

AKÜ FEMÜBİD 20 (2020) 055802 (917-930)

AKU J. Sci. Eng. 20 (2020) 055802 (917-930)

DOI: 10.35414/akufemubid.706323

Araştırma Makalesi / Research Article

Granitik Buzul Çakıllarında Zirkon Tipolojisi Çalışması: Toridler'den Örnek Bir Çalışma (Türkiye)

Serhat KÖKSAL¹¹Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Merkezi Laboratuvar, Ar-Ge Eğitim ve Ölçme Merkezi, Ankara.e-posta: skoksal@metu.edu.tr. ID: <https://orcid.org/0000-0002-0094-9481>

Geliş Tarihi: 19.03.2020

Kabul Tarihi: 31.10.2020

Öz

Gondwana'nın kuzey kenarına ait Geç Ordovisiyen buzul kayaçlarına, Torid'lerde ve Güneydoğu Anadolu Otokton Kuşağı'nda rastlanmaktadır. Bu çalışmada; Doğu Toridler'de Feke-Saimbeyli-Ceralan (Adana) (DPK-30), Feke-Gökmenler (Adana) (DPK-44) ve Orta Toridler'de Silifke-Ovacık (Mersin) (DPK-72) bölgelerinden alınmış olan granitik buzul çakıllarından ayrılmış zirkon mineralleri üzerinde zirkon tipolojisi ve zirkon doygunluk sıcaklığı araştırmaları yapılmıştır. Zirkon tipolojisi metoduna dayanarak; çalışılan örneklerden DPK-30 örneği kalk-alkalen özellik gösteren, mafik anklavlar içeren hibrit granitoidler, DPK-44 örneği tamamıyla veya kısmen kıtasal kabuktan oluşan, eser miktarda mafik mikrogranüler ksenolit içeriği ve düşük manto katkısı sunan granitoidler ve DPK-72 örneği ise alkalin serisi granitoidler olarak tanımlanan, genellikle sub-volkanik ve anorojenik komplekslerde rastlanan sıcak ve susuz magma kaynağına işaret eden manto kaynaklı kayaçlar olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlamalar, bu kayaçlar üzerindeki izotopik verileri de kapsayan öncel jeokimyasal değerlendirmelerle genel olarak uyumludur. Çalışılan granitik kayaçların oluşum sıcaklıkları; sırasıyla zirkon tipolojisi metodu ve zirkon doygunluk sıcaklığı hesabına dayanarak, DPK-30 için 750°C ve 789°C; DPK-44 için 700°C ve 845°C, DPK-72 için 650°C ve 790°C olarak önerilmiştir. Bu sıcaklık aralıkları kaynak alan olarak önerilen Sina Yarımadası ve Mısır Doğu Çölü civarındaki Neoproterozoyik yaşlı granitoidlerin literatürdeki mevcut sıcaklık verileriyle benzerlik göstermektedir. Sonuç olarak; zirkon tipolojisi metodu ve zirkon doygunluk sıcaklığı çalışmalarının; diğer analitik verilerle birlikte değerlendirildiğinde, granitik buzul çakıllarının kaynak alanlarının saptanmasında faydalı olabileceği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler

Zirkon; Tipoloji;
Doygunluk Sıcaklığı;
Buzul; Granit; Toridler

Zirkon Typology Study on the Granitic Glacial Pebbles: A Case Study from the Taurides (Turkey)

Abstract

The Late Ordovician glacial rocks from the northern part of the Gondwana are encountered in Taurides and Southeast Anatolia Autochthone Zone. In this study, zircon typology and zircon saturation temperature investigations are performed on zircon minerals separated from the granitic glacial pebbles from the Feke-Saimbeyli-Ceralan and Feke-Gökmenler (Adana) areas in the east Taurides and Silifke-Ovacık (Mersin) in the central Taurides. Based on the zircon typology method, among the studied samples, DPK-30 is described as calc-alkaline hybrid granitoids bearing mafic enclaves, DPK-44 is identified as granitoids formed from wholly or partly continental crust with rare mafic microgranular xenoliths and low mantle contribution, and DPK-72 is defined as alkaline series granitoids, which are mantle originated rocks observed in subvolcanic and anorogenic complexes pointing out to hot and dry magma source. These descriptions are generally agreeable with the previous geochemical assessments, including isotopic data, on these rocks. Formation temperatures of studied granitic rocks are suggested as 750°C and 789°C for DPK-30, 700°C and 845°C for DPK-44, and 650°C and 790°C for DPK-72, based on zircon typology method and by zircon saturation temperature calculation, respectively. These temperature ranges show similarities to the present temperature data in literature on the Neoproterozoic granitoids from the Sina Peninsula and the Eastern Egypt Desert. As a result, zircon typology method and zircon saturation temperature calculation studies, combined with the other analytical data, can be beneficial in determining the source regions of the granitic glacial pebbles.

Keywords

Zirkon; Typology;
Saturation
Temperature; Glacial;
Granite; Taurides

1. Giriş

Zirkon, yeryüzünde farklı tip kayalarda rastlanan, jeokimyasal, kristallografik ve izotopik karakteristikleri sayesinde özellikle magmatik kayaların kristallenme yaşı ile petrojenezleri hakkında önemli bilgiler sağlayabilen bir mineraldir (ör., Kemp *et al.* 2006, Caricchi *et al.* 2014). Zirkon mineralinin kristallenme süreci genellikle tüm magmatik aşamaları kapsayacak şekilde devam eder ve bu aşamalarda farklı fiziko-kimyasal etkenler zirkon kristallerinin gelişimini kontrol eder (Pupin 1980). Bu fiziko-kimyasal etkenler; Pupin (1980) tarafından, alüminyum/alkalinite oranı, kayacın kristallenme sıcaklığı ve magmanın su içeriği olarak tanımlanmıştır. Bu nedenle, zirkon kristallerinin detaylı incelenmesi magmatik kayaların petrolojik köken ve gelişimleri ile sıcaklık kayıtlarının ortaya konulmasına önemli katkı sunar (ör., Watson and Harrison 1983, Schoene *et al.* 2012).

Geç Ordovisiyen buzul dönemi, geniş bir buzul örtünün Gondwana'nın üzerini kaplamasıyla neticelenmiştir (Ghienne *et al.* 2014, Pohl *et al.* 2016). Bu dönemde oluşmuş; Batı Afrika'dan Arabistan'a kadar uzanan buzul tabakalarının akıntı yönelimlerinin kırıntı zirkon yaşları ve petrolojik veriler de kullanılarak incelenmesi, uzak mesafelerden taşınmış olan buzullaşma öncesi havzalarda bulunmayan sediman kaynaklarının tespitini sağlamakta (ör., Doornbos *et al.* 2009, Hofmann *et al.* 2015) ve bu sayede Gondwana ile çevresinin Erken Paleozoyik tektonik yeniden şekillendirmeyi mümkün kılmaktadır (Pastor-Galán *et al.* 2013, Shaw *et al.* 2014, Ghienne *et al.* 2018). Gondwana'nın kuzey kenarındaki (Afrika ve Arabistan) merkeze yakın Geç Ordovisiyen (Hirnantiyen) buzul-denizel tabakaları ve Avrupa'nın güneyinde bulunan merkezden uzak bölümleri, oldukça kısa sayılabilecek bir buzul döneme (1 milyon yıldan kısa) ait olmalarına rağmen dünyadaki en önemli buzul-denizel birimlerinden birini oluşturmaktadır (Ghienne *et al.* 2003). Bu döneme ait buzullara ait parçalar, Afrika, Arabistan, Güney Amerika ve Avrupa'nın farklı bölgelerinde bulunmaktadır (Gürsu *et al.* 2018 ve içinde değinilen belgeler).

Bu dizilerin en iyi mostralarının, Arabistan'ın kuzey ve kuzeydoğusunda kalan merkezden uzak bölümlerine, Orta ve Doğu Toridler'de ve Güneydoğu Anadolu Otokton Kuşağı (GAOK)'nda rastlanmaktadır (Cater and Tunbridge 1992, Bozdoğan *et al.* 1996, Göncüoğlu 1997, Göncüoğlu and Kozlu 2000, Özgül ve Kozlu 2002, Monod *et al.* 2003, Göncüoğlu *et al.* 2004, Paris *et al.* 2007, Ghienne *et al.* 2010, Gürsu *et al.* 2017, 2018).

