



**Batı Anadolu Grabenlerinin Gelişim Süreci İçinde
Selçuk Grabeni'nin Morfotektonik Evrimi**

Morphotectonic Evolution of Selçuk Graben in Development Process of Western Anatolian Grabens

Yücel Yılmaz¹ , Ömer Feyzi Gürer^{2*} , Yücel Erbay³ 

¹ Kadir Has Üniversitesi, Cibali Mah. Kadir Has Cad. 34083 Fatih, İstanbul

² Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

³ NIK System, NIK Insaat Ticaret Ltd. Co, Ortaklar Cd. No.27 D.6 Mecidiyeköy, İstanbul, 34394

• Geliş/Received: 04.07.2022

• Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 07.10.2022

• Kabul/Accepted: 08.01.2023

• Çevrimiçi Yayın/Available online: 22.06.2023

• Baskı/Printed: 20.08.2023

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Küçük Menderes Grabeni'nin batı ucunda yer alan ancak ondan sol yönlü doğrultu atımlı faylarla kesilip güneybatıya atılmış olan grabene bu çalışmada Selçuk Grabeni adı verilmiştir. Çünkü bu graben ana grabenden ileri evrelerde önemli farklılıklar geçirmiştir. Grabeni sınırlayan horstlarda metamorfik temel kayaları mostra vermektedir. Dolgusu ise Küçük Menderes Nehri'nin alüvyonundan oluşmaktadır. Selçuk Grabeni asimetrik bir grabendir. Güney kanat morfolojik nitelikleriyle belirgin ve aktif kenardır. Normal faylar bu kanatta birkaç fay basamağı halindedir. Kuzey kanat, aktif kenarı oluşturan kürek biçimli ana fayın tavan blokunda gelişmiş, antitetik faylar olarak yorumlanabilir. Grabeni az çok uzanımına verev birçok doğrultu atımlı fay kesmiştir. Genç yapısal ögeler graben ve yakın çevrenin morfolojisindeki izleriyle tanınmaktadır. Batı Anadolu'nun morfotektonik gelişim süreci içinde Selçuk Grabeni en geç gelişen grabenlerdendir. Küçük Menderes Grabeni, üzerinde yer aldığı horstun, Kuvaterner'de önce yükselip daha sonra çökmesi döneminde açılmıştır. Bu dönemde Selçuk Grabeni ana grabenin batıdaki uzanımında yer almıştır. Daha sonra özellikle sahil bölgelerinin morfotektoniğini büyük ölçüde değiştiren KKB doğrultulu sol yönlü doğrultu atımlı faylar ve bunlarla eşzamanlı fay çiftlerinin gelişmesiyle Küçük Menderes Grabeni'nden ayrılarak güneybatı yönünde ötelenmiş ve Küçük Menderes'le olan doğrudan bağlantısı kopmuştur. Geç Kuvaterner'de gelişmiş olan bu evreden sonra gelişimini bağımsız bir graben olarak sürdürmektedir.

Anahtar Kelimeler: Batı Anadolu Grabenleri, Küçük Menderes Grabeni, Morfotektonik evrim, Selçuk Grabeni.

Abstract: The Selçuk Graben is the name given to the young graben developed in the western tip of the Küçük Menderes graben. It was a part of the main graben until a strike-slip fault zone cut and displaced it to the southwest during late Quaternary. From this time onward, it has had a semi-independent evolution. In the horsts bordering the graben, metamorphic basement rocks crop out. The fill of the graben consists of alluvium from the Küçük Menderes River. The Selçuk Graben is an asymmetrical graben. The bordering southern horst is more prominent than the northern one, where the normal faults form clear fault steps. Morphologically, the less distinct northern faults may thus be interpreted as antithetic faults, which have developed on the hanging wall of the major listric normal faults of the southern horst. The graben and the bordering horst were cut and displaced by several young strike-slip faults, which have made clear imprints in the morphology, including linear ridges, offset streams, etc. In the development sequence of Western Anatolian grabens, the Selçuk Graben is one of the latest ones. The Küçük Menderes Graben was opened earlier, during the Quaternary. It was located on the horst separating the Büyük Menderes and Gediz grabens in this period. The elevated horst then collapsed. The Selçuk Graben was situated at the western end of the Küçük Menderes Graben during this period. Later, with the development of NW trending left-lateral strike-slip faults,

together with conjugated faults along the coastal region of western Anatolia, the Selçuk Graben was separated from the Küçük Menderes Graben and has since evolved semi-independently.

Keywords: Küçük Menderes Graben, morphotectonic evolution, Selçuk Graben, Western Anatolian grabens.

GİRİŞ

Selçuk grabeni adı, bu çalışmada Küçük Menderes Grabeni'nin batı ucunda yer alan, denize doğru genişleyen ve ortasında Selçuk ilçesinin bulunduğu küçük grabene verilmiştir (Şekil 1). Antik Efes kenti bu çukurda yer almaktadır. Küçük Menderes Nehri'nin (tarihi Kaystros ya da Astarpa) getirdiği alüvyonla tarihsel dönemde

hızla dolarak denizden giderek uzaklaşan bu antik kent (Passchier vd., 2013; Kraft vd., 2007; Ergin vd., 2007; Brückner, 2019) bölgede tektonik etkinliğin ne denli aktif olduğunu, horstların ne denli hızlı yükselip aşındırıldığı ve taşınan alüviyal malzemenin giderek artan miktarı hakkında fikir vermektedir. Çok önemli ve ayrı bir disiplin olan bölge arkeojeolojisi bu çalışmanın ölçeği ve amacı dışındadır.



Şekil 1. Orta Batı Anadolu'nun Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) perspektif görünümü. AW3D-30 verilerinden Global Mapper yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır. Açık sarı alanlar D-B uzanımlı Kuvaterner grabenlerinden sonra gelişmiş olan genç graben alanlarını, açık beyaz alanlar ise Geç Miyosen-Erken Pliyosen yaşlı aşınma düzlüklerinin horst sırtlarında korunmuş kalıntıları göstermektedir. Sarı çizgilerle sınırlı alanlar Erken-Orta Miyosen yaşlı grabenlerin yaklaşık konumlarını göstermektedir. Kısaltmalar; A-GG; Alayşehir - Gediz Grabeni, AG: Akhisar

Graben, GG; Gördes Grabeni, DG; Demirci Grabeni, SG; Selendi Grabeni, UG; Uşak grabeni, KG; Kemalpaşa Grabeni, YG; Yeniköy Grabeni, EG; Evrenli grabeni, SmG; Simav Grabeni, KMG; Küçük Menderes Grabeni, BMG; Büyük Menderes Grabeni, SöG; Söke Grabeni. SçG; Selçuk Grabeni.

