

sıcaklığının 700 °C civarında, tuzluluk değerlerinin ise %25 NaCl eşdeğerinde olduğunu ortaya koymuştur (Sezerer Kuru ve diğ., 2006). Söz konusu sıcaklık, filogopitlerin prograd evrede gelişmiş olduğuna işaret etmektedir ki, bu da potasik zondaki yüksek  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  oranları için meteorik sular yoluyla çözündürülmüş kabuksal Sr bileşeni olasılığını devre dışı bırakmaktadır. Öte yandan, i) alterasyonun gözlemlendiği magmatiklerin, ofiyolitik kayaların üzerinde gelişmiş olan denizel bir havzaya yerleşmesi ve ii) deniz suyu/kayaç oranlarının  $10^5$  değerinin altında olması durumunda, kayaçtaki Nd-izotop oranları aksine Sr-izotop oranlarının hayli değişebileceği (Faure, 1986) göz önüne alındığında, potasik zondaki yüksek  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (ve yan kayaçlar ile hemen aynı olan  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ) oranlarının, deniz suyu etkileşimi ile gerçekleşmiş olabileceği öngörülmektedir. Ancak “deniz suyu etkileşimi” ile doğrudan deniz suyunun magma çeperine sirkülasyonu değil, denizel sedimanlardaki gözenek suyu kastedilmektedir. Buna göre en azından potasik alterasyon sırasında magmatik çözeltilerin denizel sularla karışmış olabileceği önerilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Fe oksit-Cu-Au yatakları, sıvı kapanımı, sodik-potasik alterasyon, alterasyon kökeni, Nd-Sr izotopları, Ar-Ar yaşları, Hasançelebi.

### ABSTRACT

*The alteration patterns and spatial and temporal relationships between the alteration and mineralization at Hasançelebi ironoxide deposits share characteristics more akin to its counterparts around the world, hence were defined as ironoxide-copper-gold (IOCG) deposit (Kuşçu et al., 2002; 2003). The source of the fluids resulting in the alteration and mineralizations in such deposits has been the subject of ongoing discussions. The alteration and mineralization at Hasançelebi are hosted by rocks diabase, trachyte and syenite in composition. The zircon U-Pb and biotite-hornblende Ar-Ar radiometric age dating reveals that the trachytes are 76.80 Ma, diabases are 74.26 Ma and syenites are 71.80-68.64 Ma in age. Ar-Ar age dating on biotite and K-feldspars from the scapolite and phlogopite-bearing alteration zones yield ages from 74.30 to 68.64 Ma. These may point the possibility that the alteration and mineralization has been related to the alkaline magmatism in the region. However, the spatial and temporal relationships between magmatism and alteration are inadequate to advocate the source and genesis of the fluids causing the alteration and mineralizations in the region. It is highly likely that the alteration zones and their magmatic precursors should have similar isotope systematics, if the fluids, released from a crystallizing and cooling magma during, caused the alteration and mineralization.*

*The Nd-Sr isotope systematics and isotope correlation diagrams by  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  vs  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  ratios from the alteration zones and magmatic precursors have overlapping values. Consequently, this suggests that the alteration processes has little or no effect on the isotope composition of the original magmatic rocks, and/or fluid-rock isotopic equilibrium has been reached, and no external elemental exchange, so as to change the isotopic equilibrium, took place. Therefore, it is here suggested that the fluids resulting in the alteration are ortho-magmatic fluids derived directly from the syenitic rocks emplaced into the region. One sample from the potassic zone, with the highest  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  - Rb/Sr and the lowest  $\text{SiO}_2$  contents, rules out this argument. In order to achieve higher Sr isotope compositions, the fluids enriched in Ca and Sr should be circulated throughout the syenitic-trachytic rocks during the potassic alteration. Ca and Sr may be; (1) introduced by leaching of crustal material by circulation of meteoric waters, or (2) added directly from the sea-water during potassic alteration, or (3) derived from the pore water within the marine sedimentary rocks. On the other hand, microthermometric studies on the phlogopites from the potassic zones showed that they have homogenization temperatures > 700 °C and salinities 25% NaCl-eq (Sezerer Kuru et al., 2006). This suggests that the potassic alteration took place at the prograde stage with no meteoric input, and hence rule out the possibility of the crust-derived Sr origin for higher  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios in the potassic zone. Moreover (i) the emplacement and intrusion of magmatic rocks into the marine Hekimhan basin, and (ii) probability of significant variations in Sr isotope ratios compared to Nd isotopes if the seawater/rock ratio remain less than  $10^5$ , may suggest that higher  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios (with the same  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  ratios with the its magmatic precursors) in the potassic zone is due to interaction with the seawater. Such an interaction does not necessarily mean that the seawater itself circulated throughout the margins of the magma, but the circulation*

of pore-water within the marine sedimentary rocks. This may suggest that the magmatic fluids should have interacted with the sea-water at some levels, at least during potassic alteration.

**Key Words:** *Fe oxide-Cu-Au deposits, fluid inclusions, sodic-potassic alteration, genesis of alteration, Nd-Sr isotopes, Ar-Ar dating, Hasançelebi.*

#### Değinilen Belgeler

- Faure, G., 1986, *Principles of isotope geology*, John Wiley and Sons Inc., 589 s.
- Kuşcu, İ., Demirela, G., ve Yılmaz, E., 2002. Sivas-Divriği Bölgesi Skarn Tipi Demir Oksit Yataklarına Fe-oksit-Cu-Au (Olympic Dam tipi) Perspektifinden Yeni Bir Bakış, 55. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri özleri Kitapçığı, s. 171.
- Kuşcu, İ., Yılmaz, E. ve Demirela, G., 2003, Sivas-Divriği bölgesi skarn tipi demir oksit yataklarına Fe-oksit-Cu-Au (Olympic Dam tipi) perspektifinden yeni bir bakış.55. Türkiye Jeoloji Bülteni, 46, 2, 33-49.
- Sezerer-Kuru, G., Kuşcu, İ., Şalış B., Yılmaz, E., ve Demirela, G., 2006. Hasançelebi (Malatya) demir oksit yataklarının oluşum koşulları: mikrotermometrik bir yaklaşım. MTA Dergisi, 132, 101-111.

## Batı Anadolu (Lapseki/Çanakkale/Türkiye) Tersiyer Karasal Volkanikleri içinde Birlikte bulunan Düşük ve Yüksek Sülfidasyon Epitermal Cevher Mineralleşmeleri

*Co-existing Low- and High-Sulfidation Epithermal Ore Mineralizations in Tertiary Subaerial Volcanic Rocks, Western Turkey, (Lapseki, Çanakkale/Turkey)*

**Huseyin YILMAZ<sup>a,\*</sup>, Tolga OYMAN<sup>a</sup>, Greg B. AREHART<sup>b</sup>, Zeki BILLOR<sup>c</sup>**

*Dokuz Eylül University, Faculty of Engineering, Department of Geological Engineering, Bornova-35100, Izmir, Turkey<sup>a</sup>  
University of Nevada, Department of Geological Sciences, MS-172, Reno-NV,89557-0138, USA<sup>b</sup>  
University of Alabama, Department of Geology and Geography, Auburn. AL, USA<sup>c</sup>  
huseyin.yilmaz@deu.edu.tr*

### ÖZ

Şahinli ve Tespih Dere (Lapseki/Çanakkale) altınlı Pb-Zn-Cu damarları mineraloji, jeokimya, sıvı kapanım ve duraylı izotop çalışmalarıyla incelenmiştir. Şahinli ve Tespih Dere’de altın göreceli olarak derin yerleşimli kuvars ve Pb-Zn-Cu damarları içinde oluşmuştur. Bu damarlar geç evre parça destekli çatlaklı kuvars damar breşi ve hamur-destekli ufalanmış breşler içerdiği gibi kuvars plumose, kovuk dolgusu, kokard ve tarak yapıları gibi orta-yüksek sıcaklık epitermal dokuları da sergilemektedir. Çalışma alanının doğusunda baskın alterasyon mineralleri illit, karışık tabakalı illit /smektit (11.6 Å), klorit, ve kristalen kuvars, batıya doğru Şahinli’de alünit, dikit/nakrit ve profillit olup, Tespih Dere’de başlıca illit ve dikitten oluşmaktadır. Toplam sülfür içeriği değişken olup % 60 lara ulaşır ve gerek damar gerekse hidrotermal breşin matriksi içinde başlıca pirit, galen, sfalerit ve daha az oranda kalkopiritten meydana gelir. Sfalerit kristalleri demirce fakir olup % 0,4 ila %1 Fe içerir. Tetradrit-tenantit grubu mineraller ise Sb-Ag ç zengin tetradrit olarak belirlenmiştir.

Sıvı kapanım çalışmaları, Şahinli’de esas evreye ait kuvarsların sıvıca zengin kapanımlarında 180 ila 321 °C arasında değişen homojenleşme sıcaklıkları gözlenir ancak çoğu (T<sub>h</sub>) 180°C ile 300°C (σ =21) arasında değişir. Tespih Dere cevherleşmesinde 214°C to 288°C (σ =18) arasında değişen göreceli yüksek homojenleşme sıcaklıkları bunun daha derinlerdeki bir oluşumun sonucu olarak düşünülmektedir.

Şahinli ve Tespih Dere yörelerinde altere yan kayada Ba ve Cs jeokimyasal zenginleşme iki kat iken, Pb, Zn, Ni, Zr, Sr, La ve Ce da herhangi bir zenginleşme yoktur. Ana elementlerden K bir zenginleşme göstermezken Mg, Ca ve Na 4.5- 5.1 faktör aralığında belirgin bir şekilde tüketilmiştir. Cs, Rb, Sr, Zr, Nb, Ti, Y, Ni, V, La, C ve Nd gibi elementler Şahinli ve Tespih Dere’deki cevherli kuvars damarlarında tüketilmiştir. Şahinli ve Tespih Dere’deki altere volkanik kayalar Ba, W, Mo, Cu, Pb, Zn, As, Bi, Ag, Au ve Se elementlerince 1.3 ila 39 kat arasında zenginleşmişlerdir. Buna karşın cevherli volkanik kayalar ve kuvars damarları anılan elementlerce oldukça yüksek oranlarda (7 ila 1400 kat arası) zenginleşmişlerdir. Rb/Sr oranındaki geniş değişimi izleyen yan kayadan yıkanmış K ve Ca un sisteme katılımı, illit içerikli alterasyona uğramış yan kaya için karakteristiktir. Asit-altere yan kayada (0.3) düşük Rb/Sr oranları ve karşılık gelen göreceli düşük K değerleri (3.5 %) volkanik kayalardan K un asitle yıkanması ve ilişkili Rb ile birlikte gelişen dikit/nakrit oluşumları ile uyumludur. Au ile La, Ce, Th elementleri arasında ortaç negatif bir korelasyon gözlenirken, Au ile baz metaller (Pb,Zn,Cu) ve Sb, As arasında bir korelasyon gözlenmez. Cevher niteliği taşıyan kaya örneklerinde (R> 0.5) gümüşün Pb-Se, kurşunun Sb, çinkonun Hg ile ortaç-kuvvetli birlikteliği saptanmıştır. Ag ile Sb arasındaki çok güçlü korelasyon gümüşün tetradrite bağlı olarak bulunduğu göstermektedir.

Altın-gümüş içeren baz metal damarlarındaki kuvarslar +10.7 to +17.8‰, arasında  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri verirken, kuvars içindeki sıvı kapanımları  $\delta\text{D}$  -58 to -93‰ arasında, killerin  $\delta\text{D}$  değerleri -40 to -119‰ arasında değişir.  $\delta^{18}\text{O}$  sonuçları çalışma alanındaki hidrotermal sıvıların -1.5 ile +7.6‰ arasında (ortalama: 1.3 ‰)  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  değerleri verdiğini gösterir,  $^{18}\text{O}$ -zenginleşmesi günümüz meteorik ve hidrotermal meteorik suları ile karşılaştırılmıştır.  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  ve  $\delta\text{D}$  değerleri, cevherli sıvıların magmatik bileşenin daha baskın olduğu magmatik ve meteorik kökenli sıvıların bir karışımından türediği sonucuna yönlendirir. Şahinli ve Tespih Dere cevherleşmelerine ait  $\delta^{34}\text{S}_{\text{sülfid}}$  değerleri pirit için -4.5 ile 2.6‰ aralığında (ortalama-2.9‰), kalkopirit için -6.2 ile -0.5‰ aralığında (ortalama-3.3‰), sfalerit için -6.8 ile -3.6‰ aralığında (ortalama-5.4‰), galen için de -9.5 ile -5.3‰ aralığında (ortalama-7.6‰) saptanmıştır. Hafif  $\delta^{34}\text{S}_{\text{sülfid}}$  değerlerinin varlığı kaynak olarak tortul bir kaynaktan çok magmatik bir kaynağı gösterir.

**Anahtar sözcükler:** Altın, hidrotermal alterasyon, duraylı izotoplar.

### ABSTRACT

*Şahinli and Tespih Dere (Lapseki/Çanakkale) gold-bearing Pb-Zn-Cu veins are investigated by mineralogical, geochemical, fluid inclusion and stable isotope methods. Gold at Sahinli and Tespih Dere (Lapseki/Çanakkale) occurs in relatively deep epithermal quartz veins with base metal minerals and displays medium- to high-temperature epithermal textures, including plumose quartz, vug infills, comb and cockade textures as well as late-stage clast-supported crackle quartz vein breccia and matrix-supported milled breccias. Alteration minerals are dominated by illite, mixed layer illite/smectite (11.6 Å), chlorite and crystalline quartz towards the east and, by alunite, dickite/nacrite and pyrophyllite towards the west at Sahinli whereas major illite and dickite occur at Tespih Dere. The total sulfide content of veins in the area is variable ranging up to 60 % and is dominated by pyrite, galena and sphalerite. The sphalerite grains are poor in iron (from 0.4 to 1 wt.% Fe). Minor chalcopyrite occurs mainly within vein and hydrothermal breccias as matrix. Minor amounts of Sb-Ag-rich tetrahedrite may be present.*

*Fluid inclusion studies at Sahinli reveal that main-stage quartz contains predominantly liquid-rich inclusions with homogenization temperatures ( $T_h$ ) ranging from 180 to 321°C with the majority of  $T_h$  varying between 180 to 300°C ( $\sigma = 21$ ). Higher  $T_h$  of 214 to 288°C ( $\sigma = 18$ ) at the Tespih Dere deposit may be attributed to a deeper level of exposure.*

*Geochemical variations in altered wall rocks at Sahinli and Tespih Dere are generally characterized by up to two-fold enrichments in Ba and Cs whereas Pb, Zn, Ni, Zr, Sr, La and Ce show very minor depletions in altered wallrocks. Of the major elements, K displays no enrichment, while Mg, Ca and Na are significantly depleted by factors ranging from 4.5 to 5.1. Trace elements such as Cs, Rb, Sr, Zr, Nb, Ti, Y, Ni, V, La, Ce and Nd are slightly depleted in mineralized quartz veins in the Şahinli, and Tespih Dere deposits (whereas Ba, Cu, Pb and Zn are enriched by factors of 9, 100, 11 and 400, respectively. Advanced argillic-altered volcanic rocks are noticeably depleted relative to propylitized volcanic rocks. At Sahinli and Tespih Dere, the altered volcanic rocks are slightly to strongly enriched in Ba, W, Mo, Cu, Pb, Zn, As, Bi, Ag, Au and Se by factors from 1.3 to 39 whereas the mineralized volcanic rocks and quartz veins are very strongly to extremely enriched in these elements by factors of 7 to 1400. A large variation in Rb/Sr following addition of K and Ca leaching of the wall rocks is typical for alteration in illite-altered areas. Lower Rb/Sr ratios and corresponding relatively lower K values (3.5 %) recorded in the acid-altered wallrock (0.3) are due to acid leaching of K and associated Rb in volcanic rocks, accompanied by development of dickite/nacrite. Moderate negative correlations occur between Au and La, Ce, Th whereas no correlations between Au and base metals as well as with Sb and As are recognized. A moderate to strong association of Ag with Pb-Se, of Pb with Sb, of Zn with Hg in rock chip ore-grade samples ( $R > 0.5$ ) also occurs. The very strong correlation between Ag and Sb likely is due to concentration of silver within tetrahedrite.*

*The Sahinli quartz in gold-silver-bearing base metal veins has  $\delta^{18}\text{O}$  values ranging from +10.7 to +17.8‰, whereas  $\delta\text{D}$  the values of fluid inclusions in quartz range from -58 to -93‰ and in clays from -40 to -119‰.  $\delta^{18}\text{O}$  results indicated that ore-forming hydrothermal fluids at the study area had  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  values ranging from -1.5 to +7.6‰ (average: 1.3 ‰),  $^{18}\text{O}$ -enriched compared with present-day meteoric and*

hydrothermal meteoric water (-8.5‰).  $\delta^{18}O$ ,  $\delta^{18}O_{H_2O}$  and  $\delta D$  values suggest that mineralizing solutions were a mixture of magmatic and meteoric waters with the former being dominant over the other. The  $\delta^{34}S_{sulfide}$  values in samples from the Sahinli and Tespih Dere deposits range from -4.5 to 2.6‰ for pyrite (average -2.9‰), from -6.2 to -0.5‰ for chalcopyrite (average: -3.3‰), from -6.8 to -3.6‰ for sphalerite (average: -5.4‰), and from -9.5 to -5.3‰ for galena (average: -7.6‰). These persistent light  $\delta^{34}S_{sulfide}$  values appear to be consistent with a magmatic source of sulfur rather than a sedimentary source.

**Key words:** Gold, hydrothermal alteration, stable isotope

## Menderes Masifi (GB, Türkiye)'nin Güney Kesimindeki Korundca Zengin Metaboksitlerin Jeokimyası

*Geochemistry Of Corundum-Rich Metabauxites In The Southern Part Of The Menderes Massif (SW, Turkey)*

**M.Selman AYDOĞAN<sup>(1)</sup>, Ömer AKINCI<sup>(2)</sup>**

<sup>(1)</sup>*Dept.of Geological Engineering, Balıkesir University, TR-10145 Balıkesir, Turkey*

<sup>(2)</sup>*Havacı Binbaşı Mehmet Sokak, 9/12, Bostancı, İstanbul*

*Corresponding author: aydogan@balikesir.edu.tr*

### ÖZ

Korundca zengin metaboksit oluşumları, Menderes Masifi'nin güney kesimindeki poli-metamorfik kor kayaçlarını çevreleyen, kalın tabakalı, platform-tip Mesozoic mermerler içerisinde yer almaktadır. İnce kesit, electron mikroprop ve X-ray difraktometre çalışmaları metaboksitlerin mineral parajenezinin yaygın olarak korund, kloritoid, beyaz mika (margarita, muskovit), diyaspör, Fe-Ti-Oksitleri (ilmenit, ilmeneo-hematit, rutil), ve daha az miktarlarda götit, limonit, pirit, uvit, şörlenden meydana geldiğini işaret etmektedir.

Jeokimyasal olarak Mesozoyik yaşlı metamorizmaya uğramamış boksitler ile karşılaştırıldığında, korundca zengin metaboksitlerin major oksitleri, Fe<sub>2</sub>O<sub>3tot</sub>'de zenginleşme, SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O ve CaO'de fakirleşme, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>'de hafif artış, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>'de hafif azalma, K<sub>2</sub>O, MgO ve MnO'de hemen hemen benzer değerler göstermektedir. İz element içerikleri oldukça yüksek Co, Ni zenginleşmeleri; La, Zr'da güçlü bir artış; Sc, U, Th'da hafif bir artış; Pb'de güçlü bir fakirleşme; V, Cr'da hafif bir fakirleşme ve Ga ve Nb'da hemen hemen benzer değerler göstermektedir.

Ana kayayla ilgili olarak, litolojik birlikler, mineral kimyası ve jeokimyasal özellikler birincil boksit kökeni için asidik bir kaya veya ofiyolitik bir protoliti işaret etmemektedir. Aksine, korundca zengin, karst-metaboksitlerin öncüleri muhtemelen Seydişehir (Toridler, Türkiye) bölgesindeki karstik Toros boksitlerine benzer şekilde tropikal nemli iklim altında alüminosilikat ana kayaların ayrışmasının bir ürünü olarak oluştuğu düşünülmektedir.

Sonuç olarak, platform-tip kireçtaşlarının yüzeye yakın kesimlerindeki karstik çukurlarda depolanmış olan bugünkü korundca zengin metaboksitler, Eosen zamanı boyunca İzmir-Ankara-Erzincan Zonu'ndan Menderes Platformu üzerine ofiyolitik bir yerleşim ile ilişkili "ana Menderes Masifi Metamorfizması"nın bir sonucu olarak <7 kbar ve ~ 440°C altında bölgesel olarak metamorfizmaya uğramıştır.

**Anahtar-Kelimeler:** metaboksit, köken, pasif kıtasal kenar, Menderes Masifi, Türkiye

### ABSTRACT

*The corundum-rich metabauxite occurrences are enclosed in thick-bedded, platform-type Mesozoic marbles surrounding the polymetamorphic core rocks in the southern part of the Menderes Massif, SW Turkey. Thin-section studies, electron microprobe analyses and X-ray diffraction indicate that mineral paragenesis of metabauxites is dominantly characterized by corundum, chloritoid, white mica (margarite, muscovite), diaspore, Fe-Ti-Oxides (ilmenite, ilmeneo-hematite, rutile), and goethite, limonite, pyrite, uvite, schorl in minor amounts.*

*Geochemically, in comparison with the average of Mesozoic non-metamorphosed bauxite, major oxide contents of corundum-rich metabauxites show: an enrichment in  $Fe_2O_{3\text{tot}}$ , a depletion in  $SiO_2$ ,  $Na_2O$  and  $CaO$ , a slight increase  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ , a slight decrease in  $P_2O_5$ , with nearly equal values of  $K_2O$ ,  $MgO$  and  $MnO$ . The trace element contents show: unexpected Co, Ni enrichments, a strong increase in La, Zr, Zn, a slight increase in Sc, U, Th, a strong depletion Pb, a slight depletion V, Cr with nearly the same values of Ga, Nb.*

*With regard to parental affinity, lithologic associations, mineral chemistry and geochemical objectives suggest that there are no indications for a asidic rock or an ophiolitic protolith for primary bauxite origin; on the contrary, the precursors of the karst-metabauxites were probably considered to be a product of weathering of aluminosilicate parent rock under tropical humid conditions as similar to the karstic Tauric bauxites in the Seydişehir (Central Taurides, Turkey) region.*

*Consequently, current corundum-rich metabauxites which deposited in karstic depressions and sinkholes in the near surface of platform-type limestone at a north-facing passive continental margin of northern branch of the Neo-Tethys Ocean was regionally metamorphosed at  $<7$  kbar and  $\sim 440^\circ C$  metamorphic overprint as a result of "main Menderes Metamorphism" associated with ophiolitic obduction onto the Menderes platform from the Izmir-Ankara-Erzincan Suture during Eocene time.*

**Key-words:** metabauxite, origin, passive continental margin, Menderes Massif, Turkey

## Sarıçimen (VAN) Fe-Ni Laterit Cevherleşmesinin Jeolojik ve Jeokimyasal Özellikleri

### *Geological and Geochemical Characteristics of Sarıçimen (Van) Fe-Ni Laterite Ore*

**Ali Rıza ÇOLAKOĞLU**

*Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 65080-Van  
(arc.geologist@yyu.edu.tr)*

### **ÖZ**

Sarıçimen Fe-Ni laterit cevherleşmesi Çaldıran İlçesinin (Van) 15 km doğusunda, Doğu Anadolu Yığılım Kompleksi içinde yer alır. Bu çalışmada Fe-Ni laterit cevherleşmesinin jeolojik özellikleri, jeokimyası ve opak minerallerin mineralojik ve dokusal özellikleri incelenmiştir.

İnceleme alanında serpantinleşmiş peridotit, kıltaşı, marn, killi kireçtaşı, fosilli kireçtaşı, konglomeratik kireçtaşı, çört, konglomeratik çört ve Fe-Ni içerikli lateritik konglomera ofiyolitik melanj içinde gözlenen kayaç türleri olarak tanımlanmıştır. Ayrıca bölgede diyorit porfir, mikro diyorit ve basalt türü kayaçlar yüzeylenmektedir. Fe-Ni içerikli konglomeratik laterit zon, kırmızıdan-mora kadar değişen renklerde KB-GD istikametinde yaklaşık 650 metre uzunluktadır. Bu zon 10-35 metre arasında değişen kalınlıklarda 70-80° KD' ya eğilimlidir. Bölgedeki ana tektonik yapıları, bindirme yönü kuzeydoğudan güneybatıya doğru olan KB-GD doğrultulu bindirme düzlemleri ile bu düzlemi dik olarak kesen genç doğrultu atımlı faylar oluşturur. Bu tektonizmaya bağlı olarak serpantinleşmiş peridotitler Fe-Ni içerikli laterit zon üzerine itilmiştir. Lateritik zon içinde tanımlanmış opak mineraller; manyetit, kromit, krom-spinel, hematit, maghemit, götit ve az miktarda millerit ve psilomelandir. Sedimanter karakterde Fe-Ni laterit cevherleşmesi çok farklı bileşimlerdeki kırıntılardan oluşmuştur. Bu opak minerallerle birlikte kuvars, olivin, piroksen, çört ve radyolarit gözlenen diğer mineral ve bileşenlerdir. Ayrıca az miktarda kil mineralleri, dolomit, kalsit ve klorit bulunur. Kırıntıların çoğunluğunu tane kenarlarından itibaren manyetite dönüşmüş zonlu kromit taneleri, çört ve kuvarslar oluşturmaktadır. Bu zon kimyasal olarak % 29-61 SiO<sub>2</sub> ve % 8-34 arasında Fe içermektedir. Cevherleşme ortalama olarak % 4.81 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 0.37 TiO<sub>2</sub>, % 0.32 MnO ve % 0.03 P kimyasal bileşimine sahiptir. Taramalı elektron mikroskop (SEM) incelemeleri ile zonlu kromitlerin alterasyonu sonucu kenarlarından itibaren dönüşen manyetitlerde Ni oranının arttığı tespit edilmiştir. Lateritik Fe zonundan alınan örneklerin en yüksek Ni içeriği % 1.16 olarak belirlenmiştir. Pt ve Pd konsantrasyonları ise düşük olup en yüksek Pt içeriği 39 ppb, Pd ise 21 ppb olarak saptanmıştır.

Sedimanter karakterdeki laterit zonun mineralojik bileşimlerinin değişkenlik göstermesi ve kimyasal bileşimdeki farklılıklar malzemenin homojen olmadığını göstermektedir. Cevherleşme zonu içinde gözlenen opak minerallerdeki tanelerin dokusal özellikleri malzemenin yeniden taşınmış olduğunu kanıtlamaktadır. Cevherleşme oluşum türü bakımından bölgede tanımlanmış ilk Fe-Ni laterit cevherleşmesidir. Sarıçimen Fe-Ni laterit cevherleşmesinin oluşumunda sırasıyla kırıklanma, ayrışma, erozyon, taşınma, yeniden taşınma ve diyajenez süreçlerinin etkin olduğu düşünülmektedir.

**Anahtar Sözcükler:** Van, Ofiyolit, Fe-Ni Laterit, Doğu Anadolu



### ABSTRACT

*The Sariçimen Fe-Ni laterite ore is located at 15 km east of the Çaldıran (Van) County. This area is situated in Eastern Anatolia Accretionary Complex of Turkey. In this study, mineralogical and textural characteristics of the opaque minerals, geochemistry and the geology of the Fe-Ni laterite were studied.*

*Investigation area is covered with a typical ophiolitic mélange represent with serpentinite, peridotite, clay stone, marl, clayey limestone, fossiliferous limestone, conglomeratic limestone, chert, conglomeratic chert and Fe-Ni lateritic conglomerate. Diorite porphyry, micro diorite and basalt are defined as magmatic rock types at the region. Fe-Ni laterite zone having a colour range from red to purple with bedding inclined to 70-80° to NE has a thickness of 10-35 meters and length of 650 meters in the direction of NW-SE. In the region, the main tectonic structures are thrust and strike-slip faults which are perpendicular to the thrust plane. Due to the tectonic event, serpentinized peridotite is thrust to Fe-Ni laterite conglomerate zone. The laterite ore zone is composed of the magnetite, chromite, chrome-spinel, hematite, maghemite, goethite, and traces of millerite and psilomelane as opaque minerals. The associated gangue minerals and the other components with these opaque minerals include quartz, chert, radiolarite, pyroxene and olivine, with fewer amounts of clay minerals, dolomite, calcite and chlorite. These Fe-Ni laterites have very inhomogeneous composition and contain very abundant zoned chromite grains altered to magnetite, quartz and chert. This laterite zone chemically contains 29-61wt. % SiO<sub>2</sub> and 8-34 wt. % Fe. The average content of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, MnO and P are 4.81 wt%, 0.37 wt. %, 0.32 wt. % and 0.03 wt. %, respectively. SEM investigations indicate that Fe-Ni depletion in the core chromite and increase in magnetite rim. The highest Ni value obtained from the re-worked lateritic ferruginous zone is 1.16 wt. %. The Pt and Pd concentrations are generally low, reached up 39 ppb and 21 ppb respectively.*

*Diversity in chemical compositions of laterites and different chemical composition indicate that the transported material was inhomogeneous. The textures of the opaque minerals in the laterite zone indicate that the clastic components are re-worked. It is the first iron-nickel rich laterite zone described from this area. It is thought that during the development of Sariçimen Fe-Ni Laterite mineralization fracturing, erosion, corrosion, transportation, re-worked and diagenesis processes are respectively affected.*

**Key Words:** Van, Ophiolite, Fe-Ni Laterite, Eastern Anatolia

## Doğal Sfaleritlerin Katodoluminesans (CL), Lazer\_Ablasyon-Kütle Spektrometrisi (LA-ICP-MS) ve Elektron Prob Mikroanalizleri (EPMA)

*Cathodoluminescence (CL), LA-ICP-MS and EPMA Analyses of Natural Sphalerites*

**Emin ÇİFTÇİ<sup>1</sup>, Musa KARAKUŞ<sup>2</sup>, Richard D. HAGNI<sup>3</sup>, A. KOENING<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Department of Geological Engineering, Nigde University, Nigde, 51245, TURKEY.

<sup>2</sup>Cleveland-Cliffs Inc. 1100 Superior Avenue Cleveland, OH 44114-2544, USA

<sup>3</sup>Department of Geology & Geophysics, MST, Rolla, MO 65409, USA

<sup>4</sup>USGS, MS 973 Denver Federal Center, Denver, CO 80225, USA

eciftci@nigde.edu.tr

### ÖZ

Değişik yerlerde dünyaca bilinen bakır, gümüş, kurşun-çinko, kalay ve tungsten ile ilişkili tabii sfaleritler, iz element çeşidi ve içeriği ile sfaleritlerin CL özelliklerinin ilişkilerini belirlemek için incelenmiştir. Genel olarak, sfaleritler elektron bombardımanı altında, eser aktivatör iyonların çeşit ve derişimine bağlı olarak, koyu mavi, turkuaz, limon yeşili, farklı kahverengi tonları, sarı-oranj, oranj-kırmızı ve mat koyu kırmızı renkler başta olmak üzere CL renk spektrumu üretmektedir. Çeşitli yataklardan alınan çoğu sfaleritler, Mn<sup>2+</sup> iyonu nedeniyle  $\lambda_{max}$  585 nm de yoğunlaşan parlak sarı-oranj CL renkleri üretmektedir ve CL renk şiddeti tamamen Fe<sup>2+</sup> derişimine bağlıdır.  $\lambda_{max}$ 'ı 470-490 nm aralığında yoğunlaşan mavi emisyon bantı Tsumeb (Namibya), Horn Silver (Utah, ABD), Balmat (NY, ABD) ve Kanköy (Türkiye) yataklarından alınan örneklerde Ga ve Ag içeriği ile pozitif korelasyon göstermektedir. Daha yaşlı Avrupa kurşun-çinko yataklarından ve geç Kretase yaşlı Türk VMS yataklarından alınan kolofom sfaleritler bant aralığı 450-750 nm arasında oluşan oldukça geniş sarımsı CL renk emisyonu üretmektedir. Bu yataklardan bazı örnekler düşük Mn (<10 ppm) ve Ag (<1 ppm) içerirken, oldukça yüksek Tl (1-30 ppm) ve Pb (80-1500 ppm) içermektedir. Balmat-Edward (NY, ABD) yataklarına ait sfaleritlerde yoğun yeşil CL emisyonu gözlenmiştir. Akik, limon-yeşili ve kırmızı-oranj renkli sfaleritler, oda sıcaklığında  $\lambda_{max}$ 'ı en kuvvetlisi 630 nm'de olmak üzere çeşitli dalga boyları (490, 490, 580, 630, 680 ve 745 nm)'nda yoğunlaşan zayıf oranj-kırmızı CL renkleri üretmiştir. Bu emisyon bantları, Sn, In, Cu ve Mn gibi aktivatör elementlerle çok iyi korelasyon göstermektedir. Ogdensburg ve Franklin (NY-NJ, ABD) sfaleritleri parlak koyu mavi ve oranj CL renkleri üretmektedir ve mavi CL rengi Sn içeriği ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Akoluk (Ordu) sfaleritleri, artan miktarlarda Hg içeriğine bağlı olarak, değişik tonlarda kahverengi CL renkler göstermektedir. Sfaleritlerin katodoluminesans davranışı, cevherleşme tiplerini ve teknolojik olarak önemli iz element içeren yatakları tanımlamada kullanılabilir.

**Anahtar sözcükler:** Aktivatör element, iz element, katodoluminesans, sfalerit

### ABSTRACT

Natural sphalerite associated with copper, silver, lead-zinc, tin, and tungsten deposits from various world-famous mineral deposits have been studied by cathodoluminescence (CL), LA-ICP-MS and EPMA to determine the relationship between trace element type and content and the CL properties of sphalerite. In general, sphalerite produced a spectrum of CL color under electron bombardment, including deep blue, turquoise, lime green, yellow-orange, orange-red and dull dark red depending on the type and concentration of trace quantities of activator ions. Most sphalerite from various deposits showed bright yellow-orange CL color with  $\lambda_{\max}$  centered at 585 nm due to  $Mn^{2+}$  ion and the CL intensity of this color is strongly dependent primarily on  $Fe^{2+}$  concentration. The blue emission band with  $\lambda_{\max}$  centered at 470-490 nm is correlated with Ga and Ag in Tsumeb (Namibia), Horn Silver (UT, USA), Balmat (NY; USA), and Kankoy (Turkey) mines.

Colloform sphalerite from older well-known European lead-zinc deposits and late Cretaceous Kuroko-type VMS deposits of Turkey showed intense yellowish CL color and their CL spectra are characterized by extremely broad emission bands ranged from 450 to 750 nm. These samples are characterized by low Mn (<10 ppm) and Ag (<1 ppm), and they are enriched in Tl (1-30 ppm) and Pb (80-1500 ppm). Strong green CL is observed in samples from Balmat-Edwards district. Amber, lime-green and red-orange sphalerite produced weak orange-red CL at room temperatures, with several emission bands centered at 490, 580, 630, 680, 745, with  $\lambda_{\max}$  at 630 nm being the strongest. These emission bands are well correlated to trace quantities of Sn, In, Cu and Mn activators. Sphalerite from the famous Ogdensburg and Franklin mines exhibited brilliant deep blue and orange CL colors and the blue CL may be related to Se. Sphalerite from Akoluk (Ordu-Turkey) produced varying shades of brown as a result of increasing Hg content. Cathodoluminescence behavior of sphalerite may be used to identify ore types and to determine ore bodies containing technologically important trace elements.

**Keywords:** Activator element, trace element, cathodoluminescence, sphalerite

## Kızıltepe (Sındırgı-Balıkesir) Au Cevherleşme Bölgesi Dere Sedimanı Örneklerindeki Tane Boyutunun Altın Değerlerine Etkisi

*The Effect of Grain Size-Analysis Value Relationship in Stream Sediments of Kızıltepe (Sındırgı-Balıkesir) Gold Mineralization*

**Özkan AYGÜN ve Ali Rıza ÇOLAKOĞLU**

*Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 65080-Van  
(ozkan\_aygun62@hotmail.com)*

### ÖZ

Kızıltepe altın cevherleşmesi Balıkesir'in Sındırgı ilçesine bağlı Yusufçam Köyü'nün iki kilometre doğusunda yer alır. İnceleme alanındaki cevherleşmenin yakın çevresini riyodasit, riyolitik tuff/ignimbirit ve alüvyondan oluşan litolojik birimler oluşturmaktadır. Bu birimler içinde KB-GD yönünde uzanan kuvars damarları bulunmaktadır. Yüzeide gözlenen kuvars damarlarının kalınlıkları 50 cm ile 4 m arasında değişmektedir. Çalışma alanında bulunan kuvars damarlarında tarak (comb texture), kolloform/kabuksu, masif kristalen, masif kalsedonik ve boşluklu (vugy texture) dokular gözlenir. Altın kuvars damarları içerisinde saçınımlar halinde bulunur. Silisleşme, killeşme ve propilitleşme inceleme alanında gözlenen alterasyon türleridir. Alterasyon tipleri, kuvars damarlarında gözlenen dokusal özellikler ve Au zenginleşmesi, Kızıltepe sahasının volkanik yan kayaçlı epitermal bir altın cevherleşmesi olduğuna işaret etmektedir.

Bu çalışma Kızıltepe sahasının 28 ayrı noktasından sistematik olarak alınan dere sedimanı örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Aynı noktadaki örnekler 3 ayrı tane fraksiyonuna ayrılmış (2mm-500 mikron; 500-177 mikron ve <177 mikron) ayrıca bate yöntemi kullanılarak elde edilen toplam 4 farklı tane boyutu analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre 2mm > x > 500 mikron tane boyutuna sahip örneklerde ortalama 2.7 ppb, 500 mikron > x > 177 mikron tane boyutuna sahip örneklerde ortalama 3.7 ppb, 177 mikron > x tane boyutuna sahip örneklerde ortalama 14.6 ppb ve bate yönteminde ortalama 4.6 ppb Au değerleri saptanmıştır. En yüksek altın değeri ve en yüksek ortalama altın değeri 177 mikron > x tane boyutuna sahip örneklerden elde edilmiştir. Bu bölgedeki çalışmada tane boyutu ile Au anomalileri arasında ters bir orantı olduğu saptanmış olup tane boyutu küçüldükçe serbestleşmeye bağlı olarak Au anomali değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Ayrıca Bate yönteminin de altın analizleri için uygulanabilir bir yöntem olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Balıkesir, Epitermal altın, Dere sedimanı, Tane boyutu

### ABSTRACT

*Kızıltepe gold mineralization is located at 2 kilometers east of Yusufçam village at Sındırgı town in Balıkesir. The lithological units of the investigated area are composed of riyodacite, riyolitic tuff/ignimbrite and alluvium. Quartz veins extent towards to NW-SE directions in these units. The thickness of the quartz veins vary from 50 cm to 4 m on the surface. Comb, colloform/crustiform, lattice bladed, massive crystalline, massive chalcedonic and vugs are the characteristic textures in the quartz veins. Gold exists as disseminated within quartz veins. Silicification, argillization and propylitisation are characteristic alteration types in the study area. Alteration types, textures and gold enrichment in the quartz veins indicate that the Kızıltepe area is similar to volcanic hosted epithermal gold mineralization.*

*This study was conducted on the stream sediment samples that collected from 28 different sites of Kızıltepe area. These samples were classified to three different fraction size (2mm-500 micrometer, 500-177 micrometer and <177 micrometer). Additionally in order to prepare the fourth fraction from the same point sample the bathe technique was used and all analyzed. The average gold values for each size fraction were determined as 2.7, 3.7 and 14.6 ppb respectively. The average value for the bathe technique was found as 4.6 ppb. The maximum and the highest average of the gold content were obtained from the sub 177 micrometer fraction. In this study area, as the particles get smaller the liberation degree increases, therefore it is found that there is an reverse relationship between the gold values and the particle size. Additionally bate technique is an appropriate methodology for stream sediment sampling on basis of the fraction size.*

**Keywords:** *Balıkesir, Epithermal gold, Stream sediment, Grain size*

## Koçali Karmaşığı İçerisindeki Taşınmış Kıbrıs Tipi Masif-Sülfid (Cu) Cevherleşmelerine Yeni Bir Örnek: Ormanbaşı Tepe (Sincik-Adıyaman) Cevherleşmeleri

*A New Example of Allochthonous Cyprus Type Massive-Sulphide (Cu) Mineralizations In Koçali Complex: Ormanbaşı Tepe (Sincik-Adıyaman) Mineralizations*

**Nail YILDIRIM<sup>1</sup>, Yunus AY<sup>1</sup>, Ali AYDIN<sup>1</sup>, Muhittin YİĞMATEPE<sup>1</sup>, Bülent KALI<sup>1</sup>, Esra YILDIRIM<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>MTA Orta Anadolu 4. Bölge Müdürlüğü,  
<sup>2</sup>Fırat Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü  
nailyildirim@gmail.com

### ÖZ

İncelenen cevherleşmeler Sincik (Adıyaman)'ın yaklaşık 15 km güneydoğusunda, Ormanbaşı Tepe mevkiinde yer almaktadır. İnceleme alanı Güney Doğu Anadolu Bindirme Kuşağı ile Toros Orojenik Kuşağı içerisinde bulunmaktadır. Cevherleşme alanında görülen litoloji toplulukları; Paleozoyik yaşlı Pütürge Metamorfitleri, Jura-Alt Kretase yaşlı Koçali Karmaşığı, Alt Miyosen yaşlı Çüngüş ve Lice Formasyonları ile yine Alt Miyosen yaşlı Fırat Formasyonu'dur. Birimlerin birbirleriyle olan ilişkileri tektoniktir.

