



## Örenli metamorfitlelerinin jeokimyası, kökeni ve tektonik yerleşimi (Çanakkale, Biga Yarımadası, KB Türkiye)

### Geochemistry, origin and tectonic setting of the Örenli metamorphics (Canakkale, Biga Peninsula, NW Turkey)

Fırat Şengün \*<sup>ORCID</sup>

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Çan Meslek Yüksek Okulu Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü. Çan-Çanakkale. TÜRKİYE

Sorumlu Yazar / Corresponding Author\*: [firatsengun@comu.edu.tr](mailto:firatsengun@comu.edu.tr)

Geliş Tarihi / Received: 16.05.2022

Araştırma Makalesi/Research Article

Kabul Tarihi / Accepted: 30.06.2022

DOI:10.21205/deufmd.2023257311

Atıf şekli/How to cite: ŞENGÜN, F. (2023). Örenli metamorfitlelerinin jeokimyası, kökeni ve tektonik yerleşimi (Çanakkale, Biga Yarımadası, KB Türkiye). DEÜ FMD 25(73), 131-147.

#### Öz

Örenli metamorfitleleri (Çanakkale) KB Türkiye’de Biga Yarımadası’nın güney kesiminde yüzlek vermektedir. Makroskobik ve petrografik gözlemlere dayanarak bu kayalar başlıca metapelit, metabazit ve mermer aralanmasından oluşmaktadır. Örenli metamorfitlelerinde baskın litolojiyi oluşturan şistler sarımsı kahverenkli, iyi foliasyonlu ve ince-orta kristallidir. Petrografik analizler şistlerin başlıca kuvars, Klorit, feldspat ve mika mineralleri içerdiğini göstermektedir. Klorit minerallerinin biyotit minerallerinden dönüşmüş olarak gözlenmesi Örenli metamorfitlelerinin yeşilist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş düşük dereceli metamorfik kayalar olduğunu işaretler. Şistler içerisindeki feldspatların bolluğu yakındaki kaynak kayalarından hızlı bir sediment çökelişinin olduğunu belirtir. Bu metamorfik kayalardan kaynak alanlarının, çökeltme havzalarının ve tektonik ortamlarının ortaya çıkarılması amacıyla ana, iz ve nadir toprak elementi analizleri yapılmıştır. Ana element jeokimyası ve iz element oranları (örneğin Th/Sc, La/Th, Cr/V ve Y/Ni) ise bu tür kayaların baskın olarak ortaç-felsik bileşimde olan kaynak kayalarından türediğini ifade etmektedir. Benzer şekilde Örenli metamorfitlelerinin olası kaynak alanları Devoniyen ve Karbonifer yaşlı kayalardan oluşan Sakarya Zonu’nun kristalin temelidir. Ana ve hareketsiz iz elementlere (örneğin Th-Co-Zr/10 ve Th-Sc-Zr/10) ve La/Y-Sc/Cr oranlarına dayanılarak oluşturulan tektonik ortam ayırım diyagramlarında metapelitik kayalar pasif kıta kenarı ve okyanusal ada yay ortamlarında çökelmiştir. Petrografik ve jeokimyasal sonuçlara göre metapelitik kayalar iki farklı kaynaktan türemiş olabilir. Birincisi, kıtasal kaynaktan kuvars ve metamorfik kırıntılar gelmiştir. Diğer ise volkanik bir yaydan feldspat, plajyoklas ve volkanik kırıntılar gelmiştir. Diğer bir deyişle metapelitik kayalar yay gerisi havzada hem aktif volkanik yaydan hem de kıtadan malzeme almıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Jeokimya, Örenli metamorfitleleri, Kaynak, Biga Yarımadası, KB Türkiye

#### Abstract

Örenli metamorphics (Canakkale) expose on the southern part of the Biga Peninsula in the northwest Turkey. Metamorphic rocks chiefly consist of metapelite, metabasite and marble intercalations based on the macroscopic and petrographic observations. Schists occurring within the Örenli metamorphics

are the dominant lithology and yellowish brown-colored. fine to medium-grained and well-foliated. Petrographical analyses show that quartz, chlorite, K-feldspar, biotite and muscovite form the main mineralogical composition of schists. Biotite minerals are replaced by the chlorite minerals, which shows that Örenli metamorphics are low-grade metamorphic rocks underwent greenschist-facies metamorphism. The abundance of K-feldspar within the schists states that fast sediment deposition took place from proximal source. Whole-rock geochemical analyses were performed to find out tectonic setting and origin of the Örenli metamorphics. Provenance discrimination diagrams in terms of major element geochemistry and trace element ratios (i.e., Zr/Sc, Th/Sc and Cr/V) suggest that Örenli metamorphics were dominantly derived from the intermediate-felsic source rocks are the origin of sediments. The crystalline basement of the Sakarya Zone in northwest Turkey could be possible source areas of this low-grade metamorphic rocks, which is made up of Carboniferous, Devonian metamorphic and magmatic rocks. Major and immobile trace elements for tectonic setting (i.e., Th-Sc-Zr/10 and Th-Co-Zr/10) and La/Y vs. Sc/Cr plots exhibit those metamorphic rocks were deposited in an oceanic island arc and passive margin. The metapelitic rocks could have double origin based on the petrographical and geochemical results. The quartz and metamorphic fragments derived from the continent form the first origin. The other origin is plagioclase, feldspar, and volcanic fragments originated from the volcanic-arc type. On the other hand, the metapelitic rocks were originated from both continental source and volcanic arc areas showing the back-arc basin.

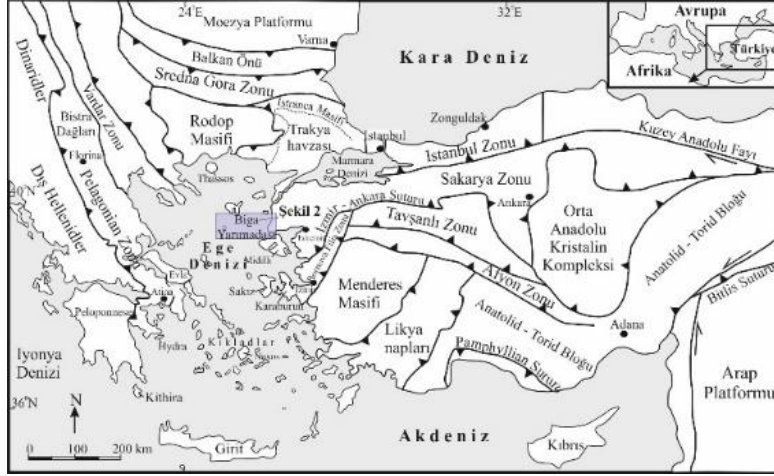
**Keywords:** Geochemistry, Örenli metamorphics, Provenance, Biga Peninsula, NW Turkey

## 1. Giriş

Metasedimanter kayaların kökenlerinin, kaynak alanlarının ve tektonik yerleşimlerinin belirlenebilmesi için jeokimyasal analizler (ana-oksit, iz ve nadir toprak elementler) yaygın olarak kullanılmaktadır [1], [2], [3]. Düşük dereceli metasedimanter kayalardaki tüm kaya jeokimyasal verileri tüm kayanın kimyasal bileşimi değişmediği takdirde, ayrım diyagramları sayesinde tektonik yerleşim hakkında önemli bilgiler vermektedir [4]. Zr, Hf, Th, Sc, Nb ve Y göreceli olarak elementler içerisinde düşük hareketliliğe sahip olmaları, bozulma ve sedimanter işlevler sırasında deniz suyunda kısa kalma zamanları nedeniyle köken çalışmalarında en uygun iz elementlerdir [5], [6]. Bu yüzden La veya Th-Co-Sc-Cr oranları kaynak

kayaların bileşimini ortaya çıkarmada oldukça yararlıdır [5].

Düşük dereceli metamorfik kayalar Sakarya Zonu'nda Biga Yarımadası'nın güney kesiminde yüzlek vermektedir (Şekil 1). Bayramiç (Çanakkale) ilçesi Örenli köyü civarındaki düşük dereceli metamorfik kayalar Örenli metamorfikleri olarak adlandırılmış [7] ve bu çalışmada da aynı adlama kullanılmıştır. Jeokimyasal analizler, kaynak kayaların litolojik özelliklerini, mineralojik bileşimlerini ve tektonik ortamları hakkında önemli bilgiler sağlaması açısından güçlü bir araçtır. Bu yüzden bu çalışmada ana, iz ve nadir toprak elementi bileşimlerine dayalı olarak Örenli metamorfiklerinin kökeni ve tektonik ortamının ortaya konulması hedeflenmiştir.



**Şekil 1.** Doğu Akdeniz'in ana tektonik birimleri ve bunları sınırlayan sutureları gösteren basitleştirilmiş tektonik haritası (Okay ve diğ. [8], Meinhold ve diğ. [9]'den değiştirilmiştir).

**Figure 1.** Simplified tectonic map of the Eastern Mediterranean region indicating the major geotectonic units and the bounding sutures (modified from Okay et al. [8], Meinhold et al. [9]).

