



Pütürge Metamorfitleri'ndeki distenli kuvarsitlerin mineralojisi

The mineralogy of kyanite quartzite in the Pütürge metamorphites

Filiz Güngör

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Bölümü, Elazığ, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Geliş Tarihi: 14 Nisan 2016
Revizyon Tarihi: 05 Ekim 2016
Kabul Tarihi: 21 Aralık 2016
Elektronik Yayın Tarihi: 31 Aralık 2016
Basım: 31 Ocak 2017

ÖZET

Pütürge metamorfitlelerinde gözlemlenen kayaçlar, pelit/semi-pelit, pisamit, metagranit, gnays, şist, amfibolit, mermer ve kuvarsit'dir. Mineral parajenezleri, masifin amfibolit fasiyesinin disten- almandin-muskovit ve staurolit- almandin alt fasiyeslerinde ilerleyen, granat mineralinin klorit ve biyotite dönüşümü, distenin muskovite dönüşümü gibi özelliklerden ise yeşilşist fasiyesinde gerileyen olarak, iki tür metamorfizma geçirmiş olduğunu anlaşılır. Yaklaşık SiO₂ %35 ve Al₂O₃ %40, Fe₂O₃, Cr₂O₃ ve az miktarda CaO, MgO, FeO ve TiO₂ içeren merccek, damar veya pegmatitik kütleler şeklinde bulunabilen distenli kuvarsitler, Pütürge metamorfitlelerinde mikaşistler ve gnayslar içinde, bazı alanlarda ise fay zonlarıyla ilişkili ve amfibolitlere yakın konumda görülür. Distenli kuvarsitler asidik, ortaç volkanik ve subvolkanik kayaçlar veya adayayı derinlik ve volkanitlerinin metamorfizmasıyla ilişkili olabilirler. Metamorfizma öncesi veya yapısal faktörlerin kontrolünde eş zamanlı metamorfizmada, alüminyum içeriği yüksek killerin yükselme sırasında C, Fe, Mg, Al, kısmen Si'ca zengin sulu karbon eriyiğinin, belirli bir basınçta ve ilerleyen metamorfizmada mineral içerisine girmesi sonucu kayaçlarda mineralojik ve kimyasal değişimler meydana gelir. Kayaç içerisinde kuvars, Mg-siderit, grafit gibi kapanım mineralleri gelişir. Disten içeren pelitik kayaçların ana oksitlerinden K₂O miktarının düşük olması, köken kayacın bileşimi veya alterasyonun gelişmemiş olmasıyla ilgilidir. Distenlerle birlikte bulunan kuvarsların Al ve Fe içeriklerinin yüksek olması, kapanım minerallerinin türüyle veya kuvarsların metamorfizma sırasında doğal radyoaktiviteye maruz kalmış olmasıyla açıklanabilir. Zira, radyoaktiviteyi pelitler içerisindeki biyotit minerallerinde de görmek mümkündür.

Anahtar sözcükler: Mineraloji, Jeokimya, Disten kuvarsit, Metamorfiz

ABSTRACT

The Pütürge metamorphic complex consists of pelit/semi-pelit, pisamite, metagranite, gneiss, amphibolite, quartzite, marble. Mineral paragenesis, the transformation of the garnet mineral advancing on the kyanite- almandine-muscovite and staurolite-almandine sub-facies of the amphibolite facies of the massive to chlorite and biotite minerals along with the transformation of the kyanite mineral to muscovite mineral show that the massive has undergone two retrograde metamorphisms on the greenschist facies. The exhumation process of the rocks is seen as the cause of the retrograde metamorphism. Generally kyanite quartzite consists of 35% SiO₂ and 40%Al₂O₃, Fe₂O₃, Cr₂O₃ and rarely CaO, MgO, FeO ve TiO₂. It is closed fault zone or amphibolite and can be lens-shaped, pegmatitic in Pütürge metamorphite. Kyanite quartzite are produced metamorphism of acidic, nötr volcanic and subvolcanic or arc rocks; syn-metamorphism developed with pre-metamorphism or tectonic factors, metamorphism of high alumina clays, especially insert rock of C, Fe, Al, Mg fluids. In the pressure fluids inserts mineral in the prograd metamorphism and in the mineral are mineralogic-chemical changes. It seen quartz, Mg-syderite, graphite inclusions. It is low K₂O from major oxides. Also this are relations rock composition or high sericitization alteration. The high Al and Fe trace element composition of quartz in kyanite quartzite related to inclusion mineral or nature radioactivite of quartz. Because radioactivite is visible into biotite in the pelitic rocks.

Keywords: Mineralogy, Geochemistry, Kyanite quartzite, Metamorphite

1. Giriş

İnceleme alanı, Malatya'nın kuzeybatısında Pütürge Metamorfitleri içerisindeki yeralan, Düvenli-Gözlüce ve Koçköyü arasındaki distenli kuvarsitleri konu almaktadır. Torid- Anatolid platformu üzerinde yer alan pelitik, yarı pelitik, metabazit, yer yer metakarbonat kökenli şist, gnays, amfibolit, amfibol şist, mermer ve kuvarsit türü kayaç gruplarından oluşan Pütürge metamorfite, bölgesel metamorfizmanın ilerleyen üst yeşilşist ve amfibolit fasiyesi metamorfizma koşullarında oluşmuştur.

Distenli kuvarsitlerde ve pelitik kayaçlarda sıkça gözlenen disten minerali, metamorfizmada yüksek amfibolit fasiyesinden, granülit fasiyesine geçiş koşullarını gösterir (1). Disten bir yüksek basınç mineralidir ve yüksek basınç koşullarındaki, mineraller H_2O ve/veya CO_2 kristal yapılarından atmakta ve açığa çıkan bu akışkanlar, ya yeni mineralleri oluşturmak için kristal kafesine yeniden katılmakta veya mineraller arası boşlukta korunmaktadır. Mineral yapısındaki bu etki kimyasal değişime ve anyon/katyon hareketliliğine sebep olmaktadır (2). Metamorfizmadaki akışkanın varlığı (H_2O , CO_2vb gibi) ve kaynağı, bölgesel metamorfizma sırasındaki dehidratasyonla sıcaklık arasındaki denge durumunun belirlenmesini sağlar. Suyun varlığında değişime uğrayan lavsonit minerali, epidot, disten ve kuvars mineral topluluğunu oluşturur (3, 4, 5, 6). Yapılan çalışmalar, metamorfizmadaki yüksek basıncın, anhidroz minerallerde su içeriğinin artmasına, yitim veya yükselme olaylarında da metamorfizma reaksiyonlarının oluşmasında etkisi bilinmektedir (7). Metamorfizma için bu derece önemli olan su; Basınç altında, ergime sıcaklığı, iyonik yayılım, element hareketliliği, sıvı haldeki madde özelliği, elektiriksel iletkenlik gibi özellikleride etkilemektedir (8).

