



İznic Metamorfizmaları'nın Çok Düşük Dereceli Metamorfizma Özelliklerinin İncelenmesi
(Armutlu Yarımadası, KB Türkiye)
Investigations of Very Low Grade Metamorphism Properties of the İznic Metamorphics
(Armutlu Peninsula, NW Turkey)

Sema Tetiker 

Batman Üniversitesi, Madencilik ve Maden Çıkarma Teknolojisi Bölümü

• Geliş/Received: 30.05.2022 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 10.08.2022 • Kabul/Accepted: 12.08.2022
• Çevrimiçi Yayın/Available online: 13.12.2022 • Baskı/Printed: 31.01.2023

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: İnceleme alanı Armutlu Yarımadası'nda Armutlu-Ovacık zonu içerisinde yüzeyleyen Karakaya Karmaşığı'nı (Alt Karakaya-AKK) temsil eden düşük dereceli metamorfik kökenli birimleri kapsamaktadır. Bu kapsamda İznic ve Yenişehir (Bursa) yörelerinde arazi çalışmalarıyla örnekler alınmış olup, örneklerde petrografik (optik mikroskop, SEM) ve mineralojik (XRD) incelemeler yapılmıştır. AKK birimlerinden İznic Metamorfizmaları yeşil sist fasiyesi (metakumtaşı, sleyt, şist, kuvarsit, metagabro, metavolkanit, dolomitik mermer) kayalarla temsil edilmektedir. AKK birimlerinde bolluk sırasına göre kuvars, fillosilikat (illit, klorit, C-V, kaolinit, I-V, smektit, stilpnomelan, paragonit, serpentin), feldispat, kalsit, piroksen (ojit), dolomit, amfibol (hornblend, tremolit/aktinolit, antofillit) ve opak (hematit, götit) mineralleri tanımlanmıştır. AKK Birimi'ne ait şamozitik bileşimli trioktahedral kloritler IIB; illitler ise 2M1 ve 2M+1M politipine sahiptir. Kübler İndeksi (KI; $\Delta^{\circ}2\theta$) değerleri 0,19-0,41 $\Delta^{\circ}2\theta$ (ortalama 0,25 $\Delta^{\circ}2\theta$) olup, epimetamorfik ve yüksek ankimetamorfik dereceyi işaret etmektedir. AI ($\Delta^{\circ}2\theta$) değerleri 0,26-0,32 $\Delta^{\circ}2\theta$ (ortalama 0,29 $\Delta^{\circ}2\theta$) olup illit Kübler indeksi verileriyle uyumludur. Fenjitik bileşimli dioktahedral illitlerde b0 değerleri (Å) 8,952-9,030 Å (ortalama 8,995 Å) olup düşük-orta basınç fasiyes serisi bölgesinde yer almaktadır. AKK temsil eden İznic Metamorfizmaları'nın litolojik, mineralojik ve kristal kimyasal parametre verileri (kristalinite, politipi ve b0) kuzeybatı ve iç-kuzeydoğu Anadolu'da yer alan (Nilüfer Birimi ve Turhal Metamorfizmaları) eşdeğer birimler ile denştirildiğinde, birimin Alt Karakaya'nın üst bölümüne (AKK-ÜB) karşılık gelen yeşilist fasiyesine sahip metamorfizm koşullarına işaret etmektedir. Petrografik ve mineralojik veriler (parajenez, KI, AI, b0, indeks mineral birliktelikleri) İznic Metamorfizmaları'nın Permiyen-Erken Kretase döneminde Alt yeşil şist (yüksek ankizon-epizon) fasiyesinde metamorfizm geçirdiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Alpin metamorfizması, b0, İllit kristalinite, Karakaya Karmaşığı, Paragonit.

Abstract: The study area included low-grade metamorphic units representing the Karakaya Complex (Lower Karakaya-LKC) outcropping in the Armutlu-Ovacık zone in the Armutlu Peninsula. In this study, samples were collected during field work in the İznic and Yenişehir (Bursa) regions, and petrographic (optical microscope, SEM) and mineralogical (XRD) examinations were performed. Among the LKC units, the İznic Metamorphics are represented by greenstone facies rocks (metasandstone, slate, schist, quartzite, metagabbro, metavolcanic, dolomitic marble). Quartz, phyllosilicate (illite, chlorite, C-V, kaolinite, I-V, smectite, stilpnomelane, paragonite, antigorite), feldspar, calcite, pyroxene (augite), dolomite, amphibole (hornblende, tremolite/actinolite, anthophyllite) and opaque minerals (hematite and goethite) were identified in descending order of abundance among the LKC unit. The trioctahedral chlorites with chamosite composition had the IIB polytype, whereas the illites had 2M1 and 2M+1M polytypes. The Kübler Index (KI; $\Delta^{\circ}2\theta$) values were in the range of 0.19-0.41 $\Delta^{\circ}2\theta$ (mean: 0.25 $\Delta^{\circ}2\theta$),

which indicates epi-metamorphic and very low metamorphic grade. The AI ($\Delta^{\circ}2\theta$) values were in the range of 0.26-0.32 $\Delta^{\circ}2\theta$ (mean: 0.29 $\Delta^{\circ}2\theta$), which is compatible with the Kübler Index data from illites. Dioctahedral illites with phengite compositions had b_0 values (Å) in the range of 8.952-9.030 Å (mean: 8.995 Å), and they were in the low- to moderate-pressure facies sequence. Comparing the lithological, mineralogical and crystal chemistry parameter data (crystallinity, polytype and b_0) of the Iznik metamorphics representing LKC to those of equivalent units found in central-northeastern Anatolia (Nilüfer Unit and Turhal Metamorphics), the unit showed diagenesis-metamorphism conditions with greenstone facies corresponding to the upper part of the Lower Karakaya (LKC-UP). Petrographic and mineralogical data (paragenesis, KI, AI, b_0 , index mineral associations) revealed that the Iznik Metamorphics were affected by lower greenschist (high anchizone-epizone) metamorphism during the Permian-Early Cretaceous period.

Keywords: Alpine metamorphism, b_0 , Illite crystallinity, Karakaya Complex, paragonite,

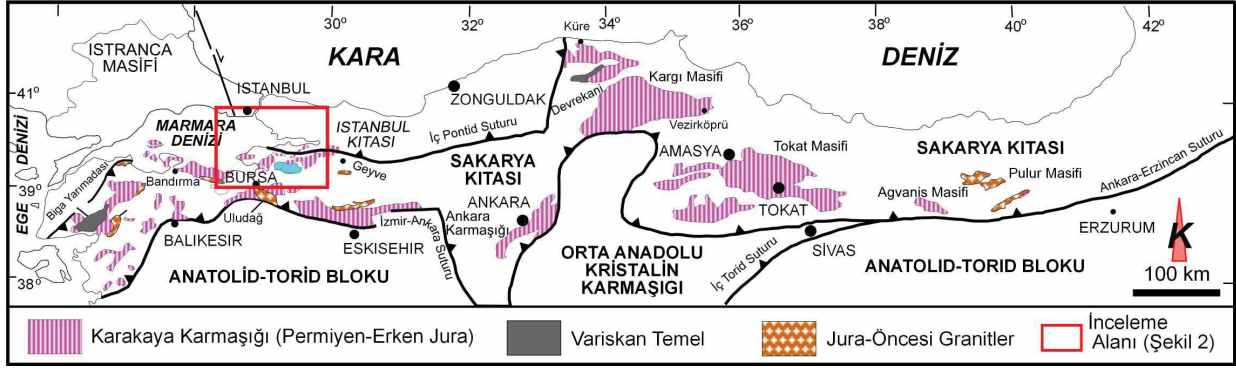
GİRİŞ

Fillosilikatların diyajenetik ve düşük sıcaklıklı metamorfik koşullarda ilerleyen dönüşümleri, çoğunlukla yarı kararlı denge dışı mineral toplulukları üretmektedir. Reaksiyon ilerlemesi olarak adlandırılan bu dönüşümler, son 50 yılda yoğun bir şekilde incelenmiştir (Merriman ve Peacor, 1999; Merriman ve Frey, 1999; Árkai, 2002; Menuier ve Velde, 2004; Merriman, 2005). Pelitik kayalarda diyajenez ve çok düşük dereceli metamorfizma özelliklerinin incelenmesinde sık olarak kullanılan Kübler (KI), Arkai (AI) indeks ve b_0 gibi kristal kimyasal parametre değerleri ile epizon-ankizon sınırları ve basınç-sıcaklık-derinlik ilişkisi belirlenerek kayaların paleotektonik evrimlerinin aydınlatıldığı bilinmektedir (Kübler, 1984; Árkai, 1991; Warr ve Ferreira Mählmann, 2015). Sakarya zonunda son yıllarda gerçekleştirilen bu tür çalışmalar önemli tektonik birliklerin paleotektonik evriminin yorumlanmasında yeni bilimsel katkılar sağlamıştır (Tetiker vd., 2009a, 2009b; Federici vd., 2010; Tetiker vd., 2015a, 2015b; Ellero vd., 2021)

Bu çalışmada İstanbul Zonu ile Sakarya Zonu arasında yer alan Armutlu-Ovacık zonu (Yiğitbaş vd., 1999; Elmas ve Yiğitbaş, 2001) içerisinde yüzeyleyen Permo-Triyas yaşlı Alt Karakaya Karmaşığı (Okay ve Göncüoğlu, 2004) birimlerini temsil eden düşük dereceli

metamorfik kayalar incelenmiştir. Göncüoğlu vd.'nin (1997) jeotektonik sınıflamasına göre; İntra-Pontid Kenedi ve İzmir-Ankara-Erzincan Kenedi (Şengör ve Yılmaz, 1981) arasında kalan ve Ankara'nın doğusunda sonlandırılan Sakarya Kıtası (Brinkmann, 1966, 1971; Şengör ve Yılmaz, 1981), Sakarya Zonu (Okay, 1984, 1989a, 1989b) veya Sakarya Kompozit Birliği (Göncüoğlu vd., 1997) olarak da adlandırılan alanlar içerisinde Jura-öncesi Paleotetis ile ilişkili Alt Triyas yaşlı düşük dereceli metamorfik spilit ve grovak türü kayalar Bingöl vd. (1975) tarafından ilk kez "Karakaya Formasyonu" olarak tanımlanmıştır. Tekeli'nin (1981) tektonostratigrafik tanımlamaları esas alınarak; bu deforme ve yerel olarak metamorfizma geçirmiş Permo-Triyas yaşlı orojenik birimler, Şengör vd. (1984) tarafından "Karakaya Karmaşığı" olarak adlandırılmıştır (Şekil 1).

Çalışmada Armutlu Yarımadası'nda Alt Karakaya Karmaşığı'nı temsil eden İznik Metamorfikleri'nin (Göncüoğlu vd., 1986) ince-kaba taneli (meta-)klastik kayalardan itibaren diyajenetik-metamorfik özelliklerini konu alan mineralojik (fillosilikat parajenezi, kristalinite derecesi, politipi, b_0 hücre mesafesi vb.) araştırmalar ile Karakaya Karmaşığı'nın ilgili birimine kil/fillosilikat bileşimi ile bir yaklaşımda bulunulacaktır.



Şekil 1. Sakarya Kompozit Birliği içerisinde Karakaya Karmaşığı ve tektonik birliklerin dağılımını gösteren tektonik harita (Okay ve Göncüoğlu, 2004).

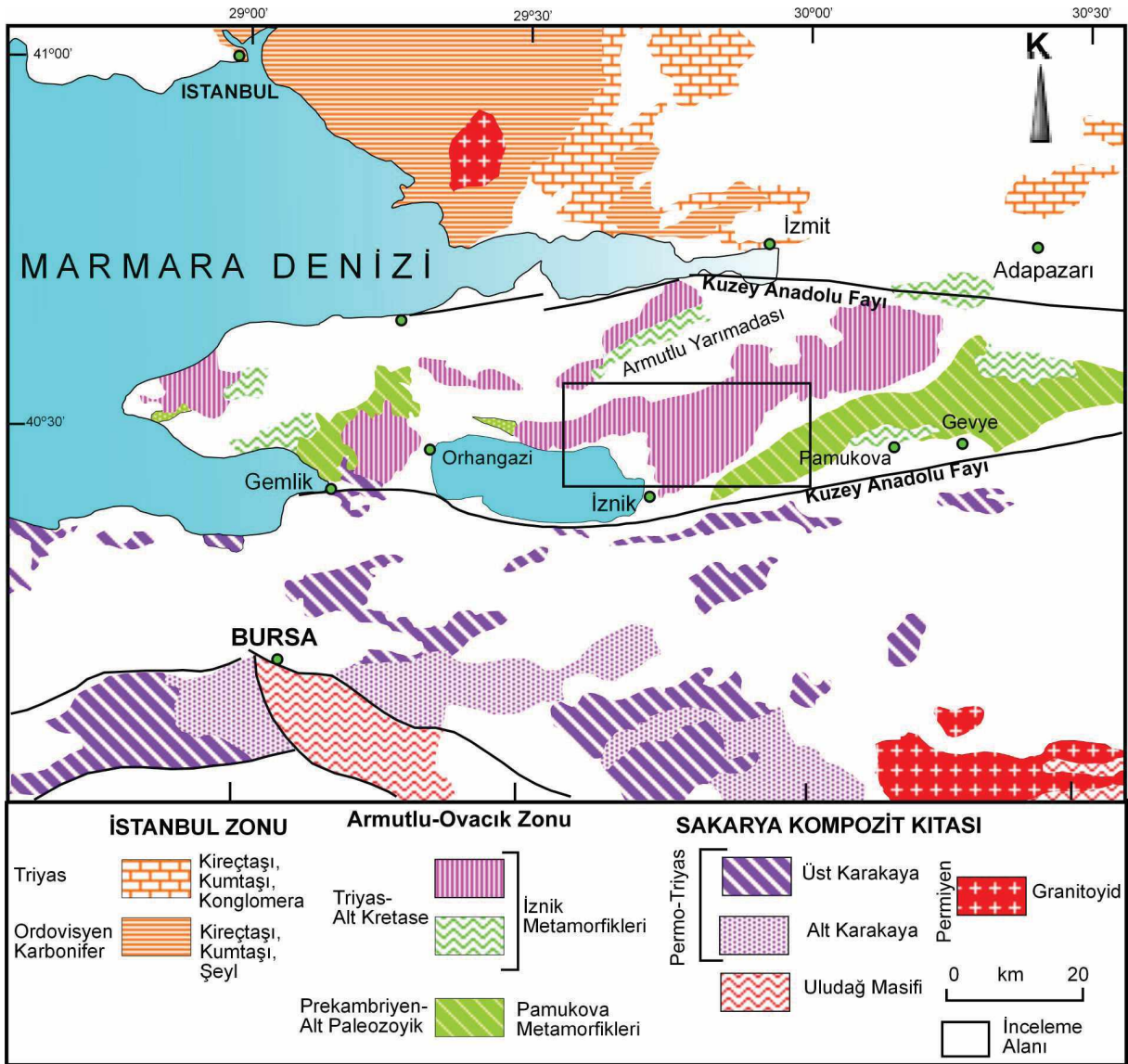
Figure 1. Tectonic map showing the distribution of the Karakaya Complex and tectonic units within the Sakarya Composite Terrain (Okay and Göncüoğlu, 2004).

BÖLGESEL JEOLJİ

Armutlu Yarımadası, Marmara Denizi içine girmekte ve iç bölgede doğuya doğru toplam alanı K-G yönünde 25 km ve D-B yönünde 80 km'yi bulmaktadır (Şekil 2). Bu yarımada kuzeyde Kuzey Anadolu Zonu'nun güney bölümleri ile sınırlanmıştır (Şengör, 1979; Şengör vd., 1985). Kuzeybatı (KB) Anadolu'da yer alan Armutlu Yarımadası Lavrasya kıtasının güney kenarını temsil etmekte olup, İstanbul Zonu'nun güneyinde yer alan tektonik birimlerden biri olan Armutlu-Ovacık Zonu içerisinde kalmaktadır. Armutlu Ovacık Zonu kuzeyde İstanbul Zonu ve güneyde Sakarya zonu arasında bu iki tektonik birliğin karışma zonu olarak tanımlanmıştır (Yiğitbaş vd., 1999; Elmas ve Yiğitbaş, 2001). Ancak daha önceki çalışmalarda bu zonda, Geç Paleozoyik-Erken Mesozoyik yaşlı Paleotetis okyanusunun Erken Mesozoyik döneminde kuzeye doğru Avrasya kıtasının altına dalarak tektonik evrimini tamamladığı belirtilmiştir (Adamia vd., 1977; Robertson ve Dixon, 1984; Dercourt vd., 1986; Ustaömer ve Robertson, 1997, 1999; Stampfli, 2000; Okay, 2000). İnceleme alanında Erken Mesozoyik yaşlı riftleşme ve Geç Kretase'de kapanan İntra-Pontid okyanus

havza ürünleri de yer almaktadır. KB Anadolu ve Armutlu Yarımadası'nı içine alan alanda bulunan Mesozoyik yaşlı Neotetis'e ait ofiyolitik birimlerin ise, Geç Kretase sol yanal doğrultulu faylanma ile yer değiştirdiği belirtilmiştir (Elmas ve Yiğitbaş, 2001).

Armutlu Yarımadası olası temel kayaları Prekambriyen? yaşlı yüksek dereceli metamorfik kayalar ve metaofiyolitleri içeren (Kaya, 1977; Yiğitbaş vd., 2004) düşük dereceli farklı litoloji ve kökene sahip metasedimenter / metamagmatik birimleri içermektedir. Yarımada içerisinde bu birimler yer yer metamorfik ve metamorfik olmayan granitik kayalar tarafından kesilmektedir. Bu Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı metamorfik kayalar Geç Kretase-Erken Tersiyer yaşlı metamorfik olmayan klastik ve andezitik volkanik kayalar tarafından uyumsuzlukla örtülmektedir (Akartuna, 1968). Göncüoğlu vd. (1987, 1992) çalışmasında tektonostratigrafik olarak Paleozoyik yaşlı temel kayaları Pamukova Metamorfizmaları olarak adlandırırken, Yılmaz vd. (1987, 1990) çalışmasında ise Armutlu Metamorfizmaları olarak adlandırmıştır.



Şekil 2. Armutlu Yarımadası'nda tektonik birlikleri ve inceleme alanını gösteren jeolojik harita (Türkecan ve Yurtsever, 2002; Aksay vd., 2002; Okay vd., 2008'den değiştirilerek alınmıştır).

