

Orta Anadolu Granitoidlerinde Zirkon/Apatit Jeotermometresi Yöntemleri ile Zirkon Tipolojisi Verilerinin Karşılaştırılması

Comparison of Zircon/Apatite Geothermometry Methods and Zircon Typology Data of the Central Anatolian Granitoids

Serhat KÖKSAL⁽¹⁾, Semih GÜRSU⁽²⁾, M. Cemal GÖNCÜOĞLU⁽³⁾ & Fatma TOKSOY-KÖKSAL⁽³⁾

(1) Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Merkezi Laboratuvar, ANKARA

(2) M.T.A. Genel Müdürlüğü, Tabiat Tarihi ve Madencilik Müzesi ANKARA

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

e-posta: skoksal@metu.edu.tr

ÖZ

Zirkon tipolojisi metodu, Pupin (1980) tarafından önerilmiş olan, granitik kayalardaki zirkon kristal tiplerinin incelenerek istatistiksel olarak değerlendirilmelerine dayanarak granitoidin petrolojisinin araştırılmasına ilişkin bir yöntemdir. Bu metod, granitoidlerin kökenine (ör: kıtasal, hibrid veya manto) ilişkin veriler sağlarken granitoidlerde bulunan farklı mineral topluluklarından yola çıkarak granitoidlerin oluşum sıcaklıkları hakkında da önerilerde bulunmaktadır. Bu metodda, granitoidden zenginleştirilen en az 100-150 zirkon kristali mikroskop altında incelenir. Kristal yüzeyleri belirlenerek prizma ve piramit yüzeylerinin göreceli gelişimlerine göre Pupin (1980) sınıflamasına göre tanımlanır. Belirlenen zirkon kristal tipleri zirkon tipoloji diyagramına yerleştirilir. Zirkon tiplerinin tipoloji diyagramındaki dağılımlarına dayanarak yapılan istatistiksel hesaplamalarla granit sınıflaması için kullanılan tipolojik oluşum trendinin yanısıra ısı indeks (I.T.) de belirlenebilir. Bu metoda göre ısı indeks (I.T.) (110) ve (100) zirkon prizma yüzeylerinin göreceli olarak değişimleri ile ilişkilidir. Ancak, zirkon kristal tiplerinin petrolojik ve jeotermometrik yorumlara baz oluşturması farklı yazarlarca (ör: Vavra, 1990; Benisek & Finger, 1993) sorgulanmış ve zirkon morfolojilerinin granitoidin yalnızca son oluşum evresindeki fiziko-kimyasal koşulları temsil edebileceği ileri sürülmüştür.

Zirkon tipoloji yönteminin yanısıra, zirkon, apatit ve monazit doygunluk jeotermometre çalışmalarına bağlı olarak da magmatik kayaların yerleşme sıcaklıkları hakkında hipotetik yaklaşımlarda bulunulabilmektedir (Watson & Harrison, 1983; Harrison & Watson, 1984; Montel, 1993; Piccoli vd., 1999). Bu çalışma kapsamında zirkon ve apatit doygunluk termometre çalışması yürütülerek, elde edilen sonuçların zirkon tipoloji verileri ile karşılaştırılması ve bu yöntemlerin kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, Orta Anadolu'daki I-tipi Baranadağ ve Terlemez, S-tipi Hisarkaya ve A-tipi Çamsarı Granitoidleri üzerinde zirkon ve apatit jeotermometre çalışmaları yapılmış ve zirkon tipolojisi verileri ile karşılaştırılmıştır.