Figure 1. Digital Elevation Model (DEM) perspective view of Central Western Anatolia, prepared from AW3D-30 data using Global Mapper software. The light-yellow areas show the young graben areas developed after the E-W trending Quaternary grabens, and the light-white areas show the preserved remains on the horst ridges of the Late Miocene-Early Pliocene erosional plains. Areas bounded by yellow lines indicate the approximate location of the Early-Middle Miocene grabens. Abbreviations: A-GG; Alaşehir-Gediz Graben, AG; Akhisar Graben, GG; Gördes Graben, DG; Demirci Graben, SG; Selendi Graben, UG; Uşak graben, KG; Kemalpaşa Graben, YG; Yeniköy Graben, EG; Evrenli graben, SmG; Simav Graben, KMG; Küçük Menderes Graben, BMG; Büyük Menderes Graben, SöG; Söke Graben. SCG; Selçuk Graben.

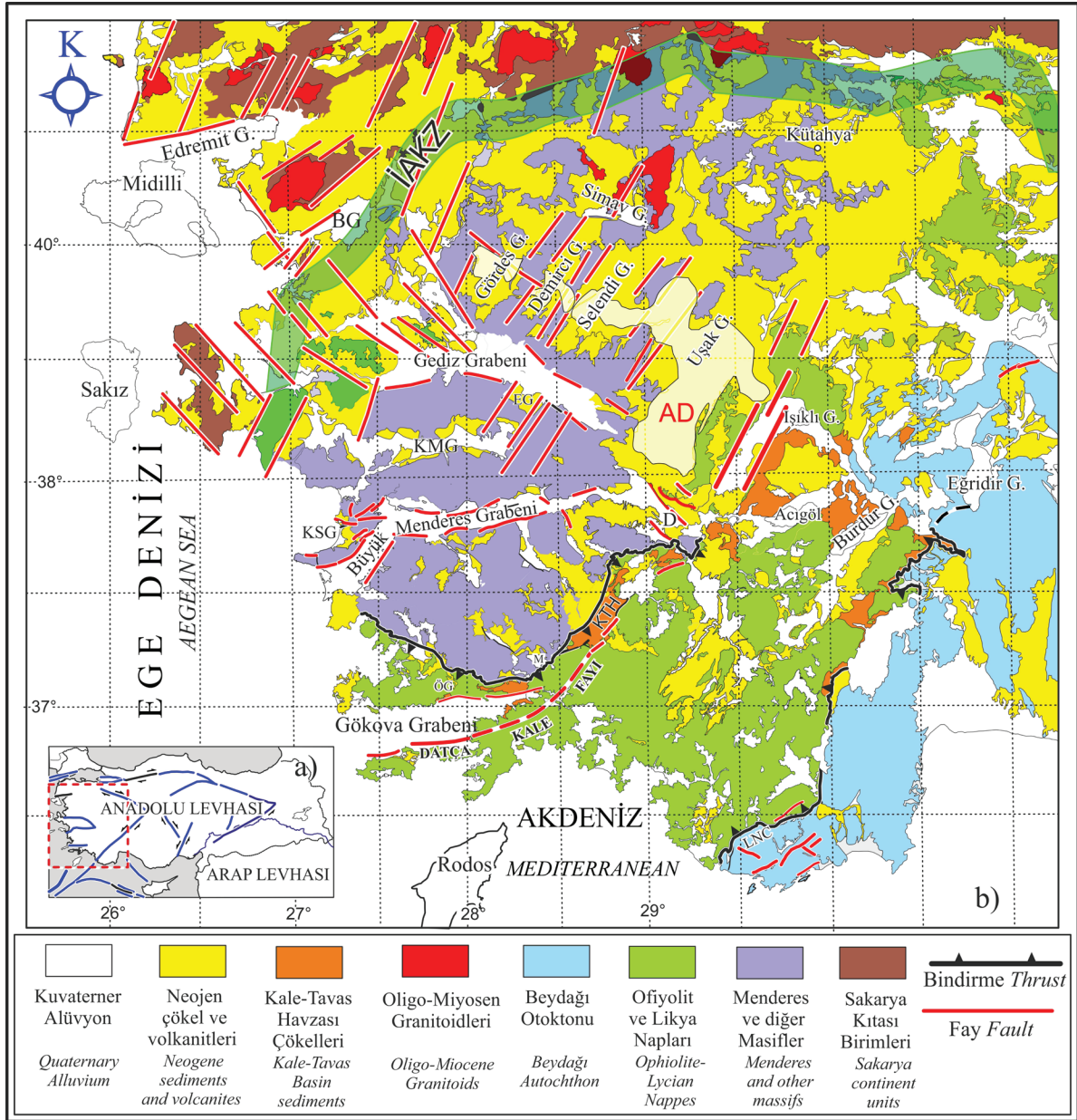
Selçuk Grabeni, Küçük Menderes Grabeni'nin batı ucunda yer almasına rağmen ondan önemli farklılıklar göstermektedir (Şekil 2). Yöre jeolojisinin ana hatları önceki yayınlarda tanıtılmıştır (Başarı, 1981; Çakmakoğlu, 1985, 1987, 1990, 2005, 2007; Göktaş, 1998; Konak, 2002; Sümer vd., 2013). Bu incelemeler bölgenin yalın sayılabilecek bir jeolojisi olduğunu göstermektedir. Bununla beraber, Selçuk Grabeni, Batı Anadolu'nun en büyük iki grabeni olan Gediz ve Büyük Menderes grabenlerinin batıda birbirlerine yaklaştığı ve onları ayıran büyük dom (horst) ekseninin batıya doğru daldığı bir konumda yer almaktadır (Şekil 1, 2, 3 ve 4). Selçuk Grabeni'nin büyük grabenlerle, onların eksenlerine verev uzanan faylar aracılığıyla da bağlantılı olduğu görülmektedir (Şekil 1). Bir diğer söyleyişle bu bölgenin büyük horst-graben sisteminin oluşumundan etkilendiği anlaşılmaktadır. Bütün bunlar Selçuk Grabeni'nin gelişmesi ve evrimi konusunun bir tümünden gelim yaklaşımı içinde ele alınmasını gerekli kılmaktadır.

Batı Anadolu jeolojisinin farklı konuları üzerinde çok sayıda yayın yapılmıştır. Son dönemdeki yayınlar magma kayalarının kimyasal-izotop bileşimleri ve kökenleri üzerinde ya da bölgenin yükselme hızı ile sıyrılma faylarından derlenen örneklerin yaşlandırılması veya levha hareket hızları gibi konularda odaklandığı görülmektedir (Gessner vd., 2001; van Hinsbergen 2010; van Hinsbergen vd., 2010; Hetzel vd., 2013; Heineke vd., 2019; Wölfler vd., 2017; Etzel vd., 2020). Grabenlerin belirli bir kesiminin ayrıntılı haritalanmasına dayandırılan (örng; Göktaş, 1998, 2019; Çakmakoğlu, 2005, 2007) ya da tümünü ele alan çalışma sayısı ise azdır (Yılmaz vd., 2000; Alçiçek, 2010; Ersoy vd., 2014; Alçiçek vd., 2019; Yılmaz ve Gürer, 2023). Bu nedenle önceki çalışmaların çoğunluğu, jeolojinin ana sorunları ve bunların cevapları konusunda söylenegelenleri, doğruluklarını yeterince test etmeden aktarmakla yetinmiştir.

