

MENDERES MASİFİ'NİN PAN-AFRİKAN TEMEL VE PALEOZOYİK - ERKEN TERSİYER ÖRTÜ SERİLERİNİN POLİMETAMORFİK EVRİMİ

Osman CANDAN*, Roland OBERHÄNSLI**, O. Özcan DORA*, Mete ÇETİNKAPLAN*, Ersin KORALAY*, Gaëtan RIMMELÉ***, Fukun CHEN**** ve Cüneyt AKAL*

ÖZ.- Batı Anadolu'da yüzlek veren Menderes Masifi ana hatlarıyla Geç Alpin sıkışma tektoniği ile biçimlenmiş karmaşık bir tektonik iç yapı sunmaktadır. Bu kristalin kompleksin litostratigrafik istifi; 1-Pan-Afrikan temel (çekirdek serisi) ve 2-Paleozoyik - Erken Tersiyer yaşlı seri (örtü serisi) olmak üzere iki ana üniteye ayrılmaktadır. Pan-Afrikan temel, paragnays ve onları uyumlu olarak üzerleyen mika şistlerden yapıları, yaygın migmatitleşme gösteren Geç Neoproterozoyik metakırıntılı seri ve bunlar içerisinde sokulmuş, sin - post Pan-Afrikan gabro ve granitoidlerden yapılarıdır. Çekirdek ve örtü birimleri arasındaki ilksel dokanak ilişkisi bölgesel bir uyumsuzluk karakterindedir. Örtü serisine ait Paleozoyik (Üst Devoniyen ? - Permo-Karbonifer) yaşlı birimler fillit, kuvarsit ve mermerlerden yapıları olup Triyas yaşlı metagranitler tarafından kesilmektedir. Mesozoyik örtü birimleri altta Triyas - Geç Kretase yaşlı platform türü kalın mermerlerle karakterize olmaktadır. Üst Kampaniyen - Üst Maastrichtiyen pelajik mermerler ve üzerleyen Orta Paleosen - Eosen yaşlı filiz türü bloklu birim örtü serisinin en üst birimlerini oluşturmaktadır. Pan-Afrikan temel içerisinde gözlenen ve granülit, eklojit ve amfibolit fasiyesi koşullarını tanımlayan kalıntı mineral toplulukları bu temelin çok evreli metamorfik karakterini açıkça ortaya koymaktadır. Granülit fasiyesi koşullarında gerçekleşen yüksek-sıcaklık metamorfizması hipersten türü ortopiroksenin varlığı ile karakterize olmaktadır. Pelitik granülit, ortopiroksen gneys, ortopiroksen paragnays ve metagabro/metanoritik kayalar masifte gözlenen tipik granülit fasiyesi kayalarını oluşturur. Jeotermobarometrik hesaplamalar bu metamorfizma için ortalama 730 °C sıcaklık ve 6 kbar basınç koşullarını tanımlamaktadır. Pelitik granülitlerdeki zirkonların granülit fasiyesi koşullarında büyümüş, zonlanma göstermeyen dış kesimlerinden SHRIMP II yöntemiyle 583 ± 5.7 My da kümelenen yaşlar elde edilmiştir. Pan-Afrikan temeldeki yüksek-basınç metamorfizması kalıntıları eklojit ve eklojitik metagabrolarla karakterize olmaktadır. İlksel kayaca ait kalıntı doku içermeyen, tümüyle yeniden kristalleşmiş ince taneli, masif yapıdaki eklojitler 'omfasit (jd₄₀₋₅₂)+granat+klinozoisit +amfibol+kuvars+rutil' bileşimindedir. Gabrolardan türeyen eklojitik metagabrolarda ise ilksel magmatik kayaca ait kalıntı doku ve minerallere yaygın bir şekilde rastlanmaktadır. Pan-Afrikan yüksek-basınç metamorfizmasının basınç/sıcaklık koşulları, yaklaşık 50 km'lik bir gömülmeye karşılık gelecek şekilde, 644 °C ve minimum 15 kbar olarak hesaplanmıştır. Eklojitik metagabrolardan TIMS ile elde edilen 529.9 ± 22 My lık ²⁰⁶Pb/ ²³⁸U zirkon yaşları, yüksek-basınç metamorfizmanın Pan-Afrikan yaşlı olduğunu göstermektedir. Anatektik granitlerin geliştiği, migmatizasyon aşamasına kadar ulaşan, Barrow türü orta-basınç metamorfizması granülit ve eklojitlerde yaygın geri dönüşümlere neden olmuştur. Eklojitlerden dönüşme granatlı amfibolitlerden yapılan basınç / sıcaklık tahminlerinde bu metamorfizmanın 7 kbar basınç ve 628 °C sıcaklık koşullarında gerçekleştiği belirlenmiştir. Migmatizasyon ile ilişkili anatektik granitlerden elde edilen, 551 - 540 My arasında değişen kristalizasyon yaşları orta-basınç metamorfizmasının Pan-Afrikan olayının son evresine ait olduğunu göstermektedir. Pan-Afrikan temelden elde edilen metamorfizma yaşları Gondvana süper kıtasının bütünleşmesi sürecinin son evresiyle uyum göstermektedir. Pan-Afrikan temeldeki paragnays ve şistlerin ilksel kayalarının, Geç Neoproterozoyik'te Doğu - Batı Gondvana arasında yer alan bir havzanın (Mozambik Okyanusu) pasif kıta kenarı ortamında çökeldiği düşünülmektedir. Bu havzanın Geç Neoproterozoyik'te kapanması ve Doğu - Batı Gondvana'nın çarpışmasıyla sonuçlanan süreçte Pan-Afrikan temel derin gömülmeye uğramış ve granülit, eklojit ve amfibolit fasiyesi koşullarında başkalaşıma uğramıştır. Menderes Masifi'nin çekirdek ve örtü serileri Alpin yaşlı bir bölgesel metamorfizmadan etkilenmiştir. Bu metamorfizma Paleozoyik yaşlı örtü serilerinde Barrow türü orta-basınç metamorfizması karakterindedir. Yeşilşist- alt amfibolit fasiyesi koşullarında (6 kbar / 430-550 °C) gerçekleşen bu metamorfizma fillitlerde granat, stavrolit ve disten oluşumuyla tanımlanmaktadır. Çine Asması'nın güney kesimindeki Mesozoyik - Erken Tersiyer örtü serileri ise

* Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fak. Jeoloji Müh. Böl. Tınaztepe Yerleşkesi 35160 Buca / İzmir-Türkiye

** Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Universität Potsdam, Karl Liebknecht Str. 24, Potsdam 14476, Germany

*** Laboratoire de Géologie de l'Ecole Normale Supérieure, C.N.R.S., U.M.R. 8538, 24 rue Lhomond, 75005 Paris, France

****Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, P.O. Box 9825, Beijing 100029-China

Alpin yaşlı bir YB / DS metamorfizmasına ilişkin veriler içermektedir. Triyas yaşlı kuvars metaçakılları içerisindeki karfolit - disten topluluğu minimum 30 km derinliğe karşılık gelecek şekilde 10-12 kbar basınç ve 440 °C sıcaklık koşullarındaki bir başkalaşımı göstermektedir. Günümüze değin gerek Paleozoyik örtü gerekse Pan-Afrikan temel içerisinde Alpin yaşlı bir YB / DS metamorfizmasının etkilerine yönelik herhangi bir bulgu saptanmamıştır. Masif'in örtü serisinden ve Masif üzerindeki metamorfik olmayan en yaşlı tortul örtü biriminden elde edilen fosil bulguları Alpin yaşlı metamorfizmayı biyostratigrafik olarak Eosen - Oligosen aralığına sıkıştırmaktadır. Alpin metamorfizmasına yönelik az sayıdaki izotopik yaş verisi (37 ± 1 My, Geç Eosen Rb/Sr biyotit yaşı; 36 ± 2 My, Orta Eosen Ar/Ar muskovit yaşı; 43 - 37 My, Eosen Ar/Ar muskovit yaşı) söz konusu zaman aralığı ile uyum göstermektedir. Anadolu'da ait tektonik zonların Alpin metamorfizmaları, ana hatlarıyla Neotetis Okyanusu'nun kuzey kolunun kapanması ve Paleojen'deki çarpışma ile ilişkilendirilmektedir. Bu model içerisinde, Anadolu - Torid Platformu'nun Menderes Masifi'ne karşılık gelen kesimi Neotetis Okyanusu'nun kuzey kolunun yitimi ve izleyen evredeki kıtasal çarpışma sürecinde şiddetli iç ekaylanmaya uğramıştır. Oluşan dilimler Eosen-Oligosen'de kuzeyde bulunan Afyon Zonu, güneye geçmekte olan Likya Napları ve ofiyolit diliminden yapıları yük altında farklı derinliklere gömülmüş ve gömülme derinlikleriyle ilişkili olarak değişen koşullarında metamorfizmaya uğramıştır.

Anahtar kelimeler: Menderes Masifi, Pan-Afrikan Orojenezi, metamorfizma, granülit, eklojit, karfolit

ABSTRACT.- The Menderes Massif exposing in the Western Anatolia substantially presents a complex tectono-stratigraphy as a result of Late Alpine compressional tectonism. The lithostratigraphical succession of this crystalline complex can be divided into two units: 1- The Pan-African basement (core series) and 2-Palaeozoic - Early Tertiary metasedimentary rocks (cover series). The Pan-African basement of the Menderes Massif is made up of a Late Neoproterozoic metaclastic sequence consisting of paragneisses and conformably overlying mica-schists. This high-grade metaclastic sequence is extensively migmatized and intruded by the syn- to post-Pan-African gabbros and granitoids. The primary contact relationship between the core and cover series is a regional unconformity in character. The Palaeozoic (?Upper Devonian - Permian) cover units, which are cut by the intrusion of Triassic leucocratic metagranites are consisted of phyllites, quartzites and marbles. The Mesozoic cover units are characterized by Triassic to Upper Cretaceous platform-type thick marbles at lower levels of the sequence. Upper Campanian - Upper Maastrichtian pelagic carbonates and the overlying Middle Palaeocene - Eocene flysch-type blocky unit constitute the uppermost units of cover series. Relic mineral assemblages observed in the Pan-African basement reveal a complex polyphase metamorphic evolution of this basement under granulite, eclogite and amphibolite-facies conditions. The high temperature metamorphism developing under granulite facies is characterized by the presence of hypersthene type pyroxene. Pelitic granulites, orthopyroxene gneisses, orthopyroxene paragneisses and metagabbroic / metanoritic rocks form typical granulite-facies relics observed in the massif. Geothermobarometric estimations characterize an average temperature of 730 °C and pressure of 6 kbar for the granulite-facies metamorphism. By means of SHRIMP II method, clustering ages of 583 ± 5.7 Ma were dated from the outer parts zircons in pelitic granulites which have no zoning but have overgrown under granulite facies. High grade metamorphism relics in the Pan-African basement are characterized by eclogite and eclogitic metagabbros. Fully recrystallized, fine grained massif eclogites, with non bearing relic texture belonging to protolith are composed of 'omphacite (jd_{40-52}) + garnet + clinozoisite + amphibole + quartz + rutile'. However; relic texture and minerals are extensively observed in metagabbros derived from eclogitic gabbros. The pressure-temperature (P-T) conditions of the Pan-African high-pressure metamorphism were estimated as 644°C with a minimum pressure of about 15 kbar, which corresponds to a burial depth of about 50 km. $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ zircon ages obtained from eclogitic metagabbros by TIMS yield 529.9 ± 22 Ma, reveal the high-pressure metamorphism as Pan-African in age. The Barrowian type medium pressure metamorphism reaching up migmatization stage in which anatectic granites developed caused extensive retrogradations. Geothermobarometric estimates from garnet amphibolites, retrograded from eclogites indicate that this metamorphism developed under P/T conditions of 7 kbar in pressure and 628°C in temperature. The crystallization ages of these anatectic granites range from 551 to 540 Ma. They were generated by migmatization of paragneisses and reveal that this medium-pressure event is related to the last stage of polyphase Pan-African metamorphism. All metamorphic ages obtained from the Pan-African basement are compatible with the latest stages of assemblage of Gondwana super continent. It is considered that protoliths of paragneisses and schists of the Pan-African basement were deposited on a passive continental margin of a basin occurring between East and West Gondwana during the Late Proterozoic time (Mozambique Ocean). The Pan-African basement of the Menderes Massif was deeply buried and metamorphosed under granulite, eclogite and amphibolite-facies conditions as a

result of the closure of this basin and collision of East and West Gondwana during Late Neoproterozoic time. Both core and cover series of the Menderes Massif were affected by an Alpine aged old regional metamorphism. In the Palaeozoic sequence of cover series, this metamorphism is characterized by a Barrowian type medium-pressure metamorphism. This metamorphism developed under greenschist to lower amphibolite-facies (6 kbar in pressure / 430-550 °C in temperature) and described by the occurrences of garnet, staurolite and kyanite (disthene) in phyllites. Mesozoic-Early Tertiary cover series at the southern part of Çine submassif contain data associated with Alpine aged HP/LT metamorphism. Carpholite-kyanite assemblage within Triassic quartz metaconglomerates shows a metamorphism under a pressure of 10-12 kbar and temperature of 440 °C corresponding to a minimum depth of 30 km. So far, there has not been detected any data for an Alpine HP / LT metamorphism, neither in the Pan-African basement nor in the Palaeozoic sequence of the Menderes Massif. Based on the fossil content obtained from youngest unit of the cover series and from the oldest non metamorphic sedimentary cover on the massif, the Alpine metamorphism can biostratigraphically be constrained into Eocene and Oligocene time interval. Few isotopic data (37 ± 1 Ma, Late Eocene Rb/Sr biotite age; 36 ± 2 Ma, Middle Eocene Ar/Ar muscovite age; 43 - 37 Ma, Eocene Ar/Ar muscovite age) related to Alpine metamorphism are compatible with the related time interval. The Alpine metamorphisms of tectonical zones belonging to Anatolides is substantially associated with the closure of the northern branch of Neothethys Ocean and with the collision in Palaeogene. In such a tectonic model, the segment of the Anatolide-Tauride platform corresponding to the Menderes Massif was subjected to intense internal imbrication during the subduction process of the northern branch of Neotethys and the following period in which the continental collision occurred. The tectonical slices being formed were buried at different depths and metamorphosed under varying conditions related with burial depths under the load of Afyon zone at north in Eocene-Oligocene times, and of Lycian nappes passing south and of ophiolites.

Key words: Menderes Massif, Pan-African Orogeny, metamorphism, granulite, eclogite, carpholite

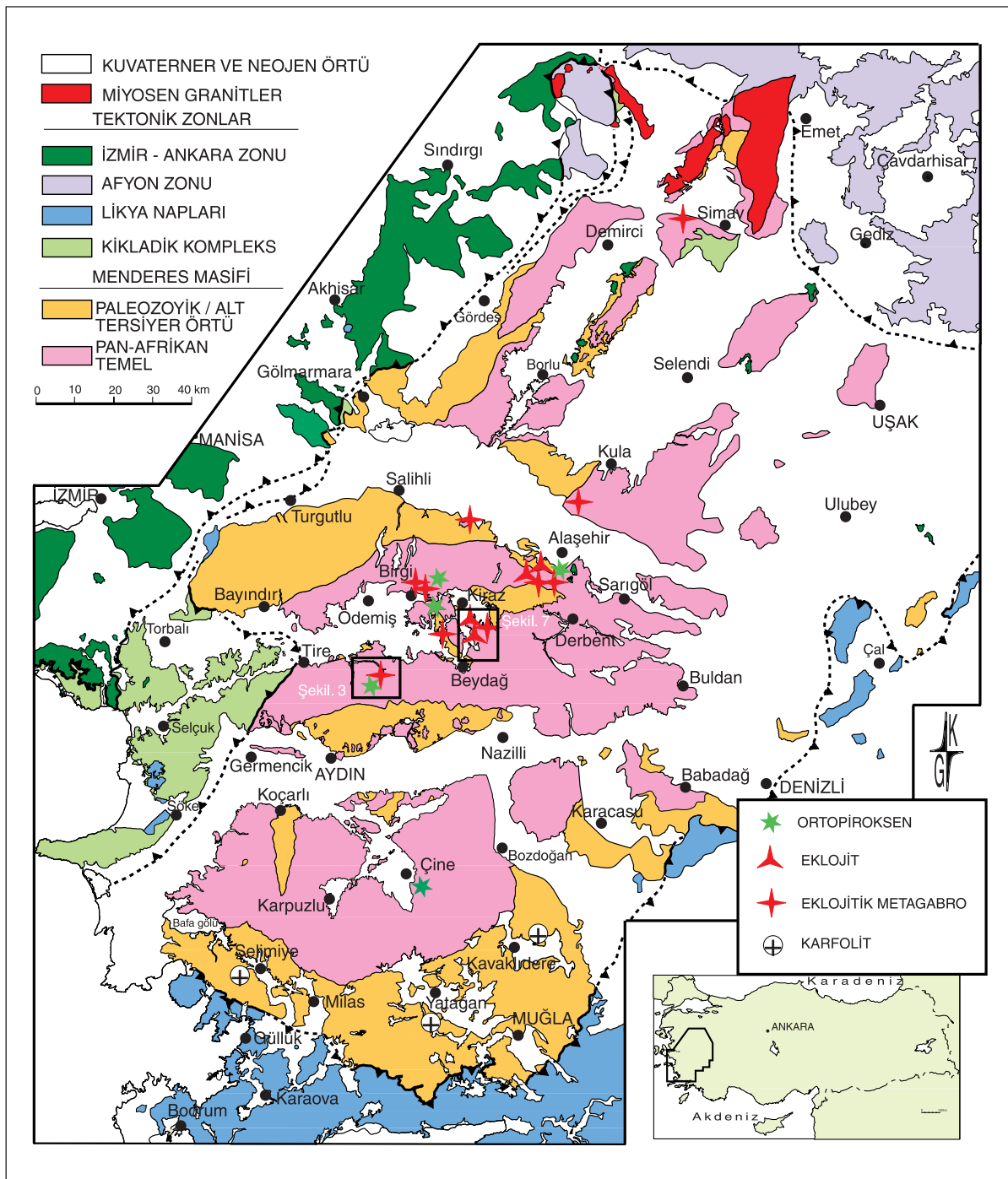
GİRİŞ

KD-GB uzanımlı Menderes Masifi (200 x 300 km) Batı Anadolu'da çok geniş bir alanda yüzlek veren Türkiye'nin en iyi çalışılmış kristalin alanlarından birisidir. Bu kristalin kompleks güneyde Likya napları, kuzey ve kuzey batıda ise İzmir - Ankara Zonu ve Kikladik Kompleks'in Türkiye'deki uzantısı tarafından tektonik olarak üzerlenmektedir. Kuzeyde Afyon Zonu'na ait düşük dereceli metamorfizmler tarafından sınırlanan Masif doğuda Neojen yaşlı tortul / volkanik birimlerle örtülmektedir. D-B uzanımlı genç graben sistemleri Menderes Masifi'ni Demirci - Gördes asması (kuzey asması), Ödemiş - Kiraz asması (orta asması) ve Çine asması (güney asması) olmak üzere üç asması bölmektedir (Şekil 1).

Uzun yıllar, Menderes Masifi'nin Prekambriyen yaşlı bir 'çekirdek' ve onu her yönden çevreleyen, Paleozoyik-Erken Tersiyer yaşlı 'örtü' serilerinden yapıları sade ve düzenli bir stratigrafiye sahip olduğu görüşü araştırmacılar arasında yaygın kabul görmüştür (Schuiling, 1962). Oysa son çalışmalar, Geç Alpin yaşlı sıkışma tektoniği ürünü

bindirme faylarının Masif'in bu ilksel stratigrafisini çok büyük oranda yeniden şekillendirdiğini net olarak ortaya koymuştur (Konak ve diğerleri, 1994; Partzsch ve diğerleri, 1998; Ring ve diğerleri, 1999; Gökten ve diğerleri, 2001). Günümüzde çekirdek ve örtü serileri arasındaki ilksel dokanak ilişkisi (Pan-Afrikan uyumsuzluğu; Şengör ve diğerleri, 1984; Konak ve diğerleri, 1987; Dora ve diğerleri, 2005; Candan ve diğerleri, 2006) çok ender bölgelerde gözlenebilmektedir. Çoğu yerde bu üniteler arasındaki dokanak ilişkisi bindirme faylarıyla tanımlanmaktadır. Bu tektonik ünitelerin iç stratigraflerinin belirlenmesi ve birbirleriyle deneştirilmesi sonucu günümüzde çekirdek ve örtü serilerinin stratigrafleri büyük oranda açıklığa kavuşturulmuştur (Konak ve diğerleri, 1987; Dora ve diğerleri, 2001, 2005). 'Pan-Afrikan temel' veya 'Prekambriyen temel' olarak da adlandırılan çekirdek ve örtü serilerinin Masif boyutundaki genel dağılımları Şekil 1'de gösterilmektedir.

Menderes Masifi'nin genel metamorfik yapısının 'Ana Menderes Metamorfizması' olarak adlandırılan, Alpin yaşlı son metamorfizma ile ka-



Şekil 1- Pan-Afrikan temel ve Paleozoyik-Erken Tersiyer örtü serilerinin Menderes Masifi'nin genelindeki dağılımları. Pan-Afrikan yaşlı granülit-eklojit fasiyesi metamorfizması ve Alpin yaşlı yüksek-basınç metamorfizması kalıntılarının gözlemlendiği lokasyonlar harita üzerinde gösterilmekte.

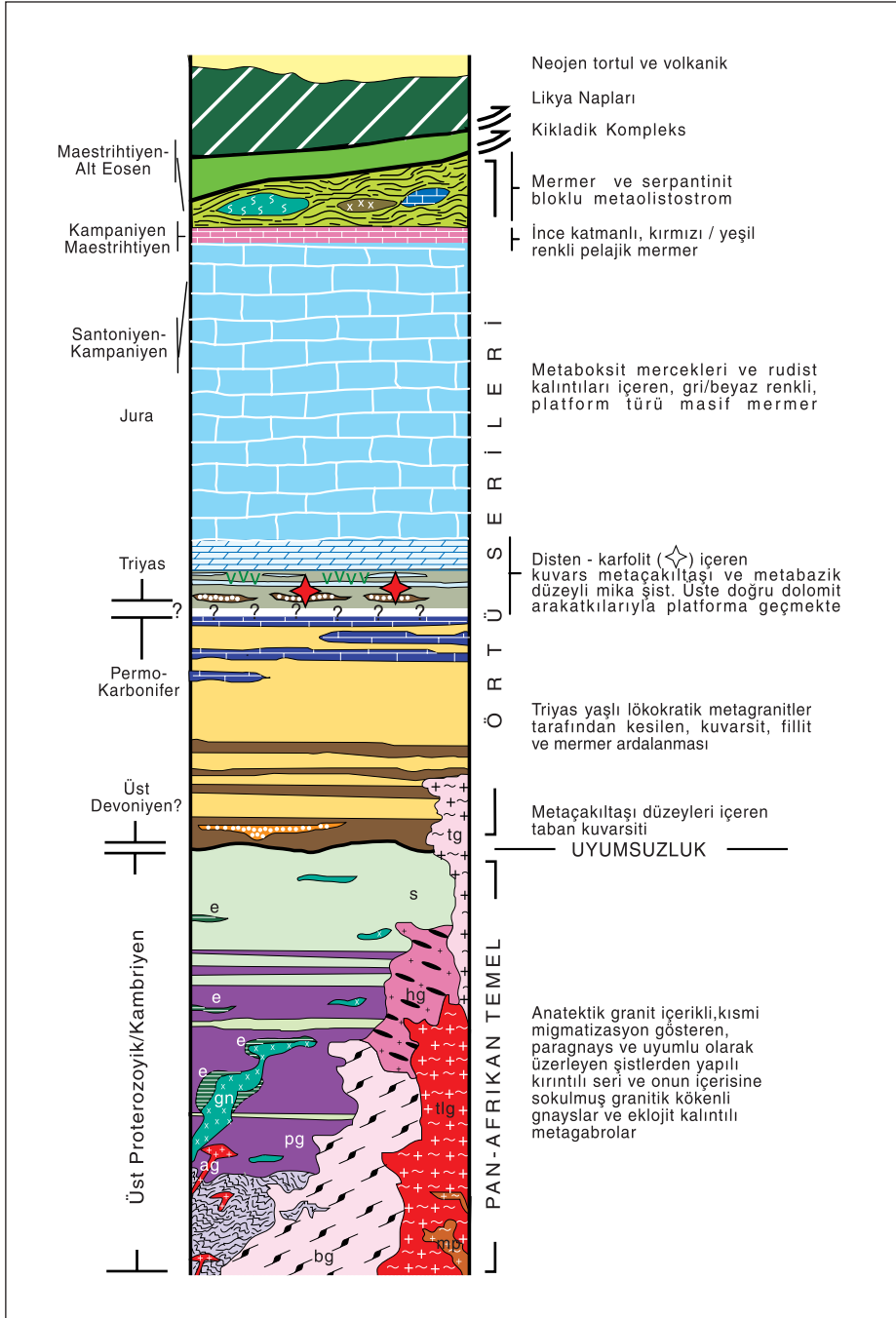
zanıldığı görüşü uzun yıllar araştırmacılar arasında genel anlamda kabul görmüştür (Şengör ve diğerleri, 1984). Oysa son yıllarda Menderes Masifi'nin öngörülenden çok daha kompleks bir metamorfik tarihçeye sahip olduğuna yönelik bir çok yeni veri elde edilmiştir. Petrolojik bulgular, Menderes Masifi'ndeki Prekambriyen temelin Pan-Afrikan Orojenezi ile ilişkili, granulit, eklojit ve amfibolit fasiyesi koşullarında, çok evreli metamorfizmadan etkilendiğini göstermektedir (Candan ve Dora, 1998; Candan ve diğerleri, 1994, 1995, 2001, 2007; Oberhänsli ve diğerleri, 1995 a,b, 1997). Örtü serilerinde ise yaygın Barrow türü orta-basınç metamorfizması topluluklarının yanı sıra yüksek-basınç / düşük-sıcaklık metamorfizması koşullarını tanımlayan yeni veriler elde edilmiştir (Rimmelé ve diğerleri, 2002, 2003). Bu makalede, Menderes Masifi'nin Pan-Afrikan temeli ve Palaeozoyik-Erken Tersiyer yaşlı örtü serilerinin polimetamorfik evrimleri güncel bulgular ışığında tekrar değerlendirilmektedir. Bu kapsamda hazırlanan makale başlıca; 1- Menderes Masifi'nin Pan-Afrikan temelinde gözlenen çok evreli metamorfizmaların petrografik / petrolojik özellikleri, yaşları ve Pan-Afrikan Orojenezi ile olan ilişkileri ve 2- Örtü serilerinin çoklu metamorfizması ve bunların Neotetis Okyanusu'nun evrimiyle olan zamansal / mekansal ilişkileri konularındaki verileri sunmayı ve tartışmayı hedeflemektedir.

