Na_2O$  ratios and low Ti/Yb ratios, and low  $P_2O_5$  concentrations indicate interference of main magmas with crustal materials.*

*Mineralogical, Petrographical and geochemical data indicate that the Torul volcanic rocks evolved by the fractional crystallisation and magma mixing  $\pm$  contamination/assimilation of a parental magma derived from lower crust and/or metasomatized upper mantle, and the sources of these volcanics are enriched-MORB mantle in Liassic, and metasomatized MORB mantle in Upper Cretaceous and Eocene.*

*Key words: Fractional crystallization, Gümüşhane, Magma mixing/mingling, Petrology, Torul volcanics*

## GİRİŞ

Fosil ada yayı olan Doğu Pontid'lerde, Liyas'ta, Kretase'de ve Eosen'de (ve sonrasında) olmak üzere üç ana volkanik devir belirlenmiştir (Adamia ve diğ., 1977; Şengör ve Yılmaz, 1981; Kazminve diğ., 1986; Korkmaz ve diğ., 1995; Arslan ve diğ., 1997). Çamur ve diğ., (1996) ise Doğu Pontid'lerdeki Üst Kretase volkanik devrini, Üst Kretase Alt Volkanik devri ve Üst Kretase Üst Volkanik devri olmak üzere iki evreye ayırmışlardır. Yeknesak olmayan Doğu Pontid'ler Kretase'nin litolojik olarak kuzey ve güney bölgelerde farklılık göstermesinden dolayı Özsayarve diğ., (1981) tarafından Kuzey Zon ve Güney Zon olarak ikiye ayrılmıştır. Bektaş ve Çapkmöğlü (1997), Doğu Pontid'lerde tektonizmanın Paleozoyik'ten beri yoğun olduğunu ve KD-GR, KR-GD ve D-B yönlü doğrultu anmı faylarla bloklandığını, oluşan blokların jeolojik geçmişlerinin de özellikle Liya'stan sonra farklılık gösterdiğini belirtmişlerdir.

Bölgede volkaniklerin gelişimi ile ilgili yapılan çalışmalarda; Yılma/ (1972) ve Tokel (1983), Doğu Pontidlerin doğu ve güneyindeki Jura yaşlı volkanitlerin toleyitik veya kalk-alkalen geçişli toleyitik özellikte, Bergougnan (1975) ise güney kesimdeki kayaçların alkalen özellikte olduklarını belirtmişlerdir. Bektaş ve diğ., (1987), volkaniklerin kuzeyden güneye doğru artan bir potasyum eğilimi sergilediğini, kuzeyde alkalen geçişli toleyit, ortalarda yüksek potasyumlu kalk-alkalen ve güneyde yüksek potasyumlu kalk-alkalen/alkalen özellikte olduğunu vurgulamışlardır. Güneyde Liyas yaşlı yüksek titanyumlu okyanus ortası sırtı bazaltı benzeri kayaçların varolduğu da belirtilmiştir (Bektaş ve diğ., 1997; Aslan, 2000). Eğin ve diğ., (1979), Harşit civarında Kretase yaşlı volkanitlerin toleyitik. Tersiyer yaşlı kayaçların da kalk-alkalen özellikte olduklarını; buna karşın Manetti ve diğ., (1983) Kretase yaşlı volkanitlerin kalk-alkalen ve şoşonitik özellikte alkalen ürünler içerdiklerini ve Tersiyer yaşlı kayaçların kalk-alkalen özellikte olduklarını belirtmişlerdir. Tokel (1972; 1977), Eosen volkanitlerinin kalk-alkali özellikte ada yayı volkanizmasına ait olduğunu belirtmiştir. Çamur ve diğ., (1996), bölgedeki volkanitlerin yitim esnasında oluşum evrimine giren hareketli elementler bakımından zengin akışkanlarca ikincil bir zenginleşmeye uğrayan MORB benzeri bir mantodan türediklerine işaret etmişlerdir, Arslan ve diğ., (1997), yöredeki volkanik kayaçların ana magmasının alt kabuk ve/veya üst mantodan lüredüğünü belirtmiştir. Aliyazıcıoğlu ve Arslan (1998), Eosen yaşlı volkanitlerin tabanında yer alan mikritik kireçtaşlarında ve aglomeralar içindeki nkritik

kireçtaşlarında bulunan Paleosen fosillerine dayanarak, Eosen volkanizmasının Paleosen döneminde başladığını ve ekstaşiyonel rejimdeki havzada geliştiğini belirtmişlerdir. Bektaş ve diğ., (1984), kuzeyde Senoniyen öncesi veya erken Senoniyen'de başlayan toleyitik-kalU alkalen denizaltı volkanizmasının bimodal (malik ve felsik) nitelikte olduğundan, güneydeki Üst Kretase volkanizmasının, kuzeydeki cevherleşmeye eşlik eden volkanizmadan ve onun örtü çökelleri olan kırmızı kireçtaşlarının çökmesinden sonra etkin duruma geçtiğinden söz etmiştir. Şen ve diğ., (1998), Doğu Pontid Alkale Volkanik Provensi'nde, Eosen yaşlı Trabzon ve Tonya grubu volkanitlerinin, nictasomatizmaya uğramış bir manto kaynağından türeyen ve sığ derinlikte diferansiasyona uğrayan birincil bir magma ile ilişkili olabileceğini belirtmişlerdir. Arslan ve diğ., (2000), Trabzon ve Gümüşhane yörelerinde yüzeylenen Eosen volkanitlerinde magma karışımı ve kirlenme olaylarının belirleyici rol oynadığını belirtmişlerdir.

Torul (Gümüşhane) ve çevresi hem sözü edilen üç periyoda ait volkanitlerin yüzeylendiği hem de Doğu Pontid Kuzey Zonu ile Güney Zonu arasında geçiş bölgesi olması nedeniyle ilginç bir bölgedir. Bölgedeki volkanitlerin gelişimini anlatan eski çalışmalar petrografi ve jeokimya ile ilgili konularla sınırlıdır. Bu çalışmada Torul ve çevresinde yüzeylenen volkanik kayaçların petrografisi, mineral kimyası, ana, iz ve nadir toprak element jeokimyaları ile elde edilen verilerden volkanizmanın gelişimi ve petrolojisi incelenmiştir.

## GENEL TEOLOJİ

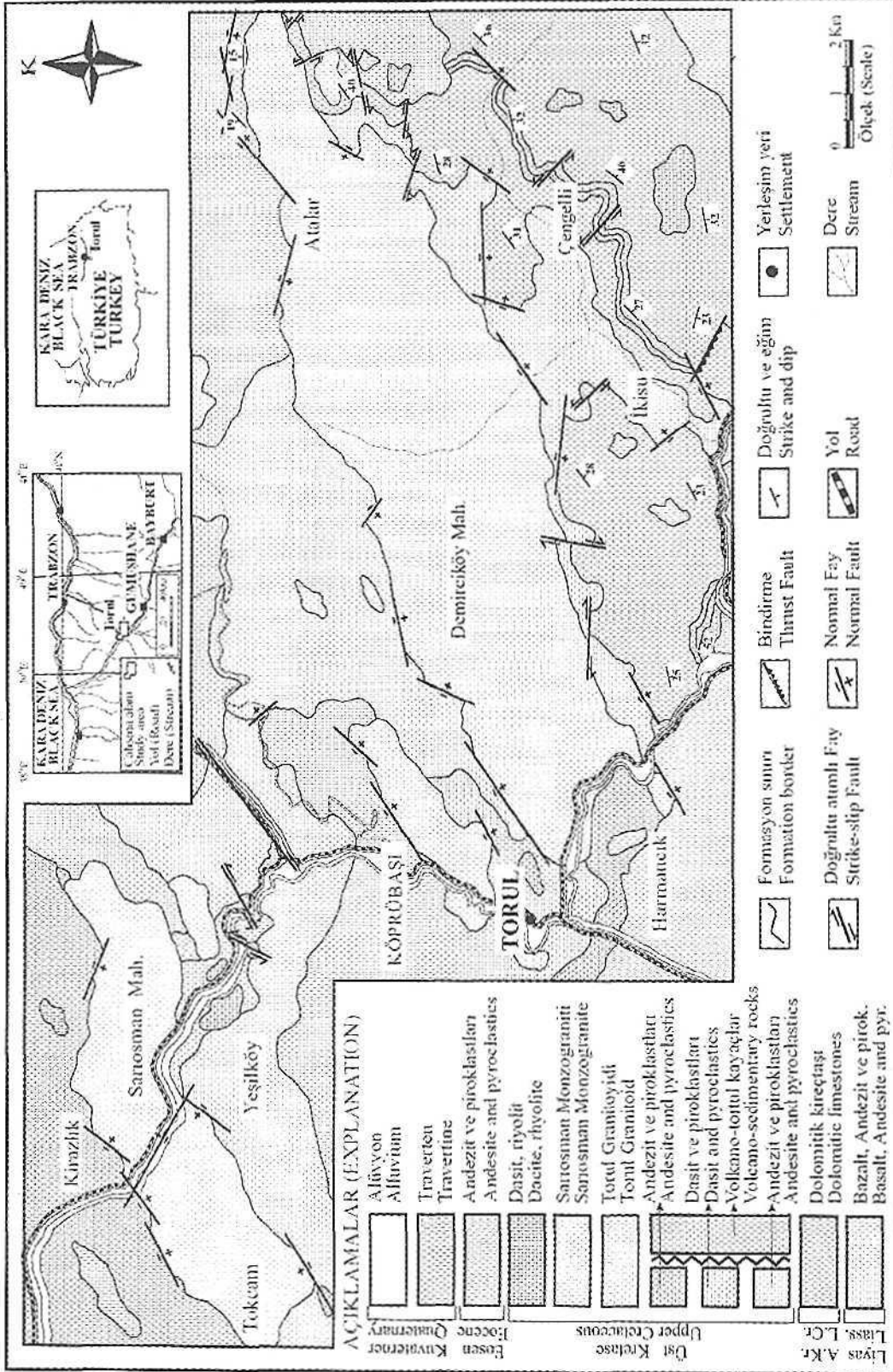
Doğu Pontid'lerde temeli teşkil ettikleri kahl edilmiş Paleozoyik yaşlı metamorfik kayaçlar kristalen şistler ve granitlerden oluşmaktadır ve Liyas öncesinde Paleozoyik yaşlı granitoidik kayaçlar tarafından kesilmiştir (Çoğulu, 1975). Liyas yaşlı volkanit-tortul kayaçlar, Gümüşhane bölgesinde Paleozoyik yaşlı Gümüşhane Graniti üzerine aşınma uyumsuzluğu ile gelirler ve konglomera, kumtaşı, kalker, manı ve volkaniklerden oluşmaktadır. Liyas yaşlı volkanik kayaçlar üzerine uyumlu olarak gelen Malı-Alt Kretase yaşlı Berdiga kireçtaşları, Doğu Pontid Güney Zonu'nda sürekli bir şekilde görülmelerine rağmen, Kuzey Zon'da mercerler ve olistrostromlar halinde bulunurlar. Doğu Pontid Kuzey Zon'unda pek çok lokasyonda Berdiga kireçtaşları ve bunları üstleyen Jura volkanitlerinden oluşan birimler yoğun Üst Kretase yitim magmatizması ile parçalanmışlardır (Şen ve diğ., 2003). Doğu

Pontidlerdeki granitik kayalar Jura-Alt Kretase, Üst Kretase ve Eosen olmak üzere değişik zamanlarda sokulum yapmışlardır (Yılmaz ve Boztuğ, 1996).

Doğu Pontid'lerde Üst Kretase iki farklı özellikte görülmektedir. Doğu Pontid Kuzey Zonu'nda magmatik kayalar egemen iken, Doğu Pontid Güney Zonu'nda volkano-tortul özelliğindeki kayalar bulunmaktadır. Üst Kretase'de kılavuz seviye olarak kabul edilen kırmızı kireçtaşları Güney Zon'da tek bir seviye halinde ve Üst Kretase'nin tabanında görülmekte, Kuzey Zon'da ise birkaç seviye halinde volkaniklerle ara katkılı olarak bulunmaktadır (Özsayar ve diğ., 1981). Magmatik aktivite Doğu Pontid Güney Zon'unda kırmızı renkli pelajik biyomikritik kireçtaşlarını çökmesinden sonra veya daha üst seviyelerde etkinlik kazanırken, Kuzey Zon'da Kampaniyen yaşlı kırmızı pelajik kireçtaşlarından önce başlamıştır (Bektaş ve diğ., 1984). Doğu Pontid Kuzey Zonu'nda Üst Kretase'nin tabanı tartışmalıdır. Schuitze-Westerm (1961)'a göre Alt Kretase'de başlayan "Alt Bazik Seri" Üst Kretase'nin başında devam etmekte ve Üst Kretase'de "Alt Bazik Seri" ye "Hippuritli kalkerler" ve "tüffitik kalker-mam serisi" eşlik etmektedir. Bunun üzerinde dasit ve piroklastları ile inoceramuslu kırmızı kalkerler bulunmakta ve bunların üzerine de mafik volkanikler gelmektedir. Bu mafik volkanik kayalar kısmen Eosen'de de devam ederek "Üst Bazik Seri"yi oluşturmaktadır. Güven (1993), Doğu Pontid Kuzey Zonu'nda Üst Kretase yaşlı kayaların Alt Kretase yaşlı kayalar üzerine uyumlu olarak geldiğini belirtmektedir. Üst Kretase tabanda Çatak Formasyonu olarak adlandırılan ve kumtaşı, sunası, mam, tuf ara katkılı bazalt-andezit lav ve piroklastları ile başlamakta, bunun üzerine uyumlu olarak riyodasitik-dasitik lav ve piroklastlardan oluşan Kızılkaya Formasyonu gelmektedir. Kumtaşı, mam, killi kireçtaşı ve tuf ara katkılı riyolit-riyodasitik lav ve piroklastlarından oluşan Çayırbağ Formasyonu, Kızılkaya Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelmekte olup, kumlu kireçtaşı ve resital kireçtaşından oluşan Ağıllar Formasyonu tarafından uyumlu olarak üstlenmektedir. Üst Kretase istifli. Ağıllar Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelen ve kumtaşı, mam, kumlu kireçtaşından oluşan Bakırköy Formasyonu ile son bulmaktadır. Türk-Japon Ekibi (1985), Üst

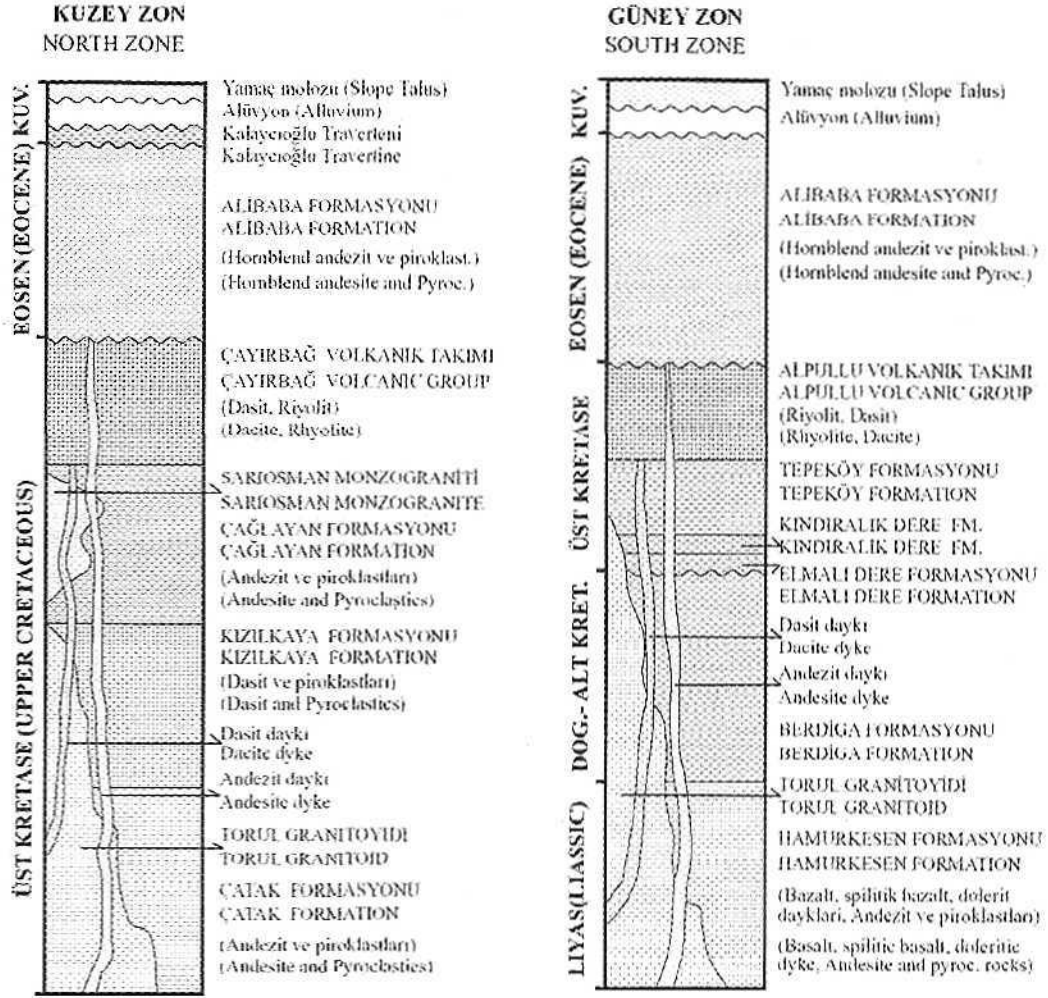
Kretase yaşlı kayaların Zigana Formasyonu olarak isimlendirmiş ve Dogger-Malm yaşlı kireçtaşlarını üstüne uyumsuz olarak geldiğini belirtmişlerdir. Zigana Formasyonunu sırasıyla dış karakterli Kenitdere Üyesi; kireçtaşı, kırmızı kireçtaşı mercikleri içeren bazalt, andezit ve piroklastlarından oluşan A1 Üyesi; dasit ve piroklastlarından oluşan D1 üyesi; kireçtaşı araseviyeli andezit ve piroklastlarından oluşan A2 üyesi ve dasit lavından oluşan D2 üyesi olmak üzere başlıca beş üyeye ayırmışlardır. Yılmaz ve diğ., (2003). Pontid volkanik yayında volkanik etkinliğin özellikle Geç Mesozoyikte sürekli olmadığını, yavaşladığı ve/veya durduğu dönemlerde tektonik açıdan duraysız derin deniz çanaklarında torto-gravite akımlarına bağlı olarak gelişen yay içi çekellerin biriktiğini belirtmişlerdir. Doğu Pontid Güney Zonunda Üst Kretase. Berdiga Formasyonu üzerine açısız uyumsuzlukla gelen kumlu kireçtaşları ile başlamaktadır. Bu birimi şarap kırmızısı renkli kırmızı kireçtaşları uyumlu olarak üstlenmekte ve Volkano-Turlul Seri La rafından uyumlu olarak üstlenmektedir (Eren, 1983). Üst Kretase-Paleosen geçişi Doğu Pontidler'de yer yer gözlenmektedir. Sarman (1975), Tirebolu'nun güneydoğusunda Üst Kretase kalkerlerinin devamı olarak Paleosen tespit etmiştir. Kale (Gümüşhane) yöresinde Geç Kretase yaşlı fişle başlayan istif uyumsuz olarak konglomera ve mikritik kireçtaşlarından oluşan Paleosen yaşlı Kale Formasyonu'na geçmekte ve Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu ile örtülmektedir (Aliyazıcıoğlu, 1999). Eosen Pontid'lerde genellikle Kretase ve Paleosen yaşlı birimler üzerine taban konglomerası ile gelmekte ve bunları andezitik lav ve piroklastları ile fiş çökellerinden oluşan seriler üstlenmektedir.

Doğu Pontid Kuzey ve Güney Zon'ları arasında yer alan Torul yöresinde uzun eksenli KD-GB yönlü olan Torul Granitoidi volkanik karakterdeki Kuzey Zon kayaları m, tortul kayaların egemen olduğu Güney Zondan ayırır (Şekil 1). Bu karmaşık geçiş ilişkilerini açıklamak için Torul ve çevresi için iki ayrı stratigrafi önerilmiştir. Torul'un kuzeyinde tamamen Üst Kretase volkanitleri ve piroklastları yüzeylenirken, güneyde Lıyas'tan Eosen'e kadar volkanik ve tortul kayalar karmaşık dokanak ilişkileriyle yüzeylenmektedir (Şekil 2).