Disten kimyasal bileşimi, Al_2O_3 ve SiO_2 dışında Fe_2O_3 , Cr_2O_3 ve çok az miktarda CaO , MgO , FeO ve TiO_2 içeren bir mineraldir (9). Ayrıca, Fe ve Cr yüksek konsantrasyonlarda görülebilmektedir (10). Genellikle açık mavi renkte, bazen yeşil veya beyaz, çok az da olsa gri renkte görülebilen disten, camsı bir görünüme sahiptir ve dilinim yüzeyleri inci parlaklığındadır. Mineralojik olarak disten, kuvars, fenjit ve zirkon içeren metamorfik kayaçlar, kabuğun yitimi ardından manto sıcaklığında metasomatizmayla, çarpışma zonlarında gelişen metamorfizmayla veya granitik gnaysların metasomatizma ve/veya metamorfizmasıyla oluşabilir. Disten mineralince zengin distenli kuvarsitler, bu metamorfik bölgelerin herhangi birinde gelişebilir. Disten kuvarsitler ekonomik rezerv bakımında

sıklıkla incelenen kayaç gruplarıdır. Özellikle bu kayaçların içerdikleri disten ve kuvars mineralleri mineralojik ve kimyasal özelliklerine göre, pekçok ülke (Norveç, Rusya, ABD) değişik endüstri kollarında kullanılmaktadır. Dolayısıyla oluşum özellikleri kadar ekonomik önemleri bakımından araştırılması gereken kayaçlardır. Türkiye'de Gördes metamorfite (Manisa) içerisindeki distenli kuvarsit pegmatoidlerinin ekonomik değerlendirilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır (11, 12, 13).

Yukarıda ifade edildiği gibi oluşum yerleri ve kökenleri bakımından farklılık sunan bu kayaçların (9, 10, 14), basıncın yüksek olduğu koşullarda, yüksek Al_2O_3 , daha az SiO_2 bileşimine sahip olduğu ve %10-40 oranında disten içerdiği bilinir. Bu kayaçlar asla feldispat içermezler ve ikincil mineral olarak zirkon, pirit, Fe-Ti oksit ve sülfid kapsarlar. Al-fosfat mineralleri, Cr-mika ve prograd metamorfizma ürünü potassik silikatlar bulunuyorsa, sedimanter kökenli disten kuvarsit olduğunu gösterir (15, 16). Distenli kuvarsitler mağmatik kökenli ise asitik, ortaç volkanik ve subvolkanik kayaçlar veya adayayı derinlik ve volkanitlerinin metamorfizmasıyla (17, 18), pre-metamorfizmada adayayı felsik ve ortaç volkanit ve subvolkanik intrüzyonlarda arjillik alterasyonuyla oluşabilir (18, 19, 20).

Distenli kuvarsitler arazide, merceksi, damar şeklinde veya yapısal etkenlerin kontrolünde metamorfizma ile eş zamanlı metasomatizmayla oluşan pegmatoidler şeklinde bulunur (21, 22). Oluşumları ve kökenlerinin belirlenmesinde, arazi gözlemlerinin yanısıra mineralojik ve kimyasal verilerin birlikte değerlendirilmesi önemlidir.

Bu çalışmada, metamorfikler içerisinde gözlenen distenli kuvarsitlerin oluşum koşulları ve kökeninin belirlenmesi amacıyla detaylı mineralojik, petrografik ve mineral oksit-iz element verileri jeolojik ortamı içinde birlikte değerlendirilmiştir.

2. Analitik Yöntemler

İnceleme alanından alınan toplam 45 adet örnekten Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi (FÜMF) Jeoloji Mühendisliği Bölümü İnce Kesit ve Parlatma Laboratuvarı'nda 23 adet ince kesit hazırlanmıştır. Petrografik tanımlamalar yapmak üzere incekesitler Leica marka DM/LSP model polarizan mikroskopta incelenmiştir. Önemli bulunan kesitlerden mineralojik bileşimi ve dokusal özellikleri yansıtmak üzere çok sayıda fotoğraf çekilmiş ve önemli özellikler sunanlar seçilerek yayına konulmuştur.

Çalışma alanından derlenen örnekler üzerinde mineralojik ve petrografik incelemeler yapıldıktan sonra distenli kuvarsitlerden seçilen örnekler, Kanada ACME laboratuvarlarına ana ve eser element analizleri için LAICP-MS yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir.

Mineral kimyası çalışmalarında, araziden alınan disten örnekleri içerisindeki kapanım türlerinin belirlenmesi için Raman Spektroskopisi, distenlerin kimyasal değişimlerinin tespit edilebilmesi için EPMA (Electron Probe Microanalysis) analizleri yapılmıştır. Mineral bileşimleri, Kanada Aktivasyon Analiz Laboratuvarında JEOL JXA-8900R marka elektron probe mikro analizör ile tespit edilmiştir. Analizler 20 kv'lık artan voltaj, 10 nA akım ve 5 µm. lik ışın çapında yürütülmüştür. Raman spektroskopisi çalışmaları Ankara Üniversitesi Fizik laboratuvarında tarafımızca hazırlanmıştır.

3. Distenli Kuvarsitlerin Jeolojik Konumu

İnceleme konusu olan Distenli kuvarsitlerin yer aldığı, Pütürge Metamorfite masifi Güneydoğu Anadolu Bindirme Kuşağı boyunca yüzeylenen; Malatya, Keban ve Bitlis metamorfite masifleri olarak adlandırılan masiflerin en büyüğüdür. Pütürge metamorfite, pelit-yarı pelit, metakarbonat, metagranitoid türü gözlü/granitik gnays, mikaşistler, amfibolit ve mermer ara bantları veya mercekleri kapsamaktadır (Şekil 1). Distenli kuvarsitler genel olarak, pelit ve metapelitler içerisinde mercek veya stratiform uzanımlar şeklinde yayılım göstermektedir (Şekil 2). Örneklerden Koçköy civarındaki distenli kuvarsitler yaklaşık 10-15 metre uzunluk ve yaklaşık 1 metre kalınlıkta düzgün uzanım sunmaktadır. İnce-orta taneli gnayslar içerisinde ve amfibolitlere yakın konumlanmış olan örneklerin tamamı disten bakımından zengindir. Düvenli ve Gözlüce'den alınan örnekler ise mikaşistler içinde olup, uzun eksenleri şistozite doğrultusuna paralel olan değişik boyutlu mercek ve damarlar halinde bulunmaktadır. Koçköydeki örneklerden farklı olarak, kuvars kristalleri daha iri taneli ve miktar bakımından daha fazladır. Disten ise kuvarsa göre daha az ve tane boyutu bakımından daha küçüktür.

