Türkiye Jeoloji Bülteni
Geological Bulletin of Turkey
63 (2020) 161—194
doi: 10.25288/tjb.593423

Batı Anadolu Tektonik Kaması'nın Güncel Deformasyonu: Batıya Doğru Kaçıştan Kaynaklanan Blok Hareketleri

Recent Deformation of the Western Anatolia Tectonic Wedge: Block Motions Caused by Escape to the West

Fuat Şaroğlu[1], Bahadır Güler*[2]

[1] *Ümitköy Mh. Beril Sit. 2511 Sk. No:19 Çankaya 06810 Ankara Türkiye*
[2] *Gültepe Mh. 750 Cd. C2(3B) No:13 Altındağ 06080 Ankara Türkiye*

• Geliş/Received: 17.07.2019 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 24.09.2019 • Kabul/Accepted: 01.10.2019
• Çevrimiçi İlk Yayın/Available online: 10.02.2020 • Baskı/Printed: 01.04.2020
Araştırma Makalesi/Research Article *Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey*

Öz: Türkiye'nin Neotektoniği ile ilgili araştırmaların tümünde Batı Anadolu ayrı bir bölge olarak kabul edilmektedir. Neotektonik dönem, bazı araştırıcılara göre Üst Oligosen; bazılarına göre ise Üst Miyosen'de başlamakta ve günümüze kadar devam etmektedir. Bölgenin bu süreçte kuzey-güney yönde genişlediği kabul edilmektedir. Buna bağlı olarak doğu-batı genel gidişli grabenler oluşmaktadır. Bu yorumda, kuzey-güney yönlü uzamanın ortaya çıkmasına neden olan normal fayların sıyrılma (detachment) fayı niteliğine ulaştığı savunulmaktadır. Arazi çalışmalarında izlenebildiği gibi bu dönemde kıvrımlar, doğrultu atımlı faylar da gelişmiştir. Aynı şekilde yalın graben sistemi ile açıklanamayacak dönem çökellerinin havza geometrisi ve boyutları da söz konusudur. Volkanizmanın kimyası ile yüzeylendiği alanlarda aykırılıklar bulunmaktadır. Henüz bu tür sorunlara açıklık getirilememiştir. Neotektonik dönemin evrimi ile ilgili zaman-mekân-neden ilişkisi kurularak yapılan açıklamalar soyut modellemeden öteye gidememektedir.

Bu makalede, bugüne kadar önerilen modellerdeki tartışmalara çözüm amaçlı farklı bir yaklaşım modeli önerilmektedir. Öneri, Batı Anadolu'nun Neotektoniğini anlayabilmek için bölgenin günümüzdeki deformasyon şeklini ortaya çıkarmak ve geriye doğru geliştirerek neotektonik evrimi anlatma ilkesine dayanmaktadır.

Günümüzde Batı Anadolu olarak tanımlanan tektonik bölge, doğuda kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu Bursa-Eskişehir-Afyon ile kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu Muğla-Afyon Fay Zonları arasında kalan, batıya doğru açılan devrik "V" içindeki bir alanı kaplamaktadır. Bölge, batıya ilerleme esnasında; bölgede var olan litolojik farklılık, paleotektonik yapılar, volkanizma vb. nedenlerle levha içi bloklara ayrılmaktadır. Birbirinden ayrılan bu blokların farklı hareketleri sonucunda bölge deformasyona uğramaktadır. Ayrılan blokların boyutları, hareket hızları ve yönleri bu farklı hareketleri yönlendiren önemli etkenlerdir. Bloklarda ortaya çıkan farklı hareketlerle; blok sınırlarında normal, ters ve doğrultu atımlı faylar ile açılma çatlakları ortaya çıkmaktadır. Bu modelde aynı fay düzleminin farklı yerlerinde değişik hareketler gözlenebilmektedir. Yine bölgede eş yaşta birbirine paralel; fakat farklı yönde hareket eden yapılar da bulunabilmektedir. Blok hareketlerinin toplamında bölge batı-güneybatıya doğru ilerlemektedir. Bloklar arasında meydana gelen açılmalarda yer yer graben geometrisine ulaşanlar bulunmaktadır.

Önerilen bu modele göre; Batı Anadolu'da günümüzde gözlenen doğu-batı gidişli grabenlerin, kuzey-güney yönlü genişlemenin ürünü olmadığı sonucuna ulaşılabilir. Günümüzde, yörede en fazla açılma devrik "V" şeklindeki bloğun doğu sınırlarındadır. Sınırın kuzeyinde Kula Volkanitleri, güneyde Pamukkale yöresinde yoğun termal çıkışlar görülmektedir. 1995 Dinar Depremi'nde 10 km uzunluğundaki kırılma ile Sarıgöl'deki asismik deformasyon hareketleri açılma çatlakları niteliğindedir.

* Yazışma / *Correspondence:* bahadirguler@gmail.com
© 2020 JMO Her hakkı saklıdır/All rights reserved
http://tjb.jmo.org.tr
http://dergipark.gov.tr/tjb

Bölgede yapılan paleomanyetizma, kabuk kalınlığı, GPS ve deprem fay düzlemi çözümleri bu modeli destekler niteliktedir. Önerilen bu kinematik modelin günümüzden yaklaşık 3-4 milyon yıl öncesinden itibaren çalışmakta olduğu düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Batı Anadolu, aktif tektonik, deformasyon

Abstract: *All research on neotectonics in Turkey accepts Western Anatolia as a distinct, separate region in which the neotectonic period began in Upper Oligocene, according to some researchers, and in Upper Miocene according to others, and has continued up to the present day. The region expanded in a north-south direction during this process grabens were formed, generally with an east-west orientation.*

In this interpretation, the normal faults causing a north-south oriented extension are proposed to have detachment fault characteristics. As observed in field studies, fold and strike-slip faults developed during this period but the sedimentary basin geometry and dimensions cannot be explained by a simple graben system. There are outliers in terms of the chemistry of volcanism in outcropping areas. Explanations for these inconsistencies have yet to be found and those based on time-space-causal relationships related to evolution in the neotectonic period do not go beyond abstract modelling.

In this presentation, a different model is suggested with the aim of solving controversies in the models proposed to date. The recommended method is based on the neotectonic evolution explanatory principle of revealing the current deformation form in a region in order to understand its neotectonics, and then working backwards from today.

Currently, the tectonic region defined as Western Anatolia encompasses an area between the northwest-southeast oriented Bursa-Eskişehir-Afyon Fault Zone and the northeast-southwest oriented Muğla-Afyon Fault Zone in the east, extending in a sideways V shape towards the west. Moving toward the west, the region is separated into intraplate blocks due to the lithological differences, paleotectonic structures and volcanism, etc. present in the region. The different movement velocities of these separate blocks cause deformation in the region. Significant factors affecting these motions are the dimensions, velocity and direction of the blocks. With the varying motion of the blocks, normal, reverse and strike-slip faults along with extensional fractures occur along the block boundaries. In this model, different movements may be observed in different locations on the same fault plane. Again, there are parallel, coeval structures found in the region, although they move in different directions. On the whole, block movements progress toward the west-southwest of the region. Extensions occurring between blocks occasionally form graben geometry.

According to this proposed model, the east-west oriented grabens currently observed in Western Anatolia are concluded not to be products of north-south oriented extensions. Currently, the greatest extension is on the eastern boundaries of the V-shaped block. Intensive thermal manifestations are observed north of this boundary in the Kula Volcanics and to the south in the Pamukkale region. The 10-km long fracture caused by the 1995 Dinar Earthquake and the aseismic deformation motion at Sarıgöl both have extensional fracture characteristics.

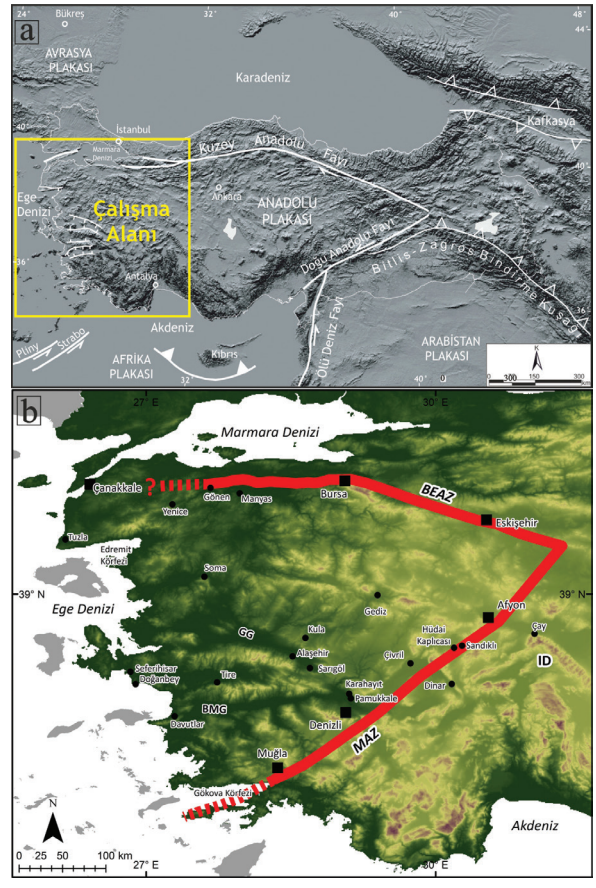
Paleomagnetism, crustal thickness, GPS data and the fault-plane solutions of earthquakes in the region support this model. This proposed kinematic model is thought to have been in operation about 3-4 million years before the present.

Keywords: *Western Anatolia, active tectonics, deformation*

GİRİŞ

Bu makalede, Bursa-Eskişehir-Afyon fay zonu (BEAZ) ile Muğla-Afyon fay zonu (MAZ) arasında yer alan bölüm (Şaroğlu vd., 1987) Batı Anadolu Tektonik Kaması olarak tanımlanmıştır. Her iki fay zonu batıya açılan devrik "V" şeklinde bir geometri ile bölgeyi sınırlamaktadır (Şekil 1). Bu sınırların kuzeyde Ege Denizi'ne, güneyde ise Akdeniz'e kadar devam etmesi olasılıdır. Şekil 1'de görüldüğü gibi MAZ, Muğla'dan güneybatıya doğru olasılı çizilmiştir ve Datça Fay zonuna karşılık gelecek şekilde devam edebilir. Aynı şekilde; Aksu vd. (2009)'un, deniz tabanında ortaya koydukları sol yönlü doğrultu atımlı fayın da, MAZ'ın denizdeki devamı olduğu söylenebilir (Şekil 2).

Fay zonları olarak tanımlanan bu süreksizlikler tek bir çizgi ile ifade edilemeyecek şekilde farklı yapıların geliştiği bir zon niteliğindedir. Diğer bir değişle, bu zonların farklı noktalarında normal, ters, doğrultu atımlı faylar ve açılma çatlakları gibi çeşitli yapısal şekillerin karmaşası bulunmaktadır. Örneğin, Boray vd. (1985) Muğla-Afyon fay zonunu normal fay bileşenli sol yönlü doğrultu atımlı fay olarak tanımlamışlardır. Daha sonra yapılan çalışmalarda bu zonun bir normal fay özelliğinde olduğu belirtilmiştir (Alçiçek vd., 2006). Ancak tüm araştırmalarda varılan ortak nokta bu zonun birbirinden farklı jeodinamik özelliğe sahip olan Isparta Dirseği ile Batı Anadolu'yu ayıran bir zon olduğudur (Emre vd., 2013 ve 2018; Kaymakçı vd., 2017). Bölgenin kuzeyini sınırlayan Bursa-Eskişehir-Afyon fay zonu üzerinde bu amaçla yapılan çalışmalar sınırlıdır. Konu ile ilgili çalışmaların çoğu Eskişehir'den geçen ve 1953'te bir depremle sınanmış olan Eskişehir Fayı üzerinde odaklanmaktadır. Bu alanda da araştırıcıların çalıştıkları yöredeki gözlemlere göre normal fay (Gözler vd., 1984-1985) veya sağ yönlü doğrultu atımlı bir fay zonu olduğu (Şaroğlu vd., 1987, 1992 ve 2005) belirtilmiştir. Bu gözlemler tanımlanan zonun yapısal karmaşasını göstermektedir (Boray vd., 1985; Kürçer vd., 2016).

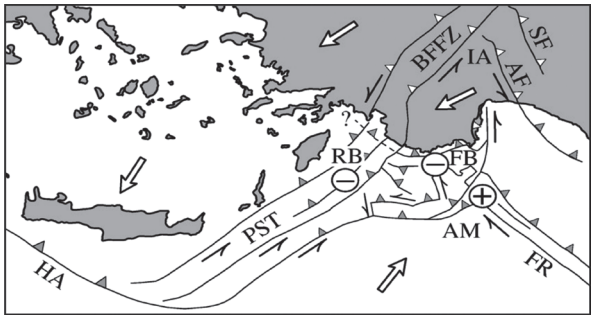


Şekil 1. a) Yer bulduru haritası. b) Batı Anadolu Tektonik Kaması'nın sınırı (BEAZ: Bursa-Eskişehir-Afyon Fay Zonu, MAZ: Muğla-Afyon Fay Zonu, GG: Gediz Grabeni, BMG: Büyük Menderes Grabeni, ID: Isparta Dirseği).

Figure 1. *a) Location map. b) Boundary of Western Anatolia Tectonic Wedge (BEAZ: Bursa-Eskişehir-Afyon Fault Zone, MAZ: Muğla-Afyon Fault Zone, GG: Gediz Graben, BMG: Büyük Menderes Graben, ID: Isparta Angle).*

Bölgenin neotektoniği ile ilgili çok sayıda yayın bulunmaktadır. Tüm bu yayınlarda neotektoniğin başlangıcı belli bir zaman aralığına göre kabul edilerek günümüze kadar yapısal evrim yorumlanmaktadır. Bu tip yaklaşımlarda neotektonik başlangıç için baz alınan bilgilerin hatalı olması evrimi yanlış sonuçlara ulaştırmaktadır. Bu makale, Batı Anadolu'daki güncel deformasyonu arazi gözlemlerine

göre tanımlayıp, jeolojik evrimi daha eski deformasyonlara doğru götürmenin doğru olacağı düşüncesiyle yazılmıştır. Amaca sağlıklı bir şekilde yaklaşabilmek için Batı Anadolu'da bulunan kaya toplulukları özet olarak tanımlanıp geçirdikleri jeodinamik süreçler anlatılacaktır. Bölgenin jeodinamik evrimini inceleyen Yılmaz (2017)'de, son yıllarda toplanan yeni verilere rağmen, Batı Anadolu'nun jeolojisi ile ilgili bazı önemli sorunların çözülmediğini vurgulamıştır. Jeodinamik süreçleri açıklayabilmek için olaylara Anadolu ve çevresi boyutuyla bakılacaktır.

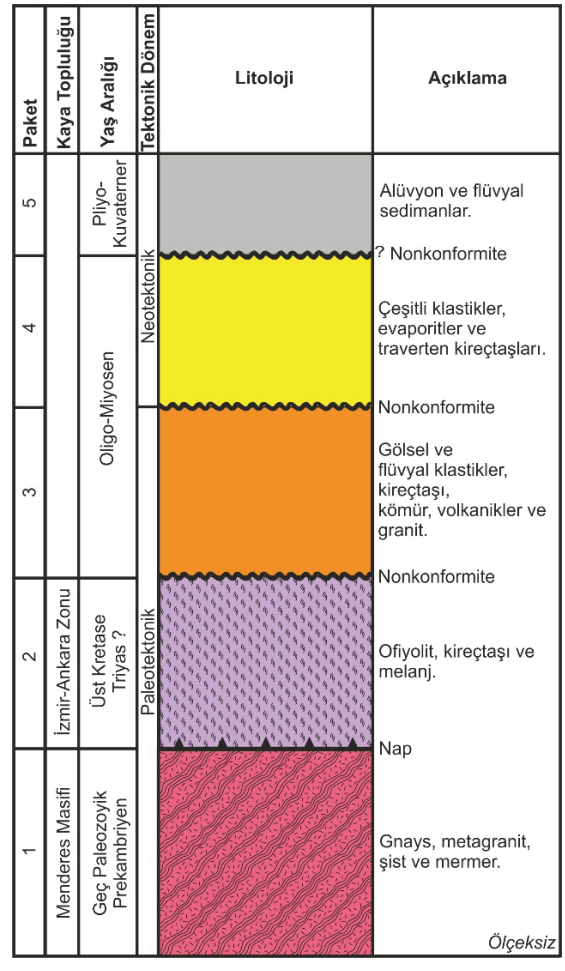


Şekil 2. Rodos ve çevresinin Kuvaterner'deki tektonik evrimini gösteren şematik model (Aksu vd., 2009'dan alınmıştır). − ve + işaretleri sırasıyla çöken ve yükselen yerleri ve dönemleri, beyaz oklar göreceli blok hareketini göstermektedir, (AM: Anaksimander Dağı, BFFZ: Burdur-Fethiye Fay Zonu, FB: Finike Baseni, FR: Florence Yükselimi, HA: Helen Yayı, IA: Isparta Büklümü, PST: Pliny–Strabo Hendekleri, RB: Rodos Baseni).

Figure 2. *Schematic model showing Quaternary tectonic evolution of the Rhodes Basin and environs (from Aksu et al. 2009). − and + signs indicate periods and locations of subsidence and uplift, respectively. White arrows indicate relative block motions (AM: Anaximander Mountain, BFFZ: Burdur–Fethiye Fault zone, FB: Finike Basin, FR: Florence Rise; HA: Hellenic Arc, IA: Isparta Angle, PST: Pliny–Strabo Trenches, RB: Rhodes Basin).*

BATI ANADOLU'DA BULUNAN KAYA TOPLULUKLARI

Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından yenilenen 1/500.000 ölçekli jeoloji haritasına bakıldığında (Konak vd., 1987; Konak, 2002; Konak ve Şenel 2002) bölgede birbirinden farklı yaş, kaya türü ve tektonik stille ayrılabilen kaya topluluklarının olduğu görülür. Yılmaz (2017)'de, bölgenin jeodinamiğini kapsayacak şekilde kaya topluluklarını ayrıntılı bir şekilde irdelemiştir. Bu makalede, litostratigrafik birimler ayrı ayrı anlatılmamıştır. Birim bazında bölge jeolojisini anlatma yerine, her jeodinamik süreçte bütünlük oluşturan kayalar birer kaya topluluğu olarak alınmıştır. Bu mantık çerçevesinde, bölgede bulunan kaya toplulukları yaşlıdan gence doğru özet olarak şöyle sıralanabilir (Şekil 3).