Şekil 1. inceleme alanının yer buldum ve jeoloji haritası (Kaygusuz, 2000'den değişikliği).

Figure 1. Location and geological map of the investigated area (modified from Kaygusuz, 2000).



Şekil 2. Torul yöresi Kuzey ve Güney Zon'a ait stratigrafik kolon kesitleri (Kaygusuz 2000'den değiştirilerek),  
Figure 2. Stratigraphic columnar sections of the Northern and Southern Zones of the Torul area (modified from Kaygusuz, 2000),

Güney Zonu, Torul ve yakını yöresinde tabanda Liyas yaşlı volkanitlerle (Hamurkesen Formasyonu) başlar (Şekil 2) ve bu volkanitler Maçka-Çatak ve Espiye güneyinde yüzeylenen volkanitlerle aynı petrografik özelliklere sahiptirler. Liyas volkanitleri alt seviyelerde spilitik bazalt, bazalt ve piroklastları ile dolerit ve diyabazlardan, üst seviyelerde killi kireçtaşı ve kumtaşı mercekleri içeren andezit ve piroklastlarından oluşur. Kalınlıkları yaklaşık 550 metreyi bulan, kalın tabakalı Alt Kretase yaşlı Berdiga Kireçtaşı bu volkanitleri uyumsuz olarak örter (Şekil 2), Alt-Üst Kretase geçişi uyumlu olarak tabanda sarı kumlu kireçtaşlarına (Kindıralık Dere Formasyonu) ve kırmızı kireçtaşlarına (Elmalı Dere Formasyonu) geçerken, üst seviyelerde andezitik tüf ara katlı tortul kayalara (Tepeköy Formasyonu) geçer. Yine Üst Kretase yaşlı riolit ve dasitler (Alpulu

Volkanik Takımı) bu birimleri uyumlu olarak örterler, Kuzey Zon, Torul ve çevresinde, bimodal karakterli volkanizma özelliğinde olup, içerisinde kireçtaşı, kırmızı kireçtaşı ara seviyeleri içeren Üst Kretase yaşlı mafik ve felsik volkanitlerini de taşıması ile temsil edilir (Şekil 2). Torul'da Üst Kretase'nin tabanını kırmızı kireçtaşı ara seviyeleri içeren andezit ve piroklastları (Çatak Formasyonu) oluşturur. Üst seviyelere doğru felsik karakter kazanan volkanizma kireçtaşı ara seviyeleri içeren dasit ve piroklastlarından (Kızılkaya Formasyonu) oluşur. Rıhtım üzerine volkano tortul karakterli andezit ve piroklastları (Çağlayan Formasyonu) gelir ve dasit ve riolitlerin oluşturduğu asidik volkanikler (Çayırbağ Volkanik Takımı) tarafından üstlenirler. Tüm bu birimler Sarıosman Monzograniti (Kaygusuz, 2001) tarafından kesilir.

Gerek Kuzey zon, gerekse de üney zooda tüm bu birimler Torul Granitoyidi tarafından kesilmiş ve Eosen yaşlı volkanitler tarafından uyumsuz olarak üstlenmişlerdir (Kaygusuz, 2000; Kaygusuz ve diğ., 2004). Eosen volkanitleri tabanda aglomeralarla başlamakta, kireçtaşı ve kumlaşı ara seviyeli andezit ve piroklastları ile son bulmaktadırlar (Ahbaba Formasyonu). İnceleme alanının en genç birimlerini Kuvaterner yaşlı traverten, yamaç molozu ve alüvyonlar oluştururlar.

### PETROGRAFI VE MİNERAL KİMYASI

Torul volkanitlerine ait plajiyoklas, hornblend, biyotit ve piroksen minerallerinin mikroprob analizleri Kanada da. University of New Brunswick Electron Mieroskopy Ünİ'nde, JEOL Superprob 733 kullanılarak yapılmıştır. Parlatılmış ince kesitler karbonla kaplandıktan sonra, 15 Kvolt 1 OmA örnek akımında analiz edilmiştir. Sonuçlar C1TZAF veri işleme programında Si ve Ca için cp511; Al için KKHBD; Fe için GRTGM; Ti için İLM; Mg için OL 1741; Na için CPXjad; K için Orl ve Mn ve Cr için saf metal standartları kullanılarak oksit olarak hesaplanmıştır.

Çalışmanın ana konusunu oluşturan Torul volkanitlerine ait Liyas, Üst Krelase ve Eosen yaşlı lav akıntılarında alman bazalt, andezit, dasit ve riyolit türü kayakların dokusal özellikleri, mineralojik bileşimleri ve mineral kimyaları incelenmiştir.

Liyas volkanitlerine ait bazaltlar entersertal, amigdoidal ve kısmen de akıntı dokusu göstermekte olup, başlıca mineralleri labrador, olivin ve ojittir. Andezitlerde ise porfirik kısmen de mikrolitik porfirik doku görülür ve oligoklas, hornblend ve biyotit fenokristalleri oluştururlar. Üst Kretase volkanitlerine ait andezitlerde porfirik, mikrolitik porfirik, hyalo-mikrolitik porfirik dokular görülür. Fenokristaller plajiyoklas, hornblend ve biyotitden oluşur. Dasitler porfirik dokuludurlar ve fenokristaller plajiyoklas, kuvars, sanidin ve biyotitten ibarettir. Riyolitler porfirik, kısmen de sferülitik dokuludurlar. Fenokristaller plajiyoklas, sanidin, kuvars, biyotit ve hornblend minerallerinden oluşur. Eosen volkanitlerine ait andezitlerde porfirik, hyalo-mikrolitik porfirik, kısmen de glomeraporfirik doku gözlenmekte olup, başlıca mineraller plajiyoklas, hornblend, piroksen ve biyotittir. Fe-Ti oksitler tüm örneklerde görülmekte olup, özellikle Liyas yaşlı bazaltlarda çok daha yoğun şekilde bulunurlar. Hamur, genellikle feküspat mikrolitleri, Fe-Ti oksitler ve/veya camdan oluşmakta, bazen altcrasyon ürünleri (kil mineralleri, kalsit, serizit.

kiorit, epidot, iddingsit ve serpantin) ve aksesuar apatit bunlara eşlik etmektedir. Apatit özellikle Liyas bazaltlarındaki plajiyoklaslarda kapanım şeklinde yaygın olarak gözlenmektedirler.

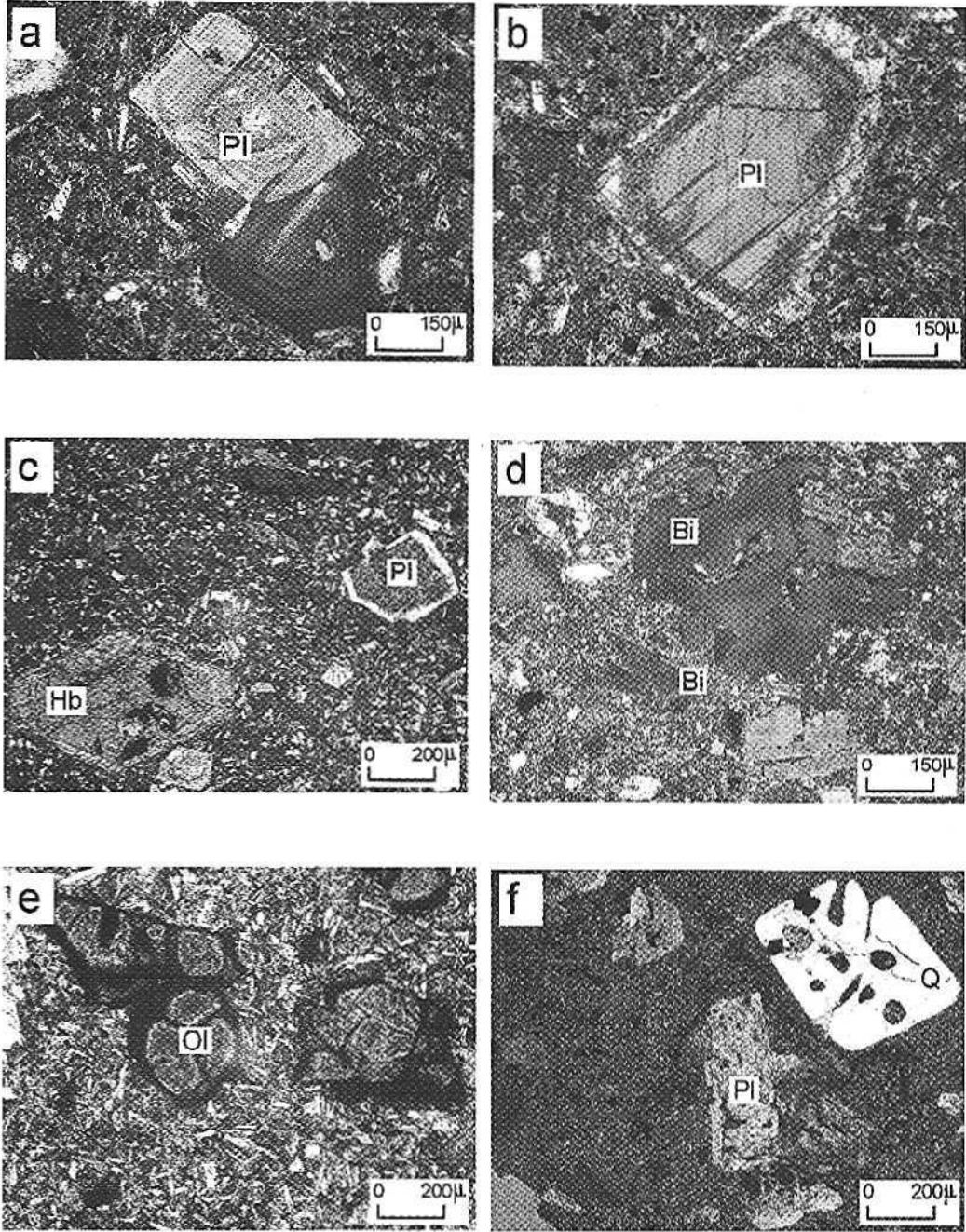
Plajiyoklaslar, öz ve yarı öz şekilli levhamsı fenokristaller, hamurda da mikrolitler halinde tüm örneklerde yaygın olarak bulunurlar. Fenokristaller albit ve polisenteük ikizlenmesi, küçük kristaller ise albit ikizlenmesi gösterirler. İri plajiyoklaslar ojit, hornblend, opak mineral ve iğnemsiz apatit kapanımları içererek poykilitik doku oluşturmaktadır. Bazı minerallerde sınımlı zonlanma (Şekil 3a) gözlenirken, bazıları da elek dokusu göstermektedir (Şekil 3b, 3c). Bir kısım örnekte iri plajiyoklasların kenarları hamur tarafından yenmiş, iç kısımlarında hamur kapanımları gözlenmiştir. Liyas yaşlı bazalt, Üst Kretasc ve Eosen yaşlı andezitlerdeki plajiyoklasların mikroprob analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Buna göre, Liyas yaşlı bazaltlardaki plajiyoklas fenokristalleri labrador ( $An_{7-20}$ ), andezitlerdeki plajiyoklas fenokristalleri ise oligoklas ( $An_{2-20}$ ) bileşimindedir. Üst Kretasc yaşlı andezitlerdeki fenokristaller andezin ( $Aü_{4,4}$ ), Eosen yaşlı andezitlerdeki fenokristaller andezin ( $An_{43,44}$ ) ve oligoklas ( $An_{2-20}$ ), hamurdaki latalar ise albit ( $An_8$ ) bileşimindedir (Şekil 4). Bazı fenokristallerde ters zonlanma gözlenmekte olup, anortit içerikleri kristalin kenarından merkezine doğru azalma göstermektedir, Liyas yaşlı bazaltlardaki bir kısım fenokristallerin merkezi kısımlarında An içerikleri %52, kenar kısımlarında %57-59, Eosen yaşlı bir kısım andezitlerdeki fenokristallerin merkezi kısımlarında An içerikleri %29, kenar kısımlarında ise %43-44'dür.

Hornblendler prizmatik fenokristaller, hamurda da küçük çubüksü mikrofeno-kristaller halinde görülür. Liyas yaşlı bazaltlar hariç, tüm kayaçlarda yaygın olarak gözlenirler. Açık sarımsı yeşilden kahverengiye değişen pleokroizmaya sahiptirler. Bazı kristaller plajiyoklas ve opak mineral inklüzyonları içermektedir (Şekil 3c). Genelde kalsite ayrılmış ve kenar kısımlarda opak mineraller gelişmiştir. Bir kısım örnekte hornblend fenokristalleri içinde ergiyik kapanımları gözlenmiştir. Özellikle Eosen yaşlı andezitlerdeki bazı hornblendlerin kenar kısımları opak minerallerce çevrelenmiş durumdadır. Üst Kretase ve Eosen yaşlı hornblend kristallerinin mikroprob analiz sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, Üst Kretase yaşlı andezitlerdeki hornblendlerin Mg# 0.79-0.84 arasında değişmektedir. Leake (1978) sınıflamasına göre örnekler kalsik amfibol alanında yer alırlar ve aktinolitik hornblend ve magnezyo-hornblend bileşimindedirler.



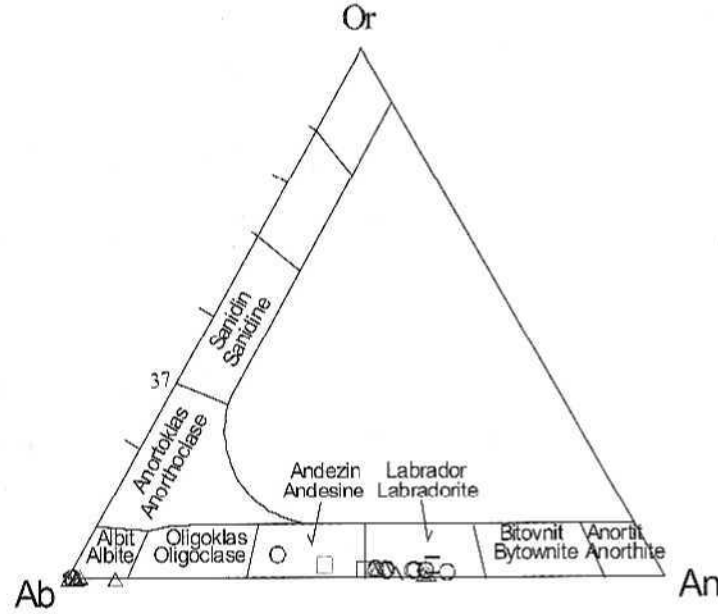
(Şekil 5a). Eosen yaşlı andezitlerdeki hornblend kristallerinin Mg# 0.70-0.92 arasında değişmektedir. Leake (1978)'e göre kaisik amfibol alanında yer alırlar.

Magnezyo-hastinjitik hornblend, magnezyo-hastinjitil ve şarmakitikhornblend bileşimindedirler (Şekil 5a ve 5b).



Şekil 3a. Torul volkanı Lİerindeki plajiyoklaslarda gözlenen salmımlı zonlanma; 3b. Torul volkanı'terindeki plajiyoklaslarda gözlenen elek dokusu; 3c. İri hornblend kristallerinde gözlenen plajiyoklas ve opak mineral inklüzyonları; 3d. Biyotit kristallerinde gözlenen bıçağımsı şekiller; 3e. İddiugsitleşmiş ve kenar kısımları opaklaşmış olivin fenokristalleri; 3f. Hamur tarafından yenmiş kuvars kristali (Pl: Plajiyoklas, Q: Kuvars, Hb: Hornblend, Bi: Biyotit, Ol: Olivin).

*Figure 3a, Oscillatory zoning in the plagioclase of the Torul volcanic rocks; 3b. Sieve texture in plagioclase of the Torul volcanic rocks; 3c. Plagioclase and opaque oxide inclusions in the large hornblende; 3d. Blade-like figures in biotite; 3e. Idiosyncratic and opaque olivine phenocrysts; 3f. Embayed quartz crystals (Pl: Plagioclase, Q: Quartz, Hb: Hornblende, Bi: Biotite, Ol: Olivine).*



**Şekil 4.** Tnnl v İkanitlerinde ki feldspatların Or-Ab-An üçgen diyagramında sınıflandırılması (O : Liyas volkanitleri, D: ÜstKrtase volkanitleri, A:Eosenvolkanitleri).

**Figure 4.** Classification of Or-Ab-An triangular diagrams of the feldspar of the Torul volcanics (O: Liassic volcanics, D: Upper Cretaceous Volcanics, A: Eocene volcanics).

**Çizelge 1:** Liyas, Üst Kretase ve Eosun volkanitlerine ait plajiyoklasların mikroprob analiz sonuçları (k: mineral kenarı, m: mineral merkezi).

**Tabl 1.** Results of microprobe analysis of plagioclase from Um, Upper Cretaceous and Eocene volcanics (k: rim of mineral, m: center of mineral).

Örne k no	Liyas volkanitleri										Üst Kret. Volk.			Eosun Volkanitleri							
	47 (k)	47 (m)	47 (k)	47 (k)	70 (k)	70 (m)	70 (k)	70 (k)	217 (k)	217 (m)	117 (m)	117 (m)	117 (k)	G 3 (m)	G 3 (m)	G 3 (k)	T 517 (k)	T 517 (m)	T 501 (m)	T 501 (k)	T 501 (k)
SiO <sub>2</sub>	53.13	52.22	40.75	53.94	52.18	49.62	53.95	52.80	63.89	63.98	55.05	55.80	57.33	62.46	62.97	66.33	67.30	64.43	64.27	52.90	52.78
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30.50	31.77	25.31	29.50	29.94	27.83	30.31	30.87	21.01	20.66	29.55	32.00	28.26	20.93	21.05	22.39	21.11	21.14	20.60	25.09	24.43
FeO	0.61	0.32	0.64	0.77	0.41	0.39	0.49	0.48	0.00	0.03	0.50	0.35	0.33	0.00	0.03	0.00	0.10	0.02	0.00	0.29	0.31
MgO	0.11	0.11	0.07	0.07	0.12	0.14	0.08	0.09	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	12.01	13.02	10.52	11.04	11.80	9.90	11.95	12.55	6.18	6.12	10.40	7.65	8.82	7.29	6.34	1.77	0.43	6.36	6.05	6.44	6.49
Na <sub>2</sub> O	4.73	4.08	5.42	5.28	4.31	4.75	4.79	4.57	8.94	8.84	5.82	4.38	6.51	9.84	10.09	11.11	11.71	9.20	8.22	4.62	4.48
K <sub>2</sub> O	0.26	0.18	0.30	0.29	0.23	0.22	0.25	0.24	0.04	0.03	0.28	0.41	0.43	0.01	0.00	0.00	0.07	0.01	0.01	0.12	0.12
Toplam	101.4	101.9	83.09	100.9	99.04	92.85	101.8	101.6	101.0	100.6	101.6	101.6	101.7	100.5	101.4	101.6	100.7	102.1	100.1	101.4	101.6
Kationlar 32 oksijene göre hesaplanmıştır																					
Si	9.52	9.32	9.07	9.70	9.55	9.66	9.61	9.45	11.34	11.40	9.80	9.86	10.14	11.15	11.21	11.48	11.71	11.33	11.46	10.46	10.53
Al	6.44	6.68	6.64	6.25	6.45	6.38	6.36	6.51	4.39	4.33	6.20	6.67	5.89	4.40	4.41	4.56	4.53	4.38	4.33	5.84	5.74
Fe <sup>3+</sup>	0.09	0.08	0.12	0.12	0.06	0.06	0.07	0.07	0.00	0.00	0.07	0.05	0.05	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.05	0.05
Mg	0.03	0.03	0.02	0.02	0.05	0.04	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	2.31	2.49	2.51	2.13	2.31	2.07	2.28	2.41	1.18	1.17	1.98	1.45	1.67	1.39	1.21	0.33	0.08	1.20	1.16	1.36	1.38
Na	1.64	1.41	2.34	1.84	1.53	1.79	1.65	1.59	3.08	3.05	2.01	1.50	2.23	3.41	3.48	3.73	3.95	3.14	2.84	1.77	1.73
K	0.06	0.04	0.09	0.06	0.05	0.06	0.06	0.06	0.01	0.01	0.06	0.09	0.10	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.03	0.03
Or	1.47	1.04	1.72	1.59	1.39	1.41	1.43	1.36	0.21	0.17	1.58	3.03	2.43	0.04	0.00	0.00	0.50	0.05	0.05	0.95	0.99
Ab	41.01	35.81	47.42	45.66	39.24	45.82	41.44	38.19	72.20	72.21	49.52	49.34	55.80	70.92	74.23	91.91	97.63	72.33	71.06	55.96	55.16
An	57.52	63.15	50.86	52.75	59.36	52.77	57.13	59.45	27.59	27.63	48.90	47.63	41.78	29.04	25.77	8.09	1.98	27.62	28.89	43.10	43.86

Çizelge 2. Üst Kretase ve Eosen andezitilerdeki hornblendenin mikroprob analiz sonuçları (k: mineral kenarı, m: mineral merkezi),

Table 2. Results of microprobe analysis of hornblende from Upper Cretaceous and Eocene andesites (k: rim of mineral, m: center of mineral).