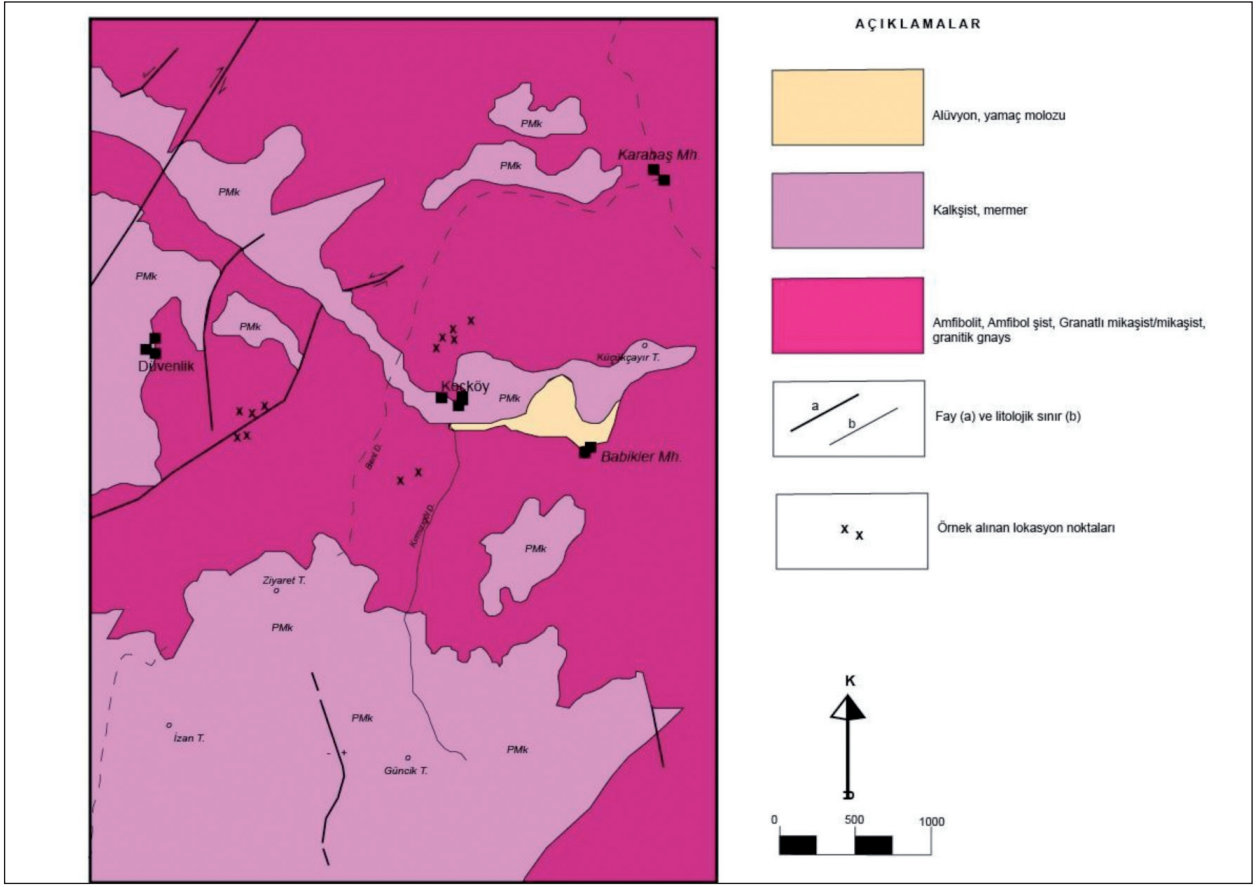
4. Petrografi ve Mineral Kimyası

Gnays ve mikaşistler içerisinde mercek veya laminalı tabakalar şeklindeki, distenli kuvarsitler ince tanelidir. Bazı alanlarda fay ve kırıklar boyunca pegmatitik damarlar halindedir ve ince laminalıdır. Laminalanma distenli seviyelerle, kuvarsa zengin seviyeler ardalanmalı olup, ara ara muskovit geçişleri mevcuttur. Laminalı distenli

kuvarsitlerin kalınlığı santimetreden birkaç metreye kadar değişebilir. Kuvarslı seviyeler %80 kadar kuvars içerirken, disten mineralinin baskın olduğu seviyeler maksimum %45 disten içerir. Petrografik incelemede genel olarak; distenli seviyelerde, kuvars ve distenle birlikte, disten mineralinin retrograd metamorfizma ürünü, muskovit ve serizit mineralleri görülür. Serizit fazlalığından dolayı, elek dokusuna benzer bir doku gelişmiştir.

Mineralojik incelemelerinde metamorfite, granat, stavrolit, disten, sillimanit gibi Barroviyen zonunu temsil eden indeks mineraller içermektedir. Bu mineral parajenezlerinden, bölgesel metamorfizmanın ilerleyen amfibolit fasiyesi metamorfizması ile gerileyen yeşilist fasiyesi metamorfizmasından etkilendiği ve disten + granat + biyotit + oligoklaz + kuvars (± muskovit) mineral topluluğu, 6-8 kbar basınç ve 600-670 °C sıcaklık koşullarını gösterir (1).

Mikroskobik incelemelerde, pelitik kayaların mineralojik bileşimlerinin; granat, ağırlıklı olarak muskovit, biyotit, stavrolit, klorit, serizit, apatit, zirkon, disten (Şekil 3), granat, sillimanit, muskovit, biyotit, kuvars, zirkon, apatit ve andaluzit, sillimanit, muskovit minerallerinden oluştuğu belirlenmiştir. Disten porfiroblastları canlı mavi, kırmızı, kahve ve sarı çift kırılma renklerine sahiptir (Şekil 4). Bu kristallerin aşırı mavi renkte olmaları TiO₂ değerinin yüksekliğinden kaynaklanmaktadır (Tablo 3). Tek yönde gelişmiş mükemmel dilinim ve dilinim doğrultusuna dik yönlü kırıklar bulunur (Şekil 5). Dilinim düzlemlerinde ve kırıklarında retrograd metamorfizma sonucu gelişmiş serizitler ve distenlerin daima dokusal bir ilişkide olduğu biyotitler gözlenmiştir (Şekil 6). Mikaşistlerdeki distenler, granitik gnays ve distenli kuvarsitlerdekine nazaran daha küçük porfiroblastlar şeklindedir. Distenle birlikte stavrolit, plajiyoklas, muskovit, klorit minerallerinin varlığı, metamorfizmanın ilerleyen derecesiyle birlikte yerini granat miktarındaki artışa bırakır ve bu şekilde disten, granat porfiroblastlarıyla birlikte yaklaşık 1cm boyutunda porfiroblast veya granatla yer değiştirmesi sonucu biyotitle birlikte küçük taneler şeklinde görülür (Şekil 3). Küçük disten kristalleri, biyotit+kuvars parajenezleriyle reaksiyona giren granat+muskovit parajenezinin, orta Amfibolit fasiyesi koşullarındaki büyük boyutlu rekristalizasyonun son evresini işaret eder (1). Kuvars ve muskovit kapanımları içeren granat porfiroblastları, kristal kenarları ve kırık yüzeyleri gibi zayıf zonlar boyunca kloritlemiştir (Şekil 3). Mikaşistlerde muskovit mineralinin oranı, biyotite nazaran daha fazla, ancak gnayslarda biyotit daha fazladır.



