

Menderes Masifi'nin Geç Senozoyik'te Asimetrik ve Simetrik Çekirdek Kompleksi Olarak Yüzeyleme ve Parçalanma Tarihiçesi
Asymmetric and Symmetric Core Complex Formation in The Menderes Massif: Its Exhumation and Fragmentation History

Veysel IŞIK ve Gürol SEYİTOĞLU

*Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü,
Tektonik Araştırma Grubu TR-06100, Tandoğan, Ankara (isik@eng.ankara.edu.tr)*

ÖZET

Giriş

Literatürde, Menderes masifi olarak tanımlanan Menderes çekirdek kompleksi Ege'deki kristalin temel alanlardan biridir. Masifin Prekambriyen-Erken Paleozoyik çekirdek kayaları ile bunları örten Paleozoyik-Mezozoyik örtü kayalarından oluştuğu yönünde yaygın bir kanı bulunmaktadır (örn. Şengör ve diğ., 1984, Dora ve diğ., 1990). Bu yaşlar, kristalen nitelikli bu kayaların genel anlamda çökme ve/veya sokulum yaşlarını belirtir. Masifin diğer kristalen kaya türünü genç granitoid intrüzyonları oluşturur (örn. Bingöl ve diğ., 1982, Işık ve diğ., 2004a, 2004b). Masif kayaları Alpin öncesi ve Alpin dönemi çok-fazlı deformasyon ve metamorfizma özelliği sunmaktadır (örn. Candan ve Dora 1998). Alpin orojenez dönemi, tüm Türkiye'de olduğu gibi Menderes Masifi'ni temsil eden alan için de önemli jeolojik değişimlerin geliştiği bir dönemdir (Şengör ve Yılmaz 1981).

Metamorfik çekirdek kompleksi (MÇK) kavramı, 1980'li yılların başında kristalen masiflerin Senozoyik yüzeyleme mekanizmalarını açıklamak için ortaya atılmıştır (örn. Coney 1980). Lister ve diğ., (1984)'in Ege gerilme alanında, MÇK oluşumunu ortaya koyması sonrasında bu alan içerisindeki masiflerin MÇK olarak yüzeyleyip yüzeylemediği sorusuna yanıt aramak için çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Son 20 yıl içerisinde Ege gerilme alanında Tersiyer MÇK oluşumları tanımlanmıştır. 1990'lı yıllardan itibaren Menderes masifine bu gözle bakılarak yapılan jeolojik incelemelerde, farklı araştırmacı grupları masifin bir MÇK olduğu yönünde fikir birliği içindedirler (örn. Bozkurt ve Park 1994, Hetzel ve diğ., 1995a, Emre ve Sözbilir 1997, Işık ve Tekeli 2001, Gessner ve diğ., 2001). Ancak bu görüşü benimsemeyen çalışmalar da bulunmaktadır (örn. Erdoğan ve Güngör 2004, Westaway 2006). MÇK yüzeylemeleri asimetrik ve simetrik özellikte olabilir (Malavieille 1993). Menderes çekirdek kompleksinin asimetrik mi?, yoksa simetrik mi? olduğu tartışma konusudur. Bir grup araştırmacı masifin simetrik bir çekirdek kompleksi karakteri gösterdiğini savunurken

(Ring ve diğ., 2003) diğer bir grup araştırmacı masifin yüzeyleyemesinin asimetric çekirdek kompleksi olarak başladığını yüzeylemenin ilerleyen evresi içerisinde simetric çekirdek kompleksi olarak gelişimini sürdürdüğünü ortaya koymuştur (Seyitoğlu ve diğ., 2004).

Bu çalışma ile Menderes masifinin Senozoyik dönemde çekirdek kompleks olarak asimetric ve simetric olarak nasıl bir gelişim sergilediği özetlenecektir.

Litoloji

Masif, litolojik olarak temelde magmatik ve sedimanter kökenli değişen oranlarda metamorfizma gösteren kayalar ile bunlar içerisine sokulum yapmış granitoid intrüzyonlarından oluşur. Genel olarak, orta–yüksek dereceli metamorfizmler ile genç intrüzyonlar Menderes çekirdek kompleksinin alt levha kayalarını oluşturur. Kompleks içerisinde alt levha kayaları, milonit türü kayalar (protomilonit, milonit, ultramilonit, blastomilonit) ile bölgesel metamorfizma özellikli şist, gnays, mermer litolojileri ve granodiyorit, monzonit, granit ve az oranda ise daha mafik bileşimli granitoid intrüzyonlar ile temsil olur. Milonitik kayaların protoliti hem metamorfik hemde granitoid türü kayalardır. Üst levha kayaları ise şist, fillit, sleyt türü litolojiler yanında ofiyolitli melanja ait kayalar ve havza çökeltileri ile temsil olur. Menderes çekirdek kompleksinin her kesiminde bu litolojilerin tamamını görmek olası değildir. Alt ve üst levha kayalarını sıyrılmaya fayları ve sınımlı makaslama zonları ayırır.