I-tipi Baranadağ granitoidi üzerinde yapılan zirkon jeotermometre çalışması 741,7 ile 754,4°C, apatit jeotermometre çalışması ise 877,1 ile 903,4°C aralığını göstermektedir (Tablo 1). I-tipi Baranadağ granitoidi zirkon kristalleri, zirkon tipolojisi diyagramında 750-900°C aralığında bir dağılım göstermekte, ısı indeksi 850°C'ye karşılık gelen I.T.=680 (Köksal vd., incelemede) olarak hesaplanmaktadır. Buna ek olarak, I-tipi Terlemez granitoidi zirkon jeotermometre çalışması 769,6°C, apatit jeotermometre çalışması ise 892,9°C verilerini sunmaktadır. I-tipi Terlemez granitoidi zirkon tipolojisi çalışması ise bu kayaç için 750-850°C aralığında kristal tiplerine ve 850°C'ye karşılık gelen ısı indekse (I.T.=731; Köksal vd., incelemede) işaret etmektedir. Zirkon ve apatit jeotermometre çalışmaları ile zirkon tipolojisi verileri karşılaştırıldığında, bu iki granitoid için zirkon jeotermometre verilerinin zirkon tipoloji çalışması ile ortaya konan kristal tiplerine karşılık gelen yaklaşık en düşük sıcaklığa, buna karşın apatit jeotermometresi verilerinin ise hemen hemen en yüksek sıcaklığa karşılık geldiği ve tipoloji verilerinden elde edilen ısı indeks değerlerinin zirkon ve apatit jeotermometresi verilerinin arasında bir değere karşılık geldiği görülmektedir.

S-tipi Hisarkaya granitoyidini temsil eden Hisarkaya-a ve Hisarkaya-b örnekleri, zirkon tipoloji çalışmalarına göre düşük ısı indekslerine sahip granitik kayalardır. Hisarkaya-a örneğindeki zirkon kristalleri 600-800°C aralığında dağılmakta ve 700°C'ye karşılık gelen I.T.=376 (Köksal vd., incelemede) indeks değerini vermektedir (Tablo 1). Buna karşın Hisarkaya-a örneği için zirkon jeotermometresi çalışması 827,9°C, apatit jeotermometresi çalışması ise 771,3°C sıcaklığını vermektedir. Aynı ilişki Hisarkaya-b örneği için de geçerli olup zirkon tipleri 600-750°C aralığında dağılım gösterirken ısı indeks 650°C'ye karşılık gelen I.T.=333 (Köksal vd., incelemede) değerini vermektedir. Hisarkaya-b örneği için zirkon jeotermometresi 842,9°C, apatit jeotermometresi ise 759,4°C vermektedir. Hisarkaya granitoyidinde, zirkon tipoloji verilerinden elde edilen ısı indeks değerleri, diğer iki metodun verilerine göre düşük kalmaktadır. Zirkon jeotermometresi diğer iki metoda göre yüksek sonuçlar sunarken apatit jeotermometresi sonuçları bu granitoyiddeki zirkon tiplerinin yaklaşık en yüksek sıcaklık düzeyine karşılık gelmektedir.

A-tipi Çamsarı granitoyidi ise zirkon tipoloji çalışmasına göre yüksek ısı indeks göstermekte zirkon tipleri nispeten dar bir aralıkta dağılım göstermektedir. I.T. indeksi bu kayaç için 795 (Köksal vd., incelemede) olup, 900°C'ye karşılık gelmekte, zirkon tipleri tipoloji diyagramında 850-900°C civarında yer almaktadır (Tablo 1). Buna karşın zirkon ve apatit jeotermometresi verileri daha düşüktür: zirkon jeotermometresi 712,8-771,0°C, apatit jeotermometresi ise 635,6-713,1°C vermektedir.

Zirkon tipolojisi verileri değerlendirilirken granitoyidlerdeki zirkon kristallerinin sıcaklığın yanı sıra diğer birçok faktörlerce de kontrol edilebildiği göz önüne alınmalıdır. Örneğin, granitoyidin soğuması sırasında zirkon kristalleri magma odasındaki iz elementleri yapılarına alarak morfolojik açıdan ciddi değişimlere uğrayabildiği gibi (Vavra, 1994), suca-zengin magmalarda geç-zirkon oluşumları ısı indeksin düşmesine neden olabilmektedir (Pupin, 1980). Benzer şekilde, çalışma konusunu oluşturan kayalardaki zirkon kristallerinde özellikle dış zonlardaki ani tipolojik değişimler öncel çalışmalarda ortaya konulmuştur (ör: Köksal vd., 2006; Köksal vd., incelemede).