Figure 2. Geological map showing tectonic units and the study area in the Armutlu Peninsula (modified from Türkecan and Yurtsever, 2002; Aksay et al., 2002; Okay et al., 2008).

Armutlu-Ovacık zonu içerisinde yer alan Armutlu Yarımadası'nda yüzeyleyen Permo-Triyas yaşlı Karakaya Karmaşığı birimlerini temsil eden düşük dereceli metamorfik kayalar yörede İznik Metamorfikleri (Akartuna, 1968) olarak adlandırılmıştır. Bu zon içerisinde yüzeylenen en yaşlı kayalar Prekambriyen yaşlı yüksek dereceli

Armutlu Metamorfikleri'dir (Akartuna, 1968; Robertson ve Ustaömer, 2004; Elmas ve Yiğitbaş, 2005). Diğer birim ise plaka içi bazaltları içeren terrijen kökenli, kalkerli ve volkanojenik birimlerden oluşan Triyas riftleşmesinin ürünleri olan İznik Metamorfikleri'dir (Akartuna, 1968). İznik Metamorfikleri düşük dereceli felsik volkanik

ve volkanotortul birimler de içeren metakırıntılı-karbonat istifiyle başlayıp blok, mercek ya da aratabakalar halinde mermer kütleleri içerdiğini belirtilmiştir (Akartuna, 1968). İnceleme alanında gözlenen örtü birimler Jura başında bir riftleşme sonucu (Neotetis'in kuzey kolu) gelişmiş, kıta kenarını temsil eden kırıntılı, volkanoklastik, platform ve yamaç türü karbonat çökellerinden oluşmaktadır (Şengör ve Yılmaz, 1981). Tüm bu istif Tersiyer yaşlı diğer birimler ile örtülmektedir.

STRATİGRAFİ VE LİTOLOJİ

Bölgede yüzeyleyen kayaların stratigrafik dağılımı incelendiğinde; Devoniyen-Karbonifer yaşlı granit, granodiyorit türü kayalarla temsil edilen Sarıcakaya Granitoyidi (Göncüoğlu vd., 1996), fillit, şist, mermer ve metavolkanitlerle temsil edilen Devoniyen öncesi yaşlı Kalabak Formasyonu (Krushensky vd., 1980) temel kayaları oluşturmaktadır. Bu birimler tektonik uyumsuzlukla Üst Paleozoyik-Triyas yaşlı Boğazköy Metaofiyoliti ve metavolkanit-metasedimanter Permo-Triyas yaşlı İznic Metamorfitleri (Göncüoğlu vd., 1986) tarafından üzerlemektedir. Örtü kayalar tektonik uyumsuzlukla gelen Alt Jura-Alt Kretase yaşlı karbonatlı (Bayırköy, Bilecik Kireçtaşı ve Soğukçam formasyonları) ve Paleosen yaşlı (Selvipınar ve Kızılçay formasyonları) birimler tarafından örtülmektedir. Bu istifler ise Tersiyer yaşlı birimler ile örtülmektedir (Şekil 3).

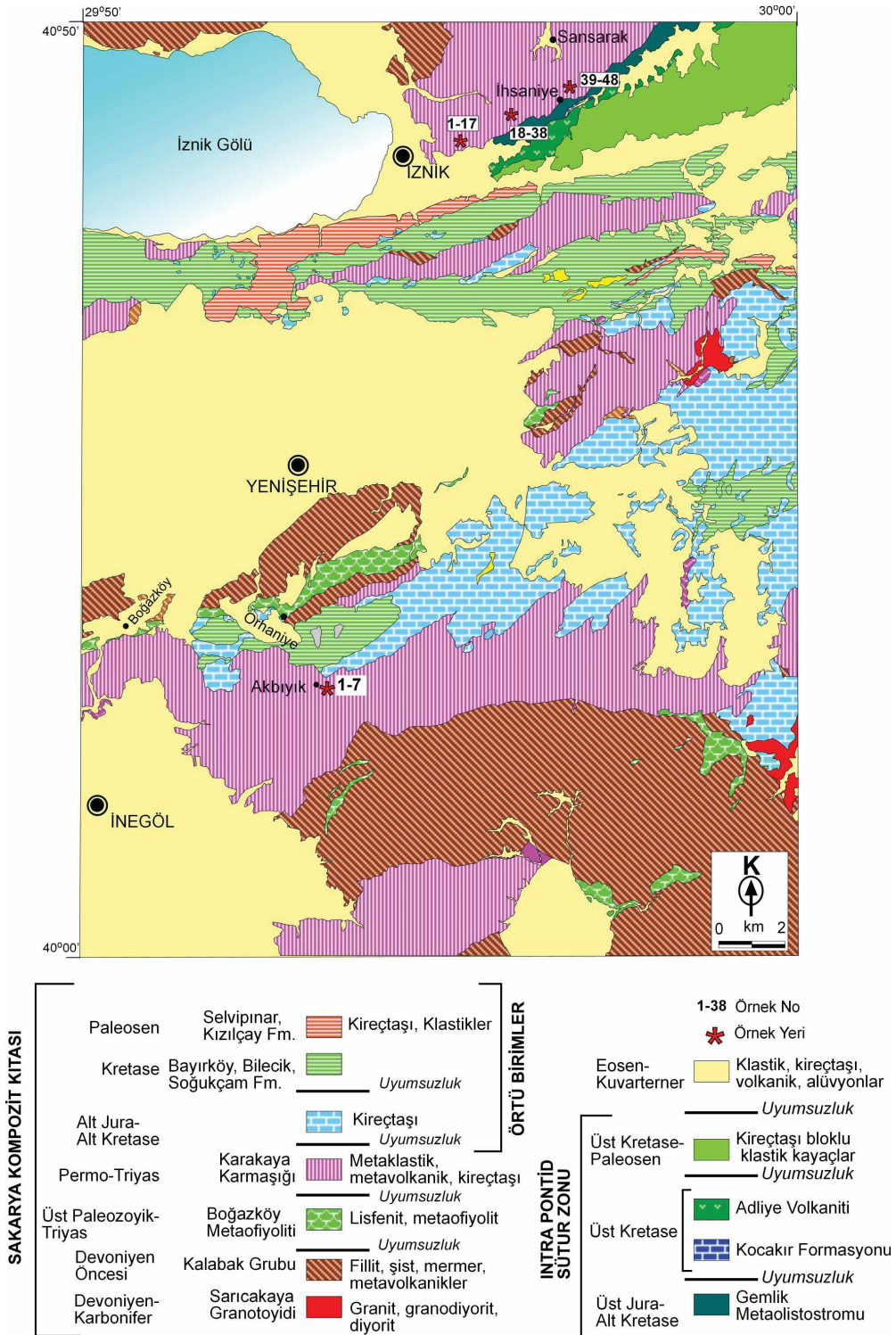
Armutlu Yarımadası'nda inceleme alanı olarak seçilen alanda yüzeyleyen Karakaya Karmaşığı birimlerinden İznic Metamorfitleri (Alt Karakaya) için Bursa-İznic (Sansarak-İhsaniye köyleri) yörelerinde yapılan arazi çalışmalarında ölçülü kesitler boyunca örnekler alınmıştır. Alınan örneklere ait koordinatlar Çizelge 1 de sunulmuştur.

İznic Metamorfitleri tip kesit yeri olan Bursa-İznic çevresinde İznic-İhsaniye-Sansarak köyünü izleyen yol boyunca örneklenmiş (başlangıç

40°26'K, 29°44'D; bitiş 40°27' , 29°50'D); kesit alanında toplam kalınlığı yaklaşık 720 m olarak saptanmıştır (Şekil 3 ve 4). Birimin tabanı bu alanda gözlenmediği için bu değer gerçek kalınlığı yansıtmamaktadır. İnceleme alanı olarak seçilen Bursa-İznic çevresinde birim topografik olarak önemli yükseltiyeye sahiptir. Bu alanlarda birim kendi içerisinde düzenli bir istife sahip olup; kayalar içinde mermer ve kuvarsit damarları yaygın olmakla birlikte üst seviyelerde yer alan metabazikler sert ve çıkıntılı bir görünüm sunmaktadır.

İznic Metamorfitleri; foliyasyonlu metapsamit (kuvarsit, metakumtaşı), metapelit (sleyt, fillit, şist), ve metakarbonat (metakireçtaşı, metadolomit, mermer) seviyeleri ile bu kayalarla ardalanma sunan ve oldukça deforme yeşil-gri-siyah renkli yer yer tabakalanma sunan kalın metamagmatik kaya seviyelerinden (metavolkanit, metagabro) oluşmaktadır. Birimi temsil eden sleyt türü kayalarda yeşil-siyah renkli laminasyonlar belirgin olup, bu kayalarda bol miktarda beyaz kuvarsit (mermer) damarları içermektedir (Şekil 5a). Kuvarsit damarları tabakalar ile uyumlu bir görünüm sundukları gibi bazen tabakaları keser konumda yer almaktadır (Şekil 5b). Birimin taban seviyelerinde artan sıkışma/yükselme deformasyonu şiddetine bağlı olarak yaklaşık dikey konum kazanmış ve kıvrımlı yapılar dikkat çekmektedir. Orta ve üst seviyelerde ise tabakalar daha çok yatay görünümde olup zaman zaman deformasyona bağlı kıvrımlı yapı sergilemektedir.

Birim içerisinde yer yer karbonatlı kaya seviyeleri bulunmaktadır. Açık sarı renkli bu seviyeler sleytler içerisinde bulunmaktadır (Şekil 5c). Yer yer mermer olarak bulunan kayalar dolomitik bileşimde olup siyah renkli bloklu bir görünüm sunmaktadır. Olistostrom boyutlarında olan karbonatlı seviyeler (mermer) bunların mermer ocağı olarak işletilmesine neden olmuştur.



Şekil 3. Armutlu Yarımadası 1:100.000 ölçekli H23 paftası jeoloji haritası (Kandemir vd., 2014'den sadeleştirilmiştir).

Figure 3. Simplified geologic map with 1:100,000 scale, H23 sheet for the Armutlu Peninsula (modified from Kandemir et al., 2014).

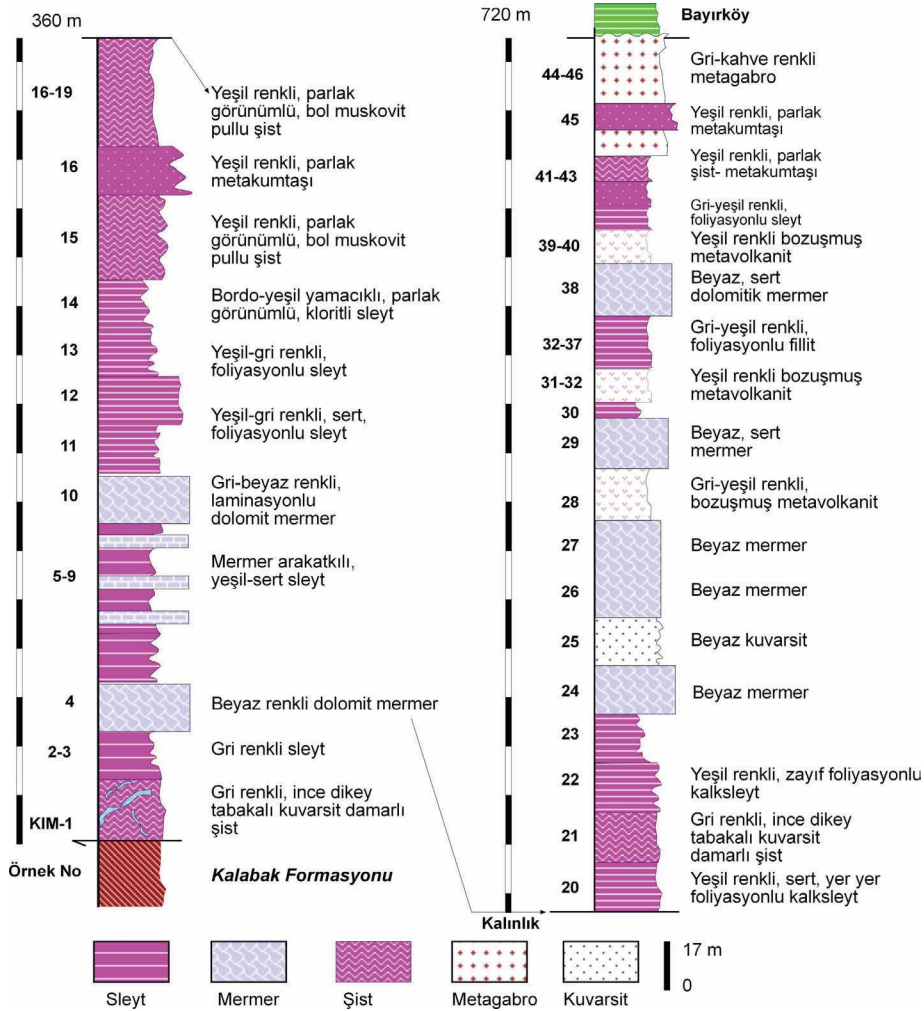
Çizelge 1. Bursa-İzник yöresi ve çevresinde yapılan arazi çalışması ile alınan kaya örnekleri ve koordinatları.

Table 1. Rock samples and coordinates from the field in the Bursa-İzник region and surroundings.

Birim	Örnek No	Koordinat
İzник Metamorfitleri	KIM-1-4	40°26'28''K,29°44'46''D
	-5-11	40°26'19''K,29°44'50''D
	-12-15	40°26'27''K,29°44'56''D
	-16-25	40°26'34''K,29°45'12''D
	-26-31	40°26'53''K,29°46'53''D
	-32-35	40°27'08''K,29°47'50''D
	-36-37	40°27'19''K,29°48'05''D
	-38-47	40°27'30''K,29°50'06''D

Sleytler bazı seviyelerde kırmızı renkli olarak gözlenmektedir (Şekil 5d). Sleytlerin renkleri değişkenlik göstermekle birlikte bazı alanlarda sarı-krem renkli olup, metakumtaşı seviyeleri sert çıkıntılı oluşturmaktadır (Şekil 5e). Bu seviyeler 5-20 cm kalınlıklarında gözlenmiştir.

Şist türü kayalar kırmızı renkli olup laminasyonlu görünimleri dikkat çekmektedir. Tabakalar çoğunlukla dikey eğime sahip olarak gözlenmektedir.

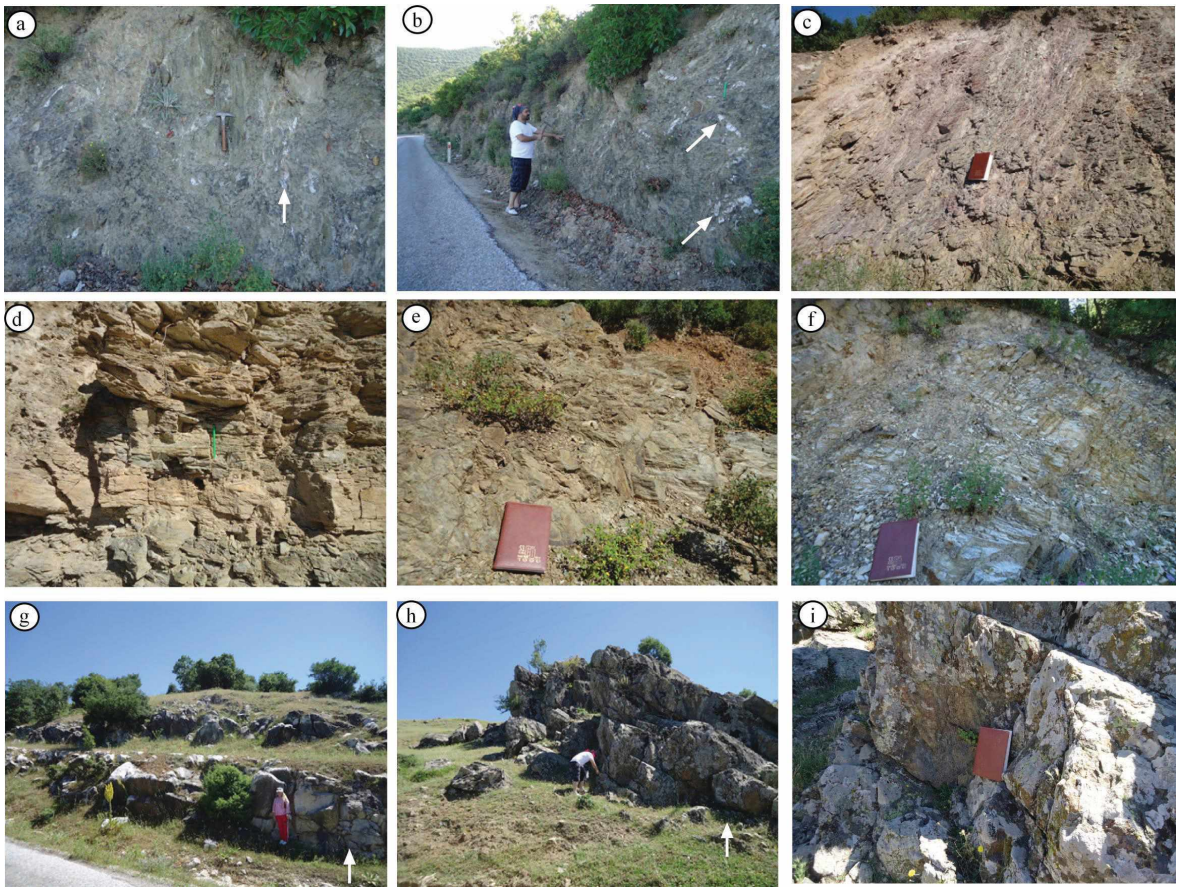


Şekil 4. İzник Metamorfitleri'nin ölçülmüş kesiti (Bursa-İzник: başlangıç 40°26'K, 29°44' D; bitiş 40°27' K, 29°50' D)
Figure 4. Measured section from the İzник Metamorphics (Bursa-İzник: starting 40°26'N, 29°44'E end 40°27'N, 29°50'E)

İznik Metamorfitleeri yeşil renkli sleyt seviyeleri gözlenmekle birlikte, bu kayalar yer yer gri-siyah renkli olarak ortaya çıkmaktadır. Bu kayalarda özellikle deformasyonun fazla olduğu alanlarda yer yer ezik zonları temsil eden beyaz renkli yumuşak ve ayrılmış sleyt seviyeleri de gözlenmektedir. Ayrıca mermer bloklarının tabanında kalan litostatik basınca maruz kalan seviyelerde beyaz sleyt seviyeleri yer almaktadır (Şekil 5f). İznik Metamorfitleeri içerisinde sık sık gözlenen mermer türü kayalar olistolit boyutlarında gözlenmekle beraber krem renkli olarak ortaya çıkmaktadır. Olistolit boyutlarındaki

mermer blokları beyaz masif kütleler şeklinde de gözlenmiştir (Şekil 5g).

