

# İstanbul kuzeyinde yüzeylenen Üst Kretase yaşlı volkano-sedimenter birimlerin stratigrafisi, petrolojisi ve tektonik ortamı

## *Stratigraphy, petrology and tectonic setting of Upper Cretaceous volcano-sedimentary units, North of Istanbul, Turkey*

Mehmet Keskin, Timur Ustaömer, Mefail Yenişol

İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mineraloji-Petrografi Anabilim Dalı, Avcılar 34310, İstanbul

### ÖZ

İstanbul kuzeyinde yüzeylenen ve Kavaklar grubu olarak isimlendirilen Üst Kretase yaşlı volkanojenik istif, birbirleri ile uyumlu (1) Bozhane, (2) Garipçe ve (3) Kısırkaya formasyonlarından meydana gelir. Bozhane formasyonu başlıca silisiklastik türbiditlerden oluşur. Ölçülmüş görünür kalınlığı 2000 m'den fazla olan Garipçe fm, kalınlığı 50 m'yi yer yer aşan moloz akıntısı ürünü volkanoklastik çökeltme üniteleri, hyaloklastitler, volkanik breş, epiklastik kumtaşı ve az oranda lav akıntılarında oluşur. Birim içinde piroklastik ürünlere hemen hiç rastlanmaz. Garipçe fm'nun üst düzeylerine doğru tane boyu ve tabaka kalınlıkları inceler. En üstte yer alan Kısırkaya formasyonu, olivinli bazaltik lav ve bunların epi- ve piro-klastik eşdeğerlerinden oluşur. Volkanik fasiyes açısından bir lav deltasına benzer özellikler sergiler. Kavaklar grubu, belirli zonlar boyunca ortaç ve bazik dayklar tarafından kesilmektedir.

Garipçe formasyonunun içerdiği lav, dayk ve bloklar, MORB'a normalize örümcek diyagramlarında yitim bileşeni içermektedirler. Kısırkaya formasyonu'nun lavları ise alkali levha içi desenleri sunmaktadır. Jeokimyasal ve petrografik veriler, Kısırkaya'nın alkalin ve Garipçe'nin kalk-alkalin magmalar arasında yaygın bir magma karışımının varlığına işaret etmektedir. Jeokimyasal veriler, Kavaklar grubu'nun çökeldiği havza içindeki volkanizmanın zaman içinde litosferik kaynaktan türeyenden astenosferik kaynaktan türeyene doğru bir evrim geçirmiş olduğunu göstermektedir. Kavaklar grubunun stratigrafisi, petrolojisi ve jeokimyasal özellikleri, söz konusu istifin litosferik bir gerilme ortamında oluşumunu yansıtmaktadır. Bu çalışmada ortaya çıkan sonuçlar, fasiyes özellikleri nedeniyle Kavaklar grubu içinde hiçbir birimin yay ortamına ait olamayacağını göstermektedir. Grup içinde lavların hacimsel olarak ihmal edilebilir orana sahip olması, volkanoklastiklerin istifin hemen tümüne hakim olması ve ortamın sürekli olarak negatif bir rölyef sergilemiş olması, yay ortamı ile değil rift ortamı ile uyum içindedir. Özetle, bu çalışmada Kavaklar grubu, Karadeniz'in Üst Kretase döneminde riftleşmesi ile ilişkili volkanik kenar istifi olarak yorumlanmıştır.

### ABSTRACT

The Late Cretaceous volcanogenic sequence, named the Kavaklar group, is divided into three conformable formations: (1) the Bozhane, (2) the Garipçe, and (3) the Kısırkaya formations. The Bozhane formation consists of siliciclastic turbidites. The Garipçe formation, on the other hand, is made up of volcanoclastic deposition units produced by debris flows, reaching up to 50 m in thickness, hyaloclastics, volcanic breccias, and epiclastic sandstones with minor lava flows. There are virtually no pyroclastic deposits in this formation. Measured apparent thickness of the Garipçe formation is over 2000 m. Grain size in individual beds gradually gets finer while thicknesses of the bed get thinner towards the top of the sequence. The uppermost unit, the Kısırkaya formation, is composed of olivine-basalts and their epi- and pyro-clastic equivalents. From the perspective of volcanic facies concept, it displays a great resemblance to a sequence formed in a lava delta environment. The Kavaklar group is cut by basic to intermediate dykes along a number of definite zones.

MORB-normalized multi-element patterns of lava samples collected from blocks, lava flows and dykes of the Garipçe formation display a distinct subduction signature. In contrast, lavas of the Kısırkaya formation exhibit a typical within-plate signature on the spidergrams. Petrographic and geochemical data indicate that there might have been a magma mixing between the calc-alkaline lavas of the Garipçe formation and alkaline lavas of the Kısırkaya formation. Geochemical data indicate that the volcanism in the basin in which the Kavaklar group deposited evolved progressively from lavas derived from a lithospheric source to those derived from asthenospheric source. The stratigraphic, petrologic and geochemical properties of the Kavaklar group suggest a tectonic setting dominated by lithospheric extension. Volcano-sedimentary facies properties of these three formations indicate that none of the units of the Kavaklar group can be linked to an arc-setting. Scarcity of lavas and domination of volcanoclastics in the succession and continuousness of a negative relief during the deposition of this group is compatible with a rift setting not with an arc setting. In summary, in this study, the Kavaklar group is interpreted as a volcanogenic sequence deposited in a volcanic rifted margin related to the rifting of the Black Sea during the Late Cretaceous.

**Anahtar kelimeler:** Pontidler, rift volkanizması, yitim bileşeni, volkanoklastik, volkanik fasiyes.

**Keywords:** *Pontides, rift volcanism, subduction component, volcanoclastic, volcanic facies.*

## 1. SUNUŞ

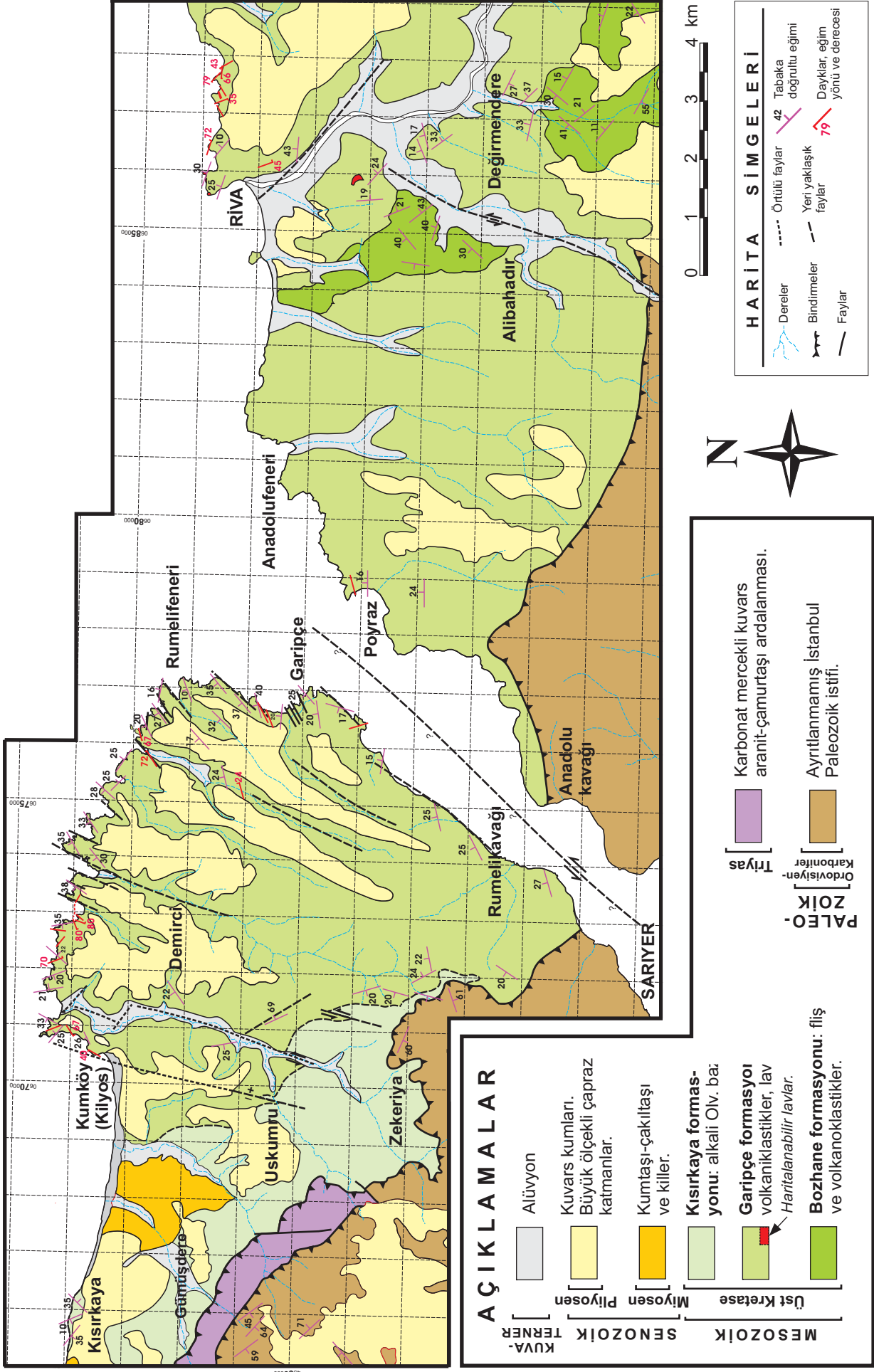
Volkanik istifler, orojenik kuşakların analizinde önemli ipuçları sağlarlar. Modern okyanuslar ve kenarlarından elde edilen bulgular, -sıcak nokta volkanizması hariç- volkanik aktivitenin daha çok levha sınırlarında meydana geldiğini ortaya koymuştur. Farklı tektonik ortamların volkanik ve plütonik kayaları üzerinde yapılan ayrıntılı jeokimyasal çalışmalar, her bir ortamda meydana gelen mağmanın diğerlerinden farklı karakterler sunduğunu göstermiş, stratigrafik çalışmalar ise bu ortamların fasiyes özellikleri ve evrimlerinin ortaya konmasını sağlamıştır. Jeokimya temelli bu yaklaşımın kompleks bir geçmişe sahip volkanik katkılar içeren eski orojenik kuşaklara uygulanması, farklı tektonik fasiyeslerin çözümlenebilmesine ve böylece kalın yitim/yığışım kompleksleri ve orojenlerin daha iyi anlaşılmasına ve modellenmesine olanak sağlamıştır. Özellikle aktif kenar ortamlarında gelişen “yitim bileşeni” içeren mağmatizmanın belirgin bir jeokimyasal kriter niteliği taşıması, bu bileşenin görüldüğü lavların yay ortamına ait oldukları görüşünün yaygınlık kazanmasına neden olmuştur. Ancak son on-onbeş yılda yapılan çalışmalar, önceki düşüncelerin tersine yitim bileşeni gösteren mağmatizmanın sadece yitim zonlarında değil diğer ortamlarda da, örneğin çarpışma zonlarında gelişen volkanizmada da görülebildiğini ortaya koymuştur (ör. Pearce vd., 1990; Keskin vd., 1998). Bunlar arasında özellikle yitim bileşeninin gerilmeli tektonik ortamlarda