GDAB Kuşağında bulunan cevherleşme alanı içerisinde, birçok formasyonun tektonik olarak bir arada bulunmasına karşın, cevherleşmeler sadece Koçali Karmaşığı içerisinde izlenmektedir. Koçali Karmaşığı oluşum itibariyle; Neotetis'in güneydeki bir kolu olarak kabul edilmekte ve Üst Kretase sonunda kuzeye doğru bir yitimle bu okyanusun kapanıp dilimlenerek allokton kütleler halinde Kastel havzasına taşındığı belirtilmektedir (Sungurlu,1974; Şengör ve Yılmaz 1983; Yazgan ve Chessex 1991). İnceleme alanı ve çevresinde temeli oluşturan Koçali Karmaşığı, Ormanbaşı Tepe civarında ekaylanıp Çüngüş ve Lice Formasyonlarının üzerinde yer almaktadır. Karmaşık; spilit, diyabaz, radyolarit, çamurtaşı, kiltası, şeyl ve serpantin ile temsil olunmasına karşın yer yer Çüngüş ve Lice Formasyonlarına ait gereçleride içermektedir.

Yöredeki cevherleşmeler Koçali Karmaşığı içerisinde K40°D/20°KB konumlu olup, çamurtaşı, diyabaz, spilit ile kiltası-şeyllerin içerisinde taşınmış merceğimsi ve tabakamsı şekillerde yer almaktadırlar. Cevherleşmeler genelde masif olup, yer yer ağsı ve saçınımlı olarak da izlenmektedir. Özellikle yüzeyde limonitleşme, hematitleşme, killeşme ve demir şapka (gossan) şeklinde görülürken, MTA tarafından 2006-2007 yılları içerisinde yapılan sondaj çalışmalarında; yüzeydeki demir şapkaların altında piritli cevher kabuğunun bulunduğu (1-5 m kalınlığında kalkopirit saçınım ve damarcıklı masif piritli seviye), daha derinlerde ise saçınım-ağsal pirit-kalkopiritli diyabaz breşlerinin yer aldığı görülmüştür. Yine sondaj numunelerinden alınan paleontoloji örneklerinde Geç Triyas-Geç Kretase yaşı alınmıştır. Ayrıca Koçali Karmaşığı içerisinde, okyanusal ortamları karakterize eden bakırlı mangan nodülleri de izlenmektedir.

Cevherleşmeler mineralojik olarak; pirit, markazit, kalkopirit, bornit, sfalerit ve kromitten oluşmaktadır. Örneklerde pirit baskınken, kalkopirit ve sfalerite daha az rastlanılmıştır. Pirit genellikle özşekilli ve düzgün kenarlıyken; kalkopirit ve sfalerit, pirit tanelerinin arasını dolduran matriks şeklinde izlenmektedir. Masif piritli seviyelere ait jeokimyasal analizlerde Co:Ni oranlarının 1'in üzerinde olması da hidrotermal piritlerin karakteristik özelliklerinden olup, masif-sülfid yataklarının oluşumunda hidrotermal süreçlerin oldukça etkili olduğunu göstermektedir (Güleç ve Erler,1983). Cevherleşmeler dokusal olarak incelendiğinde, düşük sıcaklıkta gelişen ve masif-sülfid yataklarına özgü kolloidal, özşekilli-yarı özşekilli ve kataklastik dokular gözlenmiştir. Cevherleşmelerin etrafındaki yan kayalarda kloritleşme, karbonatlaşma, silisleşme, limonitleşme, hematitleşme ve epidotlaşma gibi alterasyonlar izlenmektedir. Bu alterasyon türleri deniz tabanı volkanitlerinde de sıkça görülmektedir. Ormanbaşı Tepe mevkiinde yapılan yarma ve sondaj örneklerine ait jeokimyasal analizlerde Au-Ag-Cu-Zn elementlerinin ulaştığı en yüksek değer sırasıyla 3480 ppb, 10,7 ppm, % 3,9, % 2,8 şeklindedir. Cevherleşmelere ait tüm jeokimyasal analiz sonuçları

değerlendirildiğinde buradaki cevherleşmelerin özellikle Cu açısından önemli olabileceği görülmüştür. Yapılan analizlerde, masif piritli seviyede ortalama % 2 Cu, limonitli-hematitli seviyelerde ortalama % 0,3 Cu değerleri görülmektedir.

Sonuç olarak Ormanbaşı Tepe cevherleşmeleri Koçali Karmaşığı içerisinde yer almakta ve Güneydoğu Anadolu Bindirme Kuşağı üzerinde bulunan Kıbrıs Tipi Masif-Sülfid yataklarının genel özelliklerini göstermektedir. Bu veriler ışığında Ormanbaşı Tepe'deki cevherleşmelerin; özellikle Derdere (Çüngüş) cevherleşmelerinde (Şaşmaz ve diğ.,1991) olduğu gibi Taşınmış Kıbrıs Tipi Masif-Sülfid (Cu) cevherleşmeleri olduğu düşünülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Koçali Karmaşığı, Kıbrıs tipi yataklar, masif pirit, kalkopirit, Sincik.

### ABSTRACT

*The studied mineralizations are situated at Ormanbaşı Tepe, 15 km southeast of Sincik (Adıyaman). The investigated area is located in South East Anatolia Thrust Zone and Taurus Orogenic Belt. The lithological units outcrop in the mineralization area are; Paleozoic Pütürge Metamorphics, Jurassic-Lower Cretaceous Koçali Complex, Lower Miocene Çüngüş and Lice Formations and Lower Miocene Fırat Formation. The relation between these units are tectonic.*

*The mineralizations are confined in the Koçali Complex only. Koçali Complex was formed as follows; during the end of Upper Cretaceous a South to North subduction commenced, Neotethis ocean closed and the allochthonous bodies moved to Kastel Basin (Sungurlu, 1974; Şengör ve Yılmaz, 1983; Yazgan ve Chessex, 1991). Koçali Complex, the most lower unit of the study area, thrusts over the Çüngüş and Lice Formations near Ormanbaşı Tepe. Although Koçali Komplex is represented by spilite, diabase, radiolarite, mudstone, claystone, shale and serpentinite, in places it include the materials belong to Çüngüş and Lice Formations.*

*The mineralizations are placed within the Koçali Complex. The position of ore is N 40 E/ 20 NW. The mineralization bodies are either lense shaped or stratiform allochthonous within the mudstone, diabase, spilite and claystone-shales. Mineralizations are generally massive, sometimes stockwork and disseminated. The observed ores out crop as hematization, limonite alteration, argilic alteration and iron crete. Drilling studies made by MTA at 2006-2007. In this studies ore shell containing pyrite (1-5 m thickness) at surface under the iron crete and at deep disseminated-stockwork diabase breccia with pyrite-chalcopyrite observed. Late Triassic-Late Cretaceous age was given on the basis of paleontological data taken from drilling samples. Besides, cupreous manganese nodules, characterize oceanic enviroment, outcrop in the clayey parts of Koçali Complex.*

*The observed ore minerals are; pyrite, marcasite, chalcopyrite, sphalerite, bornite and chromite. Pyrite is the dominant sample. Pyrite generally idiomorphic but chalcopyrite and sphalerite observed as a martix between the pyrite grains. In geochemical analyses of massive pyritic parts, the ration of Co/Ni is over 1. It is the characteristics of hydrothermal proceses in forming massive sulphide deposits (Güleç and Erler, 1983). Colloidal, idiomorphic-subidiomorphic and cataclastic textures observed in mineralizations. Chloritization, carbonatization, silisification, hematization, limonite and epidote alterations observed in wall rocks near mineralizations. These alteration types usually seen in seafloor volcanics. In geochemical analyses of the drilling samples of Ormanbaşı Tepe the maximum value of Au-Ag-Cu-Zn are in order; 3480 ppb, 7,8 ppm, , %3.9, %2.7. Analysis indicate that the mineralizations in there are important for especially Cu. Copper contents of massive pyritic zone is, % 2 and at hematite-limonite zone it is %0.3.*

*As a result, the Ormanbaşı Tepe mineralizations take place in Koçali Complex and exhibit the general features of cyprus type massive sulphide deposits, so it was tought that the mineralizations are cyprus type massive sulphide copper mineralizations as Derdere (Çüngüş) mineralizations (Şaşmaz and etc.,1991) especially .*

**Key words:** Koçali Complex, Cyprus Type deposits, Chalcopyrite, massive pyrite, Sincik.

## Hasançelebi-Hekimhan (Malatya) Demir Oksit-(+Cu ±Au) Cevherleşmelerinin Alterasyon Mineralojisi ve Jeokimyası

*Alteration Mineralogy and Geochemistry in Hasançelebi-Hekimhan (Malatya) Iron-oxide-(+Cu ±Au) Mineralisations.*

**Erkan YILMAZER<sup>(1)</sup>, Gökhan DEMİRELA<sup>(2)</sup>, İlkyay KUŞCU<sup>(3)</sup>, Gonca GENÇALIOĞLU KUŞCU<sup>(3)</sup>, Nilgün GÜLEÇ<sup>(1)</sup> ve Nuretdin KAYMAKÇI<sup>(1)</sup>**

<sup>1</sup>Jeoloji Mühendisliği Bölümü, ODTÜ, ANKARA erkanyil@metu.edu.tr

<sup>2</sup>Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara Üniversitesi, ANKARA

<sup>3</sup>Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Muğla Üniversitesi, KÖTEKLİ-MUĞLA

### ÖZ

Bu çalışma, kimyasal değişimlere uğramış orijinal kayaç (protolit) bileşiminin, alterasyon türleri ve alterasyon süreçlerinin ve protolitlerde meydana gelen kimyasal değişimlerin kütle transfer tekniği ile ifade edilmesi ile ilgilidir. Hekimhan-Hasançelebi cevherleşmeleri ile ilişkili magmatik ve altere kayaçlar üzerinde yapılan jeokimyasal çalışmalar, alterasyon zonlarının Na-metazomatizması sırasında, çözeltiler tarafından yan kayaçlara Na eklenmesinin yanı sıra, kayaçtan Fe, K, Cu, Mg gibi elementlerin yıkandığını göstermiştir. Özellikle Fe-oksit-Cu-Au cevherleşme bölgelerinde yapılan çalışmalar (Oliver ve diğ., 1994; Williams, 1994; Rotherdam, 1997), bu bölgelerde etkili olan yaygın Na-Ca metazomatizmasının, kayaçların Fe elementi bakımından fakirleşmesi veya hidrotermal çözeltilerin Fe ve K açısından zenginleşmesi ile sonuçlandığını ve Na-Ca metazomatizmanın peşi sıra Fe ve K metazomatizmasının olması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle, Hasançelebi'deki skapolit damarlarını ornatın veya kesen filogopitler ve granat mineral oluşumları bu olaylarla ilişkili olmalıdır.

Alterasyon zonları, içerisine yerleştiği kayaca göre endojen ve ekzojen zonlar olarak ayrılmıştır. Endojen zonlar siyenitik kayaç içerisinde gözlenen alterasyonları, ekzojen zonlar ise trakitik kayaçlar içerisindeki alterasyon zonlarını ifade eder. Endojen zonlarda, skapolit ve albit gibi Na bakımından zengin parajenezlerin masif kayaçlar oluşturacak şekilde siyenitik kayaçları metazomatize etmesine rağmen, taze siyenitik kayaçlara göre Na<sub>2</sub>O bileşeni fazla bir zenginleşme göstermemektedir. Bunun iki açıklaması olabilir; (i) Na-metazomatizması sırasında varolan Na'lu mineraller (örneğin albit) skapolitlere dönüşmüş olabilir veya (ii) siyenitik magmadan sağlanan hidrotermal akışkanlar, magmanın bölgeye sokulumu sırasında halihazırda sogumuş olan çeper içinde veya çatlak-kırık zonları boyunca dolaşarak siyenitik kayaçları metazomatizmaya uğratmış olabilir. Her iki durumda da Na-metazomatizmasının otometazomatik süreçlerle siyenitik magmadan sağlanmış çözeltilerle oluşma olasılığı öne çıkmaktadır. Filogopitli zonlar, skapolitli zonlara göre TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Sr ve Y açısından zenginleşirken SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Eu, Nb, Nd ve Zr açısından fakirleşmiştir. TiO<sub>2</sub> açısından zenginleşme hem titanit oluşumları hem de manyetit ile birlikte görülen ilmenit eksolüsyonlarının bir sonucudur. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve MgO açısından zenginleşme bu zondaki demiroksit cevherleşmeleri ve filogopit (Mg- mika) oluşumları ile ilgilidir. Demiroksit cevherleşmeleriyle eşoluşumlu kalsit cep ve damarcıkları, filogopitli zondadaki CaO artışı ile sonuçlanmıştır. Na<sub>2</sub>O açısından çok belirgin olmasa da bir fakirleşme gözlenmesi, skapolitlerin filogopitler tarafından ornatılmasıyla açıklanmaktadır. Ancak bu zon içinde filogopit ve skapolit minerallerinin birlikte bulunması fakirleşme oranının çok belirgin olmamasıyla sonuçlanmıştır.

Ekzojen zonlarda, skapolit-aktinolit-filogopit-manyetit içeren alterasyon zonu orijinal trakitik kayaçlara göre TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, Sr ve Zr bileşenleri açısından (1.5-21 kat arasında değişen oranlarda) zenginleşirken, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, Eu, Nb, Y ve Nd bileşenleri açısından da (1-7 kat arasında değişen oranlarda) fakirleşmiştir. Na<sub>2</sub>O haricinde diğer tüm bileşenler birbirlerine benzer oranlarda (1.3-3 kat) artış



göstermektedir. Na<sub>2</sub>O bileşenindeki (yaklaşık .... kata varan) bu artış, bu zonun ayırtman parajenezi olan aktinolit ve skapolitten kaynaklanmaktadır. Ancak, siyenitik kayalarındaki Na<sub>2</sub>O artışının aksine trakitik kayalarda çok yüksek oranlarda Na<sub>2</sub>O artışı olması, ekzojen zondaki sodyumun (otometazomatik süreçlerin yanısıra) baskın olarak dışardan sağlandığını göstermektedir. Bu nedenle siyenitik intrüzyonlar sırasında hem siyenitik magmadan hem de yan kayalardan sağlanan çözeltilerin ekzojen zon oluşumunda etkili olduğu düşünülmektedir. Filogopit-manyetit-hematit-serizit içeren alterasyon zonunda zenginleşme en fazla Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (yaklaşık 20 kat), fakirleşme ise en fazla Na<sub>2</sub>O (yaklaşık 50 kat) bileşenlerinde tespit edilmiştir. Dolayısıyla, bu zonun oluşumu sırasında tüm sodik mineral topluluklarının silindiğini ve alterasyona uğradığını söylemek mümkündür. Eu ve Nd gibi REE ve Nb ve Y gibi HFS elementlerinde orijinal siyenit bileşimine göre 1.5-55 kat artma gözlenirken, (Eu ve Nd harici) REE elementlerinin tamamının skapolitli zonlara göre 1-2 kat azaldığı gözlenmiştir. Bu da REE'nin filogopitli zonlar oluşurken mobil olduğunu göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Hekimhan-Hasançelebi, sodik alterasyon, kütle transferi, jeokimya

### ABSTRACT

*This study is related to the understanding of alteration process, chemical composition and volume changes of original host rocks by using mass transfer technique. Geochemical studies carried out in magmatic and metazomatized rocks of Hekimhan-Hasançelebi mineralizations reveal the addition of Na to the syenitic rocks accompanied the loss of the Fe, Cu, K, Mg. The studies in the Fe-Oxide-Cu-Au deposits (Oliver ve diğ., 1994; Williams, 1994; Rotherdam, 1997) point out that Na-Ca metasomatism results in the impoverishment of Fe in wall rock or enrichment of Fe and K in hydrothermal fluids, leading to Fe and K metasomatism following the Na-Ca alteration. Similarly, alkali metasomatism seen in Hasançelebi-Hekimhan mineralizations is followed by K and Fe metasomatism. Scapolite veins cut by phlogopite and garnet mineral occurrences are therefore believed to be related to this process. Based on their location (in the host or wall rock), 2 groups of alteration zones are distinguished as endogene and exogene. Endogene zone represents the alterations seen in the syenitic rocks, while exogene zone implies those within the trachitic rocks. Although Na-related parageneses like scapolite and albite replace the whole rock as patches, Na content of altered rocks shows only slight enrichment relative to fresh syenitic rocks. This can be explained by either i) transformation of Na-bearing minerals into the scapolite, or ii) circulation of fluids derived from syenitic magma along fractures and joints in cooler-outer part of intrusion. Both cases probably imply that Na-metasomatism results from the fluids derived from the syenitic magma. Phlogopite zone is more enriched in TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Sr and Y, while depleted in SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Eu, Nb, Nd and Zr, compared to the scapolite zone. TiO<sub>2</sub> enrichment in the phlogopite zone is due to sphene occurrences and ilmenite exsolution, while Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and MgO enrichment is related to the Fe-oxide and phlogopite (Mg-mica) occurrences. Calcite patches and veins seem to have caused the CaO enrichment in phlogopite zone, while Na<sub>2</sub>O depletion is explained by replacement of scapolite by phlogopite. Depletion of Na<sub>2</sub>O in phlogopite zone is in small amounts relative to scapolite zone, and this can be explained by the coexistence of scapolite and phlogopite. In the exogene zone, scapolite-actinolite-phlogopite-magnetite alteration zone shows enrichment in TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, Sr and Zr (1.5-21 times), while depletion in Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, Eu, Nb, Y ve Nd (1-7 times). All the constituents except Na<sub>2</sub>O show enrichment in similar proportions (1,3-3 times). The enrichment in Na<sub>2</sub>O results from actinolite and scapolite characterising the scapolite-actinolite-phlogopite-magnetite alteration zone. Unlike the slight Na<sub>2</sub>O enrichment in the syenitic rocks, considerably high Na<sub>2</sub>O enrichment in the trachytic rocks implies that the exogene zone is metazomatized not only by the fluids derived from intrusion (autometasomatism), but also by the fluids derived from external source. Consequently, fluids originated from both syenitic magma and wall rocks give rise to formation of exogene zone at the time of intrusion.*

*Maximum enrichment in phlogopite-magnetite-hematite-sericite zone is determined in Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (approximately 20 times), while depletion is in Na<sub>2</sub>O (approximately 50 times) suggesting the disappearance of sodic mineral paragenesis during phlogopite-magnetite-hematite-sericite zone formation. Compared to the fresh syenitic rock, Eu, Nd (REE) and Nb, Y (HFS elements) in alteration zones are enriched up to 55 times, while (the rest of) REE are depleted (by a factor of about 2), indicating that REE were mobile during phlogopite formation.*

**Key words:** Hekimhan-Hasançelebi, sodic alteration, mass transfer, geochemistry

## Yeniden Keşfedilen Bir Roma Altın Madeni; Bahçedere (Ayvacık-Çanakkale) Sahasına Ait Arkeojeolojik Veriler

*Rediscovered Roman Gold Mine; Archaeogeological Findings of the Bahcedere (Ayvacik-Canakkale) Area*

**Selahattin YILDIRIM**

*selahattin@hititmadencilik.com*

### ÖZ

Çanakkale yöresinde, 2006 yılında yeniden keşfedilen eski (Roma) altın madeni, Küçükkuşu (eski adı Gargara) kasabasının 6 km kuzeyinde bulunan Bahçedere köyünün 1 km kuzeybatısındadır. Bu çalışma sahanın maden ruhsat sahibi olan Global Madencilik Ltd. Şti. adına yapılmıştır.

Sahada Üst Kretase yaşlı Çetmi Ofiyolitli Melanjı yüzeyler. Ofiyolitli Melanj, ilksel ilişkileri ve dokanıkları bozulmuş spilit, diyabaz, gabro ve kireçtaşı türü kayalardan oluşan, karışık bir kaya topluluğudur. Ofiyolitli Melanj içerisinde blok durumdaki Triyas yaşlı kireçtaşlarının boyutları birkaç metreden 1 km<sup>2</sup>'ye kadar değişmektedir. Au cevherleşmesi de genellikle bu kireçtaşı blokları içerisinde yer almaktadır.

Kireçtaşı içerisinde genellikle BKB-DGD doğrultulu hatlar boyunca alterasyon zonları gözlenmektedir. Alterasyonlar silisleşme, limonitleşme, hematitleşme, ankeritleşme, karbonatlaşma, manganlaşma şeklindedir. Eski işletmeler sonucunda izleri silinmiş olduğundan, yüzeyde belirgin olarak tanımlanabilecek bir cevherli zon gözlenmemektedir. Ancak, eski madencilerin silisleşme, limonitleşme ve hematitleşme zonlarını izleyerek cevheri aradıkları söylenebilir.

Eski işletmeye ait ocak, galeri, pasa ve oluklu taşlar 1 km<sup>2</sup> genişliğinde bir alan içerisinde dağınık haldedir. Sahada eski madencilığe ait 30 civarında ocak ve galeri belirlenmiştir. Doğal olmayan bazı çukurluklar eski işletmeye ait açık ocak olarak tanımlanmıştır. Bazı galeriler de açık ocakların içinden (taban) derine doğru desandre şeklinde sürülmüştür. Girilebilen galerilerden en uzun ve derin olanı Sarmaşıklı Galerisi (G-12) olup, bu galerinin anakol uzunluğu 150 m, girişe göre son nokta derinliği 66 metredir. Sarmaşıklı Galerisinin 35 m GD'sunda olan başka bir galerinin (G-9) anakol uzunluğu 65 m ve girişe göre son nokta derinliği 30 metredir.

Galerilerin duvarı, daha sonraki dönemde, yüzey sularının etkisiyle, karst oluşumuna özgü (sarkıt, dikit, duvar damlataşı ve sütunlar) yapılarla sıvanmıştır. Bu nedenle cevherleşmeye ilişkin veriler belirgin olarak izlenmemektedir. Girilebilen birkaç galerinin yüzeye yakın kesimlerinde silis-karbonat damarcıkları, alt kotlarda hematit-limonit-silis damarcıkları ve daha alt kotlarda kalkopirit-pirit-malakit-hematit-silis damarcıkları izlenir.

Galerilerden çıkartılan 1-20 cm arası boyutlu hematit-götit-limonit parçaları sahanın değişik kesimlerinde döküntü veya 3-10 m arası çaplı stoklar (yığın) halinde görülmektedir. Demir şapkalara (gossan) benzer mineraloji, yapı ve doku gösteren bu parçalar, genellikle boşluklu ve gözeneklidir.

Bazı eski altın madenlerinde belirlenen ve "oluklu taş" olarak adlandırılan (Yıldırım, 2000; Yıldırım ve diğ., 2005a; 2005b) taşlardan bu sahada da bulunmuştur. Sarmaşıklı Galerinin 60 m GGD'sunda görülen 10 kadar "oluklu taş" sahanın eski bir altın işletmesi olabileceği konusunda önemli bir veri olarak göz önüne alınmıştır.

Yüzeyledeki silis damarcıklı zonlardan alınan örneklerde Au değerleri çok düşük olup, en yüksek Au değeri 0.062 ppm'dir (OK.14). Ancak, galerilerden çıkartılan ve pasa olarak yüzeye atılan hematit-limonit-pirit örneğinde (OK.28) 12.10 ppm Au ve 4.01 ppm Ag; galeri içinden alınan hematit-götit örneğinde (OK.29D) 8.48 ppm Au, 65.90 ppm Ag ve %1.68 Pb; galenit örneği (OK.29A) 3.34 ppm Au, 1875 ppm Ag ve %25 Pb; kalkopirit-pirit-malakit-hematit-limonit-silis örneğinde (OK.30B) 0.012 ppm Au, 0.90 ppm Ag, %2.83 Cu, %2.54 Zn değerleri saptanmıştır.

Alterasyon, cevher mineralojisi ve analiz sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, sahadaki asıl cevherleşmenin polimetalik (Cu-Pb-Zn-Au-Ag) damarlar şeklinde olduğu, oksidasyon koşullarında ise hematit-götit-limonit zonlarında Au ve Ag'nin zenginleştiği anlaşılmaktadır. Daha derinde, spilit-kireçtaşı dokanağında, skarn tipi Cu-Pb-Zn cevherleşmesi bulunma olasılığı da yüksektir.

G-9 Galerisinin en dip kesiminden alınan odunkömürü örneği Polonya'daki bir laboratuvarında (Silesian University of Technology, Radiocarbon Laboratory Institute of Physics) ve Sıvı Işınım Sayımı (Liquid Scintillation Counting: LSC) yöntemiyle analiz edilmiştir. Bu örneğin radyokarbon ( $^{14}\text{C}$ ) analizi  $1650 \pm 55$  yıl yaşını vermektedir.

Radyokarbon analizinin %95 güvenle kalibre edilmiş yaş aralığı MS.260-530 arasındaki bir zamanı belirlemektedir ki, bu zaman dilimi Roma İmparatorluğunun (MÖ.30-MS.395) sonu ile Bizans İmparatorluğunun (MS.330-1453) kuruluşu arasındaki bir döneme denk gelmektedir. Ancak, belirlenen bu tarih, sahadaki madencilik başlangıç veya sonuna değil, herhangi bir evresine işaret etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** altın madeni, Roma, arkeojeoloji, radyokarbon.

### ABSTARCT

*Ancient (Roman) Gold mine rediscovered in 2006 in Canakkale region is located in the NW of Bahcedere village situating at the 6 km North of Kucukkuyu (ancient name is Gargara) County. This study was supported by the Global Mining Company and mining license of this area is also belonging to this company.*

*In the study area, Upper Cretaceous Cetmi ophiolitic mélangé which has a complex rock assemblage crops out. Ophiolitic mélangé comprises spilité, diabase, gabbro and limestone. Triassic age limestone in the ophiolitic mélangé is observed as blocks ranging from a few meters to 1 km in diameter. Au mineralization generally occurs in these limestone blocks.*

*The alteration zones observed in the limestone are mainly occurred along the WNW-ESE-trend. Mineralization zone is not clearly seen on the surface due to ancient mining activities in the area. But, it can be thought that the ore body explored by ancient miners was found by following the silicified, limonitized and hematitized zones.*

*The pits, galleries, dumps and grooved stones belonging to ancient mining are dispersed within a 1 km<sup>2</sup> area. At about 30 pits and galleries related to ancient mining were determined in the area. Some hollows were defined as open pits. Some galleries were driven as an inclined shaft from the base floor of open pit. Sarmasikli is the longest gallery within the galleries that can be entered. The length of main gallery and the end-point depth is 150 m and 66 m, respectively. The length of other main gallery located 35 m SE of Sarmasikli gallery is 65 and its end-point depth relative to the entrance is 30 m.*

*Karstic formations such as stalactite, stalagmite, and column structures have been formed as staining at the gallery wall due to effects of surface water. Thus, the data related to mineralization cannot be clearly seen. The silica-carbonate veinlets generally develop at the near surface levels of the galleries, whereas hematite-limonite-silica veinlets and chalcopryrite-pyrite-malachite-hematite-silica veinlets occur at the lower levels of the galleries.*

*Hematite-goethite-limonite fragments exploited from the galleries, with dimensions ranging from 1-20 cm, are observed as waste/stocks with the diameters varying between 3-10 m. These fragments which have similar mineralogical, textural and structural features like gossan are generally porous*

*The grooved stones, first defined by Yildirim, 2000; Yildirim et al., (2005a, 2005b), which is found in some ancient Au mines, are also found in this area. Because of the presence of grooved stones at the 60 m SSE of the Sarmasikli gallery, the area is considered to be an ancient gold mine.*

*Au values of the samples from the silica veinlets on the surface are very low; the maximum Au value of this veinlet is 0.062 ppm (OK. 14). But, Au and Ag values of the hematite-limonite-pyrite sample (OK.28) from the waste/stock exploited from the gallery are 12.10 ppm and 4.01 ppm, respectively. The Au, Ag, and Pb values of hematite-goethite sample (OK.29D) from the gallery are 8.48 ppm, 65.90 ppm, and % 1.68, respectively. The Au, Ag, and Pb values of galena sample (OK.29A) are 3.34 ppm, 1875 ppm, and % 25 Pb, respectively. Au, Ag, Cu and Zn values of chalcopyrite-pyrite-malachite-hematite-limonite-silica sample (OK.30B) are as follows: 0.012 ppm Au, 0.90 ppm Ag, % 2.83 Cu and % 2.54 Zn.*

*When the alteration, ore mineralogy and analytical results are re-evaluated together, it is clearly appeared that the main mineralization in the study area occurs as polymetallic veins (Cu-Pb-Zn-Au-Ag). But the enrichment of Au and Ag generally develops at the hematite-goethite-limonite zones during the oxidation processes. At the depths, there is a possibility of the occurrence of scarn-type Cu-Pb-Zn mineralization at the spilite-limestone contact.*

*<sup>14</sup>C Radiocarbon analysis of charcoal sample from the lowermost part of the G-9 gallery was carried out at the Silesian University of Technology, Radiocarbon Laboratory Institute of Physics (Poland), was using a Liquid Scintillation Counting (LSC) technique. The <sup>14</sup>C composition of this sample yields 1650±55 age.*

*Radiocarbon age determination indicates a time interval between AD. 260 and 350 which demonstrate a period between the end of Roman Empire and the establishment of Byzantium Empire. But, this date points out any stages of mining activities in the area rather than the beginning or final stage of mining activities.*

**Keywords:** gold mine, Roman, archaeogeology, radiocarbon.

#### Değınilen Belgeler

- Yıldırım, S., 2000, Batı Anadolu Antikçağ altın madenleri: Mavi Gezegen Dergisi, JMO Yay., Sayı. 3, s. 4-10.  
 Yıldırım, S., Pehlivan, N., Tekin, Z., Altun, Y. ve Türkmen, H., 2005, Orta Anadolu'daki Eski Altın Madenlerine Ait Arkeojeolojik Bulgular: 58. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri Kitabı, JMO Yay., s. 86-87.  
 Yıldırım, S., Cengiz, İ., Kılıç, M., Avşar, M., Seyrek, U. ve Alpan, T., 2005, Batı Anadolu'daki Eski Altın Madenlerine Ait Arkeojeolojik Bulgular ve Bunların Önemi: 58. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri Kitabı, JMO Yay., s. 88-90.

## Akdağ-Karakeban (Divriği-Sivas) İntüzyonuna Bağlı Porfiri Mo ve Damar Tipi Au-Ag-Cu-Pb-Zn cevherleşmeler

*Porphyry Mo and Vein Type Au-Ag-Cu- Pb-Zn Mineralizations related to Akdağ- Karakeban ( Divriği- Sivas ) İntusion*

**Yunus AY, Abdullah KOÇAK, Ömer TURGUT, Abdurrahman TABLACI**

*\*MTA Orta Anadolu IV. Bölge Müdürlüğü/ Malatya*

*\*\*MTA Orta Anadolu I. Bölge Müdürlüğü/ Sivas*

*\*\*\*MTAGenel Müdürlüğü Maden Etüt Dairesi Başkanlığı/ ANKARA  
yunsay@hotmail.com*

### ÖZ

Akdağ-Karakeban porfiri tip Mo ve damar tip Au-Ag-Cu-Pb-Zn cevherleşmeleri, Sivas'ın Divriği İlçesi'nin 15 km kuzeydoğusunda yaklaşık 10 km çapındaki Karakeban intrüzyonu içerisinde oluşmuştur. Bölgedeki Fe yataklarının ve İliç Au yatağının oluşumunu sağlayan bu mağmatik kayalar Üst Kretase-Paleosen yaşlı olup, Divriği ve Kemaliye arasında yaygın olarak mostra vermektedir. Bölgedeki Fe oluşumları mağmatik kayalar ile karbonatlı kayalar dokanağında skarn olarak gelişirken, Karakeban intrüzyonunda ise porfiri ve damar tipi olarak izlenmektedir.

Bölgede Mesozoyik yaşlı kireçtaşı (Munzur Kireçtaşı) ve ofiyolitik (Divriği Ofiyoliti) kayalar temeli oluşturmaktadır. Bu iki birim tektonik ilişkili olup, Üst Kretase-Paleosen yaşlı mağmatik kayalar tarafından kesilmektedir. Bu birimler ise Üst Kretase ile Oligo- Miyosen yaşlı sedimanter kayalar tarafından örtülmektedir.

Akdağ porfiri Mo ve damar tipi Au-Ag- Cu- Pb-Zn cevherleşmeleri diyorit, granodiyorit, ve siyenit porfirlere bağlı olarak izlenmektedir. Mağmatik kayalarla kireçtaşı kontaklarında ise Si ve Mg metasomatizmasına bağlı silisifiye ve dolomitize zonlar oluşmuştur. Mağmatik kayaların Divriği Ofiyoliti'ni kestiği kontaklarda ise listvenitleşmeler izlenmektedir.

Alterasyon zonları kuzey-güney yönlü tektonik hatlar boyunca izlenmektedir. Bölgedeki en önemli alterasyon Karakeban-Düzağaç mevkiinde, kuzey-güney yönlü doğrultu boyunca 700-800 metre uzanımına sahip olup, 200-300 metre enindedir. Alterasyonun iç kesiminde potasik zon yer alırken, fillik alterasyon tarafından sarılmaktadır. Arjilik alterasyon ise ya dar alanlarda izlenmekte ya da hiç gelişmemiştir. Propilitik alterasyon ise daha dış zondaki diyoritler içerisinde gelişmiştir. Propilitik alterasyona maruz kalmış diyoritlerde, kalınlıkları 0.5-15 metre ile doğrultu boyunca uzanımları 10 m ile 1.5 km. kadar değişen boyutlarda yoğun hematitli, silisli, pirit-kalkopirit-galenit-sfalerit ve Ag 'ce zengin damarlar bulunmaktadır.

Yaygın biyotit alterasyonu ile karakterize olan potasik alterasyon içerisinde saçınımlı florit, molibden ve hematit damarcıkları izlenmektedir. Sondaj çalışmaları ile derine doğru potasik alterasyonun derecesinin arttığı ve biyotit damarcıklarının yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Yoğun kuvars-serisit-pirit alterasyonu ile karakterize olan fillik alterasyon ise alkali feldispat kuvars siyenitte etkili olmuştur. Fillik alterasyon zonunda stokworkler şeklinde, ender kalkopirit ve yoğun molibden ihtiva eden hematit-kalsit damar ve damarcıkları bulunmaktadır. Ayrıca saçınımlı olarak pirit ve molibden de mevcuttur. Serisit-silis-kil-klorit ile karakterize olan arjilik alterasyonunda ise damarcık ve sıvamalar şeklinde molibden bulunmaktadır. Değişik zonlardan alınan kayaç numunelerinde Au 1790 ppb, Ag 146 ppm, Pb>60000 ppm, Zn 19570 ppm, Cu 11010 ppm ve Sb için 7140 ppm'e kadar değerler elde edilmiştir.

Sistem bir bütün olarak ele alındığında iç zonlarda düşük tenörlü ve saçınımlı, dış zonlarda saçınım, sıvama, stokwork, damar ve damarcıklar, daha dış zonlarda ise yüksek tenörlü kalın zonlar, kontaklarda ise skarnlaşma meydana gelmiştir.

Akdağ-Karakeban (Divriği-Sivas) civarında magmatik kompleks içerisinde yer alan polimetal mineralizasyonu, cevherleşme şekli ve alterasyon zonlanması ile porfiri Mo cevherleşmeleri ile benzerlik sunmaktadır. Bu Plüton içerisinde benzer alterasyon ve mineralizasyonların olması ve alterasyonların boyutları dikkate alındığında sahada düşük tenörlü büyük rezervli bir Mo yatağının olabileceğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Porfiri Mo, Karakeban İntrüzyonu, Alterasyon

### ABSTRACT

*Akdağ-Karakeban porphyry type Mo and vein type Au – Ag – Cu – Pb – Zn mineralizations occur in Karakeban intrusion having diameter of almost 10 km, about 15 km northern east of Divriği county of Sivas City. İliç Au deposit and Fe deposits in the region are spatially and genetically associated with Upper Cretaceous – Paleocene magmatic rocks which crop out between Divriği and Kemalije towns. Fe mineralizations occurred as skarn type were developed along the contacts of magmatic and carbonate rocks whereas, porphyry and vein type mineralizations are concentrated in the Karakeban intrusion.*

*Munzur Limestone and Divriği Ophiolite units are the basement rocks of Mesozoic in the district. These units are tectonically related to each other and intruded by Upper Cretaceous - Paleocene magmatic rocks. All these units are covered by Upper Cretaceous – Oligo- Miocene sedimentary rocks.*

*Akdağ porphyry Mo and vein type Au – Ag – Cu – Pb – Zn mineralizations are intimately related to diorite, granodiorite and syenite porphyry. Silicified and dolomitized zones were formed as a result of Si and Mg metasomatism along the contact of magmatic rocks and limestone. Listvenitizations were developed along the contacts of magmatic rocks and ophiolite.*

*Alteration zones are observed along north-south trending tectonic lines. The most important alteration field is located at the Karakeban-Düzağaç province, achieving maximum north-south strike length of 800, and up to 300 m wide. Potassic alteration zone is placed in the inner part of the alteration field and surrounded by phyllic alteration zone. Argillic alteration is either less pervasive or absent. Propylitic alteration is developed in the outer zones in diorites. In diorites which underwent pervasive propylitic alteration, there are many pyrite-chalcopyrite-galenite-sphalerite and Ag-rich veins. Individual veins, 0,5 to 15 m thick, extend along strike 10 to 1,5 km and contain dense hematite and silica.*

*Disseminated fluorite, molybdenum and hematite veinlets are observed in potassic alteration zone characterized by pervasive biotite alteration. Intensity of potassic alteration and amount of biotite veinlets, defined by drill holes, tend to increase toward deep whereas, phyllic alteration characterized by dense quartz-sericite-pyrite alteration is developed in quartz-syenite. There are some stockwork type hematite-calcite vein and veinlets containing abundant molybdenum and rare chalcopyrite in phyllic alteration zone. In addition, disseminated pyrite and molybdenum are also present. Molybdenum veinlets and its coatings are found in the argillic alteration zone marked by sericite-silica- clay-chlorite alteration. 1790 ppb Au, 146 ppm Ag, >60.000 ppm Pb, 19.570 ppm Zn, 11.010 ppm Cu and up to 7140 ppm Sb values are determined in rock samples collected from various alteration zones.*

*Low grade and disseminated mineralizations were developed in the inner zones, stockwork, vein and veinlet mineralizations in the outer zones whereas, thick and high grade zones were developed in the outermost zones of the system, and skarns were developed along the contacts.*

*When hence its ore morphology ve alteration zoning are concerned, polymetallic mineralization in magmatic complex around Akdağ- Karakeban ( Divriği- Sivas ) is similar to porphyry Mo deposits, and also both presence of similar alterations and mineralizations in that intrusion and dimension of alteration indicates a low grade high tonnage Mo deposit in this field*

**Key Words:** *Porphyry Mo, Karakeban intrusion, alteration*

## Posterler

## Susurluk (Balıkesir) Cu-W Skarn Yataklarının Granat ve Piroksen Bileşimleri

*Garnet and Pyroxene Compositions of the Cu-W Skarn Deposits in Susurluk (Balıkesir)***Ayşe ORHAN, Halim MUTLU.***Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 26480, Eskişehir  
ayaltinok@hotmail.com*

## ÖZ

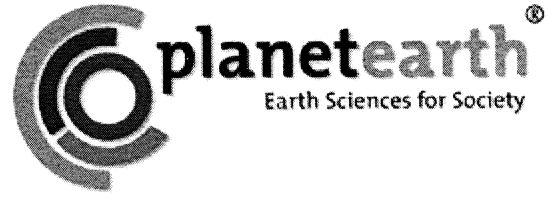
Granat ve piroksen skarn yataklarının en yaygın mineralleridir. Bu minerallerin kimyasal bileşimleri ile skarn yatağının metal içerikleri arasında sistematik bir ilişki söz konusudur. Susurluk (Balıkesir) doğusundaki Paleosen yaşlı Çataldağ Granitoyitinin Mesozoyik kireçtaşı ve mermer içine intrüzyonu sonucunda kontakt metamorfik bir zon oluşmuştur. Bu kuşak boyunca gelişmiş endo ve ekzoskarn zonlarında, granat-piroksen-vezüvyanit-vollastonit mineralleri şeklinde genel bir skarn zonlanması gözlenmektedir. Mineralojik incelemelerde, endoskarn zonlarının granat + klinopiroksen + plajiyoklaz (labrador) + vezüvyanit + vollastonit + sfen + kuvars ± skapolit (menionit) ± kalsit ve şeelit; kalsik ekzoskarn zonlarının ise granat + klinopiroksen + vezüvyanit + vollastonit + kalsit ± kuvars ± K-feldspat (ortoklaz) ± skapolit (menionit) ± sfen ± mika (biotit ve muskovit) ve kalkopirit + bornit + malahit + azurit şeklinde geliştiği belirlenmiştir. Endoskarn zonunda granat, ekzoskarn zonunda ise klinopiroksen yaygın olarak gözlenmiştir. Elektron mikroprob çalışmaları sonucunda, granatların endoskarn zonunda  $And_{14.91-75.88}Grs_{22.75-72.01}Prs_{0-13.08}$ , ekzoskarn zonunda ise  $And_{0.68-26.45}Grs_{72.10-91.16}Prs_{0-8.16}$ ; klinopiroksenlerin endoskarn zonunda  $Hed_{2.72-75.06}Diy_{24.27-96.19}Joh_{0-6.52}$  ekzoskarn zonunda ise  $Hed_{8.98-41.15}Diy_{58.85-85.00}Joh_{0-0.98}$  bileşimlerinde oldukları saptanmıştır. Uç bileşenler açısından incelendiğinde, granat ve klinopiroksen mineralleri Cu, Fe ve W skarn tipindedir. Yüksek andradit ( $Fe^{+3}$ ) ve düşük almandin ( $Fe^{+2}$ ) + spessartin ( $Mn^{+2}$ ) içerikleri ile granatlar oksitlenmiş skarna işaret etmektedir. Farklı skarn sistemleri için tanımlanan element oranlarına göre, klinopiroksenler  $Mn/Fe < 0.1$  ve  $0.1-0.2$  değerleri ile Cu-Fe ve W skarn özelliklerini taşımaktadır. Ayrıca, endoskarn zonlarında piroksen bolluğunun granattan düşük olması ve piroksen bileşiminin diyopsit-hedenberjit arasında seyretmesi oksitlenmiş W skarn varlığını yansıtmaktadır. Zonlu olarak gözlenen granatların çekirdek kısımları koyu renkte olup zonlardaki açık koyu bantlar ile farklı kimyasal bileşimlere sahiptir. Zonlardaki bu bantlaşma, etkin akışkan bileşimindeki değişiklikleri ve Fe/Al oranlarındaki dalgalanmaları yansıtmaktadır. Zonlu granat kristallerinde çekirdekten dışa doğru endo skarn zonunda andradit, ekzo skarn zonunda ise grossular bolluğu artmaktadır.

