

# Sögüt-Bilecik Bölgesinde Polimetamorfizma ve Bunların Jeoteknik Anlamı

*Polyphase Metamorphism of the Sögüt-Bilecik Region, and their tectonic implications*

YÜCEL YILMAZ Tatbiki Jeoloji Kürsüsü, İ.Ü.F.F., İstanbul

**ÖZ:** Sögüt - Bilecik bölgesindeki metamorfik kayalar karmaşık bir metamorfizma evrimi geçirmişler ve bunun sonucu olarak farklı ortamlarda 3 ayrı metamorfizmadan etkinmişlerdir. Ofiyolitik türevli bu kayalar, ilk fazda artan metamorfizmaya uğramış, güneydoğudan kuzeybatıya doğru metalavdan amfibolite değin geçen tedrici değişimler kazanmışlardır. Harita alanında indeks minerallerin yardımıyla metamorfizma zonu ayırddilebilmiştir. Daha sonra aynı kayaları yüksek basınç ve düşük sıcaklık rejiminin egemen olduğu bir gerileyen metamorfizma etkilemiştir. İnceleme alanında sadece alkali amfibol gelişmesine özgül kalan bu faz, daha doğuya doğru tipik mavişist fasiyesi minerallerini oluşturmuştur. Son metamorfizma fazı ise birbirine zıt ortamları temsil eden kaya gruplarının tektonik yolla biraraya gelmelerinin neden olduğu bir dinamik metamorfizmadır. Bu fazda çeşitli derecelerde kataklastik etkiler gelişmiştir.

Bu yazıda, farklı metamorfizmaları tanıtan mineralojik özellikler ve faz değişiklikleri üzerinde durulmuş, petrografik, yapısal, kimyasal ve saha gözlemlerinin de yardımıyla bu verilerin orojenik anlamlarının tartışması yapılmıştır.

**ABSTRACT:** Rocks representative of three distinct metamorphic events and P/T environments are recognised in the Bilecik - Sögüt area. In the earliest phase the rocks of ophiolitic assemblage have undergone a progressive metamorphism forming a gradual transformation from non-metamorphic to amphibolite. The district has been divided into four distinct metamorphic zones proceeding from SB to NW. In a later phase a relatively high-pressure, low-temperature metamorphism retrograded the earlier effects. This new phase was restricted to the occurrence of alkali amphibole in the area mapped, but eastward formed typical blueschist facies mineral assemblages. In the last phase, tectonic juxtaposition of two groups of rocks of contrasting environments caused dynamic metamorphism, and produced various degrees of cataclasis along a narrow belt.

In this paper, the mineralogical data and phase changes have been focused on, and an attempt has been made to deduce orogenic implications from different lines of evidence including petrographic, structural and field observations.

## GİRİŞ

Orta Sakarya bölgesi ile onun bir bölümü olan Bilecik-Söğüt dolayının önemli bir kesiminde metamorfik kayalar yer alırlar. Eski çalışmalarda "ayrılanmamış eski temel"e ait olduğu ileri sürülen bu kayalar daha önce ayrıntılı olarak tanımlanarak, bölgenin eski temeliyle ilişkili olmadıkları, Alpin bir okyanus malzemesini temsil ettikleri belirtilmiştir (Yılmaz, 1977a). Bu araştırmada ise, egemen kaya birimi volkanojenik kökenli metabazit olan bu metamorfik kayaların geçirmiş olduğu karmaşık metamorfizma evrimi ve bu metamorfizmaların tabiatının mineralojik bulguların yardımıyla açıklanmasına çalışılmaktadır. Böylece farklı metamorfizmaların olduğu ortamların ve bu ortamları temsil eden fiziksel koşulların saptanması sonucunda jeolojik evrimin anlaşılmasına katkıda bulunabilmek amaçlanmıştır.

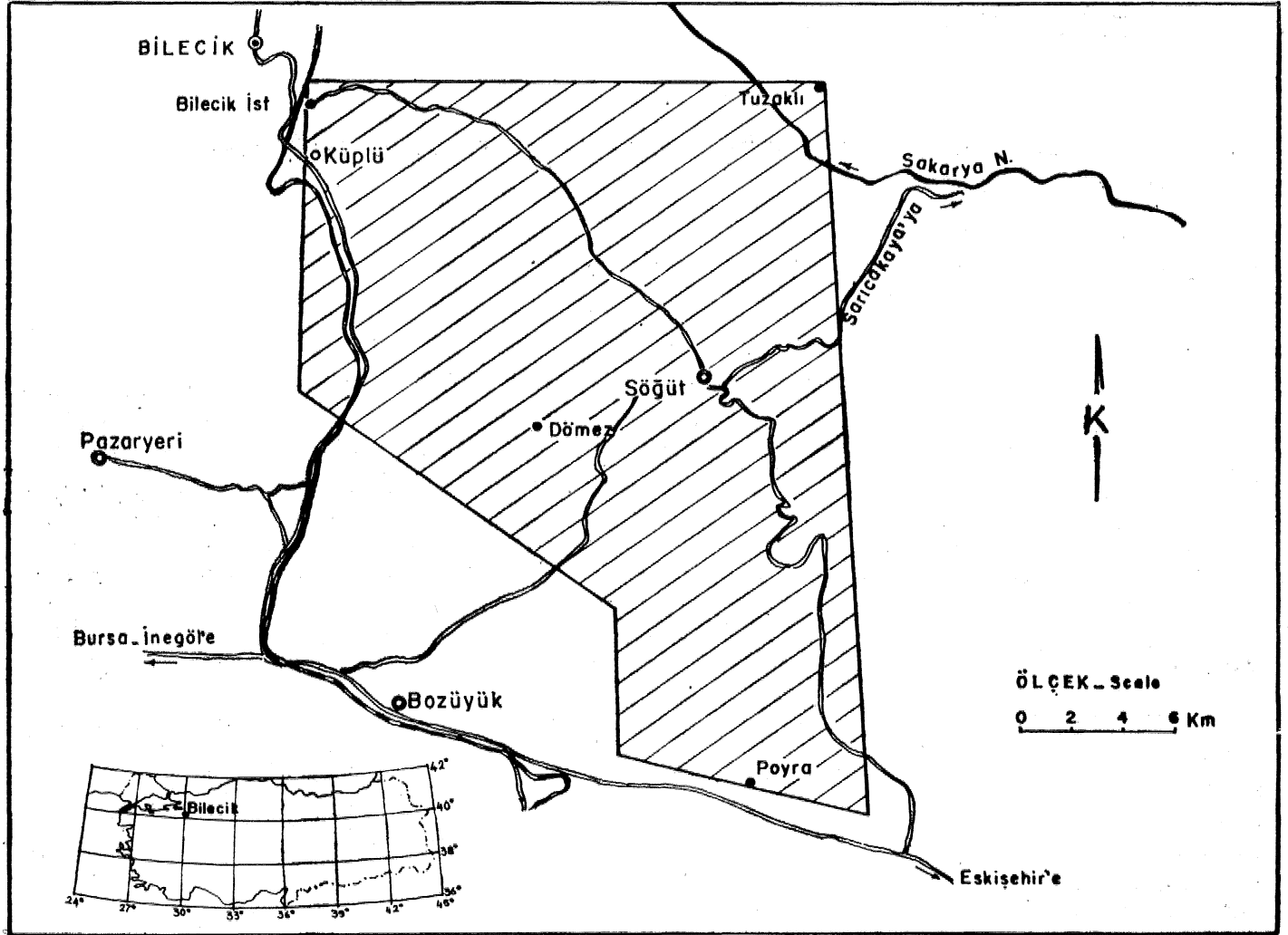
Söğüt - Bilecik alanından (Şekil 1) derlenen mineraloji ve petrografi verileri güneydoğudan kuzeybatıya doğru artan bir metamorfizmanın varlığını gösterir. En güneydoğu kesimde, birincil lav özelliği belirgin, ince dokulu, kötü yap-

raklı (veya som), yeniden kristallenmenin çok zayıf olduğu yeşil kayalar; iri dokulu, iyi yapraklı başlıca epidot + gra-nat + hornblent ile temsil olunan ileri derecede metamorfik kayalara dereceli olarak geçerler. Bu geçişte metamorfizmanın artışına uygun olarak 4 zon ayırılarak haritalanmıştır (Yılmaz, 1977a). Artan metamorfizmanın etkileri bu zonlarda kısaca aşağıdaki gibi özetlenebilir:

**Zon I:** Yapı ve doku özellikleriyle, bu zonda kayalar bazalt-spilit görünümündedir. Yer yer yastık yapısı ve piroklastik düzeyler tanınmıştır. Mikroskopta kalık klinopiroksen, kalsik plajiyoklas ve olivin (?) görülür.

Metamorfizma ürünü olarak albit, klorit, fenjit ve stil-pnomelan yerel olarak gelişmiş olup, düzensiz bir dağılım gösterirler.

**Zon II:** Metabazitin kalık özellikleri giderek azalır. Metamorfizma minerallerinin gelişiminde belirgin bir ilerleme görülmeyle birlikte tane boyunda gelişme henüz farkedilemez. Bu zon aşağıdaki mineral toplulukları ile temsil olunur:



Şekil 1: Bulduru haritası.

Figure 1: Location map of the investigated area.

Klorit+epidot } Albit+lökoksen+beyaz mika  
Aktinolit+klorit+epidot } Klinozoisit+kuvars±kalsit

Zon III: Bu zon, albitin porfiroblastik büyüme kazanıp kayaya beneklişist görünüşü vermesiyle ayırđedilir. Aynı zamanda stilpnomelan kaybolmuş, klorit ile epidot giderek azalmış, ancak granat açımını göstermiştir, Zon IIIte Zon II'den farklı olarak hornblent duraylı bir faz olarak belirir. Bu zonda mavi yeşil (z absorpsiyon rengi) olan hornblentin yanısıra aktinolite de hâlâ rastlanmaktadır.

Zon IV: Bu zon, yeşil hornblentin temsilci kalsik amfibol olarak gelişmesiyle tanınır. Aşırı gelişme göstermesi, hacim yüzdesi olarak albit portiroblastının yerini alması nedeniyle hornblendin egemen olduğu bu kesimde kayalar amfibolit görünüşü kazanırlar. Renk parlak, koyu yeşildir. Başlıca mineraller hornblent ve albittir. Ancak albitin, anortit bileşiminde artış olduğu saptanmıştır.

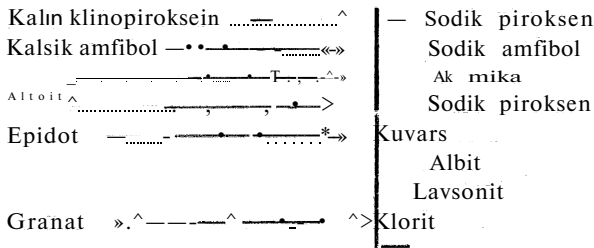
Bazı volkanik kayadan, önce kötü yapraklı metabazite sonra yeşilşist ve benekli şiste, daha sonra ise amfibolite bu sürekli geçiş, artan metamorfizmanın belirgin saha verileridir. Zon I ve Zon IV arasında, minerallerin duraylılık ilişkileri Şekil 2'de gösterilmiştir,

|                   | Zon I | Zon II    | Zon III              | Zon IV          |
|-------------------|-------|-----------|----------------------|-----------------|
| <b>Metabazit</b>  |       |           |                      |                 |
| Albit             |       |           |                      |                 |
| Kuvars            |       |           |                      |                 |
| Epidot            |       |           |                      |                 |
| Kalsit            |       |           |                      |                 |
| Klorit            |       |           |                      |                 |
| Granat            |       |           |                      |                 |
| Ca-amfibol        |       | Aktinolit | Mavi yeşil hornblent | Yeşil hornblent |
| Na-amfibol        |       |           |                      |                 |
| Sfen              |       |           |                      |                 |
| Stilpnomelan      |       |           |                      |                 |
| Ak mika           |       |           |                      |                 |
| <b>Metapellit</b> |       |           |                      |                 |
| Albit             |       |           |                      |                 |
| Kuvars            |       |           |                      |                 |
| Epidot            |       |           |                      |                 |
| Kalsit            |       |           |                      |                 |
| Klorit            |       |           |                      |                 |
| Ak mika           |       |           |                      |                 |
| <b>Metaçört</b>   |       |           |                      |                 |
| Albit             |       |           |                      |                 |
| Kuvars            |       |           |                      |                 |
| Klorit            |       |           |                      |                 |
| Granat            |       |           |                      |                 |
| Ak mika           |       |           |                      |                 |
| Na-amfibol        |       |           |                      |                 |

Şekil 2: Zon I ile Zon IV arasında minerallerin duraylılık ilişkileri.

Figure 2: Schematic mineral parageneses between zone I and zone IV.

Artan metamorfizmayı izleyen bir evrede, gerileyen bir metamorfizmanın etkisi de tüm Orta Sakarya metamorfik kayalarında tanınmıştır. Haritalanan alanda özellikle alkali amfibolün gelişimine özgül kalan bu metamorfizma daha doğuya doğru tipik mavi şistlerin ortaya çıkışına neden olmuştur. İnceleme alanı doğuya doğru değişen bu koşullara geçişin eşliği niteliğindedir. Yüksek basınç, düşük sıcaklık koşulu olarak tanımlanabilen bu koşul nedeniyle doğuya doğru epidot, aktinolit/hornblent giderek yok olurken, alkali amfibol, lavsonit ve Jadeit duraylılık kazanmağa başlar. Artan metamorfizma mineralleri üzerinde büyüyen bu yeni minerallerin gelişimi tüm Orta Sakarya bölgesi için aşağıdaki çizelgede gösterildiği gibi özetlenebilir.



Harita alanının doğu kesiminde yaralan geçiş kayalarından sodik amfibol içeren metabazitte başlıca şu mineral topluluğunun geliştiği görülmüştür: albit + klorit + epidot + kalsit + beyaz mika + opak demir mineralleri, Basınç-sıcaklık koşulları bakımından hareketli bir alan olarak beliren bu güneydoğu kesimden batıya doğru yüksek sıcaklık, doğuya doğru ise yüksek basınç etkileri izlenmektedir.

Birinci metamorfizma fazı ( $M_1$ ), ortaç-yüksek basınç, yüksek sıcaklık koşulunda geçmiş olup,  $F_1$  kıvrım fazı ile sintektoniktir (Yılmaz, 1977a), Metamorfik kayalar daha sonra değişik bir ortamda, yüksek basınç, düşük sıcaklık rejiminin egemen olduğu bir gerileyen (retrograd) metamorfizmaya da uğramıştır. Bu faz ( $M_2$ ),  $F_4$  kıvrım fazı ile ilişkili olup, ofiyolit topluluğu kayaları ile onların metamorfik eşdeğeri olan (Yılmaz, 1977a) ve yukarıda sözü edilen metamorfik kayaların Orta Sakarya bölgesine yerleşmeleri sürecinde gelişmiştir. Üst Kretasede gelişen bu Jeolojik olayı izleyen bir evrede ise Sakarya nehrinin kuzey kesiminde yeralan ve Orta Sakarya graniti olarak tanımlanan (Yılmaz, 1977a) granitik kayalar güneye doğru İtilerek metamorfik kayaların üzerine ilerlemiştir. İtilmenin neden olduğu kataklastik etki sonucunda gelişmiş dinamik metamorfizma ürünü kayalar, bölgede geniş bir ezik zon (1-5 km) geliştirmiştir. Böylece üçüncü bir metamorfizmanın izlerine de belirli bir kuşak boyunca rastlanır (Yılmaz, 1977a).