Şekil 3. Batı Anadolu'nun genelleştirilmiş stratigrafik kesiti.

Figure 3. *Simplified stratigraphic column of western Anatolia.*

Bölgede bulunan en yaşlı kaya topluluğu metamorfitler olup; gnays, metagranit, şist ve mermerlerden oluşur. Yayınlarda bu paketteki kayalar, yaşlıdan gence doğru azalan metamorfizma derecesine göre alt birimlere ayrılmıştır. Bazı çalışmalarda da kayaların içerdiği mineral topluluklarına göre metamorfik fasiyeslere ayırtlanmıştır (Konak vd., 1987; Candan vd., 1992; Dora vd., 1992; Erdoğan ve Güngör, 1992). Bu birimlerin yaşları Pre-Kambriyen-Geç Paleozoyik olarak kabul edilmektedir. Birim yayınlarda Menderes Masifi olarak adlandırılmaktadır. Özer vd. (2001)'de, Menderes Masifi'nin üst seviyesi olarak kabul ettikleri karbonatların içinde buldukları fosillere göre Üst Kretase yaşından bahsetmektedirler.

Bölgede bulunan diğer bir kaya topluluğu ofiyolitler ile bunlara eşlik eden pelajik kireçtaşı, çamurtaşı, kırıntılılar ve melanjdan oluşmaktadır. Birimin Triyas (?) – Geç Kretase aralığında gelişmiş olduğu ve İzmir-Ankara Zonu'nu temsil ettiği düşünülmektedir (Erdoğan, 1990; Okay ve Siyako, 1993).

Batı Anadolu'da yaygın olarak gözlenen üçüncü kaya topluluğu kırıntılılar ve karbonatlı kayalardan oluşur (Şekil 4).

Gölsel ve/veya akarsu fasiyesinde olan bu kayalar eş yaşlı olarak değişik havzalarda çökelmişlerdir. Bu döneme ait bazı kayaların daha önce karstlaşma sonucunda ortaya çıkmış olan polye türü çökelim alanlarında oluştuğu önerilmektedir (Şaroğlu vd., 1987; Şaroğlu ve Yılmaz, 1990; Emre vd., 1998; Şaroğlu vd., 2015). Önerilen bölgenin hem doğusunda hem de güneyinde Torosları ve Anadolu'nun büyük bir kısmını kaplayan Üst Oligosen-Alt Miyosen denizel fasiyesi, bu alanda sadece Kale-Tavas çevresinde yüzeylenmektedir. Bu büyük transgresyon, Menderes Masifi ve çevresine ulaşmamıştır. Bu gibi çökellerin etrafının daha yaşlı kireçtaşıyla sınırlanmış olduğu gözlenebilmektedir. Bölgede çökellerle eş yaşlı olarak asidik karakterde magmatik kayalar bulunmaktadır. Bu paket içinde kabul edilen Oligosen yaşlı asidik volkanizmanın yoğun olduğu yerlerdeki kaya toplulukları çekirdek kompleks özelliği göstermektedir (Okay ve Satır, 2000). Bu kaya toplulukları ile yaşıt geniş alanlarda yüzeylenen granit mostraları bulunmaktadır. Bu kaya topluluklarının diğer bir özelliği Erken Miyosen yaşlı olan istiflerinde yüksek kalorili kömür seviyelerinin varlığıdır (Nebert, 1978). Üçüncü paket olarak tanımlanan bu kaya toplulukları Oligosen-Erken Miyosen



Şekil 4. Üçüncü grup ile ilgili kayalar. a) Karbonatlı kayalar, Aşağı Şakran, İzmir. b) Kırmızı klastik kayalar, güney Alaşehir, Manisa.

Figure 4. *Rocks of third group. a) Carbonate rocks, Aşağı Şakran, Izmir. b) Red clastic rocks, south Alaşehir, Manisa.*

yaşlıdır. Bölgenin çok sınırlı alanlarında Geç Eosen ve Geç Miyosen yaşlı kayalar gözlenmiştir (Helvacı ve Yağmurlu, 1995; Helvacı, 1995; Helvacı ve Orti, 1998; Helvacı, 2015; Helvacı, 2019). Bu birimlerin paketlerdeki konumları tartışmalıdır. Candan vd. (1992)'de, Menderes Metamorfiklerini ayrıntılı bir şekilde incelemiştir. Bu yayında, Menderes Masifi'nin naplı yapıya sahip olduğu ve Eosen yaşlı kaya toplulukların da bu metamorfizmaya katıldıkları belirtilmiştir. Bu makalenin amacında önemli bir değişiklik getirmeyeceği için, bu birimlerin konumları tartışılmayacaktır.

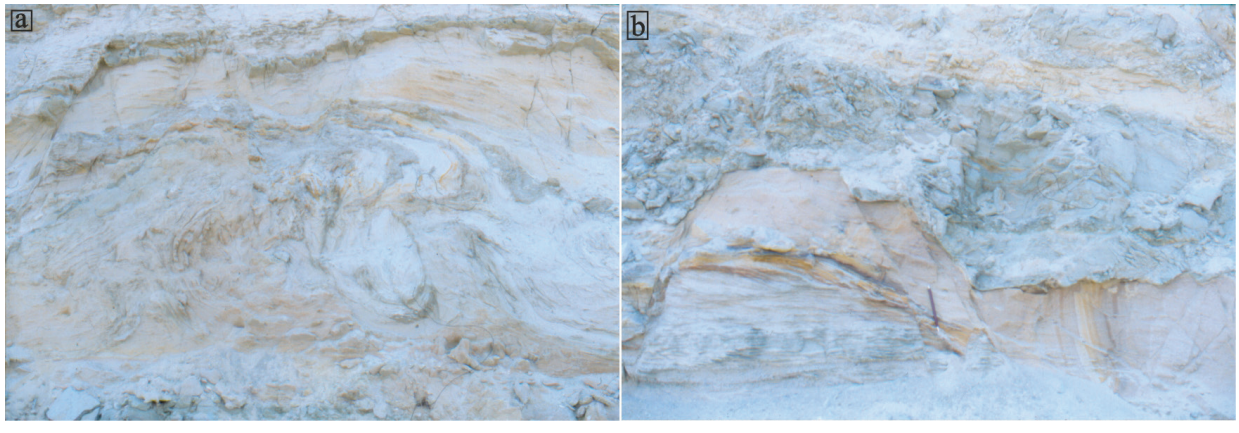
Batı Anadolu'da bulunan en genç kaya topluluğu Pliyosen'de başlayıp Kuvaterner'e kadar devam eden birimlerden oluşur. Pliyosen yaşlı birimler etkin tektoniği ifade eden kırıntılı kaya toplulukları ile bunlara eşlik eden travertenimsi dokulu kireçtaşlarından meydana gelir. Birimler bölgenin büyük bir bölümünde benzer fasiyes özelliklerinde izlenebilmektedir. Tektoniğin yoğun olduğu yerlerde çökellerin içinde slump yapıları ile sin-sedimanter tektonik yapılar mevcuttur (Şekil 5).

Sakin çökelim alanlarında ise düşük kalorili kömürler bu seviyelerin arasında bulunmaktadır (Nebert, 1978). Paket içinde bulunan Kuvaterner yaşlı çökeller günümüz morfolojisine yansımış çöküntü alanlarında yerleşmişlerdir. Akarsu çökelleri ile eş yaşlı kolüvyal malzemeden oluşmuşlardır. İçlerinde Erken Kuvaterner'e ait yaş bulguları bulunmaktır (Ünay vd., 1995; Hakyemez vd., 2013).

Kuvaterner yaşlı birimler günümüz izole çökelim alanları içinde yer aldıklarından, farklı alanlardaki çökeller ile korele etmek veya birleştirmek söz konusu değildir.

Batı Anadolu'da var olan kaya toplulukları Geç Oligosen'den beri karasal ortamda çökeldikleri, birbirlerine benzer kayalardan oluştukları ve bazı alanlarda sürempoze olduğu görülmektedir. Bu gibi alanlarda Üst Oligosen-günümüz zaman aralığının tektonik evrimini çıkarmakta yanılgılar bulunmaktadır.

Batı Anadolu'ya ait olduğu tanımlanan bu kaya toplulukları güneyde Muğla-Bodrum (Boray vd., 1975 ve 1985), batıda Karaburun yarımadası



Şekil 5. a-b) Dördüncü grup ile ilgili slump yapıları, Söke-Kuşadası arası, Aydın.

Figure 5. *a-b) Slump form belonging to fourth group, between Söke and Kuşadası, Aydın.*

(Erdoğan, 1990), güneydoğuda Toros Dağları'na (Konak ve Şener, 2002) ve kuzeyde Sakarya Kıtası'na ait (Bingöl vd., 1975; Okay vd., 1991) kaya toplulukları tarafından tektonik dokanaklarla sarılmaktadır. Bu yazının amacı bölgede yaşanmış olan tüm jeodinamik süreçleri aydınlatmak değildir. Amaç, bölgede yaşanan jeodinamik süreçler dikkate alınarak, neotektonik dönem havzalarındaki deformasyonları aydınlatmaktır.

Konuya açıklık getirmek, jeolojik süreçlerde meydana gelen deformasyonların neden olduğunu, sebep-sonuç ilişkileri kurarak aydınlatmak ile gerçekleşir. Bu sorulara yanıt bulmak için araştırmanın bölgesi dışına taşıp tüm Anadolu ve yakın çevresini içine alacak şekilde irdelenmesi gerekmektedir.

ANADOLU'NUN JEODİNAMİĞİNE GENEL BİR BAKIŞ

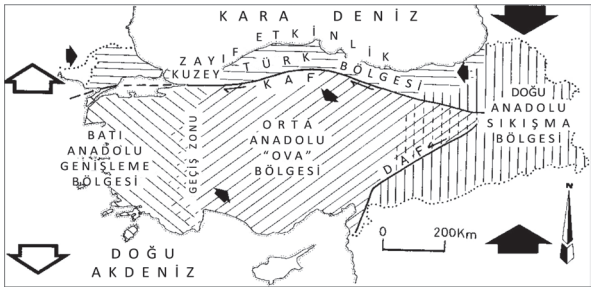
Türkiye Jeolojisi ile ilgili çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bunları bu yayında dile getirmek konunun çok dışına çıkar. Ancak MTA, bu çalışmaları değerlendirerek 1/500.000 ölçekli haritalar şeklinde yayımlamıştır. Yayınların çoğunda olduğu gibi MTA'nın bu haritalarında da ayırtlanabilen kaya türleri ve bu kaya türlerinin fasiyeslerini tanımlama ötesinde bilgi içermemektedir. 1981 yılında Şengör ve Yılmaz tarafından yayımlanan makalede Geç Paleoyozik'ten günümüze kadar gelişen jeodinamik süreçler anlatılmıştır. Her iki yayın birbirini tamamlar niteliktedir. Şengör ve Yılmaz (1981)'de, Geç Paleozoyik'ten günümüze kadar geçen zaman içinde, Anadolu ve yakın çevresinin jeodinamiğini Tetis Okyanusu'nun açılması, kapanması ve sonrası meydana gelen kıta-kıta çarpışmalarına bağlamaktadırlar. Tetis'in farklı kollarının açılması, kapanması ve kapanma sonrası çarpışmaları bölgeye farklı tektonik stiller kazandırmıştır. Kıta-kıta çarpışmaları sonrası orojenez olarak tanımlanan dağ oluşumları meydana gelmiştir. İşte bu olaylar zincirinin kendi içinde bir bütünlük sağlayarak Geç Paleozoyik'ten günümüze kadar evrimini anlatmak bu makalenin (Şengör ve Yılmaz, 1981, 1983) içinde yer almaktadır. 1981'de yapılan bu yayından sonra sınırlı alanlarda bazı düzeltmeler önerilmiş ise de önerilen modelde önemli değişiklik henüz olmamıştır.

Anadolu'da meydana gelen en son tektonik rejim değişikliğinden bir önceki döneme ait jeolojik konum ile neotektonik evrim özet olarak Şengör (1980) ile Şengör ve Yılmaz (1981) makalelerinden alınmıştır. Tetis Okyanusu'nun Geç Paleozoyik'ten beri açılıp kapanması birer rejim değişikliği üretmiştir. Tetis Denizi'nin Orta?-Geç Miyosen'de Güneydoğu Anadolu'da en son kapanması, yeni bir tektonik rejim ortaya çıkarmıştır. İşte günümüze kadar devam ettiği kabul gören bu rejimde kıta-kıta çarpışması gerçekleşmiştir. Arap Levhası ile Avrasya Levhası arasında meydana gelen bu çarpışmadan, Anadolu ve yakın çevresinde yeni bir tektonik rejim ortaya çıkmıştır (Şengör, 1980; Şengör vd., 1985; Şaroğlu, 1985; Şaroğlu ve Yılmaz, 1985). Türkiye'nin neotektoniği ile ilgili yapılmış olan çalışmalar Şengör vd. (1985), Bozkurt (2001) ve Emre vd. (2013) yayınlarında ayrıntılı bir şekilde görülebilir. Bu makalede tanımlayacağımız alandaki güncel deformasyon oluşumuna yanıt bulmaya yarar sağlayacağı için Türkiye'nin neotektoniğine öz olarak bakılacaktır.

Erken Miyosen'de Güneydoğu Anadolu'da Lice Baseni diye de tanımlanan denizel bir çökelim alanı bulunmaktadır. Yer yer olistolitleri kapsayan yüksek enerjili çökelimlerin varlığı bu denizin derin olduğunu göstermektedir. Çökellerin altında okyanusal kabuğun varlığı tartışmalıdır. Ancak kayaların çökeldiği denizin Tetis olduğu kesindir. Lice Baseni'nin çökelme ortamının kuzeyinde ve güneyinde karbonatlarla temsil edilen sığ denizel fasiyesli birimler bulunmaktadır (Perinçek, 1980). Geç Miyosen'de güneydeki Arap Levhasıyla kuzeydeki Avrasya Levhası'nın birbirlerine yaklaşması sonucunda Lice Baseni

kapanmıştır. Bu kapanma sonucunda kıta-kıta çarpışması gerçekleşmiş ve en son olarak denizin Anadolu'dan çekilmesine neden olmuştur. Olay yorumlanacak olursa, kıta-kıta çarpışması Anadolu ve yakın çevresinde yeni bir rejim değişikliğine neden olmuştur. Bölgede kıta-kıta çarpışması sonucunda sıkıştırma nitelikli yapılar olan kıvrım, bindirme, doğrultu atımlı ana yapıları ile bunlara uyumlu açılma çatlakları ortaya çıkmıştır (Şengör ve Kidd, 1979; Şaroğlu ve Yılmaz, 1985; Şengör vd., 1985; Şaroğlu vd., 1987).

Süreç içinde bu yapılar gelişerek Anadolu'da Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi, Orta Anadolu "Ova" Bölgesi ve Batı Anadolu Genişleme Bölgesi'nde açılmalı rejimin hüküm sürdüğü (Şekil 6) ortaya çıkmıştır (Şengör, 1980; Şengör vd., 1985).



Şekil 6. Türkiye'nin neotektonik bölgeleri. İçi siyah oklar kısalma, içi beyaz oklar ise genişleme yönlerini vermektedir (Şengör vd., 1985'den alınmıştır; KAF: Kuzey Anadolu Fayı, DAF: Doğu Anadolu Fayı).

