

MADEN TETKİK VE ARAMA DERGİSİ

Türkçe Baskı

2014

149

İÇİNDEKİLER

Tuzgözü Havzası Kuvaterner Tortularının Fasiyes Özellikleri ve Denetim MekanizmalarıAlper GÜRBÜZ ve Nizamettin KAZANCI	1
Tuz Gölü Fay Zonunun Neotektonik Dönem Özellikleri, Depremselliği, Geometrisi ve Segment YapısıAkın KÜRÇER ve Yaşar Ergun GÖKTEN	19
Karaburun (İzmir) Çevresinin Neojen Stratigrafisi ve Paleocoğrafik EvrimiFikret GÖKTAŞ	71
Malatya Oligo-Miyosen Havzasının Bentik Foraminifer Faunası (Doğu Toroslar, Doğu Türkiye)Fatma GEDİK	95
Qushchi (KB İran, Batı Azerbaycan) Amfibolitlerinin Tektonomagmatik Özellikleri ve Protolit TipiMohssen MOAZZEN	141
Bozkır Formasyonunda Gliberit-Halit Birlikliği (Pliyosen, Çankırı-Çorum Havzası, Orta Anadolu, Türkiye)İlhan SÖNMEZ	155
Basit Zemin İndeks Özelliklerini Kullanarak Şişme Basıncının HesaplanmasıKamil KAYABALI ve Özgür YALDIZ	179
Gömülü Jeolojik Sınırların Görüntülenmesine İki Örnek: Obruk Yapısı ve Seyithacı Fayı, Karapınar, KonyaErtan TOKER, Yahya ÇİFTÇİ, Aytekin AYVA ve Akın KÜRÇER	193
Türkiye Jeotermal Potansiyelinin Isı Akısı Hesaplamasıyla DeğerlendirilmesiUğur AKIN, Emin Uğur ULUGERGERLİ ve Semih KUTLU	205
Mineral Gelişimi ve Biyokimya Hakkında Kısa NotJosé Mario AMİGO	215
Güney Marmara Bölgesindeki Büyük Vadilerin Olası Deşilme Zamanları (N. Kazancı, Ö. Emre, K. Erturaç, S.A.G. Leroy, S. Öncel, Ö. İleri, Ö. Toprak; MTA Dergisi 148, 1-17) Makalesine Eleştiri ve DüzeltmeNizamettin KAZANCI	223
Katkı Belirtme.....	225
Maden Tetkik ve Arama Dergisi Yayın Kuralları.....	227



Maden Tetkik ve Arama Dergisi

<http://dergi.mta.gov.tr>

MADEN TETKİK VE ARAMA DERGİSİ	
İÇİNDEKİLER	
1. Sayı	1-10
2. Sayı	11-20
3. Sayı	21-30
4. Sayı	31-40
5. Sayı	41-50
6. Sayı	51-60
7. Sayı	61-70
8. Sayı	71-80
9. Sayı	81-90
10. Sayı	91-100

QUSHCHI (KB İRAN, BATI AZERBAJYAN) AMFİBOLİTLERİNİN TEKTONOMAGMATİK ÖZELLİKLERİ VE PROTOLİT TİPİ

PROTOLITH NATURE AND TECTONOMAGMATIC FEATURES OF AMPHIBOLITES FROM THE QUSHCHI AREA, WEST AZERBAIJAN, NW IRAN

Mohssen MOAZZEN^{a*}

^a Tebriz Üniversitesi, Yerbilimleri Bölümü, 5166, Tebriz, İran

ÖZ

Anahtar sözcükler:
Amfibolit, sub-alkalin
magma, kalıntı
klinopiroksen, volkanik
yay, B Azerbaycan,
KB İran

Kuzeybatı İran, Batı Azerbaycan Provensi'nde yer alan Qushchi Bölgesindeki amfibolitler, hornblend, plajiyoklas, epidot, granat, kalıntı magmatik klinopiroksen ve aksesuar mineral olarak da titanit, apatit ve opak mineral içeren metabazitlerdir. Amfibolitler mekansal olarak ofiyolitik melanj ile ilişkilidir ancak bu ilişki açık olarak gözlenmemektedir. Tüm kayaç jeokimyasına göre, amfibolitler, toleyitik karakterli sub-alkalin andezit-bazalttan oluşmuştur. TiO₂ içerikleri genellikle %1'den küçük olup, magmanın E-MORB (zenginleşmiş okyanus ortası sırtı bazaltları) bileşiminde olduğuna işaret etmektedir. Çalışılan kayaçların ana ve iz element jeokimyası, kayaçların volkanik yay bölgesinde yer aldığını ortaya koymaktadır. Kalıntı magmatik klinopiroksenler üzerinde gerçekleştirilen mineral kimyası çalışmaları, bunların diyopsit bileşiminde olduğunu ve yüksek Mg#:86.75-88.78 değerlerinin de volkanik yay bölgesinden türeyen toleyitik karakterli magmaya işaret ettiğini göstermektedir. Bu durum, tüm kayaç jeokimyasından elde edilen sonuçlarla da uyumludur. Klinopiroksen minerallerinde gözlenen düşük Ti içeriği, Qushchi amfibolitini oluşturan protolitin (ilksel kayaç) tüketilmiş bir manto kaynağından türediğine işaret etmektedir. Çalışılan amfibolitlere ait izotopik yaş verisi bulunmadığından, ofiyolitik melanj ile olan ilişkisi, özellikle melanjın da allohton olduğu düşünüldüğünde, belirsizdir. Amfibolitlerin oluşumu ile ilgili 3 olasılık önerilebilir. Bu kayaçlar, Geç Kretase-Paleosen yaşında ise, Neotetis okyanusal kabuğundaki volkanik yayın bir parçası olarak oluşmuş olabilirler. Bu durumda, ofiyolitik kompleks ve volkanik yay kayaçları, Neotetis okyanusunun kapanması ve kıtasal çarpışmayı takiben amfibolit fasiyesi metamorfizmasına maruz kalmıştır. Bunun dışında, arazi gözlemleri ve çalışılan amfibolitlerin Khoy bölgesindeki benzer amfibolitlerle karşılaştırılmasına göre ise, amfibolitlerin oluşumunun, Neotetis ilişkili ofiyolitik melanj oluşumundan önce geldiği düşünülmektedir. Çünkü, ofiyolitik melanj içinde yer alan serpantiniter metamorfizmaya uğramamıştır ve böylece bu olasılık, amfibolitlerin oluşumu için geçerli olabilmektedir. Üçüncü olasılık ise, amfiboliti oluşturan protolitin ofiyolit oluşumu ile eş zamanlı olduğudur. Ancak, protolit, yığışım prizması içinde metamorfizmaya uğramıştır fakat üzerleyen ofiyolitik kayaçlar (serpantinit de dahil olmak üzere) metamorfizma olmamıştır.

ABSTRACT

Keywords:
Amphibolite, sub-
alkaline magma, relict
clinopyroxene, volcanic
arc, W Azerbaijan,
NW Iran

Amphibolites from the Qushchi area in west Azerbaijan province, NW Iran are metabasites containing hornblende, plagioclase, epidote, garnet, relict igneous clinopyroxene and titanite, apatite and opaque minerals as accessory phases. They are spatially associated with an ophiolitic mélange but their relationship is not clear. Based on whole rock geochemistry of the amphibolites, they are formed from sub-alkaline andesite-basalt with a tholeiitic affinity. TiO₂ content of the analyzed amphibolite samples is mainly less than 1%, indicating an E-MORB original character for the magma. Major and trace element geochemistry of the

* Başvurulacak yazar: Mohssen MOAZZEN, moazzen@tabrizu.ac.ir

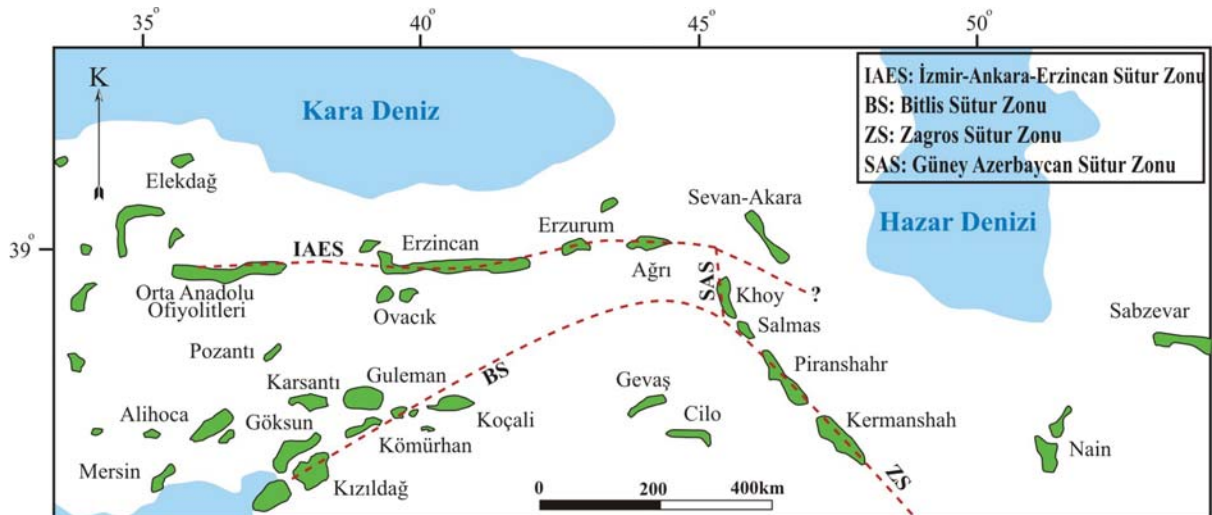
studied rocks indicate a volcanic arc setting for the rocks. Chemistry of relict igneous clinopyroxene shows that they are diopside in composition with Mg# of 86.75-88.78 and indicating tholeiitic magma type derived from volcanic arc setting, which is in agreement with the results from the whole rock chemistry. Low Ti content of the clinopyroxene points to a depleted mantle source for the magma of the protoliths of Qushchi amphibolites. There is no isotopic age constrains on the studied amphibolites, therefore their relation to the ophiolitic mélangé of the area is uncertain especially that the mélangé is allochthonous. Three possibilities can be proposed for the formation of the studied amphibolites. If these rocks are Late Cretaceous- Paleocene in age, they might have been formed as parts of a volcanic arc in the Neotethyan oceanic crust. In this case, the ophiolitic complex and the volcanic arc rocks all are metamorphosed at amphibolite facies following the Neotethys ocean closure and the continental collision. Based on field relations and comparing the studied amphibolites with similar amphibolites from the adjacent Khoy area, alternatively the amphibolite formation can be consider to predate the formation of Neotethys-related ophiolite mélangé. Since the serpentinite in the ophiolitic mélangé is not metamorphosed, the second explanations can be valid for the formation of the amphibolites. The third possibility is that the protolith of the amphibolites was contemporaneous with ophiolite formation, but this protolith is metamorphosed within the accretionary prism but the obducted ophiolitic rocks (including serpentinite) not subjected to metamorphism.