Yapı

Menderes çekirdek kompleksi, gerilme rejimi nitelikli makro-, mezo- ve mikro ölçekte penetratif karakterde gelişmiş yapılara sahiptir. Kompleksin makroskobik yapılarını masif alanı içerisinde sıyrılmaya fayları ve bunlar ile ilişkili makaslama zonları oluşturur. Ayrıca kompleksin bugünkü topografyasının oluşumunu denetler yüksek-açılı normal faylanmalar yaygındır. Güneybatı Anadolu’da güneyden kuzeye doğru Likya (Rimmele ve diğ., 2003), Büyük Menderes (Emre ve Sözbilir 1997, Gessner ve diğ., 2001), Alaşehir (Hetzl ve diğ., 1995b, Işık ve diğ., 2003a) ve Simav (Işık ve Tekeli 2001, Işık 2004) sıyrılmaya fayları tanımlanmıştır. Bu fayların bazıları bir sıyrılmaya fayının tüm özelliklerini (örn. Fay yüzeyi, sınımlı-gevrek geçişi, sin-tektonic granitoid yerleşimi) gösterir konumdadır (Işık ve diğ., 2003a). İlk kez Bozkurt ve Park (1994) tarafından detaylı incelenen Kayabükü makaslama zonu (Işık ve diğ., 2003b, 2004a) veya güney Menderes makaslama zonu (Bozkurt 2007) da gerilmeli rejimi temsil eden önemli alanlardandır. Yüksek-açılı normal faylar bölgedeki ya KD-gidişli ya da yaklaşık D-B-gidişli havzaları denetler ve/veya keser durumdadır.

Kompleks içerisindeki mezoskopik yapıları gerilmeli foliyasyon, lineasyon ve gerilmeye paralel gelişen kıvrımlar oluşturmaktadır. Kompleks kayalarının milonitik ve/veya milonitik olmayan egemen foliyasyon doğrultuları KD ve KB'dır. Lineasyon yapıları uzama lineasyonu, daha az oranda mineral lineasyonu ile temsil olur. Bunların egemen yönelimleri KD-GB yönünde, dalımları ise KD ve GB'yadır. Gerilmeye paralel gelişen kıvrım yapılarının eksen yönelimleri, lineasyonlar ile benzer yapısal durumdadır. Bu da yapıların aynı tektonik rejim içerisinde oluştuğunu belirtir.

Menderes çekirdek kompleksi kayalarının mikro yapısal özellikleri deformasyonun (sünümlü, gevrek) penetratif boyutunu ve kinematik özelliklerini daha net olarak ortaya koymaktadır. Özellikle literatürde deneysel çalışmalar ile de desteklenmiş ve kompleksi oluşturan kayalar içerisinde yaygınca bulunan kuvars, feldispat, mika minerallerinin deformasyon özellikleri sünümlü deformasyonun amfibolit fasiyesi koşullarına kadar ulaştığını belirtmektedir. Kayalar içerisindeki diğer minerallerin petrografik özellikleri de bu koşulları destekler şekildedir. Masifin yükselmesi ve buna bağlı ortam koşullarının değişmesi, komplekste yaygın yeşilist fasiyesi koşullarını temsil eden deformasyon oluşumlarının gözlenmesine neden olmaktadır. Sünümlü ve gevrek deformasyonun kinematiklerini ortaya koyan pek çok belirteç, kompleks kayalarında bulunur. Sünümlü belirteçler (asimetrik porfiroklast, S-C-C' fabrik, asimetrik foliyasyon, V-şekilli yapılar gibi) öncelikle kompleksin tümüyle yaygın K-KD yönelimli hareket ile yüzeyleme eğilimi sunduğunu belirtmektedir. Ancak masifin bir bölümünden itibaren K-KD yönelimli yapıların G-GB yönelimli kinematik yapılar tarafından üzerlendiği gözlenmektedir. Bu durum masifin asimetrik yüzeylemesinin ilerleyen zaman içerisinde simetrik çekirdek kompleksi olarak sürdürdüğünü ortaya koymaktadır. Sıyrıma fay yüzeyleri ve buralardaki gevrek kinematik belirteçler sünümlü yapıların yönelimleri ile uyum gösterir.

