



**Karakaya Karmaşığı Kırıntılı Kayaçlarındaki Klorit ve İllit/Mikalaların Mineral Kimyası:
Köken ve Diyajenez/Metamorfizma**
*Mineral Chemistry of Chlorite and Illite/Mica in the Clastic Rocks of Karakaya Complex:
Origin and Diagenesis/Metamorphism*

Ömer Bozkaya¹, Hüseyin Yalçın^{*2}, Sema Tetiker³

¹ Pamukkale Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 20070 Denizli

² Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140 Sivas

³ Batman Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 72100 Batman

Geliş/Received : 29.08.2018 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received : 07.09.2018 • Kabul/Accepted : 10.09.2018 • Baskı/Printed : 18.09.2018

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Sakarya Tektonik Birliği içerisinde Jura-Öncesi Paleotetis Okyanusu'nun kapanmasıyla ilişkili Permo-Triyas yaşlı Karakaya Karmaşığı birimleri yüzeylemektedir. İllit/beyaz mikaların bileşimleri muskovit-illit-fenjit arasında değişmekte olup, detritik kökenliler muskovitik ($Si_{ort}=3.15$, $(Na+K)_{ort}=0.81$), otijenik kökenliler illitik ($Si_{ort}=3.22$, $(Na+K)_{ort}=0.74$) bileşime yakındır. Açıklı/genişlemeli basenlerin karakteristiği olarak bilinen paragonit ($Si_{ort}=2.96$, $Na=0.78$, $K=0.10$) ve NaK mikalar ($Si_{ort}=3.09$, $Na=0.45$, $K=0.34$) Karakaya Karmaşığı'nın alt-yeşilist fasiyesine karşılık gelen Turhal Metamorfitleri'nin üst bölümünde belirlenmiştir. Kloritler bütünüyle trioktahedral olup otijenikler ($Si_{ort}=5.67$, $Fe_{ort}=5.05$) detritiklere ($Si_{ort}=5.56$, $Fe_{ort}=4.80$) göre daha yüksek Si^{IV} , daha düşük Fe^{VI} içeriğine sahiptir. Kloritler Hodul Birimi'nde şamozitik, Orhanlar Birimi'nde klinoklor bileşimlidir. Turhal Metamorfitleri'nde az sayıda, Orhanlar Birimi'nde yaygın olmak üzere yüksek Mg (5.70-7.59) ve Cr (0.09-0.16) içerikli detritik kloritler de belirlenmiş olup, Triyas-öncesi ofiyolitik kayaçların varlığına ait kanıtlar olarak değerlendirilmiştir. Klorit kimyası verileri, Turhal Metamorfitleri için felsik, Orhanlar Birimi için metabazik (olasılı Paleotetis kalıntıları), Hodul Birimi için Al- ve Fe-ce aşırı zengin felsik ve metapelitik kökeni işaret etmektedir. Klorit jeotermometresi verileri 150-300 °C arasında değişen sıcaklık, fenjit jeobarometresi verileri 0.5-1.2 kbar arasındaki basınç verilerini işaret etmektedir. Bu veriler, Karakaya Karmaşığı alt-yeşilist fasiyesiyle temsil edilen üst kesimi için yüksek sıcaklık-düşük basınç metamorfizması, Karakaya rifti alt-yeşilist fasiyesi birimleri için düşük-orta sıcaklık-düşük basınç diyajenez koşullarını yansıtmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Diyajenez/Metamorfizma, Klorit, Klorit-Mika İstifleri, Köken, Mika, Mineral Kimyası.

Abstract: The Karakaya Complex units representing the relicts of environments related with the closure of Pre-Jurassic Paleotethys Ocean outcrop within the Sakarya Composite Terrane. The compositions of illite/white micas change among muscovite-illite-phengite that illite/white micas with detrital and authigenic origins are close to muscovitic ($Si_{avg}=3.15$, $(Na+K)_{avg}=0.81$) and illitic compositions ($Si_{avg}=3.22$, $(Na+K)_{avg}=0.74$), respectively. Paragonite ($Si_{avg}=2.96$, $Na=0.78$, $K=0.10$) and NaK micas ($Si_{avg}=3.09$, $Na=0.45$, $K=0.34$) are typical for extensional basins that are determined in the upper parts of the Turhal Metamorphites corresponding to the subgreenschist facies of the Karakaya Complex. The chlorites are of entirely trioctahedral and authigenic ones ($Si_{avg}=5.67$, $Fe_{avg}=5.05$) have higher Si^{IV} and lower Fe^{VI} contents in comparison with detrital ones. Chlorites have chamositic in the Hodul Unit, whereas clinocllore composition in the Orhanlar Unit. Detrital micas with high Mg (5.70-7.59) and Cr (0.09-0.16) contents are also identified in the Orhanlar Unit more common and in the Turhal Metamorphites as a few grains that are evaluated as evidences the presence Pre-Triassic ophiolitic rocks. The data of chlorite chemistry indicate the origins of felsic for Turhal Metamorphites, metabasic (probably remains of Paleotethys) for

Orhanlar Unit and felsic and metapelitic with rich in Al and extreme rich in Fe. The data of chlorite geothermometry and phengite geobarometer indicate a temperature ranging from 150 to 300 °C and a pressure between 0.5-1.2 kbar, respectively. These values reflect the the high temperature-low pressure metamorphism for the upper part of the Karakaya Complex representing sub-greenschist facies and low-middle temperature-low pressure diagenesis conditions for sub-greenschist facies units of the Karakaya rift.

Keywords: Chlorite, Chlorite-Mica Mineral Chemistry, Diagenesis/Metamorphism, Mica.

GİRİŞ

İllit/muskovit ve kloritler sedimanter basenlerde en yaygın gözlenen kil/fillosilikat mineralleri olup, gömülme diyajenezi/metamorfizması sırasında önemli mineralojik ve kimyasal değişimler/dönüşümler göstermektedir (Weaver vd. 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, 1989; Walker, 1993; Xie vd. 1997; Bozkaya ve Yalçın, 1999; Bozkaya vd. 2014; Tetiker vd. 2015). Artan basınç ve sıcaklıkla birlikte, illit ve kloritlerin mineralojik ve kimyasal bileşimlerinde meydana gelen değişimler, jeobarometre/jeotermometre olarak kullanılmaktadır (Hayes, 1970; Cathelineau ve Nieva, 1985; Cathelineau, 1988; Walshe, 1986; Hutcheon, 1990; De Caritat vd. 1993; Walker, 1993).

Kırıntılı kayaçları oluşturan fillosilikat minerallerinde gözlenen bazı dokusal özellikler, bu kayaçların kökensel evrimi hakkında önemli veriler sağlayabilmektedir. Bunlardan biri olan kenetlenme, iç-içe büyüme (intergrowth) veya istiflenme (stacking) olarak tanımlanan dokusal özellik yaygın olarak mika ve klorit mineralleri arasında gerçekleşmektedir. İstiflenme (stacking) olarak adlandırılan bu dokular, özellikle levhamsı şekilli klorit-muskovit, klorit-biyotit ve biyotit-muskovit mineralleri arasında gelişmektedir. Bunlar; “klorit-mika istifleri” (Voll, 1960; Craig vd. 1982; Krinsley vd. 1983), klorit-mika kenetlenmesi şeklindeki “iri mikalar” (Williams, 1972); iç içe büyümeler sonucu gelişen “beyaz mika-klorit kenetlenmeleri” (Holeywell ve Tullis, 1975); “klorit-mika agregatları” (Van der Pluijm

ve Kars-Sijpesteijn, 1984); “klorit-mika veya klorit-muskovit agregatları” (Hoepfener, 1956; Weber vd. 1976); “klorit-mika porfiroblastları” (Roy, 1978; Weber, 1981; Woodland, 1985); “klorit-mika breşik taneleri veya klorit-muskovit birleşik porfiroblastları” (Woodland, 1982); “klorit fiçileri (chlorites en tonnelets: veya klorit bademleri (chlorites en amandes)” (Pique ve Wybrecht, 1987) biçiminde adlandırılmıştır. Bu oluşumlar; klivaj fabriğinin ileri aşamasının karakteristik özelliklerinden birisi olarak yorumlanmıştır (Kisch, 1991). Klorit-mika istifleri için otijenik ve/veya neoformasyon (Hoepfener, 1956; Pye ve Krinsley, 1983), tektonizma öncesi smektitik killerin mimetik ornatılması (Craig vd. 1982; Woodland, 1982 ve 1985) ve metamorfizma sırasındaki deformasyon (Attlewell ve Taylor, 1969; Weber, 1981) gibi çeşitli köken ve mekanizmalar ile birlikte, detritik mikalardan itibaren geliştiği de belirtilmektedir (Voll, 1960; Beutner, 1978; Roy, 1978; Van der Pluijm ve Kaars-Sijpesteijn, 1984; White vd. 1985; Dimberline, 1986; Morad, 1986; Piqué ve Wybrecht, 1987; Milodowski ve Zalasiewicz, 1991).

Bu çalışmada; Türkiye'nin jeolojik evrim ve köken açısından en tartışmalı tektonik birliklerinden birisi olan Karakaya Karmaşığı'na ait farklı tektonik konum ve evrimleri yansıtan birimlerdeki (meta)klastik kayaçlara ait illit/muskovit ve kloritlerin kimyasal bileşimlerinden itibaren ortamın basınç (P) ve sıcaklık (T) koşullarının belirlenmesi ve sonuçta köken kayaç ve diyajenez/metamorfizma derecesinin mineral kimyasına etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

BÖLGESEL JEOLJİ

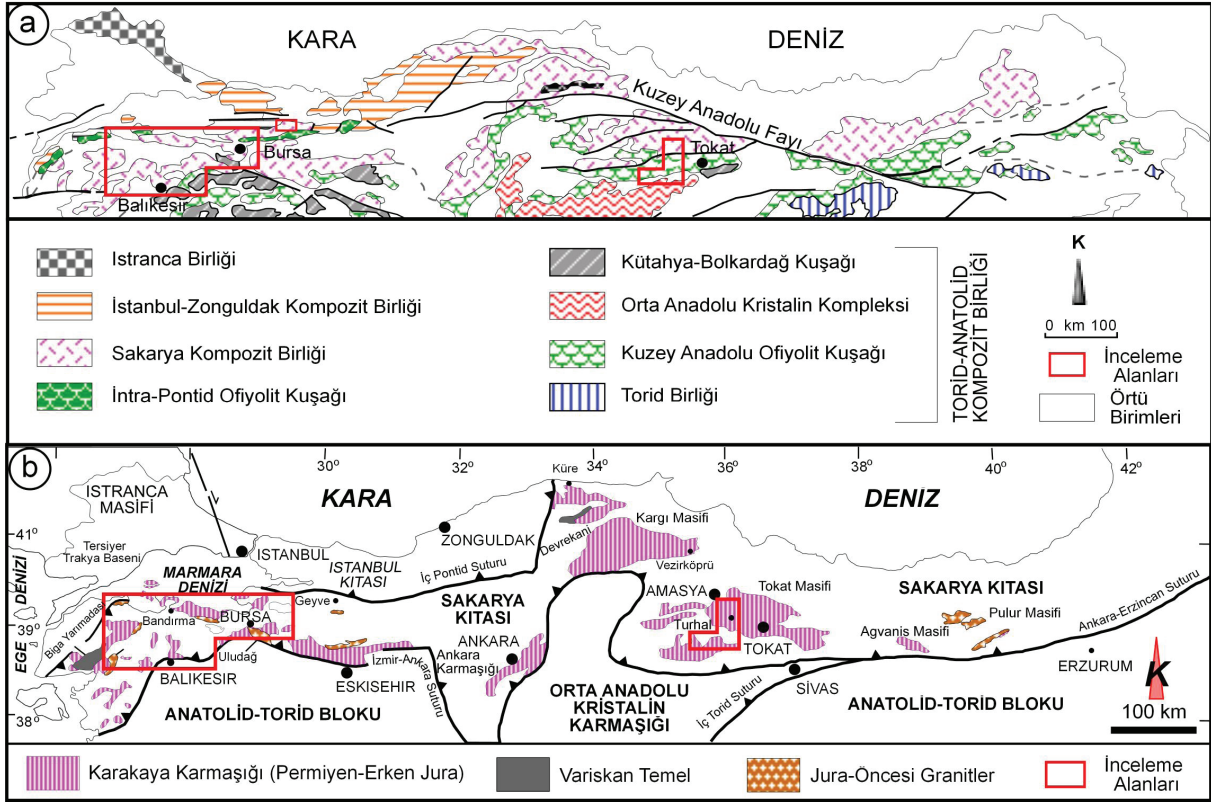
Karakaya Karmaşığı (Bingöl vd. 1975); Sakarya Tektonik Birliği (Göncüoğlu ve diğ., 1997) içerisinde Jura-Öncesi Paleotetis Okyanusu'nun kapanmasıyla ilişkili ortamların kalıntılarını temsil eden birimlerden (Tekeli, 1981) oluşmaktadır (Şekil 1).