Şekil 1: İnceleme alanının jeolojik haritası ((23)'den kısmen değiştirilerek alınmıştır).

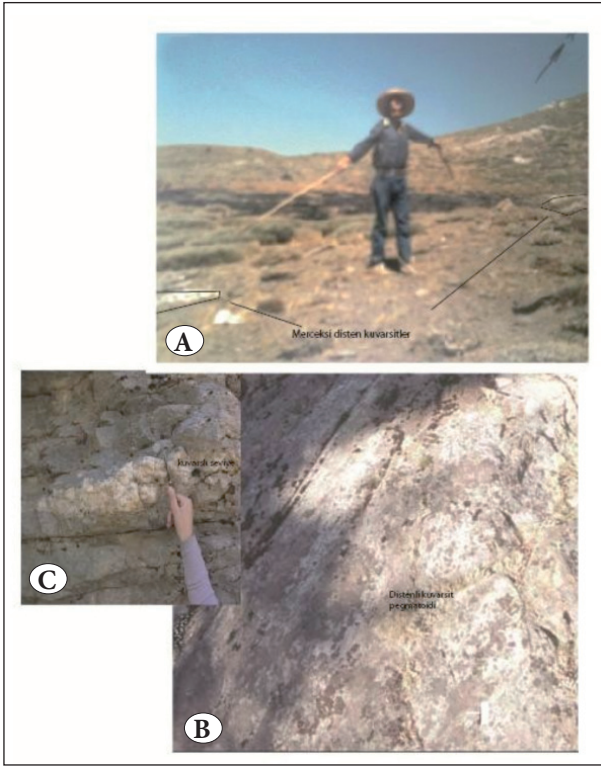
Biyotitle muskovit bu kayalarda, eş boy tanelidir. Çoğunlukla retrograd metamorfizma sonucu, klorite dönüşmüşlerdir (Şekil 5). Hem muskovit hemde biyotitler, kayacın genel dokusu içinde diğer mineraller ile birlikte bulunabildikleri gibi feldispat mineralleri içinde kapantı olarak da bulunmaktadır. Bazı biyotit tanelerinin içinde radyasyon hasarının gözlemlendiği zirkon mineralleri belirlenmiştir(24).

Disten kuvarsitler ise, %15-40 arasında değişen miktarlarda disten, silimanit, kuvars ve az miktarda muskovit ve serizit yaklaşık 6 kb, sıcaklığın ise 600 °C dolayında olduğunu gösterir. Granatın yaygın minerallerden biri olması, disten, stavrolit, andaluzit, zirkon gibi sıcaklık, nem ve yüksek minerallerinden ikincil olarak; Rutil (TiO₂), basınç ortamını karakterize eden, anhidroz- pirit (FeS₂) ve Fe-Ti içeren oksit ve sülfidlerden (%5-8) oluşur. Sedimanter kökenli kuvarsitlerde bu minerallerle birlikte feldispat ve biyotit, minör oranda görülebilir (Spence ve diğ., 1980). Distenli kuvarsitlerde Al₂SiO₅ polimorflarından andaluzit, silimanit ve distenin bir arada bulunması, oluşumları esnasında basıncın yoğunluğu yüksek ve yüksek simetriye

sahip minerallerin varlığı, sıcaklık ve basıncın yüksek olduğunun bir diğer işaretidir. Granat türü olarak Almandin'in varlığı ve biyotit minerali içerisindeki zirkon kapantılarında radyasyonun gözlenmiş olması ve yapılan hesaplamalar, metamorfitleerin sıcaklığının 628 °C olduğunu teyit etmektedir (25).

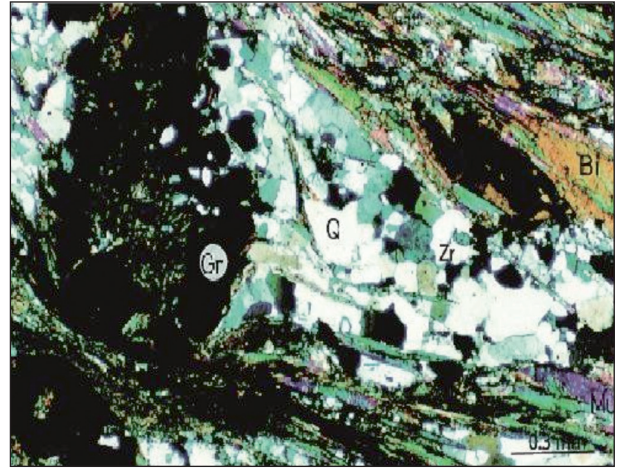
Pegmatoid türü distenli kuvarsitlerin oluşumunda yan kayacın doğrudan etkisinin olduğunu kabul etmek gerekir. Disten kapsayan, alüminyumca zengin olan yan kayalardan büyük oranda gelen alüminyum göçü, kayaç içerisinde iri kristalli distenlerin oluşumuna sebep olmuştur.

Disten mineralinin Elektron mikropirob analiz verilerinde, SiO₂ içeriğinin ortalama %50.60 olduğu görülür. Bu değer, Nystuen (1969a) tarafından ifade edilen ve disten mineralinin SiO₂ içeriğine (%10-15) göre oldukça yüksek olması, disten kristali içerisindeki kuvars kapanımlarından kaynaklanabileceği gibi kristal içine giren akışkanlarada bağlı olabilir (Şekil 5). Zira, distenlerde yapılan raman spektroskopisinde kuvars mineralinin yanında Mg-siderit ve grafit belirlenmiş olması, Silisle birlikte mineral içerisine C, Fe, Mg, ve Al'ca zengin sulu eriyiğin belirli bir basınç aralığında

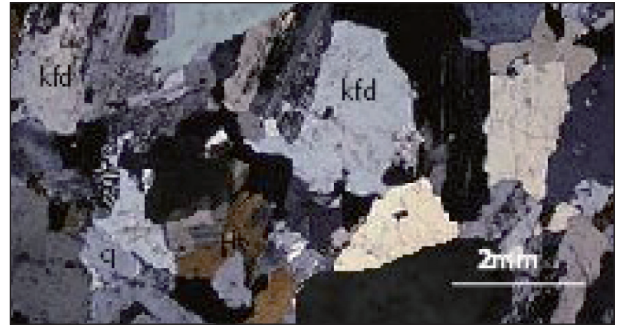


Şekil 2: Distenli kuvarsitlerin mercek (A), pegmatoid (B) şekilli arazi görünüşleri ve distenli kuvarsitlerin dokanağındaki kuvarsit mercekli amfibolit (C) arazi görünüşü (a-(23)' den alınmıştır).