Bu yazıda, artan ve gerileyen metamorfizmanın inceleme alanında temsilcisi olan ana mineraller tanıtılacaktır. Bu araştırma aynı zamanda metabazitin kökenini araştırmayı hedef alan ve kalık klinopiroksenler üzerinde yürütülen önceki bir incelemeyi de (Yılmaz, 1977b) tümler niteliktedir.

#### ANALİTİK YÖNTEM

Söğüt- Bilecik bölgesi metamorfik kayalarındaki kritik minerallerin tanımları optik yoldan ve elektron mikrosondası (electron microprobe) yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Birlikte bulunan fazların, elektron mikrosonda analizi ile

saptanan kimyasal bileşenleri, çeşitli başka çalışmalar ve birbiriyle karşılaştırılmıştır. Si ve Ca için vollastonit ve/veya ojit, Fe ve Mg için olivin, Mn ve Ti için arı metal, Al için topaz, Na için Jadeit, K için mikroklin standart olarak kullanılmıştır. Gravimetrik analizleri daha önce yapılmış, bu mineraller üzerinde, her analiz sırasında başta, ortada ve sonda denetim gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, alet içi yanlışlar ve elementlerin karşılıklı etkileri nedeniyle, elektronik hesaplayıcı programı aracılığıyla düzeltilmiştir.

Her nokta için yaklaşık  $10 \text{ A}^\circ$  boyutunda alan analiz edilmiş, okumalar 20 saniyelik sürelerde yapılmış ve yaklaşık 5 değişik alandan 3 okumanın ortalaması alınmıştır. Zonlu olasılığından kuşkuyla mineralerde merkezden çepere 8 değişik ölçüm yapılmıştır. Elektron mikrosonda analizinde "Electron probe microanalyser Cambridge-5"ten yararlanılmıştır. Fazların saptanan kimya bileşenleri oksit yüzdesi olarak verilmektedir. Ana element analiz sonuçları gravimetrik analizlerle karşılaştırılarak doğruluğa  $\pm \%1$  hata ile ulaşıldığı saptanmıştır. Oksit yüzdelere dayanarak iyon miktarları (iyon sayıları) hesaplanmıştır.

Günün elektron mikrosonda tekniği  $\text{Fe}^{+2}$ 'nin  $\text{Fe}^{+3}$ 'den ayrılmasına olanak vermediği için bütün fazlarda demir, ferrik demir olarak verilmiştir. Sodik amfibolün oluşturduğu izomorf seride  $\text{Fe}^{+2}$  ve  $\text{Fe}^{+3}$ 'ün bilinmesi gerektiğinden, bu ayırt özel bir yöntemle saptanmıştır (R. Hall, 1976, yazılı görüşme). Ayrıca bu yöntem uçucuları da belirleyemediğinden  $\% \text{H}_2\text{O}$ , amfibol ve epidotta  $\%2-3$  mikada  $\%4$ , kloritte  $\%12$  kabul edilerek toplamı  $\% 98-101$  dışındaki analizler değerlendirmeye sokulmamıştır. Aşağıda, bu tekniklerin uygulandığı indeks mineraller tek tek ele alınıp değerlendirilmektedir.

#### SODİK PLAJOKLAS

Bilecik - Söğüt bölgesindeki metamorfik kayaların hemen tümünde sodik plajyoklas duraylı bir faz olarak bulunur. Metaçört ve metapelitde ise klastik bazik plajyoklas yer yer korunabilmiştir.

Sodik plajyoklas bileşimi elektron mikrosonda analiziyle değerlendirilerek saptanmış, zaman zaman üniversal döner tabla ile denetimler gerçekleştirilmiştir.

Analiz sonuçları Çizelge 1'de gösterilmektedir. Metapelit ve metabazit'ten derlenen sodik plajyoklas Zon I'de  $\text{An}_{100}$  iken Zon IV'de  $\text{An}_{0,5}$  ile  $\text{An}_{0,6}$  arasında değişen değerlere varır. Tümüyle Zon I ile Zon IV arasında, artan metamorfizma, gelişen tane boyuna rağmen önemli bir An artışı geliştirememiştir. Plajyoklasın, harita alanı içinden ve tüm metamorfik kuşaktan derlenen birçok kayada an sodik albit ile temsil edildiği görülmüştür.

- Saptanan plajyoklas bileşimi genellikle yeşilşist ve mavişist fasiyeleri gibi düşük metamorfizma koşullarını işaret etmektedir (Miyashiro, 1978; Winkler, 1974; Turner, 1968). Fakat bölgede metamorfizmanın plajyoklasın belirttiğinden daha yüksek dereceye eriştiği diğer minerallerin tartışılmasıyla sağlanan verilerden öğrenilmiştir. Böylece anortit bileşiminde, metamorfizma derecesinden umulan artışa erişilemediği belli olmaktadır. Bunun yanısıra plajyoklasın  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve  $\text{K}_2\text{O}$  bileşenlerinden beklenen değişimde görülmemiştir.

| zon                            | I      | n      | n      | II     | II     | II     |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Num.No.                        | Y18    | »8     | 84     | ¥15    | ¥84    | im     |
| SiO <sub>2</sub>               | 67,54  | 66,86  | 66,74  | 67,56  | 68,97  | 71,64  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 20,08  | 20,36  | 20,18  | 19,54  | 19,42  | 17,41  |
| FeO                            | 0,01   | 0,05   | 0,05   | 0,07   | 0,02   | 0,05   |
| MgO                            | —      | 0,01   | 0,01   | —      | —      | —      |
| OaO                            | —      | 0,02   | 0,02   | 0,02   | 0,03   | 0,04   |
| Na <sup>+</sup> O              | 11,23  | 11,46  | 11,52  | 11,58  | 10,55  | 9,17   |
| K <sup>+</sup> O               | 0,05   | 0,03   | 0,03   | 0,02   | 0,03   | —      |
| TiO <sub>2</sub>               | ~      | 0,01   | 0,01   | —      | —      | —      |
| Toplam                         | 98,96  | 98,64  | 98,71  | 98,80  | 99,02  | 98,30  |
| Si                             | 11,910 | 11,817 | 11,825 | 11,948 | 12,088 | 12,524 |
| Al                             | 4,170  | 4,261  | 4,216  | 4,075  | 4,013  | 8,588  |
| Toplam                         | 16,08  | 16,078 | 16,041 | 16,023 | 16,101 | 16,112 |
| Fe                             | 0,001  | 0,007  | 0,007  | 0,011  | 0,003  | 0,007  |
| Ca                             | —      | 0,004  | 0,005  | 0,004  | 0,004  | 0,007  |
| Na                             | 3,815  | 3,946  | 3,958  | 3,972  | 3,587  | 3,108  |
| K                              | 0,006  | 0,006  | 0,007  | 0,007  | 0,007  | —      |
| Mn                             | —      | —      | 0,002  | —      | 0,001  | —      |
| Mg                             | —      | 0,002  | 0,003  | —      | —      | —      |
| Ti                             | —      | 0,001  | 0,001  | —      | —      | —      |
| Toplam                         | 8,822  | 8,966  | 8,981  | 8,994  | 8,602  | 8,122  |
| Ab'                            | —      | 99,74  | 99,74  | 99,7   | 99,9   | 99,8   |
| An                             | —      | 0,11   | 0,08   | 0,1    | 0,1    | 0,2    |
| Or                             | —      | 0,15   | 0,18   | 0,2    | —      | —      |
| SiO <sub>2</sub>               | 70,27  | 70,87  | 71,51  | 70,98  | 71,37  | 72,09  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 19,67  | 18,91  | 19,25  | 19,56  | 19,68  | 17,99  |
| FeO                            | 0,02   | 0,05   | 0,05   | 0,07   | 0,07   | 0,07   |
| MgO                            | —      | —      | —      | 0,01   | —      | 0,01   |
| OaO                            | 0,05   | 0,04   | 0,04   | 0,04   | 0,09   | 0,09   |
| Na <sup>+</sup> O              | 10,76  | 9,93   | 9,90   | 10,50  | 10,52  | 9,68   |
| K <sup>+</sup> O               | 0, —   | —      | —      | —      | —      | —      |
| TKy <sup>+</sup>               | —      | —      | —      | —      | —      | —      |
| Toplam                         | 100,97 | 99,29  | 100,84 | 101,21 | 101,73 | 99,92  |
| Si                             | 12,170 | 12,245 | 12,248 | 12,153 | 12,154 | 12,433 |
| Al                             | 3,993  | 3,880  | 3,887  | 3,948  | 3,951  | 3,658  |
| Toplam                         | 16,163 | 16,125 | 16,135 | 16,101 | 16,105 | 16,091 |
| Fe                             | 0,003  | 0,007  | 0,007  | 0,010  | 0,010  | 0,010  |
| Oa                             | 0,009  | 0,007  | 0,007  | 0,017  | 0,016  | 0,017  |
| Na                             | 3,592  | 3,350  | 3,318  | 3,186  | 3,474  | 3,287  |
| İC -                           | 0,007  | —      | —      | —      | —      | —      |
| Mn                             | —      | —      | —      | —      | —      | —      |
| Mg                             | —      | —      | —      | 0,003  | 0,003  | Ofim   |
| <n                             | —      | —      | —      | —      | —      | —      |
| Toplam                         | 3,611  | 3,364  | 3,332  | 3,216  | 3,503  | 3,267  |
| Ab                             | 99,55  | 99,8   | 99,8   | 99,5   | 99,5   | 99,46  |
| An                             | 0,20   | 0,2    | 0,2    | 0,5    | 0,5    | 0,55   |
| Or                             | 0,2    | —      | —      | —      | —      | 0,1    |

Çizelge 1; Sodik plajioflokas analiz sonuçları ve her birim formülde  $0=2$  tabanına göre, susuz olarak hesaplanmış iyon miktarları. Analiz sonuçlarından saptanan albit (Ab), Anortit (An) ve K-Feldspat (Or) molekül yüzdeleri de çizelgeye eklenmiştir.

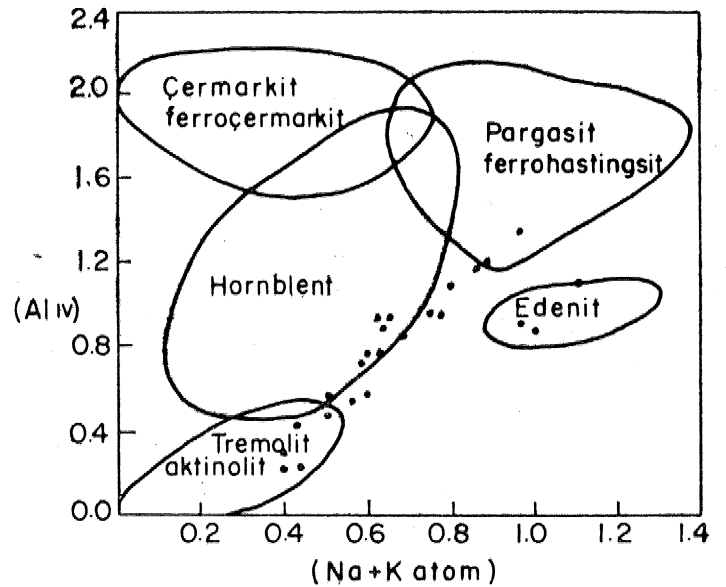
Tablo 1: Sodic plagioclase analyses and number of long, calculated on a theoretical anhydrous basis of  $0=82$  per unit formula. Molecular percentages of albite (Ab), anorthite (An) and K-feldspar are also added to the list.

Günümüzde değişen metamorfizma koşullarına karşın plajioflokas bileşimindeki değişimin mutlak değerini belirleyen kesin bir ayıraç bulunmuş değildir (Miyashiro, 1973). Fakat plajioflokasın anortit bileşimindeki artım, diğer ayıraçların yamsıra, metamorfizma derecesini belirleyen güvenilir bir veri olarak kullanılabilir.

#### KALSİK AMFİBOL

Artan metamorfizmayı inceleme alanında en iyi temsil eden mineral kalsik amfiboldür. Zon II'de temsilci monoklinik amfibol aktinolit'tir. Yukarı sonlarda hornblent gelişmiştir. Zon II'de hornblentte rengi (z absorpsiyon rengi) mavi-yeşil iken Zon IV'de yeşile dönüşür. Amfibolün Z için gösterdiği bu düzenli değişim "zon haritası" yapımında yararlanılan önemli bulgulardan biri olmuştur (Yılmaz, 1977a).

Söğüt metabazitindeki kalsik amfibolün kimya bileşenleri Çizelge 2'de gösterilmiştir. Her birim formüldeki iyon dağılımı analiz sonuçlarına eklenmiştir. Elde edilen değerler Na+K, (Al)<sup>IV</sup> diyagramına uygulanınca artan metamorfizmayla tümüyle uyumlu çizgisel bir artım geliştiği görülmektedir (Şekil 3). Zon I ve Zon II'den derlenen kalsik amfibol, tremolit/aktinolit bölgesine, Zon III ve Zon IV'deki değerler ise giderek hornblent alanına düşerler. Al<sup>IV</sup> artımına karşı, (Na+K) benzeri artım göstererek aktinolit'ten hornblente kesiksiz bir geçişi belirler. Aynı diyagrama, karşılaştırma amacıyla, Deer ve diğerlerinin (1963) saptadığı mineral bileşim alanları da eklenmiştir. Kalsik amfibolün Söğüt metabazitinde daha geniş bileşim alanı gösterişi dikkatçektir.



Şekil 3: Kalsik amfibol analizlerinin (Al) M/Na + k (atom) d-yagramındaki yeri.

