



# Marmara Adası'nda ilerleyen bölgesel metamorfizma ile tektonik tarihçe arasındaki ilişki

## *The relationship between progressive regional metamorphism and structural history in the Marmara Island*

Rahmi Aksoy Selçuk Üniversitesi, Müh.-Mim. Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 42031 Konya

### Öz

Marmara Adası'nda yüzeyleyen metamorfik kayaların petrografik ve mikrodokusal özellikleri, bunların ayırtılabılır üç metamorfik faza ( $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ ) sahip olduğunu gösterir. İlk iki faz ( $M_1$ ,  $M_2$ ), ilerleyen tek bir bölgesel metamorfizmanın kısımlarını oluşturur. En son faz ( $M_3$ ), gerileyen metamorfizmayı temsil eder. Metamorfizmlerde tipik mineralojik değişimlerin saptanması sonucu, ilerleyen tarzdaki metamorfizmanın kuzeyden güneye doğru arttığı belirlenmiştir. Bu mineralojik değişimlere bağlı olarak bölgede üç metamorfik fasiyes zonu ayırtılmıştır. Bunlar yeşilist, epidot-amfibolit ve amfibolit fasiyes zonlarıdır. Fasiyes zonları genellikle DKD-BGB uzanımlı olup, bölgenin  $D_2$  deformasyon evresinde gelişen kıvrım eksen gidişlerine koşuttur. İndeks minerallerin oluşum koşullarının belirlenmesiyle ilerleyen bölgesel metamorfizmanın magmatik bir yay altında 3-6 kilobar basınç ve 400-600°C sıcaklık arasında geliştiği ortaya konmuştur. Bu koşullar altında kayalar aynı zamanda dört evreli deformasyona uğramıştır.

**Anahtar kelimeler:** Deformasyon, Marmara Adası, metamorfizma.

### Abstract

*Petrographic and microtextural features of the metamorphic rocks cropped out in the Marmara Island indicate that they have three identifiable metamorphic phases ( $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ ). The first two phases ( $M_1$ ,  $M_2$ ) form the parts of a single progressive regional metamorphic cycle. The last phase ( $M_3$ ) represents the retrograde metamorphism. Typical mineralogical changes in the metamorphics delineate that the degree of metamorphism increases from north to south. Based on these mineralogical changes, three metamorphic fades zones have been distinguished. These are greenschist, epidote-amphibolite and amphibolite fades. These fades zones generally run parallel to the trend of the  $D_2$  fold axis in the ENE-WSW direction. By determining the formational conditions of index minerals, it is found out that the progressive regional metamorphism occurred beneath a magmatic arc at pressures between 3 and 6 kbar and temperatures between 400 and 600°C. Under these conditions, the rocks have undergone four phases of deformation, synchronous with the regional metamorphism.*

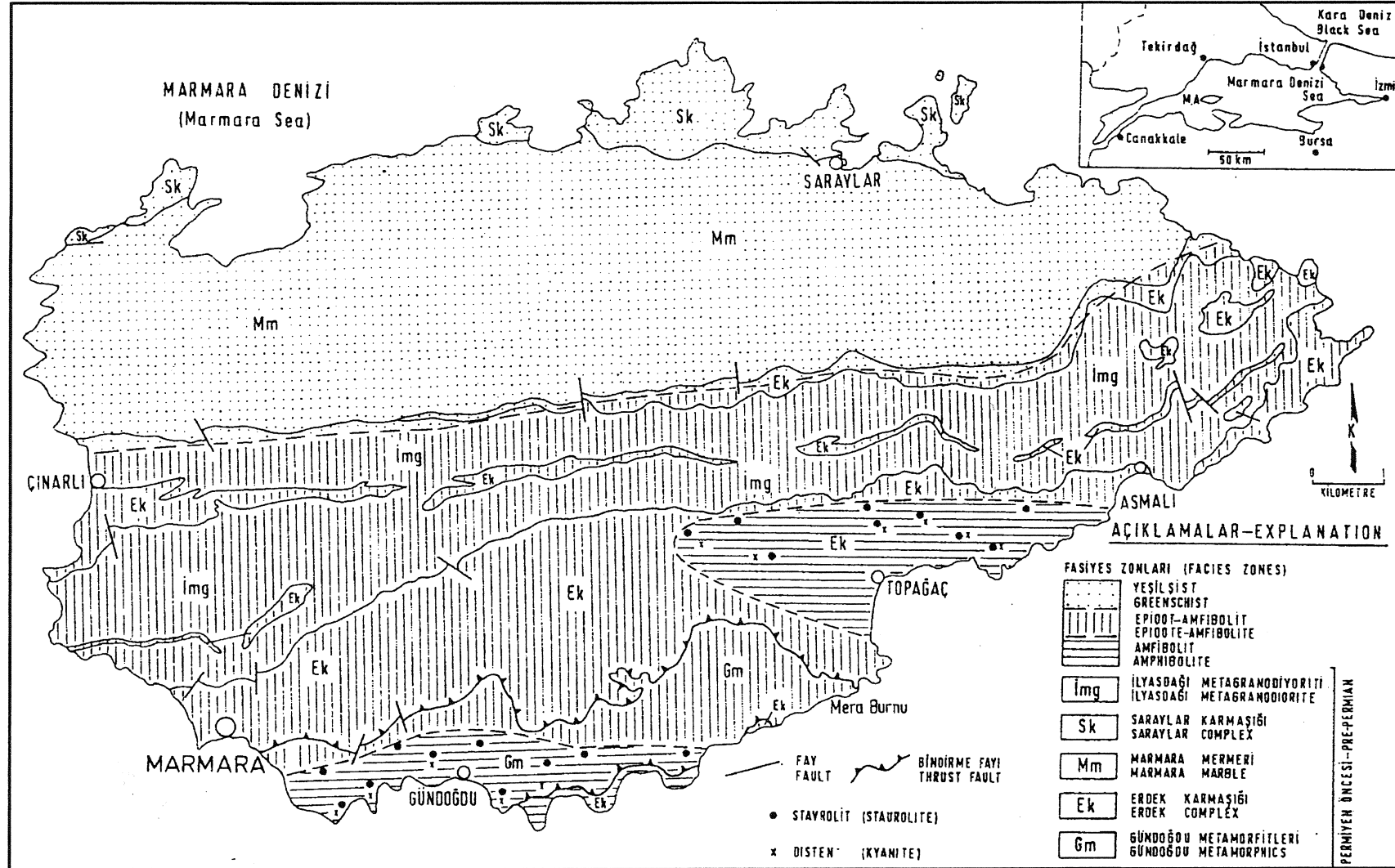
**Key words:** Deformation, Marmara Island, metamorphism.

### GİRİŞ

Yazar tarafından Marmara Adası'nda (Şekil 1) yapılan 1/10 000 ölçekli mesoskopik tektonik incelemeler sırasında, bölgede yüzeyleyen kayaların metamorfizma derecesinde büyük bir değişimin olduğu saptanmıştır. Bu kayaların metamorfizma şartlarını aydınlatılabilmek için mineral topluluklarının belirlenmesi çalışması yapılmıştır. Bu nedenle, bölgedeki kayalardan üç yüzü aşkın kayaç örneği toplanmış ve kayaların dokusal özellikleri ve mineralojik bileşimleri 280 ince kesit ile ayrıntılı

olarak incelenmiştir. Yörenin petrografisine ve petrolojisine yönelik ilk çalışma Tanyolu (1979) tarafından yapılmıştır.