Öncel çalışmalarda; Anatolid-Torid-Platformu (ATP)'ndaki Geç Ordovisiyen istiflerde, özellikle de Feke-Saimbeyli-Tufanbeyli (Adana) ve Silifke (Ovacık) bölgelerinde nadir olarak granitik çakıllara ve silisiklastik kırıntılı birimlere rastlandığı bildirilmiştir (Monod *et al.* 2003, Ghienne *et al.* 2010). Gürsu (2015), bu bölgelerdeki diamiktit matrislerde ve kırıntılı birimlerdeki kırıntı ve tekil granitik çakıllardaki (lonestone) magmatik zirkonlarda elde ettikleri U-Pb yaş tayini verilerine dayanarak, ATP ve Güneydoğu Anadolu Orojenik Kuşağı (GAOK)'nın kaynağının Arap-Nübye Kalkan Parçası olduğunu önermiştir. Gürsu vd. (2018) ATP'deki buzul-denizel serilerin Kuzey Nübye Kalkanı'ndaki (Mısır) Neoproterozoyik granitik/meta-granitik/ meta-granodioritik kayaların erozyonuyla oluştuğunu ve sonrasında buzul levhalarıyla Geç Ordovisiyen'de ATP'ye taşındığını önermiştir. Gürsu vd. (2018), kaynak tespitinde önemli bilgiler sağlayabileceğinden hareketle tekil granitik çakıllarının petrolojik ve izotopik özelliklerini incelemiştir.

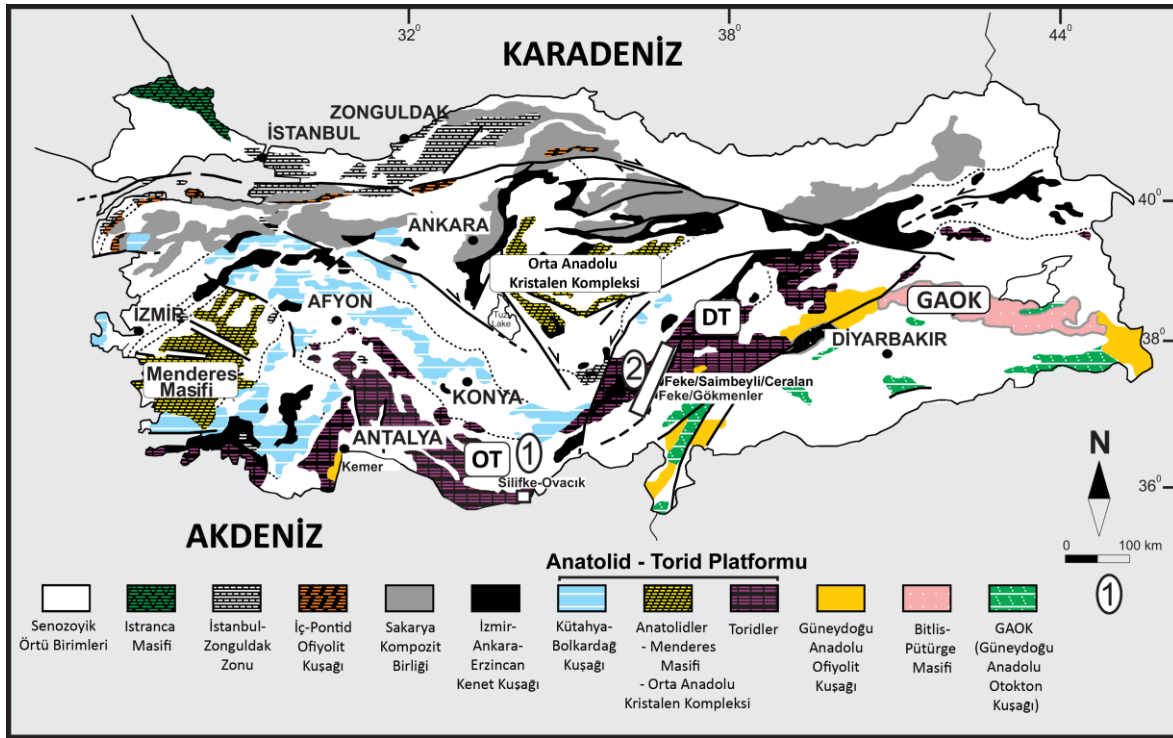
Zirkon tipolojisi metodu (Pupin 1980), granitik kayalardan zenginleştirilen mümkün olduğunca fazla miktarda (en az 100) zirkon minerali üzerinde uygulanan istatistiksel bir yöntemdir. Öncel çalışmalarda bu metodun kırıntı zirkonlar üzerinde yapılan uygulamaları mevcuttur (ör., Lisa and Uher 2006, Osorio-Granada *et al.* 2017), ancak granitik buzul çakıllarındaki zirkon minerallerine uygulanmasına literatürde rastlanmamıştır. Bu çalışmada; Gürsu vd. (2018)'de sunulan analitik verilere ek olarak zirkon tipolojisi metodu ve zirkon doygunluk sıcaklığı hesaplaması / jeotermometresi ile granitik buzul çakıllarının petrojenezine yeni bir yaklaşım getirilmesi amaçlanmaktadır.

1.1. Jeoloji

ATP ve GAOK'taki Alpin tektonik birimlerinde mostralarına rastlanan Geç Ordovisiyen buzul kayaçları farklı araştırmacılar tarafından incelenmiş ve tanımlanmıştır (Özgül vd. 1973, Cater and Tunbridge 1992, Göncüoğlu and Kozlu 2000, Monod *et al.* 2003, Ghienne *et al.* 2010). Özgül vd. (1973) ATP'deki Geç Ordovisiyen buzul birimlerine Halıyaylası-Eğripınar Formasyonu ismini vermiş, daha sonra Monod vd. (2003), Paris vd. (2007) ve Ghienne vd. (2010) bu birimleri Helavıkdere Formasyonu olarak tekrar adlandırmıştır. Benzer birimler; GAOK'ta Bedinan-Yurtyeri-Kızıltepe'de, Doğu Toroslar'da Sarız-Kayseri, Tufanbeyli-Adana, Feke-Adana ile Kozan-Adana alanlarında ve Orta Toroslar'da Ovacık-Silifke-Mersin civarında görülmektedir (Şekil 1). Bu çalışma kapsamında granitik buzul çakıllarına ait üç adet örnek incelenmiştir. Aşağıda lokasyon ve saha özellikleri özetlenen bu örnekler Adana Feke-Saimbeyli-Ceralan, Adana Feke-Gökmenler ve Mersin-Silifke-Ovacık (Hırmanlı) 'tan alınmıştır.

Adana Feke-Saimbeyli-Ceralan (DPK30): Örneğin bulunduğu buzul serinin en alt bölümünü inceden kalına değişen tane boyutunda yapraklı konglomeratik kumtaşı yatakları oluşturmaktadır (Gürsu *et al.* 2018). Bu birim gevşek malzeme içinde kuvarsit tek taşları (lonestone), nadir olarak granitik parçaları ile birlikte bulunan kuvars parçacıkları içeren inceden ortaya değişen boyutta kumlu diamiktitlerden oluşmaktadır (Gürsu *et al.* 2018). Birim, kumlu diamiktitler içerisinde ince taneli kumtaşı düzeyleri ile devam etmektedir. Serinin üst seviyesi ise kumlu diamiktitler içeren ince-orta taneli kumtaşları ve yaygın kuvars parçaları içeren ince taneli kumtaşlarından oluşmaktadır (Gürsu *et al.* 2018). Katian Sort Tepe Formasyonu uyumsuzluk düzlemiyle buzul seriyi üzerlemektedir (Gürsu *et al.* 2018).

Adana Feke-Gökmenler (DPK44): Gökmenler alanındaki Geç Ordovisiyen Seydişehir Formasyonu uyumsuzluk düzlemi ile buzul istifi üzerlemektedir. inceden kalına değişen kalınlıkta tabakalı, nadir olarak düşen taş (dropstone) özellikli granitik çakıl



Şekil 1. Ana tektonik birimleri içeren yapısal Türkiye Haritası ve Geç Ordovisiyen Buzul seriler (Örneklerin alındığı alanlar: OT (Orta Toridler) [1] ve DT (Doğu Toridler) [2]) (Gürsu *et al.* 2018'den alınmıştır).

taşları kumlu diamiktitlerle başlayan seri ile ince taneli kumtaşı, kalın tabakalı ince taneli kumtaşından kumlu diamiktit ve az miktarda çamur ara katmanlarıyla devam etmektedir. Serinin üst kısmı ise ince-orta taneli kalın tabakalı kumtaşı ve kuvars çakılları içeren kumlu diamiktit ve silt taşı ve siyah şeyl ara katmanlı ince taneli kumtaşı ve kumlu diamiktitlerden oluşmaktadır.