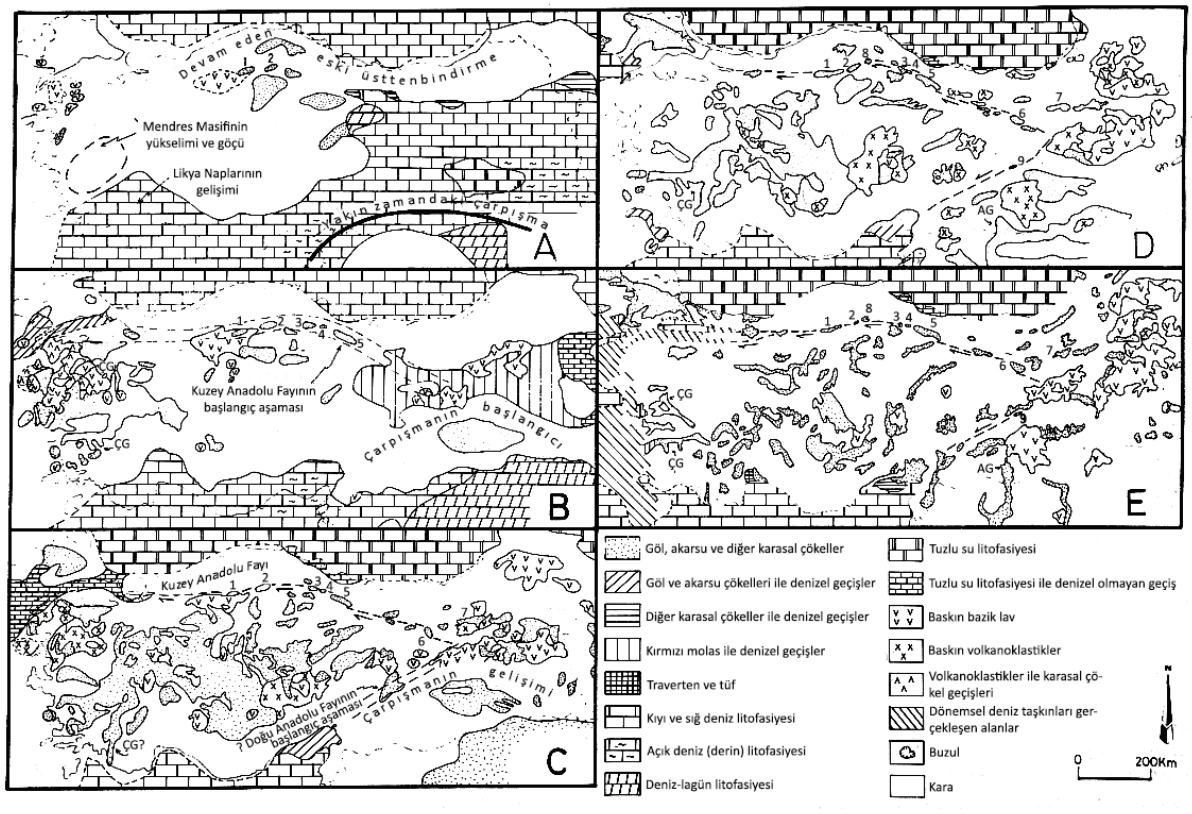
Figure 6. *Neotectonic provinces of Turkey. Bold filled arrows indicate contraction direction, open arrows indicate extension direction. (from Şengör et al., 1985; KAF: North Anatolian Fault, DAF: East Anatolian Fault).*

Kuzeyde Kuzey Türk Bölgesi'ni oluşturan Karadeniz Dağları, kuzeybatıda Trakya Havzası ile güneydoğuda kıvrımlar bölgesi aynı rejim altında deforme olan ikincil bölgeler olarak görülmektedir. Günümüzde kabul gören bu neotektonik bölge ayrımı, rejimin zaman içinde deformasyonundaki evrimle ortaya çıkmıştır. Şöyle ki, Geç Miyosen sonuna kadar tüm Anadolu sıkışarak deformasyona uğramış ve ona uygun kıvrım, bindirme ve doğrultu atımlı faylar gelişmiştir. Erken Pliyosen'de ise Kuzey Anadolu Fayı ve Doğu Anadolu Fayı birleşerek transform niteliği kazanması sürecinde, bu bölünmeler şekillenmiştir. Her iki fay arasında ortaya çıkan Anadolu Bloğu (veya Levhacığı) batıya doğru kaçmaya başlamıştır (Şekil 6). Anadolu bloğunun batıya kaçışı Batı Anadolu'nun tektonik rejimini değiştirecek kadar etkilemeye başlamıştır. Aynı zaman aralığında Ege'nin güneyinde yer alan dalma batma zonunun, Batı Anadolu'yu etkilemesi de söz konusudur. Neotektonik rejimin başında, Batı Anadolu'nun volkanizması, paleocoğrafyası ve temel kayaları, diğer bölgelerden farklılık göstermektedir. Tüm bu gözlemler, Batı Anadolu'nun neotektoniğinin yorumlanmasında farklı görüşler ortaya çıkarmıştır (Şekil 7). 40 yıllık arazi gözlemlerimize göre;

1-Erken Miyosen sonunda, Anadolu'nun büyük bir bölümünde peneplen veya peneplene yakın bir paleocoğrafya mevcuttu ve buralara güneyden gelen büyük bir transgresyon hareketi ile denizaltında bulunmaktaydı. Aynı zamanda Batı Anadolu ise deniz seviyesinden yüksekte kara halindeydi (Şekil 7). Önerilen bölgenin doğusunda ve güneyinde, Kale-Tavas arasında, denizel Oligosen mostraları olmakla beraber, aynı denizel kayaların Menderes Masifi ve çevresinde yüzeylendiğine dair hiçbir veri bulunmamaktadır.

2-Anadolu'da sınırlı düzeyde varolan volkanizma bazalt-andezit türü kayalarla temsil edilmekte ve olasılıkla derine doğru daralarak ilerlemekteydi.

Batı Anadolu'da eş yaşlı olarak asidik karakterde, granit, diyorit ve andezit türü kaya topluluklarından oluşan magmatizma mevcuttur. Bu kaya toplulukları derine doğru genişleyerek devam eden batolitler şeklindeydi. Andezitik çıkışların çoğu dom yapılıydı.



Şekil 7. Türkiye'nin Erken (A), Orta (B), Geç Miyosen (C), Pliyosen (D) ve Pleistosen (E) süresince palinspastik olmayan paleocoğrafya haritası (Şengör vd., 1985'den alınmıştır). A'daki kalın çizginin gösterdiği hat boyunca, Türkiye'nin güneydoğusu en son dalma-batma ve yanal atım nedeniyle palinspatik süresince önemli ölçüde sıkışmıştır, (1: Çerkeş-Kurşunlu Havzası, 2: Tosya Havzası, 3: Havza Havzası, 4: Ladik Havzası, 5: Taşova-Erbaa Havzası, 6: Erzincan Havzası, 7: Erzurum Havzası, 8: Kargı Havzası, 9: Lake Hazar Havzası, AG: Akçakale Grabeni, ÇG: Çapraz Graben).

Figure 7. *Non-palinspastic paleogeographic map of Turkey from Early (A), Middle (B), Late Miocene (C), Pliocene (D) to Pleistocene (E) (from Şengör et al., 1985). Thick black line in A in southeastern Turkey represents zone along which palinspastic continuity was significantly disturbed owing to later subduction and strike slip, (1: Çerkeş-Kurşunlu Basin, 2: Tosya Basin, 3: Havza Basin, 4: Ladik Basin, 5: Taşova-Erbaa Basin, 6: Erzincan Basin, 7: Erzurum Basin, 8: Kargı Basin, 9: Lake Hazar Basin, AG: Akçakale Graben, ÇG: Cross Graben).*

3-Bu dönemde Anadolu'nun yaygın kaya topluluğu okyanus ürünü sütur zonları ile bu okyanusların kenar denizlerine ait kayalarından oluşmakta iken, Batı Anadolu'da yaşı Pre-Kambriyen'e kadar uzanan gnayslardan, granitlerden, şistlerden ve mermerlerden oluşan bir kabuk bulunmaktaydı.

Bu nedenle, Geç Miyosen'de, Andolu'da başlayan kıta-kıta çarpışması ürünü deformasyonda gelişen yapılar, Doğu ve Orta Anadolu'da yalın ve tanımlanabilecek nitelikte olmasına karşın, Batı Anadolu'da daha karmaşık bir deformasyon oluşmuştur.

4-Doğu Anadolu'nun neotektonik dönemi, Arabistan ve Avrasya'nın kıta-kıta çarpışması sonucunda oluşan bir deformasyonla tanımlanmakta ve batıya doğru ise Afrika Levhası'nın dalma-batma etkinliğinin etkisi de söz konusudur. Dolayısıyla, Batı Anadolu'yu etkileyen faktörler daha komplekstir.

5-Erken Miyosen'de Anadolu'nun batısı dışındaki alanlarda büyük bir transgresyon ürünü denizel karbonatlar ile bu transgresyonun ilerisinde yer alan lagüner karakterde (jips, tuz, çamurtaşı) çökellerden ibaret kayalar ile temsil edilirken, Batı Anadolu'da tam tersine Oligosen sonunda hızla ülke yükselmiş, aşınmış ve bir batolit niteliğindeki granitler yerleşmiştir. Daha önceleri kalın bir kabuk ve buna bağlı yerleşen granitlerin hızlı bir şekilde yüzeye çıkması nedeniyle bu yükselimin sonucu olarak farklı alanlarda gölsel çökeller ve kömürlerle temsil edilen havzalar yer almıştır. Erken Miyosen'e doğru Anadolu'nun tümünde sıcak iklim hüküm sürmüştür. Bu süreçte, Anadolu'nun denizlerinde resifler gelişirken Batı Anadolu karasında hızlı bir karstlaşma meydana gelmiştir. Karstik oluşumun sonucunda, ortaya çıkmış olan, olasılıkla büyük polyeler şeklinde çökelim alanları da oluşmuştur. Durgun olan ortam nedeniyle bu alanlarda yüksek kalorili kömürler oluşmuştur. Bunlar için en iyi örnek Soma ve Tire Kömür Havzalarıdır (Helvacı ve Yağmurlu, 1995; Şaroğlu vd., 2015).

Yukarıda tanımlamaya çalıştığımız nedenlerle Geç Miyosen'de, Anadolu'da başlayan kıta-kıta çarpışmasının etkileri Anadolu'nun diğer alanlarında olduğu gibi Batı Anadolu'da da, o kadar sade ve sıradan olmamıştır.

Batı Anadolu'da deformasyonu etkileyen faktörlerin en önemlilerinden biri eski kaya toplulukları arasındaki süreksizlikler, deformasyona karşılık farklı dayanım gösteren kayalar ve magmatizmadır. Daha önemlisi ise, yeni dönem çökelleri ile Erken Miyosen dönem çökellerinin sürempoze olduğu alanlarda, çökelim ve deformasyon farklılığı zor açıklanabilmektedir. Bölgede neotektonik dönem jeodinamiğinin kompleks olması nedeniyle çok sayıda araştırmada farklı yorumlar veya sonuçlar ortaya çıkmıştır. Bu konuda yapılan araştırmaların çoğu lokal alanları kapsamaktadır. Söz konusu lokal araştırmalarda elde edilen veriler, bölgenin geneline yorumlanmaktadır. Bu araştırmalarda tanımlanan deformasyon modellerinin çoğunda Basin and Range ile ilgili araştırmalardan yararlanılmıştır (Rojay vd., 2005; Seyitoğlu ve Işık, 2015)

Anlaşılmaktadır ki, başlangıç olarak anılan tanımlarda olabilecek hatalar sonuçlara büyük yanlışlıklara neden olmaktadır. Bu makaledeki amaç, farklı yorumlardan ve sonuçlardan yararlanarak Oligosen'den başlayarak günümüze doğru evrimi anlatmak değildir. O hâlde, önce Batı Anadolu'da süregelen bugünkü deformasyon ortaya çıkarılıp, sonra zamanda geriye doğru giderek zaman içinde gelişmiş olan diğer olayları tanımlamak en doğru yöntemdir.

BATI ANADOLU'NUN NEOTEKTONİĞİ İLE İLGİLİ GÖRÜŞLER

Batı Anadolu neotektoniği ile ilgili yayınların çoğunda iki konu baz alınmaktadır. Birinci konu doğu-batı uzun eksenli havzaların varlığı, ikincisi ise bu havzaların tabanlarında var olan çökellerin yaşlarıdır. Konu ile ilgili araştırmalarda bölgenin neotektonik dönemde kuzey-güney yönlü genişlediği ve bu genişlemenin sonucunda da Horst-Graben oluştuğu vurgulanmaktadır (Şimşek, 1982; Seyitoğlu ve Işık, 2015). Bu görüşü savunan makalelerin çoğunda gerilmenin sıyrılma faylarıyla geliştiği anlatılmaktadır. Aynı yayınlarda benzeri alanlarda olduğu gibi tüm bölgeyi etkileyecek boyutta ve kilometrelerce sürüklenimin yer aldığı modellenmektedir. Bölge için yapılan ilk yayınlarda, Bingöl (1976), Dewey ve Şengör (1979), Şengör (1980), Şengör (1982), Şengör vd. (1985) makalelerinde, Batı Anadolu'da var olan doğu-batı uzanımlı grabenlerin oluşumuna, Anadolu Bloğu'nun batıya kaçışının neden olduğu anlatılmaktadır. Aynı yayınlarda, batıya doğru kaçan Anadolu Bloğu'nun daha batısında Kuzey Anadolu Fayı'nın devamı kabul

edilen bir makaslama zonunun varlığı ifade edilmektedir. Dolayısıyla Anadolu Bloğu'nun batıya kaçışı, bu makaslama zonu tarafından engellenmekte ve sıkışarak doğu-batı uzanımlı çoğu açılma çatlaklarının kontrol ettiği grabenlerin geliştiği yorumlanmaktadır.

Grabenlerin kuzey-güney yöndeki genişleme tektoniği ile oluştuğunu savunan diğer makalelerde, grabenlerin yaşını havza tabanlarında bulunan en yaşlı çökellere göre vermektedirler. Erken Miyosen veya Geç Oligosen'e ait istiflerin havza tabanlarında izlendiği yerlerde grabenlere çökel yaşı verilmektedir (Şimşek, 1982; Seyitoğlu ve Işık, 2015). Batı Anadolu'da yapılan haritalamalarda yukarıda tanımlanan istiflerden Geç Miyosen'e kadar olan düzeylerinin kıvrımlı bir yapıya sahip olduğu, antiklinallerin ve senklinallerin geliştiği belirlenmiştir.

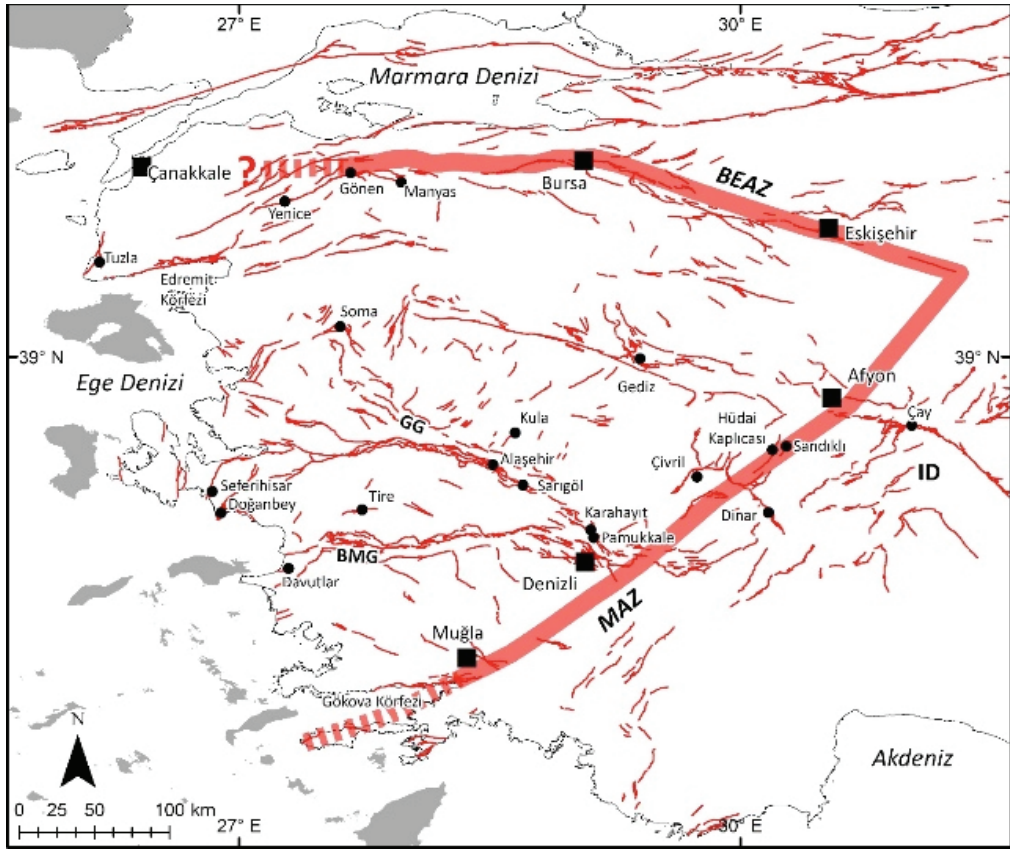
Bölgenin neotektoniği ile ilgili yapılan haritalarda uzun eksenleri kuzey-kuzeydoğu veya kuzey-kuzeybatı olan ve günümüz morfolojisine göre asılı duran başka havzaların da varlığı görülmüştür. Bu deformasyonlar nedeniyle, Şengör vd. (1985), Şaroğlu vd. (1987), Şaroğlu ve Yılmaz (1990) ve Yılmaz vd. (2000) makalelerinde, Batı Anadolu'da Geç Miyosen'e kadar sıkışma tektonik rejiminin hüküm sürdüğünü savunmuşlardır. Koçyiğit vd. (1999) ve Özkaymak vd. (2013) yayınlarında, Miyosen yaşlı kayalardaki kıvrımları haritalayarak sıkışmalı yapıyı ortaya çıkarmıştır. Ancak açılmalı tektoniği daha erken başlatıp, sıkışmalı deformasyonu ara faz olarak kabul etmiştir. Şaroğlu vd. (1987) ve Şaroğlu ve Yılmaz (1990) makalelerinde, Alt Miyosen'den günümüze kadar gelişen yapıların farklı tektonik etkinliğinde geliştiğini ve günümüzde aktif olabilecek bazı doğrultu atımlı fayların varlığını söylemektedirler. Bu yayınlarda, grabenlerin Kuvaterner yaşlı olduğu belirtilmektedir. Arpat ve Bingöl (1969) de, 28 Mart 1969 tarihli Ms=6,5 büyüklüğündeki Alaşehir Depremi'nden sonra yaptıkları incelemede Gediz Grabeni'nin Kuvaterner yaşlı olduğunu yıllar önce yazmıştır. Aynı şekilde, Ünay vd. (1995), Büyük Menderes Grabeni'nde buldukları fosil topluluğuna dayanarak, bu grabenin de Kuvaterner yaşlı olduğunu vurgulamışlardır.

Batı Anadolu'nun neotektoniği ile ilgili deformasyon modelleri ve yaşları hakkında ortaya çıkmış olan bu görüşlerin çoğu, sınırlı bilgilere dayanan ve dar alanlarda yapılan çalışmalardır. Ancak tüm bu çalışmalarda, doğu-batı genel gidişli çökelim alanlarının kuzey-güney yönlü açılmalar sonucunda ortaya çıktığı vurgulanmaktadır.

İşte bu karışıklığı ortadan kaldırmak için günümüz deformasyonunu belirlemek ve gerisin geriye olayları irdeleyerek neotektonik dönem deformasyonlarını yorumlamak doğru bir çıkış noktasıdır.