Birimin diğer litolojisini oluşturan metamagmatik kayalar genellikle yeşil kahve renklidir, ancak Fe-oksit (hematit) içeren seviyelerde bordo-kırmızı renklere gözlenmektedir. Bol çatlak içeren bu kayalar yer yer tabakalanma sunmaktadır. Metamagmatik bazik kayalardan ince taneli, düşük dereceli metamorfik ve deforme olmuş metagabrolar birimin daha çok üst seviyelerinde yer almakta ve 10-50 m arasında değişen bir kalınlık sunmaktadır (Şekil 5h, i).



Şekil 5. İznik Metamorfitleeri'ne ait kayaların arazi görünümüne ait fotoğrafları, **a)** dikey tabakalı gri renkli folyasyonlu sleytler (Bursa-İznik: 40°26'19''K, 29°44'50''D), **b)** siyah renkli laminalı sleyt kayalarında beyaz kuvarsit damarları (Bursa-İznik: 40°26'28''K, 29°44'46''D), **c)** kırmızı renkli laminalı sleyt seviyeleri (Bursa-İznik: 40°26'34''K, 29°45'12''D), **d)** sarı-krem renkli metakumtaşı-sleyt ardalanmaları (Bursa-İznik), **e)** yeşil renkli sleyt seviyeleri (Bursa-İznik), **f)** beyaz sleyt seviyeleri (Bursa-İznik: 40°27'18''K, 29°47'50''D), **g)** beyaz mermer seviyeleri (Bursa-İznik: 40°27'46''K, 29°48'39''D), **h)** İznik Metamorfitleerinde kahve renkli tabakalı metagabro

seviyeleri (İznik-İhsaniye köyü: 40°27'30"K, 29°50'06"D), **i**) kahve renkli tabakalı metagabro seviyelerinin yakın görünümü (İznik-İhsaniye köyü).

Figure 5. Photographs of the field views of the Iznik Metamorphics, **a**) vertically-layered gray-colored foliated slates (Bursa-İznik: 40°26'19"N, 29°44'50"E), **b**) white quartzite veins in black-colored laminated slates (Bursa-İznik: 40°26'28"N, 29°44'46"E), **c**) red laminated slate levels (Bursa-İznik: 40°26'34"N, 29°45'12"E), **d**) yellow-cream colored metasandstone-slate intercalations (Bursa-İznik), **e**) green-colored slate levels (Bursa-İznik), **f**) white slate levels (Bursa-İznik: 40°27'18"N, 29°47'50"E) **g**) white marble levels (Bursa-İznik: 40°27'46"N, 29°48'39"E), **h**) brown-colored stratified metagabbro levels in the İznik Metamorphics (İznik-İhsaniye village: 40°27'30"N, 29°50'06"E), **i**) close-up view of brown-colored stratified metagabbro levels (İznik-İhsaniye village).

Armutlu Yarımadası'nda Göncüoğlu vd. (1987 ve 1992) çalışmasında tektonostratigrafik olarak Prekambriyen-Paleozoyik yaşlı temel kayaları Pamukova Metamorfileri olarak adlandırırken, Yılmaz vd. (1987 ve 1990) çalışmasında Armutlu Metamorfileri olarak tanımlamaktadır. Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı metamorfik temel kayalar Geç Kretase-Erken Tersiyer yaşlı klastik ve andezitik volkanik kayalar tarafından uyumsuzlukla örtülmektedir (Akartuna, 1968). Armutlu Yarımadası'nda Alt Karakaya birimlerini temsil eden İznik Metamorfileri, tabanda Prekambriyen yaşlı Pamukova Metamorfileri temel kayaları tektonik uyumsuzluk göstermekte olup, Senomaniyen-Pliyosen yaşlı örtü birimleri tarafından uyumsuzlukla üzerlenmektedir (Göncüoğlu vd., 1986).

MATERYAL VE YÖNTEM

İnceleme alanı olarak seçilen Bursa-İznik çevresinde Permo-Triyas yaşlı İznik Metamorfileri'ne ait kayaların mineralojik ve petrografik özelliklerinin saptanması amacıyla arazi çalışmasında ölçülü kesitler yapılmış ve 1 kg ağırlığında toplam 65 adet örnek toplanmıştır.

Alınan örneklerde sırasıyla petrografik çalışmalar için ince kesitler yapılarak optik (OM) ve taramalı elektron mikroskop incelemeleri (SEM); X-ışınları difraksiyonu (XRD) ile mineralojik incelemeler yapılmıştır. Mineralojik (XRD) ve optik petrografik incelemeler Batman Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Araştırma Laboratuvarları'nda gerçekleştirilmiştir. SEM incelemeleri MTA (Ankara) Mineraloji-Petrografi Laboratuvarları'nda gerçekleştirilmiştir. Optik mikroskop incelemeleri LEICA DM750P marka alttan aydınlatmalı polarizan mikroskopunda yapılmıştır.

XRD çalışmalarında sert olan numuneler çekiç yardımıyla 3-5 cm'lik parçalara kırılmış ve RETSCH BB-100 model çeneli kırıcıda tekrar daha küçük boyutlar (< 0,5 cm) halinde kırılarak RETSCH RM-200 tungsten karbür öğütücü ile 10-30 dk arasında öğütme işlemi uygulanmıştır. X-ışını kırınımı (XRD) ölçümleri Rigaku Miniflex-2 model difraktometrede ($CuK\alpha=1.541871 \text{ \AA}$) yapılmıştır. Birimdeki kayalar tümkaya (XRD-TK) ve kil boyu bileşenleri (XRD-KF, < 2 m) tanımlanarak (J.C.P.D.S., 1990) dış standart yöntemi ile yarı nicel yüzdeleri (Brindley, 1980) mineral şiddet faktörleri kullanılarak mm cinsinden yansımaları ölçülmüştür. Referans olarak tüm kaya çekimlerinde dolomit, kil fraksiyonunda kaolinitin glikollü pikleri kullanılmıştır (Yalçın ve Bozkaya, 2002). *d*-mesafeleri için kuvars iç standart olarak kullanılmış olup kil mineralleri (001) bazal yansımaları ile tanımlanmıştır. Fraksiyon ile hazırlanan kil çamuru sıvama ile iki adet yönlendirilmiş lam preparat hazırlanarak normal-N (havada kurutulmuş), glikolleme-EG (60 °C de 16 saat desikatörde etilen glikol buharında bırakma) ve fırınlama-F (490 C de 4 saat kül fırında bekletme) işlemleri gerçekleştirilmiştir. XRD-KF çekimleri için kayıt aralığı $2\theta=2-30^\circ$ (hata miktarı $\pm 0.04^\circ$) olarak şekilde difraktogram desenleri elde edilmiştir.

Klorit ve illit minerallerinde di- ve/veya trioktaedrik bileşimin belirlenebilmesi için $d_{(060)}$

kırınımı kullanılarak b_0 -parametre değerleri hesaplanmıştır. Bu ölçümde, kuvars mineralinin (211) piki ($2\theta = 59,982$, $d=1,541$ Å) referans alınmış ve kayıt aralıkları $2\theta = 59-63$ ve $2\theta = 16-36$ (0,01) ve 0,5 / dak. gonyometre hızında çekimleri yapılmıştır. İllit ve klorit “kristalinite” ölçümleri sırasıyla 10-Å illit ve 7-Å klorit pikinin yarı yüksekliğindeki genişliğinden itibaren, $\Delta^{\circ}2\theta$ (Kübler indisi – KI : Kübler, 1968, ve Árkai indisi – AI : Árkai, 1991; Guggenheim vd., 2002) değerleri saptanmıştır. WINFIT (Krumm, 1996) programı (<http://xray.geol.uni-erlangen.de/html/software/soft.html>) yardımıyla hassas şekilde pik genişlikleri belirlenerek (Full Width Half Maximum – FWHM) Warr ve Rice (1994) standartları kullanılarak kalibrasyon yapılmıştır. Bu işlemde Warr ve Rice (1994) tarafından tanımlanmış kristalinite indeksi standartları (CIS: 4 adet kaya örneği ve 1 adet muskovit levhası) kullanılmıştır. Standartlar yardımıyla illit ve klorit minerallerinin regresyon ilişkileri Warr ve Rice (1994) standartları için sırasıyla $KI_{\text{Parlatılmış sleyt}} = 0,7491 \times KI_{\text{Batman Üniversitesi}} + 0,0292$ ($r^2=0,9980$) ve $KI_{\text{CIS}} = 1,101 \times KI_{\text{Batman Üniversitesi}} - 0,016$ ($r^2=0,987$) hesaplanmıştır. CIS-kalibrasyon değerleri Warr ve Ferreiro-Mahlmann (2015) tarafından belirlenmiş eşitlik ($KI_{\text{CIS}} = 1,1523 \times KI_{\text{Basel}} + 0,036$, $R^2= 0,986$) ile kabul edilen KI_{Basel} değerlerine dönüştürülmüştür. İllit minerallerinin $d_{(060)}$ yansımaları oktaedrik kimyasal bileşimlerinin ($d_{060,331} = 1,4936 + 0,0203 \text{ Mg+Fe}$; Hunziker vd., 1986), b_0 -parametresinin illitlere etkileri (Sassi ve Scolari, 1974; Guidotti ve Sassi, 1986) incelenmiştir. Kayıt aralığı $2\theta = 59-63$ (0,01) aralığındaki ölçümler yardımıyla kuvars mineralinin (211) piki ($2\theta = 59,97$, $d = 1,541$ Å) referans alınmıştır.

PETROGRAFI

İnce-Kesit Petrografisi

Birime ait metapelitik (sleyt, kalsleyt, fillit ve şist), metapsamitik (metakumtaşı),

metavolkanojenik (bozuşmuş metavolkanitler) ve metakarbonatlardan (mermer, dolomit-mermer) olmak üzere toplam 30 örnekte petrografik inceleme yapılmıştır.

Birimde yaygın olarak gözlenen yapraklanma ve şistoziteye sahip metapelitik kayalar; lepidoblastik ve nematoblastik dokuya sahiptir. Bu kayalarda sleyt ve buruşma klivajları gibi yönlendirme belirgin olarak gözlenmekte olup; yer yer minerallerde kataklazma etkilerine de rastlanılmaktadır.

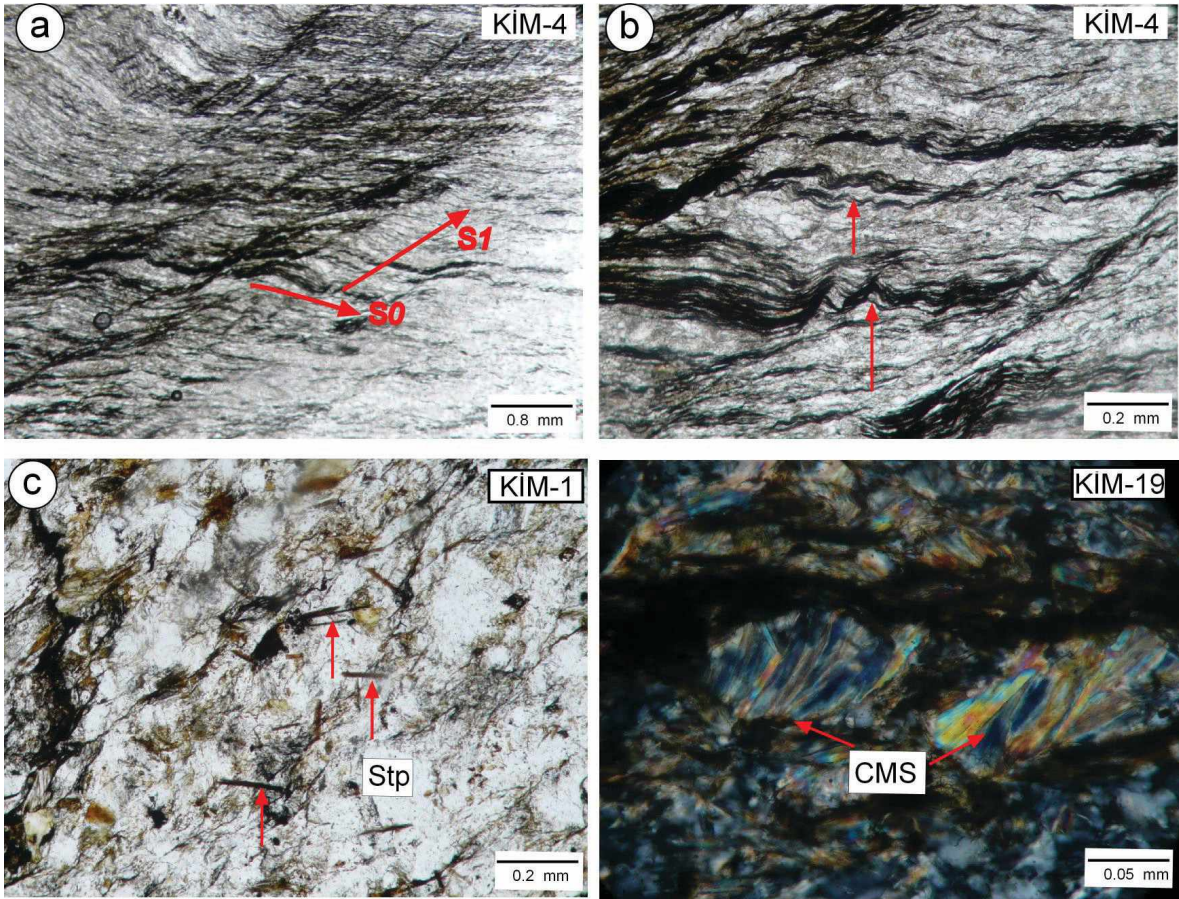
Blastopelitik dokulu sleyt olarak tanımlanan kayalar oldukça ince taneli olup, sleyt klivajları yaygın olarak gözlenmektedir. Bu kayalarda bileşenleri kuvars, plajiyoklaz, muskovit, biyotit, kalsit, kil ve opak mineraller bulunmaktadır. Bu kayaların bağlayıcı malzemesini serisitleşmiş-kloritleşmiş fillosilikat matris ve kalsit çimento oluşturmaktadır. İnce taneli sleytlerde mikrolaminasyon, mikroyönlendirme ve buruşma kıvrımları gibi metamorfik dokusal özelliklerin yanı sıra, yaygın olarak post-metamorfik kalsit dolgulu damarlar da gelişmiştir. Klivaj düzlemleri boyunca yaygın olarak FeO ve kil oluşumları bulunmaktadır. Çok ince taneli, mikroyönlendirme ve mikrokıvrımlanmalar yaygındır. Gözenek ve çatlakta bol miktarda kalsit bulunmaktadır. Karbonat miktarının fazla olduğu kayalar kalsisleyt olarak tanımlanmıştır.

Blastopelitik dokulu fillitleri oluşturan ana bileşenler plajiyoklaz, kuvars, serisit, muskovit ve opak mineraller oluşturmaktadır. Fillitlerde yaygın olarak sleyt klivaj düzlemleri gelişmiştir. Bu kayalarda klivaj düzlemleri $S0$ ve $S1$ yönünde gelişmiştir (Şekil 6a). Klivaj düzlemleri bazı seviyelerde king bant yapıları biçiminde zik zak görünüm sunmaktadır (Şekil 6b). Bu kayalarda çimentoyu serisit bazende bu minerallere eşlik eden kalsit biçimindedir. Kuvars mineralleri yer yer iri kuvars porfiroblastları köşeli olup, monokristalin ve polikristalin türleri gözlenmiştir. Gözenek ve çatlaklarda kuvars ve kalsit oluşumları

da gözlenmiştir. Kuvars oranı oldukça fazla olan kayalar kuvarsfillit olarak tanımlanmıştır.

Şistleri oluşturan ana bileşenler; örneklere göre kısmen farklılık sunmakla birlikte, kuvars, mika (muskovit, serisit, biyotit, paragonit), plajiyoklaz, klorit, amfibol (tremolit/aktinolit?), fillosilikat ve opak mineraller olarak sıralanabilir. Ayrıca bir kayada özşekli sfen (titanit) mineralleri kümeler şeklinde gözlenmiştir. Karbonatlar (kalsit ve dolomit) gözenek ve çatlaklarda yer alan

kimyasal kökenli minerallerdir. Şistlerde {001} eksenine paralel yönelmiş klorit levhaları ile c-kristalografik eksenine yönünde dizilen kuvarsa zengin zonlar metamorfik ayırmışmanın (diferansiyasyon) tipik verileridir. Muskovit mineralleri iri levhamsı kristaller biçiminde olup, şist düzlemleri boyunca yönelmiş gözükmektedir. Bu kayalarda matris içerisinde gelişmiş ince uzun levhamsı özşekli kahve-sarı renkli stilpnomelan dizilimleri gözlenmiştir (Şekil 6c).