görüldüğünü belgeleyen çalışmalar çarpıcıdır (örneğin: Schmidberger ve Hegner, 1999; Mohamed vd., 2000; Romer vd., 2001; Van Wagoner vd., 2002).

İstanbul Boğazının kuzey kesiminde Üst Kretase yaşlı volkanojenik bir istif yüzeyler. İstanbul Paleozoyik istifi ile tektonik dokanaklı olan bu istif, önceki çalışmalarda Neotetis okyanusal litosferinin kuzeye doğru yitimi ile ilişkili yay volkanizması olarak yorumlanmıştır (Şengör and Yılmaz, 1981; Görür, 1988 and 1991; Yenişol and Ercan, 1989/1990; Tüysüz, 1999; Okay vd., 1994 ve 2001).

Önceki çalışmalarda Üst Kretase volkano-sedimenter istifinin yay olarak yorumlanmasının temel iki nedeni vardır: (1) Birimler jeokimyasal açıdan yay bileşeni içermektedirler, (2) Birimlerin tektonik ortamının yay olması, levha tektoniği modellerinin kurgulanmasında şimdiye kadar önerilmiş olan levha tektoniği modelleri ile uyum göstermektedir ve/veya modellemeyi kolaylaştırmaktadır. Ancak önceki çalışmaların hiç birinde volkanik fasiyes, lavların kaynak alanlarının doğası, geçirdikleri mağmatik prosesler ve içerdikleri yay bileşeninin kökeni gibi konular irdelenmemiştir.

Makalenin temel amacı, Üst Kretase yaşlı volkano-sedimenter istifin yeni stratigrafik, petrolojik, jeokimyasal ve yapısal veriler ışığında kökeni ve tektonik ortamını tartışmaktır.



Şekil: 1. İstanbul kuzeyinin jeolojisi haritası.  
Figure: 1. Geological map of the north of Istanbul.

Üst Kretase volkaniklerinin İstanbul Paleozoyik

istifi ile Eosen öncesi olan olası stratigrafik ilişkisi ise, Paleozoyik kayaçlarını kesen daykların tüm kaya jeokimyası ve mineral kimyası göz önüne alınarak tartışılmaktadır. Sayfa sınırlaması nedeniyle bu makalede özeti yapılan bu çalışmanın ayrıntılı veri ve sonuçları Keskin vd. (2001)'de bulunabilir.

## 2. STRATİGRAFI

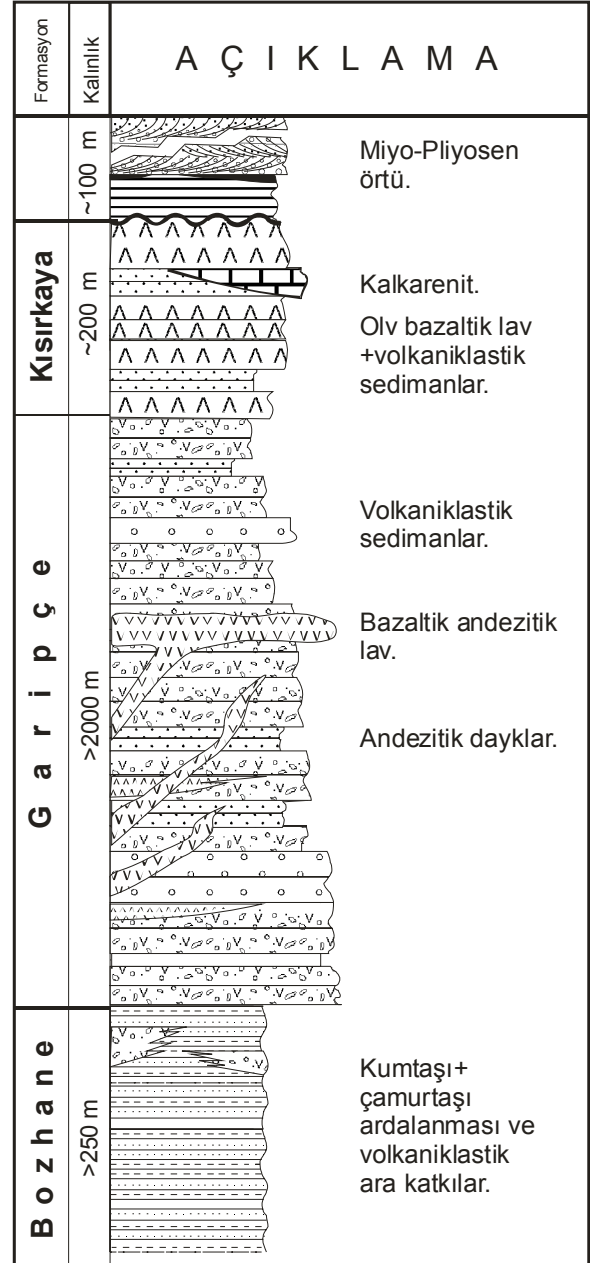
İstanbul kuzeyinde, Karadeniz kıyısı boyunca yüzeyleyen volkano-sedimenter istif bu çalışmada Kavaklar grubu olarak adlandırılmıştır. Kavaklar grubu Sarıyer-Beykoz hattı boyunca İstanbul Paleozoyik İstifi ile tektonik dokanaktır (Şek. 1). Grup inceleme alanının büyük bir kesiminde Miyo-Pliyosen yaşlı, kömür damarları da bulunduran karasal sedimentler ile uyumsuz olarak örtülür (Şek. 1 ve 2).

Kavaklar grubu üç formasyon ile temsil edilir. Bunlar tabandan tavana Bozhane formasyonu, Garipçe formasyonu ve Kısırkaya formasyonlarıdır (Şek. 2).

