



## Karakaya Karmaşığı'nın Düşük Dereceli Metamorfik Tarihçesine Klorit Mineralojisi ve Jeokimyası ile Yaklaşımlar

*Approaches to the Low-Grade Metamorphic History of the Karakaya Complex by Chlorite Mineralogy and Geochemistry*

Sema TETİKER<sup>1</sup>, Hüseyin YALÇIN<sup>2</sup>, Ömer BOZKAYA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Batman Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 72100 Batman

<sup>2</sup> Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140 Sivas

<sup>3</sup> Pamukkale Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 20070 Denizli

(yalcin@cumhuriyet.edu.tr)

### ÖZ

Karakaya Karmaşığı'na ait farklı tektonik konum ve evrime sahip birimlerde yaygın olarak klorit mineralleri bulunmaktadır. Bu çalışmada karmaşığın diyajenetik-metamorfik evriminin yorumlanmasında ve farklı birimlerin jeolojik tarihçelerinin aydınlatılmasında kloritlerin bir parametre olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Düşük-çok düşük dereceli metamorfik kayaçlarda birincil ve ikincil kökenli olabilen klorit mineralleri; mavi ve kahverengi girişim renklerine ve oldukça düşük çift kırıcılık gösteren optik izotropik görünüme sahiptirler. Kloritler kayaçların matriksinde, gözeneklerinde ve/veya podlarda levhamsı/yapraksı ve yer yer ışınsal biçimlerde görülmektedir. X-ışınları kırınımı (XRD) verilerine göre; bütünüyle *I/b* politipine sahip olan Mg-Fe kloritler (trioktahedral) brunsvigit-diyabantit-şamozit gibi farklı bileşimler sergilemektedir. Ayrıca, klorit mineralleri türedikleri kayaçlar bakımından felsik ve metabazik kökene karşılık gelmektedir. Benzer biçimde kloritlerin ana element içerikleri ve yapısal formülleri gibi jeokimyasal verileri de farklı bileşim ve kökene işaret etmektedir. Klorit minerallerinin iz ve özellikle nadir toprak element (NTE) içerikleri metamorfizma derecesi ile buldukları kayaca bağlı olarak şistten sleyte doğru artmaktadır. Bu ilişki kondrit-normalize edilmiş iz element ve NTE dağılımlarında belirgin olarak fark edilebilmektedir. Bu değişimlerin klorit minerallerinin yapıları, oluşum mekanizmaları ve oluştukları tektonik ortamlar ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Diğer bir ifadeyle, kloritlerin farklı jeolojik tarihçeye sahip birimlerin ayırt edilmesinde anahtar bir rol oynayabileceğini düşündürmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Ana ve iz elementler, jeolojik evrim, Petrografi, XRD

**ABSTRACT**

Chlorite minerals are commonly found in the units of Karakaya Complex that reflect different tectonic settings and evolution. In this study, the availability of chlorites has been investigated as a parameter on the interpretation of the diagenetic-metamorphic evolution and revealing the geological history from the different units of the complex. Primary and secondary chlorite minerals in the low-very low-grade metamorphic rocks have interference colors of blue and brown and an optical isotropic appearance with very low birefringence. Chlorites are seen in the matrix, pores and/or pods of rocks as platy/flaky and partly radial forms. According to X-ray diffraction (XRD) data; Mg-Fe chlorites with entirely IIB polytype (trioctahedral) exhibit various compositions such as brunsvigite-diabantite-chamosite. Furthermore, chlorite minerals correspond to felsic and metabasic origins in terms of the rocks from which they derived. Similarly, geochemical data such as the major element contents and structural formulas of chlorites also suggest a different composition and origin. Trace and especially rare earth element (REE) concentrations of chlorite minerals increase from schist towards slate depending on their degree of metamorphism and nature of the host rocks. This relationship can be significantly noticed in the chondrite-normalized REE and trace element patterns. These changes show that they are related to the structures, formation mechanisms and tectonic environments of the chlorite minerals. In other words, they suggest that chlorites may play a key role in distinguishing of units with different geological history.

**Key Words:** Geological evolution, major and trace elements, Petrography, XRD

**GİRİŞ**

Kloritler; tüm jeolojik zamanlarda ve ortamlarda, farklı kayaç gruplarında farklı mekanizmalar ile oluşabilen minerallerdir. Metamorfik kayaçlarda çok düşük dereceli fasiyeslerin kayaç yapıcı minerali olup, neomineralizasyon (birincil) veya trioktahedral smektit ® aratabakalı smektit-klorit (C-S) ® klorit evrimini izleyen ilerleyen dönüşüm (progresif transformasyon/agradasyon; ikincil) kökenli olabilmektedir. Buna karşın magmatik kayaçlarda trioktahedral mika ve ferromagnezyen minerallerden itibaren bozunma (negatif dönüşüm veya degradasyon; ikincil), sedimanter kayaçlarda ise kalıntı (ikincil) ve otijenik (birincil) mineralleri temsil etmektedir (Millot, 1977). Kloritlerdeki en önemli mineralojik ve kimyasal değişimler/dönüşümler gömülme diyajenezi/metamorfizmasında ortaya çıkmakta olup, bu konuda çok sayıda araştırma gerçekleştirilmiştir (Weaver ve diğ., 1984; Ahn ve Peacor, 1985;

Cathelineau ve Nieva, 1985; Curtis ve diğ., 1985; Cathelineau, 1988; Velde ve Medhioub, 1988; Hillier ve Velde, 1991; Jahren ve Aagaard, 1992; Walker, 1993; Xie ve diğ., 1997; Bozkaya ve Yalçın, 1999; Bozkaya ve diğ., 2014). Kloritlerin artan diyajenez/metamorfizma derecesiyle birlikte pik genişliklerinin azalması, illitler kadar yaygın olmasa da, özellikle metabazik kayaçların diyajenez/metamorfizma derecesinin belirlenmesi için mineralojik bir parametre olarak kullanılmıştır (Örneğin: Árkai ve Tóth, 1990; Árkai, 1991; Árkai ve Ghabrial, 1997; Árkai ve diğ., 1995; Potel ve diğ., 2006).

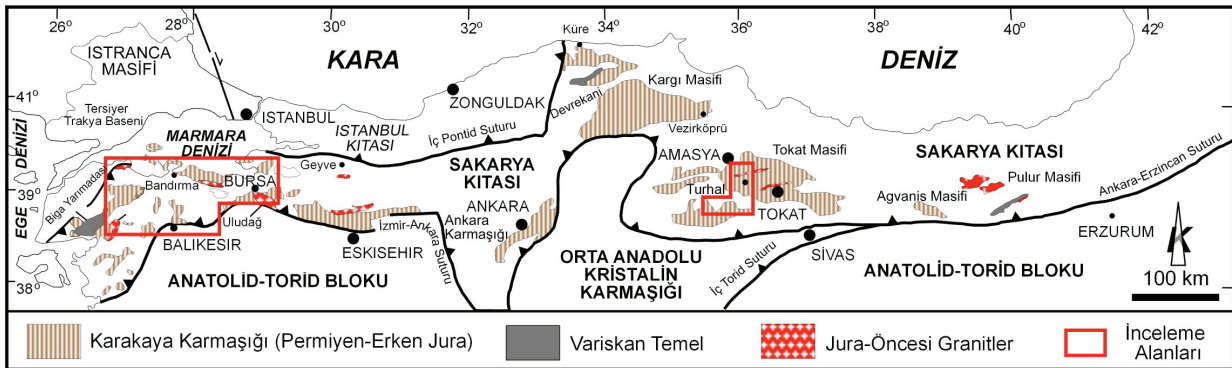
Türkiye'nin jeolojik evrim ve köken açısından en tartışmalı tektonik birliklerinden birisi olan Karakaya Karmaşığı'na ait farklı tektonik konum ve evrimleri yansıtan birimlerde yaygın olarak fillosilikat mineralleri bulunmakta olup; daha ziyade illit kristalinite ile ilişkili veriler sunulmuştur (Tetiker ve diğ., 2009a ve 2009b;

Federici ve diğ., 2010; Tetiker ve diğ., 2015). Bu çalışmada ise karmaşığın diyajenetik-metamorfik evriminin yorumlanması, farklı birimlerine ait jeolojik evrimlerin ortaya konulması açısından kloritlerin mineralojik ve jeokimyasal özelliklerinden elde edilen verilerin bir parametre olarak kullanılabilirliği tartışılacaktır.

## JEOLOJİK KONUM VE LİTOLOJİ

Sakarya Tektonik Birliği (Göncüoğlu ve diğ., 1997) içerisinde yer alan Karakaya Formasyonu (Tekeli, 1981) veya Karakaya Karmaşığı (Şengör ve diğ., 1984); rift (Bingöl, 1975), Jura-Öncesi Paleotetis Okyanusu'nun kapanmasıyla oluşan dalma-batma yığışım prizması (Tekeli, 1981; Robertson ve Ustaömer, 2012) veya her iki ortamın (Örneğin; Göncüoğlu ve diğ., 2000; Sayit ve Göncüoğlu 2009, 2013; Sayit ve diğ., 2010) kalıntılarını temsil eden birimlerden oluşmakta ve iki bölüme ayrılmaktadır (Tekeli, 1981; Okay ve Göncüoğlu, 2004) (Şekil 1). Bunlardan Alt Karakaya Karmaşığı (AKK); KB Anadolu'da

Nilüfer birimi (Okay ve diğ., 1990), İç-KD Anadolu'da Turhal Metamorfileri (Özcan ve diğ., 1980; Gökçe, 1983) birimi olarak tanımlanmış olup; yapısal ve stratigrafik olarak altta yer almakta ve Paleozoyik sonu veya Triyas'ta metamorfizma geçirmiş kayalardan oluşmaktadır (Okay ve Göncüoğlu, 2004). AKK birimleri; metamorfik farklılıkların daha iyi anlaşılması için petrografik özelliklere ve fillosilikat mineralojisine göre, sırasıyla mavişist ve yeşilşist fasiyeslerine karşılık gelen kesimleri alt ve üst olmak üzere iki bölüme (AKK-AB ve AKK-ÜB) ayrılmıştır (Tetiker ve diğ., 2015). AKK birimleri KB Anadolu'da metapsamit (metakumtaşı), metapelit (sleyt, fillit, şist) ve metakarbonat (metakireçtaşı, metadolomit, mermer) ve metabazik kayalar (metavolkanik, metatüfit); İç-KD Anadolu'da metapelitik (fillit, sleyt, metasilttaşı), metakumtaşı, metamagmatik (metabazalt, metatüfit, metagabro, metadiyabaz) ve metakireçtaşları ile temsil edilmektedir (Örneğin; Okay ve diğ., 1990; Okay ve Göncüoğlu, 2004; Tetiker ve diğ., 2009a ve 2009 b) .



Şekil 1. Karakaya Karmaşığı'nın Türkiye'nin Alpin Birlikleri içindeki konumu (Birim sınırları: MTA, 2002; Birim tanımlamaları: Göncüoğlu ve diğ., 1997).

Figure 1. Distribution of the Karakaya Complex within the Alpine tectonic units of Turkey (Unit boundaries: MTA, 2002; Unit determinations: Göncüoğlu et al., 1997).

Üst Karakaya Karmaşığı (ÜKK); içerisinde çok sayıda Permo-Karbonifer yaşlı ortama yabancı kireçtaşı blokları içermektedir (Bailey ve McCallien, 1950, 1953; Erol, 1956). KB Anadolu'da (Okay ve Göncüoğlu, 2004) Permien veya Triyas yaşlı kuvvetlice deforme olmuş başlıca Hodul, Orhanlar ve Çal (Okay ve diğ., 1990) ve İç-KD Anadolu'da Devecidağ Karışığı (Özcan ve diğ., 1980) biriminden oluşmaktadır. Bunlardan Hodul birimi arkozik kumtaşları ile arakatlı (meta-) pelitik kayaçları (çamurtaşı, şeyl, sleyt, silttaşı); Orhanlar birimi şeyl arakatlı kumtaşları; Çal birimi spilitik bazalt-aglomeraları ve kırıntılı kayaçları (çamurtaşı, şeyl, kumtaşı), Devecidağ Karışığı ise metapelitik kayaçları (metaşeyl, sleyt, metasilttaşı), metakumtaşı, spilitik metabazalt ve metakireçtaşı içermektedir (Örneğin; Okay ve diğ., 1990; Okay ve Göncüoğlu, 2004; Tetiker ve diğ., 2009a ve 2009 b).

## MATERYAL VE YÖNTEM

İnceleme alanındaki birimlere ait toplam 253 adet kayaç örneği alınmıştır. Örnekler saf suyla yıkanarak yüzeysel tozlardan arındırıldıktan sonra Cumhuriyet Üniversitesi (C.Ü.) Jeoloji Mühendisliği Bölümü Mineraloji-Petrografi ve Jeokimya Araştırma Laboratuvarları'nda (MİPJAL) ince-kesit, kırma-öğütme-eleme ve kil ayırma işlemlerinden geçirilerek, X-ışınları difraksiyonu (XRD) ve optik mikroskopi (OM), ayrıca Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Araştırma Merkezi'nde (Ankara) taramalı elektron mikroskopi (SEM) gibi analizler gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemlerin ayrıntıları yazarların birçok yayınında (Örneğin: Bozkaya ve Yalçın, 1996; Yalçın ve Bozkaya, 2002) sunulduğundan burada klorit minerallerine özgü işlem ve yöntemlerden bahsedilmekle yetinilecektir.

İllit kristalinite ölçümünde 10-Å illit pikinin yarı yüksekliğindeki genişliği  $\Delta^2\Theta$  (Kübler indisi - KI: Kübler, 1968; Guggenheim ve diğ., 2002) kullanılmıştır. WINFIT (Krumm, 1996) programı (<http://xray.geol.uni-erlangen.de/html/software/soft.html>) ile asimetrik pik çözümlemesi sonucu tek bir illit veya simetrik pik çözümlemesi sonucu iki illit (iyi kristalin illit-WCI ve zayıf kristalin illit-PCI) fazından itibaren belirlenen pik genişliklerinin Kisch (1980) ve Warr ve Rice (1994) standartlarına göre kalibrasyonu yapılmıştır. Ankizonun alt ve üst sınırları Kisch (Kisch, 1980, 1990) ve CIS (Warr ve Rice, 1994) standartları için sırasıyla 0.21 ve 0.37  $\Delta^2\Theta$  ile 0.25 ve 0.42  $\Delta^2\Theta$  olarak alınmıştır.

Klorit "kristalinite" ölçümlerinde 7-Å klorit pikinin yarı yüksekliğindeki genişliği ( $\Delta^2\Theta$ ; Árkai indisi - AI : Árkai, 1991; Guggenheim ve diğ., 2002) kullanılmıştır. AI için diyajenez-ankizon ve ankizon-epizon sınırları sırasıyla 0.33 ve 0.26 ( $\Delta^2\Theta$ ) olarak önerilmiş olup (Árkai, 1991; Árkai ve diğ., 1995; Árkai ve Ghabrial, 1997); Kübler indisi (KI; Kübler, 1968) sınırlarına göre (0.42 ve 0.25  $\Delta^2\Theta$ ) ankizon-epizon sınırı benzer, diyajenez-ankizon sınırı daha düşüktür. Pik genişliklerinin hassas olarak belirlenmesinde WINFIT (Krumm, 1996) programı (<http://xray.geol.uni-erlangen.de/html/software/soft.html>) kullanılmıştır. Klorit minerallerinde politipi incelemeleri yönlendirilmemiş plaketlerden itibaren kayıt aralığı  $2\Theta=31-52^\circ$  arasında çekim yapılarak gerçekleştirilmiştir. Politipi belirlemelerinde Bailey (1988) tarafından önerilen ayırtman pikler kullanılmıştır.