Örnek no	Üst Kretase andezitleri				Eosen andezitleri						
	117 (m)	117 (m)	117 (k)	G 3 (m)	G 3 (k)	G 3 (k)	G 3 (m)	G 3 (k)	T 501 (k)	T 501 (m)	T 501 (m)
SiO <sub>2</sub>	52.80	52.75	49.28	44.92	42.11	43.12	44.57	43.52	43.05	44.34	42.51
TiO <sub>2</sub>	0.38	0.35	0.39	1.05	1.07	1.32	1.09	1.28	1.27	1.23	1.06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.62	3.43	6.11	10.78	13.06	12.14	11.19	13.23	12.32	12.49	14.14
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.06	0.04	0.04	0.07	0.08	0.00	0.09	0.02	0.00	0.15	0.04
FeO	10.24	9.97	12.17	13.73	8.45	9.98	15.14	9.31	14.95	7.63	11.67
MnO	0.47	0.39	0.38	0.39	0.00	0.10	0.54	0.10	0.51	0.12	0.16
MgO	17.97	17.85	15.96	14.09	16.75	15.67	12.74	16.51	12.72	17.66	14.76
CaO	12.14	12.44	12.28	11.26	11.04	11.06	11.22	11.90	11.14	11.74	11.64
Na <sub>2</sub> O	0.45	0.39	0.86	1.71	2.41	2.15	1.76	2.36	1.96	2.46	2.35
K <sub>2</sub> O	0.22	0.21	0.48	0.39	0.51	0.45	0.52	0.47	0.48	0.40	0.44
Toplam	98.35	97.82	97.95	98.39	95.48	95.99	98.86	98.70	98.40	98.22	98.77
Katyonlar 23 oksijene göre hesaplanmıştır											
TSi	7.42	7.46	7.06	6.46	6.12	6.28	6.45	6.16	6.25	6.26	6.06
TAI	0.57	0.54	0.94	1.54	1.88	1.72	1.56	1.85	1.75	1.75	1.94
CAI	0.03	0.03	0.09	0.28	0.35	0.36	0.35	0.36	0.36	0.33	0.44
CCr	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01
CFe <sup>3+</sup>	0.49	0.42	0.55	0.76	0.69	0.68	0.65	0.69	0.76	0.58	0.78
CTi	0.04	0.04	0.04	0.11	0.12	0.15	0.12	0.14	0.14	0.13	0.11
CMg	3.76	3.76	3.41	3.02	3.63	3.40	2.75	3.48	2.75	3.71	3.14
CFe <sup>2+</sup>	0.64	0.73	0.88	0.80	0.21	0.41	1.10	0.33	0.96	0.22	0.52
CMn	0.03	0.02	0.02	0.02	0.00	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.01
BFe <sup>2+</sup>	0.05	0.03	0.03	0.10	0.13	0.12	0.09	0.09	0.09	0.10	0.09
BMn	0.03	0.02	0.02	0.02	0.00	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.01
BCa	1.83	1.88	1.89	1.74	1.72	1.73	1.74	1.80	1.73	1.77	1.78
BNa	0.06	0.05	0.06	0.14	0.15	0.15	0.14	0.11	0.14	0.12	0.12
ANa	0.06	0.05	0.18	0.34	0.53	0.46	0.36	0.54	0.41	0.55	0.53
AK	0.04	0.04	0.09	0.07	0.10	0.08	0.10	0.09	0.09	0.07	0.08
Al <sup>VI</sup>	0.03	0.03	0.09	0.28	0.35	0.36	0.35	0.36	0.36	0.33	0.44
Mg #	0.84	0.83	0.79	0.77	0.91	0.86	0.70	0.89	0.72	0.92	0.84

Ba/1 hornblent/fe nokristallerinde terszonlanma gözlenmektedir olup, Mg numaraları kristalin kenarından merkezine doğru azalma göstermektedir. Eosen yaşlı bir kısım andeziti erdeki fenokristallerin kenar kısımlarında Mg numaraları 0.86-0.91 arasında iken, merkez kısımlarında 0.70-0.77 arasında değişmektedir.

Biyotitler, genelde levhamsı fenokristaller, hamurda ise küçük prizmatik kristaller halinde bulunur. Bazı örneklerde bıçağımsı şekillerde gözlenmişlerdir (Şekil 3d). Liyas yaşlı bazaltlar hariç, tüm örneklerde hornblende birlikte yaygın olarak bulunurlar. Bazı örneklerde dilinimler boyunca opak mineraller yerleşmiş ve kenarından itibaren kısmen kloritleşmiş ve bükülmüş lameller halindedirler, Liyas yaşlı andezitler ve Üst Kretase yaşlı dasitlere ait biyotit kristallerinin ana element içerikleri ile katyon değerleri Çizelge 3'de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, TiO<sub>2</sub> değerleri 3,19-

3,28 arasındadır. Fe/Te+Mg oranları 0.33-0.42 arasında olup, Al<sup>IV</sup> içerikleri 2.26-2.32 arasındadır. Andezit ve dasitlerdeki biyotitler annit (Fl<sub>1-2</sub>, An<sub>98-99</sub>) türindedirler (Şekil 6),

Piroksenler, genellikle yan öz şekilli ve öz şekilsiz ince-uzun prizmatik kristaller, daha az olarak da öz şekilli fenokristaller halinde bulunur. Yalnızca Eosen yaşlı andezitler ve Liyas yaşlı bazaltlarda gözlenirler. Genellikle ayrışma ürünleri klorit ve kalsit olup kenar kısımlarında opak mineraller gelişmiştir. İri kristaller özellikle Eosen yaşlı kayalarda görülür. Liyas yaşlı kayalarda ise genellikle küçük kristaller şekindedirler. Bazı minerallerde zonlanma gözlenip genellikle (100) üzdü belirgindir. İri fenokristallerde plajiyoklas ve opak mineral kapanımları gözlenir. Eosen yaşlı volkanik kayalardaki piroksenlere ait mikroprob analiz sonuçları



Çizelge 4: Eosen andezitlerdeki piroksenlerin mikrapvü analiz sonuçları (k: mineral kenarı, m: mineral merkezi).

Tubk 4. Results of microprobe analysis of pyroxene from Eocene andezite (t rim of mineral, m: center of mineral).

Örnek no	Eosen Andezitleri					
	T 517 (m)	T 517 (k)	T 517 (k)	AA1 (k)	AA2 (m)	AA3 (k)
SiO <sub>2</sub>	50.38	52.16	50.26	51.38	51.16	52.16
TiO <sub>2</sub>	0.58	0.52	0.59	0.42	0.65	0.68
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.86	1.41	4.60	2.46	1.82	2.06
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.16	0.11	0.33	0.13	0.21	0.27
FeO	9.03	7.81	6.34	9.35	8.45	9.43
MnO	0.28	0.46	0.14	0.38	0.26	0.18
MgO	14.52	15.81	15.48	14.05	15.12	13.86
CaO	21.16	21.78	22.79	21.36	22.08	20.15
Na <sub>2</sub> O	0.38	0.40	0.24	0.42	0.25	0.11
K <sub>2</sub> O	0.00	0.03	0.00	0.04	0.02	0.03
Toplam	100.35	100.49	100.77	99.99	100	98.93
Kationlar 6 oksijene göre hesaplanmıştır						
TSI	1.86	1.91	1.83	1.91	1.90	1.97
TAI	0.14	0.06	0.17	0.09	0.08	0.03
TFe <sub>3</sub>	0.00	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00
M <sub>1</sub> Al	0.03	0.00	0.03	0.02	0.00	0.06
M <sub>1</sub> Ti	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02
M <sub>1</sub> Fe <sub>3</sub>	0.10	0.09	0.11	0.07	0.08	0.00
M <sub>1</sub> Fe <sub>2</sub>	0.05	0.03	0.00	0.11	0.06	0.13
M <sub>1</sub> Cr	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01
M <sub>1</sub> Mg	0.80	0.87	0.83	0.78	0.84	0.78
M <sub>2</sub> Mg	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
M <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub>	0.13	0.10	0.08	0.11	0.10	0.17
M <sub>2</sub> Mn	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
M <sub>2</sub> Ca	0.84	0.86	0.89	0.85	0.88	0.82
M <sub>2</sub> Na	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.01
Wo	43.51	43.35	46.15	44.03	44.23	42.93
En	41.54	43.79	43.61	40.30	42.14	41.09
Fs	14.95	12.86	10.24	15.67	13.62	15.99
Mg #	0.82	0.87	0.91	0.78	0.84	0.72

## JEOKİMYA

Torul volkanitlerine ait örneklerin ana, iz elementi ve nadir toprak element analizleri Kanada da UNB Jeoloji Bölümü XRF laboratuvarında yapılmıştır. Kanada da UNB Jeoloji Bölümü'ndeki ana elementler ve bazı iz element analizleri (Sr, Ba, Zr,...) JEOL marka otomatik X-ışınları flüoristrens aletiyle, bir kısım nadir toprak element ve iz element analizleri ise ICP-MS yöntemi ile yapılmıştır. Analizler Jenner ve diğerleri (1990)'nm tarif ettiği metod ile University of British Columbia'da yapılmıştır.

Örneklerin ana ve iz element analiz sonuçları ile CIPW normalite bileşimleri Çizelge 5' de, nadir toprak element analiz sonuçlarıysa Çizelge 6' da verilmiştir.

Liyas volkanitleri, kimyasal kayaç sınıflamasına göre (Le Maitre ve diğ., 1989) bazalt, bazaltik andezit ve traki-andezit bileşimindedir (Şekil

Sa). Winchester ve Flody (1977) sınıtlamasında ise subalkali bazalt, andezit ve traki-andezit bileşimindedir (Şekil 8b). Bazaltlar normatif olivin, diyopsit ve hipersten, andezitler normatif kuvars ve bipersten içerikli olup, örneklerin Mg-mimaraları (molar olarak  $100 \cdot (\text{MgO}/\text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)$  bölgedeki diğer volkanitlere göre daha yüksektir (53-69). Orta-yüksek derecede K<sub>2</sub>O içerirler (Şekil 9) ve toleyitik-kalk-alkali geçiş trendinde yer alırlar (Şekil 10). Ana oksitlerin artan Si(X'e göre değişimleri incelendiğinde (Şekil 11), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO ve TiO<sub>2</sub> oranları azalmaktadır. Arılan SiO<sub>2</sub>'ye karşı CaO ve MgO azalması, kalsik plajiyoklas ve piroksen fraksiyonlaşmasını; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiO<sub>2</sub> azalması Fe-Ti oksit fraksiyonlaşmasını; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> azalması ise apatit fraksiyonlaşmasını göstermektedir. Uyumlu ve uyumsuz iz element içeriklerinin arttıkça SiO<sub>2</sub>'ye göre değişimleri incelendiğinde (Şekil 12), tüm örneklerde genel olarak SiO<sub>2</sub> arttıkça Ni, Sr, Y ve Zr içerikleri azalmakta; Tb, Rb ve Ba içerikleri ise artmaktadır. N-tipi MORB'a (Sun ve McDonough, 1989) göre normalleştirilmiş örümcek diyagramında (Şekil 13a), genel olarak iri kationlu litofil (LIL) elementlerce zenginleşmiş olarak görülürken, yüksek değerlikli kationlar (HFS) N-tipi MORB'a yakın değerler sunarlar. Kondirit'e göre normalleştirilmiş (Taylor ve McLennan, 1985) nadir toprak element diyagramında, gencide yönsemeler birbirine paralel olup (Şekil 14a), aşağıya doğru içbükey şeklindedir. (La/Lu)<sub>N</sub> değerleri 15.96-23.75, (La/Sm)<sub>N</sub> değerleri 4.93-6.85 ve (Ce/Lu)<sub>N</sub> değerleri de 2.19-2.30 arasındadır (Tablo 6). Örnekler genel olarak LRHE'lerce dana çok zenginleşmiş, HREE'ce daha az zenginleşmiş olarak bulunurlar. Genel olarak LREE'ler uniform, HREE'ler ise unilörlü olmayıp hafifçe diferansiye olmuşlardır. Tüm örneklerde (Eu)<sub>N</sub> değerleri < 1 (0.63-0.77) olup, negatif Eti (Eu/Eu\*) anomalisi gösterirler. Negatif Eti anomalisi feldspat fraksiyonlaşmasını yada kısmi ergime sırasında feldspatın kaynak kayaçta tutulmasına işaret eder. İncelenen örneklerdeki negatif Eu anomalisi plajiyoklas fraksiyonlaşmasına işaret etmektedir. Ba/La oranları 3.42-9.45 arasındadır ve tipik actayayı bazaltlarına oranla çok düşük olup (IAB=30-50), OIB'lere yakınlık gösterirler (OIB=8-13) (Çizelge 5). Ayrıca K/Rb, K/Ba, Sr/Rb, Zr/Nb, Ba/Th, Ba/La, Zr/Rb ve Y/Nb oranları N-tipi MORB'a, Ba/Nb, Nb/Th, Tb/Y ve "Nb/Y oranları da OIB'lere benzerlik gösterirler. Liyas volkanitleri Ti/100-Zr-Sr/2 tektonik ayırtman diyagramında (Pearce ve Cann, 1973) kalk-alkalen bazalt alanında yer alırlar (Şekil 15).

Üst Kretase Volkanitleri, kimyasal sınıflandırmaya göre andezit, dasit ve riolit bileşimlidirler (Şekil 8a). Winchester ve Flody (1977) sınıflamasında ise traki-andezit, dasit ve riolit bileşimindedir (Şekil 8b). Normatif kuvars ve hipersten içerikli örneklerin Mg-mimaralan 20-56 arasındadır. AFM üçgen diyagramında (Irvine ve Baragar, 1971), örneklerin tümü kalk-alkalen alanda yer alıp, özellikle dasit ve riolitler alkali uca doğru zenginleşme gösterirler (Şekil 10).  $SiO_2$ - $K_2O$  diyagramında, Le Maitre ve diğ., (1989) ve Rickwood (1989)'a ait yönsemelere göre orta-yüksek potasyumlu alanda yer alırlar (Şekil 9). Ana oksitlerin artan  $SiO_2$  göre değişimleri incelendiğinde andezitten riolite kadar bir seri oluşturdukları görülür (Şekil 11). Bu serinin kayaçlarma bakıldığında, tüm örneklerde genel olarak  $SiO_2$  arttıkça,  $K_2O$  hariç, diğer tüm ana element içeriklerinde azalma görülmektedir.  $K_2O$  ise  $SiO_2$  ile pozitif korelasyon göstermektedir. Uyumlu ve uyumsuz iz element içeriklerinin artan  $SiO_2$ 'ye göre değişimleri incelendiğinde (Şekil 12), tüm örneklerde genel olarak  $SiO_2$  arttıkça Ni, Sr, Y ve Zr içerikleri azalmakta Rb, Th, Ba ve Nb içerikleri artmaktadır. Artan  $SiO_2$  değerlerine karşı  $Sr$  azalması plajiyoklas fraksiyonlaşmasına işaret etmektedir. Bazı elementlerde alterasyon sonucu düzensiz dağılımlar görülmektedir. N-tipi MORB'a (Sun ve McDonough, 1989) göre normalize edilmiş iz element dağılım diyagramlarında (Şekil 13b) örneklerin tümü LIL elementlere zenginleşmiş, HFS elementlere fakirleşmiş olarak görülürler. Negatif Nb ve Ti anomalileri kay açlarının ana magmasının gelişiminde yitim bileşeninin varlığına işaret etmektedir (Pearce, 1983). Kondirit normalleştirilmiş (Taylor ve McLennan, 1985) nadir toprak element diyagramında, gencide yönsemeler birbirine paraleldir (Şekil 14b).  $(La/Lu)_N$  değerleri 3.70-14.67,  $(La/Sm)_K$  değerleri 2.70-6.90 ve  $(Gd/Lu)_N$  değerleri de 1.09-2.10 arasındadır (Tablo 6). Örnekler genel olarak LREE'ce daha çok zenginleşmiş, HREE'ce daha az zenginleşmiş olarak bulunurlar. Tüm örneklerde  $Eu_N$  değerleri  $< 1$  (0.53-0.87) olup, hafif negatif  $Eu_N$  anomalisi gösterirler. Örneklerde

gözlenen konkav nadir toprak element dağılımları hornblend ve plajiyoklas fraksiyonel kristalleşme rolüne işaret etmektedir. Ba/La oranları 14.85-45.86 arasındadır ve tipik ada yayı bazaltlarına yakınlık göstermekte olup (1AB-30-50), OIB'lere oranla çok yüksektir (OIB-8-13) (Çizelge 5). Ayrıca La/Nb, Ba/Nb, Ba/Th, Rb/Nb, K/Nb, Ba/La, K/Ba, Nb/Th, Zr/Nb ve Sm/Nd oranları adayayı kalk-alkalen bazaltlara benzerlik gösterirler. Tektonik ayırtma diyagramında (Pearce ve Cann, 1973) kalk-alkalen bazalt alanında yer alırlar (Şekil 15).

Kösen Volkanitleri andezit bilejimli (Şekil 8a ve 8b), orta potasyumlu (Şekil 9) ve kalk-alkalen karakterli kayaçlardır (Şekil 10). Normatif kuvars, diopsit ve hipersten içerikli örneklerin Mg numaraları 37-41 arasındadır. Ana oksitlerin  $SiO_2$  ile olan ilişkileri dikkate alındığında, silika miktarı arttığında  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $Al_2O_3$ , içerikleri artmakta ve  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $P_2O_5$  miktarları azalmaktadır (Şekil 11). İz element içeriği bakımından  $SiO_2$  arttıkça Nb, Rb, Ba içerikleri artmakta, Th, Ni, Sr, Zr ve Y içerikleri azalmaktadır (Şekil 12). N-tipi MORB'a (Sun ve McDonough, 1989) göre LIL elementlerce zenginleşmiş olarak görülürken, HFS elementlerce N tipi MORB'a yakın değerler gösterirler (Şekil 13c). Kondirit'e göre normalize edilmiş (Taylor ve McLennan, 1985) nadir toprak element diyagramında kayaç yönsemeleri genelde aşağıya doğru içbükey şeklindedir (Şekil 14c) ve bu yönelim hornblend ve plajiyoklas fraksiyonel kristalleşme rolüne işaret etmektedir.  $(La/Lu)_N$  değerleri 4.57-6.91 arasındadır (Tablo 6). Örnekler genel olarak LREE'ce daha çok zenginleşmiş, HREE'ce daha az zenginleşmiş olarak bulunurlar.  $(La/Sm)_N$  oranları 2.59-3.28 arasında,  $(Gd/Lu)_N$  oranları 1.50-1.71 arasındadır.  $Eu_N$  değeri  $< 1$  (0.77-0.88) olup, hafif negatif  $Eu_N$  anomalisi göstermektedir. Volkanitlerdeki Ba/La oranları 42.67-79.80 arasındadır ve tipik ada yayı bazaltlarına yakınlık göstermektedir. Ba/Zr oranları ise 6.44-17.19 arasındadır (Çizelge 5) ve diğer volkanitlerde olduğu gibi kalk-alkalen bazalt alanında yer alırlar (Şekil 15). Ayrıca Ba/Nb, Ba/Th, Rb/Nb, K/Nb, Ba/La, K/Rb, Zr/Rb, Sm/Nd ve Zr/Ba oranları 1AB'lere benzerlik gösterirler.