Karakaya Karmaşığı'nın çökme ortamı ve tektonik evrimi tartışmalı olup, üç farklı model önerilmektedir:

(a) Kıtasal rift (Bingöl vd. 1975; Akyürek vd. 1984; Altın ve Koçyiğit 1993; Genç ve Yılmaz 1995),

(b) Dalma batma-yığışım prizması (Tekeli 1981; Şengör vd. 1980, 1984; Robertson ve Dixon 1984; Stampfli, 2000),

(c) Bu iki modelin (kıtasal rift ve dalma batma-yığışım prizması) kombinasyonu (Göncüoğlu vd. 2000; Sayıt ve Göncüoğlu 2009, 2013; Sayıt vd. 2011). Bu modelde daha ayrıntıya inilerek Alt Karakaya-Alt Bölümü için dalma batma, Alt Karakaya-Üst Bölümü için yığışım prizması, Üst Karakaya için kıtasal rift modeli de önerilmektedir (Şekil 2, Tetiker vd. 2015).



Şekil 1. a) İncelenen alanlarının Türkiye'nin Alpin Birlikleri içindeki yeri (Göncüoğlu vd. 1997), b) Karakaya Karmaşığı ve ilgili birimlerin dağılımını gösteren Kuzey Anadolu'nun tektonik haritası (Okay ve Göncüoğlu, 2004).

Figure 1. The location of study areas in the Alpin Terraeans of Turkey (Göncüoğlu et al., 1997), b) Tectonic map of Northern Anatolia showing the distribution of Karakaya Complex and related units (Okay and Göncüoğlu, 2004).



Şekil 2. Karakaya Kompleksi birimlerinin tektonik konumları (Tetiker vd. 2015'den düzenlenmiştir) ve incelenen örneklerin birimlere göre dağılımı.

Figure 2. Tectonic positions of the Karakaya Complex units (modified from Tetiker et al., 2015) and distributions of the studied samples.

STRATİGRAFİ VE LİTOLOJİ

Karakaya Karmaşığı Sakarya Tektonik Birliği (Göncüoğlu vd. 1997) içerisinde Jura-Öncesi Paleotetis Okyanusu'nun kapanmasıyla ilişkili ortamların kalıntılarını temsil eden birimlerden oluşmaktadır (Tekeli, 1981). Permo-Triyas yaşlı Karakaya Karmaşığı birimleri farklı jeolojik tarihçelere sahip Alt Karakaya Karmaşığı (AKK) ve Üst Karakaya Karmaşığı (ÜKK) birimleri şeklinde iki bölüme ayrılmaktadır (Okay ve Göncüoğlu, 2004).

İnceleme alanı olarak seçilen yerlerden biri olan Kuzey Batı (KB) Anadolu'da Karakaya Karmaşığı'nı oluşturan Liyas öncesi yaşlı birimler farklı fasiyes, jeotektonik konum ve kayaç türleriyle temsil edilen formasyon düzeyinde dört tektonostratigrafik birimden oluşmaktadır (Okay vd. 1990): Bunlar Nilüfer Birimi (Alt Karakaya Karmaşığı), Hodul Birimi, Orhanlar Grovakı ve Çal Birimi (Üst Karakaya Karmaşığı). Sakarya Zonu'nda Karakaya Karmaşığı öncesi birimleri; tektonik uyumsuzlukla üzerlenen Kazdağ Grubu (Bingöl vd. 1975), metasedimanter Kalabak

Formasyonu (Krushensky vd. 1980, Çamlık Metagranodiyoriti (Okay vd. 1990) ve Manyas Grubu (Okay vd. 1990); Karakaya Karmaşığı sonrası birimleri ise Liyas yaşlı Bayırköy Formasyonu (Altınlı, 1975), Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Bilecik Kireçtaşı (Granit ve Tintant, 1960), oldukça sınırlı bir yayılımı olan Orta Kretase yaşlı Vezirhan Formasyonu (Eroskay, 1965) ve Üst Kretase yaşlı Gölpazarı Grubu (Altınlı, 1975; Saner, 1978) temsil etmektedir.

Tokat yöresinde Sakarya Kıtası, temeli temsil eden Permo-Triyas yaşlı Karakaya Karmaşığı (Tüysüz vd. 1990) ve üzerinde uyumsuzlukla yer alan Liyas ve daha genç yaşlı örtü birimlerinden oluşmaktadır. Bu bölgede temeli oluşturan Liyas öncesi düşük dereceli metavolkanik-sedimanter kayaçlarla temsil edilen Tokat Masifi (Blumenthal, 1950); metamorfik özellikte Turhal Metamorfitleri (Gökçe, 1983) (Alt Karakaya Karmaşığı) ve bloklu Devecidağ Karışığı (Özcan vd. 1980; Yılmaz, 1980, 1982a, b) (Üst Karakaya Karmaşığı) olmak üzere farklı fasiyes-jeotektonik ortamı temsil eden konum ve kayaç türlerine sahip iki birimden oluşmaktadır.

Metasedimanter ve metabazik kayaçlardan oluşan AKK birimlerinin (Nilüfer birimi/Turhal metamorfite); mavişist (dalma-batma ortamı) ve yeşilşist (yığışım prizması ortamı) fasiyeslerine karşılık gelen kesimleri alt ve üst birimler olmak üzere iki alt bölüme ayrılmıştır (AKK-AB ve AKK-ÜB) (Şekil 2, Tetiker vd. 2015). Alt yeşilşist-yüksek dereceli diyajenetik fasiyesteki (genişlemeli ortam) ÜKK birimleri ise kumtaşı ve şeyl (Hodul ve Orhanlar birimleri), (meta) sedimanter ve (meta)volkanik (Çal birimi ve Devecidağ karışığı) litolojilerden oluşmaktadır (Tetiker ve diğ., 2015).

KB Anadolu'da Nilüfer Birimi ve Orta KD Anadolu'da Turhal Metamorfite AKK birimlerini temsil eden ve Alt Bölüm olarak tanımlanan mavişist metamorfizmasına sahip glokofan fillit ve şist; Üst Bölümü ise yeşilşist fasiyesine sahip fillit, sleyt, metabazalt, metatüf, metagabro, metadiyabaz, mermer ve metakumtaşı türü litolojilere sahip kayaçlardan oluşmaktadır. ÜKK birimleri KB Anadolu'da Hodul, Orhanlar, Çal; Orta KD Anadolu'da Devecidağ Karışığı psamitik (kumtaşı, siltaşı), pelitik (çamurtaşı, şeyl), volkanik (spilitik bazalt) ve karbonat (dolomit, kireçtaşı, killi kireçtaşı) türü kayaçlarla ile temsil edilmektedir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada Karakaya Karmaşığı'nı kapsayan farklı bölgelere ait, stratigrafik konumu, mineralojik ve petrografik incelemeleri daha önce yapılmış (Tetiker vd. 2009a,b, 2015) çok sayıda örnek arasından 2 adet Batı ve 2 adet Orta KD Anadolu yüzleklerinden seçilen toplam 4 adet kayaç örneğinde mineral kimyası (enerji yayılım spektrometresi-EDS ve elektron mikroprop-EPMA) incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Mineral kimyası incelemeleri öncesinde örnekler üzerinde optik ve elektron mikroskop incelemeleri gerçekleştirilmiş ve analizi yapılacak minerallerin kökeni (detritik, otijenik/neoforme vb.) belirlenmiştir.

Seçilen örneklerden TKK-2 ve 62 Orta KD Anadolu bölgesi AKK birimi Turhal metamorfite (Karakaya melanji alt yeşilşist fasiyesi metamorfizmasını), HKK-157 ve NKK-86 nolu örnekler ise sırasıyla KB Anadolu ÜKK birimlerinden Hodul ve Orhanlar birimlerini (Karakaya rifti) temsil etmektedir (Şekil 2).

Elektron mikroskop incelemeleri, Georgia Üniversitesi Ultrayapı Araştırma Merkezinde (Centre of Advanced Ultrastructural Research-CAUR) Oxford INCA EDS sistemine sahip ZEISS marka 1450EP model Environmental Taramalı Elektron Mikroskopunda (ESEM) gerçekleştirilmiştir. Aletsel koşullar 20 kV, 250 pA prop size olarak düzenlenmiştir. Üç boyutlu morfolojik görüntü incelemeleri 1 cm³ boyutunda gelişigüzel kırılarak karbon kaplanmış örneklerde elektron mikroskop-ikincil elektron görüntü (SEM-SE) yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Minerallerin tanımlanmasında yarı-nicel enerji yayılım spektroskopisi-EDS analizleri ile elde edilen mineral kimyası verilerinden de yararlanılmıştır. İki boyutlu doku ve mineral kimyası incelemeleri için örnekler Georgia Üniversitesi Jeoloji Bölümü kayaç ve kesit laboratuvarında kayaç dilimleri kesilerek bir yüzü parlatılmış ve karbon kaplanarak analizlere hazır duruma getirilmiştir. İlk aşamada parlatılmış kesitlerde geri saçınımlı elektron mikroskop görüntüleri (BSE) ile mineral tanımlama ve dokusal ilişkiler incelenmiş, daha sonra uygun nokta ve alanlarda EDS analizleri yapılmıştır. Gerek duyulduğunda element dağılımlarının belirlenmesi amacıyla X-ışınları element haritaları çıkarılmıştır.

Elektron mikroprob analizleri (Electron Micro Probe-EMP) Georgia Üniversitesi Jeoloji Bölümü Elektron Mikroskop Laboratuvarı'nda JEOL 8600 model electron mikroprob cihazında gerçekleştirilmiştir. Aletsel koşullar 15 kV accelerating voltaj 15 nA beam current olarak alınmıştır. Kantitatif analizler Bruker Quantax EDS analiz sistemi kontrollü Bruker 5010 model Silicon Drift Detector (SDD) enerji yayılım

X-ışınları (EDS) dedektörüyle gerçekleştirilmiştir. Mineral kimyası analizleri Advanced Microbeam Inc. Electronics and Probe for EMP yazılımı otomasyonunda dalga boyu yayılım spektrometresiyle (WDS) doğal ve sentetik standartlarla kalibre edildikten sonra yapılmıştır. Analizler Armstrong (1988, 1995) Phi-Rho-Z düzeltme modeli kullanılarak hesaplanmıştır.

Bu çalışma kapsamında 168 EDS ve 27 EMP olmak üzere toplam 195 adet mineral kimyası analizleri yapılmıştır. Aynı örnekler üzerinde gerçekleştirilen EDS ve EMP ölçümlerinden itibaren, yarı kantitatif EDS verilerinin EMP verilerine dönüştürülmesi için Bozkaya ve Yalçın, (2017) tarafından belirlenen kalibrasyon eşitlikleri kullanılmıştır (Çizelge 1).

XRD çözümlenmeleri Rigaku marka Miniflex-2 model X-ışınları difraktometresinde (Anot = Cu ($CuK\alpha=1.541871 \text{ \AA}$), Filtre = Ni, gerilim = 35 kV, akım = 15 mA, gonyometre hızı = 1 veya 2°/dak., kağıthızı = 2cm/dak., zaman sabiti = 1 sn, yarıklar = 1° 0.15 mm 1° 0.30 mm, kağıt aralığı = 2° = 5-35° ve 4-30°) yapılmıştır. Birimlerden alınan örneklerin tümkayaç ve kil boyu bileşenleri (< 2 µm) tanımlanmış ve yarı nicel yüzdeleri de dış standart yöntemi (Brindley, 1980; Yalçın ve Bozkaya, 2002) esas alınarak hesaplanmıştır. (001) bazal yansımalarına göre tanımlanması yapılan kil minerallerinin ayırma işlemi genel hatlarıyla kimyasal çözme (kil-dışı fraksiyonun uzaklaştırılması), santrifüjleme (Rotina 380 model

5000 devir/dk hıza ve 250 cc kapasiteli polietilen kode) – dekantasyon/dinlendirme – yıkama - süspansiyonlama – sedimantasyon - sifonlama - şişelemeden oluşmaktadır. Kil fraksiyonu difraktogramları normal-N (havada kurutulmuş), glikolleme-EG (60 °C de 16 saat desikatörde etilen glikol buharında bırakma) ve fırınlama-F (490 °C de 4 saat fırında ısıtma) işlemlerinden geçirilerek elde edilmiştir.

PETROGRAFI

Optik Mikroskop İncelemeleri

Karakaya Karmaşığı birimlerinde mineral kimyası incelemesi yapılan kayaç örneklerinin petrografik özellikleri Çizelge 2’de sunulmuştur.