Figure 3: Compositional variation of calcic amphiboles with regard to tetrahedrally coordinated aluminium and total alkalis per unit formula.

| Zon<br>Num. No.                | I<br>Y20 | I<br>Y20 | II<br>167 | II<br>167 | II<br>Y7 | II<br>167 | Zon<br>Num. No.                | III<br>92 | III<br>13 | III<br>153 | III<br>13 | III<br>159 | III<br>159 |
|--------------------------------|----------|----------|-----------|-----------|----------|-----------|--------------------------------|-----------|-----------|------------|-----------|------------|------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 56,88    | 56,06    | 53,92     | 53,57     | 52,39    | 52,34     | MgO                            | 9,48      | 10,76     | 10,50      | 12,07     | 13,86      | 13,99      |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1,40     | 1,40     | 5,44      | 5,04      | 5,45     | 5,44      | CaO                            | 8,26      | 8,55      | 8,53       | 9,48      | 11,04      | 10,73      |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 10,35    | 10,28    | 11,60     | 11,70     | 11,70    | 11,70     | Na <sub>2</sub> O              | 3,70      | 3,22      | 3,21       | 2,43      | 2,23       | 2,37       |
| MgO                            | 16,55    | 16,39    | 13,91     | 14,87     | 13,61    | 13,58     | K <sub>2</sub> O               | 0,33      | —         | —          | —         | —          | —          |
| CaO                            | 10,98    | 14,00    | 10,02     | 10,00     | 10,01    | 10,01     | Ti <sub>2</sub> O              | 0,47      | —         | —          | —         | —          | —          |
| Na <sub>2</sub> O              | 1,57     | 1,58     | 1,98      | 1,80      | 1,97     | 1,96      | Toplam                         | 98,45     | 100,59    | 99,54      | 97,22     | 97,90      | 97,46      |
| K <sub>2</sub> O               | —        | —        | —         | —         | —        | —         | Si                             | 7,017     | 7,180     | 7,186      | 7,283     | 7,134      | 7,310      |
| Ti <sub>2</sub> O              | —        | —        | —         | —         | —        | —         | Al                             | 0,983     | 0,820     | 0,814      | 0,717     | 0,866      | 0,690      |
| Toplam                         | 97,73    | 96,70    | 96,86     | 97,08     | 96,13    | 96,04     | Toplam                         | 8,000     | 8,000     | 8,000      | 8,000     | 8,000      | 8,000      |
| Si                             | 8,034    | 8,709    | 7,677     | 7,674     | 7,669    | 7,670     | Al                             | 1,101     | 1,213     | 1,220      | 0,847     | 0,766      | 0,928      |
| Al                             | —        | —        | 0,323     | 0,326     | 0,331    | 0,330     | Ti                             | 0,051     | —         | —          | —         | —          | —          |
| Toplam                         | 8,034    | 8,704    | 8,000     | 8,000     | 8,000    | 8,000     | Fe <sup>+3</sup>               | 0,927     | 0,823     | 0,826      | 0,836     | 0,666      | 0,599      |
| Al                             | 0,233    | 0,256    | 0,607     | 0,525     | 0,609    | 0,610     | Fe <sup>+2</sup>               | 0,927     | 0,823     | 0,826      | 0,836     | 0,666      | 0,599      |
| Ti                             | —        | —        | —         | —         | —        | —         | Mn                             | 0,013     | —         | —          | —         | —          | —          |
| Fe <sup>+3</sup>               | 0,612    | 0,668    | 0,724     | 0,701     | 0,716    | 0,716     | Mg                             | 2,042     | 2,234     | 2,202      | 2,605     | 2,951      | 2,847      |
| Fe <sup>+2</sup>               | 0,612    | 0,668    | 0,724     | 0,701     | 0,716    | 0,716     | Toplam                         | 5,061     | 5,093     | 5,074      | 5,124     | 5,044      | 4,973      |
| Mn                             | —        | —        | —         | —         | —        | —         | Ca                             | 1,279     | 1,276     | 1,286      | 1,471     | 1,690      | 1,590      |
| Mg                             | 3,484    | 3,795    | 3,007     | 3,174     | 2,696    | 2,966     | Na                             | 1,037     | 0,870     | 0,876      | 0,682     | 0,618      | 0,635      |
| Toplam                         | 4,941    | 5,387    | 5,062     | 5,001     | 4,737    | 5,008     | K                              | 0,037     | —         | —          | —         | —          | —          |
| Ca                             | 1,662    | 1,831    | 1,558     | 1,550     | 1,570    | 1,572     | Toplam                         | 2,377     | 2,146     | 2,162      | 2,153     | 2,308      | 2,225      |
| Na                             | 0,430    | 0,437    | 0,554     | 0,500     | 0,559    | 0,560     | SiO <sub>2</sub>               | 49,65     | 49,60     | 49,50      | 49,37     | 49,13      | 48,85      |
| K                              | —        | —        | —         | —         | —        | —         | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 10,00     | 9,71      | 10,87      | 9,66      | 9,89       | 23,48      |
| Toplam                         | 2,092    | 2,268    | 2,112     | 2,000     | 2,129    | 2,137     | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 13,79     | 11,24     | 15,14      | 11,20     | 13,67      | 12,96      |
| SiO <sub>2</sub>               | 53,70    | 53,08    | 52,96     | 52,22     | 49,87    | 49,71     | MgO                            | 11,37     | 13,61     | 10,63      | 13,46     | 11,05      | 9,47       |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 8,70     | 10,07    | 10,04     | 11,36     | 10,78    | 9,99      | CaO                            | 9,42      | 11,02     | 8,33       | 11,01     | 9,40       | 8,23       |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 10,37    | 10,58    | 10,56     | 14,14     | 15,34    | 13,68     | Na <sub>2</sub> O              | 2,65      | 2,23      | 3,29       | 2,23      | 2,64       | 3,15       |
| MgO                            | 14,67    | 13,70    | 13,63     | 11,47     | 10,29    | 11,49     | K <sub>2</sub> O               | —         | —         | 0,28       | —         | —          | 0,43       |
| CaO                            | 8,35     | 10,86    | 10,85     | 8,61      | 8,54     | 9,43      | Ti <sub>2</sub> O              | —         | —         | 0,26       | —         | —          | 0,35       |
| Na <sub>2</sub> O              | 1,61     | 2,40     | 2,40      | 2,95      | 3,28     | 2,65      | Toplam                         | 96,88     | 97,42     | 98,30      | 96,92     | 95,78      | 97,01      |
| K <sub>2</sub> O               | 0,14     | —        | —         | —         | 0,28     | —         | Si                             | 7,222     | 7,129     | 6,907      | 7,132     | 7,230      | 7,055      |
| Ti <sub>2</sub> O              | 0,14     | —        | —         | —         | 0,26     | —         | Al                             | 0,778     | 0,871     | 1,093      | 0,868     | 0,770      | 0,945      |
| Toplam                         | 97,85    | 100,68   | 100,44    | 100,74    | 98,78    | 96,93     | Toplam                         | 8,000     | 8,000     | 8,000      | 8,000     | 8,000      | 8,000      |
| Si                             | 7,006    | 7,302    | 7,304     | 7,256     | 7,171    | 7,221     | Al                             | 0,937     | 0,774     | 9,850      | 0,777     | 0,946      | 1,350      |
| Al                             | 0,904    | 0,698    | 0,696     | 0,744     | 0,929    | 0,779     | Ti                             | —         | —         | 0,030      | —         | —          | 0,038      |
| Toplam                         | 8,000    | 8,000    | 8,000     | 8,000     | 8,000    | 8,000     | Fe <sup>+3</sup>               | 0,839     | 0,676     | 0,961      | 0,677     | 0,842      | 0,783      |
| Al                             | 0,434    | 0,935    | 0,936     | 1,117     | 0,898    | 0,932     | Fe <sup>+2</sup>               | 0,839     | 0,676     | 0,961      | 0,677     | 0,842      | 0,783      |
| Ti                             | 0,014    | —        | —         | —         | 0,028    | —         | Mn                             | —         | —         | 0,015      | —         | —          | 0,012      |
| Fe <sup>+3</sup>               | 0,566    | 0,609    | 0,609     | 0,822     | 0,922    | 0,831     | Mg                             | 2,465     | 2,915     | 2,405      | 2,898     | 2,424      | 2,038      |
| Fe <sup>+2</sup>               | 0,566    | 0,609    | 0,609     | 0,822     | 0,922    | 0,831     | Toplam                         | 5,080     | 5,041     | 5,222      | 5,029     | 5,054      | 5,004      |
| Mn                             | 0,020    | —        | —         | —         | —        | —         | Ca                             | 1,468     | 1,697     | 1,355      | 1,704     | 1,482      | 1,274      |
| Mg                             | 2,853    | 2,809    | 2,801     | 2,375     | 2,204    | 2,488     | Na                             | 0,747     | 0,621     | 0,968      | 0,625     | 0,753      | 0,882      |
| Toplam                         | 4,433    | 4,962    | 4,955     | 5,136     | 4,974    | 5,082     | K                              | —         | —         | 0,054      | —         | —          | 0,079      |
| Ca                             | 1,167    | 1,601    | 1,603     | 1,282     | 1,315    | 1,468     | Toplam                         | 2,215     | 2,318     | 2,377      | 2,329     | 2,235      | 2,235      |
| Na                             | 0,407    | 0,640    | 0,642     | 0,795     | 0,914    | 0,746     |                                |           |           |            |           |            |            |
| K                              | 0,024    | —        | —         | —         | 0,051    | —         |                                |           |           |            |           |            |            |
| Toplam                         | 1,597    | 2,241    | 2,245     | 2,077     | 2,280    | 2,224     |                                |           |           |            |           |            |            |
| SiO <sub>2</sub>               | 48,54    | 51,54    | 51,06     | 50,29     | 49,93    | 49,83     |                                |           |           |            |           |            |            |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 12,83    | 12,38    | 12,26     | 9,16      | 9,69     | 10,05     |                                |           |           |            |           |            |            |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 15,33    | 14,13    | 14,03     | 13,79     | 11,15    | 10,49     |                                |           |           |            |           |            |            |

Çizelge 2: Kalsik amfibol analiz sonuçları ve her birim formülde 0=32 tabanına göre, susuz olarak hesaplanan iyon miktarları.

Table 2: Calcic amphibole analyses and number of ions calculated on a theoretical, anhydrous basis of 0=32 per unit formula.

Analiz, sonuçlarından da görüldüğü gibi, kalsik amfibolün kimya bileşimi fiziksel koşulların değişimine' uygundur (Şekil 3); İleri derecede metamorfik kayalara doğru amfibol daha sodikleşip Al'ca zenginleşmekte, Si değeri ise azalmaktadır., Değişim aşağıdaki çizelgedeki gibi özetlenebilir (burada değişik sonlarda ölçülen en büyük ve en düşük değerler listelenmiştir):

|                                  | Zon I | Zon II    | Zon III     | Zon IV       |
|----------------------------------|-------|-----------|-------------|--------------|
| % SiO <sub>2</sub>               | 56    | 54 - 52,3 | 53,7 - 48,5 | 51 - 54,8    |
| % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1,4   | 5,0 - 5,4 | 8,7 - 11,3  | 9,16 - 13,48 |
| % Na <sub>2</sub> O              | 1,57  | ≈ 2,00    | ≈ 2,50      | ≈ 3,00       |

TiO<sub>2</sub> değerinde de eser miktardan. Zon. IV'e doğru

bazı

artımlar görülmüştür.

Mikroskopik inceleme ve kimya analizi verilerinden aşağıdaki sonuçları sıralamak olanaklıdır:

a) Metamorfizmanın artışına uygun olarak TiO<sub>2</sub>, Na ve Al artmakta, Si ise azalmaktadır.,

b) Zon II ve Zon III'te sfen ana fazlardan biridir. Zon IV'te rutil, sfenin yerine, duraylı bir faz olarak belirmektedir. Ancak rutilin hacim yüzdesi sfene nazaran daha az; olduğundan açığa çıkan Ti'un bir kısmının da, hornblent şebekesinde tutulduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle sfen gibi titanca zengin bir fazın varlığında, kalsik amfibolün titan miktarı metamorfizmayla uyumlu bir artış göstermektedir.

Ca-amfibol bileşiminde alüminyumca zengin aktinolit Zon IV'e doğru yeşil hornblende sürekli bir geçiş bulunduğu söylenebilir; zira no. 159'daki gibi. örneklerde özellikle Na<sub>2</sub>O'nin arttığı, CaO'nin azaldığı ve bu nedenle barroisitik bir bileşime yaklaşıldığı anlaşılmaktadır. Binns (1065), Na/Ca = 1 olan subkalsik amfibolü barroisit olarak adlanmıştır. Zon IV'de aktinolit ile hornblent arası geçiş kayası içeren bazı amfibol analiz sonuçları Binns'in barroisit için önerdiği bu ayırda yaklaşık değerler vermişse de bunlar Binns'in değerlerine tamtamina uyumlu değildir.

#### SODİK AMFİBOL

Seyrek olmakla birlikte haritalanan alanda sodik amfibole pekçok kayada rastlanmış ve başlıca 2 kristal formu oluşturduğu görülmüştür. Bunlar; a) Makaslanmış bir hamur gereçte, kloritçe zengin düzeylerin üzerlerinde gelişme gösteren ince uzun prizmalar, b) Kalsik amfibol ile yer değiştirir özellikteki prizmalardır. Yer değiştirmede belirgin bir dokusal örnek sezilememiştir. İleri derecede geliştiği kesimlerde kayaya mavimsi bir renk verdiği saptanmıştır. Mikroskopta pleokroizma rengi açık maviden mora değişmektedir. Sakarya vadisinin güney kesimindeki mavişistlerde ise sodik amfibol ana fazlardan biridir.