### a. Bozhane formasyonu

Bozhane formasyonu, tabanda silisiklastik sedimentler ile başlar üstte volkaniklastik çökeltiler ile son bulur. İstifin alt düzeylerinde orta-kalın tabakalı, çakıllı kumtaşları, yeşil-bej renkli çamurtaşları ile ardalanır. Çakıllı kumtaşlarının tabanları erozyondur. Her bir tabaka tabanda ters derecelenme ile başlar normal derecelenme ile son bulur. Çakıllar egemen olarak < 7 cm uzun eksenlidir ve başlıca kireçtaşı, kuvars ve az oranda metamorfik kayaç parçalarından oluşur.

Üste doğru çakıllı kumtaşları azalır ve istif kumtaşı-çamurtaşı ardalanması haline gelir. Bej



Şekil: 2. Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti.

Figure: 2. Generalised stratigraphic column of the study area.

renkli istifte kumtaşı aratabakaları keskin taban, dereceli üst kesimler ile karakteristiktir. Derecelenme kaba kumdan çamur boyutuna kadardır. Oygu-dolgu ve kaval yapıları tabaka altlarında yerel olarak gözlenir. Sınırlı sayıda ölçüm akıntısının K-G yönlü olduğuna işaret etmektedir. İnce-orta tabakalı bu istifte kumtaşlarında bol oranda otojenik glokoniler vardır. Kumtaşı tabakalarında

yerel olarak kömürleşmiş bitki parçaları da yer almaktadır.

İstifin en üst kesiminde kumtaşı-çamurtaşı istifine matriks destekli volkanik konglomeralar ara seviye olarak katılır. Volkanik katkıların artması ile istif Garipçe formasyonuna geçer. Bu geçiş zonunda bol slump türü kıvrımlar ve kumtaşı blokları içeren kaotik çökeltme üniteleri bulunur.

### **b. Garipçe Formasyonu**

Garipçe formasyonu Kavaklar grubu'nun ağırlıklı litolojisini oluşturur ve başlıca volkaniklastik sedimentler (>% 98) ve az oranda lavlardan (<% 1-2) oluşur. Birim Bozhane formasyonu üzerine uyumlu olarak gelir, üstte ise Kısırkaya Formasyonu ile uyumlu olarak örtülür.

2000 m yi aşkın kalınlığıyla Garipçe Formasyonunun egemen litolojisi, istifin yaklaşık % 98 ini oluşturan volkaniklastik sedimentlerdir. Volkaniklastik sedimentler tabaka kalınlığı yer yer 50 m'yi aşan kaba kırıntılılar ile temsil edilir. Bu istif içinde kalın tek çökeltme üniteleri içinde uzun ekseni yer yer 10 m ye ulaşan bloklar yer alır. İstifteki ortalama blok boyutu 15-20 cm dir. İstif içinde kumtaşları ve silttaşları çok az bir yer tutar ve ana olarak istifin üst kesiminde görülür. Kumtaşı tabakalarında derecelenme, ripple marklar ve çapraz tabakalar gözlenir. Biyotürbasyon da yaygındır. Silttaşlarında yumuşak sediment deformasyonları yaygındır. Silttaşlarının üst kesimi 1-1.5 m kalınlıklı karbonat moloz akıntısı kapsar. Bu seviye bol miktarda fosil kırıntıları içerir. Ekinid (Mikraster), alg ve mercan parçaları bu seviyeden toplanmıştır.

Garipçe Formasyonu tabaka kalınlığı ve tane boyu bakımından üste doğru incelen bir istiftir. Tanelerin boylanması son derece kötüdür. Yer

yer moloz akıntılarına özgü derecelenme ve ters derecelenmelere rastlanır. Bu istif yerel olarak dayklar, siller ve intrüzyonlar ile kesilir. Formasyonda neptüniyen dayklar ve sin-sedimenter normal faylara da rastlanır.

Garipçe formasyonu volkanik fasiyes açısından moloz akıntılarının oluşturduğu katmanlardan oluşan iri bloklu epiklastik bir istif olarak değerlendirilebilir. Piroklastik püskürmelerde büyük hacimlerde üretildiği bilinen kül boyutunda malzemenin istiftteki oranı ise son derece düşüktür. Birim içindeki düzeylerden hiç biri piroklastik işlemlerin ürünü değildir; istif içinde piroklastik döküntü, akma ve surge gibi proseslere ait yapılara ve bunların ürünlere rastlanmaz; aksine istifin tektonik ve volkanik açıdan aktif bir alanın aşındırılması sonucunda çökel yolla geliştiğine dair kanıtlar vardır (ör. sin-sedimenter faylar, erozyonal tabaka tabanları, ripple mark, biyotürbasyon, yük kalıpları ve çapraz katmanlanma).

### **c. Kısırkaya formasyonu**

Kavaklar Grubunun üst kesimini oluşturan Kısırkaya formasyonu, ince-orta kalınlıklı bazaltik lavlar ile bunların kırıntılılarından oluşan, bordo ayrışma renkli volkanojenik bir birimdir. En iyi mostraları Sarıyer kuzeybatısında Kısırkaya köyü ve çevresinde, sahil falezlerinde görülür. Birimin altındaki Garipçe formasyonu ile ilişkisi yoğun bitki örtüsü ve yoğun ayrışma yüzünden tamamen maskelenmiştir. Birimlerin genel konumları ve daha doğu alanlarda (İnebolu-Cide) yüzeylenen eşdeğerleri (Cambu formasyonu içindeki kalk-alkali ve alkali lavlı düzeyler) arasındaki tedrici geçiş ve paleontolojik yaş iliş-

kileri (Tüysüz vd., 1999) gözetilirse, bu iki formasyonun da uyumlu olduğu düşüncesindeyiz.

Birimin üst kesiminde <10 m kalınlıklı kalkarenit düzeyi yer alır. Kavaklar Volkanitinin önceki incelemelerde verilen Üst Kretase yaşı, bu kireçtaşı düzeyi veya eşdeğerinden alınmıştır.

Kısırkaya formasyonu'nun görünür alt seviyelerini siyah, yeşilimsi ve kırmızımsı siyah renkli bazaltlar oluşturur. Genelde 30-40 cm kalınlıklı lav akıntıları aralarında herhangi bir kırıntılı düzey olmaksızın 50 m ye yakın kalınlıkta bir istif oluşturur. Bu istif içinde <10 cm kalınlıklı olasılıkla Hawaii tipi püskürmeler sonucunda üretilmiş bazalt akıntıları da bulunur.

Bazaltlar vesiküler, ince taneli ve olivin fenokristallidirler. Olivinler özşekilli olup alterasyon ile tamamen kırmızı renkli iddingsit'e dönüştükleri çıplak gözle bile görülebilmektedir. Masif bazalt lavları yanal yönde volkaniklastik birimler ile ardalanan lavlara geçerler. Kırmızı-bordo renkli volkaniklastikler orta-kalın katmanlı moloz akıntularından ve volkanizma sırasında su-lav etkileşimi sonucunda oluşmuş hyaloklastik düzeylerden oluşur. Tane boyutu birkaç mm den 50 cm e kadar değişir. Tanelerin tümü olivinli bazaltlardan türemiş olup çoğunlukla köşeli, yer yer yarı yuvarlaktır. Derecelenme yaygındır. Hyaloklastikçe zengin düzeylerde lav tüpleri ve bunların parçalarının bulunması, lav deltası ortamını çağrıştırmaktadır.

### **İstanbul Paleozoyik İstifini kesen dayklar**

Kavaklar grubu'yla tektonik ilişkili olan Paleozoyik istifi ile volkanik birimler arasındaki birincil ilişkinin özelliği bilinmemektedir. Diğer taraftan İstanbul Paleozoyik istifi, özellikle Boğaz çevresinde yoğunluk gösteren, ba-

bazaltik/andezitik dayklar ve ortaç bileşimli sığ intrüzyonlar ile kesilmiştir. Bu intrüzyonların hiç birinin yaşları bilinmemektedir. Daykların kökeni hakkında alternatiflerden birisi bunların Kavaklar volkanizmasını besleyen bacalar olabilecekleridir. Aşağıda bu daykların dokuları, mineralojik bileşimleri ve jeokimyasal özellikleri Kavaklar grubu ile karşılaştırılmaktadır.

### **3. PETROGRAFI**

Garipçe formasyonu'nun içerdiği blok, lav akıntısı ve dayklar ile üstteki Kısırkaya formasyonu'nun lavları arasında ve ayrıca her iki formasyonun litolojileri ile Paleozoyik istifini kesen dayklar arasında petrografik ve jeokimyasal açıdan önemli farklar bulunmaktadır. Bu farklılıklar ve benzerlikler, elektron prob analiz sonuçlarından elde edilen mineral tayinleri ile birlikte Tablo 1'de özetlenmektedir. Birimlerin jeokimyasal farklılıkları her ne kadar bir sonraki bölümde tartışılıyorsa da, ayırtlamada önem taşıdıkları için tabloda gösterilmektedir.

