



KB Anadolu'daki Karakaya Karmaşığı birimlerinin diyajenezi-düşük dereceli metamorfizması

Diagenesis and low grade metamorphism of Karakaya Complex units in the NW Anatolia

Sema TETİKER¹, Hüseyin YALÇIN², Ömer BOZKAYA²

¹Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 58140, SİVAS

²Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140, SİVAS

Geliş (received) : 16 Haziran (June) 2009

Kabul (accepted) : 18 Eylül (September) 2009

ÖZ

Bu çalışmada, KB Anadolu'da Sakarya Kompozit Birliği içerisinde yer alan Paleotetis ile ilişkili Permo-Triyas yaşlı Karakaya Karmaşığı'nın tanım ve oluşumuna, birimlerin diyajenetik-metamorfik özellikleri ortaya konularak katkıda bulunulması amaçlanmıştır. KB Anadolu'da Alt Karakaya birimlerinden Nilüfer biriminin alt kesimi mavişist, üst kesimi ise yeşilsist fasiyesindeki kayaçları içermektedir. Kireçtaşı blokları içeren Üst Karakaya birimlerini psamit, pelit ve karbonat kayaçları ile volkanikler temsil etmektedir. KB Anadolu'da Alt Karakaya biriminde bolluk sırasına göre fillosilikat (illit, klorit, stilpnomelan, smektit, kaolinit, C-S, I-S, C-V), feldispat, kalsit, kuvars, dolomit, piroksen (ojit, Ti-ojit), amfibol (hornblend, glokofan, tremolit/aktinolit, antofillit), hematit, epidot ve götit; Üst Karakaya birimlerinde kuvars, fillosilikat (illit, klorit, I-S, C-V, C-S, I-C, kaolinit, vermikülit, smektit), kalsit, dolomit, feldispat, epidot, ojit, hornblend, natrolit, hematit ve götit tanımlanmıştır. Nilüfer, Orhanlar ve Çal birimlerine ait trioktahedral şamozitik kloritler //b; fenjitik bileşimli dioktahedral illitler $2M_1+1M+1M_2$ politipine sahiptir. Kübler indeksi (KI) ve Arkai indeksi (AI) verileri; Nilüfer biriminde düşük dereceli ankizon ve epizon, Hodul biriminde yüksek dereceli diyajenez, Orhanlar biriminde yüksek diyajenez-düşük dereceli ankizon, Çal biriminde ise düşük dereceli diyajenez derecesine karşılık gelmektedir. İllitlerin b_0 değerleri Alt Karakaya birimlerinde orta-yüksek ve Üst Karakaya birimlerinde çoğunlukla orta basınç fasiyes serisini göstermektedir. Dokusal özellikler, mineral birliktelikleri, kil / fillosilikat mineral dönüşümleri, tipik indeks mineraller ve fillosilikatların kristalkimyasal verilerine göre; Alt Karakaya birimleri yüksek basınç-düşük sıcaklık ile temsil edilen sıkışmalı, Üst Karakaya birimleri ise ısı akışının etkili olduğu genişlemeli bir havzayı yansıtan diyajenetik/metamorfik özelliklere sahiptir.

Anahtar Kelimeler: b_0 , illit kristalinite, kil mineralojisi, petrografi, XRD.

ABSTRACT

The aim of this study is contribute to discussions concerning the formation of the Paleotethyan Permo-Triassic Karakaya Complex by revealing the diagenetic-metamorphic properties of the units within the Sakarya Composite Terrane in Northwestern Anatolia. The Nilüfer unit from the Lower Karakaya unit is represented by rocks of blueschist in the lower parts and greenschist facies in the upper parts. The Upper Karakaya unit has limestone blocks, made up of psammite, pelite and carbonate rocks associated with volcanics. In NW Anatolia, various minerals have been determined, in order of abundance, as phyllosilicates (illite, chlorite, stilpnomelane, smectite, kaolinite, C-S, I-S, C-V), feldspar, calcite, quartz, dolomite, pyroxene (augite, Ti-augite), amphibole (hornblende, glaucophane, tremolite/actinolite, anthophyllite), hematite, epidote and goethite in the Lower Karakaya unit, and quartz, phyllosilicates (illite, chlorite, I-S, C-V, C-S, I-C, kaolinite, vermiculite, smectite), calcite, dolomite, feldspar,

epidote, augite, hornblende, natrolite, hematite and goethite in the Upper Karakaya units. Trioctahedral chamozi-tic chlorites and phengitic dioctahedral illites have, respectively, 11b polytypes and $2M_1+1M_2+1M_3$ in the Nilüfer, Orhanlar and Çal units. Kübler index (KI) and Arkai index (AI) data correspond to low-grade anchizone and epizone for the Nilüfer Unit, high grade diagenesis for the Hodul Unit, high grade diagenesis and low grade anchizone for the Orhanlar Unit, and low grade diagenesis for the Çal Unit. The b_0 values of illites show as moderate to high for the Lower Karakaya units, but mostly as a moderate pressure facies series for the Upper Karakaya units. According to the textural features, mineral associations, clay/phyllsilicate transformations, typical index minerals and crystallochemical data of phyllosilicates, the Lower Karakaya units were formed in high pressure/low temperature conditions in a compressional basin, whereas the Upper Karakaya units reflect the diagenetic/metamorphic characteristics of an extensional basin dominated by low heat flow.

Keywords: b_0 , illite crystallinity, clay mineralogy, petrography, XRD.

GİRİŞ

Sakarya Kompozit Birliği (Göncüoğlu vd., 1997) içerisinde yer alan Jura-öncesi Paleotetis ile ilişkili birimlerden Karakaya Karmaşığı (Şengör vd., 1984) iki bölüme ayrılmaktadır (Teke- li, 1981). Bunlardan Alt Karakaya Karmaşığı, yapısal ve olasılıkla stratigrafik olarak altta yer almakta olup, Paleozoyik sonu veya Triyas'ta genellikle yeşilist ve kısmen mavişist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş kayaçlar (Nilüfer birimi) ile temsil edilmektedir (Okay ve Göncüoğlu, 2004). Üst Karakaya Karmaşığı ise, içinde çok sayıda Permo-Karbonifer yaşlı ortama yabancı kireçtaşı blokları içeren (Bailey ve McCallen, 1950, 1953; Erol, 1956), kuvvetlice deforme olmuş Permiyen veya Triyas yaşlı dört seriden (Hodul, Orhanlar ve Çal birimleri ile Akgöl formasyonu) oluşmaktadır (Okay ve Göncüoğlu, 2004).

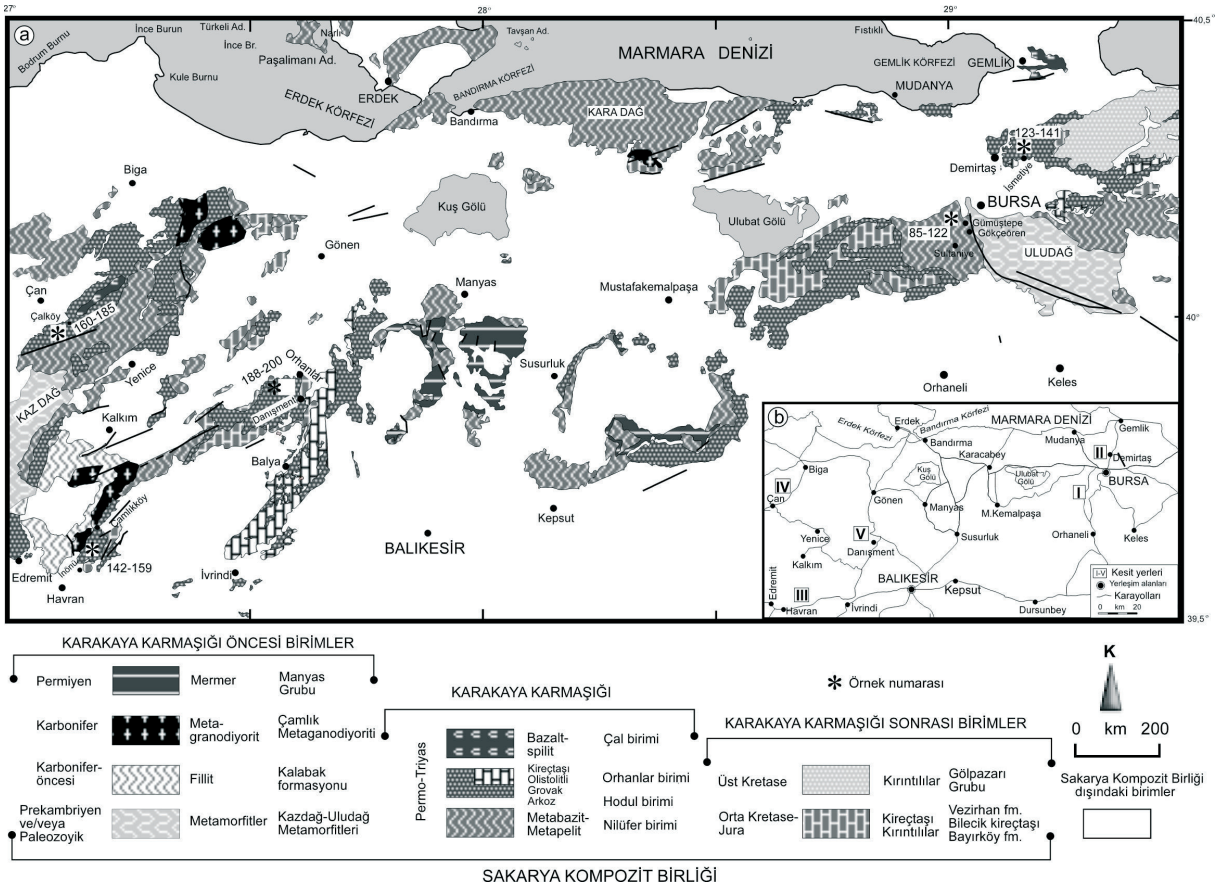
KB Anadolu'daki inceleme alanı Bursa-Balıkesir bölgesinde yer almakta olup, Bursa-Demirtaş ve Orhaneli, Balıkesir-Havran, Orhanlar ve Çal olmak üzere 5 farklı alanı içermektedir. Bu alanlar, 1:100.000 ölçekli Bursa H19 ve H22 ile Balıkesir I18 ve I19 paftalarındaki Karakaya Karmaşığı birimlerini kapsamaktadır. Sakarya Kompozit Birliği'nin kuzeyinde İntra-Pontid Kuşağı, güneyinde sırasıyla İzmir-Ankara Kuşağı ve Torid-Anatolid Platformu'na ait kayaçlar bulunmaktadır.

Karakaya Karmaşığı ile ilgili çalışmalar Orta Pontidlerde de bulunmakla birlikte (Tetiker, 2009), evrimsel kuramlar Sakarya Kompozit Kitası'nın batısından elde edilen jeolojik veriler

esas alınarak kurulmuştur (Bingöl vd., 1975; Tekeli, 1981; Şengör vd., 1984; Okay vd., 1990; Okay ve Göncüoğlu, 2004). Bu çalışmada ise, ince-iri taneli (meta-) klastik ve (meta-) volkanik kayaçların diyajenetik-metamorfik özelliklerini konu alan mineralojik (fillosilikat parajenezi, kristalinite, politipi, b_0 hücre mesafesi vb.) araştırmalar ile Karakaya Karmaşığı'nın ilgili birimlerine kil/fillosilikat açısından bir yaklaşımda bulunulmuştur.

STRATİGRAFİ VE LİTOLOJİ

Bölgede yüzeyleyen kayaçların stratigrafik dağılımı incelendiğinde; metamorfik kayaç topluluklarından oluşan Kazdağ Grubu (Bingöl vd., 1975), metasedimenter Kalabak formasyonu (Krushensky vd., 1980), Çamlık Metagranodiyoriti (Okay vd., 1990) ve Manyas Grubu (Okay vd., 1990) Permo-Triyas öncesi birimleri temsil etmektedir. Karakaya Karmaşığı'nın Nilüfer birimi Kazdağ Grubu Metamorfitleri'ni tektonik olarak üzerlemektedir. Karakaya Karmaşığı'nın Hodul birimi Balıkesir-Havran kuzeydoğusunda stratigrafik olarak temeli temsil eden Çamlık Metagranodiyoriti üzerinde uyumsuzlukla yer almakta ve Jura-Orta Kretase yaşlı birimler olan Bayırköy formasyonu (Altınlı, 1975); Bilecik Kireçtaşı (Granit ve Tintant, 1960) ve Vezirhan formasyonu (Eroskay, 1965) tarafından uyumsuzlukla örtülmektedir. Orta Sakarya bölgesinde ise, Üst Kretase yaşlı Gölpazarı Grubu (Altınlı, 1975; Saner, 1978) Vezirhan formasyonu üzerine gelmektedir. Tüm bu istif Tersiyer yaşlı diğer birimler ile örtülmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. (a) KB Anadolu'da Karakaya Karmaşığı birimlerinin yalınlaştırılmış jeolojik-jeotektonik haritası (MTA, 2002: 1/500 000 ölçekli Türkiye jeoloji haritasından düzenlenmiştir), (b) inceleme alanının yer bulduru ve örnekleme haritası.