Tokat yöresinde Alt Karakaya birimlerini temsil eden Turhal Metamorfittleri kırıntılı kayaçlarında yaygın olarak mika ve kloritlerin oluşturduğu istif yapıları gözlenmektedir. Subarkoz olarak tanımlanan kayaçlarda biyotit-muskovit (BMS) ve klorit-muskovit (CMS) istifleri, mika minerallerinin yönlenmesi sonucu gelişen yatay düzlemlerle 45-65° arasında değişen açılar yapmaktadır (Şekil 3a-b). Klorit mineralleri ise gözeneklerde ve istiflerde iki farklı özellik sunmaktadır. Gözeneklerde neoformasyon sonucu gelişmiş klorit mineralleri daha çok optik izotrop gibi boşluk dolguları şeklinde, istiflerde ise levhamsı mavi girişim rengine sahiptir

Çizelge 1. Bazı element oksitlerin EDS verilerinin EMP verilerine kalibrasyon eşitlikleri.

Table 1. Calibration equations of some element oxides from EDS to EMP values.

Oksitler	EDS (x) den EMP (y)’e kalibrasyon eşitliği	r ²
SiO ₂	$y = 0.992x - 1.978$	0.97
Al ₂ O ₃	$y = 1.081x - 0.459$	0.91
FeO	$y = 1.009x - 0.141$	0.98
MgO	$y = 1.020x + 0.308$	0.95
K ₂ O	$y = 0.887x + 0.174$	0.93

Çizelge 2. Karakaya Karmaşığı birimlerinde istifçeren kayaçların petrografik özellikleri (Qz=Kuvars, Pl=Plajiyoklaz, Or=Ortoklaz, Ms=Muskovit, Bt=Biyotit, Ser=Serizit, Om=Opak mineral, Zrn=Zirkon, Ep=Epidot, Cal=Kalsit, Ap=Apatit, Tur=Turmalin, Ps=Fillosilikat, BM=Bağlayıcı malzeme).

Table 2. Petrographic features of stack-bearing rocks in the units of Karakaya Complex (Qz=Quartz, Pl=Plagioclase, Or=Ortoclase, Ms=Muscovite, Bt=Biotite, Ser=Sericite, Om=Opaque mineral, Zrn=Zircon, Ep=Epidote, Cal=Calcite, Ap=Apatite, Tur=Tourmaline, Ps=Phyllosilicate, BM=Groundmass).

Örnek No (Birim)	Doku	Mineralojik bileşim	BM	Kayaç adı
NKK-86 (Orhanlar)	Psamitik	Qz+Pl+Or+Ms+Bt+Chl+Ser±Opq±Zrn±Ep±Cal±Ap±Tur	Ps	Grovak
HKK-157 (Hodul)	Psamitik	Or+Pl+Qz+Ms+Bt+Cal±Om	Ps+ Cal	Feldispatik litarenit
TKK-2 (Turhal)	Blastopsamitik	Qz+Pl+Or+Ms+Bt+Sr±Zr±Tur±Om±Ep	Ps	Meta-subarkoz
TKK-62 (Turhal)	Blastopsamitik	Qz+Ms+Bt+Pl+Chl+Or+Om	Ps	Meta-kuvars arenit

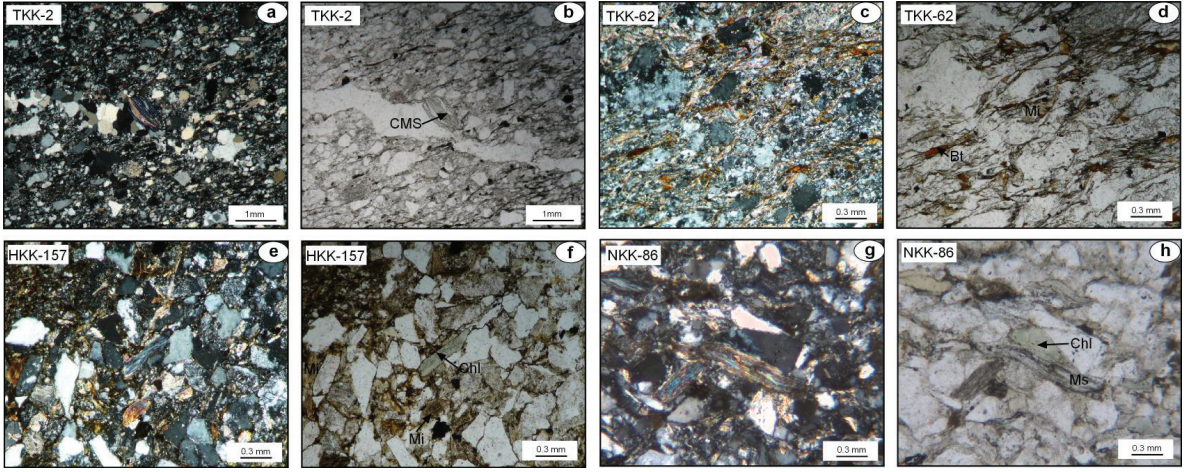
Mikroyönlenme ve bükülme gösteren muskovit, biyotit ve kloritler istif yapılarını oluşturmaktadır. Kuvars arenitte istifler levhamsı/yapraksı yer yer ışınal görünümde olup, bunlar klorit-muskovit (CMS), klorit-biyotit (CBS) ve biyotit-muskovit (BMS) istifleri olmak üzere üç farklı mineralojik bileşime sahiptir (Şekil 3c-d). Kumtaşlarında mika ve kloritlerin oluşturduğu istifler ilksel tabakalanma düzlemi olan S_0 yatay düzlemiyle 5-80° arasında değişen açılar meydana getirmektedir. İstifler kendi içerisinde birbirine paralel ve/veya bazen de birbirini kesen konumda gözlenmektedir.

KB Anadolu'da Üst Karakaya Karmaşığı'nı temsil eden Orhanlar Birimi'nde matriksteki muskovit ve klorit mineralleri levhamsı görünümde olup, yönlenme ve bükülme göstermektedir (Şekil 3e-f). Hodul Birimi'nde Muskovit ve biyotit mineralleri uzun levhamsı ve bir yönde uzamış gözlenmektedir. Bazı biyotit mineralleri ise kalın levhamsı olup, bükülmüş görünümündedir. Matriks içerisinde taneler arasında bulunan yeşil renkli ve levhamsı olarak gözlenen kloritlerde bükülme tipiktir (Şekil 3g-h).

Elektron Mikroskop İncelemeleri

Klastik/metaklastik örneklerde yapılan SEM-SE ve SEM-BSE incelemelerine göre detritik klorit ve muskovitlerin yanı sıra değişik morfoloji ve boyutlarda CMS gözlenmiştir.

Turhal Metamorfitleri'ne ait metakumtaşlarında (TKK-62) illitler gözeneklerde eşboyutlu-tekdüze peteksi-yapraksı biçimlerde gözlenmekte, illitlere eşlik eden I-C'ler ise yapraksı biçimde gözlenmektedir (Şekil 4a-b-c). Kuvarlar trigonal simetriyi yansıtabilecek biçimde yarı özşekilli-özşekilli taneler, muskovitler yapraksı biçimde olup, gözeneklerde otijenik illit ve kloritlerin yanı sıra tüpsü oluşumlar izlenmektedir. EDS analizlerine göre, Si ve Al içeriği yüksek bu oluşumların allofan veya imogolit türü oluşumlar olabileceği düşünülmektedir. Fe-kloritler ince taneli tüpsü-lifsi topluluklar, I-C ler ise lifsi demetler halinde gözlenmektedir (Şekil 4d-e). Fe-kloritler çoğunlukla iri levhamsı/yapraksı muskovitler arasındaki boşluklarda lifsi topluluklar (Şekil 4f-g), kaolinitler ise ince yapraksı biçimdedir (Şekil 4h-i).



Şekil 3. Karakaya Karmaşığı birimlerine ait istif içeren kumtaşı/metakumtaşlarının optik mikroskopik mikrofotoğrafları (CMS=Klorit-muskovit istif, Chl=Klorit, M=Muskovit), a-b-c-d) Turhal Metamorfite, e-f) Hodul Birimi, g-h) Orhanlar Birimi.

Figure 3. The optic microscopic microphotographs of the stack-bearing sandstone/metasandstones of the units from the Karakaya Complex (CMS=Chlorite-muscovite stack, Chl=Chlorite, M=Muscovite), a-b-c-d) Turhal Metamorphites, e-f) Hodul Unit, g-h) Orhanlar Unit.

Biga Yarımadası'ndaki ait Hodul Birimi kumtaşlarındaki (HKK-157) istiflerde ise klorit daha baskındır. Yer yer klorit-biyotit istifleri içeren birimde otijenik olarak klorit ve illitlerin yanı sıra ince-bantlı I-C aratabakalıları da gözlenmiştir (Şekil 4j-k-l).

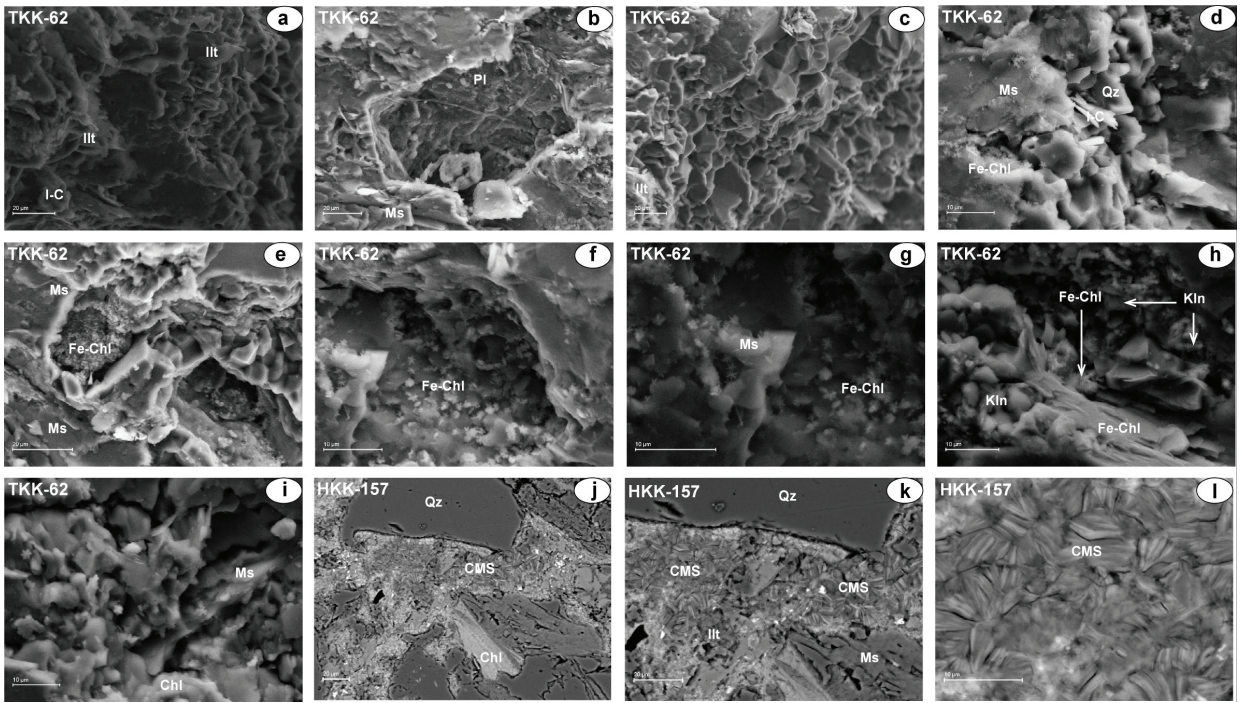
Turhal Metamorfite'nin metakumtaşlarında paragonitler istifler içerisinde klorit ve muskovitlerin {001} düzlemlerine paralel dolgular şeklinde ve uyumsuz veya gelişigüzel konumlu yamacıklar şeklinde de gözlenmektedir (Şekil 5a-b). Bu durum paragonitlerin post-tektonik kökenli olduğuna işaret etmektedir.

Turhal Metamorfite'nin metasilttaşı örneklerindeki CMS'de genellikle klorit baskın olup, yer yer Fe-klorit-Mg-klorit istifleri

gözlenmiştir. Otijenik klorit ve illitler kuvars taneleri arasında gelişmiştir. (Şekil 5c-d).

Biga Yarımadası'ndaki Hodul Birimi kumtaşlarında ince taneli CMS'ler topluluk halinde homojen bir görünüm ve bileşime sahip olup, diyajenetik süreçlerle geliştiği izlenimi uyandırmaktadır (Şekil 5e-f).

Biga bölgesinde yüzeylenen Orhanlar Birimi'ne ait kumtaşı örneğinde kuvars ve feldispat taneleri arasındaki boşluklarda otijenik klorit ve illitler, fillosilikat tane bileşenler olarak muskovit ve CMS gözlenmektedir (Şekil 5g-h). CMS muskovit- ve klorit-bakımından zengin veya eşit oranlarda klorit ve muskovit içermekte olup, yer yer kıvrımlanmış görünüm sergilemektedir.



