

**Eosen yaşlı Dölek ve Sariçiçek Plutonlarının jeokimyasal ve Sr-Nd-Pb izotopik kompozisyonları, Doğu Türkiye Çarpışma sonrası jeodinamik bir ortamda, yüksek-K kalk-alkali granitoidlerin oluşumunda magma karışımı kanıtları**

**Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic compositions of the Eocene Dölek and Sariçiçek Plutons, Eastern Turkey: Implications for magma interaction in the genesis of high-K calc-alkaline granitoids in a post-collision extensional setting.**

**Orhan Karşlı<sup>1</sup>, Bin Chen<sup>2</sup>, Faruk Aydın<sup>3</sup>, M. Burhan Sadıklar<sup>4</sup>, Cuneyt Şen<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Department of Geological Engineering, Karadeniz Technical University, TR-29000 Gümüşhane – Turkey  
okarsli@ktu.edu.tr

<sup>2</sup>School of Earth and Space Sciences, Peking University, 100871 Beijing – China

<sup>3</sup>Department of Geological Engineering, Niğde University, TR-51200 Niğde – Turkey

<sup>4</sup>Department of Geological Engineering, Karadeniz Technical University, TR-61080 Trabzon – Turkey

**ÖZ**

Dölek ve Sariçiçek plutonlarının, Doğu Türkiye, ana kayaç ve mafik mikrogranular anklavlarının ana ve iz element içerikleri ile Sr-Nd-Pb izotopik kompozisyonları, kayaçların petrojenetik evriminin ve oluştukları jeotektonik ortamın anlaşılması için çalışılmıştır. 43 Milyon yıl yaşlı plutonların Al-hornblend jeobarometresi ile tesbit edilen yerleşme derinlikleri yaklaşık 5-9 km dir. Plutonlardaki ana kayaç bileşimleri diyoritten granite ( $\text{SiO}_2 = 56.98-72.67$ ;  $\text{Mg\#} = 36.8-50.0$ ) kadar değişim göstermektedir. Ayrıca söz konusu ana kayaçlar, gabroik diyoritten monzodiyorite ( $\text{SiO}_2 = 53.21-60.94$ ;  $\text{Mg\#} = 44.4-53.5$ ) kadar değişen mafik mikrogranular anklavlar içermektedirler. Kayaçların tamamı, yüksek-K kalk-alkali diferansiyasyon yönsemesi sunmaktadır. Kondrite göre normalize edilmiş NTE patternleri, orta derecede fraksiyonlaşma ve yatsı [(La/Yb)<sub>cn</sub> = 5.11 to 8.51] şeklindedir. Küçük bir negatif Eu anomalisi ( $\text{Eu/Eu}^* = 0.62$  to  $0.88$ ) ile BİYE'lerce zenginleşme ve YAEE'lerce tüketilme genel karakterleridir. Ana kayaçların ilksel Nd-Sr izotopik kompozisyonları  $\epsilon_{\text{Nd}}(43 \text{ Ma}) = -0.6$  to  $0.8$  ve çoklukla  $I_{\text{Sr}} = 0.70482-0.70548$  dir. Nd model yaşları ( $T_{\text{DM}}$ ),  $0.84$  ila  $0.99$  Ga arasındadır. Pb izotopik oranları ( $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.60-18.65$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.61-15.66$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.69-38.85$  aralıklarındadır. Ana kayaçlarla karşılaştırıldığında, mafik mikrogranular anklavların izotopik kompozisyonları;  $I_{\text{Sr}}$   $0.70485$  den  $0.70517$  ye ve  $\epsilon_{\text{Nd}}(43 \text{ Ma})$   $-0.1$  den  $0.8$  e değişmektedir. Pb izotipik oranları ise;  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.58-18.64$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.60-15.66$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.64-38.77$  aralıklarındadır. Mafik mikrogranular anklavların  $T_{\text{DM}}$  yaşları  $0.86$  ila  $1.36$  Ga arasında değişir. Bu benzerlikler, anklavların hibrid orijinli olduğu, büyük olasılıkla alt kabuk ve üst mantodan türeyen magmaların karışımıyla meydana geldiğine işaret etmektedir.