Mersin Silifke-Ovacık (Hırmanlı) (DPK72): Bu bölgedeki seriler iri taneli ince tabakalı kumtaşı, fazla miktarda inceden iriye değişen granit ve kuvars çakıllı düşen taş içeren kumlu diamiktit ve granitik düşen taş ve bol miktarda kuvars çakılı içeren ince orta taneli kumtaşı ara katmanlı kumlu diamiktitlerle başlamaktadır. Çamurlu siltaşı/şeyl ardalanmalı kumlu diamiktit ve kalın kumtaşı katmanları içeren kumlu diamiktitlerle devam etmektedir.

İncelenen örneklerin alındığı alanların jeolojik haritaları Gürsu vd. (2018) tarafından verilmiştir (Gürsu et al. 2018'de Ek Şekiller 1, 3 ve 4).

Gürsu vd. (2017), granitik buzul çakıllarından ayırdıkları zirkon kristalleri üzerinde lazer aşındırma-ICP-MS ölçümleri yaparak U-Pb yaşlarını raporlamıştır. Bu ölçümlere göre bu çalışma kapsamında incelenen örneklerde DPK30 için 717.5 ± 8 My, DPK44 için 576.5 ± 3.3 My ve DPK72 için 598.4 ± 7.5 My yaşları tespit edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Gürsu vd. (2017, 2018), buzul serilerinden alınarak ağır mineral zenginleştirilmesi yapılan granitik örneklerden ayrılan zirkon mineralleri üzerinde yaş tayini ve Hf izotop analizleri gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışma kapsamında ise, Gürsu vd. (2017, 2018) tarafından zenginleştirilmiş örneklerin ağır mineral fraksiyonları temin edilmiş ve zirkon tipolojisi metodunda değerlendirilmek üzere, binoküler mikroskop altında yeni zirkon mineralleri ayrılarak seçilmiştir.

Ayrılan zirkonlar üzerinde Pupin (1980) tarafından detayları açıklanmış olan zirkon tipolojisi metodu uygulanmıştır. Bu amaçla her bir granitoid örneğinden kristal yüzeyleri nispeten korunmuş en az 100'er adet zirkon kristali seçilerek Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılarak

fotoğraflanmış ve detay kristallografik incelemeleri yapılmıştır.

SEM çalışmalarında, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Merkez Laboratuvarı Ar-Ge Eğitim ve Ölçme Merkezi'ndeki Elektron Mikroskopi Laboratuvarı'nda bulunan QUANTA 400F Field Emission yüksek çözünürlüklü taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. SEM çalışmaları sırasında 30 kV hızlandırma gerilimi, 11,9 mm çalışma mesafesi, 15 nA ışın akımı, 120 s sayım zamanı, 127 eV enerji çözünürlüğü parametreleri kullanılmıştır.

2.1. Ana Hatlarıyla Zirkon Tipolojisi Metodu

Zirkon tipolojisi metodu (Pupin 1980) temel olarak {100} ile {110} prizmatik yüzeyler ve {101}, {211} ve {301} piramit yüzeylerinin göreceli olarak gelişimine dayanarak zirkonların morfolojik olarak sınıflandırılmasına dayanır. Pupin (1980); zirkonda prizmatik yüzeylerin gelişiminin kristallenmenin gerçekleştiği ortamın sıcaklığıyla, piramidal yüzeylerinin gelişiminin ise kimyasal bileşimle ilintili olduğunu belirtmiş ve farklı zirkon tiplerini alüminyum/alkalinite oranına bağlı A-İndeksi (A.I.) ve sıcaklığa bağlı T-İndeksi (T.I.)'ne dayanan zirkon tipolojisi şemasına yerleştirmiştir (Pupin 1980'de Şekil 1).

Bir zirkon topluluğunun tipolojik dağılımı en az 100-150 zirkon kristalinin incelenerek I.A. ve I.T. İndekslerinin ve A ve T İndekslerinin standart sapmalarının hesaplanması ile tespit edilebilir (Pupin 1980).

I.Ā. and I.T. aşağıdaki formüle (1) göre hesaplanır:

$$I.\bar{A}. = \sum_{I.A.=100}^{800} I.A. \times n_{I.A.} \quad I.T. = \sum_{I.T.=100}^{800} I.T. \times n_{I.T.} \quad (1)$$

burada $n_{I.A.}$ ve $n_{I.T.}$ her bir I.A. ve I.T. değeri için göreceli sıklığı ifade eder ($\sum n_{I.A.} = \sum n_{I.T.} = 1$). Tipolojik gelişim yönelimi (T.E.T.) ise I. A. ve I. T.'nin ortalama noktasından $a = S_T / S_A$ eğimi (T.E.T. eksenine ile A-İndeksi eksenine arasındaki açının tanjantı) ile geçen çizgidir. Burada A-İndeksinin standart sapması $S_A = \sqrt{(A - A_{ortalama})^2 / n}$ ve T-İndeksinin

standart sapması $S_T = \sqrt{(T-T_{ortalama})^2/n}$ iken, n incelenen zirkon kristali sayısını göstermektedir.

Pupin (1980) zirkon tipolojisi metoduna dayanarak granitik kayaların petrojenetik olarak sınıflandırılmasının mümkün olduğunu önermiştir. Bu sınıflandırmaya göre granitik kayalar içerdikleri zirkon toplulukları ve T.E.T.'leri gözönüne alınarak (a) kıtasal (veya baskın olarak kıtasal) kaynaklı (Grup 1, 2 ve 3), (2) hibrit (kıtasal ve manto kaynaklı) ve (3) manto (veya baskın olarak manto) kaynaklı olarak üçe ayrılmıştır. Grup 1, 2 ve 3 granitoidleri genellikle lökogradit ve alüminus monzogradit bileşiminde olup mafik mikrogranüler anklav içermez ya da çok az miktarda içerebilir. Bu kayalar düşük A ve T indekslerine sahiptir. Hibrit grup ise (Grup 4 ve 5), genellikle değişen oranlarda mafik mikrogranüler anklav içeren ve geniş bir aralıkta değişen A ve T indeksleriyle karakterize edilebilen kalk-alkalen veya sub-alkalen monzograditler ve granodiyoritleri içermektedir. Üçüncü gruptaki (Grup 6 ve 7) granitoidler ise yüksek A ve T indeks değerlerine sahip olup, genellikle alkalin veya toleyitik kayalardır. Genel itibarıyla, Pupin (1980) gruplamasında yer alan 1, 2 ve 3. gruplar S-tipi granitoid, 4 ve 5. gruplar I-tipi hibrit granitoid ve manto kaynaklı alkalin 6. grup ise A-tipi granitoid tanımına uymaktadır (Schermaier *et al.* 1992, Finger *et al.* 1992). Öncel çalışmalarda; Türkiye'deki kayalara nadir de olsa uygulanmış olan zirkon tipolojisi yöntemi, önemli petrolojik veriler sağlamıştır (Köksal *et al.* 2008, Akın *et al.* 2019).

2.2. Zirkon Doymunluk Sıcaklığı Hesaplaması

Watson ve Harrison (1983), zirkon kristalizasyonu ile eriyik bileşimi arasında bir bağıntı olduğunu önermiş ve zirkon doymunluk termometresi hesabı için aşağıdaki formülü oluşturmuştur:

$$\ln D_{Zr} \text{ zirkon/eriyik} = -3.80 - [0.85(M - 1)] + \frac{12900}{T} \quad (2)$$

Bu formülde; $\ln D_{Zr}$ zirkon/eriyik Zr konsantrasyonunun eriyikteki Zr'ye oranını, M katyon oranını ve T sıcaklığı (kelvin) göstermektedir. M değeri kayadaki elementlerin

katyon oranlarının hesabıyla saptanmaktadır: $M=(Na + K + 2Ca)/(Al \times Si)$ (Çizelge 1). Çalışma kapsamındaki granitik kayaların oluşum sıcaklıkları yukarıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır (Çizelge 1).