**Çizelge 5, Lias, Üst Kretase ve Eosen volkanitlerinin ana (%) ve iz elementi (pptn) analizleri ile CIPW normları.**

**Table 5. Major (wt%) and trace element (ppm) analysis, and CIPW norm of the Lias, Upper Cretaceous, and Eocene volcanics.**

Örn. no	Lias Volkanitleri				Üst Kretase Volkanitleri						
	363	265	70	A8	217 b	m 13	yh 26	z 81 b	T 26 b	T 514a	154a
SiO <sub>2</sub>	47.59	50.64	51.66	55.88	57.16	57.84	65.40	65.84	66.94	68.05	71.52
TiO <sub>2</sub>	1.52	0.95	1.20	0.61	0.45	0.56	0.47	0.46	0.27	0.37	0.27
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.96	17.23	17.70	16.28	17.66	17.67	15.18	15.03	14.76	14.95	15.87
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.51	6.94	7.61	4.13	3.22	5.92	5.71	4.80	2.34	2.88	2.17
MnO	0.18	0.09	0.07	0.11	0.07	0.00	0.14	a.l.a	0.09	0.05	0.00
MgO	10.92	8.82	8.48	7.98	7.05	3.75	3.52	3.17	2.82	1.95	1.95
CaO	9.90	9.46	8.14	4.63	3.32	5.95	3.97	3.89	1.51	2.06	1.22
Na <sub>2</sub> O	2.14	3.14	3.24	3.16	3.33	3.86	2.36	2.53	2.33	2.04	1.06
K <sub>2</sub> O	0.55	0.96	1.28	2.24	2.81	0.82	1.19	3.19	4.17	3.10	2.78
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.54	0.38	0.21	0.26	0.09	0.18	0.13	0.15	0.15	0.10	0.11
LOI	2.15	1.32	1.16	3.75	3.91	2.67	2.03	1.45	3.68	3.62	2.85
Toplam	99.96	99.93	100.75	99.03	99.07	99.22	100.10	100.51	99.06	99.17	99.80
Cr	200	147	a.e	22	a.e	a.e	a.e	21	a.e	a.e	a.e
Ni	84	88	54	21	14	78	49	35	26	a.e	a.e
Cu	16	23	23	96	37	6	33	23	98	a.e	a.e
Pb	21	193	7	317	432	23	a.e	44	28	a.e	a.e
Zn	122	793	79	195	369	58	118	57	106	a.e	a.e
K	4566	7969	10626	18595	23327	6807	9879	26482	34617	25735	23078
Rb	3	17	20	32	51	29	a.e	85	38	89	147
Ba	82	184	231	272	377	193	508	667	652	1100	1009
Sr	547	491	427	366	370	453	260	200	199	143	146
Ta	1	1	1	0	1	0	a.e	a.e	1	a.e	1
Nb	14	12	10	9	4	6	a.e	6	9	a.e	7
Hf	4	3	3	3	3	3	a.e	a.e	3	a.e	2
Zr	228	211	188	141	83	232	182	120	152	128	189
Ti	9109	5693	7191	3655	2697	3356	2816	2757	1618	2217	1618
Y	42	31	22	21	17	30	28	22	20	25	23
Th	2	6	7	5	7	7	a.e	16	22	a.e	a.e
La	24	37	43	44	53	13	12	19	25	31	22
Ce	58	68	74	72	80	19	32	43	43	66	26
Ku	0.00	0.00	0.00	8.72	8.03	14.89	34.34	23.46	31.38	36.74	51.01
Or	3.03	5.38	7.06	13.92	16.80	5.02	7.18	18.17	25.86	18.63	16.96
Ab	16.85	25.14	25.54	27.17	28.45	33.79	20.34	20.59	20.65	17.52	9.24
An	27.54	28.46	27.92	22.54	16.13	29.44	19.32	17.75	6.94	9.79	5.58
C	0.00	0.00	0.00	0.99	3.31	0.00	3.12	0.62	4.17	4.77	9.41
Di wo	6.39	5.81	3.60	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Di en	4.57	4.20	2.57	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Di fs	1.24	1.07	0.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Hy en	13.16	8.27	11.19	20.96	17.82	9.69	8.97	7.63	7.39	4.95	5.03
Hy fs	3.58	2.10	3.07	0.00	3.68	0.00	0.00	3.93	0.00	2.42	0.00
Ol fo	5.40	5.90	4.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ol fa	1.62	1.65	1.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mt	12.85	9.53	10.29	0.38	4.72	0.00	0.47	6.70	0.31	4.24	0.00
He	0.00	0.00	0.00	4.08	0.00	6.13	5.50	0.00	2.24	0.00	2.24
il	2.69	1.71	2.13	0.00	0.86	0.00	0.00	0.84	0.00	0.71	0.00
Ap	1.10	0.79	0.43	0.60	0.20	0.41	0.29	0.32	0.34	0.22	0.25
DI	19.88	30.52	32.60	49.81	53.28	53.70	61.86	62.22	77.89	72.89	77.21
SI	47.23	44.41	41.15	45.57	42.96	26.13	27.54	23.16	24.19	19.56	24.50
K/Na	0.26	0.31	0.40	0.71	0.84	0.21	0.50	1.26	1.79	1.52	2.62
A/CNK	0.68	0.74	0.82	1.01	1.21	0.98	1.23	1.02	1.33	1.43	2.28
Ba/La	3.42	4.97	5.40	6.25	7.15	14.85	41.00	35.11	26.25	35.48	45.86
Ba/Zr	0.36	0.87	1.23	1.93	4.54	0.83	2.79	5.56	4.29	8.59	5.34
K/Rb	1522	469	531	581	457	235	-	312	911	289	157
Mg#	53.45	55.96	52.70	65.90	68.65	38.78	38.14	39.77	54.65	40.37	47.33

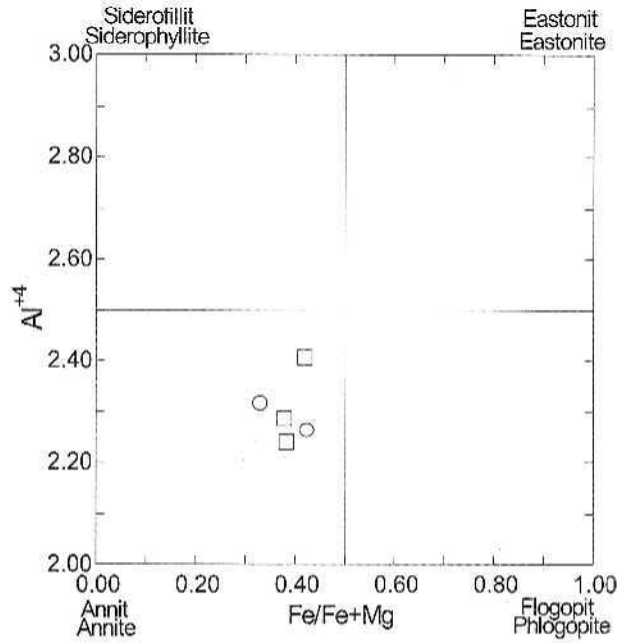
Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Toplam demir, a.e: Analiz edilmedi, a.l.a: Analiz limitleri altında

Çizelge 5'in devamı.  
Table 5 continued.

Örn. no	Üst Kretase Volkanitleri						Eosen Volkanitleri			
	T-183	T 81a	c 63	m 61	Z-84	m 58	T-503	A11	A12	T 501
SiO <sub>2</sub>	71.99	73.07	72.32	72.82	73.86	75.03	58.11	58.66	60.42	61.05
TiO <sub>2</sub>	0.24	0.19	0.18	0.26	0.26	0.14	0.63	0.58	0.57	0.49
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.75	16.13	14.99	14.84	15.14	14.36	17.02	15.87	16.88	17.89
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.51	1.36	1.23	1.76	1.66	1.13	4.49	4.86	4.01	3.33
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.10	0.05	0.07
MgO	1.57	1.50	1.55	1.58	0.41	1.28	5.60	6.11	5.42	4.69
CaO	2.22	1.25	0.92	1.88	0.17	1.08	6.12	5.96	5.40	5.57
Na <sub>2</sub> O	2.45	1.55	1.05	1.59	1.84	1.16	3.15	2.86	3.85	4.07
K <sub>2</sub> O	1.51	1.99	4.34	4.06	3.38	3.96	1.56	1.42	1.97	2.53
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.06	0.09	0.09	0.11	0.02	0.03	0.14	0.15	0.14	0.13
LOI	3.76	2.45	2.68	1.24	2.56	1.81	2.87	3.16	1.57	1.12
Toplam	99.06	99.58	99.35	100.14	99.30	99.98	99.76	99.73	100.28	100.94
Cr	a.e	a.e	a.e	a.e	28	a.e	13	18	a.e	a.e
Ni	9	a.e	8	a.e	4	a.e	57	62	46	38
Cu	53	a.e	14	a.e	49	a.e	38	52	46	74
Pb	3	a.e	a.e	11	610	9	25	28	30	29
Zn	15	a.e	19	26	1092	29	30	52	92	119
K	12535	16520	36028	33704	28059	32874	12950	11788	16354	21003
Rb	36	73	173	149	148	175	27	32	29	30
Ba	1019	1075	1073	1193	1203	1254	1061	896	1088	1152
Sr	147	123	115	126	68	73	625	685	569	551
Ta	a.e	a.e	a.e	1	a.e	1	a.e	1	1	1
Nb	a.e	a.e	a.e	8	a.e	11	6	8	9	11
Hf	2	a.e	a.e	2	a.e	2	a.e	3	3	3
Zr	137	132	72	68	52	55	99	118	75	67
Ti	1438	1139	1079	1558	1558	839	3775	3476	3416	2936
Y	22	19	16	14	11	9	23	28	24	21
Th	6	a.e	a.e	15	24	28	5	6	2	3
La	27	31	39	35	41	42	15	21	18	19
Ce	25	47	47	60	49	74	27	28	31	34
Ku	46.65	41.04	52.05	46.07	49.53	47.97	13.52	16.15	11.90	8.44
Or	9.27	23.86	11.95	26.22	20.32	23.42	9.52	8.70	11.80	14.51
Ab	21.50	13.35	13.30	9.06	15.80	9.80	27.48	25.03	32.96	33.35
An	11.08	8.63	5.76	4.13	0.74	5.19	28.54	27.16	23.22	22.32
C	4.33	4.60	9.48	7.22	8.31	6.25	0.00	0.00	0.00	0.00
Di wo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.82	1.07	1.30	1.56
Di en	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.71	0.92	1.12	1.15
Di fs	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26
Hy en	4.08	3.92	3.81	3.96	1.04	3.20	13.42	14.90	12.61	10.22
Hy fs	0.22	1.34	1.07	0.96	1.27	2.19	2.60	0.00	0.00	0.00
Ol fo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ol fa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mt	2.27	2.54	2.00	1.82	2.45	1.64	0.24	0.34	0.17	4.68
He	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.47	4.80	3.95	0.00
İl	0.47	0.49	0.37	0.35	0.50	0.27	0.00	0.00	0.00	0.90
Ap	0.14	0.24	0.20	0.20	0.04	0.07	0.32	0.34	0.31	0.28
DI	77.42	78.25	77.30	81.35	85.65	81.19	50.52	49.88	56.66	56.30
SI	22.30	23.44	18.97	17.58	5.62	17.00	37.84	40.07	35.54	32.08
K/Na	0.62	1.28	4.13	2.55	1.84	3.41	0.50	0.50	0.51	0.62
A/CNK	1.42	2.31	1.85	1.42	2.16	1.76	2.48	2.54	1.99	1.90
Ba/La	37.74	34.68	27.81	33.67	29.34	29.68	70.73	42.67	60.44	59.69
Ba/Zr	7.44	8.14	14.90	17.54	23.13	22.80	10.72	7.59	14.51	17.19
K/Rb	348	226	208	226	189	188	479	368	564	700
Mg#	50.97	52.45	55.76	47.31	19.81	53.11	55.50	55.70	57.48	58.48

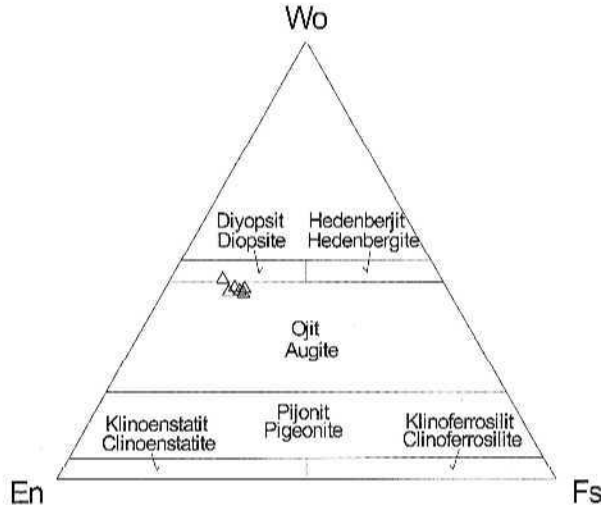
Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Toplam demir, a.e: Analiz edilmedi, a.l.a: Analiz liimitleri altında





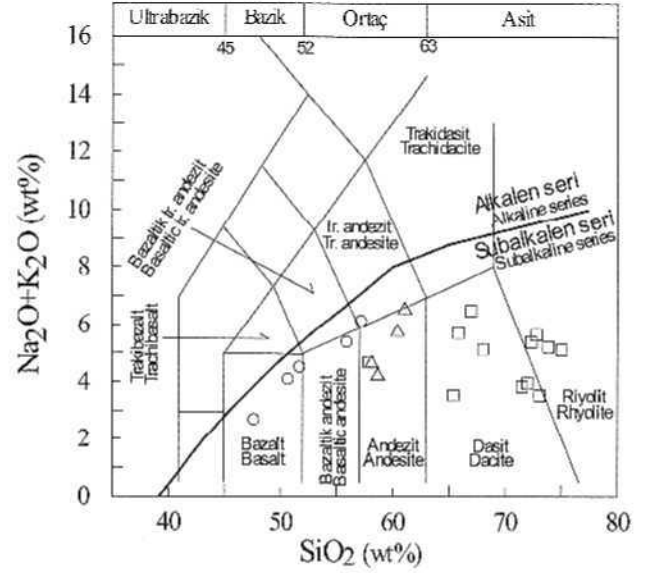
Şekil 6. Torul volkanitlerindeki biyotitlerin sınıflandırma diyagramı (Leake ve Said, 1994) (O: Lias volkanitleri, •: Üst Kretasc volkanitleri).

Figure 6. Biotite classification diagrams (after Leake and Said, 1994) of the Torul volcanics (O: Liasic volcanites, •: Upper Cretaceous Volcanites).



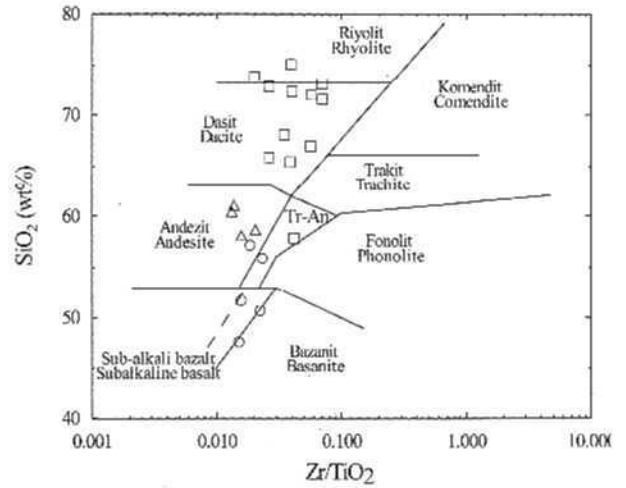
Şekil 7. Torul volkanitlerindeki piroksenlerin Wo-En-Fs üçgen diyagramında sınıflandırılmaları (Morimoto, 1998) (A : Eosen volkanitleri).

Figure 7. Classification of Wo-En-Fs triangular diagrams of the pyroxene (after Morimoto, 1998) of the Torul volcanics (A : Eocene volcanites).



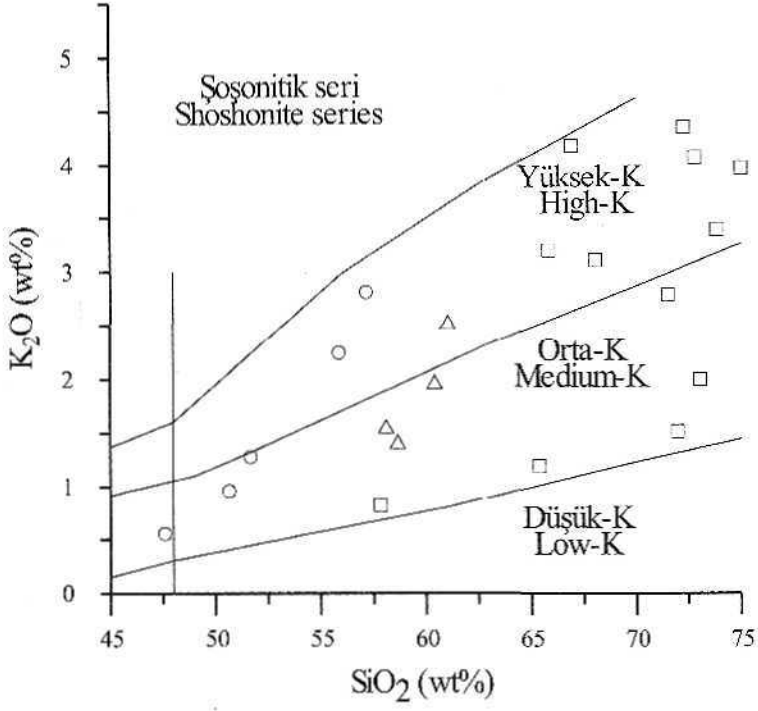
Şekil 8a. Torul volkanitlerinin SiO<sub>2</sub>ye karşı Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O diyagramı (Le Maitre ve riğ., 1989) (O: Lias volkanitleri, D : Üst Kretasc volkanitleri, A: Eosen volkanitleri).

Figure 8a. SiO<sub>2</sub> vs. Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O diagram (after Le Maitre et al, 1989) of the Torul volcanics (O: Liasic volcanites, D : Upper Cretaceous Volcanites, A : Eocene volcanites).



Şekil 8b. Torul volkanitlerinin SiO<sub>2</sub>'c karşı Zr/TiO<sub>2</sub> diyagramı (Winchester ve Flody, 1977) (O: Lias volkanitleri, D: Üst Kretasevolkanitleri, A: Eosen volkanitleri).

Figure 8b. SiO<sub>2</sub> vs. Zr/TiO<sub>2</sub> diagram (after Winchester ve Flody, 1977) of the Torul volcanics (O: Liasic volcanites, •: Upper Cretaceous Volcanites, A : Eocene volcanites).