MENDERES MASİFİ'NİN LİTOSTRATİGRAFİ

Son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalar, Alpin yaşlı sıkışma tektoniği sonucu Masif'in orijinal stratigrafisini büyük oranda kaybettiğini ortaya koymuştur (Konak ve diğerleri, 1994; Partzsch ve diğerleri, 1998; Ring ve diğerleri, 1999; Gökten ve diğerleri, 2001). Günümüzde, Pan-Afrikan temele ait birimler Paleozoyik-Erken Tersiyer yaşlı örtü serileriyle imbrikasyonlar sunan tektonik dilimler şeklinde gözlenmektedir. Tektonik dilimlerin kendi iç stratigrafileri ve birbirleri ile deneştirilmesi sonucu elde edilen Menderes Masifi'nin genelleştirilmiş kaya istifi şekil 2'de sunulmaktadır. Şekilde görüldüğü üzere Menderes Masifi'nin stratigrafisi; 1- Geç Neoproterozoyik

yaşlı Pan-Afrikan temel ve 2- Paleozoyik-Erken Tersiyer yaşlı örtü serilerinden oluşan iki ana üniteye ayrılmaktadır. Bu iki seri arasındaki ilksel dokanak, derin bir aşınmayı tanımlayan bölgesel ölçekli bir uyumsuzluktur (Pan-Afrikan uyumsuzluğu; Şengör ve diğerleri, 1984; Konak ve diğerleri, 1987; Candan ve diğerleri, 2006).

Pan-Afrikan temelin en yaşlı kaya birimleri düzenli ve kesiksiz bir seri oluşturan metakırıntılardan yapıldır. Söz konusu metakırıntılı seri Pan-Afrikan orojenezinin farklı evrelerinde sokulmuş, granitoid ve gabroik bileşimli kayalar tarafından kesilmektedir. Minimum 8 km kalınlığa sahip bu metakırıntılı seri kendi içerisinde, alttan üste doğru i) paragnays ve ii) şist olmak üzere iki birime ayrılmaktadır (Dora ve diğerleri, 2001). Metakırıntılı serinin alt birimini oluşturan paragnays birimi birbirine yanal ve düşey yönde geçişler sunan iki litolojiden oluşmaktadır. Baskın litoloji, litarenitik kumtaşlarından türeme, sillimanit ($\pm$ ortopiroksen) içeren paragnayslardır. Paragnayslarla yanal ve düşey yönde geçişler sunan sillimanit ve granatça zengin şistler diğer litolojiyi oluşturur. Birçok ara terim bulunmasına karşın çamurtaşı ve subarkozik kumtaşlarından türeme mika şist ve biyotit-albit şistler baskın şist türlerini oluşturmaktadır. Alt düzeylerinden bindirme faylarıyla kesik olması ve/veya yaygın granit sokulumları içeriyor olması nedeniyle paragnays biriminin gerçek kalınlığı bilinmemektedir. Fakat Kula yöresindeki bir dilimde gözlenen 4 km'lik görünür kalınlık paragnays biriminin masifteki minimum kalınlığı olarak kabul edilebilir. Paragnays birimi uyumlu ve geçişli bir dokanakla şist birimi tarafından üzerlenmektedir. Şist birimi baskın olarak, ilksel kayaları çamurtaşı ve subarkoza karşılık gelen mikaşist ve biyotit-albit şist arda lanmasından oluşmaktadır. Bu şistlerin olasılıkla üst kesimlerinde ender olarak, kalınlıkları 0.5 m yi geçmeyen siyah kuvarsit düzeyleri de gözlenebilmektedir. Öte yandan bu şistler Çine Asmasifi'nin güney kesiminde muskovit şist / biyotit-muskovit-kuvars şist arda lanmasından yapıllı bir istif tarafından uyumlu ve geçişli bir dokanakla üzerlenmektedir. Yaklaşık 2 km kalınlık sunan bu şistler Pan-Afrikan temele ait şist biriminin



Şekil 2- Menderes Masifi'nin genelleştirilmiş kaya istifi (gn: Gabro-norit, ag: Anatektik granit, tg: Triyas lökokratik ortognays, hg: Hornblend ortognays, bg: Biyotit ortognays, tlg: Turmalin lökokratik ortognays, pg: Paragnays, s: Şist, e: Eklojit: Dora ve diğerleri, 2001'den değiştirilerek).

olasılıkla en üst düzeylerini temsil etmektedir. Şist birimi içerisinde çok ender olarak, 80 x 200 metre boyutlarında dolomitik mermer mercikleri gözlenebilmektedir. Metakırıntılı serinin alt düzeylerini oluşturan paragnays birimi, masifin genelinde yaygın migmatitleşme göstermektedir. Bu migmatitlere çoğu yerde kısmi ergime ürünü anatektik granitler eşlik etmektedir.

Gerek şist gerekse paragnays birimi boyutları 1.5 km ye kadar ulaşan, stok ve damar karakterli çok sayıda bazik magmatik kayalar tarafından kesilmektedir. Prekambriyen / Kambriyen yaşlı bu kayalar biyotit-gabro, olivin-gabro, noritik-gabro ve norit bileşiminde olup çeper zonları boyunca eklojit ve amfibolitlere yaygın dönüşümler göstermektedir (Candan ve diğerleri, 2001). Granitik bir kökene sahip, birbiri içerisine sokulmuş plutonlardan yapıları ortognayslar Pan-Afrikan temele ait en yaygın kaya türlerinden birini oluşturmaktadır. Masif'teki ortognayslar, ilksel granitlerinin birincil dokusal ve mineralojik bileşimlerine dayalı olarak granoblastik dokulu biyotit ortognays, turmalin lökokratik ortognays, amfibol ortognays, metagranit porfir, albit ve kuvarşça zengin metaaplitik damar kayaları gibi birçok alt türe ayrılabilir (Bozkurt, 2004; Dora ve diğerleri, 2005). Prekambriyen / Kambriyen (570-520 My arasında değişen; ortalama 550 My; Loos ve Reischmann, 1999) yaşlı bir asidik magmatik aktiviteyi tanımlayan bu ortognays türleri Pan-Afrikan temel en yaşlı kayaları olan metakırıntılı seri ile belirgin intruzif dokanak ilişkileri sunmaktadır.

Pan-Afrikan temel örtü serisine ait Palaeozoyik birimler tarafından uyumsuz bir dokanakla üzerlenir. Geç Devoniyen(?) - Pemo - Karbonifer yaşlı (Çağlayan ve diğerleri, 1980; Konak ve diğerleri, 1987) Paleozoyik seri en alt düzeylerinde uyumsuzluğu tanımlayan, saf kuvars arenitten türeme muskovit-kuvars şistlerle başlamaktadır. Kalınlığı 1.5 km ye ulaşan bu kayaların tabana yakın kesimlerinde kanal dolgusu şeklinde metaçakıltaşları gözlenmektedir. Kesikli yüzlekler şeklinde yanal yönde 35 km izlenebilen bu çakıltaşlarının bileşenleri masifin Pan-Afrikan

temelinden türeme, çeşitli mineralojik bileşimlerde granit, aplit ve turmalinit çakıllarından yapıldır. Kuvarşit uyumlu ve geçişli bir dokanakla siyah renkli fillitler tarafından üzerlenmektedir. Granat, kloritoyid, stavrolit ve disten içeren bu kayalarda koyu gri - siyah renkli mermer düzeyleri mevcuttur. Fosil bulguları bu siyah serinin Permo-Karbonifer yaşlı olduğunu göstermektedir (Konak ve diğerleri, 1987). Palaeozoyik örtü serileri kuvarşo-feldispatik minerallerce zengin, ender olarak biyotit içeren lökokratik metagranitler tarafından kesilmektedir. Boyutları 5-6 km ye ulaşan stok ve sil karakterli bu kayaların kristalizasyon yaşları Pb/Pb zirkon yöntemi ile 241 - 236 My (Erken - Orta Triyas) olarak belirlenmiştir (Koralay ve diğerleri, 2001). Örtü serisinin Mesozoyik birimleri metaçakıltaşı kanal dolguları ve bazik katkılar içeren, yaklaşık 200 m kalınlığındaki bir mika şist düzeyi ile başlamaktadır. Olasılı Geç Triyas yaşlı bu topluluğun Paleozoyik örtü serileriyle olan birincil dokanak ilişkisi bölgesel bir uyumsuzluk olarak yorumlanmaktadır (Konak ve diğerleri, 1987; Erdoğan ve Güngör, 2004). Tümünü kuvarş çakıllarından yapıları metaçakıltaşları kalınlığı birkaç metreyi geçmeyen, alüminyumca zengin killerden türeme, disten-kloritoyid şist ara düzeyleri içermektedir. Çakıltaşlarındaki kuvarş damarlarında Alpin yaşlı yüksek basınç metamorfizması ürünü 'karfolit-disten' ardallığı gözlenmektedir (Rimmelé ve diğerleri, 2003). Metaçakıltaşı - şist aralanması uyumlu ve geçişli bir dokanakla platform türü kalın karbonatlar tarafından üzerlenmektedir. Geçiş zonu pembe-sarı dolomit- kuvarşit-kalkşist aralanması ile tanımlanmaktadır. Yaklaşık 50 m kalınlığındaki bu aralanma gri renkli, masif dolomitlerle üzerlenmektedir. Olasılı Geç Triyas - Erken Jura yaşlı bu dolomitik karbonatların 150 m üzerinde mermerler içerisinde mercikler şeklinde, onlarca km yanal devamlılık sunabilen metaboksit düzeyi gözlenmektedir. Kalınlığı 1500 metreye ulaşabilen masif mermerlerde (Milas Formasyonu) metaboksitler birkaç kez tekrarlanmaktadır. Bu metaboksitlerin ayrı düzeyler mi oldukları yoksa tektonik olarak mı tekrarlandıkları konusunda net veriler mevcut değildir. Metaboksit düzeyinin 50-400 m üzerinde korunmuş rudist

fosilleri masifte yaygın olarak gözlenmektedir. Santoniyen-Kampaniyen yaşlı bu düzeyler yanal yönde onlarca km izlenebilmektedir (Özer ve diğerleri, 2001). Rudist'li düzeyler üste doğru intrafomasyonal kireçtaşları ve çörtlü mermerlere geçmektedir. Çörtlü mermerler geçişli olarak kalınlığı 150 metreye ulaşabilen, geç Kampaniyen-geç Maestrihtiyen yaşlı, kırmızı renkli pelajik mermerler (Kızılağaç formasyonu) tarafından üzerlenmektedir. Kumtaşı - şeylden türeme bir matriks ve mermer bloklarından yapıları Kazıklı Formasyonu Menderes Masifi'nin en üst birimini oluşturur. Kırmızı mermerlerle olan dokanak ilişkisi tartışmalı olan bu birimden Orta Paleosen-Erken-Orta Eosen arasında değişen yaşlar elde edilmiştir (Konak ve diğerleri, 1987; Özer ve diğerleri, 2001).

PAN-AFRİKAN TEMELİN METAMORFİZMASI

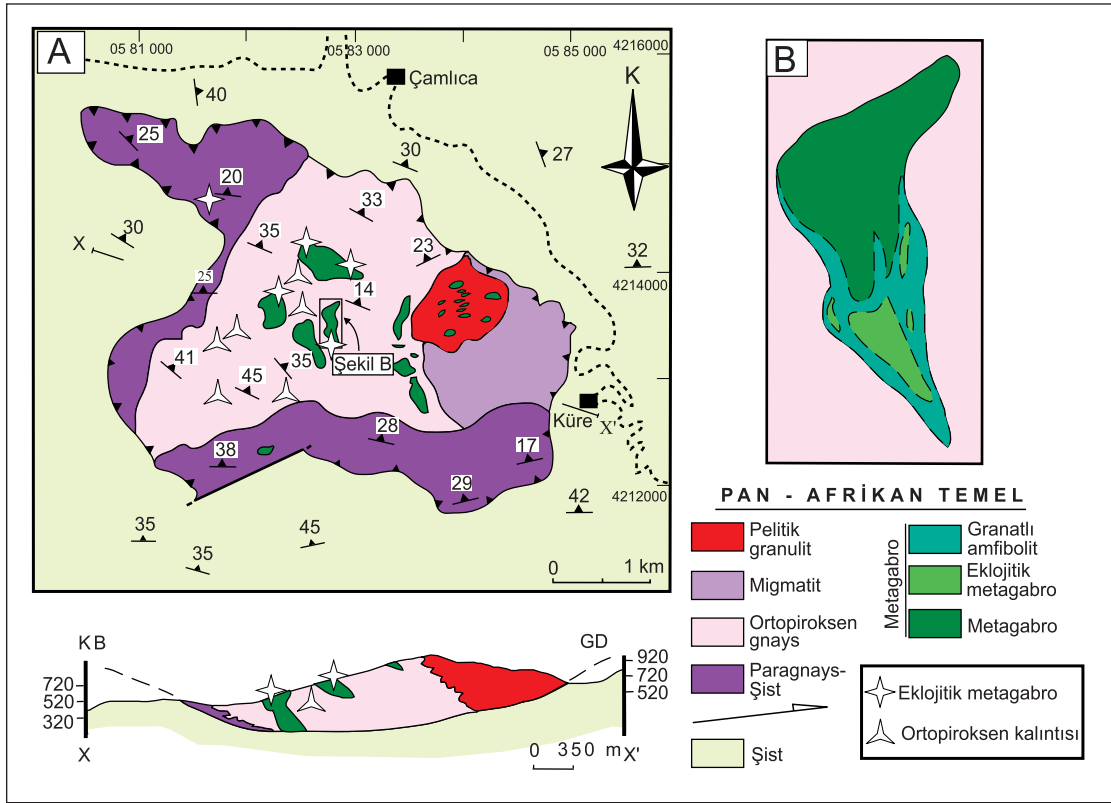
Güncel bulgular, Menderes Masifi'nin Pan-Afrikan temelini şekillendiren ana metamorfik etkinin Pan-Afrikan orojenezi ile ilişkili olduğunu, Alpin metamorfizmasının ise bu temel üzerinde sınırlı geri dönüşümlere yol açtığı düşüncesini desteklemektedir. Petrolojik / petrografik ve jeokronolojik veriler temelini çok evreli metamorfik evriminin sırasıyla granülit, eklojit ve üst amfibolit fasiyesi koşullarında gerçekleştiğini göstermektedir.

GRANULİT FASİYESİ METAMORFİZMASI

Petrografi ve Mineral Kimyası

Pan-Afrikan temeli etkileyen granülit fasiyesi koşullarındaki yüksek-sıcaklık metamorfizmasına ilişkin kalıntı mineral toplulukları ve kayalar masifte çok ender olarak gözlenmektedir (Şekil 1). Bu bulguların büyük çoğunluğu Ödemiş - Kiraz asmasifinden elde edilmiştir. Söz konusu metamorfizmayı tanımlayan veriler başlıca 4 grup altında toplanabilir. Bunlar; 1- Pelitik granülitler, 2- Ortopiroksenli gnayslar, 3- Ortopiroksen paragnayslar ve 4-Metagabro / metatonalitlerdir (Candan, 1995).

Pelitik granülitlerin en iyi gözlendiği bölge Tire güneydoğusu, Küre Köyü çevresidir (Şekil 3). Bölge, Pan-Afrikan temele ait iki tektonik ünite-den oluşmaktadır (Çetinkaplan, 1995; Candan ve Çetinkaplan, 2001). Alt dilim, homojen bileşime sahip biyotit ve granat mika şistlerden yapıldır. 6 X 4 km boyutlarında, klip konumundaki üst dilim ise Pan-Afrikan temelini polimetamorfik evrimine ilişkin tüm verileri içermektedir. Pelitik granülitler klip içerisinde 1 x 1 km boyutunda bir alanda yüzeylenmektedir. Granülitler masif yapıda, grimsi renkli kayalardır. Orta-iri kristalli granoblastik dokulu bu kayalar boyutları 0.5 cm ye ulaşan, siyah renkli ortopiroksen kristalleri içermektedir. Granülitler içerisinde kuvvetli budinlenme gösteren yaygın kalksilikat kayaları gözlenmektedir. Pan-Afrikan temele ait paragnays biriminin en karakteristik litolojilerinden biri olan bu kayaların varlığı paragnaysların bazı kesimlerinde pelitik granülitlere dönüştüklerini göstermektedir. Dokusal veriler bu kayaların kompleks bir metamorfik evrime sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Granülit fasiyesine ait mineral topluluğu 'kuvars + plajiyoklas + ortoklas + ortopiroksen + biyotit + granat + kordiyerit (?) + ilmenit + rutil' den oluşmaktadır. Bu kayalardaki kuvars ve feldspatlarda yüksek sıcaklık koşullarını tanımlayan, 120 derecelik tane sınır açıları ve düz tane sınırlarından oluşan granoblastik poligonal doku gözlenmektedir (Şekil 4a). An_{29-31} bileşimindeki plajiyoklazlar granülitlere özgü antipertitik yapılar içerir. K-feldspatlarda ise mezopertitik yapılar gözlenmektedir. Granülitik evreye ait granatlar özşekilsiz, bol kuvars inklüzyonlu porfiroblastlar şeklindedir. Yüksek sıcaklık koşullarında gerçekleşen hacimsel difüzyon nedeniyle granatlarda bileşimsel homojenleşme gelişmiştir. Bu evreye ait granatlar spessartin ve grossular uç üyesince belirgin şekilde fakir olup ana hatlarıyla almandin ve piropça zengindir. Bu granatların uç üye bileşimleri ' Gr_{0-1} - Alm_{68-72} - Prp_{21-24} - Sps_{2-3} - And_{1-2} olarak belirlenmiştir. Pelitik granülitlerin en karakteristik minerali ortopiroksendir. Granoblastik doku içerisinde eş boyutlu kristaller şeklinde gözlenen bu kristallerde FeO ortalama %29, MgO ise %16'dır. Hipersten bileşimindeki (Şekil 5a) bu mineraller granülit fasiyesindeki ortopiroksenlere özgü yük-



Şekil 3- Tire güneydoğusu, Küre Köyü çevresinin jeoloji haritası. Bölge, Pan-Afrikan temele ait granülit, eklojit ve amfibolit fasiyesi topluluklarının gözlemlendiği yüksek dereceli kayalardan oluşan bir klip ve onu altlayan düşük dereceli şistlerden yapıldır. Bölge şekil 1'de gösterilmekte (Çetinkaplan, 1995' den değiştirilerek).

sek Al_2O_3 değerine sahiptir. Minerallerdeki Al_2O_3 değeri % 3.4 - 3.8 arasında değişmektedir.

Pelitik granülitler üzerleyen metamorfizma ürünü yaygın geri dönüşüm verileri içermektedir. Bunların en karakteristikleri; 1- Mafik fazlar çevresinde gelişen granat koronaları, 2- Ortopiroksenin biyotit tarafından replasmanı, 3- Kordiyeritlerin yüksek sıcaklık topluluğu tarafından tüketilmesi ve 4- Biyotitlerin sillimanit tarafından replasmanıdır. Oluşan fazlar göz önüne alındığında üzerleyen metamorfizmanın üst amfibolit fasiyesi koşullarında gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Granat koronaları ortopiroksen, biyotit, rutil, ilmenit ve granatın feldispatlarla olan dokanaklarında, feldispat içerisine doğru gelişmiştir (Şekil 4b). Bu granatlar grossular bileşenince zengin

olup CaO değerinde plajiyoklasa doğru düzenli bir artış gözlenmektedir. Ayrıntıda granat koronalarında bileşimsel zonlanmanın yanı sıra dokusal zonlanmalar da gözlenmektedir. Genelde mafik fazlarla granat koronaları arasında kuvarstan yapıları dar bir ara zon mevcuttur. Ortopiroksen - biyotit dokanaklarında, üzerleyen metamorfizma dengesiizliği ifade eder şekilde kısmi reaksiyon zonları gelişmiştir. Bu zonlar boyunca granulitik evreye ait biyotit porfiroblastları, parmaklı şekilli 'biyotit - plajiyoklas' birlikte büyümeleri şeklinde yeniden kristalleşmektedir. Yan mineral olan ortopiroksenler ise ince taneli biyotitler tarafından tüketilmektedir (Şekil 4c). Pelitik granülitlerde paragnayslardakilere benzer şekilde önceki bir minerale ait yaygın pseudomorfik replasman dokuları gözlenmektedir. Bu mineral, genel

özelliklerine dayalı olarak kordiyerit olarak yorumlanmıştır (Dora ve diğerleri, 2001). Bu mineral yuvaları 'sillimanit/disten - granat - biyotit - kuvars' dan yapıları yüksek sıcaklık topluluğu tarafından doldurulmuştur (Şekil 4d). Kordiyeritlerin yanı sıra granulitik evre ürünü biyotit porfiroblastları da sillimanit tarafından yaygın şekilde tüketilmektedir. Oluşan yeni topluluk sillimanit ve ufak biyotit topluluğundan oluşmaktadır.

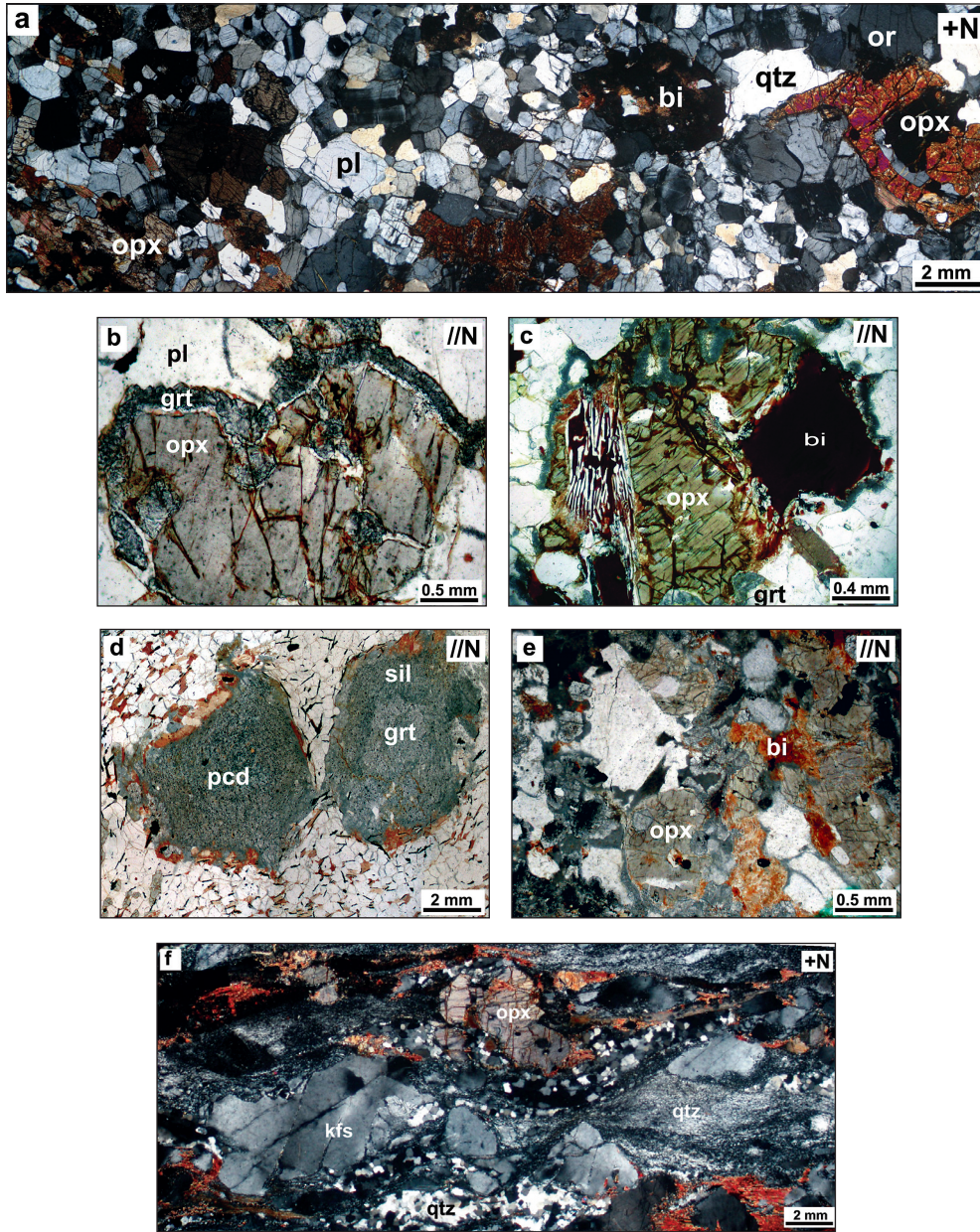
Ortopiroksen paragnaysların çok büyük çoğunluğu Ödemiş - Kiraz asmasifinde gözlenmiştir (Şekil 1). Alaşehir güneyindeki lokasyon hariç Masif'teki tüm ortopiroksen paragnayslar ortognayslar içerisinde, boyutları birkaç yüz metreye ulaşabilen ara katkılar şeklinde bulunmaktadır. Bu paragnayslar koyu gri renkli, ince taneli masif kayalardır. Alaşehir güneyindeki kayalar ise migmatitlerden yapıldır. Buradaki kayalar koyu kahverengi, ince taneli ve masif yapıdadır. Bunların dışında Masif'in genelinde paragnayslarda yaygın siyah beneklerin varlığı bilinmektedir. Üst amfibolit fasiyesi mineral topluluklarından yapıları bu beneklerin paragnaysları etkileyen granulit fasiyesi metamorfizması ürünü kordiyeritler olduğu düşünülmektedir (Dora ve diğerleri, 2001). Paragnaysların genel mineral topluluğu 'kuvars + plajiyoklas + ortoklas + ortopiroksen + biyotit + ilmenit/rutil' dir. Biyotitlerin sillimanit tarafından tüketilmesi, ortopiroksenlerin biyotit tarafından replasmanı, ilmenit / plajiyoklas dokanaklarında biyotit ve ortopiroksen çevresinde granat halkası gelişimi bu kayalardaki üst amfibolit koşullarındaki geri dönüşüme ilişkin başlıca dokusal verilerdir (Şekil 4e).

Ortopiroksen gnayslar Masif'te Tire ve Birgi yörelerinde gözlenmektedir (Şekil 1 ve 3). İri kristalli porfiritik granitlerden türeme bu kayaların Masif'in diğer yörelerinde çok yaygın olarak gözlenen, Pan-Afrikan orojenezinin son evresi ve sonrası sokulan granitik kökenli gnayslardan arazide ayrımı genelde mümkün olmamaktadır. Buna karşın sillimanitçe zengin yeşilimsi mineral yuvalarının ve kahverengi - siyah renkli, 2-3 mm boyutlarındaki ortopiroksen beneklerinin varlığı bu kayaların ayırtma özellikleridir. Birgi yöresinde

deki yüzlek Birgi - Cevizalanı Köyü arasında uzanmaktadır. Bu birim içerisinde değişik dokusal özellikler gözlenmektedir. Özellikle daha koyu renkli, iri kristalli ve eş boyutlu - granoblastik doku gösteren örnekler ortopiroksence zengindir. Tire yöresindeki ortopiroksen gnaysların ilksel granitleri genelde ortoklas porfiroblastları içeren porfiritik dokulu kayalardır. Sünümlü deforme zonlarda yaygın blastomilonitlere dönüşümler gözlenmektedir. Gnayslar içerisinde boyutları birkaç yüz metreye ulaşan ortopiroksenli paragnays kapanımları son derece yaygındır.