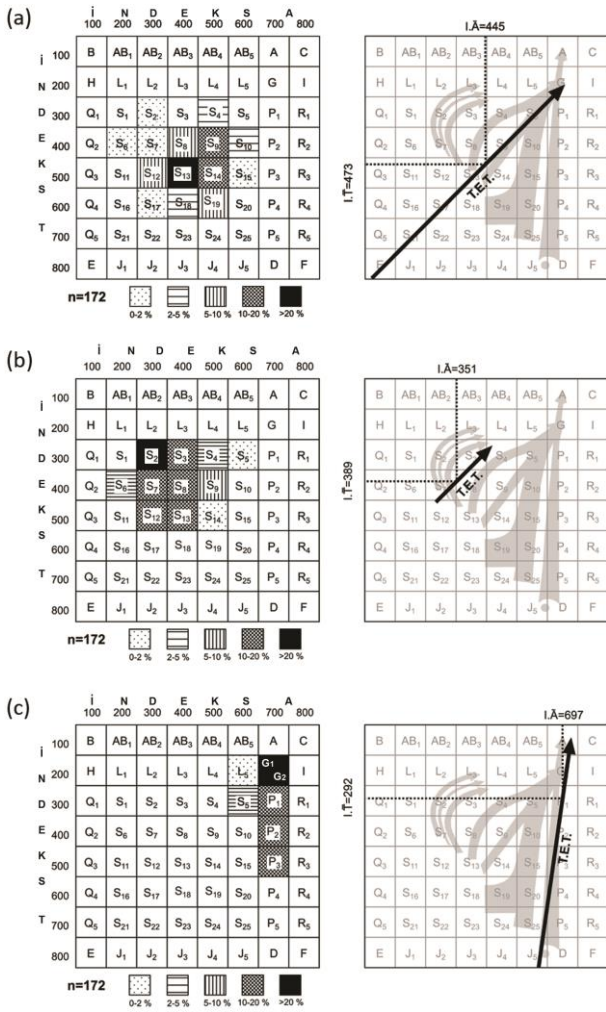
3. Bulgular

3.1. Zirkon Tipolojisi Metodu

Bu çalışma kapsamında DPK-30, DPK-44 ve DPK-72 örneklerine uygulanan zirkon tipolojisi metoduyla elde edilen istatistiksel veriler Çizelge-1'de ve Şekil-2'de, seçilmiş zirkon kristallerinin elektron mikroskobu görüntüleri ise Şekil 3, 4 ve 5'te sunulmuştur. İncelenen örneklerden DPK-44, düşük A ve T indeksleriyle diğer örneklerden ayrılırken, DPK-72 yüksek alkali indeksi ile farklılık göstermektedir (Şekil 2).

DPK-30 örneği S_{13} , S_{14} ve S_9 ağırlıklı olmak üzere S tipi zirkonlar içermekte olup (Şekil 2a, 3), A ve T indeksleri kesişimi tipoloji şemasının merkez bölgesindedir (Şekil 2a). DPK-44 örneğinde ise S_2 , S_3 , S_7 , S_8 , S_{12} ve S_{13} zirkon tipleri baskın olmak üzere (Şekil 4) indekslerin kesişimi tipoloji şemasının sol üst bölümünde yer almaktadır (Şekil 2b). DPK-72 örneğinin zirkon popülasyonu ise hemen hemen tamamıyla G ve P zirkon tipleri ve yüksek A-indeksi ile karakterize edilmektedir (Şekil 2c, 5).

Tipolojik gelişim yönelimleri ve zirkon tipleri dikkate alındığında; DPK-30, Pupin (1980) tarafından tanımlanan 4b grubuna, DPK-44, 3 numaralı gruba ve DPK-72 ise 6 numaralı gruba uyum göstermektedir. Pupin (1980), DPK-30 gibi 4b grubuna dahil olan granitik kayaları kalk-alkalin özellik gösteren, mafik anklavlar içeren hibrit granitoidler olarak nitelendirmektedir.



Şekil 2. Granitik buzul çakıllarına ait zirkonlardan zirkon tipolojisi metodu ile elde edilen istatistiksel verilere göre (a) DPK-30, (b) DPK-44 ve (c) DPK-72 örneklerindeki zirkon tiplerinin yüzdesel dağılımları ile tipolojik gelişim yönelimlerinin zirkon tipolojisi şemasında gösterimi (n: incelenen zirkon kristali sayısı).

Bu kayalar genel olarak biyotit±amfibol granodiyorit, biyotit+amfibol monzogranit, biyotit±ikincil muskovitli alkalin granit bileşimindedir (Pupin 1980). DPK-44 örneğinin uyum gösterdiği 3 numaralı grup ise tamamıyla veya kısmen kıtasal kabuktan oluşan, eser miktarda mafik mikrogranüler ksenolit içeriği ve düşük manto katkısı sunan granitik kayaları kapsamakta olup, genellikle alüminalı monzogranit ya da granodiyorit bileşimli sokulum kayalarıyla temsil edilmektedir (Pupin 1980).

DPK-72 örneğinin benzer tipolojik yönelim gösterdiği Pupin (1980)'nin 6 numaralı grubu ise alkalin serisi granitoidler olarak tanımlanan, genellikle sub-volkanik ve anorojenik komplekslerde rastlanan sıcak ve susuz magma kaynağına işaret eden manto kaynaklı granitik kayaları kapsamaktadır.

DPK-30 örneği zirkon tipoloji şemasında 650-800°C arasında dağılım gösterirken, DPK-44, 650-750°C ve DPK-72 ise 600-750°C arasında dağılım vermektedir. Zirkon tipoloji şemasındaki dağılımlar ve tipolojik gelişim yönelimlerinin geçtiği indeks kesişim noktaları, ortalama sıcaklık değerleri olarak DPK-30 için 750°C, DPK-44 için 700°C ve DPK-72 için 650°C önermektedir.

3.2. Zirkon Doymuluk Sıcaklığı

Zirkon minerali, kristal formunda olduğunda kabuktan türeyen eriyik ve akışkanlarda düşük çözünürlükte olmaktadır (ör., Watson 1979, Watson and Harrison, 1983). Deneysel çalışmalar zirkonun kristallendiği sıcaklığı ve zirkonun doymuş hale gelip kristallenmesi için gerekli olan bulunduğu kayadaki zirkonyum miktarını ortaya koymaktadır (Hanchar and Watson 2003). Zirkon doymuluk sıcaklığı formülasyonu (2) kullanılarak; çalışma kapsamındaki üç kayacın zirkon kristallenme sıcaklıkları, DPK-30 için 789°C, DPK-44 için 845°C ve DPK-72 için 790°C olarak hesaplanmıştır (Çizelge 1). Zirkon tipolojisi ile elde edilen sıcaklık hesaplamalarıyla karşılaştırıldığında, bu rakamların DPK-30 için benzer, DPK-44 ve DPK-72 için ise daha yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 1). Bu hesaplama sistematğinde, kayadaki zirkonyum miktarı ile özellikle SiO₂ konsantrasyonunun dolayısıyla kaynak kayacın kimyasal özelliklerinin önemli olduğu, bu nedenle de jeotermometrik verilerde farklılıklar oluşabileceği dikkate alınmalıdır (Hanchar and Watson 2003).

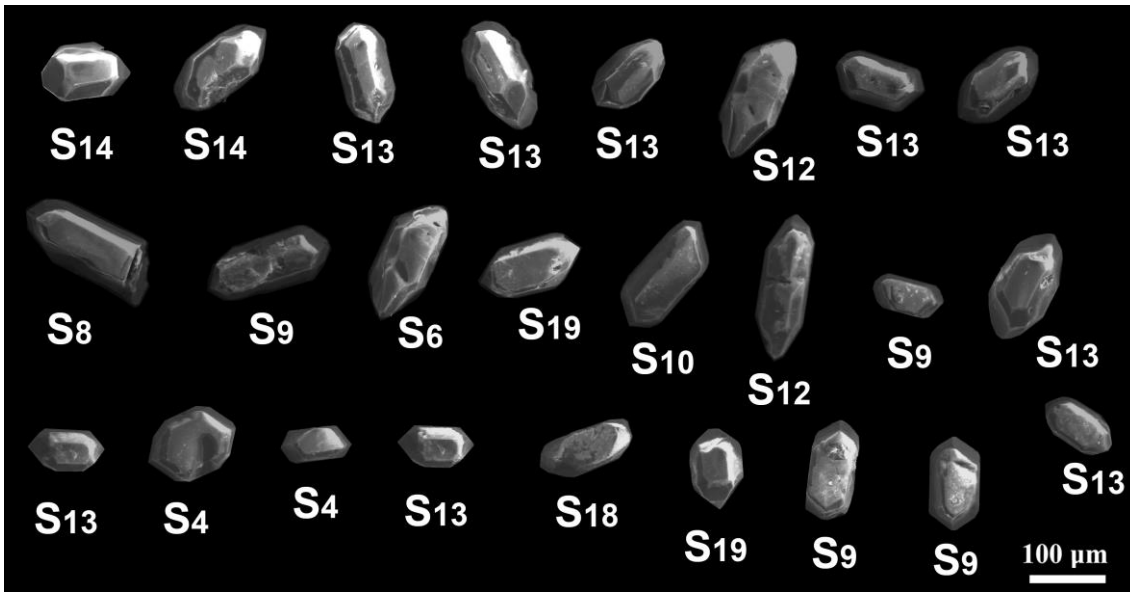
Çizelge 1. Granitik buzul çakıllarına ait zirkonlardan zirkon tipolojisi metodu ile elde edilen istatistiksel veriler ile zirkon doygunluk sıcaklığı hesaplamaları.