Alkali amfibol analiz sonuçları 'Çizelge 3'te listelenmiştir., Fe<sup>+2</sup>/Fe<sup>+3</sup> oranı hesaplanırken, M<sub>3</sub>'ün başlıca Mg, Mn ve Fe<sup>+2</sup> tarafından doldurulduğu ve M<sub>2</sub>'nin yaklaşık 2 değerinde olduğu kabulüne dayandırılmış, ayrıca özel bir yöntem kullanılmıştır. Analiz sonuçları susuz 0 = 23 temelinde göre hesaplanmış ve tüm katyonların düzenli dağıldığı kabul edilmiştir. Çünkü Papike ve Clark (1966) glo-

kofan II üzerinde gerçekleştirdiği araştırmayla, yüksek basınç ve düşük sıcaklığın **glokofanda ileri derecede** katyon düzeni **geliştirdiğini** ortaya koymuştur.

| Num. No.                       | Ohn*   | IS260* | R42A* | 83    | 92    | 84    |
|--------------------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 57,64  | 57,92  | 57,12 | 58,43 | 59,25 | 57,27 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4,42   | 4,05   | 7,26  | 8,23  | 9,44  | 9,60  |
| FeO                            | 21,09  | 19,78  | 17,09 | 13,33 | 14,20 | 13,68 |
| MgO                            | 7,99   | 9,20   | 8,32  | 9,24  | 9,07  | 9,20  |
| CaO                            | 1,46   | 0,55   | 0,97  | 0,99  | 0,48  | 0,27  |
| NaO                            | 6,11   | 6,43   | 6,36  | 6,90  | 7,87  | 7,41  |
| K <sub>2</sub> O               | —      | —      | —     | —     | —     | —     |
| TiO <sub>2</sub>               | —      | —      | —     | —     | —     | —     |
| Toplam                         | 98,71  | 97,93  | 97,02 | 97,12 | 99,80 | 97,43 |
| Si                             | 8,278  | 8,318  | 8,163 | 8,190 | 8,093 | 8,023 |
| Al                             | —      | —      | —     | —     | —     | —     |
| Toplam                         | 8,278  | 8,318  | 8,166 | 8,190 | 8,083 | 8,023 |
| Al                             | 0,742  | 0,690  | 1,210 | 1,358 | 1,527 | 1,588 |
| Fe <sup>+3</sup>               | 1,269  | 1,264  | 1,024 | 0,783 | 0,813 | 0,800 |
| Fe <sup>+2</sup>               | 1,269  | 1,264  | 1,024 | 0,783 | 0,813 | 0,800 |
| Mg                             | 1,709  | 1,708  | 1,773 | 1,929 | 1,847 | 1,920 |
| Toplam                         | 4,989  | 4,926  | 5,031 | 4,853 | 5,000 | 5,108 |
| Ca                             | 0,224  | 0,224  | 0,146 | 0,152 | 0,074 | 0,042 |
| Na                             | 1,708  | 1,708  | 1,772 | 1,868 | 1,952 | 2,020 |
| Toplam                         | 2,032  | 2,032  | 1,918 | 2,020 | 2,026 | 2,062 |
| SiO <sub>2</sub>               | 57,23  | 58,63  | 59,32 | 57,28 |       |       |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 9,60   | 7,43   | 8,51  | 8,64  |       |       |
| FeO                            | 13,68  | 13,34  | 14,20 | 13,68 |       |       |
| MgO                            | 9,20   | 9,46   | 9,22  | 9,31  |       |       |
| CaO                            | 0,27   | 1,00   | 0,48  | 0,27  |       |       |
| NaO                            | 7,41   | 6,33   | 6,77  | 6,80  |       |       |
| K <sub>2</sub> O               | —      | —      | —     | —     |       |       |
| TiO <sub>2</sub>               | —      | —      | —     | —     |       |       |
| Toplam                         | 97,43  | 96,18  | 98,49 | 95,99 |       |       |
| Si                             | 8,025  | 8,280  | 8,200 | 8,131 |       |       |
| Al                             | —      | —      | —     | —     |       |       |
| Toplam                         | 8,025  | 8,280  | 8,200 | 8,131 |       |       |
| Al                             | 1,586  | 1,237  | 1,387 | 1,446 |       |       |
| Fe <sup>+3</sup>               | 0,802  | 0,788  | 0,821 | 0,812 |       |       |
| Fe <sup>+2</sup>               | 0,802  | 0,788  | 0,821 | 0,812 |       |       |
| Mg                             | 2,921  | 1,991  | 1,899 | 1,969 |       |       |
| Toplam                         | 5,111  | 4,804  | 4,928 | 5,039 |       |       |
| Ca                             | 0,0414 | 0,151  | 0,071 | 0,041 |       |       |
| Na                             | 2,013  | 1,733  | 1,815 | 1,872 |       |       |
| Toplam                         | 2,054  | 1,884  | 1,886 | 1,813 |       |       |

Çizelge 3: Alkali amfibol analiz sonuçları ve her birim formülde 0-23 tabanına göre, susuz olarak hesaplanan iyon miktarları.

(\*) Metapei.it/metacört

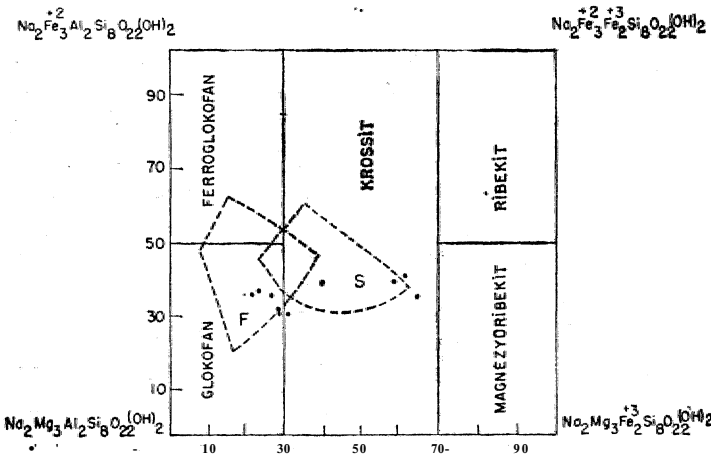
Table 3: Alkali amphibole analyses and number of ions calculated on a theoretical, anhydrous basis of 0=23 per unit formula.

(\*) Metapelit/metachert

Tüm analiz sonuçları, şekil 4'de Miyashiro (1957) diyagramına uygulandığında Söğüt - Bilecik metamorfizmlerinden derlenen mavi amfibollerin çoğunun glokofan, bölgesinde, krossit bölgesi dokanağı yakınında kümelendiği görülür. Metapelit ve metaçörtten derlenen Ohn ve IS 260 gibi numuneler ise krossit bölgesinde ayrı bir grup oluşturmaktadır. Böylece alkali amfibol bölgede optik özellik ve kimya bileşimi bakımından 2 belirgin gruba ayrılabilmiştir:

a) Al'ca zengin alkali amfibol; sönüm açısı CAz'da 3° ile 7° ve 2V = 30-50°'dir. İnceleme alanından derlenen amfiboller, Miyashiro (1957) sınıflamasıyla karşılaştırılınca bu grubu glokofan bölgesinde kümelenenler temsil etmiştir. Optikçe x = mavi, y = yeşil, z. ise morumsu mavidir.

b) Al'ca fakir alkali amfibol; Al'ca fakir ancak Fe'ce zengindir. Bu tür alkali amfibolü içeren ana kayanın kimya bileşimine dikkati çeken Ernst ve diğerleri. (1970), Sanbagawa kuşağında benzer kayaların derin deniz çörtlereinden türemiş olacağı görüşünü ileri sürmüştür. Aslında, bu kayaların, tortul kökenli (metasedimentit-metaçört) oldukları açıktır. Mineraldeki yüksek Fe/Mg ve Na/Al oranları, büyük bir olasılıkla, çökel kayasının kimya bileşimini yansıtmaktadır. İkinci grup alkali amfibolün hemen tümünde 2V = 60°, b = z, sönme açısı yAC'da 0°-10° arasındadır. Pleokroizma rengi x = kahverengi-mor, y = mavi, z = menekşe rengidir.



Şekil 4: Alkali amfibol analiz sonuçlarının, Miyashiro (1957) diyagramına uyarlanması. Karşılaştırma amacıyla Franciscan (F) ve Sanbagawa (S) metabazitlerinin alkali amfibol bileşim alanları da (Ernst diğerleri, 1970) diyagrama eklenmiştir.

Figure 4: Plots of alkali amphiboles on the diagram proposed by Miyashiro (1957). Areas F and S are compositional field of sodic amphiboles from the Franciscan and Sanbagawa terranes, respectively (Ernst et al, 1970).

Ernst'in (1960, 1961, 1962, 1963) alkali amfibol üzerinde gerçekleştirdiği deneysel, çalışmalar glokofan-ribekitin duraylılık alanı konusunda oldukça ayrıntılı ve aydınlatıcı

•bilgilerin, türemesine neden olmuştur. Bu çalışmalara, göre glokofan, magnezyoribekit ve ortaç geçiş üyeleri, 800°C altındaki hemen bütün sıcaklıklarda duraylıdır. Ernst'e (1963) göre polimorf krossit II'nin (GI<sub>50</sub>Rb<sub>50</sub>) gelişebilmesi için ise gerekli en düşük koşul 200°C'da 8kb ve 400°C'da 13 kb'dır,.. Fakat günümüzde krossitin glokofandan daha düşük basınç koşulları altında da duraylı kalabileceği kanısı vardır (Wingler, 1974). Bu görüş ve deneylerden yararlanarak

irdelenen bölgemiz koşulları için, dolaylı bir yaklaşım olanaklıdır; çünkü incelenen bütün sodik amfibol ve Sanbagawa bölgesi sodik amfibolünün bileşim alanı yakınında kümelenmiş ya da onunla üstelenmiştir (Şekil 4). Üstelik sodik amfibolün geliştiği Sanbagawa ve Franciscan metabaziti Epd + Ab + Akt + Klrt + Sf+ Glkf ile temsil edilmektedir (Ernst ve diğerleri, 1970). Bu topluluk, çalışma alanı, metabazitindeki Zon I ve Zon I mineral topluluğunun hemen aynıdır. Ernst ve diğerleri (1970) Sanbagawa'da adı geçen mineral topluluğunu geliştiren fiziksel koşulları yaklaşık 4-7 kb ve 200°-400° C arasında değerlendirmiştir. Bu nedenle çalışma alanı kayalarındaki mavi amfibolün gelişimi de en azından 4-7 kb basınçta olabilmektedir.

## GRANAT

Granat, Zon III ve Zon IV'de ana fazlardan biri olarak gelişmiştir. Bu zonlarda rejyonel metamorfizma mineral topluluğu hornblent + sodik plajiolklas + granat + sfen ile temsil olunur. Çalışma sahasından doğuya doğru, şist bloklarında yukardaki mineral topluluğunun yerini (glokofan-krossit) + granat (klorit) + sfen + plajiolklas ile temsil olunan topluluk almıştır. Değişimin ileri düzeyde olduğu yerlerde kayanın birincil tabiatını işaret eden kalın veriler de giderek yok olmuştur. Genellikle, metabazitteki granat öhedraldır. İnküzyonca zengin olanlara rastlanır. Zonlu yapı gelişmemiştir. Winkler'in (1974) görüşüne uygun olarak, granatın ortaya çıkışı ile aktinolit hornblente geçiş, inceleme alanında yaklaşık olarak uyumludur.

Karasu metamorfizminde gerçekleştirilen granat analiz sonuçları ve bu sonuçlardan hesaplanan izomorf serideki uç üyelerin, molekül yüzdeleri Çizelge 4'de sunulmaktadır.

Analiz sonuçları, Karasu metamorfizmi granatlarının almandince zengin olduğunu göstermiştir. Pirop, spersartin, grossular ve andraditin toplam değerlerinin %35-45'i aşmadığı görülür.

### Analizi gerçekleştirilen granatlar

a) Spersartin-almandin + pirop-grossular + andradit

b) Pirop-almandin + spersartin-grossular + andradit diyagramlarına uygulanmıştır (Şekil 5). Deneştirme amacıyla Franciscan glokofanlı şistlerinde, epidot ve lavsonit zonlarından derlenmiş granat analizleri de (Lee ve diğerleri, 1963, Çizelge 2 ve Şekil 3) diyagrama katılmıştır.

Değerler, Spn - (Alm + Prp) - (Grs + And) üçgeninde geniş bir dağılım örneği sunar. Alm - (Grs-And) - Prp üçgeninde ise noktalar birbirine yakın bir alanda kümelenmiştir. Bu alan, lavsonit/epidot duraylılık ilişkisinin saptandığı Yeni Kaledonya metamorfik kayalarındaki epidotun duraylılık alanı ile üstelenmiştir. Mavi şistlerden derlenen, R42A gibi numunelerde ise granat bileşimi, epidot zonu dışına taşarak lavsonit zonuna yaklaşmıştır. Bu hal bölgedeki mineralojik duraylılık ilişkileriyle yakın bir uyum içindedir. Bu veri değişen koşulların, granat bileşimini etkilemiş olabileceğini düşündürmektedir. Her iki üçgenin incelenmesinden de basıncın artmasıyla ilişkili olarak Mg'un azaldığı sonucuna varılabilir. Glok + lawstli şistleri temsil eden R42'nin konumu bunu doğrulamaktadır. Epidot duraysızla-