Figure 1. (a) Simplified geologic-geotectonic map of the Karakaya Complex units in the NW Anatolia (MTA, 2002: arranged from 1/500 000 scale of geological map of Turkey), (b) location and sampling map of study area.

KB Anadolu'da Alt Karakaya Karmaşığı'nı temsil eden Nilüfer birimi; foliasyonlu metapsamit (metakumtaşı), metapelit (sleyt, fillit, şist) ve metakarbonat (metakireçtaşı, metadolomit, mermer) seviyeleri ile bu kayalarla ardalanmalı ve deforme olmuş yeşil, yer yer tabakalanmalı ve kalın metabazik kayalardan (metavolkanik, metatüf) oluşmaktadır. Birim, Bursa-Orhaneli yöresinde incelenmiştir.

Üst Karakaya Karmaşığı birimlerinden Hodul birimi; Balıkesir-Havran kuzeydoğusunda yapılan çalışmaya göre; metamorfik bir temel üzerinde yer alan kumtaşı, şeyl, silttaşı; Bursa-Demirtaş yöresinde arkozik kumtaşları ile arakatlı (meta-) pelitik (çamurtaşı, şeyl, silttaşı) ve metakireçtaşı blokları içermektedir. Orhanlar birimi; Balıkesir-Danışment yöresinde birimin egemen litolojisini oluşturan kumtaşları

sarı-kahve ve yeşil renkli olup, bol miktarda metamorfik ve volkanik kayaç parçaları içermektedir. İkinci kesit yeri olan Bursa-Orhaneli yöresindeki birim, metakireçtaşı blokları ve pelit (şeyl) arakatlıları içeren kumtaşlarından oluşmaktadır. Balıkesir-Çal köyünde yüzeyleyen Çal birimi, olistostromal kireçtaşı blokları içeren splilitik bazalt ve kırıntılılardan (çamurtaşı, şeyl, kumtaşı) oluşmaktadır. Diğer bir inceleme alanı olan Bursa-Demirtaş yöresinde birimdeki volkanik kayalar genellikle splilitik türde olup, altere aglomera seviyeleri ile geçişlidir.

MALZEME VE YÖNTEM

İnceleme alanı olarak seçilen KB Anadolu Bölgesi'ndeki arazi çalışmasında noktasal ve çoğunluğu ölçülü kesitler boyunca toplam 116 adet örnek derlenmiş olup (Çizelge 1),

Çizelge 1. Karakaya Karmaşığı birimlerinden alınan kayaç örneklerinin GPS coğrafi koordinatları.
Table 1. GPS geographic coordinates of rock samples taken from Karakaya Complex units.

Birim	Yöre	Başlangıç	Bitiş
Nilüfer	Bursa-Orhaneli	40°05' K, 28°95' D	40°05' K, 28°96' D
Hodul	Balıkesir-Havran	39°15' K, 27°11' D	39°17' K, 27°10' D
	Bursa-Demirtaş	40°17' K, 28°09' D	40°16' K, 28°07' D
Orhanlar	Balıkesir-Orhanlar	39°85' K, 27°46' D	39°84' K, 27°45' D
	Bursa-Orhaneli	40°12' K, 28°97' D	40°04' K, 28°90' D
Çal	Balıkesir-Çal	40°04' K, 27°09' D	40°04' K, 27°10' D
	Bursa-Demirtaş	40°18' K, 28°09' D	40°16' K, 28°07' D

Cumhuriyet Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde optik mikroskop ve X-ışınları kırınımı (XRD) çözümlenmelerinden geçirilmiştir. Kayaçlarda tüm kayaç ve kil boyu bileşenler (< 2 µm) tanımlanmış ve yarı nicel yüzdeleri de dış standart yöntemi (Brindley, 1980) esas alınarak hesaplanmıştır (Yalçın ve Bozkaya, 2002).

Klorit, C-S, smektit ve illitlerin di- ve/veya trioktaedrik karakterlerinin belirlenmesinde $d_{(060)}$ yansımaları yardımıyla b_0 -parametresi hesaplanmıştır. Bu ölçüm, kuvarsın (211) piki ($2\theta=59.982^\circ$, $d=1.541\text{Å}$) referans alınarak $2\theta=59-63^\circ$ ($\pm 0.01^\circ$) kayıt aralığında ve $0.5^\circ/\text{dak}$. gonyometre hızı ile ölçülmüştür. R0-3 I-S minerallerindeki illit veya smektit oranı, Moore ve Reynolds (1997)'un değerlerinden itibaren hesaplanmıştır. Illitlerin $d_{(060)}$ yansımaları yardımıyla oktaedrik kimyasal bileşimleri (Hunziker vd., 1986), b_0 -parametresi ile de basıncın illitlere etkisi (Sassi ve Scolari, 1974; Guidotti ve Sassi, 1986) belirlenmiştir. Kayıt aralığı $2\theta=59-63^\circ$ ($\pm 0.01^\circ$) olan bu ölçümlerde kuvarsın (211) piki ($2\theta=59.97^\circ$, $d=1.541\text{Å}$) referans alınmıştır. Kloritlerin kimyasal bileşimlerinde $d_{(005)}$ piklerinden itibaren $d_{(001)}$ yansıma değerleri bulunarak tetrahedral Al miktarı saptanmıştır (Brindley, 1961). Oktahedral Fe²⁺ miktarı ise, Brown ve Brindley (1980) ile Chagnon ve Desjardins (1991)'un önerilerine göre elde edilmiştir. Politipi incelemeleri illit ve klorit minerallerinde yapılmış olup, yönlendirilmemiş plakletlerden itibaren uygulanan kayıt aralığı sırasıyla $2\theta=18-36^\circ$ ve $31-52^\circ$ arasındadır. Politipi belirlemelerinde Bailey (1988) tarafından öne-

rilen ayırtman pikler kullanılmıştır. Illitlerin $1M$ cv politipinin varlığı Drits vd. (1984) tarafından önerilen pikler yardımıyla belirlenmiştir. $2M_1$, $1M$ ve $1M_0$ oranları Grathoff ve Moore (1996)'un pik alan (A) oranlarına göre belirlenmiştir. Pik alanlarının belirlenmesinde WINFIT programı kullanılmıştır (Bozkaya ve Yalçın, 2007).

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

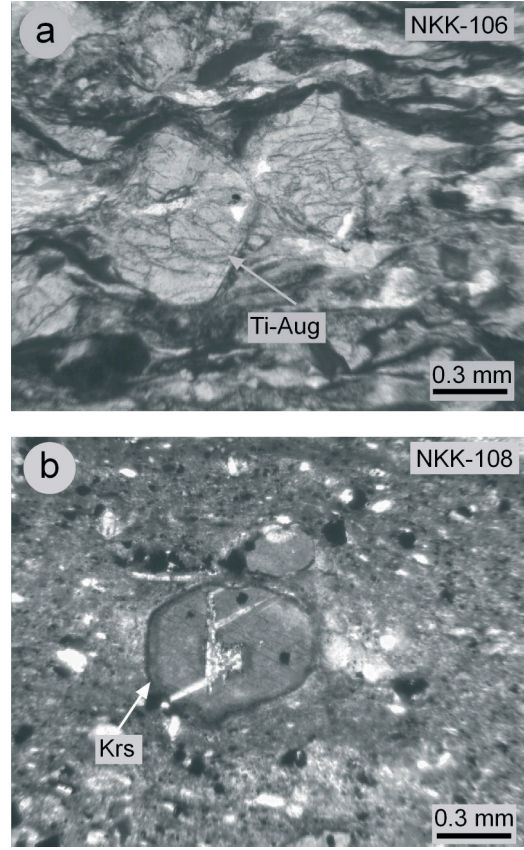
PETROGRAFI

Nilüfer Birimi

Birimi temsil eden yaygın litolojilerden metavolkanik kayaçlar; hipokristalin porfirik, hipokristalin mikrolitik porfirik, intersertal ve glomeroporfirik dokuludur. Açık renkli bileşenleri plajiyoklaz, koyu renkli bileşenleri ise klinopiroksen (ojit,

Ti-ojit), klorit, klorit, serizit ve stilpnomen gibi çok düşük-düşük dereceli metamorfizmayı temsil eden mineraller ve yaygın olarak yönlü doku gelişmiştir. Mikrolitik porfirik dokulu kayalarda plajiyoklazlar mikrolitleri oluşturmaktadır. Bağlayıcı malzemeyi çoğunlukla volkanik cam, fillosilikat ve amfibol temsil etmektedir. Volkanik camda çoğunlukla killeşme (klorit), silisleşme, yer yer Fe-oksidasyonu ve karbonatlaşma (kalsitleşme, dolomitleşme) gözlenmektedir. Fenokristallerden ojit ve pembe Ti-ojitler özşekilli olup, yer yer kataklastik etkiler göstermektedir (Şekil 2a). Piroksenlerde, az olmakla birlikte, uralitleşme gözlenmektedir. İnce taneli kuvars ve epidot matriksde, kalsit ise gözenek ve çatlaklarda yer almaktadır. Mikrolitik hamur içerisindeki amfibol fenokristalleri ise kahverengi kersutit olup, kenarlarından itibaren opasitleşmiş, dilinim izleri belirgin, özşekilli ve sekizgen görünüşleri tipiktir (Şekil 2b). Meta-piroklastik kayalar vitroklastik dokuya sahip olup, fenokristalleri volkanojenik kökenli plajiyoklaz, ojit, biyotit, kuvars ve volkanik kayaç parçacıkları oluşturmaktadır. Matrikste volkanik camdan itibaren silisleşme, epidotlaşma, muskovitleşme ve kloritleşme gözlenmektedir. Ayrıca metamorfizma etkisiyle yer yer mikrolaminasyonlar gelişmiştir.

Metapelitik kayalar; lepidoblastik ve nematoblastik dokuya sahiptir. Sleyt ve buruşma dilinimleri belirgin olarak gözlenmekte olup, yer yer kataklastik etkilerine de rastlanılmaktadır. Şistleri oluşturan ana bileşenler; örneklere göre kısmen farklılık sunmakla birlikte, kuvars, serizit/muskovit, plajiyoklaz, klorit, tremolit/aktinolit, glokofan, epidot, fillosilikat ve opak minerallerdir. Uzun prizmatik ve yer yer lifsel/iğnemsî görünümdeki tremolit/aktinolitler açık yeşil, ince taneli epidot mineralleri ise, limon sarısı renkleriyle ayırt edilmektedir. Şistlerde {001} eksenine paralel yönlenmiş klorit levhaları ile c-ekseni yönünde dizilen kuvarsa zengin zonlar metamorfik ayrılaşmanın tipik verileridir. İri ve küçük prizmatik glokofanlar zonlu bir doku sergileyerek kenarlarından itibaren tremolit/aktinolitlere dönüşmüştür (Şekil 3a). Glokofan içeren şistler-



Şekil 2. Nilüfer birimi kayalarının optik mikroskop mikrofotografaları (tek nikol=tn): (a) zayıf gelişmiş kataklastik dokulu metabazaltlarda bütünüyle kloritleşmiş-serizitleşmiş yönlü dokulu hamur içerisinde pembe Ti-ojit fenokristalleri ve basınç gölgesinde gelişen post-tektonik kloritler, (b) andezitik metabazaltlarda serizitleşmiş hamur içerisinde kenarları boyunca opasitleşmiş özşekilli kersutitler (Ti-Aug=Titanojit, Krs=Kersutit).