Örnek adı	n	SA	ST	I.A.	I.T.	alfa	radyan	Granitoyid grubu	Zr ^(a) (ppm)	M ^(b)	T°C ^(c)
DPK-30	172	70,3	71,8	445	473	45,6	0,796	4b	123,2	1,04	789
DPK-44	198	77,2	77,9	351	389	45,3	0,790	3	213,6	0,98	845
DPK-72	110	16,4	116,6	697	292	82,0	1,431	6	137,4	1,17	790

^(a) Gürsu vd. (2017)'den alınmıştır.

^(b) M" değerinin hesaplanmasında Gürsu vd. (2017)'de verilen SiO₂, Al₂O₃, K₂O, Na₂O ve CaO konsantrasyon değerleri kullanılmıştır.

^(c) T°C: Watson ve Harrison (1983) metodolojisine göre hesaplanan zirkon doygunluk sıcaklığı

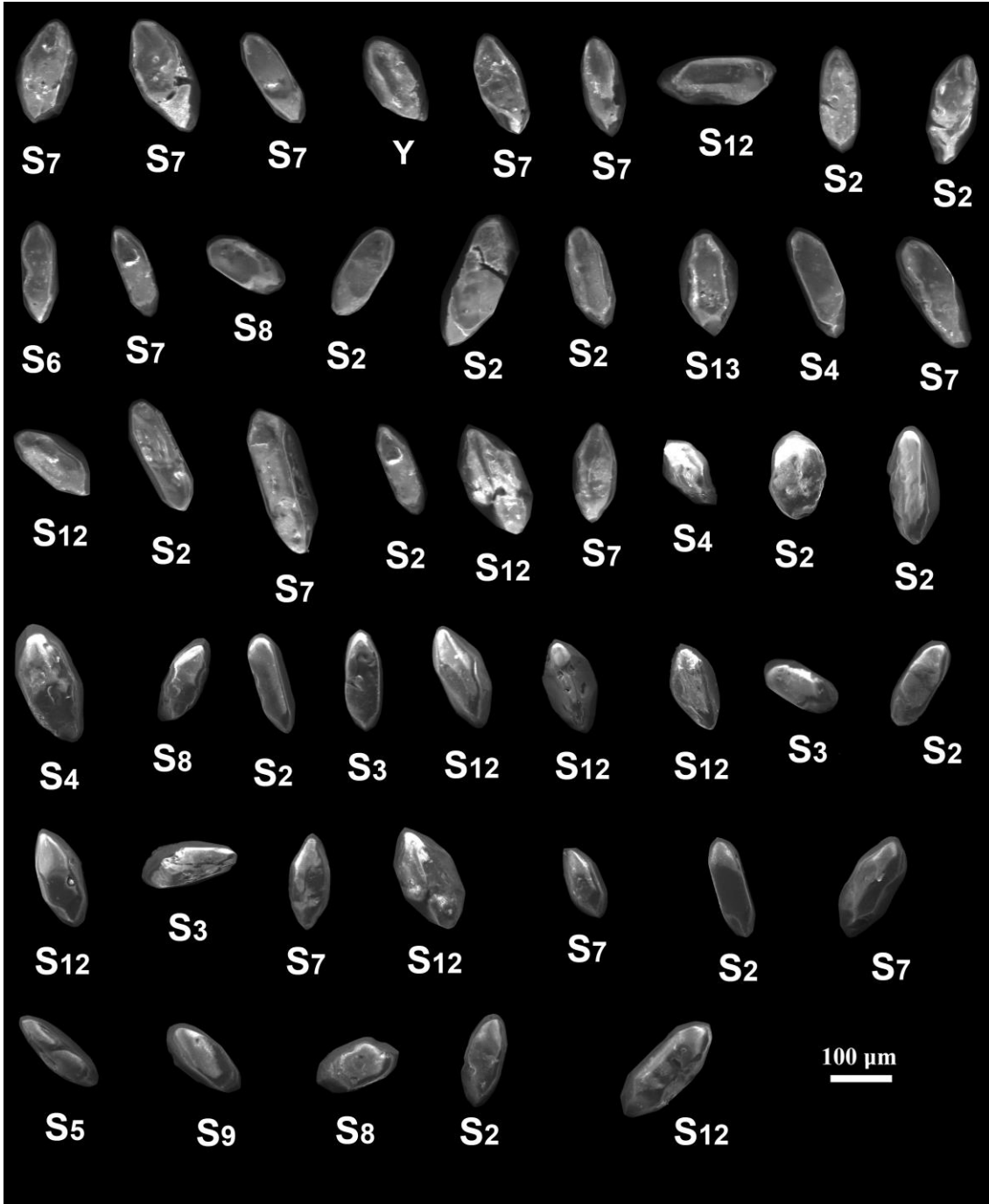


Şekil 3. DPK-30 örneğindeki zirkon kristallerinden seçilmiş olanların SEM görüntüleri.

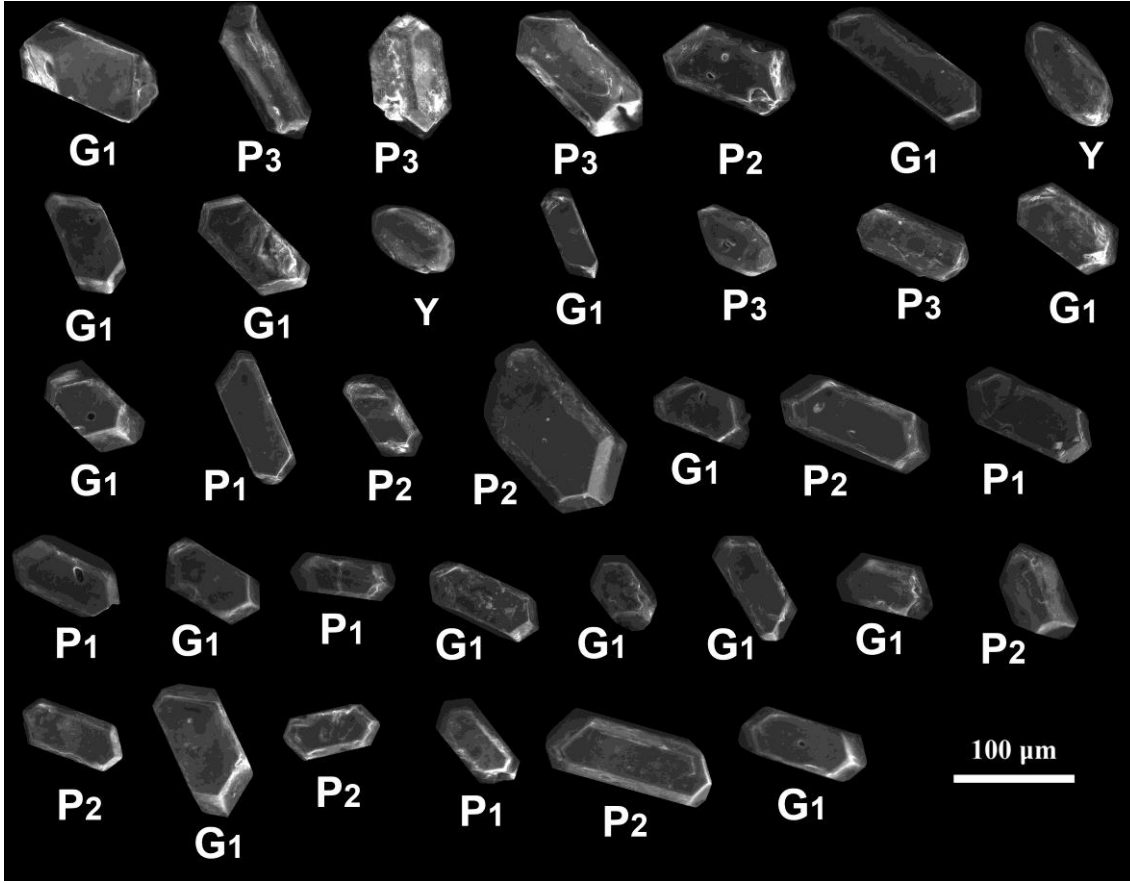
4. Tartışma ve Sonuç

Çalışma kapsamındaki granitik buzul çakılları hakkında yapılan öncel jeokimyasal ve jeokronolojik değerlendirmelere göre, bu granitoyidlerin volkanik-yay granitlerine uyum gösterdiği ve Sina yarımadası ve Mısır'ın Doğu Çölü'ndeki Neoproterozoyik granitoyid/metagranitik kayalardan kopup taşınmış olabileceği görüşü öne sürülmüştür (Gürsu *et al.* 2017, 2018). Gürsu vd. (2018)'de sunulan izotop verileri de bu görüşü destekler niteliktedir. Granitik çakılların tüm kayaç element jeokimyası verilerine ek olarak Nd ve Pb izotop verileri ile zirkon Lu-Hf izotop oranları da değerlendirildiğinde; DPK-30, DPK-44 ve DPK-72 örneklerinin genel olarak yay-tipi özelliğe sahip olduğu, juvenil manto ve yaşlı kıtasal kabuk