Tablo incelendiğinde Garipçe ve Bozhane formasyonlarına ait lavların tümünün *kalk-alkali* karakterli oldukları, belirgin bir *yitim bileşeni* içerdikleri görülmektedir. Buna karşılık Kısırkaya formasyonu'na ait lav ve daykların *alkali ve levha içi karakter* sunmaları, ve ayrıca olivin içermeleri temel farkı oluşturur.

Garipçe formasyonu'nu kesen daykların büyük bölümü petrografik ve jeokimyasal açıdan bu formasyonun kendi lavları ile büyük benzerlikler sunarken, diğer bir bölümü ise Kısırkaya formasyonu'nun lavlarına benzerler. Bu ikinci grup daykın, Garipçe formasyonunu keserek üstteki Kısırkaya formasyonunu besleyen dayklar oldukları düşüncesindeyiz.

Fm	Jeokim	Türü	Seri	Litoloji	Doku	Mineraller	Elektron prob tayini
Kısırkaya	Levha içi alkali	Lav	Susuz seri (POAM)	Bazik: Alkali olivin bazalt	Afirik, mikro-porfiritik, mikrolitik	Plg+Cpx+Olv-frik lavlar Opx nadir.	Plg: labradorit ve bitovnit. Cpx: ferroan diyopsit ve Mg'ca zengin ojit. Opx: ferroan enstatit.
		Dayk					
Gariççe ve Bozhane	Yitim bileşeni içeren kalk-alkali	Lav ve bloklar	Sulu seri (PAm)	Bazaltik andezit, andezit, nadir bazalt ve dasit	Porfiritik ve mikrolitik	Plg+Amp+Cpx+Opx-frik lavlar	Plg: andezin ve labradorit. Amp: magnesio-hornblend. Cpx: Mg'ca zengin ojit, diyopsit ve ferroan-diyopsit. Opx: ferroan-enstatit
			Susuz seri	Andezit ve dasit	Porfiritik ve mikrolitik	Plg+Cpx+Opx-frik lavlar	Plg: labradorit ve bitovnit
	Yitim bileşeni kalk-alkali	Dayk	Sulu seri	Andezit daykları	Porfiritik	Plg+Amp+Cpx+Opx	
			Susuz seri		vitrofirik porfiritik	Plg+Cpx	Plg: labradorit ve bitovnit Cpx: Mg'ca zengin ojit, diyopsit ve ferroan-diyopsit Opx: ferroan-enstatit
Levha içi alkali		Susuz seri	Olivin bazalt daykları (Kısırkaya benzeri)	Afirik, vitrofirik, hyaloplitik ve porfiritik	Plg+Olv+Cpx	Plg: labradorit ve bitovnit. Cpx: ferroan diyopsit ve Mg'ca zengin ojit. Opx: ferroan enstatit.	
Paleozoyik istifini kesen sokulumlar	Levha içi alkali	Dayk	Sulu seri	Lamprofir daykları	İntergranüler	Plg+Amp+Cpx	
	Yay bileşeni içeren kalk-alkali	Dayk / sığ sokulum	Sulu seri	Bazaltik andezit, andezit sığ sokulumları	Mikro-porfiritik	Plg+Amp	Plg: andezin ve labradorit. Amp: (kalsik) magnesio-hornblend. Cpx: Mg'ca zengin ojit, diyopsit ve ferroan-diyopsit. Opx: ferroan-enstatit
		Sığ sokulum	Sulu seri	Mikro-diorit / -granit sığ sokulumları	Mikrogranüler, subofitik.		

Tablo: 1. İstanbul kuzeyi ve Boğaz civarındaki volkanik birimlerin petrografik ve jeokimyasal özellikleri ile elektron prob ile saptanmış mineral bileşimlerini gösteren tablo. **Kısaltmalar:** Fm: formasyon, Jeokim: jeokimya, Plg: plajioklas, Amp: amfibol, Cpx: klinopiroksen, Opx: ortopiroksen, Olv: olivin, PAm: Plg ve Amp kristalizasyonu, POAM: Plg+Olv+Ojit+ Magnetit kristalizasyonu.

*Table: 1. Table displaying petrographic and geochemical properties of volcanic units exposed around Bosphorus and North of Istanbul. Abbreviations: Fm: formation, Jeokim: geochemistry, Plg: plagioclase, Amp: amphibole, Cpx: clinopyroxene, Opx: orthopyroxene, Olv: olivine, PAm: Plg+Amp fractionation assemblage, POAM: Plg+Olv+Augite+Magnetite fractionation.*

Paleozoyik istifini kesen sokulumlar ise ortaç sığ sokulum ve dayklar, mikro-diyorit ve granitler ve lamprofirler olmak üzere üçe ayrılırlar. Bunlardan lamprofirler alkali levha içi karakteri taşırlarken diğer iki grup yay-bileşeni içerirler ve kalk-alkali karakterlidirler. Her ne kadar benzeri jeokimyasal karakter taşıyor olsalar da, petrografik açıdan Paleozoyik istifi-

ni kesen lamprofirler ile Kısırkaya'nın alkalin olivin bazaltları arasında mineral bileşimi ve dokusu açısından büyük farklar vardır.

## 4. JEOKİMYA

### 4.1. Analitik Yöntem

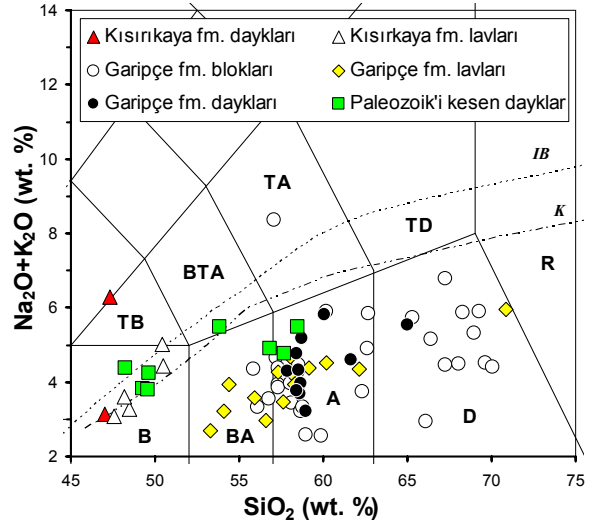
Tüm kaya jeokimya veri tabanı, Kavaklar grubu'nun lav ve volkanoklastik düzeylerinden a-

İnmiş olan 71 temsilci lav örneğinin XRF ve ICP-MS analiz sonuçlarını içermektedir. Veri tabanındaki 50 numunenin ana ve iz element analizleri Edinburgh Üniversitesi'nde (U.K.) Philips PW-1400 XRF aygıtı ile; 31 numunenin ana ve iz (REE dahil) element analizleri ise ICP-OES ve ICP-MS ile ACME Laboratuvarlarında (Kanada) gerçekleştirilmiştir. Garipçe lavlarından 6, Kısırkaya lavlarından ve Paleozoik'i kesen amfibollü sığ sokulumlarından ise birer örneğin Amp, Plg, Opx ve Cpx ve Olv mineralleri ise Edinburgh Üniversitesi'nde Elektron mikroprob ile analiz edilmiştir.

#### 4.2. Jeokimyasal sınıflama

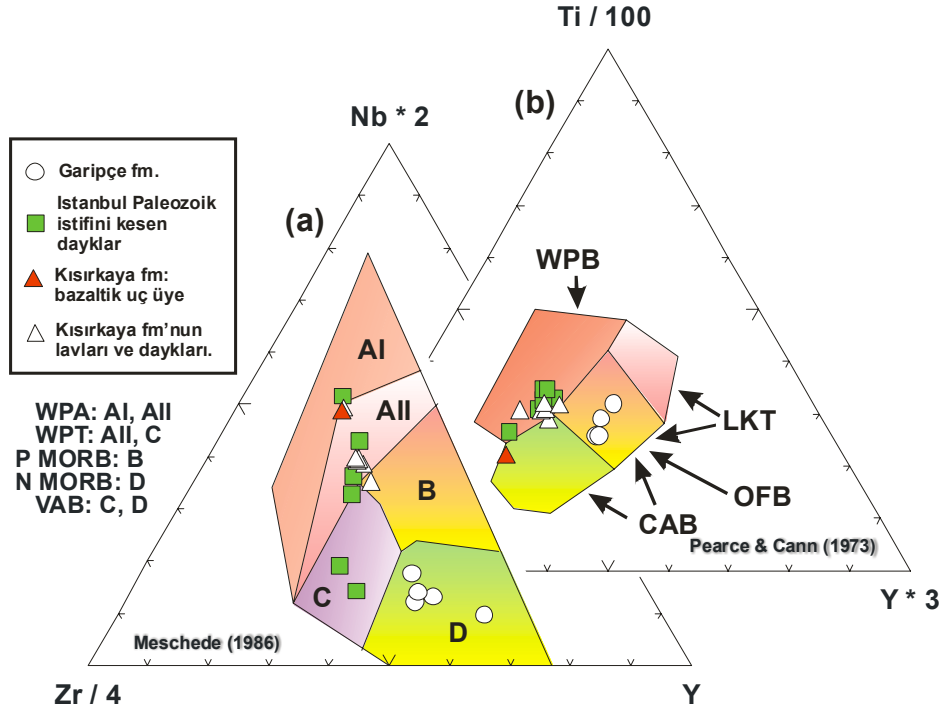
Toplam alkalilere karşı  $\text{SiO}_2$  diyagramında (Le Bas vd., 1986) Kısırkaya formasyonu'na ait lavların tümü bazalt alanına düşerken, Garipçe formasyonu'na ait lavlar bazaltik andezit ile dasit arasında geniş bir bileşim aralığında

yer alırlar (Şek. 3). İstanbul Paleozoik istifini kesen daykların dördü bazalt, diğer dördü ise bazaltik-andezit ve andezit alanlarında kalırlar.