Yaş verileri

Menderes masifinin yaşı ile ilgili farklı çalışmalarda değişik yorumlar bulunmaktadır. Kompleksin yüzeylemesine ilişkin yaşları, sedimanter havzalardan elde edilen yaşlar ve masiften elde edilen yaşlar olarak ayırt etmek mümkündür. Sedimanter havzalardan elde edilen verileri palinolojik, mikromemeli ve volkanik kayalarından elde edilen izotopik yaşlar oluşturur. Kompleksin kristalen kayalarından ise Rb-Sr, K-Ar, Ar-Ar, U-Pb, Pb-Pb metodları ile elde edilmiş yaş verileri bulunmaktadır. Senozoyik havzalardan elde edilen izotopik ve palinolojik sonuçlar Erken-Orta Miyosen (örn. Seyitoğlu ve Scott, 1991; Seyitoğlu ve diğ., 1992; Seyitoğlu 1997) yaşını verirken, mikromemeli sonuçları Erken Miyosen'den Pliyosen'e

stratigrafik konumlarına göre değişik yaşlar sunar (örn. Sarıca 2000, Kaya ve diğ., 2007). Masiften elde edilen izotopik yaş verileri ise Eosen sonrasında itibaren masifin yüzeylemeye başladığını ve yüzeylemesinin Oligosen-Miyosen’de gerçekleştiğine işaret eder (örn. Hetzel ve Reischmann 1996, Lips ve diğ., 2001, Ring ve diğ., 2003, Işık ve diğ., 2004a). Bu veriler arazi verileri ve sedimanter havzalardan elde edilen yaşlar ile uyumlu olup, ayrıca Ege gerilme alanında ortaya konulan (örn. Dinter ve diğ., 1995, Jolivet ve diğ., 1996, Bröcker ve Franz 1998, Lips ve diğ., 2000, Okay ve Satır 2000) diğer çekirdek kompleksler benzer yaş aralıklarına sahiptir (Işık ve diğ., 2004a).

Tartışma ve Sonuçlar

Yukarıda belirtilenler, Menderes Çekirdek Kompleksinin Senozoyik döneminde gerilme rejimini temsil eden özelliklerdir. Arazi gözlemleri, mikro tektonik çalışmalar, izotopik ve paleontolojik yaş verileri ve bölgesel jeoloji yorumları Menderes çekirdek kompleksinin aşağıdaki gibi bir yüzeyleme tarihçesi geçirdiğini ortaya koymaktadır: Menderes-Toros platformu ile Sakarya kıtasının-çarpışması bölgedeki Alpin sıkışma rejimini temsil etmektedir (Şengör ve Yılmaz 1981). Şengör ve diğ., (1984)’ne göre Menderes-Toros platformuna ait tektonik dilimler ile İzmir-Ankara kenet zonunu temsil eden ofiyolitik tektonik dilimlerin yığılımı yaygın metamorfizma oluşumuna sebebiyet vermiştir (ana Menderes metamorfizması). Eosen sonunda bölgedeki Alpin sıkışmalı rejim, genişlemeli rejim olarak gelişmeye başlar. Bu yorum izotopik yaş verileri ile desteklenmektedir (örn. Hetzel ve Reischmann 1996). Menderes masifinin çekirdek kompleksi olarak yüzeylemeye başlaması, masifin oldukça güneyinde ve Seyitoğlu ve diğ., (2004) tarafından tanımlanan Datça–Kale ana ayrılma (main break-away) fayının gelişimidir. KD yanal devamlılığa sahip bu fay, Batı Anadolu’nun güneydoğu kesimindeki genç havzalarca örtülürken masif alanında kuzeyde Simav sıyrılma fayı ile ilişkilidir. Bu faylar ve ilişkili sünümlü makaslama zonlarının K-KD yönelimli kinematik özellikleri, masifin asimetric çekirdek kompleksi olarak yüzeyletiğini ortaya koymaktadır (Seyitoğlu ve diğ., 2004). Bu oluşum Ring vd (2003) tarafından simetric çekirdek kompleksi olarak yorumlanmıştır. Bölgedeki Alpin gerilme rejimi derindeki gömülü kristalen kayaların yüzeye çıkmasını denetlemesi yanında bu alanlarda sintektonik granitoid sokulumlarının gelişimine ve havzaların oluşumuna neden olmuştur. Masifin kuzey kesiminde bulunan ve yaklaşık KD-GB-gidişli Senozoyik yaşlı havzalar, gerilmeye bağlı senklinoryum yapılarını kullanarak kenarları normal fay kontrollünde oluşurken masifin orta kesiminde birbirine zıt yönde gelişen sıyrılma fayları (Alaşehir; K’ye eğimli, Büyük Menderes; G’ye eğimli) masifin artık simetric olarak yükselmesini (örn. Hetzel