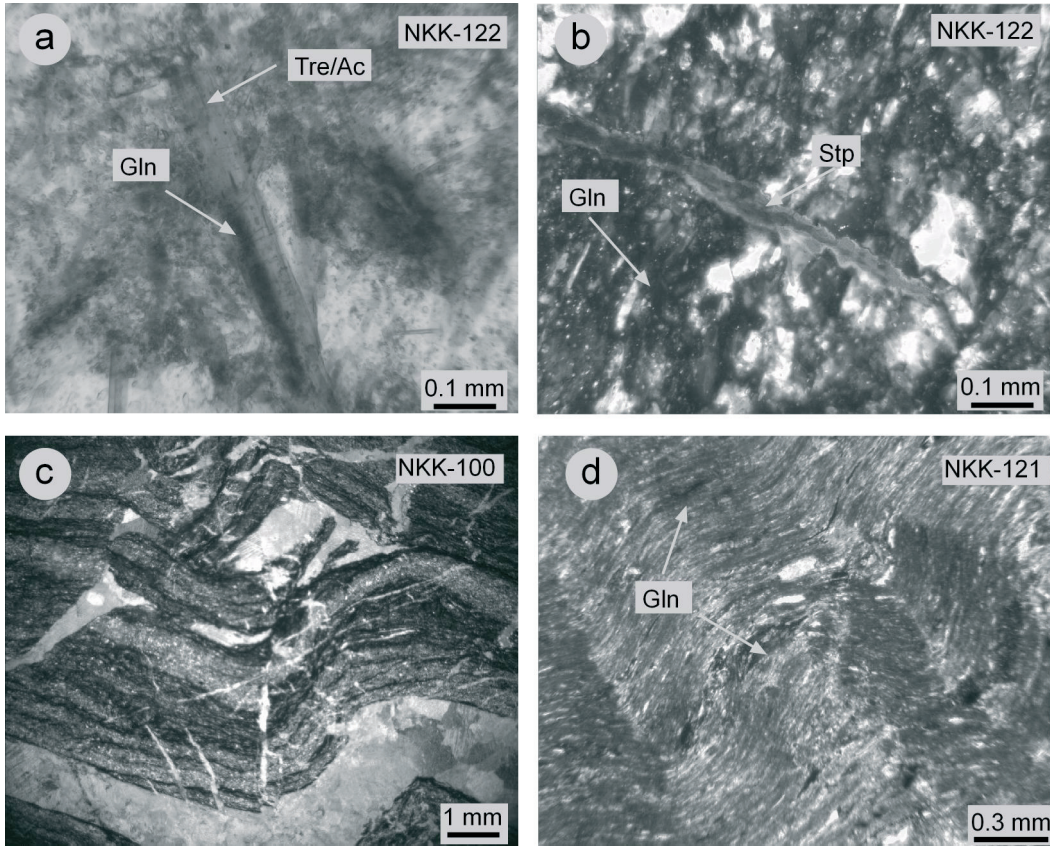
Figure 2. Optical microscopy microphotographs of the Nilüfer unit rocks (open nicol=tn): (a) pink Ti-augite phenocrystals within the matrix with completely chloritized-sericitized oriented texture and post-tectonic chlorites developed in the pressure shadow from metabasalt with weak cataclastic texture, (b) euhedral kaersutites opacitized along with sides within the sericitized matrix of andesitic metabasalts (Ti-Aug=Titanaugite, Krs=Kaersutite).

de, dilinim düzlemlerini kesen ince uzun prizmatik, sarı-kahve renkli post-tektonik stilpnomen mineralleri bulunmaktadır (Şekil 3b). Sleytlerin bileşenlerini bolluk sırasına göre, serizit/muskovit, plajiyoklaz ve kuvars temsil etmektedir. Bol miktarda hematit içermeleri de karak-

teristiktir. Bu kayaçların bağlayıcı malzemesini serizitleşmiş-kloritleşmiş fillosilikat matriks ve kalsit çimento oluşturmaktadır. İnce taneli sleytlerde mikrolaminasyon, mikroyönlenme ve buruşma kıvrımları gibi metamorfik dokusal özelliklerin yanı sıra, yaygın olarak post-metamorfik kalsit dolgulu damarlar da gelişmiştir (Şekil 3c). Fillitler; fibroblastik dokulu olup, buruşma kıvrım ve dilimine sahiptir (Şekil 3d). Tane boyunun incilmesi dışında mineralojik bileşimi şistlere benzemektedir. Ana bileşenler; kuvars, serizit/muskovit, plajiyoklaz, klorit, tremolit/aktinolit, glokofan, klorit ve stilpnomelan; tali bileşenler ise epidot ve opak minerallerdir. Amfiboller tektonizmaya eşzamanlı (sin-tektonik) bir oluşumu yansıtabilecek biçimde, uzun eksenleri foliasyon düzlemlerine paralel yönlenmiştir.

Metakumtaşlarında bileşenleri başlıca kuvars, plajiyoklaz, ortoklaz, serizit/muskovit, biyotit, kalsit, kayaç parçaları ve opak mineraller oluşturmaktadır. Blastopsamitik dokulu, kötü boyanmalı bu kayaçlarda mikroyönlenme ve fillosilikatça zengin seviyelerde sleyt dilinimi gözlenmektedir. Bağlayıcı malzemeyi büyük ölçüde fillosilikat matriks ve daha az kalsit çimento oluşturmaktadır. Bunlarda bazalt, kuvarsit ve şist kayaç parçalarına da rastlanılmıştır.

Metakarbonat kayaçlarında ilksel dokunun büyük ölçüde kaybolması (mikrosparitik /sparitik) ve çok düşük dereceli metamorfizma etkilerinin (granoblastik doku ve fillosilikat yönlenmesi) gözlenmesi, ayrıca şist türü kayaçlara eşlik etmesi nedeniyle metakireçtaşı veya metadolomitten ziyade mermer olarak adlandırılmıştır.



Şekil 3. Nilüfer birimi kayaçlarının optik mikroskop mikrofotografaları: (a) şistlerde glokofan-aktinolit dönüşümü, (b) şistlerde menekşe renkli glokofan ve post-tektonik stilpnomelan, (c) sleytlerde mikrokıvrımlanma ve mikrokırıklar ile post-tektonik kalsit damarları (çift nicol=çn), (d) fibroblastik dokulu ve buruşma kıvrım ve dilinimli fillitlerde glokofanlar (tn) (Tre/Ac=Tremolit/Aktinolit, Gln=Glokofan, Stp=Stilpnomelan).

Figure 3. Optical microscopy microphotographs of the Nilüfer unit rocks: (a) glaucophane-actinolite transformation in the schist, (b) violet colored glaucophane and post-tectonic stilpnomelane in the schists, (c) microfoldings, microfractures and post-tectonic calcite veins in the slates (crossed nicol=cn), (d) glaucophanes in the phyllites with fibroblastic texture, crenulation foldings and cleavages (on) (Tre/Ac=Tremolite/Actinolite, Gln=Glaucophane, Stp=Stilpnomelane).

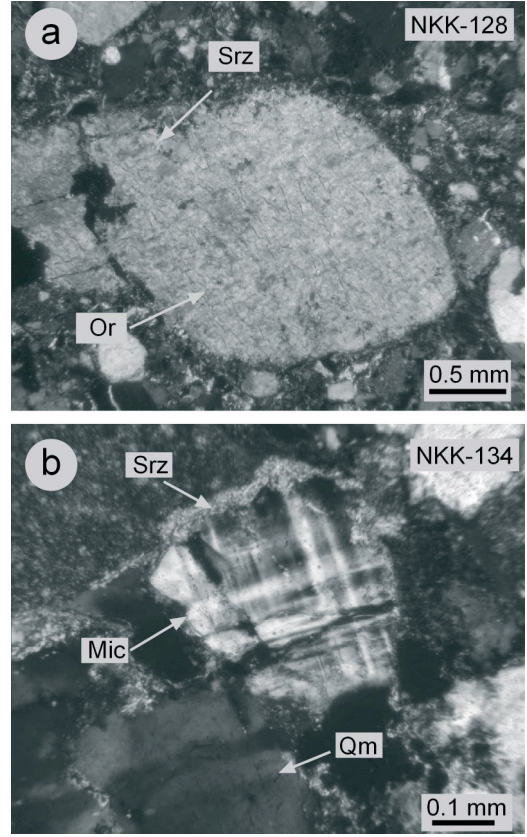
Ortokemi kalsit veya dolomit, litoklast ve/veya metamorfik bileşenleri ise kuvars, muskovit ve opak mineraller temsil etmektedir.

Hodul Birimi

Bu birimin litik arkoz, subarkoz ve feldispatik litarenit olarak tanımlanan kumtaşları; genellikle kötü-orta boylanmalı, orta-çok iri kum boyu, yer yer mikrokonglomeratik, köşeli ve yarı yuvarlak tanelerden oluşmaktadır. Yüksek matriks oranına (% 5-10) sahip, dokusal açıdan çoğunlukla olgunlaşmamış olan bu kayalarda bileşenler başlıca kuvars, feldispat (plajiyoklaz, ortoklaz ve ender mikroklin), serizit/muskovit, biyotit, epidot, opak mineral ve kayaç parçalarıdır. Ender gözlenen zirkon, apatit ve Fe-oksitler ise, tali bileşenleri oluşturmaktadır. Ana bileşenlerden kuvars mineralleri (0.05-1.20 mm) polikristalin ve dalgalı sönmeli monokristalin, köşeli ve yarı yuvarlak biçimde, kataklazma etkisiyle çoğunlukla parçalanmış bir görünüm sunmaktadırlar. İpliksi ve şerit türü pertitik ortoklazlarda serizitleşme ve karbonatlaşma yaygındır (Şekil 4a). Bazı ortoklazlarda Karlsbad ikizlenmesi, bazılarında ise içerisinde plajiyoklaz kapanımları gözlenmiştir. Özşekilli-yarı özşekilli plajiyoklazlarda ikiz lamellerinde bükülmelerin gözlenmesi kataklazmayı işaret etmektedir. Bazı kumtaşlarında rastlanan mikroklin ise diğer feldispatlara göre daha az bulunmaktadır (Şekil 4b). Mikalardan ince taneli uzun levhamsı muskovitler ve kahverenkli biyotitlerde yönlenme ve bükülme gözlenmektedir. Kumtaşları içerisinde yer yer çakıl boyutuna ulaşan küresel ve elipsoyidal polikristalin kuvars, sleyt ve fillit yaygın, bazalt türü kayaç parçacıkları ender olarak gözlenmektedir. Ayrıca grafik ve mirmekitik dokulu granitik kayaç parçaları bu birim için tipiktir. Ender olarak, küresel şekilli fosilli kireçtaşı parçasına da rastlanılmıştır.

Sadece Balıkesir-Havran yöresinde gözlenen silttaşları; çoğunlukla iri silt tane boyunda olup, kuvars, plajiyoklaz, ortoklaz, serizit/muskovit, biyotit, kalsit, ender olarak apatit ve opak minerallerden oluşmuştur.

İlksel dokularının (şparitik, mikrosparitik ve mikritik) korunduğu, intraklast ve fosil kavkaları içeren yeniden kristallenmeye uğramış veya granoblas-



Şekil 4. Hodul birimi kumtaşlarında optik mikroskop mikrofotografaları (çn): (a) peritit dokulu ve kısmen serizitleşmiş ve killeşmiş ortoklaz, (b) yarı yuvarlak-yarı köşeli mikroklin ve tanelerle keskin sınırlı serizit bağlayıcı (Or=Ortoklaz, Mic=Mikroklin, Qm=Monokristalin kuvars, Srz=Serizit).

Figure 4. Optical microscopy microphotographs of the Hodul unit sandstones (cn): (a) sericitized-argillitized orthoclase with perthitic texture, (b) subrounded-subangular microcline and sericitic groundmass with sharp boundary by grains (Or=Ortoklaz, Mic=Mikroklin, Qm=Monocrystalline quartz, Srz=Sericite).

tik dokulu karbonat kayaçlarında (kristalize kireçtaşı ve metakireçtaşı) muskovit, biyotit ve kloritli zonlarca oluşturulan laminasyonlar oldukça belirgindir. Gözeneklerde ince taneli kuvars oluşumlarına ve breşik dokuya da rastlanılmaktadır.

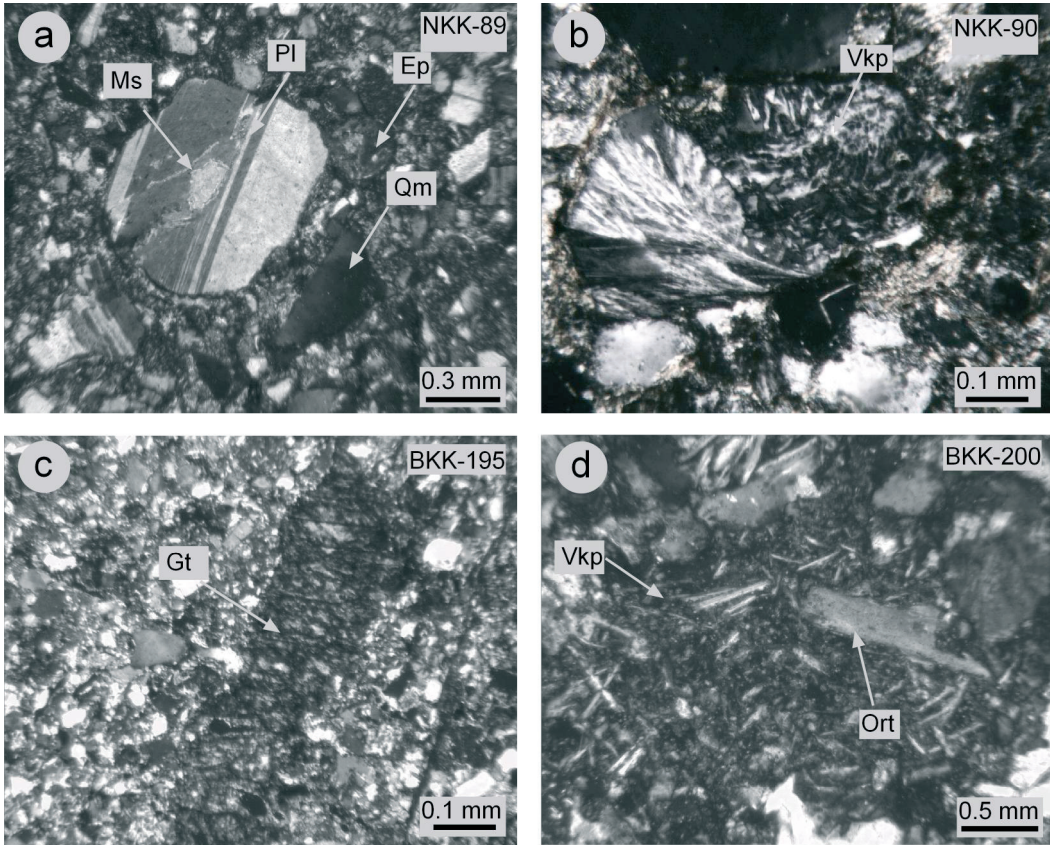
Orhanlar Birimi

Psamitik dokulu, olgunlaşmamış, orta-kötü boylanmalı, ince-orta-yer yer çok iri kum boyundaki kumtaşlarında (grovak, feldispatik litarenit, volkanik arenit) ana bileşenleri kuvars, plajiyoklaz, or-