Ortopiroksen gnaysların granulit fasiyesi mineral topluluğu 'plajiyoklas + ortoklas + biyotit + ortopiroksen + granat + ilmenit/rutil' den yapıldır (Şekil 4f). Ortopiroksenler demirli hipersten (En₄₃₋₄₇) bileşimindedir (Şekil 5a). Pelitik granülitlere benzer granat korona oluşumları gnayslarda da yaygın olarak gözlenmektedir. Biyotit çevresindeki granat koronaları iki zona ayrılmaktadır. İç zon bol kuvars kapanımları ile tanımlanmaktadır. Kapanımsız dış zon plajiyoklas içerisine doğru uzanan öz şekilli granat kristallerinden oluşmaktadır. Özellikle milonitik gnayslarda, makaslama zonlarındaki ortopiroksenler tümüyle ince taneli biyotit topluluğu tarafından ornatılmaktadır. Bu retrograd dönüşümler, granulitik gnaysların post Pan-Afrikan gnayslardan ayrımını olanaksız kılmaktadır. Sillimanit kristallerinin geri dönüşüme neden olan makaslama zonlarını paralel uzanması bu minerallerin üst amfibolit fasiyesindeki evreye ait olduklarını göstermektedir.

Metagabro / metanoritler Pan-Afrikan temele ait diğer bir litolojidir. Bu kayalarda magmatik doku ve mineraloji son derece iyi korunmuş olup granulit fasiyesi metamorfizması verilerini makroskopik olarak gözlemek mümkün değildir. Plajiyoklas / olivin dokanaklarında gelişen çok halkalı korona yapıları granulit fasiyesi metamorfizmasının bu kayalar üzerindeki etkileri olarak yorumlanmıştır (Candan, 1995). Bu oluşumlarda olivin içerisine doğru gelişen iç halka ortopiroksenden yapıldır. Plajiyoklasa doğru ilerleyen dış halka ise spinel - hornblend simplektik büyümesinden oluşmaktadır. Bazı örneklerde en dışta kısmi granat halkası da gelişebilmektedir.



Şekil 4- Menderes Masifi'ndeki (Tire / Küre) granulitlerin mikroskobik görüntüleri. a: Ortopiroksen, granat, plajiyoklas ve kuvarstan yapı, granoblastik poligonaldoku gösteren pelitik granulitlerin genel görünüşleri, b: Ortopiroksen - plajiyoklas dokanaklarında gelişen granat halkaları, c: Ortopiroksen - biyotit dokanaklarında gelişen reaksiyon zonları. İri biyotit kristalleri 'biyotit - plajiyoklas' simplektik büyümelerine dönüşürken ortopiroksenler yeni, ufak biyotitler tarafından tüketilmekte, d: Granulit fasiyesine ait olası kordiyerit porfiroblastını ornatana sillimanit, granat, biyotit ve kuvarstan yapı topluluk (pcd=Pseudokordiyerit), e: İnce taneli, granoblastik dokulu ortopiroksen paragneysların görüntüsü. Piroksenler yaygın bir şekilde biyotit tarafından tüketilmekte, f: Ortopiroksen gneyslardaki milonitik doku (opx:Ortopiroksen, pl: Plajiyoklas, bi: Biyotit, or: Ortoklas, qtz: Kuvars, grt: Granat, sil: Sillimanit, kfs: K-feldispat).

Basınç - sıcaklık koşulları

Pan-Afrikan temeldeki çeşitli litolojiler benzer granulit fasiyesi toplulukları içermektedir. Bu topluluklara klasik jeotermobarometrik kalibrasyonlar uygulanmıştır. Lal (1993) tarafından önerilen granat/ortopiroksen arasındaki Fe-Mg değişimine dayalı jeotermometre pelitik granulitlerden 730 ± 20 °C lik ortalama sıcaklık değeri vermiştir (Candan ve diğerleri, 1998; Dora ve diğerleri, 2001). Aynı jeotermometrenin Çine yöresindeki ortopiroksen paragnayslara uygulanmasından ise 756 °C lik ortalama sıcaklık değeri elde edilmiştir. Aynı kayaçlardaki biyotit/granat çiftlerine 12 farklı kalibrasyon uygulanmıştır. Bu hesaplamalar, granat/ortopiroksen çiftlerinden elde edilen değerlerle uyum sunan, 714 °C lik ortalama sıcaklık değeri vermiştir. Granulit fasiyesi metamorfizmasının basınç koşullarının tahminlerinde Newton ve Perkins (1982) tarafından önerilen granat + plajiyoklas + ortopiroksen + kuvars topluluğuna dayalı kalibrasyon uygulanmıştır. Bu jeobarometre 6.1 kbarlık bir basınç değeri vermiştir.

Metamorfizma yaşı

Pan-Afrikan temeli etkileyen granulit fasiyesi metamorfizmasının göreceli yaşına ilişkin ilk yaklaşımlar Masif'in temel jeolojik özelliklerine dayandırılmıştır (Candan, 1995). 1- Bu metamorfizmaya ilişkin verilerin sadece Pan-Afrikan temele ait bazı birimlerde gözlenmesi, örtü serilerinde ise metamorfizma derecesinin hiçbir yerde bu düzeye ulaşmamış olması, 2- Granulit ve eklojitlere ilişkin toplulukların üst amfibolit fasiyesi koşullarında üzerleyen bir metamorfizmayla geri döndürülmüş olması ve bu olayın büyük olasılıkla Masif'in temel serilerinde gözlenen yaygın migmatizasyonla ilişkili olması ve 3- Pan-Afrikan orojenezini izleyen evrede sokulmuş, ortalama 550 My yaşlı ortognaysların bu olaya ilişkin verilerin bulunmaması, aksine granulit metamorfizmasını yaşamış kayaları ara katkı olarak içermeleri gibi verilere dayanarak granulit fasiyesi metamorfizması Masif'in sadece çekirdek serilerini etkileyen, olasılıkla Prekambriyen / Kambriyen

yaşlı bir olay olarak yorumlanmıştır (Candan, 1995; Candan ve Dora, 1998).

Bu yüksek sıcaklık metamorfizmasının yaşının radyometrik yöntemlerle belirlenmesine yönelik ilk çalışma, Birgi yöresinde gözlenen, granulit fasiyesine ait ortopiroksenli gnayslar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu kayadan ayıklanan monozitlerin U, Th, ve Pb konsantrasyonları EMS ile ölçülmüş ve metamorfizma yaşı olarak yorumlanan $660 \pm 61/-63$ My'lık bir yaş elde edilmiştir (Oelsner ve diğerleri, 1997; Warkus ve diğerleri, 1998). Hata payı yüksek olmasına karşın bu yaş bulgusu temel jeolojik verilere dayalı olarak önerilen Pan-Afrikan yaşı ile uyumlu olması açısından önemlidir. Son yıllarda bu metamorfizmanın yaşının belirlenmesi amacıyla Tire yöresindeki pelitik granulitlerden zirkon ayıklanmış ve bunlara iyon mikroprob (SHRIMP II) yöntemi uygulanmıştır (Koralay ve diğerleri, 2006). Bu granulitlerden ayıklanan zirkonların katodoluminesans fotoğrafları, granulit fasiyesine ait zonlanmasız zirkon büyümlerinin, anatektik eriyikten kristalleşmeye işaret eden düzlemsel zonlanmalı dış zonlarla çevrelendiğini göstermiştir. Zonlanmasız büyümlerin U-Pb iyon mikroprob (SHRIMP II) analizleri 583.0 ± 5.7 My da kümelenmiş ve bu Geç Neoproterozoyik yaş, Pan-Afrikan Orojenezi ile ilişkili granulit fasiyesi metamorfizması sırasında gerçekleşen yeni zirkon büyümleri olarak yorumlanmıştır (Koralay ve diğerleri, 2006).

EKLOJİT FASİYESİ METAMORFİZMASI

Petrografi ve mineral kimyası

Menderes Masifi'nin Pan-Afrikan temelini etkileyen yüksek-basınç metamorfizmasının temel özellikleri yaklaşık 15 yıldır sürdürülen çalışmalarla ortaya konmuştur (Candan, 1994, 1996 *ab*; Candan ve Dora, 1998; Candan ve diğerleri, 1994, 2001; Oberhänsli ve diğerleri, 1997, 1998). Arazi verileri ve petrografik / petrolojik bulgular, Masif'in Pan-Afrikan temeli içerisindeki yüksek-basınç metamorfizması kayalarının iki grup altında değerlendirilebileceğini göstermiştir. Bunlar;

1-Metagabrolarla yakın ilişki içerisinde bulunan, tamamlanmamış reaksiyonlar ve ilksel magmatik-ge ait kalıntı doku ve fazların gözlenebildiği eklojitik metagabro ve 2-Tümüyle yeniden kristalleşmiş, ilksel kayaca ait kalıntı doku ve mineral içermeyen eklojit tir.

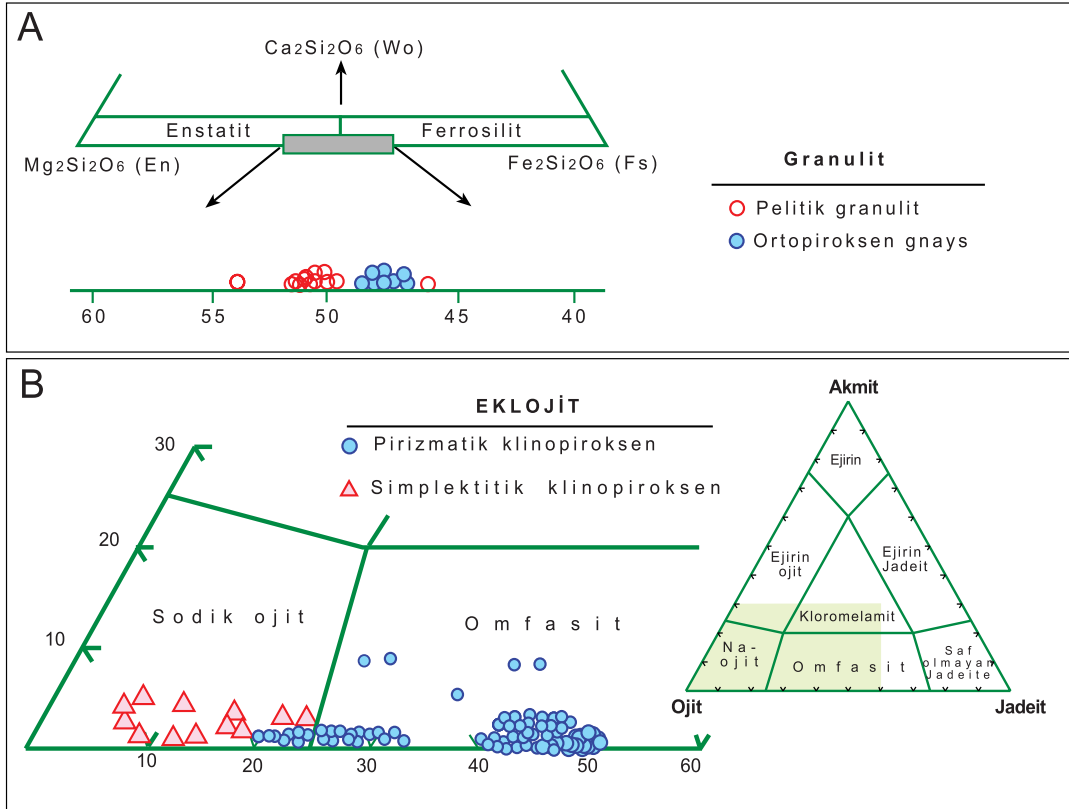
Eklojitik metagabroların varlığı, masifin orta ve kuzey asmasiflerinde 30 dan fazla lokasyonda belirlenmiştir (Şekil 1). Çine asmasifinden ise bugüne değin hiçbir veri elde edilememiştir. En tipik ve iyi korunmuş yüzlekler Tire güneydoğusu, Küre Köyü çevresinde (Şekil 3) ve Birgi Doğusu, Keşat yöresinde gözlenmektedir. Keşat yöresinde ortognays içerisine sokulmuş, yaklaşık 1.5 x 0.4 km boyutunda bir metagabro stoğu bulunmaktadır. Bu stok kalınlığı 20 metreyi geçmeyen bir granatlı amfibolit çeper zonu ile çevrelenmektedir. Amfibolitlerin içerisinde bir çok lokasyonda, boyutları 20-30 santimetreden 10-15 metreye kadar değişen, kısmen korunmuş şekilsiz kütleler şeklinde eklojitik metagabro kalıntıları bulunmaktadır. Bunlara ek olarak metagabroyu kesen iç makaslama zonlarında da kalıntı yüksek-basınç kayalarına sıkça rastlanmaktadır. Bu makaslama zonları arasında kalan düşük gerilimli ara alanlarda gabro - koronitik metagabro - eklojitik metagabro dönüşümü gerçekleşmektedir. Bu ara zonlarda ilksel magmatik fazlar, orijinal doku korunacak şekilde yüksek-basınç mineralleri tarafından statik olarak ornatılmaktadır (Şekil 6a). Granulitlerin Masif'te en iyi korunmuş yüzleklerinin de gözlemlendiği Tire / Küre yöresindeki tektonik dilim çok sayıda metagabro / metanorit stoğu içermektedir. Bu stokların birçoğu kısmen gelişmiş amfibolit zonları ile çevrelenmektedir. İlerleyen ve gerileyen metamorfizmalara ait gabro - eklojitik metagabro - granatlı amfibolit dönüşümlerinin bütün dokusal / mineralojik ara terimlerle gözlenebildiği bu bölgede eklojitik metagabro zonlarının genişliği 30 metreyi geçmektedir. En ileri derecede dönüşmüş eklojitik metagabro örneklerinde bile hala kalıntı magmatik fazlar gözlenebilmektedir. Eklojitik metagabro - granatlı amfibolit dönüşümleri özellikle kütlelerin en dış kesimlerinde daha etkin olan, geç evre makaslama zonlarını izlemektedir. Bu bölgelerin dışında

Alaşehir güneyi, Kestane Deresi mevkisinde ve Kula güneyi Yahyaalçı Köyü kuzeyinde gabroik stok ve damar kayalarının eklojitik metagabrolara dönüştüğü belirlenmiştir. Masif'in en kuzeyinde saptanan eklojitik metagabro yüzleği, Simav / Beyceköy güneyinde yer almaktadır. Şiddetli migmatizasyon gösteren distenli şistler içerisinde 20 x 5 metre boyutundaki bu kütlede ileri derecede granatlı amfibolite dönüşüm gözlenmektedir.

İnce kesit çalışmalarında gabro- eklojitik metagabro dönüşümünün, magmatik fazlar olan plajiyoklas ve ojitik klinopiroksenin granat ve omfasit tarafından aşamalı bir şekilde ornatımıyla gerçekleştiği net olarak gözlenmektedir. Bu dönüşüm koronitik bir aşamayla başlamakta ve fazların tümüyle ornatılmasıyla son bulmaktadır. İlk evre, ilksel gabroya ait mafik fazlar olan klinopiroksen, biyotit ve ilmenitin plajiyoklaslarla olan dokanağında granat halkalarının gelişimiyle tanımlanmaktadır (Şekil 6b). Öz şekilli granat top-luluğundan yapıli halkalar plajiyoklas içerisine doğru gelişmektedir. Bu granatlarda her zaman en yüksek CaO içeriği plajiyoklas kesiminde olacak şekilde kimyasal zonlanma gözlenmektedir. Grossular bileşeni dışa doğru % 20 den % 22 ye yükselirken pirop bileşeni % 28 den % 25 e düşmektedir. Plajiyoklaslar ayrıca yaygın klinozoisit ve çok ender olarak disten kristallerinden yapıli kapanımlar nedeniyle bulutsu bir görünüm kazanmaktadır. Omfasite dönüşüm iki farklı şekilde gerçekleşmektedir. Özellikle statik rekristalizasyonun gerçekleştiği, düşük gerilimli alanlarda magmatik klinopiroksen, ilksel kristal formunu koruyacak şekilde omfasitleşmektedir. Bu oluşumda, ilksel piroksen dıştan içeriye doğru jadeit bileşeni azalacak şekilde omfasite dönüşüm göstermektedir. Bu mekanizmayla oluşan Na-piroksenin jadeit bileşeni doğrudan kayada gerçekleşen reaksiyonların miktarı, yani gabrodaki plajiyoklasın tüketilme miktarıyla doğru orantılıdır. Orijinal kayadaki klinopiroksenler ortalama % 0.48 Na₂O içeren, % 1-3 mol Jd bileşeni-ne sahip ojitik bir bileşim sunmaktadır. Bu dönüşüm sonucu Na-ojit bileşimi kazanan klinopiroksenin jadeit bileşeni % 10 a ulaşabilmektedir (Şe-

kil 5b). İkinci tür omfasite dönüşüm ise ilksel klinopiroksenin omfasitten oluşan ufak mineral topluluğu tarafından replasmanı ile gerçekleşmektedir. Jadeit bileşenin % 23 değerine ulaşabildiği bu tür poligonal kristaller Na-ojit - omfasit arasında değişen bir bileşim aralığı sunmaktadır (Şekil 5b). Eklojitik metagabroya dönüşümün ileri evrelerinde plajiyoklaslar içerisinde bireysel granat çekirdeklemeleri gerçekleşmekte ve bu mineraller ilksel kristal formlarını koruyacak şekilde öz şekilsiz granatlardan yapıları bir topluluk tarafından ornatılmaktadır (Şekil 6c). Bu granatlar homojen bir kimyasal bileşime sahip olup ortalama bileşimleri $\text{Alm}_{60}\text{-Prp}_{14}\text{-Sps}_{1.5}\text{-Grs}_{24}\text{-And}_{0.5}$ 'dır. Dönüşümün en ileri evrelerinde bile eklojitik metagabrolarda kalıntı plajiyoklasları gözlemek mümkündür.

Eklojitler Pan-Afrikan temelde daha ender gözlenen yüksek-basınç kayalarındır. Orta - ince taneli, masif yapıdaki bu kayalar omfasitten yapıları yeşil bir zemin içerisinde homojen dağılım sunan kırmızı tek granat kristallerinden oluşmaktadır (Şekil 6d). Boyutları 5 - 400 metre arasında değişen merceğimsi şekilli bu kütleler temele ait paragnays ve şist birimleri içerisinde gözlenmektedir. Eklojitler Masifte iki lokasyonda belirlenmiştir. Alaşehir güneyi Kestane Deresi mevkiinde 12 ayrı kütlenin varlığı saptanmıştır. Boyları 20 metreyi geçmeyen bu kayalar merceğimsi kütleler şeklindedir. Kiraz güneyinde, Yenişehir Köyü kuzeyinde, mika şist birimi içerisinde gözlenen kütleler ise 80 x 5 m boyutlarında, düzlemsi yapıları kayalardır. 21 ayrı yüzlek içerisinde en büyük olanı 400 x 200 m boyutlarındadır (Şekil 7). İç



Şekil 5- A: Granulitlerde gözlenen ortopyroksenlerin bileşimi (Candan, 1995), B:Eklojitlerde gözlenen klinopiroksenlerin Essene ve Fyfe (1967) diagramındaki bileşimleri (Candan ve diğerleri, 2001).

kesimleri çok iyi korunmuş kütle çeper kesimleri boyunca gelişen makaslama zonları boyunca granatlı amfibolitlere dönüşmektedir (Şekil 6e). Bu dönüşümde omfasitler simplektik büyümeli ojit-plajiyoklas topluluğu tarafından tüketilmektedir (Şekil 6f). Bu dönüşümde granatlar ise plajiyoklas halkalar tarafından kemirilmektedir.

Homojen bileşime sahip bu kayalar 'omfasit + granat + rutil + kuvars + klinozoisit + amfibol' bileşimindedir (Şekil 6g). Çubuksu omfasit kristalleri % 42 - 50 arasında değişen jadeit bileşimine sahip olup omfasit bileşimindedir (Şekil 5b). Öz şekilli granat kristalleri önceki bir orta-basınç metamorfizması evresine ait, Ca-amfibolden yapıları bol kapanım içermektedir. Öz şekilli granatlar belirgin kimyasal zonlanma göstermektedir. Grossular bileşeni çepere doğru % 22'den % 25'e artarken pirop bileşeni % 22'den % 16'ya düşmektedir. Eklojitlerdeki amfiboller piroksenlerle dokusal olarak dengedir. Na₂O içerikleri % 4-5 arasında değişen bu amfiboller barroisit / magnesio-katoporit bileşimindedir.

Gerek eklojit gerekse eklojitik metagabrolarda benzer geri dönüşüm dokuları sergilemektedir. Omfasitler, simplektik büyüme sunan plajiyoklas (An₈₋₁₁) ve klinopiroksenden (Jd₁₄) yapıları topluluk tarafından tüketilmektedir. İleriki evrelerde bu simplektik büyümeler magnesio-hornblend bileşimli Ca-amfibollere dönüşmektedir. Bunlara paralel olarak granatlar basınç düşmesini tanımlayan, plajiyoklaslardan yapıları koronalar tarafından çevrelenmekte ve tüketilmektedir.

Basınç - sıcaklık koşulları

Granat/Klinopiroksen çifti arasındaki Fe⁺²-Mg değişimine dayalı jeotermometreye ilişkin bir çok kalibrasyon mevcut olup bunlar eklojitlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Krogh (1988) ve Ellis ve Green (1979)'a ait hesaplamalar masifteki eklojitlere uygulanmıştır. Varsayılan 15 kbar basınçta bunlardan ilkinden 596 °C, ikincisinden ise 644 °C ortalama sıcaklık değeri elde edilmiştir. Yüz mineral çiftinin sıcaklık aralığı incelendiğinde Ellis ve Green (1979) kalibrasyonunun 640

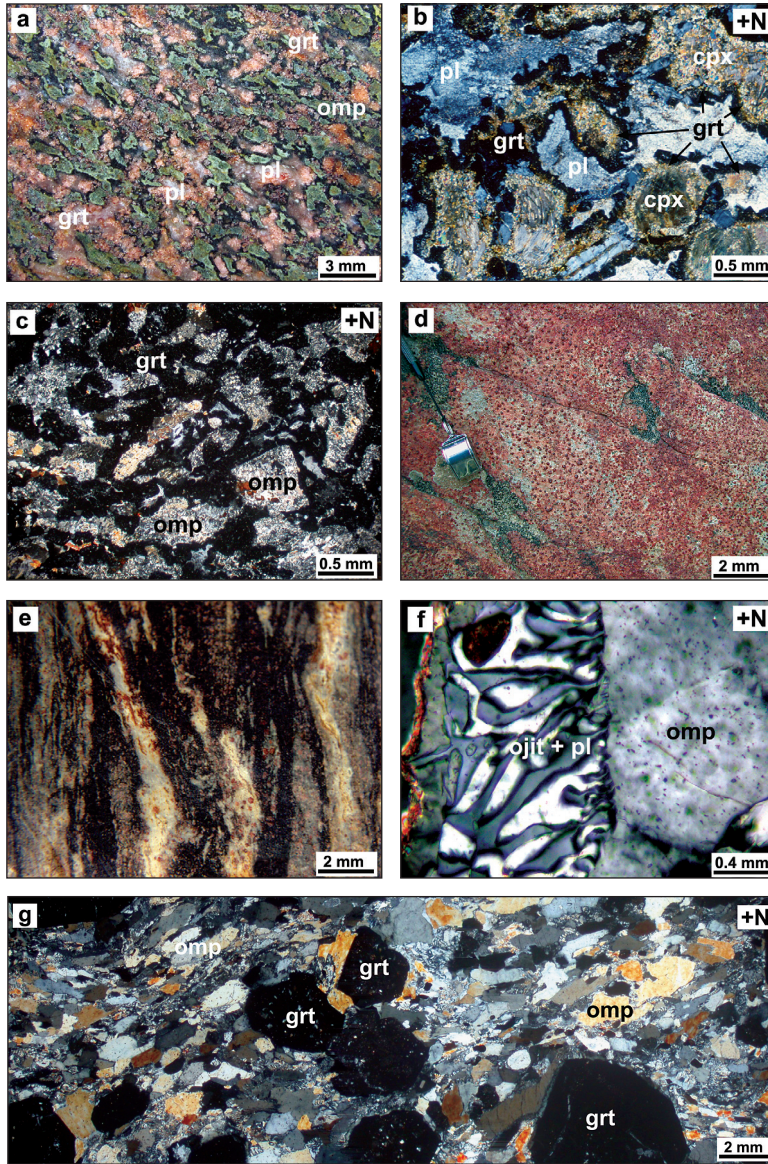
- 665 °C arasında yoğunlaşan uyumlu değerler verdiği görülmüştür. Bu hesaplama eklojitik metagabrolarda ise tamamlanmamış reaksiyonlar, kalıntı fazlar ve minerallerdeki belirgin kimyasal zonlanmalar nedeniyle çok saçılmış (± 151 °C) değerler vermektedir. Ellis ve Gren (1979) hesaplamasından varsayılan 12 kbar basınçta ortalama 633 °C sıcaklık değeri elde edilmiştir.

Holland (1980)'e ait albit = jadeit + kuvars reaksiyonu eklojitlerde basınç tahmini için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Fakat eklojitlerde albitin dengede olmaması nedeniyle bu kalibrasyondan elde edilen basınç değerleri minimum değer olarak kabul edilmektedir. Taze eklojitlerdeki omfasitlerden (Jd₄₀₋₅₂) öngörülen 630 °C sıcaklık için 15 kbar basınç değeri elde edilmiştir. Aynı kalibrasyon eklojitik metagabrolarda ise 12 kbar basınç değeri elde edilmiştir.

