



## K-Ar ve $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ yaş tayini yöntemlerinin karşılaştırılması: Güney Türkiye ofiyolit tabanı metamorfiklerinden örnekler

*Comparison of the K-Ar and  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  dating methods: Examples from the metamorphic sole rocks of the southern Turkish ophiolites*

**ÖMER FARUK ÇELİK**

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 41380, KOCAELİ

Geliş (received) : 05 Mayıs (May) 2008

Kabul (accepted) : 06 Ekim (October) 2008

### ÖZ

Bu çalışmada, Toros Kuşağı ofiyolitlerinin, metamorfik taban kayalarından ve mikaşistlerinden ayıklanan amfibol ve mika mineralleri için K-Ar ve  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  yaş tayini yöntemleri uygulanmıştır. K-Ar yaş tayini yöntemi ile amfiboller  $82.3 \pm 5$  My ile  $124.2 \pm 3$  My arasında değişen geniş bir yaş aralığı vermiştir. Aynı yöntemle mika minerallerinden  $83.9 \pm 2$  My ile  $93.7 \pm 2$  My arasında değişen yaşlar elde edilmiştir. Buna karşın, aynı kayalardan seçilen amfibollerden  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  yöntemi kullanılarak,  $90.7 \pm 0.5$  My ile  $93.8 \pm 1.7$  My arasında yaşlar elde edilmiştir. Aynı yöntemle mikalar  $91.2 \pm 2.3$  My ile  $93.6 \pm 0.8$  My arasında yaş sonuçları vermişlerdir. Adı geçen iki yöntemi karşılaştırabilmek, ya da K-Ar yaş tayini yönteminin güvenilirliğini anlayabilmek için aynı kayalardan amfibol ya da mika mineralleri analiz edilmiş ve sonuçların genellikle uyumsuz oldukları saptanmıştır. Örneğin, Beyşehir ofiyolitik melanjı içinde yeralan bir amfibolitten elde edilen amfibol minerallerinden K-Ar yöntemi ile  $107.8 \pm 4$  My yaş sonucuna ulaşılmışken, aynı kayadaki amfibollerden  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  yöntemi ile  $90.9 \pm 1.3$  My elde edilmiştir. Her iki yöntemden elde edilen yaş verilerinin birbirleriyle uyuşmamasının başlıca nedenleri; analiz edilen minerallerin heterojenliği ve düşük potasyum içerikleri, ısı (örn., hidrotermal alterasyon) süreçler ya da dış etkenler (örn., yeraltısuyu) ile sistemden  $^{40}\text{Ar}$  kaybı yada ilavesi ve bu etkilerin K-Ar yöntemi ile belirlenememesi olarak sayılabilir. Ayrıca K-Ar yönteminde  $^{40}\text{Ar}$  ve  $^{40}\text{K}$  içeriklerinin farklı yöntemlerle saptanması, analitik hata olasılığını yükseltmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Amfibol,  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ , jeokronoloji, K-Ar, mika, ofiyolit.

### ABSTRACT

*In this study, K-Ar and  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  dating methods were used for amphibole and mica separated from the amphibolites and micaschists of the metamorphic sole rocks from the Tauride Belt ophiolites. Amphiboles and micas from the metamorphic sole rocks of the Tauride Belt ophiolites yielded K-Ar ages between  $82.3 \pm 5$  Ma and  $124.2 \pm 3$  Ma, and between  $83.9 \pm 2$  Ma to  $93.7 \pm 2$  Ma, respectively. However,  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  ages from the same rocks are between  $90.7 \pm 0.5$  Ma and  $93.8 \pm 1.7$  Ma for amphiboles, and between  $91.2 \pm 2.3$  Ma to  $93.6 \pm 0.8$  Ma for white-micas. Both methods were performed on the amphibole and white mica grains from the same sample to compare or to understand the reliability of K-Ar method. The results generally do not show an agreement. For instance, amphibole samples from the amphibolite of the Beyşehir ophiolite yielded  $107.8 \pm 4$  Ma from K-Ar method of dating. The amphiboles from the same amphibolite sample yielded  $90.9 \pm 1.3$  Ma by using  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  method of dating. The main reasons of the age differences obtained from the both methods can be the heterogeneity and the low potassium content of the minerals analysed, thermal processes (e.g. hydrothermal alteration) or the external factors (e.g. groundwater) induced the lost or addition of  $^{40}\text{Ar}$  in the system which could not be detected by K-Ar method. In addition, in the K-Ar method, determination of  $^{40}\text{Ar}$  and  $^{40}\text{K}$  contents with different methods results in an increase in the possibility of the analytical error.*

**Keywords:** Amphibole,  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ , geochronology, K-Ar, mica, ophiolite.

Ö. F. Çelik

E-posta: fcelik@kocaeli.edu.tr

## GİRİŞ

Geçmişte meydana gelmiş jeolojik olayların anlaşılabilmesinde en önemli sorunların başında kayaçların oluşum ve başkalaşım gibi jeolojik zamanla ilgili konularının belirlenmesi gelmektedir. Bu sorunların çözümünde K-Ar,  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ , Rb-Sr, Sm-Nd ve U-Pb gibi çeşitli radyometrik yaş tayini yöntemleri kullanılmaktadır (Faure, 1977). Bu yöntemler arasında yaygın bir şekilde kullanılan K-Ar ve  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  yaş tayini yöntemleri, analizi yapılacak mineral, ya da kayacın potasyum içermesine bağlıdır. Potasyumun doğada en çok rastlanılan elementlerden birisi olması ve amfibol, biyotit, muskovit, K-feldispat gibi kayaç yapıcı minerallerin potasyum içermeleri (Heier ve Adams, 1964) bu yöntemlerin yaygın olarak kullanılmalarını sağlamıştır. Bu iki yöntemin temelinde  $^{40}\text{K}$ 'ın radyoaktif bozunumu ile  $^{40}\text{Ar}$ 'a dönüşmesi yer alır (Goodman ve Evans, 1941; Aldrich ve Nier, 1948). Ayrıca argon gazının asal gaz olması, dolayısıyla başka iyonlarla bileşik yapma durumunun bulunmayışı ve kolay ölçülebilmesi bu yöntemlerin ortaya çıkışında önemli bir avantaj olmuştur (Dalrymple ve Lanphere, 1969).