İnceleme alanının ayrıntılı stratigrafik gelişimi, yapısal özellikleri ve deformasyon tarihçesi Aksoy (1995, 1996) tarafından incelenmiştir. Bu makalede, bölgedeki metamorfik kayaların metamorfizma niteliğini ve koşullarını belirleyici bazı ön bulgular verilecek; metamorfizma ile deformasyon tarihçesi arasındaki ilişki kısaca incelenecektir.



**Şekil 1:** Marmara Adası'nın (M.A) Jeolojî ve metamorfik fasiyes haritası. Haritada alüvyonla örtülmüş alanlar gösterilmemiştir.

**Figure 1.** Geologic and metamorphic facies map of the Marmara Island. Note that the areas covered by alluvium are not shown on the map.

## MARMARA ADASINDA İLERLEYEN BÖLGESEL METAMORFİZMA

### JEOLJİK KONUM

Biga Masifi'nin kuzeyinde yer alan Marmara Adası'nda, Permiyen öncesi yaşlı (Aksoy, 1995) metamorfik kayalar yüzeyler (Şekil 1).

Bölgede en yaşlı oluşukları bir kıta kenarında çöken Gündoğdu Metamorfikleri teşkil eder (Aksoy, 1995). Düzenli bir istiflenme sunan bu birim, mikaşist, kalkışt ve mermerlerden oluşur. Gündoğdu Metamorfikleri üzerine, onu metamorfizma öncesi tektonik bir dokanak ile üzerleyen ve onunla çağdaş olan Erdek Karmaşığı gelir. Erdek Karmaşığı, bir okyanusal kabuk ürünü olan meta-ultramafit, metagabro, metabazalt ve bunlar ile karışmış aslen pelitik, yan pelitik ve psammitik kayalar ile kireçtaşı olistolitlerinden meydana gelir. Erdek Karmaşığını açılı bir uyumsuzluk ile duraylı bir şelf ortamında çökelmiş Marmara Mermeri örter. Marmara Mermerini bir yay önü ya da bir yay ardı havzada gelişen flişoyid Saraylar Karmaşığı izler (Aksoy, 1995). Bu birim, bazik ve ortaç kökenli metavolkanitler ile arakatlı egzotik mermer blokları, kökünde türbiditik nitelikli çamurtaşı, kumtaşı, konglomera ve kireçtaşı ardışımından oluşur. Kalkalkali bileşimli İlyasdağı Metagranodiyorit, alttaki tüm birimleri metamorfizma öncesinde, çok sayıda apolit, pegmatit ve kuvars damarlarıyla sıcak dokanaklar boyunca kesmiştir.

Bu birimlerin ayrıntılı tanımları, stratigrafik ilişkileri, tektonik özellikleri ve yaşları üzerine görüşler daha önce verildiğinden (Aksoy, 1995,1996), burada yeniden değinilmeyecektir. Bu bölümde, bu çalışma ile elde edilen önemli litolojik veriler ve birimlerin herbirine ilişkin ilerleyen bölgesel metamorfizma şartlarını yansıtan petrografik bulgular kısaca özetlenecektir.

### Gündoğdu Metamorfikleri

Metamorfik temelin en yaşlı birimi olup, Marmara ilçesi ile Topağaç köyü güneyinde Mera Burnu'na kadar uzanır (Şekil 1). Metamorfikleri oluşturan birimler çeşitli boyutlarda kıvrılmış kıvrım yapıları gösteren, kuzey doğu-güneybatı yönelimli, antiformal bir antiklinoriumun çekirdeğinde yer alırlar (Aksoy, 1995).

Gündoğdu Metamorfikleri, başlıca mikaşistler, bunlar ile ardalanmalı olarak daha az yayılım gösteren, ince kuvars-feldispatik şist aradüzeyleli kalkıştler ve mermerlerden oluşur. Birimin metamorfizma öncesinde pelitik, yan pelitik, psammitik kayalar, bunlar ile arakatlı ortokuvarsit ve karbonatlar ile saf karbonatlardan oluştuğu söylenebilir.

Lepidoblastik, lepido-porfiroblastik dokulu (Levha

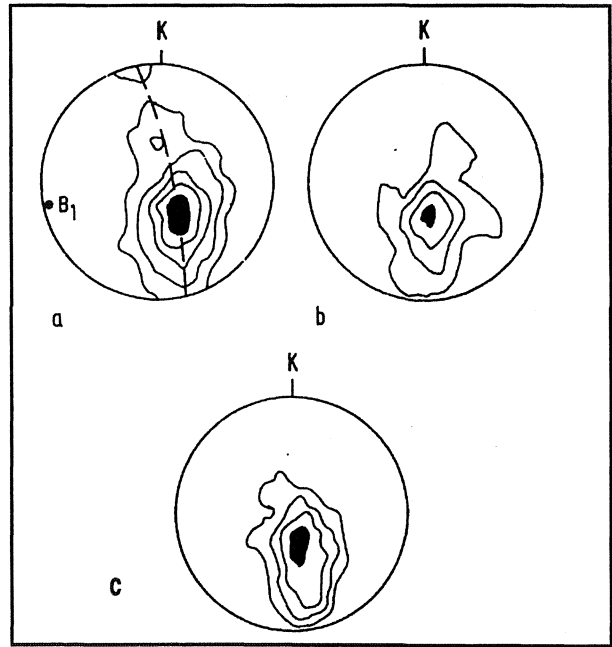
1) mikaşistlerde,

- Kuvars + muskovit + biyotit ± plajiolklas ± turmalin ± sfen ± granat ± opak

- Kuvars + muskovit + biyotit ± plajiolklas + stavrolit + granat ± dişten ± opak

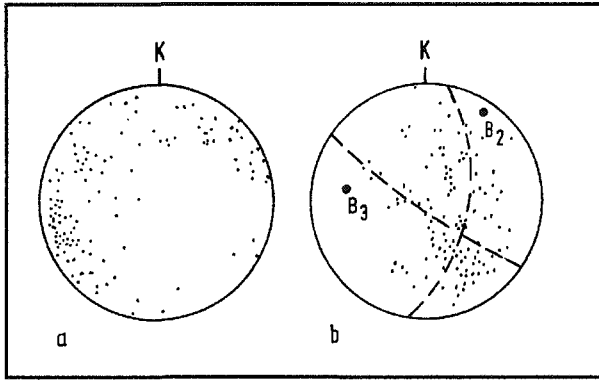
şeklindeki mineral toplulukları oluşmuştur. Kuvarslar, dalgalı sönmeli, girik sınırlı ve yapraklanmaya koşut uzamış taneler şeklindedir. Muskovit ve kırmızı renkli biyotit, yönlü ve yer yer porfiroblastlar sarar durumdadır. İdiyoblastik-hipidiyoblastik stavrolit ve granat porfiroblastlar pre- ve sintektonik büyümüşlerdir. Hipidiyoblastik şekilli distenin varlığı ilk kez bu çalışmada saptanmıştır (Levha I, Şekil 1,2, 3).