## ABSTRACT

*Garnet and pyroxene are the common minerals of skarn deposits. There is a systematic relation between the chemical compositions of these minerals and the metal contents of skarn deposits. In the eastern part of Susurluk (Balıkesir) area, the intrusion of Paleocene Çataldağ granitoid into the Mesozoic limestone and marble resulted in formation of a contact metamorphic zone. Along the endo and exo skarn zones developed along this belt, there is a general skarn zonation consisting of garnet-pyroxene-vesuvianite-wollastonite minerals. Mineralogical determinations show that endoskarns are composed of garnet + clinopyroxene + plagioclase (labradorite) + vesuvianite + wollastonite + sphene + quartz + scapolite (mineionite) ± calcite and scheelite and calcite exoskarns consist of garnet + clinopyroxene + vesuvianite + wollastonite + calcite ± quartz ± K-feldspar (orthoclase) ± scapolite (mineionite) ± sphene ± mica (biotite and muscovite) and chalcopyrite + bornite + malachite + azurite. Garnet and clinopyroxene are observed as common minerals in endo and exoskarns. Results of electron microprobe analysis yield that garnet in endo*



and exoskarns is represented by compositions of  $And_{14.91-75.88}Grs_{22.75-72.01}Prs_{0-13.08}$  and  $And_{0.68-26.45}Grs_{72.10-91.16}Prs_{0-8.16}$ , respectively. The composition of clinopyroxene in these zones is  $Hed_{2.72-75.06}Diy_{24.27-96.19}Joh_{0-6.52}$  and  $Hed_{8.98-41.15}Diy_{58.85-85.00}Joh_{0-0.98}$ , respectively. The end member compositions indicate that chemical compositions of garnet and clinopyroxene are of Cu, Fe and W type skarns. High andradite ( $Fe^{+3}$ ) and low almandine ( $Fe^{+2}$ ) + spessartine ( $Mn^{+2}$ ) contents of garnet indicate that skarns are oxidized. According to element ratios suggested for different skarn systems, clinopyroxene with  $Mn/Fe < 0.1$  and 0.1-0.2 values shows Cu-Fe and W skarn properties. In addition, given that the abundance of clinopyroxene is lower than that of garnet in endo skarns and pyroxene composition is between diopside and hedenbergite may indicate the existence of oxidized W skarns. The core of zoned garnet is dark colored and it displays a chemical composition different from those of light and dark rims. These rims reflect variations in active fluid composition and changes in the Fe/Al ratio. In the zoned garnet crystals, andradite abundance increases from core to the rim in the endoskarn zone while grossular is more abundant in the exoskarn zone.



---

## MAGMATİZMA OTURUMU

---

*MAGMATİZM SESSION*

### Oturum Yürütücüleri / Conveners

**Ercan ALDANMAZ**  
**Can GENÇ**

## Üçtepeler Volkanının (Ceyhan-Adana) Jeokimyasal Evrimi

*Geochemical Evolution of the Üçtepeler Volcano, Ceyhan-Adana, South Anatolia, Turkey*

**Musa ALPASLAN<sup>\*1</sup>, Robert FREI<sup>2</sup>, Mehmet Ali KURT<sup>1</sup>, Abidin TEMEL<sup>3</sup>**

1. Mersin Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Mersin
2. Kopenhag Üniversitesi Jeoloji Enstitüsü, Kopenhag-Danimarka
3. Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Beytepe-Ankara  
malpaslan@mersin.edu.tr

### ÖZ

Üçtepeler volkanı üç aşamalı bir gelişim göstermektedir. İlk aşamada maar oluşturan erüpsiyon sonucu düşük yükseltili bir krater gelişmiştir. Krater kenarlarında freato-magmatik sedimentler izlenmektedir. Bu aşamanın sonuna doğru piroklastikler ve az miktarda lav çıkışı gözlenmektedir. İkinci aşamada kraterin ortasında cüruf konisi gelişmiştir. Üçüncü aşamada ise cüruf koninin üzerinde yeni bir krater oluşturan erüpsiyonla çıkmış olan lav akıntıları izlenmektedir.

Her üç evreye ait ürünlerin jeokimyasal özellikleri ilk iki aşamanın basanitlerden üçüncü aşamanın ise alkali olivin bazaltlardan oluştuğunu göstermektedir. İz element karakteristikleri ilk iki aşamanın kendi içerisinde iki gruba ayrıldığını belirtmektedir. İlk grup Rb (Th, HREE) açısından tüketilmiş ve Sr açısından zenginleşmişken ikinci grup Rb' ca zenginleşmiş ve Sr açısından tüketilmiştir. Bu özellikler ilk iki evreye ait ürünlerde iki tane bileşimsel boşluğun varlığını vurgulamaktadır. Birinci evreye ait ürünlerde gözlenen bileşimsel boşluk ikinci evrede gözlenene göre daha büyüktür. Bileşimsel boşluktaki bu farklılıklar birinci ve ikinci evre ürünlerinin erüpsiyonu sırasında eriyiklerin magma odası içerisinde kalma süresi ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir.

Her üç evreye ait ürünlerin iz element ve Sr-Nd izotopik bileşimleri köken bölgenin St. Helen (HIMU) tipi bir köken olduğuna işaret etmektedir. Dinamik bölümsel ergime modelleri ilk evre basanitlerinin köken bölgenin %5' lik bir bölümsel ergime derecesiyle oluşan eriyiklerden, ikinci ve üçüncü evre ürünlerinin ise sırasıyla %6 ve %10' luk bir bölümsel ergime sonucu oluşan eriyiklerden türediklerini göstermektedir.

### ABSTRACT

*Üçtepeler volcano is characterized by three main phases of eruptive events. Early phase begins with the maar forming eruption which developed a broad low rim crater with phreatomagmatic sediments. Some minor explosive and effusive activity occurred at the end of this phase. Second phase is characterized by strombolian activity forming the cinder cone at the center of the maar crater. Third phase can be distinguished by an effusive activity and forms new crater at top of the cinder cone.*

*Geochemical characteristics of the first two phases are represented by basanites, and third phase is by alkaline olivine basalts. Trace element characteristics indicate that products of the first two phases can be grouped into two different compositional units within themselves, one of them is Rb (Th, HREE) depleted and Sr enriched unit, and the other one is Rb enriched and Sr depleted unit. This exhibits also existence of the two compositional gaps within the dataset of the products of first two phases. First compositional gap is larger than the second one. The extend of the compositional gaps can possibly be originated from the*

*differences of the residence time of the melts in the magma chamber during the eruptions of the first and second phases.*

*Trace elements and Sr-Nd isotopic compositions of the all three phases indicate the presence of the St. Helen-type (HIMU) magma source region. Dynamic partial melting modelling display that the first phase occurs by 5% partial melting of a common source region, whereas second and third phases have the 6% and 10% degree of partial melting, respectively.*

## Orta-Doğu Anadolu Bölgesinde arpışma Sonrası Alkalen Magmatizma: Hasançelebi Magmatikleri

*Post-Collisional Alkaline Magmatism in Central-Eastern Anatolia Region: Hasançelebi Magmatics*

**Gonca GENALİOĞLU KUŞCU<sup>(1)</sup>, İlkey KUŞCU<sup>(1)</sup>, Erkan YILMAZER<sup>(2)</sup>, Nilgün GÜLEÇ<sup>(2)</sup>,  
Gökhan DEMİRELA<sup>(3)</sup>, Nuretdin KAYMAKCI<sup>(2)</sup>**

<sup>1</sup>Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Muğla Üniversitesi, MUĞLA

<sup>2</sup>Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, ODTÜ, ANKARA

<sup>3</sup>Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Ankara Üniversitesi, ANKARA  
gkusc@eos.ubc.ca

### ÖZ

Geç Kampaniyen-Geç Maastrichtiyen aralığında oluşmuş olan Hasançelebi alkalen magmatizması Güneydoğu Anadolu Orojenik Kuşaağı'nın kuzeyinde ofiyolitik kayalar üzerinde açılmış Hekimhan havzasında yer alır. Havza gelişimi ve magmatizma eşyaşlı olup, Afro-Arap ve Avrasya levhalarının Alpin Orojenezi sırasında çarpışması ve NeoTetis Okyanusunun güney ve kuzey kollarının Avrasya kıtasal kenarı altında yitimi sonrasında hüküm süren gerilmeli tektonizmanın ürünüdür.

Magmatik kayalara ait iz element, REE ve Nd-Sr izotop jeokimyası magmatizmanın metasomatize olmuş litosferik manto kaynağından türediğini ortaya koymaktadır. Hasançelebi magmatiklerindeki  $La_N/Yb_N$  oranları diyabaz daykları için  $<20$ , siyenitik kayalar için  $20-75$  civarında, trakitik kayalar için ise  $30-95$  arasında değişmektedir. Neredeyse sabit Y ve Yb değerleri, yüksek  $La_N/Yb_N$  ve  $Zr/Y$  oranları hem diyabaz dayklarının, hem de siyenitik ve trakitik kayaların manto kökenli bir kaynaktan türediğini göstermektedir. Ancak LREE ve LIL elementlerindeki (LILE) zenginleşme, ergime olaylarının gerçekleştiği kaynak kayadaki metasomatizma ile ilgilidir. Nd-izotop bileşimlerinin Toplam Yerküre bileşimine yakın oluşu, buna karşın Sr-izotop bileşimlerinin daha yüksek ve daha geniş bir aralığa yayılan değerlere sahip oluşu, sözkonusu metasomatizma sürecinin eski bir yitim zonuyla ilişkili olabileceğini düşündürmektedir. Yitim zonlarında dalan levhadan dehidrasyon süreciyle ayrılarak manto kamasına geçen Rb-Sr gibi elementlerin yüksek hareketliliğe sahip elementler oluşu, zenginleşmiş bir kaynaktaki orta derece ya da tüketilmiş bir kaynaktaki düşük dereceli bir ergimeyle açıklanabilir. Nd-Sr izotopları kayaları oluşturan kaynağın zenginleşmiş bir manto olduğunu göstermektedir. Öte yandan siyenitik ve trakitik kayalarda K'un Ba ve Nb'ye göre kısmen fakirleşmesi, kaynakta LIL element bakımından zenginleşmiş kalıntı bir mineral fazı olduğunu ve bu olayın dalma batma zonlarına has bir özellik olduğunu göstermektedir. Nb elementindeki görece negatif anomali ise dalma batma ile modifiye olmuş bir kaynağın varlığını göstermektedir. Rb/K ve Rb/Nb oranları arasındaki pozitif korelasyon bu kalıntı fazın yüksek Rb/K ve Rb/Nb oranlarına sahip olabilmesi için granat yerine daha çok hornblend bakımından zengin olması gerektiğini göstermektedir. Dolayısıyla, bölgedeki magmatik kayaların oluşumunda daha önceki bir dalma-batma olayıyla metasomatize olmuş bir litosferik mantonun kaynak görevi gördüğü söylenebilir. Bu tür olaylar ya dalma batma zonlarında dalan levhadan sağlanan LIL elementlerinin mantoya eklenmesi sırasında ya da dalma batma sonrasında metasomatize olmuş bir mantoda gerilme rejimleri altında kısmi ergimeyle oluşmaktadır.

Hasançelebi magmatiklerine ait U-Pb ve  $^{40}Ar/^{39}Ar$  radyometrik yaşları trakit ve diyabaz bileşimli kayaların  $76-71$  My, siyenitik kayaların ise  $71-69$  My yaşında olduğunu göstermektedir.

Çarpışma sonrasında dalan levhanın (Afro-Arap plakasına ait okyanusal litosfer) gerilemesi-açısının değişmesi (slab roll-back), orojen paralel bir genleşme rejimine ve Geç Kampaniyen-Geç Maastrichtiyen ( $76-69$  My) yaşlı alkalen (Hasançelebi) arpışma sonrası (post-COLG) magmatizmasına neden olmuştur.

Son yıllarda yapılan bazı çalışmalar, Orta ve Doğu Anadolu'daki alkalen magmaların, dalan levhanın çarpışma sonrası-sırasında kopması nedeniyle tetiklenen genişleme rejimiyle oluştuğunu ve bu anlamda yayardı havza gelişimine benzediğini belirtmektedir (Robertson ve diğ., 2005; Kadioğlu ve diğ., 2006). Ancak, çalışma alanını da içine alan kesimde gerilme rejimi, dalan levhanın kopmasından çok açısının değişmesiyle ilgili olmalıdır. Çünkü bu bölgedeki kopmanın Önal ve diğerleri (2005) ve Parlak ve diğerleri (2006)' de öne sürüldüğü gibi Erken-Orta Eosen'de bile gerçekleşmediği, bu olayın daha çok 24-11 My arasında (Wortel ve Spakman, 2002; Keskin, 2003; Şengör ve diğ., 2003) gerçekleştiği ortaya konmuştur. Bu nedenle bölge kayaçlarının oluşumunda levha kopması ile tetiklenen gerilme rejimi olasılığı oldukça zayıftır, hatta yoktur. Böyle bir olasılıkta tıpkı Doğu Anadolu ve Orta Anadolu'da görüldüğü gibi yaygın kıta-içi volkanizma faaliyetlerinin oluşması beklenmelidir. Hasaңcelebi bölgesindeki syenitik ve trakitik kayaçların ofiyolitik kayaçlar üzerinde Geç Kretase-Miyosen zaman aralığında açılan bir basen içine sil ya da dayk-stoklar halinde yerleştiği göz önüne alındığında alkalen magmatizma ve havza evriminin zaman-mekan içinde ortak süreçlerle oluştuğunu söylemek mümkündür. Hekimhan hazvasının ofiyolit yerleşmesini takip eden bir süreçte oluşması havza gelişiminde roll-back kaynaklı gerilme-yüzeylenme olaylarının etkili olduğunu, dolayısıyla Hasaңcelebi magmatiklerinin de bu olayla tetiklenmiş olduğunu düşündürmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Çarpışma sonrası magmatizma, alkalen magmatizma, Nd-Sr izotopları, Ar-Ar radyometrik yaşları, Hekimhan, Hasaңcelebi

#### ABSTRACT

*The Hasaңcelebi alkaline magmatism Late Campanian-Late Maastichtian in age is emplaced within the Hekimhan basin formed over the ophiolitic rocks to the north of Southeastern Anatolian Orogenic belt. The basin evolution and magmatism is synchronous and results from the extensional regime after the complex collision between the Afro-Arabian and Eurasian plates and the subduction of the southern and northern Neotethyan oceanic basins beneath the Eurasian continental margin during the Alpine orogeny.*

*In general, trace element, REE and Nd-Sr isotope geochemistry in the magmatic rocks showed the melts were derived from metasomatized lithospheric mantle source. Chondrite-normalized  $La_N/Yb_N$  ratios are  $<20$  for diabase dikes, 20-75 for syenitic rocks, and 30-95 for trachytic rocks. Almost constant Y and Yb contents, high  $La_N/Yb_N$  and Zr/Y ratios for both diabase dikes and syenitic-trachytic rocks are in favor of a mantle originated source for the magmas. However, the enrichment in the LREE and LILE, is indicative of a metasomatism within the melt source. Comparable Nd-isotope compositions to bulk earth Nd-isotope compositions unlike higher and more scattered Sr-isotope compositions, suggest that the metasomatism is promoted by an earlier subduction event. Relative higher mobility of the elements like Rb and Sr released from the subducted slab into the mantle-wedge by dehydration processes, could be attributed to intermediate degrees of partial melting of an enriched source or lower degrees of partial melting of a depleted source. Nd-Sr isotope systematics indicate an enriched mantle source for the melts. Whereas, the depletion in K with respect to Ba and Nb are suggestive of an inherited mineral phase rich in LILE, and this could be ascribed to subduction-related environments. Likewise, the relative negative anomaly in Nb indicate a source modified by a subduction. The positive correlation between Rb/K and Rb/Nb provides evidence that the source should be amphibole-rich rather than being garnet-rich phase so as to have higher Rb/K and Rb/Nb ratios. Consequently, it is reasonable to point that the magmatics in the region were sourced from a lithospheric mantle metasomatized by an earlier subduction event. Such events are resulted either from introduction of LILE from the subducted slab into the mantle-wedge, or partial melting of metasomatized mantle under extension-dominated regime after subduction.*

*U-Pb and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age data for the Hasançelebi samples reveal that trachytes and diabases are 76-71 Ma, and syenites are 71-69 Ma in age. A change in the subduction geometry and a hinge retreat (slab roll-back) coupled with orogen-parallel initial extension on the overriding plate, caused the post-collisional extension and post-collisional alkaline melts in 76-69 Ma age. The recent studies argued that alkaline magmatism in central-eastern Anatolia was formed under an extensional regime due to breaking-off the subducted slab after the collision, and thus could be regarded as the back-arc evolution and magmatism (Robertson et al., 2005; Kadioğlu et al., 2006). However, the extensional regime, in whole central-eastern Anatolia including the study area, should not be rooted to a slab break-off event. Because, Şengör et al. (2003), Keskin (2003) and Wortel and Spakman (2002) provided evidence that the slab break-off took place between 24 to 11 Ma, much younger than Early-Middle Eocene as suggested by Parlak et al., (2006) and Önal et al., (2005). Therefore, it is here suggested that the potential of extension in the whole region by slab break-off is very limited, and in fact should be ruled out. In such a case, it is highly likely that the whole central-eastern Anatolia should be flooded by within-plate volcanism very akin to Miocene magmatism in eastern and central Anatolia. Since the syenitic and trachytic rocks in the Hasançelebi region is emplaced as dykes-stocks, and sills into a marine basin formed on an ophiolitic basement, the sedimentation and magmatism have spatial and temporal associations. The formation of Hekimhan basin and coeval magmatism following the northerly derived ophiolite obduction suggest that the roll-back triggered extension-exhumation events played an important role in basin evolution, and emplacement of the the Hasançelebi magmatics into that basin.*

**Key Words:** *Post-collisional magmatism, alkaline magmatism, Nd-Sr isotopes, Ar-Ar radiometric ages, Hekimhan, Hasançelebi.*

## Afyon Zonu'nundaki Erken Devoniyen Asidik Magmatizmaya ait jeolojik, jeokimyasal ve jeokronolojik ön bulgular

*Early Devonian Acidic Magmatism in Afyon Zone;  
Preliminary Geological, Geochemical and Geochronological Evidence*

**Cüneyt AKAL<sup>1</sup>, Osman CANDAN<sup>1</sup>, O. Ersin KORALAY<sup>1</sup>, Aral OKAY<sup>2</sup>, Roland OBERHÄNSLI<sup>3</sup>, Fukun CHEN<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Tınaztepe - Buca / İzmir

<sup>2</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü, Ayazağa 80626, İstanbul Turkey

<sup>3</sup>Institut für Geowissenschaften, Universität Potsdam, Postfach 601553, Potsdam 14415, Germany

<sup>4</sup>Institute of Geology and Geophysics Chinese Academy of Sciences P.O. Box. 9825 Beijing, 100029, China  
cuneyt.akal@deu.edu.tr

### ÖZ

Simav/Kütahya çevresindeki Miyosen öncesi birimlerde, olası Eosen yaşlı Alpin deformasyon ürünü naplı bir yapı gözlenmektedir. Bölgedeki tektonik üniteler alttan üste doğru; 1-Menderes Masifi'ne ait, migmatit ve sistlerden yapıyla yüksek dereceli metamorfikler, 2-Ege Denizi'nde geniş alanlarda yüzlek veren Kikladik Kompleks'e ait, Üst Kretase yaşlı metaolistostrom, 3- Afyon Zonu metamorfikleri ve 4- İzmir – Ankara Zonu'na ait Üst Kretase yaşlı bloklu birimden oluşmaktadır.

Simav bölgesinde geniş yüzlekler veren Afyon Zonu metamorfikleri, Triyas öncesi temel ve onu uyumsuz olarak örten Mesozoyik metamorfik örtü serilerinden oluşmaktadır. Kikladik Kompleks'e ait metamorfikleri tektonik olarak üzerleyen Triyas öncesi temel, ender olarak siyah kuvarsit ve mermer düzeyleri içeren fillitik metakirintili seri ve bunlar içerisine sokulmuş asidik metaderinlik kayalarından yapıldır. Mesozoyik örtü serisi, tabanda kaba kuvars metaçakıllaşları ve onlarla yanal ve düşey yönde giriklik gösteren, riyolit / dasit bileşimli metavolkanitlerden oluşmaktadır. Volkanizmanın yaşı tek zirkon evaporasyon yöntemiyle  $240.8 \pm 3.7$  My - Orta Triyas (Anisiyen) olarak belirlenmiştir. Bu istif, fillit ve metakumtaşı ardalanmalı kırıntılı bir seri ile devam etmekte ve geçiş zonu ile platform türü karbonatlar tarafından üzerlenmektedir. Temel ve üzerleyen Mesozoyik örtü birimleri olasılıkla Paleosen'de düşük dereceli metamorfizmadan etkilenmiştir.

Çevre kayayı oluşturan metakirintililerle son derece iyi korunmuş intruzif dokanak ilişkileri sunan, lökokratik karakterli asidik metamagmatikler ilksel dokusal özelliklerine göre iki türe ayrılmaktadır. Ortognayslar, iri kristalli olup yeşilimsi gri renkli kuvarsa zengin bir zemin içerisinde boyutları 4 cm ye ulaşan, çoğunlukla özşekilli ortoklas kristalleri ile tanımlanmaktadır. Metagranitler milonitik dokularıyla belirgin olup orta taneli granoblastik dokulu bir ilksel kayadan türemiştir. Her iki granit türü de ilksel mafik mineralce fakir olup lökokratik karakterlidir. Bu kayalar magmatik kökenli “kuvars + plajioklas + ortoklas + zirkon + apatit “ ve metamorfizma ürünü “muskovit + epidot / zoisit ± biyotit ± granat ± stipnomelan” dan yapıyla bir mineralojik bileşime sahiptir.

Bu kayaların jeokimyasal özellikleri, I-tipi ve kalk-alkalen karakterli peralumino lökokratik granitleri tanımlamaktadır. Ortognayslara ait bir örnek tek zirkon Pb-Pb evaporasyon yöntemiyle yaşlandırılmıştır. Yaşlandırmada, magmatik kökeni yansıtan uzun çubuksu prizmatik şekilli, magmatik iç zonlanma gösteren zirkonlar seçilmiştir. Bunlardan, ortognaysların ilksel granitlerinin sokulum yaşı olarak yorumlanan,  $395.1 \pm 4.5$  My; Erken Devoniyen yaşı elde edilmiştir.

Afyon Zonu'nda saptanan Erken Devoniyen granitleri ile olasılıkla karşılaştırılabilecek Türkiye'deki diğer Erken Devoniyen graniti, İzmir – Ankara Kenet Zonu'nun kuzey kesiminde, Edremit / Biga Yarımadası'nda



yer almaktadır (Okay ve diğ., 1996; 2006). Bu granit Sakarya Zonu içerisinde, 20 km genişliğinde ve 3-4 km kalınlığında bir tektonik dilim konumundadır. Lökokratik karakterli bu kayadan U-Pb ve Pb-Pb yöntemleriyle yapılan yaş tayinlerinde sırasıyla  $399 \pm 13$  My ve  $397.5 \pm 1.4$  My (Erken Devonyen) lik sokulum yaşları elde edilmiştir (Okay ve diğ., 1996; 2006). Değişik araştırmacılar tarafından önerilen küresel ölçekli tektonik modellerde genelde Erken Paleozoyik'ten itibaren, Paleotetis ve Neotetis okyanuslarının Gondwana'nın kuzey kenarı boyunca açılması sonucu kopan kıtasal parçaların / dilimlerin kuzeye doğru sürüklenerek Laurasya'nın güney kenarı boyunca eklendiği görüşü önerilmektedir (Şengör ve diğ., 1979; Şengör ve Yılmaz, 1981; Stampfli, 2000; Okay ve diğ., 2006).

Bu genel görüş kapsamında, söz konusu Erken Devonyen granitlerinin ilksel olarak Gondwana'nın kuzey kesimine yerleşmiş olduğu ve Neotetis'in Kuzey Kolu'nun Erken Triyas'ta açılması ile ilişkili olarak bir kısım granitin, olasılıkla çevre kaya ile birlikte kuzeye sürüklenerek Laurasya'nın güney kesimine eklendiği düşünülebilir. Türkiye'de gözlenen söz konusu magmatik aktivitenin Gondwana'nın kuzeyinde gelişimine ilişkin ilksel tektonik ortamı tanımlayabilecek yeterli veri henüz mevcut değildir.

**Anahtar Kelimeler:** Afyon Zonu, Paleotetis, Neotetis, Erken Devonyen, Magmatizma

### ABSTRACT

*Pre-Miocene units of Simav/Kütahya region show a typical nappe stacking as a consequence of Alpine contractional deformation in Eocene time. The nappe units consist of, from bottom to top; 1- high-grade metamorphic rocks composed of migmatites and schists of the Menderes Massif, 2- Upper Cretaceous metaolistostrome of Cycladic Complex which crops out mainly in the Aegean Sea, 3- Metamorphic rocks of the Afyon Zone and 4- Upper Cretaceous blocky units of İzmir – Ankara Zone.*

*The widespread outcrops of the metamorphic rocks of the Afyon Zone around Simav region consist of pre-Triassic basement and unconformably overlying Mesozoic metamorphic cover series. Pre-Triassic basement which rests on the metamorphic rocks of the Cycladic Complex with a tectonic contact is made up of phyllitic metaclastics with rare black-quartzite and marble layers which are intruded by acidic meta-igneous rocks. Coarse-grained quartz metaconglomerates, which interfinger with rhyolitic / dacitic metavolcanics in lateral and vertical directions occur in the base of the Mesozoic cover units. The metavolcanics were dated at  $240.8 \pm 3.7$  Ma (Middle Triassic; Anisian) by single zircon evaporation method. This sequence passes upward into a clastic series consisting of phyllite and metasandstone intercalation which is conformable overlain by a platform-type carbonates. The basement rocks and overlying Mesozoic cover units underwent low-grade metamorphism, probably, in Paleocene.*

*Based on the primary textures properties, leucocratic acidic meta-igneous rocks, which present well-preserved intrusive contact relationships with the country rocks, can be divided into two types. Orthogneisses are coarse-grained rocks and are represented by euhedral orthoclase crystals reaching up to 4 cm in size, occurring in a greenish-grey quartz-rich groundmass. Metagranites which were derived from medium-grained precursor rocks with granoblastic texture show distinctive mylonitic texture. Both of the granites are leucocratic rocks and don't contain any primary mafic minerals. The relic magmatic mineral assemblage and the metamorphic phases of these rocks are "quartz + plagioclase + orthoclase + zircon + apatite" and "muscovite + epidote / zoisite  $\pm$  biotite  $\pm$  garnet  $\pm$  stilpnomelane", respectively.*

*Geochemical data indicate that the primary rocks of these meta-igneous rocks are of I-type and calc-alkaline peraluminous leucocratic granite composition. An orthogneiss sample was dated by single zircon Pb-Pb evaporation method. Long prismatic and oscillatory zoned zircon crystals, indicating magmatic origin, are selected for dating. These zircons yield mean age of  $395.1 \pm 4.5$  Ma (Early Devonian) which is interpreted as intrusion age of the granitic precursor rocks of the orthogneisses.*

*The other Early Devonian leucocratic granite in Turkey which can be correlated probably with granites determined in the Afyon Zone has been recognized in the north of the İzmir – Ankara suture in the Biga peninsula - Edremit (Okay et al., 1996; 2006). This granite forms a 20 km long and 3-4 km thick thrust sheet in the Sakarya Zone. The granite was dated by the methods of U-Pb and Pb-Pb at  $399 \pm 13$  Ma and  $397.5 \pm$*

1.4 Ma, respectively (Okay et al., 1996; 2006). These Early Devonian ages are interpreted as intrusion ages of the granite. In the global tectonic models proposed by several authors (Şengör et al., 1979; Şengör and Yılmaz, 1981; Stampfli, 2000; Okay et al., 2006) it is generally suggested that since Early Paleozoic time Paleo- and Neo-tethys oceans have opened along the northern margin of the Gondwana and some continental fragments / slivers were rifted off from this continent. These fragments drifted northwards and were accreted to the southern margin of the Laurasia.

Considering these models, it can be envisaged that Early Devonian granites were originally emplaced into the northern part of Gondwana and some of these granites with their country rocks were rifted off from the original place as relating to opening of the northern branch of Neotethys in the Early Triassic. However, there is not enough evidence in Turkey for the description of the original tectonic setting of the magmatic activity developed on the northern part of Gondwana.

**Key words:** Afyon Zone, Paleotethys, Neotethys, Early Devonian, Magmatism

#### Değınilen Belgeler

- Şengör, A. M. C. 1979. Mid-mesozoic closure of Permo-Triassic Tethys and its implications. *Nature*, 279, 590-593.
- Stampfli, G.M. 2000. Tethyan oceans. In: BOZKURT, B., WINCHESTER, J.A. & PIPER, J.D.A.(eds) *Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area*. Geological Society, London, Special Publications, 173, 1-23.
- Okay, A I., Satır, M., Maluski, H., Siyako, M., Monie, P., Metzger, R. and Akyüz, S. 1996. Palea- and Neo-Tethyan events in northwestern Turkey: Geologic and geochronologic constraints. In: Yin, A and Harrison M (eds) *Tectonic of Asia*. Cambridge University Press, 420-441.
- Okay, A.I., Satır, M. and Siebel, W. 2006. Pre-Alpide orogenic events in the Eastern Mediterranean region. *European Lithosphere Dynamics*. Geological Society, London, Memoirs 32, 389-405.
- Şengör, A.M.C. & Yılmaz, Y. 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics* 75, 81-241.

## Orta ve Batı Pontid Kuşayında Jura Yaşı Magmatik Kayaların Petrografik ve Petrolojik Özellikleri

*Petrographic and Petrological Aspects of the Jurassic Magmatic Rocks of Central and Western Pontides*

**S. Can GENÇ<sup>1</sup>, Okan TÜYSÜZ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Maslak 34469 İstanbul, Turkey,*

<sup>2</sup>*İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü, Maslak 34469 İstanbul, Turkey*

### ÖZ

Bu sunumda, Orta ve Batı Pontid'lerde yer alan Jura yaşı volkano-tortul topluluk (Mudurnu formasyonu) içerisindeki magmatik kayaların petrografik ve jeokimyasal özellikleri ile petrolojik nitelikleri tanıtılmaktadır. Önceki çalışmalar Mudurnu formasyonunu kıtasal rift birimi olarak tanımlamaktadır. Son yıllarda, özellikle Doğu Pontidlerde yapılan araştırmalarda birim içerisindeki magmatik kayaların yay karakteri sergilediği konusunda bulgular yayınlanmıştır. Orta ve Batı Pontid kuşayındaki Jura magmatik kayaları için böyle bir özelliğin varlığını test etmek amacıyla Amasya dolayları ile Mudurnu-Göynük ve yakın civarlarında saha çalışmaları yapılmış, temsilci örnekler derlenmiş, bunlar tüm kaya jeokimya analizleri ile Sr ve Nd izotop analizlerine tabii tutulmuşlardır. Elde edilen jeokimya ve izotop verileri Orta ve Batı Pontid Jura magmatik kayaları için ilk verilerdir.

Mudurnu formasyonu içerisinde yer alan magmatik kayalar başlıca 2 grupta toplanabilir. Bunlardan ilki bazaltik lavlar, bunlarla ilişkili piroklastik-epiklastik kayalar ile asidik piroklastikler; diğery ise bazik (diyabaz, mikrogabro) ve asidik yarı derinlik kayalarıdır (granit-granodiyorit porfir, kuvars porfirler). İstifte lav ve piroklastik kayalar geniş yer tutarken, yarı derinlik kayaları ya küçük dayklar halinde veya küçük stoklar halinde bulunur.

Jura magmatik kayaları bimodal karakterlidir. Gerek bazik, gerekse de asidik gruba ait olan örneklerin tümü subalkali özelliktedir ve genellikle kalkalkalen ve zayıf toleyitik bir karakter sergiler. Asidik ve bazik grup arasında geçiş kayalarının eksikliği sebebiyle iki grup arasında belirgin bir boşluk vardır (Daly-gap). Jura magmatik kayaları ilksel mantoya normalize edilmiş diyagramlarda geniş iyon yarıçaplı elementler bakımından belirgin bir zenginleşme; Nb, Ta, P ve Ti elementleri bakımından fakirleşmeler gösterir. Kondrite normalize edilmiş diyagramlarda belirgin bir Eu anomalisi gözlenmez, tersine bazı örneklerde pozitif Eu anomalileri belirlenmiştir.

Asidik kayalar için ilksel izotop oranları [ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)} = 0.704809 - 0.705584$ ;  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(i)} = 0.512593 - 0.512622$ ;  $e\text{Nd}_{(i)} = 3.8 - 4.3$ ] ile bazik kayalar için aynı oranlar [ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)} = 0.703855 - 0.705073$ ;  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(i)} = 0.512479 - 0.512602$ ;  $e\text{Nd}_{(i)} = 1.5 - 4.3$ ] az çok birbirleriyle üstelenmektedir. Bu durum asidik olanların bazik olanlardan türemiş olduklarını düşündürse de hem fraksiyonel kristallenme modelleri hem de kondrite normalize edilmiş diyagramlardan elde edilen sonuçlar bunu desteklememektedir.

Mudurnu formasyonu magmatik kayalarında rift ortamını karakterize eden, tipik okyanus adası bazaltı (PIB) eğilimli kayalar mevcut değildir. Bazik kayalar için yapılan petrolojik ergime modelleri de bu kayaların spinel peridotit bileşimli bir kayaktan türemiş olduklarına işaret etmektedir. Elde edilen petrolojik veriler Orta ve Batı Pontidlerdeki Jura magmatik kayalarının kısmen yay ortamı magmalarına benzerlik gösterdiklerini, diğery taraftan kıtasal gerilme alanlarından umulacak türden bimodal kaya topluluklarından oluştuklarını göstermektedir. Dolayısıyla sadece petrolojik verilerden hareketle bu kayaların kökenlerinin ortaya konulabilmesi çok sağlıklı görünmemektedir. Bu sebeple, bu kaya topluluğu için köken ve oluşum mekanizması önermede bölgesel jeolojik ve yapısal veriler daha güvenilir veriler olarak gözetilmelidir.

**Anahtar Kelimeler:** Orta ve Batı Pontid, Jura, Magmatizma, Jeokimya, Sr ve Nd izotopları

**ABSTRACT**

*In this paper, petrographic and geochemical features and petrological aspects of the Jurassic volcano-sedimentary rocks (i.e. the Mudurnu fm.) cropping out in the Central and Western Pontides are presented. The Mudurnu formation was previously interpreted as a product of continental rift environment. In contrast, Recent data from the Eastern Pontides indicate that the magmatic rocks of this unit display magmatic-arc affinity. In order to test this problem, a field and laboratory dominated study carried out around Amasya and Mudurnu-Göynük and its surroundings in the Central and Western Pontides. In this study we collected and analyzed systematic samples of the volcanic rocks of this unit for the first time.*

*Magmatic rocks of the Mudurnu formation may be divided into two groups. One of them includes basaltic lavas and related pyroclastic rocks together with the acidic pyroclastics. The other is formed from the basic and acidic hypabyssal rocks (diabase-microgabbro and granite-granodiorite porphyries with quartz porphyries, respectively). In contrast to the lavas and pyroclastics covering large volumes within the formation, the hypabyssal rocks are only found as small and isolated stocks and dikes.*

*Magmatic rocks of the Mudurnu formation display bimodal character. All the samples are subalkaline in nature and display widely calc-alkaline and weak tholeiitic affinities. A significant compositional gap occurs between the basic and acidic members (i.e. "Daly Gap"). They display enrichment in LILE and depletion in Nb, Ta, P and Ti elements. In chondrite-normalized REE diagrams, there is no significant negative Eu anomaly; by contrast they exhibit positive Eu anomalies in some samples.*

*The initial isotope values of the acidic hypabyssal rocks [ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)} = 0.704809 - 0.705584$ ;  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(i)} = 0.512593 - 0.512622$ ;  $e\text{Nd}_{(i)} = 3.8 - 4.3$ ] are more or less encompass those of the basic magmatic rocks [ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)} = 0.703855 - 0.705073$ ;  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(i)} = 0.512479 - 0.512602$ ;  $e\text{Nd}_{(i)} = 1.5 - 4.3$ ]. Although the isotope data indicate a possible genetic relationship between the acidic and basic members, fractional crystallization (FC) modeling of incompatible versus compatible trace elements, combined with the evidence from chondrite normalized REE distribution, exclude the possibility of FC processes.*

*There are no typical OIB-type rocks in the Mudurnu formation. Melting modeling of the basic rocks shows that these rocks were originated from spinel peridotitic source. As a result, of all these geochemical and isotope studies, it may be stated that the magmatic rocks of the Mudurnu formation are similar to the subduction-related magmas. On the other hand, the Jurassic magmatism of the Central and Western Pontides is bimodal in nature as expected from the extensional environments. Therefore, estimation for its origin and genesis based on only geochemical and petrological frame may not be sufficient. The regional geological and structural data together with the tectonic evolution of the Pontide range during the Jurassic time has critical role to understand the evolution of this magmatic activity.*

**Keywords:** *Central and Western Pontides, Jurassic, Magmatism, Geochemistry, Sr and Nd Isotopes*

## Gölcük Volkanizmasının (Isparta- GB Türkiye) Kökeni: Manto Ksenolitlerinden Kanıtlar

*The Origin of Gölcük Volcanism (Isparta-SW Türkiye):  
Evidence From Mantle Xenoliths*

**Pınar ŞEN<sup>1</sup>, Abidin TEMEL<sup>2</sup>, Erdal ŞEN<sup>2</sup>, Alain GOURGAUD<sup>3</sup> ve Guy KIEFFER<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> MTA Genel Müdürlüğü, Maden Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı, 06520, Balgat, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup> Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06532, Beytepe/Ankara, Türkiye

<sup>3</sup> University of Blaise Pascal, 5 rue Kessler-63038, Clermont-Ferrand Cedex, France

<sup>4</sup> Laboratoire de Géographie Physique – 29, boulevard Gergovia – 63037 Clermont-Ferrand Cedex, France  
pinarsen@mta.gov.tr

### ÖZ

Güneybatı Anadolu'da yer alan Alt Pliyosen yaşlı Gölcük volkanik kayaçları kuvvetli alkali volkanizmanın ürünleri olup, ignimbirit ve fretaomagmatiklerden oluşan piroklastik çökeller, lav-dom ekstrüzyonları ve dom/dom akıntıları ile temsil edilmektedir (Alıcı et al., 1998 ve 2002). Gölcük volkanik kayaçlarının bileşimleri tefrifonolitten, trakiandezit ve trakite kadar değişmektedir. Volkanizmaya ait maar çökelleri filogopit-klinopiroksenit, plajiyoklazlı filogopit-klinopiroksenit ve gabbro bileşimli manto ksenolitleri içermektedir. Filogopitçe zengin ksenolitler genellikle maar çökellerine ait freatopliniyen seviyelerinde gözlenmektedir.

Gölcük volkanizmasının jeokimyasal özellikleri sadece fraksiyonel kristalleşme, kabuksal kirlenme ve/veya tüketilmiş bir manto kaynağından kısmi ergime ile açıklanamayabilir. Çünkü Ba (1424-4020 ppm), hafif nadir toprak element ve iri katyonlu litofil elementlerinde gözlenen aşırı zenginleşmeler belirgin fraksiyonel kristalleşme ve/veya çok yüksek seviyelerde kabuksal kirlenme süreçlerinin etkilerini gerektirir. Fakat, Gölcük volkanitlerinin Sr izotop bileşimleri (0.703506-0.704142) büyük oranlarda kabuksal kirlenmeye işaret edecek kadar yüksek değildir. Bununla birlikte, Gölcük volkanitleri potasik karakterde olup, K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O oranları 0.56 ile 1.65 arasında değişmektedir. Volkanitlerin K<sub>2</sub>O oranları (% 3.12-6.90) SiO<sub>2</sub> içeriğine bakılmaksızın oldukça yüksektir ve SiO<sub>2</sub> ile değişimi yaklaşık düz bir trend vermektedir. Bu durumda K<sub>2</sub>O zenginleşmesinin fraksiyonlanmadan kaynaklanmadığı düşünülmektedir. Buna göre Gölcük volkanitlerindeki K zenginleşmesi, kaynak bölgesindeki filogopit gibi potasik bir faza işaret edebilir. Bu durum Gölcük volkanizmasına ait maar çökellerindeki filogopit içeren manto ksenolitleri (filogopit-klinopiroksenit) ile de desteklenmektedir. Bu nedenle, Gölcük volkanizmasının kaynak özelliklerini değerlendirmek için manto ksenolitlerinden itibaren iz elementlerin kısmi ergime modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Kısmi ergime modelleme çalışmaları için, plajiyoklazlı filogopit-klinopiroksenit ve filogopit-klinopiroksenit kaynak uç bileşeni olarak seçilmiştir. Modelleme, Gölcük volkanitlerinin, filogopit-klinopiroksenit manto kaynağından itibaren farklı derecelerde kısmi ergimesi ile oluştuğunu göstermektedir. Bunlara ek olarak, Gölcük volkanizmasında gözlenen negatif Nb ve Ti anomalileri, yüksek Ba/Nb (31-114) oranları ve K<sub>2</sub>O değerleri gibi jeokimyasal veriler, daha önce gerçekleşmiş dalma-batma süreçleri ile metasomatize ve/veya zenginleşmiş potasik bir manto kaynağından türediği fikri ile uyumludur. Aynı zamanda filogopitin varlığı da metasomatik bir zenginleşme sürecine işaret edebilir. Sonuç olarak, bu filogopitçe zengin metasomatik seviyenin kısmi ergimesi, iri katyonlu litofil elementler ve K bakımından zengin alkali magmaların oluşmasından sorumludur.