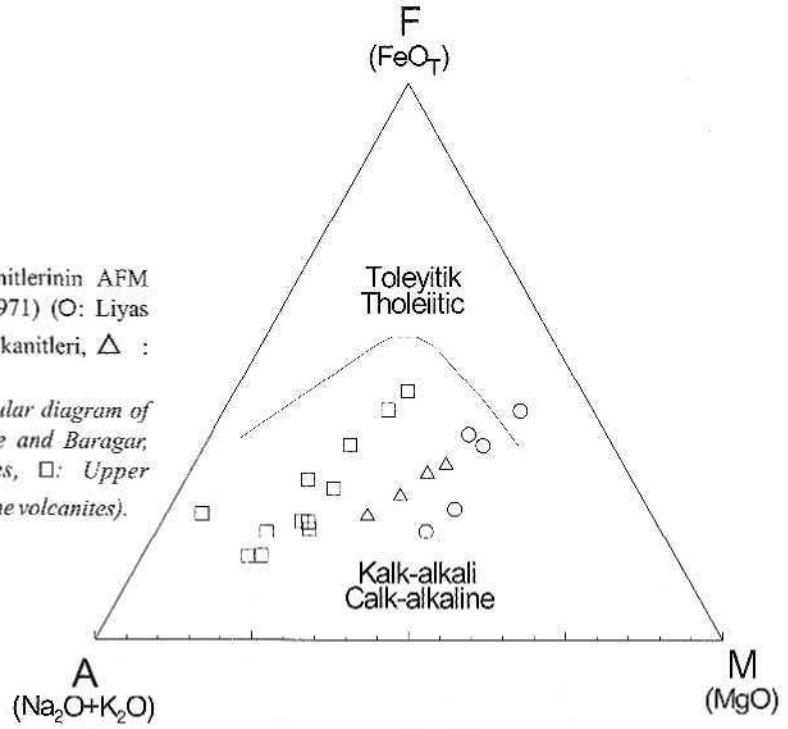


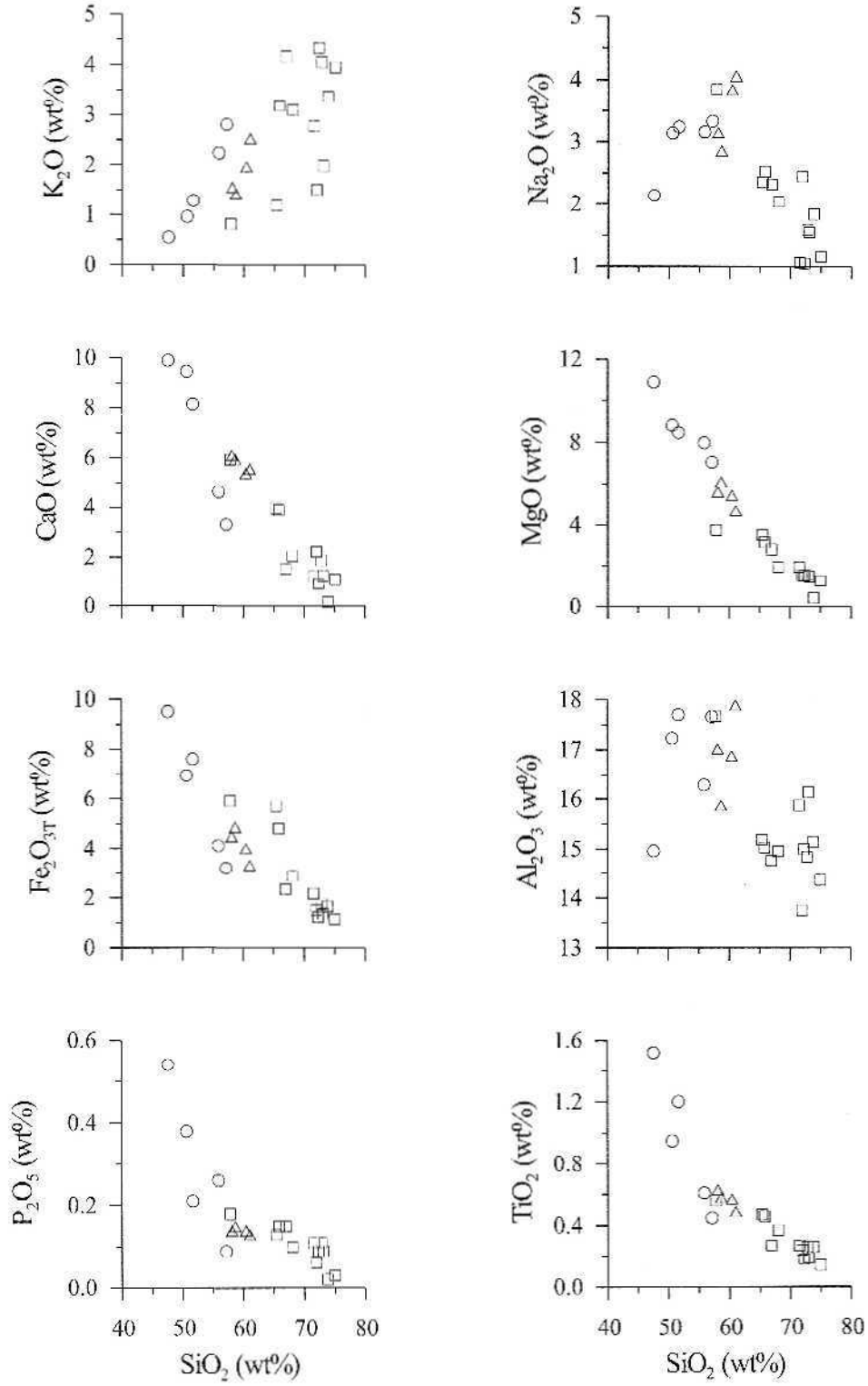
Şekil 9. Torul volkanitlerinin Si (Ye karşı K, O diyagramı (Le Maitre ve diğ., 1989) (O: Liyas volkanitleri, D : Üst Kretase volkanitleri, A : Eosen volkanitleri).

Figure 9.  $SiO_2$  vs.  $K_2O$  diagram (after Le Maitre et al, 1989) of the Torul volcanics (O: Liassic volcanites, D: Upper Cretaceous Volcanites, A : Eocene volcanites).

Şekil 10. Torul volkanitlerinin AFM diyagramı (Irvine ve Baragar, 1971) (O: Liyas volkanitleri, □ : Üst Kretase volkanitleri, Δ : Eosen volkanitleri).

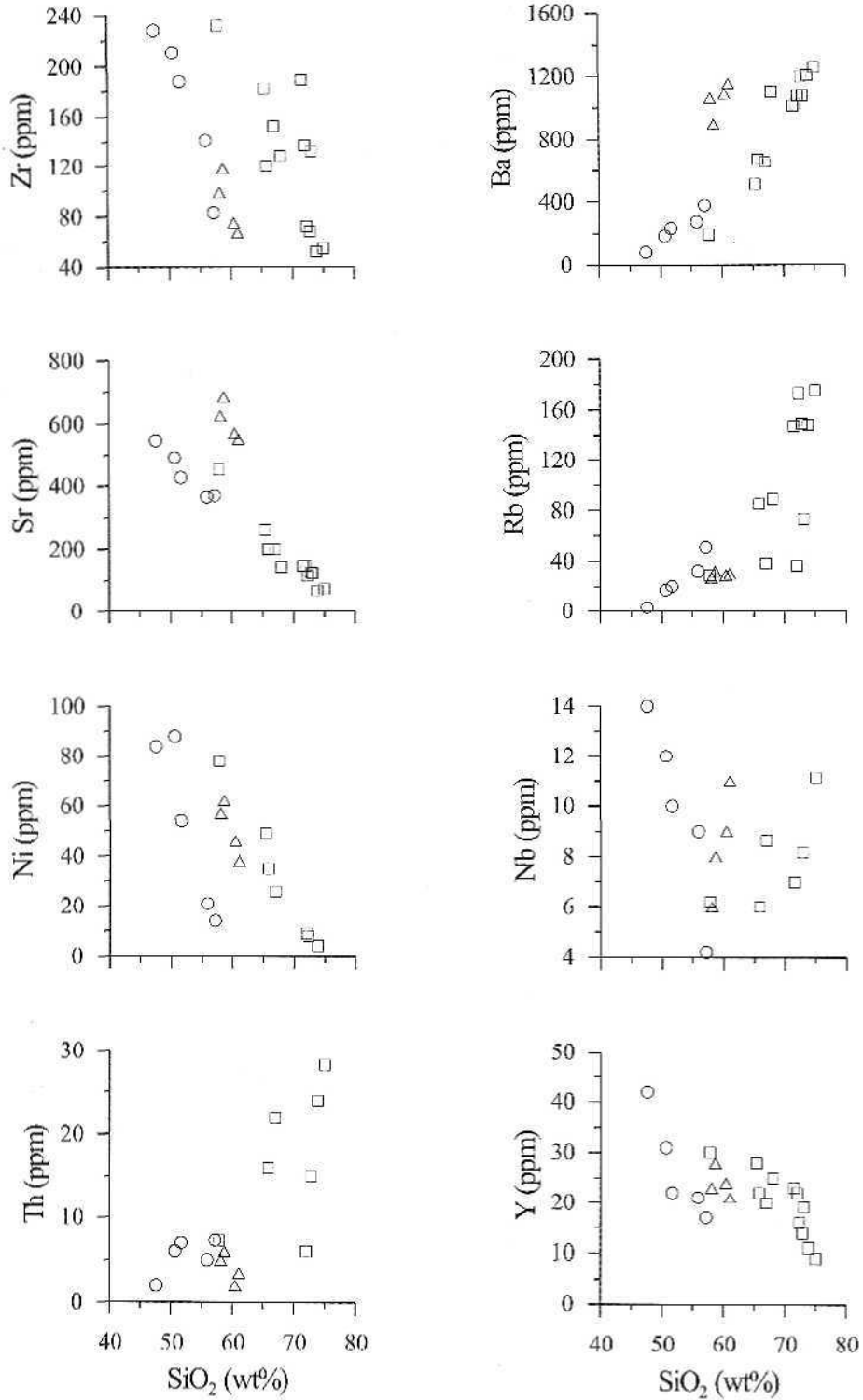
Figure 10. AFM triangular diagram of the Torul volcanites (after Irvine and Baragar, 1971) (O: Liassic volcanites, □: Upper Cretaceous Volcanites, Δ : Eocene volcanites).





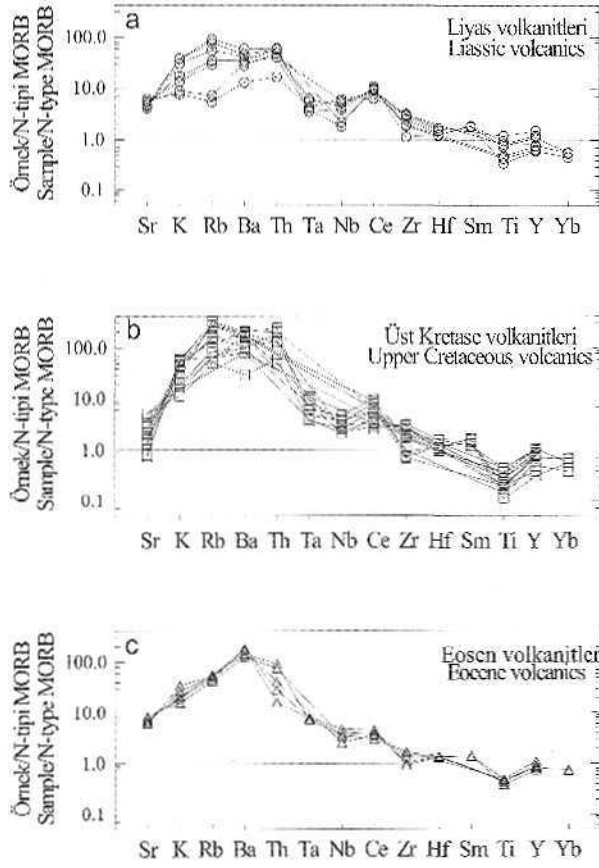
Şekil 11. Torul volkanitlerinin SiO<sub>2</sub>'ye (wt%) karşı ana element oksit (ağırlık%) değişim diyagramları (O: Liyas volkanitleri, •: Üst Kretaseo volkanitleri, ZI: Eosen volkaniti).

Figure 11. SiO<sub>2</sub> (wt%) vs. major oxide (weight%) variation plots of the Torul volcanites (O: Liassic volcanites, •: Upper Cretaceous volcanites, ZI: Eocene volcanite).



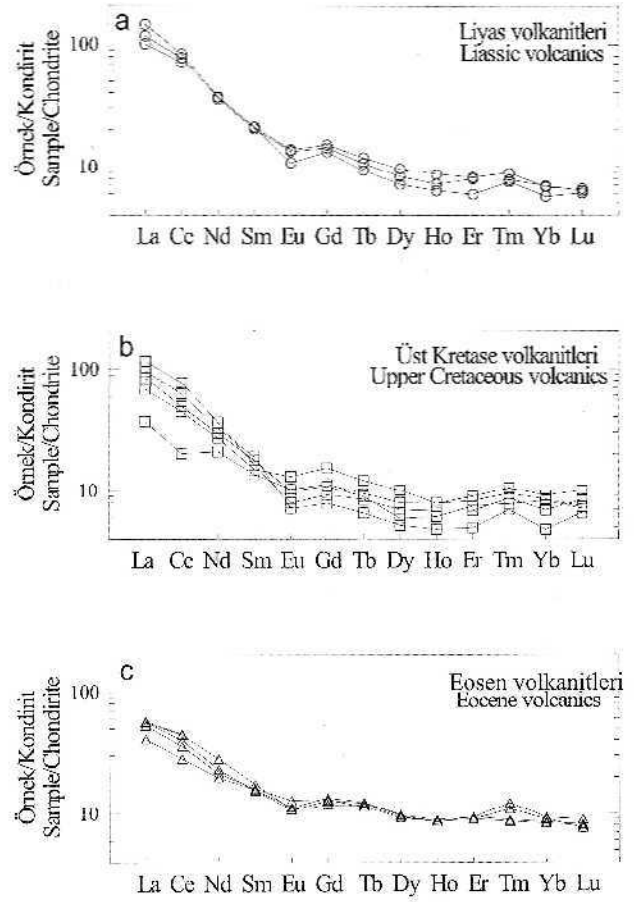
Şekil 12. Torul volkanitlerinin  $\text{SiO}_2$ 'ye (wt%) karşı iz element (ppm) değişim diyagramları (O: Lias volkanitleri, D: Üst Kretase volkanitleri, A: Eosen volkanitleri).

Figüre 12.  $\text{SiO}_2$  (w%) vs. trace element (ppm) variation plots of the Torul volcanics (O: Liasic volcanites, D: Upper Cretaceous Volcanites, A: Eocene volcanites).



Şekil 13. Torul volkanitlerinin N-tipi MÜRB'a göre (Sun ve McDonough, 1984) normalize edilmiş iz element dağılım diyagramları (O: Liyasvolkanitleri, □: Üst Kretase volkanitleri, △: Eosen volkanitleri),

Figure 13. N-MORB normalised (after Sun and McDonough, 1984) trace element diagrams of the Torul volcanics (O: Liassic volcanics, □: Upper Cretaceous volcanics, △: Eocene volcanics).



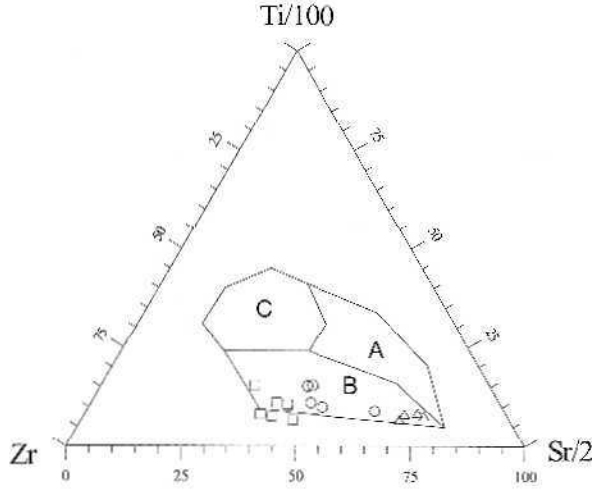
Şekil 14. Torul volkanitlerinin kondirite göre (Taylor ve McLennan, 1985) normalize edilmiş nadir toprak element diyagramları (O: Liyas volkanitleri, □: Üst Kretase volkanitleri, △: Eosen volkanitleri).

Figure 14. Chondrite normalised (Taylor and McLennan, 1985) REE patterns of the Torul volcanics (O: Liassic volcanics, □: Upper Cretaceous volcanics, △: Eocene volcanics).

Çizelge 6: Liyas, Üst Kretase ve Eosen volkanitlerinin nadir toprak element (ppm) iinalizieri,  
 Table 6. Rare earth element anaiyses (ppm) ofthe Llas, Upper Creiaceous and Eocene volcanics.

Örnek no	Liyas volkanitleri			Üst Kretase volkanitleri					Eosen volkanitleri	
	70	265	217 b	m 13	T 26 b	T81	m 61	m 58	T 501	T 503
La	42.74	37.00	52.76	13.58	24.84	31.00	35.43	42.25	19.36	15.00
Ce	74.44	68.00	80.06	19.38	42.57	47.00	59.64	73.99	34.21	27.00
Nd	25.97	25.07	26.28	14.95	19.35	21.18	23.13	25.88	15.25	14.12
Sm	4.89	4.72	4.85	3.16	3.48	4.13	4.43	3.82	3.72	3.65
Eu	1.20	1.16	0.94	0.90	1.15	0.87	0.62	0.69	1.12	0.98
Gd	4.63	4.38	4.06	3.47	4.74	3.35	2.41	2.81	3.99	4.12
Tb	0.69	0.62	0.54	0.55	0.71	0.52	0.38	0.49	0.66	0.72
Dy	3.67	3.17	2.72	3.03	3.85	2.25	1.98	2.66	3.52	3.73
Ho	0.74	0.61	0.54	0.67	0.67	0.52	0.41	0.58	0.73	0.76
Er	2.03	1.97	1.47	2.23	2.05	1.86	1.23	1.70	2.25	2.33
Tm	0.32	0.28	0.27	0.38	0.34	0.28	0.25	0.31	0.39	0.44
Yb	1.68	1.72	1.41	2.26	2.10	2.05	1.18	1.71	2.23	2.30
Lu	0.25	0.24	0.23	0.38	0.28	0.27	0.25	0.32	0.29	0.34
(La/Lu) <sub>N</sub>	17.70	15.96	23.75	3.70	9.19	11.89	14.67	13.67	6.91	4.57
(La/Sm) <sub>N</sub>	5.50	4.93	6.85	2.70	4.49	4.72	5.03	6.96	3.28	2.59
(Gd/Lu) <sub>N</sub>	2.30	2.27	2.19	1.13	2.10	1.54	1.20	1.09	1.71	1.50
(Sm+Gd) <sub>N</sub>	36.30	34.75	34.26	25.02	30.56	28.83	27.05	25.72	29.14	29.26
Eu*	18.15	17.37	17.13	12.51	15.28	14.41	13.53	12.86	14.57	14.63
(Eu) <sub>N</sub>	13,79	13,33	10,80	10,34	13,22	10,00	7,13	7,93	12,87	11,26
Eu	0.76	0.77	0.63	0.83	0.87	0.69	0.53	0.62	0.88	0.77

$$Eu^* = (Sm-Gd)_N / 2, Eu = (Eu)_N / Eu^*$$

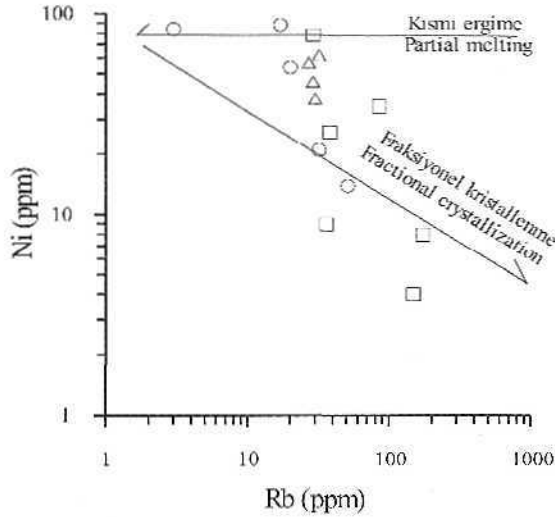


Şekil 15. Torul volkanitlerinin Ti/100-Zr-Sr/2 üçgen diyagramı (Pearee ve Cann, 1973) (A: Adayayı toleyiük bazalt, B: Kalk-alkali bazalt; C: Okyanus tabanı bazaltı) (O: Liyas volkanitleri; •: Üst Kretase volkanitleri, A: Eosen volkanitleri).

Figure 15. Ti/100-Zr-Sr/2 Triangular diagrams of the Torul volcanics (A: Is/and arc tholeiitic basalts, B: Calc-alkaline basalt, C: Oceanplate basalt) (from Pearee and Cann, 1973) (O: Liassic volcanites, •: upper Cretaceous Volcanites, A: Eocene volcanites).

## PETROJENEZ

Volkanik kayaların oluşumunda fraksiyonel kristallenme, kısmi ergime, magma karışımı ve konlaminasyon gibi süreçler etkili olmaktadır ve bu süreçler değişim diyagramlarında gözlenen trendler ve



Şekil 16a. Torul volkanitlerinin Ni'a karşılık Rb diyagramı (O: Liyas volkanitleri, •: Üst Kretase volkanitleri, A: Eosen volkanitleri).

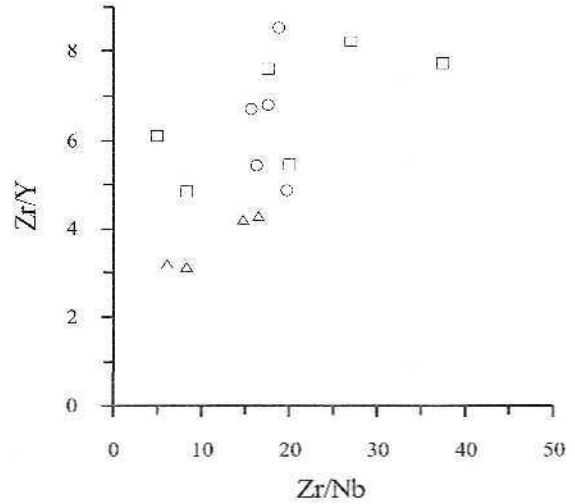
Figure 16a. Ni vs. Rb diagram of the Torul volcanics (O: Liassic volcanites, •: Upper Cretaceous Volcanites, A: Eocene volcanites).

minerallere ait dokusal özelliklerle belirlenmiştir. İncelenen Torul volkanitleri tideki mineralojik, petrografik ve jeokimyasal değişimler, bunların aynı kökenden tüediklerini ve gelişme sürecinde fraksiyonel kristallenme, asimilasyon ve magma karışımı olaylarının etkin olduğunu göstermektedir.