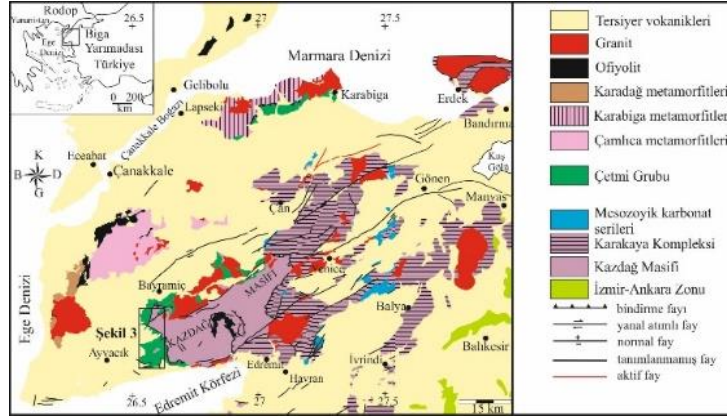
## 2. Materyal ve Metot

Biga Yarımadası'nda Kazdağ Masifi'nin batısında yüzlek veren Örenli metamorfiteinden elde edilen örneklerin mineralojik bileşimini ve jeokimyasal özelliklerini ortaya çıkarmak amacıyla ince kesit çalışmaları ile ana, iz ve nadir toprak elementi analizleri yapılmıştır. Arazi ve petrografik gözlemler sonucu atmosferik koşullardan aşgari ölçüde etkilenmiş 9 adet temsili örnek jeokimyasal analizler yapılmak üzere ALS Chemex Laboratuvarına gönderilmiştir. Jeokimyasal analizler için belirlenen örnekler çeneli kırıcı yardımıyla 1-2 cm boyutuna getirilmiştir. Çeneli kırıcıdan geçen parçalanmış örnekler, distile edilmiş saf su ile yıkanarak üzerindeki toz ve çamurdan arındırılarak kurutmaya bırakılmıştır. Kurutulmuş ve çeyrekleme yoluyla parçalanmış örnekler (okside olmamış parçalar tercih edilerek) halkalı değirmende 700 rpm devirde ince toz haline getirilecek şekilde öğütülmüştür. Bu öğütme sonucunda elde edilen toz numune yaklaşık 1-2 gr olacak şekilde 2 adet (1 örnek referans olarak tutulmaktadır) temiz şişede paketlenmiştir. Tüm kayaç analizlerinde örneklerden 0.2 gramlık kısımlar ayrılmış ve 1.5 g LiBO<sub>2</sub> ile karıştırılarak %5'lik HNO<sub>3</sub> içeren bir sıvı içerisinde çözündürülmüştür. Ana oksit element oranları % ağırlık olarak, iz element oranları ise ppm değerlerinde ölçülmüştür.

Nadir toprak element analizleri için hazırlanan öğütülmüş olan örneklerden 0.25 g'lık kısımlar halinde ayrılan örnekler dört farklı asit içerisinde çözündürülmüş ve ICP-AES cihazında ölçümler gerçekleştirilmiştir.

## 3. Jeolojik Yerleşim

Türkiye yaygın olarak Mesozoyik ve Senozoyik dönemlerinde Tetis okyanusal havzalarının kapanan kollarını temsil eden ofiyolitik suture zonlarıyla ayrılmış tektonik zonlardan oluşmaktadır (Şekil 1). Sakarya Zonu'nun batısında bulunan Biga Yarımadası genel olarak yüksek dereceli metamorfik kayalardan, ofiyolitik kayalardan, magmatik kayalar ve bunların eşleniklerinden oluşmaktadır (Şekil 2). Biga Yarımadası'nda yüzlek veren ana kaya topluluklarını: (1) amfibolit-granulit fasiyesinde metamorfizma geçirmiş Kazdağ Masifi'nin temel kayaları (Karbonifer; [10]-[13]), yeşilist fasiyesinde Çamlıca metamorfik birimi [14], [15] ve Karabiga metamorfik birimi (Geç Kretase; [16], [17]); (2) Biga Yarımadası'nın doğu kesiminde yüzlek veren Triyas-Erken Jurasik yaşlı Karakaya Karmaşığı ([18]; (3) yitim-yığışım ilişkili Çetmi melanji (Erken Kretase; [19], [20] ve (4) Permo-Triyasik Karadağ metamorfik birimi ([19], [21] oluşturur. Tersiyer sedimanter birimleri bütün bu birimleri uyumsuz olarak üzerlemektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Biga Yarımadası'nın genelştirilmiş jeoloji haritası (MTA [22]'den değiştirilmiştir).

Figure 2. Generalized geological map of the Biga Peninsula (modified from MTA [12]).

Bu makalenin ana konusunu oluşturan Örenli metamorfileri Biga Yarımadası'nda Kazdağ Masifi'nin batı kesiminde yüzlek vermektedir. Örenli metamorfilerinin en iyi yüzleklerini inceleme alanının kuzey kesimlerinde Örenli ve Kızıltepe köyleri civarında, güney kesimlerinde ise bulunan Çaltı köyü Yeniçam Mahallesi kuzeydoğusunda, Çetmibaşı Mahallesi batısındaki Harita Tepe'de ve Boztepe Mahallesi çevresinde vermektedir (Şekil 3). Örenli metamorfileri arazi ve petrografik gözlemlere göre şist, fillit, metabazit ve mermer araldanmasından oluşmaktadır. Düşük dereceli Örenli metamorfileri tektonik dokanakla Çaldağ köyünün güneyinde serpantinleri ve Yeniçam köyünün doğusunda ise yüksek basınç kayalarını (granat-mika şist, eklojitleri) üzerlemektedir. Kuzeyde, Örenli metamorfileri, Kazdağ Masifi'ne ait kayalarla Bıçkıdere fayı boyunca tektonik bir dokanakla ayrılmaktadır. Arazi gözlemlerine göre metasedimenter kayalar yeşilimsi kahverenkli, gri renkli, orta taneli ve belirgin foliasyon göstermektedir (Şekil 4a). Metabazitler ise arazide genellikle yeşilimsi kahverenkli, masif yapıda ve ince taneli olarak gözlenmektedir. Ayrıca metabazitlerin altere yüzeyleri koyu yeşil, taze yüzeyleri ise yeşil-koyu yeşil renklidir ve genellikle rekristalize kireçtaşlarıyla araldanma sunmaktadır (Şekil 4b). Rekristalize kireçtaşları Örenli Metamorfilerinin görülür en üst düzeylerini temsil etmekte ve arazide açık bej-gri renkli, masif görümlü, karstik boşluklar içeren, bol kırıklı-çatlaklı ve içerisinde Megalodont sp. fosillerini içermektedir. Beccalotto [23]

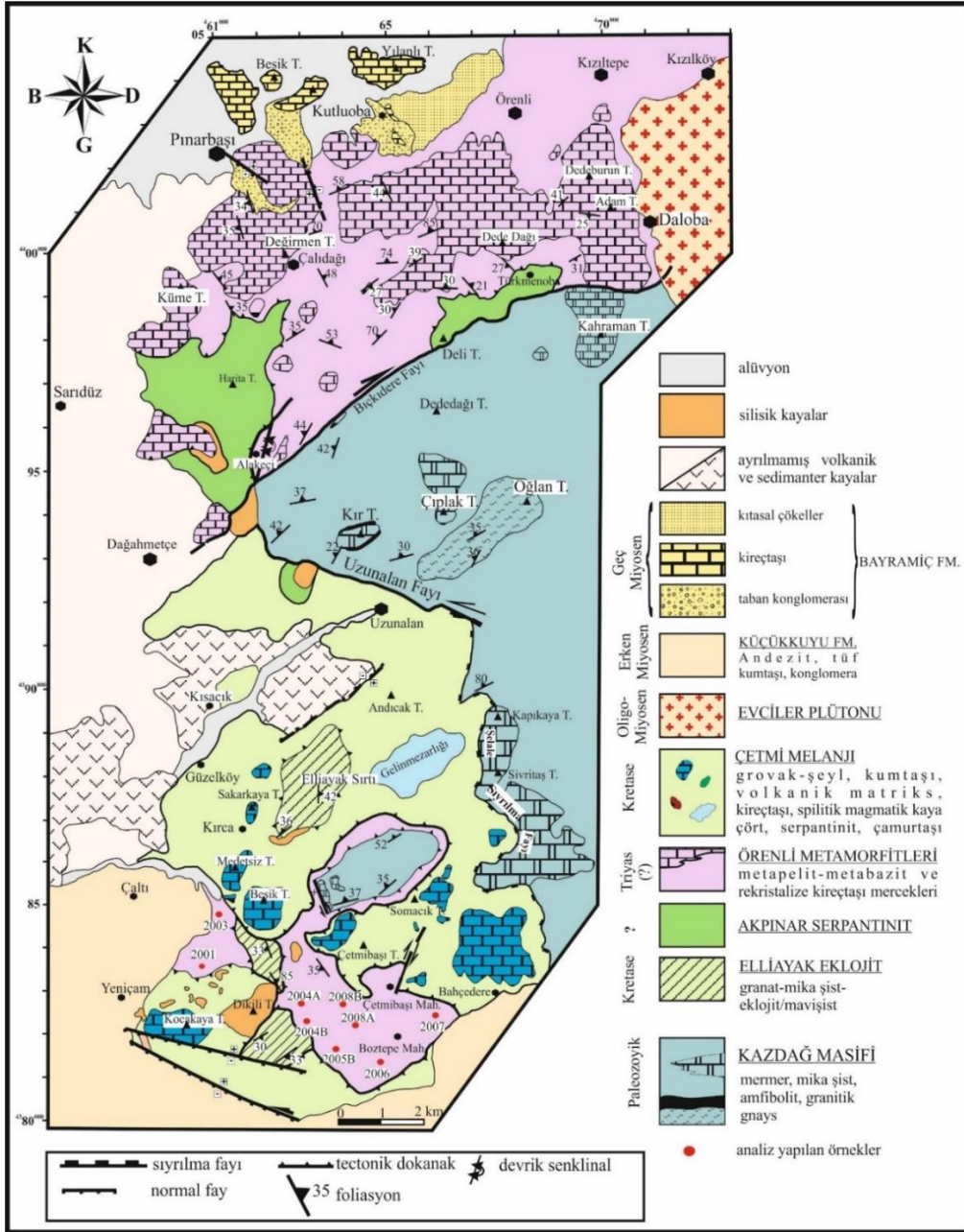
tarafından bu fosillerin yaşı Üst Triyas olarak belirlenmiştir.