Türkiye jeolojisinin anlaşılmasında geçmişte ve günümüzde K-Ar yaş tayini yöntemi yaygın bir şekilde kullanılmış ve jeolojik yorumlamalar bu yöntemden elde edilen sonuçlara göre yapılmıştır. Örneğin, Thuizat vd. (1981) Batı Toroslar'da yeralan Likya ofiyolitlerine ait ofiyolit tabanı metamorfiklerinin amfibolitlerinden amfibollerini kullanarak  $98.4 \pm 4$  My ve  $102 \pm 4$  My yaşları elde etmişlerdir. Yılmaz ve Maxwell (1982, 1984), Antalya ofiyolitine ait üç adet amfibolitten  $73.7 \pm 1$  My ve  $78.5 \pm 2$  My arasında değişen yaşlar elde etmişler ve bu yaşlar araştırmacılar tarafından bu kayaçların soğuma yaşları olarak yorumlanmıştır. Daha sonraları Toros Kuşağı ofiyolitlerine ait ofiyolit tabanı metamorfikleri için  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  yaş tayini yöntemi de kullanılmıştır. Örneğin, Dilek vd. (1999) Mersin, Alihoca ve Pozantı-Karsantı ofiyolitlerine ait metamorfik taban kayaçlarının amfibolitlerinden elde ettikleri amfibollerden  $90.6 \pm 1$  My ile  $93.8 \pm 0.5$  My arasında değişen, ancak birbirlerine yakın yaş verileri elde etmişlerdir. Parlak ve Delaloye (1999), Mersin ofiyolitinin metamorfik taban kayaçlarına ait amfibolitlerin amfibollerinden ortalama bir yaş değeri olarak  $92.6 \pm 0.2$  My elde etmişlerdir. Çelik vd. (2006); Likya, Antalya ve Beyşehir ofiyolitlerine ait ofiyolit tabanı metamorfiklerinin amfibolitlerinden elde ettikleri amfibol minerallerinden  $90.7 \pm 0.5$

My ile  $93.8 \pm 1.7$  My arasında değişen, ancak birbirlerine yakın yaşlar elde etmişlerdir. Burada özetlendiği gibi,  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  yaş tayini yöntemi ile elde edilen yaş verileri K-Ar yaş verilerine oranla benzer sonuçlar vermişlerdir.

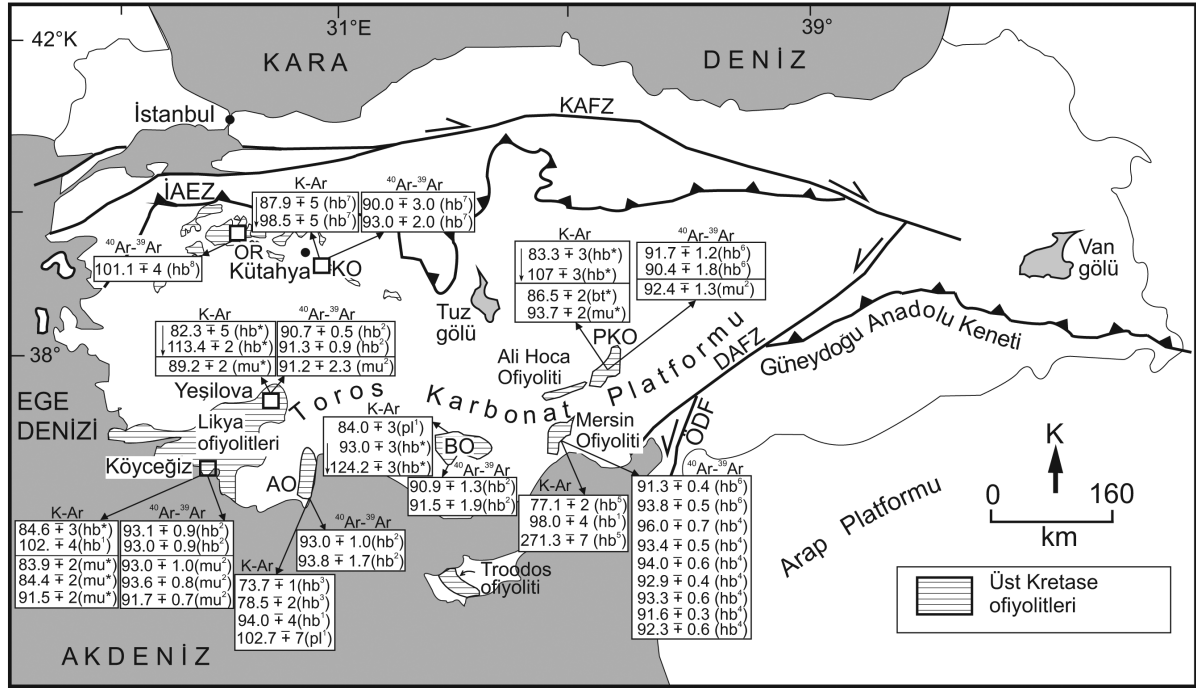
Bu çalışmada, K-Ar yaş tayini yöntemini tartışabilmek için Toros Kuşağı ofiyolitlerine ait ofiyolit tabanı metamorfik kayaçlarının amfibolit ve mikaşistleri kullanılmıştır (Şekil 1). Ayrıca, farklı ofiyolit tabanı metamorfiklerinden elde edilen K-Ar yaş tayini sonuçları ayrıntısıyla birlikte verilmiş ve  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  yönteminden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılıp farklılıkların nedenleri tartışılmıştır.

## JEOLJİK KONUM

Bu çalışmada adı geçen radyometrik yaş tayini sonuçlarının büyük bir bölümü, Toros Kuşağı'na ait farklı ofiyolitlerin (örneğin, Likya, Antalya ve Mersin) ofiyolit tabanı metamorfik kayaçlarından elde edilmiştir. Toros Kuşağı'na ait ofiyolit tabanı metamorfikleri genel olarak amfibolit, mikaşist ve bu kayaçların türevlerinden meydana gelirler (Parlak vd., 1995; Çelik ve Delaloye, 2003; Çelik vd., 2006; Çelik, 2007). Bu kayaçlar, okyanusal litosferin okyanus içi ortam koşullarında yitilmesi süreçlerinde oluşurlar. Dolayısıyla bu kayaçlardan elde edilecek yaş verileri, okyanusal litosferin yitim zamanını ya da bu süreçte oluşan kayaçların soğuma yaşlarının elde edilmesini sağlar (Parlak ve Delaloye, 1999; Dilek vd., 1999; Çelik vd., 2006). Ofiyolit tabanı metamorfik kayaçlarının kıtasal kabuk üzerine bindirmiş bölümleri, ofiyolitlerin manto kesimi ile ofiyolitik melanj bölümü arasında tektonik olarak yer almakta olup, Likya, Beyşehir, Mersin ve Pozantı-Karsantı ofiyolitlerine ait ofiyolit tabanı metamorfikleri bu duruma verilebilecek önemli örneklerdir (Parlak vd., 1995; Çelik ve Delaloye, 2003; Çelik vd., 2006; Çelik, 2007). Bu kayaçlar, ofiyolitik melanj içerisinde de gözlenebilirler. Okyanusal litosferin kıta üzerine yerleşme süreçlerinde ofiyolit tabanı metamorfik kayaçları, tektonik olarak, ofiyolitik melanj içine aktarılabilirler. Toros Kuşağı ofiyolitlerinden Antalya, Beyşehir, Mersin ve Pozantı-Karsantı ofiyolitlerine ait ofiyolitik melanjlar içerisinde bu kayaçların varlığı saptanmıştır (örneğin, Çelik ve Delaloye, 2006).