ve diğ., 1995a, Gessner et al. 2001, Ring ve diğ., 2003, Seyitoğlu ve diğ., 2004) ve D-B-gidişli havzaların oluşumunu sağlar. Bu havzaların evrimi ile yapılmış çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Örn. Seyitoğlu ve Scott 1996, Koçyiğit ve diğ., 1999, Bozkurt 2000, Seyitoğlu ve diğ., 2002, Bozkurt ve Sözbilir 2004). Masifin asimetric ve simetric çekirdek kompleksi olarak yüzeylemesi sırasında ve sonrasında gelişen yüksek-açılı faylar ile masifin oldukça parçalı bir yapı kazandığı görülmektedir.

Sonuç olarak; (a) Menderes masifi bir metamorfik çekirdek kompleksi olarak yüzeylemiştir. Yüzeyleme güneyde Datça-Kale ayrılma fayından itibaren kuzeydeki Simav sıyrılma fayı boyunca asimetric olarak gelişirken ilerleyen yüzeyleme evresinde Alaşehir ve Büyük Menderes sıyrılma fayları kompleksin simetric yüzeylemesine neden olmuşlardır. (b) Sünümlü deforme kayalar içerisindeki kinematik belirteçler kompleksin Oligosenden itibaren üst-K-KD yönelimli gerilme rejimine bağlı yüzeyletiğini ortaya koyarken Miyosen döneminde kompleksin hem K-KD hemde G-GB deformasyon yapıları sunduğunu gösterir. Bu durum kompleksin asimetric ve ardından simetric bir oluşum evresi geçirdiği şeklinde yorumlanmaktadır. (c) Masifin yüzeylemesi sırasında sıyrılma fayları ve yüksek-açılı normal faylar bölgedeki genç havza oluşumlarını denetlemiştir.

ABSTRACT

Introduction

The Menderes core complex, commonly called the Menderes massif in the literature, is one of the crystalline basements in the Aegean region. It is generally stated that the massif is characterized by Precambrian-Early Paleozoic core rocks and Paleozoic-Mesozoic cover rocks (e.g. Şengör et al. 1984, Dora et al. 1990). The ages documented above commonly indicate age of deposition and/or intrusion of these rocks. Young granitoid intrusions have formed the other crystalline rocks types in the massif (e.g. Bingöl et al. 1982; Işık et al. 2004a, 2004b). Rocks in the massif display poly-phase deformation and metamorphism of Pre-Alpine and Alpine age (e.g. Candan and Dora 1998). Alpine orogeny has caused significant change in the regional geology of the Menderes massif, as seen in entire Turkey (Şengör and Yılmaz 1981).

At the beginning of 1980's, the metamorphic core complex (MCC) concept was presented to explain for exhumation mechanism of crystalline massifs (e.g. Coney 1980). After MCC formation was manifested by Lister et al. (1984) in Aegean extended region, several studies have been carried out to clarify the question that whether or not formations of the metamorphic core complexes were widespread in the region. Since the last two decades, Tertiary metamorphic core complexes have been documented in Aegean extended region. After 1990's, the geological studies in the Menderes massif

have been regarded as virtually MCC, which there has been mostly agreement among the researchers who studied in the Menderes massif (e.g. Bozkurt and Park 1994, Hetzel et al. 1995a, Emre and Sözbilir 1997, Işık and Tekeli 2001, Gessner et al. 2001). However, some of researchers are not agree with the view of MCC occurred in western Anatolia (e.g. Erdoğan and Güngör 2004, Westaway 2006). The MCC formations can be either asymmetric or symmetric (Malavieille 1993). There are controversial models about the exhumation style of the Menderes core complex. While some workers have advocated that the complex display a symmetric core complex features (Ring et al. 2003), the others suggest that the massif first exhumed as an asymmetric core complex, and further exhumation occurred in a symmetric fashion (Seyitoğlu et al. 2004).