Mikaşistleri yanal ve düşey geçişli olarak sık kıvrımlı, akma yapıları kalkıştler izler. Gündoğdu köyü çevresinde yaygın olarak izlenen bu kayalarda,



Şekil 2. Gündoğdu Metamorfikleri ile Erdek ve Saraylar Karmaşığına (a), Marmara Mermerine (b) ve İlyasdağı Metagranodiyoritine (c) ait S<sub>1</sub> düzlemlerinin doku diyagramları. Konturlar: a) %0.36-1.1-2.6-4.2-6.3 (8.7) (n= 962); b) %0.24-2.1-4.6-9.9 (15) (n= 207); c) %0.63-1.9-3.7-9.1 (12.5) (n= 552).

Figure 2. Contours of poles to S<sub>1</sub> foliation Gündoğdu Metamorphics, Erdek and Saraylar Complex (a); Marmara Marble (b); İlyasdağı Metagranodiorite (c); Contour intervals are 0.36-1.1-2.6-4.2-6.3 (8.7)%, (n= 962); 0.24-2.1-4.6-9.9 (15)%, (n= 207); 0.63-1.9-3.7-9.1 (12.5)%, (n= 552), respectively.



**Şekil 3:** Gündoğdu Metamorfileri, Erdek ve Saraylar Karmaşığına ilişkin (a) mesoskopik kıvrım eksenlerinin (n= 143) ve (b) eksen düzlemlerinin (n= 126) doku diyagramları.

*Figure 3: Stereographic equal-area projections for for Gündoğdu Metamorphics, Erdek and Saraylar Complex structural data, a) Poles to mesoscopic fold axes, n= 143. b) Poles to axial planes of folds, n= 126.*

- Kalsit + plajiyoklas + kuvars ± biyotit ± muskovit ± fligopit ± hornblend ± sfen ± opak

ile belirlenen mineral toplulukları özgündür.

Mermerler, birimin diğer litolojileri üzerine uyumlu olarak gelirler. Mermerler tamamen kalsitten oluşan mineralojik bir bileşim gösterir. Birim süreksiz ve uzun kütleler şeklinde mostra verir.

### Erdek Karmaşığı

Marmara Adası 'nın güneyinde ve değişik kesimlerinde geniş alanlarda yüzeyleyen, okyanusal kabuk ürünü bazik ve ultrabazikler ile karışmış volkanosedimanter bir birim yer alır (Şekil 1). Büyük bir bölümü metabazitlerden oluşan, daha az oranda mikaşist, kalkışist ve mermer blokları içeren bu kayaç topluluğu, Erdek Karmaşığı olarak isimlendirilmiştir (Aksoy, 1995).

Metabazitlerde yer yer yastık lav yapısı ile içlerinde metapsammit ve pelajik kireçtaşlarından türeme mermerli seviyeler izlenir. Değişik kökenli olan bu kayaç topluluğu, metamorfizma öncesi melanj niteliğinde olan bir oluşuk halindedir. Metabazitler, amfibolşist, amfibolit, yeşilşist, metabazalt ve talkşistlerden oluşur. Bunlarda,

- Hornblend + plajiyoklas ± kuvars ± epidot ± lökoksen ± opak

- Epidot + kuvars + plajiyoklas ± hornblend ± lökoksen ± opak

- Aktinolit/tremolit ± kuvars ± plajiyoklas ± epidot ±

muskovit ± opak

- Plajiyoklas + hornblend + epidot ± biyotit ± sfen

- Talk + tremolit ± klorit ± antigorit ± kalık piroksen

ile belirlenen mineral toplulukları izlenir. Hornblendler idiyoblastik - hipidiyoblastik prizmatik şekillerden hipidiyoblastik tabüer şekiller arasında değişim gösterir. Bunlar yapraklanmaya koşut dizilmişlerdir. Adanın kuzeyinden güneyine doğru birim içinde hornblendlerin rengi yeşilden kahverengiye doğru değişim gösterir. Kuvarlar ince taneli, dalgalı sönmeli ve yapraklanmaya koşut uzamış taneler şeklindedir. Plajiyoklaslar sık albit, periklin, albit-karlsbad bileşik ikizli, ksenoblastik şekilli ve yer yer zonlu büyümüşlerdir. Aktinolitler genellikle yapraklanmaya koşut yönelmişlerdir. Ancak yer yer birincil dilinim düzlemlerine dik yönde gelişmiş, ikincil dilinim düzlemine koşut dizilmiş aktinolitler de olağandır (Levha II, Şekil 1).

Karmaşık içindeki mikaşistler, Topağaç köyü ile Aşmalı köyü arasında ve adanın doğusunda yüzlek verirler. Bunlar, metabazitler ile ardalanmalı olarak bulunurlar. Lepidoblastik dokulu mikaşistlerde,

- Kuvars + biyotit + muskovit + plajiyoklas ± granat ± turmalin ± opak

- Kuvars + biyotit + muskovit + plajiyoklas + stavrolit + granat ± dişten ± turmalin ± opak

şeklindeki mineral toplulukları izlenir. Bunlarda, birbirleriyle girik sınırlar yaparak merceksel geometriji agregalar oluşturan, dalgalı yanıp sönmeli ve uzamış taneler şeklindeki kuvars; yönelmiş muskovit ile kırmızı-kahverenkli biyotit önemli bileşenlerdir. Stavrolitler, pre-ve sintektonik büyümüşlerdir. Bu şistlerde, inceleme alanında ilk kez bu çalışmada saptanan dişten, yapraklanmaya koşut dizilmiştir (Levha II, Şekil 2).

Erdek Karmaşığını oluşturan bu kayaçlar dışında serpantinitle Gündoğdu ve Aşmalı Köyleri doğusunda rastlanılmıştır. Karmaşığı oluşturan diğer litolojiler ile birlikte metamorfizma geçirmiş olan serpantinitle, antigorit, krizotil, klorit, kalık piroksen, talk ve opaktan oluşur.

### Marmara Mermeri

Adanın kuzeyinde doğu-batı doğrultusunda 2,5 - 3,5 km eninde bir kuşak boyunca uzanan mermerler, en yaygın kaya türünü oluştururlar (Şekil 1). Kayaçta kalsitin dışında grafit bulunur. Mermerlerdeki ana petrografik değişimler metamorfizma derecesine bağlı olarak kuzeyden güneye doğru tane boyundaki kısmi artış ve kuzey-

## MARMARA ADASI'NDA İLERLEYEN BÖLGESEL METAMORFİZMA

de gözlenen dolomitik mermerlerin güneye doğru gözlenmemesidir. Bu özellik metamorfizma derecesinin ada da kuzeyden güneye doğru arttığını gösterir.