BATI ANADOLU'NUN GÜNCEL DEFORMASYONU

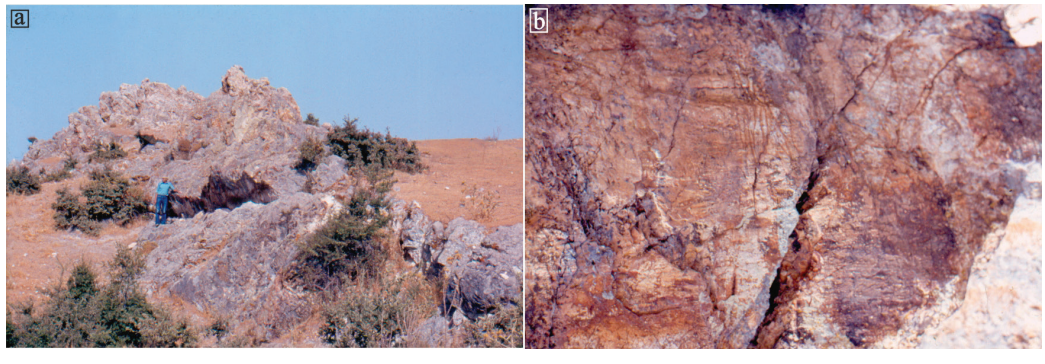
Türkiye'nin aktif tektoniği ile ilgili haritalara bakıldığında, aktif olup çoğu depremlerle sınanmış çok sayıda yapısal unsurların varlığı görülür. Bu haritalara tüm Anadolu boyutunda bakıldığında, Batı Anadolu'nun taşıdığı yapısal unsurlara göre özgün bir bölge olduğu görülebilmektedir. Bölge sınırları batıya açılan devrik "V" şeklinde deformasyon zonları ile tanımlanabilmektedir (Şekil 8). Bu bölge makalede, Batı Anadolu Tektonik Kaması olarak adlandırılmıştır.



Şekil 8. Diri faylar (Emre vd., 2013'ten alınmıştır) ve Batı Anadolu Tektonik Kaması'nın sınırı.

Figure 8. *Active faults (from Emre et al., 2013) and boundary of Western Anatolia Tectonic Wedge.*

Bu sınırlar tek bir çizgi şeklinde olmayıp farklı yapısal unsurları ihtiva eden bir zon niteliğindedir. Batı Anadolu Tektonik Kaması olarak tanımlanan bu alanda normal faylar, doğrultu atımlı faylar ve açılma çatlakları gibi farklı karakterde yapılar gelişmiştir (Şekil 9a, b, ve 10a, b).



Şekil 9. a) Sağ yönlü doğrultu atımlı fay, fayın genel doğrultusu KD-GB'dir, Aşağı Şakran, İzmir. b) Fay düzlemi üzerindeki çizikler yataya yakındır.

Figure 9. *a) Right lateral strike-slip fault observed in NE-SW direction, Aşağı Şakran, Izmir. b) Slickensides on fault plane are close to horizontal.*



Şekil 10. a) Sağ yönlü doğrultu atımlı fay, Söke Aydın. b) Normal fay, Aydın'ın kuzeyi.

Figure 10. *a) Right lateral strike-slip fault, Söke-Aydın. b) Normal fault, north of Aydın.*

Batı Anadolu'nun orta bölümünde 28 Mart 1969 tarihli Ms=6,5 büyüklüğündeki Alaşehir ve 28 Mart 1970 tarihli Ms=7,2 büyüklüğündeki Gediz depremlerinde meydana gelen yüzey kırılmalarında izlendiği gibi normal faylar egemendir (Arpat ve Bingöl, 1969). Bölgenin kuzeybatısında sağ yönlü doğrultu atımlı faylar mevcuttur. Bu faylardan birinde 1953 yılında meydana gelen Yenice-Gönen depreminde sağ yönlü doğrultu atımlı kırılmalar ortaya çıkmıştır. Ege bölgesinin kuzeyinde bulunan Manyas Fayı'nda 1964'te meydana gelen depremde normal fay hareketi izlenmiştir. Bölgenin batı bölümünde kuzeydoğu güneybatı genel gidişli sağ yönlü doğrultu atımlı faylar yoğundur. 1992 yılında meydana gelen Doğanbey-Seferihisar depreminde kanıtlandığı şekliyle bu faylar da diridir (Emre vd., 2005). Batı Anadolu olarak tanımlanan bölgenin doğu bölümünde ise normal ve/veya doğrultu atım bileşenli açılma çatlaklarının etkinliği dikkati çekmektedir. 1995 Dinar ve 2002 Çay (Afyon) depremlerinde meydana gelen açılma çatlakları birkaç kilometreye kadar sürekli izlenebilmiştir (Şekil 11a ve b).



Şekil 11. a) 1995 Dinar depreminde ortaya çıkan açılma nitelikli kırığın genel görünümü. b) Açılma çatlağı yakından görünümü.

Figure 11. *a) General view of extensional fracture produced during 1995 Dinar earthquake. b) Closer view of extensional fracture.*

Hüdai kaplıcası (Afyon-Sandıklı, Pamukkale ve Karahayıt kaplıcaları (Denizli) ile Sarıgöl'de (Manisa) (Gürsoy vd., 1997; Koca vd., 2011; Özkaymak vd., 2017) asismik olarak açılmaların arlığı arazi gözlemleri ile rahat bir şekilde görülebilmektedir (Şekil 12a, b; 13a, b, 14a ve b).

Batı Anadolu'nun farklı yerlerinde değişik diri yapısal unsurların her biri için



Şekil 12. a) Sandıklı Hüdai kaplıcasındaki derenin içinden geçen açılma çatlağı ve termal çıkışlar. b) Derenin içindeki çatlağın genel doğrultusu KB-GD'dur.

Figure 12. *a) Extensional fracture and thermal manifestations inside creek of Sandıklı Hüdai spa. b) Extensional fracture inside the creek, observed in NW-SE direction.*



Şekil 13. a) Karahayıt-Denizli sıcak su çıkışı. b) KB-GD gidişli traverten sırtı ve açılma çatlağı.

Figure 13. *a) Hot springs, Karahayıt-Denizli. b) Fissure-ridge travertine and extensional fracture, observed in NW-SE direction.*

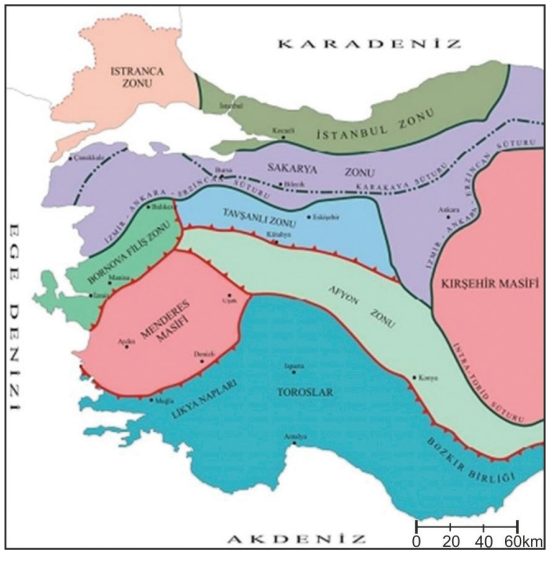


Şekil 14. a-b) Sarıgöl'deki güncel deformasyon. (Koca vd., 2011; Özkaymak vd., 2017)

Figure 14. *a-b) Active deformation in Sarıgöl, Manisa. (Koca et al., 2011; Özkaymak et al., 2017)*

deformasyon modellemesi yapıp σ_1, σ_2 ve σ_3 ana eksenlerinin elde edilen konumlarını tüm bölge için genelleştirilerek değerlendirildiğinde birbirlerinden farklı, hatta çelişkili sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Bu çelişkiler bölgede sebep-sonuç ilişkisini ortaya çıkarmak için daha önceki çalışmalarda söylendiği gibi yalın kuzey-güney yönlü gerilmelerle açıklanamamaktadır. Bölgede izlenen tektonik deformasyonları anlatabilmek için daha ayrıntılı güncel bilgilere gereksinim duyulmaktadır.

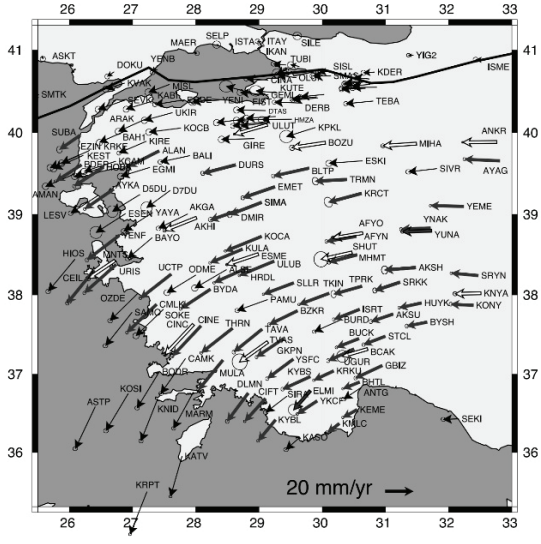
MTA Genel Müdürlüğü tarafından yenilenen 1/500.000 ölçekli jeoloji haritası üzerine günümüz diri fayları yüklendiğinde bu süreksizliklerin büyük bir bölümünün litolojik farklılık (kaya toplulukları anlamında), paleotektonik yapılar, magmatitler ve/veya morfolojik farklılıklara karşılık geldiği görülür (Göncüoğlu vd., 1996; Emre vd., 2013) (Şekil 15). Göncüoğlu vd. (1996) de bölgede bulunan farklı kaya topluluklarını haritalamışlardır. Haritada ayırdıkları kaya toplulukları arasındaki dokanakların tektonik olması ve mostralarının blok görünümünde olmaları dikkat çekicidir.



Şekil 15. Batı Anadolu'nun paleotektonik haritası (Göncüoğlu vd., 1996'dan alınmıştır).

Figure 15. *Paleotectonic map of western Anatolia (from Göncüoğlu et al., 1996).*

Bölgenin batı ve kuzeybatısında egemen olan sağ yönlü doğrultu atımlı fay mekanizması deformasyon modellemesine göre değerlendirildiğinde kuzey-güney yönlü uzama yerine batıya doğru bir uzamayı ifade etmektedir. Bölgenin doğusunda yer alan Sandıklı, Pamukkale, Karahayıt ve Sarıgöl'de gelişmekte olan açılma çatlakları kuzey veya kuzeye yakın doğrultuları nedeniyle açılmanın gerektirdiği genişlemenin doğu-batı olması söz konusudur. Bunların içinde Sarıgöl'deki asismik yüzey deformasyonları KB-GD doğrultuludur ve genişleme ekseni is KD-GB olduğu görülmektedir (Gürsoy vd., 1997; Özkaymak vd., 2017). Normal fayların etkin olduğu ve doğu-batı uzanımlı olan grabenlerin geliştiği alanlara bakıldığında K-G yönlü uzamayı gerektirmektedir. Ancak bu fayların yoğun olduğu yerlere ayrıntılı bakıldığında yörede var olan süreksizliklerin tek tip olarak alanı kaplamadığı, yer yer birbirinden kopuk normal fayların bütünü olduğu ve bunların arasında doğrultu atımlı fayların varlığı görülür. Bu alanlarda deformasyon modeli ortaya çıkarabilmek için konuya yönelik ayrıntılı araştırmalar gerekmektedir. Gediz Grabeninde, Alaşehir ve batısına ait petrol amaçlı yapılan sismik araştırmaların değerlendirmelerinde bu düzensizlikler izlenmiştir (Yazman, 1995). Aynı düzensizliklerin Büyük Menderes Grabeni'nde yapılan rezistivite ve MT araştırmalarında da grabenin boydan boya düzenli uzanımları olan faylar rahatlıkla yorumlanamamaktadır (Bozkurt, 2019). Makalenin ileri aşamasında ayrıntılı anlatılacağı gibi aşağıda ayrıntılı anlatılacağı gibi Menderes Bloğunun batıya kaçışında ortaya çıkan genişleme alanlarda normal faylar bulunmaktadır. Ancak kuzeyde ve güneyde saptanabilen bu normal faylar yüksek açılı olup bu tip açılmaların ürünü olduğunu düşünmekteyiz. Örneğin eldeki GPS verilerine bakıldığında günümüzde bölgedeki etkin hareketin yılda 2-3 cm arasında değişen batıya doğru hareketlerin varlığı ortaya çıkmaktadır (Şekil 16).



Şekil 16. Avrasya stabil iken Batı Anadolu'nun birleştirilmiş hız alanları. Kalın gri oklar güncel çalışmalardaki araştırma modunda tanımlanan hızları göstermektedir. Kalın beyaz oklar güncel çalışmalardaki CGPS istasyonlarının tanımladığı hızları göstermektedir. Kalın siyah oklar Reilinger vd., (2006) ve Aktuğ vd., (2009) hız verilerinin birleştirilmiş şeklidir. Hata elipsoidleri %95 güvenilirliktedir (Aktuğ vd., 2009'dan alınmıştır).

Figure 16. *Combined velocity field of western Anatolia with respect to stable Eurasia. Thick grey arrows represent velocities of survey mode sites determined in present study. Thick white arrows are velocities at CGPS stations determined in present study. Thin black arrows represent velocities taken from Reilinger et al. (2006) and combined with Aktuğ et al. (2009) velocity field. Error ellipses are at 95% confidence level (from Aktuğ et al., 2009).*

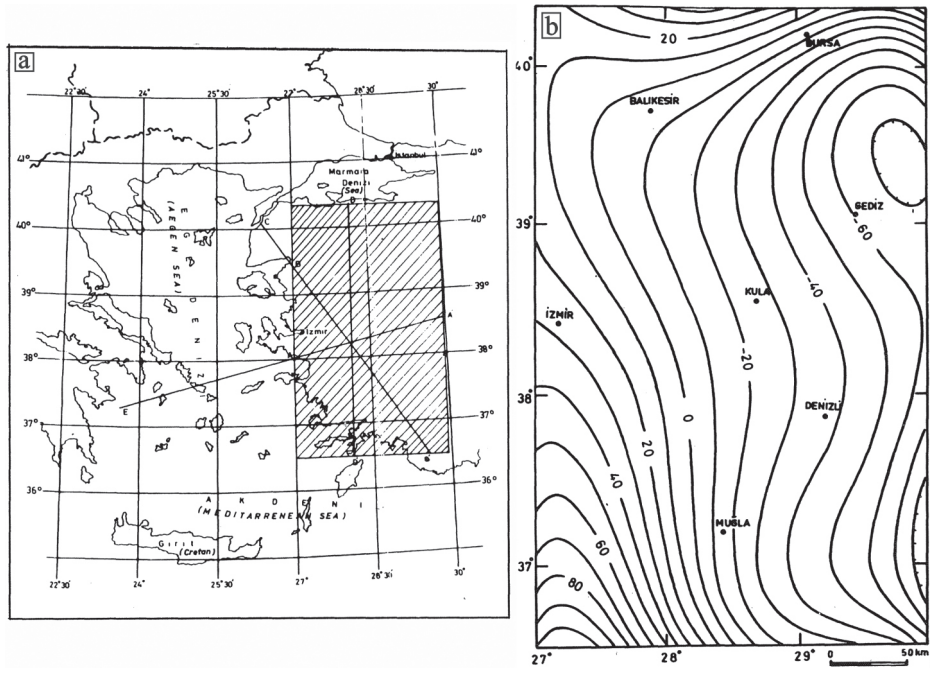
Bölgenin kabuk kalınlığını gösteren haritaya bakıldığında ise kalınlığın (Akçığ, 1988; Komut vd., 2012; Arslan, 2012) doğudan batıya doğru inceldiği, kalınlık değişiminin doğu-batı uzanımlı çöküntü alanlarına karşılık gelmediği görülüyor (Şekil 17a, b ve Şekil 18). Farklı parametrelere göre düzenlenmiş olan gravite haritalarında da aynı trend görülmektedir (Arslan vd., 2010) (Şekil 19).

Bu amaçla Miyosen'den günümüze kadar var olan paleomanyetizma yönelimlerine bakıldığında da düzenli bir yönelimin olmadığı görülür (Şekil 20) (Tapırdamaz vd., 2006; Tapırdamaz, 2008).

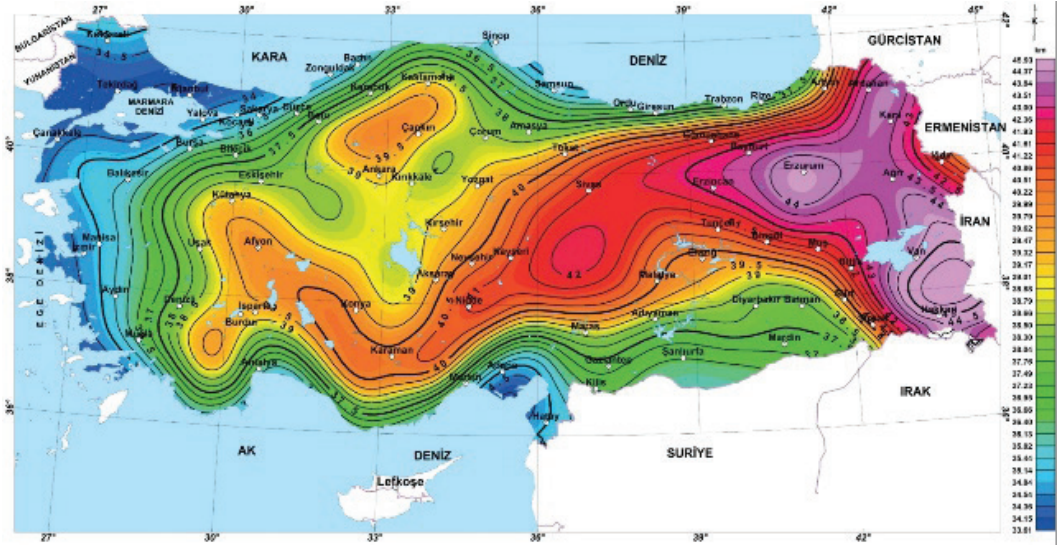
Aynı yaşta olan kayalardaki ölçümlerin bazıları saat yönünde dönmeler gösterirken diğer bazı alanlarda ise saatin tersi yönünde dönmeler görülmektedir. Bölgenin dikkati çeken bir diğer özelliği de son yüzyılda meydana gelen depremlere ait fay düzlemi çözümlerinde normal, doğrultu ve ters fay hareketini ifade eden sonuçların elde edilmiş olmasıdır (Şekil 21a, b ve 22) (Pavlides vd., 1990). Kılıç vd. (2017)'de, 1900-2012 yılları arasındaki Türkiye ve çevresindeki depremlerin moment tensör çözümleri haritasında görülebildiği gibi, bölgede normal fayların dışında doğrultu atımlı ve seyrekte olsa bindirme bileşenli çözümler bulunmaktadır.

VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE MODEL ÖNERİSİ

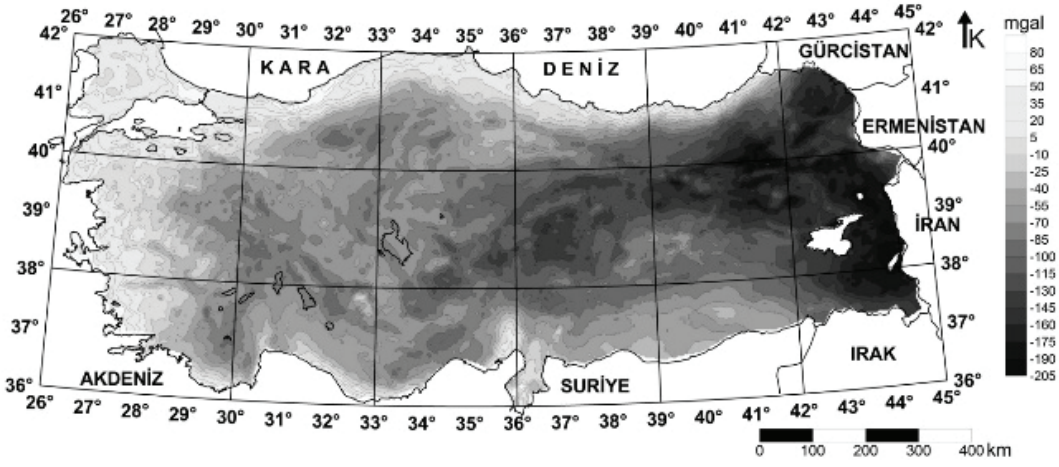
Yukarıda tanımlanan somut verilere göre Batı Anadolu daha önce yayımlanmış çoğu makalelerde söylendiği şekliyle kuzey-güney yönde bir aktif gerilmeye yorumlanacak yeterli veriler bulunmamaktadır. Bunun tersine GPS verilerine göre bölge batıya doğru ilerlemektedir. Devrik "V" şeklindeki sınırın içinde batıya doğru ilerleyen bölümün içlerinde gelişen süreksizliklerle bloklara ayrılmaktadır. Tüm alanı sembolik olarak bir levhacık kabul edecek olursak levha içinde ortaya çıkan bloklar değişik nedenlerle rotasyonal dönmeler yaparak hareket etmektedirler. Şekil 16'da görüldüğü gibi toplam hareket karada batı-güneybatıya doğru gidişli olmakla beraber Ege Denizi'ne doğru Güneybatıya yönelmektedir. Blok dönemlerinin kimi saat yönünde kimi de saatin tersi yönünde olmaktadır. Ayrıca blokların hareket hızları da farklı olmaktadır. Farklı davranış sonucunda bloklar arasında çöküntü alanları ortaya çıkmaktadır. Blokların arasında aynı doğrultuda olmakla beraber farklı hareket yönleri olan doğrultu atımlı faylar da izlenebilmektedir. Blok hareketinin en iyi tanımlanabileceği, modele dönüştürülebileceği iki alan aşağıda anlatılacaktır.



Şekil 17. a) Kabuk kalınlığı için yer bulduru haritası ve b) 5. derece trend yüzeyi (Akçığ, 1988'den alınmıştır).
Figure 17. *a) Location map for crustal thickness and 5th degree trend surface (from Akçığ, 1988).*

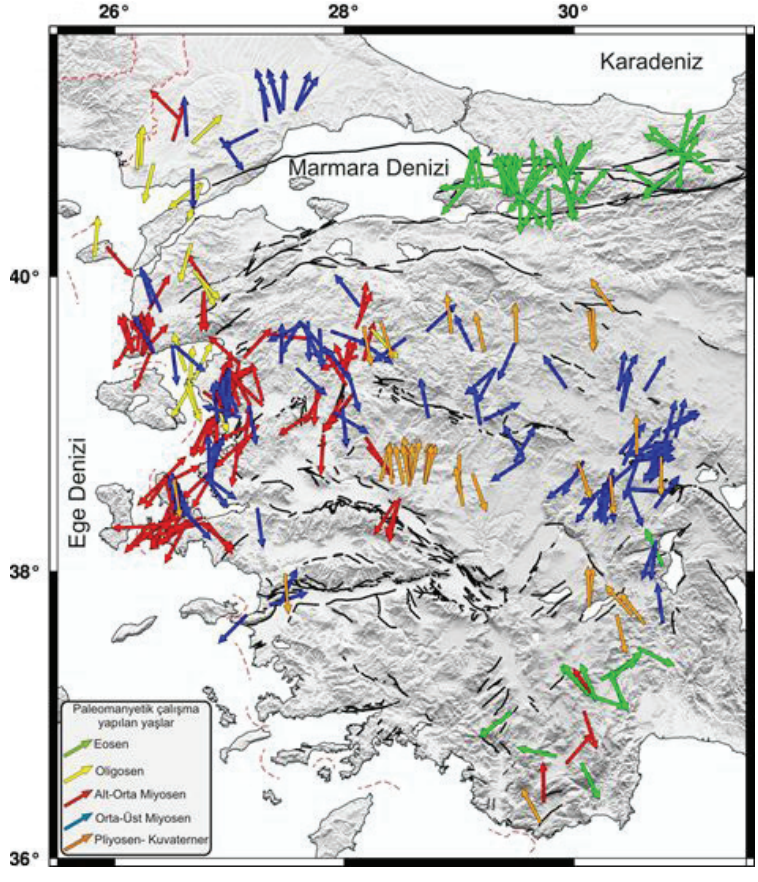


Şekil 18.Türkiye'nin bölgesel gravite kabuk kalınlığı haritası (Arslan, 2012'den alınmıştır).
Figure 18. *Regional gravity crust thickness map of Turkey (from Arslan, 2012).*



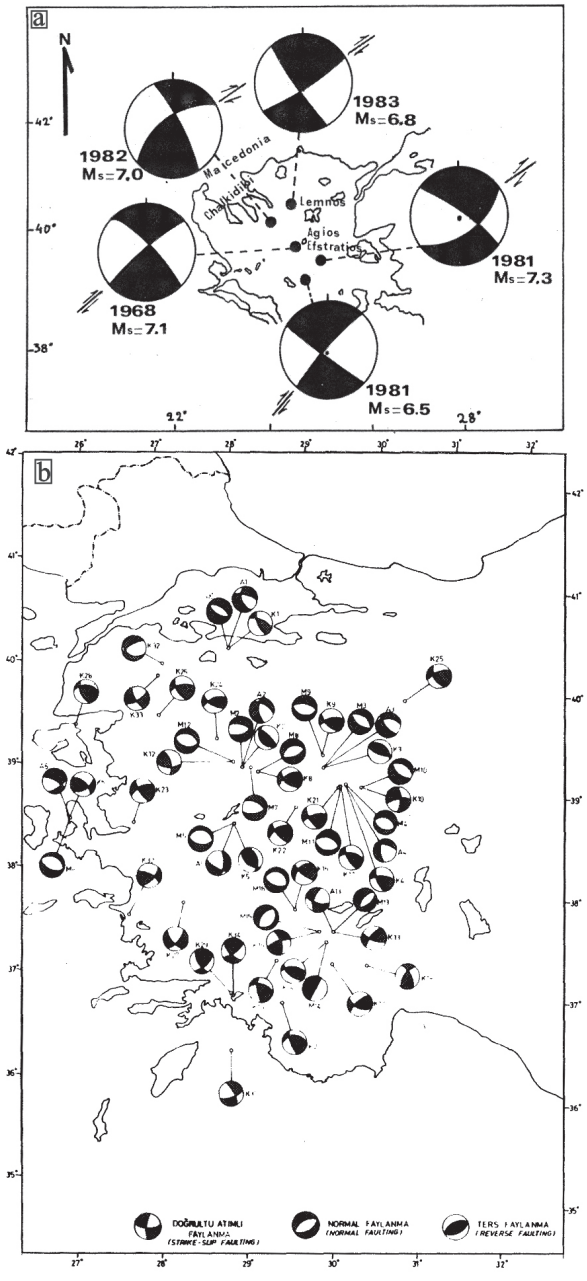
Şekil 19. Türkiye Bouguer gravite haritası (Arslan vd., 2010'dan alınmıştır).

Figure 19. *Bouguer gravity map of Turkey (from Arslan et al., 2010).*



Şekil 20. Batı Anadolu'da yapılan paleomanyetizma çalışmalarının sonuçları (Tapırdamaz, 2008; yayımlanmamış). Bu harita, Türkiye Paleomanyetizma Veri Kataloğu'ndan üretilmiştir (Tapırdamaz vd., 2006).

Figure 20. *Results of paleomagnetism studies on western Anatolia (Tapırdamaz, 2008; unpublished). Map was produced by the Paleomagnetism Data Catalogue of Turkey (Tapırdamaz et al., 2006).*



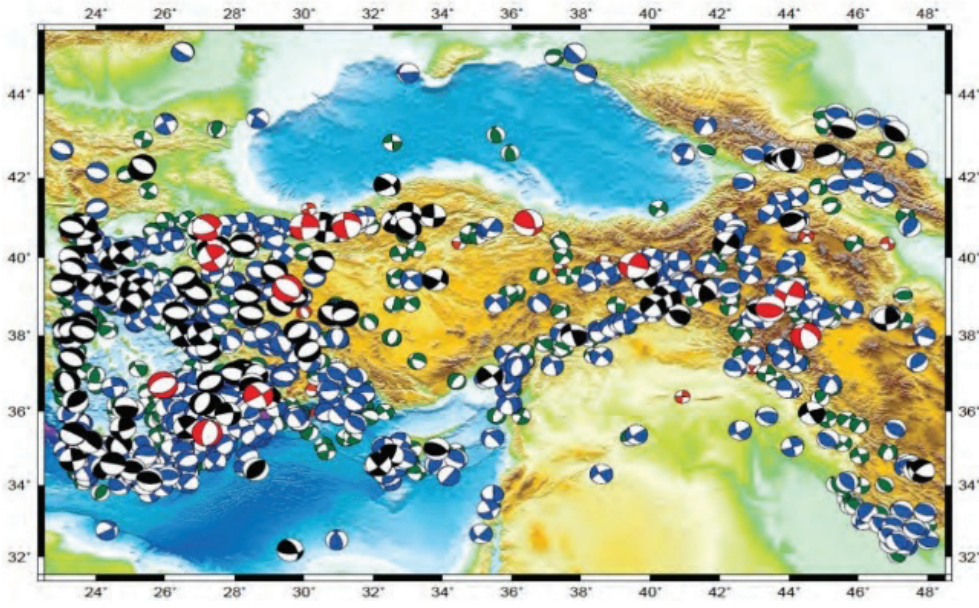
Şekil 21. a) Ege Denizi (Pavlides vd. 1990'dan alımıştır) ve b) Batı Anadolu'da (Akçığ,1988'den alınmıştır) çeşitli araştırıcılar tarafından yapılan odak mekanizması çözümleri.

Figure 21. *Focal mechanism solutions realised by research in a) Aegean Sea (from Pavlides et al., 1990) and b) western Anatolia (from Akçığ,1988)*

Menderes Bloğu

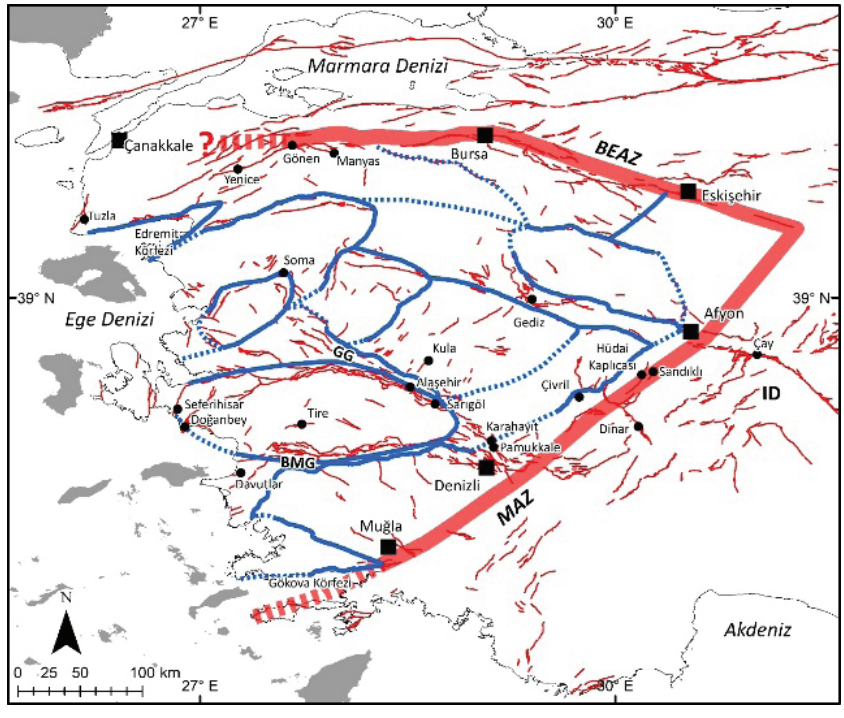
Bölgenin jeolojisine bakıldığında farklı kaya topluluklarının çoğunun tektonik dokanaklarla bir araya geldiği görülür. Türkiye Diri fay Haritası ile söz konusu jeoloji haritaları çakıştırıldığında çoğu aktif fayların bu sınırlara karşılık geldiği görülür. Doğal olarak bazı süreksizliklerin de kaya topluluklarının içlerinde de gelişmiş olduğu görülmektedir. Ana süreksizliklerin iyi izlenemediği alanlarda yorumlar yaparak süreksizlikler birleştirildiğinde bölgede tektonik kontrollü birçok blok ayırtlanabilmektedir. Ayrıntılı çalışma yapmadığımız için bu bloklara özel bir ad verilmemiştir (Şekil 23).

Bu blok, ayrımının net yapılabildiği yerlerden biri Menderes Masifi veya Menderes Metamorfitleri olarak belirtilmiş olan alanda yer almaktadır. Blok, Menderes Masifi'nin tüm yayılım alanına karşılık gelmemektedir. Bu yazıda, Menderes Bloğu olarak adlandırılan kısım Menderes Masifi'nde belli süreksizliklerle ayrılmış bir bloktur. Tüm Menderes Masifini kapsamamaktadır. Blok; gnays, granit, şist ve mermerlerden oluşan bir metamorfik komplekstir. Kuzey ve güney sınırları yaygın Miyo-Pliyosen kaya toplulukları tarafından sarılmaktadır. Süreksizlik düzlemleri sınır kabul edilerek geometrisi ortaya çıkarıldığında doğu-batı uzun eksenli elips şeklinde oluğu görülmektedir. Bloğu sınırlayan kuzey-güney süreksizlikler doğuda kesişecek kadar birbirine yaklaşmaktadır. Batıya doğru ise kuzeydoğu-güneybatı genel gidişli sağ yönlü doğrultu atımlı faylar tarafından kesilmektedir. Bloğun kuzeyinde ve güneyinde bulunan Kuvaterner yaşlı çökellerin havza geometrileri, çökelim cinsi ve tektonik deformasyon tipleri söz konusu havzalarla sınırlıdır. Bu çöküntü alanlarının dışına taşmamaları nedeniyle çöküntü ile eş yaşlı olduğu görülür. Gerek kuzeydeki Gediz Grabeni'nde (Çöküntüsünde) gerek güneyde Büyük Menderes Grabeni'nde çöküntülerin içinde geliştiği kesin olan kayalar Kuvaterner yaşlıdır. Bu kaya paketine ait



Şekil 22. 1900-2012 yılları arasındaki Türkiye ve çevresindeki depremlerin moment tensör çözümleri (Kılıç vd., 2017).

Figure 22. *Moment tensor solutions of earthquakes between 1900 and 2012 in Turkey and environs (Kılıç et al., 2017).*



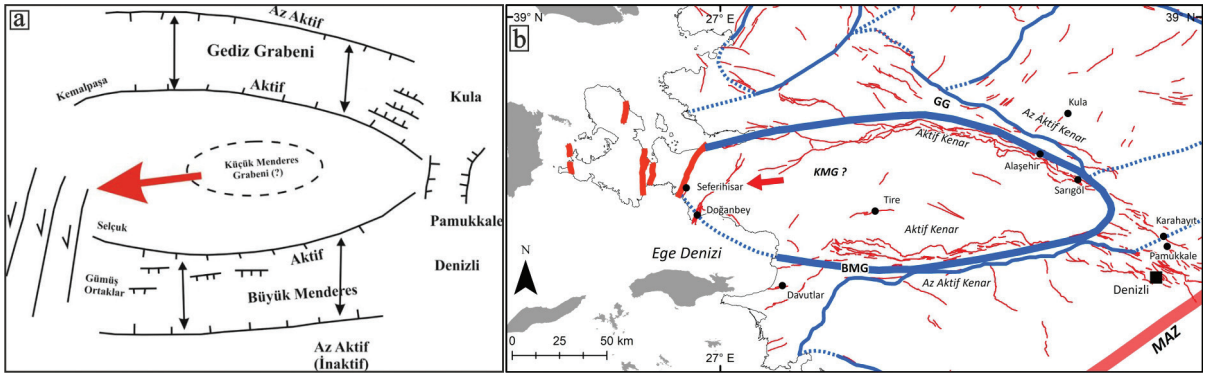
Şekil 23. Batı Anadolu Tektonik Kaması'nın içinde bulunan bloklu yapılar (Diri Fay Haritası Emre vd., 2013'ten alınmıştır).