Filogopit-klinopiroksenit, plajiyoklazlı filogopit-klinopiroksenit ve gabbro ksenolitlerindeki klinopiroksen fenokristallerinden itibaren yapılan jeotermobarometre hesapları filogopit-klinopiroksenitin kristalleşme sıcaklık ve basınç değerlerinin 1365°C ile 1421°C ve 18.8 ile 24.5 kbar aralıklarında değiştiğini, buna karşın, plajiyoklazlı filogopit-klinopiroksenitlerin ise daha düşük kristalleşme sıcaklığına ve basınç değerlerine

(1297-1381°C ve 8-17.5 kbar) sahip olduğunu göstermiştir. Gabbronun kristalleşme sıcaklığı ve basıncı ise 1044°C ile 1097°C ve 1.4 ile 8.3 kbar arasında değişmektedir.

Manto ksenolitlerinin iz element modellemesinden elde edilen sonuçlar Alici et al. (1998)'da bahsedilen genetik model ile uyumludur. Alici et al. (1998), K-bakımından zengin alkali volkanizmanın Afrika ve Avrasya plakaları arasındaki dalma-batma süreçleri ile metasomatize olmuş litosferik manto kaynağından türediğini öngörmüştür. Ancak Gölcük volkanizması post-Tortoniyen'deki açılma tektoniği ile ilişkilidir.

**Anahtar Kelimeler:** Isparta, metasomatizma, manto ksenolitleri, filogopit

### ABSTRACT

*Gölcük volcanic rocks, a lower Pliocene volcanism located in the southwest of Turkey, are the remnants of highly alkaline volcanic field, characterized by voluminous pyroclastic deposits consisting of ignimbrites and phraetomagmatic deposits associated with calderas and maars, respectively; lava-dome extrusions and domes (Alici et al., 1998 and 2002). Gölcük volcanic rocks range in composition from tephriphonolite, trachyandesite to trachyte. Maar deposits of Gölcük volcanism contain ultramafic mantle xenoliths, including phlogopite-clinopyroxenites, plagioclase bearing phlogopite-clinopyroxenites and gabbro. Phlogopite-rich xenoliths are generally hosted by phraetoplinian deposits.*

*The geochemical characteristics observed in Gölcük volcanism cannot be solely explained either by fractional crystallization, crustal contamination or by partial melting from a depleted mantle source. Because the extreme enrichment in Ba (1424-4020 ppm), light rare earth elements and large ion lithophile elements (LILE) would require extensive fractional crystallization and/or high level of crustal contamination. But Sr isotopic compositions (0.703506-0.704142) of Gölcük volcanic rocks are not so high to demonstrate a high level crustal contamination. Furthermore, Gölcük volcanic rocks are potassic having  $K_2O/Na_2O$  ratios between 0.56 and 1.65. Their  $K_2O$  concentrations (3.12-6.90%) are high regardless of the  $SiO_2$  content and its variation with  $SiO_2$  exhibits a flat trend. We therefore suggest that  $K_2O$  enrichment by fractionation seems unlikely in this case. Therefore, the K enrichment in the Gölcük volcanic rocks can be attributed to a potassic phase such as phlogopite, in their source region. This is further supported by the phlogopite-bearing mantle xenoliths (phlogopite-clinopyroxenites) in the maar deposits of Gölcük. Thus, trace element modeling of these phlogopite-rich mantle xenoliths was carried out to evaluate the source characteristics of volcanism. For the partial melting modeling studies, plagioclase bearing phlogopite-clinopyroxenite and phlogopite-clinopyroxenite are selected as a source end-member for Gölcük volcanic rocks. Modeling implies that Gölcük volcanic rocks are generated by variable degrees of partial melting of a phlogopite-clinopyroxenite mantle source. In addition to this, the geochemical data such as negative Nb and Ti anomalies, High Ba/Nb ratios (31-114) and  $K_2O$  concentrations are consistent with derivation from a potassic mantle source metasomatized and/or enriched by earlier subduction processes. The presence of phlogopite can be also attributed to a metasomatic enrichment processes. Consequently, subsequent melting of phlogopite-rich metasomatic layer is responsible for the generation of LILE and K-rich alkaline magmas.*

*Geothermobarometer calculations on clinopyroxene phenocrysts of phlogopite-clinopyroxenite, plagioclase bearing phlogopite-clinopyroxenite and gabbro demonstrate that the crystallization temperature and pressure of phlogopite-clinopyroxenite range between 1365°C to 1421°C and 18.8-24.5 kbar, respectively. Whereas, plagioclase bearing phlogopite-clinopyroxenite has relatively lower crystallization temperature and pressure (1297°C-1381°C and 8-17.5 kbar) than phlogopite clinopyroxenite. The crystallization temperature and pressure of gabbro vary between 1044 to 1097°C and 1.4 to 8.3 kbar, respectively.*

*The conclusions obtained from trace element modeling studies of mantle xenoliths are consistent with the genetic model represented in Alici et al. (1998). Alici et al. (1998) also suggest that K-rich alkaline magmas of Gölcük volcanism is derived from an enriched lithospheric mantle source which was metasomatized by earlier subduction events between African and Eurasian plates. But the volcanism in Gölcük is associated with the extensional tectonic in SW Turkey during post-Tortonian times.*

**Keywords:** *Isparta, metasomatism, mantle xenoliths, phlogopite.*

**Değinilen Belgeler**

*Alici, P., Temel, A., Gourgaud, A., Kieffer, G., Gündoğdu, M.N., 1998. Petrology and geochemistry of potassic rocks in the Gölcük area (Isparta, SW Turkey): genesis of Enriched alkaline magmas. J. Volcanol. Geotherm. Res. 85, 423-446.*

*Alici, P., Temel, A., Gourgaud, A. And Kieffer, G., 2002. Volcanological evolution of the Gölcük area (Isparta, SW Turkey). 1<sup>st</sup> International Symposium of the Faculty of Mines (ITU) on Earth Sciences and Engineering, 16-18 May 2002, İstanbul, TÜRKİYE, SS-1, 189 (Poster Presentation).*

## Posterler

### *The Oldest Well Preserved Terrestrial Interstitial Volcanic Glass*

**Anna LEWANDOWSKA<sup>1</sup>, Mariusz ROSPONDEK<sup>1</sup>, Friedrich FINGER<sup>2</sup> and Bernhard SCHULZ<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Institute of Geological Sciences, Jagiellonian University, 30-063 Kraków, Olendry 2a, Poland, [anna.lewandowska@uj.edu.pl](mailto:anna.lewandowska@uj.edu.pl); <sup>2</sup>Institut für Mineralogie, Universität Salzburg, Hellbrunnerstraße 34, A-5020 Salzburg, Austria; <sup>3</sup>Institut fuer Mineralogie, University of Mining and Technology, Brennhaugasse 14, D-09596 Freiberg, Germany.

#### **ABSTRACT**

*In the Kraków area (Southern Poland), major transcontinental strike-slip Hamburg-Kraków-Dobruja fault zone induced series of minor extensional faults, which served as magma conducts for the Upper Carboniferous-Permian (ca. 300 Ma) bimodal volcanism. Volcanic rocks mainly represent calc-alkaline basaltic andesites and rhyodacites. Such palaeo-volcanism setting and geochemistry have their analogy in the Late Cenozoic to recent strike-slip and extension associated post-collisional volcanism of the Eastern Anatolia (e.g. Yürü & Chorowicz, 1998).*

*In basaltic trachyandesites from the Nieporaz-Brodla graben near Kraków, well-preserved interstitial glass was encountered, which may represent the oldest intact terrestrial volcanic glass so far known. Fresh rock samples contain large, up to 30 µm, unaltered glass bits that appear fully isotropic under the microscope. Microprobe analyses show that the glass has a uniform, high-K rhyolitic composition with ~72 wt. % SiO<sub>2</sub>. Laser ICP-MS measurements reveal a strong enrichment of incompatible trace elements like Zr, Nb, Ce or Y. According to chemical modelling the glass represents a highly fractionated residual melt fraction of the basaltic trachyandesite magma quenched after ca. 75 % crystallisation. The fractionating assemblage consisted of plagioclase, olivine, augite, magnetite and ilmenite. Late fractionating phases were apatite, which precipitated as small needles within the glass, and K-feldspar, which commonly overgrows plagioclase in extremely thin fringes.*

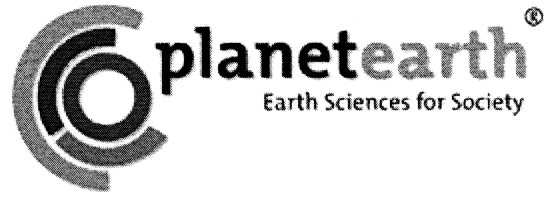
*Felsic rocks of this bimodal volcanic sequence together with basaltic trachyandesites, were investigated in order to find out, whether rhyodacites could represent a higher degree of melt fractionation. However, low contents of Zr, Nb and other incompatible elements rule out this possibility and indicate a completely different magma source.*

*Scientific project N307 022 31/1746 financed by Polish Science Funds in 2006-2008 years.*

**Keywords:** volcanic glass, basaltic trachyandesites, Upper Carboniferous-Permian volcanism

*Yürü, M.T. & Chorowicz, J. 1998. Recent volcanism, tectonics and plate kinematics near the junction of the African, Arabian and Anatolian plates in the eastern Mediterranean. J. Volc. Geoth. Res. 85, 1-15.*





---

**MARMARA DENİZİ OTURUMU**

*MARMARA SEA SESSION*

**Oturum Yürütücüleri / Conveners**

**Naci GÖRÜR  
A.M Celal ŞENGÖR  
Namık ÇAĞATAY**

## Marmara Denizi'nin genç tektoniği ve paleocoğrafyası

### *Recent Tectonics and Palaeogeography of The Sea of Marmara*

**A.M. Celal ŞENGÖR**

*İTÜ Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü ve maden Fakültesi Jeoloji Bölümü,  
Ayazağa 34469 İstanbul TURKEY*

### **ÖZ**

Eski Propontis, şimdiki Marmara Denizi, nihayet Kuzey Anadolu Fayı'nı doğurmuş olan Kuzey Anadolu Makaslama Alanının faaliyeti sonucunda oluşmuştur. Fay orta-geç Miyosen esnasında doğuda teşekkül etmiş ve senede 11 cm'lik bir hızla batıya doğru yırtılmıştır. Orta Miyosen'den beri makaslama alanının evrimi süresince pek çok havza meydana gelip daha sonra yamulmaya maruz kalmışlardır. Sık yapılan bir hatâ, Kuzey Anadolu Fayının faaliyeti ile, onu doğurmuş olan Kuzey Anadolu Makaslama Alanının faaliyetini birbirleriyle karıştırmaktır. Fay nihayet Pleyistosen başlarında vücut bulduğu zaman, daha önce oluşmuş olan havzaları kesip geçmiştir. Benzer bir kesip geçme olayının hazırlıkları şu anda Çınarcık Havzasında Yeşilköy'ün güneyindeki dönüşü atlamak için yapılmaktaymış gibi görünmektedir. Şimdi Marmara Denizi civarında ve içinde şiddetle ihtiyacımız olan şey yüksek çözünürlüklü stratigrafi ile çok büyük ölçekli yapısal haritalamadır. Görünür bir gelecekte, kabuk yapısı çalışmalarının hassasiyeti, arazide uygulanan jeolojik yöntemlerin hassasiyetine ulaşamayacaktır. Bu nedenle, hem karada hem deniz altında yüksek kaliteli jeolojik haritalama alanlarının artırılması şarttır. Hem Marmara Denizi'ni anlayabilmemiz, hem de onun çevresinde yaşayan insanların emniyeti hayatı olarak buna bağlıdır.

### **ABSTRACT**

*The Sea of Marmara, the ancient Propontis, is a basin that originated as a consequence of the activity of the North Anatolian Shear Zone, a broad keirogen that finally gave birth to the North Anatolian Fault. The Fault originated in the medial to late Miocene in the east and propagated westwards at a rate of about 11 cm/a. Since the medial Miocene a number of basins have opened and become deformed as the shear zone evolved. A commonly made mistake is to confuse the activity of the North Anatolian Fault with the activity of the North Aratolian Shear Zone that gave rise to it. When the Fault finally became materialised in the Pleistocene, it cut across the previously laid out basins. A similar thing may now be happening in the Çınarcık Basin to by-pass the bend south of Yeşilköy. What is now needed in and around the Sea of Marmara is high-precision in stratigraphy with very-large scame structural mapping to follow the evolution of structures in time. Crustal studies will not, for a foreseeable future, have the resolution of field-based geological methods. It is therefore imperative to increase the coverage of high-quality geological mapping both onland and under the sea. Both our understanding of the geology of the Marmara Sea and the safety of the people living around it vitally depend on it.*

## Marmara Denizi'nde Kuzey Anadolu Fay Zonundaki Soğuk Akışkan Çıkışlarında İnsanlı Denizaltı ile Yapılan Gözlemler

*Manned Submersible Observations at Cold Seeps in the North Anatolian Fault Zone, Sea of Marmara*

**P. HENRY<sup>1</sup>, T.A.C ZITTER<sup>2\*</sup>, X. Le PICHON<sup>2</sup>, A.M.C. ŞENGÖR<sup>3</sup>, N. GÖRÜR<sup>3</sup>, N. ÇAĞATAY<sup>3</sup>, L. GASPERINI<sup>4</sup>, L. GELI<sup>5</sup>, M. D. TRYON<sup>6</sup>, B. Mercier de LEPINARY<sup>7</sup> and the Marnaut Scientific Party**

<sup>1</sup> IODP, Cerege Aix en Provence, France, [henry@lab.chikyu.jamstec.go.jp](mailto:henry@lab.chikyu.jamstec.go.jp)  
[henry@cdf.u-3mrs.fr](mailto:henry@cdf.u-3mrs.fr), <sup>2</sup> CEREGE, College de France, <sup>3</sup> Istanbul Technical University, Faculty of Mines and Eurasia  
 Institute of Earth Sciences, Istanbul, Turkey, <sup>4</sup> ISMAR, <sup>5</sup> IFREMER, <sup>6</sup> Scripps Institution of Oceanography,  
<sup>7</sup> Geosciences Azur.

### ÖZ

Marmara Denizi'ndeki soğuk sıvı çıkışları, Kuzey Anadolu Fay sistemindeki aktif deformasyonla ilişkilidir. Ifremer RV *L'Atalante* gemisi ile yapılan Marnaut seferi Mayıs – Haziran 2007 'de şu hedeflerle gerçekleştirilmiştir: (1) *Nautila* denizaltısını kullanarak aktif faylarla akışkan çıkışları arasındaki ilişkiyi daha iyi tanımlamak; (2) bu akışkanların niteliklerini ve kökenlerini belirlemek için bu akışkanları örneklemek; (3) birkaç ay boyunca üç bölgedeki akışkan çıkış aktivitesini ve mikrosismisiteyi gözlemlemek için deniz tabanında gerekli cihazları konuşlandırmak; (4) geçmişteki akışkan çıkışlarının kanıtı olan karbonat kabuklarını; (5) deniz tabanı ve su kolonundaki güncel biyolojik ve mikrobiyolojik aktivite üzerinde akışkan çıkışının etkisini değerlendirmek; (6) önceki depremlerde çökelmiş olan çökelleri karot olarak örneklemek.

Daha önce dipten çekmeli kameralar ve ROV ile araştırılmış alanlarda yeni ve beklenilmeyen lokasyonlarda bazı akışkan çıkışları bulunmuştur. Çınarcık havzasında sızıntılar Paleozoik yaşlı sedimentler kayaçların mostralari boyunca, fay kontrolündeki kuzey yamacın tabanında ve güney yamaca doğru genişleyen aşmalı (en-echelon) normal fayların üzerinde bulunmaktadır. Tekirdağ havzasında, kabarcık halindeki akışkan çıkışları Ganos yamacının tabanında Keşan Formasyonunun Eosen türbiditlerini etkileyen KB-GD yönlü gerilim çatlakları boyunca bulunmaktadır. Topografik yükseltiler olarak en çok aktif olan akışkan çıkışları KD – GB yönlü antiklinal sırtının üzerinde, ana fay izinden belirli uzaklıkta (100 – 2000 m) bulunmuştur. Aktif fay diklikleri birkaç lokasyonda keşfedilmiştir. Marmara Denizi'nin Ganos ve İzmit Körfezi girişlerinde çok az soğuk akışkan etkinliği görülmüş ve 1999 veya 1912 depremlerine ait deniz tabanı kırılmasını herhangi bir kanıtı bulunamamıştır.

Gözlemler çöken havza kenarlarında temel yapıların ve topografik yükseklerde sıkışma yapılarının akışkan çıkışlarının kanallanması ve dışarı atılmasında önemli olduğunu göstermektedir. Soğuk akışkan çıkışları Çınarcık ve Tekirdağ havzalarındaki ana fay şevleri yanında havzaların karşı kenarı boyunca daha az dikkat çeken fay zonları boyunca da görülmüşlerdir. Merkezi Yükselimini (İstanbul'un batısı) kesen doğrultu atımlı fay segmenti göreceli olarak çok az soğuk akıntı aktivitesine sahiptir ve bu durumun buradaki sismik boşlukla ilişkili olup olmadığını merak konusudur.

### ABSTRACT

*Cold seeps in the Sea of Marmara are associated with active deformation within the North Anatolian Fault system. The Marnaut cruise of Ifremer RV L'Atalante took place in May June 2007 with objectives (1) to better define the relations between active faults and fluid outlets using the Nautila manned submersible; (2) to sample these fluids to determine their nature and origin; (3) to install instruments to monitor the activity of three fluid outflow sites as well as the microseismicity during several months; (4) to sample carbonate crusts, testimonies of the passed activity of fluid outflow; (5) to evaluate the impact of fluid outflow on the present*

biological and microbiological activity on the seafloor and within the water column; (6) to sample through coring the sediment deposited during the previous earthquakes.

Several new zones of fluid emission were found including at unexpected locations in areas previously explored with ROV and deep towed cameras. In the Cinarcik Basin, seeps were found along outcrops of Paleozoic sedimentary rocks at the base of the fault-controlled northern cliff, and on en-echelon normal faults extending over the southern slope. In the Tekirdag Basin, bubble emissions were found at the base of the Ganos cliff along NW-SE tension gashes affecting Eocene turbidites of the Kesan formation. On the topographic highs the most active fluid emission sites were found on the top of NE-SW anticlinal ridges at some distance (100-2000 m) from the main fault trace. Active fault scarps were explored at several locations. Very little cold seep activity and no evidence for seafloor rupture from 1999 or 1912 earthquakes was found at the entrance of the Ganos and Izmit Gulf.

Observations suggest basement structures along the edges of the subsiding basins and compressive structures on the topographic highs contribute to fluid channeling and expulsion. Cold seeps are found along the main fault scarps in Cinarcik and Tekirdag basins, but also along less prominent fault zones along the opposite side of the basins. The strike-slip fault segment cutting the Central High (west of Istanbul) has comparatively little cold seep activity and we wonder whether this relates to the seismic gap there.

## Marmara Denizi'nin altındaki Kuzey Anadolu Fay Hattında Gaz Çıkışlarının Akustik Yöntemle Belirlenmesi

*Acoustic Detection of Gas Emissions Within the Submerged Section of the North Anatolian Fault Zone in the Sea of Marmara*

**L. GELI<sup>1</sup>, P. HENRY<sup>2</sup>, S. DUPRE<sup>1</sup>, D. VOLKER<sup>3</sup>, T. ZITTER<sup>2\*</sup>, X. LE PICHON<sup>2</sup>, M. TRYON<sup>4</sup>  
N. ÇAĞATAY<sup>5</sup> and the Marnaut Scientific Party**

<sup>1</sup> Ifremer, [Louis.Geli@ifremer.fr](mailto:Louis.Geli@ifremer.fr), <sup>2</sup> CEREGE, Collège de France, <sup>3</sup> Geomar, <sup>4</sup> Scripps, <sup>5</sup> Istanbul Technical University, Faculty of Mines and Eurasia Institute of Earth Sciences, Istanbul, Turkey

### ÖZ

SIMRAD EK-60 model 38 kHz tek ışınlı, eko-sonda (echo-sounder), su kolonundaki gaz kabarcıklarının oluşturduğu akustik anomalileri belirlemek için RV L'Atalante gemisi seferi (Mayıs-Haziran 2007) esnasında kullanılmıştır. Güney Çınarcık Havzası'nda güçlü akustik anomaliler N100° yönlü 3 km genişliğinde bir şerit içerisinde N140 ° yönlü normal faylar boyunca bulunmuştur. Şerit eğilimi MCS (Çok Kanallı Sismik) verisinde tanımlanmış olan gömülü fay sisteminin yönüne uymaktadır (Carton and Singh, 2007). Nautila ile bu anomalilerin yer-doğrulaması deniz tabanında gaz sızıntıları ve kabarcık emisyonlarının bulunmasına olanak sağlamıştır. Akustik anomaliler Çınarcık Havzasının kuzey tarafındaki ana fay şevinde görünürde daha zayıftır.

Merkezi yükselimde ve Kumburgaz havzasında, ana fay izi boyunca akustik anomali bulunmamıştır. Gerçekten de çok güçlü genlikli anomali kümesi geniş antiklinalin üst kısmında faydan yaklaşık olarak 1 km uzaklıkta tanımlanmıştır. Batı yükselimi (western high) akustik anomali kümesi; gaz hidrat kararlılık alanının dışında, 660 m su derinliğinde sıg gaz hidratların örneklediği yerde, 40°49'K, 28°46.8'D yankısında bulunan antiklinalin üst kısmını karakterize etmektedir. Tekirdağ ve Merkez Havzalarında EK-60 çizgileri fay diklikleri boyunca uygulanmıştır. Akustik kayıtlar fay aynasında gaz sızıntılarının varlığını göstermektedir.

Bu yeni veri serisi, Eylül 2007'de deniz tabanının 200 m üzerinde 112 kHz dipten çekmeli side-scan sonar ile RV Le Suroit'de elde edilen önceki sonuçları doğrulamaktadır. 2000 senesinde belirlenmiş olan en aktif alanların 2007 senesinde hala aktif olduğu görülmüştür. Merkezi Yükselim ve Kumburgaz Havzasıyla ilişkili olan ana fay izi üzerinde akustik anomali bulunmadığı izlenmiştir. Bu kısmın son yüzyıl içerisinde kırılmadığı bilinmektedir.

### ABSTRACT

*The 38 kHz, single beam, echo-sounder SIMRAD EK-60 was operated during the Marnaut cruise (May-June 2007) onboard the RV L'Atalante to detect acoustic anomalies related to the presence of gas bubbles in the water column. In the south Cinarcik Basin, strong acoustic anomalies have been found along N140 ° - trending normal faults within a 3 km wide swath oriented N100 °. The swath trend corresponds to the orientation of a buried fault system identified in MCS data (Carton and Singh, 2007). Ground-truthing of these anomalies with Nautila submersible enables the founding of gas seeps and bubbles emissions at seafloor. Acoustic anomalies are apparently weaker on the main fault scarp on the northern side of the Cinarcik Basin.*

*In the Central High and Kumburgaz Basin, no acoustic anomalies were detected along the main fault trace. Instead, a cluster with very strong amplitude anomalies was identified at about 1 km away from the fault, on*

*top of a broad anticline. On the Western High, a cluster of acoustic anomalies characterizes the top of an anticline located near 40°49'N, 28°46.8'E, where shallow gas hydrates have been sampled at unexpected water depth of 660 m, well outside their stability field. In the Tekirdag and Central basins, EK-60 lines were implemented along the fault scarps and the acoustic records indicate the presence of gas seeps at fault escarpments.*

*This new set of data confirms previous results obtained with RV Le Suroit in September 2000 with a 112 kHz side-scan sonar towed 200 m above seafloor. Most active sites identified in 2000 were still active in 2007. We note that the only place where no acoustic anomaly was found on the main fault trace corresponds to the Central High and Kumburgaz Basin area. This segment did not rupture during the last century.*

## Çınarcık Havzasının Kuzey Yamacı : Heyelan Riski ile Karşı Karşıya Olan Bir Sualtı Fay Şevi

*Northern Margin of the Çınarcık Basin: An Unstable Submarine Fault Scarp Prone to Mass Movements*

**Naci GÖRÜR, M. Sinan ÖZEREN, M. Namık ÇAĞATAY, A. M. Celal ŞENGÖR**

### ÖZ

2007 Mayıs ve Haziran aylarında Marmara Denizi'nde yapılan MARNAUT çalışmasında NAUTILE denizaltısı ile bir dizi dalış yapılmıştır. Bu çalışmadaki amaçlardan biri fay zonundaki çökelleri araştırmaktır. Dalış yapılan bu bölgede söz konusu kayalar dik bir yamaç oluşturmakta ve tabakalar yaklaşık 60 derecelik bir dalma açısıyla güneye doğru dalış göstermektedir. Yamaçtan alınan örnekler kayaların genel olarak koyu gri-siyah renkli, ince ve orta tabakalı şeyller ve karbonatlar olduklarını ortaya çıkarmıştır. Şeyller sert, çatlamış ve bresleşmiş ve çatlakların içi kalsitle dolmuştur. Şeyllerin X-ışını difraksiyon analizi, kil mineralleri kuvars, kalsit, feldspattan oluştuğunu göstermektedir. Kil mineralleri karışık tabakalı illit-smektit, kaolin ve az miktarda da illit oluşmuştur. Bazı yerlerde demir ve silisifikasyon etkileri de gözlenmektedir. Karbonatlar ise genel olarak ekinoderm ve molluskca zengin biyosparitlerle temsil edilmektedir. Karbonatlar genel olarak parçalanmış halde olup, bazı taneler arasında stilolitik yapılar izlenmektedir.

Bu sualtı çökellerini karadaki Paleozoyik birimlerle karşılaştırdığımızda bunların Orta Devoniyen çökelleri oldukları anlaşılmaktadır. Bilindiği gibi, karadaki Orta Devoniyen çökelleri bileşim olarak denizde gözlenenlere benzer şekilde ardaşık karbonat ve şeyl tabakaları içermektedir. Tuzla açıklarındaki çok büyük, eski bir sualtı heyelanının batı sınırına yapılan diğer bir dalışta kaymanın gerçekleştiği tabakanın siyah renkli, ve havzanın ortasına doğru dalan şeyllerden oluştuğu tespit edilmiştir. Yani hem malzeme özellikleri, hem de geometrik durum bu büyük heyelanın mekanik evrimini destekler niteliktedir. Bu, gelecekteki sualtı heyelanı riski konusunda kestirimler yaparken akıldan çıkarılmaması gereken bir derstir. Zira, deniz dibi sismometre (OBS) verileri, Çınarcık Havzası'nın kuzey kenarının doğu kısmında mikrosismik aktivitenin çok yoğun olduğunu göstermektedir. Ayrıca, yapılan matematiksel simülasyonlar Çınarcık Havzası'nın kuzey kenarında tipik bir batimetrik kesit için  $H$  ortalama kalınlığındaki bir sualtı heyelanının lokal olarak  $0.6 H$  maksimum dalga yüksekliğine sahip bir Tsunami dalga grubunu oluşturabileceğini göstermektedir.

### ABSTRACT

*During the Marnaut expedition in the Sea of Marmara between May and June, 2007, a number of dives with submersible Nautilite was realized. One of the objectives was to investigate the stratigraphy of the rocks cropping out on this fault scarp. On the dive traverse rocks belonging to the Palaeozoic of Istanbul were observed. These rocks form a steep scarp with beds dipping mainly toward the open sea with an angle of approximately 60 degrees. Sampling of the outcrop revealed that they are made up of dark grey to black and thinly-to medium-bedded shales and carbonates. Shales are hard, fractured and brecciated in part. Fractures are filled with calcite. X-ray analysis of the shales showed that they contain clay minerals. quartz, calcite, feldspar, and Clay minerals are represented mainly by mixed layer illite-smectite, kaolinite and small amounts of illite. Iron staining and silicification are partly present. Carbonates are represented mainly by biosparite, rich in echinoderms and molluscs. The carbonates are fractured and display stylolitic contacts between some grains.*

*Comparison of these submarine sediments with the Palaeozoic sequence on land indicates that they represent Middle Devonian sediments. As is well known, the Middle Devonian sediments on land comprise interbedded carbonates and shales, similar in composition to the sediments described under the sea. A submarine dive on the western scar of a major submarine landslide off Tuzla area revealed that the layer on which the sliding motion occurred was composed of the black-coloured shales, dipping towards the centre of the Çınarcık basin. Hence, both the material properties and the geometric setting probably facilitated the mechanical evolution of this colossal landslide. This is an important lesson to take into account while assessing future submarine landslide risk. The OBS data show that the eastern part of the northern margin of the Çınarcık Basin is also characterized by a dense contemporary microseismic activity. Calculations show that for a typical depth profile across the northern margin of Çınarcık Basin, a submarine landslide of average thickness  $H$  is capable of generating a Tsunami wavetrain in which the local maximum wave height can reach  $0.6 H$  (0.6 times the average thickness of the slide).*



## Aktif Marmara Fayı Boyunca İzlenen Siyah Sülfidli Zonların Kökeni, Tektonik ve Paleosismolojik Açıdan Önemi

*Origin of the Black Sulphide Patches Along the Main Marmara Fault and Their Tectonic and Paleoseismological Implications*

**Namık CAĞATAY<sup>1</sup>, Ümmühan SANCAR<sup>1</sup>, Pierre HENRY<sup>2</sup>, Luca GASPERINI, Mike TRYON<sup>3</sup>, Deniz DİKÇE<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *İstanbul Teknik Üniversitesi, EMCOL, [cagatay@itu.edu.tr](mailto:cagatay@itu.edu.tr)*

<sup>2</sup> *CEREGE, College de France, Aix en Provence*

<sup>3</sup> *CNR-ISMAR, Bologna*

<sup>4</sup> *Scripps Institution of Oceanography*

### ÖZ

Marnaut projesi kapsamında 2007 yılında Nautile denizaltısı ile gerçekleştirilen dalışlarda Marmara Denizi tabanında aktif Marmara Fayı segmentleri boyunca deniz tabanında siyah sülfidli zonlar ve karbonat kabukları gözlenmiştir. Bu zonların siyah rengi ince taneli Fe-sülfid mineralleri nedeniyledir. Bu siyah zonların altında ve etrafında çoğunlukla tabaka halindeki karbonat kabukları bulunmakta olup, bu zonlar üzerinde bakteri örtüleri ve çiftkabuklu (bivalve) ve deniz kestanesinde oluşan zengin bir kemosentetik topluluk bulundurulur. Aktif metan çıkışının görüldüğü yerlerde sülfat/metan sınırı deniz tabanı veya bu yüzeye yakında yer alırken; Marmara Denizi'nin diğer bölümlerinde bu sınır deniz tabanından 2-6 m derinlerde dir. Bu durum, O- ve C- izotop analizleri ile birlikte, siyah sülfidli zonların, fay boyunca çıkan metanın anaerobik oksidasyonu ile aşğıdaki tepkimeye göre oluştuğunu göstermektedir:



Bu bakterilerce oluşturulan tepkime Fe-sülfid ve karbonat çökmesi için gerekli sil HS<sup>-</sup> and HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ionlarını sağlar.

İzmit Körfezi'nde 1999 depremi sırasında olduğu gibi, faylar boyunca metan çıkışlarının kabuk deformasyonu sonucu deprem sırasında bollaştığı izlenmiştir. Metan çıkışı ve metanın anaerobik olarak oksidasyonu derin havzalarda, fay boyunca deniz tabanında lokal anoksik koşulların oluşmasına neden olmaktadır. Bu redoks değişimlerinin jeokimyasal izleri ve deprem sonucu eşzamanlı çökelen sismotürbidit birimleri, tektonik havzaların çökel isitiflerinde değişik fay segmentleri boyunca oluşmuş eski depremlerin kayıtlarının tanınmasında kullanılacak çok önemli paleosismolojik araçlardır.

**ABSTRACT**

Black sulphidic patches and carbonate crusts were observed along the active segments of the Main Marmara Fault beneath the Sea of Marmara during the Nautila dives of the Marnaut project in 2007. The black colour of the patches are due to the presence of the black Fe-sulphides. These sulphide patches are commonly underlain and surrounded by carbonate crusts, and associated with bacterial mats and a rich chemosynthetic community of bivalves and sea urchins. In the active methane emission zones, the sulphate/methane boundary occurs at or close to the seafloor, whereas elsewhere in the Sea of Marmara, the same boundary occurs at 2-6 m below the seafloor. This, together with the O- and C-isotopic evidence indicates that the black patches and the carbonate crusts are formed by the anaerobic oxidation of methane emitted from the active faults, according to the following reaction:



This reaction provides the necessary  $\text{HS}^-$  and  $\text{HCO}_3^-$  ions for the formation of Fe-sulphides and carbonates. The methane emissions along the faults have been observed to have greatly intensified during the crustal deformation leading to earthquake ruptures, as was the case in the İzmit Gulf during the 1999 İzmit earthquake. The methane release and its anaerobic oxidation at or near the seafloor during the earthquakes results in local anoxic bottom water conditions. The sedimentary record of these redox changes at the seafloor along the ruptured fault segments in the deep tectonic basins, together with contemporaneous deposited sesimoturbidites, can be used as a paleoseismological tool to identify the records of the past earthquake events.

## Çınarcık Çukuru Yamaçlarında (Doğu Marmara Denizi) Kütleli Sediment Akmaları

*Sediment Mass Flows On The Slopes Of The Çınarcık Basin (Eastern Marmara Sea)*

**Mustafa ERGİN<sup>1</sup>, Alper SAKİTAŞ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Tandoğan, Ankara, 06100  
ergin@eng.ankara.edu.tr

<sup>2</sup>Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Eskişehir Yolu, Ankara 06520

### ÖZ

Ulusal Deniz Araştırmaları-Deniz Jeolojisi ve Jeofiziği Programı çerçevesinde bir TÜBİTAK projesi ile desteklenen (YDABÇAG-100Y081) bu çalışmanın amacı, Marmara Denizi tabanının kıtasal yamacında oluşan kütleli sediment akmalarını ve nedenlerini araştırmaktır. Burada sunulan ve tartışılan verilerin (Sakitaş, 2004; Ergin vd., 2005) çok az bir kısmı Ergin vd. (2001) tarafından açıklanmıştır. 2000 yılında MTA Sismik-1 Araştırma Gemisi ile Çınarcık Çukuru'nun yamaçlarından serbest düşmeli ağırlıklı karot ile 4 noktadan sediment örneği alınmıştır. 2 nolu karot güney yamaçtan (491 m su derinliği ve 192 cm sediment kalınlığı), 3 nolu karot İzmit Körfezi'ne yakın doğu yamaçtan (986 m su derinliği ve 53 cm sediment kalınlığı), 7 nolu karot güney yamaçtan (667 m su derinliği ve 182 cm sediment kalınlığı) ve 9 nolu karot kuzey yamaçtan (415 m su derinliği ve 307 cm sediment kalınlığı) alınmıştır.

Yalova açıklarından alınan 2 nolu karotda grimsi-koyu yeşil renkli çamur egemendir. Sedimentler % 90-100 çamur (silt ve kil) içermekte ve çakıl+kum oranları %10'u geçmemektedir. Genelde % 7'yi geçmeyen çakıl ve kum miktarları, 55-60 cm derinlikte % 10'a ulaşmaktadır. Çoğunlukla terijelik kırıntılı tanelerden oluşan sedimentlerin karbonat oranları oldukça düşüktür (% 9-10). Tuzla ve Yalova arasında ve İzmit Körfezi'ne giren denizaltı kanyonu veya kanalı gibi bir vadi morfolojisinden alınan 3 nolu karotun sedimentleri % 27-57 arasında değişen oranlarda çamur ve % 43-73 arasında çakıl ve kum ihtiva etmektedir. En üstte (0-10 cm) koyu yeşil-grimsi çamur, 10-40 cm arası kırmızımsı- kahverengi siltli-kumlu çamura geçmekte ve 40-51 cm ler arasında çakıllı-kumlu seviyeler bulunmaktadır. Sedimentlerin içerdiği düşük karbonat miktarları (%3-12) karotda terijelik kırıntılı malzemenin bolluğunu göstermektedir. Tabanın sert ve kaba taneli oluşu nedeniyle 3 nolu karot daha fazla saplanamamış ve bu nedenle daha kalın sediment elde edilememiştir. 7 nolu karot Çınarcık kuzeybatısından alınmıştır. Karotda sedimentler %1-70 arasında çakıl ve kum, % 30-99 arasında çamur ihtiva ederler. Üst 0-5 cm derinlikte % 1 olan çakıl ve kum oranları, 104-127 cm derinlikte % 16'ya çıkmakta ve 132-182 cm arasında %70'e ulaşmaktadır. Karot 7 sedimentlerinin karbonat miktarları (%9-19) alt seviyelerde yüksek ve üste doğru genelde azalmaktadır. Bu dağılım, alttan üste doğru küçülen tane boyuna eşlik etmektedir. Adalar güneyinden alınan 9 nolu karotda hakim sediment türü yeşilimsi-gri çamur olup, kum ve çakıl oranları % 0-27 arasında değişmektedir. Karotun 75-80 cm derinliklerinde % 10 oranında bulunan çakıl ve kum, 196-201 cm seviyelerde % 27'ye çıkmaktadır. Sedimentlerde karbonat oranları % 9-14 arasındadır.

Karot sedimentlerinde belirlenen kaba taneli seviyelerin çok çeşitli nedenleri (yamaç duraysızlığı, deprem, deniz fırtınası, aşırı yağış ve sel baskınları gibi) olabileceğinden, sonuçlar mevcut veriler (bazı kaynaklar aşağıda verilmiştir) ışığında tartışılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Marmara Denizi, Sediment, Kütle Hareketleri

## ABSTRACT

This study is supported by the National Marine Projects-Marine Geology and Geophysics Programme of TÜBİTAK (YDABÇAG-100Y081) and aims to investigate sediment mass movements and causes on the continental slope of the Marmara Sea floor. Only a minor part of the data presented and discussed here (Sakitaş, 2004; Ergin vd., 2005) was previously reported in Ergin et al. (2001). In 2000, onboard the R/V MTA Sismik-1, sediment samples were taken at 4 stations using free-fall gravity cores on the slopes of the Çınarcık Basin. Core 2 was taken from the southern slope (491 m water depth and 192 cm sediment thickness), and core 3 from the eastern slope close to the İzmit Gulf (986 m water depth and 53 cm sediment thickness), core 7 from the southern slope (667 m water depth and 182 cm sediment thickness) and core 9 from the northern slope (415 m water depth and 307 cm sediment thickness).

In core 2 off Yalova, grayish-dark green mud predominates. Sediments contain 90-100 % mud (silt and clay) içermekte and sand and gravel portions do not exceed 10 %. The sand and gravel percentages are generally lower than 7 %, but they reach upto 10 % at 55-60 cm depth. Sediments constitute mostly terrigenous detrital grains and their carbonate contents are rather low (9-10 %). The core 3 which was recovered at submarine valley-like channel or canyon morphology situated between Tuzla and Yalova and at the İzmit Gulf entrance, is composed of sediments with mud percentages ranging from 27-57 % and sand and gravel from 43-73 %. The uppermost (0-10 cm) dark green-grayish mud grades to reddish-brown silty mud at 10-40 cm depth and gravelly-sandy intervals are found at 40-51 cm. The low carbonate contents of sediments (3-12 %) indicate the overwhelming presence of terrigenous detrital materials in the core. The core 3 could not penetrate deeper due to hard and coarser-grained bottom conditions. The core 7 was taken from the northwest off Çınarcık. Sediments in the core contained 1-70 % sand and gravel and 30-99 % mud. The sand and gravel contents of 1 % at 0-5 cm depth increased to 16 % at 104-127 cm depth and reach up to 70 % at 132-182 cm depths. Core 7 sediments constitute 9-19 % carbonate being high at lower section with a decreasing tendency to upcore. This distribution is associated with upcore-fining grain size. The core 9 taken from south of the Prince Islands is marked by dominance of greenish-gray mud with sand and gravel percentages of 0-27 %. The sand and gravel contents of about 10% at 75-80 cm depths increase to 27 % at 196-201 cm. The carbonate contents of sediments range between 9 and 14 %.

Because the coarser-grained levels determined in the cores may have a wide variety of origins (slope instability, earthquakes, stormy sea waves, increased rainfall and floods, etc), results are being discussed in the light of available data (see some sources below).

**Keywords:** Marmara Sea, Sediment, Mass Movements

## Değınilen Belgeler

- Alpar,B., Yalırak,C. 2002. Characteristic features of the North Anatolian Fault in the eastern Marmara region and its tectonic evolution. *Marine Geology*, 190, 329-350.
- Beck,C., M.-Lepinay, Schneider,J.-L., vd. 2007. Late Quaternary co-seismic sedimentation in the Sea of Marmara's deep-basins. *Sedimentary Geology*, 199, 65-89.
- Dolu,E., Gökaşan,E., Meriç,E.,Ergin,M., Görüm,T., Tur,H., Ecevitoglu,B.,Avşar,N., Görmüş,M., Batuk, F., Tok,B.,Çetin,O. 2007. Quaternary evolution of the Gulf of İzmit (NW Turkey): a sedimentary basin under control of the North Anatolian Fault Zone. *Geo-Mar Lett.* DOI 10.1007/s00367-007-0057-3
- Ergin,M., vd. 2001. Tektonikçe aktif Marmara Denizi Çınarcık Çukuru'nda yamaç duraysızlığı, kütleli sediment hareketleri ve simotürbiditler: 17 Ağustos 1999 Depremi sonrası çalışmalar. 54. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 7-10 Mayıs 2001, Ankara, Bildiri Özleri, 24-25.
- Ergin,M., Kuşçu,İ., Hakyemez,Y., Sarıkavak,K., Karagöz,Ş., Sakitaş,A., Keskin,Ş.,Yiğit,F., 2005. Sismotektonikçe Aktif Doğu Marmara (Çınarcık) Çukurluğunun Geç Kuvaterner Jeolojisi: Sedimentolojik, Mineralojik, Jeokimyasal ve Sismik Profillemeye Araştırmaları. TÜBİTAK Proje (YDABÇAG-100Y081) Sonuç Raporu, 108 s.
- Gazioğlu,C., Gökaşan,E.,Algan,O., Yücel,Z., Tok,B., Doğan,E. 2002. Morphologic features of the Marmara Sea from multi-beam data. *Marine Geology*, 190, 397-420.
- Kuşçu,İ., Okamura,M., Matsuoka,H., Awata,Y. 2002. Active faults in the Gulf of İzmit on the North Anatolian Fault, NW Turkey: a high-resolution shallow seismic study. *Marine Geology*, 190, 421-443.