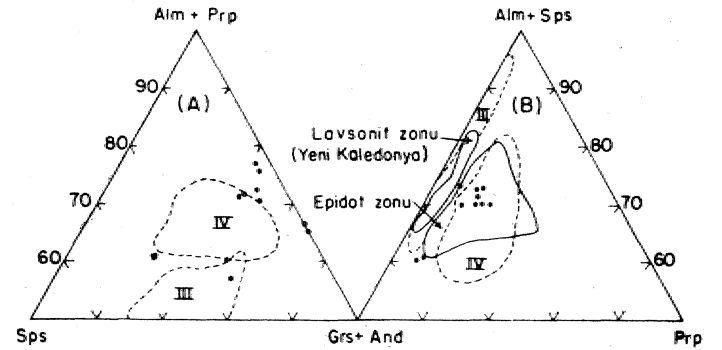


| Num. No.                       | 10     | 10    | 10A   | 10A   | 10A   | 10    |
|--------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 35,23  | 35,69 | 35,23 | 35,65 | 36,05 | 35,52 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 20,59  | 20,57 | 20,80 | 20,57 | 20,56 | 20,79 |
| FeO                            | 30,28  | 31,39 | 29,98 | 20,28 | 31,40 | 29,96 |
| MgO                            | 1,94   | 2,21  | 1,73  | 1,94  | 2,21  | 1,74  |
| MnO                            | 2,23   | 0,95  | 3,13  | 2,244 | 0,95  | 3,12  |
| CaO                            | 7,63   | 7,45  | 7,39  | 7,64  | 7,45  | 7,38  |
| Na <sub>2</sub> O              | —      | —     | —     | 0,01  | —     | —     |
| K <sub>2</sub> O               | 0,01   | —     | 0,02  | 0,01  | 0,01  | 0,02  |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,11   | 0,08  | 0,13  | 0,11  | 0,08  | 0,13  |
| Toplam                         | 98,02  | 98,36 | 98,41 | 98,43 | 98,72 | 98,70 |
| Si                             | 5,818  | 5,858 | 5,804 | 5,854 | 5,889 | 5,830 |
| Al                             | 0,192  | 0,142 | 0,196 | 0,146 | 0,111 | 0,170 |
| Toplam                         | 6,000  | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 |
| Al                             | 3,817  | 3,839 | 3,844 | 3,837 | 3,849 | 3,853 |
| Ti                             | 0,014  | 0,010 | 0,016 | 0,014 | 0,010 | 0,016 |
| Fe <sup>+3</sup>               | 0,169  | 0,151 | 0,140 | 0,149 | 0,141 | 0,131 |
| Toplam                         | 4,000  | 4,000 | 4,000 | 4,000 | 4,000 | 4,000 |
| Fe <sup>+2</sup>               | 4,013  | 4,158 | 3,991 | 4,010 | 4,149 | 3,984 |
| Mn                             | 0,312  | 0,132 | 0,437 | 0,310 | 0,131 | 0,435 |
| Mg                             | 0,477  | 0,541 | 0,425 | 0,475 | 0,538 | 0,423 |
| Ca                             | 1,350  | 1,310 | 1,305 | 1,344 | 1,304 | 1,300 |
| Na                             | 0,003  | —     | —     | 0,003 | —     | —     |
| Ka                             | 0,002  | 0,002 | 0,004 | 0,002 | 0,002 | 0,004 |
| Toplam                         | 6,157  | 6,143 | 6,158 | 6,144 | 6,124 | 6,146 |
| Almandin                       | 65,25  | 67,70 | 64,81 | 65,32 | 67,77 | 64,86 |
| Grossular                      | 17,50  | 17,59 | 17,39 | 17,90 | 17,59 | 17,57 |
| Pirop                          | 7,75   | 8,81  | 6,90  | 7,74  | 8,79  | 6,89  |
| Spersartin                     | 5,07   | 2,15  | 7,10  | 5,00  | 2,14  | 7,08  |
| Andradit                       | 4,50   | 3,94  | 3,80  | 3,99  | 3,71  | 3,60  |
| SiO <sub>2</sub>               | 39,02  | —     | 37,00 | 38,46 | —     | 35,67 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 20,56  | —     | 26,06 | 26,26 | —     | 20,64 |
| FeO                            | 24,66  | —     | 23,30 | 23,13 | —     | 24,25 |
| MgO                            | 0,96   | —     | 1,01  | 1,00  | —     | 0,99  |
| MnO                            | 7,57   | —     | —     | —     | —     | 7,92  |
| CaO                            | 8,84   | —     | 10,51 | 10,57 | —     | 7,95  |
| Na <sub>2</sub> O              | —      | —     | 0,06  | 0,06  | —     | —     |
| K <sub>2</sub> O               | 0,01   | —     | 0,02  | 0,02  | —     | 0,01  |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,15   | —     | 0,14  | 0,14  | —     | 0,15  |
| Toplam                         | 100,79 | 99,00 | 99,64 | 99,64 | 97,21 | —     |
| Si                             | 6,138  | —     | 5,890 | 5,930 | —     | 5,915 |
| Al                             | —      | —     | 0,110 | 0,070 | —     | 0,085 |
| Toplam                         | 6,138  | —     | 6,000 | 6,000 | —     | 6,000 |
| Al                             | 3,813  | —     | 4,676 | 4,705 | —     | 3,950 |
| Ti                             | 0,018  | —     | 0,018 | 0,018 | —     | 0,019 |
| Fe <sup>+3</sup>               | 0,169  | —     | —     | —     | —     | 0,031 |
| Toplam                         | 4,000  | —     | 4,694 | 4,723 | —     | 4,000 |
| Fe <sup>+2</sup>               | 3,075  | —     | 3,048 | 2,984 | —     | 3,332 |
| Mn                             | 1,009  | —     | —     | —     | —     | 1,060 |
| Mg                             | 0,225  | —     | 0,234 | 0,230 | —     | 0,245 |
| Ca                             | 1,490  | —     | 1,748 | 1,742 | —     | 1,412 |
| Na                             | —      | —     | 0,019 | 0,019 | —     | —     |
| K                              | 0,002  | —     | 0,004 | 0,004 | —     | 0,002 |
| Toplam                         | 5,801  | —     | 5,053 | 4,975 | —     | 6,051 |

|            |       |       |       |       |
|------------|-------|-------|-------|-------|
| Almandin   | 53,03 | 60,60 | 60,21 | 55,00 |
| Grossular  | 20,85 | 34,75 | 35,15 | 22,10 |
| Pirop      | 3,88  | 4,65  | 4,64  | 4,05  |
| Spersartin | 17,40 | —     | —     | 17,52 |
| Andradit   | 4,85  | —     | —     | 1,24  |

Çizelge 4: Granat analizi sonuçları ve her birim formülde O-23 tabanına göre, susuz olarak hesaplanan iyon miktarları. Granatın oluşturduğu izomorf seride analizi gerçekleştirilen numunelerin uç üyeler cinsinden molekül yüzdeleri de çizelgeye katılmıştır.

Table 4: Garnet analyses calculated on a theoretical; anhydrous basis of 0 - 23 per unit formula. Molecular percentages of and members of the isomorphous series are also added to the list.



• Söğüt metabozitindeki granat değerleri

Şekil 5: Karasu metamorfizminden derlenen granatların A) Spersartin - (almandin+pirop)-(grossular+ andradit) B) (Grossular+ andradit) - (almandin+ spessartin) - pirop üçgenlerine uyarlanışlarını gösterir diyagramlar. Karşılaştırma amacıyla Franciscan granatlarının Zon III ve Zon IV teki bileşim alanları ile Yeni Kaledonya da lavsonit ve epidot zonlarındaki granatların bileşim alanları da (Liou ve diğerleri, 1975) diyagrama eklenmiştir.

Figure 5: Plots of the garnet analyses on the triangles: A) spessartine-(almandine+pyrope) -(grossular+andradite) B) (Grossular+ andradite) - (almandine + spessartine) - pyrope. Compositional ranges of Franciscan garnets from zone III and zone IV, and New Caledonian garnets from the Lawsonite and epidote zones (Liou et. al, 1975) axe also added to the diagrams for comparian.

şıp, lavsonit gelişirken Ca bakımından da, önemli bir gelişme görülmektedir. Lavsonit, epidotun Ca'unu tutarken, granat Mg'ca gerilemektedir.

Aslında diğer etkenlerin yanısıra, almandin gelişiminin yüksek basınca bağımlı olduğunu birçok araştırmacı belirtmiştir (Chinner, 1962; Hsu, 1968b; Miyashiro, 1973; Turner, 1968). Hsu'ye (1968b) göre granat, düşük basınç bölgelerinde oksijen fugasitesinin yüksek olduğu koşulda gelişebilir. Eldeki verilere göre granatın duraylılığını değişen koşullar ve kaya kimyası denetlemiştir.

Ancak, granat gelişimi sırasında fiziksel koşullar ile kaya bileşiminin ortak etkileri içiçe geliştiği anlaşılmaktadır. Etkenlerin birbirinden bağımsız bir örneğini ortaya koymak eldeki analiz adediyle mümkün olamamıştır. Bununla birlikte basınç ve sıcaklık artışının granat gelişimini hız-

tondirdığı, anortitden önce gelişmiş oluşunun ise, yüksek basınç koşulunun varlığını belirlediği söylenebilir.

### EPİDOT

Söğüt metabazitinde epidot, pleokroizmasından da anlaşıldığı gibi zayıf ya da kuvvetli zonlanma gösterir. Aslında artan metamorfizma kuşaklarında zonlu epidota sık rastlanır (Ernst, 1972; Liou ve diğerleri, 1975).

Epidot, Zon I'de yerel olarak aşırı gelişim gösterir. Yoğun bulunduğu yerlerde yönlenme belirgin değildir. Yönlenmenin gelişmemesi şu nedenlere bağlı olabilir:

a) Koşuk içinde büyüme nedeniyle dış etkenlerden korunmuştur.

b) Büyük bir epidotun parçalanması ve yeniden kristallenmesiyle gelişmiş olabilir. Çoğun, zonlu epidotlarda en dış çeper ile hamur dengededir. Epidot genellikle hamurdaki klorit ve kalsik amfibol ile birlikte gelişmiştir. Ancak aşırı iri olanları ile mercekli şekilli metamorfizma ile dengede değildir. Boşluğu dolduran dolgu gerecinin kimyasıyla denetlenmiş olduğu sanılmaktadır.

Epidot, Zon II'den Zon III'e kadar düzenli gelişme gösterip, Zon IV'de gerilemiştir. Genellikle kısa ve kalın idioblastik kristaller halindedir.

Epidot analiz sonuçları Çizelge 5'te listelenmiştir. Söğüt - Bilecik bölgesinden derlenen epidotlarda analiz sırasında, demirin merkezden çepere doğru azaldığı saptanmıştır. Analizi gerçekleştirilen epidotta  $Fe^{+3}/Al+Fe^{+3}$  oranı ortada daha pistastiktir. Bu oran. =0,26-0,33 arasında değişim gösterirken, çepere: doğru giderek azalmaktadır. Fe/Al yüzdesi ise  $\approx$  0,4 civarındadır.

| Zon                            | Zon III | Zon III | Zon III | Zon III | Merkez Zon I | Çeper Zon I |
|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|--------------|-------------|
| Num. No.                       | 84      | 84      | 83      | 83      | Y20          | Y20         |
| SiO <sub>2</sub>               | 38,08   | 38,39   | 39,18   | 39,60   | 39,66        | 38,81       |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 23,32   | 22,87   | 21,18   | 23,00   | 20,91        | 22,97       |
| FeO                            | 12,20   | 12,02   | 12,20   | 12,43   | 15,48        | 12,45       |
| MgO                            | 0,02    | 0,02    | 0,02    | 0,01    | 0,05         | 0,01        |
| CaO                            | 23,59   | 23,48   | 23,67   | 22,75   | 22,33        | 22,68       |
| NaO                            | 0,03    | 0,03    | 0,03    | —       | —            | —           |
| K <sub>2</sub> O               | —       | —       | —       | —       | 0,01         | —           |
| TiO <sub>2</sub>               | —       | —       | —       | 0,08    | 0,06         | 0,08        |
| Toplam                         | 98,24   | 96,81   | 96,27   | 98,21   | 98,63        | 97,35       |
| Si                             | 6,306   | 6,294   | 6,468   | 6,398   | 6,470        | 6,326       |
| Al                             | —       | —       | —       | —       | —            | —           |
| Toplam                         | 6,306   | 6,294   | 6,468   | 6,398   | 6,470        | 6,326       |
| Al                             | 4,436   | 4,420   | 4,123   | 4,382   | 4,019        | 4,414       |
| Fe <sup>+3</sup>               | 1,646   | 1,648   | 1,684   | 1,680   | 2,108        | 1,697       |
| Mg                             | 0,005   | 0,005   | 0,005   | 0,002   | 0,010        | 0,002       |
| Mn                             | —       | —       | —       | 0,002   | —            | 0,047       |
| Ti                             | —       | —       | —       | 0,001   | 0,004        | 0,010       |
| Toplam                         | 6,087   | 6,073   | 5,812   | 5,967   | 6,141        | 6,170       |
| Ca                             | 4,079   | 4,125   | 4,187   | 3,339   | 3,902        | 3,961       |
| Na                             | 0,009   | 0,010   | 0,006   | —       | —            | —           |
| K                              | —       | —       | —       | —       | 0,002        | —           |
| Toplam                         | 4,088   | 4,135   | 4,193   | 3,939   | 3,904        | 3,961       |

Çizelge 5: Epidot analiz sonuçları ve her birim formülde 0=28 tabanına göre, susuz olarak hesaplanan iyon miktarları.

Table 5: Epidote analyses and, number of ions calculated on a the oretical anhydrous basis of 0=28 per unit formula.

Epidot, Zon I'de glokofanlı kayalarla da birlikte gelişmiştir. Pumpellit ya da lavsonitin gelişmemiş olması metamorfizma sıcaklığını belirten dolaylı bir veridir. Benzer kimya bileşimli Franciscan metabazitinde lavsonit gelişmiştir (Ernst ve diğerleri., 1970).

Miyashiro'ya (1973) göre, artan, sıcaklığa bağlı olarak epidotun parçalanıp kaybolması sonucunda açığa çıkan demir, indirgenme ile iki değerli olarak, öbür silikatlara bağlanırken CaO ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ise anortit bileşenini oluşturmak üzere plajioklasla birleşir. Ancak çalışma alanında anortit bileşiminde belirgin bir artışın olmayışı epidotun duraylılığının aşılmasına işaret sayılabilir.

### KLORİT

Klorit, çalışma alanının bütün metamorfik kayalarında görülür. Metabazitte metapelitte olduğundan daha çoktur. Karasu metamorfizmasının çeşitliliklerinde klorit gelişimi aşağıdaki şu yollarla gerçekleşmiştir:

a) Metamorfizmanın ana. fazında gelişen klorit; ince, uzun prizmatik veya telsel bu tür klorit diğer metamorfizma mineralleriyle dengededir.

b) Gerileyen metamorfizma ürünü olarak granattan türeyen klorit.

c) Mavi amfibol oluşumunmeden olan geç fazda, muskovit ve mavi amfibolle birlikte gelişmiş ve doku olarak, artan metamorfizma mineralleri üzerinde büyümüş, iri, geniş. klorit.

Metapelit ve metagrovakta gelişen, klorit belirgin olarak idioblastiğe oldukça yakın kristal biçimi gösterir ve genellikle kahverengimsi yeşildir. Klorit, Karasu metamorfizminde iyi gelişmiş yapraklanma düzlemini en iyi belirleyen mineraldir.

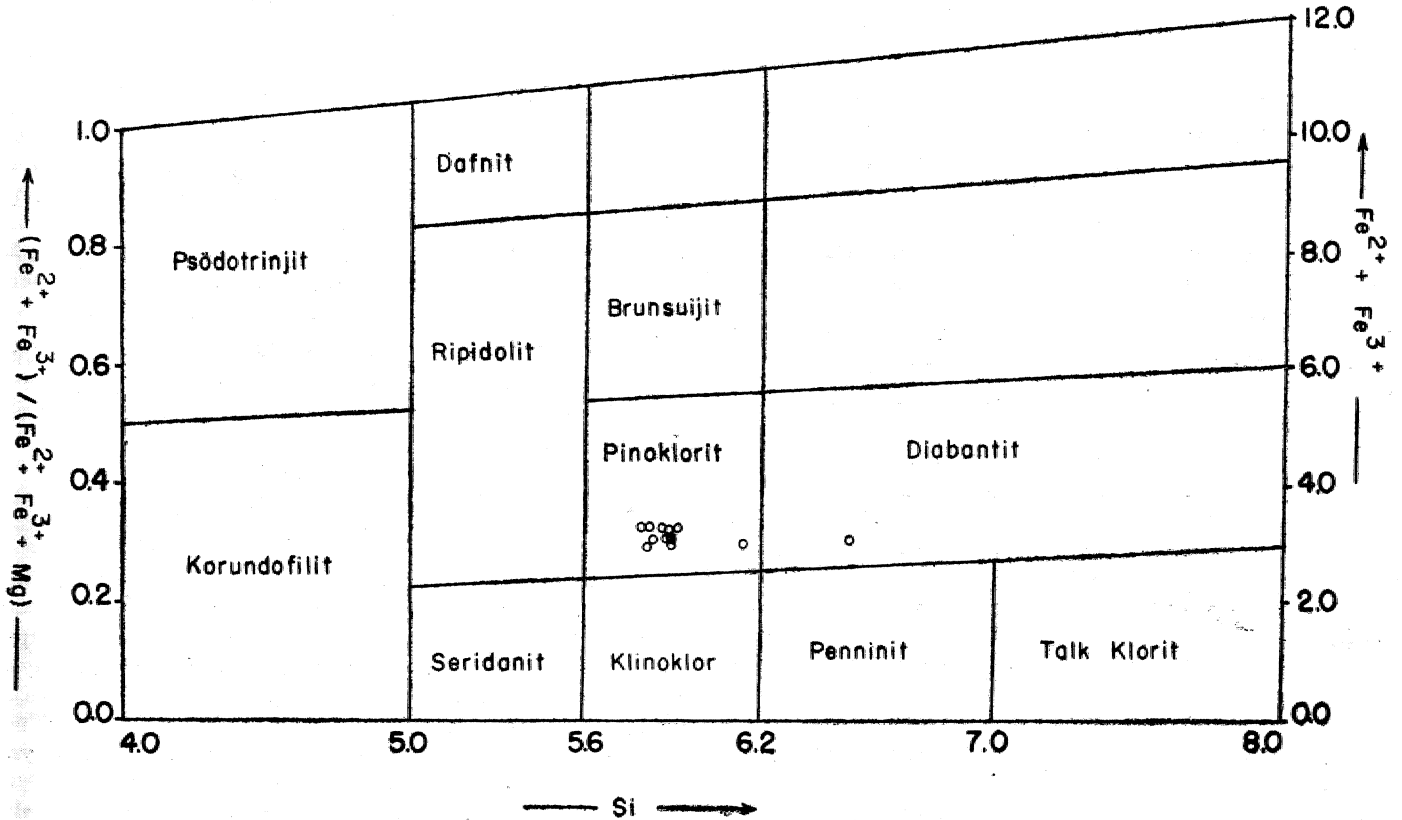
Düşük metamorfizma dereceli metabazitte, klorit optikçe negatif olan tipik Fe-Mg'lu bir türle temsil olunmuştur. Bunun mavimsi ve mavimsi mor girişim rengi ayırtmandır.