Figure 23. *Blocks in Western Anatolia Tectonic Wedge (Active faults from Emre et al., 2013).*

çökellerin aşınım, taşınım ve birikim geometrisiyle havza geometrisini halen korumaktadır. Alüvyonal çökeller ile havza yamaçlarındaki kollüvyal malzemelerle temsil edilirler. Bu çöküntülerdeki kırıntıların yüksek enerjili ortama ait çökellerle temsil edildiği dikkati çekmektedir. Menderes Bloğunun kuzey ve güneyinde bulunan havzaların eş yaşlı çökellerinde Kuvaterner yaşlı fosiller saptanmıştır.

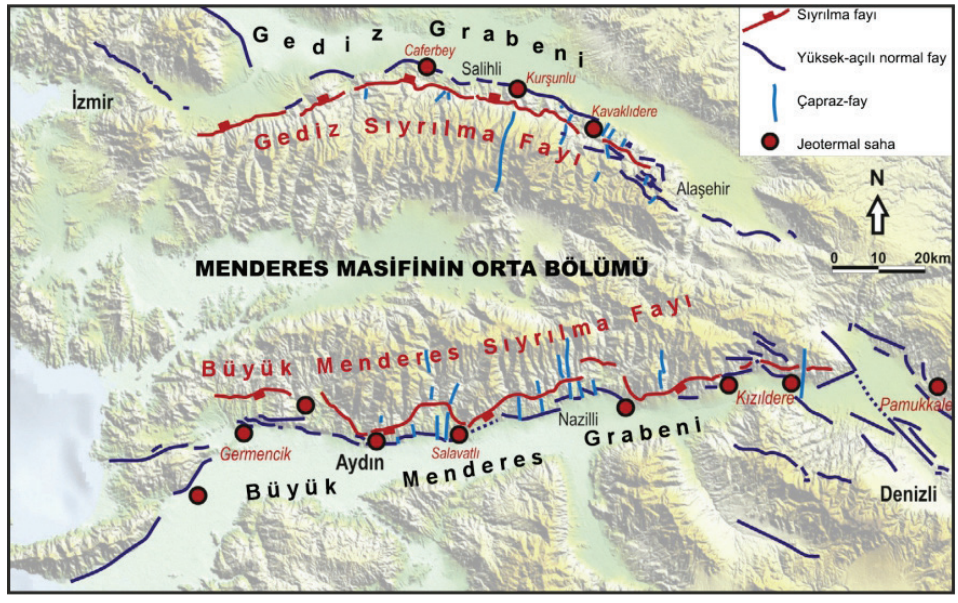
Tanımlanan blok batıya doğru hareket ederek deforme olmaktadır. Bloğun yanlarında bulunan diğer bloklarında batıya doğru hareket ettiği olasılıdır. Ortaya çıkmış olan deformasyonlar değerlendirildiğinde Menderes Bloğu'nun batıya doğru gidişinin etrafındaki bloklara göre daha hızlı olduğu ortaya çıkmaktadır. Blokların batıya göçü esnasında hız farkından kaynaklanan nedenlerle aralarında açılma ve daralma olmaktadır. İşte açılmaların büyük boyutlara ulaştığı yerler graben geometrisini kazanmıştırlar. Her iki grabende de Menderes Bloğunun güncel deformasyon modeli ile ilişkilendirilebileceği herhangi bir volkanik aktivite bulunmamaktadır. Grabenlerde genelde normal faylar egemen olmakla beraber doğrultu atımlı faylar ve açılma çatlakları da izlenebilmektedir (Şekil 24).

Menderes Bloğunun kenarlarında yüksek sıcaklıklı termal kaynaklar bulunmaktadır. Bu termal kaynakların dağılımına bakıldığında Büyük Menderes Grabeni'nin (Çöküntüsünin) kuzey kenarındaki ve Gediz Grabeni'nin (Çöküntüsünün) güney kenarındaki yani her iki çöküntüde de Menderes Bloğu kenarındaki sınırda daha fazla yoğunlaştığı görülmektedir (Kaya, 2015) (Şekil 25). Büyük Menderes ve Gediz Çöküntüleri'nin içinde jeotermal ısıtıcıya yorumlanabilecek herhangi bir volkanizma yüzeylenmemektedir. Sınırlı alanda yüzeylenen volkanik kayalar 10 milyon yıldan daha yaşlı olup farklı tektonik rejime aittirler. Bu gözlem Menderes Bloğunun sınırlarında termal aktiviteyi sağlayan, süreksizliklerin, dolayısıyla tektonik aktivitenin daha fazla olduğu anlamına gelmektedir. Jeotermal üretimi hedef alan jeofizik ölçümleri sonuçlarıyla sondajlardan elde edilen bilgilere göre yüksek açılı fayların akışkanlar için çıkış yolları olduğu görülmüştür. Menderes Bloğu ve yakın çevresini kapsayan bölgesel ölçekli kabuk kalınlığı, gravite haritalarında kuzey-güney yönünde gerilmeyi ifade eden değişimler bulunmamaktadır (Yazman, 1995; Bozkurt, 2019). Haritalarda doğu-batı yönünde değerlerde değişim çok net bir şekilde izlenebilmektedir.



Şekil 24. Menderes Bloğu'nun güncel deformasyonu için tasarlanan model. b) Menderes Bloğu'nun Batı Anadolu Tektonik Kaması içindeki konumu. Menderes Bloğu'nun sınırları kalın ve mavi renkte çizilmiştir. Blok içindeki kırmızı renkli ok, olasılı hareket yönünü göstermektedir. KMG ? = Şüpheli Küçük Menderes Grabeni.

Figure 24. *(a) Model designed for current deformation of Menderes Block. b) Location of Menderes Block in Western Anatolian Tectonic Wedge. Borders of Menderes Block shown in bold and blue. Red arrow inside block indicates possible direction of motion. KMG? = Suspected Küçük Menderes Graben.*



Şekil 25. Büyük Menderes ve Gediz sıyrılma fayları önünde gelişen jeotermal alanların yapısal durumları (Kaya, 2015'ten alınmıştır).

Figure 25. *Structural positions of geothermal areas that developed in front of Büyük Menderes and Gediz detachment faults (from Kaya, 2015).*

Menderes bloğunun dışına doğru bakıldığında kuzeydoğusunda bu deformasyon döneminde yüzeylenmiş ve mantodan beslenen Kula Volkanitleri görülür (Şekil 26).

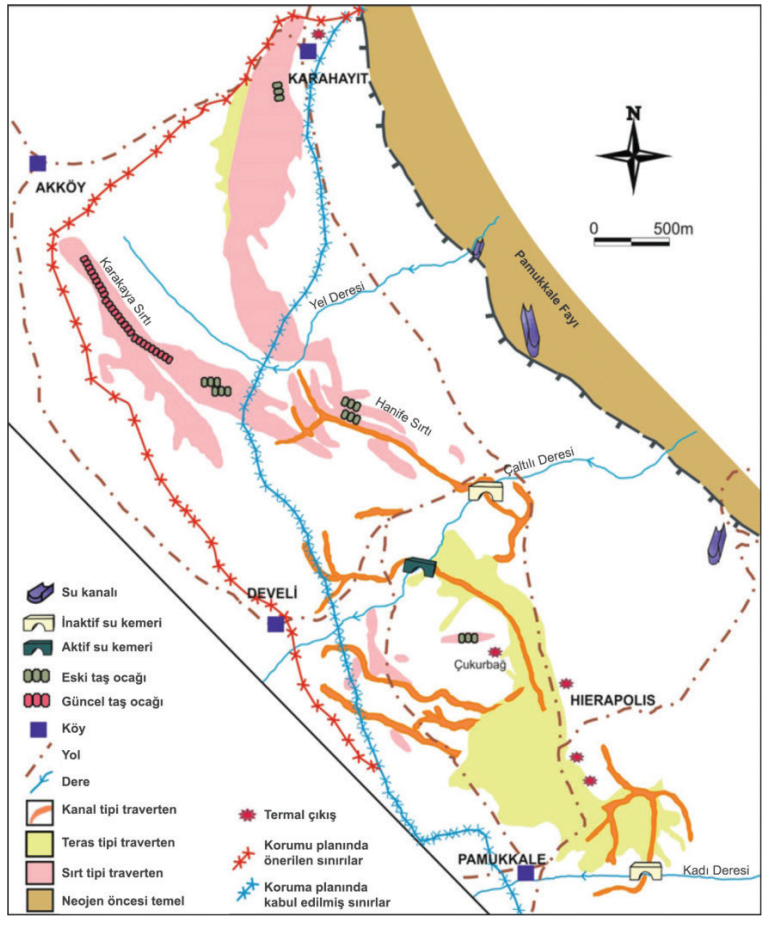


Şekil 26. Kula volkanitleri genel görünümü.

Figure 26. *General view of Kula volcanites.*

Kula Volkanitlerinin yüzeylendiği alandaki çöküntülerde Gediz ve Menderes Grabenlerinde daha kalın çökelimler mevcuttur (Ercan, 1981). Bloğun doğusuna denk gelen alanlarda Dinar'da 1995, Afyon-Çay 2002 yılında meydana gelen depremlerde açılma çatlaklarının varlığı izlenmiştir. Menderes bloğuna göre doğu-güneydoğuda yer alan Sandıklı ilçesi Hüdai kaplıcasında termal çıkışlara ortam sağlayan açılma çatlakları bulunmaktadır. Bloğun doğusunda Sarıgöl ilçesinde sanat yapılarını bile deforme eden açılma çatlakları aynı şekilde bu alanın KD-GB açıldığının canlı kanıtıdır (Şekil 12).

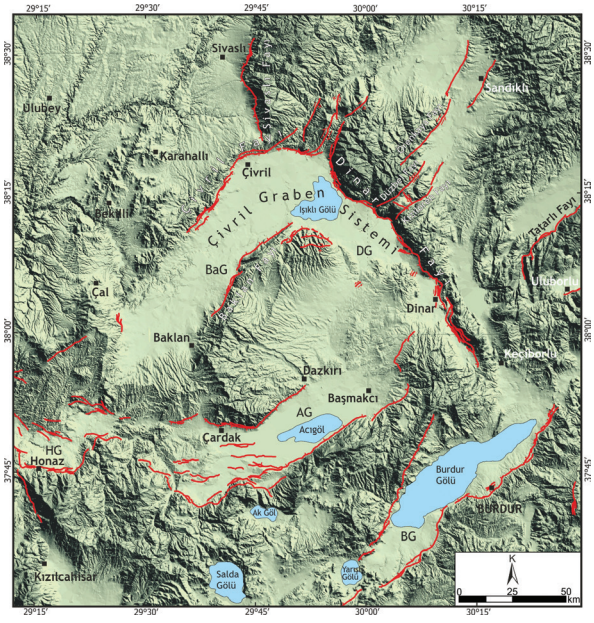
Menderes Bloğunun doğu-güneydoğusunda bulunan Denizli, Pamukkale ve Karahayıt alanlarında açılma çatlaklarından çıkan yoğun termal akışlar mevcuttur (Altunel ve Hancock, 1993; Altunel ve D'Andria, 2019). Bu alanda yer alan açılma çatlaklarının genel gidişi kuzeykuzeybatı-güneygüneydoğudur. (Şekil 13 ve 27).



Şekil 27. Pamukkale sahasındaki traverten yapı tiplerinin dağılımları ile insan eliyle yapılmış yapıları gösteren harita. Pamukkale sahasındaki ana jeolojik birim, beyaz ile gösterilen, Neojen klastikleridir ve diğer Kuvaterner çökelleridir. Ayrıca, kabul edilen koruma sınırı, 1991 tarihli Pamukkale (Hierapolis) Koruma ve Geliştirme Planı'ndan alınmıştır (Altunel ve D'Andria, 2019'dan alınmıştır).

Figure 27. *Map of Pamukkale area showing distribution of terraced-mounds, fissure-ridges, self-built channel travertines and man-made structures. Main geological units in Pamukkale area are Neogene clastics and other Quaternary deposits (white area) (approved boundaries of area subject to preservation plan taken from Pamukkale (Hierapolis) Preservation and Development Plan 1991) (from Altunel and D'Andria, 2019).*

Özalp vd. (2018) tanımladıkları Menderes Bloğunun doğusunda yer alan Çivril Grabeninin aktif olan kenar fayları da KD-GB, KB-GD ve D-B doğrultuludur. Havzanın uzun ekseninin kuzeykuzeydoğu-güneygüneybatı olduğu dikkat çekicidir (Şekil 28).



Şekil 28. Çivril Graben Sistemi, Denizli (Özalp vd., 2018'den alınmıştır). (AG: Acıgöl Grabeni, BaG. Baklan Grabeni, BG: Burdur Grabeni, DG: Dinar Grabeni, HG: Honaz Grabeni).

Figure 28. *Çivril Graben System, Denizli (from Özalp et al., 2018). (AG: Acıgöl Graben, BaG: Baklan Graben, BG: Burdur Graben, DG: Dinar Graben, HG: Honaz Graben).*

Yukarıda yapılan açıklamalarda, Menderes bloğunun doğusunda kalan alanların Büyük Menderes ve Gediz Çöküntülerinde daha fazla açılma olduğuna yorumlanabilecek veriler bulunmaktadır. Örneğin mantodan beslenen Kula volkanizmanın yüzeylenmesi için büyük açılmalar gerekmektedir. Sarıgöl'de, Pamukkale'de ve Sandıklı'da güncel olarak açılmalar devam etmektedir. Bölgenin jeolojisini doğuya doğru devam ettirdiğimizde, grabenlerden daha fazla Tersiyer çökel varlığı görülmektedir. Son 100 yıldaki deprem aktivitelerine baktığımızda, Gediz Çöküntü Alanı'nda, sadece yıkıcı bir deprem olan, 1969 Alaşehir Depremi meydana gelmiştir. Büyük Menderes Çöküntü Alanı'nda yıkıcı bir deprem tanımlanmamıştır. Bloğun doğu kenarında ise yoğun deprem etkinliği görülmüştür ve yıkıcı 1995 Dinar, 1970 Gediz, 2002 Çay depremleri meydana gelmiştir. Bu geometrik ilişkiyi, kamaya geliştirecek olursak benzer açılmalar dikkati çekmektedir. Benzer veriler dikkate alınarak, Batı Anadolu Tektonik Kaması aynı aktivitelere dikkat çekmektedir. Tüm bu açıklamalar, çalışılan Menderes Bloğu'nun doğusunda kalanlarında Büyük Menderes ve Gediz Çöküntülerinde daha fazla açılma olduğunu da kanıtlar niteliktedir.

Menderes Bloğu için söylenebilecek özet: blok batıya doğru hareket etmektedir. Bu hareket esnasında çevresinde bulunan bloklarla arasında açılma ortaya çıkmaktadır. Maksimum açılma bloğun kuzey-güney sınırından ziyade doğusunda olmaktadır. Güncel deformasyonda Menderes bloğunda kuzey-güney yönlü ve sıyrılma düzlemleriyle şekillenen büyük gerilmelerin varlığına dair veriler bulunmamaktadır. Gözlemlere göre, sıyrılma düzlemlerinin izlendiği yerlerde yüksek açılı aktif faylar tarafından kesilmektedir.

Menderes bloğunun açık bir şekilde izlenebilen bu deformasyon modeli, bölgede var olan diğer bloklarda da izlenebilmektedir. Ancak her bloğun deformasyonunu kontrol eden paleojeolojik süreçler nedeniyle farklı geometrik yönelimler göstermektedir. Toplanan verilere göre deformasyonu açık olan Tuzla Bölgesinin anlatımından sonra yorum ve sonuçlarla makale bitirilecektir.