### Saraylar Karmaşığı

Marmara Mermerini, konkordan olarak bazik ve ortaç kökenli metavolkanitler ile arakatkılı, ekzotik mermer ve metabazit blokları, metapsammit, metapelit ve kalkıştı arkalanmasından oluşan kayalar izler. Karmaşığı oluşturan litolojiler yanal ve düşey yönde değişimler gösterir. Bir yay öne ya da bir yay ardı havzada bloklu fliş fasiyesinde ve ortaç volkanizma eşliğinde gelişen birimin (Aksoy, 1995) egemen litolojisini metapsammit ve metapelitler oluşturur. Bunlarda,

- Kuvars + plajiyoklas + muskovit ± biyotit ± turmalin ± klorit ± epidot + opak şeklindeki mineral topluluğu izlenir.

### Yeşilistlerde,

- Epidot + kuvars + klorit ± antinolit ± biyotit ± plajiyoklas ± kalsit

### talkistlerde,

- Talk + klorit + tremolit

### metaspilitlerde,

- Albit + epidot + kalsit

### metaandezitlerde,

- Albit + hornblend + biyotit ± klorit ± epidot

### Metabazit bloklarında ise,

- Klorit + epidot ± kuvars ± albit ± lökoksit ± biyotit

- Aktinolit + klorit + lökoksit

- Epidot + klorit + kuvars ± aktinolit ± hornblend ± klinozoit ± plajiyoklas ± muskovit ± lökoksit ± kalik piroksen + kalsit ± opak

şeklindeki mineral toplulukları karakteristiktir. Bu kayalarda yer alan biyotitler, ince taneli, kahverenkli olup, yapraklanmaya koşut uzamış, taneler şeklindedir. Aktinolitler, hipidiyoblastik şekilli ve yapraklanmaya koşut yönlenmişlerdir. Epidotlar ince taneli ve anormal girişim renklidir. Kloritler, sarı yeşil-yeşil renklerde pleokroyik, lifsi, anormal mavi girişim renkli ve yönlenmişlerdir.

### İlyasdağı Metagranodiyoriti

Marmara Adası'nın bileşimi metagranit - metagranodiyorit arasında değişen (Tanyolu, 1979) metamorfik kayalar yer alır (Şekil 1). Granodiyoritik bileşimli magma-

nın artık ürünleri olan aplit, pegmatit ve kuvars damarları metamorfizma öncesinde hem bu birimi ve hem de alttaki birimleri çeşitli doğrultularda kesmişlerdir. Granodiyoritik magma yükselimi sırasında yankayaçlardan kopardığı kayaç parçalarını bünyesinde kapanım olarak içermiştir. Kataklastik-mortar dokulu metagranodiyoritler,

- Kuvars + plajiyoklas + hornblend + epidot + klorit ± biyotit ± muskovit ± mikroklin ± granat ± sfen ± opak mineral topluluğundan oluşmuştur. Bunlarda ince taneli, dalgalı sönmeli, birbirleriyle girik sınırlar oluşturarak yapraklanmaya koşut uzamış taneler şeklindeki kuvars ile sık albit, karisbad, periklin, albit-karisbad ve albit-periklin birleşik ikizli, yer yer zonlu büyümüş, hipidiyoblastik-ksenoblastik şekilli plajiyoklas poyikloklastları önemli bileşenlerdir. Kuvarsların plajiyoklaslarla olan sınırlarında büyük bir olasılıkla birincil mirmekitik ve grafik büyümeler gözlenir (Levha II, Şekil 3). Açık sarımsı yeşil-yeşil renklerde pleokroyit, yer yer ikizli yapıda, yapraklanmaya koşut dizilmiş hipidiyoblastik şekilli hornblend heteroblastlarıyla, kırmızı-kahverenkli, yönlenmiş ve post-tektonik etkiler ile yer yer kinkleşmiş biyotitler yaygın olarak izlenir. Bazı örneklerde, ilerleyen metamorfizmayı belgeleyen, kloritten türemiş biyotitler gözlenmiştir. K-feldispatlar, kafes şeklinde tipik polisentetik ikizlenme gösteren, ksenoklastik şekilli mikroklinlerden ibarettir. Epidotlar açık sarı, sarımsı yeşil renkte pleokroyik, yer yer zonlu ve ışınal büyümüş taneler şeklindedir. Ayrıca, açık sarımsı yeşil renkte pleokroyik klorit ve yönlenmiş pulcuklar şeklinde muskovit ve mirmekitik büyüyen, porfiroblastik şekilli granat da olağandır (Levha II, Şekil 4).

## METAMORFİZMA

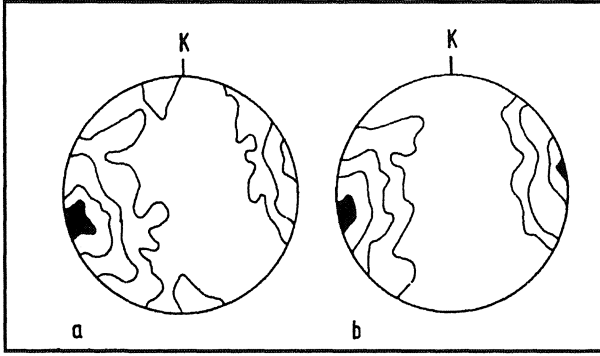
Bölgesel metamorfizma izleri inceleme alanında yüzeyleyen tüm birimlerde görülmüştür. Birimlerde saptanan mineral toplulukları ve bunların yöredeki dağılımları ilerleyen bölgesel metamorfizma niteliğini belirleyici özelliktedir (Çizelge 1). Kayaların petrografik incelenmesi ayrıca, inceleme alanında ilerleyen metamorfizmanın gerileyen metamorfizma tarafından izlenmiş olduğunu gösterir (Aksoy, 1995).

Metamorfizmlerde petrografik ve mikrodokusal verilerle dayanılarak üç ayrı metamorfik faz ( $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ ) tesbit edilmiştir. Bunlar ilerleyen bölgesel metamorfizma ile onu izleyen gerileyen metamorfizmanın ve bunlara eşlik eden deformasyonların bir sonucu olarak gelişmiştir. M] metamorfizmasma ilişkin mineral topluluğu ve

C 1 . Marmara Adası'nda metamorfik fasiyelerdeki ilerleyen mineral değişimleri.