Kloritlerin kimyasal bileşimlerini XRD yöntemi ile belirlemek için aşağıdaki yol izlenmiştir:  $d_{(001)}$  piklerinden itibaren  $d_{(001)}=14.55\text{Å} - 0.29\text{Al}^{\text{IV}}$  formülüne (Brindley, 1961) göre, tetrahedral Al miktarı saptanmıştır. Oktahedral



Fe<sup>2+</sup> miktarı ise  $R = [I_{(002)} + I_{(004)}] / [I_{(001)} + I_{(003)}]$  (Brown ve Brindley, 1980) ve  $I_{(002)}/I_{(001)}$  ile  $I_{(004)}/I_{(003)}$  (Chagnon ve Desjardins, 1991) oranları kullanılarak geliştirilen diyagramdan itibaren elde edilmiştir. Bu yöntemde klorit minerallerine ait  $I_{(004)}/I_{(003)}$  ve  $I_{(002)}/I_{(001)}$  bazal pik oranları yardımıyla diyagramdan itibaren talk ve brusit tabakasında Fe içerikleri belirlenebilmektedir. Mg içerikleri ise  $Al^{IV}=Al^{VI}$  kabul edilerek  $Fe+Al^{VI}+Mg=6$  eşitliğine göre belirlenmiştir.

Saf ve safa çok yakın 4 adet klorit fraksiyonunun ana, iz ve nadir toprak element (NTE) çözümlenmeleri Kanada'daki Activation Laboratories Ltd. (Actlabs) şirketine yaptırılmıştır. Ana element çözümlenmelerinde füzyon indüktif eşleşmiş plazma (ICP), iz ve NTE çözümlenmelerinde indüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS) kullanılmıştır. Analiz yönteminin ayrıntıları ve aletsel deteksiyon limitleri firmanın web sayfasında sunulmuştur (<http://www.actlabs.com/>). Deteksiyon limiti ana elementler için % 0.01, diğer elementler için birbirinden farklı olup jeokimya bölümünde verilmiştir.

## PETROGRAFI

### Optik Mikroskop İncelemeleri

KB Anadolu'da AKK-AB'ne karşılık gelen Nilüfer Birimi'ni temsil eden mikrolitik porfirik dokulu metavolkanik kayalarda plajiyoklaz mikrolitleri oluşturmaktadır. Hamur çoğunlukla bozuşmuş volkanik cam ve fillosilikat, fenokristaller ise amfibol (tremolit/aktinolit, kersutit) mineralleri ile temsil etmektedir. Volkanik camda çoğunlukla kloritleşme, silisleşme, yer yer Fe-oksidasyonu ve karbonatlaşma gözlenmektedir. Klorit mineralleri mavi ve kahverengi olmak üzere iki farklı girişim rengi göstermekle birlikte tek nikelde çoğunlukla yeşil renge sahiptirler. Nilüfer Birimi AKK-AB'e ait mavişistlerde {001} eksenine paralel yönlendirilmiş

klorit levhaları ile c-kristalografik eksen yönünde dizilen kuvarsa zengin zonlar metamorfik ayrımlaşmanın (diferansiyasyon) tipik verileridir (Şekil 2a). Yeşilşist fasiyesini temsil eden AKK-ÜB'e ait yaygın tremolitleşme gösteren metabazaltlarda hamur içerisinde çok zayıf çift-kırmaya sahip izotropik görünümlü klorit mineralleri porfiroblast biçiminde gözlenmektedir (Şekil 2b).

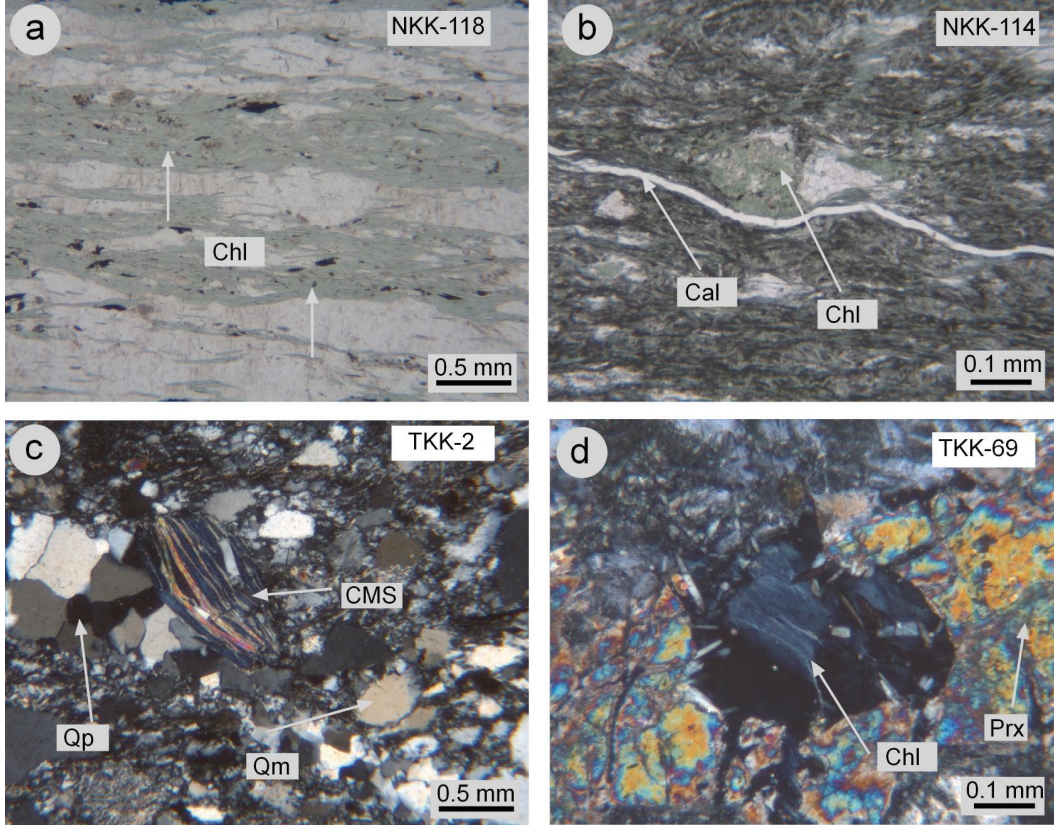
İç-KD Anadolu'daki Turhal Metamorfitleti'nin AKK-ÜB olarak tanımlanan yeşilşist fasiyesi metakumtaşlarında neformasyon sonucu oluşmuş levhamsı klorit mineralleri mavi girişim rengiyle tanımlanmıştır. Bazı metakumtaşlarında mikroyönlendirme ve bükülme gösteren muskovit, biyotit ve kloritler pod yapıları tipiktir. Podlar levhamsı/yapraksı yer yer ışınal görünümde olup, bunlar klorit-muskovit (CMS), klorit-biyotit (CBS) ve biyotit-muskovit (BMS) podları olmak üzere üç farklı mineralojik bileşime sahiptir (Şekil 2c). Metavolkanik kayalarda yeşil renkli klorit mineralleri mavi ve kahve olmak üzere iki farklı girişim rengi sunmaktadır. Hamurda ve gaz boşluklu gözeneklerde yer alan kloritler KB Anadolu'da gözlenen eşdeğer kayalarda olduğu gibi oldukça zayıf çift-kırmaya sahip optik izotrop benzeri özellikler de gösterebilmektedir (Şekil 2d).

Birimin diğer kayalarından olan metagabrolar ise holokristalin taneseli, blasto-subofitik dokulu olup koyu renkli bileşenleri ojit, enstatit, tremolit/aktinolit ve hematit; açık renkli bileşenleri ise plajiyoklaz mineralleri oluşturmaktadır. Kalsit, kuvar, epidot ve klorit gözenek ve çatlaklarda yer alan post-magmatik minerallerdir.

KB Anadolu'da ÜKK birimlerinden Orhanlar biriminde kumtaşlarının gözeneklerindeki yeşil renkli kloritler mavi girişim rengi sunmaktadır (Şekil 3a, b). Ayrıca kalsit ve ender olarak epidot mineralleri de gözeneklerde yer alan

diğer bileşenlerdir. Çal Birimi'nin ana litolojisini oluşturan volkanik kayalar hipokristalin porfirik, vitrofirik-mikrolitik porfirik, amigdaloidal ve yer yer glomeroporfirik doku sunmaktadır. Hamuru plajiyoklaz mikrolitleri ve çoğunlukla kloritleşmiş matriks ve/veya volkan camı oluşturmaktadır (Şekil 3c).

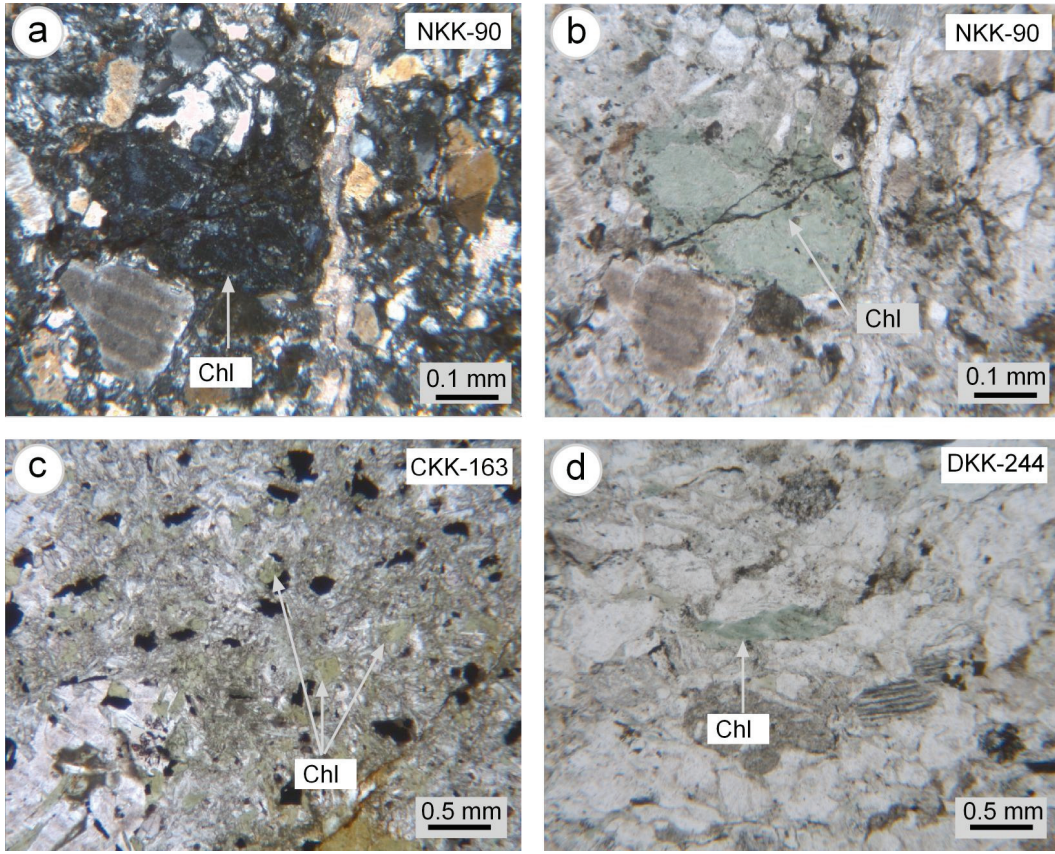
İç-KD Anadolu'daki ÜKK birimlerinden Devecidağ Karışığı metakumtaşlarının bağlayıcı malzemesini kalsit ve/veya dolomit ve silis çimentonun yanı sıra Fe oksidasyonu ve fillosilikat matriks oluşturmaktadır. Klorit mineralleri gözenek ve matriks içerisinde gelişmiş tipik olarak mavi girişim renginde izlenmektedir (Şekil 3d).



**Şekil 2.** Alt Karakaya Karmaşığı birimlerinde klorit ve eşlikçi minerallerin optik mikrofotoğrafları (Chl=Klorit, Qp=Polikristalin kuvars, Qm=Monokristalin kuvars, CMS=Klorit-muskovit podu, Cal=Kalsit, Prx=Piroksen, tn=tek nikol, çn=çapraz nikol); a) Nilüfer Birimi şistlerinde tipik metamorfik ayrışma (tn), b) Nilüfer Birimi tremolitleşmiş metabazaltlarında yönlü dokulu hamur içerisinde çok zayıf çift-kırmaya sahip izotropik görünümlü klorit porfiroblastları ve gözenek dolgusu kalsit oluşumları (tn), c) Turhal Metamorfileri metakumtaşlarında monokristalin ve polikristalin kuvarslar ile klorit-muskovit podu (çn), d) Turhal Metamorfileri metabazaltlarının gözeneklerinde mavi girişim renkli kloritler (çn).

**Figure 2.** Optical microphotographs of chlorite and associated minerals from the Lower Karakaya Complex units (Chl=Chlorite, Qp=Polycrystalline quartz, Qm=Monocrystalline quartz, CMS=Chlorite-muscovite stack, Cal=Calcite, Prx=Pyroxene, ppl=plane polarized light, xpl=crossed polarized light/crossed polars); a) Typical metamorphic differentiation in the schists of the Nilüfer Unit (ppl), b) The chlorite porphyroblasts showing isotropic appearance with very low birefringence and pore filling calcite occurrences within the matrix with oriented texture of tremolitized metabasalts from the Nilüfer Unit (ppl), c) Monocrystalline and polycrystalline quartzs, and chlorite-muscovite stack in the metasandstones of the Turhal Metamorphics (cp), d) Blue interference colors observed on the chlorites within the metabasalts of the Turhal Metamorphics (cp).





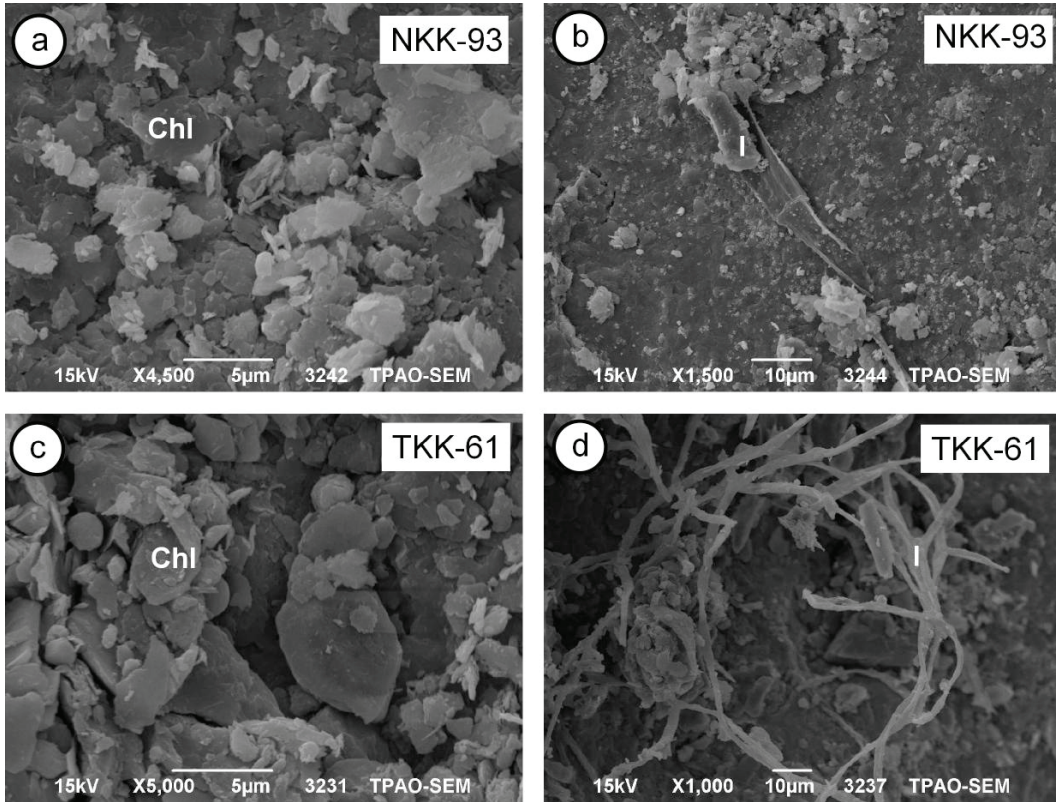
**Şekil 3.** Üst Karakaya Karmaşığı birimlerinde klorit ve eşlikçi minerallerin optik mikrofotografları (Chl=Klorit, tn=tek nikol, çn=çapraz nikol); a) Orhanlar Birimi kumtaşlarında mavi girişim renkli klorit minerali (çn), b) Orhanlar Birimi kumtaşlarında yeşil renkli klorit minerali (tn), c) Çal Birimi metabazaltlarının gözeneklerinde yeşil renkli kloritler (çn), d) Devecidağ Karışığı breşik metabazaltların gözeneklerinde yeşil renkli kloritler (tn) .