Çanakkale Tuzla Jeotermal Sahası

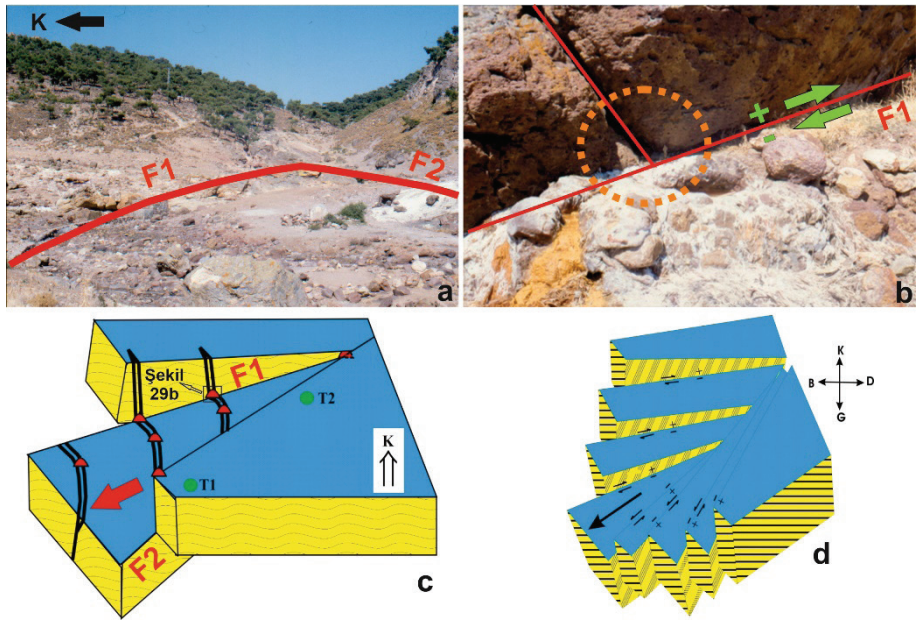
Tuzla Jeotermal Sahası Batı Anadolu Tektonik Kaması olarak da tanımlanan levhacığın kuzeybatısında bulunmaktadır (Şekil 1 ve 29). Sahanın bulunduğu alan birbirinden kopuk çok sayıda doğrultu atımlı faylar bulundurmaktadır. Yapılmış olan bazı araştırmalara göre söz konusu süreksizlikler Kuzey Anadolu Fay Zonunun güney koludur (Barka 1992; Duman vd., 2005; Şengör vd., 2005; Kuşçu vd., 2009; Özalp vd.,

2013; Seyitoğlu vd., 2016). Diğer araştırmalarda ise Kuzey Anadolu Fayı ile grabenler bölgesi arasında geçiş zonu olarak kabul edilmektedir. Uzel vd. (2013)'te, bu zonu Balıkesir-İzmir geçiş zonu olarak tanımlamışlardır. Bu makalede ise tanımladığımız devrik "V" şekilli alanın içinde yer aldığı vurgulanmaktadır. Diğer bir değişle güncel deformasyonlara göre bölge genelinde olduğu şekliyle batıya kaçışın şekillendirdiği bir alandır. Tuzla Jeotermal Alanı olarak tanımlanan bu bölgenin, güneyinde yer alan Edremit Körfezi'nin geometrisi (Şekil 8) ve kuzey kenarını kontrol eden diri fayı varlığı (Sözbilir vd., 2016) benzeri bir batıya kaçışın örneğidir. Ancak, bu batıya devrik V'nin güney sınırındaki fay açık bir şekilde izlenemediği için makalemizde detaylandırılmamıştır.

Tuzla Jeotermal sahası Ege kıyısı yakınında Tuzla köyünde yer almaktadır. Saha Miyosen yaşlı volkanik aktivite ürünü kayalarla kaplıdır. Asidik karakterde tüf, aglomera ve riyolotik karakterde oluşan bu volkanitler dom yapılı çıkışlarla temsil edilirler. Paleotektonik dönemin son ürünleri olan bu kaya topluluklarının kesip aktif olan bazı süreksizlikler güncel çöküntü alanlarını oluşturmaktadır. Bu çöküntülerin içinde bulunan çok sınırlı çökeller günümüz akarsu alüvyonları ile bunlara ulaşan etek dökütüleri, yamaç molozları ile yelpazelerden oluşan kolüvyal malzemelerden ibarettir. Termal çıkışların ürünü olan çatlak dolguları da bölgede haritalanabilecek boyutlardadır.

Saha, her iki tarafı üzerinde jeotermal çıkışlar bulunan batıya açık devrik "V" şeklinde bir morfotektonik konumu bulunmaktadır. Havzanın doğu ucunda 100 °C'de olan su-buhar çıkışı özelliğiyle jeolojik miras niteliğindedir. Havza farklı yönlerde uzanan ve çoğu opal dolgular ihtiva eden çatlaklarla parçalanmıştır. Havzayı sınırlandıran süreksizlikler normal fay, açılma çatlakları ve doğrultu atımlı fayların bileşkeni şeklindedir. Hâkim olan yapının doğrultu atımlı fay bileşenli normal fay olduğu görülmektedir. Bu süreksizlik karmaşasının kesişme yerleri termal çıkış noktalarıdır. Havzayı sınırlandıran ana süreksizlikler doğuda birleşen ve batıya açılan devrik "V" şeklinde bir geometrik yönelim göstermektedir. Her iki ana süreksizlik düzlemleri arasında yer alan dilim batıya hareketiyle alanı genişlemekte bu nedenle açılma çatlakları ile genişleyerek alana yerleşmektedir (Şekil 29b). Bu batıya kaçış bazı yerlerde kıyıları şekillendirecek boyutta olmaktadır. Edremit ve Gökova Körfezleri, buna örnek verilebilir. Davutlar-Kuşadası arasındaki jeotermal amaçlı çalışmalarda aynı geometrik şekle ulaşılmıştır (Yılmazer vd., 1994).

Tuzla bölgesinde izlenen yapısal unsurlara dayanarak yapılan modellemede kullanılan süreksizlikler Menderes Bloğunu kontrol eden süreksizliklerin morfotektonik yapısından farklıdır. Bununla beraber jeodinamik açıdan bölgenin deformasyonu için aynı sonuçları ortaya çıkarmaktadır. Dolayısıyla, Tuzla Jeotermal Sahasını, Batı Anadolu Tektonik Kaması içinde yer alan bir morfotektonik şekil olarak kabul etmekteyiz.



Şekil 29. a) Tuzla (Çanakkale) jeotermal alanı genel görünümü. Bakış doğuya doğrudur. b) Havzayı sınırlandıran normal fay ile ona dikine kesen doğrultu atımlı fayların kesişme noktalarında termal çıkış c) Tuzla jeotermal alanı için öneri model. c) Bölge için genelleştirilmiş bir model.

Figure 29. *a) General view of Tuzla-Çanakkale geothermal field toward the east. b) Thermal manifestation at intersection of normal fault, limiting basin and strike-slip faults which transverse it. c)Model for Tuzla geothermal field. d) Generalized model for the region.*

TARTIŞMA VE SONUÇ

Toplanan verilere göre, Batı Anadolu Tektonik Kaması olarak adlanan alan, kendine özgü deformasyonu ile ayrı bir tektonik bölgedir. Bu alan, batıya açılan devrik "V" şeklinde bir geometriye sahiptir. Alan, tümüyle batı-güneybatıya doğru hareket etmektedir. Daha kolay tanımlayabilmek için levhacık olarak da adlandırılan alan batıya hareketi sonucunda kendi içinde parçalanarak bloklara ayrılmaktadır. Blokların hareketleri rotasyonel şekilde olmaktadır. Bu nedenle günümüzde alanlar ağırlıklı olarak normal faylar, açılma çatlakları olmak üzere doğrultu atımlı faylar ve çok sınırlı gözlenen bindirmeler gelişmiştir. Kabuk kalınlığı, gravite ve paleomanyetizma verileri ile bölgede gelen depremlere ait fay düzlem çözümleri bu hareket modelini desteklemektedir. Doğuda bulunan Anadolu levhacığının batıya kaçışı, güneybatıda var olan yitim zonu ve Ege Denizi'nde gözlenen morfotektonik yapılar bu modelin açıklanmasını önemli şekilde destekler niteliktedir.

Arazi verilerine göre yapılan bu modelde bölgesel bazda jeofizik veriler kullanılmıştır. Yapılacak ayrıntılı kabuk kalınlığı, gravite, manyetik haritalamaları yanında derin sismik veriler modelin geçerliliğini daha fazla açıklayacaktır. Arazi verilerinin yorumlanmasında kuzey-güney yönlü genişlemeler ve buna dayanan sıyrılma faylarının etkinliği güncel olarak izlenememektedir. Sınırlı boyutta olan bazı verilerin bölge geneline yorumlanması tartışmalıdır. Zira kullanılan bazı verilerin daha yaşlı deformasyonlara ait olduğu kuvvetle muhtemeldir. Teorik olarak sebep-sonuç ilişkileri değerlendirilerek kuzey-güney yönde bölgenin

genişlediğini açıklamak söz konusu değildir. Diğer bir değişle Batı Anadolu bugün kuzey-güney genişlediğini gerektiren bir jeodinamik neden bulunmamaktadır.

Toplanan verilere göre bölgenin batıya levhacık şeklinde hareketin başlangıç yaşı sınırlı verilere dayanmaktadır. Levhacığın sınırlarını oluşturan süreksizlik zonlarının ayrıntılı bir yapısal analizle gözden geçirilmesi önemli veriler sağlayacaktır. Simav, Söke, Edremit Körfezi gibi alanların önerilen modele göre ayrıntılı çalışılması önerilmektedir. Modelin daha sağlıklı anlatılabilmesi için süreksizliklerden bazılarında sağ yönlü doğrultu atımlı fay bileşenin yanında sol yönlü doğrultu atımlı fay bileşenli olabileceği dikkate alarak blokların rotasyonel hareket ettikleri kabul edilmiştir (Yılmaz vd., 2000). Ancak eldeki çalışmaların çoğunda sol yönlü doğrultu atımlı faylar görülmemektedir. Rotasyonal dönmelerin tasarlandığı alanlarda sol yönlü doğrultu atımlı fay izlerinin ortaya çıkarılması çok önemlidir. Makalede önerilen model bugüne kadar önerilmiş modelden farklıdır öneri tartışıldıkça daha belirgin şekle kavuşacağını düşünmekteyiz.

Tanımlanan bu modelde, ortaya çıkan tektonik kamanın şekillenmesinde 3 ana faktörün etkin olduğu düşünülmektedir. 1) KAF ve DAF arasında ortaya çıkmış olan Anadolu Bloğu'nun batıya kaçışı, 2) bölgenin güneybatısında bulunan dalma-batma zonunun üzerlenen bloğundaki çekme ve 3) Isparta Dirseği'nin günümüzde stabil olmasıdır. Bu etkenler içinde Anadolu bloğunun batıya kaçışı yaklaşık 1-2 cm olmasına karşın güneybatıda üzerlenen bloğun çekimi ±3-4 cm'dir. Her iki faktörün etkisiyle batıya doğru olan hareketin hız farkı, belli süreksizlikler kullanarak ortaya çıkarılmıştır.

KATKI BELİRTME

Erdinç Yiğitbaş, Selim Özalp, Cengiz Tapırdamaz ve Semih Ergintav makalenin farklı bölümlerinde istenilen sonuca varmak için katkıda bulunarak fikirleriyle bizi yönlendirmişlerdir. Yücel Yılmaz, Hasan Sözbilir, Orhan Tatar ve Cahit Helvacı makalenin bilimsel değerini artırmak için katkı sunmuşlardır. Makalenin yayın hâline getirilmesinde verdikleri katkılarından dolayı teşekkür etmeyi borç biliriz.

EXTENDED SUMMARY

The geodynamic processes that developed in Turkey from Late Paleozoic to the present are explained in an article published by Şengör and Yılmaz in 1981. The impact of the continental collision in Anatolia in Late Miocene is not so simple in parts of Western Anatolia. Firstly, the current deformation in Western Anatolia needs to be investigated and defined. Then, the best way to proceed is to identify other events that developed further back in time.

Despite a mass of new data collected during the last few decades, some major problems of Western Anatolian geology still remain controversial (Yılmaz, 2017). All research into neotectonics in Turkey treats Western Anatolia as a separate region. The neotectonic period began in Upper Oligocene according to some researchers and in Upper Miocene according to others and continues right up to the present day. It is accepted that the region expanded in a north-south direction during this process. Linked to this, grabens with a generally east-west orientation were formed.

This paper explores the idea that it is more correct to describe the current deformation according to field observations and then examine geological evolution from the present to the past. Therefore, the rock groups in Western Anatolia are summarized, and the geodynamic processes of Anatolia and its environs are examined.

The oldest rocks in the region are metamorphics referred to as the Menderes Massif and its age is Pre-Cambrian — Late Paleozoic. Another rock package is composed of ophiolites and associated with pelagic limestone, mudstone, clastics and mélange. It is assumed that the unit developed between Triassic (?) - Late Cretaceous and represents the Izmir-Ankara Zone. Another package in Western Anatolia commonly observed consists of clastics and carbonated rocks. These rocks are from Oligocene-Early Miocene. Also, Late Eocene and Late Miocene aged rocks were observed in a few areas. However, the position of the units in the packages is controversial. The youngest rocks in Western Anatolia are composed of units from Pliocene to Quaternary. The Pliocene units are composed of clastic rock assemblages that show active tectonics and travertine-textured limestones where there are slump structures and syn-sedimentary tectonic structures. Quaternary units are located within isolated sedimentation areas in the present day and it is not possible to correlate or combine other sediments in different areas (Figure 3). For more information, see Yılmaz (2017).

Most studies related to the neotectonics of Western Anatolia are based on two issues. The first is the existence of east-west oriented long-axis basins, and the second is the age of the sediments in the floor of these basins. In all studies, it is emphasized that east-west oriented sedimentation areas occur as a result of north-south oriented extensions. However, to reveal the cause and effect relationship, it cannot be explained purely by the north-south oriented stress, as mentioned in previous studies. To the contrary, the region is escaping westward according to GPS data (Aktuğ et al., 2009 and the thickness of the crust is gradually becoming thinner from east to west (Akçığ, 1988; Arslan, 2012). Therefore, the change in crustal thickness does not correspond to the east-west oriented grabens, namely, the Büyük Menderes and Gediz grabens. Similarly, the same trend is observed in gravity maps arranged according to different geophysical parameters (Arslan et al., 2010). The mean rotation calculations of paleomagnetism data separated by geological age do not accurately show the current movement in the whole of Western Anatolia (Tapırdamaz et al., 2006).

The active faults in Turkey mapped by Emre et al. (2013) have been tested many times by earthquakes. According to the structural elements of Western Anatolia, it can be seen that it is a unique region. In addition to normal faults in the region, strike-slip faults and thrust faults (rarely) have been detected by moment tensor solutions of earthquakes in Western Anatolia and its vicinity (Pavlides et al., 1990; Kılıç et al., 2017). Currently, the tectonic region defined as Western Anatolia encompasses the area between the northwest-southeast oriented Bursa-Eskişehir-Afyon Fault Zone and the northeast-southwest oriented Muğla-Afyon Fault Zone in the east, extending in a sideways V shape towards the west (Figures 1 and 8). In the present paper, this tectonic zone is named the Western Anatolian Tectonic Wedge (WATW).

In areas where the main discontinuities have not been well researched, discontinuities combined with their interpretation consist of many tectonically-controlled blocks in the WATW. These blocks have not been specifically named as we were not able to carry out detailed work on them (Figure 23). In this paper, the structure called the Menderes Block is a tectonic block separated from the Menderes Massif by certain discontinuities. In other words, this block does not correspond to the entire area of the Menderes Massif (Figure 24). The Menderes Block is deformed by escaping in a westward direction. There are high temperature geothermal manifestations on the margins of the Menderes Block (Figure 25). Also, we regard the Tuzla Geothermal Field as a morphotectonic

feature in the WATW. Tuzla Geothermal Field has a sideways V shape towards the western morphotectonic structure, with geothermal sources on both sides.

In this model, three main factors are thought to have been effective in shaping the resulting Western Anatolia Tectonic Wedge: 1) The Anatolian Block, between the North Anatolian Fault and East Anatolian Fault, escaping to the west, 2) shrinkage of the overriding block of the subduction zone in the southwest of the region, and 3) the Isparta Angle, which is still stable today.

ORCID

Fuat Şaroğlu https://orcid.org/0000-0003-0582-5258

Bahadır Güler https://orcid.org/0000-0001-6523-9678

DEĞİNİLEN BELGELER / *REFERENCES*

Akçığ, Z.,1988. Batı Anadolu'nun yapısal sorunlarının gravite verileri ile irdelenmesi. Türkiye Jeoloji Bülteni, 31 (2), 63-70.

Aktug, B., Nocquet, J.M., Cingöz, A. Parsons, B., Erkan, Y., England, P., Lenk, O., Gürdal, M.A., Kılıçoğlu, A., Akdeniz, H., Tekgül A., 2009. Deformation of western Turkey from a combination of permanent and campaign GPS data: Limits to block-like behavior. Journal of Geophysical Research, 114 (B10404), 1-22.

Altunel, E., Hancock, P.L., 1993. Active fissuring and faulting in Quaternary travertines at Pamukkale, western Turkey. Zeitschrift Geomorphologie Supplementary, 94, 285- 302.

Altunel, E., D'Andria, F. 2019. Pamukkale Travertines: A Natural and Cultural Monument in the World Heritage List, (Landscapes and Landforms of Turkey, Editörler: Kuzucuoğlu, C., Çiner A., Kazancı N.). Springer Nature Switzerland AG, Cham, Switzerland, 219-229.

Aksu, A.E., Hall, J., Yaltırak, C., 2009. Miocene–Recent evolution of Anaximander Mountains and Finike Basin at the junction of Hellenic and Cyprus Arcs, eastern Mediterranean. Marine Geology, 258 (1-4), 24–47.

Alçiçek M.C., Ten Veen J.H., Özkul M., 2006. Neotectonic development of the Çameli Basin, southwestern Anatolia, Turkey, (Tectonic Development of the Eastern Mediterranean Region, Editörler: Robertson A.H.F., Mountrakis D.). The Geological Society Publishing House, London, Special Publication 260, 591-611.

Arpat, E., Bingöl, E. 1969. The rift system of the Western Turkey; thoughts on its development. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 73, 1-9.

Arslan, S., Akın, U., Alaca, A., 2010. Gravite Verileri ile Türkiye'nin Kabuk Yapısının İncelenmesi. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 140, 57-73.

Arslan, S. 2012. Türkiye 1/1.500.000 Ölçekli Gravite Kabuk Kalınlığı Haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.

Barka, A.A. 1992. The North Anatolian Fault Zone. Annales Tectonicae, 6 (special issue), 164-195.

Bingöl, E., Akyürek, B., Korkmazer, B. 1975. Biga Yarımadası'nın Jeolojisi ve Karakaya Formasyonunun Bazı Özellikleri. Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi Tebliğler, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara, 70-76.

Bingöl, E., 1976. Batı Anadolu'nun Jeotektonik Evrimi. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 86, 14-34.

Boray, A., Akat, U., Akdeniz, N., Akçaören, A., Çağlayan, A., Günay, E., Korkmazer, B., Öztürk, E.M., Sal H., 1975. Menderes Masifinin Güney Sınırı Boyunca Bazı Önemli Sorunlar ve Bunların Muhtemel Çözümleri. Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi Tebliğler, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara, 11-20.