Liew & McCulloch (1985) I-tipi granit eriyiğinin oluşum sıcaklığının (800 - 900 °C), S-tipine (\leq 700 °C) nazaran daha yüksek sıcaklıklar gerektirdiğini deneysel çalışmalarla ortaya koymuştur. Kökensel oluşum koşulları da dikkate alındığı zaman I-tipi Terlemez ve Baranadağ granitoyidleri için zirkon tipolojisi verileri ile apatit jeotermometresi verilerinin karşılaştırılabilir olduğu görülmektedir. Benzer olarak S-tipi Hisarkaya granitoyidi için apatit jeotermometresi sonuçları zirkon tipolojisi verileri ile karşılaştırılabilir. A-tipi Çamsarı granitoyidi için ise zirkon ve apatit jeotermometresi verilerinin birbirlerine yakın fakat zirkon tipoloji verilerinin oldukça altında sonuçlar sunduğu belirtilebilmektedir. Zirkon jeotermometresi sıcaklık değerlerinin apatit jeotermometresi değerlerinden daha düşük olması, örneklerde olası ilksel magmatik fazı karakterize eden zirkon tanelerinde önceki fazlara ait zonlanma ve yapıların veya kalıntı zirkon çekirdeğinin olmasından kaynaklanabilmektedir. Zirkon tipolojisi verileri ile zirkon/apatit jeotermometre değerleri arasındaki farklılıkların da kalıt çekirdekler veya ilksel evrelere ait diğer zirkon oluşumlarından kaynaklanması muhtemeldir. Nitekim I-tipi Baranadağ ve Terlemez granitoyidlerinde magma karışımı ile ilişkili olarak farklı magmatik evrelerin varlığı zirkon kristallerinde katodoluminesans görüntülerine dayanılarak önerilmektedir (Köksal vd., incelemede). Aynı şekilde, A-tipi Çamsarı granitoyidinde de farklı magmatik evrelere ait olduğu düşünülen zirkon gelişimleri gözlenirken, S-tipi Hisarkaya granitoyidinde kalıntı çekirdek yapıları izlenmektedir (Köksal vd., incelemede).

Sonuç olarak; Orta Anadolu Granitoyidlerinde, zirkon tipolojilerine dayanılarak yapılan jeotermometrik değerlendirmelerle zirkon ve apatit jeotermometresi çalışmaları sonuçları bazı örnekler için (ör: I-tipi granitoyidler) benzer sonuçlar vermekle birlikte çoğunlukla farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar metodların özelliklerinden, hatta zaman zaman handikaplarından kaynaklanabildiği gibi her bir kayacın kökeni ve oluşum süreçleri gibi özelliklerine de bağlı olabilmektedir. Bu nedenle her bir granitoyidin ayrı bir detaylı çalışma konusu olarak değerlendirilmesi faydalı görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Zirkon, Apatit, Jeotermometre, Tipoloji, Granitoyid, Orta Anadolu

Tablo 1. Zirkon ve Apatit Jeotermometresi Sonuçları ile Zirkon Tipolojisi Metodu Sıcaklık Verileri

Örnek Adı	Zirkon D.İ.T. (°C)	Apatit D.İ.T. (°C)	Zirkon Tipolojisi Sıcaklık Aralığı (°C)	Zirkon Tipolojisi Isıl İndeks Karşılığı Sıcaklık (°C)
Baranadağ (I-tipi)	741,7 – 754,4 (6 örnek)	877,1 – 903,4 (6 örnek)	750-900	850
Terlemez (I-tipi)	769,6	892,9	750-850	850
Hisarkaya-a (S-tipi)	827,9	771,3	600-800	700
Hisarkaya-b (S-tipi)	842,9	759,4	600-750	650
Çamsarı (A-tipi)	712,8 – 771,0 (5 örnek)	635,6 – 713,1 (5 örnek)	850-900	900

ABSTRACT

Zirkon typology, proposed by Pupin (1980), is a method based on examination of zircon crystal types in granitic rocks and their statistical evaluation. While providing data for the source of granitoids (e.g., crustal, hybrid, or mantle), zircon typology also suggests the evolution temperatures. In this method, at least 100-150 zircon crystals enriched from a granitoid are examined under the microscope. Crystal faces are determined and zircon crystals are described based on Pupin (1980) classification according to relative development of the pyramidal and prismatic faces. Zircon crystals determined are put into the zircon typology diagram. According to the distribution of the crystal types on the typology diagram, temperature index (I.T.) can be determined, besides typological evolution trend which is used for granitoid classification. Based on this method temperature index depends on the relative change of the (110) and (100) zircon prism faces. The use of this method for petrologic and geothermometric discussions is questioned by various authors (e.g., Vavra, 1990; Benisek & Finger, 1993) and it is stated that the zircon morphologies can only characterize the physico-chemical conditions at the latest stages of granitoid evolution.