Şekil 6. İznik Metamorfizmaları kayalarının mikrofotografaları, **a)** fibroblastik dokulu fillitlerde gelişmiş S0 ve S1 klivaj düzlemleri (tek nikol: TN), **b)** fibroblastik dokulu fillitlerde gelişmiş buruşma dilinimleri (klivajları) (TN), **c)** lepidoblastik dokulu şistlerde ince levhamsı kahverenkli stilpnomelan mineralleri (TN), **d)** lepidoblastik dokulu şistlerde şistlerde yelpaze görümlü CMS istifleri (CN=çift nikol)

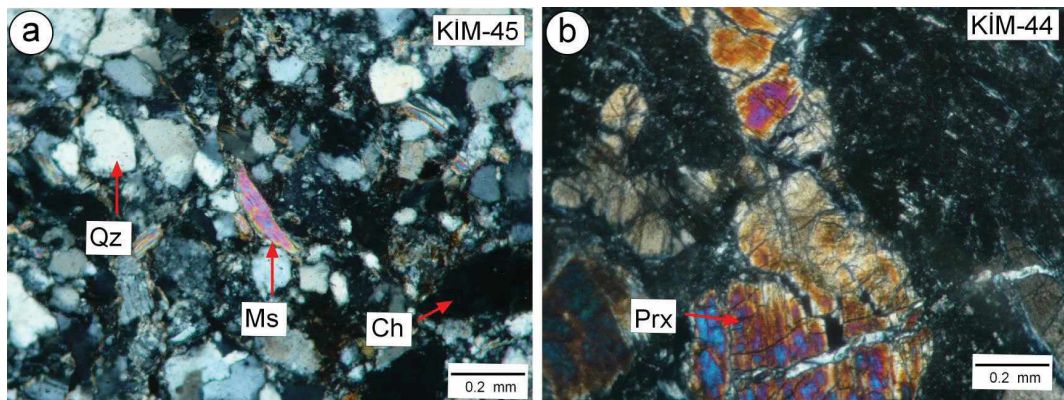
Figure 6. Microphotographs of the Iznik Metamorphics, **a)** S0 and S1 cleavage planes (plane polarized light: TN) developed in fibroblastic textured phyllites, **b)** king band planes (cleavages) developed in fibroblastic textured phyllites (TN), **c)** thin platy brownish stilpnomelane minerals in lepidoblastic textured schists (TN), **d)** fan-like CMS stacks in schists with lepidoblastic texture (crossed polarized light/crossed polars: CN)

Klorit mineralleri gözeneklerde ve istif yapılarında iki farklı özellik sunmaktadır. Şistlerde gözlenen diğer bir özellik ise mika ve kloritlerin oluşturduğu istif yapılarıdır. Biotit-muskovit (BMS) ve klorit-muskovit (CMS) istifleri, mika minerallerinin yönlenmesi sonucu gelişen yatay düzlemlerle 45-65° arasında değişen açılar yapmaktadır (Şekil 6d). Gözeneklerde neoformasyon sonucu gelişmiş klorit mineralleri daha çok optik izotrop gibi boşluk dolguları şeklinde, istiflerde ise yelpaze görünümlü mavi girişim rengine sahiptir. Kuvars oranı fazla olan şistler kuvarşist olarak adlandırılmıştır.

Metakumtaşlarında bileşenleri başlıca kuvars, feldispat (plajiyoklaz, ortoklaz), serisit, mika (muskovit, biyotit), kalsit, kaya parçaları ve opak mineraller oluşturmaktadır. Blastopsamitik dokulu, kötü boylanmalı bu kayalarda mikroyönlenme ve fillosilikatça zengin seviyelerde sleyt klivajı gözlenmektedir. Bağlayıcı malzemeyi büyük ölçüde fillosilikat matris ve daha az kalsit çimento oluşturmaktadır. Mika minerallerinden muskovitler iri prizmatik ve uzamış biçimlidir (Şekil 7a). Neoformasyon sonucu gözeneklerde oluşmuş levhamsı klorit mineralleri mavi girişim renkli ve izotrop olarak gözlenmiştir.

İznik Metamorfitleri'nde bazı seviyelerde ortaya çıkan metavolkanik kayalar bozuşmuş bir görünüm sunmakta olup, hamur bütünüyle killeşmiştir. Kuvars mineralleri yuvarlak görünümleri dikkat çekmektedir. Birimde yer alan gabro türü kayalarda holokristalin dokulu olup piroksen mineralleri yarı özşekilli ve uralitleşme sonucu tremolit/aktinolit mineralleri gelişmiştir (Şekil 7b).

Metakarbonat kayalarında ilksel dokunun büyük ölçüde kaybolması (mikrospartik/spartik) ve çok düşük dereceli metamorfizma etkilerinin (granoblastik/mozayik doku ve fillosilikat yönlenmesi) gözlenmesi, ayrıca şist türü kayalara eşlik etmesi nedeniyle metakireçtaşı veya metadolomitten ziyade mermer olarak adlandırılmıştır. Ortokemi kalsit veya dolomit, litoklast ve/veya metamorfik bileşenleri ise kuvars, muskovit ve opak mineraller temsil etmektedir. Karbonat kayalarında grift doku oldukça yaygın olarak gözlenmektedir. Ayrıca, dolomit mermerlerde kuvars miktarı, kayaya ön takı verecek kadar artmaktadır. Dolomitler özşekilli rombohedral biçimde gözlenirken, fillosilikatlı seviyelerde zayıf bazen belirgin yönlenme izleri de gözlenmektedir.



Şekil 7. a) İznik Metamorfitleri metakumtaşlarında levhamsı muskovit ve gözeneklerde yeşil renkli klorit mineralleri (CN), **b)** İznik Metamorfitleri gabrolarında piroksen minerallerinde uralitleşme sonucu gelişmiş lifsi tremolit-aktinolit mineralleri (CN) (Ch=Klorit, Qz=Kuvars, Ms=Muskovit, Prx=Piroksen).

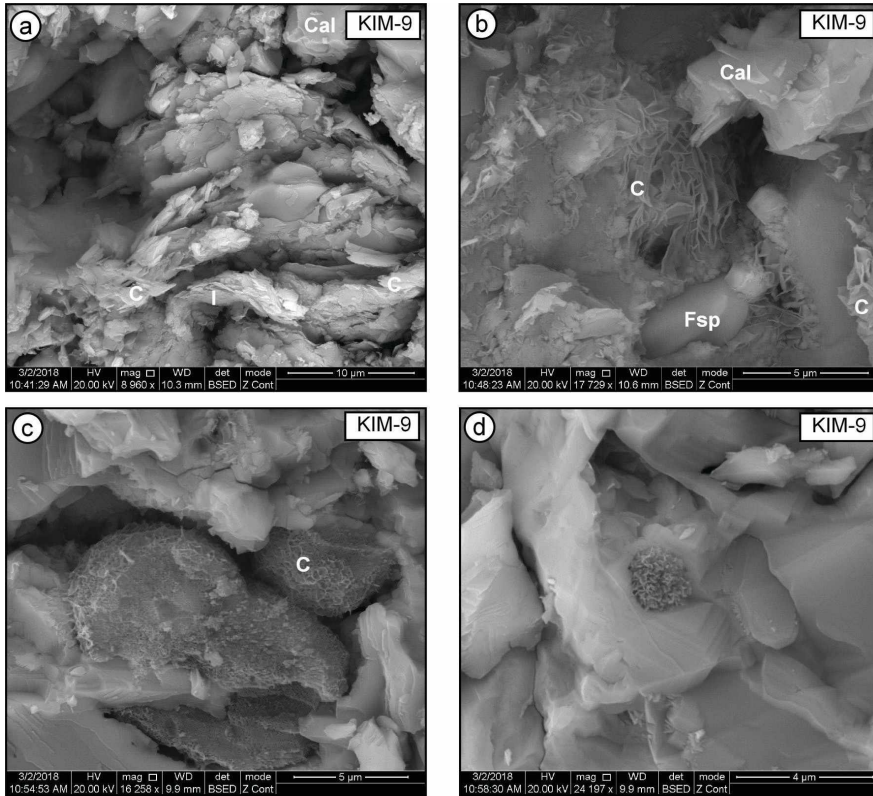
Figure 7. a) Plate-like muscovite in the metasandstones of the Iznik Metamorphics and green chlorite minerals in the pores (CN), **b)** Fibrous tremolite-actinolite minerals developed as a result of uralitization in pyroxene minerals in the gabbros of the Iznik Metamorphics (CN) (Ch=Chlorite, Qz=Quartz, Ms=Muscovite, Prx=Pyroxene).

Taramalı Elektron Mikroskop İncelemeleri

İznic Metamorfitleleri'nden toplam 7 adet kaya örneği (sleyt, şist olmak üzere) üzerinde taramalı Elektron Mikroskop incelemeleri yapılmıştır.

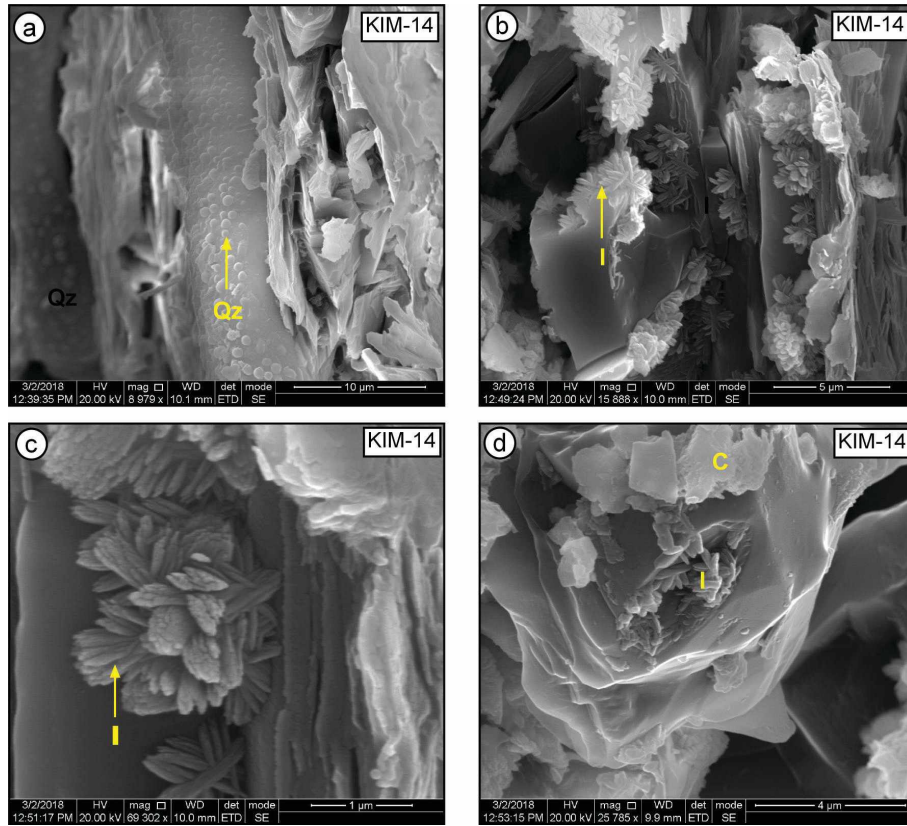
İznic Metamorfitleleri sleyt örneğinin SEM mikrofotografında silikat mineralleri ve çevreleyen kil mineralleri matris içinde klivaj düzlemleri boyunca dizilmektedir (Şekil 8a, b). Bu kayalarda ayrıca özşekilli feldispat mineralleri ve matriste gözeneklerde klorit/fillosilikat oluşumları gözlenmiştir (Şekil 8c ve d). İznic Metamorfitleleri sleyt örneklerinde amorf silika topçuklar şeklinde izlenmektedir (Şekil 9a). İllitler diğer örnekte olduğu gibi ışınal kümeleri oluşturmaktadır (Şekil 9b ve c). Kloritler ise

ince yapraklı biçimlerde gözlenmiştir (Şekil 9d). Ayrıca sleyt örneklerinde matris içinde silika mineralleri ve çevreleyen kil minerallerinin görünüşleri tipiktir. Matriste illitler I-S aratabakalısını içermeleri sonucu lifsi/ipliksi biçimde gözlenmektedir. Sleyt türü kayalarda matris içinde sleyt düzlemlerine dik fillosilikat oluşumları olasılıkla istif yapıları bulunmaktadır (Şekil 10a). Özşekilli kuvars ve feldispat mineralleri (Şekil 10b), yapraklı klorit mineralleri (Şekil 10c) ve levhamsı feldispatlar bu kayalarda gözlenmiştir (Şekil 10d). Bir örnekte ışınal (yıldız şekilli) illit oluşumları ve klorit topları tipik olup klorit topçukların kümeler halinde gözlenmektedir. Ayrıca kloritler ince yapraklı biçimlerde de izlenmektedir.



Şekil 8. İznic Metamorfitleleri sleyt örneğinin SEM mikrofotografı, **a)** Silika mineralleri ve çevreleyen kil mineralleri, **b)** Özşekilli feldispatlar mineralleri, **c)** gözeneklerde klorit oluşumları, **d)** gözeneklerde yapraklı fillosilikat oluşumları (C= Klorit, I=İllit, Fsp= Feldispat, Cal= Kalsit).

Figure 8. SEM microphotographs of the Iznic Metamorphic slate sample, **a)** Silica minerals and surrounding clay minerals, **b)** euhedral feldspar minerals, **c)** chlorite formations in the pores, **d)** foliated phyllosilicate formations in the pores (C= Chlorite, I=Illite, Fsp= Feldspar, Cal= Calcite).



Şekil 9. İznik Metamorfileri sleyt örneğinin SEM mikrofotografı, **a)** amorf silika ve çevreyen kil mineralleri, **b)** illit kümeleri, **c)** illit mineralleri, **d)** İnce yapraklı kloritler.

Figure 9. SEM microphotographs of the Iznik Metamorphic slate sample, **a)** amorphous silica and surrounding clay minerals, **b)** illite clusters, **c)** illite minerals, **d)** thin foliated chlorites.

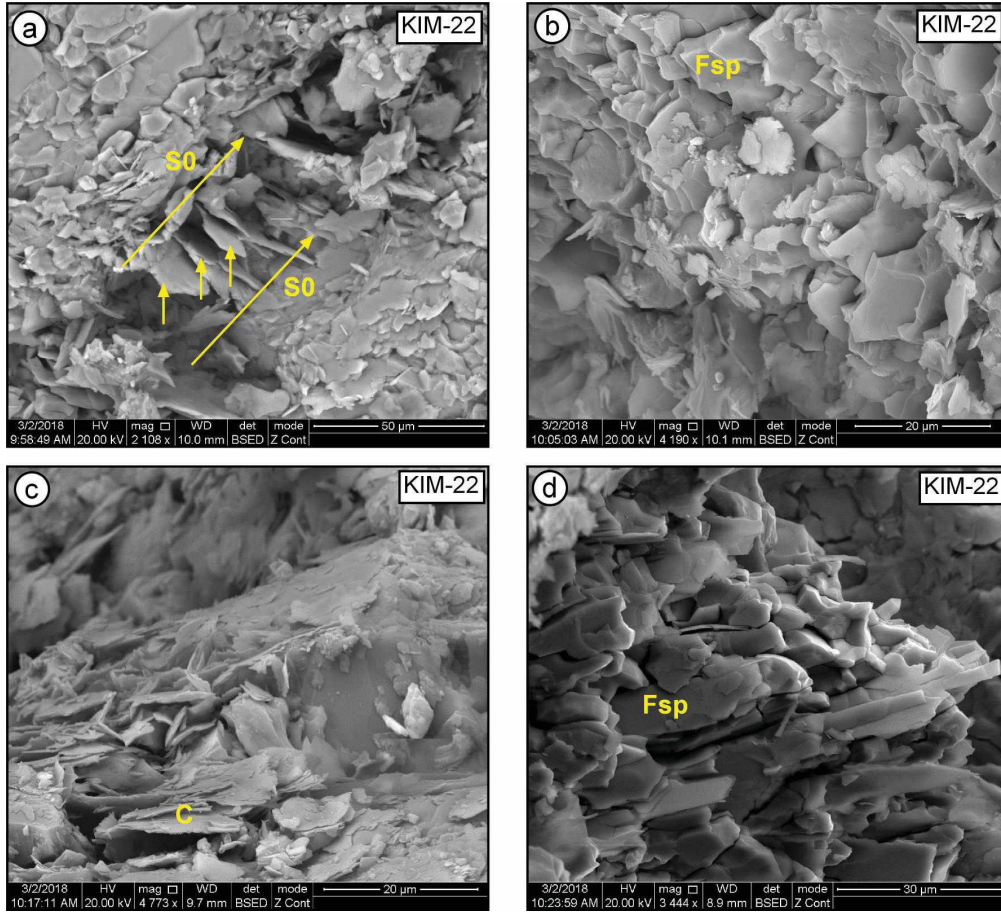
X-IŞINI DİFRAKSİYON İNCELEMELERİ

İznik Metamorfileri'ni oluşturan metapelitik (sleyt, fillit, şist), metapsamitik (metakumtaşı), metavolkanik (metabazalt, andezitik metabazalt, metagabro) ve metakarbonat (mermer, dolomit-mermer) olmak üzere toplam 48 adet örnek üzerinde yapılan XRD-TK ve KF çözümlenmeleri yapılmıştır.

Birimin yaygın litolojisini oluşturan metamagmatik (metagabro, metavolkanit) kayalarda volkanojenik (feldispat, ojit), metamorfik-metasomatik (tremolit/aktinolit, stilpnomelan, paragonit, fillosilikatlar) ve kimyasal (kalsit, dolomit, kuvars, götit) mineraller gözlenmektedir. En yaygın gözlenen kuvars+feld

ispat+piroksen+fillosilikat parajenezine amfibol, kalsit, dolomit, götit, paragonit ve stilpnomelan mineralleri eşlik etmektedir.

Fillosilikat mineralojisini ise illit, klorit, karışık tabakalılar (C-V ve I-V), paragonit, smektit, kaolinit ve serpentin oluşturmaktadır. Metamagmatitlerde kil fraksiyonunu bir örnekte bütünüyle klorit temsil etmektedir. Metamagmatit kayalarda en yaygın fillosilikat parajenezleri klorit+C-V, illit + klorit + C-V ve I+ I-V olup; sadece bir örnekte stilpnomelan bu birlikteliğe katılmaktadır. Fe-oksit (götit) içeren bozmuş metavolkanitlerde illit + klorit birlikteliğine C-V eşlik etmektedir.



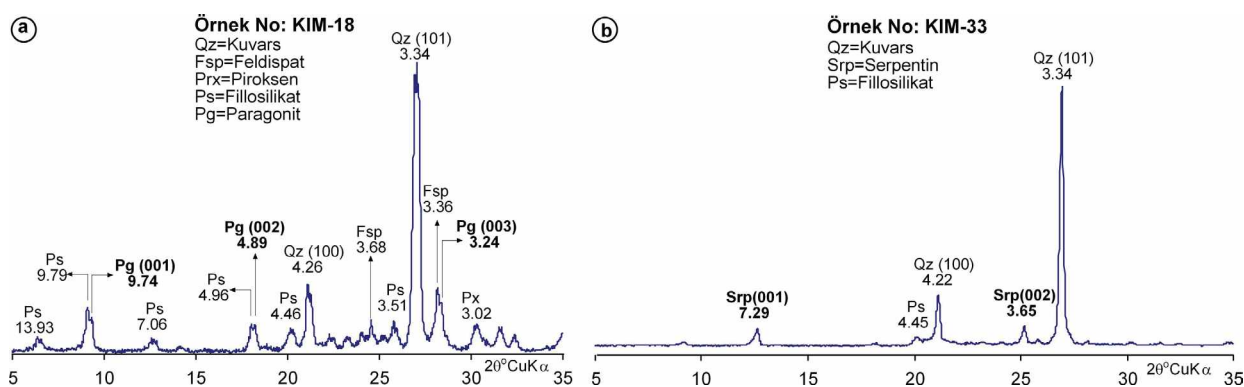
Şekil 10. İznik Metamorfitleleri sleyt örneğinin SEM mikrofotografaları, a) sleyt düzlemlerine dik gelişmiş istif yapıları, b) Özşekli kuvars ve feldispat mineralleri, c) yapraksı klorit mineralleri, d) levhamsı feldispatlar.