## ANALİTİK YÖNTEM

K-Ar analizleri, Cenevre Üniversitesi (İsviçre) mineraloji bölümünde gerçekleştirilmiştir. Analiz



Şekil 1. Toros Kuşağı ofiyolitlerinin ve IAEZ'nin metamorfik taban kayalarından K-Ar ve  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  jeokronolojik verilerini özetleyen Türkiye'nin genelleştirilmiş tektonik haritası (IAEZ : İzmir-Ankara-Erzincan Zonu, KAFZ : Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ : Doğu Anadolu Fay Zonu, ÖDF : Ölü Deniz Fayı, PKO : Pozantı-Karsantı ofiyoliti, BO : Beyşehir ofiyoliti, AO : Antalya ofiyoliti, KO : Kınık ofiyoliti (Kaynarca bölgesi), OR : Orhaneli ofiyoliti, hb : hornblend, mu : muskovit, bt : biyotit, pl : plajiyoklas. \*) Bu çalışma, (1) Thuizat vd. (1981), (2) Çelik vd. (2006), (3) Yılmaz ve Maxwell (1982, 1984), (4) Parlak ve Delaloye (1999), (5) Parlak vd. (1995), (6) Dilek vd. (1999), (7) Önen (2003), (8) Harris vd. (1994).

Figure 1. Generalized tectonic map of Turkey summarizing K-Ar and  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  geochronologic data from the metamorphic sole rocks of the Tauride Belt ophiolites and the IAEZ (IAEZ : İzmir-Ankara-Erzincan Zone, KAFZ : North Anatolian Fault Zone, DAFZ : East Anatolian Fault Zone, ÖDF : Dead Sea Fault, PKO : Pozantı-Karsantı ophiolite, BO : Beyşehir ophiolite, AO : Antalya ophiolite, KO : Kınık ophiolite (Kaynarca area), OR : Orhaneli ophiolite, hb : hornblende, mu : muscovite, bt : biotite, pl : plagioclase. \*) This study, (1) Thuizat et al. (1981), (2) Çelik et al. (2006), (3) Yılmaz and Maxwell (1982, 1984), (4) Parlak and Delaloye (1999), (5) Parlak et al. (1995), (6) Dilek et al. (1999), (7) Önen (2003), (8) Harris et al. (1994).

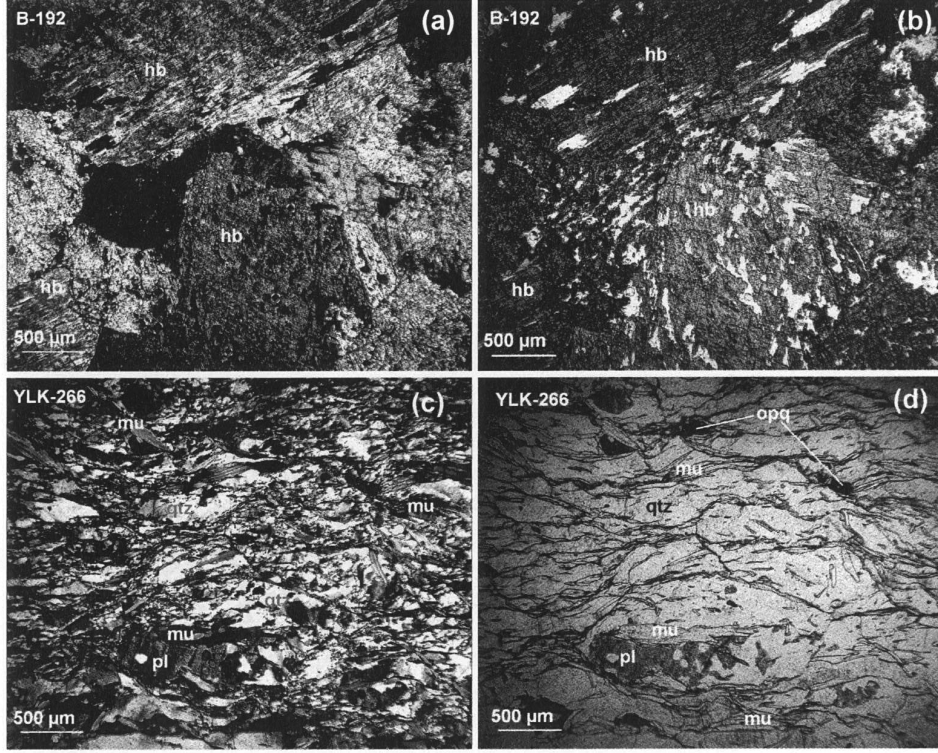
edilecek mineraller; manyetik ayırıcı, ağır sıvılar ve binoküler mikroskop yardımı ile tek tek elle ayıklanarak en yüksek kalitede mineraller elde edilmiştir. Potasyum konsantrasyonları atomik absorpsiyon cihazı (Pye-Unicam 8000) kullanılarak iki kez ölçülmüştür. Bu nedenle, Çizelge 1'de verilen değerler iki ölçümün ortalama değerleridir. Argon izotop analizleri, izotop sulandırma yöntemi ile AEI-10-S kütle spektrometresi kullanılarak yapılmıştır. Kütle spektrometresinde ölçülen izotop değerleri, spektrometreye bağlı bilgisayar donatısı yardımıyla depolanmış ve işlem görmüştür. Hesaplamalarda kullanılan sabit değerler Steiger ve Jäger (1977) tarafından öne-

rilen sabitlerdir. Kütle spektrometresinin kalibre edilmesinde uluslararası LP-6 (Odin vd., 1982) ve HD-B1 (Fuhrmann vd., 1987) standartları kullanılmıştır.