toklaz, serizit/muskovit, biyotit, kalsit; tali bileşenleri ise opak mineral, zirkon, epidot, turmalin ve apatit temsil etmektedir. Bu kayalarda matriks, yönlenme ve bükülme gösteren klorit ve serizitlerden oluşmaktadır. Çok az miktarda gözlenen kalsit, çimentonun yanı sıra, çatlaklarda da bulunmaktadır. Kuvarlar, birden fazla tanenin birliktelik oluşturduğu polikristalin ve yer yer dalgalı sönmeye gösteren monokristalin türdedir. Plajiyoklazlardaki serizitleşme yer yer muskovit büyüklüğüne ulaşmaktadır (Şekil 5a). Kataklastik deformasyon sonucu plajiyoklazların ikiz lamellerinde mikro kırıklar ve ötelenmeler yaygın olarak gelişmiştir. Ortoklazlarda pertitik, mirmekitik-grafik doku (Şekil 5b) ve Karlsbad ikizlenmesi gibi kristalografik özellikler gözlenmiştir. Biyotitler ise, açık

sarı renkli olup, yönlenme ve bükülmeye sahiptir. Yer yer mikrolaminasyonun izlendiği bu kayalarda prizmatik görünümde götitler gözlenmektedir (Şekil 5c). Kalsit, mavi girişim renkli klorit ve ender olarak epidotlar gözeneklerde yer alan diğer bileşenlerdir. Kumtaşlarında plajiyoklaz mikrolitlerinden oluşan bazalt (Şekil 5d), şist ve/veya fillit ve kuvarsit türü köşeli ve yarı yuvarlak kayaç parçacıkları da gözlenmiştir.

Birimde ince-orta taneli, zayıf yönlenmeye sahip bir kayaç örneği silttaş; yer yer mikrolaminasyonların ve fillosilikat yönlenmelerinin gözlendiği bir kayaç örneği ise, sleyt olarak tanımlanmıştır. Fillosilikat matriks ve az miktarda kalsit çimentolu bu kayalarda iğnemsî ve yumru götit mineralleri de gözlenmiştir.



Şekil 5. Orhanlar birimi kumtaşlarında optik mikroskop mikrofotoğrafları (çn): (a) yarı yuvarlak plajiyoklazlarda serizitleşme/muskovitleşme, (b) granitik kayaç parçacığında plajiyoklaz-ortoklaz sınırında mirmekitik-grafik doku, (c) prizmatik Fe-oksit mineralleri, (d) mikrolitlerden oluşan bazaltik kayaç parçası (Qm=Monokristalin kuvar, Ep=Epidot, Ms=Muskovit, Pl=Plajiyoklaz, Ort=Ortoklaz, Vkp=Volkanik kayaç parçacığı).

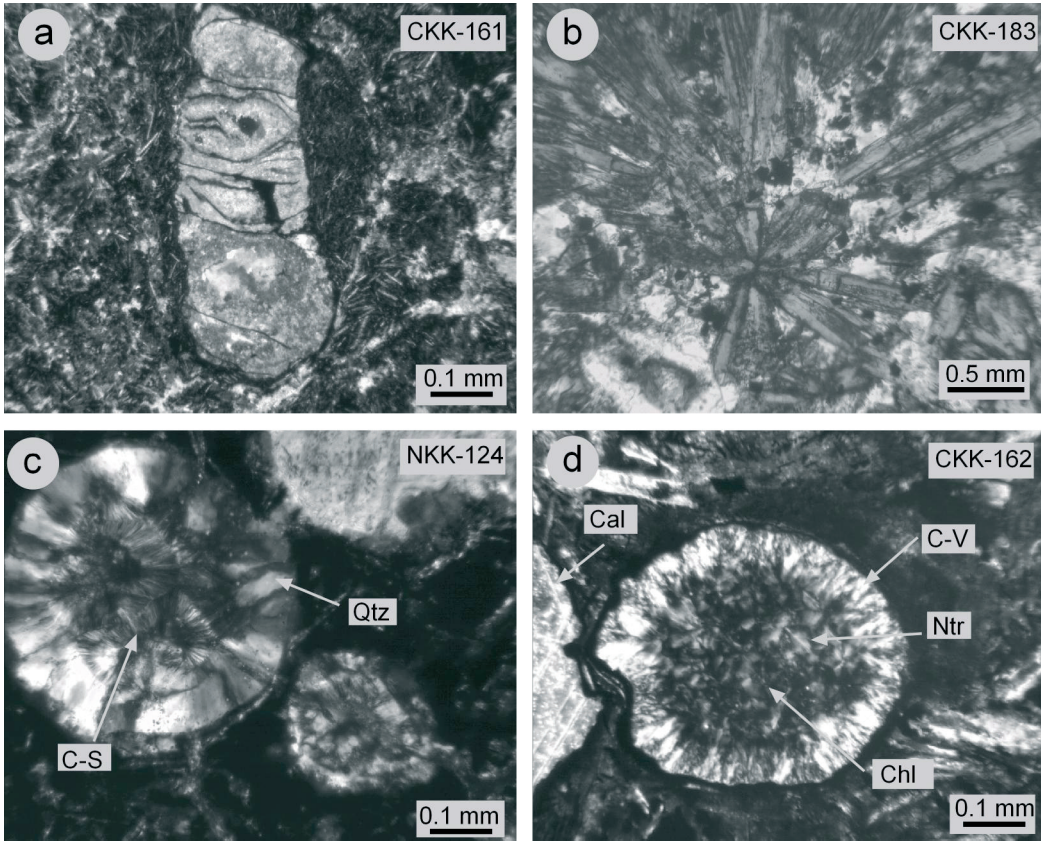
Figure 5. Optical microscopy microphotographs of the Orhanlar unit sandstones (cn): (a) sericitization/muscovitization in the subrounded plagioclases, (b) myrmekitic-graphic texture boundary of plagioclase-orthoclase in the granitic rock fragments, (c) prismatic Fe-oxide minerals, (d) basaltic rock fragment consisting of microlites (Qm=Monocrystalline quartz, Ep=Epidote, Ms=Muscovite, Pl=Plagioclase, Ort=Orthoclase, Vkp=Volcanic rock fragment).

Çal Birimi

Spilitik bazaltları temsil eden ve mikrolaminasyon ve yönlenmenin de yer yer gözlemlendiği volkanik kayalar vitrofirik porfirik, vitrofirik-mikrolitik porfirik, amigdaloyidal ve yer yer glomeroporfirik dokuya sahiptir. Açık renkli bileşenleri plajiyoklaz, koyu renkli bileşenleri ise çoğunlukla bozuşmuş piroksen (ojit, Ti-Ojit) psödomorfları oluşturmaktadır. Piroksen veya olivin (?) psödomorfları olarak düşünülen yarı-özşekilli mineraller, karbonatlaşma, serizitleşme ve/veya uralitleşme göstermektedir (Şekil 6a). Ojit ve Ti-ojitler çoğunlukla fenokristal, kısmen de hamurda mikrolitleri temsil etmektedir. İri, prizmatik ışınal dizilimli Ti-ojit fenokristallerinin bazen

bir merkezden itibaren gelişmiş haç benzeri görünüşleri tipiktir (Şekil 6b). Plajiyoklaz mineraleri, hamurda mikrolitik oluşumlarının yanı sıra, az da olsa, zonlu dokuya sahip fenokristalleri de bulunmaktadır. Plajiyoklazlarda serizitleşme ve karbonatlaşma yaygın olarak gözlenmektedir. Matris bütünüyle volkanik camda gelişmiş tremolit/aktinolit, epidot, biyotit, klorit, C-S, silis ve hematit ile temsil edilmektedir.

Volkanik kayalar genellikle 0.2-2 mm çapındaki küresel, elipsoidal ve yer yer birleşik amigdallere sahiptir. Gözeneklerde, kalsit mineraleri başta olmak üzere, klorit, levhamsı-ışınal C-S, C-V, kalsedonik kuvars, epidot ve ışınal natrolit bulunmaktadır (Şekil 6c, d). Kalsedonik kuvarslar bütünüyle amigdalleri doldurma-



Şekil 6. Çal birimi spilitik bazaltlarının optik mikroskop mikrofotografaları: (a) kalsit dolgulu olivin (?) psödomorfları (çn), (b) ışınal dizilimli Ti-ojit fenokristalleri (tn), (c) amigdallerde C-S oluşumlarını çevreleyen kalsedonik kuvarslar (çn), (d) natrolit, klorit ve C-V dolgulu gözenekler (çn) (Ntr=Natrolit, Chl=Klorit, C-V=Klorit-vermikülit, Cal=Kalsit, C-S=Klorit-smektit, Qtz=Kuvars).

Figure 6. Optical microscopy microphotographs of the Çal unit spilitic basalts: (a) olivine pseudomorphs (?) with calcite filling (cn), (b) radiated Ti-augite phenocrystals (tn), (c) chalcedonic quartzs surrounding C-S occurrences in the amygdales (cn), (d) pores filled with natrolite, chlorite and C-V (cn) (Ntr=Natrolite, Chl=Chlorite, C-V=Chlorite-vermiculite, Cal=Calcite, C-S=Chlorite-smectite, Qtz=Quartz).

sının yanı sıra, bazen C-S dolgulu amigdallerin dış çeperini kuşatmıştır. Yeşil renkli klorit, kahverenkli biyotit ve C-S'in kalsit dolgulu amigdallerin çevresini sarar durumda bulunduğu görülmüştür. Epidot, matriksin yanı sıra, gözeneklerde de yer almaktadır. Matriks içerisinde yaygın olarak Fe-oksit mineralleri (özşekilli dörtgen hematit, iğnemi götit) gözlenmektedir.

Birimde ara seviyeler şeklinde gözlenen klastik kayalar (feldispatik grovak ve silttaş) karbonat çimentolu ve fillosilikat (klorit ve serizit) bileşimli matriks içerisinde başlıca kuvars, plajiyoklaz, ortoklaz, serizit/muskovit, klorit, mikrolitik dokulu volkanik kayaç parçacıkları, ender olarak zirkon ve opak minerallerinden oluşmaktadır. Kötü boylanmaya sahip bu kayalarda yer yer mikrolaminasyon, kıvrımlanma ve yönlenme de görülmektedir.

Birimdeki karbonat kayaçları mikrosparitik ve sparitik çimentoya sahiptir. Karbonat mineralleri sparitlerde yer yer özşekillidir. Gözeneklerde daha iri kalsit kristalleri bulunan bu kayaların klastik bileşenlerini muskovit ve kuvars oluşturmaktadır. Dolomitik kireçtaşları ise, özşekilli rombohedral dolomit kristallerinden oluşmakta ve yer yer zonlu doku özelliği sergilemektedir.

