



BATI ANADOLU'DA METAMORFİKLER İÇİNDEKİ GRANİT VE PEGMATİTLERE AİT TURMALİNLERİN KRİSTAL KİMYASI

(CRYSTAL CHEMISTRY OF THE TOURMALINES FROM GRANITES & PEGMATITES IN METAMORPHIC ROCKS OF THE AEGEAN REGION)

Tolga OYMAN*

ÖZET/ABSTRACT

Ege Bölgesi'nin büyük bir bölümünü kaplayan Menderes Metamorfik Masifi içinde farklı köken, petrolojik ve mineralojik özelliklere sahip pegmatitik ve granitik kayalar yüzlek vermektedir. Sinancılar-Kemalpaşa yöresinde granitik bileşimli sintektonik sokulumların içinde, kontağında ve çevreleyen kontak metamorfik kayalar içindeki turmalinler doku ve bileşim açısından önemli değişimler sergilemektedir. Bileşim olarak şörl-dravit katı çözelti serisinin dravit bileşenine yakın bir bileşim sunan turmalinlerde egemen olarak "proton azalması eğilimi" gözlenmektedir. Granit ve aplitik kayalar içindeki turmalinler, yüksek Al içermelerine karşın çevreleyen kontak metazomatik zondaki turmalinler yüksek Mg ve Ca içeriği ile ayırt edilmektedir. Masifin güneyinde Çine yöresinde masifin çekirdek serisine ait gnayslar içersinde K-feldispat ve Na-feldispat içeren pegmatitlerin turmalinleri şörl-dravit katı çözelti serisinin şörl bileşenine yakın bir bileşim sunmakta olup bir örnek proton azalma eğilimi göstermektedirler. Yüksek Fe ve Na içeriği ile Sinancılar yöresi turmalinlerinden ayrılmaktadırlar. Mössbauer ve infra-red spektrometresi çalışmalarının sonuçları iki ve üç değerlikli demirin kristalin hem Y hemde Z konumlarında bulunabileceğini göstermektedir. Turmalin bileşimindeki demirin yükseltgenmesi olasılıkla metamorfizma ile ilişkili hidrotermal sıvıların denetiminde gerçekleşmiştir. Sinancılar ve Çine yöresi turmalinlerinin kimyası, içinde bulunduğu granitik kayanın anatektik kökeni, bölgesel metamorfizma ve kontak metazomatik işlevler ve izleyen hidrotermal aktiviteler tarafından kontrol edilmektedir.

Many pegmatitic and granitic rocks with different genesis, petrological and mineralogical aspects crop out in Menderes Metamorphic Massif which covers a large area in Aegean Region. In Sinancılar-Kemalpaşa district, tourmalines either in granitoids and their contacts or surrounding contact metamorphic haloes show significant variations in texture and composition. The tourmalines close to dravite end-member of schorl-dravite solid solution serie exhibits "proton deficiency trend". While the tourmalines in granitic and aplitic rocks have high concentrations of Al, the tourmalines in surrounding contact metamorphic haloes are distinguished by their high Mg and Ca content. In Çine southern part of the Menderes Massif the tourmalines of Na and K-feldspar bearing pegmatites emplaced in the gneiss of the core serie show bimodal "proton deficiency trend". They are distinguishable from tourmalines of Sinancılar with their high Fe and Na content. The results of the mössbauer and infra-red studies indicate that the ferric and ferrous iron is hosted either in Y or Z sites of the tourmaline crystal lattice. The oxidation of the iron possibly triggered by the hydrothermal fluids associated with metamorphic processes. The chemistry of the tourmalines in both Sinancılar and Çine region are controlled by the anatectic genesis of the granitoids, the contact metamorphic processes after regional metamorphism and the following hydrothermal activities.

ANAHTAR KELİMELER/KEYWORDS

Tourmaline, Kristal kimyası, Mössbauer spektrometresi, İnfra-red spektrometresi
Tourmaline, Crystal chemistry, Mössbauer spectrometry, Infra-red spectrometry

*Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fak., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Bornova, İZMİR

1. GİRİŞ

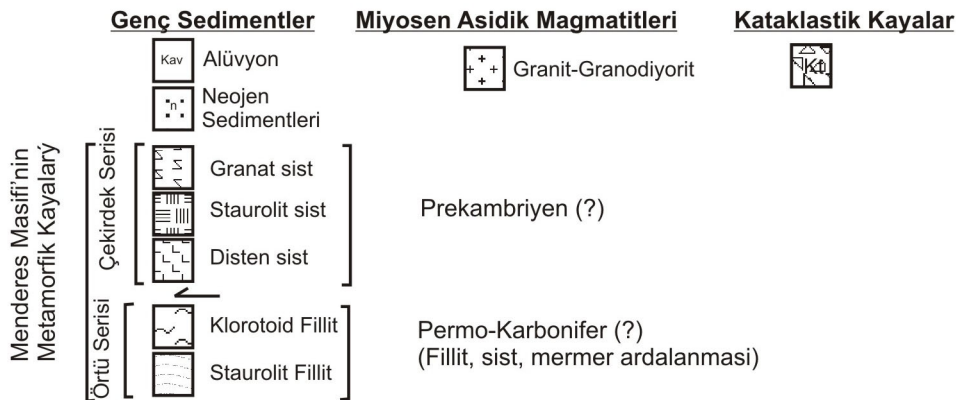
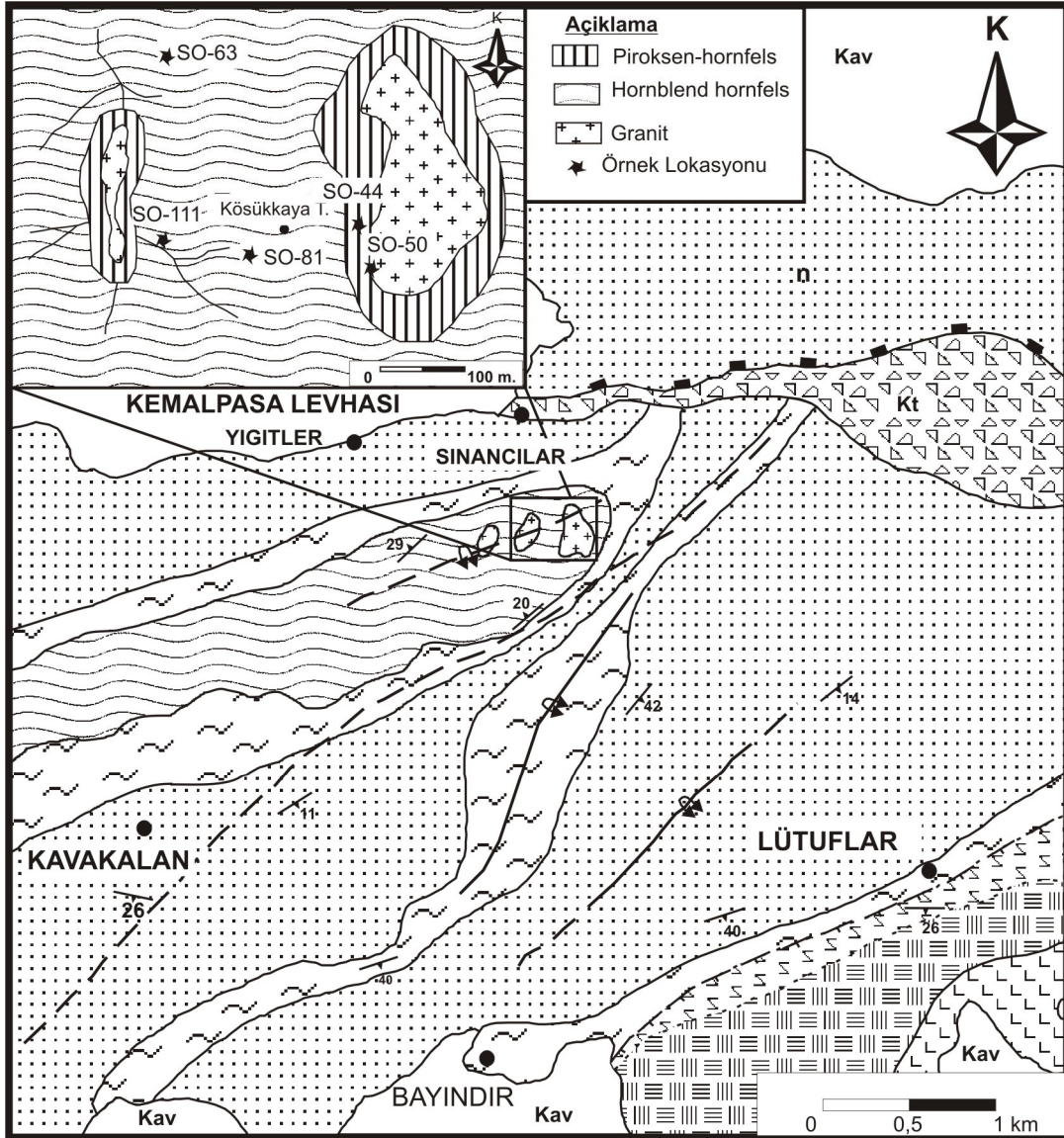
Hafif bir element olarak bor, derin kökenli sıvılar ve bunların kabuksal malzeme içindeki döngüsünün incelenmesinde önemli bir klavuz elementdir. Magmatik sistemlerde bor uyumsuz bir element gibi davranarak kristal fraksiyonlaşması ile eriyik içinde yoğunlaşır. Bu nedenle bor magmatizmanın felsik ve silisik türevlerinde zenginleşme eğilimindedir. En yaygın olarak bulunan borsilikat mineral grubu olan turmalin, bileşimine alabildiği farklı elementlerle, kristalleşme ortamının jeokimyasal özelliklerini yansıtan bir mineraldir (Henry, 1985; Pirajno ve Smithies, 1992; Michailidis, 1994).

Bu çalışma, Menderes Masifi metamorfik kayalar içine yerleşmiş olan bazı granit, pegmatit ve aplitik damar kayalarının ve ilişkili kontak metamorfik zonların bileşiminde yaygın olarak yer alan turmalinlerin kristal kimyasını ve kristalleşme sırasında oluşum ortamının turmalin kristal kimyasına etkisini araştırmayı amaçlamaktadır. Menderes Masifi çekirdek serisine ait gözlü gnayslar içinde yer alan Çine yöresi pegmatitleri, çok iyi ayırtlanabilen içsel zonlanması ve oldukça bol turmalin içeriği nedeni seçilmiştir. Sinancılar yöresi granitik ve aplitik damar kayaları bölgesel metamorfik kayalar içine yerleşen sintektonik bir sokulum olarak çevresinde kontak metazomatik bir hale oluşturması açısından çalışmaya farklı bir boyut kazandırmaktadır.