## Kısmi Ergime

Kısmi ergime, herhangi bir katı kayanın çeşitli nedenlerden dolayı (sıcaklık yükselmesi, uçucu bileşen ilavesi, basınç ferahlaması) eriyerek belli bir miktarda sıvı oluşturmasını ifade eder (Wilson, 1989).

Kısmi ergime ve fraksiyonel kristallenme, yüksek oranda refrakter (Ni ve Cr) ve uyumsuz (Rb) elementlerin karşılaştırılmalarıyla incelenebilir (Maaloe, 1985). Kısmi ergime esas kontrol olduğunda, Ni ve Cr içerikleri hemen hemen sabit kalmalı, Rb içerikleri ise değişmelidir. İncelenen Torul volkanitlerinde Rb artışına karşın Ni içeriklerinde gözlenen azalma (Şekil 16a), volkaniklerin oluşumunda kısmi ergimeden ziyade fraksiyonel kristallenmenin etkili olduğunu göstermektedir. Düşük dereceli kısmi ergimede yüksek Zr/Y'a karşı düşük Zr/Nb oranları gözlenirken, yüksek dereceli kısmi ergimede yüksek Zr/Nb'a karşı düşük Zr/Y oranları gözlenir (Menzies ve Kyle, 1990). Torul volkanitlerinde gözlenen yüksek (La/Lu)<sub>N</sub> oranları ve Zr/Y-Zr/Nb diyagramında (Şekil 16b) gözlenen yüksek Zr/Y'a karşı düşük Zr/Nb değerleri, volkanitlerin zenginleşmiş bir kaynaktan, düşük dereceli bir kısmi ergimeyle oluşabileceğini göstermektedir.



Şekil 16b. Torul volkanitlerinin Zr/Nb'a karşılık Zr/Y diyagramı (O: Liyas volkanitleri, □: Üst Kretase volkanitleri, Δ: Eosen volkanitleri).

Figure 16b. Zr/Nb vs. Zr/Y diagram of the Torul volcanics (O: Liassic volcanites, □: Upper Cretaceous Volcanites, Δ: Eocene volcanites).

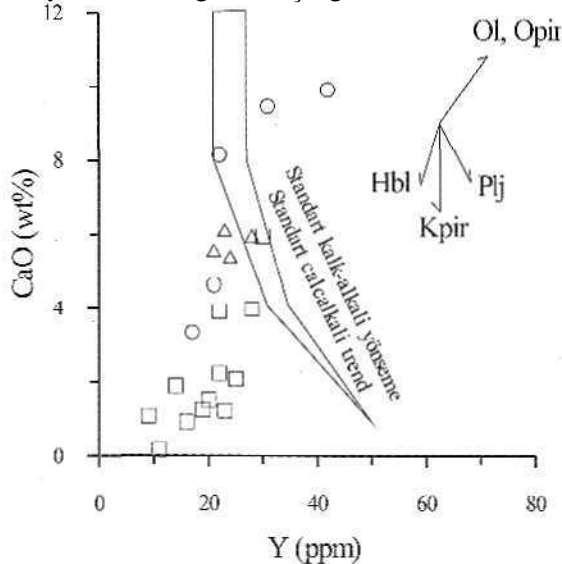
## IVaksiyonelKristallerime

Fraksiyonel kristallerime, magmatik kayaların belirli ve tek bir sıcaklık derecesinde kristalleşmediğini, kristalleşmenin bir sıcaklık aralığında geliştiğini, oluşan mineral çeşitlerinin ve kimyasal bileşimlerin sıcaklığın azalmasıyla sürekli değiştiğini ifade eder (Bowen, 1956).

Bazaltik bir magmanın kabuk içinde soğumasında plajiyoklas, klinopiroksen ve olivin mineralleri önemli kristallerime fazlarını oluştururlar. Magmada kristallenme basıncının artışı ile birlikte klinopiroksen/plajiyoklas oranı (Gustve Perfit, 1987), su içeriğinin artışı ile birlikte de plajiyoklas oranı düşmektedir (Egler, 1972; Baker ve Egler, 1983). Fraksiyonlaşmada, kristallen mineralerin magmadan devamlı ayrılması ile magmanın bileşimi sürekli değişmektedir. Klinopiroksen fraksiyonlaşması ile CaO, plajiyoklas fraksiyonlaşması ile de AUX ve Sr içeriklerinde azalma olur. İncelenen Liyas ve Eosen örneklerinde, T-larker diyagramlarında, CaO düşüşü gözlenirken, Üst Kretase örneklerinde Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Sr düşüşü görülür. Bu durum, Liyas ve Eosen örneklerinde piroksen, Üst Kretase örneklerinde ise plajiyoklas fraksiyonlaşmasını gösterir.

Lambert ve Holland (1974): kalk-alkalen kayaların

»uruplarında CaO e karşı Y diyagramında standart kalk-alkalen yönsemesine göre Y içeriğindeki tüketilme ve

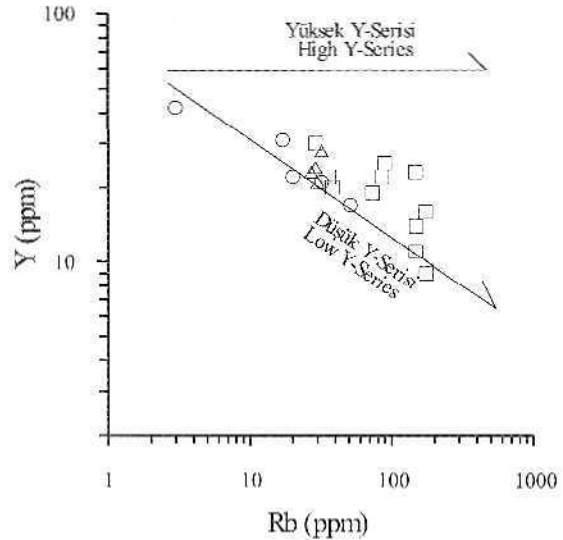


Şekil 17. Torul volkanitlerinin CaO'ca karşılık Y diyagramı (O: Liyas volkanitleri, P: Üst Kretase volkanitleri, A: Eosen volkanitleri)

Figure 17. CaO vs. Y diagram of the Torul volcanics (O: Liassic volcanites, D: Upper Cretaceous Volcanites, A: Eocene volcanites).

zenginleşmeyi esas alarak, L ve J tipi yönsemeler tanımlanmıştır (Şekil 17). Bu yönsemelerden L-tipi olanlar klinopiroksen ve plajiyoklas denetimli ayrılma ya da kaynak kayada tutulmasına, J-tipi olanlar da hornblend (igrenat) ve apatit kontrollü ayrılma ya da kaynak kayada tutulmasına işaret etmektedir. Torul yöresindeki Üst Kretase volkanitleri standart kalk-alkalen yönsemesine göre Y'ce tüketilmiş olmaktadır (Şekil 17) ve volkanitlerin gelişiminde hornblend ± granat denetimli bir fraksiyonlaşmanın varlığını onaya koymaktadır. Aneuk kayalardaki düşük Y (Şekil 18) ve yüksek La/Y oranları fraksiyonlaşmada granatın önemli olmadığını göstermektedir. Yine Y-Zr diyagramında (Şekil 19) gözlenen yönelim hornblend fraksiyonlaşmasına işaret etmektedir.

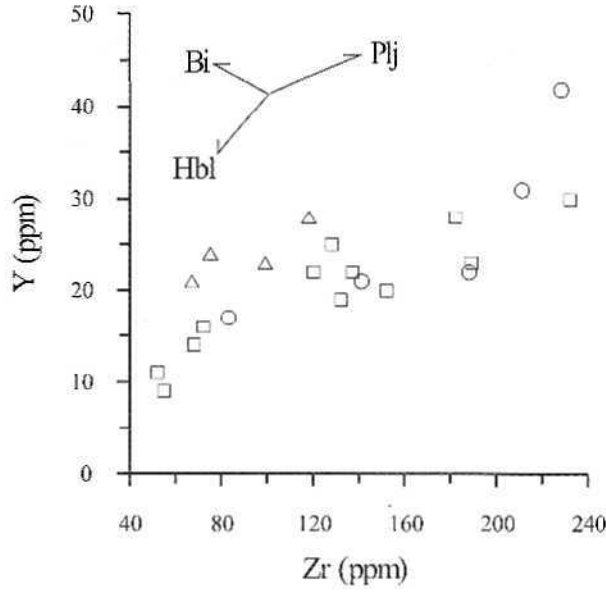
CaO/Na<sub>2</sub>O artışına karşı Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> düşüşü (Şekil 20) Liyas volkanitlerinde piroksen fraksiyonlaşmasını; Üst Kretase örneklerinde ise CaO/Na<sub>2</sub>O artışına karşı Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> düşüşü plajiyoklas ve Eosen örneklerinde CaO/Na<sub>2</sub>O artışına karşı Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> düşüşü piroksen fraksiyonlaşmasını göstermektedir. Yine CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/MgO diyagramında Liyas volkanitlerinin göstermiş oldukları eğilimi göstermektedir. Keza Liyas volkanitlerindeki hornblend ± biyotit ve Eosen volkanitlerindeki hornblend ± piroksen; Üst Kretase volkanitlerindeki hornblend ± biyotit ve Eosen volkanitlerindeki hornblend ± piroksen ± hornblend'dir.



Şekil 18. Torul volkanitlerinin Y'ca karşılık Rb diyagramı (O: Liassic volkanitleri, D: Üst Kretase volkanitleri, A: Eosen volkanitleri).

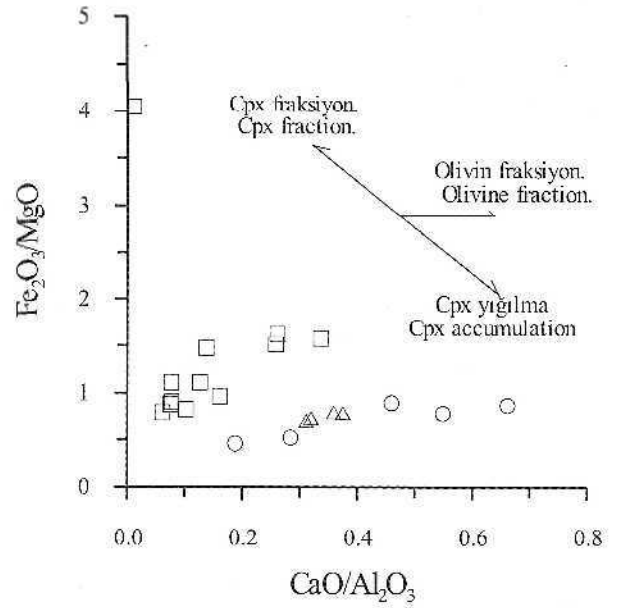
Figure 18. Y vs. Rb diagram of the Torul volcanics (O: Liassic volcanites, D: Upper Cretaceous Volcanites, A: Eocene volcanites).





Şekil 19. Torul volkanitlerinin Y'c karşılık Zr diyagramı (O: Liyas volkanitleri, D : Üst Kretase volkanitleri, A : Eosen volkanitleri)

Figure 19. Y vs. Zr diagram of the Torul volcanics (O; Liassic volcanites, D: Upper Cretaceous Volcanites, A: Eocene volcanites).



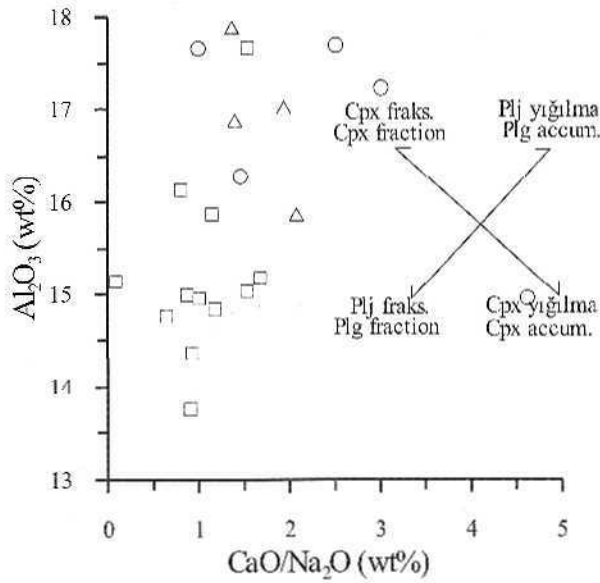
Şekil 21. Torul volkanitlerinin Fe<sup>2+</sup>/MgO'e karşılık CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> diyagramı (O: Liyas volkanitleri, D: Üst Kretase volkanitleri, A : Eosen volkanitleri).

Figure 21. Fe<sup>2+</sup>/MgO vs. CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> diagram of the Torul volcanics (O: Liassic volcanites, D: Upper Cretaceous Volcanites, A: Eocene volcanites).

#### Magma Karışımı

Magma karışımı kalk-alkalen kayaların gelişiminde önemli rol oynamaktadır (Eiuhelberger, 1978; Gerlach ve Grove, 1982). Torul volkanitlerinde de magmalanışımına ait petrografik veriler gözlemlenmiştir.

Magma karışımı, birbirinden farklı bileşimdeki magmaların (mafik ve felsik) fiziksel ve kimyasal karışımı şeklinde tanımlanır. Farklı bileşimdeki iki magmanın homojen karışımı sonucu hibrid magmalar oluşur. Mafik magma mantodan, felsik magma ise kabuk kirlenmesi ve/veya fraksiyonel kristallerinle ile türeyebilir (Grove ve Donnelly, 1986). Magmaların homojen karışımını (mixing) belirten petrografik ve dokusal veriler incelenen Torul volkanitlerinde de gözlemlenmiştir. Plajiyoklas fenokristallerinde gözlenen tekrarlanmalı zonlanma, elek dokusu, plajiyoklaslarda gözlenen ojit, hornblend ve opak mineral inklüzyonları, plajiyoklaslarda hamur tarafından kemirilme, kenar ve iç kısımlarda hamur kapanmaları, hornblendlerin opak mineraller tarafından kuşatılması ve bozunma yapıları, iri ojit kristallerinde gözlenen plajiyoklas ve opak mineral inklüzyonları, biyotitlerde kloritleşme ve opak mineral dizilimi, iri kuvars kristallerinin hamur tarafından kemirilmesi, ojitte eriyikle reaksiyon sonucu

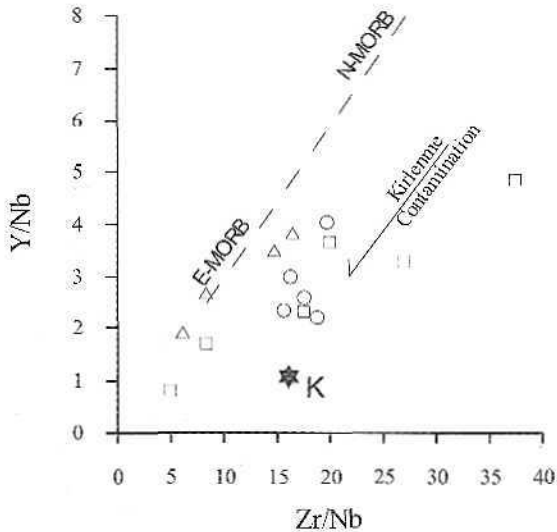


Şekil 20. Torul volkanitlerinin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'e karşılık CaO/Na<sub>2</sub>O diyagramı (O: Liyas volkanitleri, D: Üst Kretase volkanitleri, A : Eosen volkanitleri).

Figure 20. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> vs. CaO/Na<sub>2</sub>O diagram of the Torul volcanics (O: Liassic volcanites, D: Upper Cretaceous Volcanites, A : Eocene volcanites).

oluşan değişimler ve zonlu yapılar, iskeletimsi plajiyoklas gelişimi, bıçağımsı şekilli biyotit kristalleri, hornblend içinde ergiyik kapanımı gibi dokusal veriler (Eichelberger, 1975; 1978; Anderson, 1976; Dungan ve Rhodes, 1978; Rhodes ve diğ., 1979; Luhr ve Carmichael, 1980; Sakuyama, 1981; 1984; Huppert ve diğ., 1982; Koyaguchi, 1986; 1987; Robert ve Foden, 1993; Kurt, 1996; Keskin ve diğ., 1998; Aliyazıcıoğlu ve Arslan, 1998; Arslan ve diğ., 1998a; Kurt ve Arslan, 2001; Cole ve diğ., 2001; Troll ve Schmincke, 2002; Reubi ve diğ., 2002; Trol ve diğ., 2004; Kawabata ve Shuto, 2005) Torul volkanitlerinde magma karışımına (magma mixing) işaret etmektedir. Ayrıca, plajiyoklas, piroksen ve amfibollerde gözlenen kimyasal ters zonlanmalar (Plajiyoklas fenokristallerini merkezi kısımlarındaki anortit içeriklerinin, kenar kısımlara nazaran düşük değerde olması; hornblend ve piroksen fenokristallerinde Mg numaralarının mineralin merkezinden kenarına doğru yükselmesi) magma karışımını (magma mixing) jeokimyasal olarak desteklemektedir.

Magmaların heterojen karışımında (magma mingling) silisik kayaç içerisinde mafik kayaç anklavları fiziksel karışımın kanıtını oluştururlar (Koyaguchi, 1986, 1991; Blake ve Fink, 2000). Magmaların heterojen karışımını belirten anklavlar Torul volkanitlerinde de gözlenmiştir. Üst Kretase yaşlı dasitler içerisinde gözlenen bazik bileşimli anklavlar, 6 cm çapından daha küçük olup, kısmen elipsoidal şekillidirler ve uzun



Şekil 22. Torul volkanitlerinin Y/Nb'e karşılık Zr/Nb diyagramı (O: Liyas volkanitleri, □: Üst Kretase volkanitleri, Δ: Eosen volkanitleri).

Figure 22. Y/Nb vs. Zr/Nb diagram of the Torul volcanics (O: Liassic volcanites, □: Upper Cretaceous Volcanites, Δ: Eocene volcanites).

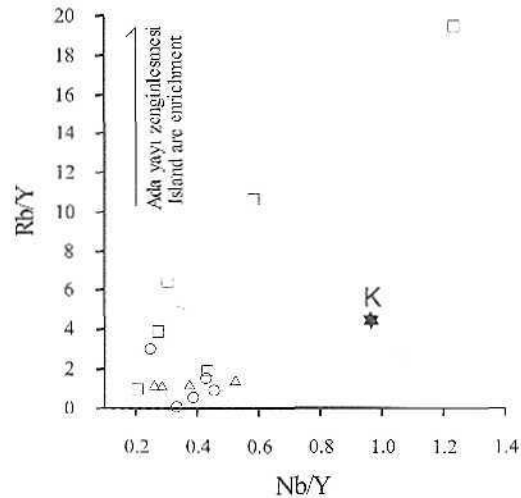
eksenleri magmanın akış yönüne paralel şekilde dizilim gösterirler.

### Asimilasyon

Asimilasyon, herhangi bir magmanın katılma sırasında, yan kayacı eriterek bünyesine katması ve bunun sonucu ilksel bileşimin kısmen ya da büyük ölçüde değişmesidir. Asimilasyon olayında fraksiyonel kristallenme süreci de devam etmektedir (DePaolo, 1981; Grove ve diğ., 1982).

İncelenen örneklerde gözlenen yüksek  $\text{SiO}_2$ , La ve Ce içerikleri, LILE element zenginleşmeleri, ana magmanın kabuksal malzeme ile girişim yapıtığa işaret etmektedir. Bu zenginleşme muhtemelen magmanın yükselimi sırasındaki kıtasal kabuk asimilasyonu veya fraksiyonel kristallenme ile birlikte gelişen asimilasyon (AFC) (DePaolo, 1981; Grove ve diğ., 1982) ile açıklanabilir. Ayrıca az belirgin negatif Nb anomalisi, yitim bileşeni ve/veya kabuk kirlenmesinden kaynaklanabilir.