- McHugh, C.M.G., Seeber, L., Cormier, M.-H., Dutton, J., Cagatay, N., Polonia, A., Ryan, W.B.F., Gorur, N. 2006. Submarine earthquake geology along the North Anatolia Fault in the Marmara Sea, Turkey: A model for transform basin sedimentation. *EPSL*, 248, 661-684.
- Okay, A.I., Özcan-Kaşlılar, A., Imren, C., Güney-Boztepe, A., Demirbağ, E., Kuşçu, İ. 2000. Active faults and evolving strike-slip basins in the Marmara Sea, northwest Turkey: a multichannel seismic reflection study. *Tectonophysics*, 321, 189-218.
- Sakitaş, A., 2004. Marmara Denizi Çınarcık Çukurunun Geç Kuvaterner Sedimentolojisi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 81 s.
- Sarı, E., Çağatay, M.N. 2006. Turbidites and their association with past earthquakes in the deep Çınarcık Basin of the Marmara Sea. *Geo-Mar Lett.*, 26, 69-76.

## Yenikapı (Güney İstanbul) Eski Kıyılarında 5-12. Yüzyıllar Arasındaki Çevre Kirliliğinin Bentik Foraminiferlerle Belirlenmesi

*Determination of environmental pollution of Yenikapı (Southern Istanbul) ancient coastline between 5<sup>th</sup> and 12<sup>th</sup> centuries using benthic foraminifera*

**Engin MERİC<sup>1</sup>, Doğan PERİNÇEK<sup>2</sup>, Niyazi AVŞAR<sup>3</sup>, Atike NAZİK<sup>3</sup>, Fulya YÜCESOY-ERYILMAZ<sup>4</sup>, İpek F. BARUT<sup>5</sup>, Mutlu OZDOĞAN<sup>6</sup>, Feyza DİNÇER<sup>3</sup>**

*1 Moda Hüseyin Bey Sokak No: 15/4, 34710 Kadıköy/İstanbul(barutif@istanbul.edu.tr)*

*2 Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Terzioğlu Kampüsü 17100Çanakkale*

*3 Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 01330 Balcalı/Adana*

*4 Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Çiftlikköy Kampüsü, 33343 Mezitli/Mersin*

*5 İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, , 34116 Vefa/İstanbul*

*6 Center for Sustainability and the global Environment, University of Wisconsin, Madison, WI 53703, USA*

### ÖZ

Marmaray projesi kapsamında Yenikapı ve yakın çevresinde yapılan kazılarda ortaya çıkan genç çökellerin foraminifer içeriği incelenmiştir. Bazı bentik foraminiferlerde ortamsal kirliliğin belirteci olarak morfolojik bozukluklar gözlenmiştir. Bu foramlar sırasıyla; *Quinqueloculina seminula* (Linné), *Rosalina bradyi* Cushman, *Ammonia parkinsoniana* (d'Orbigny), *A. tepida* Cushman, *Criboelphidium poeyanum* (d'Orbigny), *Porosonion subgranosum* (Egger), *Elphidium complanatum* (d'Orbigny), *E. depressulum* Cushman, *E. macellum* (Fichtel ve Moll)'dır. Bu topluluk dışında genç çökeller içinde küçük pelesipod ve gastropod kavkıları, ekinid dikenleri, bryozoonlar, vermes tüpleri ile sünger spikülleri gözlenmiştir. En ilginç bulgulardan biri, istifin alt bölümünde bitkisel kökenli bir mikroorganizma olan az sayıda *Chara* sp.'nin varlığıdır. *Chara*'ların en önemli özelliği kıyı alanlarındaki akarsu ağzlarına yakın kesimlerde yaşamış/yaşamakta olmalarıdır. İçinde bulunmuş olduğu killi kumların bataklık-delta tipi koşulları yansıttığı düşünülmüştür (Corillon, 1975). Bunun dışında üst bölümlerde ostrakodlardan *İlyocypris gibba* Ramdohr ile *Heterocypris* sp.'in gözlenmesi bu düşüncüyü desteklemektedir. Çünkü *İlyocypris* türleri tatlı su-oligohalin tuzluluktaki sulara yaşamaktadır (van Morkhoven, 1963), Yine *İlyocypris gibba* Ramdohr tatlı su ve oligohalin sularla güncel olarak bulunmuştur (Delorme, 1991; Meisch, 2000). *Heterocypris* türleri ise çoğunlukla tatlı su ve çok ender olarak brahik sulara yaşamaktadır (van Morkhoven, 1963; Malz, 1976). Dolayısı ile bu alanda veya yakın çevresinde bir akarsu ağzının var olduğu ortaya çıkmaktadır. 5. ve 12. yüzyıllar ile daha genç dönemlerde günümüz Vatan Caddesi'nin bulunduğu alanda Lycos Deresi'nin (Müller-Wiener, 2001; Kocabaş ve Kocabaş, 2006) getirdiği Cr, Cu, Fe, Pb, Zn, Mn gibi ağır metallerin varlığının çevre kirliliğine neden olduğu düşünülmektedir.

İlk ismi ile Bizans olan, M. S. 324 yılında adı Konstantinopolis olarak değiştirilen ve 1453 yılında Fatih Sultan Mehmet tarafından fethinden sonra İslambol/İstanbul diye anılan şehrin bu bölümünde yapılan araştırma sonunda günümüz Vatan Caddesi'nin bulunduğu alanda geçmişte "Lykos Deresi" olarak adlandırılan ve Aksaray'dan geçerek Yenikapı dolaylarında denize ulaşan bir akarsuyun varlığı ortaya çıkmıştır. Bu alanda kimi araştırmacılar tarafından "Theodosius Limanı" diye isimlendirilen (Kocabaş ve Kocabaş, 2006), bazı kaynaklarda ise "Eleutherios Limanı" olarak değinilen (Müller-Wiener, 2001) bir liman bulunmakta idi. Bunun dışında tarihsel kayıtlara göre, surlarla çevrili şehrin orta kısmında bir akarsuyun denize boşalmakta olduğu bilinmektedir.

Theodosius Limanı olarak isimlendirilen liman 4. Yüzyıl'da inşa edilmiş, bir süre sonra doldurularak "Langa Bostanı" adıyla anılan geniş bir bostan alanına dönüştürülmüştür. Limanı inşa ettiren kişinin "Constantinus" mu?, yoksa 1. Theodosius mu? olduğu tarihçiler tarafından tartışılmaktadır. 5. Yüzyıl sonları ve 6. Yüzyıl

başlarında şehirde hızla artan nüfusun gıda gereksinimi için Mısır'dan getirilen malzemelerin korunması amacıyla bu liman ve çevresine de depolar inşa edilmiştir. 6. yüzyıl başlarında çıkan/çıkartılmış yangınlar ve depremler ile harap olan bu alanda yeni düzenlemeler yapılmış olup, daha sonra Lykos Deresi'nin getirmiş olduğu alüvyal malzemeler nedeniyle liman alanı küçülmüştür (Müller-Wiener, 2001). Limana yakın olan "Vlanga" (Langa)'da kapalı bir bölgeye Yahudiler, öncelikle de deri tabaklama işleri yapanlar yerleştirilmiştir. Bu durum 1453 yılında Fatih Sultan Mehmet tarafından Constantinopolis'in fethine kadar sürmüştür. Yine, tarihsel kaynaklar Lykos Deresi çevresinde günün ihtiyacını karşılayan tabakhanelerin varlığına değinmektedir (Müller-Wiener, 2001).

Kazı alanındaki istifin faunal içeriği günümüz Vatan Caddesi'nin bulunduğu alanda geçmişte "Lykos Deresi" olarak adlandırılan ve Yenikapı yakınlarında denize kavuşan bir akarsuyun bulunduğunu; bir kısım bentik foraminiferlerde gözlenen morfolojik özelliklerinin varlığı ise Lykos Deresi çevresinde yer almış olan tabakhanelerde kullanılan Cr, mutfak gereçleri olan muhtelif kapların yapımında kullanılan Cu ve özellikle zamanın gereksinimlerine uygun olarak (silah, kapı, pencere gibi) kullanılan Fe gibi ağır metal atıklarının dere vasıtasıyla denize ulaşması sonucu bu kıyı alanında bir çevre kirliliğinin meydana geldiğini, bunun etkisi ile foraminifer kavrıklarında morfolojik bozuklukların oluştuğunu ortaya koymaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Bentik foraminiferler, çevre kirliliği, morfolojik bozukluk, Yenikapı.

### ABSTRACT

*The benthic foraminifera of the young sediments, exposing from the excavations, in Yenikapı and surrounding area in the framework of the Marmaray project are investigated. The morphological abnormalities as being indication of environmental pollution are observed at some benthic foraminifera in the course of research. These are respectively; *Quinqueloculina seminula* (Linné), *Rosalina bradyi* Cushman, *Ammonia parkinsoniana* (d'Orbigny), *A. tepida* Cushman, *Criboelphidium poeyanum* (d'Orbigny), *Porosonion subgranosum* (Egger), *Elphidium complanatum* (d'Orbigny), *E. depressulum* Cushman, *E. macellum* (Fichtel and Moll). Besides the foraminiferal assemblage, it was observed that the young sediments included tests of small pelecypods and gastropods, echinid spines, bryozoans, vermes tubes and sponge spicules. One of the interesting findings was the presence of algae *Chara* sp. in the lower sections of the stack. The most important characteristics of the *Chara* sp. is that it prefers to inhabit the sites close to the river mouths on the coastal regions. It is suggested that clayey sand sediments, in which it was found, reflects delta marsh type of conditions (Corillon, 1975). The observation of the ostracod species *Ilyocypris gibba* Ramdohr and *Heterocypris* sp. in the upper sections of the stack supports this idea. Because *Ilyocypris* species are known to inhabit fresh water and waters with oligohaline salinity (van Morkhoven, 1963). Also, *Ilyocypris gibba* Ramdohr was recently recorded in fresh waters and oligohaline waters (Delorme, 1991; Meisch, 2000). On the other hand, *Heterocypris* species mainly prefer fresh waters, but rarely observed in brackish waters (van Morkhoven, 1963; Malz, 1976). Thus, presence of a river mouth was suggested in this area or in the vicinity. Due to high content of heavy metals like Cr, Cu, Fe, Pb, Zb carried by ancient Lycos Stream previously running under the Vatan Street (Müller-Wiener, 2001; Kocabaş and Kocabaş, 2006) suggested to cause environmental pollution between 5<sup>th</sup> and 12<sup>th</sup> centuries and even more younger periods.*

*Its first name of the city Byzantium has been changed to Constantinopolis in 324 AD, and after taken by Sultan Mehmet the Conquerer the name Islambol/Istanbul has been given. The recent study showed that, in the past, a stream called "Lykos" has been found on Vatan Street, passing from Aksaray and meeting the sea at Yenikapı. An ancient harbour was found in this region, which was named "Theodosius Harbour" (Kocabaş ve Kocabaş, 2006) or "Eleutherios Harbour" (Müller-Wiener, 2001). Besides, historical recordings indicate the presence of a stream flowing in the middle of the city which has been surrounded by walls.*

*Theodosius Harbour has been built in 4th century, and later it has been changed to a truck garden, which is known as the "Langa Garden". Historians still argue whether Constantinus or Theodosius the 1st. had built the harbour. In late 5th and early 6th centuries new complexes has been built near the harbour to store goods which have been transported from Egypt for the demand of the increasing population of the city. The region has been restored after the earth quakes and fires which had taken in place in the beginning of 6th*

century., but the harbour has been filled with the alluvials carried by the Lycos Stream and decreased in capacity (Müller-Wiener, 2001). The Jewish community, especially who had been working in leather tanning, has been settled in Vlanga (Langa) near to the harbour until the fall of the city in 1453. The presence of tanneries around the Lycos stream was mentioned in historical references (Müller-Wiener, 2001).

The investigation of the stack obtained from the study area revealed the presence of an ancient stream "Lycos Stream" previously running under the Vatan Street and pouring into the sea at Yenikapı. The morphological abnormalities observed in some of the benthic foraminifera suggests that the river had carried the heavy metals such as Cr which had been used in tanneries, Cu which had been used in kitchenary and Fe which had been used for making weapons and other household items, such as doors and windows to the sea and had caused a heavy metal pollution around harbour, resulting in the development abnormal morphologies in foraminifera tests.

**Key words:** Benthic foraminifera, environmental pollution, morphological abnormality, Yenikapı

#### Değınilen Belgeler

- Corillon, R., 1975. Flore des Charophytes du Massif Armoricaın et des contrées voisines d'Europe Occidentale. Paris, Jouve éditeur, IV, 216p.
- Delorme, L. D., 1991. Ostracoda. In Thorp, H. J. and A. P. Covich (eds.). Ecology and classification of North American freshwater invertebrates. Academic Press., 691-722.
- Kocabaş, U. ve Kocabaş, I., 2006. İstanbul Üniversitesi, Yenikapı batıkları belgeleme, konservasyon ve rekonstrüksiyon projesi 2006 yılı çalışmaları. Sualtı Bilim ve Teknolojisi Bildiriler Kitabı, 115-121, Galatasaray Üniversitesi, İstanbul.
- Malz, H., 1976. Heterocyris vel Cyprinotus Senckenbergiana Lethaea, 57, 2/3, 185-199.
- Meisch, C., 2000. Freshwater Ostracoda of Western and Central Europe. Heidelberg Berlin (Spektrum Akademischer Verlag), 552 p.
- Müller-Wiener, W., 2001. İstanbul'un Tarihsel Topoğrafyası. Yapı Kredi Yayınları, 1419, 534 s.
- Van Morkhoven, F. P. C. M., 1963. Post Palaeozoic Ostracoda. Elsevier Amsterdam, (2), 478 pp.



## Tekirdağ Havzası Derin Deniz Sedimentlerinde Manganez Dağılımı

### *Manganese Distribution in Deep Sea Sediments from the Tekirdağ Basin*

**Fusun YİĞİT-FARİDFATHİ<sup>1</sup>, Mustafa ERGİN<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Eskişehir Yolu, Ankara 06520

<sup>2</sup>Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Tandoğan, Ankara, 06100  
fsun\_y@yahoo.com

### ÖZ

Bu çalışma, Tekirdağ Havzasının güncel sedimentolojisini ve sediment jeokimyasını ve bunları kontrol eden karasal, iklimsel ve denizel etkenleri araştırmak amacı ile hazırlanan daha geniş kapsamlı bir TÜBİTAK projesinin (YDABAG 101Y071) parçasıdır. Bu sunumda, Tekirdağ Havzasının derin sularından (1091 m, 1109 m ve 1111 m) alınan karot sedimentlerinde tesbit edilen nisbeten yüksek Mn miktarları tartışılmaktadır. 288-320 cm arasında değişen kalınlıklara sahip sedimentler 2001 yılında MTA Sismik-1 Araştırma Gemisi ile ve ağırlıklı serbest düşmeli karot kullanılarak alınmıştır. Tane boyu, karbonat ve organik karbon analizleri bilinen ve yaygınca kullanılan yöntemlerle yapılmıştır. ICP-MS ile çoklu elementler tesbit edilmiş olup, burada özellikle Mn ve birazda Al, Fe ve Li tartışılmıştır.

Derin havza çukurunun güneybatısından alınan 10 nolu karot % 95 ince taneli çamur içermekte ve karbonat oranı % 10 civarındadır. Karotun organik karbon miktarı % 0.58-2.46 arasında değişmekte olup, ortalama değer % 1.49'dur. 10 nolu karotda Al miktarları ortalama % 7.08 civarında seyrederken, Fe % 4.5 ve Li 56 ppm'dir. Mn miktarları ortalama 2689 ppm iken, değerler 5425 ppm'e kadar yükselmektedir. Yüksek Mn miktarlarına karotun sadece en üst kısımlarında değil, 25-50 cm, 175 cm ve 200-225 cm sediment derinliklerinde de rastlanılmaktadır. 5 nolu karot çukurun ortasından alınmıştır ve ortalama % 98 oranında çamur ihtiva etmektedir. Önceki karotda olduğu gibi, 5 nolu karot sedimentlerinde de karbonat miktarları düşüktür (ortalama % 11). Sedimentlerin organik karbon miktarları ortalama % 0.95 civarında tesbit edilmiş fakat değerler % 0.80 ile 1.47 arasında değişmektedir. 5 nolu karot sedimentlerinin Al miktarları ortalama % 7.35'dir. Fe miktarları ortalama % 4.7 ve Li 59 ppm'dir. Ortalama 2272 ppm olan Mn miktarları 3270 ppm'e kadar ulaşmakta ve yüksek değerlere 0-5 cm ve 175-250 cm seviyelerde rastlanılmaktadır. Çukurun kuzeydoğusundan alınan 11 nolu karot sedimentlerinin çamur oranları ortalama % 99'dur. Karbonat miktarları ortalama % 11 civarında olan sedimentlerde % 0.78-1.78 (ortalama % 1.31) miktarlarında organik karbon tesbit edilmiştir. 11 nolu karot sedimentlerinde ortalama % 7.23 Al, % 4.6 Fe ve 59 ppm Li ölçülmüştür. Sedimentlerin Mn miktarları ortalama 2939 ppm iken, bu değerler 6852 ppm'e kadar yükselbilmektedir. Yüksek Mn miktarları 0-5 cm ve 100-125 cm seviyelerinde tesbit edilmiştir.

Yukarıdaki verilere göre, Tekirdağ Havzası derin deniz sedimentleri genelde ince taneli düşük karbonatlı ve terijenk kırıntılı malzemelerden oluşmaktadır. Al, Li ve Fe miktarları normal seviyelerde olup, genelde yer kabuğu ve sedimentler şeyl ortalamasına oldukça benzemektedir. Bu nedenle, bu elementlerin miktarları çoğunlukla litojenik bir girdi türüne (kayaç ayrışmasından taşınan) işaret ederken, yüksek Mn değerlerinin kısmen de olsa başka mekanizmalar veya süreçlerden kaynaklanmış olabileceği şüphesizdir. Nitekim, Marmara Denizi'nde (Ergin, 1988; Bodur ve Ergin, 1994; Ergin, 1994; Çağatay vd., 2004) ve diğer bölgelerde (Lynn ve Bonatti, 1965; Spencer ve Brewer, 1971; Lyle, 1983; Pruyers vd., 1991) yapılan çalışmalar, manganezin sediment istifi içerisinde diyajenetik koşullara bağlı olarak, aşağıdan yukarıya doğru artan bir şekilde zenginleştiğini göstermişlerdir. Marmara Denizi'nin sığ sularında ise, sedimentlerin Mn miktarları genelde azdır (< 1000 ppm; Bodur ve Ergin, 1994; Ergin, 1994; Algan vd., 2004).

Suda çözülmüş serbest oksijenin çok az veya suboksik-disoksik koşulların hakim olduğu Tekirdağ Havzasının derin sularında sedimentlerin en üst birkaç cm'si sarımtırak-kahverengimsi renkte olup, oksidasyon ortamını göstermekte ve burada Mn en yüksek miktarlara da ulaşabilmektedir. Fakat, yüksek Mn

miktarları grimsi-yeşilimsi orta ve alt sediment seviyelerinde de tesbit edilmektedir. Tesbit ve değerlendirilmeler devam etmekte olup, denizel ortam koşulları ayrıntılı incelenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Marmara Denizi, Tekirdağ Havzası, Sediment, Mn-diyajenezi

### ABSTRACT

*This study forms part of a larger investigation (Project TÜBİTAK-YDABAG 101Y071) which aims to study recent sedimentation and sediment geochemistry of the Tekirdağ Basin and to find controlling terrestrial, climatic and marine effects. In this study, the relatively high Mn concentrations in core sediments will be discussed which were obtained from the deep waters (1091 m, 1109 m and 1111 m) of the Tekirdağ Basin. Sediments having thicknesses between 288 and 320 cm were taken during the 2001 cruise of R/V MTA Sismik 1 and using free-fall gravity corer. Analysis of grain size, total carbonate, and organic carbon are based on known and widely-used methods and techniques. Multielements were determined using ICP-MS and here especially Mn and some Al, Fe and Li are discussed.*

*Core 10 recovered from the southwest of the deep basin contained 95 % fine-grained mud and carbonate amount is about 10 %. Organic carbon contents of the core varied between 0.58-2.46 %, being on average 1.49 %. Al concentrations in core 10 averaged at about 7.08 % and Fe at 4.5 % and Li at 56 ppm. Mn concentrations were on average 2689 ppm while values increased up to 5425 ppm. High concentrations were found not only in the uppermost core sections but also in the 25-50 cm, 175 cm and 200-225 cm layers. Core 5 was taken from the centre of the basin and contained on average 98 % mud. As in former core, carbonate contents in sediments of core 5 were also low (average 11 %). Organic carbon contents of the sediments were found on average to be 0.95 % but values varied between 0.80 and 1.47. Al concentrations of core 5 were on average 7.35 %. The average concentrations of Fe were 4.7 % and Li 59 ppm. The Mn concentrations averaged at 2272 ppm and values reached up to 3270 ppm whereby high values were found at 0-5 cm and 175-250 cm levels. Mud percentages of sediments of core 11 obtained from the northeast of the basin averaged at 99 %. Average carbonate contents of sediments were at 11 % while organic carbon contents were determined between 0.78 and 1.78 % (average 1.31 %). In sediments of core 11, on average, 7.23 % Al, 4.6 % Fe and 59 ppm Li were determined. Mn concentrations of sediments were on average 2939 ppm, however these values increased up to 6852 ppm. High Mn concentrations were measured at 0-5 cm and 100-125 cm levels.*

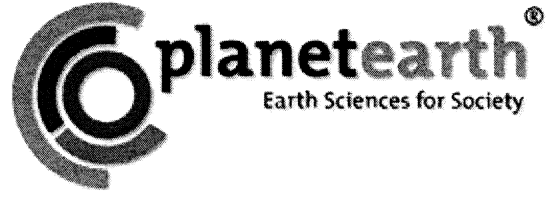
*According to data aforementioned, deep-sea sediments of the Tekirdağ Basin constituted generally fine-grained, low-carbonate and terrigenous detrital material. Al, Li and Fe concentrations are found at normal levels and are similar to those of average earth's crustal and sedimentary shale rocks. Therefore, concentrations of most of these elements indicate lithogenic input (derived from rock weathering) whereas, high Mn values should have likely been derived, at least in part, from other mechanisms or processes. It is shown from studies in the Marmara Sea (Ergin, 1988; Bodur and Ergin, 1994; Ergin, 1994; Çağatay et al., 2004) and other regions (Lynn and Bonatti, 1965; Spencer and Brewer, 1971; Lyle, 1983; Pruysers et al., 1991), manganese concentrations can be enriched within the sediment column with a tendency to increase upcore due to diagenetic conditions. In shallower waters of the Marmara Sea, concentrations of Mn in sediments are usually low (< 1000 ppm; Bodur and Ergin, 1994; Ergin, 1994; Algan et al., 2004).*

*In the deep waters of the Tekirdağ Basin where suboxic to disoxic depositional conditions prevail due to very low concentration of free dissolved oxygen, upper few cm's of sediments were yellowish to brown in color suggesting oxidation and high Mn concentrations were also reached here. However, high Mn concentrations were also determined in grayish-greenish sediments from lower core intervals. Investigations and data evaluation continued and marine depositional conditions are being studied in more details.*

**Keywords:** Marmara Sea, Tekirdağ Basin, Sediment, Mn-diagenesis

**Değinilen Belgeler**

- Algan,O., Balkıs,N., Çağatay,M.N., Sarı,E. 2004. The sources of metal contents in the shelf sediments from the Marmara Sea, Turkey. *Environmental Geology*, 46, 932-950.
- Bodur,M.N., Ergin,M. 1994. Geochemical characteristics of the recent sediments from the Sea of Marmara. *Chemical Geology*, 115, 73-101.
- Çağatay,M.N., Özcan,M., Güngör,E. 2004. Pore water and sediment geochemistry in the Marmara Sea (Turkey): early diagenesis and diffusive fluxes. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 4, 1-13.
- Ergin,M. 1988. Early diagenesis in deep-sea sediments from the Marmara Basin, Turkey. *Abstr. Joint Oceanogr. Assembl.*, August 23-31, 1988, Acapulco, p.31.
- Ergin, M. 1994. Possible sources and mechanisms of manganese enrichment in the deep-sea sediments of the Marmara Trough depressions (NE-Mediterranean, Turkey). *Oceanologica Acta*, 17, 5, 535-546.
- Lyle,M. 1983. The brown-green color transition in marine sediments: A marker of the Fe(III)-Fe(II) redox boundary. *Limnol. Oceanogr.*, 28(5), 1026-1033.
- Lynn,D.C., Bonatti,E. 1965. Mobility of manganese in diagenesis of deep sea sediments. *Mar. Geol.*, 3(6), 457-474.
- Pruysers,P.A., Lange,G.J., Middelburg,J.J. 1991. Geochemistry of eastern Mediterranean sediments: Primary sediment composition and diagenetic alterations. *Mar. Geol.*,100, 137-154.
- Spencer,D.W., Brewer,P.G. 1971. Vertical advection diffusion and redox potentials as controls on the distribution of manganese and other trace metals dissolved in waters of the Black Sea. *Journal Geophysics Resources*, 76, 58-77.



---

**MİNEROLOJİ - PETROGRAFİ OTURUMU**

*MINERALOGY - PETROGRAPHY SESSION*

**Oturum Yürütücüsü / Convener**

**Aral OKAY**

## Batı Anadolu'da Yüzeyleyen Menderes Masifi Ve Kikladik Kompleks'e Ait Birimlerin Litostratigrafi, Metamorfizma Ve Tektonik Evrim Açısından Tanımlanması

*Description of The Menderes Massif and Cycladic Complex in Western Anatolia in Terms of their Lithostratigraphic, Metamorphic and Tectonic Evolution*

**Osman CANDAN<sup>1</sup>, Roland OBERHÄNSLI<sup>2</sup>, Mete ÇETİNKAPLAN<sup>1</sup> and Gaëtan RIMMELÉ<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Tinaztepe Kampüsü, Buca-İzmir

<sup>2</sup>Institut für Geowissenschaften, Universität Potsdam, Postfach 601553, Potsdam 14415, Germany

<sup>3</sup>Schlumberger, Paris-France osman.candan@deu.edu.tr

### ÖZ

Ege Bölgesi'nde yüzeyleyen, Kikladlar ve Menderes Masifi'nden yapıli kristalin kompleksler Orta Ege Metamorfik Kuşağını oluşturur. Menderes Masifi ve Kikladik Kompleks'in birbirinin uzantısı olduğu görüşü genelde kabul görmesine karşın stratigrafik özellikleri ve Alpin tektonometamorfik evrimleri açısından bu komplekslerin birbirleriyle korelasyonu hala tartışmalıdır. Son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalarda, önceleri Menderes Masifi'ne ait olduğu kabul edilen bazı birimlerin, Menderes Masifi'ne dahil edilmemesi gerektiği vurgulanmakta ve bunlar Menderes Masifi'ni üzerleyen, Kikladik Kompleks'e ait tektonik birimler olarak yorumlanmaktadır.

Nap yığılı yapıli sunan Kikladlar'ın litostratigrafisi Alpin öncesi temel, Permo-Mezozoyik yaşlı pasif kıta kenarı çökelleri ve metamorfik ofiyolitik melanjdan oluşmaktadır. Yaygın Karbonifer granitleri tarafından kesilen temel Alpin yüksek-basınç metamorfizması tarafından üzerlenen, Variskan yaşlı orta-basınç metamorfizmasından etkilenmiştir. Permo-Mezozoyik istif baskın olarak metaboksit ve rudist fosilleri içeren, kalın mermerlerden yapılidir. Mermerler, şist arakatmanlarının yanı sıra eklojit, glaukofanit ve jadeit gnaylara dönüşmüş asidik / bazik volkanik düzeyler içermektedir. Syros ve Samos adalarında yüzlek veren ofiyolitik melanj metatüf ve klorit-şistten yapıli bir matriks ve bunun içerisindeki eklojit, omfasit-epidotit, glaukofanit ve jadeitit bloklarından oluşmaktadır.

Menderes Masifi Pan-Afrikan temel ve onu uyumsuz olarak üzerleyen Paleozoyik – Erken Tersiyer yaşlı örtü serilerinden yapılidir. Temel içerisinde, orta-sıcaklık eklojitleri ile tanımlanan yüksek-basınç metamorfizması Pan-Afrikan orojenezi ile ilişkilendirilmektedir. Barrow türü orta-basınç metamorfizması koşullarını tanımlayan, staurolit, granat ve kloritoid içeren fillitler Paleozoik seri içerisinde yaygın olarak gözlenmektedir. Mezozoyik seriler alt düzeylerinde, içlerinde kuvars metakonglomera düzeyleri bulunduran metapelitlerle başlamakta ve üste doğru dereceli olarak metaboksit içeren, rudist fosilli kalın mermerlere geçmektedir. Mermerler Orta Paleosen yaşlı metaolistostromal birim (Kazıklı Formasyonu) tarafından üzerlenmektedir. Metaolistostromun matriksinde ender olarak Mg-ribekit bileşiminde Na-amfibol gözlenmektedir. Çine asmasıfinin güney kanadı boyunca uzanan kuvars metakonglomeralar içerisindeki kuvars damarlarında karfolit–disten bir aradalığının varlığı Menderes Masifi'nin Mezozoyik serilerinin Alpin yaşlı bir yüksek basınç metamorfizmasından etkilendiğini açıkça ortaya koymaktadır.

Menderes Masifi'nin kuzeybatı kesiminde, Dilek Yarımadası – Simav arasında yüzlek veren ve mavişist – eklojit fasiyesi koşullarında yüksek-basınç metamorfizmasına uğramış birimler Triyas – Geç Kretase yaşlı düzenli bir seri ve onu tektonik olarak üzerleyen, olası Geç Kretase yaşlı Selçuk melanjından yapıli iki tektonik üniteden oluşmaktadır. Alt kesimlerinde metabazik düzeyleri ve kuvars metakonglomeraları içeren, baskın olarak mermerden yapıli düzenli seri glaukofan ve fengit içermektedir. Ar/Ar yöntemiyle fengitlerden yüksek-basınç metamorfizmasına ilişkin 40 My lik soğuma yaşları elde edilmiştir. Siros'taki ofiyolitik

melanjıyla eşleştirilebilen Selçuk melanjı, klorit ve granat şistler içerisinde yer alan serpantin, mermer ve eklojit, omfasit epidotit, omfasit metagabro ve mavişist metabaziti gibi yüksek-basınç metamorfizması kayalarından yapıli bloklardan oluşmaktadır. Selçuk yöresindeki eklojitlerden ayıklanan zirkonların kenar zonları Siros'taki eklojitlere benzer şekilde Geç Kretase yaşları vermektedir.

Ring ve diğ., (1999), Menderes Masifi'nin tümünde, Triyas – Erken Tersiyer yaşli şist, mermer ve metaolistostromdan yapıli örtü serilerinin Kikladik Kompleks'e ait olduğunu ve bunların Masif'in iç dilimlenmesini izleyen evrede bir nap ünitesi olarak Menderes Masifi'nin üzerine yerleştiğini ileri sürmektedir. Buna karşın özellikle Aydın Dağları'nda rudist içeren mermerlerin iç dilimlenme gösteren Pan-Afrikan ve Paleozoyik birimlerinden yapıli nap yığınının en alt tektonik dilimini oluşturuyor olması bu model ile uyuşmamaktadır. Öte yandan, Withney ve diğ., (2007) Çine Asması'nın güney kesimi boyunca uzanan bir tektonik hat ile ayrılan Paleozoyik ve Mesozoyik yaşli bazı birimlerin Menderes Masifi'ne ait olmadığını ileri sürmektedir. Menderes Masifi ile Kikladlar arasındaki bindirmeyi tanımlayan bu olası tektonik dokanak bölgesel ölçekteki yeni petrolojik ve tektonik verilerle yeterince desteklenmemiş olup ayrıca bu bölgenin genel jeolojik yapısıyla uyum göstermemektedir. Tektonik hattın güneyinde kalan ve Kikladik Kompleks'e dahil edilen kesiminde yer alan Paleozoyik seriler içerisinde, Kikladlar'daki Paleozoyik temel en temel özelliklerinden olan Karbonifer granitlerinin bulunmayışı ve bu kayalarda Variskan metamorfizmasına ilişkin herhangi bir verinin belirlenmemiş olması bu görüşün diğer dezavantajlı yanını oluşturmaktadır. Selçuk melanjı, KD-GB yönünde, Dilek Yarımadası – Selçuk – Akhisar – Simav arasında birbirinden kopuk tektonik dilimler şeklinde yüzeylenmektedir. Ayrıca, melanjı altlayan ve glaukofan içeren mermer – şist aralanması da melanjın uzanımıyla belirgin bir uyumluluk sunmaktadır. Menderes Masifi'ni Kikladik Kompleks'ten ayıran sınırın Selçuk – Simav arasında uzanan ve Masif'in içerisinde daha önce gelişmiş bindirme faylarını verev olarak kesen tektonik dokanak ile tanımlanabileceği görüşü (Candan ve diğ., 1997, Okay 2001 ve Rimmele ve diğ., 2003) mevcut verilerle büyük oranda uyuşmaktadır.

Alpin öncesi evrimlerinin tümüyle farklı olmasına karşın bu iki kristalin masifin Mesozoyik serileri, aynı Anatolid – Torid – Apuliyen platformundan türemiş olmalarından dolayı benzer litostratigrafiye sahiptir. Neotetis okyanusunun kuzey kolunun Geç Paleojen'deki çarpışmasının bir sonucu olarak bu platform iç ekaylanmaya uğramış ve Menderes Masifi ve Kikladik Kompleks kesimlerinde farklı derinliklere gömülmüştür. Kikladik Kompleks'e ait Mesozoyik birimler ve onu altlayan temel Eosen'de derin gömülmeye uğramış ve mavişist – eklojit fasiyesi koşullarında (12-19 kbar/450-550 °C) yüksek-basınç metamorfizmasına uğramıştır. Bu dönemde Menderes Masifi'nin Mesozoyik – Erken Tersiyer serileri, büyük olasılıkla Mesozoyik öncesi birimlerden sıyrılarak tektonik dilimler şeklinde derinlere gömülmüş ve yüksek basınç metamorfizmasına (10-12 kbar/440 °C) uğramıştır. Yüzeyleme evresinde tektonik olarak bir araya gelen bu üniteler günümüzde alttan üste doğru Menderes Masifi, Kikladik Kompleks, Likya Napları ve İzmir-Ankara Zonu kayalarından yapıli bir nap yığını yapısı sunmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Menderes Masifi, Kikladik Kompleks, Türkiye

### ABSTRACT

*In the Aegean region, the crystalline complexes, Cyclades and Menderes Massif, form the Median Aegean Metamorphic Belt. Although the Menderes Massif is traditionally assumed as the eastern continuation of the Cycladic Complex, the correlation of these two complexes in terms of lithostratigraphic characteristics and Alpine tectonometamorphic evolution is still controversial. In recent years, some of the units in western Anatolia which previously were assigned to the Menderes Massif, have been interpreted to be the tectonic units of the Cycladic Complex on top of the Menderes Massif and are excluded from the Menderes Massif.*

*The lithostratigraphy of the Cycladic Complex is made up of a stacked sequence of thrust sheets consisting of pre-Alpidic basement, Permo-Mesozoic passive continental margin sediments and metamorphosed ophiolitic melange. The basement which is intruded by widespread Carboniferous granites underwent Variscan medium-pressure metamorphism prior to Alpine high-pressure metamorphism. The Permo-Mesozoic sequence is dominated by thick marbles with metabauxite lenses and rudist fossils. It contains schist interlayers and acidic / basic volcanic horizons which were transformed into eclogites, glaucophanites and*

jadeite gneisses. Ophiolitic melange cropping out in Syros and Samos islands consists of eclogite, omphacite-epidotite, glaucophanite and jadeitite blocks embedded in a matrix of chlorite-schist and meta-tuffs.

The Menderes Massif consists of a Pan-African basement and unconformable overlain by Paleozoic to Early Tertiary cover series. The high-pressure metamorphism represented by medium-temperature eclogites in the basement is attributed to the Pan-African orogeny. The Paleozoic series is dominated by staurolite, garnet and chloritoid-bearing phyllites indicating a Barrowian-type medium-pressure metamorphism. Mesozoic series starts with metapelites containing quartz metaconglomerate horizons and passes gradually into the metabauxite-bearing thick marbles with rudist fossils which is overlain by a Middle Paleocene metaolistostromal unit (Kazıklı formation). The matrix of metaolistostrome contains scarce Mg-riebeckite occurrence. The carpholite – kyanite assemblage in synfolial quartz veins of the Triassic metaconglomerates along the southern flank of Çine submassif clearly reveals an Alpine high-pressure event in the Mesozoic series of the Menderes Massif.

Some units which underwent blueschist – eclogite facies metamorphism crop out in northwestern part of the Menderes Massif between Dilek Peninsula and Simav. They are made of two tectonic units; Triassic – Late Cretaceous coherent series and tectonically overlying, probable Late Cretaceous, Selçuk melange. Coherent series which is dominated by marbles with metabasic layers and quartz metaconglomerate horizons in lower levels contains glaucophane and phengite dated at 40 Ma, Eocene, by Ar / Ar method. Selçuk melange which can be correlated with ophiolitic melange exposed in Syros is made up of serpentinite, marble and high-pressure blocks in chlorite and garnet schist. Eclogite, omphacite-epidotite, blueschist metabasite and omphacite metagabbro form the high-pressure blocks of the melange. The rims of the zircons in the Selçuk eclogites, similar to eclogites occurring in Syros melange, yield Late Cretaceous ages.

Ring et al., (1999) suggest that in the entire of the Menderes Massif, the Triassic – Early Tertiary schist – marble – metaolistostrome series belongs to Cycladic Complex and was emplaced over the Menderes Massif as a nappe unit after the internal imbrication of the Pan-African and Paleozoic series. However, the occurrence of rudist-bearing marbles as the lowest tectonic unit of the nappe stack consisting of Pan-African and Paleozoic series in Aydın Mountains clearly precludes this tectonic model. On the other hand, along the southern border of the Çine Submassif, Whitney et al., (2007) postulate to exclude some of the Mesozoic and Paleozoic series from the Menderes Massif by a tectonic line. This inferred tectonic contact representing Menderes – Cycladic thrusting does not coincide with the general geological structure of this region and are not supported by new petrological and tectonic data in regional scale. Furthermore, the Paleozoic series occurring on the southern part of this tectonic contact which is included within the Cyclades does not contain any evidence of the existence of a Carboniferous magmatism and Variscan metamorphism which are the fundamental characteristics of the Pre-Alpidic basement of the Cycladic Complex. Selçuk melange can be traced as NE-SW- trending dismembered tectonic slices along a line Dilek Peninsula – Selçuk – Akhisar – Simav. Furthermore, the general extent of the underlying glaucophane-bearing marble – schist sequence is consistent with Selçuk melange. As suggested by Candan et al., (1997), Okay (2001) and Rimmel et al., (2003), the present evidence favors that the boundary between Cycladic units and Menderes Massif may be represented by the tectonic contact which cross-cuts the pre-existing thrust faults of the Menderes Massif obliquely between Selçuk and Simav.

Although their pre-Alpine tectonometamorphic evolutions are completely different, the Mesozoic series of these two crystalline massifs were derived from the same Anatolide – Tauride – Apulian platform and thus show similar lithostratigraphy. As a consequence of late Palaeogene collision across the northern branch of Neotethys, this platform was suffered internal imbrication and was buried to different depths in Cyclades and Menderes Massif. In Eocene time, while the Mesozoic units and underlying basement of the Cycladic Complex buried to great depths and were metamorphosed in blueschist to eclogite facies (12-19 kbar/450-550 °C), the Mesozoic – Early Tertiary series of the Menderes Massif was detached, most probably, from its pre-Mesozoic series as tectonic slices and underwent high-pressure metamorphism (10-12 kbar/440 °C). After the tectonic juxtaposition during the exhumation stage, they now display a nappe pile structure, from bottom to top, Menderes Massif, Cycladic Complex, Lycian nappes and İzmir-Ankara zone.

**Keywords:** Menderes Massif, Cycladic Complex, Turkey

### Değınilen Belgeler

- Candan, O., Dora, O.Ö., Oberhänsli, R., Oelsner F. and Dürr, S. 1997, Blueschist relics in the Mesozoic cover series of the Menderes Massif and correlations with Samos island, Cyclades. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, 77, 95-97.
- Okay, A.I., 2001, *Int.J.Earth Science*, Stratigraphic and metamorphic inversions in the central Menderes Massif: a new structural model. 89, 709-727.
- Rimmele, G., Oberhänsli, R., Goffe, B., Jolivet L., Candan O., Çetinkaplan M., 2003, First evidence of high-pressure metamorphism in the "cover series" of the southern Menderes Massif: Tectonic and metamorphic implications for the evolution of SW Turkey. *Lithos*, 71, 19-46.
- Ring, U., Gessner, K., Güngör, T., Passchier, C.W., 1999, The Menderes Massif of western Turkey and the Cycladic Massif in the Aegean – do they really correlate. *Journal of the Geological Society, London*, 156, 3-6.
- Withney D.L., Teyssier C., Kruckenberg S.C., Morgan V.L., Iredale L.J., 2007, High-pressure-low temperature metamorphism of metasedimentary rocks, southern Menderes Massif, western Turkey. *Lithos* (in press).