### K-Ar ANALİZ SONUÇLARI

Radyometrik yaş tayini için seçilen amfibolitler genel olarak granoblastik ve nematoblastik dokular sergilerken, mika analizleri için seçilen mikaşistler lepidoblastik ve granolepidoblastik dokular gösterirler (Şekil 2). K-Ar yaş tayini için seçilen kayaların mineral birlikelikleri ve dokusal özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir. Mi-





Şekil 2. (a) Granoblastik doku gösteren B-192 no.lu amfibolit örneğinin polarize ışık görüntüsü, (b) B-192 no.lu amfibolit örneğinin doğal ışık altındaki mikroskop görüntüsü, (c) Granolepidoblastik doku gösteren YLK-266 no.lu mikaşist örneğinin polarize ışık görüntüsü, (d) YLK-266 no.lu mikaşist örneğinin doğal ışık altındaki mikroskop görüntüsü (hb : hornblend, mu : muskovit, qtz : kuvars, pl : plajiyoklaz).

Figure 2. (a) Crossed polarizers view of the amphibolite sample (B-192) exhibiting granoblastic texture, (b) Photomicrograph of the amphibolite sample (B-192) under the plane polarized light, (c) The crossed polarizers view of the mica schist (YLK-266) exhibiting granolepidoblastic texture, (d) Photomicrograph of the mica schist (YLK-266) under the plane polarized light. (hb : hornblende, mu : muscovite, qtz : quartz, pl : plagioclase).

neral kimyası çalışmalarına göre, radyometrik yaş tayini analizlerinde kullanılan tüm amfiboller kalsiyumca zengin amfiboller grubundan olup, genellikle magnezyumlu hornblend, edenit, aktinolit ve tremolit bileşenleriyle ifade edilirler (Çelik, 2002). Likya ofiyolitlerine ait ofiyolit tabanı metamorfik kayaçlarının en tipik yüzlekleri Yeşilova ve Köyceğiz bölgelerinde yer almaktadır. Yeşilova civarında yer alan amfibolitlerin amfibollerinden altı örneğin analizi yapılmış ve  $82.3 \pm 5$  My ile  $113.4 \pm 2$  My arasında değişen geniş bir yaş aralığı elde edilmiştir. Belirlenen yaşların standart sapması  $2\sigma$  güvenilirlik aralığındadır. Aynı bölgedeki bir mikaşist örneğinden elde edilen muskovitler kullanılarak  $89.2 \pm 2$  My yaş sonucuna ulaşılmıştır. Köyceğiz bölgesindeki amfibolitlerden seçilen bir adet amfibolit  $84.6 \pm 3$  My amfibol yaşı vermiştir. Aynı bölgedeki üç adet mikaşistten elde edilen muskovitler de

ayrı ayrı analiz edilerek  $83.9 \pm 2$  ile  $91.5 \pm 7$  My arasında değişen yaşlar elde edilmiştir. Beyşehir ofiyolitine ait ofiyolit tabanı metamorfiklerinden beş adet amfibolit örneği seçilmiş ve bu örneklerden ayıklanan amfiboller  $94.8 \pm 2$  ile  $124.2 \pm 3$  My arasında değişen yaşlar vermişlerdir. K-Ar yaş tayini yöntemi Pozantı-Karsantı ofiyolitlerine ait ofiyolit tabanı metamorfikleri için de uygulanmıştır. Altı adet amfibolitten elde edilen amfibollerden  $83.3 \pm 3$  My ile  $107.0 \pm 3$  My arasında değişen yaşlar elde edilmiştir. Aynı bölgedeki bir adet mikaşistten ayıklanan muskovitler  $93.7 \pm 2$  My yaş sonucu vermişlerdir. Pozantı-Karsantı ofiyolitine ait PK-41 numaralı (Çizelge 1) bir amfibolitten ayıklanan amfibol ve biyotit mineralleri sırasıyla  $94.9 \pm 3$  My ile  $86.5 \pm 2$  My yaş sonucu vermişlerdir. K-Ar analizlerinin sonuçları ve ayrıntıları Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Toros Kuşağı ofiyolitlerinin metamorfik taban kayaları için K-Ar yaşları ve analitik verileri.  
 Table 1. K-Ar ages and analytical data for the metamorphic sole rocks of the Tauride Belt ophiolites.

Örnek	Kayaç tipi	Mineral	Örnekleme yeri	Örnek ağırlığı (g)	% K	$^{40}\text{Ar}^*$ mol/g x $10^{-11}$	% $^{40}\text{Ar}^*$	$^{40}\text{Ar}^{36}\text{Ar} \times 10^2$	$^{40}\text{K}/^{36}\text{Ar} \times 10^4$	Yaş (My)
Öfyoit										
YLK-229	Amfibolit	hb	Bırçaminsırtı	0.400	0.7	10.694	84.50	19.080	32.040	84.6 ± 3
YLK-253	Mikaşist	mu	Ağla	0.175	6.9	112.309	90.61	31.463	52.276	91.5 ± 7
YLK-255	Mikaşist	mu	Ağla	0.189	6.6	98.432	96.61	87.212	167.852	84.4 ± 2
YLK-266	Mikaşist	mu	Ağla	0.183	6.6	97.781	96.05	74.753	143.985	83.8 ± 2
YL 103	Amfibolit	hb	Değirmendere	0.255	0.7	10.328	89.90	29.200	53.620	82.3 ± 5
YL 132	Amfibolit	hb	Kebaptaştepe	0.256	0.3	6.250	83.80	18.230	22.460	113.4 ± 2
YL 133	Amfibolit	hb	Nohuderesi	0.216	0.4	6.893	90.40	30.790	47.970	97.2 ± 4
YL 134	Amfibolit	hb	Nohuderesi	0.253	0.6	10.555	78.10	13.480	16.610	105.9 ± 3
YL 136	Amfibolit	hb	Nohuderesi	0.252	0.4	7.148	97.97	145.829	218.945	109.0 ± 3
YL 140	Amfibolit	hb	Yuksekgedik	0.202	0.5	8.699	92.10	37.620	59.940	96.9 ± 5
YL-106	Mikaşist	mu	Değirmendere	0.177	6.4	102.126	89.74	28.791	48.626	89.2 ± 2
B 192	Amfibolit	hb	Gencek	0.401	0.3	6.627	70.60	10.050	10.990	107.8 ± 4
B 194	Amfibolit	hb	Gencek	0.206	0.4	7.120	66.10	8.710	10.180	94.8 ± 2
B 196	Amfibolit	hb	Gencek	0.400	0.2	5.932	94.50	53.860	68.120	124.2 ± 3
B 197	Amfibolit	hb	Gencek	0.502	0.3	5.208	87.30	23.290	32.630	104.2 ± 4
B 202	Amfibolit	hb	Gencek	0.502	0.3	5.965	65.50	8.560	8.050	116.0 ± 3
PK-1	Amfibolit	hb	Yılanlıdere	0.204	0.3	5.685	65.10	8.480	9.890	93.7 ± 3
PK-6	Amfibolit	hb	Yılanlıdere	0.205	0.5	8.668	75.60	12.130	15.790	97.3 ± 3
PK-9	Amfibolit	hb	Arpalıkderesi	0.206	0.4	7.613	65.20	8.480	9.060	102.1 ± 5
PK-17	Amfibolit	hb	Yılanlıdere	0.208	0.6	8.267	64.30	8.280	10.740	83.3 ± 3
PK-20	Amfibolit	mu	Kozağanpınarı	0.181	7.6	126.521	93.90	48.630	81.780	93.7 ± 2
PK-33	Amfibolit	hb	Bağboyundere	0.205	0.4	7.643	72.70	10.820	12.280	107 ± 3
PK-41	Amfibolit	hb	Yılanlıdere	0.193	0.9	1.435	75.40	1.199	1.597	94.9 ± 3
PK-41	Amfibolit	bt	Yılanlıdere	0.199	5.8	8.926	76.50	1.255	1.864	86.5 ± 2