Açıklanan nedenle bu yazının ana amacı, Selçuk Grabeni'ni, Batı Anadolu grabenlerinin gelişmeleri çerçevesinde ele alarak incelemek, Batı Anadolu grabenlerinin oluşmalarının hangi aşamasında, hangi nedenlere bağlı olarak, ne zaman geliştiği konularını tartışmaktır. Morfotektonik unsurların incelenmesi aracılığıyla grabenlerin oluşumu konusu daha önce ele alınmamış olduğundan yazımızda öncelikle jeomorfolojik, yapısal ve jeolojik veriler sıralanacak ve ardından bunların anlamları irdelenecektir.

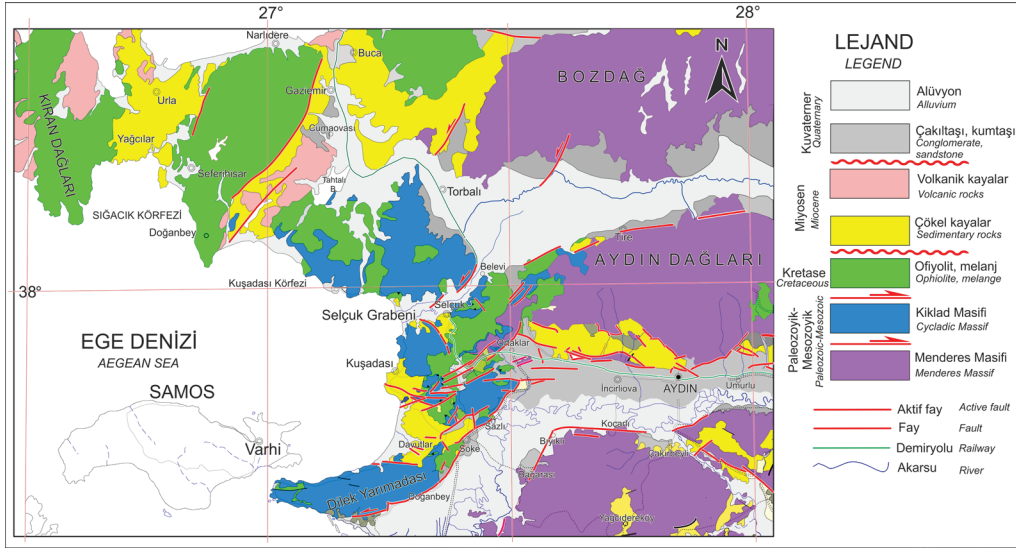
STRATİGRAFI

Batı Anadolu'nun graben-horst yapılarının egemen olduğu orta kesiminde, birbirlerinden oluşum ortamları ve deformasyon örnekleri farklı, uyumsuzlukla ayrılan dört litostratigrafik kaya grubu vardır (Şekil 5).



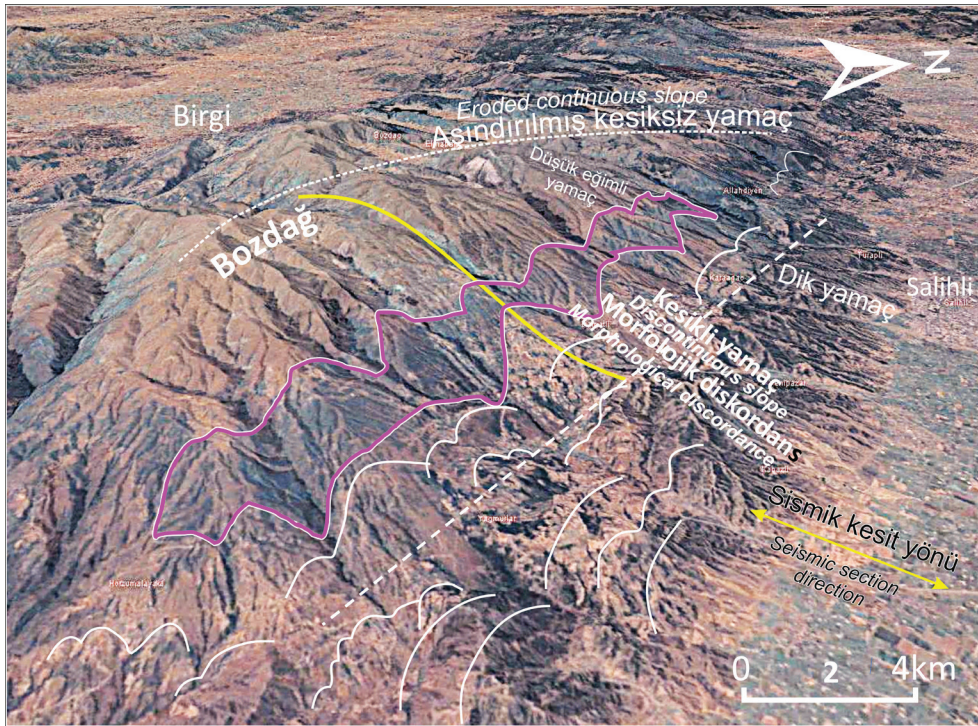
Şekil 2. Batı Anadolu'nun jeoloji haritası (Konak, 2002 ve Konak ve Şenel 2002'den sadeleştirilerek alınmıştır). AD ile gösterilen açık sarı alan Alt-Orta Miyosen yaşlı KKD doğrultulu graben ve horst sınırlarını örten Üst Miyosen gölsel kireçtaşlarının mostralarının ve üzerinde gelişmiş olan aşınma düzlüğünün dağılımını göstermektedir (AD). D; Denizli, M; Muğla, EG; Evrenli Grabeni, KSG; Kuşadası-Söke Grabeni, ÖG; Ören Grabeni, BG; Bakırçay Grabeni, KMG; Küçük Menderes Grabeni, İAKZ; İzmir-Ankara Kenet Zonu, LNC: Likya Nap Cephesi.

Figure 2. Geological map of Western Anatolia (simplified from Konak, 2002 and Konak and Şenel, 2002). The light-yellow area indicated by AD shows the distribution of the outcrops of the Upper Miocene lacustrine limestones and the erosional plain overlying the Lower-Middle Miocene aged NNE trending graben and horst boundaries (AD). Abbreviations: D; Denizli, M; Muğla, EG; Evrenli Graben, KSG; Kuşadası-Söke Graben, ÖG; Ören Graben, BG; Bakırçay Graben, KMG; Küçük Menderes Graben, İAKZ; (IASZ); İzmir-Ankara Suture Zone, LNC; (LNF): Lycian Nap Front.



Şekil 3. Selçuk Grabeni ve çevresinin jeoloji haritası (Konak, 2002 ve Konak ve Şenel, 2002'den sadeleştirilerek alınmıştır).

Figure 3. Geological map of Selçuk Graben and its surroundings (simplified from Konak, 2002 and Konak and Şenel, 2002).