## Alanya Masifi'nde Neotetis'in Güney Kolunun Yitimiyle İlişkili Epidot-Mavişist / Eklojit Fasiyesi Metamorfizması

*Subduction-Related Epidote-Blueschist / Eclogite-Facies Metamorphism in the Alanya Massif: A Consequence of the Closure of Southern Branch of Neotethys*

**Mete ÇETİNKAPLAN<sup>1</sup>, Aral OKAY<sup>2</sup>, Osman CANDAN<sup>1</sup>, Roland OBERHÄNSLI<sup>3</sup> ve Ersin KORALAY<sup>1</sup>**

*1-Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Tinaztepe Kampüsü, Buca-İzmir  
(mete.cetinkaplan@deu.edu.tr)*

*2-İstanbul Teknik Üniversitesi Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü, Maslak-İstanbul*

*3- Institut für Geowissenschaften, Universität Potsdam, Postfach 601553, Potsdam 14415, Germany*

### ÖZ

Orta Toroslar'ın güneyinde, metamorfik kayaç topluluklarının yüzlek verdiği Manavgat-Alanya-Anamur arasında kalan bölge Alanya Masifi olarak adlandırılır. Antalya Napı ile tektonik olarak altlanan Alanya Masifi üst dokanağını Hadim Napı ile yapmaktadır. Alanya Masifi'nde yüksek-basınç metamorfizmasına uğramış kayaçlar Gündoğmuş ilçesinin batısında ve Alanya'nın kuzey doğusunda yüzlek verir. Gündoğmuş bölgesindeki birimler tipik napı yığını yapısı sunar. Bu tektonik istif alttan üste doğru; 1-Üst Permiyen yaşlı mermerler, 2-Mavişist fasiyesi koşullarında başkalaşıma uğramış bloklu seri, 3-Yeşilşist fasiyesindeki fillitçe baskın, ince karbonat ve kuvarsit düzeyleri içeren düzenli seri ve 4-Üst Permiyen yaşlı mermerlerden oluşmaktadır. Gündoğmuş bölgesinde gözlenen ve yitim karmaşığı özelliği sunan (melanj) bloklu seri glaukofan-fengit şistten oluşan bir matris içerisinde serpantin, glaukofan-metagabro, glaukofan-granat çört, mavişist metabazit (granat-glaukofanit ve epidot-glaukofanit) ve Permiyen platformuna ait neritik mermer bloklarından yapıldır. Benzer şekilde napı bir yapı sunan Alanya bölgesinde alttan üstte doğru Mahmutlar, Sugözü ve Yumruadağ napları ayırtlanmıştır (Özgül 1976; Okay 1989). Yeşilşist fasiyesi metamorfizması gösteren Mahmutlar Napı baskın olan pelitik şist içerisindeki kuvarsit, dolomit ve mermer arakatıklarından oluşur. Mahmutlar ve Yumruadağ Napları arasında ince bir dilim olarak gözlenen Sugözü Napı, boyları 1 cm ye kadar ulaşabilen granatların gözlendiği granat-glaukofan-fengit şistler ile temsil edilir. Bu birim içerisinde granat-glaukofanit ve eklojit mercekleri yaygın olarak gözlenir. 6x3 metre boyutlarına ulaşabilen eklojit mercekleri yaygın bir şekilde granatlı-glaukofanit ve yeşilşist metabazitlerine dönüşüm gösterirler. Yeşilşist fasiyesinde başkalaşıma uğramış olan Yumruadağ Napı tabanda maksimum 1 km kalınlığa ulaşan metaklastik bir seri ve bunu geçişli bir dokanakla üzerleyen kalın katmanlı ve metaboksit içerikli Üst Permiyen platformuna ait dolomitik mermerlerden yapıldır.

Dokusal ve mineralojik verilere dayanarak, Sugözü Napında ilerleyen ve gerileyen metamorfizmalara ilişkin 4 evre ayırtlanmıştır. Yitim ile ilişkili, ilerleyen metamorfizmanın ilk evresi epidot-mavişist fasiyesi koşullarında gelişmiştir. Bu evre eklojitlere ait granatlar içerisindeki 'glaukofan – epidot – sfen' kapanımlarla tanımlanmaktadır. Eklojit evresi 'granat – omfasit – zoisit – rutil' ile temsil edilir. Dokusal veriler, eklojitik evrede yeni granat kristalleşmelerinin yanı sıra önceki evreye ilişkin granatlar üzerine büyümenin yaygın bir şekilde gerçekleştiğini göstermektedir. Bu tür zonal büyümeli granatların kenar zonları rutil inklüzyonlarınca zengindir. Yüzeylemeyle ilişkili gerileyen metamorfizma sırasıyla, epidot-mavişist ve yeşilşist fasiyesi koşullarında gerçekleşmiştir. Omfasitin glaukofan tarafından tüketimi, omfasit uzanımlarıyla tanımlanan lineasyon üzerine oblik büyümüş özşekilli glaukofan kristalleri ve zoisit epidota dönüşümü gerileyen evredeki epidot-mavişist koşullarında yeniden dengelenmeyi tanımlamaktadır. Glaukofanın Na-Ca-amfibol

tarafından tüketimi, granatların klorit-albit-epidot-amfibol topluluğu tarafından pseudomorfik replasmanı, rutillerin sfen halkası ile çevrenmesi yeşilist fasiyesi koşullarındaki geri dönüşümü yansıtmaktadır.

Petrografik ve petrolojik bulgular Alanya bölgesinde sadece Sugözü napının yüksek-basınç / düşük sıcaklık metamorfizmasına uğradığını göstermektedir. Sugözü Napında eklojit fasiyesine kadar ulaşmış metamorfizmanın basınç koşulu maksimum jadeit içeriğine ( $X_{Jd}=45$ ) dayalı (Holland 1980) olarak hesaplanmıştır. İlgili sıcaklık aralığına göre minimum 12 kbarlık bir basınç elde edilmiştir. Söz konusu eklojitlerde omfasitin geri dönüşüm ürünü olarak bulunan albitin varlığı bulunan basıncın minimum olarak yorumlanmasına neden olur. Omfasitin maksimum jadeit içeriği ve  $Jadeit_{(100)} + quartz = albit_{(düşük)}$  reaksiyonuna göre basınç koşulları 12-15 kbar olarak verilebilir. Eklojit fasiyesindeki yüksek-basınç metamorfizmasının sıcaklık koşulları Ellis ve Green (1979) göre granat (kenar) ve omfasit çifti kullanılarak  $500\pm 25^{\circ}C$  olarak hesaplanmıştır. Mahmutlar ve Yumrudağ napları sadece tek evreli yeşilist fasiyesi metamorfizmasından etkilenmiştir. Bu metamorfizmanın Yumrudağ Napı üzerindeki etkisi klorit oluşumuyla sınırlı kalmıştır. Mahmutlar Napı'nın Alanya – Demirtaş arasında kalan kesiminde ise koşullar yeşilist fasiyesinin granat zonuna kadar ulaşmaktadır ( $6.5\pm$  kbar /  $469\pm 13^{\circ}C$ ; Okay 1989).

Paleocoğrafik modellerde genel olarak, Paleotetis Okyanusu'nun kapanmasıyla ilişkili olarak Gondvana'nın kuzey kenarında, Permo - Triyas'ta, aralarında Anatolid – Torid platformu kalacak şekilde Neotetis Okyanusu'nun kuzey ve güney kollarının açıldığı görüşü önerilmektedir (Şengör ve Yılmaz 1981; Okay ve diğ., 2006). Neotetis'in kuzey kolunun yitimi, Anatolid'lere ait tektonik zonlarda gelişen Üst Kretase – Eosen yaşlı yüksek-basınç metamorfizmaları ile temsil edilmektedir. Alanya Masifi'ndeki mavişist-eklojit fasiyesi metamorfizması tipik bir yitim ortamını tanımlamaktadır. Paleocoğrafik konum ve Türkiye'nin tektonik çatısı, bu metamorfizmanın kuzey kolun evrimi ile ilişkilendirilmesini mümkün kılmamaktadır. Bu kapsamda, Orta Toros kuşağı içinde yer alan Alanya Masifi'ndeki metamorfik kayaların evrimi Neotetis Okyanusu'nun güney kolunun kapanmasıyla ilişkilendirilebilir. Gündoğmuş bölgesindeki mavişist melanj yitim sırasında derine gömülmüş yığılma prizmasını tanımlamaktadır. Sugözü napının metamorfizması ise bazı dilimlerin eklojit fasiyesi koşullarında derin gömülmeye uğradığını göstermektedir. Mahmutlar ve Yumrudağ naplarını oluşturan pasif kıta kenarı çökelleri bu yitim ortamında sığ gömülme ve iç dilimlenme sonucu yeşilist fasiyesi koşullarında başkalaşıma uğramıştır. Sugözü napı gibi bazı dilimler söz konusu metamorfizma sırasında tektonik olarak bu seri içerisine yerleşmiş ve yeşilist fasiyesi koşullarında yeniden dengelenmiştir. Radyometrik olarak henüz yaşlandırılmamış olmasına karşın, yapısal ve stratigrafik verilere (Öztürk ve diğ., 1995) dayanarak yüksek-basınç ve izleyen evredeki orta-basınç metamorfizmasının Geç Kretase'de gerçekleştiği söylenebilir.

**Anahtar kelimeler:** Alanya masifi, Neotetis, eklojit, omfasit, mavişist

### ABSTRACT

*Metamorphic rocks which crop out in the south of Central Taurides among Manavgat-Alanya-Anamur are called as Alanya Massif. The Alanya Massif which is tectonically overlain by Hadim Nappe rests on the Antalya Nappe with a thrust contact. The high-pressure rocks of the Alanya Massif are exposed in north of Gündoğmuş and north-east of Alanya. The units in Gündoğmuş area show typical nappe-stack structure. This nappe stacking consists of, from bottom to top, 1- Upper Permian marble, 2- blocky series metamorphosed under blueschist-facies, 3- greenschist coherent series, made up dominantly of phyllite with thin carbonate and quartzite layers and 4- Upper Permian marble. Blocky series (mélange) in Gündoğmuş area which represents a subduction-accretion complex consists of serpentinite, glaucophane-metagabbro, glaucophane-garnet chert, blueschist metabasite (garnet-glaucophanite and epidote glaucophanite) and Permian neritic marble blocks embedded in glaucophane-phengite schist matrix. In Alanya area which shows similar nappe structure, from bottom to top, three nappe units, consisting of Mahmutlar, Sugözü and Yumrudağ Nappes have been distinguished (Özgül 1976; Okay 1989). Mahmutlar Nappe metamorphosed in greenschist-facies consists dominantly of pelitic schist with quartzite, dolomite and marble intercalations. Sugözü Nappe occurring as a thin slice sandwiched between Mahmutlar and Yumrudağ Nappes is defined by garnet-glaucophane schist with garnet porphyroblasts, up to 1 cm in size. Garnet-glaucophanite and eclogite lenses are recognized commonly in this nappe. Eclogite lenses, up to 6x3 m in size are strongly transformed into*

*garnet-glaucophanite and greenschist metabasite. Yumrudağ Nappe which underwent greenschist-facies metamorphism starts at the base with a metaclastic series up to 1 km thick and passes gradually into thick layered, platform-type Upper Permian dolomitic marbles with metabauxite lenses.*

*Based on textural and mineralogical evidence during the prograde and retrograde metamorphic evolution of the Suğözü Nappe high-pressure rocks, four stages can be recognized. In the first stage of the prograde metamorphism, the Suğözü Nappe was affected by an early epidote-blueschist facies metamorphism during the subduction. This stage is represented by 'glaucophane-epidote-sphene' inclusions in the garnet of the eclogites. Eclogite stage is characterized by 'garnet-omphacite-zoisite-rutile' mineral assemblage. Textural evidence shows that besides new garnet generation in eclogite, the garnets of epidote-blueschist stage are commonly rimmed by eclogite-facies garnets. These rims are rich-in rutile inclusions. The retrograde metamorphism related with the exhumation occurred in two stages, epidote-blueschist and following greenschist facies. The textural evidence such as replacement of omphacite by glaucophane, oblique growth of idiomorphic glaucophane crystals on pre-existing lineation of omphacite and replacement of zoisite by epidote indicate that the eclogite-facies assemblage was overprinted by epidote-blueschist facies metamorphism during the retrograde stage. The consumption of glaucophane by Na-Ca amphibole, pseudomorphic replacement of garnet by chlorite-albite-epidote-amphibole assemblage, sphene corona around rutile mark the gradual retrogression into greenschist-facies rocks.*

*Petrographic and petrological data reveal that only Suğözü Nappe in Alanya area has been undergone to high-pressure / low-temperature metamorphism. In Suğözü Nappe, minimum pressure condition of eclogite-facies metamorphism based on the maximum jadeite ( $X_{Jd}=45$ ) content of omphacites (Holland 1980) is estimated as 12 kbar. Furthermore, the jadeite<sub>(100)</sub> + quartz = albit<sub>(low)</sub> reaction gives an upper limit for pressure as 15 kbar. The temperature conditions of high-pressure metamorphism in eclogite -facies estimated using Ellis and Green (1979) yielded temperatures of  $500\pm 25^\circ\text{C}$  for garnet (rim) – omphacite pairs. Mahmutlar and Yumrudağ Nappes are free of high-pressure evidence and have been affected by single stage greenschist-facies metamorphism. The effects of this metamorphism on Yumrudağ Nappe are only restricted to chlorite formation. Whereas, in the Mahmutlar Nappe between Alanya and Demirtaş, P-T conditions reach up to garnet zone of greenschist-facies metamorphism ( $6.5\pm$  kbar /  $469\pm 13^\circ\text{C}$ ; Okay 1989).*

*In the Permo-Triassic palaeogeographical reconstructions of the Tethyan oceans, it is generally assumed that northern and southern branches of the Neotethys opened along the northern margin of the Gondwana as consequence of the closure of the Paleotethys and these oceanic basins separated the Anatolid – Tauride platform from Gondwana (Şengör and Yılmaz 1981; Okay et al., 2006). The subduction history of the northern branches of the Neotethys is marked by high-pressure metamorphisms which occurred in the tectonic zones of the Anatolides during Late Cretaceous – Eocene times. The blueschist-eclogite facies metamorphism of the Alanya Massif represents a typical subduction environment. The palaeogeographical position of the Alanya Massif and general tectonic framework of Turkey preclude attributing this event to the evolution of the northern branch of the Neotethys. In this case, the poly-metamorphic evolution of the Alanya Massif which is included within the Central Tauride belt can be ascribed to the closure of the southern branch of the Neotethys. Blueschist mélange in Gündoğmuş area can be interpreted as the tectonic slices of an accretionary complex which were buried during the subduction. The occurrence of eclogites in Suğözü Nappe shows that some of slices which were derived from the shallow-water sediments reached also a depth of 50 km during this subduction. Whereas, the passive continental margin sediments of the Mahmutlar and Yumrudağ Nappes were buried to shallow depths and have undergone Barrovian metamorphism. During the exhumation, some of the deeply buried slices (e.g. Suğözü Nappe) were tectonically emplaced into these medium-pressure units and were strongly overprinted by the same greenschist metamorphism. Although it has not been dated radiometrically yet, based on the structural and stratigraphical constrains (Öztürk et al., 1995) the age of the high-pressure metamorphism in the Alanya Massif can be anticipated as Late Cretaceous.*

**Key words:** Alanya massif, Neotethys, eclogite, omphacite, blueschist

### Değınilen Belgeler

- Ellis, D.J. & Green, D.H. (1979) *An experimental study of the effect of Ca upon garnet-clinopyroxene Fe-Mg exchange equilibria. Contrib. Mineral. Petrol.*, 71, 13-22.
- Holland, T.J.B. (1980) *The reaction albite=jadeite+quartz determined experimentlly in the range 600-1200°C. American Mineralogist*, 65, 129-134.
- Okay, A.I. (1989) *An exotic / blueschist slice in a Barrovian style metamorphic terrain, Alanya Nappes, Southern Turkey. Journal of Petrology*, v.30, pp. 107-432.
- Okay, A.I. , Tüysüz, O., Satır, M., Özkan-Altınler, S., Altınler, D., Sherlock, S., & Eren, R.H. (2006) *Cretaceous and Triassic subduction-accretion, HP/LT metamorphism and continental growth in the Central Pontides, Turkey. Geological Society of America Bulletin*, 118, 1247-1269.
- Özgül, N. (1976) *Torosların bazı tnel jeolojik özellikleri. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, s. 19, 65-78
- Öztürk E.M. Akdeniz, N. Bedi, Y. Sönmez, İ. Usta, D. Kuru, K. Ve Erbay, G. (1995) *Alanya Napının stratigrafisine farklı bir yaklaşım. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, s. 10, 2-10.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., (1981) *Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. Tectonophysics*, 75, 181-241.

## Şarköy Yöresindeki (Trakya) Gizemli Mavişistler Ve Jeodinamik Önemleri

*Enigmatic Blueschists From The Şarköy Area (Turkish Thrace) And Their Geodynamic Implications*

**Gültekin TOPUZ<sup>1</sup>, Aral İ.OKAY<sup>1</sup>, Rainer ALTHERR<sup>2</sup>, Muharrem SATIR<sup>3</sup>, Winfried H. SCHWARZ<sup>2</sup>**

<sup>1)</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü, TR34469 Ayazağa, İstanbul  
<sup>2)</sup> Universität Heidelberg, Mineralogisches Institut, Im Neuenheimer Feld 236, D-69120 Heidelberg  
<sup>3)</sup> Universität Tübingen, Institut für Geowissenschaften (Geochemie), Wilhelmstrasse 56, D-72074 Tübingen  
topuzg@itu.edu.tr

### ÖZ

Şarköy yöresinde, olistostromal Üst Eosen yaşlı kumtaşları, Kuzey Anadolu Fayı'na bağlanan faylar tarafından sınırlandırılan tektonik kıymıklar halinde Miyosen yaşlı kırıntılı kayaçlar altından antiklinal çekirdekleri içinde yüzeylenmektedir. Üst Eosen yaşlı kumtaşları içindeki olistolitler, serpantinit, mavişist, metadiyabaz, Üst Kretase ve Paleosen yaşlı pelajik kireçtaşları, Üst Eosen resifal kireçtaşı, radyolarit, kuvarsit ve ender olarak da yeşilist tarafından temsil edilir. Mavişist, serpantinit, radyolarit ve pelajik kireçtaşı birlikteliği bu olistolitlerin *okyanusal bir yığışım karmaşasından* türemiş olduğuna işaret etmektedir. Ancak yörede yüzeyleyen böyle bir yığışım karmaşası bilinmemektedir. Bu çalışma bu mavişistlerin arazi ilişkileri, petrolojisi, başkalaşım yaşı ve bölgesel önemleri üzerine odaklanmaktadır.

Olistolitlerin boyutları birkaç yüz metreye kadar ulaşmaktadır. Olistolitler dışında, ~8 km uzunluğunda ve ~1.5 km genişliğinde serpantinit ve mavişist sırtı bulunmaktadır: Serpantinit sırtından ~3 km güneybatıda açılan Ortaköy-1 petrol arama kuyusunda, 1731 m sonra Miyosen kırıntılı kayaçlarından Eosen kumtaşı, siltaşı ve şeyl istifine girilmiştir (Yazman 1997). Bu da serpantinit sırtının kökünün olmadığına ve küçük ölçekteki olistolitlere benzer bir stratigrafik konum işgal ettiğine işaret etmektedir.

Mavişistler başlıca lavsonit-mavişist altfasiesi mineral topluluklarına sahip olup, 210-290 °C ve ~0.58-0.82 Gpa koşullarında dengelenmiştir. Gerek serpantinitler içinde dayk olarak gerekse kumtaşları içinde bireysel olistolit olarak rastlanılan metadiyabazlar pumpelleyit-lavsonit-glaukofan veya pumpelleyit-epidot-glaukofan gibi mineraller içerir. Bu mineral toplulukları sırasıyla 240-290 °C & 0.68-0.78 Gpa ve de 325-375 °C & 0.67-0.75 Gpa koşullarında dengelenmiştir. Dengelenme koşullarındaki sıcaklık farklılıkları olistolitlerin yığışım karmaşasında kısmen farklı sıcaklık ortamlardan türemiş olduğuna işaret etmektedir. Hem Rb-Sr fengit-toplam kayaç hem de aşamalı <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar fengit yaşlandırması ~86 My'lık yaş değerleri vermektedir. Bu yaş değerleri, mavişist fasiesli başkalaşımın Geç Kretase (Coniacian-Santonian) döneminde gerçekleşmiş olduğunu ve mavişistlerin oluşumu ile içinde buldukları olistostromal kumtaşlarının çökelimi arasında ~45 My'lık bir zaman boşluğu olduğunu göstermektedir.

Güney Trakya ve Biga yarımadasının kuzeybatı kesimi Rodop Masifi'nin en doğu uzantısını oluşturmaktadır. Biga yarımadasının kuzeybatısındaki Üst Kretase yaşlı düşük sıcaklık-yüksek basınç başkalaşım kayaları, başkalaşıma uğramamış yığışım karmaşaları (Okay & Satır, 2000) ve Şarköy mavişistleri, Sakarya Zonu ile Güney Trakya arasında bulunan bir okyanusal alanının yitim ürünü olmalıdırlar. Şarköy mavişistlerinin yaşları Tavşanlı Zonu mavişistlerinki (~82 My; Sherlock vd. 1999) ile karşılaştırılabilir niteliktedir. Ancak, her iki mavişist fasiesli alan arasında, Sakarya Zonu'nun bulunması, denetim yapılımasını güçleştirmektedir.

**ABSTRACT**

*In the Şarköy area, olistostromal Upper Eocene sandstones occur as a tectonic sliver, within Miocene clastics, ~ 25 km long and ~2 km across, bounded by the strands of the North Anatolian Fault. The olistoliths in the Upper Eocene sandstones are represented by serpentinite, blueschist, metadiabase, pelagic Upper Cretaceous and Paleocene limestones, Upper Eocene reefal limestone, radiolarian chert, quartzite and rarely greenschist. Association of rock types such as blueschist, serpentinite, radiolarian chert and pelagic limestone suggest that the olistoliths were derived from an oceanic accretionary complex. However there are no known on-land exposures of such an accretionary complex in the region. This study focuses on the field relations, petrology, age of metamorphism of these blueschist olistoliths and their geodynamic implications.*

*The sizes of the olistoliths reach up to several hundreds of meters. Apart from the olistoliths within the tectonic sliver, a large serpentinite and blueschist block, 8 km long and 1.5 km across, occur. The hydrocarbon well Ortaköy-1 drilled ~3 km southwest of the serpentinite ridge passed through 1731 m of Miocene clastics to Eocene sandstone, siltstone and shale before entering the basement rocks. This indicates that the serpentinite ridge does not have root, and occupies a similar stratigraphic position to the small olistoliths.*

*The blueschists are represented mainly by lawsonite blueschist-facies assemblages, equilibrated at 210-290 °C and ~0.58-0.82 Gpa. In addition, the metadiabases which occur either as dikes in serpentinite or discrete blocks in sandstones, contain blueschist-facies assemblages such as pumpellyite-lawsonite-glaucophane and pumpellyite-epidote-glaucophane, with equilibration conditions of 240-290 °C & 0.68-0.78 Gpa and 325-375 °C & 0.67-0.75 Gpa, respectively. Differences in equilibration temperatures at roughly similar pressures suggest that the olistoliths were originated from relatively different thermal settings, but similar depths in the accretion complex. Both Rb-Sr phengite-whole rock and incremental <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar phengite dating from the blueschists consistently yielded age values of ~86 Ma, indicating that the blueschist-facies metamorphism occurred during Late Cretaceous (Coniacian-Santonian), and there is a time lag of ~45 Ma between the blueschist-facies metamorphism and deposition of hosting sandstone-shale sequence.*

*The southern Turkish Thrace and northern Biga Peninsula forms the easternmost extension of the Rhodopes. Late Cretaceous low temperature-high pressure metamorphism and non-metamorphic accretionary complexes in the northwestern Biga Peninsula (Okay & Satır 2000) in conjunction with the Şarköy blueschists point for the subduction-accretion processes, relating to the consumption of the oceanic domain between the Sakarya zone and the southern Thrace. Age of the Şarköy blueschists is comparable to that of the Tavşanlı zone blueschists (~82 Ma, Sherlock et al. 1999). However, the correlation is not justified because a microcontinental domain, the Sakarya Zone, occurs between the Şarköy blueschists and Tavşanlı zone blueschists.*

**Değerlenen Belgeler**

Okay A.I. & Satır, M., 2000. Upper Cretaceous eclogite-facies metamorphic rocks from the Biga peninsula, northwest Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 9, 47-56

Sherlock, S., Kelley, S., Inger, S., Harris, N. & Okay, A., 1999. <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar and Rb-Sr geochronology of high-pressure metamorphism and exhumation history of the Tavşanlı Zone, NW Turkey. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 137, 46-58.

Yazman M., 1997. Geology and prospectivity of the North Aegean offshore, Western Turkey. Kuzey Ege Marmara Denizi ve Dolayının Jeolojisi ve Deniz Yapılanmalarındaki Önemi. ITÜ Mining Faculty, 26 June, Istanbul, pp. 45-52.

## Tavşanlı Zonu'nda Bursa Güneyinde Ordovisyen Yaşlı Jadeitli Metagranitoid: Anatolid-Torid Bloku kuzeyinde Ordovisyen magmatizması

*Ordovician Jadeite-Metagranite in the Tavşanlı Zone South of Bursa: Ordovician magmatism on the northern margin of the Anatolide-Tauride Block*

**Aral I. OKAY<sup>1</sup>, Muharrem SATIR<sup>2</sup>, Cosmas SHANG<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü, Ayazağa 80626 İstanbul, Turkey, okay@itu.edu.tr*

<sup>2</sup>*Institut für Geowissenschaften, Universität Tübingen, Wilhelmstrasse 56, D-72074 Tübingen, Almanya*

### ÖZ

Tavşanlı Zonu, Anatolid-Torid blokunun Kretase'de kuzeye Neo-Tetis dalma-batma zonu içine dalan ve burada mavişist-eklojit fasiyesinde metamorfizma geçiren kesimini temsil eder. Tavşanlı Zonu içerisindeki düzenli mavişist istifli altta kalınlığı 800 metreyi geçen mikaşistlerden, mikaşistleri üzerleyen muhtemelen Mesozoyik yaşta mermerlerden ve mermerler üzerine gelen metabazit-metaçört istifinden yapılmıştır. İstif Geç Kretase'de (~80 Ma) ~24 kbar basınç ve ~430 °C sıcaklıkta başkalaşım geçirmiştir. Düzenli mavişist istifli üzerine tektonik dokanaklarla ofiyolitli melanj ve/veya esas olarak peridotitten oluşan ofiyolit kütleleri gelir.

Kuzeybatı Anadolu'da Bursa-Orhaneli'nin çevresinde yaygın mostra veren mavişist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş mermer ve mikaşistler içinde yaklaşık 400 kalınlıkta bir metagranitoid kütleleri saptanmıştır. Metagranitoid esas olarak jadeit ve kuvarstan oluşur, ayrıca az miktarda kloritoid, lavsonit, glkofan, ve fengit ihtiva eder. Metagranitoidin mikaşist ve mermerler ile olan sınırında metamorfizma-sonrası herhangi bir makaslanma veya faylanma izlenmez. Bu gözlem, ve metagranitoid ile mikaşistlerde saptanan benzer yüksek basınç mineral parajenezleri (özellikle jadeit + kloritoid + kuvars), metagranitoidin düzenli mavişist istifli ile beraber mavişist fasiyesinden başkalaşım geçirdiğini göstermektedir.

İki metagranitoid numunesinden elde edilen 16 tane zircon, Pb-Pb evaporasyon yöntemi ile yaşlandırılmıştır. Tüm zirconlar Ordovisyen yaşlar vermiş, ortalama yaş Orta Ordovisyen'dir (467.0 ± 4.5 Ma). Zirconlardan elde edilen bu yaşlar metagranitoidin kristallenme yaşı olarak yorumlanmıştır. Ayrıca metagranitoidin çevresindeki mikaşistlerden alınan bir numunedeki elde edilen onaltı kırıntılı zircon Kambriyen-Ordovisyen (530-450 Ma) ve Karbonifer (~310 Ma) yaşları, bir zircon ise geç Arkean yaşı (2563 Ma) vermiştir. Kırıntılı zircon yaşları metagranitoidin mikaşistlerin içindeki bir sokulumdan ziyade alloktan konumlu bir kütle olduğunu gösterir. Metagranitoidi çevreleyen kayaçlarda moloz akıntısı veya tane akıntısı olarak yorumlanabilecek metakonglomeraların bulunmaması, metagranitoidin ufak bir tektonik dilim olduğuna işaret etmektedir. Ayrıca kırıntılı zircon yaşları, mavişist fasiyesinde başkalaşım geçirmiş mikaşistlerin ilksel çökelim yaşının Karbonifer sonrası, muhtemelen Triyas olduğuna işaret eder.

İzmir-Ankara kenedinin hemen güneyinde mostra veren bu kütle, Anatolid-Torid blokunun kuzey kesimlerinde Ordovisyen granitoidlerinin var olduğuna işaret etmektedir. Bu granitoidler muhtemelen Gondwana kıtası kuzey kenarının Ordovisyen'deki riftleşmesi sırasında gelişmiş asitik sokulumlardır.

**Anahtar Kelimeler:** Ordovisyen graniti, jadeit, Tavşanlı Zonu, Bursa, zircon yaşları

**ABSTRACT**

*The Tavşanlı Zone represents the northern margin of the Anatolide-Tauride Block that was subducted during the Cretaceous and was metamorphosed in blueschists and eclogite facies. The coherent blueschist sequence in the Tavşanlı Zone consists of metapelitic micaschists, over 800-m in thickness, overlain by Mesozoic marbles, which are in turn overlain by a sequence of metabasite and metachert. The whole sequence was metamorphosed during the Late Cretaceous (~80 Ma) at pressures of ~24 kbar and temperatures of ~430 °C. The coherent blueschist sequence is tectonically overlain by ophiolitic melange or by ophiolite, largely represented by peridotite.*

*A metagranitoid, about 400 m thick, was found in the region of Bursa-Orhaneli in northwest Turkey within the blueschist facies micaschists and marble. The metagranitoid consists essentially of jadeite and quartz with lesser amounts of chloritoid, lawsonite, glaucophane and phengite. No post-metamorphic shearing or faulting are observed along the the metagranitoid-micaschist or metagranitoid-marble contacts. This, and the common high-pressure mineral assemblages in the micaschists and in the metagranitoid (especially the jadeite + chloritoid + quartz assemblage) indicates that the metagranitoid has been metamorphosed at blueschist facies together with the enclosing micaschist and marble sequence.*

*Sixteen zircons from two samples of jadeite-metagranitoid were dated using the Pb-Pb evaporation technique. All the zircons gave Ordovician ages with a Middle Ordovician mean age of  $467.0 \pm 4.5$  Ma. These zircon ages are interpreted as the age of crystallization of the granitic magma. A sample from the micaschists around the metagranitoid yielded sixteen Cambro-Ordovician (530-450 Ma) and Carboniferous (~310 Ma) detrital zircon ages and one zircon yielded a late Archean age of 2563 Ma. The ages from the clastic zircons indicate that the metagranitoid is not an intrusion into the micaschists but is allochthonous. The absence of metaconglomerates, which can be interpreted as debris or grain flows within the micaschists and marble, suggest that the metagranitoid is a tectonic sliver from the basement. Furthermore the clastic zircon ages show that the depositional age of the micaschists is post-Carboniferous and probably Triassic.*

*The metagranitoid, which crops out immediately south of the İzmir-Ankara suture, indicates the presence of Ordovician plutons on the northern margin of the Anatolide-Tauride Block. These granitoids probably formed during the Ordovician rifting events along the northern margin of the Gondwana.*

**Keywords:** Ordovician granite, jadeite, Tavşanlı Zone, zircon ages



## Güneydoğu Anadolu Orojenik Kuşağında Yeralan İspendere (Malatya) Ofiyoliti'nin Tektonik Ortamı ve Önemi

*Tectonic Setting and Significance of İspendere (Malatya) Ophiolite within the SE Anatolian Orogenic Belt*

**Osman PARLAK<sup>1,2</sup>, Tamer RIZAOĞLU<sup>3</sup>, Utku BAĞCI<sup>4</sup>, Ayten ÖNAL<sup>5</sup>, Sevcan KÜRÜM<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>Çukurova Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 01330 Balcalı, Adana (parlak@cukurova.edu.tr)

<sup>2</sup>Adıyaman Üniversitesi, Mesleki ve Teknik Eğitim Fakültesi, 02040 Adıyaman

<sup>3</sup>Aksaray Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 68100 Aksaray

<sup>4</sup>Mersin Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 33342 Çiftlikköy, Mersin

<sup>5</sup>İnönü Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 44280 Malatya

<sup>6</sup>Fırat Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 23119 Elazığ

### ÖZ

Doğu Toroslar'da Neotetis okyanusal kabuğunun kalıntılarından birini temsil eden Geç Kretase yaşlı İspendere ofiyoliti Güneydoğu Anadolu'da Malatya'nın doğusunda yer almaktadır. İspendere ofiyoliti doğusunda yeralan Kömürhan ve Guleman ofiyolitleri ile kökensel ilişkiye sahiptir. İspendere ofiyoliti güneye doğru Orta Eosen yaşlı volkano-sedimanter Maden grubu üzerine bindirmekte ve bölgesinde Orta Eosen-Oligosen yaşlı Kırkgeçit formasyonu tarafından uyumsuz olarak üzerlenmektedir.

Bölgede yüzeyleyen İspendere ofiyoliti tam bir okyanusal litosfer kesiti sunmakta olup tabandan tavana doğru; tektonitler, ultramafik-mafik kümülatlar, izotrop gabrolar, izole diyabaz daykları levha dayk kompleksi, plajiyogranitler ve volkaniklerden oluşmaktadır. Manto kayaçları harzburjitik özelliktedir. Ultramafik-mafik kümülat kayaçları verlit, dunit, troktolit, olivinli gabro ve gabrolarla temsil edilmektedir. Kümülatlardaki kristalleşme sırası olivin ( $Fe_{88-81}$ )  $\pm$ krom spinel, klinopiroksen ( $En_{50-45}$ ,  $Fs_{9-5}$ ,  $Wo_{49-43}$ ), ve plajiyoklas ( $An_{89-76}$ ) şeklindedir. Kümülüs ve postkümülüs mineraller kayda değer bir zonlanma göstermemektedirler. Kümülat kayaçlar içerisinde yüksek An içerikli plajiyoklasların varlığı okyanusal kabuk gelişimi sırasındaki sulu ortamı işaret etmektedir.

Volkanik kayaçlar ve Levha dayklarının Zr/Ti ve Nb/Y oranlarına dayalı olarak yapılan jeokimyasal sınıflandırmalar; volkanik kayaçların basalt, bazaltik andezit ve andezitler ile levha dayklarının ise diyabaz ve mikrodioritler ile temsil edildiğini göstermektedir. Tüm bu kayaçlar toleyitik karakter sunmaktadır (Nb/Y oranları levha daykları için 0.05-0.16 arasında volkanik kayaçlar için ise 0.05-0.23 arasındadır). Levha daykları ve volkanik kayaçlar genellikle yataya yakın veya hafif nadir toprak elementlerince tüketilme (Levha daykları için  $(La/Lu)_N = 0.67-0.96$  ve volkanik kayaçlar için  $(La/Lu)_N = 0.71-1.12$ ) göstermektedirler. Bu kayaçlar N-MORB'a göre normalize edilmiş örümcek diyagramlarında ise Rb ve Th gibi bazı yüksek iyon çaplı elementlerce (LILE) zenginleşme ve Nb bakımından tüketilme göstermektedirler.

Kümülat kayaçlarda kalsiyumca zengin plajiyoklasların ( $An_{89-76}$ ) varlığı, yüksek Mg içeriğine sahip olivin ( $Mg_{88-81}$ ) ve klinopiroksenler ( $Mg_{90-83}$ ), klinopiroksenin plajiyoklastan önce kristallenmesinin yanında volkanik kayaçlar ve levha dayklarının jeokimyasal özellikleri; İspendere ofiyolitinin Güney Neotetis'te Geç Kretase'de okyanus içi dalma-batma zonu (SSZ) üzerinde oluştuğunu ve ada yayı toleyitik (IAT) magmasından türediğini işaret etmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Neotetis, Güneydoğu Anadolu, Ofiyolit, İspendere, Malatya.

**ABSTRACT**

*Late Cretaceous İspendere ophiolite, one of the Neotethyan oceanic crustal remnants from the Eastern Tauride mountains, is located to the east of Malatya in the southeast Anatolia. The İspendere ophiolite has a genetic link with the K m rhan and Guleman ophiolites to the east. The İspendere ophiolite is a thrust over the Middle Eocene volcano-sedimentary Maden Group to the south and unconformably overlain by Middle Eocene-Oligocene aged Kirkge it formation.*

*The İspendere ophiolite in the region presents an intact oceanic lithospheric section and from bottom to top comprises tectonites, ultramafic to mafic cumulates, isotropic gabbros, isolated diabase dykes, sheeted dyke complex, plagiogranitic rocks and volcanics. The mantle tectonites are harzburgitic in composition. The ultramafic-mafic cumulate rocks are represented by wehrlite, dunite, troctolite, olivine gabbro, and gabbro. The crystallization order within the cumulates is olivine (Fo<sub>88-81</sub>) ± chromian spinel, clinopyroxene (En<sub>50-45</sub>, Fs<sub>9-5</sub>, Wo<sub>49-43</sub>), and plagioclase (An<sub>89-76</sub>). The cumulus and postcumulus minerals do not show significant zoning. The presence of An-rich plagioclases in the cumulate rocks indicates hydrous conditions at the time of oceanic crust generation.*

*The geochemistry of the volcanic and sheeted dyke rocks of the İspendere ophiolite shows that the volcanic unit comprises basalt, basaltic-andesite and andesite whereas the sheeted dykes are represented by diabase and microdiorite based on Zr/Ti vs Nb/Y ratios. All these rocks are tholeiitic in character (Nb/Y= 0.05-0.16 for the sheeted dykes and 0.05-0.23 for the volcanics). The sheeted dykes and volcanics generally show flat to light rare earth element (LREE) depleted patterns [(La/Lu)<sub>N</sub>=0.67-0.96 for the sheeted dyke rocks and (La/Lu)<sub>N</sub>=0.71-1.12 for the volcanics]. The N-MORB normalized spider diagrams for these rocks show some selected large ion lithophile element (LILE) enrichments (Rb, Th) and Nb depletion.*

*The presence of Ca-plagioclases (An<sub>89-76</sub>), highly magnesian olivines (Mg#<sub>88-81</sub>), clinopyroxenes (Mg#<sub>90-83</sub>), the crystallization of clinopyroxene before plagioclase in the cumulate rocks as well as the geochemistry of volcanics and sheeted dykes suggest that the İspendere ophiolite formed in a intraoceanic-subduction zone (SSZ) and was derived from an island arc tholeiitic (IAT) magma source in southern Neotetis during Late Cretaceous*

**Key words:** Neotethys, Southeast Anatolia, Ophiolite, İspendere, Malatya

## Orta Anadolu (Avanos) Geç Mezozoyik Magmatizmasının Evrimine bir Yaklaşım: Eşoluşumlu Granitik ve Volkanik Kayaçların Petrolojisi

*An Approach to the Central Anatolian (Avanos) Late Mesozoic Magmatism: Petrology of Cogenetic  
Granitic and Volcanic Rocks*

**Fatma TOKSOY-KÖKSAL<sup>(1)</sup>, Serhat KÖKSAL<sup>(2)</sup>, M. Cemal GÖNCÜOĞLU<sup>(1)</sup> & Rolf L. ROMER<sup>(3)</sup>**

(1) Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, ANKARA

(2) Radyojenik İzotop Laboratuvarı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Merkezi Laboratuvar, ANKARA

(3) Inorganic and Isotope Geochemistry, GeoForschungsZentrum Potsdam, POTSDAM, GERMANY  
e-posta: ftkoksal@metu.edu.tr; skoksal@metu.edu.tr; mcgoncu@metu.edu.tr; romer@gfz-potsdam.de

### ÖZ

Avanos (Nevşehir) bölgesinde yüzeylenen granitik ve volkanik kayaçların petrolojisi Orta Anadolu'daki magmatizmanın doğasını araştırmada ışık tutacaktır. Bölgede granitoidler Prekambriyen-Paleozoyik-Mezozoyik metamorfik temel kayaçlarına sokulum yaparken, volkanik kayaçlar granitoidleri kesen dayklar ve Geç Kretase (?) -Erken Paleosen olistostromal birimde bloklar halinde bulunmaktadır (Göncüoğlu vd., 1997; Köksal vd., 2001).

Avanos bölgesindeki felsik kayaçlar kuvars-siyenit ve alkali feldispat kuvars-siyenit, volkanik kayaçlar ise traki-dasit, traki-andezit ve dasit tipindedir. Her iki tip kayaç topluluğu da genel olarak aynı mineral içeriğine sahip olup, K-feldispat, plajiyoklas, amfibol, biyotit ± kuvars ± klinopiroksen ± muskovit ana mineralleri ile zirkon, titanit, apatit ve opak aksesuar fazları ile temsil edilmektedir. Bu minerallere ek olarak içeriğinde kuvars bulunmayan volkanik kayaçlarda az miktarda psödolösit bulunmaktadır.

Tüm-kayaç element jeokimyası açısından da benzerlik gösteren granitoidler ve volkanik kayaçlar alkalin ve metaluminalı-hafif peralüminalı (molar A/CNK<1.1) olup, Whalen vd. (1987) sınıflamasına dayanarak A-tipi, Pearce vd. (1984) sınıflamasına göre çarpışma-sonrası olarak nitelendirilebilir. Elementlerin silikaya karşı değişimleri incelendiğinde her iki grup kayacın aynı dağılım ve trendleri gösterdikleri belirlenmiştir. Ayrıca bu kayaçlar primitif-mantoya göre normalize edilmiş çoklu-element ve kondrite göre normalize edilmiş nadir toprak element diyagramlarında benzer zenginleşme ve fakirleşme aralıkları ile benzer paternler göstermektedir. Çoklu-element diyagramında Nb, Ta, Ti fakirleşmesi ve Rb, Th, K, Pb, U zenginleşmesi belirgin olup, nadir toprak element diyagramında LREE'ler HREE'lere göre zenginleşme gösterirken ( $[La/Yb]_N = 12-97$ ), negatif Eu anomalisi çok belirgin değildir ( $[Eu/Eu^*]_N = 0,65-0,92$ ).