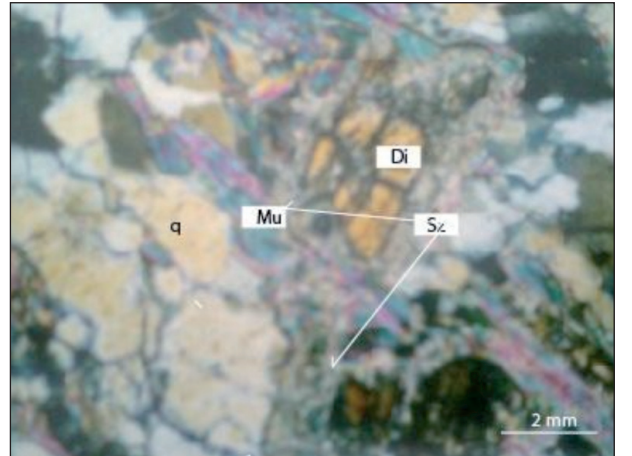
prograd metamorfizmasıyla gelişmiş olabilir (18). Tablo 1'de distenli kuvarsitlerin SiO_2 değeri her iki sahada da birbirine yakın değerlerdedir. TiO_2 ise Düvenli alanından alınan örneklerde düşük, Koçköy'deki örneklerde daha yüksektir. Bir diğer özelliğe, distence zengin seviyede Al_2O_3 yüksektir. Silis oranının distene göre yüksek olduğu seviyelerde ise Al_2O_3 oranı düşüktür. Bu özellik yan kayaçtan alüminyum taşınmasıyla yakında ilgilidir. K_2O içeriği ise oldukça düşüktür, dolayısıyla retrograd metamorfizmanın disten kristalini fazlaca etkilemediği, muskovit ve/veya serizit mineralleriyle yer değiştirmenin gelişmediğini ve köken kayaçta metamorfik ve/veya metazomatik işlevlerin etkili olduğu söylenebilir (20). Distenli kuvarsitler içerisindeki kuvarsların sadece iki örnekte yapılan ICP-MS analizlerinde; Kimyasal bileşimlerinin ortalama $Li < 1$ ppm, $Be < 2$ ppm, $B 2.0$ ppm, $Mn < 0.2$ ppm, $Ge < 0.5$ ppm, $Na < 87$ ppm, $Al 20$ ppm, $P < 4$ ppm, $K < 4$ ppm, $Ca < 53$ ppm, $Ti 6.1$ ppm $Fe < 2$ ppm dir. Alüminyum ve demir oranı kuvars için yüksek bir değerdir. Bu elementlerin yüksekliği kuvarstaki mikro kapanım türleriyle ilgili olabileceği ve kuvarsin doğal radyoaktiviteye maruz kalmış olabileceği şeklinde yorumlanmıştır. Zira K içeriği de yüksektir. Saf bir kuvars için $Al < 25$ ppm ve $Ti < 10$ ppm'dir (14).



Şekil 3: Mikaşitlerin mikroskobik görünümü. Feldispat (Fl), muskovit (Mu), biyotit (Bi), granat (Gr), zirkon (Zr) (25).

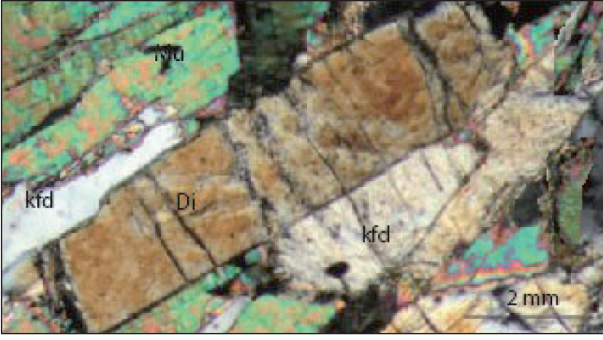


Şekil 4: Granitik gnaysların mikroskobik görünümü. Alkali feldispat (Kf), kuvars (q), hornblend (Hb).



Şekil 5: Disten porfiroblastlarının mükemmel polarizan rengi, dilinim izleri ve kapanımlar.

Analizi yapılan disten kuvarsitlerde, distenlerle birlikte bulunan kuvarsların Al ve Ti oranı saf kuvarsin bileşimi bu değerlerle uyumludur. Dolayısıyla işletilebilir kuvars özelliği sunmaktadır.



Şekil 6: Distenlerin mikroskop görüntüsü. Disten (Di), feldispat (Kfp), muskovit (Mu), kuvars (q).

Tablo 3'deki EPMA analiz verileri incelendiğinde, Koçköy (KYU kodlu) örnekleri, diğer sahalardan alınanların aksine MgO, FeO, TiO, CaO ve kısmen Na₂O bakımından yüksek değerlere sahiptir. Bu major oksitlerdeki artış, disten örneklerinin içinde bulunduğu kayacın kimyasal bileşiminden veya köken kayacın bu oksitlerce zengin olmasından kaynaklanabilir. Ayrıca, distenli kuvarsitlerin amfibolitlere yakın konumlanmış olması artan sıcaklıkta, rekristalizasyon aşamasındaki son evrede açığa çıkan akışkanların analizi yapılan kayaç içine sokulması da kimyasal bileşimi etkileyebilir. Düvenli-Gözlüce (DDK ve GK kodlu) örneklerinde, Al₂O₃ değerinde artış belirginken, CaO ve K₂O değerleri birbirine yakındır. Çünkü bu örnekler, pelitik kayaçlar içerisinde bulunur ve alüminyum gelişi vardır.

Retrograd metamorfizma sırasında muskovit ve disten minerallerinde kristal kafes yapısında bulunan Al, hızlıca ayrılmasına rağmen ortamdan uzaklaşması mümkün olmaz, dolayısıyla hem bozunma hem de Al₂O₃ bakımından zengindir (27).