Besides zircon typology, also by geothermometric studies concerning zircon, apatite and monazite saturation hypothetical approaches can be made on the emplacement temperatures of the magmatic rocks (Watson & Harrison, 1983; Harrison & Watson, 1984; Montel, 1993; Piccoli et al., 1999). In the scope of this study, by conducting zircon and apatite saturation thermometry study it is aimed to correlate obtained results with the zircon typology results, and investigation of applicability of these methods. In this scope, zircon and apatite geothermometry studies were performed on the I-type Baranadağ and Terlemez, S-type Hisarkaya and A-type Çamsarı granitoids from central Anatolia, and correlated with the zircon typology data.

Zirkon and apatite geothermometry data on the I-type Baranadağ granitoid ranges between 741.7 to 754.4°C, and 877.1 to 903.4°C, respectively (Table 1). I-type Baranadağ granitoid zircon crystals, show distribution in the range of 750-900°C on the zircon typology diagram, and temperature index is determined as I.T.= 680 (Köksal et al., submitted), which corresponds to 850°C. Additionally, zircon and apatite geothermometry studies on the I-type Terlemez granitoid yielded 769.6°C, and 892.9°C, respectively. Zirkon typology study on the I-type Terlemez granitoid on the other hand, points out crystal types of 750-850°C interval and I.T. corresponding to the 850°C (I.T.=731; Köksal et al., submitted). When zircon and apatite geothermometry studies are compared with the zircon typology data, it is observed for these two granitoids that zircon geothermometry data correspond approximately to lowest value represented by crystal types revealed from zircon typology study, whereas apatite geothermometry data match up about the highest value, temperature index values are in between of the zircon and apatite geothermometry data.

Samples Hisarkaya-a and Hisarkaya-b representing the S-type Hisarkaya granitoid are granitic rocks having low temperature indexes according to zircon typology studies. Zircon crystals from Hisarkaya-a sample distribute in the range of 600-800°C with a I.T.=376 (Köksal et al., submitted) representing 700°C (Table 1). Alternatively, for Hisarkaya-a sample zircon and apatite geothermometry studies give 827.9°C and 771.3°C, respectively. The same relationship is valid for Hisarkaya-b sample of which zircon types disclose range of 600-750°C, and I.T.=333 (Köksal et al., submitted) corresponding to 650°C. For the Hisarkaya-b sample zircon and apatite geothermometry results are 842.9°C and 759.4°C, respectively. In this granitoid I.T. values revealed from zircon typology data is lower than the data of other two methods. While zircon geothermometry presents higher results than other methods, apatite geothermometry results are nearly the highest temperature levels of zircon crystal types in this granitoid.

Moreover, A-type Çamsarı granitoid show rather narrow zircon crystal distribution with high temperature index. I.T. for this rock is 795 (Köksal et al., submitted) corresponding to 900°C, and zircon types on the typology diagram are around 850-900°C field (Tablo 1). On the other hand, zircon and apatite geothermometry data are rather low: zircon geothermometry gives 712.8-771.0°C, whereas apatite geothermometry presents 635.6-713.1°C.

While evaluation of the zircon typology data it should be noted that the evolution of zircon crystals within granitoids can be controlled by many other factors besides temperature. For instance during solidification of a granitoid zircon crystals may be experienced serious morphological alteration by taking trace elements within magma chamber (Vavra, 1994) or late-zircon growth in the water-rich magmas may results in the lowering of temperature index (Pupin, 1980). Accordingly, in the previous studies (e.g., Köksal et al., 2006; Köksal et al., in review) abrupt typological changes, especially in the outer zones, in zircon crystals of the rocks concerned in this study are detected.