Petrografik gözlemler ve tüm-kayaç element jeokimyası verileri granitik ve volkanik kayaçların eşoluşumlu olduklarına işaret etmektedir. Bunların yanısıra, granitik ve volkanik kayaçların ilksel Sr, Nd ve Pb izotop oranları da ( $[^{87}Sr/^{86}Sr]_T = 0,708479-0,709896$ ;  $\epsilon Nd_T = -7,2 - -9,1$ ;  $[^{206}Pb/^{204}Pb]_T = 18,84-18,98$ ;  $[^{207}Pb/^{204}Pb]_T = 15,72-15,76$ ;  $[^{208}Pb/^{204}Pb]_T = 38,98-39,24$ ; n=24) dar aralıklarda örtüşmektedir. İzotopik veriler de bu kayaçlar arasındaki eşoluşum ilişkisini desteklemektedir.

Elde edilen veriler, Avanos bölgesindeki volkanitlerin granitik kayaçların sığ sokulum ve ekstrusif eşlenikleri olduğunu göstermektedir. Bunun yanısıra her iki tip kayacın manto kaynaklı ergiyikten türediği, ancak bu ergiyiğin yoğun bir kıtasal kabuk kirlenmesi etkisi altında da kaldığı önerilmektedir. Bu kayaçların, Neotetis İzmir-Ankara-Erzincan kolunun kapanımı sırasında kıtasal kabuk kalınlaşmasına bağlı olarak gelişen çarpışma-sonrası magmatizmanın ürünü olduğu düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Magmatizma, volkanik kayaç, granitoid, izotop, Avanos, Orta Anadolu

**ABSTRACT**

The petrology of the granitic and volcanic rocks cropping out in Avanos (Nevşehir) area sheds light on the nature of magmatism in central Anatolia. In the region while granitoids intrude the Precambrian-Paleozoic-Mesozoic metamorphic basement rocks, volcanic rocks are found as dykes cutting granitoids and blocks in Late Cretaceous (?) - Early Paleocene olistostromal unit (Göncüoğlu et al., 1997; Köksal et al., 2001).

The felsic intrusive rocks in the Avanos area are quartz-syenite and alkali-feldspar quartz-syenite while volcanic rocks are trachydacite, trachyandesite and dacite. Both type of rock assemblages, in general, have similar mineral constituents which are K-feldspar, plagioclase, amphibole, biotite  $\pm$  quartz  $\pm$  clinopyroxene  $\pm$  muscovite of essential minerals, and accessory phases of zircon, titanite, apatite and opaque. In the quartz-free volcanic rocks, there is limited amount of pseudoleucite in addition to these minerals.

The granitoids and volcanic rocks, showing similarities also within the aspect of whole-rock element geochemistry, are alkaline and metaluminous-slightly peraluminous (molar  $A/CNK < 1.1$ ). The rocks can be described as A-type and post-collisional based on Whalen et al. (1987) and Pearce et al. (1984) classifications. Variation of elements against silica shows that both rock groups are characterized by same elemental distributions and trends. Moreover, these rocks display similar enrichment and depletion ranges and analogous patterns. In the multi-element diagram, Nb, Ta, Ti depletion and Rb, Th, K, Pb, U enrichment are noteworthy, besides in the rare earth element diagram LREEs are enriched compared to HREEs ( $[La/Yb]_N = 12-97$ ), and negative Eu anomaly is not very significant ( $[Eu/Eu^*]_N = 0.65-0.92$ ).

Petrographic observations and whole-rock element geochemistry data point out that the granitic and volcanic rocks are cogenetic. Furthermore, the initial Sr, Nd, and Pb isotope ratios of both rock groups overlap in small ranges ( $[^{87}Sr/^{86}Sr]_T = 0.708479-0.709896$ ;  $\epsilon Nd_{(T)} = -7.2 - -9.1$ ;  $[^{206}Pb/^{204}Pb]_T = 18.84-18.98$ ;  $[^{207}Pb/^{204}Pb]_T = 15.72-15.76$ ;  $[^{208}Pb/^{204}Pb]_T = 38.98-39.24$ ;  $n=24$ ). Thus isotopic data also support the cogenetic relationship between these rocks.

The data obtained show that the volcanics are shallow intrusive and extrusive equivalents of the granitic rocks in the Avanos area. Furthermore, it is suggested that both rocks are derived from mantle sourced magma that is affected from crustal contamination. These rocks are thought to be products of post-collisional magmatism generated due to the crustal thickening during the closure of Neotethyan İzmir-Ankara-Erzincan branch.

**Keywords:** Magmatism, volcanic rock, granitoid, isotope, Central Anatolia, Avanos

**Değınilen Belgeler**

- Göncüoğlu, M.C., Köksal, S. & Floyd, P.A. 1997. Post-collisional A-Type magmatism in the Central Anatolian Crystalline Complex: petrology of the İdiş Dağı intrusives (Avanos, Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences* 6, 65-76.
- Köksal, S., Göncüoğlu, M.C. & Floyd, P.A. 2001. Extrusive members of postcollisional A-Type magmatism in central Anatolia: Karahadır volcanics, İdişdağı-Avanos area, Turkey. *International Geology Review* 43, 683-694.
- Pearce, J.A, Harris, N.B.W., Tindle, A.G.W. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology* 25, 956-983.
- Whalen, J.B., Currie, K.L., Chappell, W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 95, 407-419.

## Doğu Pontidler’de Geç Karbonifer Yaşlı Yüksek K’lu Kalkalkalen Plütonizma: Gümüşhane Batoliti

*Late Carboniferous High-K Calc-Alkaline Plutonism In The Eastern Pontides: The Gümüşhane Batholith*

**G. TOPUZ<sup>1</sup>, R. ALTHERR<sup>2</sup>, W. H. SCHWARZ<sup>2</sup>, W. SIEBEL<sup>3</sup>, M. SATIR<sup>3</sup> C. ŞEN<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü, TR-34469 Maslak, İstanbul

<sup>2</sup> Universitaet Heidelberg, Mineralogisches Institut, Im Neuenheimer Feld 236, D-69120 Heidelberg

<sup>3</sup> Universitaet Tübingen, Institut für Geowissenschaften (Geochemie), Wilhelmstrasse 56, D-72074 Tübingen

<sup>4</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, TR-61080 Trabzon  
topuzg@itu.edu.tr

### ÖZ

Doğu Pontidlerin yüzeyleyen Liyas öncesi taban kayalarının takriben % 40’dan fazlası granitoyitlerden oluşmaktadır. Gümüşhane Batoliti ~400 km<sup>2</sup>’lik yüzleme alanı ile bu granitoyitlerin en büyüğüdür. Bu çalışmanın amacı, Gümüşhane Granitoyidi’nin genel petrolojik niteliklerini, yaşını ve yöredeki diğer Liyas öncesi taban kayaları ile bağlantısını araştırmaktır.

Gümüşhane Batoliti, güney sınırı boyunca amfibolit fasiyesli, ≥323 My yaşlı Kurtoğlu metamorfizlerini kesmekte ve uyumsuz olarak Liyas yaşlı volkanoklastitler tarafından üzerlenmektedir. Granit, granodiyorit ve felsik kayalar (mikrogranit, sferolitik dasit ve riolit) granitoyidi oluşturan ana kayaç türleridir. Bunlardan granit ve granodiyorit batolitin orta ve kuzey kesiminde yüzeylenmekte olup, başlıca hornblend, biyotit, plajiyoklas, K-feldispat ve tali bileşen olarak magnetit, apatit ve zirkon içermektedir. Buna karşılık, felsik kayalar batolitin güney ve güney doğu kısmında yüzeylenmekte olup, yalnızca kuvars ve feldispattan oluşmaktadır. Granit/granodiyorit ile felsik kayalar arasındaki sınır tedrici geçişlidir.

Bütün kayaç türleri yüksek K’lu kalkalkalen seriye ait olup, alüminyum doyumluk değerleri (ASI) 0.87’den 1.30’a kadar değişmektedir. ASI değerleri 1.1’den büyük olan örnekler, önemli miktarda serisit ve klorit gibi ikincil mineraller içermektedir. Artan SiO<sub>2</sub> içeriğine, yani kesirlenmeye, bağlı olarak, kayaçların Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*, MnO, MgO, CaO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Sr ve Zr içerikleri azalmakta, K<sub>2</sub>O içeriği ise artmaktadır. İlkel mantoya göre normlaştırılmış örümcek diyagramları, bariz negatif Ba, Nb-Ta, Sr, Eu ve Ti ve de pozitif K, Th, U and Pb anomalileri göstermektedir. Kondrite göre normlaştırılmış La/Yb oranları, 8.96 ile 12.44 arasında değişmektedir. Orta nadir toprak elementleri ağırlarına göre herhangi bir kesirlenme sunmamaktadır [(Gd/Yb)<sub>cn</sub> ~0.90-1.18]. Bu kimyasal nitelikler, kaynak alanda veya kabuksal bir magma odasında plajiyoklas, hornblend, piroksen ve apatit gibi minerallerin kesirlenmiş olduğuna işaret etmektedir.

Granitoyidin yaşını sınırlandırmak için dört hornblend ve dört biyotit separatu üzerinde aşamalı <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar yaşlandırması yapıldı. Batolitin doğu ucundan alınan örneklerden ayrılan biyotit ve hornblend separatları rahatsız edilmiş ve birbirleriyle uyumsuz yaş tayfları verirken, batolitin ortasından alınan örneklerdeki biyotit ve hornblendler sırasıyla 315±4 - 314±4 ve 312±6 - 318±3 My plato yaşları vermektedir. Hornblend ve biyotitin Ar difüzyonu için kapanma sıcaklığı, sırasıyla ~470-570 ve 345-310°C olarak tahmin edilmektedir. Biyotit ve hornblend yaş değerlerinin hata payları içinde ayırt edilemez oluşu, batolitin hızlı soğumuş olduğuna işaret etmektedir. Granitoyidin kesme ilişkisi içinde olduğu Kurtoğlu amfibolit fasiyesli dilimin başkalaşım yaşı, başkalaşım koşulları (≥323 My; ~650 °C ve ~0.4 Gpa, ~15 km derinlik) ve metamorfizlerle dokanaktaki felsik kayaların sferolitik doku sunması dikkate alındığında (Topuz vd. 2007), granitoyit yerleşiminin metamorfizlerin çok sığ derinliklere (~1 km) kadar yükselmesinden sonra

gerçekleştiği anlaşılmaktadır. İlksel  $\epsilon_{Nd}$  değerleri  $-3.87$ 'den  $-6.39$ 'a, ilksel  $^{87}Sr/^{86}Sr$  izotop oranları ise  $0.69239$ 'dan  $0.70880$ 'e kadar değişmektedir. Düşük ilksel  $^{87}Sr/^{86}Sr$  değerlerini,  $0.69239-0.70274$ , hidrotermal alterasyona uğramış örnekler göstermektedir. İlksel  $\epsilon_{Nd}$  değerleri artan toplam kayaç  $SiO_2$  içeriği ile herhangi bir bağlantı göstermemektedir. Bu izotopik nitelikler, kıtasal kabuk için nitelendirici olup, özümleme ve farklı kaynaklı magmaların karışımının minimum olduğunu göstermektedir.

### ABSTRACT

Over 40 % of the exposed pre-Liassic basement of the Eastern Pontides (NE Turkey) is made up of granitoids. The Gümüşhane batholith forms the largest one of these basement granitoids, with an outcrop area over  $\sim 400$  km<sup>2</sup>. The object of this study is to explore the petrologic characteristics, age of the Gümüşhane Granitoid and its relationships to the other pre-Liassic basement units in the Eastern Pontides.

The batholith crosscuts the amphibolite-facies Kurtoğlu metamorphic complex ( $\geq 324$  Ma) to the south, and is transgressively overlain by the Liassic volcanoclastics. Hornblende-biotite granite/granodiorite and the felsic granitic rocks (e.g., microgranite, hypabissal spherulitic rhyolite/dasite) form the main rock types. Of them, granite and granodiorite are exposed in the middle to the northern portion of the batholith, and comprise hornblende, biotite, plagioclase, K-feldspar and accessory magnetite, apatite and zircon. Felsic rocks occur in the southern portion of the batholith in contact with the Kurtoğlu metamorphics, and are made up exclusively of quartz and feldspar. The border between felsic rocks and granite/granodiorite is gradual, and is represented by numerous dikes of felsic rocks.

All the rock types belong to high-K calc-alkaline I-type series. Aluminum saturation values (ASI) range from 0.87 to 1.30. The samples with ASI values  $\geq 1.1$  contain considerable amounts of hydrothermal chlorite and sericite. With increasing silica, abundances of  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3^*$ , MnO, MgO, CaO,  $P_2O_5$ , Sr and Zr decrease, abundance of  $K_2O$  increases. Primitive-mantle normalized spider diagrams display marked negative anomalies of Ba, Nb-Ta, Sr, Eu and Ti and positive anomalies of K, Th, U and Pb. Chondrite-normalized La/Yb values range from 8.96 to 12.44, and middle rare earth elements are hardly fractionated relative to the heavy ones [ $(Gd/Yb)_{cn} \sim 0.90-1.18$ ]. These chemical features suggest a fractionating assemblage of plagioclase, hornblende, pyroxene and apatite.

To constrain the timing of emplacement of the batholith, four biotite and four hornblende separates were dated via incremental  $^{40}Ar-^{39}Ar$  method. Both biotite and hornblende separates from the eastern end of the batholith yielded disturbed age spectra, whereas biotite and hornblende separates from the center of the batholith recorded plateau ages of  $315 \pm 4$  -  $314 \pm 4$  and  $312 \pm 6$  -  $318 \pm 3$  Ma (2 $\sigma$ ), respectively. Closure temperatures for Ar diffusion in hornblende and biotite are estimated  $\sim 470-570$  and  $345-310$  °C, respectively. The indistinguishable nature of biotite and hornblende ages suggests rapid cooling. The timing of the amphibolite-facies metamorphism in the Kurtoğlu region ( $\geq 323$  Ma,  $\sim 650$  °C &  $\sim 0.4$  Gpa,  $\sim 15$  km; Topuz et al. 2007), and spherulitic texture in the felsic rocks bordering the Kurtoğlu metamorphics suggest that the emplacement of the Gümüşhane granitoid should have taken place after the exhumation of the Kurtoğlu metamorphics to the rather shallow levels ( $\sim 1$  km). Initial  $\epsilon_{Nd}$  values range from  $-3.87$  to  $-6.39$  and initial  $^{87}Sr/^{86}Sr$  isotope ratios from  $0.69239$  to  $0.70880$ . Low initial  $^{87}Sr/^{86}Sr$  values,  $0.69239-0.70274$ , are shown by the hydrothermally altered samples. The initial  $\epsilon_{Nd}$  values do not show any systematic relationship with the bulk-rock  $SiO_2$  concentrations, suggesting that assimilation or mixing of magmas of distinct sources were minimal. These initial isotopic values are characteristic of the crustal sources.

### Değinilen Kaynaklar

Topuz G, Altherr R, Schwarz W-H, Dokuz A, Meyer H-P (2007) Variscan amphibolite-facies metamorphic rocks from the Kurtoğlu metamorphic complex (Gümüşhane area, Eastern Pontides, Turkey) *International Journal of Earth Sciences*, 96: 861-873.

## Posterler

### **Keklikderesi (Sarıkamış-Kars) Civarının Jeolojik ve Petrografik İncelenmesi**

*Geological and Petrographical Investigation of Keklikderesi Vicinity (Sarıkamış-Kars)*

**Zafer DOYGUN, Barış SEMİZ, Yahya ÖZPINAR**

*Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Müh. Bölümü, 20200, Kınıklı Kampüsü / Denizli  
(zaferdoygun@hotmail.com; bsemiz@pau.edu.tr; yozpinar@pau.edu.tr)*

#### ÖZ

Çalışma alanı, Kars ili Sarıkamış ilçesinin yaklaşık 10 km güneydoğusundaki, Hamamlı köyünün güneybatısında kalan Keklikderesi mevkiinde yer almaktadır. Bu çalışma, inceleme alanındaki litolojik birimlerin jeolojik ve petrografik özelliklerinin incelenmesini amaçlamaktadır. Bu kapsamda 1/10000 ve 1/2500 ölçekli ayrıntılı jeoloji haritası yapılmış ve çok sayıda ince kesit örneğinin polarizan mikroskopta incelenmesi gerçekleştirilmiştir.

Çalışma alanında temeli Paleozoyik yaşlı Keklik formasyonu olarak adlandırılan metamorfik kayalar oluşturmaktadır. Keklik formasyonu üzerine bölgede geniş yayılım gösteren Miyosen-Kuvaterner ( $6.9 \pm 0.9$  ve  $1.3 \pm 0.2$  my) yaşlı Sarıkamış volkanitleri gelmektedir. En genç birimler ise Kuvaterner yaşlı yamaç molozlarıdır.

Saha çalışmaları ve petrografik inceleme sonuçlarına göre Keklik Formasyonu, kırmızı ve yeşil renkli şistlerden oluşmaktadır. Yeşil renkli olanlar, kuvars-epidot-klorit şist, serizit-klorit-epidot şist, epidot-kalsit-kuvars şist, epidot-klorit şist birimlerinden meydana gelmektedir. Kırmızı ve morumsu renkli olanlar ise çoğunlukla farklı demiroksit mineralleri içeren epidot-kalk fillit, epidot fillit ve klorit-epidot fillitlerden oluşmaktadır. Bu birimler kendi aralarında yatay ve düşey geçişlidir. Şistlerin şistozite düzlemlerine paralel olarak gelişmiş yeşil-yeşilimsi sarı renkli metabazit mercikleri bulunmaktadır. Yeşil renkli şist birimleri içerisinde, orta kalın tabakalı, açık renkli, iri kristalli, şeker dokulu mermer, aynı zamanda yer yer yeşilimsi renkli epidotlu mermer bant ve mercikleri de gözlenmektedir.

Keklik Formasyonuna ait yeşil renkli şistler, genellikle lepidoblastik ve lepidogranoblastik dokuda olup esas mineral olarak, epidot, klorit, kalsit, kuvars, serizit, tali mineral olarak ise plajiyoklas ve opak minerallerinden oluşmaktadır. Kırmızı renkli fillitler ise feldispat, kalsit, kuvars, epidot (piştazit), klorit, serizit, demiroksit ve opak minerallerden meydana gelmektedir. Metabazitler, kalıntı ofitik ve porfiroklastik dokuda olup, epidot (pistazit ve zoizit), klorit, kalsit, kuvars, az miktarda plajiyoklas, tali mineral olarak da biyotit, serizit minerallerinden oluşmaktadır. Mermerler içerisinde bol kalsit yanında küçük ve ince kuvars ve epidot mineralleri tespit edilmiştir.

Sarıkamış volkanitleri, çalışma alanında farklı litolojik birimlerden oluşan üç farklı seviye halinde gözlenmiştir. Alt seviye, riyoitik aglomera, dasitik ve riyoitik tuf ve yer yer obsidyenli seviyeler ile başlar. Orta seviye, arazide sert çıkıntılar oluşturan kaynaklanmış tuf biriminden oluşur. Üst seviye ise bazaltik andezitik, riyoitik lavlar, aglomera, tuf ve yer yer perlit seviyelerinden meydana gelmektedir.

Alt seviye volkanitlerinde, genellikle vitrofirik ve yer yer de sferülitik doku görülmektedir. Volkanik cam hâkim olup düşük ısılı silis ve az miktarda biyotit, plajiyoklas, amfibol ve opak mineraller gözlenmektedir. Sferülitik kristaller genellikle silika (kristobalit) mineralleridir. Kayaçalarda volkanik cam egemen olduğu için vitrik tuf olarak adlandırılmıştır.

Orta seviye kaynaklı tüflerinde, akma yapıları belirgindir. Kaynaklı tüfler, volkan camı kıymıkları, kristal ve litik bileşenlerden oluşmaktadır. Kaynaklı tüfler genellikle vitrofirik dokuda görülmekte olup yer yer de mikrolitik yönlenme ve hiyalopilitik dokularda göze çarpmaktadır. Esas mineral olarak plajiyoklas (oligoklas), sanidin,  $\pm$  piroksen (ojit),  $\pm$  biyotit,  $\pm$  amfibol ve opak mineraller görülmektedir. Kayaçlar, kristal vitrik tuf olarak adlandırılmıştır. Kaynaklı tuf örnekleri kristal parçalar yanında az miktarda da litik bileşenler de içermektedir.

Üst seviye tüfleri, volkan camı, kristal ve litik bileşenlerden oluşmaktadır. Tüfler genellikle vitrofirik dokuda görülmekte olup yer yer de mikrolitlerde yönlenme göze çarpmaktadır. Esas mineral olarak, plajiyoklas (oligoklas) ve piroksen (ojit) mikrolitleri,  $\pm$  sanidin,  $\pm$  biyotit ve opak mineraller tespit edilmiştir. Litik parçalar genellikle hipokristalin dokudadır. İnce taneli kristaller matriksi oluşturan volkanik cam içinde dağılmış olarak görülürler. Tuf örnekleri genellikle kristal vitrik tuf ve vitrik tuf olarak adlandırılmıştır. Üst seviye lav örneklerinde ise hakim doku pilotaksitik ve hiyalopilitik dokudur yer yer de mikrolitik pilotaksitik dokuda gözlenmektedir. Sanidin ve piroksenler (ojit) fenokristal olarak bulunmaktadır. Mikrolitler halinde, plajiyoklas, piroksen, opasitleşmiş biyotit ve opak minerallerde gözlenmektedir. Kayaçların yapılan adlamalarında andezitik ve trakiandezitik lav oldukları belirlenmiştir.

Keklik formasyonu içerisinde yer yer cevherli zonların yer aldığı belirlenmiştir. Cevherleşme, K52-68°D/15-45° KB duruşlu olan şiştözite düzlemlerine paralel süreksizlik yüzeyleri boyunca yerleşmiştir. Cevher parajenezinin, malahit, azurit, pirit, kalkopirit ve hematit minerallerinden oluştuğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sarıkamış, Keklik Formasyonu, Petrografi

#### ABSTRACT

*The study area is located in Keklikdereesi in southwestern of Hamamlı village where is approximately 10 km from southeast of Sarıkamış settlement of Kars province. The aim of this study is to determine the geological and petrographical features of lithological units in the study area. In this study, were made detailed geological maps (1/10000 and 1/2500 scaled) and prepared numerous thin sections and also examined under the microscope.*

*At the basement of the investigated area, Paleozoic aged Keklik formation which is characterized by metamorphic rocks is situated. Keklik formation is overlain with an angular unconformity by Miocene-Quaternary ( $6.9 \pm 0.9$  and  $1.3 \pm 0.2$  ma) aged Sarıkamış volcanics. All units in the investigated area are overlain with an angular conformity by Quaternary aged slope deposits.*

*According to field observations and petrographical analysis, Keklik formation consists of red and green schists. Green schists are represented by quartz-epidote-chlorite schist, sericite-chlorite-epidote schist, epidote-calcite-quartz schist and epidote-chlorite schist units. Red and purplish schists are usually constituted from epidote-calc phyllite, epidote phyllite and chlorite-epidote phyllite units. The boundary between the red and green schists is transitive. In the schists had been found green-greenish yellow metabasites lensoidal shape which developed parallel to the schistosity planes. In the green schist units, light colored and lensoidal shape white marbles and greenish epidote marbles are also found. They have sugar texture and with large crystals.*

*Green schists belonging to Keklik formation are usually lepidoblastic and lepidogranoblastic textures. They consist of epidote, chlorite, calcite, quartz, sericite, plagioclase and opaque minerals. Red phyllites, consist of feldspars, calcite, quartz, epidote (pistacite), chlorite, sericite, iron oxide and opaque minerals. Metabasites are residual ophitic and porphyroclastic textures and consist of epidote (pistacite and zoisite), chlorite, calcite, quartz and little amount of plagioclase. Secondary minerals contain biotite, sericite minerals. Marbles consist of abundant calcite, small and fine quartz and epidote minerals.*



*Sarıkamış volcanics in the investigated area was observed in the three different levels which constituted from different lithological units. Lower level begin rhyolitic agglomerate, dacitic and rhyolitic tuffs and in places obsidian levels. Middle level consists of welded tuffs which constituted hard protrusions in land. Upper level consists of basaltic andesitic, rhyolitic lavas, agglomerate, tuff and in places perlite levels.*

*In the lower level, volcanics have usually vitrophyric and spherulitic textures. This volcanics contain abundant volcanic glass and also consist of low temperature silica and little amount biotite, plagioclase, amphibole and opaque minerals. Spherulitic crystals are usually silica (cristobalite) minerals. Welded tuffs samples named as vitric tuff for dominant volcanic glass in the rocks.*

*In the middle level, welded tuffs are evident to flow banding structure. Welded tuffs consist of shards, crystal and lithic components. Welded tuffs are found usually in the vitrophyric texture, in addition they have a microlitic flow banding and hyalopilitic textures. These tuffs named as crystal vitric tuff consist of plagioclase (oligoclase), sanidine,  $\pm$  pyroxene (augite),  $\pm$  biotite,  $\pm$  amphibole and opaque minerals. In the welded tuff samples had been contained crystal fragments and lithic component in the little amount.*

*Upper level tuffs consist of volcanic glass, crystal and lithic components. Tuffs are usually in the vitrophyric texture, also there is a microlitic flow banding texture. In the tuffs had determined plagioclase (oligoclase) and pyroxene (augite) microlits,  $\pm$  sanidine,  $\pm$  biotite and opaque minerals as main mineral. Lithic fragments are generally hypocrystalline texture. Fine crystals had spread in the volcanic glass. Tuff samples were named as crystal vitric tuff and vitric tuff. In the upper level lava samples show pilotaksitic, hyalopilitic and microlitic pilotaksitic texture. Sanidine and pyroxene are found as phenocrystal in the tuffs which consist of plagioclase, pyroxene, opacited biotite and opaque minerals in the microlits. These rocks were named as andesitic and trachyandesitic lava according to thin section investigations.*

*Ore zones are determined in Keklik formation. Ore deposition had ensconced throughout parallel discontinuities in the N52-68°E/15-45° NW trending schistosity planes. Ore paragenesis are malachite, azurite, pyrite, chalcopyrite and hematite.*

**Keywords:** Sarıkamış, Keklik Formation, Petrography

## Dereyalak (İnönü-Eskişehir) Opal Oluşumlarında Renk Çeşitlenmesi

*Colour variation of Dereyalak (İnönü-Eskişehir) Opals*

**Mine TEKBAŞ CANDAR**

*Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü, Trabzon, mtekbascandar@gmail.com*

### ÖZ

Dereyalak (İnönü-Eskişehir) bölgesinde yer alan opal oluşumları renklenmeleri yönünden çeşitlilik sunmaktadır. Bu çalışmada bölgede bulunan opaller renklerine göre süt beyaz, koyu-açık gri, yeşil, mavi, sarı-bal sarısı, turuncu olarak ayırt edilmiştir. Renklerine göre tanımlanan opaller gemolojik yönden incelenmiştir. Yeşil, turuncu, ve mavi opallerde renk değişiminin gözlenmesi amacı ile ısı bağımlı analizler uygulanmıştır. Belirtilen 3 renk örnek üzerinde 900-1100-1300 °C lerde uygulamalar yapılmıştır. Bu uygulama sonucunda opal örneklerine ait renklerde değişimler olduğu gözlenmiştir. Mavi renkli opaller mat beyaz renge, yeşil renkli opaller açık yeşil, mor renge, turuncu renkte opallerin ise koyu pembe renge dönüşüm gösterdikleri belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** opal, renk çeşitlenmesi, gemoloji, Eskişehir-Dereyalak

### ABSTRACT

*Opal formations located in Dereyalak (İnönü-Eskişehir) present variety in their colour. In this study locations opals are seperated according to their colours as white dark-light grey, gren, blue, yellow-honey yellow, orange opals. Opals defined according to their colours are studied at a gemological point of view. To determine specify the colour change in green, orange and blue opals, heat dependant analyses are made. At this three colored opals 900-1100-1300 °C analyses are made. As a result of this analyses changes at the colours of opal are observed. It determined that blue opals change into dull white, green opals change into light green and purple, orange opals change into dark pink through heating.*

**Keywords:** opal, colour variation, gemology, Eskişehir-Dereyalak

## Menderes Masifi (GB Türkiye)'den karst-tip metaboksitlerdeki ferrokloritoidlerin mineral kimyası

*Mineral chemistry of ferrochloritoid in the karst-type metabauxites from Menderes Massif, SW Turkey - a preliminary study –*

**M.Selman AYDOĞAN, Fazlı ÇOBAN, Gökhan BÜYÜKKAHRAMAN, A.Kamil YÜKSEL, Tuğrul KARABULUT, İsmail GÜNEŞ, Ersin BOLAT**

*Balıkesir Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 10165 Balıkesir  
aydogan@balikesir.edu.tr*

### ÖZ

Kloritoid oluşumlarının birçoğu alüminyumlu ve demirce zengin yüksek-derecede metamorfizmaya uğramış pelitik kayaçlarda bulunmaktadır. Kloritoid aynı zamanda dünyadaki farklı lokasyonlarda (örneğin; Menderes Masifi (Türkiye), Attik-Kiklat Metamorfik Kompleksi (Ege Denizi), Dora-Maira Masifi (İtalya) polimetamorfik masiflerin kalsitik, dolomitik mermer ve metamorfizmaya uğramış boksitik kayaçlarda görülmektedir.

Son jeolojik çalışmalara göre, Fe-kloritoid ve Mg-kloritoid olmak üzere iki farklı tipte kloritoid ayırt etmek mümkündür. Ferrokloritoid, düşük-orta dereceli metamorfik kayaçların yaygın minerali iken (metapelitikve metaboksitik birimler); magnezyokloritoid, mavişist fasiyesi kayaçları için anahtar rol oynamaktadır.

Çalışma alanı, Menderes Masifi'nin güneyinde, Yatağan'ın (Muğla, GB Türkiye) yaklaşık 15 km. kuzeydoğusunda, İsmail Dağı civarında yer alır. Bu çalışmada, korundça zengin metaboksitler içindeki mevcut Fe-kloritoidlerin petrografik ve mineralojik karakterlerinin ortaya konması amaçlanmıştır.

Kimyasal olarak, kloritoidler önemli bir şekilde Fe bakımından zengindir.  $X_{Mg} = Mg/(Mg+Fe)$  oranı 0.090-0.200 arasında değişmektedir. ( $Fe^{2+}+Mg+Mn$ ) toplamı 1.971 ve 2.006 (atom per formula unit) arasında değişmektedir. Ti, Zn, Ca, Ni, Ca ve Na içerikleri önemsizdir (yaklaşık olarak  $\leq 0.01$ ). Si değeri ideal olarak yaklaşık 2.0; Al değeri kloritoidin formülü için 4.0'dır. Mg değeri bu çalışmada 0.179 ve 0.388 arasında dağılım sunarken, Mn içeriği 0.020 ile 0.033 arasında değişmektedir. Sadece 2 değerlikli kanyonlar ( $R^{2+}$ ) düşünüldüğünde, kloritoidler yoğun bir şekilde  $X_{Fe}=1.778-1.892$ ,  $X_{Mg}=0.090-0.200$ ,  $X_{Mn}=0.009-0.017$ ,  $X_{Zn} \leq 0.005$ ,  $X_{Ca} \leq 0.001$  [ $X_{kanyon} = \text{iki değerlikli kanyon} / (2 \text{ değerlikli kanyonların toplamı})$ ] ile Fe-zengindir.

Petrografik olarak, kloritoidler öz şekilli korund kristalleri ile çevrelenen başlıca lata şekilli geniş porfiroblastlardan meydana gelmektedir ve nadiren Ti-zengin hematit inklüzyonları içerir. Tek nikelde, kloritoidler koyu kahverengi ile açık yeşil ren tonlarında değişen güçlü pleokroyizma gösterirler ve polisentetik ikizlenmeleri aynı zamanda yaygındır. Polisentetik ikizlenme ve pleokroyizma kloritoid için tanımlanabilir optik özelliklerdir.

$Al_2O_3-FeO_3$  tot  $SiO_2$  diyagramında, korundca zengin metaboksitler Alpi, Apuane (İtalya) kloritoid şistleri ile karşılaştırıldığında Fe'ce zengin kloritoidler oldukça yüksek  $Al_2O_3$  ve oldukça düşük  $SiO_2$  değerleri gösterirler. Tayvan kloritoid kayaçlarıyla karşılaştırılırsa, Menderes Masifi'nin Fe-kloritoidleri önemli oranda daha yüksek  $Al_2O_3$  içerikleri, fakat çok daha düşük  $FeO_{tot}$  ve  $SiO_2$  içerikleri gösterirler.

**Anahtar-Kelimeler:** ferrokloritoid, Menderes Masifi, GB Türkiye

**ABSTRACT**

*Most of chloritoids occurrences are in aluminous and iron-rich high-grade metamorphosed pelitic rocks. Chloritoid is also found in calcitic, dolomitic marbles and metamorphosed bauxitic rocks of polymetamorphic massifs in different localities in the world such as the Menderes Massif (Turkey), the Attic-Cyladic-Metamorphic Complex (Aegean Sea), Dora-Maira Massifs in Italy; Alpi, Apuane (Italy).*

*According to the recent geological studies, two different types of chloritoid are likely to be distinguished as Fe-chloritoid (ferrochloritoid) and Mg-chloritoid (magnesiocloritoid). Magnesiocloritoid plays a key-role for blueschist-facies rocks, whilst ferrochloritoid is a common mineral in low to medium-grade metamorphic rocks (e.g. metapelitic and metabauxitic unit).*

*The studied area is situated around Mt. Ismail approximately 15 km northeast of Yatağan (Muğla, SW-Turkey) in the southern part of the Menderes Massif. In the present study, it is aimed to deal with the petrographical and mineralogical aspects of Fe-chloritoid present in corundum-rich karstmetabauxite (emery).*

*Chemically, Fe-chloritoid is remarkably Fe-rich.  $X_{Mg} = Mg/(Mg+Fe)$  ratio ranges from 0.090 to 0.200. The  $(Fe^{2+} + Mg + Mn)$  sum is 1.971 and 2.006 a.p.f.u. The Ti, Zn, Ca, Ni, Ca and Na contents are negligible (ca.  $\leq 0.01$  a.p.f.u). Si-value is ideally near 2.0; Al-value is the ideal 4.0 for formula of chloritoid. The Mg value of chloritoid was found varying between 0.179 and 0.388 (a.p.f.u) in present study. The Mn content varies from 0.020 to 0.033 (a.p.f.u). Considering only divalent cations ( $R^{2+}$ ), chloritoid is exceptionally Fe-rich, with  $X_{Fe} = 1.778-1.892$ ,  $X_{Mg} = 0.090-0.200$ ,  $X_{Mn} = 0.009-0.017$ ,  $X_{Zn} = \leq 0.005$ ,  $X_{Ca} = \leq 0.001$ , where  $X_{cation} = \text{divalent cation}/(\text{sum of the divalent cations})$ .*

*Petrographically, chloritoid consists mainly of lath-shaped large porphyroblasts surrounding euhedral corundum crystals and includes rarely Ti-rich hematite inclusions. In plane-polarized light, it shows a strong pleochroism ranging from dark brown to light greenish colours, and polysynthetic twinning is also common. Polysynthetic twinning and pleochroism are diagnostic optical properties for chloritoid.*

*Fe-chloritoid in corundum-rich metabauxites shows much higher  $Al_2O_3$  and the correspondingly  $SiO_2$  contents are remarkably low, in comparison to the Alpi, Apuane chloritoid schist. If compared with those of Taiwan chloritoid rocks, Fe-chloritoids from the Menderes Massif show remarkably higher  $Al_2O_3$  contents, but lower  $FeO_{tot}$  and  $SiO_2$  contents.*

**Key-Words:** ferrochloritoid, Menderes Massif, SW Turkey

## Batı Anadolu'daki Kütahya-Şaphane Bölgesi Ateş Opallerinin Mikro Kristalin Yapısını Ortaya Çıkartan Xrd Çalışması

*Xrd Study Disclosed The Micro Crystalline Structure Of The Fire Opals From Kutahya-Saphane Of The West Anatolia*

**Murat HATİPOĞLU**

*Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir Meslek Yüksekokulu, Gemoloji ve Mücevher Programı Buca/ İZMİR  
Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doğal Yapı Taşları ve Süs Taşları Anabilim Dalı  
Bornova/İZMİR murat.hatipoglu@deu.edu.tr www.gemoloji.host.sk*

### ÖZ

Batı Anadolu'da bulunan ve ekonomik rezerve sahip ateş opali örnekleri, silis fazı tiplerini ortaya çıkartmak için XRD ile incelenmiştir. Ayrıca, sonuçlar Batı Anadolu'nun ametist ve mavi kalsedon örneklerinin XRD grafikleriyle kıyaslanmıştır.

XRD grafikleri göstermiştir ki, Kütahya-Şaphane bölgesi ateş opalleri mikro yada psödo-kristalin dokuya sahiptirler. Opallerde gözlenen psödo-kristalin silika fazları, bilinenin aksine sadece kristobalit ve tridimit olmayıp, aynı zamanda moganit ve kuvarsa da aittir. Bu yüzden ateş opallerinin dokusu dört önemli silika fazını da yansıtmaktadır. Ancak bunlardan baskın olanları, psödo-tridimit ve psödo-kristobalitin opal bünyesindeki temsilcileri olan opal-T ve opal-C'ye ait saçınım pikleridir. Karakteristik olarak bu iki fazın en güçlü saçınım piklerinin birleşik yansıması olan opal-CT'dir İkincil önemli saçınım pikleri ise moganit ve/veya druse kuvars'a (çok küçük kuvars kristalleri) ait olanlardır. Bu yüzden bu çalışmada ilk kez psödo-moganit için "opal-M" ve psödo-druse kuvars için de "opal-dQ" ifadeleri ortaya atılmıştır. Ayrıca karakteristik olarak bu iki fazın en güçlü saçınım pikinin birleşik yansıması olan opal-MdQ'dur.

Ateş opallerinin XRD grafiklerinde, iki tane birleşik silika fazına ait saçınım pikleri ve bunların bandları bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi, opal-T ve opal-C'yi temsil eden silika fazlarının en güçlü saçınım piklerinin karışması sonucu ortaya çıkan birleşik silika fazı olan opal-CT'dir. Bu özgün ve simgesel silika ifadesi olan opal-CT, aşağıdaki farklı gövde renklerine sahip ateş opallerinde, güçlü şiddetli ve yaygın saçınım bandları halinde ortaya çıkmıştır;

- \*Kırmızı gövde renkli ateş opalinde  $\sim 4.30$  Å (opal-T) ve  $\sim 3.80$  Å (opal-T) dağ kollarına sahip  $\sim 4.09$  Å (opal-T ve Opal-C kombinasyonu) merkezi piki;
- \*Turuncu gövde renkli ateş opalinde  $\sim 4.32$  Å (opal-T) ve  $\sim 3.81$  Å (opal-T) dağ kollarına sahip  $\sim 4.09$  Å (opal-T ve Opal-C kombinasyonu) merkezi piki;
- \*Sarı gövde renkli ateş opalinde  $\sim 4.30$  Å ve  $\sim 3.81$  Å dağ kollarına sahip  $\sim 4.11$  Å merkezi piki;
- \*Rensiz gövde rengine sahip ateş opalinde  $\sim 4.32$  Å ve  $\sim 3.82$  Å dağ kollarına sahip  $\sim 4.11$  Å merkezi piki.

Diğer birleşik silika fazı ise, ateş opali bünyesinde çok şiddetli ve belirgin  $\sim 3.34$  (3.35) Å merkezi pikli saçınım bandının gözlenmesidir. Bu band, hem kuvars hem de moganit için karakteristik olduğundan her iki silika fazının (opal-dQ ve opal-M) kombinasyonuna ait olabileceği (opal-MdQ) sonucuna varılmıştır. Bu yüzden ateş opallerinde opal-CT kombinasyonuna benzer olarak opal-MdQ kombinasyonun da varlığı ilk kez olarak delillendirilmiştir.

Ateş opalleri içerisinde opal-CT kombinasyonu içerisindeki pikler dışında, diğer piklerden hiçbiri opal-T ile eşleştirememiştir. Bununla beraber opal-CT kombinasyonu içerisindeki  $\sim 4.0$  (4.1) Å piki ile  $\sim 2.50$  (2.51) Å'daki pik dışında, bazı pikler opal-C'ye atfedilmiştir. Bunlar, ilksel d-aralıklarından  $\sim 2.28$  (2.30) Å;  $\sim 1.61$  (1.63) Å ve  $\sim 1.54$  (1.55) Å merkezi pikli zayıf şiddetli ve dar saçınım bandlarıdır.