In this study, we summarize how the Menderes massif evolves as both an asymmetric and a symmetric core complex.

Lithology

The massif, basically, contain magmatic and sedimentary rocks record with various degree of metamorphism and young granitoids that were intruded into them. In the lower plate of the Menderes core complex are middle- high-grade metamorphites and young granitoids. The lower plate rocks include a variety of mylonitic rocks, (protomylonite, mylonite, ultramylonite, blastomylonite), schists, gneisses, marbles occurred in regional metamorphism, and granitoid intrusions, including granodiorite, monzonite, granite, plus minor rocks with mafic composition. The protoliths of the mylonites are either metamorphic or granitic rocks. The upper plate rocks are comprised of low-grade metamorphites (schist, phyllite, slate), rocks of ophiolitic mélange and basin deposits. It is not possible to observe all these exposures in everywhere of the Menderes massif. Detachment faults and ductile shear zones juxtapose rocks of the lower plate against rocks of the upper plate.

Structure

The Menderes core complex contains penetrative structures with macro-, meso- and micro-scale. Macro-scale structures in complex involve detachment faults and associated shear zones. In addition, High-angle normal faults are commonly found in the complex, which they appear to be put into recent topography of massif. From the south through the north the Lycian (Rimmele et al 2003), Büyük Menderes (Emre and Sözbilir 1997, Gessner et al. 2001), Alaşehir (Hetzel et al. 1995b, Işık ve diğ., 2003a), and Simav (Işık and Tekeli 2001, Işık 2004) detachment faults have been recognized in southwestern Anatolia. Typical features of detachments (e.g. fault surface, ductile-brittle transition, syn-tectonic granitoid intrusion) can be seen in some of these faults (Işık et al. 2003a). The Kayabükü shear zone (Işık et al. 2003b, 2004a), or the southern Menderes shear zone (Bozkurt 2007), first studied by Bozkurt and Park (1994), is an area representing features of extensional regime. In the region, deposition of the NE-trending and the E-W trending basins have been controlled and/or later cut by high-angle normal faults.

Meso-scale structures within the complex are represented by extensional foliation, lineation and extension-parallel folding. Mylonitic and non-mylonitic foliations have a general strike of NE and NW. Lineations are characterized by stretching and mineral lineations trending NE-SW. They plunge to NE and SW. Coincident with axis trending of extensional-parallel folding and mineral lineation have been interpreted that both structures occurred in the same tectonic regime.

Micro-scale structures in the Menderes core complex define very well, that how rocks were penetratively effected by deformation (ductile, brittle) and that rocks include kinematic features. Deformational features of rock minerals, such as quartz, feldspar and mica, in the complex indicate that ductile deformation have attained amphibolite facies conditions. Petrographical features of some minerals in these rocks of the complex appear to support amphibolite-facies conditions. The complex also contains widespread deformational products representing greenschist-facies conditions, which suggest that changing of conditions in the complex may have been caused by uplift of the complex during exhumation. Rocks within the complex include several ductile and brittle kinematic indicators. Ductile kinematic indicators (asymmetric porphyroclast, S-C, -C' fabric, asymmetric foliation, V-shape structure etc.) indicate common N-NE-directed movement in the entire complex. N-NE-directed structures were overprinted by S-SW-directed structures along the south side of the complex, suggesting that the complex exhumed as an asymmetric core complex and then continued its further exhumation as a symmetric core complex. Detachment fault surfaces and brittle kinematic indicators in their around are mostly similar directions of movement with ductile kinematic indicators that have been determined.

Age Records

The age of the Menderes massif may be interpreted variably in different studies. The exhumation age of the complex has been inferred from basins formed in the complex, and isotopic dating yielded from crystalline rocks of the complex. The age data in sedimentary basins is defined by palynological studies, micromammal fossils, and some isotopic ages of volcanic rocks exposed in the basins. Furthermore, the ages, yielded by using isotopic methods, such as Rb-Sr, K-Ar, Ar-Ar, U-Pb, Pb-Pb, have been found in crystalline rocks of the complex. Isotopical and palynological dating indicate that the Cenozoic basins may have developed in the Early-Middle Miocene (e.g. Seyitoğlu and Scott 1991, Seyitoğlu et al. 1992, Seyitoğlu 1997) whereas micromammal fossils present ages from Early Miocene to Pleistocene times depends on the stratigraphical position of the samples (e.g. Sarıca 2000, Kaya et al. 2007). Isotopic dating of rocks within the complex have yielded ages from Eocene to Oligocene-Miocene times, suggesting that the massif began to exhume after Eocene time and have exhumed during Oligocene-Miocene time (e.g. Hetzel and Reischmann 1996, Lips et al. 2001, Ring et al. 2003, Işık et. 2004a). These ages from basins and crystalline rocks of the complex are seem to be in appropriate. Furthermore, they can comparable to the ages documented (e.g. Dinter et al. 1995,