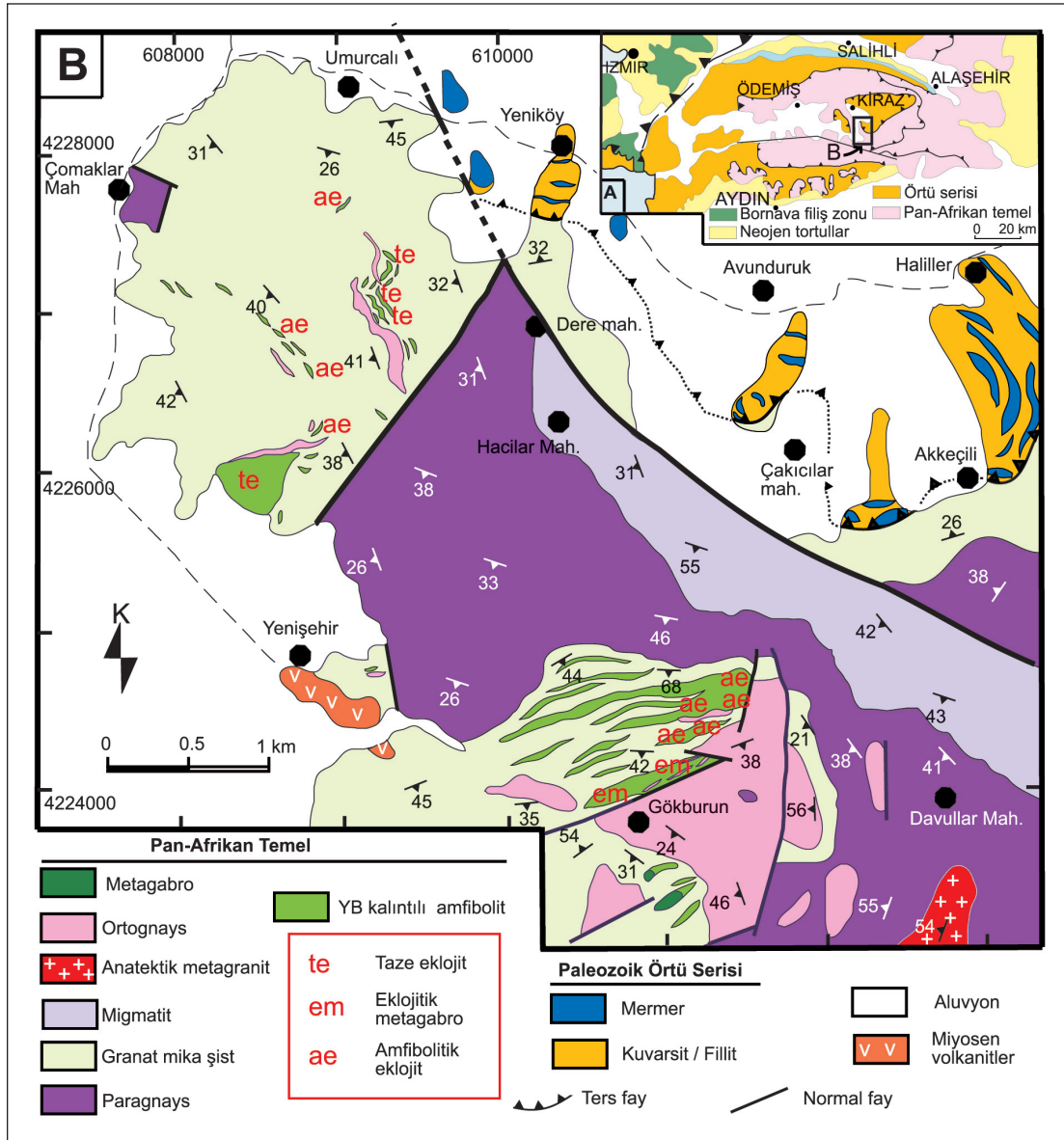
Metamorfizma yaşı

Menderes Masifi'nin Pan-Afrikan temelindeki eklojitlerin varlığının saptanmasından sonra (Candan ve diğerleri, 1994) bu yüksek-basınç metamorfizmasının olası yaşına yönelik öneriler uzun yıllar genelde masifin temel jeolojik özelliklerine dayandırılmıştır (Oberhänsli ve diğerleri, 1997; Candan ve Dora, 1998; Candan ve diğerleri, 2001). Eklojitlerin gabro stokları ile yakın ilişki içerisinde bulunması, bu gabroların sadece Pan-Afrikan temel içerisinde gözlenmesi, örtü serilerinde eklojitlerin bulunmaması, temel içerisindeki amfibolitlerde basınç düşmesine ilişkin yaygın dokusal veriler bulunmasına karşın örtü serilerinin bu verilerden steril olmaları gibi verilere dayanarak yüksek-basınç metamorfizmasının Prekambriyen/Kambriyen yaşlı olduğu ve Pan-Afrikan orojenezi ile ilişkilendirilebileceği önerilmiştir (Oberhänsli ve diğerleri, 1997; Candan ve diğerleri, 2001).

Eklojitlerin klasik zirkon yöntemiyle yaşlandırılmasına ilişkin birçok kez girişimde bulunulmuş fakat analiz edilen zirkonlardan bir yaş verisi elde edilememiştir (Warkus, 2001). Oberhänsli ve diğerleri (2010), masifteki eklojit ve eklojitik metagabrolardan ayıklanan zirkonlara TIMS yöntemi-



Şekil 6- a: Düşük gerilmeli alanlarında statik olarak yeniden kristalleşmeye uğramış eklojitik metagabrolarda ilksel gabroyik kayaca ait kalıntı doku. Kayada ilksel gabroya ait plajiyoklaslar kalıntı olarak gözlenebilmek- te, b: Gabro - eklojitik metagabro dönüşümünün başlangıç evresini tanımlayan, ilksel klinopiroksenle plajiyoklas arasında granat korona gelişimi, c: Eklojitik metagabrolardaki kalıntı ilksel ofitik doku. Plajiyoklas ve klinopiroksenler granat ve omfasit topluluğu tarafından pseudomorfik olarak ornatılmaktadır. Granat toplulukları arasında ilksel kalıntı plajiyoklaslar halen görülebilmekte, d: İnce taneli omfasitten yapıllı zemin ve bunlar içerisinde öz şekilli granatlardan oluşan taze eklojit. Tümüyle rekristalize olmuş bu kayalarda ilksel kayaya ait dokusal/mineralojik veriler tamamiyle silinmiştir, e: Geri dönüşüm evresine ait makaslama zonları boyunca gelişen eklojit - granatlı amfibolit dönüşümleri. Koyu zonlar granatlı amfibolit, açık zonlar ise kısmen korunmuş eklojit düzeylerini tanımlamakta, f: Omfasitin simplektik büyümeli ojit-plajiyoklas topluluğu tarafından tüketilmesi, g: Pirizmatik omfasit ve öz şekilli granatlardan yapıllı taze eklojitlerin mikroskobik görüntüleri (omp:Omfasit, grt:Granat, pl:Plajiyoklas, cpx:Klinopiroksen, Görüntülerden a-c Tire / Küre, d-g ise Kiraz güneyine aittir).



Şekil 7- Kiraz çevresinin jeoloji haritası. Pan-Afrikan temele ait paragnays ve onu uyumlu olarak üzerleyen şist birimlerlerinden yapıli metakırıntılı seri damar ve mercek şeklinde, iyi korunmuş eklojitler içermekte. Bölge şekil 1'de gösterilmekte. (Candan ve diğerleri, 2001).

ni uygulamıştır. Özellikle eklojitlerdeki zirkonlardan çok küçük olmaları ve düşük uranyum içerikleri nedeniyle bir sonuç elde edilememiştir. Fakat Birgi yöresindeki bir eklojitik metagabro örneğindeki zirkonlardan 529.9 ± 22 My $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ yaşı

elde edilmiştir. Menderes Masifi'nin temel jeolojik özellikleri ile uyum sağlayan bu yaş araştırmacılar tarafından Masif'in Pan-Afrikan temelini etkileyen yüksek-basınç metamorfizmasının yaşı olarak yorumlanmıştır.

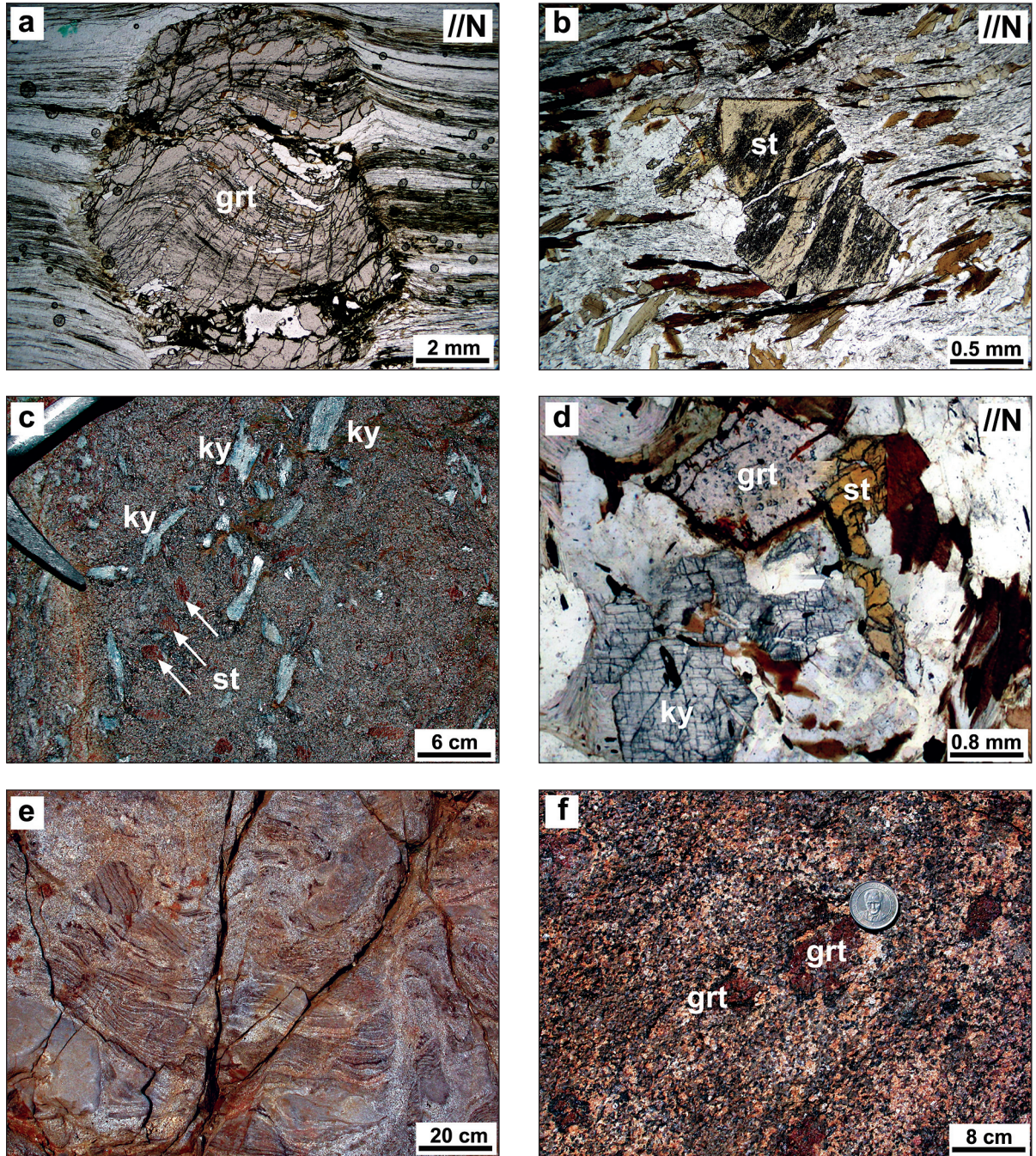
AMFİBOLİT FASİYESİ METAMORFİZMASI

Petrografi ve mineral kimyası

Granulit ve eklojit kalıntıları bir yana bırakılırsa Menderes Masifi'nin Pan-Afrikan temeli bas-kın olarak Barrow türü orta-basınç metamorfizması topluluklarının varlığıyla tanımlanmaktadır. Metamorfizma koşullarında yeşilşist fasiyesinin başlangıcından migmatizasyon - anatektik granit gelişimine kadar uzanan geniş bir aralık gözlenmektedir. Ödemiş - Kiraz asmasifinin Aydın Dağları ve Bozdağlar kesimlerinde temele ait şistler geniş alanlarda yüzeylenmektedir. Pan-Afrikan temelin en düşük dereceli metamorfizmalarının gözlemlendiği Aydın Dağları'ndaki metakirizitler granatın ortaya çıkış izogradıyla birbirinden ayrılan biyotit şist ve granat mika şistlerden yapıldır. Granatlar birkaç milimetreyi geçmeyen öz şekilli kristaller şeklindedir. 'Kuars + plajiyoklas + biyotit + muskovit + granat' bileşiminde olan bu kayalardaki granatlarda yaygın sin-tektomatik büyümeler gözlenmektedir (Şekil 8a). Bozdağlar'da 6 km kalınlığa ulaşan aynı şist biriminde ise stavrolit ve disten izogradı bölgesel ölçekte izlenebilmektedir (İzdar, 1971). Bu minerallerin ortaya çıkış izogradı Demirci- Gördes asmasifinde, Demirci güneyinde de gözlenmektedir (Candan, 1993). Demirci yöresindeki şistlerde stavrolit porfiroblastları 5-6 cm boyuta ulaşabilmektedir. Bozdağlar'daki stavrolitlerin inklüzyon dizilimleri sin-tektomatik büyümeyi göstermektedir (Şekil 8b). Biyotitçe zengin bu şistlerin genel mineral bileşimleri 'kuvars + albit + biyotit + muskovit + granat + stavrolit + rutil' den yapıldır. İlerleyen metamorfizma sonucu bu topluluğa disten eklenmektedir. Demirci yöresindeki disten - stavrolit şistlerde disten kristalleri 7-8 cm ye ulaşmaktadır (Şekil 8c,d). Bu kayalarda stavrolit dereceli olarak ortadan kalkmakta ve 'kuvars + plajiyoklas + biyotit + muskovit + disten + granat + rutil' bileşimindeki disten şistlere geçilmektedir. Geçiş zonlarında stavrolit + disten + sillimanit biraradalığı gözlenebilmektedir. Özellikle metakirizitli serinin alt düzeylerini oluşturan paragnayslar ve onlarla ardalanan şistlerde sillimanit yaygınlaşmaktadır. Paragnayslarda gözlenen granu-

lit fasiyesi metamorfizmasına ait kordiyerit ve biyotitler sillimanit içeren topluluklar tarafından ornatılmaktadır. Bu dokusal veri, kayalardaki sillimanit gelişiminin çoklu metamorfizmanın son evresindeki orta - basınç metamorfizması ile ilişkili olduğunu göstermektedir.

Sillimanitçe zengin paragnayslara yaygın migmatizasyon ve anatektik granit gelişimi eşlik etmektedir (Şekil 8e). Menderes Masifi'ndeki en iyi migmatit yüzlekleri Kula güneyi, Selce Köy çevresinde gözlenmektedir. 15 X 5 km boyutlarındaki bu migmatitik odak ilksel stratigrafiye ve rev bir cephe olarak gelişmiştir. Migmatite geçiş yaklaşık 200 metrelik bir zon içerisinde lökokratik kesimlerin dereceli artışıyla gerçekleşmektedir. Ptigmatik, schollen ve schlieren yapılar bölgede en yaygın gözlenen migmatitik yapı türleridir. Bölgede migmatitler ayrıca ortognays kütleleri içerisinde boyları 4-5 km ye ulaşan kapanımlar şeklinde de gözlenmektedir. Ödemiş-Kiraz asmasifinde migmatizasyon oluşumu, eklojit ve granulit kalıntılarının da gözlemlendiği sadece bir tektonik dilim içerisinde gözlenmektedir. Bu dilimde birbirinden kopuk, boyutları 7-8 km yi geçmeyen çok sayıda migmatitik odak bulunmaktadır. Çine asmasifindeki migmatitik paragnaysların tamamı ise devasa boyutlu ortognayslar içerisinde yüzen kapanımlar şeklindedir. Kapanımların boyutları 10 cm den 6 km ye kadar değişmektedir. Migmatitleşmenin ileri evresinde dereceli olarak anatektik granitlere geçilmektedir. Granitik kütlelerin boyutları 4 x 5 km ye ulaşabilmektedir. Masifteki anatektik granitler kristalizasyon yerlerine göre iki grup altında toplanabilir. Bunlardan migmatitler içerisinde, olduğu yerde (in-situ) kristalleşen granitler yaygın türü oluşturur. 4-5 cm boyutundaki, çok taneli kristallerden oluşan granat porfiroblastlarının yaygın olarak gözlemlendiği bu granitler çevre kayayı oluşturan migmatitlerle geçişli dokanıklara sahiptir (Şekil 8f). Orta - ince taneli, masif yapılı bu kayalar 'Kuars + plajiyoklas + ortoklas + biyotit + muskovit + granat (±sillimanit)' bileşimindedir. Migmatitleşme gözlenmeyen üst düzeylere kadar yükselerek kristalleşmiş granitler ikinci grubu oluşturur. Bu granitler çevre kayalarla belirgin intruzif dokanak iliş-



Şekil 8- a-b: Bozdağlar'daki şistlerde gözlenen ve kuvars + opak mineral kapanım desenleriyle tanımlanan sin-tektonik granat ve stavrolit kristalleri, c: Demirci yöresindeki Pan-Afrikan temele ait şistlerde gözlenen, 4-5 cm boyuta ulaşan stavrolit ve disten kristalleri, d: Disten + Stavrolit + granat topluluğundan yapıly yüksek dereceli şistlerin mikroskobik görüntüsü, e: Alaşehir kuzeyi / Selce Köyü'nde yüzeyleyen paragneyslarda gözlenen yaygın migmatizasyon, f: Kiraz / Solaklar Köyü'ndeki anatektik granitlerde gözlenen, boyları 4 cm ye ulaşan granat kristalleri (grt:Granat, st:Stavrolit, ky:Disten).

kisi sunarlar. Bu granitlere ait en tipik yüzlekler Ödemiş-Kiraz asmasifinde, Kiraz güneyinde gözlenmektedir. Bu bölgede paragnayslar içerisinde, ortalama 2 X 3 km boyutlarında birbirinden bağımsız 6 granit yüzleği belirlenmiştir. Genelde masif yapıları kayalar olan anatektik granitler Alpin yaşlı sünümlü makaslama bantları boyunca kuvvetli lineasyon ve foliasyon gösteren milonitlere dönüşmüştür.

Basınç - sıcaklık koşulları

Menderes Masifi'nin Pan-Afrikan temeli bas-kın olarak Barrow türü orta basınç metamorfizması topluluklarıyla tanımlanmaktadır. Ana yapısını Pan-Afrikan metamorfizması ile kazanan bu temel Alpin orojenezi sırasında gelişen metamorfizma tarafından üzerlenmiştir. Özellikle homojen bileşime sahip, düşük dereceli şistlerde çoğu kez bu iki metamorfizmanın etkilerinin birbirinden net ayrımı mümkün olamamaktadır. Klasik anahtar mineraller, temeli etkileyen Pan-Afrikan yaşlı orta - basınç metamorfizması koşullarının düşük yeşilşist fasiyesinden kısmi ergimenin gerçekleştiği üst amfibolit fasiyesine kadar değiştiğini göstermektedir. Okay (2001), Aydın Dağları'ndaki granat şist ve granatlı amfibolitlerden granat / biyotit (Ferry ve Spear, 1978) ve granat / hornblend (Graham ve Powell, 1984) çiftlerinden sıcaklık, granat + biyotit + muskovit + plajiyoklas topluluğundan (Ghent ve Stout, 1984) ise basınç hesaplamaları gerçekleştirmiştir. Bu klasik hesaplamalarda temele ait en düşük dereceli kayaların koşulları 530 ± 40 °C sıcaklık ve 8 ± 2 kbar basınç olarak belirlenmiştir. Bucher ve Frey (1994)'e göre pelitik kayalar içerisinde stavrolitin ilk ortaya çıkışı amfibolit fasiyesinin başlangıcını tanımlamakta ve 500 °C nin üzerindeki bir sıcaklık değerini ifade etmektedir. Hoschek (1967) ise stavrolitin ortaya çıkışı için 4 kbar basınçta 540 °C, 7 kbar basınçta ise 565 °C sıcaklık önermektedir. Masifte muskovit içermeyen şistlerde, kuvarsın varlığında sillimanitin ortaya çıkışı ise üst amfibolit fasiyesi koşullarına (600 - 650 °C) ulaşıldığını göstermektedir. Dora ve diğerleri (2001), son evre koşullarını hesaplamada granulit fasiyesi metamorfizmasına ait kordiyeritleri

ornatan 'biyotit + granat + sillimanit' topluluğundan yararlanmıştır. Buradaki granat / biyotit çiftleri ince kristalli olmaları ve soğuma sırasında retrograd Fe-Mg dengelenmesinden etkilenmiş olmalarından dolayı beklenenden daha düşük sıcaklık değerleri (ortalama 588 °C) vermiştir. Söz konusu son evre orta - basınç metamorfizmasının temeldeki yüksek-basınç metamorfizması topluluklarında yaygın geri dönüşümlere neden olduğu bilinmektedir (Candan ve diğerleri, 2001). Eklojitlerin çeper zonlarındaki granatlı amfibolitlerdeki granat / biyotit çiftlerinden Ferry ve Spear (1978), Perchuk ve Lavrent'eva (1983) ve Bhattacharya ve diğerleri (1992) kalibrasyonlarına dayalı ortalama 623 °C sıcaklık değeri elde edilmiştir. Aynı kayalardaki granat / hornblend çiftleri de Graham ve Powell (1984) kalibrasyonuna dayalı benzer sıcaklık değerleri (ortalama 611 °C) vermiştir. Granatlı amfibolitlerdeki basınç tahmininde Kohn ve Spear (1989) tarafından önerilen granat + hornblend + plajiyoklas + kuvars topluluğu kullanılmıştır. Bu jeobarometre 7.3 kbar ortalama basınç değeri vermiştir (Candan ve diğerleri, 2001). Bunlara ek olarak, yukarıda tanımlandığı üzere temeldeki paragnayslarda yaygın kısmi ergime ve anatektik granit gelişimi gerçekleşmiştir. Bu oluşum, Pan-Afrikan temeli etkileyen son metamorfik evrenin ulaştığı maksimum sıcaklık koşullarını tanımlamaktadır. Kuvars ve feldispat içeren kayalarda, suya-doygun ortamlarda su basıncı fonksiyonunda kısmi ergimenin sıcaklık değerleri 650-700 °C olarak kabul edilmektedir (Bucher ve Frey, 1994). Klasik anahtar mineraller ve yukarıda verilen az sayıda jeotermobarometrik hesaplamalar değerlendirildiğinde, masifin Pan-Afrikan temelini etkileyen ve önceki metamorfizmalara ait topluluklarda yaygın geri dönüşümlere neden olan son evreye ait Barrow türü orta - basınç metamorfizmasının koşulları 530 - 650 °C sıcaklık ve 7-8 kbar basınç olarak verilebilir.

Metamorfizma yaşı

Dokusal veriler, Menderes Masifi'nin Pan-Afrikan temelinde gözlenen granulit ve eklojit fasiyesi topluluklarının üst amfibolit fasiyesi koşul-

larında geri dönüşüme uğradıklarını göstermektedir. Alpin yaşlı metamorfizmanın temeldeki mikaların izotopik oranlarını çok büyük oranda yenilemiş olması nedeniyle Pan-Afrikan orojenezinin son evresiyle ilişkili bu yüksek sıcaklık üzerlemesinin mika yaşlarıyla belirlenmesi mümkün gözükmemektedir. Alpin yaşlı metamorfizmanın Pan-Afrikan temeli de etkilemiş olması göz önüne alındığında özellikle tekdüze bir bileşime sahip şist serilerinde Pan-Afrikan ve onu üzerleyen Alpin etkilerin birbirinden ayrımı son derece güçleşmektedir. Bu nedenle söz konusu metamorfizmanın yaşının dolaylı yollarla belirlenmesi daha gerçekçi sonuçlar verebilir. Bunlardan en uygunu temeldeki migmatitler ve onunla ilişkili anatektik granit gelişimidir. Arazi verileri, Masif'te migmatizasyon ve granit gelişiminin Pan-Afrikan temelle sınırlı kaldığını göstermektedir. Öte yandan söz konusu migmatitlerin ortalama 550 My yaşlı, düşük dereceli ortognayslar içerisinde yüzen kaparımlar şeklinde bulunduğu bilinmektedir. Bu durum, migmatizasyonun ortognaysların ilksel granitlerinin sokulumundan önce gerçekleştiğini ve bu yüksek-sıcaklık olayının granülit ve eklojitlerde geri dönüşüme neden olan olay ile ilişkilendirilebileceğini göstermektedir. Bu düşüncenin geçerli olması durumunda, migmatizasyonun yaşlandırılmasının Pan-Afrikan temeli etkileyen son evrenin yaşının belirlenmesinde kritik bir rol üstlenebileceği anlaşılmaktadır.

Jeolojik ve petrolojik veriler masifte migmatizasyon ve anatektik granit gelişimi arasında kökensel bir ilişkinin varlığını desteklemektedir. Ödemiş - Kiraz asmasifinde, Birgi doğusunda gözlenen bu tür bir granit Hetzel ve diğerleri (1998) tarafından yaşlandırılmıştır. Bu granitten seçilen ve eriyikten itibaren kristalleştiği düşünülen zirkonlar klasik U/Pb yöntemiyle 551 ± 1.4 My yaş vermiştir. Öte yandan Menderes Masifi'nin orta ve kuzey kesiminde gözlenen migmatitlerin neozonlarından ayıklanan zirkonlardan yaş tayinleri gerçekleştirilmiştir (Dannat ve Reischmann, 1998). Bu zirkonlar 540 My da yoğunlaşacak şekilde 552 - 502 My arasında değişen yaşlar vermiştir. Araştırmacılar, elde edilen bu yaşı Masif'te kısmi ergime ve migmatizasyonla ilişkili gra-

nitin kristalleşme yaşı olarak yorumlamıştır. Arazi ilişkileri, dokusal / petrolojik ve jeokronolojik veriler birlikte değerlendirildiğinde, Pan-Afrikan temelin polimetamorfik evrimi içerisinde son evreyi temsil eden Barrow türü orta - basınç metamorfizmasının yaşının en geç Neoproterozoyik (yaklaşık 550-540 My) olması gerektiği anlaşılmaktadır.

ÖRTÜ SERİSİNİN METAMORFİZMASI

Masifin örtü serileri stratigrafik olarak kendi içerisinde; 1- Paleozoyik (Üst Devoniyen(?) - Permo-karbonifer) ve 2- Mesozoyik - Erken Tersiyer (Üst Triyas - Eosen) birimleri olmak üzere iki alt topluluğa ayrılmaktadır. Bu birimlerin metamorfizmalarına bakıldığında, Paleozoyik serileri içerisinde sadece Barrow türü orta - basınç metamorfizmasına ait toplulukların bulunduğu görülmektedir. Oysa Mesozoyik - Erken Tersiyer serileri, baskın olarak orta-basınç metamorfizmalarına ilişkin topluluklardan yapıları olmalarına karşın önceki bir düşük - sıcaklık / yüksek - basınç metamorfizmasına ilişkin kalıntı toplulukları da içermektedir.