Diğer zayıf şiddetli dar saçınım bandları ise  $\sim 2.96-2.98 \text{ \AA}$  ve  $\sim 1.37 (1.38) \text{ \AA}$  merkezi piklidir. Bunlar moganite ait silika fazına (opal-M) atfedilmiştir.  $\sim 2.13 \text{ \AA}$  ve  $\sim 1.82 \text{ \AA}$  merkezi pikli bandlar ise druse yapılı kuvars fazına (opal-dQ) atfedilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Anadolu Ateş Opali; Opal-CT; Opal-C; Opal-T; Moganit; (opal-M); Druse kuvars; (Opal-dQ); Opal-MdQ; X-ışını toz saçınım kalıpları; Psödo-kristalin silis; Kütahya-Şaphane (Türkiye)

### ABSTRACT

*The fire opal samples with an economical reserve from Western Anatolia have been analyzed to disclose the types of silica phases. Besides, the results have been compared with the XRD graphics of amethyst and blue chalcedony samples from Western Anatolia.*

*The XRD graphics have demonstrated that the fire opals from the Kutahya-Şaphane region have micro- or pseudo-crystalline texture. The silica phases of pseudo-crystalline that can be seen in opals are not only observed, as it is widely known, in cristobalite or tridymite, but also in moganite and quartz. As a result of this, the four very important silica phases can be seen in the texture of fire opals. However, the dominant ones are the diffraction peaks that belong to the Opal-T and Opal-C, represent the pseudo-tridymite and pseudo-crystalline within the texture of the opal. Opal-CT is the joint reflection of the strongest peaks of these two characteristic phases. The subordinate diffraction band values belong to moganite and/or quartz (tiny quartz crystals). As a result of this, for the very first time the terms, "opal-M" for pseudo-moganite and "opal-dQ" for pseudo-druse quartz, have been used in this study. On the other hand, characteristically, opal-MdQ is the joint reflection of the strongest diffraction peaks of these two phases.*

*In the XRD graphics of the fire opals, there are diffraction peaks and bands that belong to two joint silica phases. The most important one, opal-CT, a joint silica phase which emerges as the strongest diffraction peaks of the silica phases of opal-T and opal-C mixes together. Opal-CT, a unique and symbolic silica expression, was seen as strong intensity board diffraction bands in the following different body colored fire opals:*

*\* $\sim 4.30 \text{ \AA}$  (opal-T) and  $\sim 3.80 \text{ \AA}$  (opal-T) in shoulders,  $\sim 4.09 \text{ \AA}$  (opal-T and Opal-C combination) centred peak in the red body colored fire opal;*

*\* $\sim 4.32 \text{ \AA}$  (opal-T) and  $\sim 3.81 \text{ \AA}$  (opal-T) in shoulders,  $\sim 4.09 \text{ \AA}$  (opal-T and opal-C combination) cantered peak in the orange body colored fire opal;*

*\* $\sim 4.30 \text{ \AA}$  and  $\sim 3.81 \text{ \AA}$  in shoulders,  $\sim 4.11 \text{ \AA}$  centred peak in the yellow body colored fire opal;*

*\* $\sim 4.32 \text{ \AA}$  and  $\sim 3.82 \text{ \AA}$  in shoulders,  $\sim 4.11 \text{ \AA}$  cantered peak in the white (clear) body colored fire opal.*

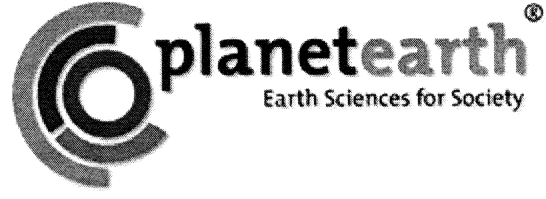
*Another joint silica phase is the strong and distinctive diffraction band with a  $\sim 3.34, (3.35) \text{ \AA}$  centred peak that is seen in the fire opals. Because this band is a characteristic of both quartz and moganite, it is concluded that it may also be seen in the combination (opal-MdQ) of two silica phases (opal-dQ and opal-M). So therefore, for the very first time, the presence of opal-MdQ combination which is similar to the opal-CT combination in the fire opals is documented in this study.*

*In the fire opals, other than the peaks found in opal-CT combination, none of the peaks could be paired with opal-T. However, other than the peaks  $\sim 4.0 (4.1) \text{ \AA}$  and  $\sim 2.50 (2.51) \text{ \AA}$  in opal-CT combination, some of the peaks has been attributed to opal-C. These peaks are from primary d-intervals, weak and narrow diffraction banded ones with  $\sim 2.28 (2.30) \text{ \AA}$ ;  $\sim 1.61 (1.63) \text{ \AA}$  and  $\sim 1.54 (1.55) \text{ \AA}$  centres.*

*Other weak and narrow diffraction bands have  $\sim 2.96-2.98 \text{ \AA}$  and  $\sim 1.37 (1.38) \text{ \AA}$  centred peaks. These are attributed to the phase that belongs to moganite (opal-M).  $\sim 2.13 \text{ \AA}$  and  $\sim 1.82 \text{ \AA}$  centred peak bands have been accredited to the druse built quartz (opal-dQ) phase.*

**Keywords:** Anatolian Fire opal; Opal-CT; Opal-C; Opal-T; Moganite; (opal-M); Druse quartz; (Opal-dQ); Opal-MdQ; X-ray powder diffraction pattern; Pseudo-crystalline silica; Kütahya-Şaphane (Turkey)





---

## MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ - JEOTEKNİK OTURUMU

---

*ENGINEERING GEOLOGY and GEOTECHNICS SESSION*

**Oturum Yürütücüsü / Convener**

**Reşat ULUSAY**



## Kaya Malzemesinin Dayanımının Belirlenmesinde Nokta Yüğü Dayanım İndeksinin Sınırlamaları ve Yeni Bir Yaklaşım

*The Limitations of Point Load Index for Predicting of Strength of Rock Material and a New Approach*

**Harun SÖNMEZ , Burkan OSMAN**

*Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Uygulamalı Jeoloji A.B.D.  
haruns@hacettepe.edu.tr*

### ÖZ

Kaya kayüleleri içerisinde veya üzerinde inşa edilemesi ön görülen şevler, temeller ve barajlar gibi mühendislik yapılarının tasarımında, kaya kütlelerinin dayanım parametreleri girdi parametresi olarak kullanılır. Kaya kütlelerinin dayanımının belirlenmesi için kullanılan görgül yanılme ölçütlerinde kaya malzemesinin dayanımı ölçek parametresi olarak kullanılmaktadır. Bu nedenele, kaya malzemesinin dayanımının gerçekçi bir şekilde belirlenmesi büyük öneme sahiptir.

Kaya malzemelerinin dayanımları yüksek kalitedeki karot örnekleri üzerinde gerçekleştirilen laboratuvar deneyleriyle belirlenmektedir. Ancak, sık eklemli ve ince tabakalı kaya malzemelerinden yüksek kaliteli karotların hazırlanması çoğu kez mümkün olamamaktadır. Bu güçlüğün aşılabilmesi için nokta yüğü dayanım indeksi ve disk makaslama indeksi gibi bazı indeks deneyleri önerilmiştir. Bu çalışmada, nokta yüğü dayanım indeksinin kaya malzemesinin dayanımının belirlenmesindeki kullanımı tartışılmıştır. Ayrıca, kaya malzemesinin türlerini dikkate alan yeni bir ampirik eşitlik önerilmiştir.

Nokta yüğü dayanım indeksi ( $I_{s50}$ ) ile tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS) arasındaki ilişkiyi konu alan çok sayıda çalışma mevcuttur (Broch ve Franklin, 1972; Das, 1985; O'Rourke, 1988; Vallejo vd., 1989; Bieniawski, 1989; Sing ve Sing, 1993; Smith, 1997; Topal 2000). Dönüştürme fakörü 5 ile 55 arasında değişirken, Bieniawski (1989) pratik değerlendirmeler için 24 katsayısını önermektedir. Bu durum UCS'nin belirlenmesinde nokta yüğü dayanım indeksinin kullanımının en önemli sınırlamasıdır. Bu çalışmada literatürde farklı kayalar üzerinde yapılmış deneylere ait sonuçlar derlenerek bir veri tanabı oluşturulmuştur. Hoek ve Brown yenilme ölçütünde kaya malzemesinin türüne göre tahmin edilen malzeme sabitini ( $m_i$ ) dikkate alan aşağıdaki dönüştürme faktörü önerilmiştir.

$$UCS = C \times I_{s50} \\ C = 3.3m_i^{0.665} \quad r = 0.75$$

Burada, UCS tek eksenli sıkışma dayanımı, C dönüştürme faktörü,  $I_{s50}$  nokta yüğü dayanım indeksi and  $m_i$  Hoek ve Brown ölçütündeki malzeme sabitidir. Yukarıda önerilen eşitlik farklı türdeki kaya malzemeleri kullanılarak yeniden değerlendirilmelidir.

**Anahtar kelimeler:** Nokta yüğü dayanım indeksi, Tek eksenli sıkışma dayanımı

**ABSTRACT**

The strength parameters of rock masses are used as input parameters during design stages of engineering applications such as slopes, tunnels and dams constructed in/on rock masses. The strength of rock material is considered as a scale parameter in the empirical failure criterions to be used for determination of the strength of rock masses. For this reason, representatively determination of the strength of rock material has crucial importance.

The strength of rock material is obtained by laboratory test employed on high intact quality core samples. However, preparation of high quality intact cores from heavily jointed or laminated rock masses is almost impossible. To overcome this difficulty, some index tests such as point load index and Block Punch Index (BPI) tests were proposed in literature. In this study, the use of point load index test for predicting of the uniaxial compressive strength (UCS) of rock material is discussed. In addition, for better prediction, a new empirical equation is proposed by considering types of rock material.

In literature, there are many studies about the relation between point load index ( $I_{s50}$ ) and uniaxial compressive strength (Broch and Franklin, 1972; Das, 1985; O'Rourke, 1988; Vallejo et al., 1989; Bieniawski, 1989; Sing and Sing, 1993; Smith, 1997; Topal, 2000). While, the conversion factor between  $I_{s50}$  and UCS varies between 5 to 55, the use of 24 was proposed by Bieniawski (1989) for practical purposes. This is the main limitation of the use of point load index for predicting of UCS. In this study, a database is established by considering the test results collected from literature. The " $m_i$ " parameter of Hoek and Brown failure criterion is considered to overcome this limitation. The alternative equation proposed in this study is given as follows.

$$UCS = C \times I_{s50}$$

$$C = 3.3 m_i^{0.665} \quad r = 0.75$$

Where UCS is uniaxial compressive strength of intact rock, C is conversion factor,  $I_{s50}$  is point load index test and  $m_i$  is the rock material constant of Hoek and Brown criterion. The equation given above should be reevaluated by using different types of rock materials.

**Key words:** Point load index, uniaxial compressive strength

**Değerlenen Belgeler**

- Broch E, Franklin JA. 1972. The Point Load Strength Test. *Int J Rock Mech Min Sci*, 9:669-697.
- Das BM. 1985. Evaluation of the Point Load Strength for Soft Rock Classification. In: *Proc of the 4th International Conference on Ground Control in Mining*. Morgantown, WV, 220-226.
- O'Rourke JE. 1988. Rock Index Properties for Geoenvironmental Design in Underground Development. SME reprint 88-48.
- Bieniawski ZT. 1989. Engineering rock mass classifications. John Wiley and Sons.
- Vallejo LE, Walsh RA, Robinson MK. 1989. Correlation Between Unconfined Compressive and Point Load Strength for Appalachian Rocks. In: *Proc of the 30th U.S. Symposium on Rock Mechanics*, 461-468.
- Smith HJ. 1997. The Point Load Test for Weak Rock in Dredging Applications. *Int J Rock Mech Min Sci*, 34(3-4):295.
- Singh VK, Singh DP. 1993. Correlation Between Point Load Index and Compressive Strength for Quartzite Rocks. *Geotechnical and Geological Engineering*, 11:269-272.
- Topal T. 2000. Nokta yükleme deneyi ile ilgili uygulamalarda karşılaşılan problemler. *Jeoloji Mühendisliği* 24(1)73-86

## Kil İçeren Kayaların Mekanik Özelliklerinde Su İçeriğine Bağlı Değişimin İncelenmesi ve Bu Değişimin Tahmini İçin Görgül Model Önerileri

*Investigation of the Variation in Mechanical Properties of Clay-bearing Rocks Depending on Water Content and Empirical Models Suggested for Its Estimation*

**Zeynal Abiddin ERGÜLER, Reşat ULUSAY**

*Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06800 Beytepe, Ankara  
(zerguler@hacettepe.edu.tr)*

### ÖZ

Kaya malzemelerinin tek eksenli sıkışma ve çekilme dayanımları ile elastisite modülleri jeoteknik amaçlı projelerle ilgili tasarımlarda yaygın bir şekilde kullanılan önemli mekanik özelliklerdir. Birçok kayanın, özellikle kıltaşı, çamurtaşı, silttaşı ve marn gibi yeryüzünde geniş alanlarda yüzeylenen kil içeren kayaların dayanım ve deformasyon özellikleri su içeriğindeki değişime koşut olarak önemli ölçüde değişmekte ve buna bağlı olarak kaya yapılarında bazı duraysızlıklar gelişebilmektedir. Günümüze değin, su içeriğinin kayaların dayanım ve deformasyon özellikleri üzerindeki etkisi konusunda birçok çalışma gerçekleştirilmiş olmakla birlikte, bu çalışmalar sadece kumtaşı, kireçtaşı ve şeyl gibi kaya türleri ile sınırlıdır. Ayrıca, bu çalışmalarda genellikle su içeriğinin tek eksenli sıkışma dayanımı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada, Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden derlenen kil içeren farklı kaya türlerinde (kıltaşı, çamurtaşı, silttaşı, marn ve tuf) yapılan laboratuvar deneyleriyle su içeriğinin bu kayaların mekanik özellikleri üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi ve herhangi bir su içeriğinde bu özelliklerin büyüklüklerinin kestiriminde kullanılmak üzere kayaların fiziksel özelliklerini de esas alan görgül modellerin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, derlenen kaya türlerinin bazı fiziksel özelliklerinin yanı sıra, farklı su içeriğine sahip örnekler üzerinde iğne batma direnci, tek eksenli sıkışma dayanımı, çekilme dayanımı ve elastisite modülü belirlenmiş, ayrıca önerilmiş yöntemlerin gerektirdiği nitelikte örnek hazırlanamayan birkaç kaya türünde ise disk makaslama dayanım indeksi deneyleri yapılarak tek eksenli sıkışma dayanımı dolaylı yoldan saptanmıştır. Farklı su içeriğine sahip örneklerden elde edilen deney sonuçlarına göre; su içeriğindeki artışa koşut olarak, tek eksenli sıkışma dayanımı, ortalama elastisite modülü ve çekilme dayanımında kuru durumdan doygun duruma doğru sırasıyla %90, %93 ve %90'a varan azalmaların meydana geldiği ve ayrıca bu parametrelerin su içeriğine bağlı değişiminin üstel ilişkilerle temsil edildiği belirlenmiştir. Bununla birlikte, kuru durumda dayanımı yüksek olan bazı örneklerin "su içeriği-mekanik parametre" ilişkilerinin  $y$  eksenli üzerindeki dağılımları saçılım göstermiştir. Bu durum, dayanım ve deformabilite özelliklerinin su içeriğindeki az bir artışla (%1-%2) önemli düzeyde azalmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla kuru durum dışında herhangi bir su içeriğinde söz konusu mekanik özelliklerin büyüklüğünün kestirimi için sadece mekanik özellikler ile su içeriği arasındaki ilişkinin yeterli olmayacağı ve kayanın bazı fiziksel özelliklerinin de kestirim modellerinde dikkate alınmasının uygun olacağı düşünülmüştür. Bu çalışmada su içeriği ve mekanik özellikler arasında belirlenen ilişkilerin formu dikkate alınarak, fiziksel özellikleri de yansıtan görgül ilişkiler mekanik özelliklere göre aşağıdaki gibi yazılmıştır.

$$\sigma_{ci} = z_1 e^{a_1 w} \quad (1)$$

$$E_{ort} = z_2 e^{a_2 w} \quad (2)$$

$$\sigma_{tB} = z_3 e^{a_3 w} \quad (3)$$

Burada;  $\sigma_{ci}$  tek eksenli sıkışma dayanımı,  $E_{ort}$  ortalama elastisite modülü,  $\sigma_{tB}$  Brazilian çekilme dayanımı, “z” ve “a” kuru birim hacim ağırlık, porozite ve ağırlıkça su emme gibi fiziksel parametrelere bağlı kaya malzemesi sabitleri ve “w” ise su içeriğidir. İncelenen her kaya türü için belirlenmiş olan su içeriği ile fiziksel ve mekanik parametre değerleri kullanılarak yapılan regresyon analizleri sonucunda yukarıda belirtilen üç fiziksel özellik için a ve z sabitlerinin değişimi ayrı ayrı hesaplanarak bu sabitlerin fiziksel özelliklere bağlı değişimini gösteren grafikler elde edilmiştir. Bu grafikler yardımıyla yukarıda belirtilen üç fiziksel özellikten biri esas alınıp herhangi bir su içeriğinde mekanik parametrelerin alacağı değerler bu yaklaşımla kestirilebilmektedir. Deneylerden ve bu modellerden tahmin edilen mekanik özellikler karşılaştırıldığında, dayanımı yüksek birkaç kaya örneği hariç, modellerden tahmin edilenlerle deneysel olarak belirlenen mekanik parametre büyüklükleri arasında bir uyum olduğu saptanmıştır. Ayrıca elde edilen görgül ilişkilerin kullanılmasıyla tahmin edilen değerlerin deneysel verilerle karşılaştırılması sonucunda iğne batma direncinin, özellikle kil içeren kaya türleri gibi nispeten yumuşak ve zayıf kayaların tek eksenli sıkışma dayanımının hem laboratuvarında, hem de arazide tahmininde iyi bir performans sergileyen indeks bir parametre olduğu da görülmüştür. Önerilen modellerin benzeri türde kayalar üzerinde uygulanarak performanslarının sınanması, ayrıca Hoek-Brown yenilme ölçütünde kullanılan kaya malzemesine ait m, parametresinin su içeriğine bağlı değişiminin de incelenmesinde yarar görülmektedir. Bunun yanı sıra, kaya örneklerinde deneylerin ilgili kaya mühendisliği projesindeki su koşulları gözetilerek yapılmasının önemli olduğu da göz ardı edilmemelidir.

**Anahtar Kelimeler:** Kil içeren kaya, su içeriği, dayanım, deformabilite, iğne batma ölçer, görgül model

### ABSTRACT

*The uniaxial compressive and tensile strengths, and modulus of elasticity of rock materials are the important mechanical properties commonly employed in designs of geotechnical projects. Strength and deformability properties of many rock materials, particularly those of clay-bearing rocks such as claystone, mudstone, siltstone and marl, covering large areas on the earth surface, significantly change with the variation of water content and result in some problems in rock structures. Up to now, a number of investigations on the influence of water content on strength and deformability properties of rock materials have been carried out. However, these investigations are limited to only a few rock types, such as sandstone, limestone and shale. Besides, in these studies, the effect of water content on the uniaxial compressive strength has generally been investigated. This study aims to quantify the influence of water content on mechanical properties of the clay-bearing rocks (calystone, mudstone, siltstone, marl and tuff) collected from various parts of Turkey by performing laboratory tests, and to develop empirical models, which also take into account some physical properties, for estimating the magnitude of mechanical properties at any water content. For this purpose, in addition to physical properties of the collected rock types, the uniaxial compressive strength, tensile strength and modulus of elasticity were determined on a number of specimens in different water contents, and the uniaxial compressive strengths of a few rock types, from which rock specimens as recommended by the suggested methods could not be prepared, were estimated based on the block punch strength index tests. Based on the test results obtained from the specimens with different water contents, with increasing water content reductions in uniaxial compressive strength, average modulus of elasticity and tensile strength were up to 90%, 93% and 90%, respectively, from oven-dried to saturated conditions, and the variation in these parameters depending on water content is represented by exponential relationships. However, the mechanical parameters of some specimens with high strength in dry state show a scatter on the y axis of the “water content-mechanical parameter” relationship. This situation results from the considerable decrease in mechanical properties due to a small increase (%1-2) in water content. Therefore, it was considered that only the use of the relationships between the mechanical properties and water content will not be sufficient to*

estimate the magnitude of any mechanical property at any water content, and physical properties of the rocks should also be taken into account in prediction models. By considering the form of the relationships between the mechanical properties and water content established in this study and by taking into account the physical properties, these relationships are re-written in the following forms.

$$\sigma_{ci} = z_1 e^{a_1 w} \quad (1)$$

$$E_{av} = z_2 e^{a_2 w} \quad (2)$$

$$\sigma_{iB} = z_3 e^{a_3 w} \quad (3)$$

where,  $\sigma_{ci}$  is uniaxial compressive strength,  $E_{av}$  is average modulus of elasticity,  $\sigma_{iB}$  is Brazilian tensile strength and "z" and "a" are the rock material constants that change with physical properties such as dry unit weight, porosity and water absorption by weight. Based on the regression analyses using the physical and mechanical properties, and water content determined for each rock type the constants a and z were determined and the graphics showing their variations with these physical parameters were designed. By selecting one of the physical properties mentioned above and by using the related graph, the magnitudes of the mechanical properties at any water content can be estimated. When the predicted and experimentally determined mechanical properties are compared, except a few rock samples with high strength, there is a good agreement between the predicted and observed values. In addition, comparison of the experimental results and the values predicted from the empirical relationships indicated that the needle penetration resistance is an index parameter showing a good performance in estimating the uniaxial compressive strength both in laboratory and field. The verification of the performance of the prediction models suggested in this study on similar rock types and water-dependence of the rock material constant  $m_i$ , which is used by the Hoek-Brown failure criterion, should also be investigated. In addition, it should be kept in mind that the testing of rock specimens should always be appropriate to the ground conditions of the specific project.

**Key Words:** Clay-bearing rock, water content, strength, deformability, needle penetrometer, empirical model

## Ankara Kilinde Şişme Yönserliğinin Araştırılması

### *Investigation of Swelling Anisotropy in Ankara Clay*

**Elif AVŞAR, Reşat ULUSAY, Harun SÖNMEZ**

*Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06800 Beytepe, Ankara*

*(elif@hacettepe.edu.tr)*

### ÖZ

Simektit grubu kil minerallerini içeren ve yüksek şişme potansiyeline sahip olan Ankara kili, yüzeydeki ve sığ derinliklerdeki hafif yapıları hasara uğratmaktadır. Ankara kili üzerinde inşa edilmiş olan ve kentin güneybatı kesimindeki bazı semtlerdeki hafif yapılarda kilin şişme davranışından kaynaklanan deformasyon ve hasarlar yaygın şekilde gözlenmektedir. Tek katlı binalar, yollar ve kaldırımlar ve çok sığ gömülü yeraltı yapıları (kanalizasyon ve su boruları), zeminin şişmesinden etkilenerek hasar görmektedirler. Günümüze değin Ankara kilinin şişme karakteristikleri konusunda çalışmalar yapılmış olmakla birlikte, düşey ve yatay yönlerdeki şişmenin birlikte incelenerek şişme yönserliğinin (anizotropisinin) değerlendirildiği çalışmalar çok sınırlı olup, çok az sayıda örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle, Ankara kilinin şişme parametrelerinin hem yanal hem de düşey yönlerde belirlenerek, şişme yönserliğinin araştırılması mühendislik uygulamaları açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada, Ankara kenti yerleşiminin güneybatısındaki 100. Yıl, Karakusunlar, Öveçler ve Söğütözü gibi bazı semtler örnekleme alanı olarak seçilmiş ve kilin yanal ve düşey yönlerdeki şişme parametreleri farklı laboratuvar teknikleriyle belirlenip karşılaştırılmış, ayrıca Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümündeki taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak kilin mikro yapısının şişme yönserliği üzerindeki etkisi de araştırılmıştır. Örnekleme alanındaki yarmalar ile inşaat çukurlarından derlenen örselenmemiş örneklerin yanal ve düşey yönlerdeki şişme basıncı ve yüzdesi gibi şişme parametreleri, klasik odometre deneylerinin yanı sıra, ince çeperli odometre halkası da kullanılarak iki farklı yöntemle belirlenmiştir. Klasik odometre deneylerinde sahadan yatay ve düşey yönlerde alınmış örneklerde her iki yöne ait şişme parametreleri ayrı ayrı, bu çalışma için özel olarak imal edilen ince çeperli odometre düzeneğinde ise iki yöndeki şişme parametreleri eş zamanlı olarak her örnek üzerinde bir seferde belirlenmiştir. Her iki yöntemle belirlenen yanal ve düşey yöndeki şişme basıncı ve şişme yüzdesi değerlerinin birbirleriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, klasik odometre deneylerinde düşey yöndeki şişmenin sınırlandırılmış olması nedeniyle, bu deneylerde yanal yöndeki şişme basınçları ince çeperli odometreyle belirlenen değerlerden biraz daha yüksek çıkmıştır. Her iki tür deneyin sonuçlarına göre, şişme basıncının düşey yönde daha büyük olduğu saptanmış olup, yanal ve düşey yönlerdeki şişme basıncı oranları ince çeperli odometre deneylerinde 0.34 ile 0.98, klasik odometre deneylerinde ise 0.41 ile 1.1 arasında değişmektedir. SEM analiz sonuçları, Ankara kilindeki kil minerallerinin yatay ve/veya yataya yakın yapraklanmaya sahip olduğunu göstermiştir. Bu dizilim, yapraklanmanın yönüne dik yöndeki şişme parametrelerinin (düşey yöndeki) yanal yöndeki şişme parametrelerinden daha yüksek olduğuna işaret ederek, deney sonuçlarını desteklemiş ve kilin mikro yapısının şişme yönserliği üzerindeki etkisini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ankara kili, odometre deneyi, şişme yönserliği, şişme basıncı, şişme yüzdesi.

### ABSTRACT

*Ankara clay, which is rich in smectite group clay minerals and having high swelling potential, causes damages to light structures located at the surface and shallow depths. Damages and deformations on light structures builded on Ankara clay resulted from the swelling behaviour of the clay are commonly being observed. One-storey buildings, roads and pavements and buried shallow structures (savage systems and water pipes) are affected by swelling and subjected to damage. Although up to now some investigations on the swelling characteristics of Ankara clay have been performed, the studies on swelling anisotropy of this*

clay considering swelling both in vertical and lateral directions are considerably limited and they have been done on low amount of specimens. Due to this, determination of the swelling parameters of Ankara clay both in vertical and lateral directions and assessment of its swelling anisotropy are an important issue in terms of engineering applications. In this study, some districts such as 100. Yıl, Karakusunlar, Öveçler and Söğütözü located at the southwestern part of Ankara was selected as the sampling sites, swelling parameters both in vertical and lateral directions were determined by different laboratory techniques and compared, and the effect of microstructure on swelling anisotropy was also investigated using a scanning electron microscope (SEM) at the Department of Geological Engineering of Hacettepe University. Swelling pressures and percentages of the samples in vertical and lateral directions were determined by two different methods such as the classical oedometer and thin-walled oedometer ring. The swelling parameters in classical oedometer test were determined on the samples obtained from the site in vertical and lateral directions, while they were determined simultaneously in both directions at once during the thin-walled oedometer tests. The experimental results indicated that the lateral and vertical swelling pressures and swelling percentages determined in both directions by both test methods show a good agreement. However, since the swelling in vertical direction is limited the classical oedometer test, slightly higher swelling pressures in lateral direction were obtained from this test when compared to those from the thin-walled oedometer ring. According to the experimental results obtained from both test methods, swelling pressures in vertical direction are greater than those in lateral direction, and the ratios of swelling pressure between the lateral and vertical directions are between 0.41 and 0.98, and 0.41-1.0 in classical and thin-walled oedometer tests, respectively. The results of the SEM analysis suggested that the clay minerals in Ankara clay show horizontal and/or nearly horizontal sheeting. This arrangement indicates that the swelling parameters in vertical direction are greater than those in lateral direction, that verifies the experimental results, and emphasize the influence of the microstructure of the clay on swelling anisotropy.

**Key words:** Ankara clay, oedometer test, swelling anisotropy, swelling pressure, swelling percent.

## Gerilme Analizlerinde Kullanılan Kaya Malzemelerinin Dayanım ve Deformabilite Özelliklerinin Değerlendirilmesi

*The Evaluation of Strength and Deformability Properties of Rock Materials Used in Stress Analysis*

**Güzide KALYONCU ERGÜLER**

*Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, MAT Dairesi Çevre Koordinatörlüğü, 06520, Ankara*

*(kalyoncu@mta.gov.tr)*

### ÖZ

Kaya birimleri içerisinde tünel ve/veya galeri açılması durumunda ortamdaki gerilme dağılımı değişmekte ve mühendislik yapılarının duraylılığını etkileyen ikincil gerilmelerden dolayı açıklık etrafında plastik bölge oluşmaktadır. Bu plastik bölgenin büyümesi, uygulamada deformasyon problemlerinin yoğun yaşanmasının yanı sıra, bu problemlerin çözümü için daha yüksek maliyetle tahkimat yapılmasına da neden olmaktadır. Dolayısıyla oluşan ikincil gerilmelerin yeraltı açıklıkları üzerinde ne derece bir etkiye sahip olduğunun belirlenmesi için ortamdaki kaya malzemelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin bilinmesi mühendislik çalışmaları açısından oldukça önemli olmaktadır. Açıklık sonrası oluşan ikincil gerilmelerin analizlerinde ve açıklıkların tasarım çalışmalarında kaya malzemesinin dayanım ve deformabilite özellikleri göz önünde bulundurulmaktadır. Bu husus göz önünde bulundurularak, Türkiye’de ki bir metal maden ocağının farklı kotlarında bulunan açıklıklarda duraylılık analizlerinde kullanılmak üzere örnekleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Örnekleme çalışmaları; bazalt, yeşil tuf, kırmızı tuf, dasidik dayk ve sarı cevher olmak üzere toplam beş ayrı kaya biriminde yapılmış olup, bu blok örneklerden amaca uygun olarak laboratuvarda silindirik örnekler alınmıştır. Kaya birimlerinin tanımlanmasında kullanılmak üzere fiziksel özelliklerinin belirlenmesinin yanı sıra, dolaylı çekme dayanımı ve tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi, elastisite modülü tayinleri ile üç eksenli sıkışma deneyleri de gerçekleştirilmiştir. Görünür gözenekliliği %16 ile %24 arasında değişen örneklerin birim hacim ağırlıkları  $25-32 \text{ kN/m}^3$ , su içerikleri ise %5 ile %9 arasında değişmektedir. Elastisite modülü tayinlerinde, pratik ve hızlı veri sağlaması özelliği göz önünde bulundurularak, boyut ve lineer yer değişimi ölçer (LVDT) kullanılmıştır. Bu çalışmada değerlendirilen kayaların tek eksenli sıkışma dayanımları 20-80 MPa olup, elastisite modülü değerleri ve dolaylı çekme dayanım değerleri ise sırasıyla 42-68 GPa ve 4.0-6.3 MPa olarak belirlenmiştir. Kaya birimlerinin Poisson oranı değerleri ise 0.19 (bazalt) ile 0.27 (dasitik daykta) arasında değişmektedir. Üç eksenli sıkışma deneylerinden belirlenen içsel sürtünme açısı ( $\phi$ ) değerleri  $24^{\circ}-31^{\circ}$ , kohezyon (c) değerleri ise 2.5-3.6 MPa olarak tespit edilmiştir. Açıklıkların farklı birimler içerisinde olması ve bu birimlerin Poisson oranının farklılığı nedeniyle  $k (\sigma_h/\sigma_v)$  değerlerinin değişiklik gösterdiği ve bu değerlerin 0.23 ile 0.36 arasında değişmekte olduğu belirlenmiştir. Açıklıklarda destek görevi gören cevherin alımı sonrasında oluşan ikincil gerilmeler tuf üzerinde daha etkili olmaktadır. Bu nedenle, galeri boşluklarında en fazla deformasyon tüflerde ölçülmüştür. Laboratuvar deneyleri sonrasında belirlenmiş olan ve yukarıda özetle verilen bu kaya birimlerine ait dayanım ve deformasyon değerleri gerilme analizlerinde ve plastik bölgenin yarıçapının belirlenmesinde kullanılmıştır. Plastik bölge belirleme çalışmalarında analitik yöntemden yararlanılmıştır. Belirlenmiş olan bu plastik bölgelerin yarıçapları göz önünde bulundurularak uygun tahkimat sistemi tasarlanmış olup, plastik bölge yarıçapının ilerlemesinin önlenmesinde kullanılacak en uygun tahkimat sisteminin kaya saptamaları (özellikle çimentolu ve reçineli kaya saptamaları) olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Dayanım, deformabilite, gerilme analizi



### ABSTRACT

*In the case of opening of tunnel and/or gallery, stress distribution changes and due to induced stresses, affecting the stability of engineering structures, the plastic zone is formed around the vicinity of the opening. Besides encountering some deformation problems during application, the growing of this plastic zone also cause highly expensive support construction in order to overcome these problems. Therefore, the designation of the physical and mechanical properties of rock materials for engineering studies is rather important in order to determine the effect of induced stresses on underground opening. The strength and deformability properties of rock materials should be considered in analysis of induced stresses occur after excavation and in the investigation of design of underground opening. By considering the significant of these parameters used in the underground opening design investigations, sampling realized in the opening found at different altitudes of a metal mining in Turkey to use in stability analyses. Sampling investigation carried out on five different units, which are basalt, green and red tuff, dacitic dike and yellow ore, and cylindrical specimens were extracted from these blocks. Beside determinations of physical properties of rock units that were used for definition these rocks, indirect tensile strength, uniaxial compressive strength, modulus of elasticity and triaxial compressive strength test were also realized. The unit weight of samples whose porosities change between 16% and 24% are 25-32 kN/m<sup>3</sup> and their water contents change between 5% and 9%. For determination of modulus of elasticity, linear variable differential transducer (LVDT) was used considering its practical and rapidly characteristic of data providing. The uniaxial compressive strengths of rocks evaluated in this study are 20-80 MPa, and their modulus of elasticity and indirect tensile strengths were determined as 42-68 GPa and 4.0-6.3 MPa, respectively. The Poisson ratio values of rock units change between 0.19 (basalt) and 0.27 (dacitic dike). The inherent friction angle ( $\phi$ ) that were obtained from triaxial compressive tests are 24<sup>o</sup>-31<sup>o</sup>, as for their cohesion (c) values were determined as 2.5-3.6 MPa. Due to excavating of opening in different rock units and the difference of Poisson ratio of these units, it was determined that the stress field coefficient ( $k = \frac{\sigma_r}{\sigma_v}$ ) values indicate variety and change between 0.23 and 0.36. The induced stresses occurred after excavation of ore, which provides support function in the openings, are more effective on tuff. As a result of this, the maximum deformation was measured within tuff in the galleries opening. The strength and deformation values, determined after laboratories tests and given above as summary, that belongs to all rock units were used in stress analyses and calculation of plastic zone radius. Analytical methods were used in determination of plastic zone investigation. By considering these determined plastic zones' radius, convenient support system was designed, and it was concluded that the most convenient support system, which could be used for preventing progress of the radius of plastic zone, is rock bolts (particularly cemented and resin types rock bolts)*

**Key Words:** Strength, deformability, stress analysis

## Kaya Dayanımındaki Yönerliğin Disk Makaslama Dayanım İndeksi Deneyi İle İncelenmesi

### *Investigation of Rock Strength Anisotropy by the Block Punch Index Test*

**<sup>1</sup>Hasan KARAKUL, <sup>2</sup>Reşat ULUSAY**

<sup>1</sup>MTA Genel Müdürlüğü, Fizibilite Etütleri Dairesi, Kaya ve Zemin Etütleri Birimi, Ankara (hkarakul@yahoo.com)

<sup>2</sup>Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06800 Beytepe, Ankara

### ÖZ

Kaya malzemelerinin dayanım ve deformabilite özelliklerinin laboratuvarında tayini, standartlara veya önerilmiş yöntemlere uygun olarak hazırlanmış örnekler üzerinde bu amaçla geliştirilmiş cihazlarla yapılmaktadır. Ancak bu deneyler için standart örnek hazırlamada karşılaşılan güçlükler ve deneyler için gerekli olan pahalı cihazlar ile deney süreleri, araştırmacıları kaya malzemesinin mekanik özelliklerini belirlenmesi için daha basit ve indeks türü deney yöntemlerini ve gereçlerini geliştirmeleri yönünde etkileyici olmuştur. Tabakalanma, şistozite düzlemi vb. gibi zayıflık düzlemlerini içeren kayalarda en yüksek dayanım zayıflık düzlemlerine dik yönde elde edilirken, yükün zayıflık düzlemlerine düşeyden farklı açılarla uygulanması durumunda yönerlikten (anizotropiden) dolayı dayanım her yönde aynı olmamaktadır. Bu çalışmada; ISRM tarafından kabul edilmiş indeks bir deney yöntemi olan disk makaslama dayanım indeksi (BPI) ile tek eksenli sıkışma dayanımı ( $\sigma_c$ ) deneyleri yapılarak kaya malzemesinin dayanımında süreksizliklerin yöneliminden kaynaklanan yönerliğin araştırılması ve eğimli süreksizlikler içeren kaya örneklerinde zayıflık düzlemi ile yükleme yönü arasındaki açıya bağlı olarak  $\sigma_c$ 'nin BPI'dan dolayı olarak kestirimi için bazı ilişkilerin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla çalışma kapsamında; Ankara ve Bolu illerinden derlenen ve sık aralıklarla tekrarlanan süreksizlikler içeren 6 farklı kaya türüne (killi kireçtaşı, kireçtaşı, kumtaşı, mika şist, şeyl ve traverten) ait bloklardan hazırlanmış çok sayıda örnek üzerinde örneklerin içerdiği süreksizliklerle değişik açılar yapacak doğrultuda kuvvetler uygulanarak BPI ve tek eksenli sıkışma dayanımı deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre;  $\sigma_c$  'ye bağlı yönerliğin U-tipi yönerlik olduğu, ayrıca çalışılan kaya türlerinin orta-düşük yönerlik sınıfına girdiği belirlenmiştir. BPI ve  $\sigma_c$  değerleri önce kendi aralarında dayanımdaki yönerlik açısından değerlendirilmiş ve daha sonra kaya örneklerinin eğimli süreksizlikler içermesi halinde süreksizliklere dik doğrultudaki  $\sigma_c$  değerlerinin tahmini amacıyla istatistiksel analizler yapılarak BPI'dan  $\sigma_c$ 'ye dönüşümü sağlayan görgül ilişkiler geliştirilmiştir. Ayrıca bu ilişkiler kullanılarak tahmin edilen  $\sigma_c$  değerleri deneylerden belirlenen  $\sigma_c$  değerleriyle karşılaştırılmış olup, karşılaştırmalar söz konusu ilişkilerin bu çalışmada kullanılan orta-düşük derecede yönerliğe sahip kayalarda  $\sigma_c$ 'yi tahmin performansının iyi olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler :** Disk makaslama dayanım indeksi, tek eksenli sıkışma dayanımı, dayanım yönerliği, görgül ilişki

### ABSTRACT

Determination of the strength and deformability properties of rock materials in laboratory is made on core specimens prepared according to the standards or suggested methods using suitable devices developed for the purpose. Yet the difficulties in preparation of the test specimens according to the standards, and provisions for expensive testing equipment and testing durations motivated the investigators to develop simpler and index type test methods and associated devices for determination of these mechanical properties. While the highest strength is obtained in vertical direction to the weakness planes in rocks divided by discontinuity planes such as bedding, schistosity etc., in case of the application of the load to discontinuities with any angle different than vertical, same strength values in every direction can not be obtained due to anisotropy. This study aims to investigate the strength anisotropy associated with discontinuity orientation by performing the block punch strength index (BPI) test, which was accepted by ISRM as an index test method,

and uniaxial compressive strength ( $\sigma_c$ ) test, and to develop some empirical relationships for estimating the  $\sigma_c$  from the BPI depending on the angle between the loading direction and weakness plane. For this purpose, BPI and uniaxial compression tests were carried out on a number of specimens prepared from the blocks of 6 different rock types (clayey limestone, limestone, sandstone, mica schist, shale and travertine), which were collected from Ankara and Bolu, by applying the load to weakness planes in different angles. Based on the experimental results, the strength anisotropy according to  $\sigma_c$  is a U-type anisotropy and the rock types studied fall into the moderate-to low anisotropy classes. First the values of BPI and  $\sigma_c$  were separately evaluated in terms of strength anisotropy, and then using the statistical techniques empirical equations to estimate the  $\sigma_c$  from BPI for rock specimens with inclined discontinuities were developed. In addition, experimentally determined and predicted  $\sigma_c$  values were compared, and these comparisons indicated that the prediction performances of the equations developed are quite well for the moderate-to-low anisotropic rocks used in this study.

**Key words:** Block punch strength index, uniaxial compressive strength, strength anisotropy, discontinuity, empirical relationship

## İki Farklı Yöntemin Tek Eksenli Sıkışma Dayanımının Kesitirimde Kullanılması: Doğrusal Olmayan Çok Değişkenli Regresyon Ve Bulanık Algoritma

### *Use Of Two Different Methods For Prediction Of Uniaxial Compressive Strength: Nonlinear Multivariable Regression And Fuzzy Algorithm*

C. GÖKÇEOĞLU<sup>1</sup>, H. SÖNMEZ<sup>1</sup>, K. ZORLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Beytepe, Ankara

<sup>2</sup>Mersin Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Çiftlikköy, Mersin  
E-posta : cgokce@hacettepe.edu.tr

### Öz

Kaya mekaniği ve mühendislik jeolojisinde kestirim yöntemlerinin kullanılması önemli bir konuyu oluşturmaktadır. Ancak, bu amaçla ağırlıklı olarak basit ve çok değişkenli doğrusal regresyon teknikleri geleneksel olarak kullanılmaktadır. Özellikle son yıllarda bu yöntemlerin yanı sıra, bulanık anlamlandırma sistemleri ve yapay sinir ağları da kullanılmaya başlamıştır. Bu çalışmanın amacı, kil içeren bazı kayaların tek eksenli sıkışma dayanımının suda dağılmaya karşı duraylılık indeksleri ve kil içerikleri kullanılarak kestirilmesine yönelik kestirim modelleri geliştirmektir. Bu amaçla basit ve doğrusal olmayan çok değişkenli regresyon ile Mamdani bulanık algoritmaları kullanılmıştır. Mamdani bulanık algoritmasının hassasiyetini arttırmak için ağırlıklandırılmış “eğer-ise” kuralları oluşturulmuştur. Kestirim modellerinin performanslarının karşılaştırılması için, istatistiksel performans indeksleri (*Root Mean Square Error* ve *Variance Account For*) hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Kontrol verileri kullanıldığında, her iki yöntemden de elde edilen kestirim sonuçları ile deneylerden tayin edilen tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri arasında oldukça iyi çapraz korelasyon katsayıları elde edilmiştir. Performans indeksleri karşılaştırıldığında ise, bulanık algoritmanın doğrusal olmayan çok değişkenli regresyon modeline göre biraz daha yüksek kestirim ve genelleme kapasitesine sahip olduğu görülmüştür. Bu durum temel olarak, kural tabanlı bulanık algoritmanın esnek ve şeffaf yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü bu enseklik, bulanık algoritmaya doğrusal olmayan çok değişkenli regresyon modeline göre bir üstünlük kazandırmaktadır. Bunun yanı sıra, bu çalışmada geliştirilen bulanık anlamlandırma algoritması uzman görüşü ile de kullanılabilir bir özelliğe sahiptir.

**Anahtar kelimeler :** kil içeren kaya, tek eksenli sıkışma dayanımı, bulanık anlamlandırma sistemi, doğrusal olmayan çok değişkenli regresyon.