Şekil 3. Garipçe ve Kısırkaya formasyonlarının lavları ve İstanbul Paleozoik istifini kesen dayklardan alınan örneklerin Le Bas vd.'ne (1986) göre sınıflanması.

Figure 3. Classification of the lavas from the Garipçe and Kısırkaya formations and samples from the dykes cutting through the Palaeozoic of Istanbul.



Şekil 4. Garipçe ve Kısırkaya formasyonlarına ait numunelerin (a) Meschede'nin (1986), (b) Pearce ve Cann'in (1973) tectono-magmatik ayırtlama diyagramları üzerindeki yerleri.

Figure 4. Lavas from the Garipçe and Kısırkaya formations plotted on (a) Meschede's (1986) and (b) Pearce and Cann's (1973) tectono-magmatic discrimination diagrams.

Aynı diyagramda Kısırkaya formasyonu lavları ile İstanbul Paleozoyik istifini kesen lamprofir daykları zayıf alkalen, diğer tüm örneklerin ise kalk-alkalen olarak sınıflandırılması görülür. Bu veriler Kavaklar grubu içinde alkalen ve kalk-alkalen olmak üzere iki farklı volkanik serinin varolduğunu göstermektedir.

Tektonik ayırtlama diyagramlarında alkalen (AS) ve kalk-alkalen seriye (KAS) ait lavlar belirgin bir şekilde iki farklı alanda gruplaşırlar. Alkali lavlar “levha içi bazaltları” alanında yer alırken kalk-alkali lavlar “volkanik yay bazaltı” alanına düşerler (Şek. 4).

AS ve KAS lavlarının kaynak alanlarının doğası konusunda daha ayrıntılı bilgi elde edebilmek için bu lavların en tanıtman olan bir bölümünün N tipi MORB’a normalize multi-element diyagramları üretilmiştir (Şek. 5).

Bu diyagramlarda Garipçe formasyonu’nun lavları, MORB’a nazaran LIL elementler açısından belirgin ve LREE’ler (La ve Ce) açısından daha düşük derecede bir zenginleşme sunarlar. LREE’lere oranla bu lavlar Nb ve Ta fakirleşmesi içerirler. Bu desenler yitim bileşeni içeren lavları için tipiktir.

Yukarıda özetlenen jeokimyasal özellikler, Garipçe lavlarının yitim bileşeni içeren bir manto kaynağından türemiş olması gerektiğini belgelemektedir.

Kısırkaya fm’nun lavları multi-element diyagramlarında OIB tipi levha içi bazaltlarına benzer desenler sunarlar. Bu lavların en belirgin özellikleri yitim bileşeni (Ce’a oranla Nb fakirleşmesi) içermemeleridir.

İstanbul Paleozoyik istifini kesen lamprofirik dayklarının MORB’a normalize diyagramlarında ise iki farklı desen görülür. Bunlardan

ilki Kısırkaya lavlarına çok benzemekte, diğer grup ise levha içi desenleri sunmasına karşın bir yitim bileşeni içermektedir.

İstanbul Paleozoyik istifini kesen daykların yaşlarının henüz radyometrik yöntemle saptanmamış olması nedeniyle Üst Kretase dönemine mi yoksa daha farklı bir mağmatik etkinliğe mi bağlı olduklarının bilinmemektedir.

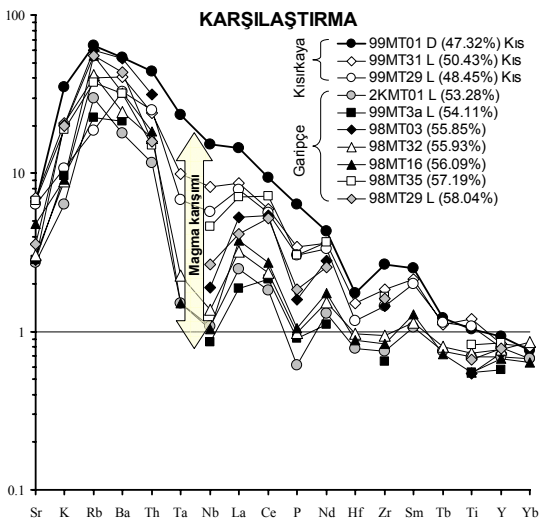
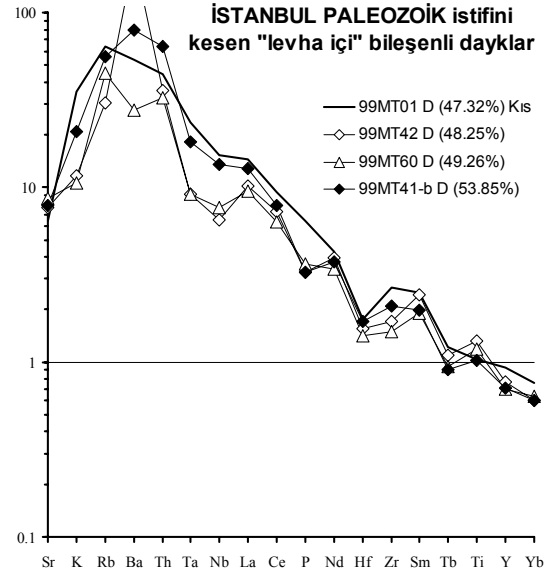
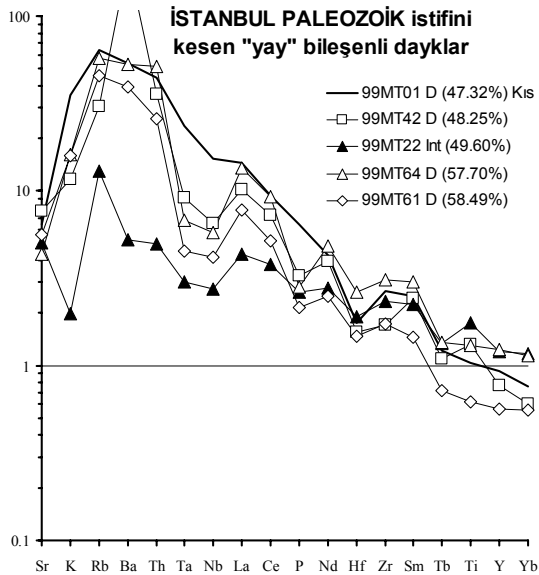
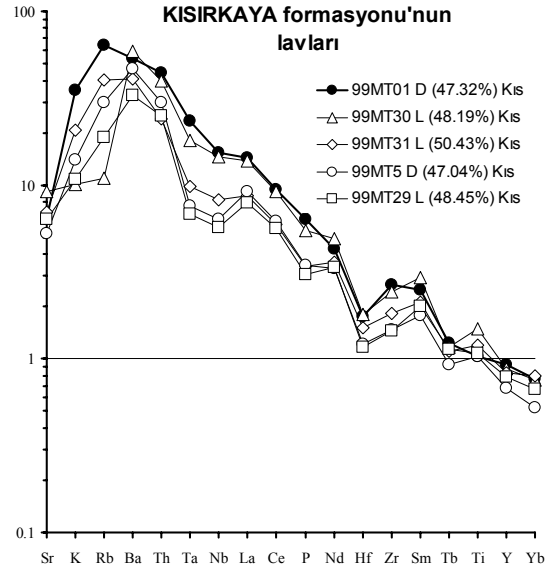
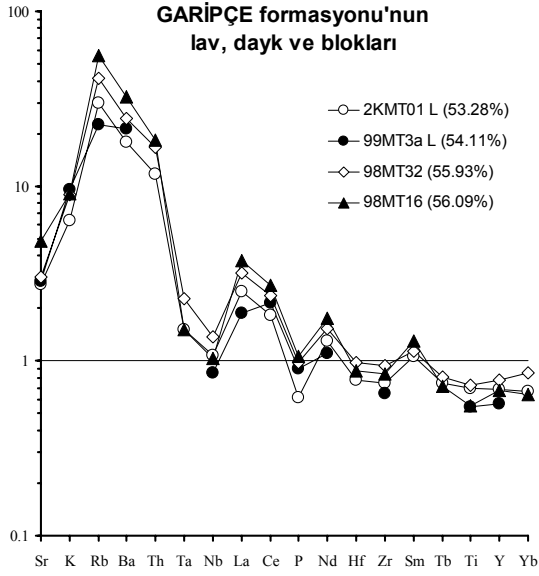
### 4.3. Mağma odası derinlikleri