Liew & McCulloch (1985) show by empirical studies that the heat of I-type granite melt (800-900 °C) needs higher rates than those of S-type one (≤ 700 °C). If the source characteristics are considered it seems that the zircon typology data are comparable with the apatite geothermometry data for I-tipi Terlemez and Baranadağ granitoids. Similarly for S-type Hisarkaya granitoid apatite geothermometry data are comparable with the zircon typology data. However for A-type Çamsarı granitoid zircon and apatite geothermometry results are similar but much lower than zircon typology data. Zircon geothermometry values are lower than apatite geothermometry results probably because of zones and structures or inherited zircon cores belong to previous phases those characterizing the probable primary phase in the samples. Differences between the zircon typology data and zircon/apatite geothermometry values are possibly result from inherited cores and zircon growths of primary phases. Indeed in the I-type Baranadağ and Terlemez granitoids presence of distinct magmatic episodes related with the magma mixing were suggested based on the cathodoluminescence images from zircon crystals (Köksal et al., submitted). Correspondingly while in the A-type Çamsarı granitoid zircon growth belong to the distinct magmatic phases are detected, in the S-type Hisarkaya granitoid inherited zircon cores were noticed (Köksal et al., submitted).

Consequently, in the Central Anatolian Granitoids, geothermometric assessments based on the zircon typologies are comparable with zircon and apatite geothermometry studies for some samples (e.g., I-type granitoids), they show commonly differences, which maybe originated from properties, even occasionally handicaps, of the methods, they may also because of the individual properties of the rocks like source and generation processes. Therefore it would be beneficial to consider each granitoid as a detailed case study.

Keywords: Zircon, Apatite, Geothermometry, Typology, Granitoid, Central Anatolia

Table 1. Results of Zircon and Apatite Geothermometry Studies and Zircon Typology Methodu Temperature Data

Sample Name	Zircon D.İ.T. (°C)	Apatite D.İ.T. (°C)	Zircon Typology Temperature Range (°C)	Temperature Correspond to Zircon Typology Temperature Index (°C)
Baranadağ (I-type)	741.7 – 754.4 (6 samples)	877.1 – 903.4 (6 samples)	750-900	850
Terlemez (I-type)	769.6	892.9	750-850	850
Hisarkaya-a (S-type)	827.9	771.3	600-800	700
Hisarkaya-b (S-type)	842.9	759.4	600-750	650
Çamsarı (A-type)	712.8 – 771.0 (5 samples)	635.6 – 713.1 (5 samples)	850-900	900

References

- Benisek, A. & Finger, F., 1993. Factors controlling the development of prism faces in granite zircons: a microprobe study. *Contrib Mineral Petrol*, 114, 441-445.
- Harrison, M.T. & Watson, B.E., 1984. The behaviour of apatite during crustal anatexis: Equilibrium and kinetic considerations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, 1467-1477.
- Köksal, S., Toksoy-Köksal, F. & Göncüoğlu, M.C., 2006. Farklı granitoid tiplerinde zirkon oluşumu: Orta Anadolu Granitoidlerinden örnekler. 59. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri, Ankara, p. 271-272.
- Köksal, S., Göncüoğlu, M.C., Toksoy-Köksal, F., Möller A. & Kemnitz, H. (submitted). Zircon typologies and internal structures as petrogenetic indicators in contrasting granitoid types from central Anatolia.
- Liew, T.C. & McCulloch, M.T., 1985. Genesis of granitoid batholiths of Peninsular Malaysia and implications for models of crustal evolution: evidence from a Nd-Sr isotopic and U-Pb zircon study. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 49, 587-600.
- Montel, J.M., 1993. A model for monazite/melt equilibrium and the applications to the generation of granitic magmas. *Chemical Geology*, 110, 127-146.
- Piccoli, P.M. & Candela, P.A. 1994. Apatite in felsic rocks, a model for the estimation of initial halogen concentrations in the Bishop Tuff (Long Valley) and Tuolumne intrusive suite (Sierra Nevada Batholith) magmas. *American Journal of Science*, 294, 92-135.
- Pupin, J.P., 1980. Zircon and granite petrology. *Contrib Mineral Petrol*, 73, 207-220.
- Vavra, G., 1990. On the kinematics of zircon growth and its petrogenetic significance: a cathodoluminescence study. *Contrib Mineral Petrol*, 106, 90-99.
- Vavra, G., 1994. Systematics of internal zircon morphology in major Variscan granitoid types. *Contrib Mineral Petrol*, 117, 331-344.
- Watson, B.E. & Harrison, M.T., 1983. Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. *Earth and Planetary Science Letters*, 64, 295-304.