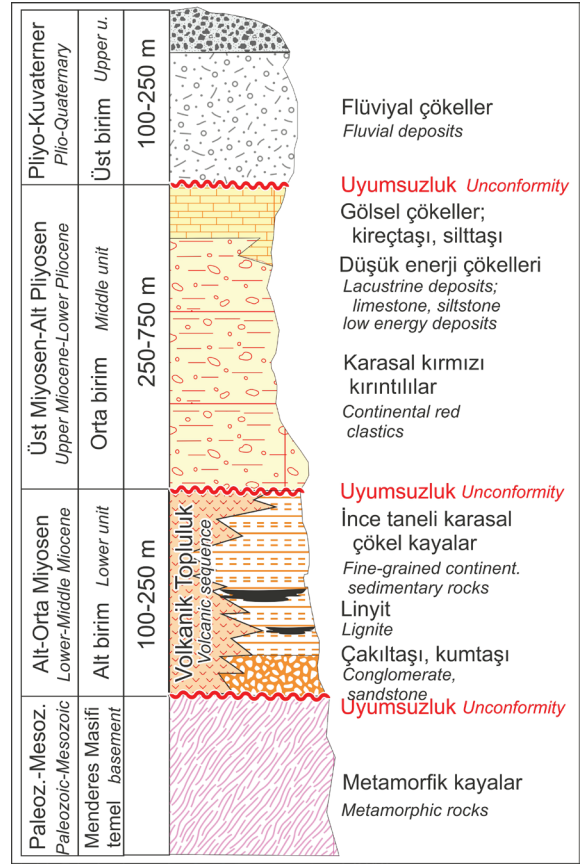


Şekil 4. Bozdağ Horstu'nun (Domunun) Google görüntüsü. Beyaz çerçeveli mor çizginin sınırladığı alan cilalı fay düzlemi ile kendini belli eden sıyrılma fayının yüzleklerini göstermektedir. Sıyrılma fayının fay düzlemi kuzeyde yer alan Gediz-Alaşehir Grabeni'ne doğru S harfi yaparak (sarı çizgi) kıvrılmaktadır. Bu yapının oluşumu, sıyrılma fayı

ilk konumda yüksek açıyla, fayın örtüsünün tektonik aşınması döneminde taban blokunu terk ederek geriye doğru eğilmesinin sonucu (rolling hinge) olarak açıklanmaktadır. Fay düzlemi horstun tepesinde yatay konumdadır (Şekil 16). Beyaz çizgiler Gediz-Alaşehir Grabeni'ni açan normal faylardır. Beyaz kesikli çizgi genç normal fayların geliştirdiği yamaç açısındaki ani dikleşmenin sınırını göstermektedir. Horst tepesinden bu bölgeye kadar olan düşük açılı yamaç vadiye doğru dikleşerek belirgin bir morfolojik diskordans sergilemektedir. Bu kesimden daha kuzeyde pek çok yüksek açılı normal fay tanınmaktadır. Bu faylar sıyrılma fayını kesmektedir. Sıyrılma fayının mostraları düşmüş bloklarda izlenmektedir (Şekil 15). Bu nedenle bu genç fayların, sıyrılma fayı tavan blokunda kayma ile gelişmiş Riedel faylarından olmadıkları söylenebilir. Özellikle grabenin enine kesitini gösteren sismik kesitler bu genç fayların sıyrılma fayını kestiğini ve kilometrelerce düşey atımla yer değiştirdiğini göstermektedir (Çiftçi ve Bozkurt, 2009a, b, 2010). Domun doruk çizgisi batı ve doğuya doğru tatlı eğimlerle dalmakta kuzeye doğru ise ani kesikliklerle uzanmaktadır. Horstun tepesindeki düzlükler bölgesel aşınma düzleminin kalıntılarıdır.

Figure 4. Google image of Bozdağ Horst (Dome). The area bounded by the white-framed purple line shows the outcrops of the detachment fault, which is evident by the polished fault plane. The fault plane of the detachment fault bends towards the Gediz-Alaşehir Graben in the north, making the letter S (yellow line). The formation of this structure is explained as the result of the detachment fault leaving the base block and bending backwards (rolling hinge) during the tectonic erosion of the fault cover while it is the high angle in the first position. The fault plane is horizontal at the top of the horst (Figure 16). The white lines are normal faults opening the Gediz-Alaşehir Graben. The white dashed line shows the boundary of the sudden steepening in the slope angle developed by the young normal faults. The low angled slope from Horst hill to this region steepens towards the valley and exhibits a morphological discordance of the exhibits. Many high-angle normal faults are recognized further north from this section. These faults cut the detachment fault. The outcrops of the detachment fault are observed in the fallen blocks (Figure 15). For this reason, it can be said that these young faults are not Riedel faults developed by sliding in the detachment fault hanging wall block. The seismic sections showing the cross-section of the graben especially show that these young faults cut the

detachment fault and were replaced by kilometers of vertical slip (Çiftçi and Bozkurt, 2009a, b 2010a, b). The summit line of the dome dives towards the west and east with gentle slopes and extends towards the north with sudden interruptions. The plains at the top of the horst are the remnants of the regional erosional plane.



Şekil 5. Batı Anadolu'nun genelleştirilmiş stratigrafi sütun kesiti (İztan ve Yazman, 1990; Yılmaz vd., 2000'den değiştirilerek).

Figure 5. Generalized stratigraphic column section of Western Anatolia (İztan and Yazman 1990; modified from Yılmaz et al. 2000).

Bunlar; 1- Bölgenin temelini oluşturan Menderes Masifi'nin metamorfik kayaları (Menderes Masifi'ni oluşturan kaya grupları, bunların yaşı ve dizimleri ve ilgili kaynaklar için; Bozkurt ve Oberhansli (2001), Candan vd. (2011a ve b) ve Yılmaz (2017b)).

Menderes Masifi, Pan-Afrikan yaşlı (550-520 my) bir metamorfik çekirdek ile onun örtü metamorfik kayalarından oluşmaktadır (Candan vd., 2011a ve b). Yaşlı çekirdek yer yer gözlü-ortognays, meta granit, meta gabro ve kalık eklojit parçalarını içermektedir. Örtü metamorfik toplulukta ise iki birim ayırt edilmektedir. Altta şist ve fillatlardan oluşan Paleozoyik yaşlı ileri dereceli metamorfik bir kaya topluluğu yer almaktadır. Onu, mermer ve rekristalize kireçtaşlarından oluşan Mesozoyik yaşlı bir istif örtmektedir (ilgili kaynaklar için; Candan vd., 2011a ve b). Mermer örtü bölgenin kuzey ve orta kesimlerinde dar alanlarda görülür ve kalınlığı incedir (<300m). Güney alanlarda ise çok yaygın ve kalındır (>500m) (Yılmaz, 2017b). Menderes Masifinin metamorfik kayaları üzerine tektonik olarak ofiyolit napları yerleşmiştir. İçlerinde yüksek basınç metamorfizması sergileyen metaofiyolitler de vardır. Naplar kuzeyden güneye Geç Kretase, Orta Eosen ve Oligosen dönemlerinde ilerlemiş, hem kendilerinin hem de altlarındaki Menderes Masifi kayalarının önemli biçim değişimine neden olmuştur (Menderes Masifin yapısal iç düzenlenmesi için; Yılmaz, 2017b).