Garipçe formasyonu’na ait örneklerin Amp fenokristallerinin büyük bölümünün kristallenme basınçları 2.25 ile 2.88 kbar arasında değişirken (gaz basıncı hesaba katılmazsa 9 - 11 km derinliğe eşdeğer) küçük bir bölümünün basıncı 6.7 ila 7.4 kbar’a (~25-28 km) kadar çıkmaktadır. Paleozoyik istifini kesen bir dayktaki iri amfibol fenokristallerinin ortalama kristallenme basıncı ise 7.5 kbar (~28 km) maksimum değer ise 8.3 kbar olarak bulunmuştur (~31.5 km).

Yukarıda tanımlanan veriler, Garipçe formasyonu’nu besleyen mağma içindeki amfibol fenokristallerinin farklı basınçlar altında ve dolayısıyla farklı derinliklerde birkaç farklı evrede kristallendikleri şeklinde yorumlanabilir. Buna göre Kavaklar grubunun türediği mağma, yükselimi sırasında farklı derinliklerdeki mağma odalarında duraksayarak “*polibarik* bir kristallenme evrimi” geçirmiş olmalıdır.

## 5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Birbirleriyle uyumlu üç formasyona ayrılan Kavaklar grubu 2,5 km yi aşan bir kalınlığa sahiptir. İstifin Üst Kretase yaşı (Maastrih-tiyen), stratigrafinin en üstünde bulunan, birkaç metre kalınlıklı kalkarenitlerden elde



Şekil 5. Kavaklar grubu lavlarının N-tipi MORB'a normalize edilmiş paternler. Kısaltmalar: L: lav, D: dayk, diğerleri volkanoklastik içinde blok.

Figure 5. N-type MORB normalized patterns of the lavas from the Kavaklar group. Abbreviations: L: lava, D: dyke, rest of the samples are lava blocks in the volcanoclastic sequence.

edilmiştir. İstifin geri kalan kesimi fosil açısından sterildir. Bu nedenle stratigrafinin büyük bir bölümünün yaşı halen bilinmemektedir.

İstif tabanda derin denizel ortamda çökelmiş silisiklastik türbiditler ve moloz akıntılarıyla başlamakta, üste doğru volkaniklastik çökeller ve lavlardan oluşan volkanojenik bir istife

geçmektedir. 2000 m kalınlığa ulaşan volkanojenik istifte klastikler >% 98'lik bir hacim tutmaktadır. Kaba kırıntılılardan oluşan istif gerek tane boyu gerekse tabaka kalınlığı bakımından üste doğru inceler. Başlıca moloz akıntularından oluşan istifte tek çökeltme ünitelerinin kalınlığı 50 m ye, böylesi çökeltme ünitelerinde maksimum blok boyutu ise 10 m ye ulaşmaktadır. İstif içinde akarsu veya plaj ortamında aşınıp yuvarlanmış blok bulunmamaktadır. İstifte piroklastik işlemler ile oluşmuş ürünlere ise hiç rastlanmaz.

İstif içinde sin-sedimenter normal faylar ile birlikte neptüniyen daykların varlığı, istif çökelirken bir 'gerilme rejiminin' varlığına işaret etmektedir. İki km'yi aşan kalınlıklı istifin lav seviyeleri olmaksızın birbiri üzerine çökelmiş kaba volkaniklastik kırıntılılardan oluşması da, volkanik bir kaynak alanın "sürekli olarak kütle kaybına uğradığına" işaret eder. Bu kütle kaybının tektonik olarak duraysız bir ortamda geliştiğini düşünmekteyiz.

Tipik bir yay mağmatizması, kalın lav istifleri, lavlarla ardalanmış piroklastik çökeller ve bunları kesen granitoidik intrüzyonlar ile karakterize olur. Kavaklar grubu'nun stratigrafisi ise tipik yay stratigrafisine uymamaktadır. Bölgede yay masifine karşılık gelecek kalın lav istifleri gerek çalışma alanında ve gerekse doğuda batı Pontidler boyunca yoktur. Bunun dışında istif içinde yay ortamlarında yaygınca rastlanan piroklastik katkılara hiç rastlanmaz; istife epiklastik çökeller egemendir.

Yay ortamlarında başlangıçta kısa süre için toleyitik karakter taşıyan volkanizma görülür ve bu zaman içinde kalk-alkali volkanizmaya dönüşür. Yayın olgunlaşması ile yüksek potas-

yumlu (şoşonitik) volkanik kayalar egemen olur. Her ne kadar farklı jeokimyasal bileşim ve karakterde olsalar da, yay ortamında püsküren tüm bu lavlar, tipik bir yitim bileşeni içerir.

Tipik bir yay volkanizmasından farklı olarak, Kavaklar grubu lavlarının stratigrafik jeokimyası yitim bileşeni içeren bir kaynak alandan yitim bileşeni içermeyen, levha-içi tipi bir kaynak alana geçişi göstermektedir (Keskin ve Ustaömer, 2001; Ustaömer ve Keskin, 2001). Benzeri şekilde Kavaklar grubunun doğu alanlardaki eşdeğerlerinin de kaynak alandaki zamana bağlı değişim açısından benzeri bir jeokimyasal trendi izledikleri görülmektedir (Keskin ve Tüysüz, 1999, 2001). Bu iki kaynak alandan çıkan ergiyiklerin birbirleriyle karışmış hibrid lavların meydana geldiğinin petrolojik verileri bu çalışmada ortaya konmuştur.

Alkali levha-içi lavların yitim bileşeni içeren lavlar ile yay ortamında aynı mekan ve zaman aralığında birlikte bulunması, dünyada bazı örnekleri olsa da (ör. Güney İtalya'da Mt. Vulture: Beccaluva vd., 2002; Japonya'da Kyushu adası: Kita vd., 2001; Batı ABD'nin Cascade Range'i: Bacon vd., 1997; Reiners vd., 2000) olağandışı bir durumdur. Genellikle küçük hacim kaplayan bu lavların bir kısmı yay riftleşmesi, diğer bir kısmı ile petrolojik işlemler ile ilişkilendirilmiş olup, kökenleri halen tartışma konusudur.

Son yıllarda yapılmış olan çalışmalar, yitim bileşeni içeren lavların, yaşıt bir yitim ile ilişkili olabilecekleri gibi önceki bir yitim sonucunda metasomatizmaya uğramış mantonun, farklı bir tektonik ortamda yeniden kısmi erimesi sonucunda da ortaya çıkmış olabilece-

ğini göstermiştir (ör. Pearce vd., 1990; Keskin vd., 1998; Van Wagoner vd., 2002).