Jolivet et al. 1996, Bröcker and Franz 1998, Lips et al. 2000, Okay and Satır 2000) from other metamorphic core complexes in the extended Aegean region (Işık et al. 2004a).

Discussion and Conclusions

The features described above represent extensional regime in the Menderes core complex during Cenozoic time. Field observations, micro tectonic studies, isotopic and relative ages in massif rocks and regional tectonic interpretations are consistent with following exhumation history: Collision of Menderes-Toros platform and Sakarya continent corresponds to contractional regime in the region (Şengör and Yılmaz 1981). Şengör et al. (1984) suggest that accumulation of tectonic slices of Menderes-Toros platform and tectonic slices representing İzmir-Ankara suture zone cause extensive metamorphism throughout the massif (main Menderes metamorphism). By the Late Eocene, deformational regime had begun to change from contraction to extension, which has been supported by isotopic age data (e.g. Hetzel and Reischmann 1996). The beginning of exhumation of the Menderes massif as a core complex is related to development of the Dağca–Kale main break-away fault defined by Seyitoğlu et al. (2004). NE-lateral extend of this fault appears to be covered with young basin deposits in the southeast of western Anatolia, but it is associated with Simav detachment fault in the north. The fact that these faults and associated ductile shear zones include kinematic indicators with N-NE sense of shearing suggest that the massif displayed asymmetric core complex exhumation (Seyitoğlu et al. 2004). In contrary, Ring et al. (2003) suggested symmetric core complex exhumation. In the region, Alpine extensional regime not only caused exhumation of crystalline rocks at depth, but also caused syn-tectonic granitoid intrusions and basins formation. While the NE-SW-trending Cenozoic sedimentary basins developing in the northern part of the massif have been occurred within the synclorium structures under the control of normal faults, opposite dipping faults (north dipping Alaşehir detachment fault and south dipping Büyük Menderes detachment fault) in the central part of the massif have caused further symmetrical exhumation of the Menderes massif (e.g. Hetzel et al. 1995a, Gessner et al. 2001, Ring et al. 2003, Seyitoğlu et al. 2004), and development of E-W-trending basins. The evolution of these basins has been documented in some studies (e.g. Seyitoğlu and Scott 1996, Koçyiğit et al. 1999, Bozkurt 2000, Seyitoğlu et al. 2002, Bozkurt and Sözbilir 2004). During and after exhumation of the Menderes massif, high-angle faults have provided disrupted appearance into the massif.

As conclusions; (a) the Menderes massif occurred as a core complex. The complex involving the Dağca-Kale main break-away fault and the Simav detachment fault, exhumed as an asymmetric core complex, and it was further exhumed as a symmetric core complex by the Alaşehir and Büyük Menderes detachment faults. (b) Kinematic indicators in ductilely deformed rocks within the complex indicate top-to-the N-NE-shearing, and they were overprinted by top-to-the S-SW-shearing in the south and top-to-the N-NE-shearing in the north, which suggesting an asymmetric core complex

formation is followed by a symmetric core complex formation. (c) During the exhumation, the development of basins has been controlled by normal faults.