Elde edilen verilerden anlaşıldığı üzere, plutonlardan derlenen örnekler örümcek diyagramlarda negatif Ba, Nb ve Ti anomalileriyle ve BİYE ve HNTE zenginleşmeleriyle karakteristiktir. Bu özellikleriyle tipik bir kabuksal ergiyikden oluşuma işaret ederler. Ancak, bu tür özellikler daima kabuksal ergiyiği temsil etmediği gibi, kısmi ergimeden önce zenginleşmiş bir manto kaynağına da işaret eder (Hawkesworth ve diğ. 1993). Bu zenginleşme, mevcut ilksel Nd-Sr izotopik oranları ile ana kayaç ve anklavların kimyasal olarak zenginleşmiş bir subkontinental litosferik mantonun (SKLM) kısmi ergimesinden kaynaklanmış olabilir. Anklavların düşük silisyum içerikleri ( $\%53-60$ , çoklukla  $\%57$ ) ve göreceli yüksek Mg# içerikleri ( $45$  to  $53$ ), oluşum sırasında manto kaynaklı magmaların varlığı ile ilgilidir. Bununla birlikte, düşük silisyum ( $\%57$ ) ve göreceli yüksek Mg# içerikleriyle ( $\sim 50$ ) karakteristik olan en az farklılaşmış diyoritik örnekler (Ed6) saf kabuksal orijin ile uyumlu değildir. Ancak, bunların farklılaşmamış magmaların Ni ve Cr içeriklerine ( $200-450$ , and  $>1000$ ) göre düşük Ni ( $6-18$  ppm) ve Cr ( $8-36$  ppm) içeriğine sahip olmaları mafic magma bileşeninin karışımdan önce, olivin, piroksen ve spinel fraksiyonlaşmasıyla farklılaştığını ortaya koymaktadır.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\%15.52-17.22$ ) içerikleri mantodan türeyen bazik ergiyikle ( $\text{Al}_2\text{O}_3 < \%15$ ) uyumlu olmamakla birlikte, bunun muhtemelen olivin ve ortopiroksen gibi Al'ca fakir bazı fazların fraksiyonlaşmasından kaynaklanmış olabileceği anlaşılmaktadır. Kayaçların göstermiş olduğu NTE patternleri bunu destekler durumdadır. Bu bilgiler ışığı altında, SKLM yüksek olasılıkla bu kayaçların oluşumunda önemli bir rol oynamıştır. Yani, kayaçları oluşturan magma hibrid bir magma olmalıdır, yalnızca mantodan türeyen bazik bir magma olamaz. Daha feslik bir uç üye için, düşük Sr-Nd kompozisyonundan dolayı, üst kabuktan türeyen magma olası görünmemektedir. Plutonlardaki ençok farklılaşmış örnekler (Sr11), yüksek silis ( $\sim \%73$ ), düşük Mg# ( $36$ ) ve orta  $I_{\text{Sr}}(43 \text{ Ma})$  ( $0.70548$ )

karakterlidirler. Bu özellikleri ile alt kabuktan türeyen bir ergiyikle uyumluluk sunarlar. Bu izotopik ve jeokimyasal veriler ışığı altında, alt kabuktan türeyen magma, hibrit kayaçların oluşumunda muhtemel felsik bileşen olarak görülmektedir. Mantodan türeyen ve alt kabuğun alt kısmına yerleşen mafik magma ve alt kabukta bu magmanın sağladığı ısı ile oluşan magmanın karışımı, hibrid magmaların oluşumu için en favori mekanizma olarak kabul edilmektedir (Rudnick ve diğ., 1986). Altlayan bazik magmanın, dehidrasyon ergimesi (Rushmer, 1991; Rapp ve Watson, 1995; Petford ve Gallagher, 2001) ve granitik ergiyik oluşumu (Tepper ve diğ., 1993; Wolf ve Wyllie, 1994; Rapp ve Watson, 1995) için sıcaklık kaynağı olabileceği deneysel olarak ortaya koyulduğu için bu mekanizma mümkün görülmektedir.