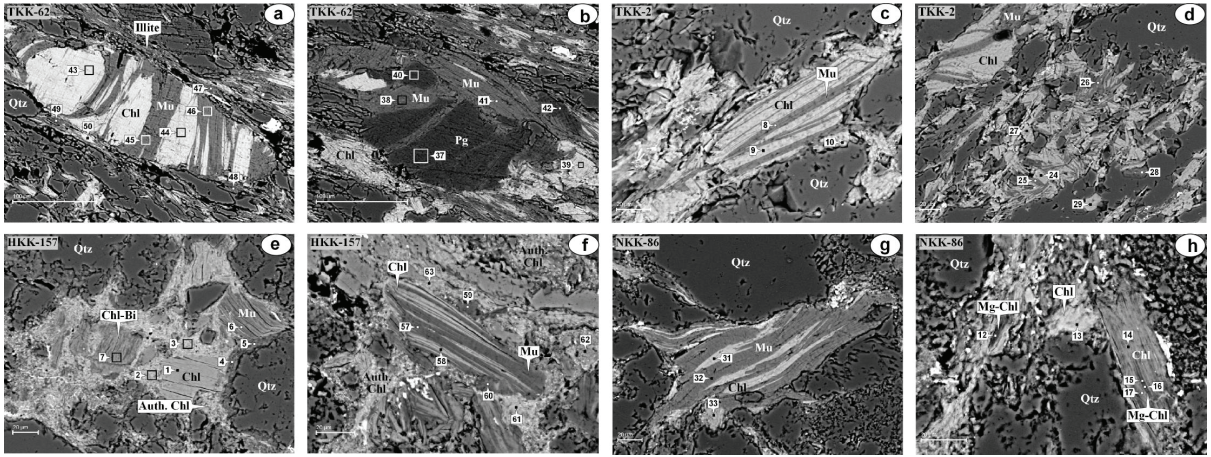
Şekil 4. Karakaya Karmaşığı birimlerine ait istif içeren metakumtaşının SEM mikrofotografı (TKK-62: Turhal Metamorfitleri, HKK-157: Hodul Birimi, CMS=Klorit-Mika istifli, Chl=Klorit, Ms=Muskovit, Illt=İllit, Kln=Kaolinit, I-C=Karışık tabakalı illit-klorit, Qz=Kuvars, Pl=Plajiyoklaz), a) Gözenekte peteksi-yapraksı görünümlü illit ve yapraksı I-C mineralleri, b) Trigonal kuvars, yapraksı muskovitler ve gözenekte Si-Al tüpleri, c) Peteksi-yapraksı illitler, d) Yapraksı muskovit, çubuksu I-C ve tüysü-lifsi Fe-kloritler, e-f) İri yapraksı muskovitler arasındaki boşluklarda Fe-kloritler, g) Muskovit yaprakları ve Fe-klorit lifleri, h) Lifsi-çubuksu Fe-kloritler ve yapraksı kaolinitler, i) Yapraksı muskovitler ve lifsi kloritler, j)-k) Matrikste iri taneli klorit-mika istifleri ve gözeneklerde kloritler, l) Gözeneklerde ince taneli otjenik kloritlerin büyütülmüş görünümü.

Figure 4. The SEM microphotographs of the sticks-bearing metasandstones in the units of the Karakaya Complex (TKK-62: Turhal Metamorfitleri, HKK-157: Hodul Birimi, CMS=Chlorite-mica stack, Chl=Chlorite, Ms=Muscovite, Illt=Illite, Kln=Kaolinite, I-C=Mixed layer illite-chlorite, Qz=Quartz, Pl=Plagioclase), a) Honeycomb-platy illites in the pores and leafy I-C minerals, b) Trigonal quartz, platy muscovites and Si-Al tubes in the pore, c) Honeycomb-platy illites, d) Platy muscovite, rod-like I-C and hairy-fibrous Fe-chlorites, e) Fe-chlorites in the pores among coarse and platy muscovites, g) Muscovite plates and Fe-chlorite fibers, h) Fibrous-rod-like Fe-chlorites and platy kaolinites, l) Platy muscovites and fibrous chlorites, j-k) Coarse grained chlorite-mica stacks in the matrix and chlorites in the pores, l) Magnified view of fine grained and authigenic chlorites.

X-IŞINI MİNERALJİSİ

Karakaya Karmaşığı birimlerinde kumtaşlarından alınan örneklerin kayaç oluşturan minerallerin XRD-TK ve KF çözümü sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir.

Turhal Metamorfitlerine ait metakumtaş örneklerine ait XRD-TK sonuçlarına göre kuvars, feldispat ve fillosilikat mineralleri bulunmuştur (Şekil 6a-b). Hodul ve Orhanlar birimlerinde kumtaş parajenezini kuvars, feldispat, fillosilikat ve kalsit oluşturmaktadır (Şekil 6c-d).



Şekil 5. Karakaya Karmaşığı birimlerine ait istif içeren metakumtaşlarının BSE mikrofotografaları (TKK-62 ve TKK-2: Turhal Metamorfitle, HKK-157: Hodul Birimi, NKK-86: Orhanlar Birimi, Rakamlar: EDS analiz yapılan noktalar, Chl=Klorit, Mu=Muskovit, Bi=Biyotit, Ill=İllit, Pg=Paragonit, Qtz=Kuvars, Auth-Chl=Otijenik klorit), a) Klorit-muskovit istifi ve illit levhaları, b) Muskovit-paragonit istifi ve klorit levhaları, c-d) Klorit-muskovit istifi ve klorit levhaları, e-f) Klorit-biyotit istifi, klorit ve muskovit levhaları, otijenik klorit, g) Klorit-muskovit istifi, h) Klorit ve Mg-klorit levhaları.

Figure 5. The BSE microphotographs of the stack-bearing metasediments in the units of the Karakaya Complex (TKK-62 ve TKK-2: Turhal Metamorphites, HKK-157: Hodul Unit, NKK-86: Orhanlar Unit, Numbers: EDS analysis points, Chl=Chlorite, Mu=Muscovite, Bi=Biotite, Ill=Illite, Pg=Paragonite, Qtz=Quartz, Auth-Chl= authigenic chlorite), a) Chlorite-muscovite stack and illite plates, b) Muscovite-paragonite stack and chlorite plates, c-d) Chlorite-muscovite stack and chlorite plates, e-f) Chlorite-biotite stack, chlorite and muscovite plates, authigenic chlorite, g) Chlorite-muscovite stack, h) Chlorite and Mg-chlorite plates.

Turhal Metamorfitlelerine ait metakumtaşlarının kil fraksiyonunda ise illit ve klorit parajenezine paragonit mineralleri eşlik etmektedir (Şekil 7a-b). Kloritte (001) yansımasının şiddeti, (002) pikine göre daha düşük olarak gözlenmektedir. Paragonit minerali; (001) yüzeyinin 9.62 Å yansımasından ziyade, (002) ve (003) yüzeylerindeki sırasıyla 4.86 Å ve 3.22 Å değerleri ile illitten kolaylıkla ayırt edilmektedir. Hodul ve Orhanlar birimlerindeki kumtaşlarında fillosilikat parajenezini ise illit, klorit ve karışık tabakalı C-V minerali temsil etmektedir (Şekil 7c-d). C-V mineralinde yalnızca fırınlı çekimde gözlenen (001) piki (16.32 Å)

gözlenmekte; fırınlı çekimdeki (003) yansıması (C_{002}/V_{003}) 9.37 Å'a karşılık gelmektedir.

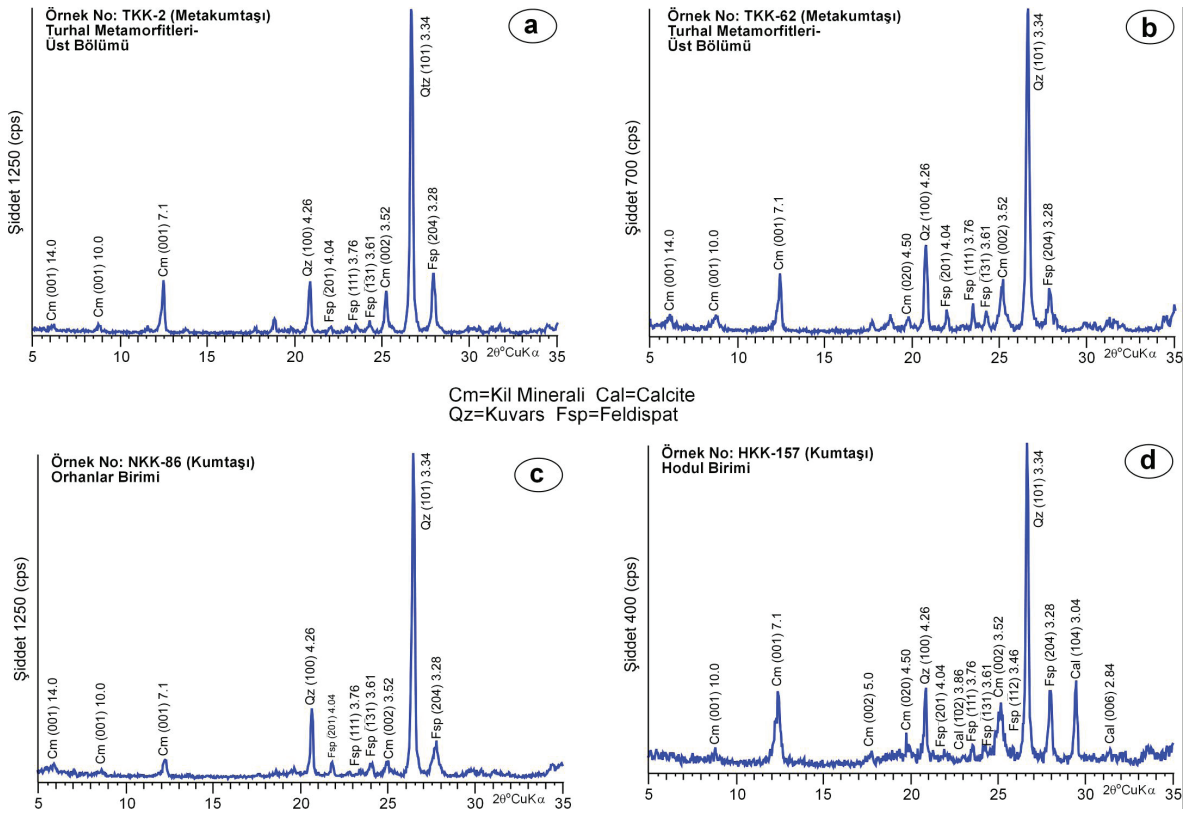
JEOKİMYA

Karakaya Karmaşığı klastik-metaklastik kayaçlarındaki fillosilikatların EDS ve EMP analiz sonuçları Çizelge 4 ve 5'de verilmiştir. Klorit-muskovit istiflerini oluşturan kloritlerde 49, otijenik kloritlerde 31 adet EDS ve istiflerdeki kloritlerde 17 adet olmak üzere toplam 97 adet nokta ve alan analizi gerçekleştirilmiş ve yapısal formülleri hesaplanmıştır.

Çizelge 3. Karakaya Karmaşığı birimlerinde istif içeren kayaçların XRD-TK ve -KF sonuçları (%) (Cal=Kalsit, Qz=Kuvars, Fsp=Feldispat, Ps=Fillosilikat, İlt=İllit, Chl=Klorit, C-V=Karışık tabakalı klorit-vermikülit, I-C=Karışık tabakalı illit-klorit).