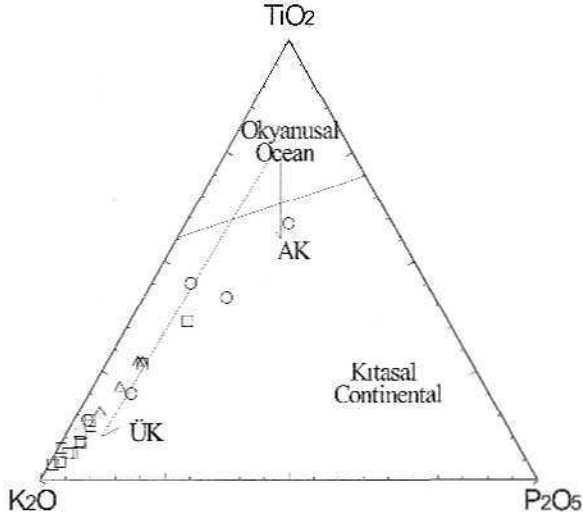
Kalıcılığı yüksek elementler bakımından gözlemlenen tüketilmede, Torul volkanitlerini oluşturan magmanın kıtasal kabuktan geçerken kabuksal kirlenmeye uğramasıyla açıklanabilir. Y/Nb-Zr/Nb (Şekil 22) ve Rb/Y-Nb/Y (Şekil 23) diyagramlarında gözlenen yönelimler, volkanitleri oluşturan magmanın evriminde kirlenme süreçlerinin de var olduğunu göstermektedir.



Şekil 23. Torul volkanitlerinin Rb/Y'e karşılık Nb/Y diyagramı (O: Liyas volkanitleri, □: Üst Kretase volkanitleri, Δ: Eosen volkanitleri)

Figure 23. Rb/Y vs. Nb/Y diagram of the Torul volcanics (O: Liassic volcanites, □: Upper Cretaceous Volcanites, Δ: Eocene volcanites).

Üst kabukla K<sub>2</sub>O' nunu yüksek konsantrasyonlarda (%3-4, Taylor ve McLennan, 1985) olması, K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O oranı çok yüksek örneklerin üst kabuk kirlenmesine uğradığını gösterebilir. Torul volkanitlerinde K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O oranı 0.21-4,13 arasında değişmekte olup (Çizelge 1), bazı örneklerde gözlenen yüksek K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O oranları üst kabuk kirlenmesinden kaynaklanabilir.



Şekil 24. Torul volkanitlerinin TiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> üçgen diyagramında gösterimleri (ÜK: Üst kabuk, AK: Alt kabuk) (Ü: Liyas volkanitleri, D: Üst Kretase volkanitleri, A: Eosen volkanitleri).

Figure 24. Distribution of the Torul volcanics (ÜK: Upper crust, AK: Unver cfu.it) on the TiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> triangular diagram (O: Liassic volcanites, Ü: Upper Cretaceous Volcanites, Lk: Eocene volcanites).

Kabuksal kirlenmeye uğramamış ve göreceli olarak az ayrılmış rifillerle ilişkili volkanitlerin TiO<sub>2</sub> içerikleri (2-4 wt %) yüksektir (Hart ve diğ., 1989; Göşl ve Sinton, 1992). Torul volkanitlerinin TiO<sub>2</sub> içerikleri düşük olup 0.14-1.52 arasındadır. Benzer şekilde P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içerikleri de kabuksal kirlenme olup olmadığını kontrol etmede kullanılabilir. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> alt kabukla yüksek, üst kabukta ise düşük konsantrasyonlardadır (Taylor ve McLennan, 1985). Torul volkanitlerinin düşük konsantrasyonlarda P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0.02-0.54) içeriğine sahip olmaları bunların üst kabuk kirlenmesine maruz kaldıklarını gösterebilir. Farklı tektonik ortamlarda oluşmuş bazaltları birbirinden ayırmak için kullanılan TiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O-PA (Pearce ve Cann, 1973) diyagramı magma oluşumu, kabuksal kirlenme ve diferansiyasyon

olaylarını yorumlamak için kullanılabilir. Torul volkanitleri TiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> diyagramında (Şekil 24) okyanusal alandan başlayarak üst kabuk karışımı yönünde bir yönsemeye sahiptirler. Volkanitlerdeki bu yönseme diferansiyasyona bağlı olarak gelişebileceği gibi, kabuksal kirlenme de bu şekilde bir K zenginleşmesine sebebiyet verebilir.

Kıtasal rifiller ile ilişkili bazaltlar ve farklılaşmış ürünlerindeki kabuksal kirlenmeler K/P ve Ti/Yb oranları ile test edilmektedir. Üst kabukla K zenginleşmiş, P tüketilmiş olduğundan K/P oranı bazaltik magmalarda kabuksal kirlenmeyi belirlemek için kullanılmıştır (Lecman ve Hawkesworth, 1986; Van Calsteren ve diğ., 1986; Carlson ve Hart, 1987). Torul volkanitleri 1-132 arasında değişen K/P oranlarına sahiptirler. K/P oranı 3' den düşük örneklerde K ve P'nin birlikte zenginleştiği söylenebilir. K/P oranı 3' den çok büyük örneklerde ise üst kabuk kirlenmesi olabilir (Lecman ve diğ., 1989). Malik alt kabuk malzemesinin (mafik graüülit) asimile edilmesi durumunda, bunu K/P oranı ile belirlemek güçtür. Ancak Ti alt kabuk ve üst kabuk malzemelerinde düşük değerlerde olduğundan Ti/Yb oranı kıtasal akıntı bazaltlarında manto ve kabuk etkisini ayırmada kullanılabilir (Hart ve diğ., 1989). Yüksek Ti/Yb oranı (>5000) kabuksal katkıının olmadığını veya çok az olduğunu gösterirken, düşük Ti/Yb oranı (<5000) kesin olmamakla birlikte kabuksal katkıının olabileceğine işaret çimektedir (Lecman ve Hawkesworth, 1986; Van Calsteren ve diğ., 1986). Torul volkanitlerinde Ti/Yb oranları 491-4280 arasında değişmekte olup, düşük Ti/Yb oranları volkanitlerin üst kabuk kirlenmesi olayına maruz kaldıklarını göstermektedir.

## TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Pontidlerin Kuzey ve Güney Zon'ları arasında yer alan çalışma alanındaki volkanitlerin ana ve iz element içerikleri ana hatlarıyla incelenerek bulgular sunulmuştur. Genel olarak, elde edilen bulgular Doğu Pontid'lerde yapılan geniş ölçekte çalışmaların (Çamur, 1995; Çamur ve diğ., 1996; Arslan ve diğ., 1997) bulgularıyla uyumludur.

Liyas volkanitleri bazalt, andezit bileşiminde, normatif olivin, diyopsit ve hipersten içerikli, orta-yüksek K'lu olup toleyitik-kalk alkalen karakterler gösterirler. Ba/Nb, Nb/Th, Th/Y ve Nb/Y oranları OIB'lere; K/Rb, K/Ba, Sr/Rb, Zr/Nb, Ba/Th, Ba/La, Zr/Rb ve Y/Nb oranları da N-tipi MORB'a benzerlik gösterirler. (La/Lu)<sub>N</sub> değerleri 16.0-23.8, (La/Sm)<sub>N</sub> değerleri 5.0-6.9 ve (Gd/Lu)<sub>N</sub> değerleri de 2.2-2.3

arasındadır. Örneklerin normal okyanus ortası sırtı bazaltlarına (N-MORB) göre yüksek iyon yarıçaplı litofil elementlerce zenginleşmiş olması (Şekil 13a) ve kondirite göre normalleştirilmiş nadir toprak element diyagramlarında hafif nadir toprak elementi erce zenginleşmiş olması (Şekil 14a), bu kayaçların uyumsuz elementlerce zenginleşmiş bir kaynaktan oluşabileceğini düşündürmektedir. Ancak, Arslan ve diğ., (1997) Liyas volkanitlerini daha geniş örnek setinde çalışmış ve genel özellikleri bakımından Liyas volkanitlerinin okyanus ortası sırtlarını oluşturan magmaya benzer ancak uyumsuz elementlerce biraz daha zenginleşmiş bir kaynaktan oluşabileceğini öne sürerek, bu kayaçların genleşme rejiminde riftleşme sonucu olabileceğini belirtmiştir. Çamur ve diğ., (1996), Liyas volkanizmasının yay gerisi volkanitler ve E-MORB özellikler taşıdığını, ilksel ve nefelin-nonaktif alkali kayaçların varlığı ve şoşonitik seriye ait kayaçların yokluğunun rift tipi bir gerilim tektoniği ortamına işaret ettiğini ve köken kayaç olarak da zenginleşmiş, manto kaynağının olabileceğini belirtmişlerdir. Üst Kretase volkanitleri andezit, dasit ve riolit bileşiminde, normatif kuvars ve hipersten içerikli, orta-yüksek K'u ve kalk-alkalen karakterlidir. La/Nb, Ba/Nb, Ba/Th, Rb/Nb, K/Nb, Ba/La, K/Ba, Nb/Th, Zr/Nb ve Sm/Nd oranları adayı kalk-alkalen bazaltlara benzerlik gösterirler.  $(La/Lu)_N$  değerleri 3.7-14.7,  $(La/Sm)_N$  değerleri 2.7-6.9 ve  $(Gd/Lu)_N$  değerleri de 1.1-2.1 arasındadır. Üst Kretase volkanitleri normal okyanus ortası sırtı bazaltı nonnaUeştirilmiş diyagramında (Şekil 13b), yüksek iyon yarıçaplı elementlerce zenginleşmiş, yüksek iyon potansiyelli elementlerce fakirleşmiş görülür. Negatif Nb ve Ti anomalileri ve belirgin iz element yönsemeleri, yiten plakanın dehidratasyonu ile metasomatize olmuş bir manto kaynağını işaret etmektedir. Eosen volkanizması, Üst Kretase volkanizmasının devamı niteliğindedir. Andezit bileşimli, normatif kuvars, diyopsit ve hipersten içerikli volkanitler orta K'lı kalk-alkalen karakter gösterirler. Ba/Nb, Ba/Th, Rb/Nb, K/Nb, Ba/La, K/Rb, Zr/Rb, Sm/Nd ve Zr/Ba oranları IAB'lere benzerlik gösterirler.  $(La/Lu)_S$  değerleri 4.6-6.9,  $(La/Sm)_K$  oranları 2.6-3.3,  $(Gd/Lu)^A$  oranları ise 1.5-1.7 arasındadır. Yüksek LILE (Ba, Sr, Rb) ve LREE (La, Ce), düşük HFSE (Nb, Zr, Y) içeriklerine sahip olan Eosen volkanitleri, tipik yitim ile ilişkili yay gerisinde oluşmuş kalk-alkalen volkanizma özelliği gösterirler.

Jeokimyasal değişimler, Torul volkanitlerinin gelişiminde fraksiyonel kristalleşmenin önemli rol oynadığını göstermektedir. Liyas volkanitlerinin gelişiminde olivin, klinopiroksen, plajiyoklas ve Fe-Ti

oksit; Üst Kretase volkanitlerinin gelişiminde plajiyoklas, hornblend ve Fe-Ti oksit; Eosen volkanitlerinin gelişiminde plajiyoklas, piroksen, hornblend ve Fe-Ti oksit fraksiyonlaşması etkili olmuştur. Örneklerde gözlenen negatif Eu ( $Eu/Eu^*$ ) anomalisi de plajiyoklas fraksiyonlaşmasına işaret etmektedir. Ayrıca düşük, dereceli bir kısım ergime de sözkonusudur. Kayaçlarda azalan Y içerikleri, hornblendin fenokristal bileşen olarak ye aldığı da dikkate alınır, magmatik gelişimde önemli bir hornblend fraksiyonlaşmasının olduğuna işaret etmektedir. Ayrıca Gill (1978), önemli bir hornblend fraksiyonlaşmasının beraberinde K/Rb, Ba/Rb ve Ba/La oranlarında da önemli bir azalma meydana getirdiğini belirtmişlerdir.

Plajiyoklaslarda gözlenen tekrarlanmalı zonlanma, elek dokusu, kemirilme; kuvars fenokristallerinde gözlenen kemirilme; hornblend ve biyotitlerde gözlenen bozunma yapıları ve opaklaşma; iri ojit ve hornblend kristallerinde gözlenen plajiyoklas ve opak mineral inklüzyonları, keza iri plajiyoklas fenokristallerinde gözlenen hornblend, ojit ve opak mineral inklüzyonları; bıçak şekilli biyolit kristalleri gibi dokusal özellikler, Torul volkanitlerinin gelişiminde magma karışımının etkili olduğunu göstermektedir. Plajiyoklas fenokristallerinde kenardan merkeze doğru anortit içeriklerinde azalma, hornblend ve piroksen fenokristallerinde kenardan merkeze doğru Mg numaralarının düşmesi şeklinde gözlenen ters zonlanmalar da jeokimyasal olarak magma karışımını (magma mixing) desteklemektedir. Ayrıca Üst Kretase yaşlı dasitler içerisinde gözlenen bazik bileşimli anklavlar, Torul volkanitlerinin gelişiminde magma m i n g l i i l g i n d e ö n e m l i r o l o y n a d ı ğ ı n ı g ö s t e r m e k t e d i r .

Fraksiyonel kristalleşme ile birlikte asimilasyon da volkanitlerin gelişiminde önemli rol oynamışlardır. Örneklerde gözlenen yüksek Si(X), La ve Ce içerikleri, LILE element zenginleşmeleri, ana magmanın kabuksal malzeme ile girişim yaptığına işaret etmektedir. Bu zenginleşme muhtemelen magmanın yükselimi sırasındaki kıtasal kabuk asimilasyonu veya fraksiyonel kristalleşme ile birlikte gelişen asimilasyon (DePaolo, 1981; Grove ve diğ., 1982) ile açıklanabilir. Ayrıca az belirgin negatif Nb anomalisi, yitim bileşeni ve/veya kabuk kirlenmesinden kaynaklanabilir. Y/Nb-Zr/Nb (Şekil 22), Rb/Y-Nb/Y (Şekil 23) ve  $TiO_2-K_2O-P_2O_5$  (Şekil 24) diyagramları da kirlenme süreçlerini tanımlamaktadır. Örneklerde gözlenen yüksek K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O ve düşük Ti/Yb (491-4280) oranları, düşük

konsantrasyonlarda  $P_2O_5$  (0.02-0.54) içeri kîeri volkanitlerin üst kabuk kirlenmesi olayına maruz kalmış olabileceğini göstermektedir.

Sunulan jeokimyasal veriler ve önceki çatışmalardan derlenen bilgiler ışığında Torul volkanik kayaçlarının ana magmasının alt kabuk ve/veya tisi mantodan türediğini, kayaçların fraksiyonel kristallenme, magma karışımı ± kontaminasyon/asimilasyon olayları sonucunda geliştiklerini ve volkanilerin kaynağının Liyas'ta zenginleşmiş, Üst Krete ve Eosen'de de yitimin sonucu metasomatizmaya uğramış okyanus ortası bazalt mantosu olabileceğini göstermektedir. Liyas volkanitleri muhtemelen riftleşme ile ilgili bir gerilme rejimi altında, Üst Kretase volkanitleri tipik yitimle ilişkili bimodal volkanizma ve Eosen volkanitleri de yitim ile ilişkili yay gerisinde oluşmuş kalk-alkalen volkanizma niteliğindedir.

### KATKI BELİRTME

Kimyasal analizlerin bir kısmı KTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü X-ışınları Laboratuvarında, bir kısmı kimyasal analizler ve mikroprob analizleri University of New Brunswick'te (UNB) yapılmıştır. Her iki üniversiteye de teşekkür ederiz. Bu çalışma KTÜ Araştırma Fonu (96.112.00.5.16) ve T. Duna, UNB, tarafından desteklenmiştir.

### EXTENDED SUMMARY

Torul region has occurred with from Lias to Eocene age lava and pyroclastic rocks. Mineralogical, petrographical and geochemical features of Liassic, Upper Cretaceous and Eocene volcanic rocks in the Torul region are investigated in this study.

The Torul Granitoid, which is founded between eastern Pontid northern and southern zones, has separated from volcanic characterising northern zone rocks to sedimentary characterising southern zone rocks (Figure 1). Two different stratigraphy has suggested for explanation complex connection to northern and southern zones. Southern zone is beginning with Liassic basalts, andesite and pyroclastic rocks and Lower Cretaceous Berdiga Limestone unconformably overlies this volcanic. Berdiga limestone is conformably overlain by Upper Cretaceous yellow sandy limestone characteristic Kındırak Dere Formation, red limestone characteristic Elmalı Dere Formation and andesitic tuff characteristic Tepeköy Formation. All these lithologies

overlie Upper Cretaceous Alpu volcanic units consisting of rhyolite and basalt. Northern zone, which is characterised bimodal volcanism, is represented rhythmic of the Upper Cretaceous mafic and felsic volcanic (Figure 2). Basal level of the Upper Cretaceous is composed of andesite and pyroclastic rocks within red limestone level (Çatak Formation). Upper level has felsic characterising volcanic that is made up of basalt and pyroclastic within limestone level (Kızı İnkaya Formation). These formation overlaid by Çağlayan Formation is consisting of andesite and their pyroclastic rocks and continued acidic characterised Çağırbağ volcanic units. Sarıoğlan monzogranite cuts all these lithologies. Nevertheless, Torul Granitoid consists of the northern and southern zones and overlaid unconformably by Eocene volcanic called Alibaba Formation.

Liassic volcanic is mainly basalt, basaltic andesite and trachy-andesite in composition. Basalt contains labrador ( $An_{50-60}$ ), olivine and augite, while andesite contains oligoclase ( $An_{20-30}$ ), hornblende and armite ( $Mg\# 0.58-0.67$ ). These volcanic have medium-high  $K_2O$  contents and arc tholeiitic to calc-alkaline in nature.  $Al_2O_3$ ,  $K_2O$  and  $Na_2O$  increase whereas  $P_2O_5$ ,  $MgO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $CaO$  and  $TiO_2$  decrease with increasing  $SiO_2$  content. Decreasing of  $CaO$  and  $MgO$  is indicated that fractionation of calcic plagioclase and pyroxene, decreasing of  $CaO$  and  $TiO_2$  is point out fractionation of Fe-Ti oxides and decreasing of  $P_2O_5$  is meaning fractionation of apatite. Th, Rb and Ba are enriched; on the contrary Ni, Sr, Y and Zr are impoverished. These volcanic have a high ratio of enriched LILE comparing to HFSE elements, according to normalized N-type MORB. Chondrite normalized rare patterns of volcanic arc generally enriched LREE element comparing to HREE elements, and the  $(La/Lu)^N$  ratio is 15.96-23.75,  $(La/Sm)^N$  ratio is 4.93-6.85,  $(Gd/Lu)^N$  ratio is varies 2.19-2.30. All samples have  $(Eu)^N$  ratio  $<1$  (0.63-0.77) indicate that fractionation of plagioclase. However, volcanic have  $Ba/Th$  ratio is 3.42-9.45 and have similarity to OTB (OIB-8-13). Besides ratio of K/Rb, K/Ba, Sr/Rb, Zr/Nb, Ba/Th, Ba/La, Zr/Rb and Y/Nb resembles with N-type MORB, and ratio of Ba/Nb, Nb/Th, Th/Y and Nb/Y resembles with OIB. According to tectonic discrimination  $Ti/100-Zr-Sr/2$  diagram, the volcanic is represented by calc-alkaline basalts.

Upper Cretaceous volcanic is bimodal and, is andesite, basalt and rhyolite in composition. Andesite

contains andesine ( $An_{51-53}$ ), actinolitic hornblende (Mg# 0.83-0.84), magnesio-hornblende (Mg# 0.79) and biotite; dacite contains oligoclase, sanidine, quartz and annite (Mg# 0.58-0.62); rhyolite contains andesine-oligoclase ( $An_{27-34}$ ), quartz, sanidine, biotite and hornblende. When the volcanic have been classified chemically using AFM triangular diagram, the samples plot in the calc-alkaline field.  $SiO_2$  versus major oxide variation plots of the volcanic show that all elements are decreasing, except  $TiO_2$ ,  $K_2O$ . Besides Ni, Sr, Y and Zr contents decrease whereas Rb, Th, Ba and Nb contents increase, according to the  $SiO_2$  versus trace element variation diagram. Decreasing of the Sr is indicated that fractionation of plagioclase. All samples enriched about LILE elements but impoverished HFS elements at the MORB normalised trace element diagram. Chondrite normalised rare pattern of samples are enriched LREE element comparing to HREE elements, and the  $(La/Lu)_N$  ratio is 3.70-14.67,  $(La/Sm)_s$  ratio is 2.70-6.90 and  $(Gd/Lu)_s$  ratio is 1.09-2.10. Value of  $(Eu/X)_{ch}$  is  $< 1$  (0.53-0.87) in the all samples. Chondrite-normalised REE patterns of the volcanic show concave shape trend indicate fractionation of plagioclase. The volcanic have Ba/La ratio 14.85-45.86 and show similarity typical island arc basalts. Moreover, ratio of La/Nb, Ba/Nb, Ba/Th, Rb/Nb, K/Nb, Ba/La, K/Ba, Nb/Tb, Zr/Nb and Sm/Nd resembles with calc-alkaline basalts. Also, it has calc-alkaline characterising in the tectonic discrimination diagram.