Örenli metamorfileri güney kesimlerde Dikili Tepe kuzeyinde yüzeyleyen granat mika şist ve eklojitlerin üzerine tektonik bir dokanakla gelmektedir. Örenli metamorfileri inceleme alanının güney kesiminde Çetmi Melanjı tarafından tektonik olarak üzerlenmektedir.

## 4. Bulgular ve Tartışma

### 4.1. Petrografi

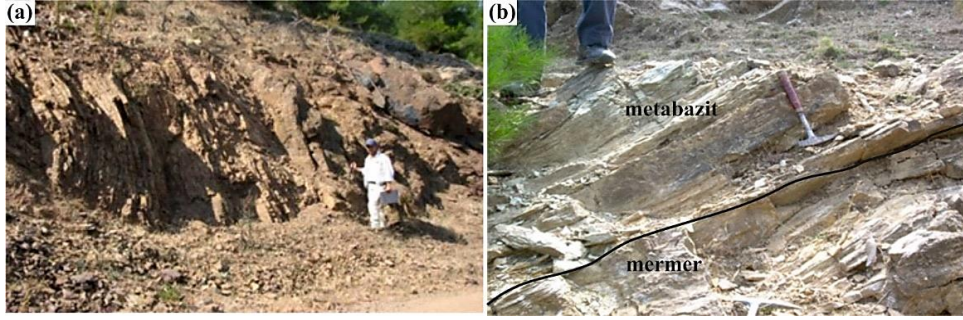
Petrografik çalışmalara göre Örenli metamorfileri metabazit, metapelit (şist, fillit) ve mermer araldanmasından oluşmaktadır. Birbirleriyle araldanma sunan ve düzenli bir istif oluşturan Örenli metamorfileri Çetmi Melanjı'nın kuzeyinde ve güneyde Çetmi Melanjı ile Kazdağ Masifi metamorfik kayaları arasında olmak üzere iki alanda yayılım sunmaktadır. Baskın litolojiyi oluşturan şistlerin genel mineralojik bileşimi kuvars, muskovit, biyotit, klorit olarak saptanmıştır. Mikroskobik incelemeler sonucunda mika mineralleri kayacın ana bileşenlerini oluşturmaktadır. Klorit minerallerinin biyotit minerallerinden dönüşmüş olduğu görülmektedir. Bu mineraller kayaç içerisinde şistoziteyi oluşturmaktadır ve aynı zamanda Örenli metamorfilerinin yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş düşük dereceli metamorfik kayalar olduğunu göstermektedir. Zirkon, rutil, apatit mineralleri ise aksesuar minerallerini oluşturmaktadır. Kuvars mineralleri çift nikolde grimsi beyaz renkli olup şistozite boyunca uzanım göstermektedir.



Şekil 3. Çetmi Melanji'nin altında tektonik bir dokanakla yer alan Örenli metamorfiteinin ayrıntılı jeoloji haritası (Tunç [24]'den alınmıştır).

Figure 3. Detailed geological map of the Örenli metamorphics tectonically occurring under the Çetmi Mélange (taken from Tunç [24]).





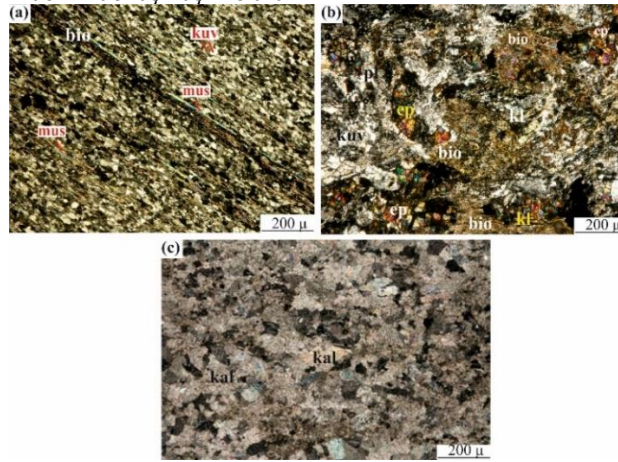
**Şekil 4.** (a) Kahverenkli, belirgin foliasyonlu metapelitlerin genel arazi görünümü (4484627K-0462355D). (b) Çalıdağ köyü yolu üzerinde gözlenen metabazit-mermer ardalanmasının genel arazi görünümü (4400685K-0463437D).

**Figure 4.** (a) General view of brown-colored, well-foliated metapelites (4484627N-0462355E), (b) Metabasite-marble intercalation observed on the road of Çalıdağı village (4400685N-0463437E).

Metapelitlerde mika minerallerinden kaynaklanan lepidoblastik doku gözlenmektedir (Şekil 5a). Arazide makroskobik olarak yeşil renkli, masif yapıya sahip metabazitlerde mika mineralleri kayacın mineral bileşiminin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Metabazitlerin genel mineral bileşimleri biyotit, plajiyoklas, Klorit, epidot ve daha az oranda kuvars minerallerinden oluşmaktadır (Şekil 5b). Biyotit tek yönde dilinimi ve kahverengiden kırmızımsı renge doğru değişen pleokroizmasıyla tanınmaktadır. Klorit mineralleri daha çok biyotit minerallerinden dönüşmüş olarak

izlenmektedir. Plajiyoklas mineralleri ise belirgin polisentetik ikizlenmesiyle kolaylıkla ayırt edilmektedir.

Mermerler arazide açık bej-gri renkli, masif görümlü, karstik boşluklar içeren, bol kırıklı-çatlaklı olarak gözlenmektedir. Kayacın mineral bileşiminin çok büyük bir bölümünü oluşturan kalsit kristalleri iyi dilinim ve kafes ikizlenmesi sunarlar. Kayaç içerisinde kalsit minerallerinden kaynaklanan granoblastik doku gelişmiştir (Şekil 5c).



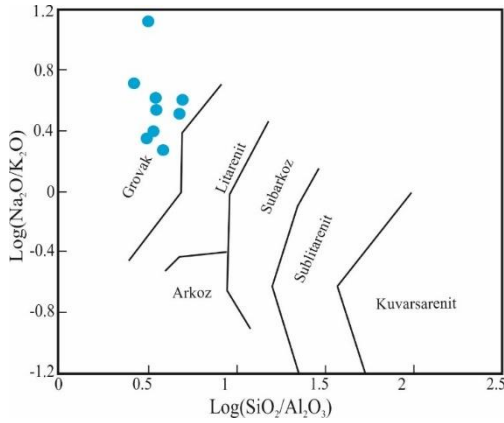
**Şekil 5.** (a) Kuvars-mika şistlerde mika minerallerinin yönlenmesinden kaynaklanan lepidoblastik doku. (b) Metabazitlerin mikroskop altında genel görünümü. (c) Mermerlerde gözlenen granoblastik doku (bio: biyotit, mus: muskovit, kuv: kuvars, pl: plajiyoklas, kl: klorit, ep: epidot, kal: kalsit).

**Figure 5.** (a) Lepidoblastic texture resulted from orientation of mica minerals in the quartz-mica schist, (b) General microscopic view of metabasite, (c) Granoblastic texture of marble (bio: biotite, mus: muscovite, kuv: quartz, pl: plagioclase, kl: chlorite, ep: epidote, kal: calcite).