2. JEOLJİ

Menderes Masifi örtü serisine ait bölgesel metamorfik kayalardan fillit, şist ve mermer aralanmaları Ödemiş-Kiraz Asması'nın Bozdağlar bölümünde kalan yörede geniş bir yayılım sunmaktadır. Masifin bu bölümü kuzeyde, doğu-batı uzanımlı Gediz Grabeni tarafından sınırlandırılmıştır. Gediz Grabeni'nin güney sınırını Miyosen yaşlı bir ayrılma fayı oluşturmaktadır (Emre ve Sözbilir, 1997). Bu ayrılma fayı boyunca tektonikle eş yaşlı granitik plütonlar Karadut-Salihli, Sinancılar (Ovacık)-Turgutlu yörelerinde ve daha batıda Ege adalarında da gözlenir. Menderes Masifi'nin örtü serisine ait topluluğun kapladığı çalışma alanı, iki farklı metamorfik fazdan etkilenmiştir. Bunlardan birincisi tüm Menderes Masifi'ni etkileyen bölgesel metamorfizmadır. Barrowian tipi bu metamorfizma yörede düşük-orta dereceli koşullarda gerçekleşmiştir (Kaya, 1997). Tüm Menderes Masifini etkileyen bu metamorfizmadan sonra, genleşme tektoniğine bağlı olarak gelişen plütonların neden olduğu kontak metamorfizma gelişmiştir. Sinancılar Köyü Ovacık Yayla'da granitik-granodiyoritik bileşimdeki sokulum kayaları Permo-Karbonifer yaşlı olarak kabul edilen örtü serisi metamorfik kayalarını katetmektedir (Akal, 1993) (Şekil 1). Sokulumların yakın çevresinde, metamorfik kayalar içine sokulmuş aplitik ve pegmatitik damar kayaları yaygın olarak gözlenmektedir. Sokulum kayalarının biyotitleri üzerinde yapılan K-Ar yaş tayinleri 16.4 ± 0.6 m.y., ve 13.1 ± 0.2 m.y. sonuçları ile soğumanın Miyosende gerçekleştiğini göstermektedir. Granitlerin sokulumu ile meta pelitik kayalar kontakta doğru sırasıyla, piroksen hornfels fasiyesi, hornblend hornfels fasiyesi ve albit-epidot hornfels fasiyesi kayalarına dönüşmüştür (Egger, 1974; Hetzel vd., 1995; Kaya, 1997). Yörede granitik sokulum kayalarını kateden damarlarda, aplitik ve pegmatitik damar kayalarında ve metazomatik zonda yaygın olarak gözlenen turmalin granitik magmanın zengin bor içeriğini yansıtmaktadır.

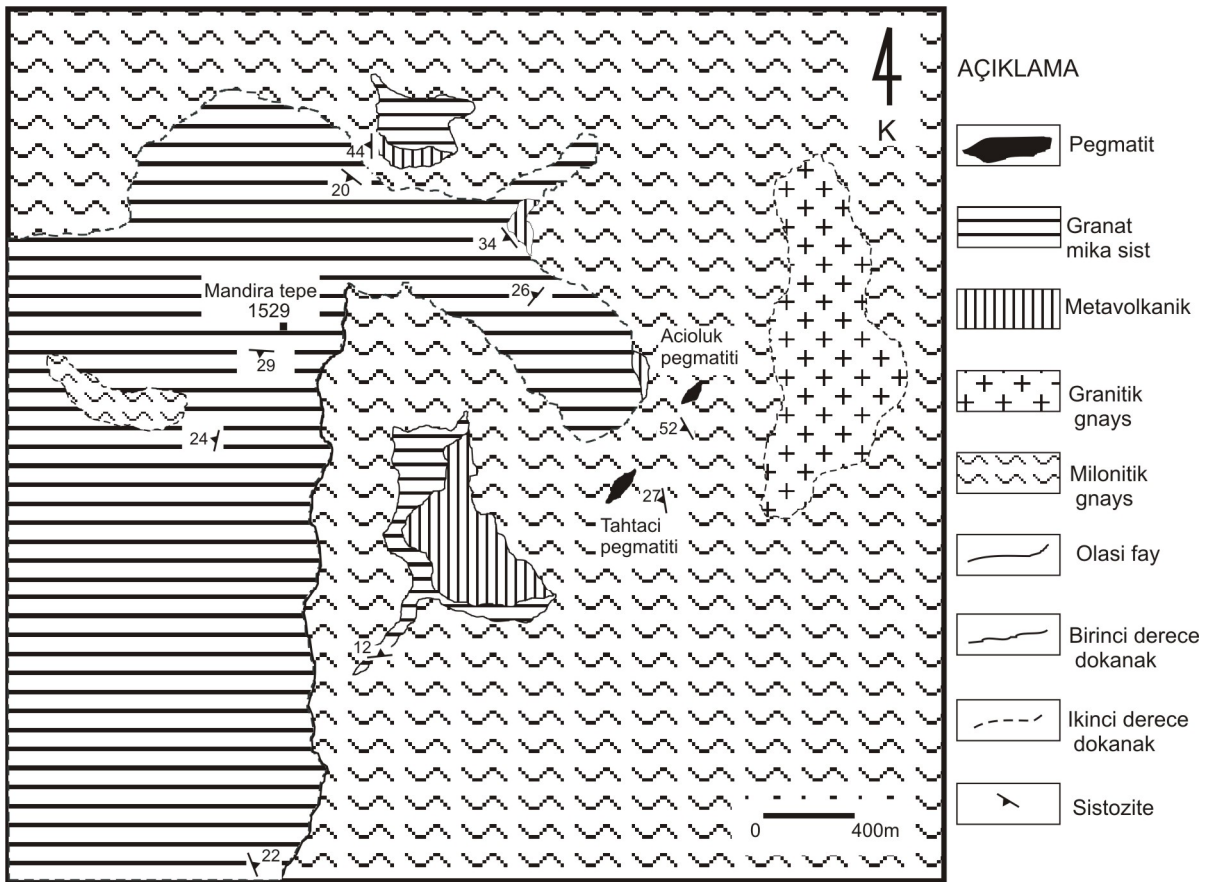
Menderes Masifi'ndeki bazı turmalin oluşumları üzerinde yapılan ve Sinancılar yöresi turmalinlerini de kapsayan çalışmalarda turmalinlerin ana ve iz element içeriğinin gerek jenetik çalışmalarda gerekse maden araştırmalarında anahtar bir silikat olduğu vurgulanmıştır (Mittwede vd., 1992; Mittwede vd., 1995).



Şekil 1. Ödemiş-Kiraz Alt Masifi' nin (Menderes Masifi) Bozdağlar Bölgesi' nin Metamorfik Haritası (Akal, 1993, Kaya, 1997).

Menderes Masifi'nin güney kanadını oluşturan Çine yöresinde, metamorfik kompleks değişik türlerde gnays, metavolkanit, granat mika şistler den oluşmuştur. Feldispat madenciliğinin ülkemizdeki en önemli merkezi durumunda olan Çine bölgesinde işletilen ocakların çok büyük bir bölümü Na feldispat üretimine yöneliktir. Bölgedeki az sayıdaki K-

feldispatlı pegmatitlerinden olan Acıoluk ve özellikle Tahtacı pegmatiti farklı mineraloji ve zonlu yapıları ile Na feldispat içeren diğer pegmatitlerden ayrılmaktadır (Şekil 2). Yapısal analizler bu pegmatitlerin Tersiyer metamorfizmasıyla K-G yönlü hareketlere bağlı olarak şiddetli bir deformasyon etkisinde kaldığını göstermiştir. Tahtacı pegmatiti, Ca'ca fakir granitik pegmatitlerin genel özelliğine uygun olarak basit bir zonlanma göstermektedir (Cerny, 1982). Acıoluk pegmatiti ise yataya yakın yerleşim sunan katmansı bir pegmatit olarak değerlendirilebilir. Pegmatitler, yüksek alüminyum içeren ($Al_2O_3/Na_2O+K_2O+CaO>1$) milonitik gnayslar içine yerleşmişlerdir. Başlangıçta sünümlü bir deformasyonun egemen olduğu derinliklerde (yaklaşık 10 km) elverişli basınç ve sıcaklık koşullarında (üst amfibolit-granulit fasiyesi) anatektik bir mağmadan türemiş oldukları düşünülmektedir. Yaşlı kristalen masiflerdeki nadir toprak element içermeyen abisal pegmatitler olarak değerlendirilebilirler. Feldispatlar oluştukları zonlara göre göreceli farklı kimyasal özellikler sunmaktadır. K-feldispatlar yüksek K_2O , düşük TiO_2 ve FeO oranları ile porselen üretiminde kullanılabilir kalitededir. Kenar zonunda yer alan granatların bileşimi bu pegmatitlerin kuvars-feldispat işletilen seramik pegmatitleri sınıfında yer aldığını göstermektedir (Oyman, 1996).



Şekil 2. Çine yöresindeki K-feldispat içeren Tahtacı ve Acıoluk pegmatitlerin jeolojisi (Oyman, 1996).

3. ÖRNEKLERİN TANIMLANMASI

3.1. Sinancılar (Ovacık) Yöresi'nden Derlenen Örnekler

Genel olarak holokristalen hipidiyomorf dokulu, kuvars, K-feldispat, plajiyoklas, biyotit, muskovit, klorit, apatit, rutil ve zirkon içeren granit-granodiyorit bileşimli sokulum kayalarında yer yer deformasyon izleri gözlenmektedir. Bu kayaların içindeki kalınlığı birkaç

santimetreyi bulan süreksizlikler başlıca turmalin tarafından doldurulmuştur (SO-50). Turmalinin doldurduğu çatlaklar KD-GB yönlü çatlaklar olup bir bölümü düşeydir. Turmalin damarlarının çeperlerinde egemen olarak K-feldspatın bulunduğu, ferromagnezyen minerallerin bulunmadığı bir zon yer almaktadır. Granit içinde iri kristalli, özşekilsiz dalgalı sönme gösteren ortoklas taneleri kayacın yaklaşık %20'sini oluşturmaktadır. Zonlanma ve ikizlenme göstermeyen bu feldspatlar turmalin damarlarının çeperlerinde yoğunlaşmışlardır. Turmalin kristalleri içindeki feldspat kapanımları ve turmalin feldspat tane sınırı ilişkileri turmalinlerin plajiyoklas ve biyotitlerden dönüştüğünü göstermektedir. Buradaki K-feldspatlarda etkin serizitleşme oldukça belirgindir. Feldspatların Ab-Or-An üçgeninde %89-92 Or bileşenine sahip olduğu belirlenmiştir. Granitin yaklaşık %40'lık bir bölümünü oluşturan plajiyoklaslar, yarı özşekilli, boyları milimetreye ulaşan zonlu kristaller halinde gözlenir. Zonlanma mineralin kenarlarında kalsik, merkezde sodik bileşimlerde olacak şekildedir. Plajiyoklaslar andezin-oligoklas bileşim aralığında yer almaktadırlar.