1. Giriş

Neotetis'in kapanmasıyla oluşan ana suture zonu, İran'da Zagros orojeni boyunca uzanarak, kuzeybatıya devam etmekte ve İzmir-Ankara-Erzincan ve Bitlis suture zonlarına bağlanmaktadır (Şekil 1; Okay ve Tüysüz, 1999; Göncüoğlu vd., 2010; Moazzen vd., 2012; Topuz vd., 2013). KB İran'daki ofiyolitler Khoy, Chaldoran, Serow, Salmas ve Piranshahr bölgelerinde gözlenmektedir (Şekil 2). Amfibolit ve yeşilist fasiyesi kayalar bu ofiyolitlere eşlik etmektedir. Ayrıca, amfibolitler, İzmir-Ankara-Erzincan ve Bitlis suture zonlarındaki (Türkiye) ofiyolitik kayalarla birlikte oluşmuştur. İzmir-Ankara-Erzincan suture zonunda yer alan

Orhanlı, Tavşanlı, Karaburhan (Eskişehir) ve Dutluca ofiyolitleri ile ilişkili olan amfibolit yüzeylemelerinin Triyas-Kretase yaşında olduğu düşünülmektedir (Sarrafakioğlu vd., 2010). KB İran ofiyolitik kompleksi ile ilişkili amfibolitler üzerine çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Bu amfibolitler, İran Jeolojik Araştırmalar Kurumu tarafından yayımlanan jeoloji haritalarının çoğunda yaşı bilinmeyen kayalar olarak veya yaşlı (Prekambriyen) birimler olarak ele alınmaktadır.

Chaldoran, Khoy ve Salmas ofiyolitleri boyunca önemli miktarlarda amfibolit oluşumlarına rastlanmaktadır (Hassanipek ve Ghazi, 2000; Khalatbari-Jafari vd., 2004; Juteau, 2004; Aftabi vd.,



Şekil 1- KB İran ofiyolitleri ve yığılım karmaşığının Doğu Türkiye'deki devamlığı (Dilek ve Moores, 1990; Sarrafakioğlu vd., 2010; Topuz vd., 2013'den değiştirilmiştir).

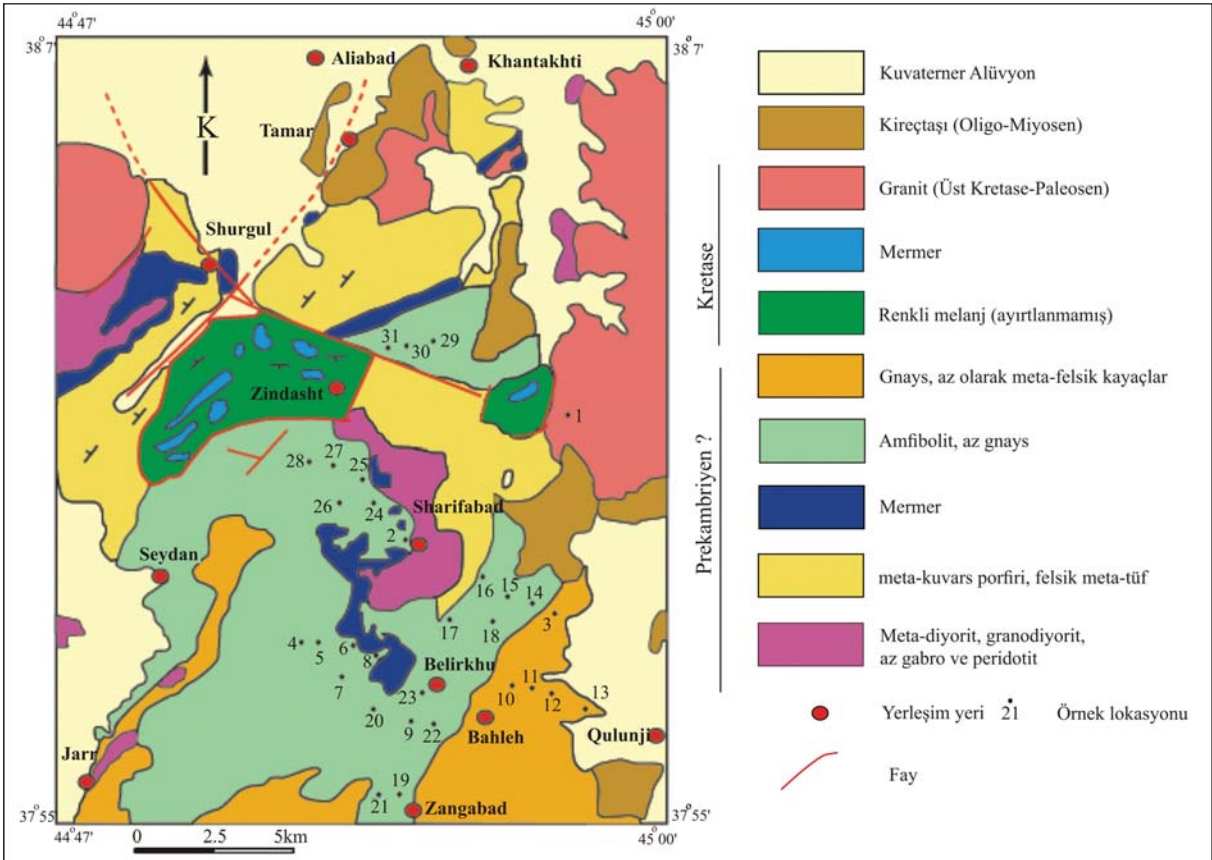


Şekil 2- KB İran'daki ofiyolit mostralarının şematik haritası. C: Chaldoran ofiyolit kompleksi; K: Khoy ofiyolit kompleksi; SY: Sylvana ofiyolit kompleksi; P: Piranshahr ofiyolit kompleksi; Z: Zagros ofiyoliti; SA: Çalışma alanı.

2006; Azizi vd., 2006; Moazzen ve Oberhansli, 2008; Monsef vd., 2010) (Şekil 2). Qushchi amfibolitleri, Salmas ofiyolitik kompleksinin yakınında yer almaktadır (Şekil 3). Salmas bölgesinin jeoloji

haritasında (Khodabandeh, 2003) iki tür amfibolit varlığından bahsedilmektedir. Bu amfibolitler, Khoy bölgesindeki Kretase yaşlı ofiyolitik melanj içerisindeki amfibolit ve yeşilist fasiyesi kayalar ve ilksel kayacı Prekambriyen yaşında olan metamorfik kayalar (özellikle pelitik şist ve gneys) ile ilişkilidir. Bu çalışmada Prekambriyen yaşlı amfibolitlerden bahsedilmektedir. Bu yaş, stratigrafik ilişkiye ve özellikle de fosil içerikli Permiyen kireçtaşlarının metamorfizmaya uğramamış olmasına dayanılarak öngörülmektedir. Ayrıca, sedimanter kayalar da düşük dereceli metamorfizma sunmaktadır. Bu nedenle, yüksek dereceli metamorfizma koşulları için akla uygun yaş Prekambriyen olarak gözükmemektedir. Buna rağmen, kayaç birimleri arasındaki tektonik dokanak, amfibolitlerin yaşının bu şekilde değerlendirilmesini belirsiz kılmaktadır. Bu sorun izotopik yaş verileri ile çözümlenebilir.

Magmanın kökeninin ve tektonik ortamının belirlenmesi amacıyla, tüm kayaç jeokimya çalışmalarının metabazik kayalara uygulanması halen tartışmalıdır. Mafik kayaların metamorfizması sırasında elementler farklı davranışlar göstermektedir. Bazı elementler mobil (hareketli)



Şekil 3- Qushchi Bölgesinin Jeoloji haritası. Amfibolit örneklerinin lokasyonları haritada gösterilmektedir.

davranış gösterirken, bazıları da immobil (hareketsiz) davranış sunmaktadır. Örneğin, K, Na, S, ve Ca elementleri metamorfizma sırasında mobil davranış sergilerken, P, Al ve Ti elementleri nispeten immobildir. Zr, Sc ve Y gibi elementler ise pratikte immobil elementlerdir. Rollinson, 1993; Coish, 1997; Pearce ve Cann, 1973; Floyd ve Winchester, 1978). White (2001), K, Ba, Sr, Cs ve Rb gibi yüksek iyonik potansiyele sahip alkali elementleri mobil elementler olarak değerlendirmiştir. Seewald ve Seyfried (1990), Co, Cr, V, Ni, Nb, Ta ve NT (Nadir Toprak) elementlerinin metamorfizma sırasında immobil olduğunu ileri sürmektedir. Sonuç olarak, yeşilist ve amfibolit fasiyesinde metamorfize olmuş mafik ilksel kayacın (protolit) türünün ve özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, Zr, Ta, Nb, V, Cr, Y ve NTE gibi nadir elementler ile P ve Ti gibi immobil elementleri kullanmak mümkündür. Buna karşın, yüksek metamorfizma derecelerinde, özellikle granülit fasiyesinde ve metabazik kayaçların bu tür P-T koşullarında kısmi ergime sürecine uğrayacağı düşünüldüğünde, protolit bileşiminin dikkatle değerlendirilmesi gerekmektedir (Hartle ve Pattison, 1996; Moazzen vd., 2013).