Klorit analiz sonuçları Çizelge 6'da listelenmiş ve Hey'in (1954) klorit sınıflaması için sunduğu diyagramla karşılaştırılmıştır (Şekil 6). Analiz sonuçları, Miyashiro'nun (1973) metabazik kayalar için belirttiği klorit bölgesine düşer. O = 28 temeline göre hesaplandığında Si = 5,8 - 6,1 olup,  $Fe^{+2}/Mg + Fe^{+2} = 0,1-0,5$  arasında değişim gösterir. Tek ayrıca numune Y-21'de görülmüştür. Çünkü bu numune diabazit bölgesine düşmektedir. Bu numunede tetrahedral Al değeri, oldukça düşüktür. Y21, Zon I'den yani düşük dereceli metamorfizma alanından derlenmiştir ve (—) işaretlidir. Analizi gerçekleştirilen diğer kloritler ise Zon III ve Zon IV'ü temsil etmektedirler. Yüksek alüminyumlu ve optikçe+dirler. Çalışma alanında, Zon I'den Zon. III'e değin incelenen kloritte şu ilginç sonuca varılmıştır; yüksek metamorfizma dereceli kayadaki klorit Al'ca zengindir. Böylece bölgede, kloritin Al oranının metamorfizma derecesine bağımlı artış gösterdiği söylenebilir. Az da olsa, bu tür artışı daha önce Ernst ve diğerleri (1970) Japonya'da göstermişlerdir. Bu bulgunun bölgede "Syn" ve "post" metamorfik kloriti ayırd için kullanılabilirliği anlaşılmaktadır. Post metamorfik klorit levhaları anormal gri girişim renkleri göstermektedir. Ancak bölgeden öneriyi denetleyecek sayıda analiz elde yoktur. Bununla birlikte, diğer minerallerle doku ilişkisi araştırılarak post-tektonik (F<sub>1</sub> e göre post-tektonik) olduğu kesinlikle saptanan kloritlerin hemen hepsinin gri girişim renkli oluşu, bu görüşü dolaylı yoldan destekler.

| Zon Num. No.                   | Zon I Y21 | Zon III 159 | Zon III 92 | Zon III 92 | Zon III 98 | Zon III 98 | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 18,89  | 19,88  | 20,40  | 20,48  | 19,01  |
|--------------------------------|-----------|-------------|------------|------------|------------|------------|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | 31,98     | 29,12       | 28,95      | 28,89      | 28,26      | 28,20      | FeO                            | 18,89  | 18,82  | 17,60  | 17,63  | 17,65  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 17,88     | 18,04       | 18,23      | 18,25      | 19,55      | 19,57      | MgO                            | 20,00  | 19,78  | 19,71  | 19,87  | 21,61  |
| FeO                            | 17,61     | 17,54       | 18,89      | 18,82      | 18,66      | 18,61      | CaO                            | 0,08   | —      | —      | —      | —      |
| MgO                            | 18,29     | 18,30       | 21,01      | 20,84      | 19,23      | 19,07      | NaO                            | 0,05   | 0,05   | 0,03   | 0,03   | 0,03   |
| CaO                            | —         | —           | 0,09       | —          | 0,08       | —          | K <sub>2</sub> O               | —      | —      | —      | —      | —      |
| NaO                            | 0,07      | 0,07        | 0,05       | 0,05       | 0,05       | 0,05       | TiO <sub>2</sub>               | —      | —      | —      | —      | —      |
| K <sub>2</sub> O               | 0,03      | 0,03        | —          | —          | —          | —          | Toplam                         | 87,60  | 87,12  | 86,27  | 86,66  | 87,46  |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,09      | 0,09        | —          | —          | —          | —          | Si                             | 5,808  | 5,819  | 5,820  | 5,814  | 5,878  |
| Toplam                         | 86,12     | 83,16       | 87,21      | 86,84      | 85,83      | 85,49      | Al                             | 2,192  | 2,181  | 2,180  | 2,186  | 2,122  |
| Si                             | 6,504     | 6,168       | 5,900      | 5,909      | 5,840      | 5,847      | Toplam                         | 8,000  | 8,000  | 8,000  | 8,000  | 8,000  |
| Al                             | 1,496     | 1,832       | 2,100      | 2,091      | 2,160      | 2,153      | Al                             | 2,557  | 2,558  | 2,726  | 2,718  | 2,394  |
| Toplam                         | 8,000     | 8,000       | 8,000      | 8,000      | 8,000      | 8,000      | Fe <sup>+3</sup>               | 1,600  | 1,601  | 1,502  | 1,498  | 1,487  |
| Al                             | 2,792     | 2,674       | 2,280      | 2,130      | 2,603      | 2,631      | Fe <sup>+2</sup>               | 1,600  | 1,601  | 1,502  | 1,498  | 1,487  |
| Fe <sup>+3</sup>               | 1,498     | 1,553       | 1,610      | 1,610      | 1,613      | 1,614      | Mg                             | 6,036  | 5,998  | 5,992  | 6,014  | 6,490  |
| Fe <sup>+2</sup>               | 1,498     | 1,553       | 1,610      | 1,610      | 1,613      | 1,614      | Ca                             | 0,017  | —      | —      | —      | —      |
| Mg                             | 5,550     | 5,779       | 6,381      | 6,353      | 5,923      | 5,893      | Na                             | 0,020  | 0,020  | 0,012  | 0,012  | 0,012  |
| Ca                             | —         | —           | 9,020      | —          | 0,018      | —          | K                              | —      | —      | —      | —      | —      |
| Na                             | 0,024     | 0,025       | 0,020      | 0,016      | 0,020      | 0,020      | Ti                             | —      | —      | —      | —      | —      |
| K                              | 0,007     | 0,007       | —          | —          | —          | —          | Toplam                         | 11,830 | 11,808 | 11,734 | 11,740 | 11,870 |
| Ti                             | 0,006     | 0,006       | —          | —          | —          | —          |                                |        |        |        |        |        |
| Toplam                         | 11,375    | 11,597      | 11,921     | 11,899     | 11,790     | 11,772     |                                |        |        |        |        |        |
| SiO <sub>2</sub>               | 28,68     | 28,60       | 28,53      | 28,63      | 29,16      |            |                                |        |        |        |        |        |

Çizelge 6: Klorit analiz sonuçları ve her birim formülde  $\Sigma=28$  tabanına göre, susuz olarak hesaplanan iyon miktarları.

Table 6: Chlorite analyses and number of ions calculated on a theoretical, anhydrous basis per unit formula.



Şekil 6: Klorit analiz sonuçlarının Hey (1954)' sınıflamasıyla karşılaştırılmasını gösterir diyagram..

Figure 6: Compositional ranges of chlorite. Chlorite nomenclature after Hey (1954).

## İKİNCİL MİNERALLER

## Ak Mika

Karasu metamorfiteinde olağan fazlardan biri de ak mika dır. Zon II'den Zon III'e kadar artan metamorfizmanın ürünü olarak gelişir. Zon IV'de, ana metamorfizma fazından sonra gelişmiş iri ak mika levhaları bulunur. Bunlar yapraklanmadan bağımsız dizilidir.

Ak mikanın modal değeri, metapelitte metabazittekinden yüksektir. Söğüt metabazitinden yalnız bir mika analizi yapılmıştır (Çizelge 7). Analiz sonucundan şu bulgular derlenmektedir; mika, Si, Fe ve Mg'ca zengin fakat Al'ca fakir olup, Si/Al 3'ten büyüktür. Bu nedenle fenjitik olmalıdır (Ernst, 1970; Deer ve diğerleri, 1963). Fenjitik mikanın kimya bileşimi yönünden muskovit  $[KAl_2Si_3AlO_{10}(OH)_2]$  ile seladonit  $K(R^{+2}-R^{+3})_{4-6}Si_4O_{10}(OH)_2$  arasında solidsolüsyonu temsil ettiği bilinmektedir (Foster, 1956; Velde, 1965).

|                                |              |
|--------------------------------|--------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 49,25        |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,11         |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 26,41        |
| ΣFeO                           | 5,85         |
| MnO                            | 0,06         |
| MgO                            | 3,24         |
| CaO                            | 0,04         |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,30         |
| K <sub>2</sub> O               | 9,61         |
| <b>Toplam</b>                  | <b>96,87</b> |
| <b>Si</b>                      | <b>6,548</b> |
| <b>Al</b>                      | <b>1,452</b> |
| <b>Toplam</b>                  | <b>8,000</b> |
| <b>Al</b>                      | <b>2,760</b> |
| <b>Ti</b>                      | <b>0,011</b> |
| <b>Fe</b>                      | <b>0,581</b> |
| <b>Mn</b>                      | <b>0,006</b> |
| <b>Mg</b>                      | <b>0,629</b> |
| <b>Toplam</b>                  | <b>4,087</b> |
| <b>Ca</b>                      | <b>0,008</b> |
| <b>Na</b>                      | <b>0,082</b> |
| <b>K</b>                       | <b>1,633</b> |
| <b>Toplam</b>                  | <b>1,723</b> |

Çizelge 7: Ak mika kimya analiz sonucu ve birim formülde 0=22 temelinde göre susuz olarak hesaplanan iyon miktarları.

Table 7: White mica analysis and ion numbers calculated on a theoretical, anhydrous basis of 0\_22 per unit formula.

Ernst (1963) ise tıpkı Söğüt metabazitinde olduğu gibi fenjit + klorit topluluğunun yüksek akışkan basıncı ve düşük sıcaklık koşullarında kolaylıkla geliştiğini ileri sürmüş ve bunu, Velde (1965, 1967) denetleyerek doğrulamıştır. Fenjitin amfibolle bir arada bulunuşu bu görüşün bu irdeleme alanı için de geçerli olabileceğini işaretler. Aksi tak-

dirde yeşilist fasiyesinin üst astfasiyesinde beyaz mikanın saf muskovitle temsil edilmesi beklenirdi. Seladonit molekülünün varlığı ve bu nedenle fenjitin gelişmiş oluşu yüksek akışkan basıncın etken olduğunu desteklemektedir.

## Sfen

Zon IV den derlenen sfen analiz sonucu çizelgede gösterilmiştir (Çizelge 8). Sfenin tane boyunda Zon II'den Zon III'e doğru artım görülür. Idioblastik kristal oluşuma yönelik bu gelişim mikroskopta aydın gözükmemektedir.

Sfen genellikle kahverengi olup tipik mızrak ucu biçimli diziler oluşturmuştur. Bu dizilim ana dilinim düzlemlerine paraleldir. Düzensiz bölünme düzlemleri boyunca parçalara ayrıldığı, bazı Zon III kayalarında bile çoğun kristal bütünlüğünü koruduğu görülmüştür.

Num. No. 7

|                                |              |
|--------------------------------|--------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 33,94        |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,98         |
| FeO                            | 0,30         |
| MgO                            | —            |
| CaO                            | 26,60        |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,07         |
| K <sub>2</sub> O               | 0,01         |
| TiO <sub>2</sub>               | 33,01        |
| <b>Toplam</b>                  | <b>94,91</b> |

Çizelge 8: Sfen kimya analizi

Table 8: Sphene analysis

## Stilpnomelan

Zon I'de stilpnomelana yalnız bazı metabazitte rastlanılır. Miyashiro'ya (1973) göre yüksek basınç metamorfizma bölgelerinde bu mineralin gelişimi olağandır. Miyashiro, stilpnomelan geliştiren ortam koşullarını belirlemek amacıyla yeşilist ve epidot-amfibolit fasiyesini örnek olarak göstermiştir.

Stilpnomelan Fe/Mg oranı yüksek kayalarda gelişir. Bileşiminin kaya kimyasına bağlı olarak değiştiği bilindiği için (Miyashiro, 1973) inceleme alanında analizine gerek görülmemiştir.

## SÖĞÜT METABAZİTİ MİNERAL TOPLULUĞUNUN GRAFİK YOLLA GÖSTERİLMESİ

Tüm zonlarda albit ya da albitçe zengin plajiyoklas içeren Söğüt metabaziti, Na<sub>2</sub>O'li minerallerin ayrı bir faz olarak temsil edilemediği ACF diyagramı ile gösterilememektedir. Çünkü bölgede en düşük metamorfizma dereceli kayalarda arı albit (An<sub>00</sub>) duraylı olup anortit bileşenli plajiyoklas gelişmemiştir. Zon II'den daha yukarı zonlarda ise albit, plajiyoklasın bir bileşenini oluşturacak biçimde yavaş bir gerileme göstermektedir. Böylece, Zon I ve Zon II için albit kayada Na<sub>2</sub>O kapsayan ek bir fazı oluşturmaktadır.