## 5. Jeokimya

### 5.1. Ana oksit ve iz elementler

Örenli metamorfite ait düşük dereceli metasedimanter kayaların kökenini, kaynağını ve tektonik yerleşim alanlarını ortaya çıkarabilmek amacıyla Örenli metamorfite alınmış toplam 9 adet metapelit kaya örneğinin tüm kaya ana-oksit, iz ve nadir toprak elementi analizleri yapılmıştır.  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  oranlarının logaritması alınarak elde edilen sınıflama diyagramında metapelitik kayalar grovak alanına düşmektedir [25] (Şekil 6). Bu diyagramda  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  oranı örneğin olgunluğunu temsil ederken  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  oranı ise feldspat içeriğinin ölçülmesini ifade etmektedir. Örenli metamorfite ait bir örnek yüksek  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  oranıyla karakterize olmaktadır. Bu durum granitik, K-feldspatça zengin ve plajiyoklasça zengin bir kaynak kaya ile ilgili olduğunu göstermektedir. Alternatif olarak  $\text{Na}_2\text{O}$  daha az duraylıdır ve  $\text{K}_2\text{O}$ 'e oranla daha fazla bir bozulma bu oranı düşürmüş olabilir [26].



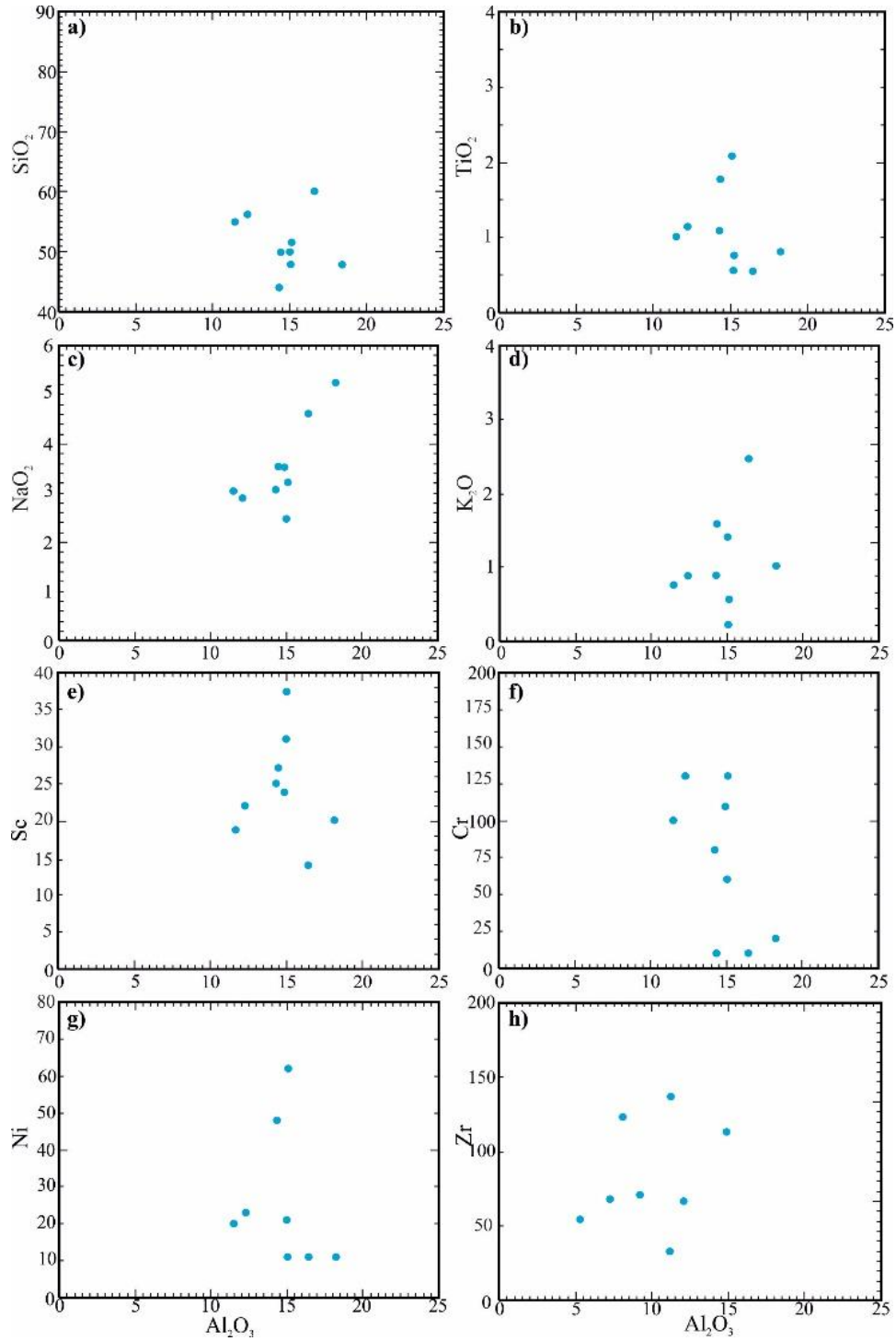
Şekil 6. Şist örneklerinin kökenini gösteren sınıflama diyagramı [26].

Figure 6. (a) Classification diagram showing the origin of metasedimentary rocks [26].

Örenli metamorfite ait düşük dereceli metasedimanter kayaların ana oksit ve iz

element değerleri Tablo 1 ve Tablo 2 de verilmiştir. Örenli ve çevresinden alınan şist örneklerinin  $\text{SiO}_2$  içerikleri sırasıyla %44-64 (% Ağ.) arasında değişmektedir.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  içerikleri ise sırasıyla %11-18 (% Ağ.) değerlerine sahiptir. Bunun yanında şistlerin  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  içerikleri dar aralıklarda değişim göstermektedir (Tablo 1). Değişim diyagramları ana element oksitlerin bolluğunu karşılaştırmak için kullanılır.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 'e karşı ana oksit değişim diyagramlarında  $\text{SiO}_2$  negatif korelasyon sunarken (Şekil 7a).  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  ve  $\text{K}_2\text{O}$  pozitif korelasyon (Şekil 7b. c. d) sunmaktadır. Şistlerin geniş bir bileşimsel aralığa sahip olması kaynak alandaki kayaların bileşimsel olarak geniş bir aralıkta dağılım sunması ile yakından ilişkilidir. Düşük dereceli metamorfik kayalarda  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{SiO}_2$  içerikleri genellikle sırasıyla kil ve kuvars içerikleri ile kontrol edilir. Bu nedenle  $\text{Al}_2\text{O}_3$  içeriklerinin şeyllerde şistlere nazaran daha fazla beklenir. Şistlerdeki  $\text{Al}_2\text{O}_3$  içeriğinin fazla oluşu şistlerdeki feldspat ve mika içeriğinden kaynaklanmaktadır. Bunun yanında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{K}_2\text{O}$  değerleri arasında da kuvvetli bir korelasyonun olması örneklerdeki illit içeriği ile ilişkilendirilmektedir.

Örenli metamorfite ait düşük dereceli metasedimanter kayaların iz element içerikleri geniş aralıklara sahiptir (Tablo 2). Örneğin, Ni içerikleri sırasıyla 11-90 ppm; Cr içerikleri 10-130 ppm; Sc içerikleri 14-38 ppm; Zr içerikleri 72-154 ppm ve V içerikleri ise 60-329 ppm arasında dağılıma sahiptir.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 'e değişim diyagramlarında Sc, Cr ve Zr elementleri pozitif korelasyon gösterirken (Şekil 7e. f. h) Ni elementi ise dağınık bir yapı sunmaktadır (Şekil 7g). Bu durum taşınma işlevleri sırasında oluşan ayıklanma olaylarının şeyllerin oluşumunda kumtaşlarına göre daha etkin olduğunu göstermektedir [27]. Özellikle Zr a karşı  $\text{Al}_2\text{O}_3$  diyagramında kumtaşları pozitif bir korelasyona sahip oldukları görülmektedir. Zirkonun ağır bir mineral olduğu dikkate alındığında, bu durum taşınma olayları sırasındaki ayıklanmanın bu kayalardaki en önemli göstergesidir.



Şekil 7. (a-h) Ana oksit (% Ağ.) ve iz elementlerin (ppm)  $Al_2O_3$ 'e karşı değişim diyagramları.

Figure 7. (a-h) Major oxide and trace element variation diagrams versus  $Al_2O_3$ .



**Tablo 1.** Örenli metamorfitlelerine ait şistlerin ana oksit değerleri (%).**Table 1.** Major oxides analysis results of the schists in the Örenli metamorphics (%).