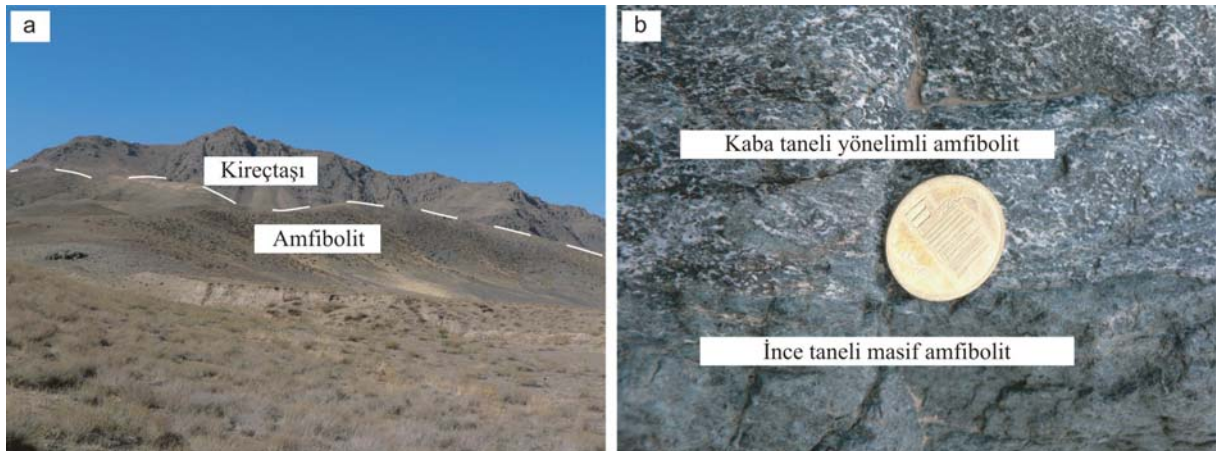
Bu çalışmada, çalışma bölgesindeki amfibolitlerin ilksel kayacını (protolit) oluşturan magmanın petrolojik ve tektonomagmatik özelliklerini belirlemek amacıyla, Qushchi amfibolitlerinin tüm kayaç kimyaları, özellikle de immobil elementler baz alınarak, ve kalıntı magmatik klinopiroksenlere ait mineral kimyası çözümlenmeleri kullanılmıştır.

2. Jeolojik Tarihçe

Çalışma bölgesi İran'ın kuzeybatısında ve Stöcklin (1968) tarafından tanımlanmış olan

Sanandaj-Sirjan metamorfik kuşağının içerisinde yer almaktadır. Nabavi (1976), bu bölgeyi, yapısal ve sedimanter fasiyes ilişkisine dayanarak Alborz-Azerbaycan zonunun Khoy-Mahabd alt zonunun bir parçası olarak değerlendirmektedir. Stampfli (1978) ise çalışma sahasını da içeren KB İran bölgesinin, orta İran volkano-molasik çöküntüsünün bir parçası olduğunu ileri sürmektedir. Stöcklin (1968) KB İran ofiyolitlerinin, orta İran mikro kıtasını çevreleyen ofiyolitlerle pek çok benzerliklere sahip olduğunu ileri sürmektedir.

Arazi çalışmalarına göre, çalışma alanının en yaşlı kayaçları sedimanter, granitik-diyoritik bileşimli magmatik ve yeşilist-amfibolit fasiyesi metamorfik kayaç kompleksidir (Şekil 3). Bu kayaçlar, Salmas-Urmia yolu boyunca yüzeylenmektedir ve metamorfik olmayan Permien karbonatlar tarafından da üzerlenmiştir (Şekil 4a). KB İran'da tüm lokasyonlarda, metamorfik kompleks yapısal olarak, Permien karbonatlarının altında yer almaktadır. Karbonat kayaçları metamorfizmaya uğramadıklarından, bu kayaçların yaşı Prekambriyen olarak düşünülmektedir. Buna rağmen, bu durumu kanıtlamak için radyometrik yaşlandırma yapılmalıdır. Çalışma alanındaki bu kompleksin kayaç türleri çoğunlukla amfibolit olup, bunlar hem ince taneli masif amfibolitler hem de iri taneli foliasyonlu amfibolitlerdir. Amfibolitler, yer yer pelitik ve psamitik şist, gnays, meta-riyolit, meta-riyodasit, metabazalt, meta-diyorit ve beyaz kristalin mermer ile litolojik dokanak halindedir (Şekil 4b). Bu kayaçlar, aşırı tektonizma nedeniyle birbirine karışmış durumdadır ve bu nedenle orijinal dokanaklarını bulmak çok zordur. Buna rağmen, bazı alanlardaki litostratigrafik ilişkilere bakıldığında, amfibolitlerin felsik metavolkanik kayaçlar



Şekil 4- Qushchi amfibolitlerinin arazi görünüşleri. a) metamorfizma göstermeyen Permien kireçtaşları ile örtülü amfibolitler. b) ince taneli masif (muhtemelen eski dayk) amfibolit ile dokanak ilişkisi sunan iri taneli-foliasyonlu amfibolit.

tarafından örtüldüğü görülmektedir. Üst Kretase-Paleosen yaşlı granitler ise metamorfik kompleksi kesmektedir. Düşük metamorfizmalı Alt Kambriyen Kahar Formasyonu, tektonik dokanakla metamorfik kayaların üstünde yer almaktadır. Çalışma alanındaki Kretase yaşlı ofiyolitik melanj, pelajik kireçtaşı ve radyolaryalı çört gibi derin deniz sedimanlarının yanı sıra serpantinleşmiş peridotit, mafik (gabro, diyabaz ve bazalt) ve felsik (diyorit ve andezit) kayalar ve metamorfik kayalardan (diyorit ve gabro bileşimli protolite sahip (Khodabandeh, 2003) yeşilışt ve amfibolit) meydana gelmektedir (Şekil 3). Kretase yaşlı şeyl, kumtaşı ve kireçtaşı zayıf metamorfizma sunmaktadır. Miyosen kayaları kumtaşı, konglomera, şeyl ve marn ile temsil olmaktadır. Bu kayalar, Paleosen konglomeraları tarafından uyumsuzlukla örtülür.

Azizi vd., (2011) Khoy ofiyolitleri ile ilişkili metamorfik kompleks üzerinde (çalışma alanının kuzeyi, şekil 2) gerçekleştirdikleri çalışmalarında, komplekse ait metabazitlerin protolitinin Üst Proterozoyik yaşında olduğunu ve Üst Jura-Alt Kretase zaman aralığında amfibolit fasiyesinde metamorfizmaya maruz kaldığını ortaya koymuştur. Qushchi bölgesindeki amfibolitler, mekansal olarak Khoy amfibolitlerine (Azizi vd., 2011) yakındır. Ayrıca, benzer yapısal konumdadır. Salmas bölgesindeki amfibolitler de muhtemelen Khoy bölgesindeki amfibolitler ile eş zamanlı olarak oluşmuştur.

3. Petrografi

Qushchi bölgesindeki amfibolitler, plajiyoklas ve hornblend içeren amfibolitler, kalıntı magmatik klinopiroksen içeren amfibolitler ve biyotit amfibolitler olmak üzere 3 ana kategoriye ayrılabilir. Plajiyoklas-hornblend amfibolitler orta ve iri taneli plajiyoklas, hornblend, titanit ve az miktarda kuvars ve oksit mineralleri içeren koyu yeşil renkli kayalardır. Hornblend ve plajiyoklas mineralleri bu amfibolitlerdeki başlıca mineral fazıdır. Titanit minerali, birincil ve ikincil titanit olmak üzere iki farklı formda gözlenebilir. Birincil titanit, prizmatiktir ve diğer mineraller arasında granoblastik doku oluşturur, ilmenitin alterasyonu sonucu oluşan ikincil titanitler ise ilmenitin kenarlarıyla sınırlıdır. Bu tip amfibolitler çoğunlukla deforme olmuş ve yönlendirilmiştir. Buna karşın, bazı örnekler ilksel magmatik kayaca özgü kalıntı doleritik doku sunmaktadır (Şekil 5a). Hornblend minerallerinin kayacın lineasyonuna paralel olan uzanımı, bazı örneklerde kayaç yönlendirilmesine neden olmaktadır. Kalıntı magmatik klinopiroksen mineralleri, bazı hornblend kristallerinin çekirdeği olarak görülebilir.