YÜKSEK BASINÇ METAMORFİZMASI

Petrografi ve mineral kimyası

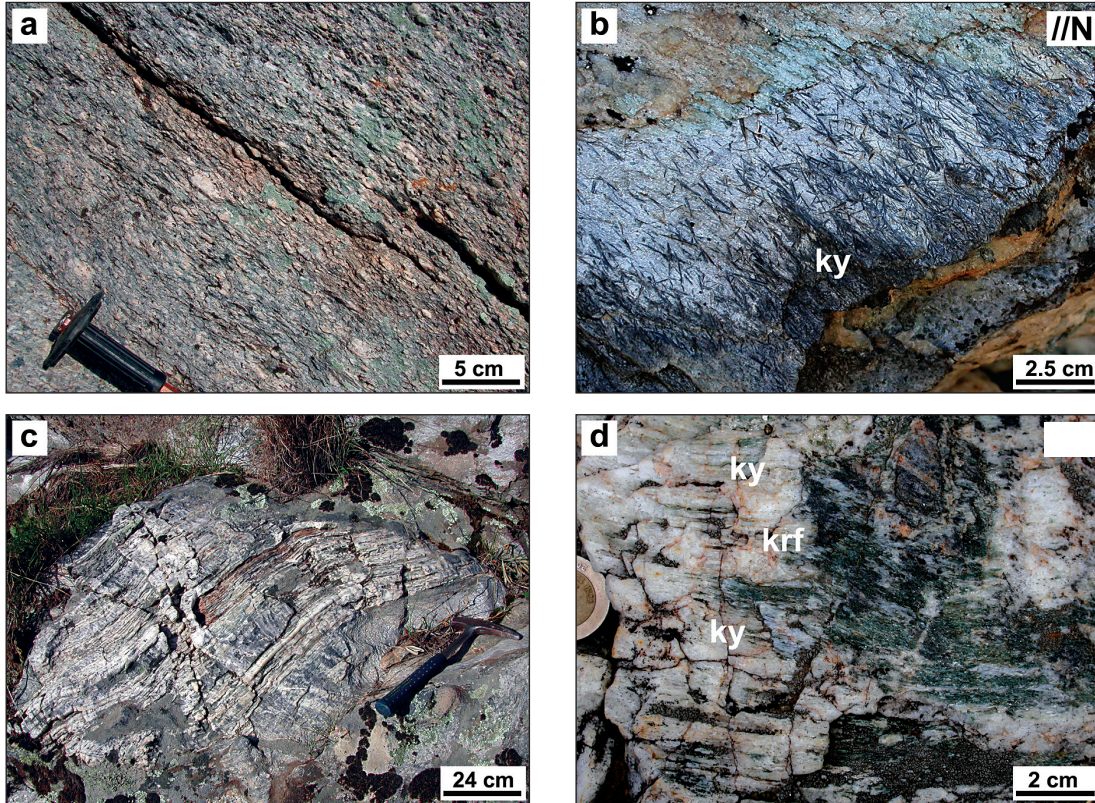
Menderes Masifi'ndeki Alpin yüksek-basınç metamorfizması (YB) verileri günümüze değin sadece Mesozoyik örtü serileri içerisinde saptanmıştır (Rimmelé ve diğerleri, 2003). Çine Asmasifi'nin güney kanadında gözlenen Mesozoyik örtü serileri tabanda kuvars metaçakıtaşı düzeyleri içeren, olasılıkla Geç Triyas yaşlı mika şistlerle başlamakta ve bu birim geçişli bir dokanakla Geç Triyas - Geç Kretase yaşlı platform türü kalın karbonatlar tarafından üzerlenmektedir. Bu neritik karbonatların üzerine, platformun çökmesini tanımlayan Maestrihtiyen yaşlı kırmızı renkli pelajik mermerler gelmekte ve istif Paleosen - Eosen yaşlı metaolistostrom ile sonlanmaktadır (Özer ve diğerleri, 2001).

Geç Triyas yaşlı kırıntılılar içerisinde yer alan metaçakıtaşı Alpin YB metamorfizması açısın-

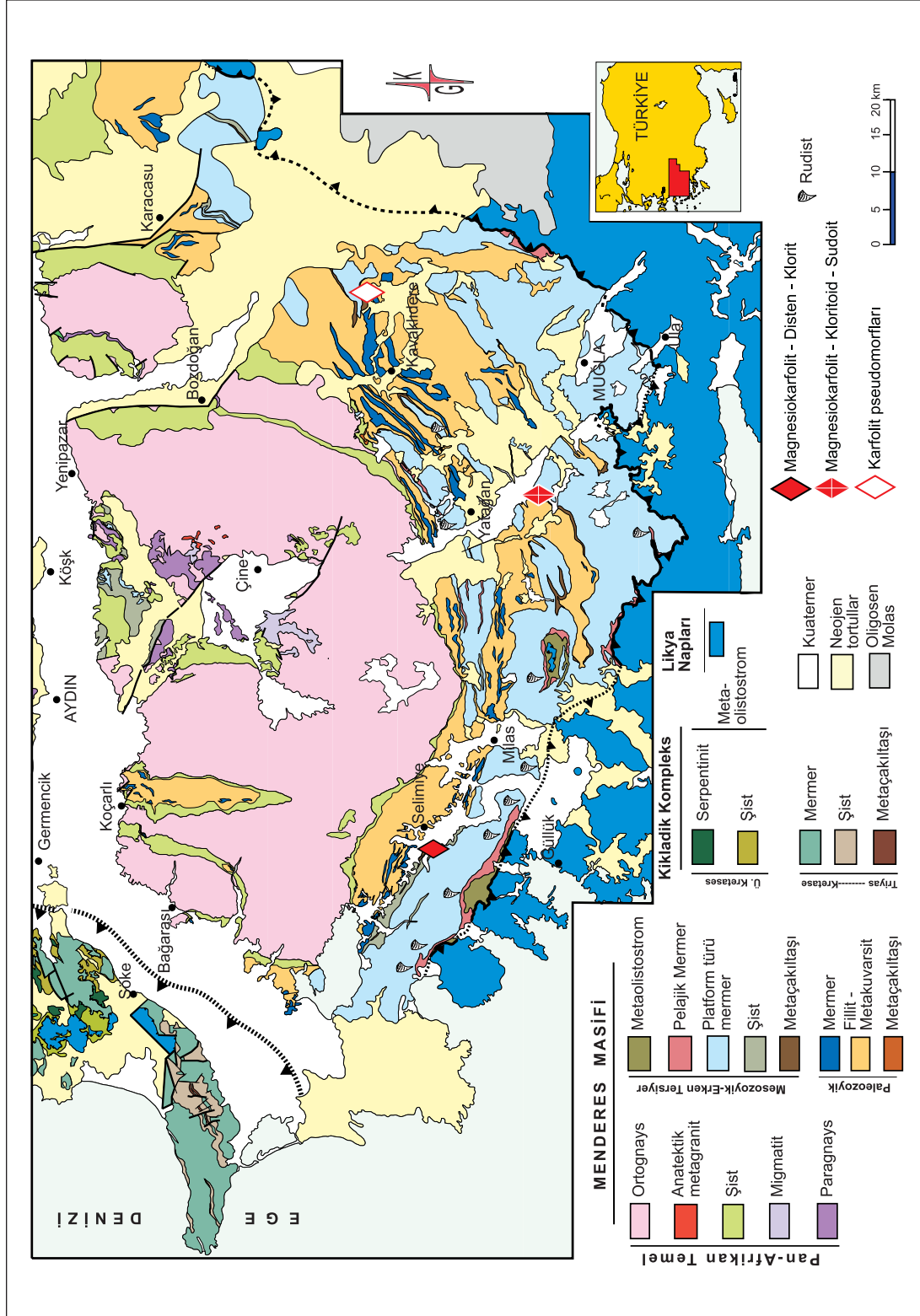
dan özel öneme sahiptir. 3 km yanal devamlılık sunabilen, maksimum 150 m kalınlığındaki bu kuvars metaçakıldaşları birkaç düzey şeklinde gözlenmektedir (Başarır, 1970). Batıda Bafa Gölü'nden doğuda Karacasu'ya kadar 150 km izlenebilen, kanal dolgusu karakterindeki bu metaçakıldaşları boyutları 6 cm ye ulaşan kuvars çakılları ve kaba kumdan yapıları bir ara maddeden oluşmaktadır (Şekil 9a). Çakıldaşları arasında 0.2 -0.6 m kalınlığında mikaca zengin düzeyler sıkça gözlenmektedir. Alüminyumca zengin killerden türeme bu düzeyler 1 - 1.5 cm boyunda, rozet - papyon yapıları, iğnemi disten ($\pm$ kloritoyid) kristallerince zengindir (Şekil 9b). Kuvars metaçakıldaşları içerisinde boyları 20 m ye ulaşabilen, me-

tamorfizmayla eş yaşlı kuvars damarları bulunmaktadır. Çine asmasifinin güney kanadında üç lokasyonda (Şekil 10) bu damarlarda karfolitin varlığı belirlenmiştir (Rimmelé ve diğerleri, 2003).

En iyi lokasyonu oluşturan Selimiye / Kurudere Köyü'nde, 2000 X 100 m boyutlarındaki kuvars metaçakıldaşları düzeyi içerisinde, boyutları 20 X 1.5 m boyutlarına ulaşan kuvars damarları mevcuttur. Bu damarlar boyları 70 cm ye ulaşan, yeşil renkli lifler gözlenmektedir (Şekil 9c). Karfolitten yapıları, kısmen klorite dönüşmüş bu lifler ayrıca mavimsi disten kristalleri içermektedir (Şekil 9d). 'Mg-Karfolit + disten + klorit + kuvars' topluluğunun gözlemlendiği bu damarlarda



Şekil 9- a: Kuvars çakılları ve kaba kumdan yapıları bir ara maddeden oluşan Üst Triyas yaşlı metaçakıldaşları, b: Metaçakıldaşları arasındaki alüminyumca zengin killerden dönüşen fillitik düzeylerdeki iğnemi disten kristalleri, c: Çakıldaşları içerisindeki kuvars damarlarında gözlenen, uzunluğu 70 cm ye ulaşan lifsi karfolit kristalleri, d: Kuvars damarlarında gözlenen yeşil renkli prizmatik karfolit ve mavi renkli disten bir aradalığı (Krf:Karfolit, ky:Disten, arazi görüntüleri Kurudere Köyü kuzeyine aittir).



Şekil 10- Çine asmasının güney kanadının genelleştirilmiş jeoloji haritası ve Alpin yüksek-basınç / düşük-sıcaklık metamorfizması topluluklarının lokasyonları (Harita ana hatlarıyla Çağlayan ve diğerleri, 1980'den alınmıştır; Rudist lokasyonları Dürr, 1975, Konak ve diğerleri, 1987 ve Özer ve diğerleri, 2001, karfolt lokasyonları ise Rimmelé ve diğerleri, 2003'e aittir).

distenler yaygın bir şekilde pirofillitlere dönüşmektedir. Masif'teki karfolitler magnezyum uç üyesince zengin olup X_{Mg} oranı 0.60 - 0.90 arasında değişmektedir. Kurudere yöresindeki karfolitler ortalama $X_{Mg}=0.68$ bileşimindedir. X_{Mn} bileşeni ise ortalama 0.03 dür. Kloritler de magnezyumca zengin olup ($X_{Mg}=0.8$) klinoklor uç üyesine yakın bir bileşimindedir. Yatağan güneydoğusu / Bahçeyaka Köyü'ndeki ikinci lokasyonda, yine kuvars metaçakıldaşları içerisindeki kuvars damarlarında 'Mg-karfolit + kloritoyid + sudoit + kuvars' topluluğu belirlenmiştir. Karfolitler kuvars damarları içerisinde, iyi korunmuş ince lifler şeklinde gözlenmektedir. $X_{Mg}= 0.7$ bileşimindeki karfolitlere fengit, sudoit, pirofillit ve kloritoyid eşlik etmektedir. Bu bölgedeki karfolitler belirgin bir şekilde manganezce zengindir ($0.15 < X_{Mn} < 0.25$). Dokusal veriler kloritoyidlerin karfolitin dönüşüm ürünü olduklarını göstermektedir. Kayalarda disten gözlenememesine karşın dokusal veriler damarlardaki pirofillitlerin distenden türediklerini göstermektedir. $X_{Mg}= 0.40$ bileşimli kloritoyidler $0.40 X_{Mn}$ uç üyesi içermektedir. Kavaklıdere doğusu, Nebiler Köyü çevresinde yüzeyleyen son lokasyonda, kuvars metaçakıldaşında 'kloritoyid + disten + klorit + kuvars' ve 'pseudokarfolit + disten + klorit + kuvars' toplulukları belirlenmiştir. Dokusal veriler karfolitlerin 'disten + klorit' toplulukları tarafından tüketildiğini göstermektedir.

Triyas çakıldaşları içerisinde karfolit gelişiminin yanı sıra Paleosen - Eosen yaşlı metaolistostrom (Kazıklı Formasyonu) içerisinde de Na-amfibol oluşumları da belirlenmiştir. En yaygın oluşum Denizli / Çal batısında, Gözdek Tepe'de gözlenmektedir. Bu bölgede olistostroma ait matriks içerisinde, 10 - 15 cm yi geçmeyen kalınlıklarda, çok ince taneli, mavi renkli düzeyler gözlenmektedir. Bunların yanı sıra olistostromu altlayan kırmızı renkli pelajik mermerlerde de benzer mavi amfibollerin varlığı belirlenmiştir. Al_2O_3 değerlerinin % 2.57 den az olduğu bu amfiboller Mg-ribekit bileşimindedir.

Basınç - sıcaklık koşulları

Menderes Masifi'nin Mesozoyik serilerini etkileyen Alpin yüksek-basınç metamorfizmasının

basınç / sıcaklık koşulları bölgedeki fazların bileşimleri kullanılarak PTAX programıyla hesaplanmıştır (Rimmelé ve diğerleri, 2003). Karfolitin gözlendiği üç bölgeden yapılan hesaplamalarda farklı koşullar belirlenmiştir. Kurudere bölgesinde karfolitin disten ve klorite, distenin de pirofillite dönüşüyor olması eş sıcaklıkta basınç düşmesini gösteren bir geri dönüşümü tanımlamaktadır. Karfolitin bu geri dönüşüm reaksiyonu için minimum 430 °C sıcaklık ve minimum 9 kbar basınç tahmin edilmiştir. İkinci lokasyon olan Bahçeyaka bölgesinde karfolitlerin kloritoyid tarafından ornatıldığı belirlenmiştir. Bu bölge için 440 °C sıcaklık ve 4.5 - 6.5 kbar basınç tahmin edilmektedir. Bu yöredeki metaboksitlerde sadece diasporun mevcut olması geri dönüşümün Kurudere ile karşılaştırıldığında daha soğuk koşullarda gerçekleştiğini göstermektedir. Nebiler yöresindeki 'kloritoyid + disten + klorit' topluluğu için ise yaklaşık 450 °C sıcaklık ve 10 - 13 kbar basınç önerilmektedir. Sonuç olarak Rimmelé ve diğerleri (2003), Masifi'ni etkileyen bu YB metamorfizmanın koşullarını 450 °C sıcaklık ve 10 - 12 kbar basınç olarak önermektedir.

Metamorfizma yaşı

Masif'teki YB metamorfizması radyometrik olarak henüz yaşlandırılmamıştır. Stratigrafik ve paleontolojik veriler, YB metamorfizması verilerinin gözlendiği Mesozoyik örtü serilerinin olası Geç Triyas yaşlı metaçakıldaşlarıyla başladığı ve yaşı tartışmalı metaolistostromla (Kazıklı Formasyonu) son bulduğu bilinmektedir. Masif'in örtü serilerinin en üst birimini oluşturan Kazıklı Formasyonu Milas yöresinde Özer ve diğerleri (2001) tarafından Orta Palaeosen, Konak ve diğerleri (1987) tarafından ise Erken Eosen olarak yaşlandırılmaktadır. Denizli / Çal'da kırmızı pelajikleri üzerleyen ve büyük olasılıkla Milas'taki metaolistostromun devamı olan bloklu serinin matriksinden ise Erken-Orta Eosen yaşı elde edilmiştir (Özer ve diğerleri, 2001). Alaşehir güneyindeki Erken Miyosen yaşlı petrollü şeyller Menderes Masifi'nin üzerinde diskordans olarak bulunan en yaşlı birimlerdir. Bu veriler, Menderes Masifi üzerinde Eosen - Geç Oligosen zaman aralığında bir çökme gerçekleşmediğini göstermektedir. Alpin metamorfizmasına yönelik az

sayıdaki izotopik yaş verisi söz konusu zaman aralığı ile uyum göstermektedir. Beyaz mikalar-daki Rb/Sr analizleri 63 - 48 My arasında saçılan, ortalama 56 ± 1 My (Geç Paleosen) yaşlar vermiştir. Bu yaşlar Alpin metamorfizmasını ifade eden kristalizasyon yaşları olarak yorumlanmaktadır. Biyotitlerden elde edilen 37 ± 1 My'lık (Geç Eosen) Rb/Sr değerleri ise soğuma yaşları olarak kabul edilmektedir (Satır ve Friedrichsen, 1986). Mikalardan elde edilen yeni Rb/Sr ve Ar/Ar yaşları eski verilerle uyum göstermektedir. 62-43 My (Paleosen-Erken Eosen) arasında değişen Rb/Sr mika yaşlarının Barrow türü Alpin metamorfizmasının hemen izleyen evresini, 36 ± 2 My'lık (Orta Eosen) Ar/Ar yaşlarının ise soğuma sürecini tanımladığı kabul edilmektedir (Bozkurt ve Satır, 2000). Benzer şekilde, 43-37 My arasında değişen (Eosen: Hetzel ve Reischmann, 1996) ve 36 ± 2 My (Orta Eosen: Lips ve diğerleri, 2001) değer veren Ar/Ar muskovit yaşları da araştırmacılar tarafından soğuma yaşları olarak yorumlanmaktadır. Öte yandan Likya naplarının kuzeyden güneye geçişlerindeki ana evrenin Paleosen - Eosen zaman aralığında gerçekleştiği ve bu olayın Miyosen'e kadar sürdüğü ileri sürülmektedir (Collins ve Robertson, 1999). Masif'in bu tektonik süreçte Likya naplarının altına gömüldüğü kabul edilmektedir (Şengör ve diğerleri, 1984; Dora ve diğerleri, 1990; Bozkurt ve Park, 1999; Rimmelé ve diğerleri, 2003). Masif'teki en genç birimlerin yaşı, metamorfitleri örten en yaşlı tortul kayalar, mevcut jeokronolojik veriler ve Likya naplarının güneye geçiş zamanları birlikte değerlendirildiğinde, masifteki Alpin yaşlı yüksek-basınç metamorfizmanın ve bu topluluklarda geri dönüşüme neden olan üzerlemenin Eosen - Oligosen zaman aralığında gerçekleşmesi gerektiği söylenebilir.

ORTA BASINÇ METAMORFİZMASI

Petrografi ve mineral kimyası

Yukarıda açıklandığı gibi, Menderes Masifi'nin Mesozoyik - Erken Tersiyer serileri Alpin yaşlı YB ve yeşilıştfsiyesi koşullarındaki üzerlemeye ilişkin veriler içerirken Paleozoyik örtü serileri sadece Barrow türü orta-basınç metamorfizması topluluklarından yapıldır. Menderes Masifi'nin

Paleozoyik örtü serileri olasılı Geç Devoniyen kuvarsit ve onu uyumlu ve geçişli olarak üzerleyen Permo-Karbonifer yaşlı fillit - mermer - kuvarsit ardalanmasından yapıllı bir stratigrafiye sahiptir. Masif'te özellikle Muğla kuzeyi / Göktepe bölgesinde, Denizli / Babadağ güneyinde ve Aydın Paşa Yaylası'nda fillitlerle ardalanmış düşük dereceli mermerlerin Permo-Karbonifer yaş veren fosillerce zengin olduğu (Şekil 11a) uzun yıllardan beri bilinmektedir (Çağlayan ve diğerleri, 1980; Konak ve diğerleri, 1987; Okay, 2001; Erdoğan ve Güngör, 2004). Bu mermerlerde sünümlü deformasyon sonucu mercan fosilleri uzayıp düzleşmiştir (Şekil 11b). Saf kuvars arenitten türeme kuvarsitler sade bir mineral bileşimine sahip olup 'muskovit + kuvars + apatit + zirkon' dan yapıldır. Masif'te çok geniş alanlarda yayılım sunan siyah fillitler ise toplam kaya bileşimlerinin uygun olması nedeniyle anahtar minerallerince zengindir. Çine asmasifinin güney kanadında, Bafa Gölü'nden Denizli'ye kadar uzanan hat boyunca fillitlerde yeşilıştfsiyesi koşullarını yansıtan mineral toplulukları gözlenmektedir. Klorit fillitler en baskın fillit türünü oluşturmaktadır. İnce taneli bu kayalar 'muskovit + kuvars + klorit + opak min.' den yapıldır. Granat fillit ve kloritoyid - granat fillitler diğer baskın fillit türleridir. Kayacın % 50 - 60' ını oluşturabilen granat porfiroblastlarının boyları 1 cm ye kadar ulaşmaktadır. Öz şekilli granatlar almandince zengin bir bileşime sahiptir. Kloritoyidler genelde 2 mm yi geçmeyen koyu yeşil / siyah benekler şeklindedir. Bu kayaların genel mineral bileşimleri 'muskovit + klorit + kloritoyid + granat + kuvars' dan yapıldır. Özellikle Karacasu batısı / Karıncalı Dağ yöresindeki fillitlerde 'disten + kloritoyid' bir aradılığına yaygın bir şekilde rastlanmaktadır (Şekil 11c). Boyları 4-5 cm ye ulaşan, papyon ve rozet şekilli distenler grafit inklüzyonlarınca çok zengin olmaları nedeniyle tümüyle siyah renktedir. Kloritoyidler de benzer şekilde 2-3 cm boyutlarında, demet / papyon şekilli kristaller oluşturabilmektedir. Bu kayaların genel mineral bileşimleri 'muskovit + klorit + kuvars + biyotit + disten + kloritoyid + grafit' olarak belirlenmiştir.

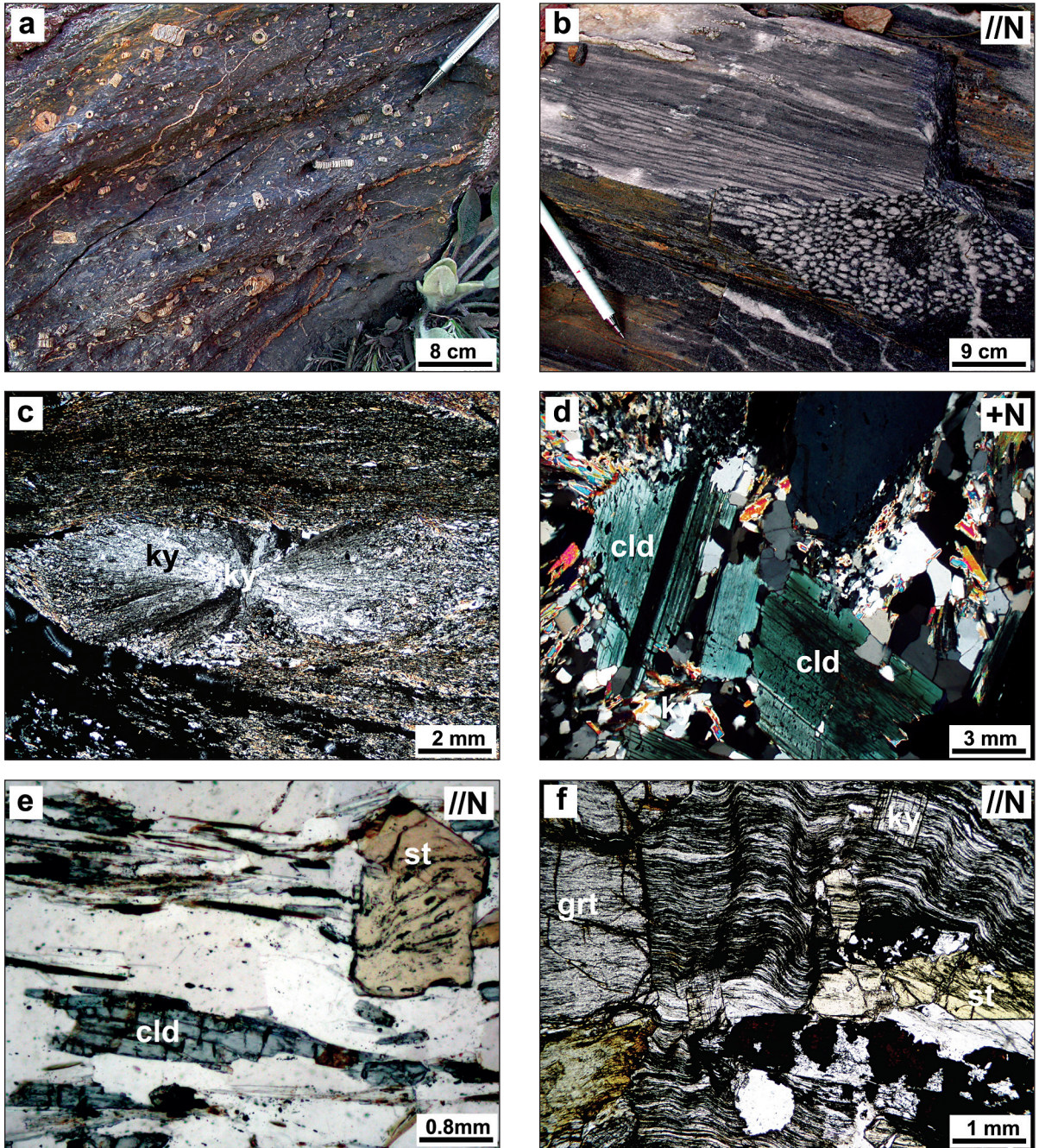
Ödemiş- Kiraz asmasifinde Palaeozoyik yaşlı fillitler iki farklı tektonik dilimde gözlenmektedir.

Alt tektonik dilimdeki fillitler Aydın Dağları'nın güneyinde ve Bozdağlar'ın kuzeyinde yaklaşık 60 km lik bir yanal uzanım sunmaktadır. Aydın Dağları'nda Palaeozoyik istif baskın olarak fillitlerden yapılabunlar içerisinde kilometrelerce yanal devamlılık sunan siyah mermer bantları ve kuvarsit düzeyleri bulunmaktadır. Fillitler biyotit fillit ve klorit ($\pm$ kloritoyid) fillit bileşimindedir. Mineral toplulukları, kuzeye düzenli eğim gösteren, 2 km kalınlığındaki bu istifin devrik konumda olduğunu göstermektedir. Bozdağlar'daki Paleozoyik seri fillitçe baskın olup şiddetli izoklinal kıvrımlanma göstermektedir. K30D eksenli bu kıvrımlanma bölgedeki stavrolit izogradının birkaç kez tekrarlanmasına neden olmaktadır. Bölgede kloritoyid fillit ve stavrolit - granat fillitler gözlenmektedir. Kloritoyid fillitler ince taneli kayalar olup 'muskovit + klorit + biyotit + kloritoyid + kuvars' bileşimindedir (Şekil 11d). Dengedeki 'kloritoyid + stavrolit' bir aradalığının gözleendiği (Şekil 11e) bir geçiş zonuyla stavrolit - granat fillitlere geçilmektedir. Bu kayalardaki stavrolit kristalleri 3-4 mm boyunda, koyu renkli çubuksu kristaller şeklindedir. Granatlar ise 2-3 mm çapında öz şekilli kristaller oluşturmaktadır. Bu fillitlerin genel mineral bileşimleri 'muskovit + kuvars + biyotit + granat + stavrolit' olarak belirlenmiştir. % 70 oranına ulaşan, 1-1.5 cm boyutlarındaki granat porfiroblastları içermeleri üst tektonik dilimde gözlenen fillitlerin en tipik özelliğidir. Granatlara 3-4 mm boyutlarındaki stavrolit ve disten kristalleri eşlik etmektedir (Şekil 11f). Granat porfiroblastlarında çok evreli büyümeyi gösteren, sintektonik çekirdek ve inklüzyonsuz çeper zonlarından yapılab dokusal zonlanma gözlenmektedir. Bu fillitlerin mineral bileşimleri 'muskovit + biyotit + kuvars + granat + stavrolit ($\pm$ kloritoyid $\pm$ disten)' den yapılabıdır. Kloritoyidler genelde granatların çekirdek kesimlerinde kapanımlar olarak gözlenmektedir. Ödemiş - Kiraz Asması'nda Paleozoyik seriye ait birimler Kemalpaşa - Salihli arasında yüzeylemektedir. Bu bölge, siyah mermer bantlı içeren, grafitçe zengin fillitlerden yapılabıdır. Fillitler Ödemiş'tekilere benzer şekilde 'kloritoyid - stavrolit - granat' topluluğu içermektedir.