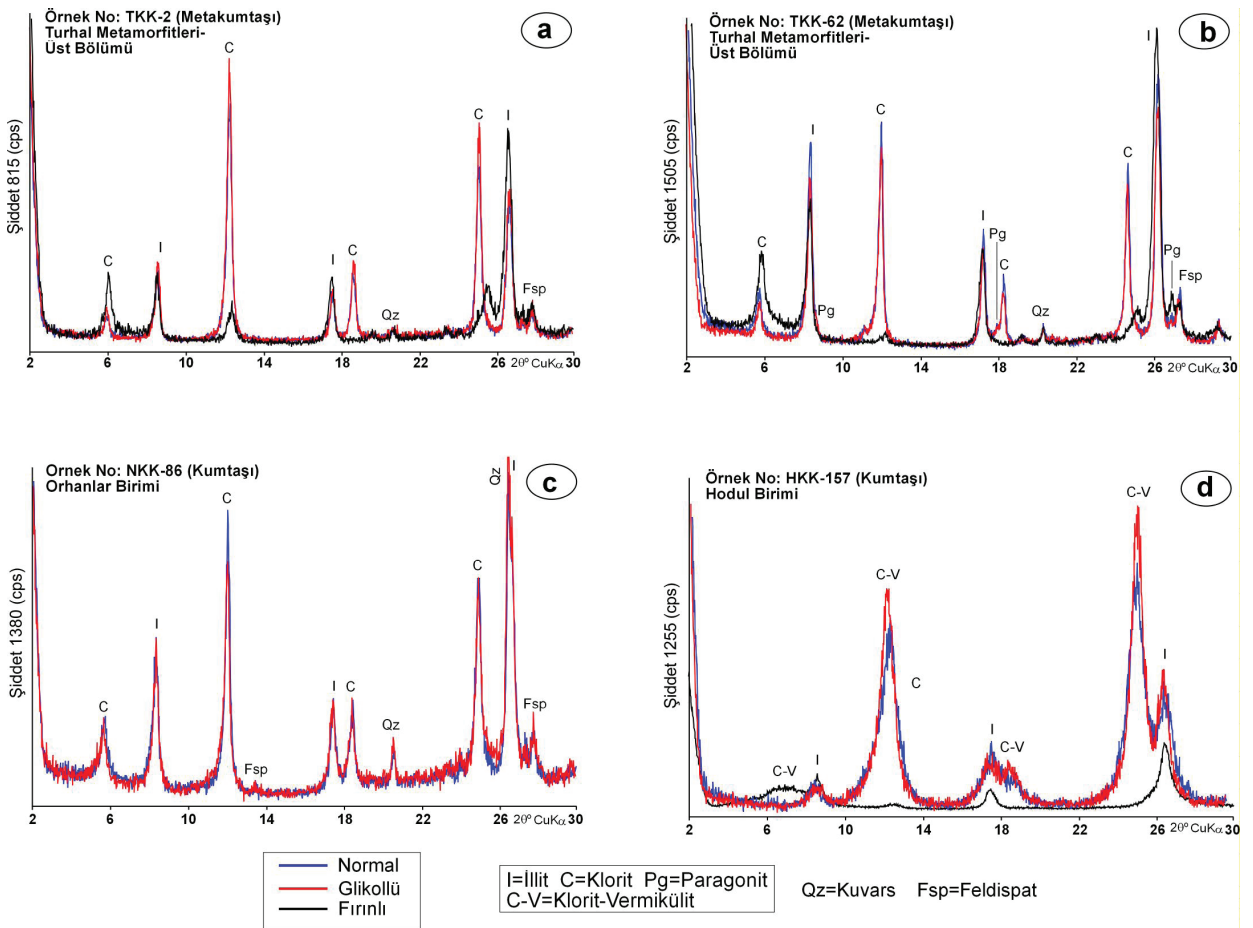
Table 3. XRD-WR and CF results of stack-bearing rocks in the units of Karakaya Complex (%) (Cal=Calcite, Qz=Quartz, Fsp=Feldspar, Ps=Phyllosilicate, İlt=Illite, Chl=Chlorite, C-V=Mixed layer chlorite-vermiculite, I-C= Mixed layer illite-chlorite).

Birim	Örnek No	Tüm kayaç				Kil Fraksiyonu				Kayaç Adı
		Cal	Qz	Fsp	Ps	İlt	Chl	C-V	I-C	
Hodul	HKK-157	7	26	22	45	47	44	9		Kumtaşı
Orhanlar	NKK-86		52	21	27	42	29	29		Kumtaşı
Turhal	TKK-2		51	34	15	50	50			Metakumtaşı
Metamorfileri	TKK-62		39	20	41	64	30		6	Metakumtaşı



Şekil 6. Karakaya Karmaşığı birimlerine ait istif içeren kumtaşı/metakumtaşlarının XRD-TK difraktogramları, a-b) Turhal Metamorfileri, c) Orhanlar Birimi, d) Hodul Birimi,

Figure 6. The XRD-WR diffractograms of the stack-bearing sandstone/metasandstones of the units from the Karakaya Complex, a-b) Turhal Metamorphites, c) Orhanlar unit, d) Hodul Unit.



Şekil 7. Karakaya Karmaşığı birimlerine ait istif içeren kumtaşı/metakumtaşlarının XRD-KF difraktogramları, a-b) Turhal Metamorfittleri, c) Orhanlar Birimi, d) Hodul Birimi.

Figure 7. The XRD-CF diffractograms of the stack-bearing sandstone/metasandstones of the units from the Karakaya Complex, a-b) Turhal Metamorphites, c) Orhanlar Unit, d) Hodul Unit.

Kloritlere ait analiz verileri çeşitli değişim diyagramlarında değerlendirilmiştir. Si-R²⁺ diyagramında kloritler klinoklor-sudoyit arasında klinoklor bileşimine yakın konumda kümelenmektedir (Şekil 8a). Kloritlerin sıcaklık eğrilerine göre dağılımları incelendiğinde; anki-epimetamorfik TKK-6 ve 62 nolu örneklerdeki (Turhal metamorfittleri) kloritler 250-400°C arasında, yüksek diyajenetik HKK-157 ve NKK-86 nolu örneklerdeki (Hodul ve Orhanlar birimleri) 150-250 °C arasında yoğunlaşmaktadır. Otijenik kökenli kloritler, istiflerdeki (detritik) kloritlere göre daha düşük sıcaklık koşullarını

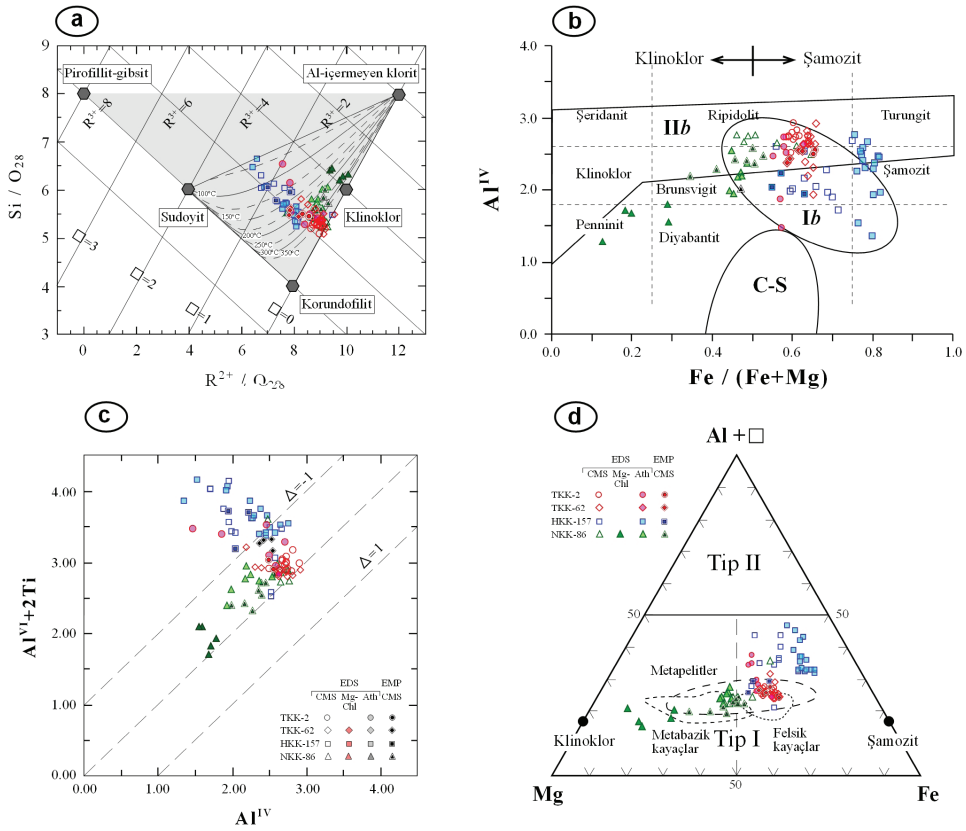
işaret etmekle birlikte, her iki tip kloritler için benzer sıcaklık koşulları da söz konusudur. Foster (1962) diyagramında klorit-muskovit istiflerindeki kloritler brunsvigit-diyabantit, otijenik kloritler Fe içeriğinin daha yüksek olduğu şamozit-diyabantit bileşimini yansıtmaktadır (Şekil 8b). Hodul birimindeki kloritler diğerlerinden farklı olarak büyük ölçüde şamozitik bileşime sahiptir. Al^{VI}-Al^{IV} diyagramında otijenik kloritlerde Al^{VI} artmakta, Al^{IV} azalmaktadır (Şekil 8c). Kloritler; oktahedral Al-Mg-Fe diyagramında klinoklor ile şamozit arasında geniş bir Mg ve Fe dağılımına sahiptir (Şekil 8d). Klinoklor bileşimli kloritler

Orhanlar Birimi'yle sınırlıdır. Kökensel olarak değerlendirildiğinde Orhanlar Birimi metabazik, diğerleri ise metapelit ve felsik magmatik kökeni temsil etmektedir.

Çizelge 4. Karakaya Karmaşığı kloritlerinin EDS ve EMP analiz sonuçları ve yapısal formülleri (*=Ölçüm sayısı, **=Bourdelle ve diğ. (2013) yönteminden hesaplanmıştır. SFeO=Toplam Fe⁺², T.Y.=Tetrahedral yük, O.Y.=Oktahedral yük, T.O.K.=Toplam oktahedral katyon, Y.A.Y.=Yapraklar arası yük, T.Y.Y.=Toplam yaprak yükü, XFe=Fe/(Fe+Mg), CMS=Klorit-mika istifleri, Aut-C=Otijenik klorit, Mg-C=Mg-klorit, Cr-C=Cr-klorit).

Table 4. The results of EDS and EMP analysis and structural formulas of chlorites from Karakaya Complex (*=Number of measurements, **=Calculated from Bourdelle et al. (2013) method, SFeO=Total Fe⁺², T.Y.=Tetrahedral charge, O.Y.=Octahedral charge, T.O.K.=Total octahedral cation, Y.A.Y.=Interlayer charge, T.Y.Y.=Total layer charge, XFe=Fe/(Fe+Mg), CMS=Chlorite-mica stacks, AUT=Authigenic chlorite, Mg-C=Mg-chlorite, Cr-C=Cr-chlorite).

	EDS			EMP			EDS			EMP			EDS			EMP		
	TKK-2 CMS (12)*	TKK-2 Aut-C (6)	TKK-2 CMS (2)	TKK- 62 CMS (13)	TKK- 62 Aut-C (2)	TKK- 62 Mg-C (1)	TKK- 62 Cr-C (1)	TKK- 62 CMS (4)	NKK- 86 CMS (7)	NKK- 86 Aut-C (7)	NKK- 86 Mg-C (5)	NKK- 86 CMS (6)	NKK- 86 Mg-C (2)	HKK- 157 CMS (10)	HKK- 157 Aut-C (16)	HKK- 157 CMS (3)		
SiO ₂	27.81	31.11	24.89	28.06	28.89	30.23	29.90	25.25	28.68	31.79	36.84	26.49	27.95	31.38	30.10	28.09		
TiO ₂	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.22	0.06	0.00	0.00	0.72		
Al ₂ O ₃	25.62	25.53	21.15	24.54	24.06	23.36	23.34	22.19	25.67	22.97	17.74	19.53	18.67	25.80	26.42	21.62		
ΣFeO	34.00	30.47	31.06	35.31	32.11	24.90	34.33	27.12	30.38	27.21	14.57	25.30	20.80	33.00	37.56	25.33		
MnO	0.21	0.08	0.35	0.89	0.70	0.44	0.67	0.46	0.11	0.14	0.00	0.26	0.24	0.00	0.00	0.15		
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.59	0.00	0.00	0.00	1.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
MgO	12.36	12.75	9.27	11.20	14.06	21.07	10.37	9.98	14.99	17.77	29.67	14.77	19.23	9.69	5.69	10.26		
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.08	0.00	0.14	0.14	0.00	0.00	0.52		
Na ₂ O	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.09	0.01		
K ₂ O	0.00	0.06	0.00	0.00	0.18	0.00	0.79	0.13	0.16	0.04	0.00	0.00	0.00	0.13	0.13	0.06		
Toplam	100.00	100.00	86.76	100.00	100.00	100.00	100.00	85.22	100.00	100.00	100.00	86.82	87.08	100.00	100.00	86.78		
Si	5.26	5.73	5.47	5.36	5.43	5.48	5.69	5.53	5.33	5.79	6.33	5.64	5.78	5.83	5.73	5.93		
Al ^{IV}	2.74	2.27	2.53	2.64	2.57	2.52	2.31	2.47	2.67	2.21	1.67	2.36	2.22	2.17	2.27	2.07		
T.Y.	2.74	2.27	2.53	2.64	2.57	2.52	2.31	2.47	2.67	2.21	1.67	2.36	2.22	2.17	2.27	2.07		
Al ^{VI}	2.98	3.28	2.96	2.89	2.77	2.48	2.93	3.26	2.95	2.73	1.93	2.54	2.33	3.49	3.66	3.30		
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01	0.00	0.00	0.11		
Fe ²⁺	5.38	4.70	5.71	5.65	5.06	3.78	5.47	4.97	4.73	4.15	2.11	4.51	3.60	5.15	5.99	4.47		
Mn	0.03	0.01	0.03	0.14	0.11	0.07	0.11	0.03	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.03		
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
Mg	3.49	3.50	3.04	3.19	3.93	5.70	2.94	3.26	4.15	4.83	7.59	4.69	5.93	2.69	1.62	3.23		
O.Y.	-2.74	-2.26	-2.44	-2.64	-2.52	-2.52	-1.85	-2.30	-2.63	-2.17	-1.18	-2.20	-2.11	-2.14	-2.21	-1.82		
T.O.K.	11.88	11.49	11.74	11.87	11.88	12.02	11.54	11.52	11.84	11.72	11.79	11.79	11.88	11.32	11.27	11.14		
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.03	0.03	0.00	0.00	0.12		
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.03	0.01		
K	0.00	0.01	0.00	0.00	0.04	0.00	0.19	0.04	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.02		
Y.A.Y.	0.00	0.01	0.00	0.00	0.04	0.00	0.19	0.07	0.04	0.04	0.00	0.10	0.06	0.03	0.06	0.26		
T.Y.Y.	0.00	0.01	0.09	0.00	0.04	0.00	0.46	0.17	0.04	0.04	0.48	0.16	0.11	0.03	0.06	0.26		
XFe	0.61	0.57	0.65	0.64	0.56	0.40	0.65	0.60	0.54	0.46	0.22	0.49	0.38	0.66	0.79	0.58		
°C**	383	169	271	360	389	-	200	203	347	222	253	377	-	143	146	142		