DEĞİNİLEN BELGELER / REFERENCES

- Bingöl, E., Delaloye, M., Ataman, G., 1982. Granitic intrusions in western Anatolia: a contribution to the geodynamic study of this area. *Eclogae Geol. Helv.* 75 (2), 437-446.
- Bozkurt, E and Park, R.G., 1994. Southern Menderes Massif: an incipient metamorphic core complex in western Anatolia, Turkey. *J Geol. Soc. London*, 151, 213-216.
- Bozkurt, E., 2000. Timing of extension on the Büyük Menderes Graben, western Turkey, and its tectonic implications. Bozkurt, E., Winchester, J.A. & Piper, J.D.A. (eds) *Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area*. Geol. Soc. London, Spec. Publ., 173, 385-403.
- Bozkurt, E., Sözbilir, H., 2004. Tectonic evolution of the Gediz Graben: field evidence for an episodic, two-stage extension in western Turkey. *Geol. Mag.* 141 (1), 63-79.
- Bozkurt E., 2007. Extensional v. contractional origin for the southern Menderes shear zone, SW Turkey: tectonic and metamorphic implications. *Geol. Mag.* 144 (1), 191–210
- Bröcker, M., Franz, L., 1998. Rb-Sr isotope studies on Tinos Island (Cyclades, Greece): additional time constrains for metamorphism, extend of infiltration-controlled overprinting and deformational activity. *Geological Magazine* 135, 369-382.
- Candan, O. and Dora, Ö.O., 1998. Menderes masifi'nde granulit, eklojit ve mavişist kalıntıları: Pan-Afrikan ve Tersiyer metamorfik evrimine bir yaklaşım. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 41(1), 1-35.
- Coney, P.J., 1980. Cordilleran metamorphic core complexes; an overview: Crittenden, M.D., Coney, P.J. and Davis, G.H. (eds), *Cordilleran Metamorphic Core Complexes*. Geol. Soc. Am. Mem., 153, 7-31.
- Dinter, D.A., Macfarlane, A., Hames, W., Isachsen, C., Bowring, S., Royden, L., 1995. U-Pb and ⁴⁰Ar/³⁹Ar geochronology of the Symvolon granodiorite: Implications for the thermal and structural evolution of the Rhodope metamorphic core complex, northeastern Greece. *Tectonics* 14, 886-908.
- Dora, Ö.O., Kun, N. and Candan, O., 1990. Metamorphic history and geotectonic evolution of the Menderes massif. *I.E.S.C.A., Proceedings*, 2, 102-115.
- Emre, T. and Sözbilir, H., 1997. Field evidence for metamorphic core complex, detachment faulting and accomodation faults in the Gediz and Büyük Menderes grabes, western Anatolia. *I.E.S.C.A., Proceedings*, 1, 73-93.
- Erdoğan, B. and Güngör, T., 2004. The problem of the core-Cover Boundary of the Menderes Massif and an Emplacement Mechanism for Regionally Extensive Gneissic Granites, Western Anatolia (Turkey). *Turkish J. Earth Sci.* 13, 15-36.
- Gessner, K., Ring, U., Johnson, C., Hetzel R., Passchier, C. W. and Güngör, T., 2001. An active bivergent rolling-hinge detachment system: Central Menderes metamorphic core complex in western Turkey. *Geology* 29, 611-614.
- Hetzel, R., Passchier, C.W., Ring, U. and Dora, Ö.O., 1995a. Bivergent extension in orogenic belts: The Menderes massif (southwestern Turkey). *Geology*, 23, 455-458.
- Hetzel, R. Ring, U., Akal, C. and Troesch, M., 1995b. Miocene NNE-directed extensional unroofing in the Menderes massif, southwestern Turkey. *J. Geol. Soc. London*, 152, 639-654.
- Hetzel, R. and 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. *Geol. Mag.*, 133, 565-572.
- Işık, V. and Tekeli, O., 2001. Late orogenic crustal extension in the northern Menderes massif (western Turkey): Evidences for metamorphic core complex formation. *Int. J. Earth Sci.* 89, 757-765.
- Işık, V., Seyitoğlu, G. and Çemen, İ. 2003a. Ductile-brittle transition along the Alasehir shear zone and its structural relationship with the Simav detachment, Menderes massif, western Turkey. *Tectonophysics* 374, 1-18.
- Işık, V., Seyitoğlu, G., Çemen, İ., 2003b. Extensional structures of the Menderes core complex, western Turkey. *GSA, Annual Meeting Abstracts with Programs*, Seattle, USA, v.35, p.27-28