Albitin yanısıra sodik amfibol de içeren Söğüt metabazitinin mineral topluluğunu gösterebilmek amacıyla ACF

diyagramı yerine Ernst'in (1963, 1970) ACFN diyagramı kullanılmıştır. Diyagram kısaca şöyle açıklanabilir; yeşil-şist, amfibolit ve glokofanli şistlerin başlıca mineralleri 13 bileşen ile temsil edilebilmektedir;  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ . S. Korzhinskii'nin (1959) tanımlaması ile  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , S İkincil bileşenler olduğu için bu diyagrama sokulmamışlardır. Çünkü bu bileşenler çoğun, sfen, muskovit, pirit gibi mineralleri geliştirir, bu nedenle azlık veya çoklukları metabazitteki naafazları önemli derecede etkilemez.  $\text{FeO}$ ,  $\text{MgO}$  ve  $\text{MnO}$  isomorf bileşenler olduklarından  $\text{FmO}$  adıyla tek bir bileşen gibi kabul edilmiştir. Aynı yaklaşımla  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  bileşenini oluşturmuştur.  $\text{SiO}_2$  ayrı bir faz oluşturmamış olsa bile sistemde aşırı miktarda vardır. Bu nedenle kuvars veya  $\text{SiO}_2$ 'nin artımı veya azalımında bağımsızlık sayısı (degree of freedom)  $F = C + 2 - P$  değişmeyeceğinden "faz yasası" yaklaşımıyla bu da ACFN diyagramının dışında bırakılmıştır. Akıcı bileşenler  $\text{H}_2\text{O}$  ve  $\text{CO}_2$ , metamorfik kayalarda taneler arasında her zaman mevcut bir faz ve tam hareketli (perfectly mobile) kabul edilebilir. Sonuç olarak düşük dereceli metamorfik kayalar 4 değişken bileşenli bir piramitle (tetrahedri) temsil olunabilir (Ernst, 1963). Bu bileşenler şunlardır:  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{R}_2\text{O}_3$ - $\text{CaO}$ - $\text{FmO}$ - $\text{R}_2\text{O}_3 = \text{Na}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{CaO}$ - $\text{MgO} + \text{FeO}$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Söğüt metabazitinde görülen duraylı mineral topluluklarının kemografik ilişkileri Şekil 7'de gösterilmiştir. Şekil 7A'daki mineral topluluğunda plajiyoklas duraysızdır. Plajiyoklasın anortit bileşeni yerine epidot gelişmiş olup, albit bağımsız bir faz olarak gözükmür.

En ileri dereceli metamorfik kayada, hornblent + epidot/klinozoisit + granat + klorit + kuvars, oligoklas ile değil de albit ile dengededir. Ancak albit, arı albit değildir. Plajiyoklasta anortit bileşenini oluşturmuştur. Bu ilişki Şekil 7'de gösterilememiştir. Çünkü albitin duraylılığı henüz devam ettiğinden bağ albitle kurulmuştur.

Şekil 7B'de kloritin duraylılığı yanısıra hornblentin ortaya çıkışı ve granatla birlikte bulunuşu belirtilmektedir. Ancak bağlaç çizgilerinin kesilmeyeceği nedeniyle bu ilişki grafta gösterilememiştir. Amaç kloritin duraylılığını koruduğunu gösterebilmek ve sonraki zonda duraylı hale gelen granat 4-hornblent çiftini geliştiren malzemenin klorit + epidot çiftinin parçalanmasından türediğini gösterebilmektedir.

Şekil 7C'de kloritin kayboluşu ya da gerileyişi, buna karşıt, hornblentin duraylılık alanının genişlemesi görülür. Bu koşullarda albitin ( $\text{An}_{0.6}$ ) varlığı yine gösterilmiştir.

Şekil 7D'de gerileyen metamorfizma sonucunda ortaya çıkan sodik amfibol gösterilmiştir. Retrograd bu evrede gelişen başlıca kritik mineral olan sodik amfibol, bu niteliği nedeniyle tüm diğer ana fazlarla ilişkili gösterilmiştir. Bir diğer deyişle Zon I' den Zon IV'e kadar her mineral topluluğu ile üstelenebilen bu mineralin hem aktinolit hem de hornblent ile duraylı olabilişi gösterilmiş, benzeri ilişkinin granat ya da klorit ile de gelişmiş olduğu vurgulanmıştır. Albit de sodik amfibolün yanısıra duraylı bir faz olarak belirtilmiş ancak bu mineralin bileşiminde saf albite doğru olan değişim doğal olarak gösterilememiştir.

## SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Özelliklerine yukarıda kısaca değinilen mineralojik ve petrografik veriler hep birlikte, çalışma alanında güneydo-

ğudan kuzeybatıya doğru (Zon I'den Zon IV'e) artan bir metamorfizmanın varlığını göstermektedir. Zon I'de lavın birincil özellikleri tanınmaktadır. Zon II, epidot + albit + aktinolit + klorit + sfen mineral topluluğu ile temsil olur. Bu mineraller yeşilşist fasiyesi için ayırtıcıdır (Turner, 1968; Miyashiro, 1973). O halde bölgede yeşilşist fasiyesi ile belirlenenden giderek artan bir metamorfizmaya geçişin etken olduğu kesindir.

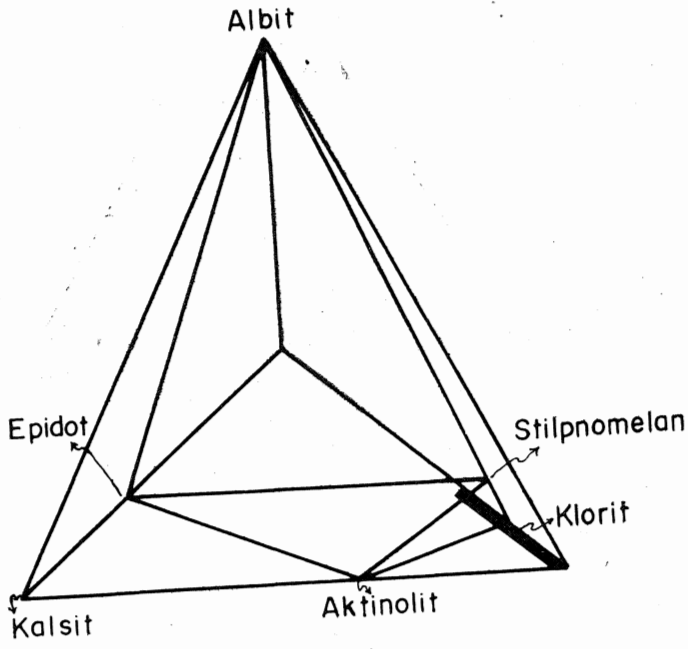
Karasu metamorfizmadaki ve öncelikle Söğüt metabazitindeki mineraller, Zon I ile Zon IV arasında sistemli değişimler gösterirler. Hemen tüm plajiyoklas arı albitle temsil edilir. Bununla birlikte ileri metamorfizmaya doğru  $\text{An}_{0.6}$  bileşiminde az, fakat belirgin bir artış görülür. Ancak bu artış çalışma alanında  $\text{An}_{0.6}$ 'dan öteye geçmemiştir.

Minerallerin tek tek tartışılması sırasında da değinildiği gibi inceleme alanında Wenk ve Keller'in (1969) albitli amfibolit, Turner'in (1968) epidot-amfibolit, Winkler'in (1974) "düşük dereceli metamorfizma" olarak tanımladıkları fiziksel koşulların aşılmadığı görülür.

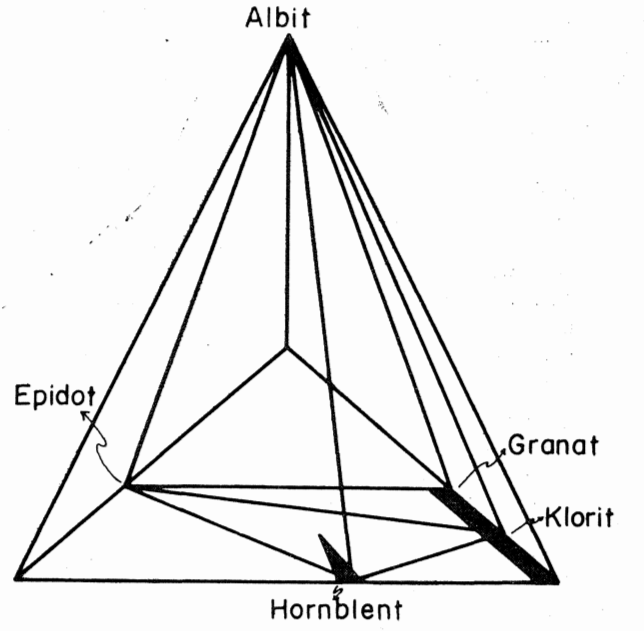
Turner'e (1968) göre yeşilşist fasiyesi için ayırtıcı kalsit amfibol aktinolitir. Çalışma alanında olduğu gibi, aktinolit + albit + klorit + kalsit topluluğu ile temsil olunan yeşilşist fasiyesini, Miyashiro (1973) ortaçağ basınç belirteci olarak tanımlamıştır. Miyashiro'ya (1973) göre yeşil-şist ile glokofanli yeşilşist fasiyesini temsil eden tüm mineraller yaklaşık olarak eşit sıcaklıkta kristallenmiştir. Fyfe ve diğerleri (1958), yeşilşist fasiyesine  $300^\circ$  veya daha yukarıda erişildiği görüşündedir.

Miyashiro'ya (1973) göre yeşilşist fasiyesinden epidot-amfibolit fasiyesine değişimi niteleyen önemli verilerden biri aktinolit hornblende geçiştir. Ancak plajiyoklas bileşiminin inceleme alanında henüz albit bölgesinde bulunuşu, amfibolit fasiyesine erişilmediğini gösterir (Miyashiro, 1973; Turner, 1968). Bu sınır, Wenk ve Keller'in (1969) albitli amfibolit ile, Winkler'in (1974) düşük dereceli metamorfizma ile belirttikleri bölgedir. Geçiş koşullarında almandine, Zon III ve Zon IV'de rastlanır. Winkler'in (1974) saha verilerine dayanarak belirttiği gibi almandinin ortaya çıkışı, aktinolit hornblente dönüş ile aynı P/T koşullarında gerçekleşmektedir. Bu geçiş belirleyen sayısal kesin veriler olmamakla birlikte, bu görüş Karasu metamorfizmadaki gözlemler ile uyuma göstermektedir. Deneysel veriler almandin duraylılık alanının ortamdaki oksijen fugasitesi ile yakından ilişkili olduğunu göstermiştir (Hsu, 1968b). 2 Kb sıvı basıncında, almandinin alt duraylılık sınırı  $540^\circ$  C'dir. Yüksek oksijen fugasitesinde almandin duraysızdır. Özellikle Zon III'te opak fazın varlığı fugasite değerinin almandinin gelişebilmesi için yeterli düzeyde olduğunu, bir diğer deyişle ortamdaki indirgeme koşulunun almandin gelişim düzeyinde olduğunun delilidir. Deneysel bulgulara göre düşük oksijen fugasitesinde almandinin duraylılık alt sınırı  $550^\circ$  C civarındadır. Değişik metamorfizma bölgelerinde, diğer mineral değişimlerinin ortaya koyduğu verilerle yaklaşık  $500^\circ\text{C}$  olarak bildirilmiştir (Winkler, 1974). Ancak basınç ile az da olsa sıcaklığın artacağı doğaldır. Sonuç olarak Zon III'e geçilirken sıcaklığın  $500^\circ$  C'ye ulaştığı söylenebilir.

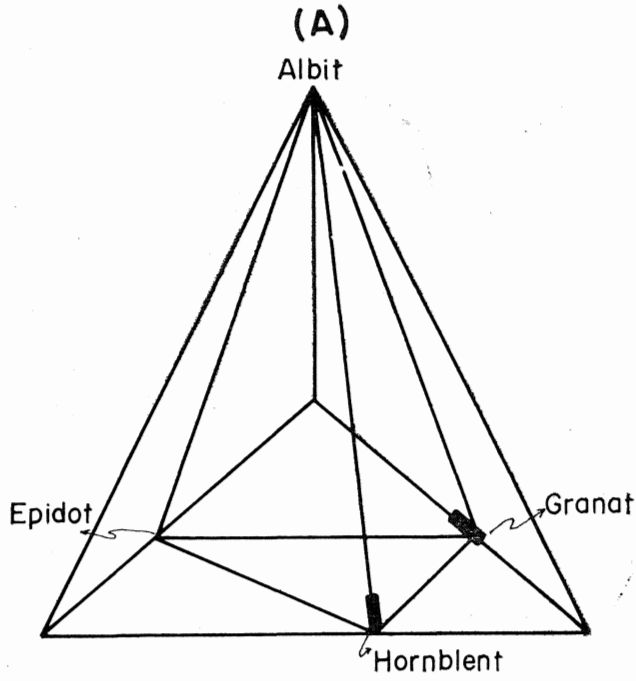
Güney topluluğu metamorfizmasında basınç koşulunu tahmine yararlı önemli bir veri Banno'nun (1964) tartışma-



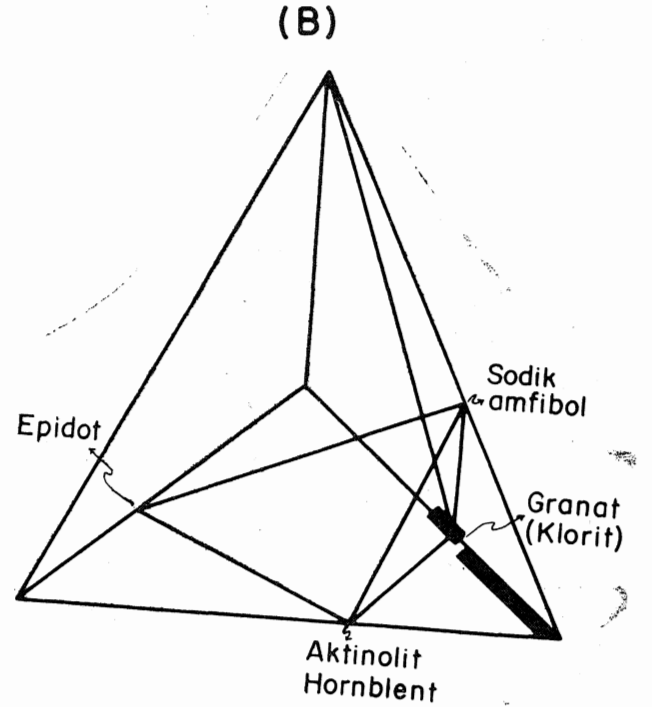
Zon. I ve II



Zon III



Zon IV

M<sub>2</sub>

(C)

(D)

Şekil 7: Söğüt metabazitindeki duyarlı mineral topluluklarının ACFN piramidine uyarlanışını gösterir diyagramlar.

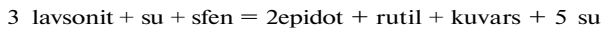
Figure 7: ACFN diagrams illustrating equilibrium assemblages from the Söğüt metabasite between progressive metamorphism (Zone I - Zone IV) and retrograde metamorphism (M<sub>2</sub>).

larından çıkarılabilir. Banno'ya göre Zon III ve Zon IV'de görüldüğü gibi almandin ve hornblendin oligoklastan önce gelişmesi yüksek basıncı işaret eder. Barrow serisi (İskoçya) metabazitinde de bu minerallerin kristallenme sırası aynıdır. Bu nedenle bölge metamorfizmasında, basıncın dolaylı yoldan en az Barrow'daki kadar, yani yaklaşık 5 kb dolayında olduğu tahmin edilebilir.

Tüm güney topluluğu kayalarında egemen  $TiO_2$  minerali sfendir. Rutil ile sfen ve plajyoklas ile albit bağıntısı bu nedenle bölge için temsilcilerdir. Ancak bu fazlar arasındaki ilişkinin mutlak değeri P/T koşulları bakımından henüz bilinmemekte ve bu nedenle bölgede kantitatif yaklaşım için kullanılamamaktadır.