hb : hornblend; mu : muskovit; bt : biyotit; \* : radyojenik argon

Çizelge 2. K-Ar yaş tayini için seçilen kayaç örneklerinin mineral beraberlikleri ve dokuları.  
Table 2. Mineral assemblages and textures of the rock samples choosed for K-Ar dating.

Örnek No.	Kayaç türü	Doku	hb	grt	pl	qtz	ep	bt	mu	ky	chl	cal	spn	rt	ap	ilm	opq
YLK-229	Amfibolit	Granoblastik	X				*X				*X		X				
YL-103	Amfibolit	Granoblastik	X	X	X			X					X		X		
YL-134	Amfibolit	Granonematoblastik	X	X	X	X							X	X	X		X
B-192	Amfibolit	Granoblastik	X	X	X		*X					*X					X
B-194	Amfibolit	Granoblastik	X	X	X								X				
YLK-253	Mikaşist	Granolepidoblastik		X	X	X			X	X						X	
YLK-255	Mikaşist	Granolepidoblastik		X	X	X		X	X	X	*X					X	
YLK-266	Mikaşist	Granolepidoblastik		X	X	X		X	X	X	X					X	
YL-106	Mikaşist	Granolepidoblastik		X	X	X		X	X	X						X	
PK-20	Mikaşist	Granolepidoblastik		X	X	X		X	X	X							X

\* Daha çok kayaç çatlaklarında gelişen ikincil mineralleşmeler; hb : hornblend; grt : granat; pl : plajiyoklaz; qtz : kuvars; ep : epidot; bt : biyotit; mu : muskovit; ky : kiyanit; chl : klorit; cal : kalsit; spn : sifen; rt : rutil; ap : apatit; ilm : ilmenit; opq : opak mineral

### K-Ar VE $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ YÖNTEMİNDEN ELDE EDİLEN SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu yöntemlerden elde edilen sonuçların karşılaştırılabilmesi için aynı kayaçtan ayıklanan minerallere her iki yöntem de uygulanmıştır. Doğal olarak, aynı kayaçtan elde edilen benzer minerallerin her iki yöntem için de aynı yaş sonuçlarını vermeleri beklenir. Bu çalışmada bahsedilen  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  analiz sonuçları ve ayrıntıları Çelik vd. (2006) tarafından yayınlanmıştır. Likya ofiyolitlerinin Köyceğiz kesiminde olan ofiyolit tabanı metamorfiklerinden YLK-229 no.lu amfibolitten ayıklanan amfibol mineralleri K-Ar yöntemi kullanıldığında  $84.6 \pm 3$  My yaş sonucu vermiştir. Aynı kayaçtan (YLK-229) elde edilen amfibol,  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  yaş tayini yöntemi kullanıldığında,  $93.0 \pm 0.9$  My yaş elde edilmiştir (Çizelge 3). Her iki yöntemden elde edilen yaş verilerinin standart sapması  $2\sigma$  güvenilirlik aralığında olup, sonuçlar arasında en az 4.5 My zaman farkı vardır. İki yöntem arasındaki yaş farkı karşılaştırması, sonuçların birbirlerine en fazla yaklaşabilme olasılıkları göz önüne alınarak yapılmıştır. Diğer bir ifadeyle, YLK-229 no.lu örnek için K-Ar yönteminden elde edilen sonucun hata payındaki + 3 ile  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 'dan elde edilen sonuçtaki - 0.9 hesaba katılarak, bu yöntemler arasındaki en küçük yaş farkı hesaplanmıştır. Likya ofiyolitlerinin Yeşilova yakınlarındaki ofiyolit tabanı metamorfiklerinden seçilen YL-103 no.lu amfibolit örneği K-Ar yöntemi ile  $82.3 \pm 5$  My amfibol yaş sonu-

cu vermiştir. Aynı örnekten amfibol mineralleri  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  yaş tayini yöntemi kullanıldığında,  $90.7 \pm 0.5$  My yaş sonucuna ulaşılmıştır. Görüldüğü gibi, her iki yöntemden elde edilen yaşlar arasında en azından 2.9 My yaş farkı vardır. Ayrıca bu sonuçlarda  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  tekniği uygulamasındaki hata payının ( $\pm 0.5$ ), K-Ar yöntemine göre ( $\pm 5$ ) çok düşük olduğuna dikkat edilmelidir. Aynı bölgeden YL-134 no.lu örnekten elde edilen amfibollerden, K-Ar yöntemi kullanılarak  $105.9 \pm 3$  My yaş sonucu elde edilirken, aynı örnekten  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  yöntemiyle  $91.3 \pm 0.9$  My yaş sonucu elde edilmiştir. Her iki yöntemden elde edilen sonuçlar arasında en azından 10.7 My yaş farkı vardır. Benzer karşılaştırma Beyşehir ofiyolitine ait ofiyolit tabanı metamorfiklerinin amfibolitleri için de gerçekleştirilmiştir. B-192 no.lu amfibolitten amfibol mineralleri K-Ar yöntemi ile  $107.8 \pm 4$  My,  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  yöntemiyle  $90.9 \pm 1.3$  My yaşlarını vermişlerdir. Dolayısıyla kullanılan iki yöntem arasındaki yaş farkı 11.6 My gibi geniş bir zaman aralığıdır. Beyşehir'den B-194 numaralı amfibolit örneği ise, K-Ar yöntemi ile  $94.8 \pm 2$  My,  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  yöntemiyle  $91.5 \pm 1.9$  My yaş sonuçları vermiştir. Bu örnek için hata payları dikkate alındığında, her iki yöntem arasında bir fark görülmesi de, K-Ar yaş verisinin tek başına kullanılması halinde bu kayacın yaşı 96.8 ile 92.8 My arasında bir yaş olacaktır. Bu sonuç, Toros Kuşağı'nın diğer ofiyolitik masiflerinin ofiyolit tabanı metamorfiklerinden elde edilen  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  yaş verileriyle karşılaştırıldığında, yine hassas bir yaş olarak de-