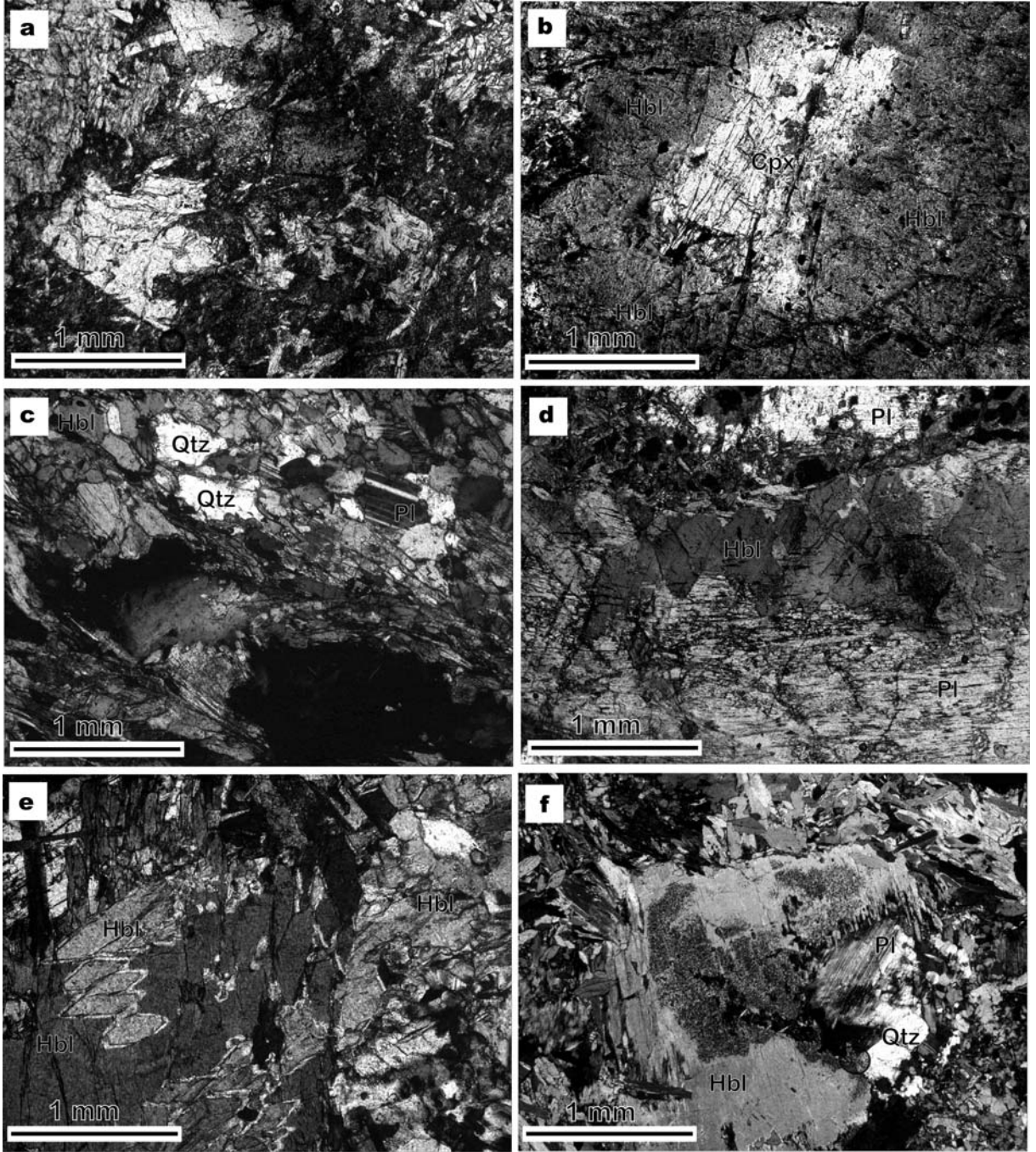
Bazı örnekler hornblend bakımından zengindir (Şekil 5c) ve nispeten büyük hornblend kristalleri bazı örneklerde porfiroblastik doku oluşturmaktadır (Şekil 5d). Buna karşın, bazı örnekler ise iri plajiyoklas kristalleri içermektedir (Şekil 5e). İnce taneli amfibolitler, ince taneli dolerit ve bazaltların metamorfik ürünleridir (Şekil 5f). Nispeten yüksek kuvars içeriğine sahip bazı örnekler, kuvars-diyoritin metamorfizmaya uğraması sonucunda oluşmuştur (Şekil 6a). Yer yer iri hornblend kristalleri üzerinde küçük idiyoblastik hornblend kristallerine rastlanmaktadır (Şekil 6b). İğnemi apatitlerin varlığı bazı örneklerin ayırt edici özelliğidir (Şekil 6 c).

Kalıntı magmatik klinopiroksen içeren amfibolitler, hornblend, plajiyoklas, klinopiroksen, titanit ve oksit minerallerinden oluşmaktadır. Kuvars minerallerine arada bir rastlanmaktadır. Klinopiroksen mineralleri daima hornblend tarafından çevrelenmiştir ve diğer mineraller ile doğrudan temas halinde değildir (Şekil 6d ve 6e). Bu dokusal dengesizlik, klinopiroksen kristallerinin metamorfizma sırasında kenarlarından itibaren amfibole dönüşen kalıntı magmatik fazlar olduğunu göstermektedir. Bu açıdan, çalışılan amfibolitler Khoy bölgesindeki amfibolitlere benzemektedir (Moazzen ve Oberhansli, 2008).

Biyotit-amfibolitlerin ana mineral fazını hornblend, plajiyoklas ve biyotit mineralleri oluşturmaktadır. Diğer mineraller ise kuvars, apatit ve oksittir. Biyotit pulları zirkon kapanımları içermektedir. Oksit mineralleri hem ince ksenoblastik hem de iri idiyoblastik kristaller olarak bulunmaktadır. İdiyoblastik olanlar genellikle hornblend tarafından çevrelenmiştir (Şekil 6f). Biyotit-amfibolitlerde kalıntı klinopiroksen yoktur ve Qushchi amfibolitlerinin küçük bir bölümünü oluştururlar.

4. Yöntem

Qushchi amfibolitlerinin protolitinin magmatik özelliklerini belirlemek amacıyla, mikroskopik gözlemlerle nispeten az altere olarak tanımlanmış 16 temsili örnek üzerinde ana ve iz element analizleri gerçekleştirilmiştir. Kayaç örnekleri, Potsdam Üniversitesi'nde (Almanya), tungsten karbür değirmen kullanılarak toz haline getirilmiştir. Toz örnekler daha sonra iz element analizleri için pellet haline getirilmiştir. Bunun için, yaklaşık 2 gr ağırlığındaki toz örnek % 2 polivinil alkol ve boraks ile karıştırılarak pellet hazırlanmıştır. Ana elementler, toz halindeki örneklerin alkali füzyonuyla hazırlanan cam diskler üzerinde, GeoForschungZentrum'daki

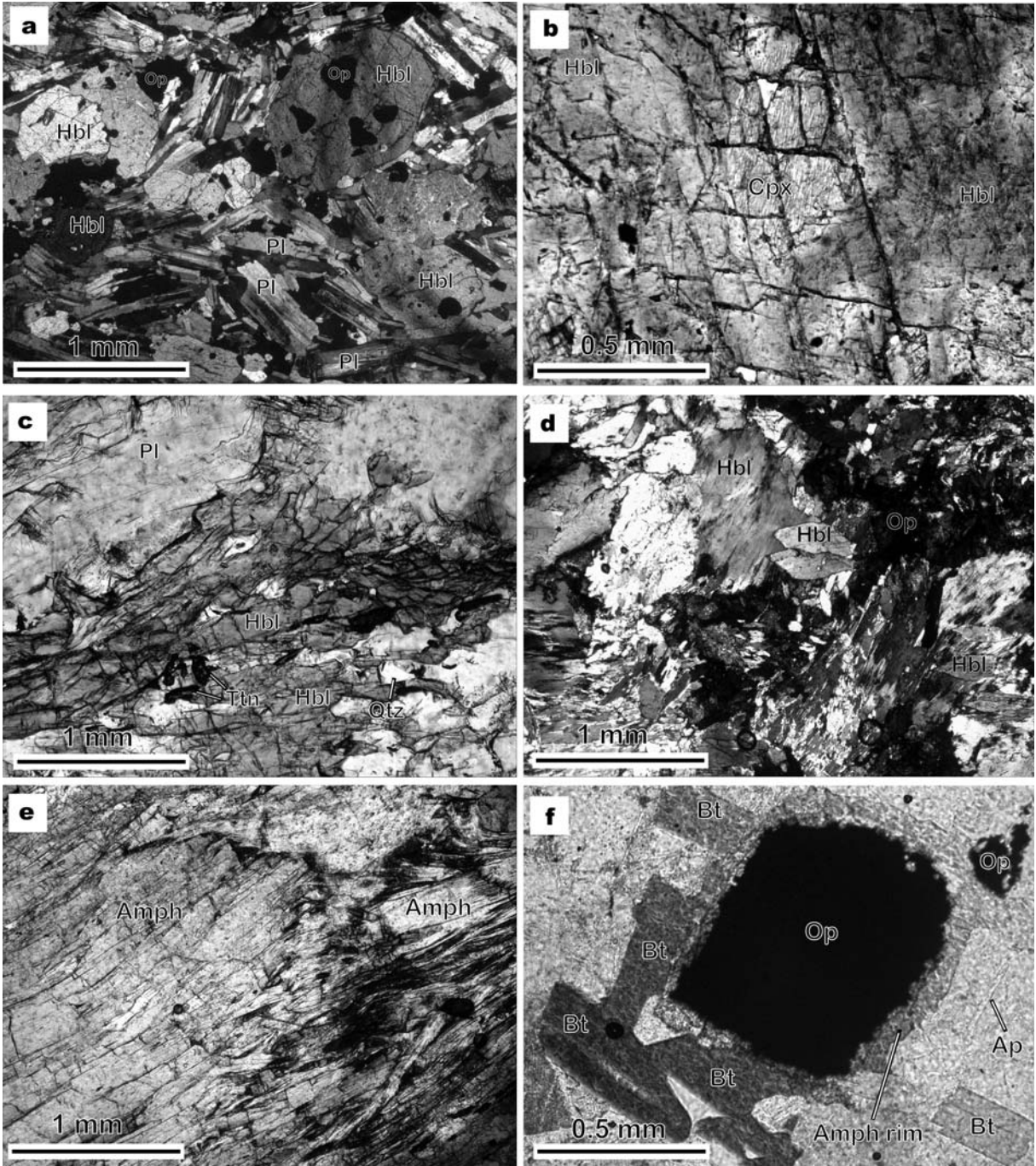


Şekil 5- Amfibolitlerin mineralojik ve dokusal özelliklerinin gözlendiği fotomikrograflar. a) amfibolitteki kalıntı dolerit dokusu. b) Hornblend mineralindeki kalıntı klinopiroksen. c) Esas olarak hornblend ve az miktarda da plajiyoklas içeren amfibolit örneği. d) İri hornblend kristalli porfiroblastik amfibolit. e) amfibolit içerisindeki iri plajiyoklas kristalleri. f) Volkanik kayaların metamorfizması sonucu oluşan ince taneli amfibolit. Tüm fotoğraflar çift nikol polarize ışık altında çekilmiştir.