**Figure 3.** Optical microphotographs of chlorite and associated minerals in the units of the Upper Karakaya Complex (Chl=Chlorite, ppl=plane polarized light, xpl=crossed polarized light); a) Chlorite with blue interference color within the metasandstones of the Orhanlar Unit (xpl), b) Green colored chlorite within the metasandstones of the Orhanlar Unit (ppl), c) Green colored chlorites within the metabasalts of the Çal Unit (ppl), d) Green colored chlorites within the brecciated metabasalts of the Devecidağ Melange (ppl).

### Taramalı Elektron Mikroskop İncelemeleri

KB Anadolu'da AKK-ÜB'nü temsil eden Nilüfer Birimi yeşilşist fasiyesinin sleyt örneğinde (NKK-93: klorit+ illit + kuvars + feldispat + kalsit) klorit mineralleri levhalar biçiminde kümecikleri oluşturmaktadır (Şekil 4a). İllitler ise çoğunlukla birbirine paralel, yer yer ışımsal dizilimli ince-uzun filamentler (2-30 µm) biçimindedir (Şekil 4b).

İç-KD Anadolu'daki AKK-ÜB'ne karşılık gelen Turhal Metamorfiteri yeşilşist fasiyesinin metakumtaşı örneğinde (TKK-61: illit + klorit + paragonit + kuvars + feldispat) şamozit türü Fe-kloritler; kalın levhamsı görünüme sahiptir (Şekil 4c). Uzunlukları 10-50 µm arasında değişen illitler ise yer yer ince ipliksi biçimde yumak halinde gözlenmektedir. (Şekil 4d).



**Şekil 4.** Alt Karakaya Karmaşığı birimlerinde klorit ve eşlikçi minerallerinin SEM görüntüleri (Chl=Klorit, I=İllit), a) Nilüfer Birimi sleyt örneğinde levhamsı kloritler, b) Nilüfer Birimi şeyl örneğinde ince-uzun illit filamentleri, c) Turhal Metamorfileri metakumtaşlarının gözeneklerinde levhamsı kloritler, d) Turhal Metamorfileri metakumtaşlarında lifsi illitler.

**Figure 4.** SEM views of chlorite and associated minerals in the units of the Lower Karakaya Complex (Chl=Chlorite, I=Illite), a) Platy chlorites in the slate sample from the Nilüfer Unit, b) Thin-long filaments of illites in the shale sample from the Nilüfer Unit, c) Platy chlorites within the pores of metasandstones in the Turhal Metamorphites, d) Fibrous illites in the metasandstones of the Turhal Metamorphites.

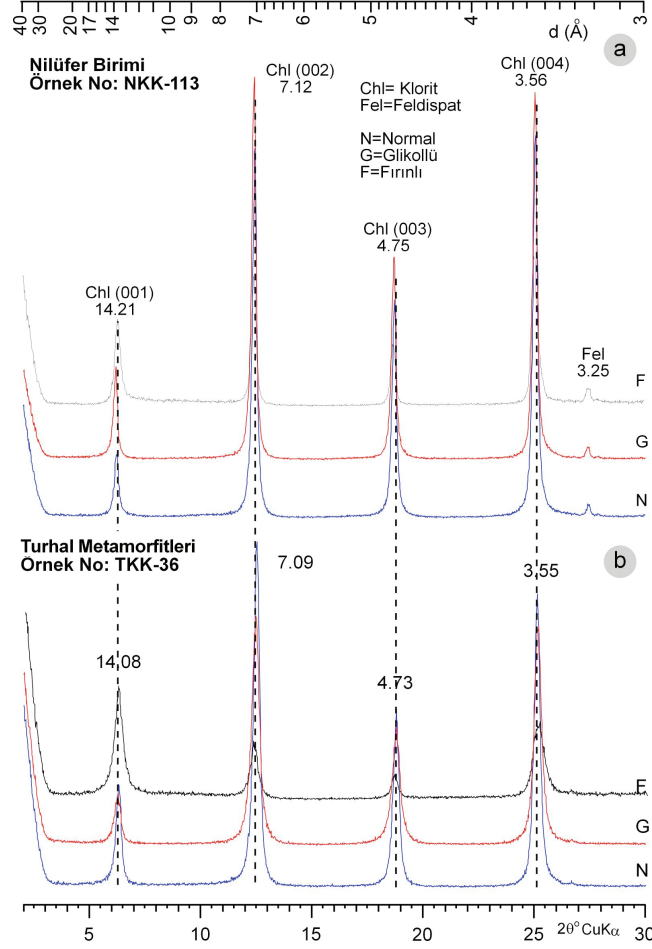
## X-IŞINI MİNERALOGİSİ

### Tüm kayaç ve Kil Fraksiyonu

KB Anadolu'da AKK-AB Nilüfer Birimi'ni oluşturan metapelitik ve metavolkanik kayaçlarda volkanojenik (feldispat, ojit), metamorfik-metasomatik (glokofan, tremolit/aktinolit, epidot, stilpnomelan, fillosilikatlar) ve ikincil mineraller (kalsit, dolomit, kuvars, hematit, götit) saptanmıştır. Fillosilikat minerallerini ise klorit+illit birlikteliği ve bu birlikteliğe daha az oranda stilpnomelan, smektit ve karışık tabakalı (C-S ve C-V) mineraller katılmaktadır. Sleytlerde

ise kil fraksiyonunu bütünüyle klorit minerali temsil etmektedir (Şekil 5a).

İç-KD Anadolu'daki AKK-AB Turhal Metamorfileri metamagmatik ve metapelitik kayaçlarda volkanojenik (feldispat), metamorfik-metasomatik (glokofan, tremolit/aktinolit, epidot, stilpnomelan, paragonit, fillosilikatlar) ve ikincil mineraller (kalsit, dolomit, kuvars, hematit, götit) saptanmıştır. Fillosilikat minerallerini metatüfitlerde saf klorit (Şekil 5b), diğer kayaçlarda klorit+illit birlikteliği temsil etmektedir.



**Şekil 5.** Alt Karakaya Karmaşığı-Alt Bölümü birimlerine ait klorit minerallerinin yönlendirilmiş XRD desenleri, a) Nilüfer Birimi mavişist fasiyesindeki sleyt örneği, b) Turhal Metamorfileri yeşilşist fasiyesindeki metatüfit örneği.

**Figure 5.** Oriented XRD patterns of chlorite minerals from the units of the Lower Karakaya Complex-Lower Part, a) The slate sample representing blueschist facies from the Nilüfer Unit, b) The metatuffite sample belonging to greenschist facies from the Turhal Metamorphics.

KB Anadolu'da AKK-ÜB'nü temsil eden metapsamit, metapelit, metakarbonat ve metabazik kayalarda volkanojenik (piroksen, feldispat), metamorfik-metasomatik (amfibol, epidot, stilpnomelan) ve ikincil kimyasal mineraller (kalsit, dolomit, kuvars, hematit, götit) saptanmıştır. Fillosilikatları ise çoğunlukla illit+klorit parajenezi temsil ederken bazı örneklere bu birlikteliğe stilpnomelan, smektit, kaolinit ve karışık tabakalı (C-S, C-V ve I-S) mineraller eşlik etmektedir.

İç-KD Anadolu'daki AKK-ÜB metapelitik, metapsamitik, metamagmatik ve metakireçtaşlarında feldispat, fillosilikat, kuvars, piroksen, epidot, stilpnomelan, paragonit, kalsit, dolomit, hematit ve götit mineralleri bulunmaktadır. Bu kayalarda fillosilikatları bolluk sırasına göre illit, klorit, kaolinit, smektit, paragonit, stilpnomelan ve karışık tabakalı (I-C, I-S, C-S ve C-V) mineraller temsil edilmektedir. Bu kayalarda illit + klorit birlikteliği yaygın gözlenen fillosilikat parajenezini oluşturmaktadır.



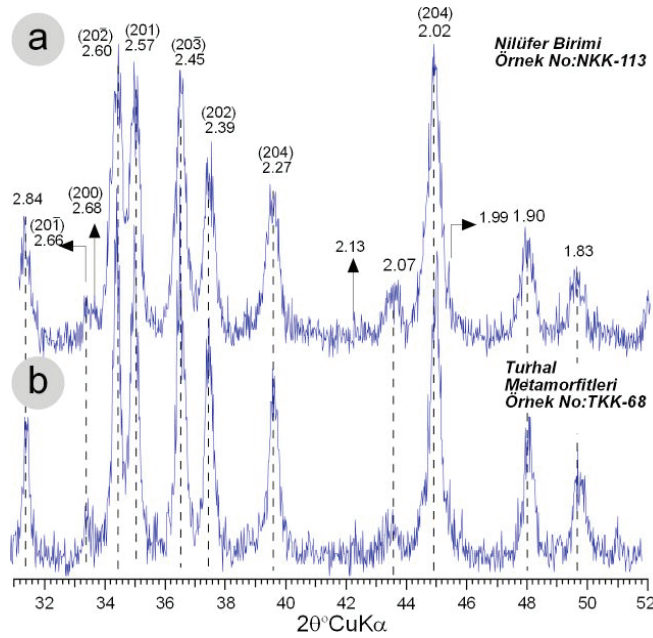
Bazı metasedimanter kayaçlarda illit + kaolinit birlikteliği gözlenirken, metavolkanik kayaçlarda klorit+stilpnomelan birlikteliği saptanmıştır. Diğer parajenezleri ise illit + kaolinit + smektit, illit + klorit + paragonit + I-S ve illit + klorit + I-C veya C-V birliktelikleri oluşturmaktadır.

KB Anadolu'da ÜKK'nı temsil eden Hodul Birimi'nin kırıntılı kayaçları ve (meta-) kireçtaşları kuvars, fillosilikat (illit, kaolinit, I-S, C-V, smektit ve klorit), kalsit ve feldispat içermektedir. Orhanlar Birimi'nin kırıntılı kayaçlarında ve (meta-) kireçtaşlarında kuvars, feldispat, fillosilikat (klorit, illit, C-S, C-V ve I-S), kalsit ve epidot mineraleri bulunmaktadır. Çal Birimi metavolkanik, şeyl ve kireçtaşlarında ise kalsit, fillosilikat (klorit, C-S, vermikülit, illit ve C-V), kuvars, feldispat, hematit ve dolomit mineraleri saptanmıştır.

İç-KD Anadolu'da ÜKK birimlerinden Devicedağ Karışığı'nın metapelitik, metapsamitik, metavolkanik ve metakireçtaşları kuvars, feldispat ve fillosilikat (illit, klorit, C-S, C-V, smektit, kaolinit, I-C ve I-S), piroksen, epidot, hematit, dolomit ve prehnit minerallerinden oluşmaktadır.

### Politipi

AKK'nın KB Anadolu'daki Nilüfer birimi ve İç-KD Anadolu'daki Turhal Metamorfitleleri'ne ait saf klorit fraksiyonlarının politipi inceleme sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Bunlardan Nilüfer Birimi ve Turhal Metamorfitleleri'ne ait metavolkanik ve metapelitik kayaçlarda mavişist ve yeşilşist fasiyeslerine karşılık gelen AKK-AB ve AKK-ÜB'ne ait klorit minerallerinin bütünüyle *I/b* politipine sahip olduğu saptanmıştır (Şekil 6).



**Şekil 6.** Alt Karakaya Karmaşığı-Alt Bölümü birimlerine ait *I/b* kloritlerinin yönlenmemiş XRD desenleri, a) Nilüfer Birimi mavişist fasiyesindeki sleyt örneği, b) Turhal Metamorfitleleri yeşilşist fasiyesindeki metagabro örneği.

**Figure 6.** Unoriented XRD patterns of chlorite minerals in the units of Lower Karakaya Complex-Lower Part, a) The slate sample of blueschist facies in the Nilüfer Unit, b) The metagabbro sample of greenschist facies in the Turhal Metamorphites.

**Çizelge 1.** Alt Karakaya Karmaşığı birimlerine ait klorit minerallerinin politipi incelemesi sonuçları.

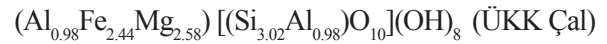
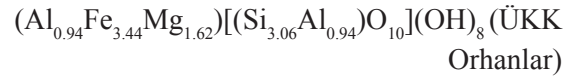
**Table 1.** The results of polytype examination of chlorite minerals in the Lower Karakaya Complex units.

Örnek No	Litoloji	Politipi
<b>AKK-ÜB (Yeşilist fasiyesi)</b>		
<b>KB Anadolu</b>		
<b>Nilüfer</b>		
NKK-103	Kalksleyt	Iib
<b>İç-KD Anadolu</b>		
<b>Turhal Metamorfitleeri</b>		
TKK-63	Metavolkanik	Iib
-64	Metavolkanik	Iib
-73	Metabazalt	Iib
-82	Fillit	Iib
-58	Metagabro	Iib
-68	Metagabro	Iib
<b>AKK-AB (Mavişist fasiyesi)</b>		
<b>KB Anadolu</b>		
<b>Nilüfer</b>		
NKK-113	Sleyt	Iib
<b>İç-KD Anadolu</b>		
<b>Turhal Metamorfitleeri</b>		
TKK-36	Metatüfit	Iib

### Bileşim

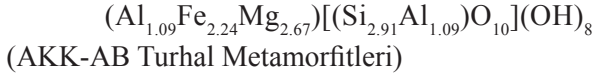
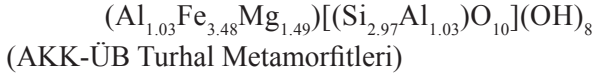
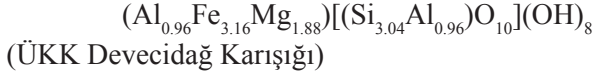
AKK birimlerine ait kloritlerin bazal pik değerleri ve şiddet oranlarına göre XRD yöntemi ile göre belirlenen kimyasal bileşimleri Çizelge 2 ve 3 ile Şekil 7 de gösterilmiştir. KB Anadolu'daki kloritlerde (001) yüzeyine ait yansıma değerleri Nilüfer Birimi'nde AKK-AB için 14.189-14.338 Å (ortalama 14.249 Å) ve AKK-ÜB için 14.172-14.392 Å (ortalama 14.262 Å); ÜKK birimlerinden Orhanlar Birimi için 14.202-14.366 Å (ortalama 14.275 Å) arasında değişmektedir. Çal Birimi için bu değer 14.269 Å olarak bulunmuştur. Brindley ve Brown (1980) ile Chagnon ve Desjardins (1991) tarafından önerilen yöntemlere göre kloritlerin talk ve brusit tabakalarındaki Fe içerikleri benzer olup, oktahedral Fe miktarı için Chagnon ve