Table 1. Progressive mineral changes in metamorphic fades of the Marmara Island.

| LİTOLOJİ<br>LITHOLOGY               | MİNİRALER<br>MINERALS                        | METAMORFİK FASİYES ZONLARI<br>METAMORPHIC FACIES ZONES |   |   |
|-------------------------------------|--|--|---|---|
|                                     |  | Yeşilşist<br>Greenschist                               | Epidot-Amfibolit<br>Epidote-amphibolite | Amfibolit<br>Amphibolite                    |
| Metapelitler<br>(Metapelites)       | Kuars (Quartz)                               |  |   |   |
|                                     | Plajiyoklas (Plagioclase)                    |  |   |   |
|                                     | Klorit (Chlorite)                            |  | ---                                     |   |
|                                     | Biyotit (Biotite)                            |  | Kahverengi-kirmizi<br>(Brown-rod)       | kirmizi<br>(rod)                            |
|                                     | Muskovit (Muscovite)                         |  |   |   |
|                                     | Stavrolit (Staurolite)                       |  |   |   |
|                                     | Disten (Kyanite)                             |  |   |   |
|                                     | Granat (Garnet)                              |  |   |   |
| Metabazitler<br>(Metabasites)       | Kuars (Quartz)                               |  |   |   |
|                                     | Plajiyoklas (Plagioclase)                    |  |   |   |
|                                     | Klorit (Chlorite)                            |  | ---                                     |   |
|                                     | Talk (Talc)                                  |  | ---                                     |   |
|                                     | Biyotit (Biotite)                            |  |   |   |
|                                     | Muskovit (Muscovite)                         | ---  |   |   |
|                                     | Epidot (Epidote)                             |  |   |   |
|                                     | Aktinolit/Tremolit<br>(Actinolite/Tremolite) |  | ---                                     |   |
|                                     | Serpantin (Serpentine)                       |  | Yegil<br>(Green)                        | Yegilimsi<br>kahverengi<br>(Greenish-brown) |
| Hornblend (Hornblende)              |  |  |   |   |
| Metakarbonatlar<br>(Metacarbonates) | Kalsit (Calcide)                             |  |   |   |
|                                     | Kuars (Quartz)                               |  |   |   |
|                                     | Muskovit (Muscovite)                         |  |   |   |
|                                     | Biyotit (Biotite)                            |  |   |   |
|                                     | Flogopit (Phlogopite)                        |  |   |   |



Şekil 4: Gündoğdu Metamorfitleyle Erdek Karmaşığında (a) ve İlyasdağı Metagranodioritine (b) ilişkin mineral yönelim lineasyonlarının doku diyagramları. Konturlar: (a) %0.14-0.84-8.52-9.72 (11.52) (n= 358), (b) %0.12-3.72-7.32-9.72 (10.8) (n= 434).

Figure 4: Contours of poles to mineral orientation lineations. (a) Gündoğdu Metamorphics and Erdek Complex (n= 358). Contour intervals are 0.14-0.84-8.52-9.72 (11.52)%, (b) İlyasdağı Metagranodiorite (n= 434). Contour intervals are 0.12-3.72-7.32-9.72 (10.8)%.

mikroyapılar daha çok kuvars - feldispatik şistlerde ve mikaşistlerde görülmektedir. İkinci metamorfik hadise ( $M_2$ )  $M_1$  mineral topluluğunu üzerlemekte ve şistlerdeki  $M_1$  mineral topluluğunu kısmen koruyan metamorfik fazdan ayırt edilebilmektedir.  $S_x$  - şistozite ve foliyasyon düzlemleri  $M_2$  metamorfizması sırasında gelişmiştir. Bu evrede, adanın kuzeyinden güneyine doğru gidildiğinde kayalardaki metamorfik minerallerin tane boylarının belirgin bir şekilde büyüdüğü ve yüksek metamorfizma koşullarını simgeleyen parajenezlerin daha yaygın olarak izlendiği görülmektedir. İlk iki faz ( $M_1$ ,  $M_2$ ) ilerleyen bölgesel bir metamorfizmanın, tek bir metamorfik devrenin kısımlarını oluşturur.  $M_1$ ,  $M_2$  metamorfizma fazları yeşilşistten - amfibolit fasiyesine kadar değişen metamorfizma koşullarında gerçekleşmiştir. Üçüncü metamorfik faz ( $M_3$ ), masifin yükselmesi ve soğuması sonucu gelişen gerileyen metamorfizma ile ilgilidir. Aşağıdaki paragraflarda bu üç metamorfik olaya ilişkin deliller tanımlanacaktır.

Gündoğdu metamorfitle ve Erdek karmaşığında ait mikaşistler,  $M_1$  metamorfik fazın mineralojisini (plajiyoklas, granat ve stavorlit) ve dokusal özelliklerini korumaktadır. Albit, albit-karışık birleşik ikizli, ksenoblastik şekilli plajiyoklas kristallerinde opak inklüzyonların oluşturduğu iç foliyasyon dış foliyasyona obliktir. Granat genellikle idiyoblastik-hipidiyoblastik kristaller şeklindedir. Bunlar bazen kuvars, biyotit, apatit ve opak inklüzyonları içerir. Bazı granat tanelerinin çevresinde

ayrıca, basınç gölgesi oluşmuştur. Stavrolit kristalleri genellikle iç foliyasyonu tanımlayan opak, kuvars ve muskovit inklüzyonları içermektedir (Levha I, Şekil 1). Çoğu örneklerde iç foliyasyon helisitik yapıya olmasına rağmen (Levha I, Şekil 2), bazı örneklerde dış foliyasyonla yüksek açılı, genellikle lineer ve süreksiz bir ilişki içindedir. Plajiyoklas, granat ve stavorlit porfiroblastlarındaki basınç gölgesi ve iç foliyasyon - dış foliyasyon ilişkisi bu minerallerin ana foliyasyona ( $S^{\wedge}$  göre pre-tektonik olarak büyüdüklarini gösterir.

Bazı mikaşist örneklerinde biyotit, kuvars ve muskovit, granat ve stavorlit porfiroblastlarının çevresini sararak basınç gölgesi oluşturmuşlardır (Levha I, Şekil 1). Biyotit, kuvars ve muskovit diğer metakristaller gibi, ana bölgesel foliyasyona ( $S_1$ )  $M_x$  fazındaki granat ve stavorlitin büyümesinden hemen sonra, ikinci metamorfik fazda ( $M_2$ ), metamorfizmanın en şiddetli olduğu zamanda meydana gelmiştir.  $M_2$  fazında, granat ve stavorlitin büyümesini devam ettirmesi ve ayrıca distenin büyümesi (Levha I, Şekil 2-3) ile ana kristallenme dönemi başlamıştır. Bazı mikaşist örneklerinde granat ve stavorlit porfiroblastları hem pre-tektonik ( $M^{\wedge}$  ve İemde sin-tektonik ( $M_2$ ) olarak büyümüşlerdir. Ayrıca  $M_1$  fazını temsil eden plajiyoklas, granat ve stavorlit porfiroblastlarının içerdikleri inklüzyonların oluşturduğu iç foliyasyonda kırışma ve buruşmanın gözlenmemesi, metamorfizma ve deformasyonun eş zamanlı olduğunu ve progresif olarak geliştiğini kanıtlamaktadır. Bu özellikler ilerleyen metamorfizma ve eş zamanlı deformasyonun ilk evresinde plajiyoklas, granat ve stavorlitin büyüdüğünü ve daha sonra deformasyonun ilerleyen evrelerinde deforme olarak pre-tektonik mineral gibi davrandıklarını gösterir.

Metamorfitlerde biyotit ve stavorlitten türemiş yeşilimsi kahverenkli, mavi girişim renkli kloritler ile hornblendlerden dönüşen ince uzun, çubuksu aktinolit/termolitler gözlenmektedir. Bu minerallerin ana mineraller ile olan parajenetik ilişkileri, aktinolit/tremolitin sin- ve post-tektonik büyümeleri ( $M_3$ ) (Levha II, Şekil 1) ilerleyen metamorfizmanın gerileyen metamorfizma tarafından izlenmiş olduğunu göstermektedir.