Granitik kayalar içinde yaygın olarak gözlenen biyotitler deformasyonun etkili olduğu bölümlerde lepidoblastik bir doku içinde yer almaktadır. Sokulum kayasının deforme olmamış ve ayrışmamış ve turmalinli damarlara yakın bölümlerdeki taze biyotitlerin kimyasal bileşiminin Al ve Fe ce zengin, buna karşın Mg, Ti ve F ca fakir oldukları gözlenmektedir. Bu özellikleri ile S tipi granitlerdeki biyotitlerin karakteristik özelliklerine sahip oldukları belirlenmiştir (Oyman, 2000). Kuvarsça zengin şistler ile granitin yakın kontağında turmalin yaygın olarak gözlenmektedir. Bu şistler içine sokulmuş aplitik sil türü yerleşimler içinde ve kontağında da yaygın metazomatik turmalinler bulunmaktadır (SO-44). Şistler içindeki karbonatlı seviyelerde ise özellikle plajiyoklası ornatın 5-10 mm boyunda makroskobik olarak siyah, grimsi şeffaf mikroskopta yeşil, mavi ve kırmızı pleokroizma gösteren turmalinler örneklenmiştir (SO-63). Granit kontağından uzaklaştığımızda hornblend hornfels fasiyesi andaluzitli grafitli şistleri içinde de eser miktarda bölgesel metamorfizmadan etkilenmiş turmalin porfiroblastları (SO-81) gözlenmektedir.

3.2. Çine Yöresinden Derlenen Örnekler

3.2.1 Tahtacı Pegmatiti

Pegmatit K-G yönlü makaslama zonu etkisiyle deforme olmuş milonitik gnayslar içinde yer almaktadır. Deformasyon etkisi ile pegmatitin alt ve üst dokanağı yan kaya gnaysla geçişli bir dokanak özelliği kazanmıştır. Tahtacı pegmatiti kenardan içe doğru granitik-aplitik bir kenar zonu, orta-iri taneli heterojen bir ortaç zon ve ortada çok iri taneli çekirdek zonundan oluşan konsantrik bir zonlanma sergilemektedir. Zonlanmada dıştan içe doğru tane boyundaki artışın yanısıra silikat minerallerinin sayısındaki azalma dikat çekicidir (Çizelge 1). Ana pegmatit kütesinin tabanında yeralan biyotitli alterasyon zonunu üstleyen kenar zonu bolluk sırasına göre kuvars, muskovit, albit, granat ve sfenden oluşmaktadır. Zonun alt bölümlerinde retrograd etkilerle yer yer kloritleşen granat ve muskovit kristallerinin göreceli bolluğu ile belirgin şistozite üst bölümlere doğru yerini albit, kuvars ve muskovitin egemen olduğu aplitik dokulu kayaya bırakılmaktadır. Albit kristalleri deformasyon etkisi ile bükülme, kırılma ve dalgalı sönme gösterirken yer yer ayrışarak şekerimsi bir doku sergilemektedir. Feldspat ve turmalin kristallerinin çatlakları ince taneli poligonal kuvars kristalleri ile doldurulmuştur. Özşekilli turmalin kristallerinin boyu 10'cm yi aşabilmektedir. Üst düzeylere doğru albit ve turmalin miktarı azalırken mikroklinin artması ortaç zonlu mikroklin, albit, kuvars, muskovit ve turmalin bileşimine doğru yönelmektedir. İri taneli mikroklin porfiroblastları kuvars, albit, mikroklin ve muskovitten oluşan gronablastik dokulu bir matriks ile çevrelenmiştir. Pegmatitin kenar zonu ve çekirdek zonu arasında kalan ortaç zon mineralojik bileşimine göre

alt ve üst ortaç zon olarak iki bölümde incelenebilir. Kenar zonun üst bölümlerinde gözlediğimiz albitçe zengin aplitik kaya üste doğru yerini kuvars, ortoklas, muskovitten oluşan bir matriks içinde iri taneli albit ve mikroklin porfiroblastlı bir litolojiye bırakmıştır. Turmalin kenar zonun sınırından itibaren ortaç zonun iç bölümlerine doğru miktar ve kristal büyüklüğü açısından artış göstermektedir. Tahtacı pegmatitlerinden derlenen örnekler TH-1-5 olarak kodlanmıştır.

Çizelge 1. Tahtacı pegmatitinin farklı zonlarının mineralojik bileşimi (%)

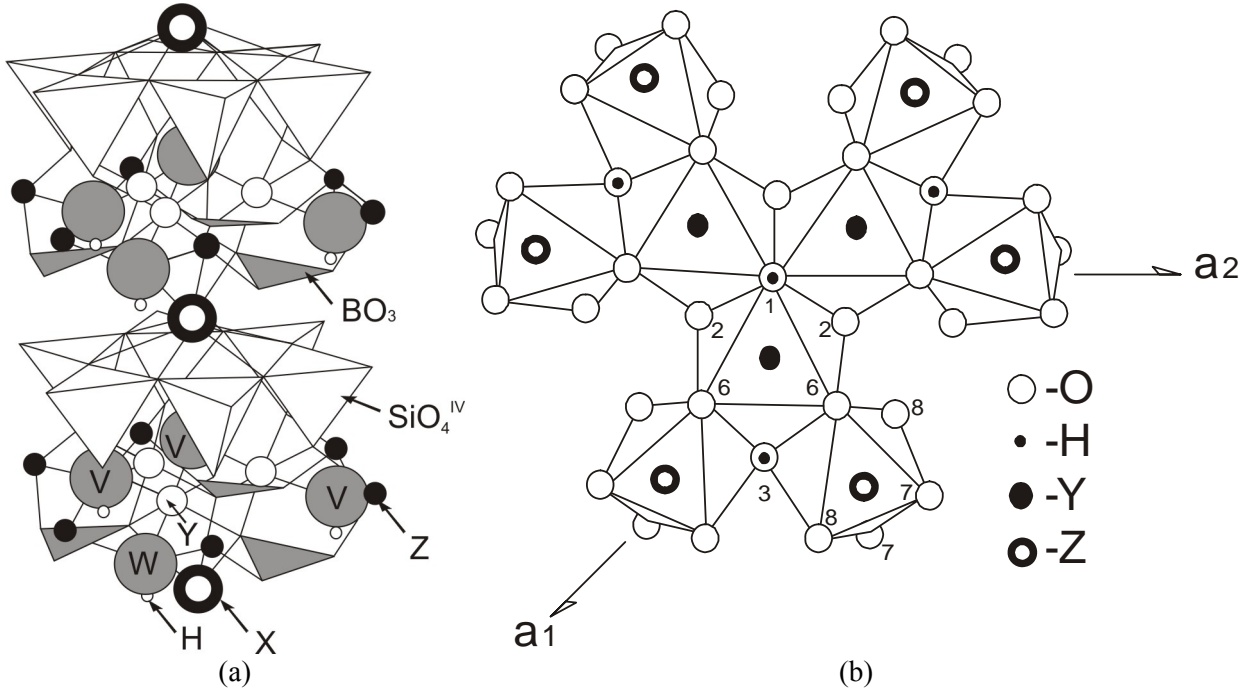
	Kenar zonun alt bölümü	Kenar zonun üst bölümü	Alt ortaç zon	Üst ortaç Zon	Çekirdek zonu
Kuvars	41	36	28	32	12
Pertit	-	-	8	33	72
Albit	12	48	34	13	3
Muskovit	31	8	5	5	7
Turmaline	-	2	23	17	3
Granat	14	6	-	-	-
Aksesuar	2	-	2	-	3

Çekirdek zonu, K-feldispat madenciliğinin yapıldığı esas zondur. Pegmatit kütesinin merceksi genel şekline paralellik göstererek kenarlara doğru incelmektedir. Kalınlığı orta bölümlerde 4 m'ye kadar ulaşır. Mineralojik bileşimi mikroklin pertit, kuvars, muskovit, adularya ve florapatit olarak özetlenebilir. Turmalin aksesuar mineral olarak gözlenmektedir. Mikroklin pertitin serizitik alterasyonu yaygındır. London pegmatitin çatlak ve kovuklarında gözlenen fosfat minerallerini serizitik alterasyon sonucu feldispat bünyesinden serbest hale geçen fosfata bağlamaktadır (London, 1992). Florapatit özşekilli gri-yeşil kristaller halinde çekirdek zonunun kenarlarındaki ceplerde gelişmiştir. Kuvars-adularya ötektik büyümeleri de yine çekirdek zonunun kenarlarındaki boşluklarda kristallenmiştir. Muskovit, çekirdek zonunu kateden çatlaklarda yer yer kuvarsla birlikte gözlenmektedir.

3.2.2. Acıoluk Pegmatitinden Derlenen Örnekler

Tahtacı pegmatitinin yaklaşık 0.5 km kuzeyinde yer alan Acıoluk pegmatiti yan kayası ile yataya yakın bir dokanağı vardır. Tahtacı pegmatitinin aksine belirgin bir bakışlımlı zonlanma gözlenmemektedir. Cerny sınıflamasına göre katmansı pegmatit olarak değerlendirilebilir (Cerny, 1991). Gnays ile yaptığı üst dokanağında 15-20 cm kalınlığında bir biotit alterasyon halesi gözlenmektedir. Kalınlığı yaklaşık 2 m'ye ulaşan işletilen K-feldispat zonu pegmatitin merkezinde bulunmaktadır. Beyaz renkli olan mikroklin pertit alt düzeylere doğru 40-50 cm kalınlığında kırmızımsı daha alt düzeylerde ise yeşil bir renk almaktadır. Yeşil renkli mikroklin pertit kalkopirit, pirit ve arsenopirit damarcık ve saçınımları içermektedir.

Mikroklin pertitte gözlenen bu renk değişimi demirin redoks potansiyeline bağlı olarak aldığı farklı değerlere bağlıdır. Beyaz renkli mikroklin pertit ile üzerleyen kıvrım ve mulyon yapıları gösteren ve kuvars düzeyleri arasında da yine bir biyotit alterasyon halesi yer almaktadır. Egemen olarak kuvars veya feldispattan oluşan mulyon yapıları daha az oranda muskovit, turmalin ve granat içermektedir. Kıvrım ve mulyon yapılarının yanı sıra ters faylar ve porfiroblastlardaki antitetik kaymalar önemli deformasyon yapılarıdır. Acıoluk pegmatitinden alınan örnek A-5 olarak kodlanmıştır.



Şekil 3. a) Turmalin kristal kafesinin üç boyutlu modeli b) Turmalin kristal kafesinin c eksenine dik kesitinde Y ve Z konumlarına yerleşmiş katyonların bağlı bulunduğu oksijenler 1, 2, 3, 6, 7, 8 olarak gösterilmiştir. Merkezdeki tek OH grubunda (W) yer alan oksijen (1) bir adet X ve 3 adet Y konumunda bulunan katyona bağlıdır. Kenarlarda bulunan üç OH grubunda (V) yer alan oksijenler (3) bir adet Y ve iki adet Z konumunda bulunan katyona bağlıdır.

3.2.3. Milas Yöresi Pegmatitlerinden Derlenen Örnekler

Yöredeki çok sayıdaki Na feldispat ocağı basit zonlanma gösteren albitin baskın mineral olduğu pegmatitler üzerinde açılmıştır. Albite eşlik eden diğer mineraller bolluk sırasına göre kuvars, muskovit, rutil, apatit ve turmalin olarak sıralanabilir. K-feldispat madenciliği yapılan pegmatitlerde safsızlık olarak değerlendirilen mineral turmalin iken, albit madenciliği yapılan pegmatitlerde safsızlık rutil içeriğine bağlıdır. Rutilin yoğunlaştığı bölümlerde kimyasal analizlerde titan içeriği ortalama % 29 TiO_2 'e kadar çıkmaktadır. Turmalin burada kuvars ve albit kristalleri içinde öz-yarı öz şekilli boyları 3 cm'ye varabilen küçük kristallerden oluşmaktadır. Milas yöresindeki albitli pegmatitiden alınan örnek PT-2-5 olarak kodlanmıştır.