Desjardins (1991) yöntemi esas alınmıştır (Şekil 7). Diyagrama göre kloritlerin talk tabakasındaki Fe içeriklerinin 1.0-2.4 arasında değiştiği gözlenmektedir. Buna göre KB Anadolu'daki AKK-AB için kloritlerinin oktahedral Fe içerikleri için 2.10-3.50 (ortalama 2.83) ve AKK-ÜB için 2.80-4.11 (ortalama 3.41), ÜKK Orhanlar ve Çal birimleri için sırasıyla 2.11-4.50 (ortalama 3.44) ve 2.44 olarak belirlenmiştir. Oktahedral Al içerikleri AKK-AB için 0.73-1.24 (ortalama 1.04), AKK-ÜB için 0.54-1.21 (ortalama 0.99), ÜKK için (Orhanlar ve Çal birimleri) sırasıyla 0.63-1.14 (ortalama 0.94) ve 0.98 dir. Oktahedral Mg içerikleri AKK-AB için 1.26-3.17 (ortalama 2.13), AKK-ÜB için 0.40-2.31 (ortalama 1.59), ÜKK için (Orhanlar ve Çal birimleri) sırasıyla 0.56-2.75 (ortalama 1.62) ve 2.58 dir. AKK-A, AKK-Ü ve ÜKK (Orhanlar ve Çal birimleri) için toplam oktahedral katyon miktarları 6.00 olup; kloritlerin trioktahedral bileşimde oldukları saptanmış ve ortalama yapısal formülleri aşağıda sunulmuştur:



İç-KD Anadolu'da Turhal Metamorfitleeri AKK-AB, AKK-ÜB ve ÜKK-Devecidağ Karışığı'na ait kloritlerin  $d_{(001)}$  mesafesi 14.200-14.311 Å (ortalama 14.234 Å), 14.190-14.372 (ortalama 14.252 Å) ve 14.130-14.368 Å (ortalama 14.273 Å); oktahedral Fe içerikleri 1.67-2.67 (ortalama 2.24), 2.00-4.60 (3.48) ve 2.00-4.45 (ortalama 3.17); oktahedral Al içerikleri ise 0.82-1.21 (ortalama 1.09), 0.61-1.27 (ortalama 1.03) ve 0.63-1.45 (ortalama 0.96) dir. Oktahedral Mg içerikleri sırasıyla 2.19-3.51 (ortalama 2.67), 0.27-3.03 (ortalama 1.49) ve 0.56-3.02 (ortalama 1.88)

dir. Toplam oktahedral katyon miktarları 6.00 olup; trioktahedral bileşime daha yakın oldukları saptanmıştır. Kloritlerin genel ortalama yapısal formülleri aşağıda belirlenmiştir:

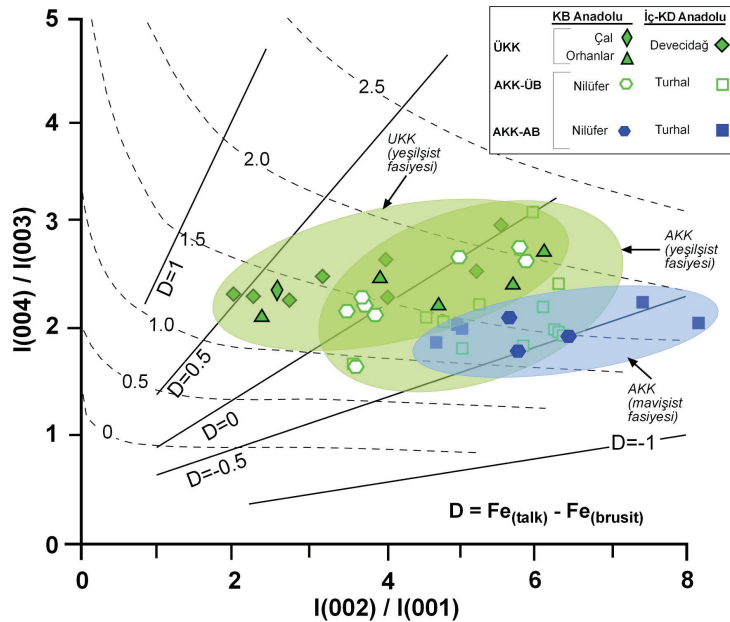


Kloritlerde tetraedrik Si'un yerine Al'un süstitüsyonunun tabaka kalınlığının azalmasına, dolayısıyla tabaka ve tabakalar arası bağın güçlenmesine bağlı olarak  $d_{(001)}$  değerinin azalmasına neden olmaktadır (Shirozu, 1958).

XRD ve jeokimyasal verilerden itibaren kloritlerin Foster (1962) tarafından geliştirilen

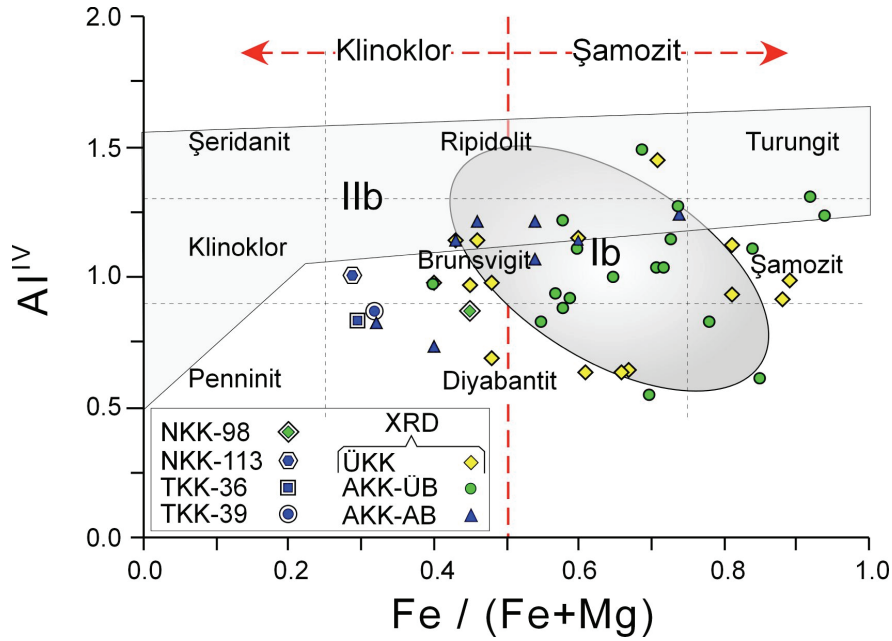
$Al^{IV} - Fe/(Fe+Mg)$  oranları kullanılarak elde edilen diyagramdaki konumları incelendiğinde; AKK-AB kloritleri brunsvigit-diyabantit, AKK-ÜB kloritleri brunsvigit, ÜKK kloritleri ise diyabantiti-şamozit bölgesinde kümelenmekte ve kısmen de olsa farklı bileşimler sergilemektedir. AIPEA sınıflamasına göre (Bailey, 1980) değerlendirildiğinde; kloritler çoğunlukla şamozit kısmen klinoklor bileşimini temsil etmektedir (Şekil 8). Diğer taraftan,  $I/b$  politipi olarak tanımlanan iki örnekten sadece birisinin (NKK-113) Foster'in (1962) belirlediği alana düştüğü görülmektedir.

Árkai ve Ghabrial (1997) tarafından kloritlerin ilk üç bazal yansımalarının ( $I_{001}$ ,  $I_{002}$  ve  $I_{003}$ ) şiddetlerine göre üçgen diyagramdaki dağılımları; AKK ve ÜKK birimlerinin birbirinden ayrılabilirliğini göstermektedir (Şekil 9). Kloritlerin  $Fe/(Fe+Mg)$  içerikleri arttıkça, şiddetleri  $I_{002}-I_{003}$  çizgisine yaklaşacak biçimde kaydığı gözlenmektedir.



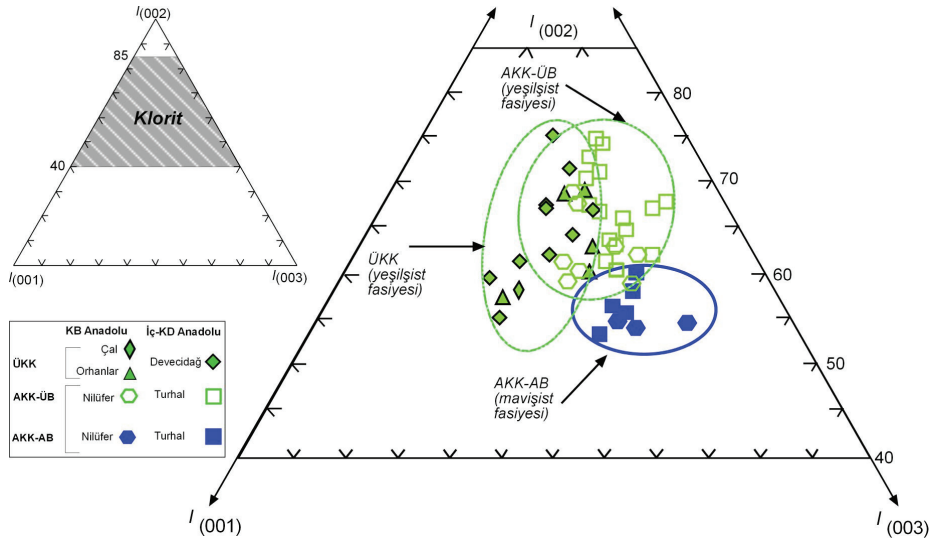
Şekil 7. Karakaya Karmaşığı birimlerine ait klorit minerallerinin bazal pik oranlarına (Chagnon ve Desjardins, 1991) göre talk tabakasında Fe içeriği ile talk ve brucit tabakalarının dağılımı.

Figure 7. Fe content within the talc layer and distribution of talc and brucite layers of chlorite minerals according to basal peak ratios (Chagnon and Desjardins, 1991) in the Karakaya Complex units.



Şekil 8. Karakaya Karmaşığı birimlerine ait klorit minerallerinin tetrahedral Si-oktahedral Fe/(Fe+Mg) diyagramındaki konumları (Sınıflandırma ve İIb politipti alanı: Foster, 1962; İb politipti alanı: Curtis ve diğ., 1985; şamozit-klinoklor sınırı: Bailey, 1980).

Figure 8. The setting of chlorite minerals in the Karakaya Complex units in tetrahedral Si-octahedral Fe/(Fe+Mg) diagram (Classification and İIb polytype area: Foster, 1962; İb polytype area: Curtis et al., 1985; chamosite-clinocllore boundary: Bailey, 1980).



Şekil 9. Karakaya Karmaşığı birimlerine ait klorit minerallerinin ilk üç bazal yansımalarının şiddetlerine göre üçgen diyagramda dağılımları (Klorit alanı: Árkai ve Ghabrial, 1997).

Figure 9. The distribution of chlorite minerals in the Karakaya Complex units in the triangular diagram according to the first three basal reflections (Chlorite area: Árkai and Ghabrial, 1997).

**Çizelge 2.** XRD yöntemine göre Alt Karakaya Karmaşığı birimlerine ait klorit minerallerinin bazal yansımaları ve kimyasal bileşimleri.

**Table 2.** Basal reflections and chemical compositions of chlorite minerals from the Lower Karakaya Complex units by XRD method.

Örnek No	Litoloji	$d_{(001)}$ (Å)	I(003)/I(001)	I(002+004)/I(001+003)	I(002)/I(001)	I(004)/I(003)	Talk Fe <sup>+2</sup>		Brusit Fe <sup>+2</sup>		S Fe <sup>+2</sup>		Al <sup>IV</sup>	Mg <sup>VI</sup>	Fe/Mg (Fe+Mg)
							B&B	C&D	B&B	C&D	B&B	C&D	B&B	C&D	C&D
<b>Kuzeybatı Anadolu</b>															
<b>AKK-ÜB (Yeşilsist fasiyesi)</b>															
NKK-95	Sleyt	14.231	1.26	4.05	5.89	2.59	1.87	1.98	2.58	2.13	4.45	4.11	1.10	0.79	0.84
-96	Metatüf	14.392	2.16	3.39	5.01	2.64	1.07	1.90	2.60	1.90	3.67	3.80	0.54	1.66	0.70
-97	Metakumtaşı	14.172	1.36	4.02	5.79	2.71	1.79	2.10	2.61	2.20	4.40	4.30	1.30	0.40	0.92
-98	Metatüf	14.311	1.29	2.88	3.89	2.10	1.13	1.43	1.88	1.44	3.01	2.87	0.82	2.31	0.55
-103	Kalksleyt	14.280	1.98	2.72	3.77	2.19	0.69	1.48	2.09	1.40	2.78	2.88	0.93	2.19	0.57
-106	Metabazalt	14.200	1.18	2.81	3.51	2.22	1.15	1.50	1.76	1.30	2.91	2.80	1.21	1.99	0.58
-108	Metabazalt	14.287	1.13	2.98	3.70	2.34	1.30	1.60	1.84	1.40	3.14	3.00	0.91	2.09	0.59
-111	Metavolkanik	14.220	1.95	3.33	5.65	2.15	1.11	1.60	2.49	1.95	3.60	3.55	1.14	1.31	0.73
<b>AKK-AB (Mavişist fasiyesi)</b>															
-113	Sleyt	14.220	3.44	2.67	5.77	1.77	0.24	1.20	2.47	1.70	2.71	2.90	1.14	1.96	0.60
-115	Metavolkanik	14.189	2.53	3.23	6.43	1.97	0.85	1.50	2.62	2.00	3.47	3.50	1.24	1.26	0.74
-117	Şist	14.338	1.72	2.36	3.63	1.62	0.54	0.90	1.72	1.20	2.26	2.10	0.73	3.17	0.40
<b>İç-Kuzeydoğu Anadolu</b>															
<b>AKK-ÜB (Yeşilsist fasiyesi)</b>															
TKK-4	Metabazalt	14.372	1.51	4.31	5.97	3.22	1.81	2.30	2.79	2.30	4.60	4.60	0.61	0.79	0.85
-10	Metagabro	14.192	3.56	3.81	9.27	2.28	1.11	1.90	3.39	2.60	4.50	4.50	1.23	0.27	0.94
-28	Metakumtaşı	14.269	1.88	2.38	3.59	1.74	0.34	0.85	1.66	1.15	2.00	2.00	0.97	3.03	0.40
-49	Metabazalt	14.231	1.94	2.97	5.03	1.90	0.79	1.27	2.15	1.67	2.94	2.94	1.10	1.96	0.60
-50	Metakumtaşı	14.251	1.54	3.48	5.27	2.32	1.27	1.65	2.28	1.90	3.55	3.55	1.03	1.42	0.71
-58	Metagabro	14.251	2.85	3.28	6.11	2.29	0.83	1.65	2.77	1.95	3.60	3.60	1.03	1.37	0.72
-63	Metavolkanik	14.220	2.85	3.15	6.31	2.04	0.79	1.55	2.74	1.98	3.53	3.53	1.14	1.33	0.73
-64	Metavolkanik	14.182	2.22	3.37	6.25	2.07	0.97	1.55	2.53	1.95	3.52	3.50	1.27	1.23	0.74
-73	Metabazalt	14.311	2.23	3.70	6.30	2.53	1.24	1.90	2.81	2.15	4.05	4.05	0.82	1.13	0.78
-68	Metagabro	14.291	1.79	2.86	4.23	2.09	0.85	1.40	2.10	1.55	2.95	2.95	0.89	2.16	0.58
-82	Fillit	14.259	1.76	3.11	4.78	2.16	1.02	1.50	2.23	1.75	3.25	3.25	1.00	1.75	0.65
-84	Metabazalt	14.190	2.20	3.13	5.85	1.90	0.86	1.40	2.42	1.88	3.28	3.28	1.24	1.48	0.69
<b>AKK-AB (Mavişist fasiyesi)</b>															
-42	Metavolkanik	14.200	1.69	2.72	4.30	1.79	0.72	1.10	1.88	1.50	2.60	2.60	1.21	2.19	0.54
-36	Metatüfit	14.200	1.67	2.32	3.45	1.64	0.53	1.00	1.67	1.20	2.20	2.20	1.21	2.59	0.46
-38	Metatüf	14.311	1.45	2.06	2.81	1.55	0.38	0.74	1.29	0.93	1.67	1.67	0.82	3.51	0.32
-54	Metavolkanik	14.220	2.09	2.45	4.29	1.57	0.30	0.80	1.78	1.28	2.08	2.08	1.14	2.78	0.43
-79	Metabazalt	14.239	1.71	3.43	5.43	2.27	0.75	1.65	1.92	2.02	2.67	2.67	1.07	2.26	0.54

B: Brindley (1961), B&B: Brindley ve Brown (1980), C&D: Chagnon ve Desjardins (1991), Al<sup>IV</sup>=Al<sup>VI</sup> ve Mg = 6-(Fe+Al<sup>IV</sup>)



**Çizelge 3.** XRD yöntemine göre Üst Karakaya Karmaşığı birimlerine (alt yeşilist fasiyesi) ait klorit minerallerinin bazal yansımaları ve kimyasal bileşimleri.