(GFZ) X-Işınları Floresans Spektrometresinde analiz edilmiştir. Analiz Sonuçları çizelge 1'de verilmektedir. Kalibrasyon, Potts vd., (1992) tarafından tanımlanan metod ile uluslar arası ve iç standartlar (internal standards) kullanılarak yapılmıştır. Uygun yazılımlarla matriks düzeltilmesi

gerçekleştirilmiştir. Standart analiz tekrarına göre, ana elementler için % 1-3, iz elementleri için % 5 hata payı öngörülmektedir.

Kalıntı klinopiroksen içeren amfibolitlerdeki klinopiroksen minerallerinin analizleri Potsdam



Şekil 6- Batı Qushchi amfibolitlerinin mikroskop görüntüleri. a) yüksek miktarda kuvars içeren amfibolit. b) İri hornblend kristali içindeki idiyoblastik küçük hornblend büyümeleri. c) Amfibolitteki apatit iğneleri. d ve e) amfibol tarafından çevrelenmiş kalıntı magmatik klinopiroksenler, kayadaki diğer minerallerle doğrudan dokanak sunmamaktadır. f) Amfibolle çevrili opak mineraller.

Üniversitesi'nde JEOL, JXA-8800 marka mikroprob cihazında gerçekleştirilmiştir. Analizler, 15 kv artan voltaj, 20 nA akım değeri ve 1-3 μm ışın çapında yürütülmüştür. Ölçüm süresi pik ve yarı-piklerde 30 saniyedir. Kalibrasyon için doğal ve sentetik standartlar ($\text{Fe}_2\text{O}_3[\text{Fe}]$, rodonit $[\text{Mn}]$, rutil $[\text{Ti}]$, $\text{MgO}[\text{Mg}]$, vollastonit $[\text{Si}, \text{Ca}]$, florit $[\text{F}]$, ortoklaz

$[\text{Al}, \text{K}]$ ve albit $[\text{Na}]$ kullanılmıştır. Analiz sonuçları çizelge 2'de verilmektedir. $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ oranı stokiyometrik olarak hesaplanmıştır (Droop, 1987). Analizi yapılan klinopiroksen mineralleri Morimoto vd., (1988) sınıflamasına göre diyopsit bileşimindedir. Klinopiroksenlerin Mg# sayısını ($\text{Mg\#}:\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+})$) yüksek olup, 86.75-88.78

Çizelge 1- KB İran, Qushchi bölgesinden alınan amfibolit örneklerinin tüm kayaç analiz sonuçları.

Örnek	TSL10	TSL1B	TSL1E	TSL2B	TSL2G	TSL2L	TSL2M	TSL3B	TSL3A	TSL6A	TSL6B	TSL8B	TSL8A	TSL9A	TSL9B	TSL9E
Ana oksitler, ağırlıkça yüzde(%)																
SiO ₂	47.02	51.58	49.10	48.05	49.73	47.99	48.22	48.22	48.97	51.10	51.73	49.79	49.54	50.21	48.61	49.57
TiO ₂	1.37	0.36	0.26	0.14	0.56	0.15	0.18	1.19	1.10	0.45	0.86	0.78	0.74	0.56	0.23	0.44
Al ₂ O ₃	15.96	17.56	16.79	18.60	16.18	17.76	16.92	15.70	15.23	16.66	18.09	16.62	15.78	15.36	15.89	16.20
Fe ₂ O ₃	10.60	6.26	5.77	4.11	8.13	4.17	4.47	10.19	9.83	7.45	7.66	7.41	8.33	8.40	5.63	5.90
MnO	0.18	0.13	0.10	0.08	0.12	0.08	0.09	0.17	0.16	0.14	0.13	0.14	0.15	0.14	0.11	0.12
MgO	8.18	6.78	10.35	10.53	8.11	10.92	11.61	8.04	8.00	7.09	5.47	10.09	9.77	9.51	11.69	9.17
CaO	9.69	11.60	13.89	14.67	13.01	15.43	15.54	10.67	10.39	10.67	9.38	8.99	10.52	10.52	11.87	13.89
Na ₂ O	2.45	3.42	1.84	1.34	2.39	0.97	0.90	2.28	2.38	2.84	3.28	3.78	3.20	3.58	2.85	2.14
K ₂ O	1.34	0.10	0.11	0.02	0.27	0.02	0.02	0.61	0.86	1.44	0.90	0.17	0.11	0.14	0.23	0.23
P ₂ O ₅	0.15	0.04	0.03	0.01	0.05	0.01	0.02	0.12	0.11	0.03	0.18	0.09	0.07	0.08	0.04	0.03
Ateşte kayıp	2.67	2.01	1.54	2.13	1.18	2.14	1.71	2.53	2.66	1.84	2.12	1.80	1.46	1.29	2.47	1.92
Toplam	99.60	99.80	99.80	99.70	99.70	99.60	99.70	99.70	99.70	99.70	99.80	99.70	99.70	99.80	99.60	99.60
Eser elementler, ppm																
Ba	205	43	201	21	23	20	21	181	170	172	147	25	40	78	141	105
Cr	296	28	275	1281	356	1142	1110	264	466	130	63	413	426	136	514	395
Ga	19	13	8	12	13	11	12	18	18	19	20	14	15	14	13	14
Nb	4	3	2	3	3	2	2	2	4	2	3	2	3	2	2	2
Ni	104	79	137	222	131	239	240	79	58	52	29	170	156	147	220	131
Rb	9	10	10	9	9	11	9	10	13	36	21	9	11	9	9	10
Sr	178	174	150	116	138	112	99	171	230	282	340	138	140	192	254	172
V	231	181	135	100	212	101	129	239	228	162	214	213	229	253	146	206
Y	28	12	8	5	16	3	8	26	25	19	14	19	19	15	8	13
Zn	120	39	32	20	60	21	19	84	77	63	65	49	49	42	30	34
Zr	71	22	23	11	38	10	10	93	92	40	46	54	46	33	18	23

Çizelge 2- Qushchi amfibolitlerindeki kalıntı magmatik klinopiroksen analizleri. Çözümleme sonuçları 6(O) bazına göre hesaplanmıştır.