4. MİNERAL KİMYASI

Sinancılar ve Çine yörelerine ait farklı kayalardan alınan turmalin içerikli örnekler üzerinde 59 adet mikroprob analizi yapılmıştır. Analizler Pierre Ve Marie Curie (Paris 6) Üniversitesi Mineraloji ve Kristalografi laboratuvarında Camebax elektron mikroprob ile gerçekleştirilmiştir. Çizelge 2 ve Çizelge 3'te farklı kaya tiplerinden alınan turmalin örneklerinin kimyasal bileşimleri verilmiştir. Turmalinlerin bileşimsel değişimleri X konumunda Na, Ca ve boşluk ve Y konumunda Al, Fe ve Mg arasında gerçekleşmektedir.

Bor silikatların, en yaygın grubu olan turmalin grubu mineraller $XY_3Z_6(BO_3)_3Si_6O_{18}V_3W$ genel formülüyle tanımlanırlar. Turmalin kristal kafesinin c eksenine paralel üç boyutlu modeli ve c eksenine dik kesiti sırası ile Şekil 3a ve Şekil 3b'de verilmiştir. Kristal kafesinin X konumunu genellikle Na^+ , K^+ , Ca^{2+} gibi büyük yarıçaplı katyonlar doldurur, ancak zaman zaman oluşum koşullarındaki değişkenlere bağlı olarak (T, P, fO_2, \dots) bir miktar boşluk da (O) gözlemlenmektedir. Oktaederin Y konumu Ti, Li^+ , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Mn^{3+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+}

gibi farklı yüklerdeki daha küçük yarıçaplı katyonları içermektedir. Z ise esasen Al tarafından doldurulmakla birlikte Fe^{2+} , Fe^{3+} , V, Cr^{3+} , Ga gibi elementlerinde Al'a eşlik ettiği ortaya konmuştur. Kristal yapısında her tetraeder iki oksijeni paylaşarak Si_6O_{18} şeklinde hegzagonal diziler oluştururlar. Bu tetraederlerin altında iki farklı oktaeder yer almaktadır. Merkezdeki Y katyonları tarafından doldurulan üç büyük oktaeder, Z katyonlarının işgal ettiği birer çift küçük oktaeder ile bağlantılıdır. Her biri üçer O atomu ile çevrili olan B₃ oktaeder katmanları birarada tutmaya yardım eder. Genelleştirilmiş formülde W yerinde O^{2-} , OH^- , F^- ve Cl^- ve V yerinde O^{2-} , OH^- anyonları bulunabilmektedir. Ancak F içeriği formül başına bir birimi aşamaz ve F merkezde bulunan hidroksil grubunda yer alır. Kafes yapısının merkezi incelendiğinde Al, B ve Na atomlarının $Y_3OH_4Si_6O_{21}$ birleşiminde yapının merkezinde farklı yollarla birbirlerine bağlandığı saptanmıştır. OH grubu iki farklı şekilde kafes içinde yer almaktadır;

- Hegzagonal zincirin merkezinde yer alan tek bir hidroksil (W),
- Kafesin kenarlarına yerleşmiş üç adet hidroksil (V),
- Merkezde yer alan (W) oktaederin Y konumundaki üç adet katyonla ve X konumunda bulunan bir katyonla bağ yapar.

Na/(Na+Ca) oranına karşı Fe/(Fe+Mg) oranı kullanılarak oluşturulan diyagramda, Sinancılar yöresi turmalinlerinin egemen olarak dravit uç bileşenine, Çine yöresi pegmatitlerine ait turmalinlerin ise tamamen şörl uç bileşenine yakın bir bileşime sahip olduğu gözlenmektedir (Şekil 4a). Turmalin bileşimindeki temel yerini alma mekanizmalarını gösteren diyagramda kristal kafesinin X ve Y konumlarındaki elementlerin Z konumundaki elementlerle değişimi gösterilmektedir (Manning, 1982) (Şekil 4b). Diyagramda şörl-dravit bileşimi Z = 6, (X+Y) = 4 noktasında verilmiştir. Çine turmalinleri hem kafesin Z konumunda yüksek üç değerli katyon (Al, Fe) içeriği hemde X konumunun Na ve Ca ile dolu olması nedeni ile proton tükenmesi eğilimi üzerinde yer almaktadır. Sinancılar graniti ve çevresindeki kontak zondaki turmalinler Çine turmalinleri ile karşılaştırıldığında daha geniş bir alanda iki farklı eğilim sunmaktadır. Özellikle X konumunda Na ve Ca katyonlarının toplamı 1 den küçük olan örneklerde alkali azalma eğilimi gözlenmektedir. X ve Y konumlarındaki formül başına düşen katyonlar toplamı 4'ten düşük olduğunda aradaki fark, toplamı 6'yı geçen Z konumundaki katyonlar tarafından kapatılmaktadır. Baskın olarak şörl-dravit serisine ait bu turmalinlerde Al ve Fe'de çok geniş bir oransal aralıkta Mg'un yerini almaktadır (Şekil 4c). Mg miktarı en yüksek ve Al miktarı en düşük olan turmalinlerin hemen granitlerin kantağındaki metazomatik kayalarda geliştiği görülmektedir. Buna karşın granit içindeki damarlardaki ve andaluzitli şistler içindeki turmalinler daha düşük Mg ve daha yüksek Al içeriğine sahiptirler. Sinancılar yöresinde granit yerleşimi sırasında metapelitik fasiyesteki yan kayaçtan infiltrasyon yolu ile sokuluma doğru göç eden karbonat ve/veya ferromagnezyen bileşenler, granitik ve aplitik kayaçların kenar zonlarında dravit bileşimine yakın Mg ve Fe ce zengin turmalinlerin gelişmesine neden olmuştur. Ca ve Ti arasındaki pozitif korelasyon dikkat çekicidir (Şekil 5a). Ancak benzer bir infiltrasyon Çine yöresinde gerek yan kayaçların kimyasal bileşimleri, gerekse turmalinlerin pegmatitlerin kenar zonlarından çok ortaç zonlarda yoğunlaşması nedeniyle etkili olamamıştır. Vektörel olarak ifade ettiğimizde turmalinlerdeki esas yerini alma mekanizması, Na Al, Ca₁ Mg₁ yer değiştirme vektörü ile temsil edilmektedir (Şekil 5b).

Çizelge 2. Sinancılar yöresi turmalinlerin mineral kimyası (*Formüller 24. oksijen tabanına göre hesaplanmıştır*)

Örnek No	SO44-39	SO44-40	SO44-41	SO44-42	SO44-43	SO44-44	SO44-46	SO44-47	SO44-48	SO50-57	SO50-58	SO50-61	SO50-62
SiO ₂	37.254	36.864	36.935	36.611	36.720	36.929	37.082	37.174	36.536	36.580	37.010	36.591	36.793
TiO ₂	0.000	0.690	1.127	0.936	0.000	1.094	1.145	1.004	1.032	0.265	1.243	0.331	0.421
Al ₂ O ₃	32.084	33.442	34.317	34.300	33.549	33.194	33.701	32.863	32.307	34.475	34.426	34.551	34.713
FeO	8.697	8.648	8.776	8.101	11.541	8.250	8.724	8.770	7.758	8.955	9.315	11.099	12.004
MnO	0.000	0.376	0.237	0.167	0.000	0.021	0.000	0.047	0.035	0.328	0.177	0.073	0.005
MgO	5.646	5.133	4.723	5.425	2.321	5.844	5.516	5.136	5.297	4.601	5.169	2.197	2.249
CaO	1.064	0.753	0.817	0.843	0.300	1.091	0.997	0.669	0.939	0.656	0.888	0.173	0.266
ZnO	0.989	0.205	0.206	0.000	0.245	0.146	0.000	0.000	0.015	0.232	0.103	0.014	0.086
Na ₂ O	1.639	1.762	1.692	1.664	1.515	1.600	1.637	1.636	1.798	1.672	1.914	1.206	1.117
K ₂ O	0.048	0.052	0.030	0.015	0.000	0.029	0.022	0.052	0.073	0.041	0.078	0.043	0.037
Cl	0.000	0.008	0.013	0.000	0.000	0.008	0.005	0.013	0.013	0.005	0.000	0.000	0.000
F	0.330	0.000	0.024	0.495	0.092	0.408	0.000	0.000	0.288	0.190	0.456	0.000	0.000
Toplam	87.751	87.933	88.897	88.557	86.283	88.614	88.829	87.364	86.091	88.000	90.779	86.278	87.691
Si	6.047	5.949	5.892	5.840	6.079	5.901	5.912	6.017	5.989	5.897	5.810	6.025	5.991
Al ⁽¹⁾	0.000	0.051	0.108	0.160	0.000	0.099	0.088	0.000	0.011	0.103	0.190	0.000	0.009
Al ⁽²⁾	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
Al ^(Y)	0.139	0.260	0.024	0.130	0.548	0.055	0.158	0.271	0.222	0.346	0.162	0.707	0.646
Ti	0.000	0.084	0.135	0.112	0.000	0.131	0.137	0.122	0.127	0.032	0.147	0.041	0.052
Fe	1.181	1.167	1.171	1.081	1.598	1.102	1.163	1.187	1.064	1.207	1.223	1.528	1.635
Mn	0.000	0.051	0.032	0.023	0.000	0.003	0.000	0.006	0.005	0.045	0.024	0.010	0.001
Mg	1.366	1.235	1.123	1.290	0.573	1.392	1.311	1.239	1.294	1.105	1.209	0.539	0.546
Ca	0.185	0.130	0.140	0.144	0.053	0.187	0.170	0.116	0.165	0.113	0.149	0.031	0.046
Zn	0.119	0.024	0.024	0.000	0.030	0.017	0.000	0.000	0.002	0.028	0.012	0.002	0.010
Na	0.516	0.551	0.523	0.515	0.486	0.496	0.506	0.513	0.572	0.523	0.583	0.385	0.353
K	0.010	0.011	0.006	0.003	0.000	0.006	0.004	0.011	0.015	0.008	0.016	0.009	0.008
Cl	0.000	0.002	0.004	0.000	0.000	0.002	0.001	0.004	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000
F	0.169	0.000	0.012	0.250	0.048	0.206	0.000	0.000	0.149	0.097	0.226	0.000	0.000
X (boşluk-□)	0.299	0.318	0.337	0.341	0.460	0.318	0.324	0.371	0.264	0.364	0.268	0.584	0.601
Fe/(Fe+Mg)	0.464	0.486	0.510	0.456	0.736	0.442	0.470	0.489	0.451	0.522	0.503	0.739	0.750
Ca/(Ca+Na)	0.264	0.191	0.211	0.219	0.099	0.274	0.252	0.184	0.224	0.178	0.204	0.073	0.116
R1+R2	3.247	3.135	2.989	3.052	2.710	3.179	3.150	3.062	3.099	2.993	3.188	2.493	2.580
R3	6.139	6.422	6.311	6.440	6.548	6.329	6.429	6.434	6.402	6.492	6.547	6.762	6.723