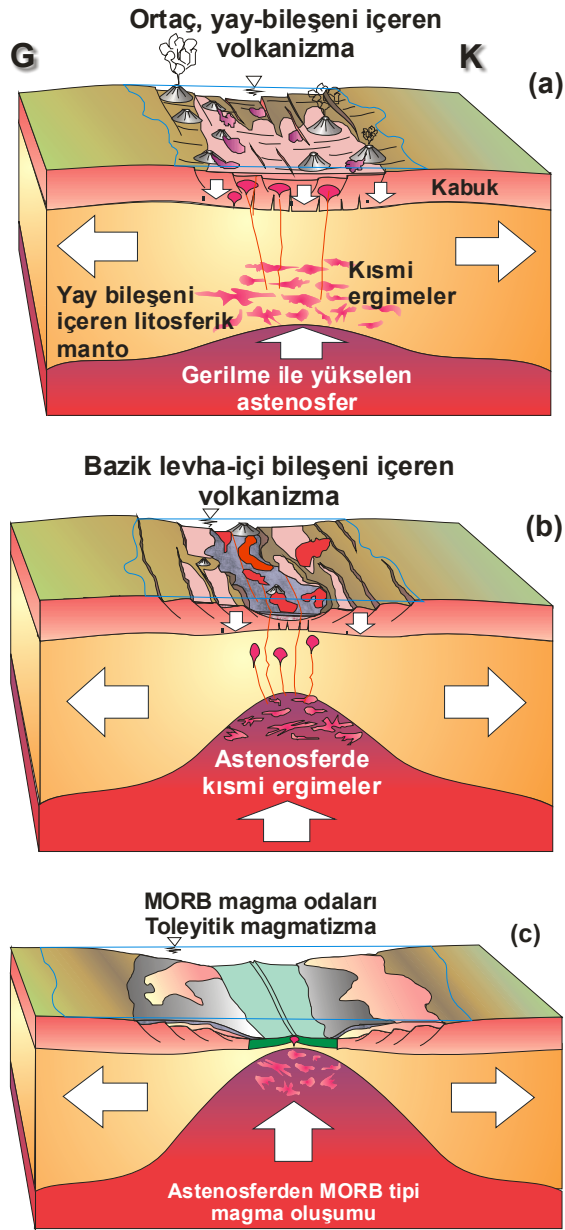
Yay ortamının alternatifi olan yay-ardı ve yay-önü alanlar ise volkaniklastik sedimanların egemen olarak depolandığı bölgelerdir. Kavaklar grubu, baskın olarak çökellerden oluştuğu için böylesi bir havzada oluşumu yansıtıyor olabilir.

Yay-önü havzalar egemen olarak bir yığışım kompleksinin ve kalık bir okyanusal litosferin üzerinde, yay ardı havzalar ise yay masifinin üzerinde gelişirler. Kavaklar grubunun stratigrafik temeli ise inceleme alanında yüzeylenmez. İstif egemen olarak kuzeye eğimli olduğu için temel kayalarının yüzeylenebileceği alanda, bir tektonik dokanak ile İstanbul Paleozoyik istifini açığa çıkar. İstifin temeli konusunda bilgi daha doğu alanlardan elde edilebilir. Karadeniz güney kıyısı boyunca Üst Kretase yaşlı volkanik kayalar İnebolu doğusuna kadar izlenebilmektedir. Bu alanlarda istifin stratigrafik temelini Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı silisiklastik sedimenter kayalar ve karbonatlar oluşturmaktadır. Bir başka deyişle stratigrafik temel ne bir yığışım prizması ne de bir mağmatik yay masifidir. Bu alanlarda Apsiyen-Albiyen yaşlı temel kayaları yarı grabenler içinde çökelmiş türbiditler ve moloz akıntıları olup litosferik gerilme rejimi altında çökelmişlerdir (Görür, 1988). Doğu alanlardan elde edilen bir diğer önemli veri de daha üstteki Kavaklar grubunun eşdeğeri Üst Kretase volkano-sedimenter istiflerinin hiçbir zaman üste doğru sığlaşmaması, daima derin denizel ortamda çökelmiş olmasıdır (Tüysüz vd., 1999).

Kavaklar grubunun yay-önü mü yoksa yay-ardı ortamda mı oluştuğunu saptamak için gerekli olan *mağmatik yaya* bölgede hiçbir yerde rastlanmaması çarpıcı bir veridir.

İstanbul Paleozoyik istifini kesen daykların ve granitik intrüzyonların varlığı, İstanbul Paleozoyik istifi üzerinde bir mağmatik yayın gelişmiş olabileceği kanısını uyandırabilse de, bu sokulumların yaşı henüz saptanmamış ve dolayısıyla Üst Kretase volkanizması ile ilişkilendirilmemişlerdir. Yaş ile ilgili tek bulgu Çavuşbaşı granitinden elde edilen  $65 \pm 10$  My'lık Rb/Sr yaş verisidir (Öztunalı ve Satır, 1975). Ancak Rb/Sr yaşlandırma tekniği altere mağmatik kayalar üzerinde sağlıklı sonuç vermemektedir ve bu nedenle de bu yaş sokulumun yerleşme yaşını yansıtmayabilir. Çavuşbaşı graniti, Triyas öncesi yaşlı olduğu bilinen Balçık graniti (Gebze) gibi oldukça arenalaşmış, altere bir sokulumdur. Bu nedenle İstanbul Paleozoyik istifi temeli üzerinde bir mağmatik yayın gelişmiş olma olasılığının ancak zirkon yaşları alındıktan sonra değerlendirilmesi gerekmektedir.

Paleozoyik istifini kesen dayklar çeşitli oranda alterasyon gösterirler. O nedenle bu çalışma sırasında jeokimyasal incelemeler sadece en taze olan dayklardan seçilmiş temsili bir set üzerinde yapılmıştır. Elde edilen veriler, bu dayklardan lamprofirik olanlarının Kavaklar grubunun en üstünde yer alan Kısırkaya formasyonu ile jeokimyasal benzerlik gösterdiğini, ancak dokusal ve mineralojik bileşim açısından benzemediklerini ortaya koymaktadır. Her ne kadar incelenen daykların bazıları (ör. Plg+Amp-frik olanları) mineralojik ve dokusal



Şekil 6. Üst Kretase döneminde Kavaklar grubunun Batı Karadeniz'in açılmasını sonuçlayan bir rift ortamında çökmesini ve magma evrimini gösteren jeolojik evrim modeli. Mağmatizmanın litosferik incelmeye bağlı olarak litosferik kaynaktan astenosferik olana geçiş gösterdiği görülmektedir.

Figure 6. Cartoons displaying deposition of the Kavaklar group in a rift setting related to the opening of the Black Sea during the Late Cretaceous and the evolution of accompanying magmatism. Note the temporal change of the magma generation from lithospheric to asthenospheric source regions.

açısından Garipçe lavlarına benziyorlarsa da, jeokimyasal açıdan benzemezler. Amfibol

içeren Kavaklar grubu lavları ile Paleozoyik istifini kesen amfibollü bir dayktan elde edilen jeo-barometre hesaplamalarına göre kristallenme derinlikleri arasında büyük bir fark vardır. Dayklardan elde edilmiş yaş verisi yokluğunda söylenebilecek tek şey, Paleozoyik istifini kesen daykların Kavaklar grubu lavlarına jeokimya ve petrografik açıdan benzemedikleridir.

Tabanda yitim bileşeni içeren, üstte ise yitim bileşeni içermeyen volkanojenik bir istiftan oluşan Kavaklar grubunun oluşabileceği bir diğer tektonik ortam litosferik gerilme ortamıdır. Litosferik gerilme alanları tektonik olarak duraysızdır. Gerilmenin ileri aşamalarında mağmatizma meydana gelir (Şek. 6 a ve b). Eğer litosferik gerilme okyanusal bir havzanın oluşumuna yol açar ise, mağmatik aktivite okyanus ortası sırtta devam eder (Şek. 6 c).

Böylesi gerilme alanlarında astenosferin üzerindeki litosferin incilmesi sonucu, basınç serbestleşmesi ile kısmi ergimeler meydana gelir. İlk ergimeler litosferik mantoda gerçekleşir (Şek. 6 a). Gerilme ilerledikçe, yükselen astenosfer mağmatizmanın kaynağını oluşturur. Eğer litosferik manto, daha önceki bir yitim ile modifiye olmuş ise, litosferik gerilmenin sebep olduğu mağmatizma, bu yitim bileşenini bünyesinde taşıyacaktır. Dolayısıyla ilk mağmatik ürünler bir yay bileşeni içerecektir (Şek. 6 a). Ancak litosferik gerilme ilerledikçe astenosferin  $\leq 50$  km'ye kadar yükselmesi ile ergimeler astenosferik kaynak alanda gerçekleşecek, böylece kalk-alkali mağmatizma yerini levha içi tipi mağmatizmaya bırakacaktır (Şek. 6 b ve c).

Bu jeokimyasal stratigrafi, Kavaklar grubunda aynen mevcuttur. Benzeri stratigrafiler taşıyan litosferik gerilme bölgelerine en iyi örnek Batı A.B.D. de Basin and Range Provensi ve Batı Anadolu (Seyitoğlu vd., 1997) olarak verilebilir. Bu alanlarda litosferik gerilme ile oluşan volkanik istif altta kalk-alkali, üstte ise alkali bir kimyasal karakter sunmaktadır.