- Işık, V., Tekeli, O. and Seyitoğlu, G., 2004a. The $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age of extensional ductile deformation and granitoid intrusions in the northern Menderes core complex: Implications for the initiation of extensional tectonics in western Turkey. *Journal of Asian Earth Science* 23, 555-566.
- Işık V., Gürsu S., Göncüoğlu, C., Seyitoğlu, G., 2004b. Deformational and geochemical features of syn-tectonic Koyunoba and Egrigöz granitoids, western Turkey. 5th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, Thessaloniki, Greece, 14-20 April, Proceedings, V.3, 1143-1146.
- Işık, V., 2004. Kuzey Menderes Masifinde Simav Makaslama Zonunun Mikrotektonik Özellikleri, Batı Anadolu, Türkiye. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 47(2), 49-91.
- Jolivet, L., Coffe, B., Monie, P., Truffert-Luxey, C., Patriat, M., Bonneau, M., 1996. Miocene detachment in Crete and exhumation P-T-t paths of high-pressure metamorphic rocks. *Tectonics* 15, 1129-1153.
- Kaya, O., Ünay, E., Göktaş, F., Saraç, G., 2007. Early Miocene stratigraphy of Central West Anatolia, Turkey: implications for the tectonic evolution of the Eastern Aegean area. *Geological Journal*, 42, 85-109.
- Koçyiğit, A., Yusufoğlu, H. and Buzkurt, E., 1999. Evidence from the Gediz graben for episodic two-stage extension in western Turkey. *J. Geol. Soc. London*, 156, 605-616.
- Lips, A.L.W., White, S.H., Wijbrans, J.R., 2000. Middle-Late Alpine thermotectonic evolution of the southern Rhodope Massif, Greece. *Geodinamica Acta* 13, 281-292.
- Lips, A.L.W., Cassard, D., Sozbilir, H. and Yılmaz, H., 2001. Multistage exhumation of the Menderes Massif, western Anatolia (Turkey). *Int. J. Earth Sci.* 89, 781-792.
- Lister, G.S., Banga, G. and Feensta, A., 1984. Metamorphic core complexes of Cordilleran type in the Cyclades, Aegean Sea, Greece. *Geology*, 12, 221-225.
- Malavieille, J., 1993. Late orogenic extension in mountain belts: insights from the Basin and Range and the Late Paleozoic Variscan belt. *Tectonics*, 12, 1115-1130.
- Okay, A.I., Satır, M., 2000. Coeval plutonism and metamorphism in a latest Oligocene metamorphic core complex in northwest Turkey. *Geol. Mag.* 137(5), 495-516.
- Rimmele, G., Jolivet, L., Oberhansli, R. and Goffe, B. 2003. Deformation history of the high-pressure Lycian nappes and implications for tectonic evolution of SW Turkey. *Tectonics* 22, 1007–10029.
- Ring, U., Johnson, C., Hetzel, R. and Gessner, K., 2003. Tectonic denudation of a Late Cretaceous-Tertiary collisional belt-regionally symmetric cooling patterns and their relation to extensional faults in the Anatolide belt of western Turkey. *Geological Magazine* 140, 1-21.
- Sarıca, N., 2000. The plio-Pleistocene age of Büyük Menderes and Gediz grabens and their tectonic significance on N-S extensional tectonics in West Anatolia: mammalian evidence from the continental deposits. *Geol. J.*, 35, 1-24.
- Seyitoğlu, G. and Scott, B.C., 1991. Late Cenozoic crustal extension and basin formation in west Turkey. *Geol. Mag.* 128, 155-166.
- Seyitoğlu, G., Scott, B.C. and Rundle, C.C., 1992. Timing of Cenozoic extensional tectonics in west Turkey. *J. Geol. Soc. London*, 149, 533-538.
- Seyitoğlu, G. & Scott, B. C., 1996. Age of Alaşehir graben (west Turkey) and its tectonic implications. *Geological Journal*, 31, 1-11.
- Seyitoğlu, G., 1997. Late Cenozoic tectono-sedimentary development of Selendi and Uşak-Güre basins: a contribution to the discussion on the development of east-west and north-trending basins in western Turkey. *Geological Magazine*, 134, 163-175.
- Seyitoğlu, G., Tekeli, O., Çemen, İ., Şen, Ş. and Işık, V., 2002. The role of flexural/rolling hinge model on the tectonic evolution of Alasehir graben, western Turkey. *Geological Magazine*, 139, 15-26.
- Seyitoğlu, G., Işık, V., and Çemen, İ., 2004. Complete Tertiary exhumation history of the Menderes massif, western Turkey: an alternative working hypothesis: *Terra Nova*, v. 16, p. 358-364.
- Şengör, A.M.C. and Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics* 75:181-241.
- Şengör, A.M.C., Satır, M. and 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, 693-707.
- Westaway, R. 2006. Cenozoic cooling histories in the Menderes Massif, western Turkey, may be caused by erosion and flat subduction, not low-angle normal faulting. *Tectonophysics*, 412, 1-25.