#### Metamorfik Zonlar

İnceleme alanındaki tipik indeks minerallerin dağılımlarına dayanarak bölgede üç ayrı metamorfik fasiyes zonu ayırtlanabilmiştir: yeşilşist, epidot-amfibolit ve amfibolit fasiyes zonu (Şekil 1). Belirlenen bu fasiyes zonu genellikle doğu-batı uzanımlı olup, yöredeki bi-

rinci kıvrım yönelimine az çok paralel gelişmişlerdir (Aksoy, 1996).

#### Yeşilşist Fasiyes Zone.

Yeşilşist fasiyesi, Marmara Adası kuzeyinde epidot, aktinolit, klorit, talk., biyotit ve muskovitten oluşan, mineral topluluğu ile temsil olunur. Bu zon içinde saptanan minerallerin tane boyu genelde çok küçüktür. Zon içindeki metapelitlerde biyotinin bulunması, zonun yeşilşist fasiyesine yüksek sıcaklık kesimine (Miyashiro, 1973) karşılık geldiğini gösterir (biyotit, alt. fasiyesi) (Yartfley, 1989). Bu fasiyes zonu, adanın en kuzeyinden güneye doğru gidildikçe aktinolit kaybolması ve yeşil hornblendin ortaya çıkması ile son bulur.

#### Epidot-Amfibolit Fasiyes Zonu

Yeşilşist fasiyes zonundan güneye doğru, gidildiğinde, mineral topluluklarında izlenen değişimler ile epidot-amfibolit fasiyes zonuna geçilir (Çizelge 1). Bu zon başlıca yeşil hornblende kahverengi-kırmızı biyotit granat ve K-feldspatin ortaya çıkması ile karakterize edilir. Klorit, talk ve aktinolitler kaybolurlar. Epidotun varlığı bu zon içinde de devam etmektedir,

#### Amfibolit Fasiyes Zonu

Epidot-amfibolit fasiyes zonundan güneye doğru gidildikçe metamorfizma, derecesinin arttığını gösteren önemli mineralojik değişimler gözlenir. Bu değişimler metapelitlerde gözlenen staurolit ve disteoin ortaya çıkması ile başlar (Şekil 1). Bu zon içinde granatın yaygınlaştığı, biyotitin kırmızıya ve hornblendin, kahverengiye dönmüş oldukları görülür. Kayaçlarda izlenen bu mineralojik bulgular; bu zonun, amfibolit fasiyesinin düşük-orta sıcaklık kesimine: karşılık geldiğini, gösterir (Miyashiro, 1973),.

Marmara Adası'nda daha önce incelemelerde bulunan Tanyolu (1979), metamorfizma. Barrow tipi yeşilşist fasiyesi ve amfibolit fasiyesi koşullarında başkalaşım geçirdiğini, ileri sürmüştür, Tanyolu (1979), yöredeki metamorfizma koşullarının, basıncın 1,5-6 kbar ve sıcaklığın 400-600°C arasında olduğunu belirtmiştir.

İnceleme alanında saptanan ve yukarıda belirtilen özgün, mineral topluluğu, bölgesel, başkalaşımın orta basıncı/orta-yüksek sıcaklık koşullarında gerçekleştiğini gösterir (Miyashiro, 1973; Turner, 1981; Williams ve diğerleri, 1982). Bu araştırmacılar, bu koşullarda basıncın 3-6 kbar arasında olabileceğini belirtmişlerdir. Amfibolit

fasiyes zonunda saptanan indeks minerallerin oluşabilmesi için sıcaklığın yüksek olması gerekir. Miyashiro (1973)'ya göre, bu koşullarda sıcaklık 600-650°C olmalıdır. Yeşilşist fasiyesindeki koşullar dikkate alındığında, yüksek sıcaklık durumundaki basınç değerleri, bu fasiyeste sıcaklığın 400-550°C arasında olduğunu göstermektedir (Turner, 1981).

Böylece inceleme alanındaki, ilerleyen bölgesel metamorfizmanın en azından 400-650°C sıcaklık ve 3-6 kbar basınç koşullarında gerçekleştiği, anlaşılmaktadır. Gerileyen metamorfizmaya ait mineral topluluğu ile tersinme olayının amfibolit fasiyesinden yeşilşist fasiyesine doğru geliştiği belgelenmektedir,

#### METAMORFİZMA VE YAH ARASINDAKİ İLİŞKİ

İnceleme alanında yüzeyleyen kayaçlarda saptanan mineral bileşimlerindeki değişim, metamorfizma derecesinin adanın kuzeyinden güneyine doğru progresif olarak arttığını göstermektedir. Metamorfik kayaçlar yeşilşist, epidot-amfibolit ve amfibolit fasiyeslerini karakterize eden tektonik özellikleri gösterir (Aksoy, 1996), Bu kayaçlar, tabakalanma düzeylerini ve birincil dokularını tümüyle yitirmişler ve yeniden kristallenmişlerdir. Ana kayacın bileşimine bağlı olarak, birimlerdeki, deformasyon etkileri, kendini farklı şekilde göstermektedir.

Metamorfik kayaçların birincil, tabaka yapılarını yitirmeleri ve yapraklanma kazanmaları ilerleyen deformasyonun bir sonucudur (Ramsay, 1967; Ramsay ve Hubber, 1989). Tabaka yapılarının (S<sub>0</sub>) bozulmasıyla metamorfiklerde en yaygın yapısal eleman olan şistozite ve foliyasyon düzlemlerinin (S<sub>1</sub>) gelişmesi, bu çalışmada D<sub>1</sub> deformasyon evresi olarak nitelendirilmiştir. Bölgesel foliyasyon ve şistozite düzlemleri (S<sub>1</sub>) M<sub>2</sub> metamorfizması sırasında gelişmiştir. Aksoy (1996), S<sub>1</sub>-düzlemlerinin tüm metamorfik birimlerin süresizliğe uğramadan ve birimlerin sınıflarını aykırı olarak kestiklerini göstermiştir. Buradan, Gündoğdu Metamorfikleri, Erdek Karmaşığı, Marmara Mermeri ve Saraylar Karmaşığında gözlenen şistozite ve foliyasyon (S<sub>1</sub>) düzlemlerinin, İlyasdağı Metagranodiyoritinin yöreye yerleşmesinden sonra geliştiği anlaşılmaktadır. Şistlerde gözlenen şistozite ve foliyasyon düzlemleri, M<sub>2</sub> fazıyla koşut yürüyen ve D<sub>x</sub> deformasyon evresini izleyen, deformasyonlar ile (D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>, D<sub>4</sub>) çok evreli olarak kıvrılmışlardır.