Şekil 8. Karakaya Karmaşığı birimlerine ait istif içeren kumtaşı/metakumtaşlarındaki klorit minerallerinin bileşimlerindeki katyonlara göre ikili ve üçgen diyagramlardaki konumları, a) $Si/O_{28}-R^{2+}/O_{28}$ (Sınıflandırma: Wiewióra ve Weiss, 1990; sıcaklık eğrileri: Bourdelle ve Cathelineau, 2015), b) Tetrahedral Si-oktahedral $Fe/(Fe+Mg)$ (Sınıflandırma ve I/b politypi alanı: Foster, 1962; I/b politypi alanı: Curtis vd. 1985; şamozit-klinoklor sınırı: Bailey, 1980), c) Oktahedral $Al+2Ti$ -tetrahedral Al (Diyagram: Zane vd. 1998), d) Oktahedral $Al+□-Mg-Fe$ ($□$ =Oktahedral boşluk; Diyagram: Zane ve Weiss, 1998; metapelit, metabazik ve felsik kayaç alanları: Zane vd. 1998).

Figure 8. The settings of chlorite minerals in the stack-bearing sandstone/metasandstones of the units from the Karakaya Complex according to cations in their compositions in the binary and triangular diagrams, a) $Si/O_{28}-R^{2+}/O_{28}$ (classification: Wiewióra and Weiss, 1990; temperature countours: Bourdelle and Cathelineau, 2015), b) Tetrahedral Si-octahedral $Fe/(Fe+Mg)$ (Classification and I/b polytype area: Foster, 1962; I/b polytype area: Curtis et al., 1985; chamosite-clinocllore boundary: Bailey, 1980), c) Octahedral $Al+2Ti$ -tetrahedral Al (Diagram: Zane et al., 1998), d) Octahedral $Al+□-Mg-Fe$ ($□$ =Octahedral vacancy; diagram: Zane and Weiss, 1998; areas of metapelite, metabasic and felsic rocks: Zane et al., 1998).

Karakaya Karmaşığı illit ve muskovitleri üzerinde, CMS'deki muskovitlerde 55, otijenik illitlerde 33 EDS, istifteki muskovitlerde 10 adet EMP olmak üzere toplam 98 adet nokta ve alan analizi yapılmış ve analiz sonuçları çeşitli değişim diyagramlarında değerlendirilmiştir. İllit/muskovitler $Si-Na+K$ ve toplam yapraklararası

katyon- Si/Al_{toplam} diyagramında muskovit-illit-fenjit arasında geniş bir alanda yayılmaktadır (Şekil 9a-c). $Fe+Mg-Al^{IV}-Al^{VI}$ fenjit-muskovit arasında dağılmaktadır (Şekil 9b) Yapraklararası K-Na diyagramında, Hodul ve Orhanlar birimindeki illit/mikalaraın K bakımından zengin oldukları, Turhal metamorfiteğinde ise Na ve

K arasında geniş bir dağılıma sahip olduğu görölmektedir (Şekil 9d). Na içeriğindeki artış, XRD incelemelerinde de belirlenen paragonit ve NaK mikaların varlığından kaynaklanmakta olup, bu minerallerin kimyasal kanıtları niteliğindedir. İllit/muskovitlerin kimyasal bileşimleri genellikle muskovit–fenjit arasında homojen bir dağılım sunmakta, anki-epimetamorfik Turhal

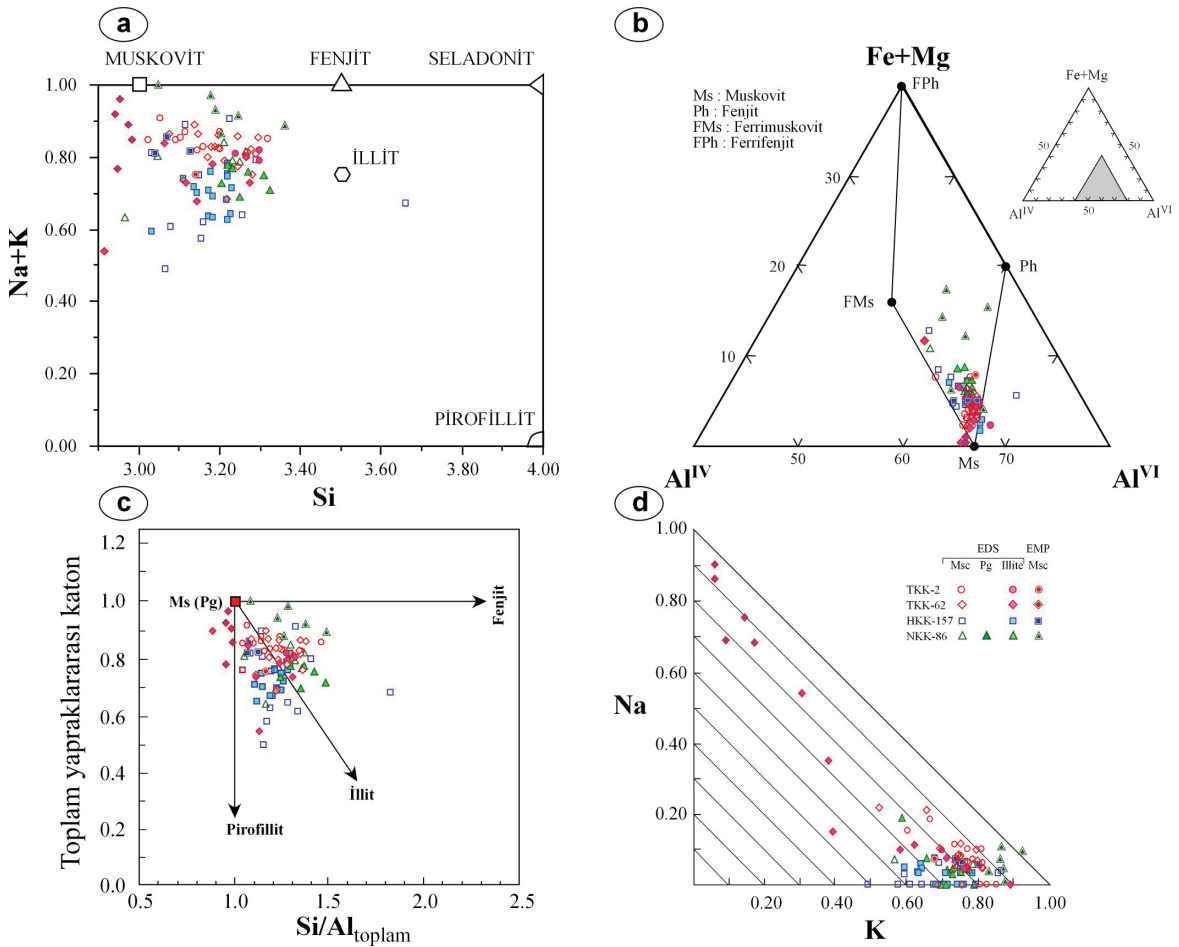
Metamorfiteri örneklerinin muskovit bileşimine daha yakın olduğunu göstermektedir.

Muskovit-fenjit arasında dağılım gösteren K beyaz mikaların Si içeriklerine karşılık gelen basınç değerlerinin belirlendiği diyagramda, 2 kbardan düşük basınç değerlerini (0.5-1.2 kbar) işaret etmektedir (Şekil 10).

Çizelge 5. Karakaya Karmaşığı beyaz mika ve illitlerin EDS ve EMP analiz sonuçları ve yapısal formülleri (*=Ölçüm sayısı, SFeO=Toplam Fe⁺², T.Y.=Tetrahedral yük, O.Y.=Oktaedral yük, T.O.K.=Toplam oktaedral katyon, Y.A.Y.=Yapraklar arası yük, T.Y.Y.=Toplam yaprak yükü, XFe=Fe/(Fe+Mg), Ms=Muskovit, İlt=İllit, Pg=Paragonit).

Table 5. The results of EDS and EMP analysis and structural formulas of white mica and illites from Karakaya Complex (*=Number of measurements, SFeO=Total Fe⁺², T.Y.=Tetrahedral charge, O.Y.=Octahedral charge, T.O.K.=Total octahedral cation, Y.A.Y.=Interlayer charge, T.Y.Y.=Total layer charge, XFe=Fe/(Fe+Mg), Ms=Muscovite, İlt=Illite, Pg=Paragonite).

	EDS		EMP		EDS		EMP		EDS		EMP		
	TKK-2 Ms (13)*	TKK-2 İlt (3)	TKK-2 Ms (1)	TKK-62 Ms (17)	TKK-62 İlt (5)	TKK-62 Ms-pg (2)	TKK-62 Pg (5)	NKK-86 Ms (6)	NKK-86 İlt (8)	NKK-86 Ms (6)	HKK-157 Ms (12)	HKK-157 İlt (17)	HKK-157 Ms (3)
SiO ₂	49.80	52.44	46.77	51.01	49.94	50.31	48.64	49.84	51.60	46.71	49.19	50.53	46.08
TiO ₂	0.00	0.00	0.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.67
Al ₂ O ₃	35.68	34.12	34.08	34.87	34.06	39.07	42.46	34.07	32.54	31.02	34.77	35.53	35.85
ΣFeO	2.52	1.65	2.67	2.15	4.72	1.21	0.47	3.88	3.72	2.96	4.96	3.61	1.19
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38	0.00	0.00	0.00
MgO	1.92	1.93	0.83	2.14	2.91	1.33	0.51	2.75	3.10	1.43	2.33	1.52	0.77
CaO	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.03
Na ₂ O	0.62	0.53	0.56	0.66	0.78	3.74	6.59	0.38	0.43	0.45	0.22	0.20	0.51
K ₂ O	9.46	9.32	7.88	9.17	7.59	4.34	1.33	9.07	8.62	9.93	8.53	8.62	8.92
Toplam	100.00	100.00	93.58	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	93.25	100.00	100.09	94.02
Si	3.14	3.28	3.14	3.20	3.16	3.09	2.96	3.16	3.26	3.20	3.12	3.18	3.07
Al ^{IV}	0.86	0.72	0.86	0.80	0.84	0.91	1.04	0.84	0.74	0.80	0.88	0.82	0.93
T.Y.	0.86	0.72	0.86	0.80	0.84	0.91	1.04	0.84	0.74	0.80	0.88	0.82	0.93
Al ^{VI}	1.80	1.79	1.83	1.78	1.69	1.92	2.01	1.71	1.67	1.71	1.73	1.81	1.89
Ti	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.03
Fe ²⁺	0.13	0.09	0.15	0.11	0.25	0.06	0.02	0.21	0.20	0.17	0.26	0.19	0.07
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
Mg	0.19	0.18	0.08	0.20	0.28	0.12	0.05	0.26	0.29	0.15	0.22	0.14	0.08
O.Y.	-0.02	0.09	-0.11	0.02	-0.14	-0.12	-0.16	-0.06	0.00	0.13	-0.16	-0.11	-0.10
T.O.K.	2.11	2.06	2.10	2.10	2.22	2.10	2.08	2.18	2.16	2.06	2.21	2.15	2.07
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.08	0.06	0.07	0.08	0.10	0.45	0.78	0.05	0.05	0.06	0.03	0.02	0.07
K	0.76	0.74	0.67	0.73	0.61	0.34	0.10	0.73	0.69	0.87	0.69	0.69	0.76
Y.A.Y.	0.84	0.81	0.75	0.82	0.71	0.79	0.88	0.78	0.75	0.93	0.72	0.72	0.83
T.Y.Y.	0.84	0.81	0.75	0.82	0.71	0.79	0.88	0.78	0.75	0.93	0.72	0.72	0.83