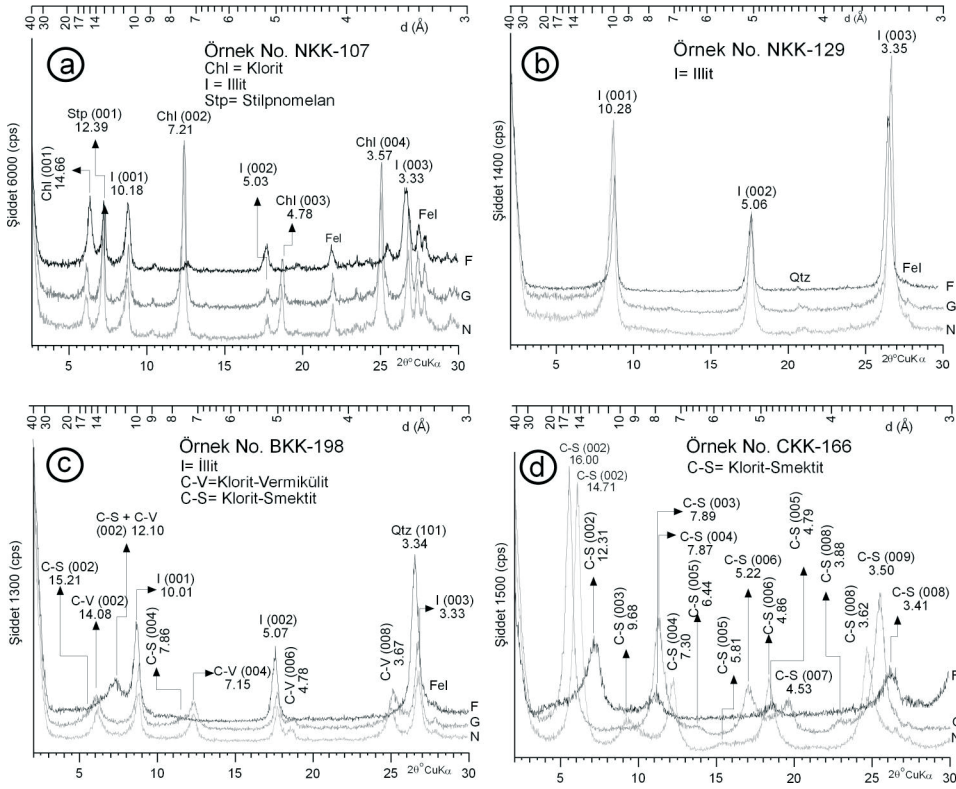
X-IŞINLARI ÇÖZÜMLEMELERİ

Nilüfer birimini temsil eden kayalarda XRD-TK bileşimini bolluk sırasına göre; feldispat, fillosilikat (klorit, illit, C-S, smektit, kaolinit, stilpnomen, I-S ve C-V), kalsit ve kuvars, dolomit, piroksen (ojit), amfibol (hornblend, glokofan, tremolit/aktinolit, antofillit), hematit, epidot ve götit temsil etmektedir. Metavolkanik kayalarda en yaygın fillosilikat parajenezleri illit+klorit+C-S/ C-V/ I-S olup, sadece bir örnekte stilpnomen bu birlikteliğe katılmaktadır. Fe-oksit (götit) içeren bozunmuş metavolkaniklerde illit+klorit birlikteliğine kaolinit eşlik etmektedir. Smektit ise klorit +C-V ile birlikte bulunmaktadır. Sleytlerde fillosilikat mineralojisini illit+klorit veya illit+klorit+C-V temsil etmektedir. Bir örnekte ise, kil fraksiyonunu tümüyle klorit oluşturmaktadır. Stilpnomen ise klorit+ illit parajenezine eşlik etmekte olup, 12.39 Å da ortaya çıkan (001) yansıması ile ayırt edilmektedir (Şekil 7a).

Hodul birimini temsil eden kayalarda bolluk oranına göre; kuvars, fillosilikat (illit, klorit, kaolinit, smektit, I-S ve C-V), feldispat, kalsit ve götit mineralleri saptanmıştır. Birimde illit saf fraksiyonları oluşturmaktadır (Şekil 7b). İllit+ kaolinit/ I-S; klorit + C-V parajenezi yaygın olarak gözlenmekte olup, C-V aratabakalı illit mineraline de eşlik etmektedir. Bazı kayalarda illit + klorit + kaolinit + smektit ve illit + klorit + C-V parajenezi de gözlenmiştir. C-V karışık tabakalına ait birinci dizi pikleri gözlenmemiştir. Normal ve gli-kollü çekimde (002) yüzeyine ait pik 14.21 Å'da ortaya çıkarken, bu yüzeye ait fırınlı pikin 11.91 Å' da gözlenmesi bu mineralin kloritlerden ayırt edilmesini sağlamaktadır.

Orhanlar birimde mineral bollukları; kuvars, feldispat, fillosilikat (klorit, illit, kaolinit, C-S, C-V ve I-S), kalsit, dolomit, götit ve ender epidot şeklinde sıralanmaktadır. Feldispatik litarenitlerde illit+klorit parajenezi yaygın olarak gözlenirken, volkanik arenit örneğinde illit +klorit+ C-S birlikteliği ortaya çıkmaktadır (Şekil 7c). Kumtaşlarında ayrıca illit+klorit+C-S+I-S ve illit + klorit + C-V birlikteliği de saptanmıştır.

Çal biriminde bolluk oranına göre; kalsit, fillosilikat (klorit, C-S, vermikülit, illit ve C-V, I-S ve I-C), kuvars, feldispat, hematit, dolomit, piroksen, amfibol, götit, hematit ve ender natrolit mineralleri saptanmıştır. Volkanojenik kayalarda illit, klorit, smektit, karışık tabakalı C-V ve C-S fillosilikatları temsil etmektedir. Bu kayalarda yaygın olarak illit + klorit + C-S veya C-V; daha az klorit + C-S ve klorit + smektit + C-S parajenezleri gözlenmiştir. Bozunmuş volkanik olarak tanımlanan iki örnekte smektit ve C-S minerallerine ait saf fraksiyonlar da belirlenmiştir. Smektit mineralinin (001) düzlemine ait normal piki 14.86 Å ve gli-kollü piki 16.63 Å gözlenirken, fırınlı piki 9.49 Å'a kadar düşmektedir. Yaygın olarak gözlenen illit + klorit + C-S parajenezine ait difraktogramlarda C-S mineralinin (002) yüzeyine ait gli-kollü (14.74 Å) ve fırınlı (12.13 Å) pikleri ile klorit mineralinden ayırt edilmiştir. Kumtaşlarında illit + C-S, metasilttaşlarında illit + klorit + I-S, şeylerde illit + klorit + C-V, illit + C-S, illit + C-V ve vermikülit veya I-C parajenezi gözlenmektedir. C-S; kumtaşı ve şeyl türü kayalarda saf kil fraksiyonlarını da oluşturmaktadır (Şekil 7d).



Şekil 7. Karakaya Karmaşığı birimlerinde XRD kil fraksiyonu difraktogramları: (a) Nilüfer birimi kalsleytlerinde stiplinomelan ve eşlikçi fillosilikatlar, (b) Hodul birimi şeyllerinde saf illit fraksiyonu, (c) Orhanlar birimi silttaşı litolojisinde karışık tabakalılar (C-S ve C-V) ve eşlikçi illit, (d) Çal birimi spilitik bazaltlarında saf C-S fraksiyonu.

Figure 7. XRD clay fraction diffractograms of the Karakaya Complex units: (a) stilpnomelane associated with phyllosilicates in calcslates of the Nilüfer unit, (b) pure illite fraction in shales of the Hodul unit, (c) mixed layers (C-S and C-V) associated with illite in siltstone lithology of the Orhanlar unit, (d) pure C-S fraction in the spilitic basalts of the Çal unit.

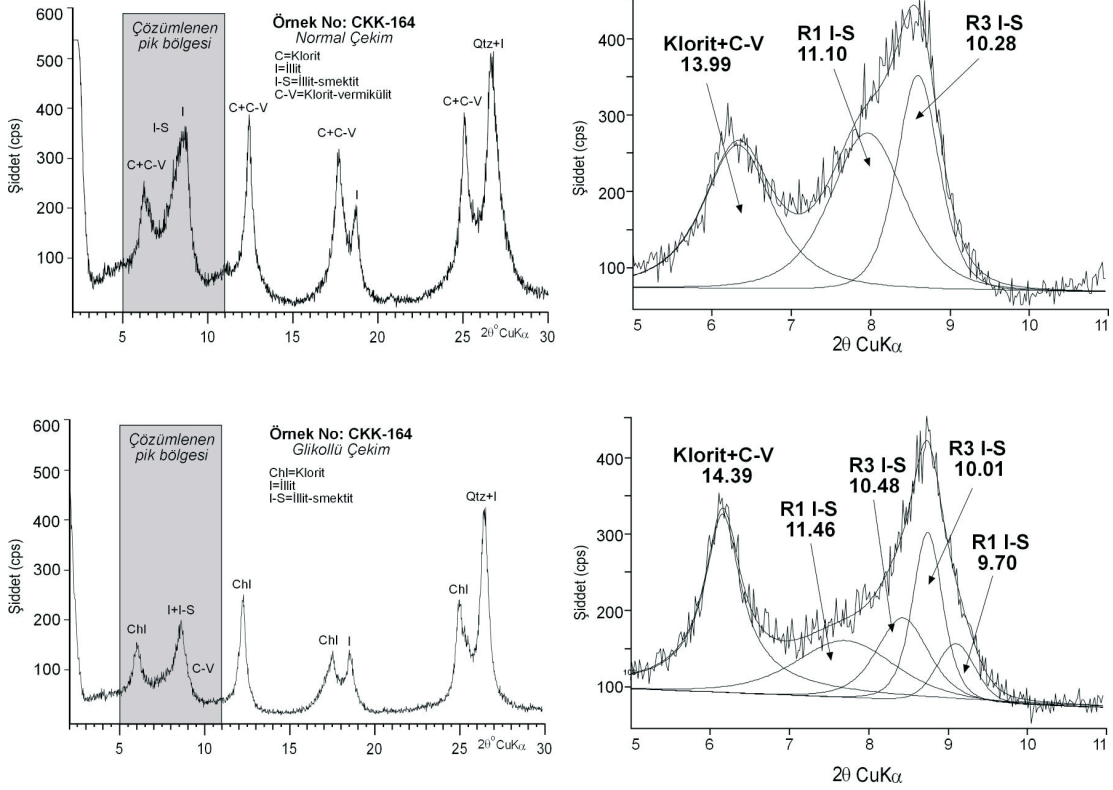
NEWMOD programı (Reynolds, 1985) ile C-S karışık tabakalısının R1 aratabakalanma düzeyine ve % 65 klorit-% 35 smektit içeriğine sahip olduğu, ayrıca WINFIT programı (Krumm, 1996) ile I-S mineraline ait tabakalanma tiplerinin R1 ve R3 olduğu belirlenmiştir (Şekil 8).

FİLLOSİLİKATLARIN KRİSTALKİMYASI

KB Anadolu politipi inceleme sonuçlarına göre; Nilüfer birimine ait iki klorit minerali bütünüyle //b (Şekil 9); Hodul birimi saf K-mika illitleri tümünde $1M_d$ politipine işaret eden geniş ve yüksek zemin özelliklerinin yanı sıra, $1M$ ve $2M_1$ politipine ait pikler de gözlenmiştir (Şekil 10). Maxwell ve Hower (1967)'in (2.80 Å) / (2.58 Å) oranına ve Grathoff ve Moore (1996) tarafından önerilen pik alanlarına göre, illitler % 25-35 $2M_1$, % 20-25 $1M$ ve % 45-50 $1M_d$ içermektedir (Şekil 11).

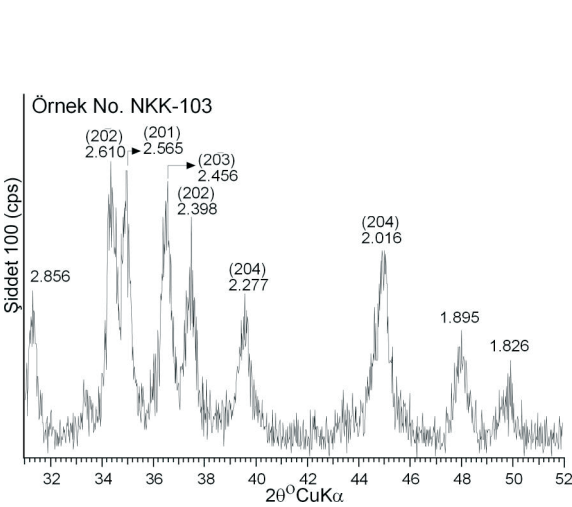
XRD yöntemi ile belirlenen kimyasal bileşimlerine (Brindley, 1961; Brown ve Brindley, 1980; Chagnon ve Desjardins, 1991), Si-Fe/(Fe+Mg) oranlarına (Foster, 1962) ve AIPEA sınıflamasına (Bailey, 1980) göre, Nilüfer ve Orhanlar birimlerine ait trioktahedral kloritler çoğunlukla şamozit olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, bu birimlere ait birer örnek ile Çal birimine ait bir örnek ise, klinoklor bileşimindedir.