Lokasyon	Örenli metamorfitleleri								
Örnek	2001	2003	2004A	2004B	2005B	2006	2007	2008A	2008B
Ana elementler (Ağ. % oksit)									
SiO <sub>2</sub>	49	64.4	57.9	59.4	51.9	49.4	53.3	44.8	51.3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.25	16.45	11.5	12.3	15.05	15.1	15	14.35	14.3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.05	7.17	8.25	8.97	10.7	13.1	9.46	8.2	8.09
CaO	5.25	0.65	4.85	2.75	5.19	6.76	8.33	9.83	6.6
MgO	4.37	1.73	7.51	8.65	4.39	6.21	6.14	5.09	6.28
Na <sub>2</sub> O	5.25	4.62	3.04	2.88	3.5	3.22	2.48	3.55	3.07
K <sub>2</sub> O	1.02	2.47	0.76	0.89	1.41	0.22	0.6	1.59	0.89
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.004	0.002	0.06	0.065	0.01	0.02	0.016	0.003	0.026
TiO <sub>2</sub>	0.81	0.55	1.01	1.13	0.76	2.08	0.56	1.77	1.14
MnO	0.16	0.09	0.13	0.14	0.18	0.17	0.12	0.11	0.12
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.25	0.26	0.26	0.28	0.27	0.25	0.14	0.46	0.24
SrO	0.03	<0.01	0.04	0.04	0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01
BaO	0.08	0.08	0.01	0.02	0.02	<0.01	0.03	0.06	0.02
LOI	6.08	3.22	3.8	2.2	6.4	4.45	3.39	9.9	7.5
Total	100.6	101.69	99.12	99.72	99.79	100.98	99.58	99.71	99.59
SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.68	3.91	5.03	4.83	3.45	3.27	3.55	3.12	3.59
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.55	0.44	0.72	0.73	0.71	0.87	0.63	0.57	0.57
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /K <sub>2</sub> O	9.85	2.90	10.86	10.08	7.59	59.55	15.77	5.16	9.09
Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O	5.15	1.87	4.00	3.24	2.48	14.64	4.13	2.23	3.45
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	0.19	0.53	0.25	0.31	0.40	0.07	0.24	0.45	0.29
MgO+Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.42	8.90	15.76	17.62	15.09	19.31	15.60	13.29	14.37
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /TiO <sub>2</sub>	22.53	30	11.39	10.88	19.80	7.26	26.79	8.11	12.54
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SiO <sub>2</sub>	0.37	0.26	0.20	0.21	0.29	0.31	0.28	0.32	0.28

DEÜ FMD 25(73), 131-147, 2023

**Tablo 2.** Örenli metamorfitlelerine ait şistlerin iz element değerleri (ppm).

**Table 2.** Trace element analysis results of the schists in the Örenli metamorphics (ppm).

Lokasyon	Örenli metamorfitleleri								
Örnek	2001	2003	2004A	2004B	2005B	2006	2007	2008A	2008B
İz elementler (ppm)									
Ba	747	695	131.5	157	206	25.4	302	519	197.5
Co	24	8	37	44	23	43	27	31	31
Cr	20	10	100	130	60	130	110	10	80
Cs	7.22	1.34	2.23	2.38	5.75	1.58	0.68	0.89	2.09
Cu	38	108	39	18	79	54	53	41	54
Ga	18.8	16.6	12.2	12.8	15.9	19.8	16.3	16.7	14.3
Hf	2.3	4	1.9	2	1.9	4	2.5	3	1.8
Nb	7.7	10	10.7	10.9	6.1	6.4	6.5	45.1	27.6
Ni	11	11	20	23	11	62	21	48	90
Pb	6	16	4	4	7	3	8	7	8
Rb	25.5	55.1	20	23.1	44.7	5.2	8.6	24.8	14.6
Sc	20	14	19	22	24	38	31	25	27
Sr	321	146.5	396	406	167	122	224	147	191.5
U	1.1	2.73	0.55	0.59	2.42	0.28	1.78	1.49	0.99
V	244	60	148	170	202	329	191	265	210
Ta	0.4	0.7	1.2	1.3	0.4	0.5	0.5	2.2	1.1
Th	3.89	8.56	2.45	2.27	3.81	0.62	4.55	5.03	2.89
Zn	90	102	92	84	110	109	78	85	67
Zr	92	140	85	87	72	154	97	137	84
Th/U	3.54	3.14	4.45	3.85	1.57	2.21	2.56	3.38	2.92
Th/Sc	0.19	0.61	0.13	0.10	0.16	0.02	0.15	0.20	0.11
Th/Co	0.16	1.07	0.07	0.05	0.17	0.01	0.17	0.16	0.09
Th/Cr	0.19	0.86	0.02	0.02	0.06	0.00	0.04	0.50	0.04
Zr/Sc	4.60	10.00	4.47	3.95	3.00	4.05	3.13	5.48	3.11
Rb/Sr	0.08	0.38	0.05	0.06	0.27	0.04	0.04	0.17	0.08
La/Sc	3.00	4.15	4.63	3.77	3.30	3.32	4.23	3.55	3.52

La/Co	18.00	8.30	18.50	11.30	3.30	2.77	4.23	7.10	7.03
La/Cr	0.60	0.83	0.93	0.38	0.45	0.83	1.27	0.95	0.30
Cr/V	0.08	0.17	0.68	0.76	0.30	0.40	0.58	0.04	0.38
Y/Ni	1.25	0.66	0.63	0.32	1.74	0.20	1.01	0.47	0.19
Y	13.80	7.30	12.60	7.30	19.10	12.70	21.30	22.50	16.80
Ni/Co	0	1	1	1	0	1	1	2	3
V/Cr	12.20	6.00	1.48	1.31	3.37	2.53	1.74	26.50	2.63
V/V+Ni	0.92	0.86	0.60	0.57	0.77	0.72	0.63	0.96	0.72
U/Th	0.28	0.32	0.22	0.26	0.64	0.45	0.39	0.30	0.34

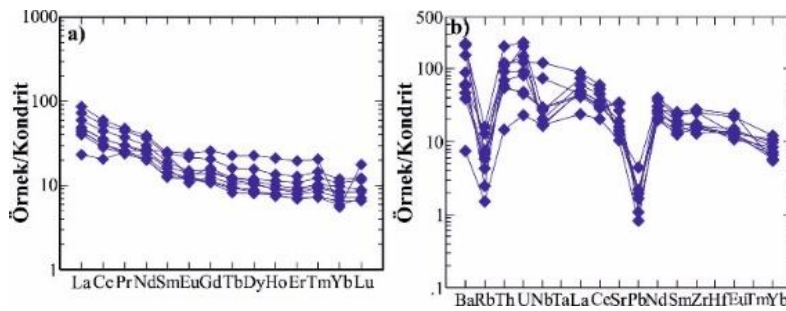
### 5.2. Nadir toprak elementleri (NTE)

Örenli metamorfite ait metasedimanter kayaların nadir toprak elementi (NTE) değerleri Tablo 3’de verilmektedir. Şist örneklerinin kondrite (CH) göre normalize edilmiş diyagramları Şekil 8a ve Şekil 8b’de verilmiştir. Kondrite göre normalize edilmiş diyagramda şistlerde hafif nadir toprak elementleri (HNTE) ağır nadir toprak elementlere (ANTE) göre göreceli olarak daha fazla zenginleşme göstermektedir (Şekil 8a). Ağır NTE kondrite göre 10 kat zenginleşmiş olup, yatay bir dağılım sergilemektedirler. Eu da gözlenen hafif ve orta değerlerdeki negatif anomali ( $Eu_N/Eu^*_N=0.50-0.90$ ). kaynak alan kayaların fraksiyonel kristallenme sonucunda feldspatlar bakımından ayrılaştığına işaret etmektedir [28]. Buna karşın kondrite göre normalize edilmiş örümcek diyagramında ise şistler Rb, Nb ve Pb ca

zenginleşme göstermekte ve yaklaşık yatay bir gidiş sunmaktadır (Şekil 8b). Kıtaların iç kesimlerinden türemiş ve pasif kıta kenarlarında çökelmiş sedimenter göreceli olarak düz ve az oranda hafif nadir toprak elementlerince zenginleşme göstermektedir [35]. Eu ise zayıf pozitif anomali göstermektedir. Bu veriler ise üst kıtasal kabuk için karakteristiktir.

### 5.3. Kaynak kaya

Ana oksit ve iz element bileşimi sedimanter havzaların tektonik ortamına bağlı olarak gelişen farklı tipteki kaynak alanları ve ayrışma durumları ile ilgili önemli bilgiler verir [30]. Şistlerin kaynak ayırım diyagramında şist örnekleri ortaç magmatik kayaktan felsik magmatik kaynağa doğru geçiş göstermektedir (Şekil 9a). Bu da farklı iki (felsik ve mafik) kaynağın karışımını işaretlemektedir.



Şekil 8. Şistlerin (a) Kondrite göre normalize edilmiş nadir toprak elementi diyagramı [29]. (b) Kondrite göre normalize edilmiş örümcek diyagramı [28].