Figure 10. SEM microphotographs of the İznik Metamorphic slate sample, a) stacked structures perpendicular to the slate planes, b) euhedral quartz and feldspar minerals, c) foliated chlorite minerals, d) platy feldspars.

Sleyt ve şist türü kayalarda fillosilikat parajenezini illit+klorit birlikliği olup, bu parajeneze karışık tabakalı C-V/I-V, smektit, kaolinit, paragonit, serpentin ve stilpnomelan eşlik etmektedir.

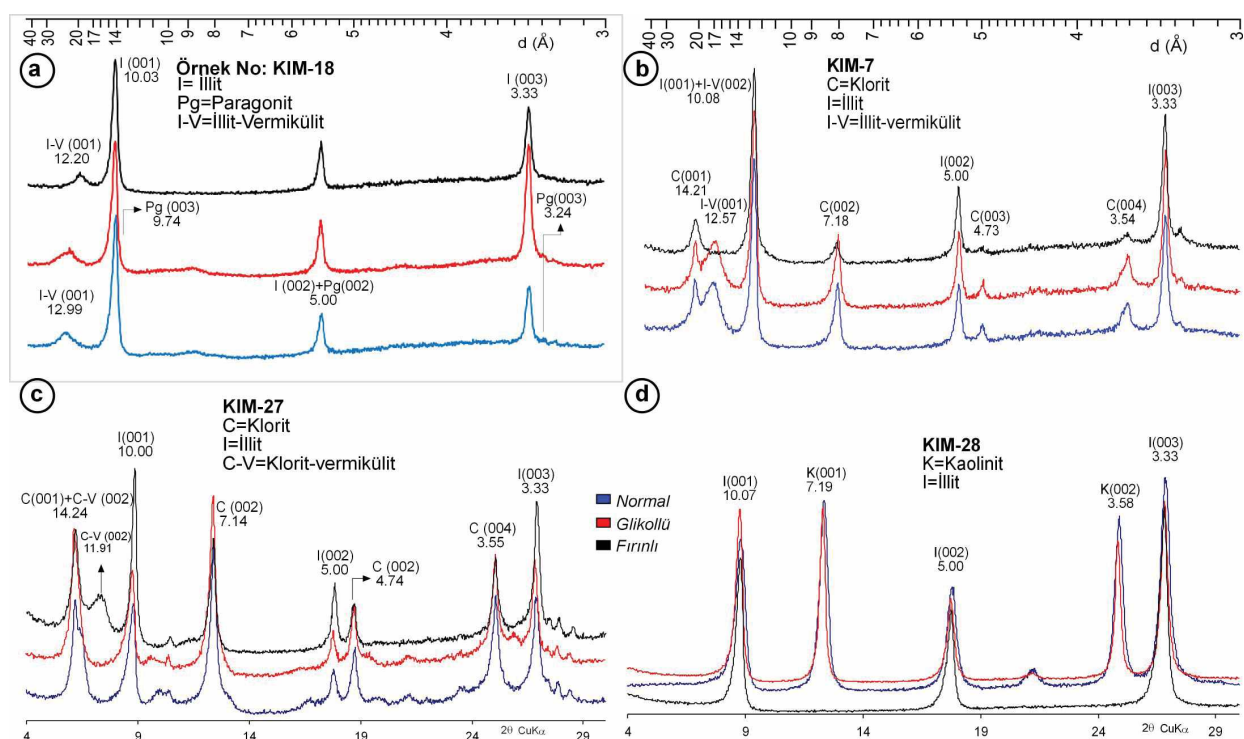
İznik Metamorfitleleri kuvarsit olarak tanımlanan kayalarda kuvars minerallerine az miktarda kalsit ve feldispat mineralleri eşlik etmektedir. Kalksleyt türü kayalarda ise kil mineralleri ile birlikte yer yer kalsit mineralleri de parajeneze katılmaktadır. Dolomitik mermer olarak tanımlanan kayalarda ise dolomit minerallerine ait (104) yüzeyi 2,90 Å da ortaya

çıkılmaktadır. Sleytlerde gözlenen piroksen mineralleri 3,00 Å da gözlenen pikleri ile ayır edilmiştir. Tüm kaya difraktogramında paragonit minerali (001) düzlemine ait 9,74 Å yansıması, (002) yüzeyine ait 4,89 Å ve 3,24 Å yansıması ile diğer fillosilikat minerallerinden ayrılmaktadır (Şekil 11a). Tüm kaya difraktogramında şistlerde gözlenen diğer önemli mineral türü ise serpentin olup, (001) yüzeyine ait piki 7,25 Å da ortaya çıkmaktadır (Şekil 11b). İznik Metamorfitleleri'nde metagabrolarda gözlenen ender minerallerden hematit mineralleri 2,70 Å da ortaya çıkmakta ve parajeneze katılmaktadır.



Şekil 11. İznik Metamorfiteri kayalarında XRD difraktogram sonuçları, a) şistlerde paragonit ve eşlikçi mineraller, b) sleytlerde serpentin ve eşlikçi mineraller

Figure 11. XRD diffractogram results for İznik Metamorphic rocks, a) paragonite and associated minerals in schists, b) serpentine and associated minerals



Şekil 12. a) İznik Metamorfiteri şistlerinde paragonit ve eşlikçi mineraller, b) sleytlerde karışık tabakalı I-V ve eşlikçi mineraller, c) sleytlerde karışık tabakalı C-V ve eşlikçi mineraller, d) kaolinit ve eşlikçi mineraller

Figure 12. a) Paragonite and associated minerals in the İznik Metamorphic schists, b) mixed-layered I-V and associated minerals on the slates, c) mixed-layered C-V and associated minerals on the slates, d) kaolinite and associated minerals.

Çizelge 2. İznik Metamorfizmaları illit ve klorit minerallerinde ölçülen KI, AI, FWHM-C, politipi, b0 değerleri ve metamorfik zonlara ait sonuçlar (KI=Kübler İndeks, AI=Arkai İndeks).

Table 2. Results of KI, AI, FWHM-C, polytype, b0 values and metamorphic zones measured in illite and chlorite minerals from the İznik Metamorphics (KI=Kubler Index, AI=Arkai Index).

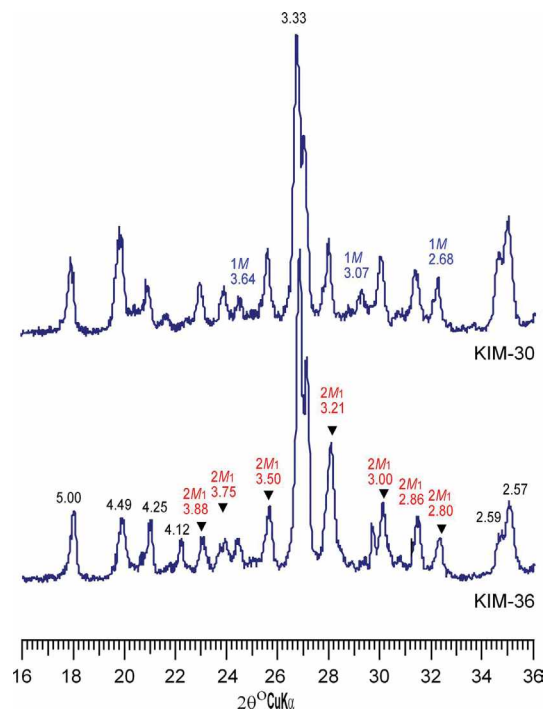
Örnek No	d(001)	FWHM-I (N)	İllit (CIS)	KI (N)	FWHM-C	Politipi	b0	Metamorfik Zon
KİM-1	10,021	0,25	0,26	0,19				Epizon
-3	10,059	0,30	0,31	0,24				Epizon
-4	10,113	0,34	0,36	0,28				Epizon
-6	10,047	0,34	0,36	0,28				Epizon
-7	10,082	0,25	0,26	0,19				Epizon
-8	10,114	0,27	0,28	0,21				Epizon
-9	10,150	0,42	0,45	0,35				Düşük ankizon
-11	10,122	0,27	0,28	0,21		2M1+1M	9,000	Epizon
-12	10,042	0,37	0,39	0,31		2M1+1M	8,958	Epizon
-13	10,123	0,33	0,34	0,27		2M1+1M	8,970	Epizon
-14	10,121	0,38	0,40	0,32				Epizon
-15	10,221	0,38	0,41	0,32		2M1+1M	8,952	Epizon
-16	10,108	0,39	0,41	0,33		2M1+1M	8,988	Yüksek ankizon
-17	10,085	0,36	0,37	0,29				Epizon
-18	10,049	0,29	0,30	0,23		2M1+1M	9,006	Epizon
-19	10,054	0,26	0,27	0,20				Epizon
-20	10,149	0,31	0,32	0,25				Epizon
-21	10,021	0,28	0,29	0,22		2M1	9,030	Epizon
-22	10,098	0,25	0,26	0,20		2M1+1M	8,964	Epizon
-23	10,149	0,32	0,32	0,25				Epizon
-27	10,047	0,38	0,40	0,32				Epizon
-28	9,484	0,44	0,47	0,37				Yüksek ankizon
-30	10,021	0,21	0,22	0,16		2M1+1M	9,030	Epizon
-31	10,013	0,35	0,37	0,29				Yüksek ankizon
-32	9,974	0,27	0,28	0,21		2M1	9,024	Epizon
-33	10,238	0,31	0,32	0,25				Yüksek ankizon
-34	10,036	0,27	0,28	0,21				Epizon
-36	10,020	0,23	0,24	0,17		2M1	9,024	Epizon
-37	10,082	0,19	0,19	0,14				Epizon
-39	14,20				0,255	IIb		Epizon
-40	10,137	0,31	0,33	0,25				Yüksek ankizon
-41	10,100	0,35	0,37	0,29				Yüksek ankizon
-42	10,119	0,27	0,28	0,21				Epizon
-43	9,999	0,30	0,31	0,24				Epizon
-44	14,390				0,32	IIb		Epizon
-45	10,036	0,26	0,27	0,21				Epizon
-47	9,973	0,28	0,30	0,23				Epizon
-48	10,125	0,39	0,41	0,33				Yüksek ankizon

Şistlerde illit + paragonit + I+V parajenezi de gözlenmiştir. I-V karışık tabakalısına ait birinci dizi pikleri normal, glikollü çekim için 12,99 Å ve fırınlı piki ise 12,20 Å da gözlenmiştir (Şekil 12a). Aynı örnekte paragonit minerali (001) yüzeyi 9,74 Å, (002) yüzeyine ait 5,00 Å ve (003) yüzeyi 3,44 Å da bulunan kırınım değerlerinden itibaren illit mineralinden ayrılarak tanımlanmıştır. Bazı kayalarda ise illit + klorit parajenezine karışık tabakalı I-V minerali eşlik etmektedir. I-V karışık tabakalısına ait birinci dizi pikleri gözlenmemiştir (Şekil 12b). Normal ve glikollü çekimde (002) yüzeyine ait pik 12,57 Å'da ortaya çıkarken, bu yüzeye ait fırınlı pikin illitin (001) ile çakıştığı 10,80 Å' da gözlenmesi bu mineralin klorit ve illitlerden ayırt edilmesini sağlamaktadır. Sleytlerde gözlenen diğer bir mineral türü smektit olup, bu mineralin (001) düzlemine ait normal piki 14,87 Å ve glikollü piki 16,62 Å gözlenirken, fırınlı piki 10,08 Å'a kadar düşmektedir. Yaygın olarak gözlenen illit + klorit + C-V parajenezine ait difraktogramlarda C-V mineralinin (002) yüzeyine ait glikollü (14,24 Å) ve fırınlı (11,91 Å) pikleri ile klorit mineralinden ayırt edilmiştir (Şekil 12c). Bazı sleytlerde illit + kaolinit parajenezi de gözlenmiştir (Şekil 12d). Kaolinit minerallerinin (001) yüzeyi 7,19 ve 3,59 Å'da (002) yüzeyindeki kırınım değerleri birbirinden ayrılmaktadır. Özellikle fırınlı pikindeki yıkılma kaolinit minerali için tipikdir.

Fillosilikatların Kristal Kimyasal Özellikleri

Alt Karakaya Karmaşığı'nı temsil eden İznik Metamorfittleri'ne ait saf K-mika ve klorit fraksiyonlarında KI, AI, politipi, b θ inceleme sonuçlarına ait kristal kimyasal parametre verileri Çizelge 2'de sunulmuştur. Kristal kimyasal parametre değerleri FWHM, I(001), (002) ve kristal boyutları PDXL (Integrated X-Ray Powder Diffraction Software) programında ölçülmüştür. Programla saptanan FWHM değerleri mika düzeltme faktörleri ile yeniden hesaplanmıştır.

İllit içeren örneklerde yapılan politip incelemelerine göre illitler 2M₁+1M politipine sahiptir (Şekil 13). Bu sonuçlardan İznik Metamorfittleri'nin orta basınç ve daha yüksek sıcaklık altında gömülmeye bağlı metamorfizmaya uğradığı düşünülebilir. Bazı illit mineralleri ise bütünüyle 2M₁ politipini yansıtmaktadır. İllit politipine ait XRD difraktogramında 2M₁ politipi için d(Å); 3,88; 3,73; 3,49; 3,20; 2,98; 2,86; 2,79 ve 2,58 ve 1M için 4,34; 3,64; 3,07; 2,91 ve 2,68 pikleri ayırtman olarak kullanılmaktadır.



Şekil 13. İznik Metamorfittleri illit politiplerine ait yönlenmemiş XRD desenleri.

Figure 13. Unoriented XRD patterns of illite polytypes from the İznik Metamorphics.

İznik Metamorfittleri'nde 36 adet örnekte hesaplanan KI verileri 0,19-0,41 $\Delta^\circ 2\theta$ (ortalama 0,25 $\Delta^\circ 2\theta$) arasında değişmekte olup, bu sonuçlara göre birim çoğunlukla epimetamorfik ve yüksek dereceli ankimetamorfik dereceyi işaret eden değerleri sunmaktadır (Şekil 14a). Diyagramda

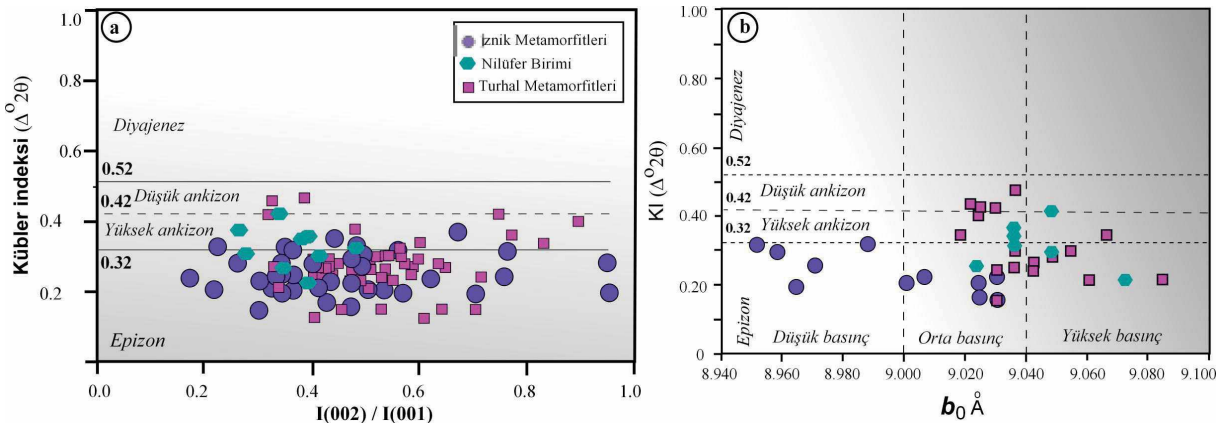
Nilüfer Birimi ve Turhal Metamorfitleri'ne (Tetiker vd., 2015a ve 2015b) ait illitlerinde benzer aralıkta metamorfik dereceyi temsil ettiği gözlenmektedir. 2 örnekte PDXL programı kullanılarak klorit kristalinite verileri incelendiğinde AI değerleri 0,26-0,32 $\Delta^{\circ}2\theta$ (ortalama 0,29 $\Delta^{\circ}2\theta$) arasında bir değişim sunmaktadır. Bu sonuçlara göre illit mineralleri ile uyumlu olarak yüksek dereceli ankimetamorfik bölgede bir dağılım sergilemektedir.

İznik Metamorfitleri'nde 11 illit örneğinde saptanan $d_{(060)}$ değeri 1,492-1,505 Å (ortalama 1,499 Å) arasında olup, dioktahedral bileşimi yansıtmaktadır. Oktahedral (Mg+Fe) içeriği Hunziker vd., (1986) eşitliğine ($Mg+Fe = (d_{060,331} - 1,4936) / 0,0203$) göre 0,07-0,56 (ortalama 0,35) arasında değişmekte olup I-S serisi için illit uç üyesinin oktahedral kimyasal bileşimine göre ($Mg+Fe=0,15-0,28$, ortalama 0,22: Meunier vd., 2004); illitlerin ideal muskovit bileşimine uzak, buna karşın ideal-fenjitik illit bileşimine kısmen yakın olduğu ortaya çıkmaktadır.