İllit ve klorit "kristalinite" ölçümlerinde Kübler indisi (KI: Kübler, 1968) ve Arkai indisi (AI: Arkai, 1991; Guggenheim vd., 2002) kullanılmıştır. KB Anadolu'daki birimler için WINFIT programı yardımıyla ölçülen kristalinite ölçüm değerleri KI-I(002)/(001) diyagramında değerlendirilmiştir (Şekil 12). Buna göre, Nilüfer birimi 0.22-0.42 $\Delta^\circ 2\theta$ (ortalama 0.32 $\Delta^\circ 2\theta$, ankizon-epizon), Hodul birimi 0.41-0.84 $\Delta^\circ 2\theta$ (ortalama 0.64 $\Delta^\circ 2\theta$,



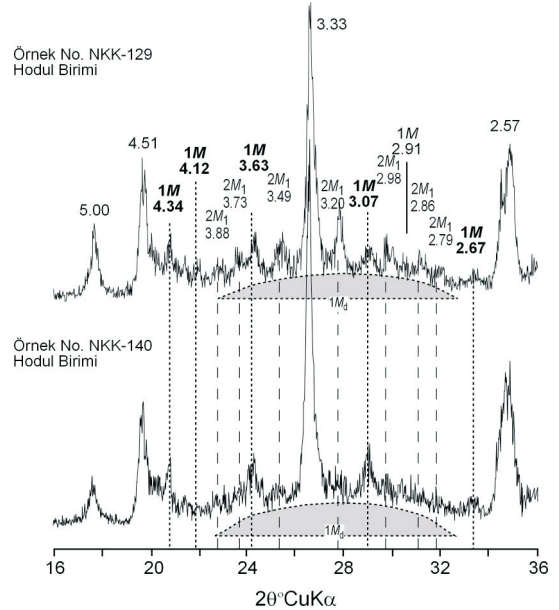
Şekil 8. Çal birimi şeyl örneğinde klorit + illit + I-S + C-V birlikteliğine ait birleşik piklerin WINFIT programı yardımıyla çözülmesi.

Figure 8. Analysis of composed peaks belonging to chlorite + illite + I-S + C-V assemblage by means of WINFIT program in the shale sample from the Çal unit.



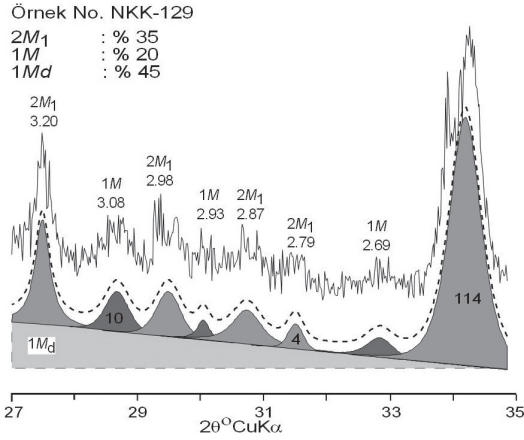
Şekil 9. Nilüfer birimi kalsleyt örneğinde illite klorit politipinin yönlenmemiş XRD toz difraktogramı.

Figure 9. XRD unoriented powder diffractogram of illite polytype of chlorite in the calcslate sample from the Nilüfer unit.



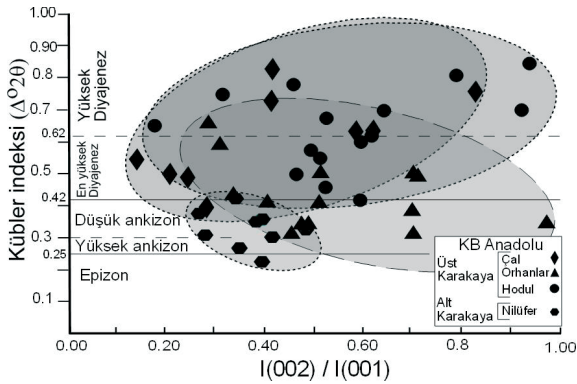
Şekil 10. Hodul birimi şeyl örneğinde $2M_1 + 1M + 1M_d$ illite politipinin yönlenmemiş XRD toz difraktogramı.

Figure 10. XRD unoriented powder diffractogram of $2M_1 + 1M + 1M_d$ polytypes of illite in the shale sample from the Hodul unit.



Şekil 11. Hodul birimi şeyl örneğinde $2M_1 + 1M + 1M_d$ illit politipinin yönlenmemiş XRD toz difraktogramında WINFIT programı yardımıyla belirlenen pik alanları.

Figure 11. Peak areas determined on XRD unoriented powder diffractogram of $2M_1 + 1M + 1M_d$ polytypes of illite by means of WINFIT program in the shale sample from the Hodul unit.



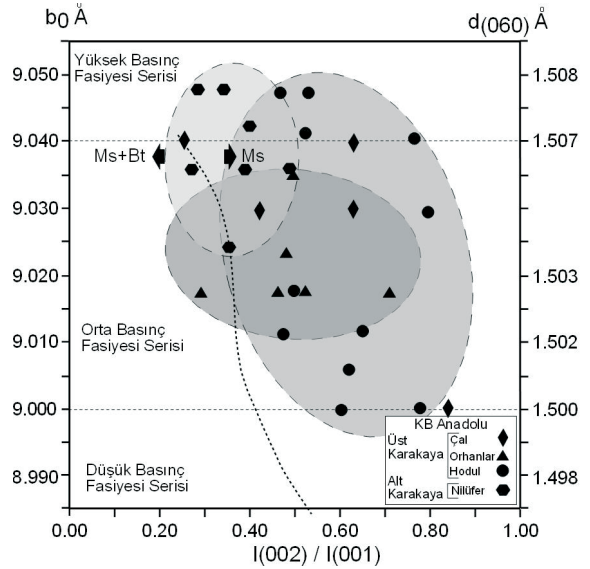
Şekil 12. KB Anadolu Karakaya Karmaşığı birimlerinde K-mikaların KI-I(002)/(001) pik şiddeti oranlarına göre dağılımları.

Figure 12. Distributions of KI-I(002)/(001) of K-micas in the Karakaya Complex units from NW Anatolia.

yüksek dereceli diyajenez), Orhanlar birimi $0.31-0.66 \Delta^\circ 2\theta$ (ortalama $0.42 \Delta^\circ 2\theta$, ankizon ve yüksek dereceli diyajenez) ve Çal birimi $0.39-0.90 \Delta^\circ 2\theta$ (ortalama $0.60 \Delta^\circ 2\theta$, erken diyajenez) değerlerine karşılık gelmektedir.

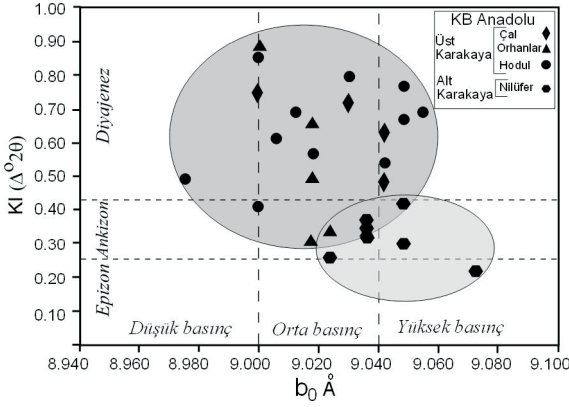
Fenjitik bileşimli dioktahedral illitlerde (Mg+Fe: Hunziker vd., 1986) b_0 parametresine göre (Sassi ve Scolari, 1974; Guidotti ve Sassi, 1986); b_0 değerleri, Nilüfer birimi için $9.024-9.048 \text{ \AA}$ (ortalama 9.039 \AA , yüksek ve orta basınç fasiyesi), Hodul birimi için $9.000-9.048 \text{ \AA}$ (ortalama 9.021 \AA , orta basınç fasiyesi), Orhanlar birimi için $9.018-9.036 \text{ \AA}$ (ortalama 9.022 \AA , orta basınç fasiyesi) ve Çal birimi için $9.000-9.042 \text{ \AA}$ (ortalama 9.029 \AA , orta basınç fasiyesi) arasında değişmektedir (Şekil 13).

KB Anadolu birimlerinin farklı kayaç türlerini temsil eden K-mikalara ait b_0 -KI ilişkisine göre; Nilüfer orta-yüksek basınç anki-epizon, Hodul düşük-yüksek basınç ankizon-diyajenez, Orhanlar orta basınç ankizon-diyajenez ve Çal orta-yüksek basınç diyajenez derecesini yansıtmaktadır (Şekil 14).



Şekil 13. KB Anadolu Karakaya Karmaşığı birimlerinde K-mikalarda b_0 -I(002)/(001) ilişkisi (basınç sınırları: Guidotti ve Sassi, 1986; biyotitli ve biyotit içermeyen K-mikalar arasındaki sınır: Bozkaya ve Yalçın, 2004).

Figure 13. b_0 -I(002)/(001) relation of K-micas in the Karakaya Complex units from NW Anatolia (pressure limits: Guidotti and Sassi, 1986; boundary between K-micas with and without biotite: Bozkaya and Yalçın, 2004).



Şekil 14. KB Anadolu K-mikalarda b_0 -Kl ilişkisi (b_0 basınç sınırları: Guidotti ve Sassi, 1986).

Figure 14. b_0 -Kl relation of K-micas from NW Anatolia (pressure limits: Guidotti and Sassi, 1986).

İllitlerin kristalit büyüklükleri ölçümlerinde farklı yöntemler uygulanmış olup, benzer sonuçlara ulaşılmıştır. WINFIT programı ile belirlenmiş kristalit büyüklükleri; Nilüfer biriminde 7-25 nm, Hodul biriminde 5-11 nm (ortalama 8 nm), Orhanlar biriminde 4-17 nm (ortalama 11 nm) ve Çal biriminde 4-12 nm (ortalama 7 nm) arasında değişmektedir. Merriman vd. (1990) tarafından önerilen yöntemde ise, Nilüfer birimi için 23-55 nm (ortalama 34 nm), Hodul birimi için 10-23 nm (ortalama 15 nm), Orhanlar birimi için 13-34 nm (ortalama 25 nm) ve Çal birimi için 10-25 nm (ortalama 16 nm) kristalit büyüklükleri elde edilmiştir.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

KB Anadolu'da Alt Karakaya Birimi olan Nilüfer birimi alt düzeyi mavişist, üst düzeyleri ise yeşilsist fasiyesine karşılık gelen kaya türlerini içermektedir. Üst Karakaya birimlerinden Hodul birimi psamitik, pelitik ve karbonat, Orhanlar birimi psamitik ve pelitik, Çal birimi volkanik, psamitik, pelitik ve karbonat kayaçlarından oluşmaktadır. Alt Karakaya Birimi'nin fasiyesleri tektonik dilimlerle temsil edilirken, Üst Karakaya birimleri yerel tektonik deformasyon izleri taşımakla birlikte, mineral birliktelikleri ve diyajenez/metamorfizma dereceleri, uyumlu bir istife işaret etmektedir.

Biga Yarımadası'nda Nilüfer biriminin metabazik kayaçlarında sodik amfibole rastlanılmadığı be-

lirilmektedir (Okay vd., 1990). KB Anadolu'nun bazı kesimlerinde Alt Karakaya Karmaşığı'nın genel olarak alt yeşilsist fasiyesinde metamorfizma geçirdiği, bununla birlikte amfibolit, mavişist ve eklojit fasiyeslerine de ulaştığı bildirilmektedir (Okay ve Göncüoğlu, 2004). Bu çalışmada Bursa'nın güneybatısında Orhanlı ilçesi Gümüştepe-Gökçeören köyleri arasında glokofan içeren metamorfik kayaçlar saptanmıştır. Glokofan şistler düşük-sıcaklık (100-250 °C) ve yüksek-basınç (4-9 kb), diğer bir ifadeyle yaklaşan kıta kenarları (dalma-batma zonu) boyunca gelişen mavişist fasiyesini temsil eden gömülme metamorfizmasının karakteristiğidir (Ehlers ve Blatt, 1982).

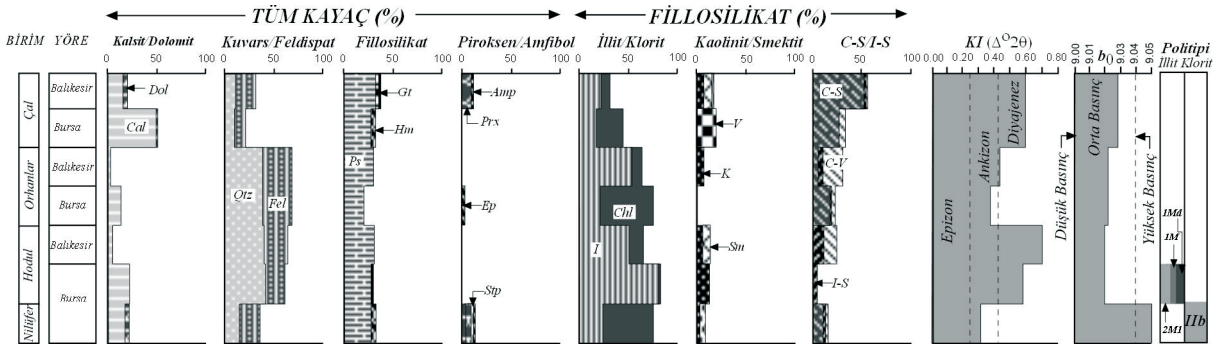
Alt Karakaya Karmaşığı'nı temsil eden Nilüfer biriminin taban kesimlerindeki şistlerde {001} eksenine paralel yönlenmiş klorit, muskovit, biyotit levhaları ile c-kristalografik eksen yönünde kuvarsların dizilmesi sonucu metamorfik ayırışmalar gelişmiştir. Glokofanlarda kenarlarından itibaren gelişen tremolit/aktinolit dönüşümleri, birimin önce yüksek basınç metamorfizmasının (gömülme) ve daha sonraki evrede ise daha düşük basınçtaki tektonik olayların etkisinde kaldığını göstermektedir. Aynı kayaç içerisinde glokofanları kesen stilpnomelan minerallerinin varlığı, ikinci evredeki metamorfizma karşılık gelen diğer bir veridir.