Kuvarsitler ve metaarkozlar sıklıkla karıştırılır. Ancak bu iki kayaç grubu birbirlerinden alüminyumoksit oranıyla farklıdır. Metaarkozlarda < %9 Al₂O₃ kadar, kuvarsitlerde ise bu değerden fazladır. Analizi yapılan örneklerimizde bu değer %10-32 arasında (Şekil 7A) olması kuvarsit olduğunu işaret etmektedir. Al₂O₃ bileşimin fazlalığı alüminyumca zengin akışkanların taşınması, köken kayaç ve kısmen de yüksek basıncın işaretidir (28, 14).

Tablo 2'deki iz elementlerden Ba, W, Zr, Sr, Cr, V, Zr kökeninin belirlenmesinde kullanılan önemli elementlerdendir. Tablo 2 incelendiğinde, Düvenli civarındaki örneklerde Zr ve Ba daha yüksektir (Şekil 7b). Bu elementlerin yüksekliği sedimanter kökenli bir kayacın işareti olmasına rağmen sedimanter kuvarsit alanına düşmemektedir. Bu Zr ve Ba elementlerinin yan kayaçtan taşınmış olabileceğine veya magmatik kökenli bir zirkon zenginleşmesine sebep olmasından kaynaklanabilir ki; Mikroskopik incelemelerinde de, zirkon gerek kapanım gerekse mineraller arası boşluklarda yaygın olarak görülmektedir. Distenli kuvarsitlerin pelitik kayaçlar içerisindeki varlığında bu sonucu etkilemiş olabilir. Ayrıca Şekil 7B incelendiğinde, Cr/Zr oranınının Koçköy'den alınan örneklerde yüksek olması magmatik kökenli bir distenli kuvarsit oluşumunu işaret etmektedir. Koçköy örnekleri, fay ve kırık zonlarına ve amfibolitlere yakın konumlanmışlardır. Bu elementlerin yüksekliği amfibolit veya kırık zonlarından taşınmaylada gelişmiş olabilir.

İki sahaya ait distenli kuvarsitlerin tüm kayaç major oksit analizleri incelendiğinde, Koçköy'deki örneklerin TiO₂, FeO, MgO değerleri Düvenli örneklerine göre yüksektir. Al₂O₃ değerleri ise daha düşüktür. Her iki alandaki distenli kuvarsitlerdeki ortak özellikse, Disten'ce zengin seviyelerin Al, Fe ve Mg oksitlerce zengin olmasıdır. Bu durum distenin kimyasal bileşiminden veya bulunduğu ana kayacın mineral kimyasından kaynaklanabilir. Distenin miktar olarak düşük olduğu seviyelerde, Al, Fe ve Mg oksit değerleri düşük silis değerleri yüksek olup, kuvarsın oranı %70' in üzerinde, disten ise maksimum %25 kadardır.

5. Tartışma ve Sonuçlar

Güneydoğu Anadolu kuşağı boyunca yüzeyleyen masifler; Malatya metamorfiti, Keban metamorfiti Pütürge masifi ve Bitlis masifidir. Masifler arasında en çok araştırma yapılan masif Bitlis masifi olup, masifin yaşı Prekambriyen-Paleozoyik olarak kabul edilmektedir (29,30,31). Metamorfitlerde yapılan ³⁹Ar-⁴⁰Ar yaşının 83.21±0.069 Ma bulunması, Üst Kretase Santoniyeni işaret etmektedir. Bu yaş, Pütürgenin Arap

Tablo 1: Disten kuvarsitlerin tüm kayaç ana oksit analizi (Distence fakir olan disten kuvarsitlerde <%25 disten ve <%17.5 Al₂O₃ bulunur)

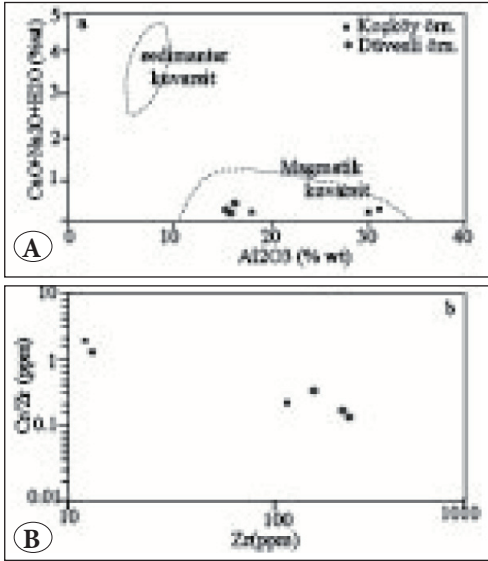
Lokasyon	Örnek no	Kayaç Türü	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	Mg	MnO	K ₂ O	CaO	Na ₂ O	Total
Düvenli	DY-1	Di-fakir	72.06	0.30	15.63	0.03	1.33	0.05	<0.01	0.01	0.3	0.02	89.74
2	DY-2	Di-fakir	76.04	0.33	16.76	0.02	1.37	0.07	<0.01	0.01	-	-	94.60
Koçköy	KY-1	Di-zengin	67.84	0.32	31.21	0.04	0.73	0.08	<0.01	-	-	-	100.23
4	KY-2	Di-zengin	67.43	0.31	31.55	0.05	0.20	0.15	<0.01	0.01	0.01	-	99.77
5	KY-3	Di-fakir	70.30	0.38	18.61	0.04	1.22	0.12	<0.01	-	0.02	-	99.10

Tablo 2: Disten kuvarsitlerde tüm kayaç iz element analizi

Lokasyon	Örnek no	Ba	Ga	Zn	Cu	Ni	Co	Ce	La	Nd	W	Zr	Y	Sr	Cr	V
Düvenli	DY-1	374	13	17	11	5	5	21	10	12	46	132	6	28	67	19
2	DY-2	129	16	13	9	5	<5	24	16	10	38	280	12	51	29	34
Koçköy	KY-1	325	11	12	10	5	7	10	32	10	31	127	6	24	40	13
4	KY-2	10	10	9	5	7	6	11	18	12	53	77	8	49	15	14
5	KY-3	18	9	9	7	8	<5	13	22	11	68	73	9	51	16	17

Tablo 3: Distenlerin elektron mikroskop analizi (% ağırlık)