İznik Metamorfitleri'nde farklı kaya türlerini temsil eden K-mikalara ait b_0 -KI ilişkisine göre;

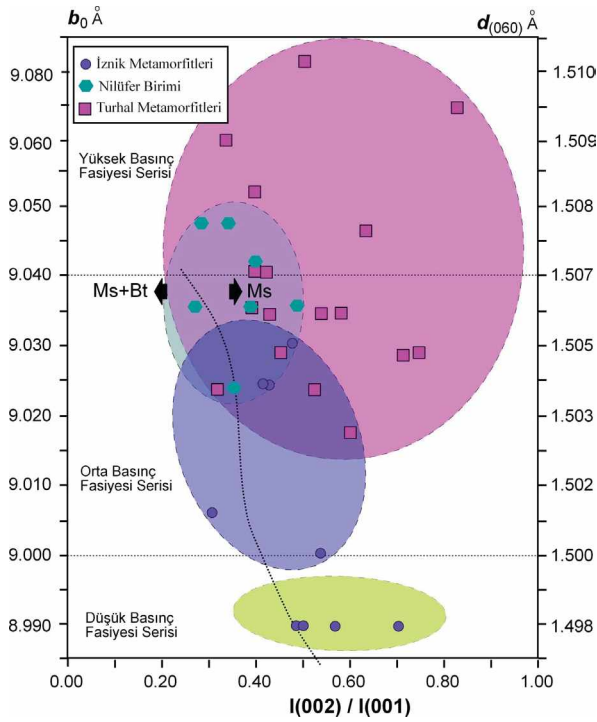
ankimetamorfik dereceli örnekler düşük basınç zonunda gözlenirken epimetamorfik dereceli örnekler ise orta basınç fasiyesi ile uyumlu olarak basınç artışını yansıtmaktadır (Şekil 14b). Diyagramda Nilüfer Birimi ve Turhal Metamorfitleri'ne (Tetiker vd., 2015a, 2015b) değerler incelendiğinde Turhal Metamorfitleri K-mikalarının b_0 değerlerinin yüksek basınç alanına doğru bir yönelim sergilediği gözlenmektedir.

İznik Metamorfitleri'nde $d_{(060)}/b_0$ parametresi ile I(002)/I(001) şiddet oranları arasındaki ilişkiler KB ve Orta KD Anadolu'daki eşdeğerleri de eklenerek Şekil 15'te verilmiştir. Bu diyagrama göre, İznik Metamorfitleri'ne ait illitlerde b_0 değerleri 8,952-9.030 Å (ortalama 8,995 Å) arasında değişmekte olup, Guidotti ve Sassi (1986) tarafından tanımlanan ankimetamorfik dereceli örnekler düşük, epimetamorfik dereceli örnekler orta basınç fasiyesi serisi bölgesinde yer almaktadır. b_0 değerlerinin KB'dan orta KD'ya doğru artan değerlere sahip olduğu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 14. a) İznik Metamorfitleri, KB ve orta KD K-mikaların KI-I(002)/(001) pik şiddeti oranlarına göre dağılımları, b) K-mikalarda b_0 -KI ilişkisi (Basınç sınırları: Guidotti ve Sassi, 1986).

Figure 14. a) Distribution of Iznik Metamorphics, NW and Middle NE according to KI-I(002)/(001) peak intensity ratios of K-mica, b) b_0 -KI relationship in K-micas (Pressure boundaries: Guidotti and Sassi, 1986).



Şekil 15. Armutlu Yarımadası İznik Metamorfikleri ve eşdeğer birimlere ait K-mikalarda b_0 - $I(002)/I(001)$ ilişkisi (Basınç sınırları Guidotti ve Sassi, 1986; biyotitli ve biyotit içermeyen K-mika arasındaki sınır Bozkaya ve Yalçın, 2004)

Figure 15. Relationship between b_0 - $I(002)/I(001)$ and K-mica from İznik Metamorphics of the Armutlu Peninsula and equivalent units (Pressure boundaries Guidotti and Sassi, 1986; boundary between biotite and non-biotite K-mica Bozkaya and Yalçın, 2004)

İllitlerde yapılan kristalit büyüklükleri ölçümlerinde farklı yöntemler uygulanmıştır. PDXL programı ve Merriman ve diğ. (1990) yöntemleri ile belirlenmiş kristalit büyüklükleri Çizelge 3'te verilmiştir. PDXL programı (Krumm, 1996) yardımıyla İznik Metamorfikleri'ne ait illitlerin (001) piklerinden itibaren belirlenen kristalit büyüklükleri (CS) 1,72-4,38 Å arasında değişmekte olup, ortalama 2,79 Å'dur.

Çizelge 3. İznik Metamorfikleri'ne ait kayalarda farklı yöntemlerle belirlenen nm cinsinden kristalit büyüklükleri (CS).

Table 3. Crystallite sizes (CS) in nm determined by different methods in the İznik Metamorphics.

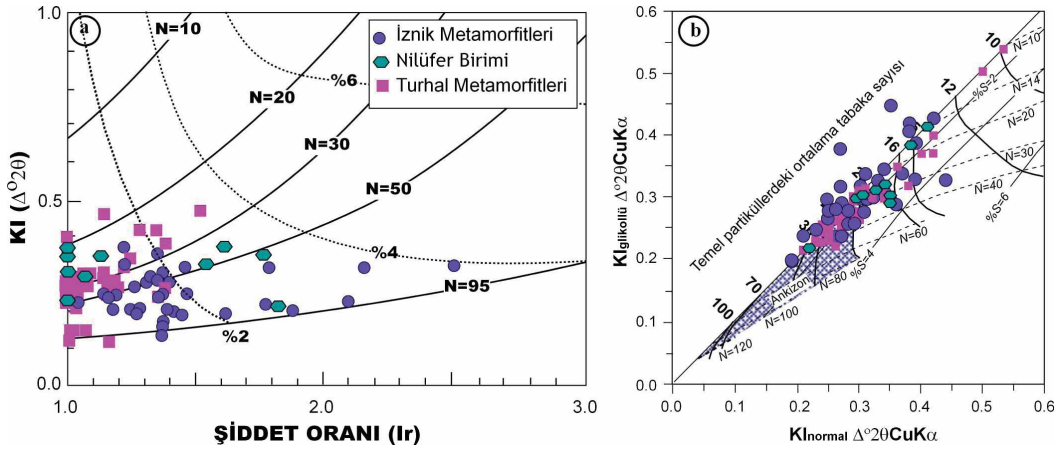
Örnek No	CS (nm)	
	PDXL	Merriman vd (1990)
KİM-1	33	43
-3	28	34
-4	24	29
-6	25	29
-7	33	43
-8	32	39
-9	20	22
-11	31	39
-12	23	26
-13	26	30
-14	22	24
-15	22	24
-16	21	23
-17	24	27
-18	29	35
-19	32	41
-20	27	34
-21	30	37
-22	33	43
-23	27	32
-27	22	24
-28	17	20
-30	39	55
-31	24	28
-32	31	39
-33	27	32
-34	31	39
-36	36	48
-37	44	64
-40	27	32
-41	24	28
-42	31	39
-43	28	34
-45	32	41
-47	29	35
-48	21	24

Merriman vd. (1990) tarafından önerilen formüle ($N001=8,059/\beta$; $\beta=1,038949 \times KI-0,08250323$) göre hesaplanan kristalit büyüklükleri birim için 24-55 nm (ortalama 34 nm) arasında değişmektedir. Her iki yöntemle kristalit büyüklükleri karşılaştırıldığında temsil edilen aralıklar bakımından benzer sonuçlar elde edildiği gözlenmektedir.

Ayrıca her iki yönteme ek olarak Eberl ve Velde (1989) diyagramında (Şekil 16a) illit minerallerinin kristalit büyüklükleri (N) İznik Metamorfitleri için 25-95 nm arasında değişmektedir. Pik genişlikleri ile pik şiddet oranlarının karşılaştırıldığı diyagramda illitin normal ve glikollü çekimlerde pik şiddet oranı ($I_r = [I(003)/I(001)_{\text{glikollü çekim}}] / [I(003)/I(001)_{\text{normal çekim}}]$; Srodon, 1984) belirlenmiştir. Diyagrama göre birime ait illitlerde genişleyebilen tabaka içerikleri (smektit) çoğunlukla %2'den daha az, bazı örneklerde ise %2-4 arasında değişmektedir. Diyagramda Nilüfer Brimi ve Turhal Metamorfitleri'ne (Tetiker vd., 2015a ve 2015b)

ait illitlerde genişleyebilen tabaka oranlarının benzer olduğu gözlenmiştir.

İllitlere ait kristalit büyüklüğünün saptanmasında kullanılan diğer bir yöntem ise normal ve glikollü çekimlere ait kristalinite verilerinden itibaren Jaboyedoff vd. (2001) tarafından geliştirilen diyagram yardımıyla belirlenebilmektedir (Şekil 16b). Kristalit büyüklükleri İznik Metamorfitleri için 14-40 nm arasında olduğu belirlenmiştir. Tüm birimler için genişleyebilen tabaka içerikleri daha çok %2-4; temel partiküllerdeki ortalama tabaka sayısı 14-40 arasındaki bölgede yoğunlaşmaktadır. Bir örnek için genişleyebilen tabaka içeriği %4 den büyük çıkmıştır. İllit kristalinite ve kristalit büyüklükleri arasında pozitif doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Kristalinite değerleri arttıkça illit kristal boyutunun da arttığı da diyagramda ortaya konulmuştur. Ayrıca İznik Metamorfitleri'nin epizon-ankizon koşullarını temsil ettiği görülmektedir. Nilüfer Brimi ve Turhal Metamorfitleri'ne ait illitlerin tabaka sayılarının aynı alanda kümelendiği gözlenmektedir.



Şekil 16. a) İznik Metamorfitleri ve eşdeğer birimlerin illitlerinde $KI-[I(003)/I(001)_G] / [I(003)/I(001)_N]$ diyagramında (Eberl ve Velde, 1989) genişleyebilen tabaka içerikleri (%S) ve kristalit büyüklüğü arasındaki ilişki (nm), **b)** İznik Metamorfitleri ve eşdeğer birimlerin illitlerinde KI_N-KI_G diyagramında (Jaboyedoff vd., 2001) belirlenen kristalit büyüklükleri ve genişleyebilen tabaka içerikleri (%S).

Figure 16. a) Relationship between expandable layer contents (%S) and crystallite size in illites in $KI-[I(003)/I(001)_G] / [I(003)/I(001)_N]$ diagram of İznik Metamorphics and equivalent units (nm) (Eberl and Velde, 1989), **b)** Crystallite sizes and expandable layer layer contents (%S) determined in the KI_N-KI_G diagram in illites of the İznik Metamorphics and equivalent units (Jaboyedoff et al., 2001).

TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Armutlu Yarımadası'nda Alt Karakaya Birimini (Okay ve Göncüoğlu, 2004) temsil eden İznik Metamorfizmaları yeşilşist fasiyesinde (muskovit şist, aktinolit şist, fillit, sleyt, metakumtaşı), magmatik (metabazalt, metatüf, metagabro, metadiyabaz) ve karbonat (mermer) litolojisine sahip kaya türleri içermektedir.

Kuzeybatı Anadolu'nun bazı kesimlerinde Alt Karakaya Karmaşığı'nın genel olarak yeşilşist fasiyesinde metamorfizm geçirdiği, bununla birlikte amfibolit, mavişist ve eklojit fasiyeslerine ulaştığı bildirilmiştir (Okay ve Monie 1997; Okay vd., 2002; Okay ve Göncüoğlu, 2004; Tetiker vd., 2015a). Yaklaşan kıta kenarları (yitim zonu) boyunca gelişen mavişist fasiyesi düşük-sıcaklık (100-250 °C) ve yüksek-basınç (4-9 kb), diğer bir ifadeyle gömülme metamorfizmasının karakteristiğidir (Ehlers ve Blatt, 1982). Sakarya Zonu içerisinde KB ve Orta KD Anadolu'da AKK-AB'nde (Nilüfer birimi ve Tokat masifi) mavişist metamorfizmasını işaret eden glokofan mineralleri tanımlanmıştır (Tetiker vd., 2015a). Bu çalışmada İznik Metamorfizmaları'ne ait mavişist fasiyesine ait kaya seviyeleri saptanmamıştır. KB Anadolu (Nilüfer Birimi) ve orta Kuzeydoğu Anadolu'da (Turhal Metamorfizmaları) şistlerinde indeks mineral türlerinden stilpnomelan ve paragonit mineral parajenezleri (Tetiker vd., 2015a), İznik Metamorfizmaları'nin sleyt ve şist türü kayalarında da saptanmıştır.

Sakarya Zonu içerisinde yaş verilerinin sınırlı olduğu ve Paleotetis okyanusuna ait olup ofiyoliti temsil eden metabazitler içerisinde serpentinleşmiş ultramafik kaya ve gabrolardan oluşan çizgisel kuşağın (Genç, 1987 ve 1992; Okay vd., 1990; Genç ve Yılmaz, 1995; Okay vd., 1991; Okay ve Göncüoğlu, 2004) varlığından bahsedilmektedir. Bu çalışmada Armutlu Yarımadası Bursa-İznik ilçesi İhsaniye köyü civarında Alt Karakaya Karmaşığı'nı temsil eden İznik Metamorfizmaları'nin üst seviyelerinde metagabro türü kayalar

tanımlanmıştır. Olasılıkla bu seviyeler diğer çalışmalarda bahsedilen tektonik dilimlerin kalıntıları olduğu düşünülebilir. Benzer şekilde Tokat Masifi içerisinde Turhal Metamorfizmaları'nde Alt Karakaya'nın üst kesimlerinde de metagabro türü kayalar tanımlanmıştır (Tetiker vd., 2015a).

Sunulan çalışmadan elde edilen bulgulara göre; İznik Metamorfizmaları'nin çoğunlukla epizonal yeşilşist fasiyesinde ve kısmen ankizonal klorit-mika istifli metakumtaşları olarak tanımlanan iki farklı fasiyesi temsil eden kaya gruplarına ayırt edilebilir. Tektonik dilimler halinde bulunduğu düşünülen seviyelerin daha önce KB ve Orta KD Anadolu'da yapılan **çalışmalarla** denetirildiğinde (Federici vd., 2010) Alt Karakaya'nın üst bölümü (AKK-UB, Tetiker vd., 2015a) ile uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.

İznik Metamorfizmaları'ne ait sleytler belirgin yönlenme ve klivaj düzlemlerine sahip olup, ana bileşenlerini pulsu yer yer ince taneli mikamsı serisitler oluşturmakta ve bunlara yer yer belirli miktarda ince taneli klorit, az miktarda da olsa silt ve kum boyu kuvars ve feldispat taneleri eşlik etmektedir. Bazı sleyt seviyeleri bol miktarda hematit ve karbonat mineralleri içermektedir. Ayrıca matrikste lifsel tremolit/aktinolitlerin yanında, tabakalanma düzlemlerine dağınık gelişmiş stilpnomelan oluşumları da bulunmaktadır. Sleytlerde paragonit minerali de ortaya çıkmaktadır. İnce taneli sleytler; ilksel tabakalanma (S_0) düzlemlerine paralel veya yaklaşık dik konumlu (S_1) sleyt klivajı gelişimlerinin yanı sıra, buruşma kıvrım ve dilinimlerinin (buruşma tipi sleyt klivajı; Kisch, 1991) yaygın olduğu, yer yer zik-zaklı bir görünüm sunmaktadır. Sırasıyla iki evreye karşılık gelen bu dokusal özellikler gömülme metamorfizması (başlangıç metamorfizması: Kisch, 1983) ve bölgesel metamorfizmanın karakteristikleri biçiminde değerlendirilmiştir. İznik Metamorfizmaları (meta-)kumtaşlarında zirkon, turmalin, apatit, amfibol, piroksen, mika, kromit, hematit ve götit mineralleri belirlenmiştir. Bu minerallerin hem

bazik hem de asidik magmatik kayalardan türediği sonucuna varılmıştır. İznic Metamorfitlerin'de bazik magmatitlerin bulunduğu düşünülürse, asidik bileşenlerin daha yaşlı temel kayalardan taşındığı ileri sürülebilir.

Metaklastik kayalarda (çoğunlukla metakumtaşı, az sleyt) yaygın olarak mika mineralleri (klorit-muskovit, klorit-biyotit ve biyotit-moskovit) arasında bazı kenetlenme türü dokusal özellikler gözlenmiştir. Klorit-mika istifleri (chlorite-mica stacks) olarak adlandırılan (Voll, 1960; Craig vd., 1982; Krinsley vd., 1983) bu oluşumlar; klivaj fabriğinin ileri aşamasının karakteristik özelliklerinden birisi olarak yorumlanmıştır (Kisch, 1991). Bunlar; 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 (Hoeppener, 1956; Weber vd., 1976); klorit-mika porfiroblastları (Roy, 1978; Weber, 1981; Woodland, 1985); klorit-mika breşik taneleri veya klorit-muskovit birleşik porfiroblastları (Woodland, 1982); tarafından klorit fiçaları (chlorites en tonnelets: veya klorit bademleri (chlorites en amandes) (Pique ve Wybrecht, 1987) biçiminde adlandırılmıştır. Klorit-mika istifleri için otijenik ve/veya neoformasyon (Hoeppener, 1956; Pye ve Krinsley, 1983), tektonizm öncesi smektitik killerin mimetik ornatılması (Craig vd., 1982; Woodland, 1982 ve 1985) ve metamorfizm sırasındaki deformasyon (Attlewell ve Taylor, 1969; Weber, 1981) gibi çeşitli köken ve mekanizmalar ile birlikte, detritik mikalardan itibaren geliştiği de belirtilmiştir (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). İznic Metamorfitleri'nde mika istiflerinde biyotit veya kloritleşmiş biyotitin varlığı; bunların detritik ve/veya volkanik kökenli

mikalardan türemiş olabileceğini göstermektedir. Gerilmeli havzaların karakteristiği olarak bilinen mika istifleri (Merriman, 2005); KB ve Orta KD Anadolu Karakaya Karmaşığı birimlerinde de saptanmıştır (Tetiker vd., 2015a).

İznic Metamorfitleri kayaları KB ve Orta KD Anadolu'daki eşdeğerleri ile mineralojik göstergeler bir korelasyon diyagramında karşılaştırılmıştır (Şekil 17). KI'nin ortalama değerleri İznic Metamorfitleri için epizon kısmen ankizon bölgesini işaret etmektedir. b_0 değerlerine göre İznic Metamorfitleri düşük-orta basınç sınırında yer almaktadır. İznic Metamorfitleri illitlerinde $2M_1$ ve $2M_{1+1}M$ politipinin egemen olması illitlerin yer yer ideal fenjit bileşimini yansıtan yüksek sıcaklık değerlerinde gerçekleşen metamorfizmanın varlığıyla uyumluluk sergilemektedir. Bu veriler birimin eşdeğerleri olan Nilüfer Birimi ve Turhal Metamorfitleri'nin eşdeğer seviyeleri uyumlu olduğunu ortaya koymaktadır.