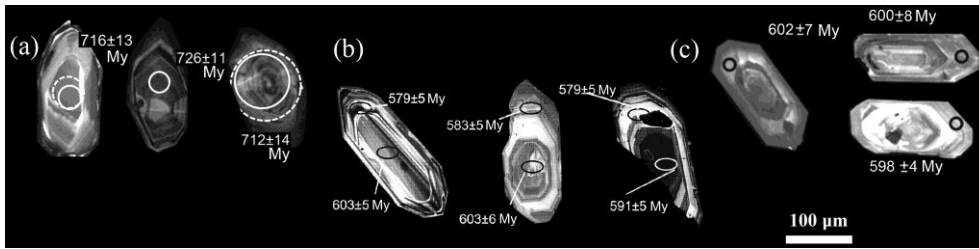
kaynaklarının farklı oranlarda karışımıyla oluşmuş olabileceği önerilmiştir (Gürsu *et al.* 2018). Söz konusu örnekler (özellikle DPK-72) A-tipi granitoyidlere de benzerlik gösterirken, DPK-30 örneği yay-kenarı magma kaynağına sahip görünmekte, DPK-44 örneğinde kıtasal kabuk katkısı en yüksek olarak göze çarparken DPK-72 örneği en düşük kıtasal kabuk katkısı sunmaktadır (Gürsu *et al.* 2018). Bu çalışma kapsamında elde edilen zirkon tipolojisi metodu verileri de aynı şekilde kıtasal kabuk katkısının en çok DPK-44 örneğinde, en az DPK-72 örneğinde olduğu bulgusunu ortaya koymaktadır.



Şekil 4. DPK-44 örneğindeki zirkon kristallerinden seçilmiş olanların SEM görüntüleri. Y: yuvarlaklaşmış kristal yüzeyleri nedeniyle tipolojisi belirlenememiş zirkon.



Şekil 5. DPK-72 örneğindeki zirkon kristallerinden seçilmiş olanların SEM görüntüleri. Y: yuvarlaklaşmış kristal yüzeyleri nedeniyle tipolojisi belirlenememiş zirkon.



Şekil 6. Kaynak alan olarak önerilen bölgelerdeki çalışmalarda verilmiş olan zirkon kristal fotoğrafları (a) Elat-Taba (Morag *et al.* 2011), (b) Igna (Be'eri-Shlevin *et al.* 2009), (c) Güney Sina (Moreno *et al.* 2012).

Gökmenler ve Ovacık'tan alınmış olan DPK-44 ve DPK-72 örnekleri Gürsu vd. (2017, 2018) tarafından A-tipi granitoidler olarak tanımlanmıştır. Aynı şekilde Mısır Doğu Çölü'ndeki benzer yaşlardaki Neoproterozoyik Nuweibi sokulumu da A-tipi granitoidler sınıflamasına uymaktadır (Azer *et al.* 2019). Gürsu vd. (2018), bu çalışma kapsamındaki örneklerin kaynak alanları olarak; DPK-30 için Elat-Taba (Wadi Bretan ve Gabal Dara) başkalaşım geçirmiş yay magmatizması ürünleri olan meta-

granodiyoritik kayalar, DPK-44 için Katherina Ring Complex ve Igna alanındaki alkalin kayalar ve DPK-72 için Mısır Doğu Çölü (Gabal Gaddar-Homr Akarem-Harid Mukbid-Nuweibi) "Genç Granitler" olarak adlandırılan kayaları önermiştir. Bahsedilen bu kayalarda zirkon tipolojisi metoduna literatürde rastlanmamıştır, ancak bu çalışma kapsamındaki DPK-30, 44 ve 72 numaralı örneklerdeki zirkonlar, önerilen alanlardaki yakın yaşlardaki zirkon kristallerinin literatürde verilmiş

olan fotoğrafları ile karşılaştırıldığında benzer tipolojiler gözlenmektedir. Elat-Taba alanındaki yaklaşık 715 my yaşlarında olan zirkon kristalleri de (Şekil 6a) DPK-30 örneğindeki gibi {211} ve {101} piramit yüzeyleriyle karakterize edilmektedir (Morag *et al.* 2011). Yine Be'eri-Shlevin *et al.* (2009) tarafından raporlanmış 580 my civarındaki Iqna zirkonlarında DPK-44 örneğinde olduğu gibi {101} ve daha baskın olan {211} piramit yüzeyleri görülebilmektedir (Şekil 6b).

DPK-72'deki zirkonların sadece {101} piramit yüzeyi içermesi sebebiyle tipolojik benzerlik gösterdiği 600 my civarındaki zirkonlar ise (Şekil 6c) Güney Sina (Mısır)'da tanımlanmıştır (Moreno *et al.* 2012). Yakın yaş aralıklarındaki kayalarla yapılan karşılaştırmalarla ortaya konulan bu zirkon tipolojisi benzerlikleri, Gürsu vd. (2018)'de önerilen kaynak alanlara ilişkin görüşleri desteklemektedir.

Zirkonların hafniyum ve tüm kayaç neodmiyum izotop verileri baz alındığında (Gürsu *et al.* 2018) DPK-30 örneğinin yüksek Hf-Nd verileri ada yayı özellikli nispeten az kıtasal kabuk katkılı juvenil magma kaynağına işaret ederken, DPK-44 ve DPK-72 örneklerinin izotopik verileri, DPK-44'te çok etkin olmak üzere, eski kıtasal kabuğun juvenil magma kaynağı ile karışmış olduğunu önermektedir. Bu izotopik veriler zirkon tipolojisi ile ortaya konan bulgularla uyumludur. Şöyle ki; zirkon tipolojisi metodunda kıtasal kabuk baskın olarak önerilen DPK-44 örneğinin izotop verileri de yoğun kıtasal kabuk katkısına işaret ederken, bu katkı DPK-30 ve DPK-72'de daha az oranda gözlenmektedir.

Gürsu vd. (2018)'de, bu çalışma kapsamındaki kayalardaki zirkonlardan elde edilmiş olan katodoluminesans (CL) görüntüleri verilmektedir. Bu görüntüler incelenerek, zirkon iç yapılarında görülen özelliklerin morfolojilere ne ölçüde yansıdığı ve zirkon kristallerinin, dolayısıyla kayaların oluşum süreçleri araştırılmıştır. DPK-30 örneğinde; morfolojide olduğu gibi iç yapılar da {211} ve {101} piramit yüzeyleriyle karakterize edilirken, bazı CL fotoğraflarında, aşınmış zirkon kristallerinin düşük CL sinyali gösteren çoklu dış zonlarla çevrelenmiş olduğu görülmektedir. Bu tip yapılar, değişen sıcaklık koşullarına ve ergiyik içinde korozyona uğrayarak muhtemelen taşınan zirkon

kristallerine işaret eder ve bu da kayacın hibrit özelliği ile uyumludur (Köksal *et al.* 2008). DPK-44 örneğinde ise morfolojiyle uyumlu olarak iç yapılarda genelde {211} ve yer yer {101} piramit yüzeyleri görülmektedir. DPK-44 örneği CL görüntülerinde de DPK-30'daki gibi bazı kristallerde olduğu gibi korozyon, taşınma ve yeniden kristallenme gibi süreçlere işaret eden yapılar görülmektedir. Gerek bu tip yapılar ve gerekse kayacın içten dışa görülen tipolojik gelişim, DPK-44 örneğinin kıtasal kabuk kökeni ile uyumludur. DPK-72 örneğinde ise, çekirdekten çeperlere kadar P ve G zirkon tiplerinde rastlanan benzer kristal yüzeylerinin geliştiği ve salınımlı zonlanmanın sürekliliği gözlenmektedir. Bu özellik, zirkon kristallerinin aynı magma odasında oluşarak kristallendiği şeklinde yorumlanabilir.