Boray, A., Şaroğlu, F., Emre, Ö., 1985. Isparta Büklümünün Kuzey Kesiminde doğu-batı Daralma için Bazı Veriler. Jeoloji Mühendisliği, 23, 9-20.

Bozkurt, E., 2001. Neotectonics of Turkey – a synthesis. Geodinamica Acta 14, (1–3), 3-30.

Bozkurt, E. 2019. Batı Anadolu Grabenlerinin Bölümlenmesinin Yapısal Kontrolleri: Doğrultu-Atımlı Faylanmanın Graben Oluşumu Üzerindeki Yeri ve Önemi. 72. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri, Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., Uzel, B., Sümer, Ö., Softa, M., Tepe, Ç., Eski, S., (editörler), TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları No: 140, Ankara, 35-36.

Candan, O., Dora O.Ö., Kun, N., Akal, C., Koralay, E., 1992. Aydın Dağları (Menderes Masifi) Güney Kesimindeki Allokton Metamorfik Birimler, Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni, 4 (1), 93-110.

Dewey, J.F., Sengör, A.M.C., 1979. Aegean and surrounding regions: complex multiple and continuum tectonics in a convergent zone, Geological Society of America Bulletin, 90 (1), 84–92.

Dora, O.Ö., Kun, N, Candan, O, 1992. Menderes Masifi'nin Metamorfik Tarihçesi ve Jeotektonik Konumu. 35 (1), 1-14.

Duman, T.Y., Emre, Ö., Doğan, A., Özalp, S., 2005. Step-over and bend structures along the 1999 Düzce Earthquake surface rupture. North Anatolian Fault, Turkey. Bulletin of Seismological Society of America, 95 (4), 1250-1262.

Emre, Ö., Erkal, T., Tchepalyga, A., Kazancı, N., Keçer, M., Ünay, E., 1998. Doğu Marmara Bölgesinin Neojen-Kuvaternerdeki Evrimi. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 120, 289-314.

Emre, Ö., Özalp, S., Doğan, A., Özaksoy, V., Yıldırım, C., Göktaş, F., 2005. İzmir Yakın Çevresinin Diri Fayları ve Deprem Potansiyelleri. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Rapor No: 10754, 80 s., (yayımlanmış).

Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., Şaroğlu, F., 2013. Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası. Ölçek 1:1.250.000, VI+89s.+bir pafta, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara, 89 s.

Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., Elmacı, H., Çan, T., 2018. Active fault databese of Turkey. Bulletin of Earthquake Engineering, 16 (8), 3229-3275.

Ercan, T., 1981. Kula Yöresinin Jeolojisi ve Volkanitlerin Petrolojisi. İstanbul Üniversitesi, Yerbilimleri Fakültesi, Doktora Tezi, 165 s. (yayımlanmamış).

Erdoğan, B., 1990. İzmir-Ankara Zonu ile Karaburun Kuşağının Tektonik İlişkisi, Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 110, 1-15.

Erdoğan, B., Güngör, T. 1992. Menderes Masifinin Kuzey Kanadının Stratigrafisi ve Tektonik Evrimi, Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni, 4 (1), 9-34.

Göncüoğlu, M.C., Turhan, N., Şentürk, K., Uysal, Ş., Özcan, A., Işık, A. 1996. Nallıhan-Sarıcakaya Arasında Orta Sakarya'daki Yapısal Birimlerin Jeolojik Özellikleri. Maden Tetkik ve Arama Raporu No: 10094, (yayımlanmamış).

Gözler, M.Z., Cevher, F., Küçükayman, A. 1984-1985. Eskişehir civarının jeolojisi ve sıcak su kaynakları. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 103-104, 40-54.

Gürsoy H, Temiz H., Tatar O, 1997. Gediz grabeni GD kenarındaki güncel deformasyon verileri. Aktif Tektonik Araştırma Grubu 1. Çalıştayı, (ATAG-1), 08-09 Aralık 1997, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 103-112.

Hakyemez, H.Y., Göktaş, F., Erkal, T., 2013. Gediz Grabeni'nin Kuvaterner Jeolojisi ve Evrimi. Türkiye Jeoloji Bülteni, 56 (2), 1-26.

Helvacı, C., Yağmurlu, F., 1995. Geological setting and economic potential of the lignite and evaporite-bearing Neogene basins of Western Anatolia, Turkey. Israel Journal of Earth Sciences, 44, 91-105.

Helvacı, C., 1995. Stratigraphy, mineralogy, and genesis of the Bigadiç borate deposits, Western Turkey. Economic Geology, 90, 1237-1260.

Helvacı, C., Orti, F., 1998. Sedimentology and diagenesis of Miocene colemanite-ulexite

deposits (western Anatolia, Turkey). Journal of Sedimentary Research, 68 (5), 1021-1033.

Helvacı, C, 2015. Geological features of Neogene basins hosting borate deposits: An overview of deposits and future forecast. Turkey. Bulletin of the Mineral Research and Exploration. 151, 169-215.

Helvacı, C., 2019. Turkish Borate Deposits: Geological Setting, Genesis and Overview of the Deposits, (Mineral Resources of Turkey, Modern Approaches in Solid Earth Sciences 16, Editörler: Pirajno, F., Ünlü, T., Dönmez, C., Şahin, M.B.). Springer International Publishing. 535-597.

Kaya, A., 2015. The effects of extensional structures on the heat transport mechanism: an example from the Ortakçı geothermal field (Büyük Menderes Graben, SW Turkey). Journal of African Earth Sciences. 108, 74–88.

Kaymakcı, N., Özkaptan, M., Özacar, A.A., Langereis, C., Gülyüz, E., Koç, A., Uzel, B., Sözbilir, H. 2017. GB Anadolu'nun Kinematiği ve Rotasyonal Deformasyonu: Aktif Fethiye-Burdur Fay Zonu Efsanesi. Aktif Tektonik Araştırma Grubu 21. Çalıştayı, (ATAG-21), 26-28 Ekim 2017, Özkaymak, Ç. (ed.), Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, 14-15.

Kılıç, T., Kartal, R.F., Kadirioğlu, F.T., Duman, T.Y., Özalp, S. 2017. Türkiye ve yakın çevresi için düzenlenmiş moment tensor (1906-2012) kataloğu (MW ≥ 4,0), (Türkiye Sismotektonik Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayınlar Serisi-34, Editör: Duman, T.Y.). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, 95-104.

Koca, M.Y., Sözbilir, H., Uzel, B., 2011, Sarıgöl Fay Zonu Boyunca Meydana Gelen Deformasyonların Nedenleri Üzerine Bir Araştırma. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 35 (2), 151-174.

Koçyiğit, A, Yusufoğlu H., Bozkurt E., 1999. Evidence from the Gediz graben for episodic two-stage extension in western Turkey. Journal of Geological Society London 156, 605-616.

Komut, T., Gray, R. Pysklywec, R., Göğüş, O.H., 2012. Mantle flow uplift of western Anatolia and the Aegean: Interpretations from geophysical analyses and geodynamic modeling. Journal of Geophysical Research, 117 (B11412), 1-14.

Konak, N. Akdeniz, N., Öztürk, E.M. 1987. Geology of The South of Menderes Massif. Guide Book for the Field Excursion Along Western Anatolia, Turkey. IGCP Project No:5, Correlations of Variscan and Pre-Variscan events of the Alpine-Mediterranean mountain belt, Field Meeting, Mineral Research and Exploration Institute of Turkey (MTA), 42-53.

Konak, N. 2002. 1/500.000 Türkiye Jeoloji Haritası İzmir Paftası, (Şenel, M., (ed.)) Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

Konak, N., Şenel M. 2002. 1/500.000 Türkiye Jeoloji Haritası Denizli Paftası, (Şenel, M., (ed.)) Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

Kuşçu, İ., Okamura, M., Matsuoka, H., Yamamori, K., Awata, Y., Özalp, S., 2009. Recognition of Active Faults and Stepover Geometry in Gemlik Bay, Sea of Marmara, NW Turkey. Marine Geology, 260, 90-101.

Kürçer, A., Özdemir, E., Uygun Güldoğan, Ç., Duman, T., 2016. The First Paleoseismic Trench Data from Acıpayam Fault, Fethiye Burdur Fault Zone, SW Turkey. Bulletin of the Geological Society of Greece, 50 (1), 75-84.

Nebert, K. 1978. Linyit içeren Soma Neojen bölgesi, Batı Anadolu. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 90, 20-69.

Okay A.I., Siyako, M., Bürkan, K.A., 1991. Geology and Tectonic Evoluation of the Biga Peninsula, NW Turkey. Bulletin of the Technical University of Istanbul, 44 (1-2), 191-256.

Okay, A.I., Siyako, M., 1993. İzmir Balıkesir Arasında İzmir Ankara Neo-Tetis Kenedinin Yeni Konumu. Ozan Sungurlu Sempozyumu Bildirileri, Kasım 1991, Turgut, S., (ed), Türkiye Petrol Jeologları Derneği, Ankara, 333-355.

Okay, A.I., Satır, M., 2000. Coeval plutonism and metamorphism in a latest Oligocene metamorphic core complex in northwest Turkey. Geological Magazine, 137, 495-516.

Özalp, S., Emre, Ö., Doğan, A., 2013, Kuzey Anadolu Fayı Güney Kolu'nun segment yapısı ve Gemlik Fayı'nın paleosismik davranışı, KB Anadolu. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 147, 1-17, Ankara.

Özalp, S., Emre Ö., Şaroğlu F., Özaksoy V., Elmacı, H., Duman T.Y., 2018. Active fault segmentation of the Çivril Graben System and surface rupture of the 1 October 1995 Dinar earthquake (Mw 6.2), Southwestern Anatolia, Turkey. Journal of Asian Earth Sciences, 166, 136-151

Özer, S., Sözbilir, H., Özkar, İ., Toker, V., Sarı B., 2001. Stratigraphy of Upper Cretaceous–Palaeogene sequences in the southern and eastern Menderes Massif (western Turkey). International Journal of Earth Sciences, 89 (4), 852-866.

Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., ve Üzel, B. 2013. Neogene-Quaternary evolution of the Manisa Basin: Evidence for variation in the stress pattern of the Izmir-Balıkesir Transfer Zone, western Anatolia. Journal of Geodynamics, 65, 117–135.

Özkaymak, Ç, Sözbilir, H., Tiryakioğlu, İ. 2017, Afyon-Akşehir Grabeni Kenar Fayları Üzerine Saha Gözlemleri ve Teknik İnceleme. Aktif Tektonik Araştırma Grubu 21. Çalıştayı, (ATAG-21), 26-28 Ekim 2017, Özkaymak, Ç. (ed.), Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon.

Pavlides, S., Mountrakis, D., Kilias, A., Tranos, M. 1990. The role of strike-slip movements in the extensional area of Northern Aegean (Greece). A case of transtensional tectonics. Annales Tectonicae, 4 (2 Special Issue), 196-211.

Perinçek, D., 1980. Arabistan Kıtası Kuzeyindeki Tektonik Evrimin, Kıta Üzerinde Çökelen İstifteki Etkileri. Türkiye 5. Petrol Kongresi, Nisan 1980, Saner, S., Perinçek, D., (editörler), Ankara, 77-93.

Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrotsa, A., Filikov, S.V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R., Karam, G., 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. Journal of Geophysical Research, 111 (B05411), 1-26.

Rojay, B., Toprak, V., Demirci, C., Süzen, L., 2005. Plio-Quaternary evolution of the Küçük Menderes Graben southwestern Anatolia, Turkey. Geodinamica Acta, 18 (3-4), 317–331.

Seyitoğlu G., Işık V., 2015. Late cenozoic extensional tectonics in western anatolia: Exhumation of the menderes core complex and formation of related basins. Bulletin of the Mineral Research and Exploration, 151, 47-106.

Seyitoğlu, G., Kaypak, B., Aktuğ, B., Gürbüz, E., Esat, K, Gürbüz, A., 2016. KB Türkiye'de Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun alternatif Güney kolu için bir hipotez. Türkiye Jeoloji Bülteni, 59 (2), 115-130.

Sözbilir, H., Sümer, Ö., Özkaymak, Ç., Uzel, B., Güler, T., Eski, S., 2016. Kinematic analysis and palaeoseismology of the Edremit Fault Zone: evidence for past earthquakes in the southern branch of the North Anatolian Fault Zone, Biga Peninsula, NW Turkey. Geodinamica Acta, 28, 273-294.

Şaroğlu F. 1985. Doğu Anadolu'nun neotektonik dönemde jeolojik ve yapısal evrimi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 240 s., (yayımlanmamış).

Şaroğlu, F., Yılmaz, Y., 1984. Doğu Anadolu'nun Neotektoniği ve ilgili Magmatizması. İhsan Ketin Simpozyumu, 149-162.

Şaroğlu, F., Emre, Ö., Boray, A., 1987. Türkiye'nin Diri Fayları ve Depremsellikleri, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No:8174, 394 s.

Şaroğlu, F., Yılmaz, Y., 1990. Batı Anadolu'da Neojen Deformasyonunu Tipleri ve Havza Gelişimi Üzerine Bazı Görüşler. Türkiye 8. Petrol Kongresi, Ankara, Özler Kitabı, 16-20 Nisan, 1990.

Şaroğlu, F., Emre, Ö., Kuşçu, İ., 1992. Türkiye Diri Fay Haritası, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.

Şaroğlu, F., Emre, Ö., Doğan, A., Yıldırım, C., 2005. Eskişehir Fay Zonu ve Deprem Potansiyeli. Eskişehir Fay Zonu ve İlişkili Sistemlerin Depremselliği Çalıştayı, Genişletilmiş Bildiri Özleri Kitabı, Eskişehir, 11-11.

Şaroğlu, F., Özgür R., Aydoğdu, Ö., Sarp, S., 2015. Soma Bölgesi Kömür Yataklarının Çökel Havza Modeli. 68. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı, Sayıt, K. (ed.), TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayın No: 119, 6-10 Nisan 2015, MTA Kültür Sitesi Ankara, 130-131.

Şengör, A. M. C., Kidd, W. S. F., 1979. The post-collisional tectonics of the Turkish-Iranian Plateau and a comparison with Tibet. Tectonophysics, 55, 361-376.

Şengör, A.M.C., 1980. Türkiye'nin neotektoniğinin esasları. Türkiye Jeoloji Kurumu, Konferans Serisi 2, Ankara, 40 s.

Şengör A.M.C., Yılmaz Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. Tectonophysics, 75, 181–241.

Şengör, A.M.C., 1982. Ege'nin neotektonik evrimini yöneten etkenler. Batı Anadolu'nun Genç Tektoniği ve Volkanizması Paneli, Türkiye Jeoloji Kurultayı, 59-71.

Şengör A.M.C., Yılmaz Y., 1983. Türkiye›de Tetis›in Evrimi; Levha Tektoniği Açısından Bir Yaklaşım. Türkiye Jeoloji Kurumu Yerbilimleri Özel Dizisi No:1, 73 s.

Şengör, A. M. C., Görür, N., Şaroğlu, F., 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. (Strike-slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation, Editörler: Biddle, K.T., Chrisite-Blick, N.). Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication, 227- 264.

Şengör, A.M.C., Tüysüz, O., İmren, C., Sakınç, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Le Pichon, X., Rangin, C., 2005. The North Anatolian Fault: A new look. Annual Reviews, Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 33, 37-112.

Şimşek, Ş., 1982. Denizli Sarayköy-Buldan alaninin jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları. İstanbul Yerbilimleri Dergisi, 3 (1–2), 145-162.

Tapırdamaz, M. C., Alparslan, E., Yüce, H., 2006. CBS ortamında Türkiye paleomanyetizma veri kataloğu. 4. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri Bildiriler Kitabı, Demirci, A., Karakuyu, M., McAdams, M.A. (editörler), 13-16 Eylül, Fatih Üniversitesi, İstanbul, 351-357.

Tapırdamaz, M. C., Türkiye Paleomanyetizma Kataloğunun GIS Kullanılarak Hazırlanması. Uluslarası Katılımlı Paleomanyetizma Çalıştayı, Cumhuriyet Üniversitesi Konferans Salonu Sivas, 15-17 Mayıs, 2008.

Uzel, B., Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., Kaymakçı, N., Langereis, G.C., 2013. Structural evidence for strike-slip deformation in the Izmir–Balıkesir transfer zone and consequences for late Cenozoic evolution of western Anatolia (Turkey). Journal of Geodynamics, 65, 94-116.

Ünay, E., Göktaş, F., Hakyemez, H.Y., Avşar, M., Şan, Ö.M., 1995. Büyük Menderes Grabeni'nin kuzey kenarındaki çökellerin Arvicolidae (Rodentia, Mammalia) faunasına dayalı olarak yaşlandırılması. Türkiye Jeoloji Bülteni 38 (2), 63–68.

Yazman, M. 1995. Geology of the Alaşehir Graben and petroleum potential, Turkish Petroleum Corporation (TPAO) research group progress report no. 3496, (yayımlanmamış).

Yılmaz, Y., Genç, S.C., Gürer, F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., Altunkaynak, S., Elmas, A., 2000. When did the western Anatolian grabens begin to develop?, (Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding area, Editörler: Bozkurt, E., Winchester, J.A., Piper, J.D.A.). The Geological Society London Special Publication, 173, 353-384.

Yılmaz, Y., 2017. Major Problems of Western Anatolian Geology, (Active Global Seismology: Neotectonics and Earthquake Potential of the Eastern Mediterranean Region, Editörler: I. Çemen, Y. Yılmaz). American Geophysical Union, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 141-187.

Yılmazer, S., Şaroğlu, F., Özgür, R., Açıkgöz, S., Ercan, T., Gevrek, A.İ., Yıldırım, N., Aydoğdu, Ö., 1994, Kuşadası-Davutlar (Aydın) arasının jeolojisi ve jeotermal olanaklarının değerlendirilmesi, Türkiye 6. Enerji Kongresi, 17-22 Ekim 1994 İzmir, Teknik oturum tebliğleri 1, 156-167.