Jeodinamik veriler ile bütünlenen tüm jeokimyasal veriler, zenginleşmiş SKLM dan türeyen bir bazik magma, kabuğun derinliklerinde, mafik alt kabuğun dehidrasyon ergimesinden türeyen felsik ergiyikle karışımına işaret etmektedir. Litosferik mantonun ergimesi ise yüksek olasılıkla sıcak astenosfer yükselimi ile ilişkilidir. Sr-Nd izotoplarıyla gerçekleştirilen modelleme, SKLM'dan türeyen bazik magmanın, oluşuma yaklaşık % 77-83 oranında katkıda bulunduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, karışım olayı söz konusu hibrid kütlelerin oluşumunda önemli rol oynamıştır. Daha sonara, karışımla oluşan hibrid magma bir miktar kabuksal kirlenme ve önemli ölçüde fraksiyonlaşmaya uğrayarak, genişlemeli bir jeotektonik ortamda, kabuğun üst kısımlarında diyoritten granite kadar değişen bu kayaç silsilesinin oluşumuna imkân tanımıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Doğu Türkiye; Granitoid kayaçlar; Magma karışımı; Mafik mikrogranular anklavlar; Raayojenik izotoplar

#### ABSTRACT

*In order to understand their petrogenesis and geodynamic setting, major and trace elements and Sr-Nd-Pb isotopes of the host rocks and mafic microgranular enclaves (MME) from the Dölek and Sariçiçek plutons, Eastern Turkey, were studied. The plutons were emplaced at ~43 Ma at shallow depth (~5 to 9 km) as estimated from Al-in hornblende geobarometry. The host rocks consist of a variety of rock types ranging from diorite to granite in composition ( $SiO_2=56.98-72.67$  wt %;  $Mg\# =36.8-50.0$ ), which contain MMEs of gabbroic diorite to monzodiorite in composition ( $SiO_2=53.21-60.94$  wt %;  $Mg\# =44.4-53.5$ ). All rocks define a high-K calc-alkaline differentiation trend. Chondrite-normalized REE patterns are moderately fractionated and relatively flat [(La/Yb)<sub>cn</sub>=5.11 to 8.51]. They display a small negative Eu anomalies ( $Eu/Eu^*=0.62$  to 0.88), with enrichment of LILE and depletion of HFSE. Initial Nd-Sr isotopic compositions for the host rocks are  $\epsilon_{Nd}(43\text{ Ma}) = -0.6$  to 0.8 and mostly  $I_{Sr} = 0.70482-0.70548$ . Nd model ages ( $T_{DM}$ ) vary from 0.84 to 0.99 Ga. Pb isotopic ratios are  $(^{206}Pb/^{204}Pb) = 18.60-18.65$ ,  $(^{207}Pb/^{204}Pb) = 15.61-15.66$ ,  $(^{208}Pb/^{204}Pb) = 38.69-38.85$ . Compared to the host rock, MMEs are relatively homogeneous in isotopic compositions, with  $I_{Sr}$  ranging from 0.70485 to 0.70517,  $\epsilon_{Nd}(43\text{ Ma}) -0.1$  to 0.8 and Pb isotopic ratios of  $(^{206}Pb/^{204}Pb) = 18.58-18.64$ ,  $(^{207}Pb/^{204}Pb) = 15.60-15.66$ ,  $(^{208}Pb/^{204}Pb) = 38.64-38.77$ . The MMEs have  $T_{DM}$  ranging from 0.86 to 1.36 Ga. These similarities indicate that the enclaves are of mixed origin, most probably formed by interaction of lower crustal- and mantle-derived magmas.*

*As evidenced by geochemical data presented above, samples from the plutons are characterized by pronounced negative Ba, Nb and Ti anomalies in the spidergrams and enriched in LILEs and LREEs, suggesting typical crustal melts. However, such features are not always that of crustal melts but may reflect mantle enrichment events prior to melting, as is proposed by Hawkesworth et al. (1993). In fact, this relative enrichment of the hybrid host rocks and their MMEs, with initial Sr-Nd ratios which could be inherited from mafic magma derived from melting of a chemically enriched subcontinental lithospheric mantle (SCLM) source. The relative low silica contents (53-60%, mostly <57%) and relatively high Mg# (45 to 53) of the MMEs point to a mantle-derived magmas. In addition, the least evolved dioritic samples (e.g. Ed6) characterized by low  $SiO_2$  content (57 wt %) and relatively high Mg# (~50) has to be regarded as unlikely for pure crustal origin. However, their low Ni (6-18 ppm) and Cr (8-36 ppm) content relative to those of unfractionated magmas (200-450, and >1000, respectively) suggest that mafic magma must have undergone a significant fractionation of olivine, pyroxene and spinel prior to the interaction and their  $Al_2O_3$  contents (15.52-17.22 wt%) are not consistent with basic parent melts ( $Al_2O_3 <15$  wt%) in equilibrium with mantle source, probably due to the fractionation of some Al-poor mafic phases, such as olivine and orthopyroxene. This is evidenced by the REE fractionated patterns of the rocks. With these guidelines, it is likely that the SCLM could have played an important role in their genesis. That is, the*