Tane	Örnek	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MgO	MnO	K ₂ O	CaO	Na ₂ O	Total	Litoloji
1	DDK-1	49,76	0,06	14,31	0,02	17,28	13,45	0,74	0,09	2,58	0,25	98,56	
2	DDK-1	49,27	0,12	14,14	0,04	19,63	11,66	0,65	0,13	2,48	0,27	98,38	
3	DDK-1	51,96	0,56	14,80	0,04	11,11	17,08	0,38	0,12	1,98	0,65	98,67	
4	KYU-3	46,44	0,71	13,38	0,06	11,06	21,44	0,58	1,12	4,58	0,21	99,58	Açık
5	KYU-3	46,58	0,69	12,28	0,00	10,98	21,51	0,12	1,07	4,17	0,49	97,89	Koyu
6	KYU-3	44,93	0,72	13,06	0,04	13,66	23,14	0,51	0,22	3,16	0,30	99,74	
7	KYU-3	46,24	0,66	11,52	0,00	14,40	22,31	0,48	0,07	3,02	0,16	98,86	
8	KYU-3	46,71	0,72	11,33	0,02	19,24	19,07	0,22	0,02	2,01	0,19	99,53	
9	KYU-3	45,34	0,69	11,28	0,21	19,13	21,03	0,20	0,09	2,15	0,15	100,27	Açık
10	GK-2	50,21	0,65	16,05	0,10	8,84	28,52	0,11	0,05	2,56	0,52	97,61	Koyu
11	GK-2	50,32	0,08	15,36	0,03	16,12	15,34	0,42	0,05	2,40	0,24	99,37	
12	GK-2	50,05	0,58	15,53	0,04	15,36	14,47	0,07	0,10	2,37	0,53	99,01	Açık
13	GK-2	48,19	0,05	15,37	0,02	22,44	9,52	0,61	0,19	2,19	0,32	98,90	Koyu



Şekil 7: A) Distenli kuvarsitlerin major element diyagramı. **B)** Distenli kuvarsitlerin Zr ve Cr/Zr diyagramı ((28)'den değiştirilerek alınmıştır)

kıtasaal bloğu üzerine tektonik yerleşmesiyle oluşan ilk hareketlenmenin sonucu olarak yorumlanmıştır (24).

Pütürge metamorfitlelerinin petrografik incelemeler, metamorfitlelerin mika şist, granitik gnays/bantlı gnays, granat mika disten, sillimanit gibi Barroviyen zonunu temsil eden indeks minerallerden ibarettir. Mineral parajenezlerinden, Pütürge metamorfitlelerinin bölgesel

metamorfizmanın ilerleyen üst yeşilist ve amfibolit fasiyesi metamorfizma koşullarında geliştiği sonucuna ulaşılmaktadır. Sillimanit minerallerinin varlığı, Pütürge metamorfitlelerinin yüksek amfibolit fasiyesi koşullarına yaklaştığını göstermektedir. Aynı şekilde granat, stavrolit, disten minerallerinin bulunması, bölgedeki metamorfizmanın almandin-amfibolit fasiyesi koşullarını çıktığını gösterir. Stavrolit ve disten minerallerinin bir arada olması, pelitlerde orta amfibolit fasiyesini gösterir ki; Orta amfibolit fasiyesi koşulları basıncın 6-8 kbar ve sıcaklığın 600- 670 °C olduğu şartlardır. (25)'e göre, Pütürge metamorfitlelerindeki granatlarda yaptığı EMPA analizi sonucunda, granat türü olarak Almandin, sıcaklık ise hesaplamalarla 628 °C olarak bulmuştur. Yine biyotit içerisinde zirkon oluşumlarına rastlanması ve zirkonlarda belirlenen radyasyon hasarının 600-700°C sıcaklıklarda görülüyor olması bu sonuçla uyumludur. Bu koşulların tipik mineralleri ise, disten + granat + biyotit + oligoklaz + kuvars (\pm muskovit) olup, disten baskın Al₂SiO₅ mineralidir (1).

Granat minerallerinin klorit ve biyotite, biyotit minerallerinin klorite, disten minerallerinin muscovite dönüşümü gibi değişimler gerileyen metamorfizma etkilerinin sonucudur. Bu durum, Pütürge metamorfitlelerinin yüzeylenmesi sırasında veya daha sonraki genç olaylar ile gerileyen metamorfizmadan

etkilendiğini gösterir, ancak her iki olay da etkili olabilir.

Metamorfizma koşullarının ve kayaç kimyasının uygun olduğu pelitik kayaçlarda kayaç oluşturan minerallerden disten mineraline sıkça rastlanmaktadır. Ancak, bu metamorfik birimler içerisinde gelişen mercer şekilli kuvarsitlerde veya pelitik birimleri kesen pegmatit damarları içerisinde de yüksek oranda disten oluşumları bulunmaktadır. Farklı iki litolojik oluşumun gözlemlendiği Pütürge metamorfitlerindeki distenli kuvarsitlerden mercersel geometriye sahip yüzeylemeler genellikle Düvenli-Gözlüce civarında gözlenmiştir. Alınan örnekler, alüminyumca zengin sedimanter kayaçlar içerisinde bulunması nedeniyle Zr, Ba içerikleri yüksektir. Bu elementler sedimanter kökeni işaret etmesine rağmen grafiklerde sedimanter kuvarsit alanine düşmemektedir. Bu da elementlerin, yan kayaçtan taşınmış olabileceğini işaret etmektedir. Koçköy'den alınan örnekler ise pegmatitik damarlar şeklinde olup, arazide fay veya kırıklarla ilişkilidir. Bu alanda distenli kuvarsitler düzgün uzanımlı laminalı seviyeler halindedir. Dolayısıyla, laminalı düzgün uzanım magmatik kökenin işaretidir. Ayrıca bu örneklerin Cr/Zr oranının yüksek çıkması, magmatik kökeni teyit etmektedir.

Distenli kuvarsitlerle yakın konumlanmış amfibolitlerin varlığı da orto (magmatik) kökeni ve duraylı iz element dağılımlarına göre de, levha içi bazalt/toleyitik bazalt bölgesine düşmesi çarpışma ve yay bölgelerini göstermektedir (24).

Mineral bileşim oranına bakıldığında, amfibolitlere sınırı olan ve faylarla sınırlandırılmış distenli kuvarsitlerin disten bakımından zengin olduğu görülür. Düvenli-Gözlüce'den alınan örneklerde, mikaşitler içindedir. Bu örneklerin ve kuvars kristalleri daha iri taneli ve daha fazlayken, disten kristali daha az ve tane boyutu bakımından daha küçüktür. Bu özellik köken kayacın, bileşimine bağlı olarak kuvars miktarının artmış olabileceğine işaret edebilir.

Araştırmacıların çoğu, bölgesel metamorfizma ürünü kayaçlarda disten oluşumunu stavrolit kaybolması sonucu olarak gösterirken (32), diğer bazı araştırmacılar almandin- amfibolit fasiyesinin disten almandin- muskovit alt fasiyesinde staurolitin dengede kalmadığını ve kuvarsla reaksiyona girerek, distenin oluştuğunu ifade ederler ki; (33)'e göre, distenler kristal yapısıyla ilgili olarak, biotitlerin Al metasomatizmasma uğramalarıyla oluştuklarını belirtmektedir.