Eocene volcanic is andesite in composition and contain andesine ( $An_{43-44}$ ), oligoclase ( $An_{33-34}$ ), magnesio-hastingsitic hornblende (Mg# 0.72-0.92), magnesio-hastingsitic (Mg# 0.84-0.91), tschermakitic hornblende (Mg# 0.70-0.77), augite ( $Wo_{41-44}$ ), diopside ( $Wo_{56}$ ) and biotite. These volcanic are calc-alkaline in character.  $Na_2O$ ,  $CaO$ ,  $Al_2O_3$  contents increase whereas  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$  and  $P_2O_5$  decrease in the  $SiO_2$  versus major element diagram. Nb, Rb, Ba content are enriched, on the contrary Th, Ni, Sr, Zr and Y are impoverished. Although LILE elements are enriched, TFS elements are similar to N-type MORB. Chondrite normalised patterns of volcanic show concave shape trend and it's indicated that fractionation of the hornblende and plagioclase.  $(La/Lu)_N$  ratio is 4.55-6.91,  $(La/Sm)_N$  ratio is 2.59-3.28 and  $(Gd/Lu)_s$  ratio is 1.50-1.71 and  $(Eu)_N$  ratio is  $< 1$  (0.77-0.88). Volcanic have Ba/La ratio is 42.67-79.80 and indicated that island arc basalts, and Ba/Zr ratio is 6.44-17.19 shows that calc-alkaline basalts characteristic. Besides, ratio of Ba/Nb, Ba/Th, Rb/Nb, K/Nb, Ba/La, K/Rb, Zr/Nb, Sm/Nd and Zr/Ba resembles with AIB.

Some microscopic features in the rock may indicate magma mixing processes. These are oscillatory zoning in the plagioclase, sieve texture, augite, hornblende and opaque oxides inclusions in the plagioclase, embayed plagioclase crystal, resorbed plagioclase phenocrysts, hornblende surrounded by opaque oxide, plagioclase and opaque oxide inclusions in the large augite, to become the chloritic in the biotite, embayed quartz crystal, oscillatory zoning in the augite, skeletal plagioclase, baddeleyite figures in biotites. Besides, chemical reverse zoning in the plagioclase, pyroxene and amphibole, and some irregular variations in major and trace elements may be result of magma mixing. Also, basic enclaves, which in the Upper Cretaceous dikes, indicate that magma mixing during formation at the Torul volcanites.

Geochemical variation point and fractional crystallisation is very important form of the Torul volcanic. Olivine, clinopyroxene, plagioclase and Fe-Ti oxide fractionation to Tertiary volcanic; plagioclase, hornblende and Fe-Ti oxide fractionation to Upper Cretaceous and plagioclase, pyroxene, hornblende and Fe-Ti fractionation is important form of the Eocene volcanic. Moreover, assimilation is effected form of the volcanic too. Both of fractional crystallisation and assimilation are very important to development in the volcanic. High  $SiO_2$ , La and Ce composition, high LILE elements, ratio of high  $K_2O/Na_2O$  and lower  $Ti/Yb$  (491-4280) indicate that lower  $P_2O_5$  (0.02-0.54) composition host magma mixed with crust material. Besides, diagram of the Y/Nb-Zr/Nb (Figure 22), Rb/Y-Nb/Y (Figure 23) and  $TiO_2$ -K<sub>2</sub>O-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Figure 24) defined to contamination process.

Mineralogical, petrographical and geochemical data indicate that the Torul volcanic rocks evolved by the fractional crystallisation and magma mixing  $\pm$  contamination/assimilation of a parental magma derived from lower crust and/or metasomatised upper mantle. Trace element contents of the Torul volcanic show that sources of those volcanic are enriched-MORB mantle in Tertiary and metasomatised MORB mantle in Upper Cretaceous and Eocene.

## DEĞİNİLEN BELGELER

Adamia, S., Lordkipanidze, M.B. ve Zakariadze, G.S., 1977. Evolution of an Active Continental Margin as Exemplified by the Alpine History of

- the Caucasus. *Tectonophysics*, 40, 183-189.
- Aliyazıcıoğlu, İ. ve Arslan, M., 1998. Gümüşhane Yöresi Volkanik Kayaların Jeokimyasal ve Petrolojik Karakteristikleri; Doğu Pontid Çiiney Zonunda Paleosen-Eosen Volkanizmasının Gelişimi. Fırat Üniversitesinde Jeoloji Mühendisliği Eğitiminin 20. Yılı Sempozyumu Bildirileri, 273-287.
- Aliyazıcıoğlu, İ., 1999. Kale (Gümüşhane) Yöresi Volkanik Kayaların Petrografik, Jeokimyasal ve Petrolojik İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, KTÜ FBE, Trabzon, 96s.
- Anderson, A.T.J., 1976. Magma Mixing: Petrologic Process and Volcanological Tool. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 1, 3-33.
- Arslan, M., Tüysüz, N., Korkmaz, S. ve Kurt, H., 1997. Geochemistry and Petrogenesis of the Eastern Pontide Volcanic Rocks, Northeast Turkey. *Chemie Der Erde, Geochemistry* 57, 157-187.
- Arslan M., Kurt H. ve Kayabalı I., 1998. Evidence on Mixing of Mantle and Crustal Derived Magmas in Bodrum (Muğla) Area Volcanic Rocks, Southwest Turkey. *Mineralogical Magazine*, 62A, 1, 75-76.
- Arslan, M., Şen, C., Aliyazıcıoğlu, İ., Kaygusu, A. ve Arslan Z., 2000. Trabzon ve Gümüşhane Yöresinde (KD, Türkiye) Yüzeyleyen Eosen (?) Volkanitlerinin Karşılaştırılmalı Jeolojisi, Mineralojisi ve Petrolojisi. Cumhuriyetin 75. Yıldönümü Yerbilimleri ve Madencilik Kongresi Bildiriler Kitabı, 39-53.
- Arslan, Z., 2000. Rift Related Arc Volcanism During Liassic Time in the Southern Zone of Eastern Pontide Arc, NE Turkey. *IOGV-MGoldschmidt Conference*, *Journal of Conference Abstract*, 5(2), 165, Cambridge Publications.
- Baker, B.H. ve Egger D. II., 1983. Fractionation Paths of Alkali (Aleutians) High-Alumina Basalts: Constraints from Phase Relations. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 18, 387-404.
- Bektaş, O., Pelin, S. ve Korkmaz, S., 1984. Doğu Pontid Yay-Gerisi Havzasında Manto Yükselimi ve Polijenik Ofiyolit Olgusu. TJK. Ketin Sempozyumu, 175-188.
- Bektaş, O., Van, A. ve Roynukalm. S., 1987. Doğu Pontid'lerde Jura Volkanizması ve Jeotektoniği. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 30, 9-18.
- Bektaş, O., Arslan, Z., Köprübaşı, N. ve Arslan, M., 1997. Bayburt-Kelkit havzasında Mesozoyik volkanizmasının zartan içindeki evrimi: Doğu Pontid magmatik yayının yay-gerisi magmatizması (KD Türkiye). Ç.Ü. Jeoloji Müh. Eğt. 20. Yılı Sempozyumu Bildiri Özleri, Adana, 123-124.
- Bektaş, O. ve Çapkınoğlu, Ş., 1997. Doğu Pontid Magmatik Arkında (KD Türkiye) Neptuniyen Dayklar ve Blok Tektoniği: Mesozoyik Havzaların Kinematiki ile İlgili Bulgular. *Geosound*,
- Blake, S. ve Pink, J.H., 2000. On the Deformation and Freezing of Enclaves during Magma Mixing. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 95, 1-8.
- Bowen, N. L., 1956. *The Evolution of the Igneous Rocks*. Dover Publication, New York, 332.
- Bergougnao, H., 1975. Relations Entre Les Edifices Pontiques at Taurique Dans Les Nord-East De l'Anadolie. *Bulletin de la Societe (icologique de France*, 717, 1045-1057.
- Carlson, R.W. ve Hart, W.K., 1987. Crustal Genesis on the Oregon Plateau. *Journal of Geophysical Research*, 92, 6191-6206.
- Coish, R.A. ve Sinton, C.W., 1992. Geochemistry of Mafic Dikes in the Adirondack Mountains: Implications for Late Proterozoic Continental Rifting. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 110, 500-514.
- Cole, J.W., Gamble, J.A., Burt, R.M., Carroll, L.D., ve Shelly, D., 2001. Mixing and Mingling in the Evolution of Andesite-Dacite Magmas: Evidence from Co-Magmatic Plutonic Enclaves. Taupo Volcanic Zone, New Zealand, *Lithos*, 59, 25-46.
- Çamur, Z., 1995. Doğu Pontid Volkanitlerinin Jeokimyasal Özellikleri. MTAProj No: 95-9
- Çamur, M. Z., Güven, İ. H. ve Er, M., 1996. Geochemical Characteristics of the Eastern Pontide Volcanics: An Example of Multiple Volcanic Cycles in Arc Evolution. *Turkish Journal of Earth Science*, 5, 123-144.
- Çoğulu, E., 1975. Gümüşhane ve Rize Bölgelerinde Petrografik ve Jeokronolojik Araştırmalar. İTÜ Kütüphanesi, 1034, İstanbul.
- DePaolo, D.J., 1981. Trace Element and Isotopic Effects of Combined Wallrock Assimilation and Fractional Crystallization. *Earth and Planetary Science Letters*, 53, 189-202.
- Dungan, M. A. ve Rhodes J. M., 1978. Residual GIESSCS and Mel Inclusions in Basaltic Prom DSDP Legs 45 and 46: Evidence for Magma Mixing. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 67, 417-431.
- Egger, D.H., 1972. Amphibole Stability in H<sub>2</sub>O-

- Undersaturated Calcalkaline Melts. Earth and Planetary Science Letters, 15,28-34.
- Eğin, D., Hirst, D.M. ve Phillips, R., 1979. The Petrology and Geochemistry of Volcanic Rocks from the Northern Harşit River Area, Pontid Volcanic Province, Northeast Turkey. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 6, 105-123.
- Eichelberger, J.C., 1975. Origin of Andesite and Dacite; Evidence of Mixing at Glass Mountain in California and Other Circum-Pacific Volcanoes; Geological Society of American Bulletin, 86, 1381-1391.
- Eichelberger, J.G., 1978. Andesitic Volcanism and Crustal Evolution. Nature, 275,21-27.
- Eren, M., 1983. Gümüşhane-Kale Arasının Jeolojisi ve Mikrofasiyeli inceleme. K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, M.M.S Tezi, Trabzon (Yayımlanmamış).
- Gerlach, D.C., ve Grove, T.L., 1982. Petrology of Medicine Lake Highland Volcanics: Characterization of end Members of Magma Mixing. Contributions to Mineralogy and Petrology, 80,147-159.
- Grove, T.L., Gerlach, D.C. ve Sando, T.W., 1982. Origin of Calcalkaline Lavaş at Medicine Lake Volcano by Fractionation, Assimilation and Mixing. Contributions to Mineralogy and Petrology, 80, 160-182.
- Grove, T.L. ve Donnelly-Nolan, J.M., 1986. The Evolution of Young Silicic Lavaş at Medicine Lake Volcano, California: Implications for the Origin of Compositional Gaps in Calc-Alkaline Series Lavaş. Contributions to Mineralogy and Petrology, 92,281-302.
- Gust, Ü.A. and Perfit, M.R., 1987. Phase Relations of a High-Mg Basalt From The Aleutian Island Arc: Implications For Primary Island Arc Basalts and High-Al Basalts. Contributions to Mineralogy and Petrology, 87,7-18.
- Güven, İ. H., 1993. Doğu Pontidler'in 1/250 000 Ölçekli Kompilasyonu. MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Harl, W.K., Wode Gabriel, G., Walter, R.C. ve Mertzman, S.A., 1989. Basaltic Volcanism in Ethiopia: Constraints on Continental Rifting and Mantle Interactions. Journal of Geophysical Research, 94,7731-7748.
- Huppert, H.E., Sparks, R.S.L. ve Turner, I.S., 1982. Effects of Volatiles on Mixing in Calc-Alkaline Magma Systems. Nature, 297,554-557.
- Hvine, T.N. ve Baragar, W.R.A., 1971, A Guide to Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks. Canadian Journal of Earth Science, 8, 523-548.
- Jica., 1985. The Republic of Turkey Report on the Cooperative Mineral Exploration of Gümüşhane Area, Phase 1. Japan International Cooperation Agency, Metal Mining Agency of Japan.
- Kavvabala, H. ve Sluto, K., 2005. Magma Mixing Recorder in Intermediate Rocks Associated with High-Mg Andesites from The Setouchi Volcanic Belt, Japan: Implications for Archean TTG Formation. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 140- 241-271.
- Kaygusuz, A., 2000. Torul ve Çevresinde Yüzeylenen Kayaçların Petrografik ve Jeokimyasal İncelenmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kaygusuz, A. ve Şen, C., 2001. Sanosman Plutonu'nun (Gümüşhane) Petrografisi ve Jeokimyasal Özellikleri. 54. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildirileri, Bildiri No: 54-40, Ankara.
- Kaygusuz, A., Şen, C. ve Aydınçakır, E., 2004. Evidences for Coeval Mafic and Felsic Magma Interactions: Torul, Köprübaşı and Sarosman Plutons, NE Turkey. Geochimica et Cosmochimica Acta, Abstracts of Goldschmidt Conference, Copenhagen, Denmark, 673,
- Ka/min, V.G., Sborshikov, I.M., Ricou, L.E., Zonenshain, L.P., Boulin, J. ve Knipper, A.L., 1986. Volcanic Belts as Markers of the Mesozoic-Cenozoic Evolution of Tethys. Tectonophysics, 123,123-152.
- Keskin, M., Pearce, J.A. ve Mitchell, J.G., 1998. Volcano-Stratigraphy and Geochemistry of Collision-Related Volcanism on the Erzurum-Kars Plateau, Northeastern Turkey. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 85, 355-405.
- Korkmaz, S., Tüysüz, N., Er, M., Mırsaoğlu, A. ve Keskin, I., 1995. Stratigraphy of the Eastern Pontides, NE-Turkey. Geology of the Black Sea Region, MTA, Ankara, 59-68.
- Koyaguchi, T., 1986. Textural and Compositional Evidence for Magma Mixing and Its Mechanism, Abu Volcano Group, Southwestern Japan. Contributions to Mineralogy and Petrology, 93,33-45.
- Koyaguchi, T., 1987. Magma Mixing in a Squeezed Conduit. Earth and Planet Science Letter, 84, 339-344.
- Koyaguchi, T., 1991. Enclaves in Volcanic rocks from



- Japan. in; Didier, J. and Barbarin, R. (eds).  
Enclaves and Granite Petrology, Elsevier, 235-252.
- Kurt, H., 1996. Evolution of Kadınhamı (Konya) Dacite Rocks: Petrographical and Geochemical Evidences for Crystal Fractionation and Possible Magma Mixing. *Geosound*, 28,23-34.
- Kurt, H. ve Arslan, M., 2001, Bodrum (GB Anadolu) Volkanik Kayaçlarının Jeokimyasal ve Petrolojik Özellikleri: Fraksiyonel Kristalleşme, Magma Karışımı ve Asimilasyona İlişkin Bulgular. *Yerbilimleri*, 23,15-32.
- Lambert, R.S.J. ve Holland, J.G., 1974. Yttrium Geochemistry Applied to Petrogenesis Utilizing Calcium-Yttrium Relationships in Minerals and Rocks. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 38,1393-1414.
- Leake, B. E., 1978. Nomenclature of Amphiboles. *American Mineralogist*, 63,1025-1052.
- Le Maitre, R.W., Bateman, R., Dudok, A., Keller, J., Lameyre, J., Le Bas, M.J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorensen, H., Streckeisen, A., Woolcy, A.R. ve Zanettin, B., 1989. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. *Blackwell, Oxford*, 193s.
- Lecman, W.P. ve Hawkesworth, C.J., 1986. Open Magma Systems: Trace Elements and Isotopic Constraints. *Journal of Geophysical Research*, 91,5901-5912.
- Lulir, J.F. ve Carmichael, I.S.E., 1980. The Colima Volcanic Complex, Mexico, I. Post-Catdera Andesites from Volcan Colima. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 71,343-372.
- Walsh, S., 1985. Principles of Igneous Petrology. *Springer Verlag, Berlin*. 374pp.
- Manetti, R., Peccerillo, A., Poli, G. ve Corsini, R., 1983. Petrochemical Constraints on the Models of Cretaceous-Eocene Tectonic Evolution of the Eastern Pontide Chain (Turkey). *Cretaceous Research*, 4,159-172.
- Menzies, M., ve Kyle, P. R., 1990. Continental Volcanism: A Crust-Mantle Probe, In: Continental Mantle (M. A. Mearns ed.). *Clarendon Press, Oxford*, 157-177.
- Morimoto, M., 1998. Nomenclature of pyroxenes. *American Mineralogist*, 1123-1133.
- Özsayar, T., Pelin S. ve Gedikoğlu, A., 1981. Doğu Pontidler'de Kriyotektonik. *KTÜ Yer Bilimleri Dergisi*, 1,65-114.
- Pearce, J.A. ve Gamı, J.R., 1973. Tectonic Setting of Basic Volcanic Rocks Determined Using Trace Element Analyses. *Earth Planetary Science Letters*, 19,290-300.
- Pearce, J.A., 1983. Role of the Sub-continental Lithosphere in Magma Genesis at Active Continental Margins. In: Hawkesworth C.J. and Norry M.J. (eds), *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*. Shiva, Nantwich, p. 230-249.
- Reubi, O., Nicholls, L.A. ve Kamencisky, V.S., 2002. Early Mixing and Mingling in the Evolution of Basaltic Magmas: Evidence from Phenocryst Assemblages, Shunt Volcano, Java, Indonesia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 119,255-274.
- Rhodes, J.M., Dungan, M.A., Blachard, D.R. ve Long, P.E., 1979. Magma Mixing at Mid-ocean Ridges: Evidence from Basalts Drilled Near 22°N on MAR. *Tectonophysics*, 55,35-62.
- Rickwood, F.C., 1959. Boundary Lines within Petrologic Diagrams Which Use Oxides of Major and Minor Elements. *Lithos*, 22,247-263.
- Rübert, U. ve Foden, J., 1993. Geochemical and Isotopic (Sr, Nd) Variations in Magmatic Series from the Bodrum Volcanic Complex (SE Aegean), *Bulletin of Geochemical Society of Greece*, XX VIII/2,275-291.
- Sakuyama, M., 1981. Petrological Study of the Myoko and Korohima Volcanoes, Japan: Crystallization Sequence and Evidence for Magma Mixing. *Journal of Petrology*, 22,553-583.
- Sakuyama, M., 1984. Magma Mixing and Magma Plumbing Systems in Island Arcs. *Bulletin of Volcanology*, 47-4/1,685-703.
- Schultze-Westrum, H.H., 1961. Giresun Civarındaki Aksu Deresi'nin Jeolojik Profili: Kuzeydoğu Anadolu'da Ponlus Cevher ve Mineral Bölgesinin Jeolojisi ve Maden Yatakları İle İlgili Mütalalar. *MTA Dergisi*, 57, Ankara.
- Sun, S. ve McDonough, Q.R., 1989. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implications for Mantle Compositions and Processes. In: Saunders, A. D. & Norry, M. J. (Ed), *Magmatism in The Ocean Basins*. Geological Society of London Special Publication, 42,312-345.
- Sarman, E., 1975. İsrail ve Egeyi Güneyindeki G41-B1, B2, B3, B4, G42-A1, A4 Paftalarına ait Sallanım 1/10.000 Ölçekli Jeolojik Etüd Raporu. M.T.A. Rap. No:1259, Ankara.
- Şen, C., Arslan, M. ve Van, A., 1998, Geochemical and Petrological Characteristics of the Eastern Pontide Eocene (?) Alkaline Volcanic Province, NE Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 7, 231-239.