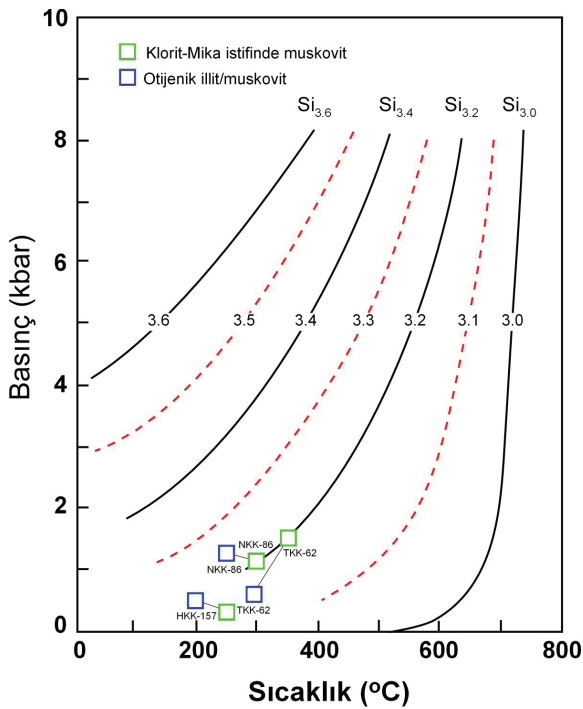
Şekil 9. Karakaya Karmaşığı birimlerine ait istif içeren kumtaşı/metakumtaşılarındaki illit/muskovit minerallerinin bileşimlerdeki katyonlara göre ikili ve üçgen diyagramlarda konumları, a) Yapraklararası Na+K–tetrahedral Si, b) Oktahedral (Fe+Mg)–oktahedral Al^{IV}–tetrahedral Al^{VI}, c) Yapraklararası katyonlar_{toplam}–tetrahedral Si/Al_{toplam}, d) Yapraklararası Na–K.

Figure 9. The settings of illite/muscovite minerals in the stack-bearing sandstone/metasandstones of the units form the Karakaya Complex according to cations in their compositions in the binary and triangular diagrams, a) Interlayer Na+K–tetrahedral Si, b) octahedral (Fe+Mg)–oktahedral Al^{IV}–tetrahedral Al^{VI}, c) Interlayer cations_{total}–tetrahedral Si/Al_{total}, d) Interlayer Na–K.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Alt Karakaya Karmaşığı'nda Turhal Metamorfitleleri'nin üst kesiminde yer alan metaklastik kayalarda (çoğunlukla metakumtaşı, az sleyt) yaygın olarak CMS mineralleri (klorit-muskovit, klorit-biyotit ve biyotit-muskovit) arasında bazı kenetlenme türü dokusal özellikler gözlenmiştir.

Turhal Metamorfitleleri'ndeki CMS'lerde biyotit veya kloritleşmiş biyotitin varlığı; bunların detritik ve/veya volkanik kökenli mikalardan türemiş olabileceğini göstermektedir. Gerilmeli basenlerin karakteristiği olan CMS yapıları (Merriman, 2005); Toros Kuşağı'ndaki birliklerde de saptanmıştır (Bozkaya ve Yalçın, 2000, 2004, 2005; Bozkaya vd. 2002, 2006).



Şekil 10. Karakaya Karmaşığı birimlerine ait istif içeren kumtaşı/metakumtaşlarındaki illit/muskovit minerallerinde tetrahedral Si içeriğine göre basınç-sıcaklık diyagramı (Velde, 1967).

Figure 10. Pressure-temperature diagram (Velde, 1967) according to the content of tetrahedral Si in the illite/muscovite minerals in the stack-bearing sandstone/metasandstones of the units from the Karakaya Complex.

Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- İllit/beyaz mikaların bileşimleri muskovit-illit-fenjit arasında değişmekte, anki-epimetamorfik örneklerde muskovite yakın bileşim sergilemektedir.
- Detritik kökenliler muskovitik ($Si_{ort}=3.15$, $(Na+K)_{ort}=0.81$) ve otijenik kökenliler, illitik ($Si_{ort}=3.22$, $(Na+K)_{ort}=0.74$) bileşime yakındır.
- Açılmalı/genişlemeli basenler için tipik minerallerden paragonit ($Si_{ort}=2.96$, $Na=0.78$, $K=0.10$) ve NaK mikalar ($Si_{ort}=3.09$,

$Na=0.45$, $K=0.34$) Turhal Metamorfileri'nin genişlemeli basen karakterindeki üst bölümünde belirlenmiştir.

- Kloritler bütünüyle trioktahedral olup otijenikler ($Si_{ort}=5.67$, $Fe_{ort}=5.05$) detritiklere ($Si_{ort}=5.56$, $Fe_{ort}=4.80$) göre daha yüksek Si^{IV} , daha düşük Fe^{VI} içeriğine sahiptir.
- ÜKK birimlerinden Hodul Birimi'nde kloritler şamozitik, Orhanlar Birimi'nde klinoklor bileşimlidir.
- Turhal Metamorfileri'nde az sayıda, Orhanlar Birimi'nde yaygın olmak üzere yüksek Mg (5.70-7.59) ve Cr (0.09-0.16) içerikli detritik mikalar da belirlenmiştir.
- Kloritlere ait jeotermometre verileri anki-epimetamorfik Turhal Metamorfileri için 200-400°C arasında, yüksek diyajenetik Hodul ve Orhanlar birimleri için 150-250 °C arasında yoğunlaşmaktadır. Otijenik kökenli kloritler, istiflerdeki (detritik) kloritlere göre daha düşük sıcaklık koşullarını işaret etmekte, bazı örneklerde detritik ve otijenik kloritler benzer sıcaklık koşulları sunabilmektedir. Bu durum detritik kloritlerin diyajenez-çok düşük dereceli metamorfizma sırasındaki alterasyonu ilgili koşullarla dengeli duruma geldiğini düşündürmektedir.
- Klorit ve illit/muskovit kimyası verileri, AKK-ÜB Turhal metamorfileri için felsik, ÜKK Orhanlar birimi için metabazik (olasılı Paleotetis kalıntıları), ÜKK Hodul birimi için Al- ve Fe-ce aşırı zengin felsik ve metapelitik kökeni işaret etmektedir.

KATKI BELİRTME

Yazarlar; Cumhuriyet ve Georgia üniversitelerinde örneklerin analizlere hazırlanması kapsamındaki laboratuvar çalışmaları sırasındaki yardımları ve sağladıkları olanaklar için sırasıyla Fatma YALÇIN'a; Paul A. SCHROEDER,

Doug CROWE, Chris FLEISHER, John P. SHIELDS, Jiangua FAN'a (UGA); ayrıca titiz değerlendirmeleri için bilimsel hakem Taner EKİCİ'ye teşekkürü bir borç bilirler.

EXTENDED SUMMARY

The Karakaya Complex consists of units representing the relicts of environments related with the closure of Pre-Jurassic Paleotethys Ocean within the Sakarya Composite Terrane. The units of Permo-Triassic Kararkaya Complex are divided into two parts, namely Lower Karakaya Complex (LKC) and Upper Karakaya Complex (UKC) units, with different geological history. The lower and upper units corresponding to the blueschist (subduction setting) and greenschist (accretion prism setting) facies of the LKC units (Nilüfer Unit/Turhal Metamorphites) with metasedimentary and metabasic rocks are subdivided into two subunits as lower (LKC-LP) and upper (LKC-UP) parts. The UKC units with sub-greenschist-high grade diagenetic facies (extension setting) is made up of sandstone and shale (Hodul and Orhanlar units), metasedimentary and (meta)volcanic (Çal Unit and Devecidağ Complex) lithologies. In this study, it is aimed to investigate the effects of the origin and diagenesis/metamorphism degree of phyllosilicates upon the mineral chemistry in the (meta)clastic rocks from Karakaya Complex units. In this context, a total of 4 samples from the upper part of the Turhal metamorphites and Hodul and Orhanlar units of UKC were examined. The imagings of Scanning Electron Microscope (SEM) and Back Scatter Electron (BSE) and the analyses (a total of 197 measurements) of Energy Dispersive Spectrometer (EDS) and Electron Microprobe (EMP) on the illite/white micas and chlorites were carried out on the polished and carbon-coated samples. The compositions of illite/white micas change among muscovite-illite-phengite. Illite/white micas with detrital and authigenic origins are close to muscovitic ($Si_{avg}=3.15$, $(Na+K)$

$=0.81$) and illitic compositions ($Si_{avg}=3.22$, $(Na+K)_{avg}=0.74$), respectively. Paragonite ($Si_{avg}=2.96$, $Na=0.78$, $K=0.10$) and NaK micas ($Si_{avg}=3.09$, $Na=0.45$, $K=0.34$) are typical for extensional basins that are determined in the upper parts of the Turhal Metamorphites. The chlorites are of entirely trioctahedral and authigenic ones ($Si_{avg}=5.67$, $Fe_{avg}=5.05$) have higher Si^{IV} and lower Fe^{VI} contents in comparison with detrital ones. Chlorites have chamositic composition in the Hodul Unit, whereas clinocllore composition in the Orhanlar Unit from UKC units. Detrital micas with high Mg (5.70-7.59) and Cr (0.09-0.16) contents are also identified in the Orhanlar Unit more common and in the Turhal Metamorphites as a few grains. These products are more common in our country, it was found to contain less than in other countries. The data calculated according to chemical equilibrium method is obtained from geothermometer (150-400 °C) of authigenic chlorites and geobarometer (0.5-1.2 kbar) of phengitic illites. These values reflect the diagenetic/metamorphic grades that are developed under conditions of high temperature-low pressure for the upper parts of Turhal Metamorphites and low-middle temperature-low pressure for Hodul and Orhanlar units. The data of chlorite chemistry indicate the origins of felsic for Turhal Metamorphites, metabasic (probably remains of Paleotethys) for Orhanlar Unit and felsic and metapelitic with rich in Al and extreme rich in Fe.