Sonuç olarak, bu makalede sunulan bulgular bize Kavaklar grubunun, İstanbul Fragmanının riftleşmesi sonucu gelişen volkanik bir kıta kenarı istifi olduğunu düşündürmektedir. Riftleşmenin ilk aşamalarında meydana gelen grabenler içinde türbiditler ve moloz akıntıları çökelmiş (Bozhane formasyonu), horstlar sedimanlar için kaynak alan oluşturmuştur. Evrimin ileri aşamalarında bir kenar volkanizması meydana gelmiş, ancak bu volkanik alan normal faylar ile sürekli yükseltilip aşındırılmış, aşınan malzeme kanal sistemleriyle havza içine taşınmıştır. Bu malzeme havza içine moloz akıntılarıyla taşınırken gerilme devam etmiş, tansiyon çatlaklarına yerleşen ergiyikler derinde daykları oluştururken yüzeyde lav olarak akmıştır. Bu aşamada astenosferik kaynak alandan kaynaklanan ergiyikler ile litosferik mantodan türemiş yitim bileşeni içeren mevcut ergiyikler mağma odalarında çeşitli oranlarda karışıp hibrid mağmaları yaratmıştır. Volkanizmanın son evresinde ise astenosferik ergiyikler egemen olmuş; bunlar levha içi tipi mağmatizmayı oluşturmuştur (Kısırkaya formasyonu). Batı Karadeniz Havzasının okyanus kabuğu ancak bu aşamadan sonra meydana gelmiş olmalıdır.

## Teşekkür

Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Araştırma fonu'nun 1145/010598 nolu projesi ile desteklenmiştir. XRF ve Elektron Mikroprob analizlerinde yardımcı olan Dr. Dodie James ve Dr. P. Hill'e (Edinburgh Universitesi, UK) teşekkür ederiz.

## Yararlanılan kaynaklar

- Bacelluva, L., Coltorti, M., Di Girolamo, P., Meluso, L., Milani, L., Morra, V. and Siena, F. (2002) Petrogenesis and evolution of Mt. Vulture alkaline volcanism (Southern Italy), *Mineralogy and Petrology*, V. 74, pp. 277-297.
- Bacon, C.R., Bruggman, P.E., Christiansen, R.L., Clyne, M.A., Donnelly Nolan, J.M. and Hildreth, W. (1997) Primitive magmas at five Cascade volcanic fields: Melts from hot, heterogeneous sub-arc mantle, *Canadian Mineralogist*, V. 35, pp. 397-423, Part 2.
- Görür, N. (1988) Timing and opening of the Black Sea basin, *Tectonophysics*, V. 147, pp. 247-262.
- Görür, N. (1991) Aptian-Albian palaeogeography of Neo-Tethyan domain, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, V. 87, pp. 267-288.
- Keskin, M. and Tüysüz, O. (1999) Geochemical evidence for nature and evolution of the rift volcanism related to the opening of the Black Sea, central Pontides, Turkey". EUG10 in Strasbourg, France, *Journal of Conference Abstracts*, Vol. 4, no: 1, p. 816.
- Keskin, M. and Tüysüz, O. (2001) Genesis of the rift volcanism and basin formation related to the opening of the Black Sea during Late Cretaceous, Western Pontides, Turkey, EUG11 in Strasbourg, France, *Journal of Conference Abstracts*, Vol. 5, p. 732.
- Keskin, M. and Ustaömer, T. (2001) Stratigraphy and geochemistry of Cretaceous volcanosedimentary units in the North of Istanbul: development of a volcanic rifted margin, Western Pontides, Turkey, EUG11 in Strasbourg, France, *Journal of Conference Abstracts*, Vol. 5, p. 732.
- Keskin, M., Pearce, J.A. and Mitchell, J.G. (1998) Volcano-stratigraphy and geochemistry of collision-related volcanism on the Erzurum-Kars Plateau, North Eastern Turkey, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, V.85/1-4, pp. 355-404.
- Keskin, M., Ustaömer, T. and Yenyol, M. (1999) Volcanism associated with extension at a con-

- consuming margin, W Pontides, N Turkey”, EUG10 in Strasbourg, France, *Journal of Conference Abstracts*, Vol. 4, no: 1, p. 841.
- Keskin, M., Ustaömer, T. ve Yenyol, M. (2001) İstanbul Kuzeyinde ve Boğaz Civarında Yüzeyleyen Volkanizmanın Tektonik Ortamı, Petrolojisi ve Kökeni, İ.Ü. Araştırma fonu 1145/010598 nolu proje raporu, 123 s.
- Kita, I., Yamamoto, M., Asakawa, Y., Nakagawa, M., Taguchi, S. and Hasegawa, H. (2001) Contemporaneous ascent of within-plate and island-arc type magmas in the Beppu-Shimabara graben system, Kyushu island, Japan, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, V.111, pp. 99-109.
- Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A. and Zanettin, B. (1986) A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram, *Journal of Petrology*, 27: 745-750.
- Meschede, M. (1986) A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram, *Chemical Geology*, vol.56, pp.207-218.
- Mohamed, F. H. , Moghazi, A. M. and Hassanen, M. A. (2000) Geochemistry, petrogenesis and tectonic setting of late Neoproterozoic Dokhan-type volcanic rocks in the Fatira area, eastern Egypt, *International Journal of Earth Sciences*, V. 88, pp. 764-777.
- Okay, A. I., Sengör, A. M. C. and Görür, N. (1994) Kinematic history of the opening of the Black Sea and its effect on the surrounding regions, *Geology*, V. 22, pp. 267-270.
- Okay, A. I., Tansel, I. and Tüysüz, O. (2001) Obduction, subduction and collision as reflected in the Upper Cretaceous – Lower Eocene sedimentary record of Western Turkey, *Geological Magazine*, V. 138 (2), pp. 117-142.
- Öztunalı, Ö. ve Satır, M. (1975) Rubidium-Strontium Altersbestimmungen antiefengesteinen Aus Çavuşbaşı (İstanbul), İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Mecmuası, Seri: B, 40, 1-7.
- Pearce, J.A. and Cann, J.R. (1973) Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses, *Earth and Planetary Science Letters*, vol.19, pp.290-300.
- Pearce, J.A., Bender, J.F., De Long, S.E., Kidd, W.S.F., Low, P.J., Güner, Y., Şaroğlu, F., Yılmaz, Y., Moorbath, S. and Mitchell, J.G. (1990) Genesis of collision volcanism in Eastern Anatolia, Turkey, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, V. 44, pp.189-229.
- Reiners, P.W., Hammond, P.E., McKenna, J.M. and Duncan, R.A. (2000) Young basalts of the central Washington Cascades, flux melting of the mantle, and trace element signatures of primary arc magmas, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, V. 138, pp. 249-264.
- Romer, R.L., Förster, H.J. and Breiterkreuz, C. (2001) Intracontinental extensional magmatism with a subduction fingerprint: the Late Carboniferous Halle volcanic complex (Germany), *Contributions to Mineralogy and Petrology*, V. 141, pp. 201-221.
- Schmidberger, S. S. and Hegner, E. (1999) Geochemistry and isotope systematics of calc-alkaline volcanic rocks from the Saar-Nahe basin (SW Germany): implications for Late-Variscan orogenic development, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, V. 135, pp. 373-385.
- Şengör, A. M. C. and Yılmaz, Y. (1981) Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach, *Tectonophysics*, V. 75, pp. 181-241.
- Seyitoğlu, G., Anderson, D., Nowell, G. and Scott, B. (1997) The evolution from Miocene potassic to Quaternary sodic magmatism in Western Turkey: implications for enrichment processes in the lithospheric mantle, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, V. 76, pp. 127-147.
- Tüysüz, O. (1999) Geology of the Cretaceous sedimentary basins of the Western Pontides, *Geological Journal*, V. 34 (1-2), pp. 75-93.
- Tüysüz, O., Keskin, M., Sunal, G. ve Tari, U. (1999) Batı Karadeniz Havzasının Oluşumu. TÜBİTAK YDABÇAG 590/G Projesi Raporu, 218 s.
- Ustaömer, T. and Keskin, M. (2001) Continental margin arc versus volcanic rifted margin: geochemical evidence for tectonic setting of late Cretaceous volcanogenic sequence, İstanbul, NW Turkey, *4th International Turkish Geology Symposium in Adana, Turkey*, p. 117.
- Van Wagoner, N.A., Leybourne, M.I., Dadd, K.A., Baldwin, D.K. and McNeil, W. (2002) Late Silurian bimodal volcanism of southwestern New Brunswick, Canada: Products of continental extension, *Geological Society of America Bulletin*, V. 114 (4), pp. 400-418.
- Yenyol, M. ve Ercan, T. (1989-1990) İstanbul Kuzeyinin jeolojisi, Üst Kretase volkanizmasının petrokimyasal özellikleri ve Pontidler'deki bölgesel dağılımı, *İ.Ü., Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, 7 (1-2), 125-147.