KB Anadolu yöresindeki Karakaya Karmaşığı birimlerine ait (meta-)kumtaşlarında bağlayıcı konumundaki mineraller başlıca serizitleşmiş, kloritleşmiş, kısmen smektikleşmiş ve kaolinleşmiş kil/fillosilikat matriks ile karbonat (kalsit, az dolomit) ve silis çimento olarak sıralanabilir. Detritik bileşenler; çoğunlukla monokristalin kuvars, feldispat (mikroklin, mirmekitik-grafik-pertitik ortoklaz, kataklastik deformasyona bağlı ikiz lamellerinde mikro-kırıklar ve ötelenmeler içeren plajiyoklaz), mika (muskovit, biyotit), tali mineraller (zirkon, apatit, epidot, turmalin, amfibol, piroksen, hematit ve götit) ile volkanik, granit ve metamorfik kayaç parçacıkları ile temsil edilmektedir. Kumtaşlarındaki kil mineralleri hem matriksin temel bileşeni olarak, hem de killi kayaç parçalara ait olabildiği gibi, sulu çözeltiden itibaren doğrudan çökeltme sonucu çimento konumunda da gözlenebilmektedir. (Meta-)kumtaşları subarkoz, litik arkoz, sub-

litarenit ve feldispatik litarenit gibi geniş bir petrografik dağılım sunmaktadır. Blastopsamitik dokulu, çoğunlukla orta-kötü boylanmalı, yarı yuvarlak-yarı köşeli, ince-orta-iri kum yer yer mikrokonglomera boyu bileşenlerden oluşmakta olup, dokusal ve mineralojik açıdan iyi olgunlaşmamışlardır. Kuvars minerallerinin Alt Karakaya Karmaşığı birimlerinde yaygın olarak monokristalin, Üst Karakaya Karmaşığı birimlerinde ise polikristalin türde olması; kaynak bölge ve kayaların farklılığının yanı sıra, çökelmeyle yaşıt volkanizma ve sonraki tektonik ile de ilişkilidir. Bazı ortoklaz minerallerinde karlsbad ikizlenmesinin bazılarında ise plajiyoklaz kapanımlarının gözlenmesi, granitik beslenmenin diğer izlerini oluşturmaktadır. Feldispatların ikiz lamellerindeki bükülmeler de kataklazma etkilerine işaret etmektedir. KB Anadolu'da feldispat minerallerinin ortalama bollukları Orhanlar birimine doğru artmaktadır. Birimlere göre feldispatların miktarlarındaki değişim; kaynak bölgedeki bozunma (weathering)/bozuşma (alteration), kaynak kayaç bileşimi, taşınma sırasındaki aşınma ve çözünme, diyajenez sırasındaki çözünme ve tektonizma (hızlı yükselim ve aşınma) ile ilişkilidir (örneğin; Ronov vd., 1963). Ağır minerallerin hem bazik, hem de asidik magmatik kayaçlardan türediği sonucuna varılabilmektedir. Karakaya Karmaşığı'nda bazik magmatiklerin bulunduğu düşünülürse, asidik bileşenlerin daha yaşlı birimlerden taşındığı ileri sürülebilir. Ayrıca bazı ağır minerallerin (örneğin zirkon) belirgin biçimde yuvarlaklaşmış olması, bu görüşü doğrulamaktadır. Metavolkanik kayaçlarda tanımlanan dokusal ilişkiler ve mineral birlikte-

likleri; bunların yeşil şist fasiyesinde metamorfizma geçirdiklerini, ayrıca sonraki bozunma ve/veya bozuşma süreçlerinden etkilendiklerini ortaya koymaktadır.

Karakaya Karmaşığı birimlerinde saptanan minerallerin bollukları ile bazı kristalkimyasal özelliklerin dağılımları Şekil 15'de sunulmuştur. Buna göre KB Anadolu'da karbonat minerallerinden kalsit tüm seviyelerde gözlenmekte olup, bunlar Bursa yöresinde Nilüfer ve Çal birimlerinde miktar olarak artmaktadır. Dolomit sadece bu birimlerdeki kayaçlarda ortaya çıkmaktadır. Kuvars tüm seviyelerde gözlenmekle birlikte, klastik kökenli kayaçların ana litolojiyi temsil ettiği Hodul ve Orhanlar birimlerinde artış sergilemektedir. Feldispat ve fillosilikat yine tüm birimlerde gözlenmekte, piroksen ve amfiboller Nilüfer ve Çal (Balıkesir yöresi) birimlerinde ortaya çıkmaktadır. Epidot Bursa yöresinde Nilüfer ve Orhanlar birimlerinde gözlenirken, stilpnomen sadece Nilüfer biriminde görülmektedir. Hematit az miktarlarda Nilüfer ve Çal, götit ise Hodul ve Çal birimlerindeki kayaçlara eşlik etmektedir. Çal biriminde (Bursa-Demirtaş) feldispat içermeyen volkanik seviyelerin varlığı, feldispatların bütünüyle kil minerallerine dönüşmesiyle açıklanabilir. Fillosilikatlarda illit ve klorit tüm birimlerde gözlenmekle birlikte; illit Hodul ve Orhanlar, klorit ise Bursa yöresinde Nilüfer ve Orhanlar birimlerinde artış göstermektedir. Kaolinit tüm birimlerde gözlenirken, Hodul biriminde kısmen artmaktadır. Smektit Nilüfer, Hodul ve Çal birimlerinde ortaya çıkmaktadır. Vermikülit sadece Çal biriminde gözlenmektedir. Karışık tabakalı kil minerallerinden C-S, Hodul birimi

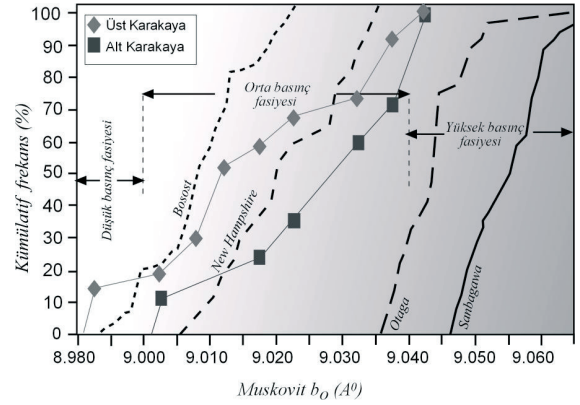


Şekil 15. Karakaya Karmaşığı birimlerinde saptanan minerallerin genel ortalama bollukları, KI, b_0 ve politipleri.
Figure 15. General mean abundances, KI, b_0 and polytypes of minerals determined in the Karakaya Complex units.

hariç, tüm birimlerde gözlenmekle birlikte, C-V Bursa yöresindeki Hodul birimi dışında diğer birimlerde bulunmaktadır. I-S tüm birimlerde gözlenirken, Hodul biriminde kısmen artış sergilemektedir. Hodul, Orhanlar ve Çal birimlerindeki karışık tabakalılar, volkanizmanın Üst Karakaya birimlerinin çökmesi sırasında etkin olduğunu gösteren verilerden birisidir. Ayrıca minerallerin dikey dağılımlarına göre; Üst Karakaya birimlerinin birbirlerine geçişi sırasında mineralojik bir farklılık ortaya çıkmamış olup, birimlerin alt-üst geçişlerinde özellikle kaolinitin varlığı aynı ortamda çökelmiş düzenli bir istif göstermektedir.

KI'nin ortalama değerleri Nilüfer birimi için epizon-ankizon, Hodul ve Çal birimleri için bütünüyle diyajenetik ve Orhanlar birimi için ankizon bölgesini işaret etmektedir. b_0 değerlerine göre Nilüfer birimi orta-yüksek basınç, Hodul, Orhanlar ve Çal birimleri ise orta basınç alanında yer almaktadır. Nilüfer birimi kloritlerinde //b politipi ve Hodul birimi illitlerinde $1M_d$ politipinin egemen olması diyajenetik kökenli illitlerin varlığıyla uyumluluk sergilemektedir. Üst Karakaya birimlerinin kendi içerisindeki bu farklılıklar, volkanik/detritik/diyajenetik mikaların oranlarından kaynaklanmaktadır. Alt ve Üst Karakaya birimlerinde alttan üste doğru kil mineral tür ve bolluklarındaki farklılıklar ve/veya düzensizlikler, ilerleyici karakterde bir diyajenez/metamorfizmadan çok, birimlerin kendi içerisinde düzenli bir istif sunmayıp melanj (karışık) özelliğinde olması ile ilişkilidir. Ayrıca bu dağılım detritik beslenme, volkanik aktivite ve bozuşma ve/veya bozunma süreçleri ile de denetlenmiştir.

Karakaya Karmaşığı birimlerinin illit/beyaz K-mikalarında b_0 değerlerine karşı kümülatif frekans dağılımları tipik bölgesel metamorfik alanlar (Sassi ve Scolari, 1974) eklenerek Şekil 16'da verilmiştir. Alt Karakaya Karmaşığı'nı temsil eden birimler orta basınç fasiyesinden yüksek basınç fasiyesine doğru geçen bir yönelim göstermekte olup, Otago Barroviyen tipi metamorfizma ile New Hampshire düşük basınç-orta sıcaklık fasiyesi ve Sanbagawa yüksek basınç-orta serisi alanları arasında yer almaktadır. Üst Karakaya birimleri ise, Bosost tipi olarak bilinen orta basınç-yüksek sıcaklık fasiyesine karşılık gelmektedir.

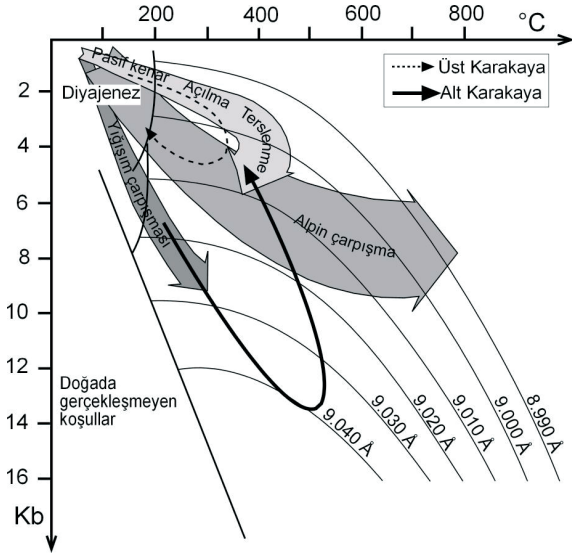


Şekil 16. Karakaya Karmaşığı birimlerinin illit/beyaz K-mikalarında b_0 değerlerine karşı kümülatif frekans dağılımı (bölgesel metamorfik alanlar: Sassi ve Scolari, 1974).

Figure 16. Cumulative frequency versus b_0 values in the illite/white K-micas of Karakaya Complex units (regional metamorphic areas: Sassi and Scolari, 1974).

Bingöl vd. (1975) tarafından tanımlandığından bu yana çok sayıda veri üretilmesine karşın, Karakaya Karmaşığı'nın çökme ortamı ve tektonik gelişimi üzerindeki tartışmalar günümüzde de devam etmektedir. Bu tartışmalar üç modelde ifadesini bulmaktadır: (a) rift (Bingöl vd., 1975; Yılmaz, 1981; Şengör ve Yılmaz, 1981; Şengör, 1984; Şengör vd., 1984; Koçyiğit, 1987; Genç ve Yılmaz, 1995; Göncüoğlu vd., 2000), (b) dalma-batma-eklenme (Tekeli, 1981; Robertson ve Dixon, 1984; Pickett vd., 1995; Pickett ve Robertson, 1996, 2004; Okay, 2000) ve (c) dalma-batma (Stampfli vd., 2001). Bu çalışmada elde edilen litolojik ve mineralojik-petrografik bulgulara göre, Karakaya Karmaşığı birimleri farklı metamorfizma karakteristikleri göstermektedir (Şekil 17). Alt Karakaya birimlerinin alt kesimleri (mavişist) dalma-batma zonuna; üst kesimleri (yeşilşist) yığışım çarpışmasına karşılık gelmekte olup, önce saat yönünde sonra saatin aksi yönünde P-T-t metamorfizmasına uğramıştır. Üst Karakaya birimleri ise genişlemeli bir havzada düşük basınç ve kısmen artan sıcaklık koşullarında saatin aksi yönündeki P-T-t koşullarını temsil eden diyajenetik ve/veya ankimetamorfik süreçleri kapsamaktadır.