Basınç - sıcaklık koşulları

Yukarıdaki anlatımlardan da görüldüğü gibi Menderes Masifi'nin Paleozoyik serilerinde bu güne değin sadece Barrow türü orta-basınç metamorfizmasına ilişkin mineral topluluklarının varlığı belirlenmiştir. Masif'in çeşitli yörelerinde yüzeyleyen bu kayalarda, ilerleyen yeşilist fasiyesi koşullarını tanımlayan klorit, kloritoyid, biyotit ve granat mineralleri yaygın olarak gözlenmektedir. Bozdağlar'daki fillitlerde ise 'stavrolit - kloritoyid' bir aradalığının varlığı belirlenmiştir. Özel bir toplam kimyaya sahip kayalarda bu bir aradalılık dar bir sıcaklık aralığını (yaklaşık 550 °C) tanımlayan, yeşilist- amfibolit fasiyesi geçişine karşılık gelmektedir (Bucher ve Frey, 1994). Ödemiş ve Kula güneyinde stavrolite distenin eşlik etmesi amfibolit fasiyesinin ilerleyen koşullarını tanımlamaktadır. Özetle, petrografik olarak masifin Paleozoyik serilerine karşılık gelen birimlerin metamorfizma koşullarının alt yeşilist fasiyesinden orta amfibolit fasiyesine kadar uzanan bir değişim sunduğu söylenebilir.

Paleozoyik serilerindeki topluluklardan klasik jeotermobarometrik yöntemlere dayalı basınç / sıcaklık hesaplamaları sadece birkaç noktada gerçekleştirilmiştir. Ashword ve Evirgen (1984) ve Whitney ve Bozkurt (2002) Menderes Masifi'nin güney kanadında yüzlek veren ve granat içeren Paleozoyik serilerindeki granat / biyotit çiftlerinden yararlanmıştır. Bu çalışmalarda sırasıyla 550 °C ve 500 °C lik sıcaklık değerleri elde etmiştir. Aynı çalışmalarda granat + biyotit + muskovit + plajiyoklas + kuvars topluluğuna dayalı tahminde < 6 kbar'lık bir basınç değeri öngörülmüştür. Aynı bölgedeki granat - kloritoyid fillitler için Regnier ve diğerleri (2003) de benzer şekilde 4 kbar basınç ve 525 °C sıcaklık değerleri önermektedir. Koçarlı güneyinde yüzlek veren ve bu araştırmacılar tarafından hatalı olarak Pan-Afrikan temele dahil edilmiş olan stavrolit - granat - disten fillitlerdeki hesaplamalar ise bir miktar yüksek (8-11 kbar / 600 - 650 °C) basınç / sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Genel hatlarıyla bakıldığında, uyum içerisinde olan petrolojik / petrografik bulguların alt yeşilistten orta amfi-



Şekil 11- a: Muğla/Göktepe'de Paleozoyik örtü serilerine ait siyah mermerler içerisindeki krinoid fosilleri, b: Karacasu / Karıncalıdağ'daki siyah mermerlerde sünümlü deformasyona uğramış mercan fosilleri, c: Karacasu / Karıncalıdağ'daki fillitlerde gözlenen papyon şeklinde büyümeli disten kristalleri. Distenlere yeşilist koşullarını tanımlayacak şekilde ufak (mikaca zengin zemin içerisinde) kloritoid kristalleri eşlik etmekte, d: Bozdağlar'da gözlenen kloritoyid fillitler, e: Fillitlerde yeşilist- amfibolit fasiyesi geçişi koşullarını tanımlayan 'kloritoyid + stavrolit' bir aradalığı, f: Kiraz güneyindeki fillitlerde gözlenen 'granat + stavrolit + disten' biraradalığı (ky:Disten, cld:Kloritoyid, st:Stavrolit, grt:Granat).

bolit fasiyesine kadar değişen ilerleyen bir orta-basınç metamorfizmasını tanımladığı görülmektedir.

Metamorfizma yaşı

Menderes Masifi'nin Paleozoyik serilerinin metamorfizma yaşına ve bunu Mesozoyik-Erken Tersiyer serilerinde gözlenen Alpin YB/DS metamorfizmasıyla olan zamansal / mekansal ilişkisine yönelik doğrudan bir veri mevcut değildir. Yukarıda verilen, masifin Pan-Afrikan temeline ait birimlerdeki mikalardan elde edilmiş az sayıdaki soğuma yaşları (Paleosen-Eosen), Paleozoyik ve Mesozoyik - Erken Tersiyer örtü serileri arasındaki ilksel dokanak ilişkisinin stratigrafik olması (Konak ve diğerleri, 1987) ve Anadolu'da Variskan orojenezinin etkileriyle ilişkili herhangi bir verinin mevcut olmaması gibi veriler birlikte değerlendirildiğinde Paleozoyik serilerinin metamorfizmasının da Mesozoyik - Erken Tersiyer serilerinde olduğu gibi Alpin yaşlı (Eosen - Oligosen) olması gerektiği sonucuna varılmaktadır.

TARTIŞMA

Menderes Masifi'nin metamorfik evrimini çekirdek ve örtü serileri bazında ele alıp tartışmadan önce bu konudaki görüşlere kısaca değinmek yararlı olacaktır. Bu görüşler; i) Masif'e bugünkü metamorfik karakterini kazandıran tek evreli Alpin metamorfizması ve ii) Temel ve örtü serilerinin Pan-Afrikan ve Alpin yaşlı poli-metamorfik evrimleri olmak üzere iki ana grup altında toplanabilir.

Tek evreli metamorfizma modelini savunan araştırmacıların çoğunluğu bu görüşlerini Çine asmasifinin güney kanadında gerçekleştirdikleri çalışmalara dayandırmaktadır. Ashword ve Evirgen (1984), Erdoğan ve Güngör (2004), Bozkurt (1996) ve Whitney ve Bozkurt (2002) Menderes Masifinde tek evreli metamorfizma modelini savunan belli başlı araştırmacılarıdır. Bu araştırmacılar ana hatlarıyla temele ait ortogneysleri Tersiyer yaşlı granitler, bunların çevre kayalarındaki oluşturan Pan-Afrikan metakirintilileri da örtü se-

rilerine ait birimler olarak kabul etmektedir. Bunun sonucu olarak Menderes Masifinde yaşlı bir temel bulunmadığı ve dolayısıyla bir tek Alpin metamorfizmasıyla masifin tüm metamorfik evriminin açıklanabileceği savunulmaktadır.

Yukarıdaki görüşlerin aksine birçok çalışmada Menderes Masifi'nin temel ve örtü serilerinin kompleks bir polimetamorfik evrime sahip olduğuna yönelik çok sayıda bulgu sunulmuştur. 1990 öncesi çalışmalarda radyometrik / petrolojik verilerin azlığı nedeniyle özellikle Pan-Afrikan temelin metamorfizma koşulları ve yaşları konusunda farklı görüşler önerilmiştir. Schuiling (1962) temelin metamorfizması için Pre-Hersniyen yaşını ön görürken Brinkmann (1967) ve Başarır (1970) bu olayı Prekambriyen yaşlı olarak kabul etmektedir. 1980'li yıllarda, gnayslardan elde edilen ve 550 - 500 My arasında yoğunlaşan ilk yaş verilerine dayanarak bu metamorfizmaya Kambriyen - Ordovisiyen yaşı verilmiştir (Dora, 1975; Şengör ve diğerleri, 1984; Satır ve Friedrichsen, 1986; Dora ve diğerleri, 1990, 1992). Günümüzde ise ileride detaylı olarak tartışılacağı üzere Pan-Afrikan temelin çok evreli metamorfizmasının Prekambriyen yaşlı olduğu ve Pan-Afrikan Orojenezi ile bağlantılı olarak geliştiği görüşü ağırlık kazanmaktadır (Şengör ve diğerleri, 1984; Oberhansli ve diğerleri, 1997; Candan ve Dora, 1998; Candan ve diğerleri, 2001).

Masif'in Pan-Afrikan yaşlı çekirdek ve Paleozoyik - Erken Tersiyer yaşlı örtü serilerini birlikte etkileyen ve ona günümüzdeki yapısını büyük oranda kazandıran son metamorfizmanın Alpin yaşlı olduğu araştırmacıların büyük çoğunluğu tarafından kabul görmektedir. Paleontolojik bulguların yetersizliği nedeniyle eski çalışmalarda söz konusu bu metamorfizma için Devoniyen-Mesozoyik arası (Schuiling, 1962), Jura (Başarır, 1975) ve Liyas (Dora, 1975) gibi farklı yaşlar önerilmiştir. Günümüzde ise örtü serisine ait birimlerin çökelim yaşının Eosen'e kadar devamlılık gösterdiğinin belirlenmiş olması (Konak ve diğerleri, 1987; Özer ve diğerleri, 2001) nedeniyle Alpin metamorfizmasının yaşı Tersiyer'e

kaydırılmıştır. Bu Alpin metamorfizmasını Şengör ve diğerleri (1984) Erken Eosen / Oligosen, Dora ve diğerleri (1990, 1992) Paleosen / Geç Eosen, Erdoğan ve Güngör (2004) Geç Kretase / Erken Eosen, Rimmelé ve diğerleri (2003) Eosen, Bozkurt ve diğerleri (1995) ise Erken Eosen/ Erken Oligosen yaşlı olarak kabul etmektedir.

PAN-AFRİKAN TEMELİN METAMORFİZMASI

Yukarıda kısaca değinildiği gibi, önceki çalışmaların birçoğunda Masif'in çekirdek serilerinin Prekambriyen'de metamorfizmaya uğramış olması gerektiği ileri sürülmüştür. Bunlar içerisinde Şengör ve diğerleri (1984), koşul ve sayısına yönelik detaylı veri sunmaksızın temelın metamorfik evriminin Pan-Afrikan orojenezi ile ilişkilendirilebileceğini önermiştir. Pan-Afrikan temelın söz konusu kompleks metamorfik tarihçesine yönelik ilk petrolojik bulgular Candan (1995), Candan ve diğerleri (1994)'nde tanımlanmıştır. Bunlardan ortopiroksenin varlığı ile tanımlanan granulit fasiyesindeki yüksek-sıcaklık metamorfizması Pan-Afrikan temele ait birimlerde ender olarak korunmuştur (Çetinkaplan, 1995; Candan, 1995; Candan ve Dora, 1998). Yüksek-basınç metamorfizması koşullarını tanımlayan, son derece iyi korunmuş eklojit ve eklojitik metagabro yüzleklerin varlığı ise Çine asması hariç masifin genelinde yüze yakın lokasyonda belirlenmiştir (Candan ve diğerleri, 1994, 2001; Candan ve Çetinkaplan, 2001; Candan ve Dora, 1998; Oberhänsli ve diğerleri, 1997, 1998; Çetinkaplan, 1995). Yüksek dereceli kıtasal kabuk metasedimentleri içerisinde gözlenen bu kayalar kıtasal çarpışma sonucu kalınlaşan kabuk ortamını temsil etmektedir. Dokusal veriler, masifin Pan-Afrikan temeli ile sınırlı olan bu yüksek-sıcaklık ve yüksek-basınç metamorfizmalarının migmatizasyon ve anatektik granit gelişimiyle tanımlanan, Barrow türü orta-basınç metamorfizması tarafından üzerlendiği ve geri dönüşüme uğratıldığını göstermektedir. Migmatizasyon ve granit girişlerinin yine temele ait birimlerle sınırlı kalması söz konusu bu orta-basınç metamorfizmasının da temelın metamorfik evrimi içerisinde değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Yukarıda tanımlandığı üzere güncel bulgular, Pan-Afrikan temelın granulit, eklojit ve üst amfibolit fasiyesi koşullarında gerçekleşen metamorfizmalardan etkilendiğini net olarak ortaya koymaktadır. Jeolojik, mineralojik ve dokusal veriler orta-basınç metamorfizmasının bu çok evreli metamorfik evrim içerisinde son olayı tanımladığını göstermektedir (Candan ve Dora, 1998). Fakat günümüze değin granulit ve eklojit fasiyesi metamorfizmalarının göreceli yaş ilişkilerine ait somut bir veri elde edilememiştir. Candan ve diğerleri (2001), eklojit ve onların orta-basınç geri dönüşüm ürünleri olan amfibolitler üzerine yaptığı basınç / sıcaklık tahminlerinde yüksek-basınç topluluklarının eş sıcaklıkta basınç düşmesi koşullarında geri dönüşüme uğradığını ortaya koymuştur. Araştırmacılar, yüksek-basınç ile onda geri dönüşüme neden olan orta-basınç metamorfizmaları arasında sıcaklık yükselimini tanımlayan herhangi bir dokusal / petrolojik verinin bulunmamasına dayanarak Pan-Afrikan temeli etkileyen metamorfizmaların göreceli sırasını 'granulit - eklojit - amfibolit' olarak önermektedir.

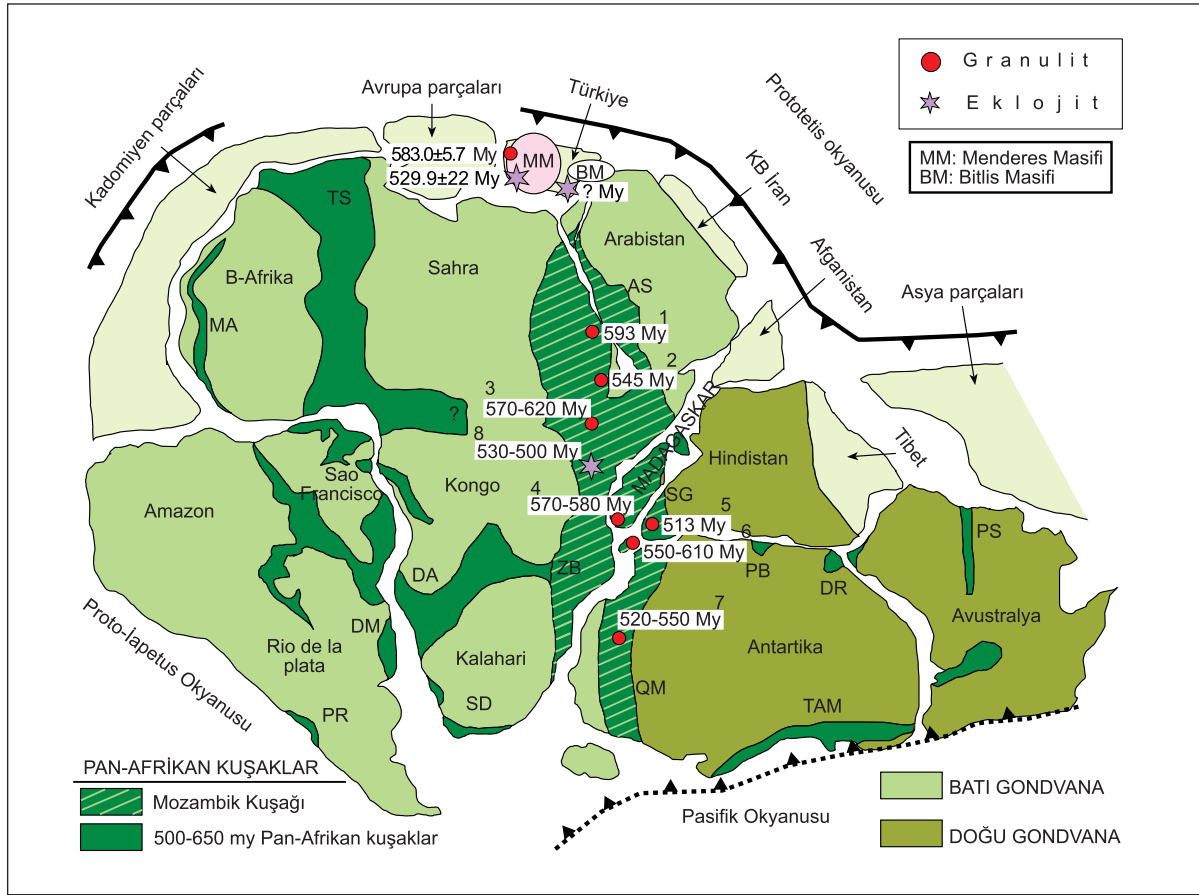
Söz konusu evrelerin mutlak yaşları konusunda günümüzde bazı veriler elde edilmeye başlanmıştır. Granulit fasiyesine yönelik ilk bulgular, geniş bir hata aralığına sahip olup (660 +61/-63 My; Oelsner ve diğerleri, 1997; Warkus ve diğerleri, 1998) sadece bu yüksek-sıcaklık olayının temelın metamorfik evrimiyle ilişkili Prekambriyen yaşlı olduğunu göstermesi açısından önemlidir. Buna karşın son yıllarda granulitlerdeki metamorfik zirkonlardan U-Pb iyon mikroprob (SHRIMP II) yöntemiyle yapılan analizler 583.0±5.7 My'da kümelenen Geç Neoproterozoyik yaşı vermiştir (Koralay ve diğerleri, 2006). Masif'teki yüksek-basınç metamorfizmasının yaşlandırılması amacıyla eklojit ve eklojitik metagabrolardaki zirkonlara TIMS yöntemini uygulamıştır. Bir eklojitik metagabro örneğindeki zirkonlardan yine Pan-Afrikan olayıyla ilişkili 529.9±22 My'lık ²⁰⁶Pb/ ²³⁸U yaşı elde edilmiştir (Oberhänsli ve diğerleri, 2010). Bu iki yaş bulgusunun, granulit - eklojit metamorfizmaları arasında öngörülen göreceli yaş ilişkisiyle uyum gösterdiği görülmektedir. Önceki bölümlerde de

değindiği üzere, migmatizasyonla ilişkili anatektik granitlerin yaşlandırılması temelini çoklu metamorfik evriminde son evreyi tanımlayan orta-basınç metamorfizmasının yaşının belirlenmesinde kullanılabilecek en sağlıklı yol olarak görülmektedir. Günümüze değin bu granitlerin sadece bir tanesinden yaş verisi elde edilmiştir. Hetzel ve diğerleri (1998) Birgi yöresindeki bu tür bir granitteki zirkonlardan klasik U/Pb yöntemiyle 551 ± 1.4 My kristalizasyon yaşı elde etmiştir. Öte yandan migmatitlere ait neozonlardan elde edilen ve kısmi ergime zamanını tanımlayan zirkon yaşları da 540 My'da yoğunlaşacak şekilde 502 - 552 My arasında değişmektedir (Dannat ve Reischmann, 1998). Görüldüğü gibi eklojitlerden ve anatektik granit / migmatitlerden elde edilen sınırlı yaş verileri bu metamorfizmaların Pan-Afrikan Orojenezi ile olan ilişkilerini net olarak ortaya koyarken hata payları içerisinde birbirileri ile giriklik sunmaktadır. Temel jeolojik veriler, migmatizasyonun çok evreli metamorfizmada son evreye ait olduğunu göstermektedir. Buna karşın bu iki olayın yaşlarının daha hassaslık kazanması amacıyla radyometrik verilerin artırılması gerektiği açıktır.

Şengör ve diğerleri (1984), batıda Menderes Masifi, doğuda ise Bitlis Masifi'nin yaşlı temellerinin evrimlerinin Pan-Afrikan Orojenezi ile ilişkilendirilebileceğini önermiştir. Pan-Afrikan Orojenezi, 950 - 450 My (Kröner, 1984) zaman aralığında Gondvana'nın bütünleşmesi ile ilişkili yitim, çarpışma ve kenetlenme süreçlerini kapsayan, çok evreli bir orojenik olaylar dizisini tanımlamaktadır. Aslında bu olay sadece Afrika kıtası ile sınırlı kalmamakta, tüm Gondvana içerisinde gerçekleşen olayları içermektedir. Neoproterozoyik'teki kıta dağılımında Antartika, Avustralya, Madagaskar, Sri Lanka ve Hindistan'dan yapıları Doğu Gondvana ile başlıca Afrika ve Güney Amerika'dan yapıları Batı Gondvana'nın Mozambik Okyanusu olarak adlandırılan (Daiziel, 1991) büyük bir okyanus ile ayrıldığı görüşü genelde kabul görmektedir (Stern, 1994; Wilson ve diğerleri, 1997). Pasifik boyutundaki bu okyanusun 800-850 My önce Mezoproterozoyik süper kıtası olan Rodinia'nın parçalan-

masıyla oluştuğu düşünülmektedir. Bu okyanusun kapanması ve Doğu - Batı Gondvana kıtalarının çarpışması, günümüz Afrika Kıtası'nın doğu kıyısı boyunca uzanan, KG gidişli bir orojenik kuşak gelişimine neden olmuştur (Şekil 12). Bu kuşak 'Mozambik kuşağı' veya 'Doğu Afrika Orojeni' olarak adlandırılmaktadır (Stern, 1994).

Gondvana süper kıtasının final bütünleşmesinin irili ufaklı okyanuslar dizisinin veya bu tek okyanusun kapanmasıyla gerçekleştiği konusunda farklı görüşler mevcuttur (Unrug, 1996). Öte yandan Mozambik Okyanusu'nun kapanması ve Doğu-Batı Gondvana'nın final kenetlenme zamanı da tartışmalıdır. Mozambik Kuşağı ana hatlarıyla yüksek dereceli metamorfizma ve yaygın granulit oluşumu ile karakterize olmaktadır. Genel anlamda bu granulit oluşumları Mozambik Okyanusu'nun kapanması sonucu Doğu-Batı Gondvana kıtalarının çarpışması ve kabuk kalınlaşması ile ilişkilendirilmekte ve bütünleşme zamanı probleminin çözümünde granulit fasiyesi metamorfizmasının yaşının belirlenmesinin anahtar rol oynayabileceği ileri sürülmektedir (Stern, 1994). Bu kuşak içerisindeki granulit metamorfizmalarının yaşları iki grupta toplanmaktadır. Genel hatlarıyla Batı Gondvana'ya ait kesimlerde granulit yaşları 715 - 650 My arasında değişmektedir. Bu granulitler Kenya, Tanzanya, Malawi, Sudan ve Mozambik'de geniş alanlarda yüzeylemektedir. Sudan'da 710 My (Kröner ve diğerleri, 1987) Tanzanya'da 650-710 My (Maboko ve diğerleri, 1989) yaşlar elde edilmiştir. Buna karşın aynı hat üzerinde bulunan, özellikle Madagaskar, Hindistan, Sri Lanka ve Doğu Antartika'daki granulitler 620 - 520 My arasında, ortalama 550 My'da yoğunlaşan daha genç yaşlar (Madagaskar: Paquette ve diğerleri, 1994, 570-580 My; Hindistan: Collins ve diğerleri, 2007, 513 My; Sri Lanka: Hölzl ve diğerleri, 1994, 550-610 My; Doğu Antartika: Shiraishi ve diğerleri, 1994, 550-520 My) vermektedir. Bunlara ek olarak yine Mozambik Kuşağı içerisinde yer alan güney Etiyopya'dan 545 My (Ayalew ve Gichile, 1990) ve 570-620 My (Key ve diğerleri, 1989), Eritre'den ise 593 My (Andersson ve diğerleri, 2000) gibi benzer granulit fasiyesi metamorfiz-



Şekil 12- En Geç Neoproterozoyik / Erken Kambriyen'de Gondvana süper kıtasının paleocoğrafik haritası. Haritada Mozambik Kuşağı ve bu kuşak içerisindeki Geç Neoproterozoyik - Kambriyen yaşlı granülit ve eklojit lokasyonları gösterilmekte (AS: Arap Kalkani, BM: Bitlis Masifi, DA: Damara, DM: Dom Feliciano, DM: Denman Darling, MA: Mauretanides, MM: Menderes Masifi, PB: Pryolz Bay, PP: Pampean Ranges, PS: Paterson, QM: Queen Maud Land, SD: Saldania, SG: South granulite terrane, TAM: Transantatctic Mountains, TS: Trans Sahara belt, ZB: Zambezi; Yaş tayinleri 1-Andersson ve diğerleri, 2000, 2-Ayalew ve Gichile, 1990, 3-Key ve diğerleri, 1989, 4-Paquette ve diğerleri, 1994, 5-Collins ve diğerleri, 2007, 6-Hölzl ve diğerleri, 1994, 7-Shiraishi ve diğerleri, 1994, 8-Ring ve diğerleri, 2002 den alınmıştır).

ması yaşları da saptanmıştır. Bu iki farklı yaş grubu değişik şekillerde yorumlanmaktadır. Stern (1994) birinci grup yaşların kıtasal çarpışma ortamında kabuk kalınlığının maksimuma ulaştığı zamanı, yani Gondvana'nın final bütünleşme yaşını verdiğini kabul etmektedir. Araştırmacı, daha genç yaşları ikinci bir genç kıta-kıta çarpışma evresi veya kabuk kalınlaşmasının çarpışma zonu boyunca, zaman içerisinde batıdan doğuya doğru bir gelişimi olarak yorumlamaktadır. Oysa

Wilson ve diğerleri (1997), Mozambik Kuşağı içerisindeki yaşlı gruba ait granülitlerin yaklaşan levha sınırlarındaki yay ortamlarının derin kesimlerini veya ana çarpışma evresi öncesi ufak kıtacıklarla ada yaylarının çarpışma ortamlarında gelişmiş olabileceğini önermektedir. Wilson ve diğerleri (1997), Kröner (1993) ve Kröner ve diğerleri (1994) tarafından önerildiği gibi Doğu-Batı Gondvana arasındaki final çarpışma zamanının Madagaskar, Hindistan, Sri Lanka ve Antartika'

da belirlenen, 600-550 My zaman aralığındaki granülit fasiyesi metamorfizması yaşlarıyla daha iyi uyum sunduğunu ileri sürmektedir.

Son yıllarda, Mozambik Kuşağı içerisinde yer alan kuzey Malawi'de orta-sıcaklık koşullarında bir yüksek-basınç metamorfizmasını tanımlayan eklojitlerin varlığı belirlenmiştir (Ring ve diğerleri, 2002). İleri derecede granatlı amfibolitlere dönüşmüş bu kayalar ortognayslar içerisinde mercer ve tektonik dilim konumunda bulunmaktadır. Bunlardan seçilen zirkonlardan Pb/Pb yöntemine göre 530-500 My arasında değişen ve yüksek-basınç metamorfizması yaşı olarak yorumlanan yaşlar elde edilmiştir. Ring ve diğerleri (2002), bu eklojitlerin yitim ve bunu izleyen kıtasal çarpışma sürecinde gerçekleşen kabuk kalınlaşması ortamını tanımladığını ve dolayısıyla Mozambik Okyanusu'nun kapanma zamanını belirleme probleminin çözümünde kullanılabileceğini önermektedir. Dolayısıyla araştırmacılara göre Doğu-Batı Gondvana'nın çarpışması ve Mozambik Okyanusu ve/veya ona ilişkin diğer okyanusal havzaların final kenetlenme zamanları Kambriyen'dir.