**Table 3.** Basal reflections and chemical compositions of chlorite minerals from the Upper Karakaya Complex units (subgreenschist facies) by XRD method.

Örnek No	Litoloji	$d_{(001)}$ (Å)	I(003)/I(001)	I(002+004)/I(001+003)	I(002)/I(001)	I(004)/I(003)	Talk Fe <sup>+2</sup>		Brusit Fe <sup>+2</sup>		S Fe <sup>+2</sup>		Al <sup>IV</sup>		Mg <sup>VI</sup> Fe/ (Fe+Mg)	
							B&B	C&D	B&B	C&D	B&B	C&D	B&B	C&D	C&D	C&D
<b>Kuzeybatı Anadolu</b>																
CKK-163	Metabazalt	14.269	0.71	2.49	2.58	2.35	1.30	1.42	1.15	1.02	2.45	2.44	0.98	2.58	0.48	
BKK-188	Metakumtaşı	14.366	1.38	3.11	3.96	2.49	1.23	1.65	2.08	1.50	3.31	3.25	0.63	2.12	0.61	
-189	Sleyt	14.281	1.29	3.84	5.70	2.39	1.73	1.90	2.47	2.20	4.20	4.10	0.93	0.97	0.81	
-190	Metakumtaşı	14.220	1.50	3.22	4.72	2.22	1.24	1.55	2.22	1.70	3.46	3.25	1.14	2.61	0.46	
-191	Metakumtaşı	14.220	0.64	2.27	2.38	2.10	1.22	1.23	0.91	0.88	2.13	2.11	1.14	2.75	0.43	
-193	Metakumtaşı	14.287	1.40	4.12	6.11	2.69	1.82	2.15	2.69	2.35	4.51	4.50	0.91	0.59	0.88	
<b>İç-Kuzeydoğu Anadolu</b>																
DKK-222	Metakumtaşı	14.364	0.92	3.35	3.99	2.66	1.69	1.80	1.93	1.80	3.62	3.60	0.64	1.76	0.67	
-223	Sleyt	14.130	1.23	3.09	4.04	2.31	1.30	1.65	1.98	1.60	3.28	3.25	1.45	1.30	0.71	
-224	Metakumtaşı	14.368	0.91	3.34	3.94	2.69	1.69	1.85	1.92	1.70	3.51	3.55	0.63	1.82	0.66	
-225	Sleyt	14.269	0.55	2.28	2.27	2.29	1.35	1.35	0.79	0.90	2.24	2.25	0.97	2.78	0.45	
-226	Sleyt	14.226	1.59	3.59	5.23	2.55	1.43	1.95	2.49	2.00	3.92	3.95	1.12	0.93	0.81	
-234	Metakumtaşı	14.216	0.95	2.84	3.18	2.48	1.33	1.60	1.62	1.30	2.95	2.90	1.15	1.95	0.60	
-235	Sleyt	14.267	0.63	2.12	2.00	2.32	1.12	1.27	0.79	0.73	1.91	2.00	0.98	3.02	0.40	
-243	Metakumtaşı	14.262	1.21	4.15	5.55	2.99	1.95	2.25	2.60	2.20	4.45	4.45	0.99	0.56	0.89	
-250	Metakumtaşı	14.351	0.72	2.54	2.74	2.27	1.34	1.40	1.20	1.15	2.54	2.55	0.69	2.76	0.48	

B: Brindley (1961), B&B: Brindley ve Brown (1980), C&D: Chagnon ve Desjardins (1991), Al<sup>IV</sup>=Al<sup>VI</sup> ve Mg = 6-(Fe+Al<sup>IV</sup>)

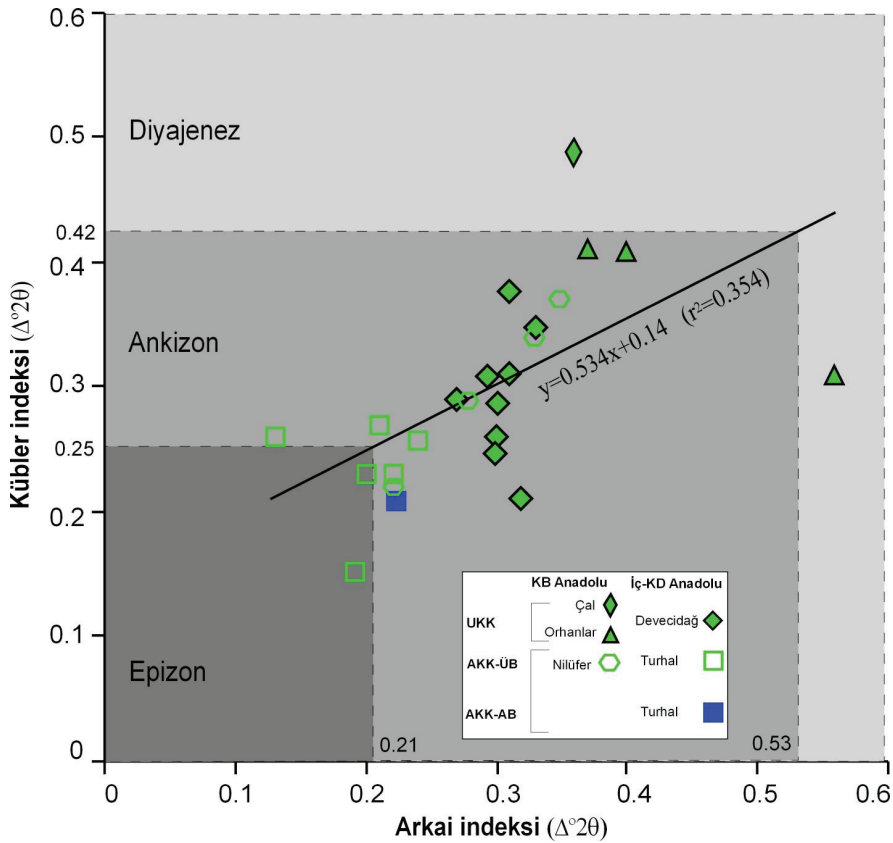
### Kristalinite

Karakaya Karmaşığı birimlerine ait klorit minerallerinde ölçülen Arkai (AI: Árkai, 1991; Guggenheim ve diğ., 2002) ve Kübler İndeksi değerleri (KI: Kübler, 1968); Çizelge 4 ve 5 de sunulmuştur. Buna göre AKK-AB'nün AI değerleri KB ve İç-KD Anadolu için sırasıyla 0.23-0.28  $\Delta^{\circ}2\Theta$  (ortalama 0.26  $\Delta^{\circ}2\Theta$ ) ve 0.14-0.31 (ortalama 0.20  $\Delta^{\circ}2\Theta$ ) olarak saptanmıştır. AKK-ÜB'ünü temsil eden kloritlerde ise KB ve İç-KD Anadolu yöreleri için AI değerleri sırasıyla

0.22-0.35  $\Delta^{\circ}2\Theta$  (ortalama 0.28  $\Delta^{\circ}2\Theta$ ) ve 0.13-0.34  $\Delta^{\circ}2\Theta$  (ortalama 0.23  $\Delta^{\circ}2\Theta$ ) olarak belirlenmiştir. Tüm bu değerler ankizon-epizon sınırına yakın ankizonu ve epizon (AI<0.26) bölgesini işaret etmektedir. AKK-AB illitlerinde KI değerleri sadece İç-KD Anadolu için 0.21  $\Delta^{\circ}2\Theta$  olarak ölçülmüştür. AKK-ÜB'nü temsil eden illitlerde KI değerleri KB ve İç-KD Anadolu için sırasıyla 0.22-0.37  $\Delta^{\circ}2\Theta$  (ortalama 0.31  $\Delta^{\circ}2\Theta$ ) ve 0.23-0.28  $\Delta^{\circ}2\Theta$  (ortalama 0.25  $\Delta^{\circ}2\Theta$ ) olarak saptanmıştır. Bu değerler AKK-AB için epizon (KI<0.25) ve AKK-ÜB için ankizon alanını temsil etmektedir.

ÜKK birimlerinde ise KB ve İç-KD Anadolu yöreleri için AI değerleri sırasıyla 0.37-0.56  $\Delta^2\theta$  (ortalama 0.46  $\Delta^2\theta$ ) ve 0.27-0.39  $\Delta^2\theta$  (ortalama 0.31  $\Delta^2\theta$ ) olarak ölçülmüştür. Ortalama değerler ankizon (AI=0.26-0.33  $\Delta^2\theta$ ) ve diyajenez (AI>0.33  $\Delta^2\theta$ ) bölgesinde dağılım göstermektedir. ÜKK birimlerinde KI değerleri KB ve İç-KD Anadolu yöreleri için sırasıyla 0.31-0.49  $\Delta^2\theta$  (ortalama 0.41  $\Delta^2\theta$ ) ve 0.21-0.38  $\Delta^2\theta$  (ortalama 0.29  $\Delta^2\theta$ ) olarak ölçülmüştür. Ortalama değerler ankizon bölgesini işaret etmektedir.

Kristalinite ölçülen örneklerdeki AI ve KI verileri birlikte değerlendirildiğinde, AKK birimlerinden ÜKK birimlerine doğru kristalinite azalmakta, ayrıca birimler birbirinden ayrılmaktadır (Şekil 10). KI ve AI değerleri arasında zayıf bir korelasyon katsayısı bulunmakta olup, Árkai (1991) tarafından önerilen epizon (AI<0.26  $\Delta^2\theta$ ) ve ankizona (AI=0.26-0.33  $\Delta^2\theta$ ) karşılık gelen AI değerlerinden farklılık sunmaktadır (epizon: 0.21  $\Delta^2\theta$ , ankizon: 0.53  $\Delta^2\theta$ ).



Şekil 10. Karakaya Karmaşığı birimlerinde KI-AI arasındaki ilişki.

Figure 10. The relationships between KI-AI in the Karakaya Complex units.

**Çizelge 4.** Alt Karakaya Karmaşığı birimlerine ait klorit (AI) ve illit (KI) kristalinite indeksi değerleri.  
**Table 4.** Crystallinity index values of chlorite (AI) and illite (KI) in the Lower Karakaya Complex units.

Örnek No	Litoloji	AI (001)	KI (001)
<b>AKK-ÜB (Yeşilüst fasiyesi)</b>			
<b>KB Anadolu</b>			
<b>Nilüfer</b>			
NKK-95	Sleyt	0.22	0.22
-96	Metatüf	0.25	
-97	Metakumtaşı	0.28	0.29
-98	Metatüf	0.24	
-103	Kalksleyt	0.31	
-106	Metabazalt	0.33	0.34
-108	Metabazalt	0.35	0.37
-111	Metavolkanik	0.27	
<b>KB Anadolu</b>			
<b>Turhal Metamorfitleeri</b>			
TKK-4	Metabazalt	0.13	0.26
-10	Metagabro	0.15	
-11	Metagabro	0.22	0.23
-25	Metatüf	0.22	
-28	Metakumtaşı	0.15	
-30	Sleyt	0.24	0.26
-31	Sleyt	0.19	0.15
-49	Metabazalt	0.20	0.23
-50	Metakumtaşı	0.21	0.27
-51	Metakumtaşı	0.26	0.27
-58	Metagabro	0.14	
-63	Metavolkanik	0.34	
-64	Metavolkanik	0.26	
-65	Metakumtaşı	0.25	0.30
-68	Metagabro	0.24	
-73	Metabazalt	0.24	
-82	Fillit	0.27	
-84	Metabazalt	0.30	
<b>AKK-AB (Maviüst fasiyesi)</b>			
<b>KB Anadolu</b>			
<b>Nilüfer</b>			
NKK-113	Sleyt	0.23	
-115	Metavolkanik	0.26	
-117	Şist	0.28	
<b>KB Anadolu</b>			
<b>Turhal Metamorfitleeri</b>			
TKK-36	Metatüfit	0.16	
-38	Metatüf	0.31	
-42	Metavolkanik	0.22	0.21
-54	Metavolkanik	0.15	
-79	Metabazalt	0.14	

**Çizelge 5.** Üst Karakaya Karmaşığı birimlerine ait klorit (AI) ve illit (KI) kristalinite indeksi değerleri.

**Table 5.** Crystallinity index values of chlorite (AI) and illite (KI) in the Upper Karakaya Complex units.

Örnek No	Litoloji	AI (001)	KI (001)
<b>KB Anadolu</b>			
<b>Çal</b>			
CKK-163	Metabazalt	0.36	0.49
<b>Orhanlar</b>			
BKK-188	Metakumtaşı	0.37	0.41
-197	Metakumtaşı	0.56	0.31
-199	Metakumtaşı	0.40	0.41
<b>İç-KD Anadolu</b>			
<b>Devecidağ Karmaşığı</b>			
DKK-222	Metakumtaşı	0.32	0.21
-223	Sleyt	0.30	0.29
-224	Metakumtaşı	0.33	0.35
-225	Sleyt	0.31	0.31
-226	Sleyt	0.27	0.29
-234	Metakumtaşı	0.30	0.25
-235	Sleyt	0.30	0.26
-243	Metakumtaşı	0.31	0.38
-245	Sleyt	0.29	0.31
-250	Metakumtaşı	0.39	

## JEOKİMYA

Karakaya Karmaşığı birimlerine ait klorit minerallerinin ana ve iz element içerikleri ile 14 oksijen atomuna göre hesaplanmış yapısal formülleri (Weaver ve Pollard, 1973) Çizelge 6 ve

7’de sunulmuştur. Bunlardan iki örneğin (NKK-98 ve TKK-39) yapısal formülleri kil fraksiyonunda az da olsa bulunan feldispat içeriği atılarak hesaplanabilmiştir. Bu yaklaşımda teorik feldispat bileşiminde (K-feldispat  $K_2O.Al_2O_3.6SiO_2$ , albit  $Na_2O.Al_2O_3.6SiO_2$ , anortit  $CaO.Al_2O_3.2SiO_2$ ) 1:1:6 ve 1:1:2 oranlarında bulunan  $Al_2O_3$  ve  $SiO_2$ ’ye bağlı  $K_2O$ ,  $Na_2O$  ve  $CaO$  yüzdeleri çıkarılarak bir tahminde bulunulmaya çalışılmıştır. Bu örneklerin iz ve NTE içeriklerinde ise bir düzeltme mümkün olmadığından verilerin yorumlanmasına ihtiyatlı yaklaşmıştır.

Nilüfer birimine ait klorit sleyt ve Turhal Metamorfitlelerine ait metatüfit örneklerinde belirlenen kloritlerde; tetrahedral Si-Al (1.00-0.83) ve oktahedral Mg-Fe-Al (4.64-4.79) süstitüsyonları ile toplam oktahedral katyon miktarının 4’ü aşması (4.77-5.33) bunların di-trioktahedral bileşime işaret etmekte ve XRD verilerini doğrulamaktadır.