Menderes Masifi'nin çökel örtüsü karasal ortamda, Erken Miyosen'den günümüze kadarki geniş zaman aralığında oluşmuş, farklı türden kaya gruplarıyla temsil edilir. Bunların tümünün üst üste görüldüğü tek bir yöre yok denecek kadar azdır (MTA, 1/500.000 ölçekli Denizli, İzmir ve İstanbul paftalarına bakınız). Bu veri tek başına Batı Anadolu morfoloji ve morfotektoniğinin son 20-15 milyon yıllık süre içinde önemli değişimler geçirdiğini ve çökel depolanma alanlarının konum ve uzanımlarının yer değiştirdiğinin kanıtıdır. İstifte açısız diskordanslarla birbirlerinden ayrılan başlıca üç çökel kaya grubu ayırt edilmektedir (Şekil 5) (Yılmaz vd., 2000; Bozcu, 2010; Alçıçek, 2010; Ersoy vd., 2010, 2014; Alçıçek vd., 2013; Uzel vd., 2017, 2020).

2-Alt birim; altta, Alt-Orta Miyosen yaşlı bir çökel topluluk ile onlarla eşzamanlı gelişmiş olan

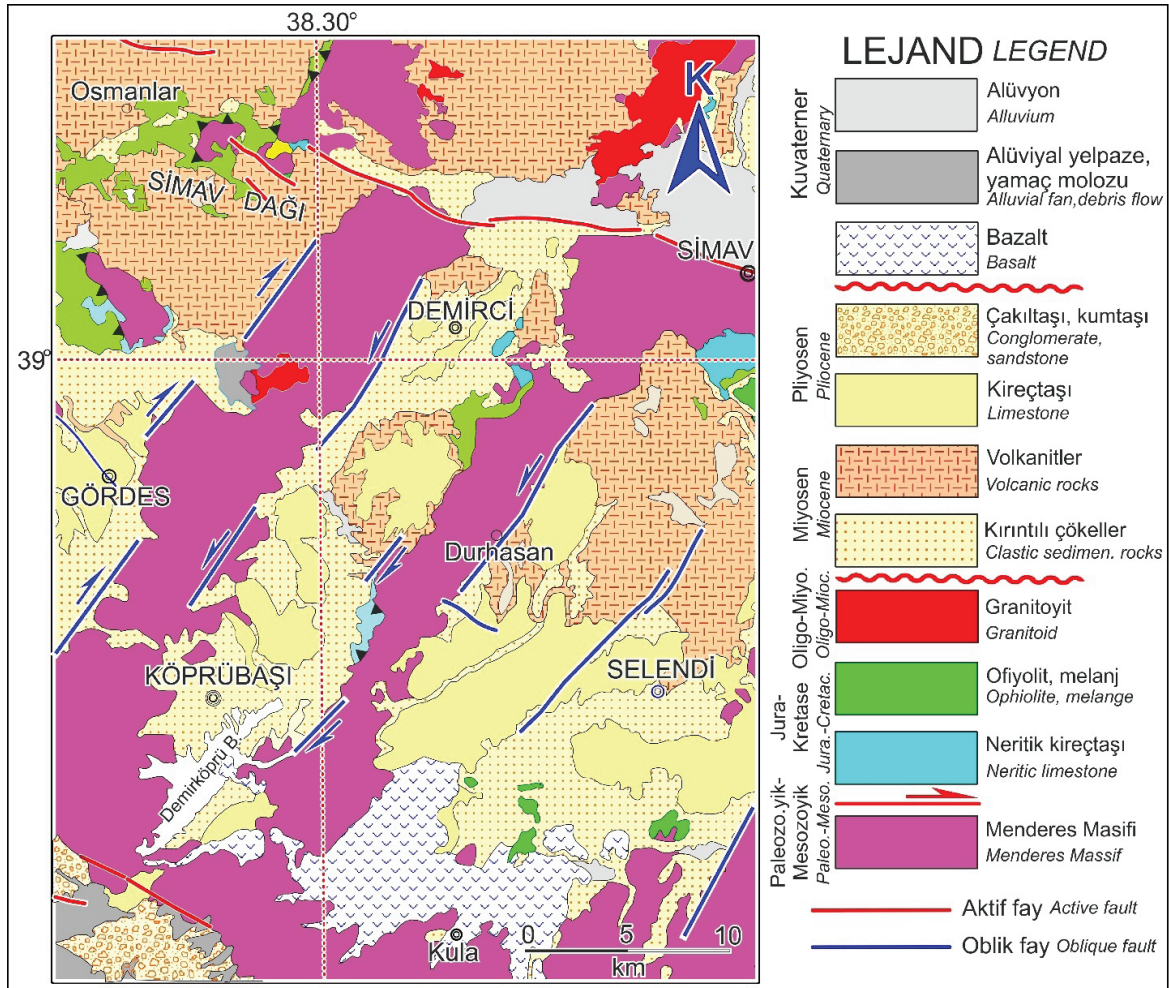
(ardalı ya da girik) volkanik kayalar yer alırlar. Volkanik toplulukta, ortaç ve felsik bileşimli lav ve piroklastik kayalar egemendir. Bunlardan, kuzeyden güneye gençleşen, 26-11 my aralığında yaşlar derlenmiştir (Yılmaz vd., 2000; Dilek ve Altunkaynak, 2009; Ersoy vd., 2011, 2016; Yılmaz, 2017b; Ünal ve Altunkaynak, 2018). Alt topluluk, Batı Anadolu'nun orta ve kuzey alanlarında ve özellikle Gediz Grabeni kuzeyinde yaygındır (Şekil 1, 2 ve 6). KKD doğrultulu, doğrultu atımları egemen faylar bu birimi sınırlamakta ve gelişim ve dağılımını denetlediği anlaşılmaktadır (Şekil 1 ve 2) (Yılmaz vd., 2000; Purvis ve Robertson, 2005; Ersoy vd., 2010, 2011; Sözbilir vd., 2011). Volkanik kayaların da aynı doğrultuda uzanan açılma çatlaklarından çıkarak dağıldığı anlaşılmaktadır (Şekil 2) (Yılmaz vd., 2000; Doglioni vd., 2002; Purvis ve Robertson, 2005; Karacık vd., 2007; Ersoy vd., 2010, 2011; Erkül ve Erkül, 2010; Karaoğlu ve Helvacı, 2010; Ersoy ve Helvacı, 2016). Az çok aynı süreçte kaldera tipi granitik ve volkano-plütonik toplulukların da K-G açılma çatlaklarını kullanarak kabukta sığ derinliklere ulaştığı saptanmıştır (Şekil 2) (Yılmaz, 1989; Altunkaynak ve Yılmaz, 1998; Genç vd., 20011; Yılmaz vd., 2000; Erkül vd., 2009; Altunkaynak vd., 2012; Altunkaynak ve Dilek, 2013; Asti vd., 2019; Ünal ve Altunkaynak, 2018, 2019; Ünal vd., 2019).