Sina Yarımadası ve Mısır Doğu Çölü civarındaki Neoproterozoyik yaşlı granitoidlerde jeotermometrik çalışmalar sınırlıdır. Mısır Doğu Çölü'ndeki Abu Dabbab Albit granitinin düşük düzeyde kısmi ergime ile 685°C'de oluştuğu önerilmiştir (Heikal *et al.* 2019). Mısır Doğu Çölü'ndeki Neoproterozoyik Abu Bayt ve Al-Hindusi granitoidlerinde 670 – 685°C, Arais granitoidinde ise 650 – 685°C kristallenme sıcaklıkları belirlenmiştir (Int Kyn. 1).

Öte yandan, Sina Yarımadası'ndaki Sharm El-Sheikh alanındaki Neoproterozoyik granitoidlerinden siyeno-granitlerde 520–730°C, alkali feldispat granitinde ise 450–830°C'lik oluşum sıcaklıkları tespit edilmiştir (Ghoneim *et al.* 2015).

Ayrıca, (Zoheir *et al.* 2008) tarafından Mısır Doğu Çölü'ndeki ada yayı özellik gösteren Neoproterozoyik Um Eleiga kompleksindeki sokulum kayaları üzerinde yapılan hornblend-plajiyoklas termometresi çalışmaları da bu kayalar için 720 ila 880°C arasında oluşum sıcaklığı vermiştir. Bu sıcaklık aralıkları, çalışma kapsamındaki örneklerin sıcaklık tespitleriyle benzerlik göstermektedir (ör., DPK-30 için zirkon tipolojisi metodu ile 750°C, zirkon doygunluk sıcaklığı hesabı ile 789°C; DPK-44 için zirkon tipolojisi metodu ile 700°C; zirkon doygunluk sıcaklığı hesabı ile 845°C ve DPK-72 için zirkon tipolojisi metodu ile 650°C; zirkon doygunluk sıcaklığı hesabı ile 790°C).

Bu çalışmada sunulan bulgular, granitik buzul çakılları üzerinde daha önce yapılmamış olan zirkon tipolojisi ve zirkon doygunluk sıcaklığı çalışmalarının bu tip kayalara uygulanabilirliğini göstermiştir. Zirkon tipolojisi ile elde edilen istatistiksel verilere dayanan petrolojik sonuçlar, Orta ve Doğu Toridler'den alınmış bu örnekler üzerindeki öncel jeokimyasal ve izotopik değerlendirmelerle büyük oranda uyum göstermektedir. Her ne kadar zirkon tipolojisi ve zirkon doygunluk sıcaklığı metodlarıyla elde edilen oluşum sıcaklığı verileri bir yaklaşımda bulunmayı sağlasa da farklı jeokimyasal ve ikincil parametreler de etkin rol oynayabilmektedir. Nitekim, bu çalışmada elde edilen veriler, önerilen kaynak alanlardaki kayaların öncel sıcaklık verilerine benzemekle birlikte detay incelendiğinde farklı sıcaklık aralıkları göze çarpmaktadır. Bu nedenle jeotermometrik verilere ihtiyatla yaklaşmak gerektiği düşünülmektedir.

Sonuç olarak; zirkon tipolojisi metodu ve zirkon doygunluk sıcaklığı hesaplama çalışmaları, jeolojik, petrografik, farklı izotopları da içeren jeokimyasal verilerle denetirildiğinde oldukça önemli bulgular sağlama potansiyeline sahip olduğu önerilebilir.

Teşekkür

Bu çalışmada incelenen zirkon kristalleri, Prof. Dr. Semih Gürsu tarafından sağlanmış olan granitik buzul çakıllarının ağır mineral fraksiyonlarından ayrılmıştır. Bu zirkon kristallerinin kullanılmasına izin veren Prof. Dr. Semih Gürsu'ya ve zirkon tipolojisi konusunda sağladığı bilgi altyapısı ve yönlendirmesi için Prof. Dr. M. Cemal Göncüoğlu'na teşekkür etmek isterim. SEM analizleri için Orta Doğu Teknik Üniversitesi Merkezi Laboratuvar'a ve analizleri yapan Sedat Canlı'ya teşekkürlerimi sunarım. Arazi çalışmalarıyla granitik buzul örneklerinin teminine önemli katkı sağlayan Doğan Usta ve Şerafettin Ateş'e de ayrıca teşekkür ederim. Değerli yorumlarıyla makalenin gelişimine katkı sunan Doç. Dr. O. Ersin Koralay ve anonim hakem ile editör Doç. Dr. Tamer Baybura'ya teşekkürü borç bilirim.

5. Kaynaklar

Akın, L., Aydar, E., Schmitt, A.K. and Çubukçu, H.E., 2019. Application of zircon typology method to felsic rocks (Cappadocia, Central Anatolia, Turkey): a zircon crystallization temperature perspective. *Turkish Journal of Earth Sciences*, **28**, 351-371.

Azer, M.K., Abdelfadil K.M. and Ramadan A.A., 2019. Geochemistry and Petrogenesis of Late Ediacaran Rare-Metal Albite Granite of the Nubian Shield: Case Study of Nuweibi Intrusion, Eastern Desert, Egypt. *The Journal of Geology*, **127**, 665-690.

Be'eri-Shlevin, Y., Katzir, Y. and Whitehouse, M., 2009. Post-collisional tectonomagmatic evolution in the northern Arabian–Nubian Shield: time constraints from ion-probe U–Pb dating of zircon. *Journal of the Geological Society, London*, **166**, 71-85. DOI: 10.1144/0016-76492007-169.

Bozdoğan, N., Göncüoğlu, M.C. and Kozlu, H., 1996. Lower Paleozoic stratigraphy of SE Anatolia. In *El Paleozoico inferior en el noroeste del Gondwana (The lower Paleozoic of NW Gondwana)*, edited by Baldi, B.A. and Acenolaza, F.G. *Serie Correlacion Geologica, Instituto Superior Correlacion Geologica, Universidad Nacional de Tucuman, Tucuman*, **12**, 47-58.

Caricchi, L., Simpson, G. and Schaltegger, 2014. Zircons reveal magma fluxes in the Earth's crust. *Nature*, **511**, 457-461.

Cater, J.M.L. and Tunbridge, I.P., 1992. Palaeozoic tectonic history of SE Turkey. *Journal of Petroleum Geology*, **15** (1), 35–50. DOI: 10.1111/j.1747-5457.1992.tb00864.

Doornbos, C., Heaman, L.M., Doupé, J.P., England, J., Simonetti, A. and Lajeunesse, P., 2009. The first integrated use of in situ U–Pb geochronology and geochemical analyses to determine long-distance transport of glacial erratics from mainland Canada into the western Arctic Archipelago. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **46**, 101-122.

Finger, F., Haunschmid, B., Schermaier, A. and Von Quadt, A., 1992. Is zircon morphology indicative of a mantle or crustal origin of a granite? Comparison of Pupin indices with Sr and Nd isotope data of 26 Austrian granites. *Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft*, **137**, 135-137.

Ghienne, J.-F., Deynoux, M., Manatschal, G. and Rubino, J.L., 2003. Palaeovalleys and fault-controlled depocentres in the Late-Ordovician glacial record of the Murzuq Basin (central Libya). *Comptes Rendus*