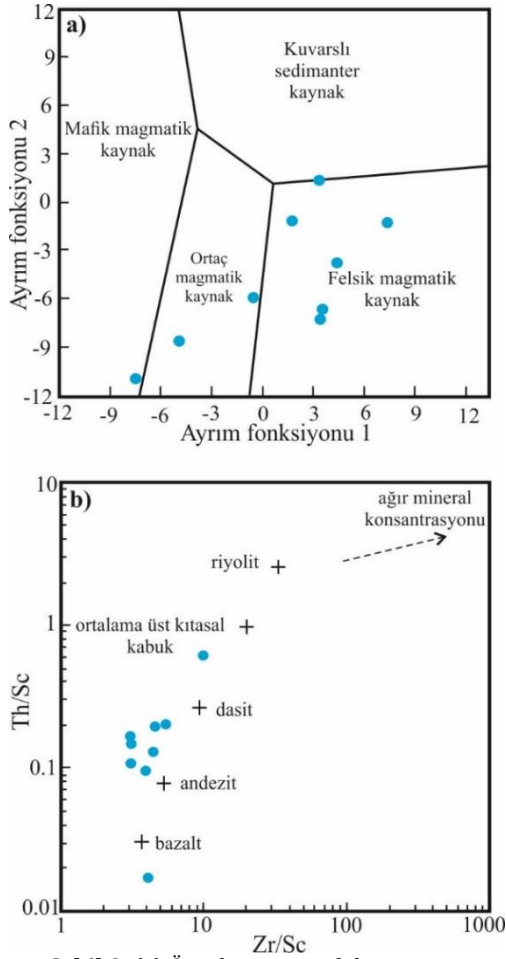
Figure 8. (a) Chondrite-normalized rare earth element diagram of schist samples [29], (b) Chondrite-normalized spider diagram of schist samples [28].

**Tablo 3.** Örenli metamorfitlelerine ait şistlerin nadir toprak element değerleri (ppm).**Table 3.** Rare earth element analysis results of the schists in the Örenli metamorphics (ppm).

Lokasyon	Örenli metamorfitleleri								
Örnek	2001	2003	2004A	2004B	2005B	2006	2007	2008A	2008B
Nadir toprak elementleri (ppm)									
La	21.7	26.5	14.8	16	18	8.6	17.6	31.9	16.2
Ce	42.3	50.2	27.3	29	33.9	19.6	34.1	56.8	29.3
Pr	5.11	6.04	3.25	3.5	4.08	3.47	4.11	6.52	3.37
Nd	21.4	26.1	14.3	14.9	18.4	19.2	17.1	27.8	14.2
Sm	4.44	5.33	2.89	3.24	3.87	5.79	3.74	5.68	2.99
Eu	1.31	1.11	1.03	1.1	1.21	2.08	0.93	1.87	1.08
Gd	4.63	4.88	3.3	3.49	4.19	7.84	3.83	6.22	3.29
Tb	0.67	0.71	0.48	0.56	0.7	1.3	0.61	0.94	0.54
Dy	4.05	4.56	3.06	3.35	4.37	8.73	3.94	5.95	3.24
Ho	0.78	0.97	0.66	0.64	0.85	1.78	0.77	1.15	0.68
Er	2.04	2.68	1.74	1.77	2.34	4.89	2.2	3.17	1.96
Tm	0.33	0.43	0.26	0.26	0.37	0.74	0.35	0.52	0.3
Yb	2.05	2.67	1.65	1.45	2.41	1.36	2.09	2.99	1.8
Lu	0.32	0.44	0.25	0.27	0.34	0.68	0.32	0.47	0.27
Y	20.6	25.3	16.6	17.9	22.2	46.6	22.8	32.5	17.5
Eu/Eu*	0.88	0.67	1.02	1.00	0.92	0.94	0.75	0.96	1.05
(La/Yb) <sub>N</sub>	7.59	7.12	6.43	7.92	5.36	4.54	6.04	7.65	6.46
Er/Sm	0.46	0.50	0.60	0.55	0.60	0.84	0.59	0.56	0.66
La/Lu	67.81	60.23	59.20	59	52.94	12.65	55.00	67.87	60.00

Sedimentlerin taşınması sırasında oluşan hidrolik boylanma ve çökelme olayları bazı ana (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ve TiO<sub>2</sub>) ve iz (Zr, NTE, Th, U, Hf ve Y) elementlerin dağılımlarını kontrol ettiğinden kırıntılı kayaların kimyasal bileşimlerini önemli miktarda etkiler [5]. Bu nedenle kırıntılı kayalarda zirkon, apatit ve rutil gibi ağır mineral yığılımlarının artmasının özellikle nadir toprak element ve iz element dağılımları üzerinde önemli etkisinden dolayı bu tür ağır mineral

zenginleşmesine uğrayan kayaların element içerikleri kaynak alanın değerlerini temsil etmezler [31]-[33]. Th/Sc'a karşı Zr/Sc kullanarak oluşturulan diyagramda ise örneklerin bileşimsel değişim trendi bu kayalarda zirkon zenginleşmesi olmadığını göstermektedir (Şekil 9b). Bu diyagram şistlerin ortalama üst kıtasal kabuğa göre ortaça kayaktan biraz daha fazla beslendiğini işaretlemektedir.

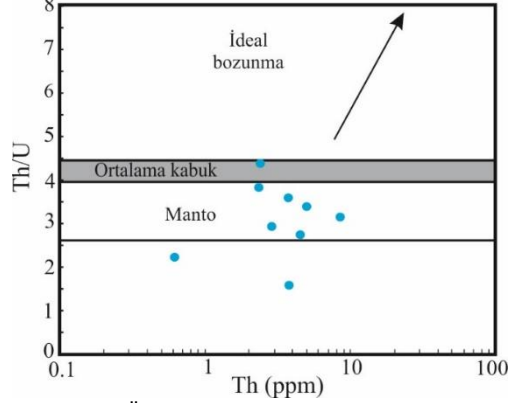


**Şekil 9.** (a) Örenli metamorfitlelerinin ana oksitler kullanılarak oluşturulan kaynak kaya ayırım diyagramı [34]. (b) Örenli metamorfitlelerine ait bileşimsel değişim ve zirkon ilavesini gösteren Th/Sc'a karşı Zr/Sc diyagramı [35].

**Figure 9.** (a) Source rock discrimination diagram based on major oxides [34], (b) Th/Sc vs Zr/Sc diagram showing compositional variation and zircon addition [35].

Th/U oranı kırıntılı tortul kayaçların kaynak karakteristiklerini belirlemede oldukça faydalı bilgiler sağlamaktadır [36]. Güncel ortalama üst kabuğa ait Th/U oranı 4.25-4.30 iken, üst ve alt mantoda bu oran sırasıyla 2.6 ve 3.8 dir [37]. Th/U oranı bazen, ayrışma sırasındaki oksitlenme sonucu U'un uzaklaşmasından dolayı yüksek değerlere sahip olsa da 4 ve 4'den büyük değerler üst kıtasal kabuktan türeyen kırıntılı

tortul kayaçları temsil ederken, 4'den küçük değerler mantodan kıtasal kabuğa eklenen kayaçların katkısını göstermektedir [36]. Örenli metamorfitlelerinden alınan şist örneklerinin ortalama Th/U değerleri 3.07 olup ortalama üst kabuk değeri olan 3.82'den küçüktür. Bu değerler şistleri meydana getiren kırıntılı bileşenlerin çoğunlukla alt kıtasal kabuk kaynaklı olduklarını, manto kaynaklı mafik kayaçların önemli oranlarda katkı sağladığını göstermektedir [36]. Th'a karşı Th/U diyagramında (Şekil 10) olduğu, kayaçların bireysel olarak felsik ve mafik bileşenlerin katkı oranları Th/U değerleri göz önüne alındığında daha belirgin olarak görülebilmektedir. Örenli metamorfitlelerinden alınan örnekler manto kaynaklı kayaçların alanında dağılmaktadırlar (Şekil 10). Bu da şistlerin kaynak alanında mafik kayaçların yer aldığını göstermektedir.



**Şekil 10.** Örenli metamorfitlelerine ait şistlerin Th/U'a karşı Th (ppm) değişim diyagramındaki dağılımları. Renkli alan üst kıtasal kaynak alanlara ait oranları temsil etmektedir. İdeal ayrışma trendi, alt kıtasal kabuktan türeyen sedimentleri temsil etmektedir [35].

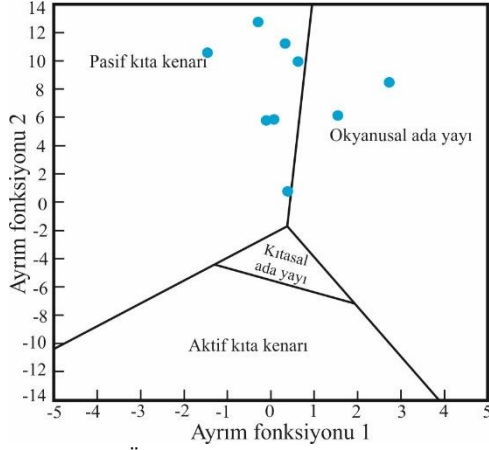
**Figure 10.** Th/U vs Th diagram of schist samples in the Örenli metamorphics. Colorful area represents ratios according to the upper continental source areas. Ideal weathering trend refers the sediments derived from the lower continental crust [35].