Çizelge 2. Sinancılar yöresi turmalinlerin mineral kimyası (devam)

Örnek No	SO50-63	SO50-64	SO50-65	SO63-3	SO63-4	SO63-5	SO63-6	SO63-7	SO63-8	SO63-11	SO63-12	SO63-13	SO63-19	SO63-20
SiO ₂	37.072	36.610	37.047	35.333	35.727	35.555	36.651	36.629	36.846	36.321	34.061	33.288	37.005	35.485
TiO ₂	0.567	1.489	0.781	1.031	0.914	1.034	1.155	1.234	0.987	0.253	0.983	1.110	0.684	1.185
Al ₂ O ₃	33.791	32.085	33.797	32.420	32.173	32.377	30.498	30.655	30.750	35.154	32.669	32.681	30.706	31.680
FeO	8.912	9.706	8.913	8.511	10.587	8.628	8.987	9.188	8.751	7.978	8.554	10.715	8.819	9.387
MnO	0.073	0.122	0.109	0.102	0.156	0.133	0.109	0.063	0.115	0.088	0.084	0.136	0.143	0.154
MgO	5.120	4.962	5.169	5.867	5.074	5.793	5.666	5.760	5.865	4.153	5.623	4.024	5.176	5.409
CaO	0.854	1.087	0.780	0.997	0.907	1.012	1.175	1.319	1.251	0.352	0.980	0.848	0.746	1.104
ZnO	0.000	0.044	0.320	0.042	0.150	0.111	0.046	0.019	0.012	0.104	0.004	0.069	0.127	0.127
Na ₂ O	1.708	1.656	1.774	1.886	1.778	1.922	1.747	1.702	1.725	1.377	1.853	1.738	1.691	1.777
K ₂ O	0.038	0.038	0.077	0.020	0.056	0.042	0.038	0.035	0.041	0.347	0.062	0.047	0.052	0.035
Cl	0.000	0.013	0.008	0.001	0.000	0.000	0.006	0.005	0.001	0.009	0.009	0.004	0.010	0.013
F	0.000	0.000	0.000	0.300	0.405	0.460	0.266	0.377	0.266	0.111	0.306	0.306	0.222	0.321
Toplam	88.135	87.812	88.775	86.510	87.927	87.067	86.344	86.986	86.610	86.247	85.188	84.966	85.381	86.677
Si	5.956	5.953	5.927	5.813	5.845	5.820	6.048	6.009	6.051	5.920	5.701	5.653	6.147	5.860
Al ^(I)	0.044	0.047	0.073	0.187	0.155	0.180	0.000	0.000	0.000	0.080	0.299	0.347	0.000	0.140
Al ^(II)	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
Al ^(IV)	0.312	0.057	0.248	0.101	0.050	0.068	0.000	0.000	0.000	0.675	0.148	0.196	0.014	0.027
Ti	0.069	0.182	0.094	0.128	0.112	0.127	0.143	0.152	0.122	0.031	0.124	0.142	0.085	0.147
Fe	1.197	1.320	1.193	1.171	1.449	1.181	1.240	1.261	1.202	1.087	1.197	1.522	1.225	1.296
Mn	0.010	0.017	0.015	0.014	0.022	0.018	0.015	0.009	0.016	0.012	0.012	0.020	0.020	0.022
Mg	1.226	1.203	1.232	1.439	1.237	1.413	1.393	1.408	1.435	1.009	1.403	1.018	1.281	1.331
Ca	0.147	0.189	0.134	0.176	0.159	0.178	0.208	0.232	0.220	0.061	0.176	0.154	0.133	0.195
Zn	0.000	0.005	0.038	0.005	0.018	0.013	0.006	0.002	0.001	0.013	0.000	0.009	0.016	0.015
Na	0.532	0.522	0.550	0.602	0.564	0.610	0.559	0.541	0.549	0.435	0.601	0.572	0.545	0.569
K	0.008	0.008	0.016	0.004	0.012	0.009	0.008	0.007	0.009	0.072	0.013	0.010	0.011	0.007
Cl	0.000	0.004	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.002	0.003	0.001	0.003	0.004
F	0.000	0.000	0.000	0.156	0.210	0.238	0.139	0.196	0.138	0.057	0.162	0.164	0.117	0.168
X (boşluk-□)	0.321	0.288	0.316	0.223	0.277	0.212	0.233	0.227	0.231	0.503	0.223	0.273	0.323	0.236
Fe/(Fe+Mg)	0.494	0.523	0.492	0.449	0.539	0.455	0.471	0.472	0.456	0.519	0.461	0.599	0.489	0.493
Ca/(Ca+Na)	0.216	0.266	0.195	0.226	0.220	0.225	0.271	0.300	0.286	0.124	0.226	0.212	0.196	0.256
R1+R2	3.112	3.251	3.124	3.401	3.430	3.400	3.416	3.451	3.423	2.605	3.389	3.286	3.204	3.413
R3	6.447	6.346	6.446	6.457	6.355	6.417	6.191	6.202	6.162	6.797	6.611	6.732	6.128	6.363

Çizelge 2. Sinancılar yöresi turmalinlerin mineral kimyası (devam)

Örnek No	SO63-24	SO63-25	SO81-32	SO81-33	SO81-34	SO81-35	SO81-38	SO81-39	SO111-93	SO111-94	SO111-95	SO111-96	SO111-98
SiO ₂	36.797	36.287	37.831	38.124	40.325	37.655	37.393	37.418	37.000	36.874	36.801	37.170	37.198
TiO ₂	0.901	0.924	0.686	0.327	0.545	0.464	0.903	0.194	0.075	0.092	0.715	0.834	0.078
Al ₂ O ₃	30.179	30.923	34.860	35.786	33.029	34.787	33.304	34.778	33.693	34.578	33.587	29.877	32.642
FeO	7.996	8.752	8.915	7.433	8.591	9.035	7.870	9.465	8.371	7.865	6.912	8.992	7.629
MnO	0.066	0.084	0.104	0.075	0.000	0.041	0.000	0.113	0.020	0.050	0.000	0.066	0.036
MgO	5.703	4.840	5.596	5.908	4.606	4.461	6.220	4.416	4.485	4.677	5.365	5.884	4.783
CaO	0.839	0.726	0.854	0.876	0.512	0.575	0.777	0.370	0.007	0.032	0.433	0.403	0.018
ZnO	0.000	0.023	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.173	0.058	0.000	0.000	0.012
Na ₂ O	1.855	1.735	1.582	1.589	1.720	1.738	1.940	1.544	2.050	2.089	1.654	2.032	2.039
K ₂ O	0.029	0.054	0.017	0.035	0.006	0.017	0.039	0.035	0.000	0.015	0.016	0.006	0.025
Cl	0.000	0.000	0.000	0.020	0.002	0.000	0.027	0.002	0.000	0.000	0.000	0.008	0.003
F	0.290	0.100	0.047	0.000	0.117	0.117	0.070	0.188	0.110	0.132	0.028	0.176	0.033
Toplam	84.655	84.448	90.492	90.173	89.453	88.890	88.543	88.523	85.984	86.462	85.511	85.448	84.496
Si	6.144	6.093	5.913	5.925	6.319	5.980	5.957	5.975	6.056	5.985	6.012	6.175	6.164
Al ^(I)	0.000	0.000	0.087	0.075	0.000	0.020	0.043	0.025	0.000	0.015	0.000	0.000	0.000
Al ^(Z)	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
Al ^(Y)	0.000	0.121	0.336	0.482	0.102	0.493	0.212	0.522	0.501	0.602	0.469	0.000	0.377
Ti	0.113	0.117	0.081	0.038	0.064	0.055	0.108	0.023	0.009	0.011	0.088	0.104	0.010
Fe	1.117	1.229	1.165	0.966	1.126	1.200	1.049	1.264	1.146	1.068	0.944	1.249	1.057
Mn	0.009	0.012	0.014	0.010	0.000	0.006	0.000	0.015	0.003	0.007	0.000	0.009	0.005
Mg	1.419	1.211	1.303	1.368	1.076	1.056	1.477	1.051	1.094	1.131	1.306	1.457	1.181
Ca	0.150	0.131	0.143	0.146	0.086	0.098	0.133	0.063	0.001	0.006	0.076	0.072	0.003
Zn	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.021	0.007	0.000	0.000	0.001
Na	0.601	0.565	0.479	0.479	0.523	0.535	0.599	0.478	0.651	0.657	0.524	0.655	0.655
K	0.006	0.012	0.003	0.007	0.001	0.003	0.008	0.007	0.000	0.003	0.003	0.001	0.005
Cl	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.007	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001
F	0.153	0.053	0.023	0.000	0.058	0.059	0.035	0.095	0.057	0.068	0.014	0.092	0.017
X (boşluk-□)	0.249	0.305	0.378	0.375	0.391	0.367	0.268	0.459	0.348	0.337	0.400	0.274	0.342
Fe/(Fe+Mg)	0.440	0.504	0.472	0.414	0.511	0.532	0.415	0.546	0.512	0.486	0.420	0.462	0.472
Ca/(Ca+Na)	0.200	0.188	0.230	0.234	0.141	0.155	0.181	0.117	0.002	0.008	0.126	0.099	0.005
R1+R2	3.296	3.147	3.105	2.969	2.810	2.895	3.257	2.871	2.894	2.869	2.850	3.442	2.902
R3	6.150	6.276	6.531	6.608	6.187	6.586	6.399	6.578	6.513	6.632	6.586	6.139	6.390

Çizelge 3. Çine ve Milas yöresi turmalinlerin mineral kimyası (Formüller 24. oksijen tabanına göre hesaplanmıştır)