Çizelge 3. K-Ar ve  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  yaş verilerinin karşılaştırılması ( $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  yaş verileri Çelik vd., 2006'dan alınmıştır).  
Table 3. Comparison of K-Ar and  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  age data ( $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  age data after Çelik et al., 2006).

Örnek No.	Ofiyolit	Kayaç türü	Mineral	K-Ar yaşı (Ma)	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ yaşı (Ma)
YLK-229	Köyceğiz	Amfibolit	Hornblend	$84.6 \pm 3$	$93.0 \pm 0.9$
YL-103	Yeşilova	Amfibolit	Hornblend	$82.3 \pm 5$	$90.7 \pm 0.5$
YL-134	Yeşilova	Amfibolit	Hornblend	$105.9 \pm 3$	$91.3 \pm 0.5$
B-192	Beyşehir	Amfibolit	Hornblend	$107.8 \pm 4$	$90.9 \pm 1.3$
B-194	Beyşehir	Amfibolit	Hornblend	$94.8 \pm 2$	$91.5 \pm 1.9$
YLK-253	Köyceğiz	Mikaşist	Muskovit	$91.5 \pm 7$	$93.0 \pm 1.0$
YLK-255	Köyceğiz	Mikaşist	Muskovit	$84.4 \pm 2$	$91.7 \pm 0.7$
YLK-266	Köyceğiz	Mikaşist	Muskovit	$83.9 \pm 2$	$93.6 \pm 0.8$
YL-106	Yeşilova	Mikaşist	Muskovit	$89.2 \pm 2$	$91.2 \pm 2.3$
PK-20	Pozanti-Karsanti	Mikaşist	Muskovit	$93.7 \pm 2$	$92.4 \pm 1.3$



ğerlendirilemez. Amfiboller için gerçekleştirilen K-Ar ve  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  ikili yaş tayinleri mikaşistlerden elde edilen muskovitler için de gerçekleştirilmiştir. Buna göre, Köyceğiz bölgesinin muskovitlerinden K-Ar yöntemi ile  $91.5 \pm 7$  My (YLK-253),  $84.4 \pm 2$  My (YLK-255) ve  $83.9 \pm 2$  My (YLK-266) yaşları elde edilmiştir. Aynı örneklerden  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  yöntemiyle  $93.0 \pm 1$  My (YLK-253),  $91.7 \pm 0.7$  My (YLK-255) ve  $93.6 \pm 0.8$  My (YLK-266) yaşları bulunmuştur. YLK-253 no.lu örneğin K-Ar yöntemine göre hata payı ( $\pm 7$ ) oldukça yüksektir. YLK-255 no.lu örnek için kullanılan her iki yöntem arasındaki zaman farkı en az 4.6 My'dır. YLK-266 no.lu örnek için ise, 6.9 My gibi geniş bir zaman aralığı söz konusudur. Yeşilova bölgesinden YL-106 no.lu örnekten muskovitler K-Ar ( $89.2 \pm 2$  My) ve  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  ( $91.2 \pm 2$  My) yöntemleri ile benzer yaşlar vermişlerdir. Pozantı-Karsantı ofiyolit tabanı metamorfiklerinin mikaşistlerine ait muskovitlerden de K-Ar ( $93.7 \pm 2$  My) ve  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  ( $92.4 \pm 1$  My) yöntemleriyle benzer yaşlar elde edilmiştir.

## SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Toros Kuşağı ofiyolitleri boyunca ofiyolit tabanı metamorfiklerine ait amfibolitlerin amfibollerinden  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  yaş tayini yöntemiyle  $90.7 \pm 0.5$  ile  $93.8 \pm 1.7$  My arasında değişen plato yaşları elde edilmiştir (Çelik vd., 2006). Aynı kuşak içerisinde benzer yaşlar, Parlak ve Delaloye (1999) ve Dilek vd. (1999) tarafından da elde edilmiştir (bkz. Şekil 1).  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  yaş tayini yöntemi ile ofiyolit tabanı metamorfiklerinin mikaşistlerinde yer alan muskovitlerden de  $91.2 \pm 2.3$  ile  $93.6 \pm 0.8$  My arasında değişen benzer yaşlar elde edilmiştir (Çelik vd., 2006). Diğer taraftan K-Ar yaş tayini sonuçları,  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  yaş tayini sonuçlarıyla genellikle uyumlu değillerdir. K-Ar yaş tayini sonuçları, amfiboller için  $82.3 \pm 5$  ile  $124.2 \pm 3$  My ve muskovitler için  $83.9 \pm 2$  ile  $93.7 \pm 2$  My arasında değişen oldukça geniş bir zaman aralığı vermişlerdir. K-Ar yöntemiyle analiz edilen mineraller arasındaki geniş zaman farklılıklarının anlaşılabilmesi için K-Ar yönteminin uygulandığı kayaç örneklerinden derlenen amfibol ve mikalar  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  yöntemiyle de analiz edildiğinde, iki yöntem arasında amfiboller için 11 My ve muskovitler için ise 6 My'dan fazla zaman farkları belirlenmiştir.