3-Orta Birim; Neojen istifinin ortasında yer alan kaya stratigrafi grubu Üst Miyosen (İzitan ve Yazman, 1990; Ediger vd., 1996; Emre, 1996; Emre ve Sözbilir, 2007)-Alt Pliyosen (Görür vd., 1995, İzitan ve Yazman, 1990; Yılmaz vd., 2000) yaşlı, genellikle düşük enerji ortamında, bölgede yaygın olarak gelişmiş gölsel çökellerdir (Şekil 5) (Becker-Platen, 1970; Benda, 1971; Lutttig ve Stefens, 1976; Benda vd., 1974; Steinenger vd., 1987, 1996; Görür vd., 1995; Benda ve Meulenkamp, 1990; Konak, 2002; Alçıçek, 2010). İstif, ince katmanlı ak kireçtaşı, marn, kıltaşı-silttaşı ardalanmasından oluşur (Şekil 5). Birim, Batı Anadolu'nun Akdeniz bölgesinden Marmara

Bölgesi'ne kadar uzanan en yaygın kaya grubunu temsil eder (MTA, 1/500.000 Türkiye Jeoloji haritasının, Denizli, İzmir ve İstanbul paftası). Hakyemez vd., (2013) tarafından gölsel istifin yaşının Alt Pliyosen' den daha yukarı çıkmadığı belirtilmiştir.

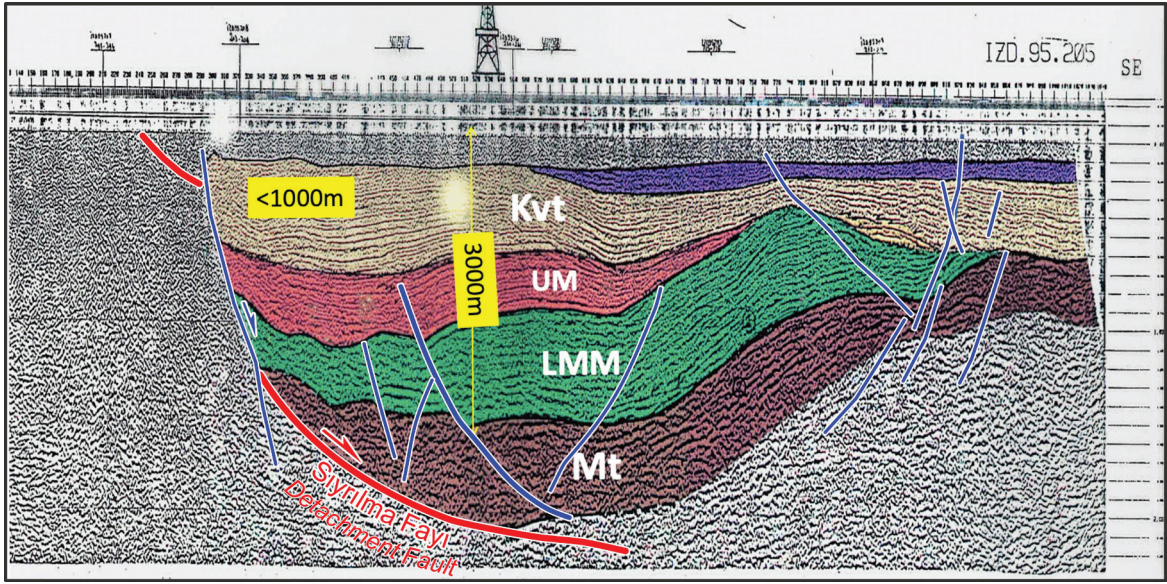
Geç Miyosen döneminde gelişmiş volkanizma Batı Anadolu'nun kuzey kesiminde görülmez. Ancak sahile yakın bölgelerde, örneğin Çeşme dolaylarından başlayarak güneye uzanmaktadır (Şekil 2). Bu dağılım örneği magmatizma-volkanizma cephesinin Erken Miyosen'den Geç

Miyosen'e güneye göç ettiğini göstermektedir (Kaymakçı vd., 2007; Dilek ve Altunkaynak, 2009; Yılmaz 2017b; Altunkaynak vd., 2021). Bozdağ Domu'nun yükselmiş olduğu orta bölgelerde masifi kesen plutonik ve hipabisal kayaların varlığı (Glodny ve Hetzel, 2007; Catlos vd., 2010), buna karşın benzeri jeokimya niteliği sergileyen volkanik kayaların domu çevreleyen bölgelerde yaygınca görülmesine karşın domun orta bölgelerinde eksikliği, masifin örtüsünün bu dönemde henüz yeterince sıyrılmadığının göstergesidir.



Şekil 6. Demirci Grabeni ve çevresinin jeoloji haritası (Konak, 2002'den değiştirilerek alınmıştır).

Figure 6. Geological map of Demirci Graben and its surroundings (modified from Konak, 2002).



Şekil 7. Gediz-Alaşehir Grabeni'nde yaklaşık BKB-DGD bir sismik kesitte graben dolgusu görülmektedir. Yaklaşık K-G doğrultulu fayların sınırladığı alanda, genç graben içinde hapsolmuş yaşlı grabenin ve onun üzerinde çökelmiş olan genç grabenin çökel dolguları yer alır. Her iki graben çökelinin toplam kalınlığı 3000m'yi bulmaktadır. K-G fayların sınırladığı alanın dışında genç graben istifinin kalınlığı ani olarak 1000 m'nin altına inmektedir. Mt; metamorfik temel, LMM; Alt-Orta Miyosen yaşlı çökeller, UM; Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşlı çökelleri, Kvt; Kuvaterner yaşlı çökel dolgu (Sismik kesit daha sonra açılan sondaj verileriyle doğrulanmıştır).

Figure 7. A graben fill is observed in a seismic section almost WNW-ESE in the Gediz-Alaşehir Graben. In the area bounded by approximately N-S trending faults, there are sedimentary fillings of the old graben trapped in the young graben and the young graben deposited on it. The total thickness of both graben deposits reaches 3000 m. Outside the area bounded by N-S faults, the thickness of the young graben succession suddenly decreases below 1000 m. Mt; metamorphic basement, LMM; Lower-Middle Miocene sediments, UM; Upper Miocene-Lower Pliocene sediments, Kvt; Quaternary aged sedimentary fill (seismic section confirmed by later drilling data).