Örnek No	A5-1	A5-8	A5-10	A5-12	A5-15	A5-16	TH1-37	TH1-49	TH2-36	TH2-38	TH3-9
SiO ₂	35.79	35.71	36.01	36.03	35.32	35.55	34.11	34.30	34.80	34.71	35.01
TiO ₂	0.34	0.39	0.38	0.42	0.32	1.03	0.84	0.83	0.91	0.75	0.60
Al ₂ O ₃	32.43	34.08	33.61	33.80	34.57	30.77	32.52	31.11	34.16	34.43	33.32
FeO	11.72	11.83	12.01	11.48	11.79	11.70	11.80	11.81	12.12	13.00	10.11
MnO	0	0.22	0.05	0.12	0.10	0.06	0.01	0.12	0.12	0.10	0.15
MgO	3.11	2.41	2.26	2.48	2.34	4.62	2.64	2.57	1.89	1.85	4.08
CaO	0.13	0.12	0.10	0.10	0.09	0.53	0.24	0.25	0.47	0.17	0.42
Na ₂ O	2.50	2.38	2.21	2.19	2.09	2.44	2.26	2.26	2.43	2.03	2.31
K ₂ O	0.05	0.08	0.04	0.03	0.05	0.06	0.10	0.03	0.40	0.06	0.00
F	0.22	0.04	0.00	0.11	0.18	0.31	0.35	0.00	0.13	0.00	0.71
Toplam											
Si	5.972	5.892	5.971	5.953	5.842	5.915	5.809	5.954	5.77	5.772	5.783
Al ⁽¹⁾	0.028	0.108	0.029	0.047	0.158	0.085	0.191	0.036	0.23	0.228	0.217
Al ⁽²⁾	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Al ^(Y)	0.352	0.521	0.541	0.537	0.583	0	0.338	0.33	0.655	0.522	0.272
Ti	0.043	0.048	0.047	0.052	0.04	0.129	0.108	0.108	0.113	0.094	0.075
Fe	1.636	1.632	1.665	1.586	1.631	1.628	1.681	1.714	1.681	1.808	1.397
Mn	0	0.031	0.007	0.017	0.014	0.008	0.001	0.018	0.017	0.014	0.021
Mg	0.773	0.593	0.558	0.611	0.577	1.146	0.67	0.665	0.467	0.458	1.004
Ca	0.023	0.021	0.018	0.18	0.016	0.094	0.044	0.046	0.084	0.03	0.074
Na	0.809	0.761	0.711	0.702	0.67	0.787	0.746	0.761	0.781	0.655	0.74
K	0.011	0.017	0.008	0.006	0.011	0.013	0.022	0.007	0.085	0.013	0
F	0.116	0.021	0	0.057	0.094	0.163	0.189	0	0.068	0	0.371
□	0.157	0.201	0.263	0.112	0.303	0.106	0.188	0.186	0.05	0.302	0.186
Fe/(Fe+Mg)	0.679	0.733	0.749	0.722	0.739	0.587	0.715	0.720	0.783	0.798	0.582
Ca/(Ca+Na)	0.972	0.973	0.975	0.796	0.977	0.893	0.944	0.943	0.903	0.956	0.909
R1+R2	3.252	3.042	2.946	3.004	2.881	3.687	3.151	3.209	3.077	2.87	3.577
R3	6.423	6.681	6.624	6.616	6.793	6.162	6.640	6.475	6.803	6.878	6.458

Çizelge 3. Çine ve Milas yöresi turmalinlerin mineral kimyası (devam)

Örnek No	TH4-17	TH5-44	TH5-45	TH5-46	PT2-24	PT2-25	PT3-27	PT4-28	PT5-31
SiO ₂	35.29	35.93	33.83	35.52	35.02	33.84	35.19	35.73	35.46
TiO ₂	0.34	0.66	1.10	0.6	1.0	0.63	0.53	0.88	0.76
Al ₂ O ₃	33.94	34.78	32.95	32.87	33.95	33.69	34.73	33.61	35.15
FeO	11.78	11.96	11.84	12.46	13.48	13.36	13.18	13.35	13.08
MnO	0.11	0.10	0.06	0.10	0.09	0.00	0.00	0.05	0.08
MgO	2.31	2.47	2.68	2.60	1.44	1.65	1.61	1.59	1.71
CaO	0.13	0.27	0.34	0.21	0.05	0.10	0.00	0.18	0.24
Na ₂ O	2.17	2.02	2.33	2.28	2.29	2.21	2.38	2.18	1.97
K ₂ O	0.04	0.08	0.06	0.14	0.01	0.00	0.00	0.00	0.12
F	0.00	0.58	0.00	0.32	0.00	0.03	0.00	0.16	0.00
Toplam									
Si	5.891	5.817	5.748	5.88	5.823	5.752	5.816	5.898	5.792
Al ⁽¹⁾	0.111	0.183	0.252	0.212	0.177	0.248	0.184	0.102	0.208
Al ⁽²⁾	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Al ^(Y)	0.568	0.455	0.348	0.421	0.478	0.503	0.577	0.438	0.56
Ti	0.043	0.08	0.141	0.075	0.125	0.081	0.066	0.109	0.093
Fe	1.645	1.619	1.682	1.73	1.874	1.899	1.822	1.843	1.787
Mn	0.016	0.014	0.009	0.014	0.013	0	0	0.007	0.011
Mg	0.575	0.596	0.679	0.643	0.357	0.418	0.397	0.391	0.416
Ca	0.023	0.047	0.062	0.037	0.009	0.018	0	0.032	0.042
Na	0.702	0.634	0.768	0.766	0.738	0.728	0.731	0.698	0.624
K	0.009	0.017	0.013	0.03	0.002	0	0	0.025	0.019
F	0	0.297	0	0.168	0	0.116	0	0.084	0
□	0.266	0.302	0.157	0.167	0.251	0.254	0.269	0.245	0.315
Fe/(Fe+Mg)	0.741	0.731	0.712	0.729	0.840	0.820	0.821	0.825	0.811
Ca/(Ca+Na)	0.968	0.931	0.925	0.954	0.988	0.976	1	0.956	0.937
R1+R2	2.767	2.905	3.227	3.145	2.868	3.079	2.971	2.975	2.931
R3	6.787	6.725	6.736	6.531	6.819	6.827	6.827	6.656	6.851

4.1. Mössbauer Spektrometresi Analizleri

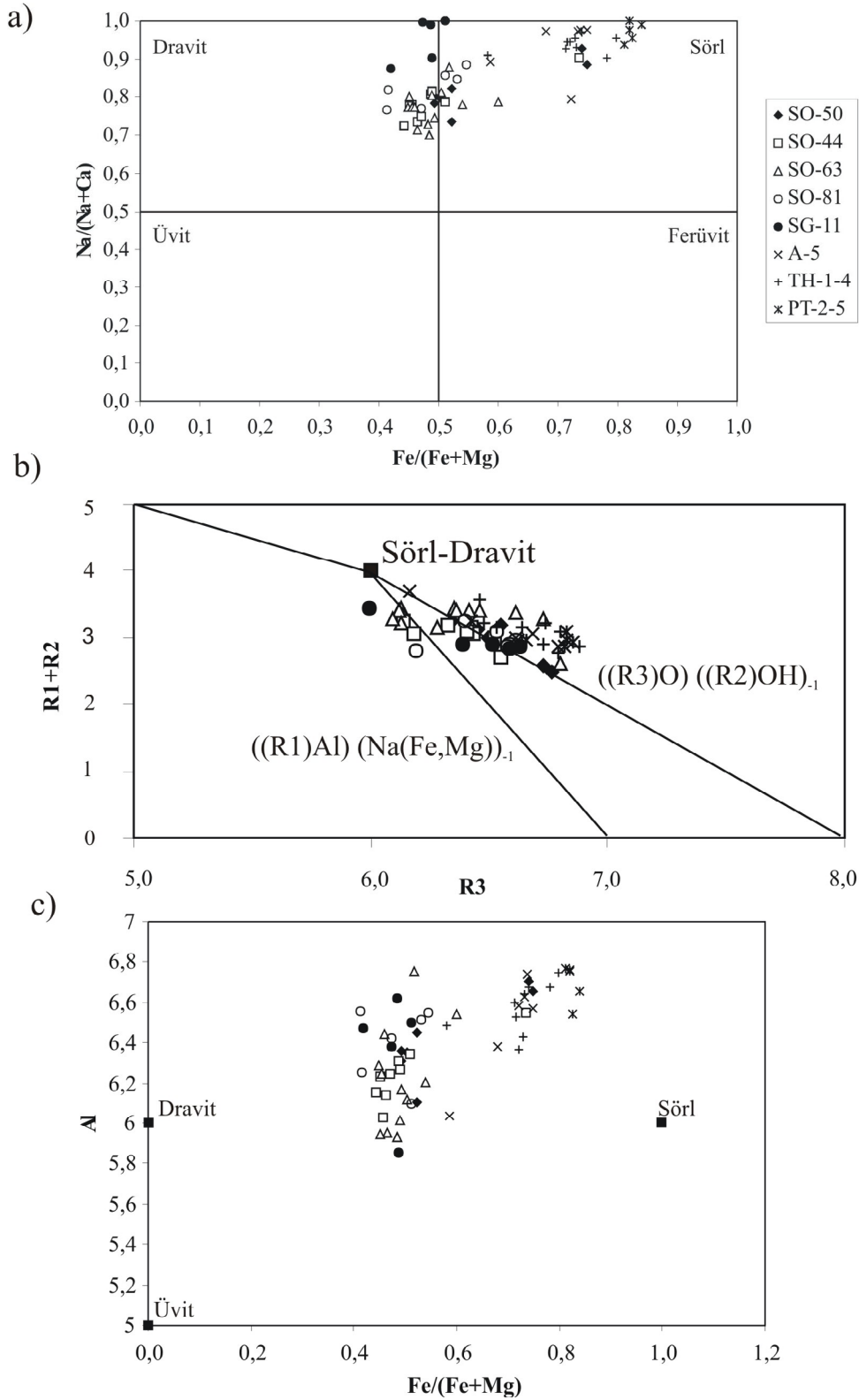
Bilindiği gibi Fe^{2+} ve Fe^{3+} , turmalin kristal kafesinin oktaeder Y ve Z bölümlerinde yer alabilmektedir. Bu iki konum birbirinden büyüklük ve simetri açısından farklıdır. Y oktaederi iki Y ve kendisinden daha küçük olan ($Y_{\text{polyedral hacim}}=10,715 \text{ \AA}^3$, $Z_{\text{polyedral hacim}}=1,929 \text{ \AA}^3$; Smyth & Bish 1988) iki Z oktaeder ile kenar paylaşmaktadır. Z oktaedronu ise iki Z ile üç ve bir Y oktaederi ile bir kenar paylaşır. Herbir değerdeki ve konumdaki demirin farklı elektromanyetik bozulmaları Mössbauer Spektrum' u ile ayırt edilebilmektedir.

Turmalin üzerinde ilk Mössbauer çalışmalarını yapan Burns ve Simon, yapısında Fe^{2+} ve Fe^{3+} bulduran bir turmalinde $^{[Y]}Fe^{2+}$, $^{[Y]}Fe^{3+}$, $^{[Z]}Fe^{2+}$ ve $^{[Z]}Fe^{3+}$ olmak üzere dört farklı dublet ayırtlamışlardır. Diğer bir olasılık ise düşük Si ve Al içerikli örneklerdeki muhtemelen $^{[T]}Fe^{3+}$ varlığıdır. Bazı turmalinlerin Mössbauer spektraları oktaedral konumdaki kenar paylaşımlarının aynı zamanda elektron paylaşımlarında doğurması nedeniyle oldukça karmaşıktır. Eğer turmalinin toplam demir içeriği yeteri kadar yüksekse veya uygun olarak dizilmişse, komşu konumdaki Fe atomları elektron paylaşır. Bu elektron paylaşımı Mössbauer spektrasında, "elektron yük yerdeğişimi" (ED=Electron Charge Delocalization) adı altında yeni bir dublet olarak kendini göstermektedir. Elektron paylaşan demir atomlarının ortalama yük değerleri 2^+ ile 3^+ arasında bir sayıdır. ED dubletleri turmalin spektralarında ilk kez Saegusa vd. ve Farrow vd. tarafından saptanmıştır (Saegusa vd., 1979; Farrow vd., 1988).