parental magma to the entire intermediate rock spectrum is a hybrid magma, not a purely mantle derived-basic magma. For a more felsic end-member, upper crustal-derived magma seems improbable due to the low initial Sr-Nd isotopic ratios of the hybrid granitoid rocks. The most evolved samples (e.g. Sr11) are characterized by high silica (~ 73 wt %), relatively low Mg# (36) and moderate  $I_{Sr}(43 \text{ Ma})$  (0.70548), which would be consistent with the melts derived from lower crustal material. In the light of isotopic and whole-rock data, lower crustal-derived magma appears likely as more felsic component in generation of the hybrid plutons. Underplating of mantle-derived melt and its interaction with lower crust-derived magmas has been recognized as the most favored mechanism for the generation of hybrid magmas (e.g. Rudnick et al., 1986). This mechanism seems probable as the experimental studies show that underplating magma could bring the heat source for dehydration melting (e.g. Rushmer, 1991; Rapp and Watson, 1995; Petford and Gallagher, 2001) and produce granitic melt (e.g. Tepper et al., 1993; Wolf and Wyllie, 1994; Rapp and Watson, 1995).

All geochemical data, in conjunction with geodynamic evidences, suggest that a basic magma-derived from the enriched subcontinental lithospheric mantle, probably triggered by upwelling of asthenosphere, could have thoroughly interacted with a crustal melt originating from dehydration melting of the mafic lower crust at deep crustal levels. Modelling based on Sr-Nd isotope data demonstrates that about 77-83 % of SCLM could have involved in the genesis. Consequently, interaction process may have played an important role in the genesis of hybrid granitoid bodies, which subsequently underwent a fractional crystallization process, with minor amounts of crustal assimilation, en route to higher crustal levels generating a wide variety of rock types ranging from diorite to granite in an extensional regime.

**Keywords:** Eastern Turkey; Granitoid rocks; Magma interaction; Mafic microgranular enclave; Radiogenic isotopes

#### Değinilen Belgeler

- Hawkesworth CJ, Gallagher K, Herot JM, McDermott F (1993) Mantle and slab contributions in arc magmas. *Ann. Rev Earth Planet Sci* 21:175-2004
- Pedford N, Gallagher K (2001) Partial melting of mafic (amphibolitic) lower crust by periodic influx of basaltic magma. *Earth Planet Sci Lett* 193:483-499
- Rapp RP, Watson EB (1995) Dehydration melting of metabasalt at 8-32 kbar: Implications for continental growth and crust-mantle recycling. *J Petrol* 36:891-931
- Rudnick RL, McDonough WF, McCulloch MT, Taylor SR (1986) Lower crustal xenoliths from Queensland, Australia: evidence for deep crustal assimilation and fractionation of continental basalts. *Geochim Cosmochim Acta* 50:1099-1115
- Rushmer T (1991) Partial melting of two amphibolites: contrasting experimental results under fluid-absent conditions. *Contrib Mineral Petrol* 107:41-59
- Tepper JH, Nelson BK, Bergantz GW, Irving AJ (1993) Petrology of the Chilliwack batholith, North Cascades, Washington: generation of calc-alkaline granitoids by melting of mafic lower crust with variable fugacity. *Contrib Mineral Petrol* 113:333-351
- Wolf MB, Wyllie PJ (1994) Dehydration-melting of amphibolite at 10 kbar: the effects of temperature and time. *Contrib Mineral Petrol* 115:369-383