4-Üst Birim; Üst çökel topluluk Ege Bölgesi'nin günümüzde egemen yapısal unsurları olan D-B grabenlerinin dolguları olarak gelişmiştir (Şekil 2 ve 3). İstif graben omuzlarında, grabenleri sınırlayan fay bloklarında yaygınca mostra vermektedir. İstifte zayıf çimentolu akarsu çökelleri ile fay önü alüvyon yelpazelerinin kaba taneli konglomeraları egemendir. Batı Anadolu'nun her yöresinde D-B uzanımlı bu graben dolgularından sadece Kuvaterner yaşları derlenmiştir (Ünay vd., 1995; Ünay ve Göktaş, 1999; Akgün ve Akyol, 1999; Yılmaz vd., 2000; Sarıca, 2000; Beccaletto ve Steiner, 2005; Hakyemez vd., 2013). Birimin kalınlığı >1000 m'yi aşmaz (Şekil 7). Daha yaşlı

çökellerin D-B uzanımlı Kuvaterner grabenlerinin içlerinde, faylarla sınırlı yerel dar alanlarda bulunduğu yörelerde, graben istifinin kalınlığı 2500-3000 m ye ulaşmaktadır (Şekil 7) (tartışma bölümüne bakınız) (İztan ve Yazman, 1990; Yılmaz vd., 2000).

YAPISAL JEOLJİ

İnceleme alanında çok sayıda fay tanınmış ve haritalanmıştır (MTA 1/500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası'nın Denizli, İzmir ve İstanbul Paftaları ile, MTA Türkiye Diri Fay Haritası'na bakınız). Bunlar, doğrultuları, nitelikleri ve oluşum yaşları ile aşağıdaki farklı grupları oluşturur.

KKD Doğrultulu Doğrultu Atımlı Faylar

Batı Anadolu'da farklı dönemlerde gelişmiş KKD ve KKB doğrultulu doğrultu atımlı iki fay takımı ayırt edilmektedir (MTA 1/500.000 Türkiye jeoloji haritası İzmir ve Denizli paftaları) (Şekil 1 ve 2). KKD doğrultulu faylar genellikle sağ yönlü ve çoğunluğu transtansiyonel niteliklidir. Eğim atım bileşenleri doğrultu atıma eşlik etmiştir. Bu faylar Erken-Orta Miyosen grabenlerini sınırlamış (Zanchi vd., 1993, Seyitoğlu, 1997; Altunkaynak ve Yılmaz, 1999; Yılmaz vd., 2000; Yılmaz ve Karacık, 2001; Doglioni vd., 2002; Bozkurt, 2003; Purvis ve Robertson, 2005; Karacık vd., 2007; Ersoy vd., 2010, 2011; Erkül ve Erkül, 2010; Karaoğlu ve Helvacı, 2010; Hakyemez vd., 2010; Ersoy ve Helvacı, 2016; Yılmaz 2017a; Sangu vd., 2020) ve bu süreçteki (23-14 my; Ercan vd., 1996; Aldanmaz 2002; Gökteş 2012; Seyitoğlu 1997; Purvis ve Robertson, 2005), az çok eş yaşlı magma çıkışlarını da yönlendirmiştir (Şekil 2) (Yılmaz vd., 2000; Catlos vd., 2010; Yılmaz, 2017b; Ünal vd., 2019; Bayrak vd., 2021). KKD doğrultulu faylar ve bunların sınırladığı grabenler Batı Anadolu'da kuzeyden güneye aralıklarla yüzlerce kilometre izlenmektedir. Bazıları yenilenen gerilme dönemlerinde yeniden hareket geçirmişlerdir (Seyitoğlu vd., 2009).

D-B Doğrultulu, Eğim Atımlı Faylar

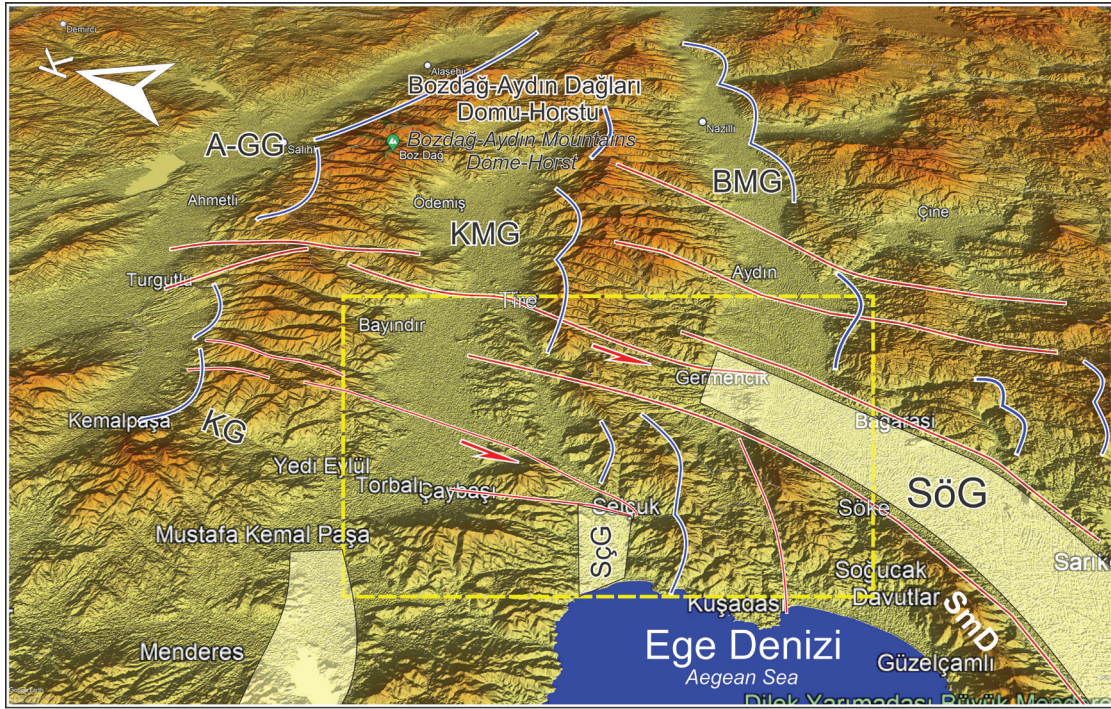
Batı Anadolu'nun D-B uzanımlı horst ve grabenlerini sınırlayan normal faylar bu grubu oluşturur (Şekil 1 ve 2).