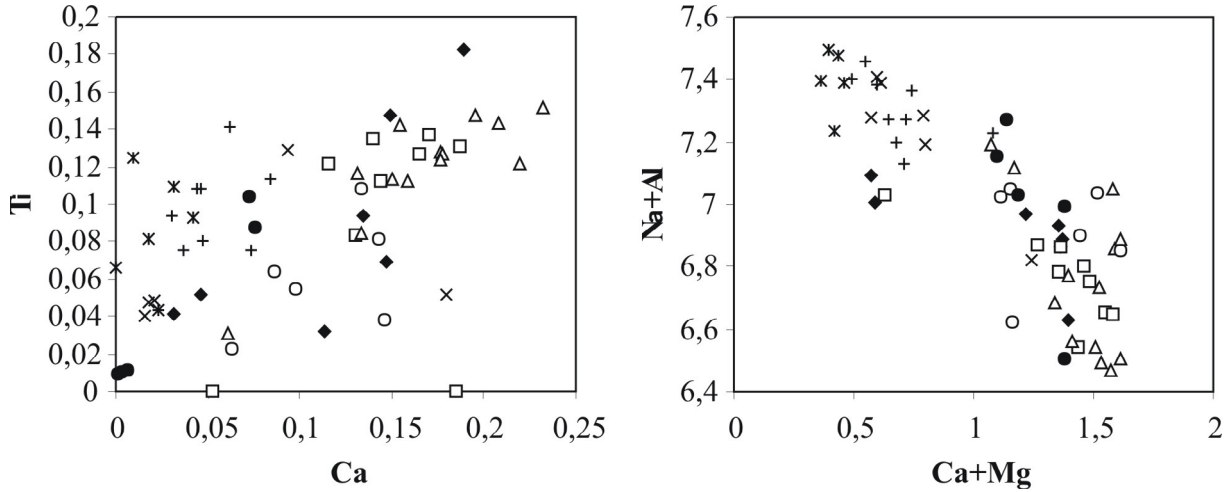
Çine yöresi pegmatitlerine ait örnekte dört farklı Mössbauer dubleti saptanmıştır (Çizelge 3). İlk iki dublete ait δ (isomer shift) değerleri 1 mm/sn değerinin üzerindedir ve sırasıyla $\delta=1.061$ mm/sn ve $\delta=1.85$ mm/sn olarak belirlenmiştir. İsoomer shift değerlerinin 1'den büyük olması demirin 2^+ değerlilikli olduğunu kanıtlamaktadır. Birinci dublet için Δ (quadrupole splitting) değerinin 1,89 mm/sn olması 2^+ değerlilikli demirin Z(18c) konumunda bulunduğu bir işarettir. İkinci dubletin Δ (quadrupole splitting) değeri ilkinden farklı olarak 2'den büyüktür ($\Delta=2.44$ mm/sn). İsoomer shift değeri $\delta=1.1$ mm/sn ve quadrupole splitting değeri 2'den büyük dubletler Fe^{2+} in Y konumunda olduğunu göstermektedir. Üçüncü dubletin göreceli olarak düşük isomer shift değeri ($\delta=0.51$ mm/sn) indirgenmiş 3^+ değerlilikli demirin varlığına işaret etmektedir. Üçüncü dubletin birden küçük olan Δ değeri ($\Delta=0,62$ mm/sn) Fe^{3+} ün Y konumunda yerleştiğinin bir göstergesidir. Beşinci dublete ait izomer shift değeri ise demir atomlarının aralarında bir elektron paylaşımının sözkonusu olduğunu belirtmektedir. Bu durum elektron yük yerdeğişimini (ED=Electron Charge Delocalization) veya değerler arası yük transferinin (IVCT=Intervalance Charge Transfer) oluştuğunu göstermektedir.

Çizelge 3. Mössbauer Spektrometre Sonuçları (δ = İsoomer shift, Δ =Quadrupole Splitting)

	δ (mm/sn)	Δ (mm/sn)	Değerlilik	Konum	Toplam Fe (%)
1. dublet	1.06 (1)	1.89 (2)	Fe^{2+}	Z	33.5
2. dublet	1.085 (1)	2.44 (5)	Fe^{2+}	Y	51.8
3. dublet	0.51 (9)	0.62 (2)	Fe^{3+}	Y	8.5
4. dublet	0.82 (2)	1.24 (6)	$Fe^{2+}-Fe^{3+}$	-	6.2



Şekil 4. Sinancılar turmalinleri dravit uç bileşenlerine yakın iken, Çine turmalinleri şörl uç bileşenine yakın bir bölgede yer almaktadır. b) Turmalinlerin alkali ve proton azalma eğilimlerinin gösterildiği diyagramda Çine örneklerinin tamamının Sinancılar örneklerinin büyük bir bölümünün proton azalma eğiliminde ($R1=Na+Ca$, $R2=Fe+Mg+Mn$, $R3=Al+1,33Ti$) oldukları gözlenmektedir. c) Al ve Fe elementleri Çine turmalinlerinde yoğunlaşırken Mg Sinancılar turmalinlerinin bileşiminde daha yükündür.

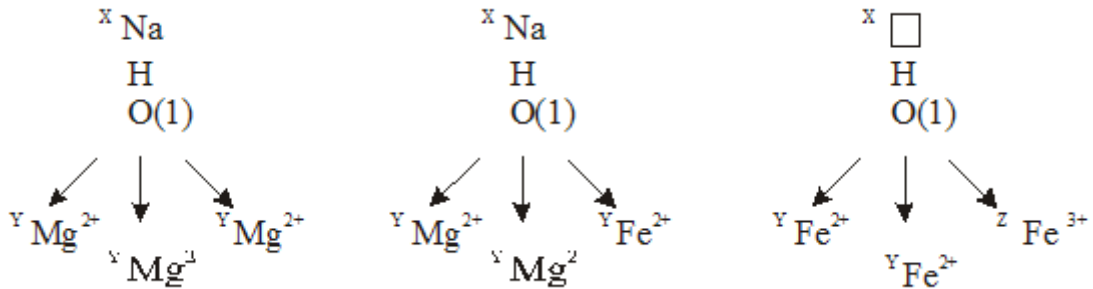


Şekil 5. a) Her iki yore turmalinleri için Ca ile Ti'nin pozitif korelasyonu b) Sinancılar ile Çine yöresi turmalinlerinin Na+Al'a karşı Ca+Mg diyagramında birbirlerine göre konumları

4.2. Çine Turmalinleri Üzerinde Fourier Transform Infra-Red (FTIR) Spektrometre Analizleri

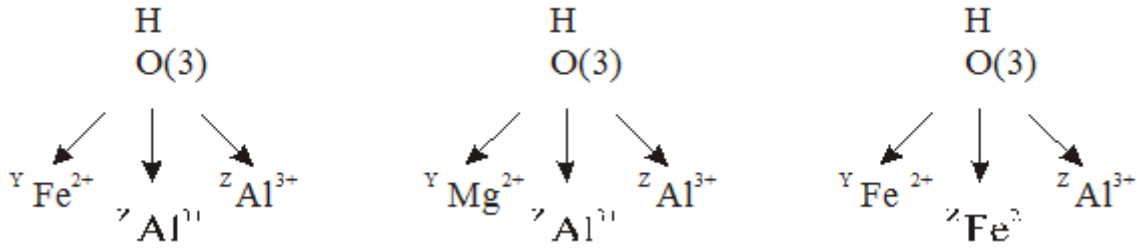
Mössbauer analizlerinde oktaeder yerleşimde iki ve üç değerli demirin varlığı ortaya konduktan sonra, bu sonuçları doğrulamak ve kafes içindeki yerleşimin detaylarını açığa çıkartmak amacıyla infra-red spektrometre analizleri uygulanmıştır. Analiz sonuçları değerlendirilirken, Gonzales vd.'nin yaptığı çalışma referans olarak alınmıştır (Gonzales vd., 1988). Turmalin kristal kafesinin oktaeder yerleşimindeki katyon bağlarını anlamak amacıyla $3400-3800\text{ cm}^{-1}$ aralığındaki bantları incelememiz gerekir. Bu nedenle bu bölümde BO_3 grubunun [O(2) ve O(8)] simetrik olmayan titreşimlerini karakterize eden $1400-1300\text{ cm}^{-1}$ dalga boyu aralığı ve tetraeder gruplardaki silisyum ile oksijen arasındaki bağları karakterize eden $1200-800\text{ cm}^{-1}$ dalga boyu aralığı incelenmemiştir.

$3400-3800\text{ cm}^{-1}$ aralığında elde edilen bantlar OH gruplarının oktaeder dizilimdeki X, Y ve Z konumlarındaki katyonları belirlemesi açısından önem taşımaktadır. Bilindiği gibi yüksek dalga boylu bantlar ($>3600\text{ cm}^{-1}$) içindeki OH gruplarının yaptığı bağları karakterize etmektedir. $3734-3722\text{ cm}^{-1}$ bandı hidroksil grubunun Y konumunda bulunan iki değerli katyonlarla (Fe, Mg), X konumunda bulunan Na ile yaptığı bağı temsil etmektedir. 3629 cm^{-1} absorpsiyon bandı içindeki hidroksil gruplarının Y konumundaki iki değerli katyonlar ve X konumundaki boşluk (\square) ile yaptığı bağı karakterize etmektedir. $3560-3550\text{ cm}^{-1}$ bantlarının dıştaki OH gruplarını temsil ettiği düşünülebilir (Şekil 6).

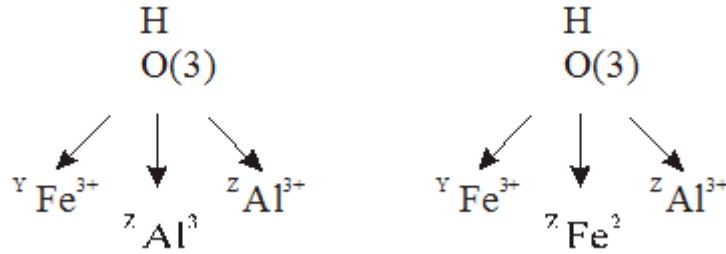


Şekil 6. Merkezdeki hidroksil grubunun olasılıkla bağlı olduğu X ve Y konumundaki katyonlar

Dıştaki OH grupları Y konumundaki iki değerli bir katyon ile Z (18c) konumundaki iki adet üç değerli katyonla bağ yapmaktadır. Tahtacı Yayla turmalinlerine ait kimyasal analiz ve Mössbauer Spektrometre sonuçları da göz önüne alındığında, O(3)H grubunun bağ yapacağı olası katyonlar Şekil 7'de verilmiştir. 3512 cm⁻¹ bandının yorumu bizi iki ayrı olasılığa yönlendirmektedir. Birinci olasılık O(3)H grubunun Y konumunda üç değerlikli demir ve Z konumunda iki adet alüminyum ile bağ yapmasıdır. Diğer olasılık ise artı iki değerlikli demirin Z konumunda alüminyumun yerini almasıdır (Şekil 8).