#### 5.4. Tektonik yerleşim

Tektonik ayırım diyagramında Örenli metamorfitlelerinden alınan şist örnekleri ağırlıklı olarak pasif kıta kenarı tektonik ortamına düşmektedir (Şekil 11). Bazı örneklerin okyanusal ada yayı tektonik ortamına düşmesi ise bölgede geçmiş dönemlerde hem aktif bir



volkanik yaydan ve hem de kıtadan malzeme alabilecekleri yay gerisi bir havza konumuna atfedilmiştir.



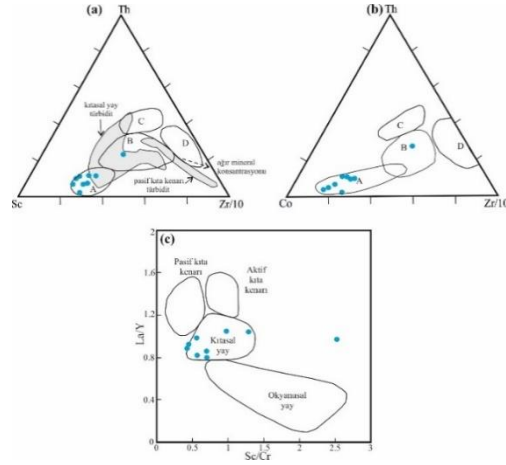
**Şekil 11.** Örenli metamorfitleleri içerisindeki şistler için tektonik ayırım diyagramı [30].

**Figure 11.** Tectonic discrimination diagram of schist samples in the Örenli metamorphics [30].

Uyumsuz elementlerden Th ve Zr/10'a karşı uyumlu elementler olan Sc veya Co'nun kullanılması ile oluşturulan üçgen tektonik ortam ayırım diyagramları sırasıyla Şekil 12a ve b'de verilmiştir [38].

Şekil 12a'da Th-Zr/10 eksenleri felsik bileşenleri, Sc köşesi ise mafik bileşenlerin katkı oranını ifade etmektedir. Burada görüldüğü üzere şistler mafik bileşen (Sc) köşesinden felsik eksenlere (Th-Zr/10) doğru yaklaşık doğrusal bir gidiş göstermektedirler. Şist örneklerinin bu diyagramlarda da genel olarak tek bir tektonik ortam içinde yer alması, ana elementlere göre elde edilen sonuçlar ile uyumludur.

La, Th, Zr ve Y elementleri granitoidleri belirtmesi açısından Sc, Ti ve Cr elementleri ise bazalt, ultramafik kayalar belirtmesi açısından önemlidir [28]. Bu elementler aynı zamanda şistlerin hangi tipte kayaktan geldiğinin ayırt edilmesinde de kullanılmaktadır. La/Y - Sc/Cr tektonik ayırım diyagramında şist örnekleri çoğunlukla kıta yayı alanına düşmektedir (Şekil 12c).



**Şekil 12.** (a) Şist örneklerinin Th-Sc-Zr/10 tektonik ayırım diyagramındaki dağılımları [38], (b) Şist örneklerinin Th-Co-Zr/10 tektonik ayırım diyagramındaki dağılımları [38], (c) Şist örnekleri için La/Y - Sc/Cr tektonik ayırım diyagramı [34]. A: Okyanusal Ada Yayı, B: Kıtasal Ada Yayı, C: Aktif Kıta Kenarı, D: Pasif Kıta Kenarı.

**Figure 12.** (a) Th-Sc-Zr/10 tectonic discrimination diagram of schist samples. [38], (b) Th-Co-Zr/10 tectonic discrimination diagram of schist samples, (c) La/Y-Sc/Cr tectonic discrimination diagram [34]. A: Oceanic Island Arc, B: Continental Island Arc, C: Active Continental Margin, D: Passive Continental Margin.

## 6. Sonuçlar

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Sakarya Zonu'nun batı kesiminde bulunan Örenli metamorfitlelerinin kökeninin, kaynak kayasının ve ne tür bir tektonik ortamda oluştuğunun ortaya çıkarılması amacıyla bu kayalardan ana oksit, iz element ve nadir toprak elementi analizleri yapılmıştır.

- Arazi gözlemlerine ve petrografik çalışmalara göre metamorfik kayalar şist, fillit ve mermer bileşiminde olduğu saptanmıştır. Çalışma alanlarından alınan şistlerin petrografik incelemesi sonucu bu kayalar genel olarak kuvars, plajiyoklas, muskovit, biyotit, klorit minerallerinden oluşmakla birlikte ağır mineral olarak zirkon, rutil, apatit mineralleri saptanmıştır.

- Kondrite göre normalize edilmiş diyagramda şistlerde hafif nadir toprak elementleri (HNTE) ağır nadir toprak elementlerine (ANTE) göre göreceli olarak zenginleşme göstermektedir. Eu da hafif ve orta değerlerdeki negatif anomali ( $Eu_N/Eu^*_N=0.50-0.90$ ), kaynak alan kayaçlarının fraksiyonel kristallenme sonucunda feldspatlar bakımından ayrımlaştığına işaret etmektedir. Göreceli olarak düz ve az oranda hafif nadir toprak elementlerince zenginleşme gösteren kıtaların iç kesimlerinden türemiş ve pasif kıta kenarlarında çökelmiş sedimentlerle uyumludurlar.

- Şistler ortaç magmatik kaynaktan felsik magmatik kaynağa doğru geçiş göstermektedir. Bu da felsik ve mafik kaynakların karıştığını işaretlemektedir.

- Örenli metamorfiteinden alınan şist örneklerinin ortalama Th/U değeri 3.07 olup ortalama üst kabuk değeri olan 3.82'den küçüktür. Bu değer, şistleri meydana getiren kırıntılı bileşenlerin çoğunlukla alt kıtasal kabuk kaynaklı olduklarını ve manto kaynaklı mafik kayaçların önemli oranlarda katkı sağladığını göstermektedir.

- Tektonik ayırım diyagramına göre Örenli metamorfiteinden alınan şist örnekleri pasif kıta kenarı tektonik ortamına düşerken bazı örnekler ise okyanusal ada yayı tektonik ortamına düşmektedir. Bu durum bölgede geçmiş dönemlerde hem aktif bir volkanik yaydan ve hem de kıtadan malzeme alabilecek konumu temsil eden yay gerisi bir havza ortamına yorumlanmıştır.

## 7. Conclusions

Results obtained from this study are listed as follow.

- Major oxide, trace and rare earth element analysis was performed in order to reveal provenance, source rocks and tectonic setting of metasedimentary rocks from the Örenli

## Teşekkür

Bu proje Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığı tarafından FBA-2021-3498 Nolu proje ile desteklenmiştir.

## Kaynakça

[1] Dickinson. W.R., Suczek. C.A. 1979. Plate tectonics and sandstone compositions. American Association Petrology, Geology Bulletin. Cilt. 63. s. 2164-2182.

metamorphics occurring in the western part of the Sakarya Zone.

- Based on field observations and petrographical studies, metamorphic rocks are composed of schist, phyllite and marble. General mineral composition of schist is made up of quartz, plagioclase, K-feldspar, muscovite, biotite and chlorite minerals. Zircon, rutile and apatite minerals form the accessory mineral phases.

- Chondrite-normalized rare earth diagram show that light rare earth elements (LREEs) are relatively enriched according to the heavy rare earth elements (HREEs). Negative Eu anomaly ( $Eu_N/Eu^*_N=0.50-0.90$ ) marks the feldspar differentiation as a result of fractional crystallization. Sediments derived from interior continents and deposited on the passive margin show relatively flat and slightly enriched in light rare earth elements (LREEs).

- Schist samples pass from the intermediate igneous rocks to felsic igneous rocks on the source discrimination diagram.

- Average Th/U value of schist samples from the Örenli metamorphics is 3.07, which is smaller than upper crustal value (3.82). This value indicates that clastic components forming schists are mostly derived from the continental crust and mantle-derived mafic rocks provide significant contribution to clastic components of schist.

- Based on the tectonic discrimination, schist samples fall into the passive margin area but some samples fall into the oceanic island arc area. This situation is resulted from back-arc basin taken material from both active volcanic arc and continent.