Yukarıda sunulan verilerden görüldüğü gibi Menderes Masifi'nin çekirdek serilerindeki granülit ve eklojit fasiyesi metamorfizmalarının yaşları Mozambik Kuşağı'ndaki süreçlerle zamansal ve tektonik ortam açısından büyük uyum sunmaktadır. Öte yandan Anadolu'nun en geç Neoproterozoyik / Erken Kambriyen'deki paleo-coğrafik konumu da mekansal açıdan bu metamorfik tarihçe ile uyumlanmaktadır. Çeşitli jeolojik veriler ve korelasyonlara dayalı olarak Anadolu'nun bu dönemdeki konumu için Mozambik Kuşağı'nın en kuzeyinde, Arap Yarımadası'nın batı kesimi önerilmektedir (Şengör ve diğerleri, 1984; Dora ve diğerleri, 1995, 2002; Chen ve diğerleri, 2002; Stampfli ve Borel, 2002; Gessner ve diğerleri, 2004; Gürsu ve diğerleri, 2004; Monod ve diğerleri, 2003; Neubauer, 2002; Koralay ve diğerleri, 2005; Candan ve diğerleri, 2001; Kröner ve Stern, 2005; Oberhänsli ve diğerleri, 2010). Bilindiği gibi Anadolu, dolayısıyla Menderes Masifi, Alp-Himalaya kuşağı içerisinde yer almakta olup Alpin yaşlı deformasyon ve onunla ilişkili çok ev-

reli metamorfizmayla büyük oranda yeniden şekillendirilmiştir. Günümüzde Menderes Masifi ve Mozambik Kuşağı arasındaki doğrudan bağlantı Alpin deformasyonu nedeniyle kopmuştur. Buna karşın masiften elde edilen granülit ve eklojit fasiyesi yaşları Türkiye'deki Menderes ve Bitlis masifleri (Okay ve diğerleri, 1985) gibi Pan-Afrikan temel içeren alanların Mozambik Okyanusu ile deneştirilmesini mümkün kılmaktadır. Bunlara ek olarak aynı veriler okyanusun kapanması ve Doğu-Batı Gondvana'nın final çarpışmasının Prekambriyen-Kambriyen sınırında gerçekleştiği düşüncesini de desteklenmektedir.

Yukarıda sunulan veriler ışığı altında Menderes Masifi'nin Pan-Afrikan temelinin yaklaşık 600 - 520 My zaman aralığına ilişkin tektonik ve metamorfik evrimi aşağıdaki ana başlıklar altında özetlenebilir:

1- Yaklaşık 590-580 My önce Menderes Masifi'nin en yaşlı birimleri olan paragnays ve mikasistlerin litarenit, subarkoz ve çamurtaşından yapılı, pasif kıta kenarı ortamını tanımlayan ilksel kayalar çökelmiştir (Dora ve diğerleri, 2001; Koralay ve diğerleri, 2005). Kristalin kayalardan yapılı bir provenanstan beslenen bu havza olasılıkla Mozambik Okyanusu içerisinde, Gondvana'nın kuzeyine yakın bir kesiminde yer almaktadır.

2- Söz konusu havzanın yaklaşık 580-540 My zaman aralığında Pan-Afrikan Orojenezi kapsamında kapanması çok evreli Pan-Afrikan metamorfizmasının gelişimine neden olmuştur. Bu metamorfik dönemin ilk evresinde çekirdeğe ait sedimentler yaklaşık 20 km derinliğe gömülmüş ve 730 °C sıcaklık ve 6 kbar basınç koşullarında granülit fasiyesi koşullarında metamorfizmaya uğramıştır. Bu derinlikte söz konusu yüksek-sıcaklık metamorfizması gelişimine neden olacak ekstra bir sıcaklık kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sıcaklık kaynağının kabuğu altlayan bir bazaltik magmadan sağlandığı düşünülmektedir. Pan-Afrikan temel içerisinde bulunan gabro/norit bileşimindeki sokulumlar bu düşüncüyü desteklemektedir.

3- Mozambik Okyanusu'nun kapanmasının ilerleyen evresinde, olasılıkla Doğu ve Batı Gondvana'nın çarpışması aşırı kabuk kalınlaşmasına neden olmuş ve temel kayalar ve onların içerisine sokulmuş olan gabrolar yaklaşık 50 km derinliğe gömülmüştür. Bu aşamada temel 644 °C sıcaklık ve minimum 15 kbar basınç koşullarında başkalaşıma uğramış ve bazik kayalarda gablo - eklojit dönüşümü gerçekleşmiştir.

4- Yüksek basınç metamorfizmasını izleyen evrede bir termal rahatlatma gerçekleşmeksizin Pan-Afrikan temel üzerindeki yükünden kurtulmuş ve eş sıcaklıkta basınç düşmesi mekanizması ile Barrow türü orta-basınç metamorfizması koşullarında (625 °C / 7 kbar) geri dönüşüme uğramıştır. Bu basınç azalması kayalarda yaygın migmatizasyon ve anatektik granit gelişimine neden olmuştur.

5- Pan-Afrikan orojenezinin son evresinde alt kabuktaki kısmi ergime sonucu, ortalama 550 My yaşlı (Loos ve Reischmann, 1999; 570-520 My), S-tipi devasa granit (ortognaysların ilksel kayaları) girişleri gerçekleşmiştir.

PALEOZOYİK - ERKEN TERSİYER ÖRTÜ SERİLERİNİN METAMORFİZMASI

Menderes Masifi'nin örtü serilerinin metamorfizmalarını açıklamaya yönelik, olasılı tektonik modeli tartışmadan önce bu serilerin en temel jeolojik özelliklerini başlıklar şeklinde özetlemek yararlı olacaktır. Bunlar; 1- Pan-Afrikan temel içerisinde eklojitlerin varlığıyla tanımlanan yüksek-basınç metamorfizması Pan-Afrikan Orojenezi ile ilişkilidir ve Alpin metamorfizması bu temel üzerinde sadece alt amfibolit fasiyesi koşullarında geri dönüşümlere neden olmuştur. 2- Pan-Afrikan temel Paleozoyik örtü serileri tarafından uyumsuz olarak üzerlenmektedir. 3-Paleozoyik serilerde bugüne değin sadece orta-basınç metamorfizmasına ilişkin veriler gözlenmiştir. 4- Paleozoyik ile Mesozoyik-Erken Tersiyer serileri arasındaki ilksel dokanak ilişkisi (uyumsuzluk) stratigrafiktir. 5- Örtü serilerinin Mesozoyik-Erken Tersiyer birimlerinde yüksek-

basınç metamorfizması ve onda geri dönüşümlere neden olan orta-basınç metamorfizması ve rileri saptanmıştır. 6- Örtü serilerinde istif olasılı Triyas diskordansı ile Eosene kadar devam etmektedir.

Bu temel özellikler ışığında, önce Paleozoyik ve Mesozoyik - Erken Tersiyer serileri arasında çelişkili gibi gözükken metamorfizma farklılığının olasılı nedenlerini tartışmak gerekmektedir. Bunlardan ilki Paleozoyik serilerinin de Alpinde yüksek-basınç metamorfizmasına uğramış olmasına karşın buna yönelik verilerin henüz bulunamamış olması zayıf bir ihtimal de olsa olası gözükmektedir. Bunun dışında, Paleozoyik serilerinde disten ve stavrolitin varlığı göz önüne alındığında, Paleozoyik serilerinin de Alpin yüksek-basınç / düşük sıcaklık metamorfizmasından etkilendiği, alt amfibolit fasiyesi koşullarına kadar ulaşan orta-basınç metamorfizması üzerlemesiyle bu toplulukların tümüyle geri dönüştürüldüğü düşünülebilir. Fakat Masifi'nin Aydın Dağları ve Yatağan güneyi gibi bölgelerinde Paleozoyik serilerin sadece klorit içeren, son derece düşük dereceli kayalardan yapıları olmalarına rağmen YB metamorfizması verileri içermemeleri bu olasılığı büyük oranda zayıflatmaktadır. Diğer bir olasılık, toplam kaya kimyasının mineral oluşumu üzerindeki etkisidir. Kayaların toplam Al, K ve Na içeriklerinin karfolit gelişiminde oldukça etkili olduğu düşünülmektedir (Rimmelé ve diğerleri, 2003). Karfolitler genelde Al'ca zengin, pirofillit ve disten içeren tortullarda ve/veya bu tortullar içerisindeki sin-metamorfik kuvars damarlarında gelişmektedir. Kayaların Al'ca fakir veya Na-K'ca zengin olmaları ise basınç / sıcaklık koşulları uygun da olsa karfolit gelişimini engellemektedir (Rimmelé ve diğerleri, 2003). Bu kapsamda Masif'teki fillitlerin albitçe son derece zengin olmaları, Paleozoyik serilerinde karfolit oluşumunun toplam kaya kimyasının uygun olmaması nedeniyle engellendiği düşünülebilir. Günümüzde bu olasılıkların hangisinin geçerli olduğunun ispatı için yeterli veri mevcut değildir. Fakat mevcut verilerle uyulaabilecek bir olasılık daha mevcuttur. Son çalışmalarla Alpin metamorfizması sırasında Masif'in kuvvetli iç ekaylanmaya uğradığı net

olarak ortaya konmuştur (Konak ve diğerleri, 1994; Partzsch ve diğerleri, 1998; Ring ve diğerleri, 1999; Gökten ve diğerleri, 2001). Bu durum göz önüne alındığında, Menderes Masifi'nin çekirdek ve örtü serilerinin çarpışma sırasında şiddetli iç ekaylanmaya uğraması ve farklı tektonik dilimlerin değişik derinliklere gömülmesi sonucu değişik koşullarda metamorfizmaya uğraması gerçekçi bir olasılık olarak gözükmemektedir. Paleozoyik serilerin gözlemlendiği tektonik dilimlerde, alt yeşilist fasiyesinden stavrolit - disten içeren amfibolit fasiyesi koşullarına kadar değişen çok farklı metamorfizma dereceleri gözlenmektedir. Öte yandan Pan-Afrikan temelden Tersiyer'e kadar uzanan örtü serilerinin orijinalde stratigrafik dokanaklarla birbirilerini üzerliyor olmalarına karşın temele ait birçok tektonik dilimin Mesozoyik serilerde gözlenen yüksek-basınç veya Paleozoyik serilerdeki amfibolit fasiyesine ulaşan orta-basınç metamorfizması verilerinden yoksun olması da bu görüşü desteklemektedir.

Tartışılması gereken diğer bir konu da Alpin yaşlı yüksek-basınç ve orta-basınç metamorfizmalarının göreceli yaş ilişkileridir. Paleozoyik serilerdeki Alpin orta-basınç metamorfizması ile Mesozoyik serilerdeki yüksek-basınç metamorfizması arasında doğrudan bir ilişki hiçbir yerde gözlenememiştir. Aynı bir tektonik olayın birbirini izleyen süreçleri olması gereken bu metamorfizmalarda iki olasılık vardır. Yüksek-basınç metamorfizmasının önce olması durumunda bu olaya ilişkin toplulukların üzerleyen orta-basınç metamorfizmasının sadece düşük dereceli olduğu kesimlerde korunmuş olması beklenmelidir. Orta-basıncın ilk olay olması durumunda ise üzerleyen yüksek-basınç metamorfizmasının sadece ilk metamorfizmanın düşük dereceli olduğu kesimlerde etkin olabildiği düşünülebilir. Fakat Neotetis Okyanusunun kapanması sırasında masifin binlerce metre kalınlığa sahip çekirdek ve örtü serilerinin tek parça olarak aynı derinliğe gömülmesi beklemek mümkün değildir. Masifin Alpin tektonik evrimi içerisinde şiddetli iç ekaylanmanın gerçekleşmiş olması durumunda, her dilimin kendi gömülme derinliğiyle ilişkili özgün bir metamorfik evriminin olması ve bunların da

birbirlerine benzeme zorunluluğunun olmaması gerektiği düşünülebilir. Özet olarak, kesin bir sonuca varmak için henüz yeterli bulgu mevcut olmamasına karşın mevcut jeolojik veriler değerlendirildiğinde, Masifin Alpin tektono-metamorfik evriminde çekirdek ve örtü serilerinin şiddetli iç ekaylanmaya uğradığı, oluşan tektonik dilimlerin farklı derinliklere gömülerek kendi özgün metamorfik evrimlerini yaşadıkları ve yüzeyleme sırasında bu dilimlerin bir araya geldiği anlaşılmaktadır.

Türkiye'nin genel tektonik çatısı içerisinde (Ketin, 1966; Okay ve diğerleri, 1996), İzmir-Ankara-Erzincan kenet çizgisinin güneyinde kalan bölge Anatolidler ve Toridler olmak üzere iki ana tektonik üniteye ayrılmaktadır. Anatolit-Torid Platformu'ndan türeme bu ünitelerin güncel jeolojik özellikleri Neotetis Okyanusu'nun kuzey kolunun Albien - Eosen evrimiyle doğrudan ilişkilidir (Şengör ve Yılmaz, 1981; Okay ve diğerleri, 2001; Rimmelé ve diğerleri, 2003; Candan ve diğerleri, 2005). Toridler'in metamorfik eşlenikleri olan Anatolitler, kuzeyden güneye doğru başlıca Tavşanlı Zonu, Afyon Zonu, Menderes Masifi ve Likya naplarından oluşan alt tektonik zonlara ayrılmaktadır. Bu genel çatı altında Menderes Masifi'nin Alpin tektono-metamorfik evriminin Anatolitler'i oluşturan diğer zonların evrimleriyle birlikte ele alınıp değerlendirilmesi gerektiği açıkça görülmektedir. Bu zonların Neotetis Okyanusu'nun kapanması ile ilişkili ortak evrimlerinde iki temel özellik göze çarpmaktadır. Bunlar; 1-Tektonik zonlarda platformun çökmesi ve pelajik ortam gelişiminde, 2-Bu zonların yüksek-basınç metamorfizmalarında kuzeyden güneye doğru düzenli bir gençleşme gözlenmektedir (Okay ve diğerleri, 2001; Candan ve diğerleri, 2005).

Neotetis Okyanusu'nun kuzey kolunun bir okyanus içi yitim zonu boyunca Albien'de kapanmaya başladığı ve Albien - Turoniyen zaman aralığında okyanusal litosferin büyük kesiminin yiterek tüketildiği kabul edilmektedir (Şengör ve Yılmaz, 1981; Okay ve diğerleri, 1998) (Şekil 13 A). Tavşanlı Zonu'nda Senomaniyen'de pelajik

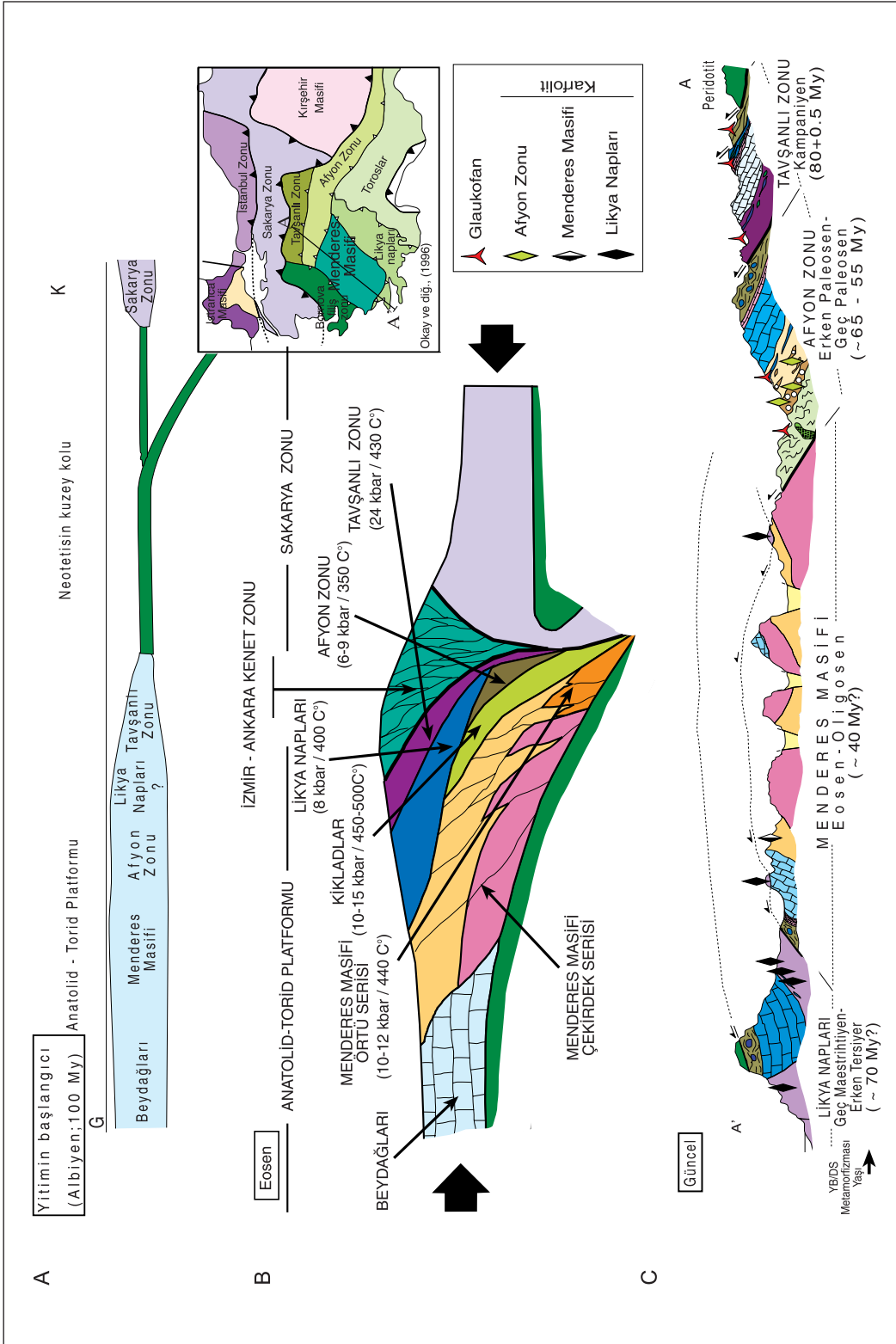
karbonat çökeliminin başlaması platformun üzerine tırmanmakta olan ve güneye doğru ilerleyen okyanusal litosfer yükü altında çökmeye başladığını göstermektedir. Litosferik mantonun tümüyle yitimini izleyen evrede, Anatolit-Torid Platformunun en kuzey kesimini oluşturan ve ileride Tavşanlı Zonu metamorfizmasına dönüşecek olan pasif kıta kenarı çökelleri okyanusal manto kaması ve yığılma prizmasından yapılu yük altına gömülmüştür (Şekil 13 B). Tavşanlı Zonu'ndan elde edilen basınç / sıcaklık koşulları (24 ± 3 kbar / 430 ± 30 °C; Okay, 2002) ve Ar-Ar fengit yaşları (80 ± 0.5 My; Sherlock ve diğerleri, 1999) Tavşanlı Zonu'nun Kampaniyen'de minimum 60 km derinliğe gömülerek yüksek-basınç metamorfizmasına uğradığını göstermektedir (Okay ve diğerleri, 1998; Çetinkaplan ve diğerleri, 2008). Turoniyen - erken Senoniyen'de Afyon Zonu ve Menderes Masifi'nde hala neritik karbonat çökelimi gerçekleşirken o sırada daha kuzeyde yer alan Likya naplarında Karaböğürtlen filizi çökmeye başlamıştır. Karfolitin varlığıyla tanımlanan petrolojik veriler Likya Napları'nın, 30 km derinliğe gömülmeye karşılık gelen 8 kbar basınç, 400 °C sıcaklık koşullarında yüksek-basınç / düşük-sıcaklık metamorfizmasına uğradığını göstermektedir (Oberhänsli ve diğerleri, 2001; Rimmelé ve diğerleri, 2005). Likya Napları'nın Erken Maestrihtiyen - Erken Tersiyer (Erken Paleosen?) de platformun iç ekaylanması ve güneye doğru geçmekte olan okyanusal litosfer diliminin altına gömülmesi sonucu metamorfizmaya uğradığı düşünülmektedir. Anatolit-Torid platformunun daha güney kesiminden türeyen Afyon Zonu'nda pelajik karbonat çökelimi ise erken Maestrihtiyen'de başlamakta ve bunlar Erken Paleosen yaşlı filiz tarafından üzerlenmektedir. Stratigrafik veriler, iç ekaylanmaya uğramış Afyon Zonu'nun Orta Paleosen'de güneye geçmekte olan Likya napları ve peridotit dilimi altına gömülerek yüksek-basınç metamorfizmasına uğradığını göstermektedir. Metamorfizma koşulları, 35 km gömülmeye karşılık gelen 6-9 kbar basınç ve 350 °C sıcaklık olarak belirlenmiştir (Candan ve diğerleri, 2005). Anatolidler'in en güney tektonik zonunu oluşturan Menderes Masifi'nde pelajik karbonat çökeli-minin geç Kampaniyen-geç Maestrihtiyen'de

başladığı ve bunlar Paleosen - Eosen yaşlı filiz çökelimiyle devam ettiği bilinmektedir (Özer ve diğerleri, 2001). Bu veri, ofiyolitlerin ve Likya Napları'nın platformun bu kesimine ulaştığını göstermektedir. Menderes masifi'nin Pan-Afrikan temelinin ve örtü serilerinin Alpin metamorfizması ile Likya Napları'nın güneye geçişi arasında zamansal / mekansal bir ilişkinin varlığına bir çok çalışmada değinilmektedir (Şengör ve diğerleri, 1984; Dora ve diğerleri, 1990, Bozkurt ve Park, 1994, 1999; Rimmelé ve diğerleri, 2003). Stratigrafik / paleontolojik veriler ve mika yaşları masifi etkileyen Barrow türü orta-basınç ve onunla eş yaşlı yüksek-basınç metamorfizmasının Eosen - Oligosen yaşlı olduğunu göstermektedir. Paleozoyik ve Mesozoyik örtü serilerinin çok farklı metamorfizma koşulları gösteriyor olmaları Likya Napları ve üzerleyen peridotit dilimi altına gömülen platformun çok şiddetli iç ekaylanmaya uğradığını ve oluşan tektonik dilimlerin farklı derinliklere gömüldüğünü göstermektedir. Örneğin, Triyas metaçakıllaşlarında, karfolit - disten bir aradalığı ile belirlenen 10-12 kbar basınç / 440 °C sıcaklık koşulları, bazı dilimlerin 35 km derinliğe kadar gömüldüğünü göstermektedir. Daha sık gömülmeye uğrayan dilimler ise Barrow türü orta-basınç metamorfizması koşullarında başkalaşıma uğramıştır. Eosen - Geç Oligosen zaman aralığında masifin üzerinde bir tortullaşmanın gerçekleşmemesi bu zaman sürecinde masif'in Likya Napları altında gömülü kaldığını göstermektedir. Masif üzerindeki en yaşlı tortul örtü olan Alt Miyosen şeylleri, masifin bu dönemde üzerindeki yükten kurtularak yüzeylediğini göstermektedir (Şekil 13 C).

SONUÇLAR

Menderes Masifi'nin Pan-Afrikan temel ve Paleozoyik - Erken Tersiyer örtü serilerinin çoklu metamorfik evrimlerine yönelik bulgulara dayalı sonuçlar aşağıda verilmektedir:

1- Pan-Afrikan Temel yüksek-sıcaklık granulit, yüksek-basınç eklojit ve orta-basınç üst amfibolit fasiyesi koşullarında çoklu metamorfizmanın varlığı ile tanımlanmaktadır.



2- Jeokronolojik veriler bu metamorfizmaların 580 - 540 My (Geç Neoproterozoyik) zaman aralığında (granulit fasiyesi: 583.0 ± 5.7 My; eklojit fasiyesi: 529.9 ± 22 My; üst amfibolit fasiyesi: 551-540 My) gerçekleştiğini göstermektedir.

3- Bu çoklu metamorfizma, Gondvana süper kıtasının bütünleşmesinin en son evresini oluşturan, Mozambik Okyanusu'nun kapanması ve Doğu - Batı Gondvana kıtalarının çarpışması süreciyle ilişkilidir. Bu süreçte temel derin gömülmeye uğramış ve yüzeyleme sırasında yüksek sıcaklık ve yüksek basınç metamorfizmaları orta basınç koşullarında etkin geri dönüşüme uğramıştır.

4- Masifin Paleozoyik - Erken Tersiyer örtü serilerinin Alpin metamorfizmaları Eosen-Oligosen yaşlıdır.

5- Bu metamorfizma, Neotetis Okyanusu'nun kuzey kolunun kapanması, kıtasal çarpışma, Anatolit-Torid Platformunun iç ekaylanmaya uğraması ve Platformun ileride Menderes Masifi'ni oluşturan kesiminin, daha kuzeyde bulunan Afyon Zonu ve güneye geçmekte olan Likya Napları ve ofiyolitik dilimin altına gömülmesi süreciyle ilişkilidir.

6- Bu süreçte Menderes Masifi şiddetli iç ekaylanmaya uğramış ve oluşan dilimler farklı derinliklere gömülmüştür.

7- Bazı Mesozoyik dilimler yüksek-basınç / düşük sıcaklık koşullarında değişime neden olabilecek, yaklaşık 35 km derinliğe kadar gömülmüştür.

8- Alpin metamorfizmasının Paleozoyik seriler ve Pan-Afrikan temel üzerindeki etkileri ise basınç olarak Barrow türü orta-basınç metamorfizmasının yeşilşist fasiyesi koşullarını tanımlamakta olup daha ender olarak koşullar alt amfibolit fasiyesine kadar ulaşmaktadır.

9- Pan-Afrikan temel ve Paleozoyik serilerinin de Alpin yüksek-basınç metamorfizmasından etkilenip etkilenmediği konusunda yeterli veri mevcut değildir.

KATKI BELİRTME

Bu makale, Masif'te yaklaşık 20 yıldır gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilen sonuçları kapsamaktadır. Bu süreç içerisinde bizleri 5 proje ile destekleyen TÜBİTAK'a (TBAG-688 ve 937, YDABÇAG-495, 554 ve 101 Y 132 Nolu projeler), 1994-1998 ve 2002-2006 yılları arasında 2 projeye yurtiçi ve yurtdışında destek sağlayan Volkswagen-Stiftung'a ve çok sayıdaki projemize destek sağlayan Dokuz Eylül Üniversitesi Rektörlüğü'ne teşekkürlerimizi sunarız.