K-Ar ve  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  yöntemlerinden belirlenen yaşlar arasındaki farklılığının nedenlerinden biri amfibol minerallerinin heterojenliği olabilir. Ancak bu

olasılık,  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  analizlerinden farklı bölgelerden benzer yaşların elde edilmiş olması nedeniyle daha düşük bir olasılıktır.  $^{40}\text{Ar}$ 'ın oluşumundan yaş tayini yapılacak zamana kadar mineral bünyesinde hapsedildiği kabul edilse de, bazı durumlarda argon gazı sistemden kaçabilir veya sisteme girebilir (Dalrymple ve Lanphere, 1969; Faure, 1977; Dickin, 1995). Böyle durumlarda kayaçtan elde edilen yaş verileri, doğal olarak, olması gerekenden farklı olacaktır. Örneğin kayaç oluşumundan sonra metamorfizmanın veya hidrotermal süreçlerin neden olduğu ısı bir sürece maruz kalırsa, mineralin kristal kafesinden veya kenar zonlarından argon kaybı meydana gelebilir. Bu olayın tam tersi olarak, kayaç içerisinde yer alan minerallerin kırık ve çatlakları boyunca atmosferik argon, yağmur suları ya da yeraltısularının etkisiyle minerallerin bünyesine alınabilir. Bu durumda  $^{40}\text{Ar}$ 'ın dağılımı homojen olmayacak ve elde edilecek yaşlar olması gerekenden farklı olacaktır. Diğer bir ifadeyle, K-Ar yöntemi mineralin  $^{40}\text{Ar}$ - $^{40}\text{K}$  oranına dayalı bir yöntemdir. Dolayısıyla yukarıda bahsedilen nedenlerle sistemde  $^{40}\text{Ar}$  kaybı veya ilavesi olduğu durumlarda sonuçlar anlamsız olabilecektir. Amfibol minerallerinde meydana gelmiş olan alterasyon, ya da kayacın birden fazla metamorfizmaya maruz kalması yaş analizlerini doğrudan etkilemektedir. Örneğin, amfibol mineralleri çevresinde daha düşük sıcaklıkta oluşabilen biyotit ya da klorit türü mineraller, oluştukları zamandan itibaren argon saatini sıfırlayıp analiz sürecine kadar geçen zamanı yansıtacaklardır.

$^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  analizlerinde alterasyon ya da metamorfizma süreçlerinde oluşan ikincil mineraller ve bu minerallerin kristal kafesinde gelişen  $^{40}\text{Ar}$  belirgin bir şekilde saptanabilmekte ve bu durum kolaylıkla sonuçlardan çıkarılabilmektedir (örneğin, Çelik vd., 2006).  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  yöntemi ile analiz edilen örnekler düşük sıcaklıklardan daha yüksek sıcaklıklara doğru adım adım analiz edilir. Böylece kayacın farklı sıcaklıklardaki yaşları belirlenebilir (Dalrymple ve Lanphere, 1969). Analizin başlangıç adımlarında düşük sıcaklıklardan başlandığı için, mineralin çatlaklarında yerleşmiş olan atmosferik argon ve mineralin kenar zonlarında alterasyon süreçlerinde gelişmiş olan argon ile kristalin dış yüzeyine yapışmış argon gazları ölçülmektedir. Düşük sıcaklıklarda gerçekleşen alterasyonun neden olduğu daha genç yaşlar,  $^{37}\text{Ar}_{\text{Ca}}$ - $^{39}\text{Ar}_{\text{K}}$  oranlarında da görülebilir (örn., Çelik vd., 2006). Dolayısıyla bu türden argon içerikleri analiz bitiminde kolaylıkla belir-



lenip, ihmal edilebilmektedir. Analizin daha sonraki adımlarında, yani yüksek sıcaklıklara doğru kristal kafesinde hapsedilmiş izotoplar ölçüldüğü için, analiz sürecinde, mineral ergitilinceye kadar birbiriyle uyumlu plato yaşları alınması beklenir. Bu durum  $^{37}\text{Ar}_{\text{Ca}}-^{39}\text{Ar}_{\text{K}}$  oranlarında belirgin olup, homojen bir karakter sunar. Dolayısıyla bu aralıklarda yer alan amfiboller saf amfibollerdir. Aynı mineral K-Ar yöntemiyle analiz edildiğinde,  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  yönteminin ilk adımlarında ölçülen izotoplar da hesaba katılacağı için, sonuç karma bir yaş olacak ve gerçeği yansıtmayacaktır. Tüm kaya radyometrik yaş tayini analizleri de yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı sağlıklı sonuçlar vermeyeceklerdir.

K-Ar yönteminde  $^{40}\text{K}$ , bilindiği üzere, toplam potasyum içeriğinden hesaplanarak bulunur. Toplam potasyum ise, XRF ya da atomik absorpsiyon yöntemi gibi yöntemlerle ölçülür.  $^{40}\text{Ar}$  ise, kütle spektrometresi yardımıyla ölçülür (Dalrymple ve Lanphere, 1969). Dolayısıyla K-Ar yönteminde  $^{40}\text{Ar}$  ve  $^{40}\text{K}$  içeriklerinin tayini için iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Bu durumun analitik hataların olma olasılığını arttırabileceği, dolayısıyla kayaçların gerçek yaşlarını etkileyebileceği düşünülmelidir.  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  yönteminde K'un ayrıca bir başka yöntemle ölçülmesine gerek olmadığı için daha avantajlı bir yöntemdir (Faure, 1977). Bilindiği üzere,  $^{39}\text{K}$  duraylı bir izotop olup nükleer reaktörde nötron bombardımana tabi tutularak  $^{39}\text{Ar}$ 'a dönüştürülebilmektedir. Böylelikle ışınlamaya maruz bırakılmış mineral, ya da tüm kayaç örneğinin  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  oranı kütle spektrometersinde ölçülebilmekte ve böylece yaşın belirlenmesi için gerekli olan  $^{40}\text{Ar}-^{40}\text{K}$  oranı hesaplanabilmektedir. Bu durum,  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  yöntemini K-Ar yöntemine göre daha avantajlı bir konuma getirmektedir.

$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  ve K-Ar yöntemlerinin aynı kayaçtan elde edilen muskovit mineralleri üzerindeki uygulamalarında, muskovitlerin amfibollere oranla daha benzer yaşlar verdikleri saptanmıştır (bkz. Çizelge 3). Daha önce değinildiği gibi,  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  ve K-Ar yöntemlerinin temelinde analiz edilecek minerallerin potasyum içermeleri gerekmektedir. Amfibol minerallerinin potasyum içerikleri (% 0.2 - 0.9) muskovitlere (% 6.4 – 7.6) göre çok çok azdır. Dolayısıyla amfibollerden elde edilen K-Ar analiz sonuçlarının  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  analizlerine göre farklı değerler göstermesinin bir başka nedeni, potasyum içeriklerinin çok düşük olmasından kaynaklanabilir.