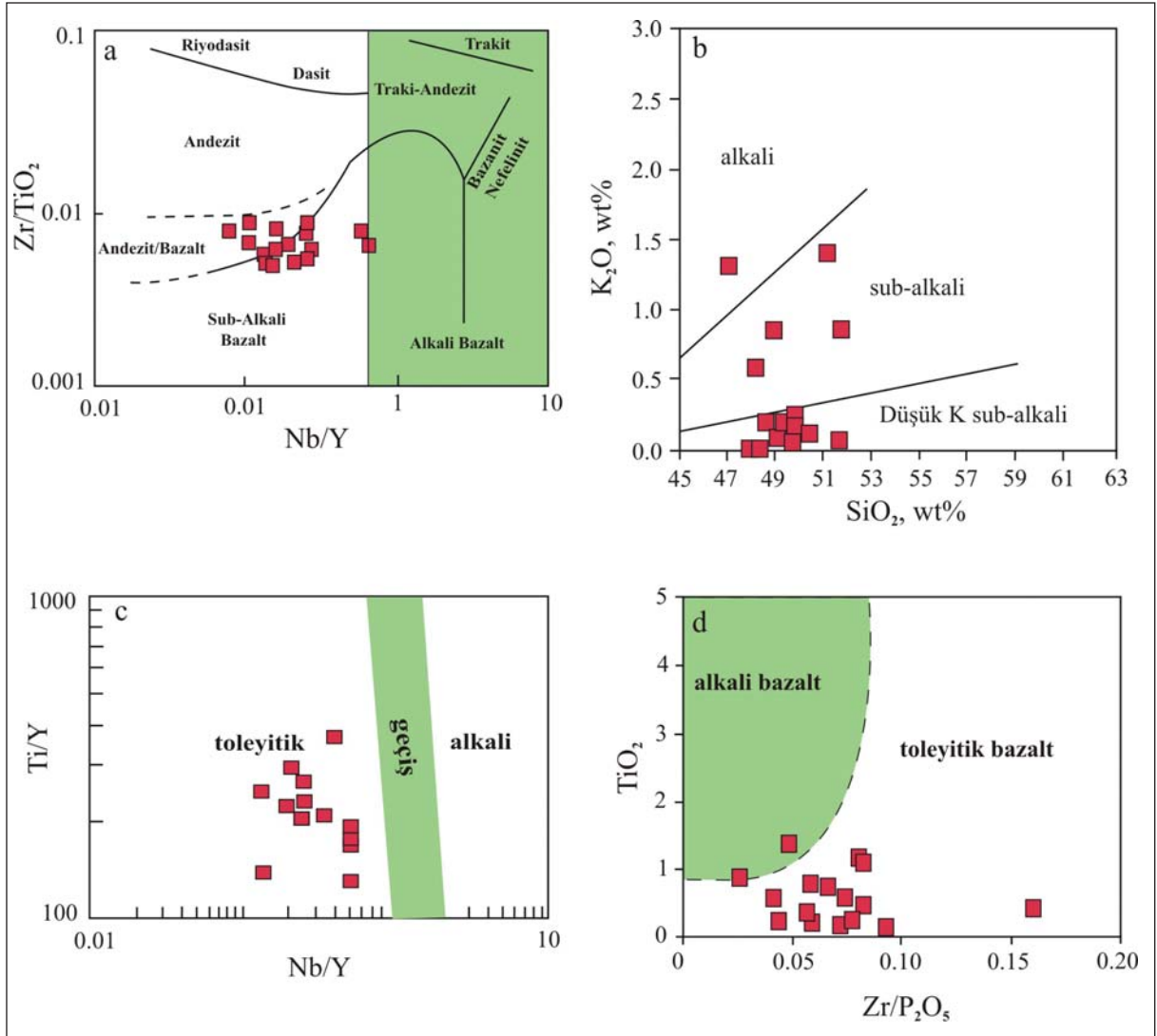
SiO ₂	54.80	54.71	54.29	54.52	54.36	54.43	54.16	54.29
TiO ₂	0.04	0.03	0.03	0.02	0.11	0.07	0.05	0.09
Al ₂ O ₃	1.06	0.71	1.13	0.94	1.30	1.42	1.16	1.25
Cr ₂ O ₃	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05	0.17
FeO	5.14	4.73	5.16	4.88	5.22	5.38	5.47	5.60
MnO	0.13	0.16	0.09	0.13	0.15	0.13	0.16	0.13
MgO	15.75	15.91	15.49	15.76	15.35	15.31	15.47	15.14
CaO	25.00	25.19	24.98	25.00	24.89	24.83	24.71	24.95
Na ₂ O	0.31	0.21	0.37	0.30	0.34	0.40	0.35	0.39
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Toplam	102.25	101.65	101.56	101.57	101.71	101.97	101.57	102.01
Si	1.97	1.98	1.96	1.97	1.96	1.96	1.96	1.96
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	0.04	0.03	0.05	0.04	0.06	0.06	0.05	0.05
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ⁺³	0.04	0.03	0.05	0.04	0.03	0.04	0.05	0.04
Fe ⁺²	0.12	0.11	0.11	0.11	0.13	0.12	0.12	0.12
Mn	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.84	0.86	0.84	0.85	0.83	0.82	0.83	0.81
Ca	0.96	0.97	0.97	0.97	0.96	0.96	0.96	0.96
Na	0.02	0.01	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Toplam	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Mg/(Mg+Fe ⁺²)	0.88	0.88	0.89	0.89	0.87	0.87	0.88	0.87
Fe ⁺² /(Fe-toplam)	0.76	0.78	0.68	0.73	0.79	0.75	0.70	0.74
Al/(Al+Fe ⁺³ +Cr)	0.54	0.49	0.49	0.50	0.63	0.60	0.49	0.52

arasında değişmektedir. Çözümlemesi yapılan klinopiroksen minerallerinin, Ti (0.003 birim formül başına düşen atom sayısı, apfu), Al (0.03-0.06 apfu), Fe⁺³ (0.03-0.05 apfu), Fe⁺² (0.106-1.125 apfu), Mn (<0.005 apfu) ve Na (0.015-0.028 apfu) katyonlarının değerleri düşük, Si (1.96-1.98 apfu), Mg (0.815-0.856 apfu) ve Ca (0.958-0.975 apfu) katyonlarının değerleri ise nispeten yüksektir. Al^{VI}/Al^{IV} oranı da düşük olup 0.240-0.577 arasında değişmektedir.

5. Amfibolitlerin İksel Kayacının (protolit) Magma Karakteristiği ve Tektonomagmatik Özellikleri

Qushchi amfibolitlerinin ana ve iz element bileşimi, bunların eski bir magmatik kayacın (orto-amfibolit) metamorfizmasının ürünleri olduğunu ortaya koymaktadır. Magmatik kaynak malzemesine işaret eden yüksek Cr ve düşük K₂O ve Na₂O içerikleri de bu durumun kanıtlarındandır. Kayaç

türünü belirlemek amacıyla Zr/TiO₂-Nb/Y diyagramı (Winchester ve Floyd, 1977; immobil elementler) kullanılmıştır. Diyagramdan da açıkça görüldüğü gibi, ana kayaçlar (parental rocks) andezit/bazalt-bazalt bileşimindedir. Ayrıca, magmanın sub-alkalin karakterde olduğu da görülmektedir. Ana oksitler de magmanın sub-alkalin-K bakımından fakir sub-alkalin karakterde olduğunu göstermektedir (Şekil 7b). Immobil ve kısmen immobil element kimyaları magmanın toleyitik bileşimde olduğunu ortaya koymuştur. Ti/Y-Nb/Y diyagramında, tüm örnekler toleyit alanında yer almaktadır (Şekil 7c). Ayrıca, TiO₂-Zr/P₂O₅ diyagramı da kaynak malzeme olarak toleyitik bazalta işaret etmektedir (Şekil 7d). Buna göre, Qushchi amfibolitlerinin ana magmatik kayacının toleyitik bileşimde olduğu düşünülmektedir. Analizi yapılan 16 örneğin sadece üçü % 1'den büyük TiO₂ içeriğine sahiptir. Örneklerin TiO₂ içerikleri ve TiO₂'nin alterasyon ve metamorfizma (amfibolit fasiyesine kadar) sırasında



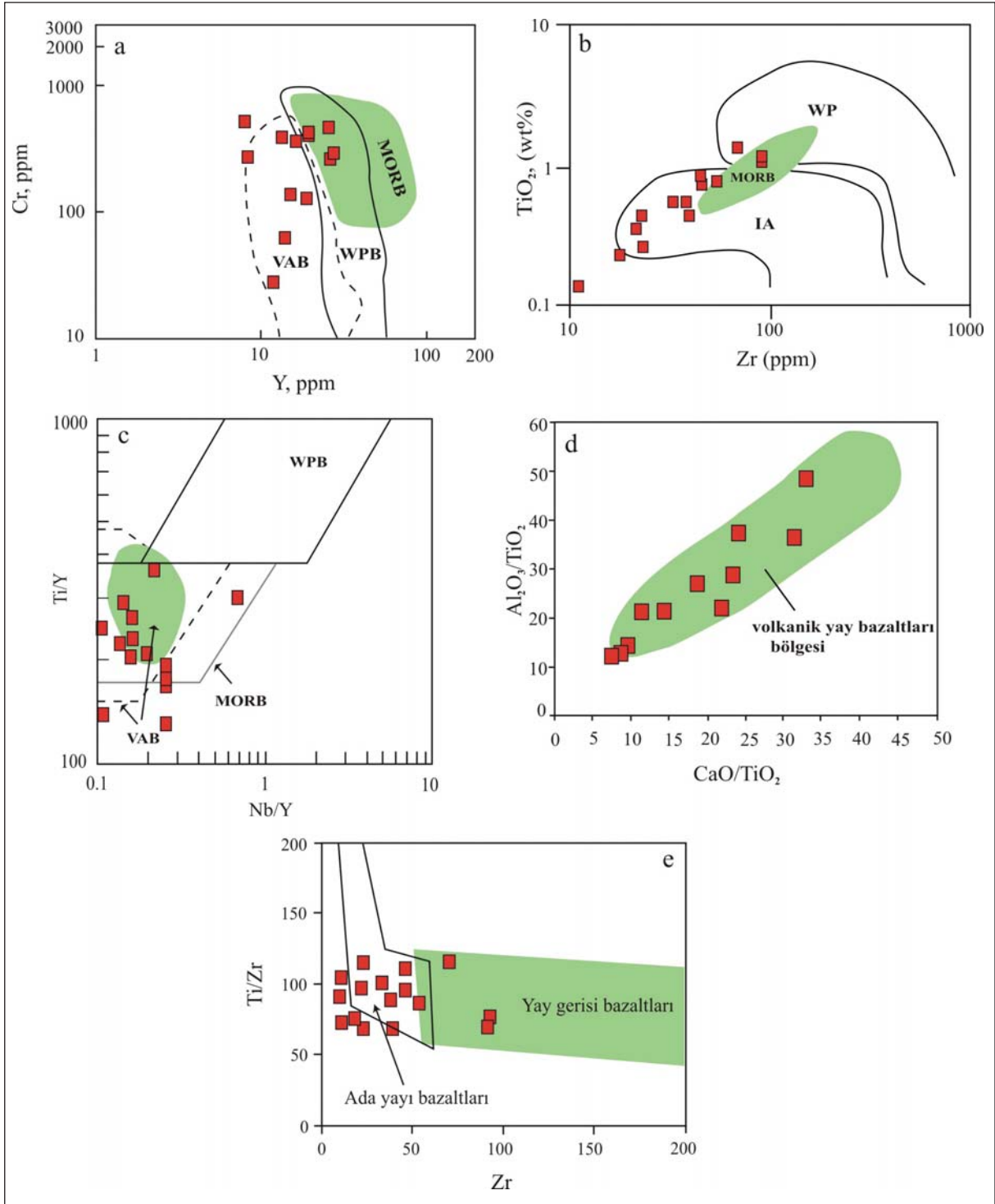
Şekil 7- Qushchi amfibolitinin ilksel kayacını (protolit) tespit etmek amacıyla kullanılan diyagramlar. Protolit, andezit/bazalt bileşimindedir ve orijinal magma sub-alkali toleyitik karakterdedir. a ve d diyagramları Winchester ve Floyd (1977)'den, b diyagramı Middlemost (1975) ve c diyagramı Pearce (1982)'den alınmıştır.

immobil olması da dikkate alındığında, Qushchi amfibolitlerinin protolitinin E-MORB toleyitik bileşimli bir magmadan itibaren kristalleştiği öngörülmektedir.