Yayına verildiği tarih, 14 Ocak 2009

DEĞİNİLEN BELGELER

- Andersson, U.B., Ghebreab, W., Teklay, M. ve Whitehouse, M.J., 2000. Ages and character of crust-forming and metamorphic events in east-central Eritrea: new conventional and SIMS U-Pb and mineral P-T data. *Journal of African Earth Science*, 18th Colloquium of African Geology, vol. 30. Special Abstract Issue, 7.
- Ashworth, J. R. ve Evirgen, M., 1984. Mineral chemistry of regional chloritoid assemblages in the Chlorite Zone, Lycian Nappes, south-west Turkey, *Mineralogical Magazine*, 48, 159-165.
- Ayalew, T. ve Gichile, S., 1990. Preliminary U-Pb ages from southern Ethiopia. In: G.Rocci, M Deschamps (ed). *In recent data in African Earth Sciences*, CIFEG Occ. Publ. 22, 127-130.
- Başarır, E., 1970. Bafa gölünün doğusunda kalan Menderes Masifi güney kanadının jeolojisi ve petrografisi. *Ege Üniversitesi Fen Fakültesi İlmî Raporlar Serisi*, 102, 1-44.
- _____, 1975. Çine güneyindeki metamorfiklerin petrografisi ve bireysel indeks minerallerin doku içerisindeki gelişimleri. (Doçentlik tezi), Ege Üniversitesi YBİ, İzmir 87s, (yayımlanmamış).
- Bhattacharya, A., Mohanty, L., Maji, A., Sen, S.K. ve Raith, M., 1992. Non-ideal mixing in the phlogopite-allinite binary: contrasts from experimental data on Mg-Fe partitioning and a formulation of the biyotite - garnet geothermometer. *Contributions Mineralogy Petrology*, 111, 87-93.

- Bozkurt, E., 1996. Metamorphic conditions in the Palaeozoic schists of the southern Menderes Massif: field, petrographic and textural evidence. *Turkish Journal of Earth Science*, 5, 105-121.
- _____, 2004. Granitoid rocks of the southern Menderes Massif: field evidence for Tertiary magmatism in an extensional shear zone. *International Journal of Earth Science*, 93, 52-71.
- _____, ve Park, R. G., 1994. Southern Menderes Massif: an incipient metamorphic core complex in Western Anatolia, Turkey. *Journal of Geological Society London*, 151, 213-216.
- _____, Winchester, J.A. ve Park, R.G., 1995. Geochemistry and tectonic significance of augen gneisses from the southern Menderes Massif (West Turkey). *Geological Magazine*, 132, 287-301.
- _____, ve Park, G., 1999. The structure of the Palaeozoic schists in the Southern Menderes Massif, western Turkey: a new approach to the origin of the main Menderes Metamorphism and its relation to the Lycian Nappes. *Geodinamica Acta*, 12, 25-42.
- _____, ve Satır, M., 2000. The southern Menderes Massif (western Turkey): geochronology and exhumation history. *Geology Journal*, 35, 285-296.
- Brinkmann, R., 1967. Die Südfanke des Menderes-Massivs bei Milas, Bodrum und Ören, Scient. Representative Faculty Science, Ege University, Izmir, Turkey, 43.
- Bucher, K. ve Frey, M., 1994. Petrogenesis of metamorphic rocks. Springer-Verlag, 318p.
- Candan, O., 1993. Menderes Masifi'nin kuzeyinde Demirci - Borlu arasında kalan bölgenin petrografisi, petrolojisi ve metamorfizması. *Doğa - Türk Yerbilimleri Dergisi*, 2, 69-87.
- _____, 1994. Alaşehir kuzeyinde (Menderes Masifi, Demirci -Gördes Asması) gözlenen metagabroların petrografisi ve metamorfizması. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 37, 29-40.
- _____, 1995. Menderes Masifi'ndeki kalıntı granolit fasiyesi metamorfizması. *Turkish Journal of Earth Science*, 4, 35-55.
- Candan, O., 1996a. Aydın - Çine Asması'ndeki (Menderes Masifi) gabroların metamorfizması ve diğer asmasılarla karşılaştırılması. *Turkish Journal of Earth Science*, 5, 123-139.
- _____, 1996b. Kiraz - Birgi çevresindeki (Menderes Masifi / Ödemiş-Kiraz Asması) metagabroların petrografisi ve metamorfizması. *Yerbilimleri*, 18, 1-25.
- _____, Dora, Ö., Dürr, St. ve Oberhänsli, R., 1994. Erster Nachweis von Granulit und Eklogit - Relikten im Menderes - Massif / Türkei. *Göttingen Abh. Geol. Paläont. Sb.1 5. Symposium TSK*, 217-220.
- _____, _____, Oberhänsli, R. ve Dürr, St., 1995. Relicts of a high - pressure metamorphism in the Menderes Massif: Eclogites. *International Earth Sciences Colloquium on the Aegean Regions*, Güllük, 8-9.
- _____, ve _____, 1998. Menderes Masifi'nde granolit, eklogit ve mavi şist kalıntıları: Pan-Afrikan ve Tersiyer metamorfik evrimine bir yaklaşım. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 41/1, 1-35.
- _____, _____, Oberhänsli, R., Çetinkaplan, M., Partzsch, J. H. ve Dürr, S., 1998. Pan-African high-pressure metamorphism in the Precambrian basement of the Menderes Massif, Western Anatolia-Turkey. *Third International Turkish Geology Symposium*, Middle East Technical University - Ankara, 275.
- _____, ve Çetinkaplan, M., 2001. Menderes masifi'ndeki eklogit / epidot-mavi şist fasiyesi metamorfizması ve Kikladik kompleksle karşılaştırması. *YDABÇAG-495 nolu Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu projesi*. 182s (yayımlanmamış).
- _____, Dora, O.Ö., Oberhänsli, R., Çetinkaplan, M., Partzsch, J.H., Warkus, F. ve Dürr, S., 2001. Pan-African high-pressure metamorphism in the Precambrian basement of the Menderes Massif, Western Anatolia, Turkey. *International Journal of Earth Science (Geologische Rundschau)*, 89, 4, 793-811.
- _____, Çetinkaplan M., Oberhänsli R., Rimmelé, G. ve Akal C., 2005. Alpine high-pressure / Low

- temperature metamorphism of Afyon Zone and implication for metamorphic evolution of western Anatolia, Turkey. *Lithos*, 84, 102-124.
- Candan, O., Koralay, E., Dora, O., Chen, F., Oberhänsli, R., Akal, C., Satır, M. ve Kaya, O., 2006. Menderes Masifi'nde Pan-Afrikan Sonrası Uyumsuzluk: Jeolojik ve Jeokronolojik Bir Yaklaşım. 59. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri, Ankara, 25-27.
- _____, _____, _____, _____, Oberhänsli, R., Çetinkaplan, M., Akal, C., Satır, M. ve Kaya, O., 2007. Menderes Masifi'nin Pan-Afrikan temel stratigrafisi ve örtü - çekirdek serilerinin ilksel dokanak ilişkisi. *Menderes Masifi Kolokyumu*, İzmir, 8-13.
- Chen, F., Siebel, W., Satır, M. ve Terzioğlu, M.N., 2002. Geochronology of the Karadere basement (NW Turkey) and implications for the geological evolution of the İstanbul Zone. *International Journal of Earth Science*, 91, 469-481.
- Collins, A. S. ve Robertson, A. H. F., 1999. Evolution of the Lycian Allochthon, western Turkey, as a north-facing Late Palaeozoic to Mesozoic rift and passive continental margin. *Geology Journal*, 34, 107-138.
- _____, Santosh, M., Braunc, I. ve Clark, C., 2007. Age and sedimentary provenance of the Southern Granulites, South India: U-Th-Pb SHRIMP secondary ion mass spectrometry. *Precambrian Research*, 155, 1-2, 125-138.
- Çağlayan, A.M., Öztürk, E.M., Öztürk, Z., Sav, H. ve Akat, U., 1980. Structural observations on the southern Menderes Massif. Publication Chamber Geological Engineering Turkey (in Turkish with English summary), 10, 9-17.
- Çetinkaplan, M., 1995. Geochemical, mineralogical and petrographical investigation of the eclogites in southern part of Tire area, Ödemiş-Kiraz submassif of the Menderes Massif. Yüksek Lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 92s (yayımlanmamış).
- _____, Candan, O., Oberhänsli, R. ve Bousquet, R., 2008. Pressure-temperature evolution of lawsonite eclogites in Sivrihisar, Tavşanlı zone, Turkey. *Lithos*, 104, 12-32.
- Daiziel, I.W.D., 1991. Pasific margins of Laurentia and east Antarctica-Australia as a conjugate rift pair: Evidence and implications for an Eocambrian supercontinent. *Geology*, 19, 598-601.
- Dannat, C. ve Reischmann, T., 1998. Single zircon ages of migmatites from the Menderes Massif, SW Turkey. Program des Workshops 'Das Menderes Massif (Türkei) und seine nachbargebiete'. Mainz, Germany, 12.
- Dora, O.Ö., 1975. Menderes Masifi'nde alkali feldspatların yapısal durumları ve bunların perojenetik yorumlarda kullanılması. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 24, 91-94.
- _____, Kun, N. ve Candan, O., 1990. Metamorphic history and geotectonic evolution of the Menderes Massif. Proc. of International Earth Sciences Congress on Aegean Regions, İzmir/Turkey, 2, 102-115.
- _____, _____ ve _____, 1992. Menderes Masifi'nin metamorfik tarihçesi ve jeotektonik konumu. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 35/1, 1-14.
- _____, Candan, O., Dürr, S. ve Oberhänsli, R., 1995. New evidence on the geotectonic evolution of the Menderes Massif. International Earth Sciences Colloquium on the Eagean Region, İzmir-Turkey, 1, 53-72.
- _____, _____, Kaya, O., Koralay, E. ve Dürr, S., 2001. Revision of the so-called "leptite-gneisses" in the Menderes Massif: A supracrustal metasedimentary origin. *International Journal of Earth Science (Geologische Rundschau)*, 89/4, 836-851.
- _____, _____, _____ ve _____, 2002. Menderes Masifi'ndeki Leptit - Gnaysların Kökenlerinin Yeniden Yorumlanması, Metamorfizmaları ve Jeotektonik Ortamları .YDABÇAG - 554 nolu Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) projesi, 165 (yayımlanmamış).
- _____, _____, _____ ve Akal, C., 2005. Menderes Masifi Çine Asmasifindeki Koçarlı - Bafa - Yatağan - Karacasu arasında uzanan gnays / şist dokanağının niteliği: Jeolojik, tektonik,

- petrografik ve jeokronolojik bir yaklaşım. YDABÇAG - 101 Y 132 nolu Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu projesi, 197s (yayımlanmamış).
- Dürr, St., 1975. Über Alter und geotektonische Stellung des Menderes Kristallins / SW - Anatolien und seine Äquivalente in der Mittleren Aegean. Habilitation thesis University of Marburg, 107p (yayımlanmamış).
- Ellis, D.J. ve Green, D.H., 1979. An experimental study of the effects of Ca upon garnet - clinopyroxene Fe - Mg exchange equilibria. Contributions Mineralogy Petrology, 71, 13 - 22.
- Erdoğan, B. ve Güngör, T., 2004. The problem of the core - cover boundary of the menderes Masif and an emplacement mechanism for regionally extensive gneissic granite, Western Anatolia Turkey. Turkish Journal of Earth Science, 13, 15-36.
- Essene, E.J. ve Fyfe, W.S., 1967. Omphacite in Californian metamorphic rocks. Contributions Mineralogy Petrology 15 1-23.
- Ferry, J.M. ve Spear, F.S., 1978. Experimental calibration of the partitioning of Fe and Mg between biotite and garnet. Contributions Mineralogy Petrology, 66, 113-117
- Gessner, K., Collins, A., Ring, U. ve Güngör, T., 2004. Structural and thermal history of poly-orogenic basement: U-Pb geochronology of granitoid rocks in the southern Menderes Massif, Western Turkey. Journal of Geological Society London, 161, 93-101.
- Ghent, E.D. ve Stout, M.Z., 1984. Geobarometry and geothermometry of plagioclase-biotite-garnet-muscovite assemblages. Contributions Mineralogy Petrology, 76, 92-97.
- Gökten, E, Havzaoglu, T, ve Şan, Ö., 2001. Tertiary evolution of the central Menderes Massif based on structural evolution of metamorphics and sedimentary rocks between Salihli and Kiraz (western Turkey). International Journal of Earth Sciences, 89, 745-756.
- Graham, C.M. ve Powell, R., 1984. A garnet - hornblende geothermometer: calibration, testing and application to the Pelona schist, Southern California. Journal Metamorphic Geology, 2, 13-31.
- Gürsu, S., Göncüoğlu, C. ve Bayhan, H., 2004. Geology and geochemistry of Pre-early Cambrian rocks in the Sandıklı area: Implication for the Pan-African evolution of NW Gondwana. Gondwana Research, 7, 923-935.
- Hetzel, R. ve Reischmann, T., 1996. Intrusion age of Pan-African augen gneisses in the southern Menderes Massif and the age of cooling after Alpine ductile extensional deformation. Geological Magazine, 133, 5, 565 - 572.
- _____, Romer, R. Candan, O. ve Passchier, C.W., 1998. Geology of the Bozdağ area, central Menderes Massif, SW Turkey: Pan - African basement and Alpine deformation. Geologische Rundschau, 87, 394-406.
- Holland, T.J.B., 1980. The reaction albite = jadeite + quartz determined experimentally in the range 600 - 1200 °C. American Mineralogist, 65, 129-134.
- Hoschek, G., 1967. Untersuchungen zum Stabilitätsbereich von chloritoid und staurolith. Contributions Mineralogy Petrology, 14, 123-162.
- Hözl, S., Hofmann, A.W., Todt, W. ve Köhler, H., 1994. U-Pb geochronology of the Sri Lankan basement. Precambrian Research, 66, 123-149.
- İzdar, E., 1971. Introduction to geology and metamorphism of the Menderes Massif of western Turkey. Petroleum Exploration Society of Libya, 495-500.
- Ketin, İ., 1966. Tectonic units of Anatolia (Asia Minor). (In Turkish), Maden Tetkik Arama Enstitüsü Dergisi, 66, 20-34.
- Key, R.M., Charsley, T.J., Hackman, B.D., Wilkinson, A.F. ve Rundle, C.C., 1989. Superimposed Upper Proterozoic collision-controlled orogenies in the Mozambique orogenic belt of Kenya. Precambrian Research, 44, 197-225.
- Kohn, M.J. ve Spear, F.S., 1989. Empirical calibration of geobarometers for the assemblage garnet+

- hornblende + plagioclase + quartz. *American Mineralogist*, 74, 77-84.
- Konak, N., Akdeniz, N. ve Öztürk, E.M., 1987. Geology of the south of Menderes Massif, I.G.C.P. project no:5, Correlation of Variscan and pre-Variscan events of the Alpine Mediterranean mountain belt, field meeting, Mineral Research and Exploration Institute, Turkey, 42-53.
- _____, Çakmakoğlu, A., Elibol, E., Havzoğlu, T., Hepşen, N., Karamanderesi, I.H., Keskin, H., Sarıkaya, H., Sav, H. ve Yusufoglu, H., 1994. Development of thrusting in the median part of the Menderes Massif. Abstracts 47th Geology Congress Turkey-Ankara, 34.
- Koralay, O.E., Satır, M. ve Dora, O.Ö., 2001. Geochemical and geochronological evidence for Early Triassic calc-alkaline magmatism in the Menderes Massif, western Turkey. *International Journal of Earth Science*, 89, 822-835.
- Koralay, E., Chen, F., Candan, O., Dora, O.Ö., Satır, M. ve Oberhänsli, R., 2005. Pb-Pb geochronology of detrital zircons from Neoproterozoic paragneisses in the Menderes Massif, Turkey. *Internationals Earth Science Colloquium on the Aegean Regions*, İzmir-Turkey, 69.
- _____, _____, Oberhänsli, R., Wan, Y. ve Candan, O., 2006. Age of Granulite Facies Metamorphism in the Menderes Massif, Western Anatolia / Turkey : SHRIMP U-Pb Zircon Dating. 59. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri özleri, Ankara, 28-29.
- Krogh, E.J., 1988. The garnet - clinopyroxene Fe-Mg geothermometer- a reinterpretation of existing experimental data. *Contributions Mineralogy Petrology*, 99, 44-48.
- Kröner, A., 1984. Late Precambrian plate tectonics and orogeny: a need to redefine the term Pan-African. In: J Klerkx, J Michot (eds). *African Geology*, Tervuren: Musccc. R. l'Afrique Centrale, 23-28.
- _____, 1993. The Pan-African Belt of northeastern and eastern Africa, Madagascar, southern India, Sri Lanka and Eastern Antarctica: terrane amalgamation during formation of the Gondwana supercontinent. In: U. Thorweihe and H. Schandelmeyer (eds). *Geoscientific Research in Northeast Africa*. Rotterdam, Balkema, 3-9.
- Kröner, A., Greiling, R.O., Reischmann, T., Hussein, I.M., Stern, R.J., Durr, J. St., Kruger ve Zimmer, M., 1987. Pan African crustal evolution in north-east Africa. In: Kroner, A. (ed.). *Proterozoic Lithospheric Evolution American Geophysical Union*, Washington, DC, 69-94.
- _____, Jaeckel, P. ve Williams, I.S., 1994. Pb loss patterns in zircons from a high-grade metamorphic terrain as revealed by different dating methods: U-Pb; Pb-Pb ages for igneous and metamorphic zircons from northern Sri Lanka. *Precambrian Research*, 66, 151-181.
- _____, ve Stern, R.J., 2005. Pan-African Orogeny. *Encyclopedia Geology*, Volume-I, A to E, 1-12, Elsevier.
- Lal, R.K., 1993. Internally consistent recalibrations of mineral equilibria for geothermometry involving garnet-orthopyroxene-plagioclase-quartz assemblages and their application to the South Indian granulites. *Journal Metamorphic Geology*, 11, 855-866.
- Lips, A.L.W., Cassard, D., Sözbilir, H., Yılmaz, H. ve Wijbrans, J.R., 2001. Multistage exhumation of the Menderes massif, western Anatolia (Turkey). *International Journal of Earth Science*, 89, 781-792.
- Loos, S. ve Reischmann, T., 1999. The evolution of the southern Menderes massif in SW Turkey as revealed by zircon dating. *Journal of Geological Society London*. 156, 1021-1030.
- Maboko, M.A.H., McDougall, I. ve Zeitler. P.K., 1989. Dating Late Pan-African cooling in the Uluguru granulite complex of eastern Tanzania using ⁴⁰Ar-³⁹Ar technique. *Journal of African Earth Science*, 9, 159-167.
- Monod, O., Kozlu, H., Ghienne, W., Dean, W.T., Günay, Y., Herisse, A. ve Paris. F., 2003. Late Ordovician glajiation in southern Turkey. *Terra Nova*, 15, 4, 249-257.
- Neubauer, F., 2002. Evolution of Late Neoproterozoic to Early Palaeozoic tectonic elements in central

and southern European Alpine mountain belt: review and synthesis. *Tectonophysics*, 352, 87-103.

- Newton, R.C. ve Perkins, D., 1982. Thermodynamic calibration of geobarometers based on the assemblages garnet-plagioclase-orthopyroxene (clinopyroxene) - quartz. *American Mineralogist*, 67, 203 - 222.
- Oberhänsli, R., Candan, O., Mezger, K., Dora, Ö. ve Dürr, St., 1995a. Eclogites and granulites in the Menderes Massif, Western Turkey. *Strasbourg. EUG 8, Terra abstracts*, 8.
- _____, _____, Mezger, K., Dora, O. ve Dürr, S., 1995b. High pressure relics in the Menderes Massif, Turkey. *Bochumer Geol. und Geotech. Abr.* 44, 132-133.
- _____, _____, Dora, O.Ö. ve Dürr, St., 1997. Eclogites within the Menderes Crystalline Complex / western Turkey / Anatolia. *Lithos*, 41, 135-150.
- _____, Partzsch, J. H., Çetinkaplan, M. ve Candan, O., 1998. HP record in the Lycian nappes (Western Turkey). *Third International Turkish Geology Symposium, Middle East Technical University, Ankara*, 274.
- _____, Candan, O. ve Wilke, W., 2010. Geochronologic Evidence of Pan-African Eclogites from the Menderes Massif, Turkey. *Turkish Journal of Earth Science*, (baskıda).
- Oelsner, F., Candan, O. ve Oberhänsli, R., 1997. New evidence for the time of the high-grade metamorphism in the Menderes Massif, SW-Turkey. *Terra Nostra*, 87. Jahrestagung der Geologischen Vereinigung e.v., Fundamental geologic processes, 15.
- Okay, A.I., 2001. Stratigraphic and metamorphic inversions in the central Menderes Masif: a new structural modal. *International Journal of Earth Science*, 89, 709-727.
- _____, 2002. Jadeite - Chloritoid - glaucophane - lawsonite blueschists in North-west Turkey: unusually high P/T ratios in continental crust. *Journal Metamorphic Geology*, 20, 757-768.
- _____, Arman, M.B. ve Göncüoğlu, M.C., 1985. Petrology and phase relations of the kyanite-eclogites from eastern Turkey. *Contributions Mineralogy Petrology*, 91, 196-204.
- Okay, A., Satır, M., Maluski, H., Siyako, M., Monie, P., Metzger, R. ve Akyüz, S., 1996. Palea - and Neo-Tethyan events in northwestern Turkey: Geologic and geochronologic constraints. In: Yın, A and Harrison M (eds). *Tectonic of Asia*. Cambridge University Press, 420-441.
- _____, Harris, N. ve Kelley, S., 1998. Exhumation of blueschists along a Tethyan suture in northwest Turkey. *Tectonophysics*, 285, 275-299.
- _____, Tansel, I. ve Tüysüz, O., 2001. Obduction, subduction and collusion as reflected in the Upper Cretaceous - Lower Eocene sedimentary record of western Turkey. *Geological Magazine*, 138, 2, 117-142.
- Özer, S., Sözbilir, H., Özkar, I., Toker, V. ve Sarı, B., 2001. Stratigraphy of Upper Cretaceous-Palaeogene sequences in the southern and eastern Menderes Massif (Western Turkey). *International Journal of Earth Science*, 89, 4, 852-866.
- Paquette, J.L., Nedelec, A., Monie, B. ve Rakotondrzafy, M., 1994. U-Pb single zircon Pb-evaporation and Sm-Nd isotopic of granulitic domain in SE Madagascar. *Journal Geology*, 102, 523-538.
- Perchuk, L.L. ve Lavrent'eva, I.V., 1983. Experimental investigation of exchange equilibria in the system cordierite-garnet-biotite. In: Saxena SK (ed). *Kinetics and equilibrium in mineral reactions. Advances in physical geochemistry 3*. Springer, 199-239.
- Regnier, J.L., Ring, U., Paschier, C.W., Gessner, K. ve Güngör, T., 2003. Contrasting metamorphic evolution of metasedimentary rocks from Çine and Selimiye nappes in the Anatolide belt, western Turkey. *Journal Metamorphic Geology*, 21, 699-721.
- Rimmelé, G., Oberhänsli, R., Goffe, B., Jolivet L., Candan, O. ve Çetinkaplan, M., 2002. High-pressure rocks from the Lycian nappe complex and the southern Menderes Massif: Implication for tectonic evolution of Southwest Turkey. 1st

- international Symposium of Istanbul Technical University, 102.
- Rimmelé, G., Oberhänsli, R., Goffé, B., Jolivet, L., Candan, O. ve Çetinkaplan, M., 2003. First evidence of high-pressure metamorphism in the "cover series" of the southern Menderes Massif: Tectonic and metamorphic implications for the evolution of SW Turkey. *Lithos*, 71, 19-46.
- _____, Para, T., Goffé, B., Oberhänsli, R., Jolivet, L. ve Candan, O., 2005. Exhumation paths of high-pressure - low- temperature metamorphic rocks from the Lycian Nappes and the Menderes Massif (SW Turkey): a multi-equilibrium approach. *Journal Petrology*, 46, 3, 641-669.
- Ring, U., Gessner, K., Güngör, T. ve Passchier, C., 1999. The Menderes Massif of western Turkey and the Cycladic Massif in the Aegean-do they really correlate? *Journal of Geological Society London*, 155, 3-6.
- _____, Kröner, A., Buchwald, R., Toulkeridis, T. ve Later, P., 2002. Shear zone patterns and eclogite-facies metamorphism in the Mozambique belt of northern Malawi, east-central Africa: implication for assembly of Gondwana. *Pre-cambrian Research*, 116, 19-56.
- Satır, M. ve Friedrichsen, H., 1986. The origin and evolution of the Menderes Massif, W-Turkey: A rubidium/ strontium and oxygen isotope study. *Geologische Rundschau*, 75/3, 703-714.
- Schilling, R.D., 1962. On petrology, age and structure of the Menderes migmatite complex (SW - Turkey). *Mineral Research and Exploration Institute*, 58, 71-84.
- Sherlock, S., Kelley, S., Inger, S., Harris, N. ve Okay, A., 1999. Ar-Ar and Rb-Sr geochronology of high-pressure metamorphism and exhumation history of the Tavşanlı Zone, NW Turkey. *Contributions Mineralogy Petrology*, 137, 46-58.
- Shiraishi, E.D.J., Hiroi, Y., Fanning, C.M., Motoyoshi, Y. ve Nakai, Y., 1994. Cambrian orogenic belt in east Antarctica and Sri Lanka: Implications for Gondwana assembly *Journal Geology*, 102, 47-65.
- Stampfli, G.M. ve Borel, G.D., 2002. A plate tectonic model for the Palaeozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrones. *Earth Planetary Science Letter*, 196, 17-33.
- Stern, R.J., 1994. Arc assembly and continental collision in the Proterozoic east African orogen: Implications for the consolidation of Gondwanaland. *Annual Review Earth Planet Science*, 22, 319-351.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- _____, Satır, M. ve Akkök, R., 1984. Timing of tectonic events in the Menderes Massif, western Turkey. Implications for tectonic evolution and evidence for Pan-African basement in Turkey. *Tectonics*, 3, 7, 693-707.
- Partzsch, J. H., Oberhänsli, R., Candan, O. ve Warkus, F., 1998. The Menderes Massif, W-Turkey: A complex nappe pile recording 1.0 Ga of geological history. *Third International Turkish Geology Symposium, Middle East Technical University, Ankara*, 281.
- Unrug, R., 1996. The assembly of Gondwanaland. *Episodes*, 19, 1-2, 11-20.
- Warkus, F., 2001. Untersuchungen an hochdruckrelikten im zentral Menderes Massiv, W-Turkey. PhD thesis, Institut für Geowissenschaften, Universität Potsdam, 80p, (yayımlanmamış).
- _____, Partzsch, J. H., Candan, O. ve Oberhänsli, R., 1998. The tectono-metamorphic evolution of the Birgi - Tire nappe in the Menderes Massif, SW-Turkey. 7.Symposium tektonik-sütrukturgeologie - kristallineologie, Freiburger Forschungsheft, C-471, 237-238.
- Whitney, D.L. ve Bozkurt, E., 2002. Metamorphic history of the southern Menderes massif, western Turkey. *Geological Society American Bulletin*, 114, 7, 829-838.
- Wilson, T.J., Grunow, A.M. ve Hanson, R.E., 1997. Gondwana assembly: The view from southern Africa and east Gondwana *Journal Geodynamics*. 23, (3-4), 263-286.

bos sayfa