Yavaş bir şekilde soğuyan metamorfik kayaçlarda, örneğin biyotit yaşları, yaklaşık olarak 300 – 350 °C'nin altında gerçekleşen soğuma yaşlarını verirler. Bu nedenle, biyotit yaşları, kapanma sıcaklıkları ya da elementlerin kristal kafesinde hapsedilme sıcaklıkları farklı olan diğer minerallerden (örneğin, amfibol, 500 – 350°C) elde edilen yaş verileri ile karşılaştırılarak kayacın soğuma tarihçesi ile ilgili çok değerli bilgiler vermektelerdir. Metamorfik kayaçların soğuma tarihçelerine ait yorumların yapılabilmesi için K-Ar yönteminden elde edilen yaş verilerinin bir başka yaş tayini yöntemi ile (örneğin,  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ ) karşılaştırılması ve benzer yaşların güvenilirlik sınırları içerisinde elde edilmesi gerekir (McDougall ve Harrison 1988).

Sonuç olarak,  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  ve K-Ar yöntemlerinin aynı kayaçtan elde edilen benzer mineraller için uygulamalarında belirgin zaman farkları olduğu saptanmıştır.  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  yönteminden elde edilen sonuçların ise, çok daha tutarlı yaş verileri olduğu sonucuna varılmıştır. Şayet mevcut K-Ar yaş verileri kullanılıyorsa, verilerin mutlaka bir başka radyometrik yaş tayini yönteminden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması, ya da sonuçların bölgesel jeoloji ile uyum içinde olmasına dikkat edilmesi gereklidir.

## KATKI BELİRTME

Yazar; K-Ar analizlerinin gerçekleştirilmesinde laboratuvar olanaklarını sağlayan Cenevre Üniversitesi (İsviçre) Mineraloji Bölümü'ne ve doktora tez danışmanı Prof. Dr. Michel Delaloye'a teşekkür eder.

## KAYNAKLAR

- Aldrich, L.T., and Nier, A.O., 1948. Argon 40 in potassium minerals. *Physical Review Letters*, 74, 876-877.
- Çelik, Ö.F., 2002. Geochemical, petrological and geochronological observations on the metamorphic rocks of the Tauride Belt ophiolites (S.Turkey). PhD Thesis, Geneva University, *Terre and Environment* 39.
- Çelik, Ö.F., 2007. Metamorphic sole rocks and their mafic dykes in the eastern Tauride belt ophiolites (southern Turkey): implications for OIB type magma generation following slab break-off. *Geological Magazine*, 144, 849-866.

- Çelik, Ö.F., and Delaloye, M., 2003. Origin of metamorphic sole rocks and their post-kinematic mafic dyke swarms in the Antalya and Lycian ophiolites, SW Turkey. *Geological Journal*, 38, 235-256.
- Çelik, Ö.F., and Delaloye, M., 2006. Characteristics of ophiolite-related metamorphic rocks in the Beyşehir ophiolitic mélange (Central Taurides, Turkey), deduced from whole rock and mineral chemistry. *Journal of Asian Earth Sciences*, 26, 461-476.
- Çelik, Ö.F., Delaloye, M., and Feraud, G., 2006. Precise  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  ages from the metamorphic sole rocks of the Tauride Belt ophiolites, southern Turkey: implications for the rapid cooling history. *Geological Magazine*, 143 (2), 213-227.
- Dalrymple, G.B., and Lanphere, M.A., 1969. Potassium-argon dating. Freeman, W.H., San Francisco.
- Dickin, A.P., 1995. Radiogenic Isotope Geology. Cambridge University Press., New York.
- Dilek, Y., Thy, P., Hacker, B., and Grundvig, S., 1999. Structure and petrology of Tauride ophiolites and mafic dyke intrusions (Turkey): Implications for the Neotethyan ocean. *Geological Society of America Bulletin*, 111, 1192-1216.
- Faure, G., 1977. Principles of Isotope Geology. Smith-Wyllie Intermediate Geology Series. John Wiley & Sons, New York.
- Fuhrmann, U., Lippolt, H. and Hess, J.C., 1987. HD-B1 biotite reference material for K-Ar chronometry. *Chemical Geology*, 66, 41-51.
- Goodman, C., and Evans, R.D., 1941. Age measurements by radioactivity. *Geological Society America Bulletin*, 52, 491-544.
- Harris, N.B., Kelley, S., and Okay, A.I., 1994. Post-collision magmatism and tectonics in northwest Anatolia. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 117, 241-252.
- Heier, K.S., and Adams, J.A.S., 1964. The geochemistry of the alkali metals. *Physics and Chemistry of the Earth*, 5, 253-381.
- McDougall, I., and Harrison, T.M., 1988. Geochronology and Thermochronology by the  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  method. Oxford Monographs on Geology and Geophysics, New York.
- Odin, G.S., and 35 Collaborators, 1982. Interlaboratory standards for dating purposes. In: Odin, G.S. (ed.), *Numerical Dating in Stratigraphy*, Chichester, John Wiley, pp. 123-149.
- Önen, A.P., 2003. Neotethyan ophiolitic rocks of the Anatolides of NW Turkey and comparison with Tauride ophiolites. *Journal of the Geological Society, London*, 160, 947-962.
- Parlak, O., and Delaloye, M., 1999. Precise  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  ages from the metamorphic sole of the Mersin ophiolite (Southern Turkey). *Tectonophysics*, 301, 145-158.
- Parlak, O., Delaloye, M., and Bingöl, E., 1995. Origin of sub-ophiolitic metamorphic rocks beneath the Mersin ophiolite, southern Turkey. *Ofioliti*, 20, 97-110.
- Steiger, R.H., and Jäger, E., 1977. Subcommittee on geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmo-chronology. *Earth and Planetary Science Letters*, 55, 359-362.
- Thuizat, R., Whitechurch, H., Montigny, R., and Juteau, T. 1981. K-Ar dating of some intra-ophiolitic metamorphic soles from the eastern Mediterranean: New evidence for oceanic thrusting before obduction. *Earth and Planetary Science Letters*, 52, 302-310.
- Yılmaz, P.O., and Maxwell, J.C., 1982. K-Ar investigations from the Antalya Complex ophiolites, SW Turkey. *Ofioliti*, 7, 527-538.
- Yılmaz, P.O., and Maxwell, J.C., 1984. An example of an obduction mélange: The Alakır Çay unit, Antalya Complex, southwest Turkey. *Geological Society of America Special Publications*, 198, 139-152.