Qushchi amfibolitlerinin protolitinin paleotektonik ortamını belirlemek amacıyla, mafik kayaların tektonik ortam ayırtman diyagramları kullanılmıştır. Çalışılan örnekler, Cr-Y diyagramında (Şekil 8a) okyanus-ortası sırtı bazaltları (MORB), kıta-içi bazaltları (WPB) ve volkanik yay bazaltları (VAB) bölgesinde yer almaktadır. Örneklerin büyük bir çoğunluğunun VAB bölgesine düşmesine rağmen, tektonik ortam için kesin bir karar vermek mümkün değildir. TiO_2 -Zr diyagramında (Şekil 8b), örneklerin büyük çoğunluğu volkanik yay bölgesinde yer

alırken, birkaç örnek MORB ve WPB bölgesine düşmektedir. Nb/Y-Ti/Y diyagramında da benzer durum söz konusudur (Şekil 8c). Şekil 8d'de Al_2O_3/TiO_2 -CaO/ TiO_2 diyagramı açıkça amfibolit protoliti için volkanik yay ortamına işaret etmektedir. Volkanik yay ortamı ve yay gerisi baseninde oluşmuş kayaları ayırmak için, Ti/Zr-Zr diyagramı kullanılmaktadır (Şekil 8e). Örneklerin çoğu volkanik yay bölgesinde yer almaktadır. Bu nedenle, Qushchi amfibolitlerinin protoliti daha ziyade volkanik yay ortamında oluşmuştur.

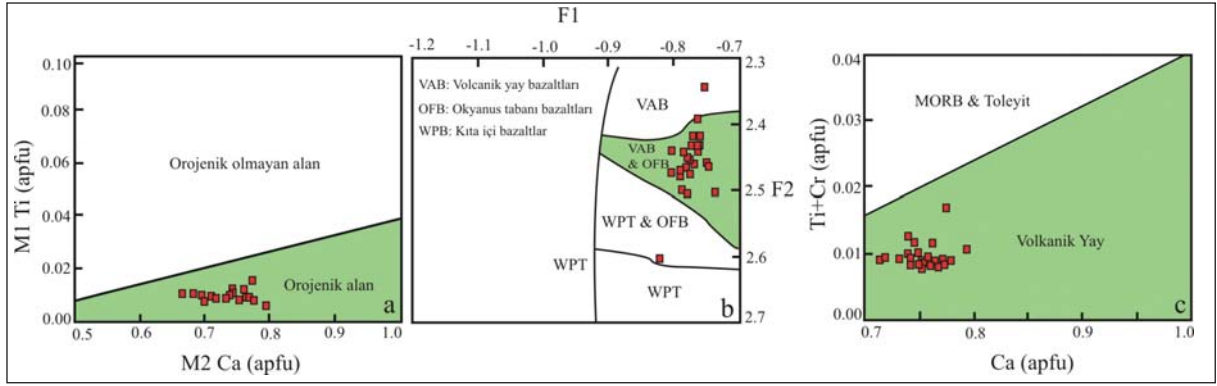
Kalıntı klinopiroksenlerin mineral kimyası çözümlenmeleri protolit tektonik ortamını doğrulamak için kullanılmıştır. Bu durum, magmatik



Şekil 8- Qushchi amfibolitlerinin ilksel kayacının oluştuğu tektonik ortamı belirlemek amacıyla kullanılan tektonik ortama ayırtman diyagramları. Açıklamalar için metne bakınız. A diyagramı Pearce vd., (1984), e,c, b diyagramları Pearce (1982) ve d diyagramı Sun ve Nesbitt (1978)'den alınmıştır.

kayaçlar için kabul edilir bir uygulamadır (Nisbett ve Pearce, 1977). Letierrier ve diğ. (1982)'nin sınıflama diyagramlarına göre (Şekil 9), Qushchi bölgesinden alınan örneklerdeki kalıntı magmatik

klinopiroksenler, protolitin sub-alkali magma karakterde olduğunu göstermektedir. Klinopiroksenlerdeki düşük Na₂O içeriği de magmanın sub-alkali karakterde olduğunu ve



Şekil 9- Amfibolitlerden alınan örneklerdeki kalıntı klinopiroksen çözümlenmelerinin Letierrier vd., (1982) diyagramında gösterimi. A) amfibolitlerin protolitinin orojenik ortamda oluştuğu gözlenmektedir (Letierrier vd., 1982). b) Nisbett ve Pearce (1977)'nin F1 – F2 diyagramına göre protolit, volkanik yay bazaltları veya okyanus tabanı bazaltları bölgesine düşmektedir. $F1 = -(0.012 * SiO_2) - (0.0807 * TiO_2) + (0.0026 * Al_2O_3) - (0.0012 * FeO) - (0.0026 * MnO) + (0.0087 * MgO) - (0.0128 * CaO) - 0.0419 * Na_2O$. $F2 = -(0.0469 * SiO_2) - (0.0818 * TiO_2) + (0.0212 * Al_2O_3) - (0.0041 * FeO) - (0.1435 * MnO) + (0.0029 * MgO) + (0.0085 * CaO) + (0.016 * Na_2O)$. c) Letierrier vd., (1982)'nin Ti+Cr - Ca diyagramı Qushchi amfibolitlerinin protoliti için açıkça volkanik yay ortamını göstermektedir.

klinopiroksenlerin nispeten düşük basınçta kristalleştiğini doğrulamaktadır (Bonev ve Stampfli, 2009). Ayrıca, Qushchi örneklerinin Ti içeriği de düşüktür. Bu durum, kaynak malzemenin tüketilmiş manto özelliğini yansıtabilir (Pearce ve Norry, 1979).

Qushchi amfibolitinin protolitinin kristalleştiği magmanın, volkanik yay ortamından türediğini doğrulamak amacıyla klinopiroksenlerin bileşimi değerlendirilmiştir. Letierrier vd., (1982)'nin Ti-Ca diyagramına göre, amfibolitlerin protoliti orojenik bir ortamda oluşmuştur. Tektonik ortamı kesin olarak tespit etmek amacıyla, Nisbett ve Pearce (1977)'nin F1-F2 diyagramı ile Letierrier vd., (1982)'nin Ti+Cr - Ca diyagramı kullanılmıştır (Şekil 9b ve 9c). Bu diyagramlar, volkanik yay-okyanus tabanı bazaltları ve volkanik yay ortamlarını göstermektedir.

6. Tartışma ve Sonuçlar

İran, Batı Azerbaycan Provesi'nde Qushchi doğusunda yer alan amfibolitler, mineralojik (yüksek miktarda hornblend ve plajiyoklas ve az miktarda kuvars içeriği) ve kimyasal olarak (düşük K_2O) orto-amfibolitlerdir ve mafik magmatik kayacın metamorfizması sonucu oluşmuştur. Protolit, sub-alkali andezit/bazalt-bazalt bileşimindedir. Protoliti oluşturan magma toleyitik karakterdedir. Tektonik ortam ayırtman diyagramları bu magmanın volkanik yay ortamından türediğini göstermiştir. Amfibolitlerin yaşı kesin olarak bilinmemektedir. Ancak, Haghypour ve Aghanabati (1989), amfibolitler ile tektonik dokanaklı Permiyen kireçtaşlarının metamorfizma geçirmemiş olmasına dayanarak, amfibolitlerin yaşını Prekambriyen-Paleozoyik

olarak öngörmüştür. Azizi ve diğ. (2011), çalışma sahasının kuzeyindeki Khoy amfibolitlerinin metamorfizma yaşını Üst Kretase-Alt Triyas (Rb-Sr mineral izokron), protolitin yaşını ise Üst Paleozoyik (U-Pb zirkon) olarak belirtmiştir. Metamorfizma göstermeyen Permiyen kireçtaşlarının çalışma sahasındaki amfibolitler ile tektonik dokanaklı olarak bulunması, Qushchi bölgesindeki metamorfizmanın yaşı hakkında bir karara varmayı güçleştirmektedir. Salmas bölgesindeki ofiyolitik melanj Üst Kretase-Paleosen yaşındadır. Çalışılan amfibolitler, bu ofiyolit tektonik parçaları olarak değerlendirilebilir.

Eğer bu kayaçlar geç Kretase-Paleosen yaşındaysa, Neotetis okyanus kabuğundaki volkanik yayın bir parçası olarak oluşmuş olabilirler. Bu durumda, ofiyolitik kompleks ve volkanik yay kayaçları, Neotetis okyanusunun kapanması ve kıtasal çarpışmayı takiben amfibolit fasiyesi metamorfizmasına maruz kalmışlardır. Diğer bir senaryo ise, çalışma bölgesindeki amfibolitler, ofiyolitlerden daha yaşlıdır. Bu durumda, Qushchi bölgesindeki amfibolitler, Khoy bölgesindeki (Azizi vd., 2011) benzer amfibolitlerin birer eşleniğidir ve Neotetis'in kapanmasından önce oluşmuştur. Buna rağmen, ofiyolitik melanj içerisindeki serpantinlerin antigorit polimorfları içermemesi ve amfibolit fasiyesi koşullarında metamorfizmaya uğramaması dikkate alındığında, çalışma sahasındaki amfibolitler büyük olasılıkla melanjın bir parçası değildir. Üçüncü olasılık ise, amfibolitlerin ilksel kayacının (protolit) jenezi ofiyolit oluşumu ile eş zamanlıdır, ancak protolit yığılma prizması içerisinde metamorfizmaya maruz kalırken, üzerleyen ofiyolitik kayaçlar (serpantin de dahil) metamorfizmaya uğramamıştır.