Şekil 7. Kenarlarda yer alan üç adet hidroksil grubunun bağlı olduğu Y ve Z konumundaki katyonlar



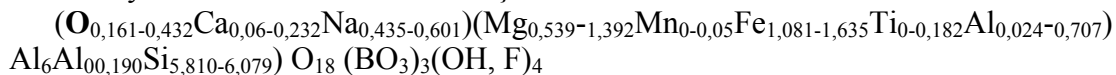
Şekil 8. İnfra-red spektrometresi yöntemi ile elde edilen 3512 cm⁻¹ bandının yorumlanması sonucu ortaya çıkan iki olasılık

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

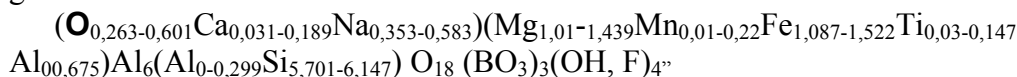
Sinancılar yöresinde turmalinler holokristalen hipidiyomorf dokulu, kuvars, K-feldispat, plajiyoklas, biyotit, muskovit, klorit, apatit, rutil ve zirkon içeren granit-granodiyorit bileşimli sintektonik yerleşimli sokulum kayaları ile ilişkilidir. Turmalinler granitik kayaların içindeki süreksizlikleri doldurur şekilde, aplitik ve pegmatitik damar kayaları içinde ışınal kristaller halinde ve gerek kontak metazomatik gerekse daha az oranda bölgesel metamorfik kayalar içinde bulunmaktadır.

Genel olarak dravit ve kısmen şörl bileşimindeki turmalinlerin mineral kimyaları incelendiğinde yüksek oranda alüminyum içeriği dikkat çekmektedir. Alüminyum oktaederin Z konumunu doldurduktan sonra Y konumunda formül başına 0,675 değerine kadar yükselmektedir. Alüminyum içeriğindeki bu artışa paralel olarak oktaederin X konumunda formül başına 0,5 değerine varan bir boşluk (O) söz konusudur.

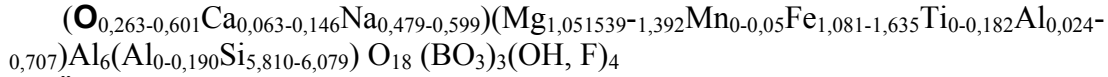
Granitlerin içinde damarlar şeklindeki turmalin kristalleri ve granitlerle ilişkili aplitik damar kayalarının turmalinlerinin bileşimleri benzerdir:



Granitin kantağında yan kayaç içinden örneklenen turmalinler granitler içindikilerle karşılaştırıldığında göreceli yüksek Mg buna karşın düşük Al içerikleri ile kendini göstermektedir.



Piroksen-hornfels fasiyesi içinde porfiroblastik turmalin kristalleri kenar ve çekirdek zonlarında farklı kimyasal bileşim sunar.



Özellikle yüksek alüminyum içeren turmalinlerin bileşiminde alüminyumun Y konumunda bulunması yük dengesinin X konumunda bir boşluk oluşturması şeklinde sonuçlandığı bilinmektedir. Bu tip turmalinler geniş bir sıcaklık ve oksijen fugasitesi aralığında oluşmaktadır (Fuchs vd., 1998). Sinancılar turmalinleri ile benzer yerini alma mekanizmaları etkisinde oluşan bu tipteki turmalinler Mössbauer spektrometresi çalışmaları temelinde aynı araştırmacı tarafından $\text{O}_x\text{R}^{+1-x}(\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Al})_3\text{Al}_6$ şeklinde formüle edilmiştir.

Çine yöresi pegmatitlerinden derlenen örnekler, şörl-dravit katı çözelti serisinin şörl bileşenine yakın bir bileşim sunmaktadır. Sinancılar yöresi turmalinleri ile karşılaştırıldığında kristal kafesinin X, Y ve Z konumlarında sırası ile yüksek Al, Fe ve Na içeriği ile karakteristiktir. Turmalinlerin kimyasal bileşimlerinin ait oldukları pegmatitlerin yerleştiği yan kayaçların kimyası ile uyumlu oldukları görülmektedir. Mikroprob çalışmaları sonucunda göreceli olarak yüksek demir içeriğine sahip olan Çine yöresi pegmatitlerine ait bu turmalinler üzerinde sırası ile Mössbauer ve İnfrared spektrometre çalışmaları uygulanmıştır. Mössbauer spektrometresi çalışmaları sonucunda yüksek demir içeriği sunan turmalinlerde iki ve üç değerli demirin kafesin hem Y hemde Z konumunda bulunduğu belirlenmiştir. İzleyen evrede aynı örnek üzerinde yapılan infra-red çalışması Mössbauer spektrometresi çalışmalarını doğrular nitelikte sonuçlar elde edilmiştir. Bu veriler ışığında kristalin farklı konumlarındaki farklı yüklerdeki demir katyonları turmalin formülünde yerine konulursa $(\text{O}_{0,22}\text{Ca}_{0,04}\text{Na}_{0,74})(\text{Mg}_{0,71}\text{Mn}_{0,02}\text{Fe}^{2+}_{0,84}\text{Fe}^{3+}_{0,14}\text{Ti}_{-0,06}\text{Al}_{0,9})(\text{Fe}^{2+}_{0,54}\text{Fe}^{2+-3+}_{0,10}\text{Al}_{5,36})(\text{Al}_{0,08}\text{Si}_{5,92})\text{O}_{18}(\text{BO}_3)_3(\text{OH}, \text{F})_4$ elde edilir.

Şörl bileşimindeki turmalinlerin kristal kimyası, bu mineralin okside eden hidrotermal sıvılarla Fe^{+3} e yükselttiğini göstermişlerdir. Yükseltgen karakterdeki hidrotermal sıvıların kökeni olasılıkla masifin geçirdiği Tersiyer metamorfizmasına bağlı olarak düşünülmektedir.

Batı Anadolu'da I tipi granitoidlerle ilişkili cevherli hidrotermal sistemlerde turmalin gerek sokulum içinde, gerekse hidrotermal damarlarda ve breş içinde önemli bir gang minerali olarak ortaya çıkmaktadır (Oyman, 2000). Cevherleşme ile ilişkili hidrotermal kökenli turmalinler, yüksek Ca, Fe ve düşük Al içeriği ile Sinancılar ve Çine Yöresi turmalinlerinden ayrılmaktadır. Sinancılar ve Çine yöresi turmalinlerinin kimyası, içinde bulunduğu granitik kayanın anatektik kökeni ve bölgesel metamorfizmayı izleyen kontak metazomatik işlevler tarafından kontrol edilmektedir.

KAYNAKLAR

- Akal C. (1993): "Occurance, Emplacement and Origin of Granites in Northern Part of Ödemiş-Kiraz Submassif Western Turkey", Yüksek lisans tezi., DEÜ. Müh. Fak. Jeol. Müh. Böl., İzmir, 110s.
- Cerny (1982): "Petrogenesis of Granitic Pegmatites; Granitic Pegmatites in Science and Industry–In: Cerny P., ed. "Mineralogical Association of Canada", Short Course Handbook, V. 8, pp. 405-461.
- Cerny (1991): "Rare Element Granitic Pegmatites", Part I: Regional.
- Egger A. (1974): "Mineral Exploration in Two Areas", U.N.Technical Rep.4, Up/UN/TUR-72.004.

- Emre T., Sözbilir H. (1997): "Field Evidence for Metamorphic Core Complex, Detachment Faulting and Accommodation Faults in the Gediz and Büyük Menderes Grabens, Western Anatolia", IESCA Proceedings, vol. I, pp. 73-93.
- Ferrow E.A., Annersten H., Gunawardane R.P. (1988): "Mössbauer Effect Study on the Mixed Valance State of Iron in Tourmaline", Mineralogical Magazine, vol. 52, pp. 221-228.
- Fuchs Y., Lagache M., Lineras J. (1998): "Fe-tourmaline Synthesis under Different T and f_{O_2} Conditions", American Mineralogist, Vol. 83, pp. 525-534.
- Gonzalez-Carreao T., Fernandez M., Sanz J. (1988): "Infrared and Electron Microprobe Analysis of Tourmalines", Physics and Chemistry of Minerals, Vol. 15, pp. 452-460.
- Henry G. (1985): "Tourmaline as a Petrogenetic Indicator Mineral: An Example from the Staurolite-Grade Metapelites of NW Maine", American Mineralogist. Vol. 70, pp. 1-15.
- Hetzl R., Passchier C.W., Rmg U., Dora O.Ö. (1995): "Bivergent Extention in Orogenetic Belts: The Menderes Massif (SW Turkey)", Geology, Vol. 23, pp. 455-458.
- Kaya G. (1997): "Contact Metamorphism in the Cover Series of the Menderes Massif, Southern Part of Turgutlu, Manisa", Yüksek Lisans Tezi, DEÜ Fen Bil. Ens. (Yayımlanmamış), 87 s.
- London (1992): "The Application of Experimental Petrology to the Genesis and Crystallization of Granitic Pegmatites", Candian Mineralogist., Vol. 30, pp. 499-540.
- Manning D.A.C. (1982): "Chemical and Mineralogical Variation in Tourmalines from the Hub Kapong Batholith of Peninsular Thailand", Mineralogical Magazine, Vol .45, pp. 139-147.
- Michailidis, Kassoli-Fournaraki (1994): "Chemical Variations in Tourmalines from Pegmatite Occurrences in Chaldiki Peninsula, Northern Greece", Schewiz Mineral, Petrogr. Mitt. Vol. 70, pp. 55-65.
- Mittwede K.S., Helvacı C., Karamanderesi İ.H., Kun N., Candan O. (1992): "Modes and Implication of Tourmaline Occurences in the Menderes Massif", Western Anatolia, Turkey", Yerbilimleri, Geosound, ISSN 1019-1003, 179-190.
- Mittwede K.S., Helvacı C., Karamanderesi İ.H. (1995): "Geochemistry, Exploration Significance and Genesis of Tourmalinites from the Lake Bafa Area, Southwestern Anatolia", International Earth Science Colloquim on the Aegean Region, Abstracts. Excursion guide, 23 p.
- Morgan VI G.B., London D. (1989): "Experimental Reactions of Amphibolite with Boron-Bearing Aqueous Fluids at 200 Mpa: Implications for Tourmaline Stability and Partial Melting in Mafic Rocks", Contrib. to Mineralogy and Petrology, Vol. 102, pp. 281-297.
- Oyman (1996): "K-feldspar Bearing Pegmatites of Çine (Aydın) Area, Menderes Massif", M.Sc. Thesis, DEÜ, Müh. Fak. Jeol. Müh. Böl., İzmir, 79 s.
- Oyman (2000): "Kalsik Bor-silikatların Duraylılık Alanlarının Deneysel İncelenmesi; Ege Bölgesi (Türkiye) Hidrotermal Mineralizasyon Sistemlerine Uygulanması", Doktora Tezi, DEÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 182 s.
- Pirajno F., Smithies R.H. (1992): "The FeO/(FeO+MgO) Ratio of Tourmaline: A Useful Indicator of Spatial Variations in Granite-Related Hydrothermal Mineral Deposits", Journal of Geochemical Exploration, Vol. 42, pp. 371-381.
- Saegusa N., Price D.C., Smith G. (1979): "Analysis of The Mössbauer Spectra of Several Iron-Rich Tourmalines", Journal de Physique, Vol. 40 (C2), pp. 456-459.