Metamorfiklerdeki şistozite ve foliyasyon ölçümlerine ilişkin döke diyagramları, izoklinal bir kıvrım yapışım karakterize eden aksiyal doku simetrisi vermek-



## MARMARA ADASINDA İLERLEYEN BÖLGESEL METAMORFİZMA

tedir (Şekil 2), tlyasdağı Metagranodiyoriti dışındaki birimlere Şişkin K79°D gidişli kıvrım eksenini (F<sub>1</sub>), D<sub>2</sub> deformasyon evresinde gelişen kıvrım geometrisini yansıtır. Ayrıca, mesoskopik kıvrım eksenlerinin nokta dağılımı (Şekil 3a), S<sub>x</sub> düzlemlerinin çok evreli olarak kıvrımlandığı belgeler. Şekil Sb'den D<sub>2</sub> kıvrımlarının eksenini F<sub>2</sub> = K34°D, 8°KD konumlu olan D<sub>3</sub> kıvrımları ile ve D<sub>3</sub> kıvrımlarının da F<sub>3</sub> = K82°B, 30°KB konumlu. D<sub>4</sub> kıvrımları ile yeniden, kıvrımlandıktan görülmektedir. Aynı şekilde D<sub>2</sub> evresi ile Y<sub>1</sub> kıvrım eksenine koşut mineral, yönelim lineasyonlarının de geliştiği izlenmektedir (Şekil 4). Yukarıda tanımlanan yapısal elemanlara

(M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>) orta basınç/orta-yüksek sıcaklık koşullarında ilerleyen, tarzda bölgesel başkalaşım geçken aynı bir metamorfik evrenin kısımları olarak gelişmiştir. Son metamorfik faz (M<sub>3</sub>), masifin yükselmesi ve soğumasına bağlı olarak gelişen, gerileyen bir metamorfizmayı temsil eder. Araştırmalar, metamorfizma koşullarının kuzeyden güneye doğru arttığını göstermiştir. İnceleme alanında, bölgesel metamorfizmayla gelişmiş ancak, önceki, araştırmalarda belirtilmeyen, dişten ve serpantin mineralleri tesbit edilmiştir. Metamorfitlerde belirlenen tipik indeks minerallere dayanılarak bölgesel metamorfizmanın yeşilist, epidot-amfibolit ve amfibolit fasiyeslerinde

Çizelge2. Marmara Adası'nın defomasyon tarihçesi ve yapılarının özeti.

Table 2. Summary of structures and deformation history of the Marmara Island.

|  |                | MESOSKOPIK YAPILAR (MESOSCOPIC STRUCTURES)  |   |  |
|--|----------------|---|---|--|
| DEFORMASYON EVRELERİ<br>(DEFORMATION PHASES) | D <sub>1</sub> | S <sub>1</sub> - şistozite ve foliyasyon düzlemleri<br>(Schistosity and foliation planes)   |   |  |
|  | D <sub>2</sub> | F <sub>1</sub> : Devrik veya yatık izoklinal dar, az eğik - dikçe dahımlı kıvrım<br>(Overturned or recumbent, isoclinal-close and gently to steeply inclined folds) | S <sub>2</sub> : Eksen düzlemi ve buruşma klivajı<br>(Axial plane and crenulation cleavage) | L <sub>1</sub> : Mineral yönelim lineasyonu<br>Lk <sub>1</sub> : Kırışma lineasyonu, kalem yapıları<br>(Mineral and crenulation lineations and mullion structures) |
|  | D <sub>3</sub> | F <sub>2</sub> : Eğik - dikçe eğik, izoklinal sıkışık ya da benzer kıvrım<br>(Isoclinal-tight or similar and moderately to steeply inclined folds)                  | S <sub>3</sub> : Eksen düzlemi ve buruşma klivajı<br>(Axial plane and crenulation cleavage) | L <sub>2</sub> : Mineral yönelim lineasyonu<br>Lk <sub>2</sub> : Kırışma lineasyonu, kalem yapıları<br>(Mineral and crenulation lineations and mullion structures) |
|  | D <sub>4</sub> | F <sub>3</sub> : Eğik - dikçe eğik, geniş, paralel kıvrım<br>(Gentle-parallel and moderately to steeply inclined folds)   | S <sub>4</sub> : Eksen düzlemi ve buruşma klivajı<br>(Axial plane and crenulation cleavage) | Lk <sub>3</sub> : Kırışma lineasyonu<br>(Crenulation lineations)   |

bağlı olarak gelişmiş kırışma lineasyonları, kalem yapıları ve buruşma klivajları da izlenir.

Böylece, Marmara Adası'nda izlenen kayaçların orta basınç/orta-yüksek sıcaklık koşullarında gerçekleşen metamorfizmasına dört plastik-plastikoviskoz deformasyon evresinin eşlik ettiği anlaşılmaktadır. Boraya kadar anlatılan yapısal öğeler her defonnasyon evresi için. Çizelge T de özetlenmiştir.

### SONUÇLAR

Petrografik ve mikrodoküsal veriler, adada üç metamorfik fazın varlığını ortaya koymuştur. İlk iki faz

geliştiği saptanmıştır. Amfibolit fasiyesine kadar ilerleyen bölgesel metamorfizmanın daha sonra, yeşilist fasiyesine kadar gerilediği belirlenmiştir.

Metamorfitlerin ilerleyen bölgesel, metamorfizması sırasında onunla çağdaş olarak, gelişen enformasyonlar sonucu, bölgede dört evreli plastik defonnasyon geçirdiği saptanmıştır. Birinci (D<sub>1</sub>) deformasyon evresinde, bölgesel, başkalaşım olaylarına bağlı olarak, kay açlarının, şiddetli deformasyon geçiren, yeniden kristallenme ve akma sonucu birincil tabakalarına (S) yapılarını yitirerek, akmalı ve sık düze gelişmiş yapraklanma ve foliyasyon düzlemleri kazandıkları görülmüştür. Bu, izleyen **deformasyon** evrelerinde ise, kay açları çok evreli

olarak kıvrınlanmışlardır.

Belirlenen fasiyes zonları, birimlerin D<sub>2</sub> deformasyon evresindeki kıvrım eksen gidişlerine koşuttur. Fasiyes zonlarının sınırları daha sonraki deformasyon evrelerinde yeniden kıvrınlanmışlar ve yer yer yayvari bir şekil kazanmıştır.

#### DEĞİNİLEN BELGELER

- Aksoy, R., 1995, Marmara Adası ve Kapıdağı Yarımadası'nın stratigrafisi: Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni, C 7/1, 33-49.
- Aksoy, R., 1996, Marmara Adası ve Kapıdağı Yarımadası'nın Mesoskopik Tektonik Özellikleri: Turkish Journal of Earth Sciences, V. 5, p. 187-195.
- Johnson, S. E., 1993, Unravelling the spirals: a serial thin-section study and three-dimensional computer-aided reconstruction of spiral shaped inclusion trails in garnet prophyroblasts: Journal of Metamorphic Geology, 11, p. 621-634

- Miyashiro, A., 1973, Metamorphism and metamorphic belts: Allen and Unwin Ltd., London, 492p.
- Ramsay, J.G., 1967, Folding and fracturing of rocks: New York, McGraw-Hill Book Company, 568p.
- Ramsay, J.G. ve Hubber, M. I., 199, The techniques of modern structural geology, volume 2: folds and fractures: Academic press, London, p. 309-700.
- Tanyolu, E., 1979, Marmara Adası metamorfik serilerinin petrolojik etüdü: Zonguldak Devlet Mühendislik Mimarlık Akademisi Maden Bölümü, Zonguldak, 108 s.
- Turner, F. J., 1981, Metamorphic petrology (second edition): McGraw-Hill Book Company, New York, 524 p.
- Williams, H. Francis, J.T., ve Gilbert', C.M., 1982, petrography (second edition): Freeman and Company, New York, 626 p.
- Yardley, B.W.D., 1989, An introduction to Metamorphic Petrology: Longman, Harlow, 248 p.