- Geosciences*, **335**, 1091-1100. DOI: 10.1016/j.crte.2003.09.010.
- Ghienne, J.-F., Monod, O., Kozlu, H. and Dean, W.T., 2010. Cambrian-Ordovician depositional sequences in the Middle East: a perspective from Turkey. *Earth Science Reviews*, **101**, 101-146. DOI: 10.1016/j.earscirev.2010.04.004.
- Ghienne J.-F., Benvenuti A., El Houicha M., Girard F. and Kali E., 2018. The impact of the end-Ordovician glaciation on sediment routing systems: A case study from the Meseta (northern Morocco). *Gondwana Research*, **63**, 169-178. DOI: 10.1016/j.gr.2018.07.001.
- Ghienne, J.-F., Desrochers, A., Vandenbroucke, T.R.A., Achab, A., Asselin, E., Dabard, M.-P., Farley, C., Loi, A., Paris, F., Wickson, S. and Veizer, J., 2014. A Cenozoic-style scenario for the end-Ordovician glaciation. *Nature Communications*, **5**, 4485. DOI:10.1038/ncomms5485.
- Ghoneim, M.F., Heikal M. T. S., El Dosuky B. T., Abu-Alam T.S. and Sherif M. I., 2015. Neoproterozoic granites of Sharm El-Sheikh area, Egypt: mineralogical and thermobarometric variations. *Arabian Journal of Geosciences*, **8**, 125-141. DOI: 10.1007/s12517-013-1182-0.
- Göncüoğlu, M.C., 1997. Distribution of Lower Paleozoic units in the Alpine terranes of Turkey: paleogeographic constraints. In *Lower Paleozoic evolution in northwest Gondwana*, edited by Göncüoğlu, M.C. and Derman, A.S. *Turkish Association of Petroleum Geologists Special Publications*, **3**, 13-24.
- Göncüoğlu, M.C. and Kozlu, H., 2000. Early Paleozoic evolution of the NW Gondwanaland: data from southern Turkey and surrounding regions. *Gondwana Research*, **3**, 315-324. DOI: 10.1016/S1342-937X(05)70290-2.
- Göncüoğlu, M.C., Göncüoğlu, Y., Kozlu, H. and Kozur, H., 2004. Paleozoic stratigraphy of the Geyikdağ Unit in the Eastern Taurides (Turkey): new age data and implications for Gondwana evolution. *Geologica Carpathica*, **55**, 433-447.
- Gürsu, S., 2015. Determination of source of Late Ordovician (Hirnantian) glacial deposits in southern Turkey by zircon U-Pb Geochronology. TUBITAK 2219 International Post-Doctoral Research Fellowship Programme Final Report, Ankara, 1-304.
- Gürsu, S., Möller, A., Usta, D., Köksal, S., Ates, S., Sunkari, E.D. and Göncüoğlu, M.C., 2017. LA-ICP-MS U-Pb dating of detrital and magmatic zircons of glacial diamictites and pebbles in Late Ordovician sediments of the Taurides and Southeast Anatolian Autochthone Belt, Turkey: indications for their Arabian-Nubian provenance. *The Journal of Geology*, **125(2)**, 165-202. DOI: 10.1086/690199.
- Gürsu, S., Mueller, P.A., Sunkari, E.D., Möller, A., Köksal, S., Kamenov, G.D. and Göncüoğlu, M.C., 2018. Nd, Pb, Hf isotope characteristics and provenance of glacial granitic pebbles from Late Ordovician diamictites in the Taurides, S Turkey. *Gondwana Research*, **54**, 205-216.
- Hanchar, J. M. and Watson, E. B., 2003. Zircon saturation thermometry. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, **53(1)**, 89-112.
- Heikal M. T. S., Khedr M.Z., El Monsef M.A. and Gomaa S.R., 2019. Petrogenesis and geodynamic evolution of Neoproterozoic Abu Dabbab Albite Granite, Central Eastern Desert of Egypt: Petrological and geochemical constraints. *Journal of African Earth Sciences*, **158**, 103518.
- Hofmann, M., Linnemann, U., Hoffmann, K.H., Germs, G., Gerdes, A., Marko, L., Eckelmann, K., Gärtner, A. and Krause, R., 2015. The four Neoproterozoic glaciations of southern Namibia and their detrital zircon record: the fingerprints of four crustal growth events during two supercontinent cycles. *Precambrian Research*, **259**, 176-188.
- Kemp, A., Hawkesworth, C., Paterson, B. and Kinny, P.D., 2006. Episodic growth of the Gondwana supercontinent from hafnium and oxygen isotopes in zircon. *Nature*, **439**, 580-583 (2006) DOI:10.1038/nature04505.
- Köksal, S., Göncüoğlu, M.C., Toksoy-Köksal, F., Möller, A. and Kemnitz, H., 2008. Zircon typologies and internal structures as petrogenetic indicators in contrasting granitoid types from central Anatolia, Turkey. *Mineralogy and Petrology*, **93**, 185-211.

- Lisa L. and Uher P., 2006. Provenance of Würmian loess and loess-like sediments of Moravia and Silesia (Czech Republic): a study of zircon typology and cathodoluminescence. *Geologica Carpathica*, **57 (5)**, 397-403.
- Monod, O., Kozlu, H., Ghienne, J.F., Dean, W.T., Günay, Y., Le Hérisse, A., Paris, F. and Robardet, M., 2003. Late Ordovician glaciation in southern Turkey. *Terra Nova*, **15**, 249–257. DOI:10.1046/j.1365-3121.2003.00495.x.
- Morag, N., Avigad D., Gerdes A., Belousova E. and Harlavan Y., 2011. Crustal evolution and recycling in the northern Arabian-Nubian Shield: New perspectives from zircon Lu–Hf and U–Pb systematics *Precambrian Research*, **186**, 101-116.
- Moreno J.A., Montero P., Abu Anbar M., Molina J.F., Scarrow J.H., Talavera C., Cambeses A. and Bea F., 2012. SHRIMP U–Pb zircon dating of the Katerina Ring Complex: Insights into the temporal sequence of Ediacaran calc-alkaline to peralkaline magmatism in southern Sinai, Egypt, *Gondwana Research*, **21**, 887-900.
- Osorio-Granada E., Restrepo-Moreno S.A., Munoz-Valencia J.A., Trejos-Tamayo R.A., Pardo-Trujillo A., 2017. Detrital zircon typology and U/Pb geochronology for the Miocene Ladrilleros-Juanchaco sedimentary sequence, Equatorial Pacific (Colombia): New constraints on provenance and paleogeography in northwestern South America. *Geologica Acta*, **15 (3)**, 201-215.
- Özgül, N. ve Kozlu, H., 2002, Kozan-Feke (Doğu Toroslar) Yöresinin Stratigrafisi ve Yapısal Konumu ile İlgili Bulgular, *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni*, **14 (1)**, 1-36.
- Özgül, N., Metin, S., Göger, İ., Bingöl, İ., Baydar, O. ve Erdoğan, B., 1973. Tufanbeyli dolayının Kambriyen ve Tersiyer kayaları. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, **16 (1)**, 81-101.
- Paris, F.F., Le Hérisse, A., Monod, O., Kozlu, H., Ghienne, J.F., Dean, W.T., Vecoli, M. and Günay, Y., 2007. Ordovician chitinozoans and acritarchs from southern and southeastern Turkey. *Revue de Micropaleontologie*, **50**, 81–107. DOI: 10.1016/j.revmic.2006.11. 004.
- Pastor-Galán, D., Gutiérrez-Alonso, G., Murphy, J.B., Fernández-Suárez, J., Hofmann, M. and Linnemann, U., 2013. Provenance analysis of the Paleozoic sequences of the northern Gondwana margin in NW Iberia: passive margin to Variscan collision and orocline development. *Gondwana Research*, **23**, 1089-1103.
- Pohl, A., Donnadieu, Y., Le Hir, G., Ladant, J.B., Dumas, C., Alvarez-Solas, J. and Vandembroucke, T.R.A., 2016. Glacial onset predated Late Ordovician climate cooling. *Paleoceanography*, **31**, 800-821.
- Pupin, J.P., 1980. Zircon and granite petrology. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **73**, 207-220.
- Schermaier, A., Haunschmid, B., Schubert, G., Frasl, G. and Finger, F., 1992. Diskriminierung von S-typ und I-typ graniten auf der basis zirkontypologischer untersuchungen. Frankfurter *Geowiss Arb, Serie A Geologie-Paläontologie*, **11**: 149-153.
- Schoene, B., Schaltegger U., Brack P., Latkoczy C., and Günther D., 2012. Rates of magma differentiation and emplacement in a ballooning pluton recorded by U–Pb TIMS-TEA, Adamello batholith, Italy. *Earth Planetary Science Letters*, **355–356**, 162-173.
- Shaw, J., Gutiérrez-Alonso, G., Johnston, S.T. and Galán, D.P., 2014. Provenance variability along the Early Ordovician north Gondwana margin: Paleogeographic and tectonic implications of U-Pb detrital zircon ages from the Armorican Quartzite of the Iberian Variscan belt. *Geological Society of America Bulletin*, **126**, 702-719.
- Watson, E. B., 1979. Zircon saturation in felsic liquids: experimental results and applications to trace element geochemistry. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **70**, 407-419.
- Watson, E. B. and Harrison, T. M., 1983. Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. *Earth Planetary Science Letters*, **64**, 295-304.
- Zoheir, B.A., Mehanna, A. M. and Qaoud, N. N., 2008. Geochemistry and geothermobarometry of the Um Eleiga Neoproterozoic island arc intrusive complex, SE Egypt: genesis of a potential gold-hosting

intrusion. *Applied Earth Science (Trans. Inst. Min. Metall. B)*, **117**, 3, DOI: 10.1179/174327508X375620.

İnternet kaynakları

1-https://www.researchgate.net/publication/336279560_Pre-Post_collisional_plutonites_of_Arais_area_Eastern_Desert_Egypt_geochemical_concept
(01.09.2004)