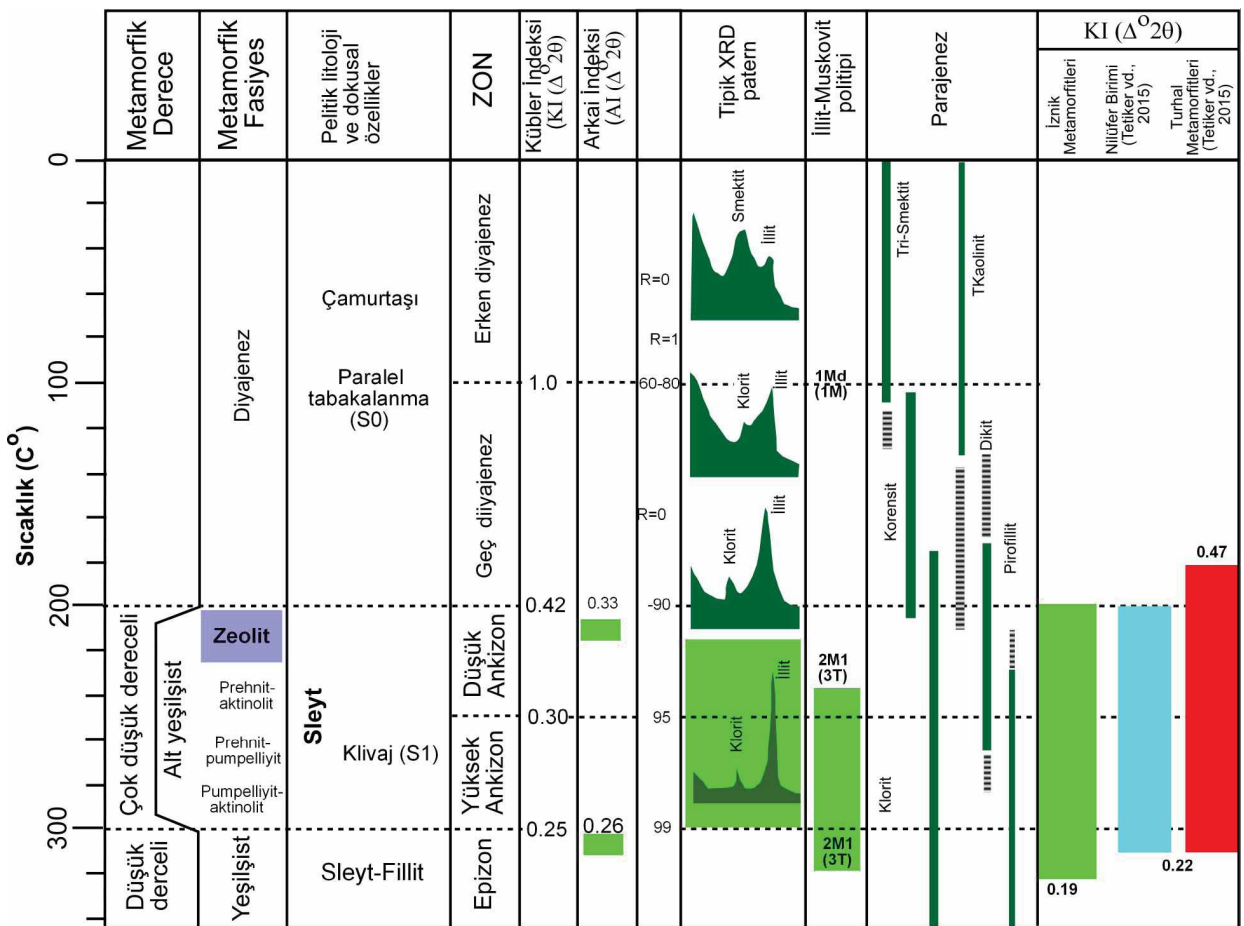
Alt Karakaya birimlerinde alttan üste doğru kil mineral tür ve bolluklarındaki farklılıklar ve/veya düzensizlikler, progresif bir diyajenez/metamorfizmadan ziyade; birimlerin kendi içerisinde düzenli bir istif sunmayıp melanj (karışık) özelliğinde olması ile ilişkilidir. Ayrıca; bu dağılım detritik beslenme, volkanik aktivite ve derinsel bozuşma ve/veya yüzeysel bozunma süreçleri ile de denetlenmiştir.

KB, Orta KD Anadolu ve Armutlu Yarımadası Alt Karakaya Karmaşığı birimlerinin (İznic Metamorfitleri, Nilüfer Birimi, Turhal Metamorfitleri) illit/beyaz K-mikalarda b_0 değerlerine karşı kümülatif frekans dağılımları tipik bölgesel metamorfik alanlar (Sassi ve Scolari, 1974) eklenerek Şekil 18'de verilmiştir. İznic Metamorfitleri KB ve orta KD Anadolu'da'ki eşdeğerlerinden (Tetiker vd., 2015a) daha düşük basınç değerlerini temsil etmekle birlikte, birim Bosost tipi metamorfizm ile düşük basınç-orta sıcaklık fasiyesi ve N.New Hampshire tipi olarak

bilinen orta basınç-yüksek sıcaklık fasiyesine karşılık gelen bir yönelimin varlığına işaret etmektedir. Bu sonuçlar Federici vd. (2010) çalışmasında da belirtildiği üzere Sakarya Kıtası'nın batısından doğuya doğru artan paleotermal koşullarla ilişkili olabilir.

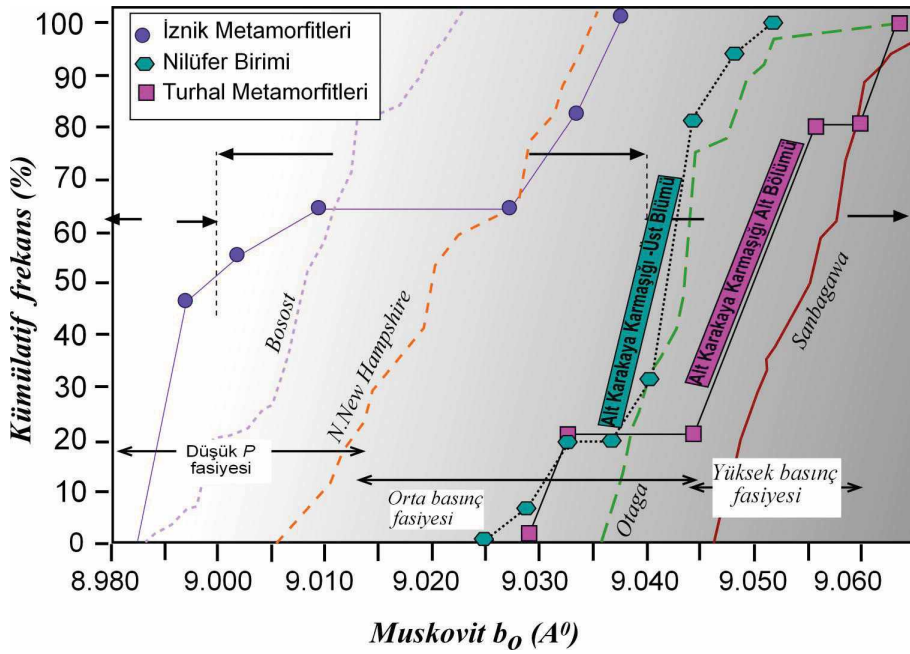
Sakarya Kompozit Birliği içinde yer alan Karakaya Karmaşığı birimleri için kabul edilen yitim-eklenme modelinde P-T evrimi Alt

Karakaya Karmaşığı için mineral parajenezleri, petrografik özellikler, Raman Spektrometre (RS) ve KI indeks verileri sonucunda 300 ile 500°C arasındaki sıcaklık ve 3-12 kbar arasında basınç değerleri belirlenmiştir (Rojay ve Göncüoğlu, 1997; Yılmaz vd., 1997; Yılmaz ve Yılmaz, 2004; Federici vd., 2010; Tetiker vd., 2015a ve 2015b). İznik Metamorfitleri'nde elde edilen petrografik ve kristal kimyasal veriler birimin alt yeşilist fasiyesi metamorfizmasına uğradığını ortaya koymaktadır.



Şekil 17. KB, Orta KD ve Armutlu Yarımadası Alt Karakaya Karmaşığı birimlerinin metamorfik derece, fasiyes, zon ve kristal kimyasal verilerinin korelasyon diyagramı (Merriman ve Peacor, 1999; Merriman ve Frey, 1999).

Figure 17. Correlation diagram of metamorphic grade, facies, zone and crystal chemical data for NW, Middle NE and Armutlu Peninsula Lower Karakaya Complex units (Merriman and Peacor, 1999; Merriman and Frey, 1999).



Şekil 18. KB, Orta KD ve Armutlu Yarımadası Alt Karakaya Karmaşığı birimlerinin illit/beyaz K-mikalarında b_0 değerlerine karşı kümülatif frekans dağılımı (Bölgesel metamorfik alanlar: Sassi ve Scolari, 1974).

Figure 18. Cumulative frequency distribution versus b_0 values in illite/white K-mica units of NW, Middle NE and Armutlu Peninsula Lower Karakaya Complex units (Regional metamorphic areas: Sassi and Scolari, 1974).

Tektonik ortamların ayırt edilmesinde kullanılan en yaygın mineralojik ölçütler; dokusal özellikler, mineral parajenezleri ve b_0 değerleridir (Merriman, 2005). İznic Metamorfitleri K-mika b_0 parametresi değerleri 8,964-9,030 Å arasındadır. Kil mineral parajenezleri çoğunlukla klorit, kısmen klorit+illit bileşimindedir. Bu sonuçlar çoğunlukla düşük-orta basınç fasiyesine karşılık gelmekte; diğer taraftan İznic Metamorfitleri'nin üst kesimlerindeki şist ve metaklastitlerde gözlenen yaygın klorit-mika istifleri, ayrıca, yüksek ısı akısını işaret eden indeks metamorfik mineraller (paragonit, stilpnomelan) aynı zamanda gerilmeli basenleri temsil etmektedir (Örneğin; Milodowski ve Zalasiewicz, 1991; Bozkaya ve Yalçın, 2007; Tetiker vd., 2015a).

Karakaya Karmaşığının termal evriminin Permo-Triyas yaşlı yitim süreçlerinden daha fazla etkilendiği ancak Alpin olaylarından fazla etkilenmediğini belirtilmiştir (Federici vd., 2010).

Sakarya Zonu içerisinde Alt Karakaya Karmaşığı (LKC) için dokusal özellikler, mineral birliktelikleri, kil/fillosilikat dönüşümleri, indeks mineraller, mineral parajenezleri ve kristal kimyasal verilerinin bu birimlerin sıkışmalı bir havzada yüksek basınç/düşük sıcaklık koşullarına işaret ettiği belirtilmiştir (Okay ve Monie 1997; Rojay ve Goncuoğlu 1997; Okay vd., 2002; Tetiker vd., 2009a, 2009b, 2015; Federici vd., 2010). Bu çalışmada elde edilen dokusal, mineralojik ve kristal kimyasal veriler İznic Metamorfitleri'nin Tetiker vd. (2015a) çalışmasında da belirtilen açılmalı bir havzada yüksek ısı akışından etkilenen düşük-orta basınç/ sıcaklık koşullarında Alt yeşilist fasiyesinde metamorfizma koşullarını işaret etmektedir. Elde edilen bulgular İznic Metamorfitleri'nin Tetiker vd., (2015a)'de yapmış oldukları çalışmada Alt Karakaya Karmaşığı'nın üst bölümüne (AKK-UB) karşılık geldiği şekilde değerlendirilmiştir.

EXTENDED SUMMARY

In the İznik Metamorphics, that represent the Lower Karakaya Unit of the Karakaya Complex in the Armutlu Peninsula, the lower levels consist of rock types corresponding to schist facies (muscovite schist, actinolite schist), while the upper levels consist of rock types corresponding to greenstone facies (phyllite, slate, metasandstone, metabasalt, meta-tuff, metagabbro, marble). According to the results of this study, in the İznik Metamorphics, rock groups with three different facies (greenstone, metasandstones with anchizonal chlorite-mica stacks, and metagabbro) are found in the form of tectonic slices. In the units representing the İznik Metamorphics, carbonate (calcite, dolomite), quartz, feldspar, phyllosilicate (chlorite, illite, smectite, kaolinite, serpentinite, stilpnomelane, paragonite, and mixed-layer C-V, I-V, I-C), pyroxene, amphibole, natrolite, hematite, and goethite minerals were identified. Intergrowth-type textures like schist in the upper parts of the İznik Metamorphics and abundant chlorite-mica stacks observed especially in the meta-clastic rocks reflect the characteristics of the basin.

These formations, known as chlorite-mica stacks (Voll, 1960; Craig et al. 1982; Krinsley et al. 1983), were interpreted as one of the characteristic properties of the advanced stage of cleavage development (Kisch, 1991). The presence of biotite or chloritized biotite in mica stacks in the İznik Metamorphics shows that they may have originated from clastic and/or volcanic micas. Mica stacks that are characteristic of extensional basins (Merriman, 2005) were also found abundantly in units in the Taurus and Sakarya Zones (Bozkaya and Yalçın, 2000, 2004, 2005; Bozkaya et al. 2002, 2006; Tetiker et al. 2015a, 2015b). Additionally, index metamorphic minerals (paragonite, stilpnomelane, tremolite-actinolite, chlorite), which indicate high heat flux in the ambient environment, are also encountered. Due to Mg-rich interstitial solutions in early

diagenesis, irregular chlorites are exposed to positive transformation. Chlorites that form during early diagenesis are usually Fe-rich, their Mg contents increase with increased depth during further diagenesis-metamorphism (Ahn and Peacor, 1985). Chlorites become more regular and stable from late diagenesis to epimetamorphism. The presence of chlorite + illite is a characteristic of metamorphic series. In the İznik Metamorphics on the Armutlu Peninsula, chlorites have a neoformation origin as pore-filling material. Blue schists and greenstones within these rocks have platy morphologies in filler material and platy and/or needle-like morphologies with blue-brown interference colors in the matrix and pores. In the Lower Karakaya Unit (İznik) in the Armutlu Peninsula, kaolinite in the upper levels (or probably dickite) is seen, especially in two levels containing goethite (metabasite and metasandstone). Fe-oxide/oxyhydroxide minerals seen alongside kaolinites (hematite and goethite) are associated with the erosion and/or weathering occurring after metamorphism.

The KI values in the İznik Metamorphics vary in the range of 0.19-0.41 $\Delta^{\circ}2\theta$ (mean: 0.25 $\Delta^{\circ}2\theta$), and according to these results, the unit displays mostly epimetamorphic and highly anchimetamorphic grade. The crystallinity data of chlorites revealed AI values in the range of 0.26-0.32 $\Delta^{\circ}2\theta$ (mean: 0.29 $\Delta^{\circ}2\theta$). According to these results, as with the illite minerals, chlorites are within the highly anchimetamorphic zone. Clay mineral parageneses are composed mostly of illite and partially of chlorite + illite. The paragenesis of $1M+2M_1$ was identified for slate and phyllite rocks in the İznik Metamorphics in the Armutlu Peninsula. While $2M_1$ and $1M$ illite minerals are abundant in very low-grade metamorphic rocks, as the degree of metamorphism increases, the percentage ratio of $2M_1/(2M_1 + 1M)$ also increases (Frey, 1987; Merriman and Frey, 1999). $1M$ illite minerals are associated with igneous (most likely volcanogenic) materials (Merriman and Roberts,


1985). The b_0 parameter values of K-micas in the lower Karakaya units were in the range of 8.964-9.030 Å. The İznik Metamorphics have a trend of transitioning from low-pressure facies to medium-pressure facies, and they correspond to Otago Barrovian-type metamorphism, N. New Hampshire low-pressure and medium-temperature facies, and medium-pressure and high-temperature facies, known as the Bosost type.