ORCID

Ömer Bozkaya  <https://orcid.org/0000-0002-8474-8600>

Hüseyin Yalçın  <https://orcid.org/0000-0001-9539-2817>

Sema Tetiker  <https://orcid.org/0000-0001-5158-7364>

DEĞİNİLEN BELGELER

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.
- Akyürek, B., Bilginer, E., Akbaş, B., Hepşen, N., Pehlivan, Ş., Şunu, O., Soysal, Y., Dağer, Z., Çatal, E., Sözeri, B., Yıldırım, H., Hakyemez, Y., 1984. Ankara-Elmadağ-Kalecik Dolayının temel jeolojik özellikleri. *Jeoloji Mühendisliği*, 20, 31-46.
- Altuner, D., Koçyiğit, A., 1993. Third remark on the geology of Karakaya basin. An Anisian megablock in northern central Anatolia: micropaleontologic, stratigraphic and tectonic implications for the rifting stage of Karakaya basin, Turkey. *Revue de Paleobiologie*, 12, 1-17.
- Altunlu, İ.E., 1975. Orta Sakarya'nın jeolojisi. Cumhuriyetin 50. yılı Yerbilimleri Kongresi Tebliğleri, Maden Tetkik ve Arama, Ankara, 159-191.
- Armstrong, J. T., 1988. Quantitative analysis of silicate and oxide materials: Comparison of Monte Carlo, ZAF, and phi-rho-z procedures. *Microbeam Analysis*, 239-246.
- Armstrong, J.T., 1995. A package of correction programs for the quantitative electron microprobe X-ray analysis of thick materials, thin films, and particles. *Microbeam Analysis*, 4, 177-200.
- Attlewell, P., Taylor, R.K., 1969. A microtextural interpretation of a Welsh slate. *International Journal of Mechanics and Mining Sciences*, 6, 423-438.
- Bailey, S.W., 1980. Summary of recommendations of AIPEA nomenclature committee on clay minerals. *American Mineralogist*, 65, 1-7.
- Beutner, E.C., 1978. Slaty cleavage and related strain in Martinsburg slate, Delaware Water Gap, New Jersey. *American Journal of Science*, 278, 1-23.
- Bingöl, E., Akyürek, B., Korkmazer, B., 1975. Biga Yarımadasının jeolojisi ve Karakaya Formasyonunun bazı özellikleri. Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi Tebliğleri, Maden Tetkik ve Arama, Ankara, 70-77.
- Blumental, M., 1950. Orta ve Aşağı Yeşilirmak bölgelerinin (Tokat, Amasya, Havza, Erbaa, Niksar) jeolojisi hakkında. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayınları, Seri D, No. 4, 153 s.
- Bourdelle, F., Cathelineau M., 2015. Low-temperature chlorite geothermometry: a graphical representation based on a T-R²⁺-Si diagram. *European Journal of Mineralogy*, 27, 617-626.
- Bourdelle, F., Parra, T., Chopin, C., Beyssac, O., 2013. A new chlorite geothermometer for diagenetic to low grade metamorphic conditions. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 165, 723-735.
- Bozkaya, Ö., Yalçın, H., 1999. Relationships between degree of diagenesis-metamorphism and chemistry of phyllosilicates from Eastern Taurus Autochthon. *Proceeding 9th Turkish National Clay Symposium*, İstanbul University, 21-30.
- Bozkaya, Ö., Gürsu, S., Göncüoğlu, M.C., 2006. Textural and mineralogical evidence for a Cadomian tectonothermal event in the eastern Mediterranean (Sandıklı-Afyon area, western Taurides, Turkey). *Gondwana Research*, 10, 301-315.
- Bozkaya, Ö., Yalçın, H., 2000. Very low-grade metamorphism of Upper Paleozoic-Lower Mesozoic sedimentary rocks related to sedimentary burial and thrusting in Central Taurus Belt, Konya, Turkey. *International Geology Review*, 42, 353-367.
- Bozkaya, Ö., Yalçın, H., 2004. Diagenetic to low-grade metamorphic evolution of clay mineral assemblages in Palaeozoic to early Mesozoic rocks of the Eastern Taurides, Turkey. *Clay Minerals*, 39, 481-500.
- Bozkaya, Ö., Yalçın, H., 2005. Diagenesis and very low-grade metamorphism of the Antalya Unit: mineralogical evidence of Triassic rifting, Alanya-Gazipaşa, Central Taurus Belt, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 25, 109-119.
- Bozkaya, Ö., Yalçın, H., Göncüoğlu, M.C., 2002. Mineralogic and organic responses to the stratigraphic irregularities: An example from the Lower Paleozoic very low-grade metamorphic units of the Eastern Taurus Autochthon, Turkey. *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, 82, 355-373.
- 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.
- Bozkaya, Ö., Yalçın, H., Schroeder, P.A., 2017. Two-step mode of clay formation in the extensional basins: Cambrian–Ordovician clastic rocks of the Antalya unit, SW Turkey. *Clay Minerals*, 52, 365-389.
- Brindley, G.W., 1980. Quantitative x-ray mineral analysis of clays. In: *Crystal structures of Clay Minerals and their X-ray Identification* (G.W. Brindley, G. Brown, eds.), Mineralogical Society, London, 411-438.
- Cathelineau, M., 1988. Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature. *Clay Minerals*, 23, 471-485.
- Cathelineau, M., Neiva, D., 1985. A chlorite solid solution geothermometer. The Los Azufres geothermal system (Mexico). *Contribution Mineralogy and Petrology*, 91, 235-244.
- Craig, J., Fitches, W.R., Maltman, A.J., 1982. Chlorite-mica stacks in low-strain rocks from Central Wales. *Geological Magazine*, 119, 243-256.
- 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.
- De Caritat, P., Hutcheon, I., Walshe, J.L., 1993. Chlorite geothermometry: A review. *Clays and Clay Minerals*, 41, 219-239.
- Dimberline, A.J., 1986. Electron microscope and microprobe analysis of chlorite-mica stacks in the Wenlock turbidites, mid Wales, UK. *Geological Magazine*, 123, 299-306.
- Eroskay, O., 1965. Geology of Pasalar gorge Gölpazarı area. İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Mecmuası, Seri B, 30, 133-170.
- Foster, M.D., 1962. Interpretation of the composition and a classification of the chlorites. U.S. Geological Survey Professional Paper, 414-A, 1-33.
- Genç, Ş.C., Yılmaz, Y., 1995. Evolution of the Triassic continental margin, Northwest Anatolia. *Tectonophysics*, 243, 193-207.
- Gökçe, A., 1983. Turhal antimon yataklarının maden jeolojisi. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi,
- Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 150 s.
- 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: *Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area* (E. Bozkurt, J. Winchester, J.A. Piper, eds.), Geological Society, London, Special Publications, 173, 139-161.
- Granit, Y., Tintant, H., 1960. Observation preliminaires sur le Jurassique de la région de Bilecik (Turquie). *Comptes Rendus Academi Science*, 251, 1801-1803.
- 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 chemical composition of diagenetic (low-temperature) chlorites. *Clay Minerals*, 26, 149-168.
- Hoeppener, R., 1956. Zur Problem der Bruchbildung, Schieferung und Faltung. *Geologische Rundschau*, 45, 247-283.
- Holeywell, R.C., Tullis, T.E., 1975. Mineral reorientation and slaty cleavage in the Martinsburg Formation, Lehigh Gap, Pennsylvania. *Bulletin of Geological Society American*, 86, 1296-1304.
- Hutcheon, I., 1990. Clay-carbonate reactions in the Venture area, Scotia Shelf, Nova Scotia, Canada: in *Fluid-Mineral Interactions: A Tribute to (H.P. Eugster, R.J. Spencer, I-M. Chou, eds.)*, Geological Society of London, Special Publication, 2, 199-212.
- Jahren, J.S., Aagaard, P., 1989. Compositional variations in diagenetic chlorites and illites, and relationships with formation-water chemistry. *Clay Minerals*, 24, 157-170.
- Kisch, H.J., 1991. Development of slaty cleavage and degree of vey-low-grade metamorphism: a review. *Journal of Metamorphic Geology*, 9, 735-750.

- Krinsley, D. H., Pye, K., Kearsley, A.T., 1983. Application of backscattered electron microscopy in shale petrology. *Geological Magazine*, 120, 109-114.
- Merriman, R.J., 2005. Clay minerals and sedimentary basin history. *European Journal of Mineralogy*, 17, 7-20.
- Milodowski, A.E., Zalasiewicz, J.A., 1991. The origin, sedimentary, diagenetic and metamorphic evolution of chlorite-mica stacks in Llandovery sediments of central Wales, UK. *Geological Magazine*, 128, 263-278.
- Morad, S., 1986. Mica-chlorite intergrowths in very low-grade metamorphic sedimentary rock from Norway. *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen*, 154, 271-287.
- 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., Goncuoğlu, 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.
- Pique, A., Wybrecht, E., 1987. Origine des chlorites de l'epizone heritage et cristallisation synschisteuse Exemple des grauwackes cambriennes du Maroc occidental. *Bulletin of Mineralogy*, 110, 665-682.
- Pye, K., Krinsley, D.H., 1983. Inter-layered clay stacks in Jurassic shales. *Nature*, 304, 618-620.
- Robertson, A.H.F., Dixon, J.E., 1984. Introduction: aspects of the geological evolution of the Eastern Mediterranean. In: *The Geological evolution of the Eastern Mediterranean* (J.E. Dixon, A.H.F. Robertson, eds.), Geological Society of London, Special Publication, 17, 1-74.
- Roy, A.B., 1978. Evolution of slaty cleavage in relation to diagenesis and metamorphism: a study from the Hunsrückschiefer. *Geological Society of America Bulletin*, 89, 1775-1785.
- Saner, S., 1978. The depositional associations of upper Cretaceous-Palaeocene-Eocene times in central Sakarya and petroleum exploration possibilities. *Proc. 4th Petroleum Congress, Turkey*, 95-115.
- Sayit, K., Tekin, U.K., Göncüoğlu, M.C., 2011. Early-middle carnian radiolarian cherts within the Eymir unit, central Turkey: constraints for the age of the palaeotethyan Karakaya complex. *Journal Asian of Earth Sciences*, 42, 398-407.
- 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.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., Ketin, İ., 1980. Remnants of a pre-Late Jurassic ocean in Northern Turkey: fragments of Permian-Triassic Paleo-Tethys? *Bulletin Geological Society of America*, 91, 599-609.
- 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, A.H.F. Robertson, eds.), Geological Society of London, Special Publication, 17, 77-112.
- Stampfli, G., 2000. Tethyan oceans. In: *Tectonics and magmatism in Turkey and the surrounding area* (E. Bozkurt, J.A. Winchester, J.D.A. Piper, eds.), *Journal of Geological Society, London, Special Publication*, 173, 1-23.
- 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 diyajenezi-düşük dereceli metamorfizması. *H.Ü.Yerbilimleri*, 30, 193-212.
- Tetiker, S., Yalçın, H., Bozkaya, Ö., 2009b. Karakaya Karmaşığı (Tokat yöresi) birimlerinin düşük dereceli metamorfizması. 14. Ulusal Kil Sempozyumu, 1-3 Ekim 2009, *Bildiriler Kitabı*, 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.
- Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Serdar, H.S., 1990. Orta Pontidlerde erken Mesozoyik evrimine bir yaklaşım: Paleo-Tetis/Karakaya kenar denizi problemi. 8. Petrol Kongresi, Bildiriler, Ankara, 351-362.
- Van der Pluijm, B., Kaars-Sijpesteijn, C.H., 1984. Chlorite-mica aggregates: morphology, orientation, development and bearing on cleavage formation in very-lowgrade rocks. *Journal of Structural Geology*, 6, 399-407.
- Velde, B., 1967. Si content of natural phengites. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 14, 250-258.
- Velde, B., Medhioub, M., 1988. Approach to chemical equilibrium in diagenetic chlorites: Contributions to Mineralogy and Petrology, 98, 122-127.
- Voll, G., 1960. New work on petrofabrics. *Liverpool and Manchester Geological Journal*, 2, 503-567.
- Walker, J.R., 1993. Chlorite polytype geothermometry. *Clays and Clay Minerals*, 41, 260-267.
- Walshe, J.L., 1986. A six-component chlorite solid solution model and the conditions of chlorite formation in hydrothermal and geothermal systems. *Economic Geology*, 81, 681-703.
- Weaver, C.E., Highsmith, P.B., Wampler, J.M., 1984. Chlorite: in *Shale-slate Metamorphism in the Southern Appalachians*, (C. E. Weaver, associates, eds.), Elsevier, Amsterdam, 99-139.
- Weber, K., Dunoyer de Segonzac, G., Economou, C., 1976. Une nouvelle expression de la «crystallinité» de l'illite et des micas. Notion d'épaisseur apparente des cristallites. *Comptes Rendus Sommes. Société de la Géologique de France*, 5, 225-227.
- Weber, K., 1976. Gefügeuntersuchungen an transversalgeschieferten Gesteinen aus dem östlichen Rheinischen Schiefergebirge. *Neues Jahrbuch für Mineralogie*, 15, 99 p.
- Weber, K., 1981. Kinematic and metamorphic aspects of cleavage formation in very low-grade metamorphic slates. *Tectonophysics*, 78, 291-306.
- White, S.H., Huggett, J.M., Shaw, H.E., 1985. Electron-optical studies of phyllosilicate intergrowths in sedimentary and metamorphic rocks. *Mineralogical Magazine*, 49, 413-423.
- Williams, P.F., 1972. Development of metamorphic layering and cleavage in low grade metamorphic rocks at Bermagui, Australia. *American Journal of Sciences*, 272, 1-47.
- Woodland, B.G., 1982. Gradational development of domainal slaty cleavage, its origin and relation to chlorite porphyroblasts in the Martinsburg Formation, eastern Pennsylvania. *Tectonophysics*, 82, 89-124.
- Woodland, B.G., 1985. Relationship of concretions and chlorite-muscovite porphyroblasts to the development of domainal cleavage in low-grade metamorphic deformed rocks from north-central Wales, Great Britain. *Journal of Structural Geology*, 7, 205-215.
- Xie X., Byerly G.R., Ferrell R. E., 1997. IIB trioctahedral chlorite from 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.
- Yılmaz, A., 1980. Tokat ile Sivas arasındaki bölgede ofiyolitlerin kökeni, iç yapısı ve diğer birimlerle ilişkisi. *Doktora Tezi*. Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi (yayımlanmamış), Ankara, 136 s.
- Yılmaz, A., 1982a. Tokat (Dumanlı dağı) ile Sivas (Çeltekdağı) dolaylarının temel jeoloji özellikleri ve ofiyolitli karışığın konumu. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, Ankara, 99/100, 1-18.
- Yılmaz, A., 1982b. Dumanlı dağı (Tokat) ile Çeltekdağı (Sivas) dolaylarının temel jeoloji özellikleri ve ofiyolitli karmaşığın konumu. *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü*, Ankara, Rapor No: 7230.
- 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 Lincei: Scienze Fisiche e Naturali*, 9, 51-56.