Çalışma alanında yapılan, jeolojik ve petrografik gözlemler bu görüşlerle uyuşmaktadır. Çalışma alanındaki disten kristallerinin büyük çoğunluğu biotitlerle dokusal bir ilişki içerisinde olup, biyotitlerin alüminyum metasomatizmasıyla oluşabilmesi mümkündür. Yine biyotit, granat ve plajiyoklaslarla sınır oluşturan silimanitlerin de iyonik reaksiyonların sonucu gelişmiştir (34). Killi sedimanter kayaçlardan gelen metamorfik minerallerden silimanitlerin, biyotitin kimyasal bileşiminde yer alan Al'un akışkanlarca ornatılması sonucu oluşabilir (35). İncelenen örneklerin kimyasal bileşimindeki alüminyum fazlalığına, biyotit-granat-plajiyoklas-sillimanit mineral topluluğu arasında gelişen kimyasal reaksiyonlar etki etmiş olabilir.

Distenli kuvarsitlerin oluşumunda, basınç ve sıcaklığın aynı kalmadığı, metamorfitlerin yükselmesi sırasında yapısal faktörlerin kontrolünde yeni değişimlerin olduğu, mineralojik ve petrografik incelemelerle uyumludur. Jeolojik yerleşim, mineralojik-petrografik incelemeler ve mineral kimyası verilerinden, distenlerle biyotitler arasında kökensel bir ilişki olduğu, distenli kuvarsit pegmatoidlerindeki iri disten kristallerinin metamorfizma esnasında yan kayaçlardan veya kırık zonlarından bol alüminyum göçü sonucu oluşabileceği ve bu kayaçların kökeninin magmatik olabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

6. Katkı Belirtme

Bu çalışmanın bir bölümü Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Merkezi (FÜBAP) biriminin MF 13.23 nolu proje kapsamında hazırlanmıştır.

Kaynaklar

1. A.J. Barker. Introduction to Metamorphic Textures and Microstructures. Blackie&Son Limited, New York, 170, (1990).
2. C.J. Wei, G.L., Clarke. Calculated phase equilibria for MORB compositions: a reappraisal of the metamorphic evolution of lawsonite, (2011).
3. D. Castelli, F. Rolfo, R. Compagnoni, & S. Xu, *Island Arc*, 7, (1998), 159–173.
4. L. Guo, H. F. Zhang, N. Harris, R. R. Parrish, W. C. Zu, Z. L. Shi, *Gondwana Research*, 21, 100-111, (2012).
5. I. Katayama, S. Nakashima, *Am Mineral*, 88, 229–234, (2003).
6. Y.M. Sheng, Q.K. Xia, X.Z. Yang, Y.T. Hao, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 71, 2079-2103, (2007).
7. W. H. Spence, J. P. Worthington, E. M. Jones, Y.F. Zheng, *Chinese Sci. Bull.* 54, 4266-4270, (2009).
8. Bolfan-Casanova, N. *Min. Mag.* 69, 229– 257, (2005).
9. A. Ghera, G. Graziani, and S. Lucchesi, *Neues Jahrbuch fuer Mineralogie, Abhandlungen*, 155, 109-127, (1986).

10. R. L. Rudnick and D. M. Fountain, *Reviews of Geophysics*, 33, 267-309, (1995).
11. S. Atabek, Gördes mika zuhurları hakkında rapor .M.T.A. Arviş No : 348, (1943).
12. A. Egger, T. Glimmer, feldspar und disthen Vorkommen in Gabiet von Gördes, Manisa: M.T.A. Derleme Rap.No : 2759. (1960).
13. O. Candan ve Ö. Dora, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, C. 27, 45 – 56, (1984).
14. G.R. Lumpkin, *Journal of Nuclear Materials*, 189, 136–166, (2001).
15. A.P. Willner, A. Krohe, W. V. Maresch, *Int. Geol. Rev.*, 42, 64- 85, (2000).
16. W. Schreyer, Pre-or synmetamorphic metasomatism in peraluminous metamorphic rocks. In: helgeson H. C. € Chemical transport in metasomatic processes. Reidel Berlin, 265-296, (1987).
17. W. H. Spence, J. P. Worthington, E. M. I.T. Jones, Kiff, *Mining Engineering*, 32, 35. R.H.Vernon, *Lithos*, 12,143-152, (1979).70-73, (1980).
18. E.V. Bibikova, P.M. Ihlen, M. Marker, Age of the hydrothermal alteration leading to garnetite and kyanite psudo- quartzite formation in the Khizovaara segment of the late Archean Keret Greenstone Belt, Russian Karelia. EUG XI Strassbourg, 8- 12.4.2001. Journal of Conference Abstracts 6, 227, (2001).
19. R. Ek, P. Nysten, Phosphate mineralogy of the Halsjöberg and Hökenas kyanite deposits. Geogiska Föreningens i Stockholm, GFF,112, 9-18, (1990).
20. D.Larsson, *GFF* 123, 237-246, (2001).
21. P. M. Ihlen, and M. Marker, The Ministry of natural resources of Russian Federation Company Mineral, 25-26, (1998).
22. A. K. Banerji, *Journal Geological Society of India*, 22, 496-501, (1981).
23. E. Erdem, (1994). Pütürge (Malatya) Metamorfitlerinin petrografik ve etrolojik özellikleri, F.Ü.Fenbilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 119s.
24. A.D. Kılıç, C. Ateş, *Acta Petrologica Sinica*, 31(5),1485-93, (2015).
25. A.D. Kılıç, C. Ateş, *Turkish Journal of Science & Technology*, 9 (2), 127-133, (2014).
26. J. P.Nystuen, *Russia Geologiske Undersokelse Bull.* 258, 237-240. (1969a).
27. I. T. Kiff, *Mining Engineering* 32, 70-73, (1980).
28. J.A. Torrez-ruizza, P.P. Pesquera, Gil- Crespob, N. Velilla, *Chem. Geo.*, 197, 55– 86, (2003).
29. M.A. Çağlayan, R.N. İnal, M. Şengün, and A. Yurtsever, Structural setting of the Bitlis massive. International Symposium on the Geology of the Taurus Belt, 245- 254, (1984).
30. M.C. Göncüoğlu and N. Turhan, Geology of the Bitlis metamorfik belt. International Symposium on the Geology of the Taurus Belt, 237-244, (1984).
31. M. Şengün, *MTA Dergisi*,115, 1-13, (1993).
32. C.Winkler, H-GF. Metamorfik kayaçların oluşumu: İ-T.Ü. Müh. Mim. Fak., No : 118-, 223 s.,(1965).
33. S.Vrana, *Contr. Mineral. Petrol.* 41, 73- 82, (1973).
34. B.W.D. Yardley, *Contr. Mineral. Petrol.* 65, 53-58, (1977).