When the mineral parageneses and texture properties in the unit are considered together, they are compatible with an accretionary prism environment in greenschist facies (Milodowski and Zalasiewicz, 1991; Bozkaya and Yalçın, 2007; Federici et al., 2010; Tetiker et al., 2015; Ellero et al., 2021). If the lithological, mineralogical, and crystal-chemical parameter data (crystallinity, polytypes, and b_0) of the İznik Metamorphics in the Lower Karakaya Complex are correlated with the data of equivalent units located in northwestern and central-northeastern Anatolia (Nilüfer Unit and Turhal Metamorphics), they indicate diagenesis-metamorphism conditions reaching lower greenschist facies corresponding to the upper unit of the Lower Karakaya Complex.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma TÜBİTAK 116Y387 nolu proje kapsamında hazırlanmıştır. Çalışmada bilimsel katkı ve desteklerinden dolayı Cumhuriyet Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden Prof. Dr. Hüseyin YALÇIN'a, arazi çalışmalarındaki yardımından dolayı Alpaslan TETİKER'e, editör ve değerli hakemlere katkılarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

ORCID

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

KAYNAKLAR / REFERENCES

- Adamia, S. A., Lordkipanidze, M. B. & Zakariadze, G. S. (1977). Evolution of an active continental margin as exemplified by the Alpine history of the Caucasus. *Tectonophysics*, 40, 183-189.
- Ahn, J. & Peacor, D. R. (1985). Transmission electron microscopic study of diagenetic chlorite in Gulf Coast argillaceous sediments. *Clays and Clay Minerals*, 33(3), 228-236.
- Akartuna, M. (1968). Armutlu Yarımadası'nın jeolojisi. *İÜ Fen Fakültesi Monografileri*, 20, 105 s.
- Aksay, A., Pehlivan, S., Gedik, I., Bilginer, E., Duru, M., Akbaş, B. ve Altun, I. (2002). 1:500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Zonguldak Paftası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Árkai, P. (1991). Chlorite crystallinity: an empirical approach and correlation with illite crystallinity, coal rank and mineral facies as exemplified by Palaeozoic and Mesozoic rocks of northeast Hungary. *Journal of Metamorphic Geology*, 9, 723-734.
- Árkai, P. (2002). Phyllosilicates in very low-grade metamorphism: Transformation to micas. In A. Mottana, F. P. Sassi, J. B. Thompson, Jr. ve S. Guggenheim, (Eds.), *Micas: Crystal Chemistry and Metamorphic Petrology*, 46, (p.: 463-478). Reviews in Mineralogy and Geochemistry, Mineralogical Society of America, Chantilly, Virginia.
- Attlewell, P. & Taylor, R. K. (1969). A microtextural interpretation of a Welsh slate. *International Journal of Mechanics and Mining Sciences*, 6, 423-443.
- 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. ve Korkmazer, B. (1975). Biga Yarımadasının jeolojisi ve Karakaya Formasyonunun bazı özellikleri. Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi Tebliğleri (s.70-77), Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü.
- 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. ve Yalçın, H., 2007. X-Işını difraktogramlarında kil minerallerinin karmaşık piklerinin çözülmesi: Türkiye'den örnekler. M. Kuşcu, O. Cengiz, E. Şener (Ed.ler), 13. *Kil Sempozyumu, Bildiriler Kitabı*, (s. 16-31).
- 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.
- Brindley, G. W. (1980). Quantitative x-ray mineral analysis of clays. In G.W. Brindley, G. Brown (Eds.), *Crystal structures of Clay Minerals and their X-ray Identification (Mineralogical Society, London)*, 411-438.
- Brinkmann, R. (1966). Geotektonische Gliederung von Westanatolien. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte*, 603-618.
- Brinkmann, R. (1971). *The Geology of western Anatolia: The Geology and History of Turkey*. Chambell, 171-190.
- Craig, J., Fitches, W. R. & Maltman, A. J. (1982). Chlorite-mica stacks in low-strain rocks from Central Wales. *Geological Magazine*, 119, 243-256.
- Dercourt, J., Zonenshain, L. P., Ricou, L. E., Kazmin, V.G., Le Pichon, X., Knipper, A. L., Grandjacquet, C., Sbertshikov, I. M., Geysant, V., Lapurier, C., Perhersky, D. H., Boulin, J., Sibuet, J. C., Savostin, L. A., Sorokhtin, O., Westphall, M., Bazhenov, M. L., Lauer, J. P. & Biju-Duval, B. (1986). Geological Evolution of the Tethys Belt from the Atlantic to the Pamirs since the Liassic. *Tectonophysics*, 123, 241-315.
- 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.
- Eberl, D.D. ve Velde, B., 1989. Beyond the Kübler index. *Clay Minerals*, 24, 571-577.
- Ehlers, E.G. & Blatt, H. (1982). *Petrology: Igneous, Sedimentary and metamorphic*. W. H. Freeman and Company. USA.
- Ellero A., Frassi, C., Göncüoğlu, M. C., Lezzerini, M., Marroni, M., Ottria, G., Pandolfi, L., Sayit, K. & Tamponi, M. (2021). Geological, Structural and Mineralogical Approach to Investigate the Evolution of Low- and very Low-Grade Metamorphic Units from the Intra-Pontide Suture Zone, Central Pontides, Turkey. *Journal of Earth Science*, 32(6), 1512-1527.
- Elmas, A. & Yiğitbaş, E. (2001). Ophiolite emplacement by strike-slip tectonics between the Pontide Zone and the Sakarya Zone in northwestern Anatolia, Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 90(2), 257-269.
- Elmas, A. & Yiğitbaş, E. (2005). Comment on "Tectonic evolution of the Intra-Pontide suture zone in the Armutlu Peninsula, NW Turkey" by Robertson and Ustaömer. Discussion. *Tectonophysics*, 405, 213 – 221. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2005.05.007>
- Federici, I., Cavazza, W., Okay, A. I., Beysac, O., Zattin, M., Corrado, Z. & Dellisanti, F. (2010). Thermal Evolution of the Permo-Triassic Karakaya Subduction-accretion Complex between the Biga Peninsula and the Tokat Massif (Anatolia). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 19, 409-429. <https://doi.org/10.3906/yer-0910-39>
- Frey, M. (1987). Very low-grade metamorphism of clastic sedimentary rocks. *In Low Temperature Metamorphism*, Glasgow, 9-58.

- Genç, Ş. C. (1987). *Geology of the Region Between Uludağ and İznik Lake: Guidebook and Field Guide Along Western Anatolia, Turkey*. Mineral Research and Exploration Institute Publication, 19-25.
- Genç, Ş. C. (1992). *Geology of the Bursa region*. International Symposium on the Geology of Black Sea Region. Guide Book, 22-24.
- Genç, Ş. C. & Yılmaz, Y. (1995). Evolution of the Triassic continental margin, Northwest Anatolia. *Tectonophysics*, 243, 193-207.
- Göncüoğlu, M.C., Erendil, M., Tekeli, O., Ürgün, B.M., Aksay, A. ve Kuşçu, İ. (1986). *Armutlu Yarımadasının doğu kesiminin jeolojisi* (Rapor no: 7786). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (yayımlanmamış).
- Göncüoğlu, M. C., Turhan, N., Şentürk, K., Uysal, Ş., Özcan, A. ve Işık, A. (1996). *Orta Sakarya'da Nallıhan Sarıcakaya Arasındaki Yapısal Birliklerin Jeolojik Özellikleri* [Rapor no: 10094]. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (yayımlanmamış).
- 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., Erendil, M., Tekeli, O., Aksay, A., Kuşçu, İ. & Ürgün, B. (1987). *Geology of the Armutlu Peninsula*. IGCP Project 5, Guide Book. Field Excursion along W-Anatolia, 12-18.
- Göncüoğlu, M. C., Erendil, M., Tekeli, O., Aksay, A., Kuşçu, A. & Ürgün, B. (1992). *Introduction to the geology of the Armutlu Peninsula*. ISGB-92, Guide Book, 26-36.
- Guggenheim, S., Bain, D. C., Bergaya, F., Brigatty, M. F., Drits, A., Eberl, D. D., Formoso M. L. L., Galan, E., Merriman, R. J., Peacor, D. R., Stanjek, H. & Watanabe T. (2002). Report of the AIPEA nomenclature committee for 2001: order, disorder and crystallinity in phyllosilicates and the use of the "Crystallinity Index". *Clay Minerals*, 37, 389-393.
- Guidotti, C.V. & Sassi, F. P. (1986). Classification and correlation of metamorphic facies series by means of muscovite b0 data from low-grade metapelites. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen*, 153, 363-380.
- Hoepfner, R. (1956). Zur Problem der Bruchbildung, Schieferung und Faltung. *Geologische Rundschau*, 45, 247-283.
- Holeywel, R. C. & Tullis, T. E. (1975). Mineral reorientation and slaty cleavage in the Martinsburg Formation, Lehigh Gap, Pennsylvania. *Geological Society of America Bulletin*, 86, 1269-1304.
- Hunziker, J. C., Frey, M., Clauer, N., Dallmeyer, R. D., Fredrichsen, H., Flehmig, W., Hochstrasser, K., Roggviler, P. & 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.
- J.C.P.D.S. (1990). *Powder Diffraction File. Alphabetical Indexes Inorganic Phases*. USA: Swarthmore.
- Jaboyedoff, M., Bussy, F., Kübler, B. & Thelin, P.H. (2001). Illite "crystallinity" revisited. *Clays and Clay Minerals*, 49, 156-167.
- Kandemir, Ö., Pehlivan, Ş., Kanar, F., Tok, T. & Çakır, K., 2014. *1:100 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Bursa-H23 Paftası*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etüdüleri Dairesi. Ankara.
- Kaya, O. (1977). Gemlik – Orhangazi alanının Paleozoyik temel yapısına yaklaşım. *Yerbilimleri, Hacettepe Üniversitesi*, 3(1/2) 115-118.
- Kisch, H. J. (1983). Mineralogy and petrology of burial diagenesis (burial metamorphism) in clastic rocks. In G. Larsen, & G.V. Chilingar, (Eds.), *Diagenesis in Sediments and Sedimentary Rocks*, 2 (pp. 289-493 & 513-541). Elsevier, Amsterdam.
- 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.
- Krumm, S. (1996). WINFIT 1.2: version of November 1996 (The Erlangen geological and mineralogical software collection) of WINFIT 1.0: a public domain program for interactive profile-analysis

- under WINDOWS. XIII Conference on Clay Mineralogy and Petrology, Praha, 1994. *Acta Universitatis Carolinae Geologica*, 38, 253-261.
- Krushensky, R., Akçay, Y. & Karaege, E., 1980. Geology of the Karalar-Yeşiller area, Northwest Anatolia, Turkey. *Bulletin of the United States Geological and Geographical 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.
- Kübler B. (1984). Les indicateurs des transformations physiques et chimiques dans la diagenèse, température et calorimétrie. In M. Lagache (Ed.), *Thermobarométrie et Barométrie Géologiques* (pp. 489-596). Societe de Francais Minéralogie et Cristallographie, Paris (in French).
- Merriman, R. J. (2005). Clay minerals and sedimentary basin history. *European Journal of Mineralogy*, 17, 7-20.
- Merriman, R. J. & Peacor, D. R. (1999). Very low-grade metapelites: mineralogy, microfabrics and measuring reaction progress. In M. Frey & D. Robinson (Eds.), *Low-grade metamorphism* (pp. 10-60). Oxford: Blackwell Science
- Merriman, R. J. & Frey, M. (1999). Patterns of very low-grade metamorphism in metapelitic rocks. In: M. Frey, D. Robinson (Eds.), *Low-Grade Metamorphism* (pp. 61-107). Blackwell Science.
- Merriman, R. J. & Roberts, B. (1985). A survey of white mica crystallinity and polytypes in pelitic rocks of Snowdonia and Llyn, North Wales. *Mineralogical Magazine*, 49(3), 305-319.
- Merriman, R. J., Roberts, B. & 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.
- Meunier, A., Velde, B. & Zalba, P. (2004). Illite K-Ar and crystal growth processes in diagenetic environments: a critical review. *Terra Nova*, 16, 296-304.
- Milodowski, A.E. & Zalasiewicz, J. A. (1991). The origin, sedimentary, diagenetic and metamorphic evolution of chlorite-mica stacks in Llandoverly sediments of central Wales, UK. *Geological Magazine*, 128, 263-278.
- Morad, S. (1986). Mica-chlorite intergrowths in very low-grade metamorphic sedimentary rocks from Norway. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen*, 154, 271-287.
- Okay, A. İ. (1984). Distribution and characteristics of the northwest Turkish blueschists. *Geological Society, London, Special Publications*, 17, 455-466.
- Okay, A. İ. (1989a). *Edremit-Balya-Manyas arasındaki jeolojisi ve Jeotektoniği* (Rapor No:2657). TPAO Arama Grubu.
- Okay, A. İ. (1989b). Tectonic units and sutures in the Pontides, northern Turkey. In A.M.C. Şengör, (Ed.), *Tectonic Evolution of the Tethyan Region* (pp. 109-115). Kluwer Academic Publications, Dordrecht.
- Okay, A. İ. (2000). Was the Late Triassic orogeny in Turkey caused by the collision of an oceanic plateau. In E. Bozkurt, J. A. Winchester, J. D. A. & Piper (Eds.), *Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area* (pp. 25-41). *Geological Society, London, Special Publications*, 173.
- Okay, A.İ. & Monié, P. (1997). Early Mesozoic subduction in the Eastern Mediterranean: evidence from Triassic eclogite in Northwest Turkey. *Geology*, 25, 595-598.
- Okay, A. İ. Siyako, M. & Bürkan, K.A. (1991). Geology and Tectonic evolution of the Biga Peninsula, NW Turkey. *Bulletin of the Technical University of İstanbul*, 44, 191-256.
- Okay, A. İ. & Gönçüoğlu, 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(1), 83-121.
- Okay, A. İ., Monod, O. & Monie, P. (2002). Triassic blueschists and eclogites from northwest Turkey: vestiges of the Paleo-Tethyan subduction. *Lithos*, 64, 155-178.
- Okay, A.I., Satır, M., Zattin, M., Cavazza, W. & Topuz, G. (2008). An Oligocene ductile strike-slip shear zone: the Uludağ Massif, northwest Turkey

- implication for the westward translation of Anatolia. *Geological Society of American Bulletin* 120, 893–911.
- Pique, A. & Wybrecht, E. (1987). Origine des chlorites de l'épizone héritage et cristallisation synschisteuse. Exemple des grauwackes cambriennes du Maroc occidental. *Bulletin de Minéralogie*, 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: J.E. Dixon, & A.H.F. Robertson, (Eds.) *The Geological evolution of the Eastern Mediterranean*. Geological Society, London, *Special publications*, 17, 1-74.
- Robertson, A.H.F. & Ustaömer, T. (2004). Tectonic evolution of the Intra-Pontide suture zone in the Armutlu Peninsula, NW Turkey. *Tectonophysics*, 381, 175–209.
- Rojay, B. & Göncüoğlu, M. C. (1997). Tectonic setting of some pre-Liassic low grade metamorphics in northern Anatolia. *Yerbilimleri*, 19, 109-350.
- Roy, A. B. (1978). Evolution of slaty cleavage in relation to diagenesis and metamorphism: a study from the Hunsrückschiefer. *Bulletin of Geological Society of America*, 89, 1775-1785.
- Sassi, F.P. & Scolari, A. (1974). The b₀ 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.
- Srodon, J. (1984). X-ray powder diffraction identification of illitic materials. *Clays and Clay Minerals*, 32, 337-349.
- Stampfli, G. M. (2000). Tethyan oceans. In E. Bozkurt, J. A. Winchester, J. D. A. & Piper (Eds.), *Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area* (pp. 163–185). Geological Society, London, *Special Publications*, 173.
- Şengör, A. M. C. (1979). The North Anatolian transform fault: its age, offset and tectonic significance. *Journal of the Geological Society of London*, 136, 269-282.
- Şengör, A. M. C., Görür, N. & Şaroğlu, F. (1985). Strike-Slip Faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. *The Society of Economic Paleontologist and Mineralogist*, 227-262. <https://doi.org/10.2110/pec.85.37.0211>
- Şengör, A. M. C. & Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey, a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(81\)90275-4](https://doi.org/10.1016/0040-1951(81)90275-4)
- 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 J. E. Dixon, & A.H.F. Robertson (Eds.), *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean* (pp. 77-1112). Geological Society, London, *Special Publications*, 17.
- Tekeli, O. (1981). Subduction complex of pre-Jurassic age, Northern Anatolia, Turkey. *Geology*, 9, 68-72.
- Tetiker, S., Yalçın, H. & Bozkaya, O. (2009a). Low grade metamorphism of the units from Karakaya Complex (Tokat region). *Proceedings of 14th National Clay Symposium*, 155-173.
- Tetiker, S., Yalçın, H. & Bozkaya, O. (2009b). Diagenesis and low grade metamorphism of Karakaya Complex in the NW Anatolia. *Yerbilimleri* 30, 193–212.
- Tetiker, S., Yalçın, H., Bozkaya, Ö. & Göncüoğlu, M. C. (2015a). Metamorphic evolution of the Karakaya Complex in northern Turkey based on phyllosilicate mineralogy. *Mineralogy and Petrology*, 109, 201-215.
- Tetiker, S., Yalçın, H. ve Bozkaya, H. (2015b). Karakaya Karmaşığı'nın Düşük Dereceli Metamorfik Tarihesine Klorit Mineralojisi ve Jeokimyası ile Yaklaşımlar. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 58(2), 55-83. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tjb/issue/28111/298527>
- Türkecan, A. ve Yurtsever, A. (2002). *1:500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Zonguldak paftası*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Ustaömer, T. & Robertson, A. H. F. (1997). Tectonic-sedimentary evolution of the north Tethyan margin in the Central Pontides of northern Turkey. In: A.G. Robinson (Ed), *Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region* (pp. 255-290). *American Association of Petroleum Geologists Memoir*, 68.

- Ustaömer, T. & Robertson, A. H. F. (1999). Geochemical evidence used to test alternative plate tectonic models for the pre-Upper Jurassic (Palaeotethyan) units in the central Pontides, N Turkey. *Geological Journal*, 34, 25-53.
- Van Der Pluijm, B. & Kaars-Sijpesteijn, C. H. (1984). Chlorite-mica aggregates: Morphology, orientation, development and bearing on cleavage formation in very-low-grade rocks. *Journal of Structural Geology*, 6, 399-407.
- Voll, G. (1960). New work on petrofabrics. *Liverpool and Manchester Geological Journal*, 2, 503-567.
- Warr, L. N. & Ferreiro-Mählmann, R. (2015). Recommendations for Kübler Index standardization. *Clay Mineral*, 50, 283-286.
- Warr, L. N. & Rice, A. H. N. (1994). Interlaboratory standardization and calibration of clay mineral crystallinity and crystallite size data. *Journal of Metamorphic Geology*, 12, 141-152.
- Weber, K. (1981). Kinematic and metamorphic aspects of cleavage formation in very low-grade metamorphic slates. *Tectonophysics*, 78, 291-306.
- 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 Somm. Société de la Géologie de France*, 5, 225-227.
- White, S. H., Huggett, J. M. & Shaw, H. F. (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 Science*, 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.
- Yalçın, H. ve Bozkaya, Ö. (2002). Hekimhan (Malatya) çevresindeki Üst Kretase yaşlı volkaniklerin alterasyon mineralojisi ve jeokimyası: Denizsuyukayaç etkileşimine bir örnek. *C.Ü. Müh. Fakültesi Dergisi Seri A-Yerbilimleri*, 19, 81-98.
- Yılmaz, A. & Yılmaz, H. (2004). Geology and structural evolution of the Tokat masif (Eastern Pontides, Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 13, 231-246.
- Yılmaz, Y., Şaroğlu, F. & Güner, Y. (1987). Initiation of the neomagmatism in East Anatolia. *Tectonophysics*, 134, 177-199.
- Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Genç, Ş. C. & Şengör, A.M.C., 1997. Geology and tectonic evolution of the Pontides. In A. G. Robinson (Ed.), *Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region* (pp.183-226). *American Association of Petroleum Geologist Memoir*, 68.
- Yılmaz, Y., Gürpınar, O., Genç, C., Bozcu, M., Yılmaz, K., Şeker, H., Yiğitbaş, E. ve Keskin, M., 1990. *Armutlu Yarımadası ve Dolayının Jeolojisi* (Rapor no: 2796). TPAO, 210s.
- Yiğitbaş, E., Elmas, A. & Yılmaz, Y. (1999). Pre-Cenozoic tectono-Stratigraphic Components of The Western Pontides And Their Geological Evolution. *Geological Journal*, 34, 55-74.
- Yiğitbaş, E., Kerrich, R., Yılmaz, Y., Elmas, A. & Qianli, X. (2004). Characteristics and Geochemistry of Precambrian Ophiolites from the Western Pontides, Turkey: Following the Missing Chain of the Precambrian South European Suture Zone to the East. *Precambrian Research*, 132(1-2), 179-206.