Kloritler; Zane ve Weiss (1998) tarafından oluşturulan  $Al+□ - Mg - Fe$  diyagramında, Mg-Fe kloritlerle (trioktahedral) temsil olunan Tip I bölgesinde konumlanmıştır. Zane ve diğ. (1998) tarafından oluşturulan köken kayaçlar açısından değerlendirildiğinde; jeokimya verilerine göre AKK-AB kloritleri genellikle metabazik kayaçlar, AKK-ÜB kloritleri felsik kayaçlar, ÜKK kloritleri ise felsik ağırlıklı olmak üzere hem felsik hem de metabazik kayaç kökenine karşılık gelmektedir (Şekil 11). XRD verilerine göre kloritlerin çoğunluğu belirtilen alanların yakınında ve/veya dışında konumlanmaktadır. Bu durum; uygulanan yöntemin duyarlılığının yanı sıra, klorit minerallerinin farklı yapı, oluşum mekanizması, evrim ve oluştukları tektonik ortamların farklılığına bağlı olduğunu düşündürmektedir.

**Çizelge 6.** Karakaya Karmaşığı birimlerine ait klorit minerallerinin ana element bileşimleri ve yapısal formülleri  
**Table 6.** Major element compositions and structural formulas of chlorite minerals in the Karakaya Complex units.

Bölge	Kuzeybatı Anadolu		İç-Kuzeydoğu Anadolu			
Birim	Nilüfer		Turhal Metamorfitleri			
Karakaya Karmaşığı	AKK-ÜB	AKK-AB	AKK-AB	AKK-AB	AKK-AB	AKK-AB
Kayaç	Metatüfit	Sleyt	Metatüfit	Metatüfit	Şist	Şist
% ağırlık	NKK-98*	NKK-113	TKK-36	TKK-36	TKK-39*	TKK-39*
SiO <sub>2</sub>	51.73	32.07	31.45	32.98	44.03	32.43
TiO <sub>2</sub>	0.470	0.882	2.355	0.717	1.111	1.54
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.74	18.32	15.95	15.71	11.35	11.44
SFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.22	21.06	16.49	17.21	15.05	20.80
MnO	0.157	0.295	0.377	0.160	0,192	0.27
MgO	6.90	12.95	20.49	20.76	16.31	22.54
CaO	0.60	1.13	1.84	0.10	2.27	0.01
Na <sub>2</sub> O	3.78	0.02	0.70	0.04	1.93	0.01
K <sub>2</sub> O	0.77	0.02	0.06	0.05	0.12	0.03
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.21	0.39	0.06	0.03	0.03	0.04
LOI	6.85	12.86	9.98	10.89	7.89	10.90
Toplam	100.73	100.00	99.75	98.65	100.28	100.00
Si		3.13	3.00	3.17		3.13
Al		0.87	1.00	0.83		0.87
TC		0.87	1.00	0.83		0.87
Ti		0.06	0.17	0.05		0.11
Al		1.24	0.79	0.95		0.87
Fe		1.55	1.18	1.25		1.51
Mn		0.02	0.03	0.01		0.02
Mg		1.89	2.91	2.98		3.25
TOC		4.77	5.08	5.24		5.33
OC		0.46	0.47	0.78		0.84
Ca		0.12	0.19	0.01		0.00
Na		0.00	0.13	0.01		0.00
K		0.00	0.01	0.01		0.00
P		0.03	0.00	0.00		0.00
ILC		0.40	0.54	0.05		0.00
TLC		0.40	0.54	0.05		0.03

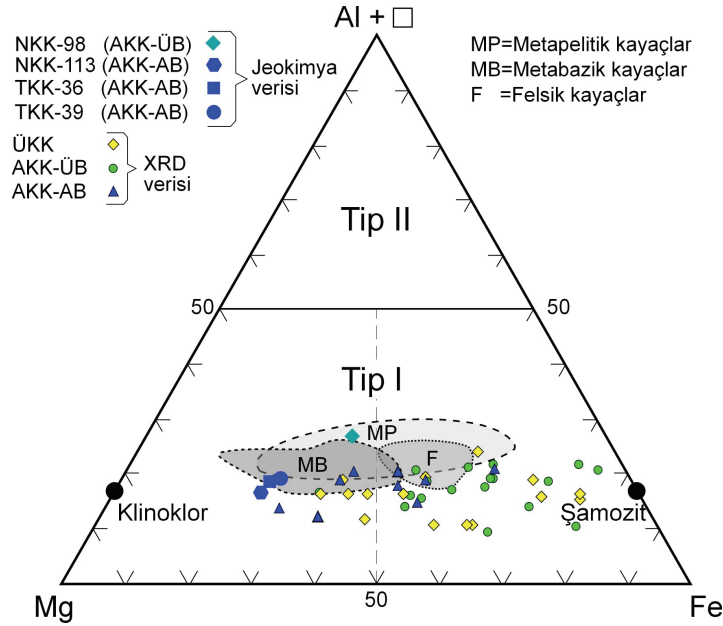
\*: Teorik feldispat bileşimi atıldıktan sonraki değerleri göstermektedir, SFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> cinsinden toplam demir, LOI: 1000 °C'de ateşte kayıp, TC: Tetrahedral yük, TOC: Toplam oktahedral katyon, OC: Oktahedral yük, ILC: Tabaka arası yük, TLC: Toplam tabaka yükü.



**Çizelge 7.** Karakaya Karmaşığı birimlerine ait klorit minerallerinin iz element bileşimleri (ppm).**Table 7.** Trace element composition of chlorite minerals in the Karakaya Complex units (ppm).

Bölge	Kuzeybatı Anadolu		İç-Kuzeydoğu Anadolu		Deteksiyon limiti
Birim	Nilüfer		Turhal Metamorfitleri		
Karakaya Karmaşığı	AKK-ÜB	AKK-AB	AKK-AB	AKK-AB	
Kayaç	Metatüfit	Sleyt	Metatüfit	Şist	
ppm	NKK-98	NKK-113	TKK-36	TKK-39	
Cr	270	440	1330	850	<20
Ni	130	230	890	400	<20
Co	23	73	102	62	<1
Sc	29	10	24	24	<1
V	214	231	327	226	<5
Cu	40	280	160	90	<10
Pb	11	<5	34	<5	<5
Zn	290	230	160	130	<30
Bi	<0.1	1.0	0.7	<0.1	<0.1
In	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Sn	2	3	<1	<1	<1
W	72.6	3.4	20.8	16.4	<0.5
Mo	<2	<2	<2	3	<2
As	21	<5	19	5	<5
Sb	11.1	0.7	7.1	0.3	0.2
Ge	2.3	0.5	2.0	2.1	0.5
Be	2	2	3	<1	<1
Ag	1.0	<0.5	<0.5	0.8	<0.5
Rb	32	1	6	3	1<
Cs	2.3	<0.1	0.4	2.1	<0.1
Ba	174	17	14	7	<3
Sr	172	8	6	14	<2
Tl	0.24	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Ga	26	33	26	20	<1
Ta	0.63	1.24	1.02	0.56	<0.01
Nb	3.1	21.8	10.9	6.3	<0.2
Hf	3.7	5.3	1.5	2.6	<0.1
Zr	139	204	71	104	<1
Y	27.4	22.9	7.0	12.3	<0.5
Th	11.2	1.19	1.13	1.22	<0.05
U	3.70	0.55	44.8	0.34	<0.01
La	27.6	2.04	4.42	8.81	<0.05
Ce	60.0	6.2	9.0	18.9	<0.05
Pr	6.56	0.83	0.96	2.20	<0.01
Nd	24.70	5.55	3.85	9.28	<0.05
Sm	4.84	2.30	0.93	2.19	<0.01
Eu	1.190	0.863	0.331	0.796	<0.005
Gd	4.00	3.38	1.12	2.18	<0.01
Tb	0.71	0.67	0.20	0.38	<0.01
Dy	4.42	4.31	1.27	2.34	<0.01
Ho	0.94	0.85	0.24	0.46	<0.01
Er	2.96	2.39	0.66	1.23	<0.01
Tm	0.462	0.345	0.087	0.175	<0.005
Yb	3.11	2.09	0.49	1.12	<0.01
Lu	0.510	0.314	0.066	0.186	<0.002
La <sub>N</sub> /Lu <sub>N</sub>	7.18	0.70	5.80	93.33	

&lt;: Deteksiyon limitinin altındaki değerleri göstermektedir

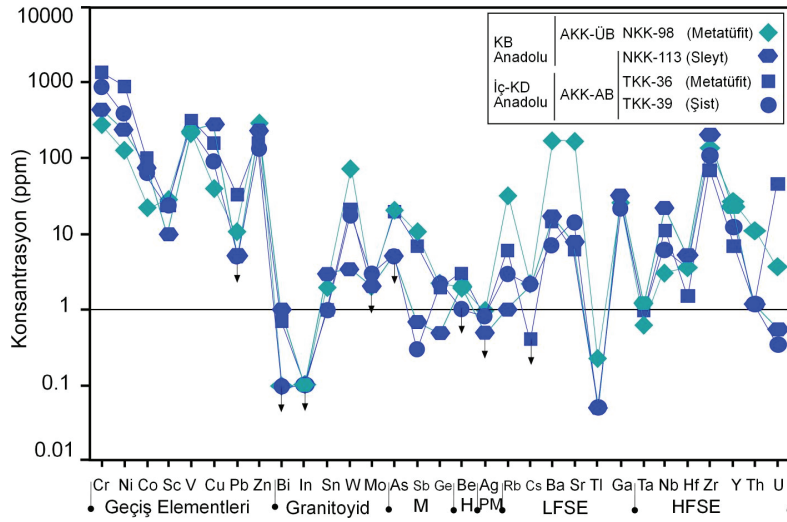


**Şekil 11.** Karakaya Karmaşığı birimlerine ait kloritlerin oktahedral bileşimlerine göre Al+□ – Mg – Fe diyagramındaki göre üçgen diyagramlardaki dağılımları (□=Oktahedral boşluk; MP, MB ve F alanları: Zane ve diğ., 1998).

**Figure 11.** The distribution of chlorites from the Karakaya Complex units in the Al+□ – Mg – Fe triangular diagram according to octahedral compositions (□=Octahedral vacancy; MP, MB and F fields: Zane et al., 1998).

Klorit minerallerinin iz element derişimleri (konsantrasyon) karşılaştırmalı olarak Şekil 12'de sunulmuştur. Elde edilen verilere göre; normalleştirme bileşeni olarak 1 ppm değeri esas alındığında, toplam iz element içeriklerinde Cr'da en fazla ve Ti'de en az olmak üzere yaklaşık 1300 kat artma ve 50 kat azalma gözlenmektedir. Elementsel süstitüsyon en çok Nilüfer birimi metatüfit örneğine ait klorit de gerçekleşmektedir. İz elementlerden itibaren kloritlerin toplam derişim miktarı bakımından en fazla zenginleşme AKK-AB biriminde (TKK-36), en az ise AKK-

ÜB biriminde (NKK-98) gözlenmektedir. Geçiş elementlerinden Cr, Ni, V ve Cu; düşük çekim alanlı / kalıcılığı düşük elementlerden (Low Field Strength Elements-LFSE) Ga; yüksek çekim alanlı / kalıcılığı yüksek elementlerden (High Field Strength Elements-HFSE) Nb, Zr ve U en fazla AKK-AB kloritlerinde zenginleşme sunmaktadır. AKK-ÜB kloritleri ise geçiş elementlerinden Zn, granitoid elementlerinden W, LFSE elementlerinden Rb, Ba ve Sr yüksek derişime sahiptir.

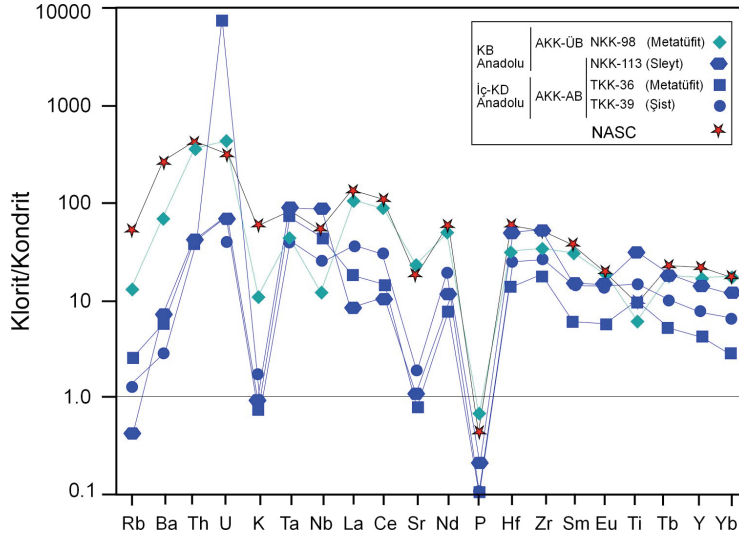


**Şekil 12.** Karakaya Karmaşığı birimlerine ait klorit minerallerinin iz element içeriklerine göre karşılaştırılması (Oklar deteksiyon limitinin altındaki değerleri göstermektedir, M=Karışık davranışlı elementler, H=Halojen elementleri, PM=Değerli metaller, LFSE=Düşük çekim alanlı elementler, HFSE=Yüksek çekim alanlı elementler).

**Figure 12.** The correlation of chlorite minerals in the Karakaya Complex units according to the contents of trace elements (Arrows show values below the detection limits, M=Miscellaneous elements, H=Halogen elements, PM=Precious metals, LFSE=Low field strength elements, HFSE=High field strength elements).

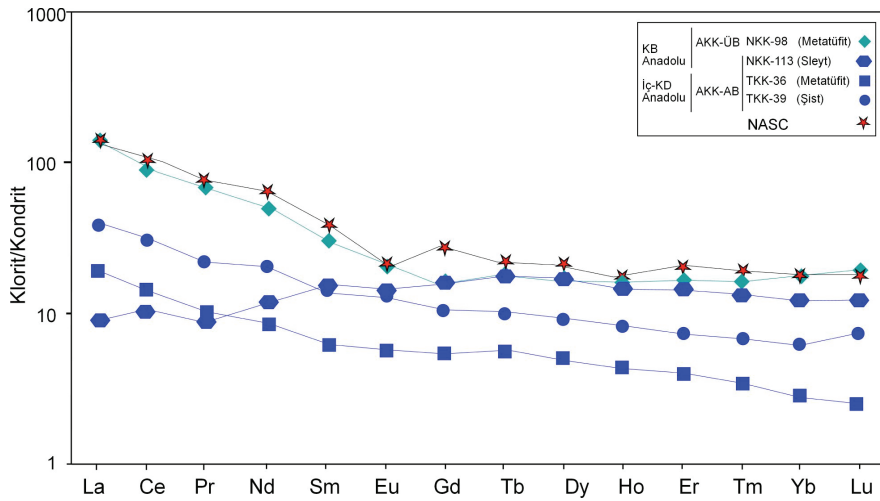
Klorit minerallerinin kondrite (Sun ve McDonough, 1989) göre normalize edilmiş iz element dağılımı Şekil 13’de verilmiştir. Kuzey Amerika şeyl bileşimi (North American Shale Composite-NASC) için Nb ve Y Condie’den (1993); diğer elementler Gromet ve diğ.’den (1984) alınmıştır. Kondrit değerleri ile karşılaştırıldığında; litoloji türlerine ve elementlere göre zenginleşme-fakirleşmeler değişmekle birlikte, minerallerin desenleri birbirinden ve NASC’den ayrılmaktadır. Diğer bir ifadeyle, klorit mineralleri kondrite göre belirgin ayrımlaşmayı/farklılaşmayı sergilemekte olup, Ti ve U hariç genellikle NASC’ten daha düşük derişimlere sahiptir. Kondrite göre en az zenginleşme ise çoğu element için Turhal Metamorfitleri’ne (AKK-AB) ait volkanojenik kökenli klorit (TKK-36) için gerçekleşmiştir. Bu örnekte U elementi yaklaşık 5600 kata kadar bir zenginleşme göstererek kuvvetli pozitif anomali sergilemektedir. Tüm kloritlerde K, Sr ve P elementleri ise kuvvetli negatif anomaliye sahiptir.