Karakaya Karmaşığı volkanosedimanter istifi diyajenetik-metamorfik evrimlerinin yanı sıra, Kimmeriyen ve Alpin orojenezlerinin etkile-



Şekil 17. KB Anadolu'da Karakaya Karmaşığı birimlerinin farklı metamorfizma karakteristiklerini gösteren hipotetik metamorfik evrimi (b_0 değerleri: D'Amico vd., 1987; tektonik konumlar: Merriman ve Frey, 1999).

Figure 17. Hypothetic metamorphic evolution of Karakaya Complex units from NW Anatolia showing different metamorphism characteristics (b_0 values: D'Amico et al., 1987; tectonic settings: Merriman and Frey, 1999).

ri ile deformasyona uğrayarak tektonik dilimlere ayrılmış ve ilksel konumlarını kaybetmiş, bunun sonucunda da farklı anlamlara karşılık gelen ve yukarıda tartışılan bulgular ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak, Karakaya Karmaşığı'nın jeotektonik evrimini literatürde verilen modellerden hiçbiri tam olarak karşılamamaktadır. Bununla birlikte, Merriman (2005) tarafından önerilen mineral parajenezleri ve b_0 değerleri (sıkışmalı havzalar için K/Na mika, ender pirofillit, $b_0 > 9.02 \text{ \AA}$; genişlemeli havzalar için K/Na mika, pirofillit, klorit-mika istifleri, $b_0 < 9.01 \text{ \AA}$), Orta Pontidler'den elde edilen veriler (Tetiker, 2009) birlikte değerlendirildiğinde; Alt Karakaya birimlerinin sıkışmalı, Üst Karakaya birimlerinin ise genişlemeli havzayı temsil ettiği öne sürülebilir.

KATKI BELİRTME

Yazarlar, bu çalışmanın gerçekleşmesinde maddi destek sağlayan Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (Proje No: M

301) Birimi'ne, KB Anadolu'da birimlerin arazi-de tanıtılmasını sağlayan Mehmet Duru'ya (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü), yapıcı önerileri için Cumhuriyet Üniversitesi elemanlarından Ali Yılmaz ve Haluk Temiz'e, ayrıca Cemal Göncüoğlu (Ortadoğu Teknik Üniversitesi) ve Aral Okay (İstanbul Teknik Üniversitesi)'a, laboratuvar çalışmalarındaki yardımları için Fatma Yalçın ve Ufuk Kuş'a teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Altınlı, D., 1975. Orta Sakarya jeolojisi. Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi Bildiriler Kitabı, Ankara, s. 159-191.
- 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.
- Bailey, S.W., 1980. Summary of recommendations of AIPEA nomenclature committee on clay minerals. *American Mineralogist*, 65, 1-7.
- Bailey, E.B., 1988. X-ray diffraction identification of the polytypes of mica, serpentine, and chlorite. *Clays and Clay Minerals*, 36, 193-213.
- Bailey, E.B., and McCallien, W.J., 1950. The Ankara melange and the Anatolian Thrust. *Nature*, 166, 938-941.
- Bailey, E.B., and McCallien, W.J., 1953. Serpentine lavas, the Ankara melange and the Anatolian Thrust. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 62, 403-442.
- Bingöl, E., Akyürek, B. ve Korkmazer, B., 1975. Biga Yarımadası'nın jeolojisi ve Karakaya Formasyonunun bazı özellikleri. Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi Bildiriler Kitabı, Ankara, s. 70-77.
- Bozkaya, Ö., and Yalçın, H., 2004. New mineralogic data and implications for the tectono-metamorphic evolution of the Alanya Nappes, Central Tauride Belt, Turkey. *International Geology Review*, 46, 347-365.

- Bozkaya, Ö. ve Yalçın, H., 2007. X-ışını difraktogramlarında kil minerallerinin karmaşık piklerinin çözümlenmesi: Türkiye'den örnekler. 13. Ulusal Kil Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Isparta, s. 16-31.
- Brindley, G.W., 1961. Chlorite minerals. In: *The X-ray Identification and Crystal Structures of Clay Minerals*. G. Brown (ed.), Mineralogical Society, London, pp. 242-296.
- 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, and G. Brown (eds.), Mineralogical Society, London, pp. 411-438.
- Brown, G., and Brindley, G.W., 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, pp. 305-360.
- Chagnon, A., et Desjardins, M., 1991. Determination de la composition de la chlorite par diffraction et microanalyse aux rayons X. *Canadian Mineralogist*, 29, 245-254.
- D'Amico, C., Innocenti, C., e Sassi, F.P., 1987. *Magmatismo e Metamorfismo*. Unione Tipografica Editrice Torinese, Torino, Italy.
- Drits, V.A., Plançon, B., Sakharov, B.A., Besson, G., Tsipursky, S.I., and Tchoubar, C., 1984. Diffraction effects calculated for structural models of K-saturated montmorillonite containing different types of defects. *Clay Minerals*, 19, 541-561.
- Ehlers, E.G., and Blatt, H., 1982. *Petrology: Igneous, Sedimentary and Metamorphic*. W. H. Freeman and Company, San Francisco, USA.
- Erol, O., 1956. Ankara güneydoğusundaki Elma Dağı ve çevresinin jeolojisi ve jeomorfolojisi üzerine bir araştırma. *Maden Tetkik Arama Dergisi*, Seri D 9.
- Eroskay, O., 1965. Paşalar Boğazı-Gölpazarı sahasının jeolojisi. *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, pp. 1-33.
- Genç, Ş.C., and Yılmaz, Y., 1995. Evolution of the Triassic continental margin, Northwest Anatolia. *Tectonophysics*, 243, 193-207.
- Göncüoğlu, M.C., Dirik, K., and 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., and Uysal, Ş., 2000. A geotraverse 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.
- Granit, Y., et Tintant, H., 1960. Observation préliminaires sur le Jurassique de la région de Bilecik (Turquie). *C.R. Acad. Sci. Paris*, 251, pp. 1801-1803.
- Grathoff, G.H., and Moore, D.M., 1996. Illite polytype quantification using Wildfire© calculated X-ray diffraction patterns. *Clays and Clay Minerals*, 44, 835-842.
- 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., and 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.
- Guidotti, C.V., and Sassi, F.P., 1986. Classification and correlation of metamorphic facies series by means of muscovite b_0 data from low-grade metapelites, *Neues Jahrbuch für Mineralogie*, 153, 363-380.

- Hunziker, J.C., Frey, M., Clauer, N., Dallmeyer, R.D., Friedrichsen, H., Flehmig, W., Hochstrasser, K., Roggviler, P., and Schwander, H., 1986. The evolution of illite to muscovite: Mineralogical and isotopic data from the Glarus Alps, Switzerland. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 92, 157-180.
- 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.
- Koçyiğit, A., 1987. Hasanoğlan (Ankara) yöresinin tektonostratigrafisi: Karakaya orojenik kuşağının evrimi. *Yerbilimleri*, 14, 269-293.
- 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, pp. 253-261.
- Krushensky, R., Akçay, Y., and Karaege, E., 1980. Geology of the Karalar-Yeşiller area, Northwest Anatolia, Turkey. *Geological Survey*, 1461, 1-72.
- Kübler, B., 1968. Evaluation quantitative du métamorphisme par la cristallinité de l'illite. *Bulletin-Centre de Recherches Pau-SNPA*, 2, 385-397.
- Maxwell, D.T., and Hower, J., 1967. High-grade diagenesis and low-grade metamorphism of illite in the Precambrian Belt Series. *American Mineralogist*, 52, 843-857.
- Merriman, R.J., 2005. Clay minerals and sedimentary basin history. *European Journal of Mineralogy*, 17, 7-20.
- Merriman, R.J., and Frey, M., 1999. Patterns of very low-grade metamorphism in metapelitic rocks. In: M. Frey, and D. Robinson (eds.), *Low-Grade Metamorphism*, Blackwell Science, pp. 61-107.
- Merriman, R.J., Roberts, B., and Peacor, D.R., 1990. A transmission electron microscopy study of white mica crystallite size distribution in a mudstone to slate transitional sequence, North Wales, UK. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 106, 27-44.
- Moore, D.M., and Reynolds, R.C., 1997. *X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals*. Oxford University Press, New York.
- MTA, 2002. 1:500 000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları, İstanbul paftası. MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Okay, A.İ., 2000. Was the Late Triassic orogeny in Turkey caused by the collision of an oceanic plateau. E. Bozkurt, J.A. Winchester, and J.D.A. Piper (eds.), *Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area*, Geological Society, London, Special Publications, 173, pp. 25-41.
- Okay, A.İ., and Göncüoğlu, M.C., 2004. The Karakaya Complex: A review of data and concepts. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 13, 77-95.
- Okay, A.İ., Siyako, M. ve Bürkan, K.A., 1990. Biga Yarımadası'nın jeolojisi ve tektonik evrimi. *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni*, 2, 83-121.
- Pickett, E.A., and Robertson, A.H.F., 1996. Formation of the Late Palaeozoic-Early Mesozoic Karakaya Complex and related ophiolites in NW Turkey by palaeotethyan subduction-accretion. *Journal of the Geological Society London*, 153, 995-1009.
- Pickett, E.A., and Robertson, A.H.F., 2004. Significance of the Triassic volcanogenic Nilüfer Unit for Paleotethys and the Karakaya suture zone in NW Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 13, 97-143.
- Pickett, E.A., Robertson, A.H.F., and Dixon, J.E., 1995. The Karakaya Complex, NW

- Turkey: A Palaeo-Tethyan accretionary complex. In: A. Erler, T. Ercan, E. Bingöl, and S. Örçen (eds.), *Geology of the Black Sea Region*, Mineral Research and Exploration, Ankara, Special Publication, pp. 11-18.
- Reynolds, R.C.Jr., 1985. NEWMOD A Computer Program for the calculation of one-dimensional diffraction patterns of mixed-layered clays. 8 Brook Rd. Hanover, N.H.
- Robertson, A.H.F., and Dixon, J.E., 1984. Introduction: aspects of the geological evolution of the Eastern Mediterranean. In: J.E. Dixon, and A.H.F. Robertson (eds.), *The Geological evolution of the Eastern Mediterranean*, Geological Society of London, Special Publications, 17, pp. 1-74.
- Ronov, A.B., Mikhailovskaya, M.S., and Solodkova, I.I., 1963. Evolution of the chemical and mineralogical composition of arenaceous rocks. In: *Chemistry of the Earth's Crust*, Academy of Sciences of the U.S.S.R., The Israel Program for Scientific Translation, 1, pp. 212-262.
- Saner, S., 1978. The depositional associations of upper Cretaceous-Palaeocene-Eocene times in central Sakarya and petroleum exploration possibilities. *Proceedings of 4th Petroleum Congress of Turkey*, Ankara, pp. 95-115.
- Sassi, F.P., and Scolari, A., 1974. The b_0 value of the potassic white micas as a barometric indicator in low-grade metamorphism of pelitic schists. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 45, 143-152.
- Stampfli, G.M., Mosar, J., Faure, P., Pillevert, A., and Vannay, J.-C., 2001. Permo-Mesozoic evolution of the Western tethys realm: The Neotethys East Mediterranean basin connection. In: P. Ziegler, W. Cavazza, A.H.F. Robertson, and A. Crasquin-Soleau (eds.), *Peri-tethyan rift/wrench basins and passive margins*, Peri-Tethys Memoir 5. Mémoires du Musée National d'Histoire Naturelle, pp. 51-108.
- Şengör, A.M.C., 1984. The Cimmeride Orogenic System and the Tectonics of Eurasia. Geological Society of America, Special Paper, 195, Washington.
- Şengör, A.M.C., and Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey, a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., and Sungurlu, O., 1984. Tectonics of the Mediterranean Cimmerides: nature and evolution of the western termination of Paleotethys. In: J.E. Dixon, and A.H.F. Robertson (eds.), *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*, Geological Society, London, Special Publications, 17, pp. 77-112.
- Tekeli, O., 1981. Subduction complex of pre-Jurassic age, Northern Anatolia, Turkey. *Geology*, 9, 68-72.
- Tetiker, S., 2009. Batı-Orta Pontidler'deki (Balıkesir, Bursa ve Tokat yöreleri) Karakaya Karmaşığı birimlerinin mineralojik-petrografik ve jeokimyasal incelenmesi. Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas (yayımlanmamış).
- Warr, L.N., and Rice, A.H.N., 1994. Interlaboratory standardization and calibration of clay mineral crystallinity and crystallite size data. *Journal of Metamorphic Geology*, 12, 141-152.
- Yalçın, H. ve Bozkaya, Ö., 2002. Hekimhan (Malatya) çevresindeki Üst Kretase yaşlı volkaniklerin alterasyon mineralojisi ve jeokimyası: Denizsuyu-kayaç etkileşimine bir örnek. Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi Seri A-Yerbilimleri, 19, 81-98.
- Yılmaz, A., 1981. Tokat ile Sivas arasındaki bölgede bazı volkanitlerin petrokimyasal özellikleri. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 24, 51-58.