## 8. Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

"Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur"

"Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır"

[2] Marsaglia. K.M., Latter. K.K. 2003. The recycled orogenic sand provenance from an uplifted thrust belt, Betic Cordillera, Southern Spain. Journal of Sedimentary Research. Cilt. 73 (1). S. 72-81. DOI: 10.1306/071002730072

[3] Hara. H., Kunii. M., Hisada. K., Ueno. K., Kamata. Y., Srichan. W., Charusiri. P., Charoentitrat. T., Watarai. M., Adachi. Y., Kurihara. Y. 2012. Petrography and geochemistry of clastic rocks within the Inthanon zone, northern Thailand: Implications for Paleotethys subduction and convergence. Journal of Asian

- Earth Sciences. Cilt. 61. s. 2-15. DOI: 10.1016/j.jseae.2012.06.012
- [4] Nesbitt. H.W., Young. G.M. 1984. Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. Cilt. 48. s. 1523-1534. DOI: 10.1016/0016-7037(84)90408-3
- [5] Cullers. R.L. 2000. The geochemistry of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian-Permian age, Colorado, U.S.A. implications for provenance and metamorphic studies. *Lithos*. Cilt. 51. s. 181-203. DOI: 10.1016/S0024-4937(99)00063-8
- [6] Young. S.M., Pitawala. A., Ishiga. H. 2013. Geochemical characteristics of stream sediments, sediment fractions, soils, and basement rocks from the Mahaweli River and its catchment, Sri Lanka. *Chemical and Earth Geochemistry*. Cilt. 73. s. 357-371. DOI: 10.1016/j.chemer.2012.09.003
- [7] Tunç. İ.O. 2008. The geology of the Kazdağ massif on the south of Bayramiç (Çanakkale). Çanakkale Onsekiz Mart University. Master Thesis. 129 s., Çanakkale.
- [8] Okay. A.I., Satır. M., Siebel. W. 2006. Pre-Alpide and Mesozoic orogenic events in the Eastern Mediterranean region. *Geological Society of Special Publication*. Cilt. 32. s. 389-405. DOI: 10.1144/GSL.MEM.2006.032.01.01
- [9] Meinhold. G., Kostopoulos. D., Frei. D., Himmerkus. F., Reischmann. T. 2010. U-Pb LA-SF ICP-MS zircon geochronology of the Serbo-Macedonian Massif, Greece: Palaeotectonic constraints for Gondwana-derived terranes in the Eastern Mediterranean. *International Journal of Earth Science*. Cilt. 99. s. 813-832. DOI: 10.1007/s00531-009-0425-5
- [10] Okay. A.I., Satır. M. 2000. Coeval plutonism and metamorphism in a latest Oligocene metamorphic core complex in Northwest Turkey. *Geological Magazine*. Cilt. 137. s. 495-516. DOI: 10.1017/S0016756800004532
- [11] Yalıtırak. C., Okay. A.I. 2004. Edremit körfezi kuzeyinde Paleotetis birimlerinin jeolojisi. *Bulletin of Engineering of ITU*. Cilt. 3 (1). s. 67-79.
- [12] Duru. M., Pehlivan. Ş., Ilgar. A., Dönmez. M., Akçay. A.E. 2007. 1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi: Ayvalık 117 paftası, MTA.
- [13] Cavazza. W., Okay. A.I., Zattin. M. 2009. Rapid early-middle Exhumation of the Kazdağ Massif (western Anatolia). *International Journal of Earth Sciences*. Cilt. 98. s. 1935-1947. DOI: 10.1007/s00531-008-0353-9
- [14] Şengün. F., Çalık. A. 2007. Çamlıca Metamorfizmasının (Biga Yarımadası, KB Türkiye) Metamorfizma Özellikleri ve Korelasyonu. *Türkiye Jeoloji Bülteni*. Cilt. 50. s. 1-16.
- [15] Şengün. F., Yigitbas. E., Tunç. İ.O. 2011. Geology and Tectonic Emplacement of Eclogite and Blueschist, Biga Peninsula, Northwest Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*. Cilt. 20. s. 273-285. DOI: 10.3906/yer-0912-75
- [16] Beccalotto. L., Bonev. N., Bosch. D., Bruguier. O. 2007. Record of a Palaeogene syn-collisional extension in the north Aegean Sea: evidence from the Kemer micaschists (NW Turkey). *Geological Magazine*. Cilt. 144. s. 393-400. DOI: 10.1017/S001675680700310X
- [17] Aygül. M., Topuz. G., Okay. A.I., Satır. M., Meyer. H.P. 2012. The Kemer Metamorphic Complex (NW Turkey), a subducted continental margin of the Sakarya Zone. *Turkish Journal of Earth Sciences*. Cilt. 21. s. 19-35. DOI: 10.3906/yer-1006-14
- [18] Okay. A.I., Göncüoğlu. M.C. 2004. The Karakaya Complex: A Review of data and concepts. *Turkish Journal of Earth Sciences*. Cilt. 13. s. 77-95.
- [19] Okay. A.I., Siyako. M., Bürkan. K.A. 1990. Biga Yarımadası'nın Jeolojisi ve Tektonik Evrimi. *Turkish Association Petroleum Geology Bulletin*. Cilt. 2(1). s. 83-121.
- [20] Beccalotto. L., Bartolini. A.C., Martini. R., Hochuli. P.A., Kozur. H. 2005. Biostratigraphic data from Çetmi Melange, northwest Turkey: Palaeogeographic and tectonic implications. *Palaeogeography Palaeoclimatology*. Cilt. 221. s. 215-244. DOI: 10.1016/j.palaeo.2005.02.011
- [21] Beccalotto. L., Jenny. C. 2004. Geology and Correlation of the Ezine Zone: A Rhodope Fragment in NW Turkey?. *Turkish Journal of Earth Sciences*. Cilt. 13. s. 145-176.
- [22] MTA. 2012. General and economic geology of the Biga Peninsula. *Special Publication Series*, 28, 350s.
- [23] Beccalotto. L. 2004. Geology, correlations and geodynamic evolution of the Biga Peninsula, northwest Turkey. University of Lausanne. PhD Thesis. 180s. Lausanne, Switzerland.
- [24] Tunç. İ.O. 2008. Bayramiç (Çanakkale) Güneyindeki Kazdağ Masifi Kayalarının Jeolojisi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi. 129s. Çanakkale.
- [25] Pettijohn. F.J., Potter. P.E., 1972. Siever. R. Sand and Sandstone. New York, Springer Verlag. 275s.
- [26] Nesbitt. H.W., Young. G.M. 1984. Prediction of Some Weathering Trends of Plutonic and Volcanic Rocks Based on Thermodynamic and Kinetic Considerations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. Cilt. 48. s. 1523-1534. DOI: 10.1016/0016-7037(84)90408-3
- [27] Akdoğan. R. 2011. Erken-Orta yaşlı kumtaşı ve şeyillerin (Gümüşhane, Bayburt) jeokimyasal özellikleri. Karadeniz Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi, 176s. Trabzon.
- [28] Taylor. S.R., McLennan. S.M. 1985. The Continental Crust: Its Composition and Evolution. Blackwell Scientific Publications, Blackwell, Oxford, UK, 266s.
- [29] Sun. S.S., McDonough. W.F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes. ed. Saunders. A.D., Norry. M.J. 1989. Magmatism in the ocean basins, Geological Society of London. s. 313-345.
- [30] Bhatia. M.R. 1983. Plate tectonics and geochemical compositions of sandstones. *Journal of Geology*. Cilt. 91. s. 611-627.
- [31] Reimer. T.O. 1985. Volcanic Rocks and Weathering in the Paleoproterozoic Witwatersand Supergroup, South Africa. *Survey of Finland Bulletin*. s. 331-334.
- [32] Cullers. R.L., Barrett. T., Carlson. R., Robinson. B. 1987. Rare-Earth Element and Mineralogical Changes in Holocene Soil and Stream Sediment: A Case Study in the Wet Mountains, Colorado, U.S.A. *Chemical*

- Geology. Cilt. 63. s. 275-297. DOI: 10.1016/0009-2541(87)90167-7
- [33] McLennan. S.M. 1989. Rare Earth Elements in Sedimentary Rocks: Influence of Provenance and Sedimentary Processes. ed. Lipin. B.R. MacKay. G.A. 1989. Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements, Mineralogical Society of America, ss. 169-200.
- [34] Roser. B.P.. Korsch. R.J. 1988. Provenance Signatures of Sandstone-Mudstone Suites Determined Using Discrimination Function Analysis of Major-Element Data. Chemical Geology. Cilt. 67. s. 119-139. DOI: 10.1016/0009-2541(88)90010-1
- [35] McLennan. S.M.. Hemming. S.. McDaniel. D.K.. Hanson. G.N. 1993. Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics. ed. Johnsson. M.J.. Basu. A. 1993. processes controlling the composition of clastic sediments: Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper. Cilt. 284. ss. 21-40.
- [36] Roddaz. M.. Viers. J.. Brusset. S.. Baby. P.. Boucayrand. C.. Hérail. G. 2006. Controls on Weathering and Provenance in the Amazonian Foreland Basin: Insights From Major and Trace Element Geochemistry of Neogene Amazonian Sediments. Chemical Geology. Cilt. 226. s. 31-65. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2005.08.010
- [37] Paul D.. White. W.M.. Turcotte. D.L. 2003. Constraints on the  $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$  ratio (K) of the Continental Crust. Geochemistry Geophysics Geosystem. Cilt. 4 (12). s. 1102. DOI: 10.1029/2002GC000497
- [38] Bhatia. M.R.. Crook. K.A.W. 1986. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. Contributions to Mineralogy and Petrology. Cilt. 92. s. 181-193. DOI: 10.1007/BF00375292