Sodik amfibol üzerinde gerçekleştirdiği deneysel çalışmalarıyla Ernst (1960, 1961, 1962, 1963), bu katı çözeltinin geniş duraylılık alanı sunduğunu göstermiş ve glokofanın P/T koşulları bakımından mutlaka tek başına bir belirteç olması gerekeceğine değinmiştir. Ancak sodik amfibol, lavsonit ve jadeitik piroksen ile birlikte yüksek basınç, düşük sıcaklık koşulu belirtmede güvenilir bir ayıraç sayılmaktadır (Ernst, 1970; Miyashiro, 1973). Bu nedenle Orta Sakarya boyunda harita alanından (Şekil 1) doğuya doğru, özellikle Gömele - Sarıcakaya güneyinde bu koşullara erişildiği kesinlikle söylenebilir. Mavişist fasiyesi koşulları olarak tanımlanan yüksek basınç, düşük sıcaklığın harita alanındaki başlıca etkisi sodik amfibolün varlığıdır. O halde çalışma alanı, doğuya doğru değişen koşullara geçişin eşği olarak kabul edilmelidir. Harita alanındaki bu geçiş yaklaşık olarak Ca-amfibol + albit + klorit = Na-amfibol + epidot + sıvı (Ernst, 1972) eşitliği ile belirtilebilir.

Söğüt metabaziti ayrıntılı çalışmalarla tanıtılmış dünyadaki çeşitli örneklerle karşılaştırılabilir. Franciscan (Ernst ve diğerleri, 1970; Hermes, 1973) ve Taivan (Liou ve diğerleri, 1975) metabazitleri, Sakarya güneyindeki metamorfik kayaları andıran karmaşık bir evrim geçirmişlerdir. Önce 500° C dolayında (Turner'in, 1968, epidot-amfibolit fasiyesi; Winkler'in, 1974, düşük dereceli metamorfizması) rejyonal metamorfizma gelişmiş daha sonra yüksek basınç, düşük sıcaklık (mavişist fasiyesi) koşullarına dönüşmüştür. Ernst'e (1972) göre Franciscan metamorfizması 8 Kb ve 150-300°C'ta oluşmuştur. Sanbagawa (Shiritaki bölgesi), Franciscan ve Taivan'daki bazı metabazitler ile çalışma sahası arasındaki yakın benzerlik açıktır. Zon II'de, Taivan'da olduğu gibi epidot ve albit gelişmiştir. Franciscan'da ise bunların yerine lavsonit ya da pumpelit, sfen ve jadeitik piroksen gelişmiştir. Hermes (1973), Franciscan'da epidot ve amfibolitin lavsonitli mavi şiste dönüştüğünü verilerle göstermiştir. Harita alanında metamorfizma koşullarının her evrede epidotun duraylılık sınırları içinde kaldığı kesindir. Çünkü hem artan metamorfizma, hem de gerileyen metamorfizma sırasında epidot duraylı bir faz olarak görülmüştür. Ancak harita alanından doğuya İnhisar, Gömele, Dağköplü'ye doğru metabazit bloklarında lavsonit, epidotun yerine geçmektedir. Liou ve diğerleri'ne (1975) göre epidot, lavsonit geçişi aşağıdaki eşitlikle açıklanabilir:



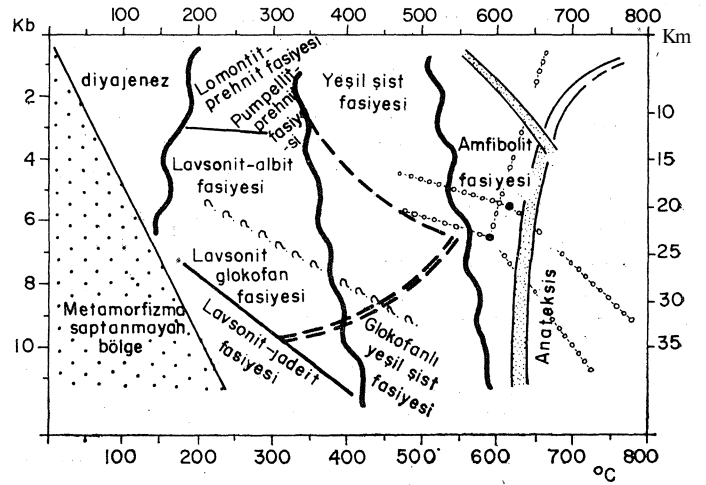
Eşitlik, bölgede doğudan batıya doğru değişen metamorfizma koşulları için iyi bir örnektir.

Lavsonit/epidot duraylılığı deneylerle de araştırılmıştır (Newton ve Kennedy, 1963; Nitsch, 1968). Denge eğrisinde iki mineral arasındaki geçiş 5 Kb akışkan basınçta 350° C veya daha düşüktür. O halde lavsonit + glokofanla temsil edilen orta Sakarya mavi şistlerinin 350° C'nin altında, Söğüt metabazitinin ise 350°C'nin üzerinde yeniden kristallendiği söylenebilir. Franciscan da benzer mavi şistlerin 200°-300°C ve 6-9 Kb'da geliştiği bildirilmiştir (Coleman, 1967).

Karasu metamorfizmasının değişik birimleri harita alanında oldukça düzenlidir. Harita alanından doğuya doğru mavişist fasiyesinin etken olduğu kayalara geçilirken aynı zamanda kaya birimleri arasında belirli bir düzensizliğin de gelişmeye başladığı görülür.

Harita alanı doğusundaki düzensiz ofiyolit topluluğu diğer kayalarla birlikte, konum bozumu ile giderek türlü (melanj) topluluğuna (Hsü, 1968) dönüşmektedir. Ofiyolit genellikle yüksek basınç metamorfizma kuşaklarında görülür. Günümüzde mavişist fasiyesi metamorfizması ile ofiyolit arasında kökensel bir ilişki olduğu ve ofiyolit topluluğunun okyanus kabuğu ile manto parçaları olup, orojenik kuşaklar boyunca yerleştikleri görüşü yaygındır (Dietz, 1963; Hess, 1964; Gass, 1968; Dewey ve Bird, 1971; Miyashiro, 1973). Sakarya güneyindeki kayaların bir ofiyolit topluluğundan türediği ve volkanik kayaların jeokimyasal niteliklerine dayanarak bu ofiyolitin okyanus türevli olduğu kanıtlanmıştır (Yılmaz, 1977a, b).

Alpin bir çanakta gelişen bu malzemede artan metamorfizmanın deformasyonla ilişkili olduğu tanınmıştır. Bu birinci metamorfizma fazı sırasında 500°C'yi aşan sıcaklıklara erişilmiş, basıncın 5-6 kb dolayında olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 8: Karasu metamorfizmasını etkileyen farklı metamorfizmaların yaklaşık P/T değerleriyle evrimlerini gösterir diyagram (Winkler (1974) ten alınmıştır.) Artan metamorfizma kesikli ve kalın çizgi ile, gerileyen metamorfizma ise kesikli ve kalın çift çizgiyle gösterilmektedir.

Figure 8: Trends and approximate P/T values of the metamorphic events in the Karasu metamorphic rocks (From Winkler (1974)). Progressive metamorphism and retrograde metamorphism are indicated by single and double dashed lines, respectively.

İkinci metamorfizma fazı ile gelişen mavişistler ile alkali amfibollü kayaların ortaya çıkmaları için 6-9 kb yüksek basınç gerektiği belirlenmiştir. Bu yüksek basınç, düşük sıcaklık oluşunun bir yitilme zonunda gerçekleşebildiğini düşünmek olasıdır. Çünkü aynı süreçte, kaya topluluğunun düzeni de bir melanj oluşturacak biçimde bozulmuştur. Bölgede hareketli kuşaklara özgü kabuksal kılalmanın varlığı da ayrıca kanıtlanmıştır (Yılmaz, 1977a). Artan metamorfizmadan sonra kayaların bir yitilme zonuna taşındığı söylenebilir. Buna göre artan metamorfizma okyanus tabanında veya okyanus hendeğinde ve bir ofiyolit napının termal örtüsü altında gelişmiş olmalıdır.

Artan metamorfizmadan gerileyen metamorfizmaya değişimin tabiatı çizimle gösterilmeye çalışılmıştır (Şekil .8).

Dinamik metamorfizma, metamorfizmaya uğrayan ofi-yolin bölgeye yerleşmesi ve sonrasında yapısal yeni düzenin sonucunda gelişmiştir (Yılmaz, 1977a).

#### KATKI BELİRTME

Elektron mikrosonda analizleri, İngiltere'de, Univ. College London'da TBTAK yurtdışı bursu ile gerçekleştirilebildi. Yazar bu kuruluşlara gönülden borçludur.

|                                  |              |
|----------------------------------|--------------|
| Yazının geliş tarihi             | : 23.2.1978  |
| Düzeltilmiş yazının geliş tarihi | : 25.7.1978  |
| Yayıma verildiği tarih           | : 30.11.1978 |

#### DEĞİNİLEN BELGELER

- Banno, C., 1964, Petrologic studies Sanbags.wa crystalline schists in the Bessi-Ino District, Central Sikoku, Japan: Tokyo Üniv. Fac. Sci. J. Sec. II., 15, 203-319.
- Binns, R.A., 1965, The mineralogy of metamorphosed basic rocks from the Willyama Complex, Broken Hill District, New South Wales, Pt. I. Hornblendes: Min. Mag., 35, 306-326.
- Chinner, G.A., 1962, Almandine in therman aur-eoles: J. Petrology, 3, 316-340.
- Coleman, R.G., 1967, Claucophane schists from California and New Caledonia: Tectonophysics, 4, 479-498.
- Dee, W.A., Howie, R.A., ve Zussman, J., 1963, Rock forming minerals Longmans, London.
- Dewey, J.F., ve Bird, J.M., 1971, Origin and emplacement of the ophiolite suite: Applachian ophiolites in Newfoundland: J. Geophys. Res., 79, 3179-3206.
- Dietz, R.S., 1963, Collapsing Continental rises: an actualistic concept of geosynclines and mountain building: Jour. Geol., 71, 314-333.
- Ernst, W.G., 1960, The stability relations of magnesioriebeckite: Geoch. Cosmos. Acta, 19, 10-40.
- Ernst, W.G., 1961, Stability relations of glaucophane: Am. Jour. Sci., 259, 735-765.
- Ernst, W.G., 1962, Synthesis, stability relations and occurrence of riebeckite and riebeckite-arfvedsonite solid solutions: Jour. Geol., 70, 689-736.
- rology, 4, 1-30.
- \_\_\_\_\_, 1970, Tectonic contact between the Franciscan melange and the Great Valley sequence-crustal expression of a late Mesozoic benioff zone: J. Geophys. Res., 75, 886-901.
- \_\_\_\_\_, 1972, Occurrence and mineralogic evolution of blueschists belts with time: Am. Jour. Sci., 272, 657-668.
- \_\_\_\_\_, Seki, Y., Onuki, H., ve Gilbert, M.C., 1970, Comparative study of low-grade metamorphism in the California coast ranges and the outer metamorphic belt of Japon: Geol. Soc. of America, Mem. 124, 276 s.
- Fortes, M.D., 1956, Correlation of dioctahedral potassium micas on the basis of their charge relations: U.S. Geol. Surv., Bull. 1036-D, 57-67.
- Fyfe, W.E., Turner, F.J., ve Verhoogen, J., 1958, Metamorphic reactions and metamorphic facies: Geol. Soc. America, Mem. 73, 260 s.
- Gass, I.G., 1968, Is the Troodos Masif of Cyprus a fragment of Mesozoic ocean floor?: Nature, 22P, 39-40.
- Hermes, O.D., 1973, Paragenetic relationships in an amphibolitic tectonic blocks in the Franciscan terrain, Panoche Pass, California: J. Petrology, 14, 1-32.
- Hess, H. H., 1964, The oceanic crust, the upper mantle and the Magaguez serpentized peridotite; Burke, C.A., ed. Study of serpentinite de: Natl. Acad. Sci.-Natl. Res. Council Publ. 1188, 169-175.
- Hey, M.N., 1954, A New review of the chlorites: Min. Mag., 30, 277-292.
- Hsu, K.J. 1968a, Principles of melanges and their bearing on the Franciscan-Knoxville paradox: Geol. Soc. America Bull., 79, 1063-1074.
- Hsu, K.J., 1968b, Selected phase relationships in the system Almn-Fe-Si-O; a model for garnet equilibria: J. Petrology, 9, 415-469.
- Korzhinskii, D.S., 1959, Physicochemical basis of the analyses of the paragenesis of minerals: Consultants Bureau, New York, 142 s.
- Lee, D.C., Coleman, R.G., ve Erd, R.C., 1963, Garnet types from the Cazadero area, California: J. Petrology, 4, 460-492.
- Liou, J.G., Ho, CO., ve Yen, T.P.t, 1975, Petrology of some glaucophane schists and related rocks from Taiwan: J. Petrology, 16, 80-109.
- Miyashiro, A., 1957, The chemistry, optics and genesis of the alkali amphiboles: J. Fac. Sci. Tokyo Pniv., 11, 2, 57-83.
- \_\_\_\_\_, 1973, Metamorphism and metamorphic belts: J. Wiley and Sons, New York.
- Newton, R.C., ve Kennedy, G.C., 1963, Some equilibrium reactions in the join CaAbSisOs-H<sup>+</sup>: J. Geophys Res., 68, 2967-2983.
- Nitsch, K.H., 1968, Die Stabilität von lawsonit: Naturwissenschaften, 55, 388.
- Papike, J.İ. ve Clark, J.R. 1966, Cation distribution in the pressure polymorph: Geol. Soc. Am. Abstracts.
- Turner, F.J., 1968, Metamorphic petrology (mineralogical and field aspects): Me Graw Hill, New York.
- Velde, B., 1965, Phengite micas: syntehesis, stability and natural occurrence: Am. Jour. Sci., 263, 886-913.
- \_\_\_\_\_, 1969, Si<sup>+</sup> content of natural phengites: Contr. Min. Pet., 14, 250-258.
- Wenk, E. ve Keller, F. 1969, Isograde in Amphibolitserien der Zentralalpen: Schweizer Min. Pet. Mitt, 49, 157-198.
- Winkler, H.G.F., 1974, Petrogenesis of metamorphic rocks (4th Ed) : Springer-Verlag, Heidelberg.
- Yılmaz, Y., 1977a, Bilecik-Söğüt dolayındaki "eski temel karmaşığı"-nın petrojenetik evrimi: Doçentlik tezi, İ.Ü.F.F. (Yayınlanmamış).
- \_\_\_\_\_, 1977b, Relict pyroxenes of Söğüt metabasite: İstanbul Univ. Fen. Fak. Mec, Seri B. 41 (1-4), 27-33.