Amfibolitler üzerinde gerçekleştirilecek radyometrik yaş tayinleri bu problemi çözmekte ve oluşum tarihçesini belirlemede yardımcı olacaktır.

Katkı Belirtme

Bu çalışma, finansal olarak Tebriz Üniversitesi Araştırma ve Teknoloji Bürosu tarafından desteklenmiştir. Analizlerin gerçekleştirilmesindeki yardımlarından dolayı Potsdam Üniversitesi'nden C. Hunter ve A. Musiol'e teşekkürlerimi sunarım. Dr. M.C. Göncüoğlu ve Dr. O. Candan değerli eleştiri ve önerileri ile makalenin gelişmesine büyük katkı sağlamışlardır. Ayrıca yardımlarından dolayı editör Dr. Taner Ünlü ve yardımcı editör Cahit Dönmez'e içten teşekkür ederim.

Geliş Tarihi: 20.11.2013

Kabul Tarihi: 21.04.2014

Yayınlanma Tarihi: Aralık 2014

Değnilen Belgeler

- Aftabi, A., Ghodrati, Z., MacLean, W. H. 2006. Metamorphic textures and geochemistry of the Cyprus-type massive sulfide lenses at Zurabad, Khoy, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 27, 523–533.
- Azizi, H., Moinvaziri, H., Mohajjel, M., Yagobpoor, A. 2006. PTt path in metamorphic rocks of the Khoy region (northwest Iran) and their tectonic significance for Cretaceous– Tertiary continental collision. *Journal of Asian Earth Sciences* 27, 1–9.
- Azizi, H., Chung, S-L., Tanaka, T. Asahara, Y. 2011. Isotopic dating of the Khoy metamorphic complex (KMC), northwestern Iran: A significant revision of the formation age and magma source. *Precambrian Research* 185, 87–94
- Bonev, N., Stampfli, G. 2009. Gabbro, plagiogranite and associated dykes in the supra-subduction zone, Evros Ophiolites, NE Greece. *Geological Magazine* 146, 72-91.
- Coish, R.A., 1997. Rift and ocean floor volcanism from the late Proterozoic and Early Paleozoic of the Vermont Appalachians in Sinha, A.K., Whalen, J.B., Hogan, J.P. eds., The nature of magmatism in the Appalachian Orogen. *Geological Society of America Memoir* 191, 129-145.
- Dilek, Y., Moores, E. M. 1990. Regional tectonics of Eastern Mediterranean ophiolites, in Malpas, I., Moores, E.M., Panagiotou, A., and Xenophontas, C., eds., Ophiolites- Oceanic Crustal Analogues. Proceedings of the Troodos Symposium: *Nicosia Geological Survey Department*, p. 295–309.
- Droop, G. T. R., 1987. A general equation for estimating Fe³⁺ concentration in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses using stoichiometric criteria. *Mineralogical Magazine* 51, 431–435.
- Floyd, P.A., Winchester, J.A. 1978. Identification and discrimination of altered and metamorphosed volcanics using immobile elements. *Chemical Geology* 21, 291-306.
- Göncüoğlu, M. C., Sayit, K., Tekin, U.K. 2010. Oceanization of the northern Neotethys: geochemical evidence from ophiolitic mélange basalts within the Izmir-Ankara suture belt, NW Turkey. *Lithos*, 116, 175–187.
- Haghipour, A., Aghanabati, A. 1989. Geological map of Iran 1:2,500,000 scale. *Geological Survey of Iran*. Second edition.
- Hartle, T. H. D., Pattison, D. R. M. 1996. Genesis of the Kapuskasing (Ontario) migmatitic mafic granulites by dehydration melting of amphibolite: the importance of quartz tectonite progress. *Journal of Metamorphic Geology* 14, 591–611
- Hassanipak, A. A., Ghazi, A. M. 2000. Petrology, geochemistry and tectonic setting of the Khoy ophiolite, northwest Iran: implications for Tethyan tectonics. *Journal of Asian Earth Sciences* 18, 109-121.
- Juteau, T., 2004. The ophiolites of Khoy (NW Iran): their significance in the Tethyan ophiolite belts of the Middle-East. *Comptes Rendus Geoscience* 336, 105–108
- Khalatbari-Jafari, M., Juteau, J., Bellon, H., Whitechurch, H., Cotton, J., Emami, H. 2004. New geological, geochronological and geochemical investigations on the Khoy ophiolites and related formations, NW Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 23, 507–535
- Khodabandeh, A. A., 2003. Geological map of Salmas. 1:100,000 map series, *Geological Survey of Iran*.
- Leterrier, J., Maury, R. C., Thonon, P., Girard, D., Marchel, M. 1982. Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of paleo-volcanic series. *Earth and Planetary Science Letters* 59, 139–154.
- Middlemost, E.A.K. 1975. The basalt clan. *Earth Science Review* 11: 337-64.
- Moazzen, M.; Oberhänsli, R., 2008. Whole rock and relict igneous clinopyroxene geochemistry of ophiolite-related amphibolites from NW Iran – Implications for protolith nature. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen* 185/1, 51–62.
- Moazzen, M., Alchalan, S., Hajjialioghli, R., Morishita, T., Rezaei, M. 2012. Ophiolitic peridotites from the Western Khoy ophiolitic complex, NW Iran; Petrological and geochemical characteristics and application for connecting the Baft-Khoy and Izmir-Ankara-Erzincan sutures. *In: Proceedings*

- of *International Earth Science Colloquium on the Aegean Region*, 1–5 October 2012, Izmir, Turkey, p 9.
- Moazzen, M., Hajjalioghli, R., Möller, A., Droop, G.T.R., Oberhänsli, R., Altenberger, U., Jahangiri, A. 2013. Oligocene partial melting in the Takab metamorphic complex, NW Iran: Evidence from in situ U-Pb geochronology. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran* 24, 217-228.
- Monsef, I., Rahgoshay, M., Mohajjel, M., Shafaii Moghaddam, H., 2010. Peridotites from the Khoy Ophiolitic Complex, NW Iran: Evidence of mantle dynamics in a supra-subduction-zone context. *Journal of Asian Earth Sciences* 38, 105–120.
- Morimoto, N., Fabries, J., Ferguson, A. K., Ginzburg, I. V., Ross, M., Seifert, F., A., Zussman, J., Aoki, K. , Gottardi, G. 1988. Nomenclature of pyroxenes. *Mineralogical Magazine* 52, 535–550.
- Nabavi, M. H. 1976. An introduction to the geology of Iran. *Geological Survey of Iran*. (in Persian).
- Nisbet, E. G., Pearce, J. A. 1977. Clinopyroxene composition in mafic lavas from different tectonic settings. *Ibid.* 63, 149–160.
- Okay, A.I., Tüysüz, O. 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. In: Durand B, Jolivet L, Horvath E, Seranne M (eds) *The Mediterranean Basins: tertiary extension within the Alpine Orogen. Geological Society London Special Publication*. 156: 475–515.
- Pearce, J.A. 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Thorpe, R.S. (eds), andesites. *Wiley, Chichester*, 525-548.
- Pearce, J.A., Cann, J.R. 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace elements analysis. *Earth and Planetary Science Letters* 19, 290-300.
- Pearce, J. A., Norry, M. J. 1979. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 69, 33-47.
- Pearce J. A., Harris N. B. W., Tingle A. G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology* 25, 956–983.
- Potts, P. J., Tindle, A. G., Webb, P. C., 1992. *Geochemical Reference Material Compositions. CRC Press, Boca Raton, FL., USA.*
- Rollinson, H.R. 1993. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. *Longman Group, UK*, 1st edition. 352p.
- Sarifakioğlu, E., Özen, H., Çolakoğlu, A., Sayak, H. 2010. Petrology, mineral chemistry, and tectonomagmatic evolution of Late Cretaceous suprasubduction-zone ophiolites in the Izmir–Ankara–Erzincan Suture Zone, Turkey. *International Geology Review* 52(2-3) 187-222.
- Seewald, J.C., Seyfried, W.E. 1990. The effect of temperature on metal mobility in Sub Sea floor hydrothermal systems: Constraints from basalts alteration experiments. *Earth and Planetary Science Letters* 101, 388-403.
- Stampfli, G.M., 1978. Etude géologique générale de l'Elburz oriental au S de Gonbad-e-Qabus, Iran N-E. Faculty of Science, University of Genève Thesis No. 1868, 329 pp.
- Stöcklin, J., 1968. Structures history and tectonic of Iran: A review. *American Association of Petroleum Geologist Bulletin* 52(7)
- Sun, S.-S., Nesbitt, R.W., 1978. Geochemical regularities and genetic significance of ophiolitic basalts. *Geology* 6, 689–693.
- Topuz, G., Göçmengil, G., Rolland, Y., Çelik, F, Zack, T., Schmitt, A., K. 2013. Jurassic accretionary complex and ophiolite from northeast Turkey: No evidence for the Cimmerian continental ribbon. *Geology* 41, 255-258.
- White, W.M. 2001. *Geochemistry: An on-line text book*, <http://www.imwa.info/Geochemie>, John - Hopkins University press. 700p.
- Winchester, J.A., Floyd, P.A. 1977. Geochemical discrimination of different magmas series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology* 16, 325-343.