Klorit minerallerinin NTE içerikleri kondrite (Sun ve McDonough, 1989) göre normalize edilerek element bollukları karşılaştırılmıştır (Şekil 14). Diyagrama NASC değerleri (Ho ve Tm elementleri için Haskin ve diğ., 1968, diğer elementler için Gromet ve diğ., 1984) de eklenmiştir. Kondrit değerlerine göre, minerallerin desenleri birbirinden ve NASC’ten ayrılmakta ve belirgin ayrımlaşmayı/farklılaşmayı göstermektedir. Tüm klorit minerallerinin NTE içerikleri NASC’ten oldukça düşük olmakla birlikte, kondrite göre artmaktadır. Kondrite göre en fazla zenginleşme AKK-ÜB birimine ait volkanojenik kloritte (NKK-98), en az zenginleşme ise AKK-AB birimine ait volkanojenik kloritte (TKK-36) gerçekleşmiştir. Ayrıca klorit minerallerinin hafif NTE (HNTE; La-Gd) derişimleri, ağır NTE’e (ANTE; Tb-Lu) göre bir azalma göstermektedir. KB Anadolu’daki AKK-AB’ne ait kloritte Pr negatif ve Sm kısmen pozitif anomalisi ile dikkat çekmektedir.



**Şekil 13.** Karakaya Karmaşığı birimlerine ait klorit minerallerinin kondrit-normalize iz element desenleri (Kondrit: Sun ve McDonough, 1989; NASC için Nb ve Y: Condie, 1993; diğer elementler: Gromet ve diğer., 1984).

**Figure 13.** The chondrite-normalized trace element patterns of chlorite minerals from the Karakaya Complex units (Chondrite: Sun and McDonough, 1989; Nb and Y for NASC: Condie, 1993; other elements: Gromet et al., 1984).



**Şekil 14.** Karakaya Karmaşığı birimlerine ait klorit minerallerinin kondrit-normalize NTE bollukları (NASC: Ho ve Tm elementleri Haskin ve diğer., 1968, diğer elementler: Gromet ve diğer., 1984; Kondrit: Sun ve McDonough, 1989).

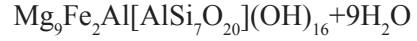
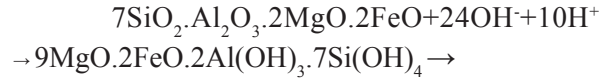
**Figure 14.** The chondrite-normalized REE patterns of chlorite minerals from the Karakaya Complex units (Ho and Tm for NASC: Haskin et al., 1968; other elements: Gromet et al., 1984; Chondrite: Sun and McDonough, 1989).

## TARTIŞMA VE SONUÇLAR

KB Anadolu'yu temsil eden birimlerdeki kloritler hamur ve gözeneklerde neoforme kökene sahiptir. Nilüfer Birimi'ne ait mavişit ve yeşilşist fasiyesini temsil eden kayalarda kloritler bağlayıcı malzemede levhamsı, metavolkaniklerde matris ve olasılıkla gaz boşluklarına karşılık gelen gözeneklerde mavi-kahve girişim renkli levhamsı ve/veya iğnemsiz morfolojilere sahiptir. Nilüfer ve Orhanlar birimlerine ait kloritler çoğunlukla şamozit, bu birimlere ait birer (şist ve bazalt) örnek ile Çal Birimi'ne ait bir örnek (kumtaşı) ise klinoklor bileşimindedir.

İç-KD Anadolu'da AKK birimlerinden Turhal Metamorfiteri kayalarında gözlenen kloritler; bağlayıcı malzeme, gözenek ve podlarda gelişmiştir. Bunlardan mavişist fasiyesi ile tanımlanan metamagmatik kayaların gözeneklerinde neoformasyon sonucu gelişmiş klorit mineralleri daha ziyade zayıf çift kırıcılık gösteren optik izotropik ve/veya mavi girişim renkli olup, boşluk dolguları şeklindedir. Yeşilşist fasiyesini temsil eden metaklastik kayalardaki detritik kökenli levhamsı türleri renksiz muskovit pulları ile birlikte pod yapılarını oluşturmakta ve mavi-yeşil girişim rengi göstermektedir. Birime ait kloritler çoğunlukla şamozit kısmen klinoklor bileşimi temsil etmektedir. ÜKK birimlerinden Devecidağ Karışığı kayalarında çoğunlukla şamozitik bileşime sahip olan kloritler bağlayıcı malzeme ve gözenek dolgusu şeklinde olup, tipik mavi girişim rengi sergilemektedir.

OM incelemeleri, kloritin koyu renkli minerallerden ziyade, volkanik camın alterasyonu sonucu geliştiğini göstermektedir. Volkanik cam-klorit dönüşümünün bir sulu  $MgFeAl$ -silikat jeli ara fazından geçerek gerçekleştiği belirtilmektedir (Volkanik cam + İyonlar  $\rightarrow$  Sulu  $MgFeAl$ -silikat jeli  $\rightarrow$  Klorit + Su: Yalçın ve diğ., 2005):



XRD yöntemi ile belirlenen kimyasal bileşimlerinden itibaren Foster (1962) ve AIPEA sınıflamasına göre (Bailey, 1980); kloritler çoğunlukla Fe ce zengin şamozit, kısmen Mg içeriği yüksek klinoklor bileşimini temsil etmektedir. AKK-AB mavişist fasiyesi kloritlerinde Mg, buna karşın AKK-ÜB yeşilşist fasiyesi kloritlerinde Fe içeriğinin daha yüksek olduğu gözükmektedir. ÜKK birimlerindeki kloritlere göre, AKK birimlerindeki kloritler Mg ve Al bakımından daha zengindir. Klorit minerallerinde tetrahedral Si'un yerine Al süstitüsyonunun artması tabaka yükün artışına, dolayısıyla tabaka ve tabakalar arası bağın daha da kuvvetlenmesine sonucu  $d_{(001)}$  yansıma değerinin azalmasına neden olmaktadır (Shirozu, 1958). Kloritlerin oktahedral Al, Fe ve Mg miktarlarında gözlenen değişimlerin kayaların gömülmeye bağlı olarak derinlikle beraber artan sıcaklık/basınç etkisiyle mineralojik bileşimde meydana gelen değişimlere karşılık geldiği belirtilebilir. Özellikle AKK-AB bölümü (mavişist) ve AKK-ÜB (yeşilşist) arasındaki metamorfik derecenin farklı olması kloritlerin kristal kimyalarını da etkilemiş gözükmektedir. Erken diyajenezde oluşan kloritler için Fe bakımından zengin bir bileşimin olduğu ve epijenez ve diyajenez sırasında derinliğin artması ile birlikte Mg içeriğinin arttığını belirten araştırmacıların verileri ile uyumluluk göstermektedir (Eckhardt, 1958; Muravjev ve Salyn, 1969). Ayrıca Árkai ve Ghabriel (1997) tarafından da belirtildiği üzere, kloritlerde  $d(001)/(002)$  yansıma değerleri oranı metamorfik derecenin artmasıyla Fe içeriğindeki artmaya bağlı olarak azalmaktadır. Bununla birlikte, AKK-AB ve AKK-ÜB kloritlerindeki kimyasal değişimlerin diyajenez/metamorfizma



derecesinin yanı sıra litolojik farklılık ve köken malzemeyle ilişkili olabilecekleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Nitekim AKK-ÜB kloritlerine göre; metabazik kayaç kökenli AKK-AB kloritleri Cr, Ni ve Co gibi elementleri de yüksek değerlerde içermekte ve olası olarak Paleotetis okyanusu ürünlerine ait izleri taşımaktadır.

Kloritlerde 7 Å ( $\Delta^{\circ}2\Theta$ ) pik genişliği birçok araştırmacı tarafından incelenmiş (Ludwig, 1973; Schamel, 1973; Le Corre, 1975; Schaer ve Persoz, 1976; Deetioff ve diğ., 1980; Dandois, 1981; Duba ve Williams-Jones, 1983; Brauckmann, 1984; Árkai, 1991), illit kristalinitesine göre; özellikle bazik-metabazik kayaçlarda klorit kristalinitesinin daha kullanışlı olduğu belirlenmiştir (Schaer ve Persoz, 1976; Dandois, 1981; Brauckmann, 1984; Árkai, 1991). Diyajenez/metamorfizma derecesi arttıkça illit/muskovitlerdekine benzer biçimde klorit kristalinitesi de artış göstermektedir. İnceleme alanını temsil eden örneklerde AI değerleri AKK birimleri için epizon-ankizona; ÜKK birimleri ise düşük dereceli ankimetamorfik-diyajenetik evreye karşılık gelmektedir. KB ve İç-KD Anadolu'da yapılan incelemelerde illit kristalinite (Kübler İndisi: Kübler, 1968) sonuçları AI değerleri ile uyumlu gözükmektedir (Tetiker ve diğ., 2009a ve 2009b; Tetiker ve diğ., 2015).

Klorit tabakalarında yarı-düzenli veya düzenli istiflenmeye geçişin özellikleri gözlenmekte olup (Bailey ve Brown, 1962; Bailey, 1980 ve 1984); kısmen sıcaklıkla ilişkili olan bu yapısal değişimler (politipi) jeotermometre olarak kullanılabilen nitel bir yöntem olabilmektedir (Hayes, 1970).  $Ib \rightarrow I/b$  tipi kloritlere dönüşümün 200 °C'den daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştiği öngörülmektedir Walker (1993). İnceleme alanında klorit minerallerinin bütünüyle  $I/b$  olması ve AKK birimlerinden Turhal Metamorfitleri illitlerinin de  $2M_1$  politipine sahip olması (Tetiker ve diğ., 2009b) benzer metamorfizma derecesini işaret etmektedir.

Karakaya Karmaşığı birimlerindeki klorit minerallerinin ana element içerikleri ve hesaplanan yapısal formülleri AKK-AB ve AKK-ÜB birimlerinin farklı bileşime ve kökene sahip olduklarını göstermektedir. İz element ve özellikle NTE derişimleri metamorfizma derecesi ile buldukları kayaca bağlı olarak çoğunlukla şistten sleyte doğru artmaktadır. Diğer bir ifadeyle, kloritlerdeki iz element ve NTE derişimleri metamorfizma derecesi arttıkça azalmaktadır. Bu ilişki  $La_N/Lu_N$  oranlarının yanı sıra, kondrit-normalize edilmiş iz element ve NTE dağılımlarında belirgin olarak görülmekte ve farklı köken kayaca ait kloritlerin desenleri birbirinden ve NASC'den ayrılmaktadır. Bu değişimler; klorit minerallerinin yapılarının ve oluşum mekanizmalarının yanı sıra, oluştukları tektonik ortamların farklılığına da bağlı olduğunu düşündürmektedir. Diğer bir ifadeyle kloritlerin farklı jeolojik tarihçeye sahip birimlerin incelenmesi için anahtar bir rol oynayabilecekleri ileri sürülebilir gözükmektedir.

## KATKI BELİRTME

Yazarlar, bu çalışmanın gerçekleşmesinde maddi destek sağlayan Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyon Başkanlığı'na (Proje No: M 301), sırasıyla KB Anadolu ve İç-KD Anadolu'da birimlerin arazide tanıtılmasını sağlayan merhum Mehmet DURU (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü) ve Ahmet GÖKÇE'ye (Cumhuriyet Üniversitesi), XRD çalışmalarında ve ince kesitlerin hazırlanmasında C.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümü laboratuvarları çalışanlarına ve SEM incelemelerinin yapılmasında TPAO elemanlarına yardımları için teşekkür ederler. Ayrıca, M.Cemal GÖNCÜOğLU (Orta Doğu Teknik Üniversitesi) Karakaya Karmaşığı'nın jeolojik evriminin anlaşılmasında öneri ve eleştirileri ile makalenin şekillenmesine emeği geçmiştir.

Bu makalenin son şeklini almasında bilimsel hakemler olarak Kaan SAYIT (Orta Doğu Teknik Üniversitesi) ve Emel ABDİOĞLU (Karadeniz Teknik Üniversitesi) önerileri ile katkı koymuşlardır.

### **EXTENDED SUMMARY**

*Chlorites are both primary and secondary minerals, which may occur by different mechanisms in various rock groups in all geological periods and environments. The most important mineralogical and chemical changes / transformations in the chlorites emerge in the burial diagenesis / metamorphism so that the revelation for this work. Chlorite minerals are commonly found in the Karakaya Complex units with different tectonic setting and evolution. The Karakaya Complex of the Sakarya Composite Terrane in northern Turkey is remnants of a subduction accretion prism, formed by the closure of the pre-Jurassic Paleotethyan Ocean. It is traditionally subdivided into two units as Lower and Upper Karakaya Complex (LKC and UKC). The LKC consists of a tectonic mélange with blocks of metabasic, metacarbonate and metaclastic rocks that were subdivided into lower part (LKC-LP) and upper part (LKC-UP) subunits corresponding to blueschist and greenschist facies by means of petrography and phyllosilicate mineralogy. The UKC units are primarily composed of (meta-) clastic and (meta-)volcanic rocks. In this study, the availability of chlorites is investigated as a parameter on the interpretation of the diagenetic-metamorphic evolution and clarification of the geological history from different units belonging to the complex. A number of samples from the NW and central-NE Anatolia regions, collected from measured stratigraphic sections, were comprehensively studied by optical microscopy, X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM) and chemical analyses of*

*major, trace, and rare-earth elements (REE) on the meta-clastic and meta-basic rocks. Primary and secondary chlorite minerals in the low-very low-grade metamorphic rocks have interference colors of blue and brown and an appearance of optical isotropy. Chlorites are seen in the matrix, pores and/or pods of rocks as platy/flaky and partly radial forms based on the investigations of optical and scanning electron microscopies. According to XRD data; Mg-Fe chlorites with entirely I1b polytype (trioctahedral) exhibit various compositions such as brunsvigite-diabantite-chamosite. Mg content in the chlorites of LKC-LP blueschist facies and Fe in the LKC-UP greenschist facies and Mg and Al in the LKC seem to be higher than each others. Furthermore, chlorite minerals correspond to felsic and metabasic origins in terms of derived rocks. Similarly, geochemical data such as the major element contents and structural formulas of chlorites also suggest different composition and origin. Trace and especially REE concentrations of chlorite minerals increase from schist towards slate depending on their degree of metamorphism and host rocks. This relationship can be significantly noticed in the chondrite-normalized trace and REE patterns. These changes show that they are related to the structures, formation mechanisms and tectonic environments of the chlorite minerals. In other words, they suggest that chlorites may play a key role in distinguishing of the units with different geological history.*

### **KAYNAKLAR**

- Ahn, J., Peacor, D.R., 1985. Transmission electron microscopic study of diagenetic chlorite in Gulf Coast argillaceous sediments. *Clays and Clay Minerals*, 33, 228-236.
- Árkai, P., 1991. Chlorite crystallinity: an empirical approach and correlation with illite crystallinity, coal rank and mineral facies as exemplified by Palaeozoic and Mesozoic rocks of northeast Hungary. *Journal of Metamorphic Geology*, 9, 723-734.