Makalenin geliş tarihi: 15.05.1997

Makalenin yayına kabul edildiği tarih: 05.09.1998

*Received: May 15, 1997*

*Accepted: September 05, 1998*

## LEVHA-I

**Şekil 1.** Çevresinde basınç gölgesi (PS) gelişmiş stavrolit idiyoblastını gösterir mikrofotograf. Opak, kuvars ve muskovit inklüzyonlarının belirlediği iç foliyasyon (S<sub>i</sub>) biyotit, muskovit ve kuvarstan oluşan dış foliyasyonla (S<sub>e</sub>) yüksek açıdır. Çift nikol. Sağ alt köşedeki siyah şeritin uzunluğu 0,4 mm.

**Şekil 2.** Sin-tektonik stavrolit porfiroblastını gösterir mikrofotograf. Stavrolit porfiroblastları, kuvars ve opakta oluşan spiral şekilli inklüzyon içerikleriyle karakteristiktir (SSIT's Johnson, 1993). Porfiroblastlar, kuvars, muskovit ve biyotitten oluşan dış foliyasyon ile sarıdır ve bu durum deformasyonun, porfiroblastların oluşumlarından sonra da devam ettiğini gösterir. Çift nikol. Sağ alt köşedeki siyah şeritin uzunluğu 0.8 mm.

**Şekil 3.** Pre-tektonik büyümüş stavrolit porfiroblastı ve disteni gösterir mikrofotograf. Tek nikol. Sağ alt köşedeki siyah şeritin uzunluğu 0.8 mm.

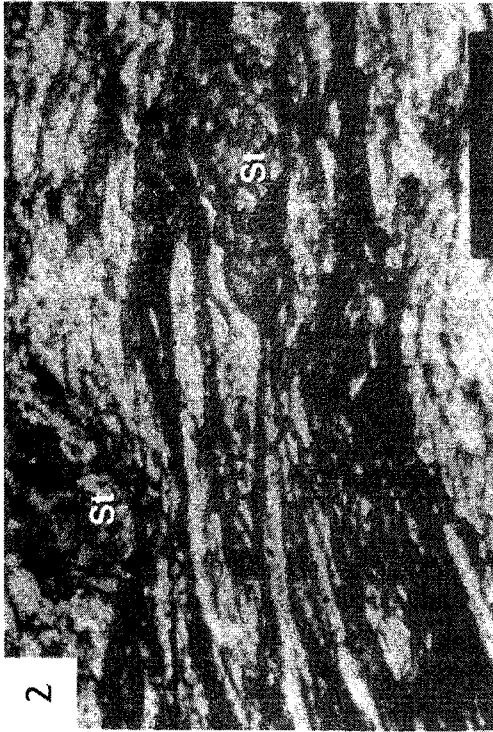
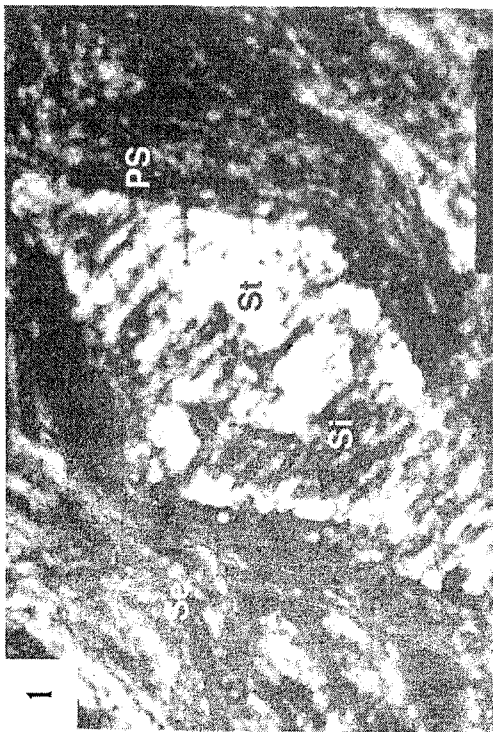
## PLATE-I

**Figure 1.** Photomicrograph showing euhedral staurolite with pressure shadow (PS) around it. Internal foliation (S<sub>i</sub>) is marked by opaque, quartz and muscovite inclusions and is at high angle with respect to the external foliation (S<sub>e</sub>), which is defined by biotite, muscovite and quartz. Cross-polarized light. Black band length located to the bottom right corner in the photograph is 0.4 mm.

**Figure 2.** Photomicrograph of syn-tectonically grown staurolite porphyroblasts. These are characterized by spiral-shaped inclusion trails (SSIT's Johnson, 1993) composed of blebs of quartz and opaques. The external foliation defined by quartz, muscovite and biotite wraps around the staurolite, delineating continued deformation after its growth. Cross-polarized light. Black band length located to the bottom right corner in the photograph is 0.8 mm.

**Figure 3.** Photomicrograph showing pre-tectonically grown staurolite porphyroblast and kyanite. Plane-polarized light. Black band length located to the bottom right corner in the photograph is 0.8 mm.

LEVHA - I PLATE - I



**LEVHA-II**

Şekü 1. Aktinolit/tremolit, kuvars ve plajiyoklastan yapılı ana foliyasyona aykırı, post-teknik büyümüş aktinolit/tremolit. Çift nikol. Fotoğraf uzunluğu 1,7 mm.

Şekil 2. Çevresi kuvars, muskovit ve biyotitten oluşan foliyasyon ile çevrili stavrolit porfiroblastı ve dışten idiyoblastı. Tek nikol. Sağ alt köşedeki siyah şeritin uzunluğu 0.8 mm.

Şekil 3. K-feldispat ve kuvars dokanağmda mirmekitik ve grafik büyümeyi gösterir mikrofotograf. Çift nikol. Fotoğraf uzunluğu 1,7 mm.

Şekil 4. Mirmekitik büyümüş granat porfiroblastını gösterir mikrofotograf. Çift nikol. Fotoğraf uzunluğu 1,7 mm.

**PLATE-II**

*Figure 1. Photomicrograph of actinolite/tremolite postdating the principal foliation, which is defined by mainly actinolitel tremolite, quartz and plagioclase. Cross-polarized light. Length of the field is 1,7 mm.*

*Figure 2. Photomicrograph of stavrolite porphyroblast and kyanite idioblast wrapped by the main foliation, which is defined by quartz, biotite and muscovite. Plane-polarized light. Black band length located to the bottom right corner in the photograph is 0.8 mm.*

*Figure 3. Photomicrograph of primary myrmekitic and graphic growth of quartz and alkali feldspar. Cross-polarized light. Length of the field is 1.7 mm.*

*Figure 4. Photomicrograph of mimetic growth of garnet porphyroblast. Cross-polarized light. Length of the field is 1,7 mm.*

LEVHA - II PLATE - II