- Árkai, P., Tóth M., 1990. Illite and chlorite "crystallinity" indices, I: an attempted mineralogical interpretation. Abstract, Conference "Phyllosilicates as indicators of very low-grade metamorphism and diagenesis" (IGCP 294), Manchester.
- Árkai, P., Ghabrial, D.S., 1997. Chlorite crystallinity as an indicator of metamorphic grade of low-temperature meta-igneous rocks: a case study from the Bükk Mountains, Northeast Hungary. *Clay Minerals*, 32, 205-222.
- Árkai, P., Sassi F.P., Sassi R., 1995. Simultaneous measurements of chlorite and illite crystallinity: a more reliable geothermometric tool for monitoring low- to very low-grade metamorphisms in metapelites. A case study from the Southern Alps (NE Italy). *European Journal of Mineralogy*, 7, 1115-1128.
- Bailey, S.W., 1980. Summary of recommendations of AIPEA nomenclature committee on clay minerals. *American Mineralogist*, 65, 1-7.
- Bailey, S.W., 1984. Classification and structures of the micas. In: Micas, S.W. Bailey (ed.), Mineralogical Society of America, Washington, DC, *Reviews in Mineralogy*, 13, 1-12.
- Bailey, S.W., 1988. X-ray diffraction identification of the polytypes of mica, serpentine, and chlorite. *Clays and Clay Minerals*, 36, 193-213.
- Bailey, S.W., Brown B.E., 1962. Chlorite polytypism: I. Regular and semi-random one layer structures. *American Mineralogist*, 47, 819-850.
- Bailey, S.W., McCallien, W.J., 1950. The Ankara melange and the Anatolian Thrust. *Nature* 166, 938-941.
- Bailey, S.W., McCallien, W.J., 1953. Serpentinite lavas, the Ankara melange and the Anatolian Thrust. *Transactions of the Royal Society of Edinburg*, 62, 403-442.
- Bingöl, E., Akyürek, B., Korkmaz, B., 1975. Biga Yarımadasının jeolojisi ve Karakaya Formasyonunun bazı özellikleri. Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi Tebliğleri, Ankara, 70-77.
- Bozkaya, Ö., Yalçın, H., 1996. Diyajenez-metamorfizma geçişinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 49, 1-22.
- Bozkaya, Ö., Yalçın, H., 1999. Doğu Toros Otoktonunda diyajenez-metamorfizma derecesi ile fillosilikatların kimyası arasındaki ilişkiler. 9. Ulusal Kil Sempozyumu, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 15-18 Eylül, *Bildiriler Kitabı*, s. 21-30.
- Bozkaya, Ö., Yalçın, H., Schroeder, P.A., Crowe, D., 2014. New insights in the definition of phyllosilicate stacks in diagenetic-metamorphic environments-examples from clastic to metaclastic rocks in Turkey. MECC14 7th Mid-European Clay Conference 2014, 16-19 September 2014, Dresden, Germany, Programme and Abstract book, p. 117.
- Brauckmann, F.J., 1984. Hochdiagenese im Muschelkalk der Massive von Bramsche und Vlotho. *Bochumer Geologie Geotechnischen Arbeit*, 14.
- Brindley, G.W., 1961. Chlorite minerals. In: *The X-ray Identification and crystal structures of Clay Minerals*. G. Brown (ed.), Mineralogical Society, London, 242-296.
- Brindley, G.W., Brown, G., 1980. X-ray diffraction procedures for clay mineral identification. In: *Crystal Structures of Clay Minerals and their X-ray Identification*, G.W. Brindley and G. Brown (eds.), Mineralogical Society, London, 305-360.
- Cathelineau, M., 1988. Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature. *Clay Minerals*, 23, 471-485.
- Cathelineau, M., Nieva D., 1985. A chlorite solid solution geothermometer, the Los Azufres geothermal system (Mexico). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 91, 235-244.
- Chagnon, A., Desjardins, M., 1991. Determination de la composition de la chlorite par diffraction and microanalyse aux rayons X. *Canadian Mineralogist*, 29, 245-254.
- Condie, K.C., 1993. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: Contrasting results from surface samples and shales. *Chemical Geology*, 104, 1-37.
- Curtis, C. D., Hughes, C. R., Whiteman, J. A., Whittle, C.K., 1985. Compositional variations within some sedimentary chlorites and some comments on their origin. *Mineralogical Magazine*, 49, 375-386.
- Dandois, Ph. 1981. Diagenèse et métamorphisme des domaines calédonien et hercynien de la vallée de la Meuse entre Charleville-Mezières et Namur (Ardennes franco-belges). *Annales de la Société Géologique de Belgique*, 90, 299-316.
- Deetioff, O., Teichmiffler, M., Telchmüller, R. Wolfy, M., 1980. Inkohlungs-zntersuchungen im Mesozoikum des Massivs von Vlotho (Niedersadhsisches Tektogen). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte*, 1980, 321 - 341.
- Duba, D., Williams-Jones, A.E., 1983. The application of illite crystallinity, organic matter reflectance, and isotopic techniques to mineral exploration: A case study in southwestern Gaspé, Quebec. *Economic Geology*, 78, 1350-1363.

- Eckhardt, F.J., 1965. Über den Einfluss der Temperature auf den kristallographischen Ordnungsgrad von Kaolinit. Proceedings, International Clay Conference, Stockholm, 1963, 2, 137-145.
- Erol, O., 1956. Ankara Güneydoğusundaki Elma Dağı ve çevresinin jeolojisi ve jeomorfolojisi üzerine bir araştırma. Maden Tetkik Arama Dergisi, Ankara, Seri D 9, 99 s.
- Federici, F., Cavazza, W., Okay, A.I., Beyssac, O., Zattin, M., Corrado, S., Dellisanti, F., 2010. Thermal evolution of the Permo-Triassic Karakaya subduction-accretion complex between the Biga peninsula and the Tokat Massif (Anatolia). Turkish Journal of Earth Sciences, 19, 409-429.
- Foster, M.D., 1962. Interpretation of the composition and a classification of the chlorites, U.S. Geological Survey Professional Paper, 414-A, 1-33.
- Gökçe, A., 1983. Turhal antimon yataklarının maden jeolojisi. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri, Ankara, 150 sayfa.
- Göncüoğlu, M.C., Dirik, K., Kozlu, H., 1997. General characteristics of pre-Alpine and Alpine Terranes in Turkey: Explanatory notes to the terrane map of Turkey. Annales Geologique de Pays Hellenique, 37, 515-536.
- Göncüoğlu, M.C., Turhan, N., Şentürk, K., Özcan, A., Uysal, Ş., 2000. A geotravers across NW Turkey: tectonic units of the central Sakarya region and their tectonic evolution. In: E. Bozkurt, J. Winchester, and J.A. Piper (eds.), Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area. Geological Society, London, Special Publications, 173, pp. 139-161.
- Gromet, L.P., Dymek, R.F., Haskin, L.A., Korotev, R.L., 1984. The "North American shale composite": Its compilation, major and trace element characteristics. Geochimica et Cosmochimica Acta, 48, 2469-2482.
- Guggenheim, S., Bain, D.C., Bergaya, F., Brigatti, M.F., Drits, A., Eberl, D.D., Formoso, M.L.L., Galan, E., Merriman, R.J., Peacor, D.R., Stanjek, H., Watanabe, T., 2002. Report of the AIPEA nomenclature committee for 2001: order, disorder and crystallinity in phyllosilicates and the use of the "Crystallinity Index". Clay Minerals, 37, 389-393.
- Haskin, L.A., Haskin, M.A., Frey, F.A., Wildeman, T.R., 1968. Relative and absolute terrestrial abundances of the rare earths. In: Origin and Distribution of the Elements, L.H. Ahrens (ed.), Pergamon Press, 889-912.
- Hayes, J.B., 1970. Polytypism of chlorite in sedimentary rocks. Clays and Clay Minerals, 18, 285-306.
- Hillier, S., Velde B., 1991. Octahedral occupancy and the chemical composition of diagenetic (low temperature) chlorites. Clay Minerals, 26, 149-168.
- Jahren, J.S., Aagard, P., 1992. Diagenetic illite-chlorite assemblages in arenites. I. Chemical evolution. Clays and Clay Minerals, 40, 540-546.
- Kisch, H.J., 1980. Illite crystallinity and coal rank associated with lowest-grade metamorphism of the Taveyanne greywacke in the Helvetic zone of the Swiss Alps. Eclogae Geologicae Helvetiae, 73, 753-777.
- Kisch, H.J., 1990. Calibration of the anchizone: a critical comparison of illite "crystallinity" scales used for definition. Journal of Metamorphic Geology, 8, 31-46.
- Krumm, S., 1996. WINFIT 1.2: version of November 1996 (The Erlangen geological and mineralogical software collection) of WINFIT 1.0 : a public domain program for interactive profile-analysis under WINDOWS. XIII Conference on Clay Mineralogy and Petrology, Praha, 1994. Acta Universitatis Carolinae Geologica, 38, 253-261.
- Kübler, B., 1968. Evaluation quantitative du métamorphisme par la cristallinité de l'illite. Bulletin-Centre de Recherches Pau-SNPA, 2, 385-397.
- Le Corre, C., 1975. Analyse comparée de la cristallinité dans le Briovérien et le Paléozoïque centre-armoricains: zonéographie et structure d'un domaine épizonal. Bulletin de la Société Géologique de France, 17, 547-553.
- Ludwig, V., 1973. Zum Übergang eines Tonschiefers in die Metamorphose: "Grieffelschiefer" des Ordoviziums in NE-Bayren (mit einem Beitrag zum Problem der Illit-Kristallinität). Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte, 144, 50-103.
- Millot, G., 1970. Geology of Clays. (trans. W.R.Farrand and H.Paquet). Springer Verlag, New York, Berlin, 429 p.
- MTA., 2002. 1:500 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları. MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Muravjev, W.I., Salyn, A.L., 1969. Epigenetische Umwandlungen der Schichtsilikate in einem Perm-Triasprofil in Mangyschak (Kasachstan). Proceedings, International Clay Conference, 1969, Tokyo, 1. Israel University Press, Jerusalem, 325-333.
- Okay, A.İ. Siyako, M., Bürkan, K.A., 1990. Biga Yarımadası'nın jeolojisi ve tektonik evrimi. Türkiye Petrol jeologları Derneği Bülteni, 2, 83-121.
- Okay, A.İ., Göncüoğlu, M.C., 2004. The Karakaya Complex: A Review of Data and Concepts. Turkish Journal of Earth Sciences, 13, 77-95.
- Özcan, A., Erkan, A., Keskin, A., Keskin, E., Oral, A., Özer, S., Sümergen, M., Tekeli, O., 1980. Kuzey Anadolu fayı ile Kırşehir masifi arasının temel jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Rapor No: 6722 (yayınlanmamış), Ek (jeolojik harita ve kesitler), Ankara, 136 s.
- Patel, S., Ferreiro Mähmann, R., Stern, W.B., Mullis, J., Frey, M., 2006. Very low-grade metamorphic evolution of pelitic rocks under high-pressure/low-temperature condition, NW New Caledonia (SW Pacific). Journal of Petrology, 47, 991-1015.

- Robertson, A.H.F., Ustaömer, T., 2012. Testing alternative tectono-stratigraphic interpretations of the Late Palaeozoic-Early Mesozoic Karakaya Complex in NW Turkey: Support for an accretionary origin related to northward subduction of Palaeotethys. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 21, 961-1007.
- Sayit, K., Göncüoğlu, M.C., 2009. Geochemical characteristics of the basic volcanic rocks within the Karakaya Complex: a review. *Hacettepe Yerbilimleri* 30, 181-191.
- Sayit, K., Göncüoğlu, M.C., 2013. Geodynamic evolution of the Karakaya Mélange Complex, Turkey: a review of geological and petrological constraints. *Journal of Geodynamics*, 65, 56-65.
- Sayit, K., Göncüoğlu, M.C., Furman, T., 2010. Petrological reconstruction of Triassic seamounts/oceanic islands within the Palaeotethys: geochemical implications from the Karakaya subduction/accretion Complex, Northern Turkey. *Lithos*, 119, 501-511.
- Schaer, J.P., Persoz, F., 1976. Aspects structuraux et petrographiques du Hant Atlas calcaire de Midelt (Maroc). *Bulletine de la Société Géologique de France*, 18, 1239-1250.
- Schamel, S., 1973. Eocene subduction in central Liguria, Italy. Unpublished PhD, Thesis, Yale University.
- Shirozu, H., 1958. X-ray powder patterns and cell dimensions of some chlorites in Japan with a note on their interference colors. *Mineralogical Journal*, 2, 209-223.
- Sun, S.S., McDonough W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: *Magmatism in the Ocean Basins*, A.D. Saunders and M.J. Norry (eds.), Geological Society of London, Special Publication, 42, 313-345.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., Sungurlu, O. 1984. Tectonics of the Mediterranean Cimmerides: nature and evolution of the western termination of Paleo-Tethys. In: *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*, J.E. Dixon and A.H.F. Robertson (eds), Geological Society, London, Special Publications, 17, 77-112.
- Tekeli, O., 1981. Subduction complex of pre-Jurassic age, Northern Anatolia, Turkey. *Geology*, 9, 68-72.
- Tetiker, S., Yalçın, H., Bozkaya, Ö. 2009a. KB Anadolu'daki Karakaya Karmaşığı birimlerinin diyajenez-düşük dereceli metamorfizması. *Hacettepe Üniversitesi, Yerbilimleri*, 30, 193-212.
- Tetiker, S., Yalçın, H., Bozkaya, Ö. 2009b. Karakaya Karmaşığı (Tokat yöresi) birimlerinin düşük dereceli metamorfizması. 14. Ulusal Kil Sempozyumu, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 1-3 Ekim, Bildiriler Kitabı, s. 155-173.
- Tetiker, S., Yalçın, H., Bozkaya, Ö., Göncüoğlu, M. C., 2015. Diagenetic to Low-Grade Metamorphic Evolution of the Karakaya Complex in northern Turkey based on phyllosilicate mineralogy. *Mineralogy and Petrology*, 109 (201-215).
- Velde, B., Medhioub, M., 1988. Approach to chemical equilibrium in diagenetic chlorites. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 98, 122-127.
- Walker, J.R., 1993. Chlorite polytype geothermometry. *Clays and Clay Minerals*, 41, 260-267.
- Warr, L.N., Rice, A.H.N., 1994. Interlaboratory standardization and calibration of clay mineral crystallinity and crystallite size data. *Journal of Metamorphic Geology*, 12, 141-152.
- Weaver, C.E., Pollard, L.D., 1973. *The Chemistry of Clay Minerals. Developments in Sedimentology*, 15, 272 p.
- Weaver, C. E., Highsmith, P. B., Wampler, J. M., 1984. Chlorite: in *Shale-slate Metamorphism in the Southern Appalachians*, C.E. Weaver and associates (eds.), Elsevier, Amsterdam, 99-139.
- Xie, X.G., Byerly, G.R., Ferrell, R.E., 1997. Ilb trioctahedral chlorite from the Barberton greenstone belt: crystal structure and rock composition constraints with implications to geothermometry. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 126, 275-291.
- Yalçın, H., Bozkaya, Ö., 2002. Hekimhan (Malatya) çevresindeki Üst Kretase yaşlı volkaniklerin alterasyon mineralojisi ve jeokimyası: deniz suyu-kayaç etkileşimine bir örnek. *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi Seri A-Yerbilimleri*, 19, 81-98.
- Yalçın, H., Bozkaya, Ö., Tetiker, S., 2005. Kangal kömür yatağının kil mineralojisi ve jeokimyası. 12. Ulusal Kil Sempozyumu, Yüzüncüyıl Üniversitesi, Van, 5-9 Eylül, Bildiriler Kitabı, s. 16-31.
- Zane, A., Sassi, R., Guidotti, C.V., 1998. New data on metamorphic chlorite as a petrogenetic indicator mineral, with special regard to greenschist-facies rocks. *The Canadian Mineralogist*, 36, 713-726.
- Zane, A., Weiss, Z., 1998. A procedure for classification of rock-forming chlorites based on microprobe data. *Rendiconti Fisiche Accademia dei Lincei*, 9, 51-56.

---

**Makale Geliş Tarihi** : 12 Aralık 2014

**Kabul Tarihi** : 20 Şubat 2015

*Received* : 12 December 2014

*Accepted* : 20 February 2015