Batı Anadolu'nun en gelişmiş D-B uzanımlı grabenleri olan Alaşehir-Gediz ve Büyük Menderes Grabenleri ve bunların arasındaki Bozdağ-Aydın Dağları Horstu'nu (Şekil 1) sınırlayan

faylar inceleme alanımızın yakın çevresinde yer almaktadır (Şekil 1 ve 3). Bunlar asimetrik grabenler olup bölgenin en belirgin morfotektonik unsurlarını temsil ederler (Erinç, 1954; Zanchi vd., 1993, Maddy vd., 2020; Ocakoğlu 2020; Özpolat vd., 2020; Eski vd., 2020). Bozdağ-Aydın Dağları Horstu'nun sınır fayları sismikçe aktif faylardır (Eyidoğan ve Jackson 1985; Akyol vd., 2006; Aktar vd., 2007; Tan vd., 2008; Tiryakioğlu vd., 2019; Eyübagil vd., 2021). Batı Anadolu'yu etkileyen yaklaşık 20 mm/y K-G gerilmenin önemli bir kısmını bu faylar karşılamaktadır (Eyidoğan ve Jackson, 1985; Bozkurt ve Sözbilir 2004; Yolsal-Çevikbilen vd., 2014). Horstun her iki yamacında çok sayıda normal fay basamağı ayırt edilmektedir (Şekil 1 ve 2). Fay parçaları 10 km ye kadar sürekli ve fay düzlemleri çoğunlukla yüksek açılıdır (~70°) (Patton, 1992; Bozkurt ve Sözbilir, 2004; Sert ve Çemen, 2014; Şaroğlu ve Güler, 2020). Depremlere neden olan fay odak çözümleri fay düzlemlerinin derinde yataya doğru yaklaştıklarını, sismojenik katmanın ise ince, yaklaşık 12 km ye ulaşan sığ derinliklerde olduğunu göstermektedir (Taymaz vd., 2008). Bu veri fayların kürek biçimli faylardan (listric fault) olduklarını göstermektedir.

KKB Doğrultulu Doğrultu Atımlı Tek Faylar ve Fay Çiftleri

Batı Anadolu'nun batı bölgeleri ile sahil kesiminde bu faylar egemendir (Şekil 1, 2, 8 ve 9). Tüm diğer yapısal unsurlarını kesip öteledikleri için en genç yapısal unsur oldukları anlaşılmaktadır. D-B uzanan grabenlerin Ege Denizi'ne doğru olan devamlarını kesmiş ve yanal yönde yer değiştirmelerine neden olmuşlardır (Şekil 1, 2, 8 ve 9) (Zanchi vd., 1993, Özkaymak vd., 2013).



Şekil 8. Selçuk Grabeni'ni çevreleyen alanlar ve Bozdağ-Aydın Dağları Horstunu (domunu) gösteren sayısal yükseklik modeli (SYM) verev perspektif görüntüsü. Küçük Menderes Grabeni (KMG), D-B uzanımlı Büyük Menderes (BMG) ve Alaşehir- Gediz (A-GG) grabenlerini ayıran Bozdağ Horstu üzerinde yer almaktadır. Selçuk Grabeni (SÇG), KMG nin sol yönlü doğrultu atımlı fayla güneybatıya atılması ile ondan ayrılmıştır. Büyük Menderes Grabeninin batı kesimi de doğrultu atımlı faylarla atılmış ve Söke Grabeni (SÖG) oluşmuştur. Kesikli sarı çizgili dikdörtgen alan Şekil 9'un yerini göstermektedir. KG; Kemalpaşa Grabeni.

Figure 8. Digital elevation model (DEM) oblique perspective view showing the areas surrounding the Selçuk Graben and the Horst (dome) of the Bozdağ-Aydın Mountains. The Küçük Menderes Graben (KMG) is located on the Bozdağ Horst, which separates the E-W trending Büyük Menderes (BMG) and Alaşehir-Gediz Grabens (A-GG). The Selçuk Graben (SÇG) was separated from it by the southwestern displacement of the KMG by a left-lateral strike-slip fault. The western part of the Büyük Menderes Graben was also thrown by strike-slip faults and the Söke Graben (SÖG) was formed. The rectangular area with dashed yellow lines shows the location of Figure 9. KMG; Kemalpaşa Graben.

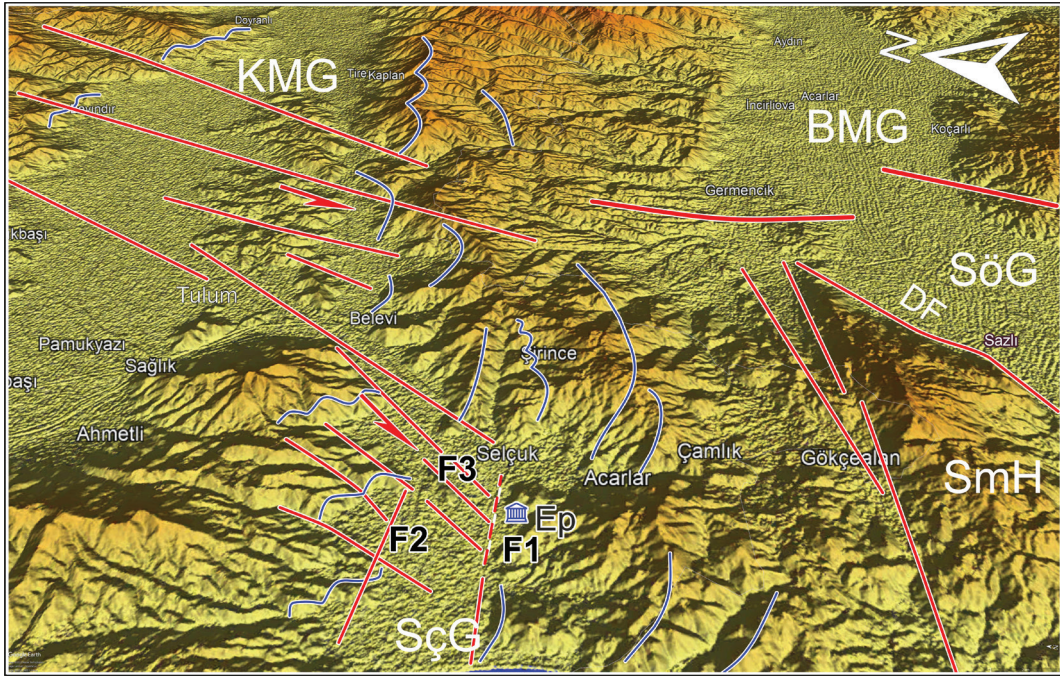
Tek fay olarak gelişmiş olanlar çoğunlukla sol yönlü doğrultu atımlı faylardır. Fay çifti (conjugated) olarak geliştikleri yörelerde ise atım yönleri birbirlerine zıt ancak birbirlerini tamamlayan faylardan oluşurlar; örneğin Dikili Horstu ile Samson Dağı Horstu bu faylarla kesilip sol yanal ötelenmişlerdir (Şekil 2 ve 8) Bu genç fay grupları günümüzde bölgenin sismikçe en aktif faylarını temsil etmektedir (Aktar vd., 2007; Eyübagil vd., 2021).

Kıvrımlar ve Ters Faylar

Batı Anadolu'nun Neojen yaşlı çökel ve volkanik istifleri, fay zonları uzağında genellikle yataya yakın düşük açıdır. Bununla birlikte bölgenin üç litostratigrafik grubu birbirlerinden bölgesel uyumsuzlukla ayrılırlar. Çoğu yörede uyumsuzluk düzlemleri belirgin olarak açıdır. Alt litostratigrafik grup birçok yörede kıvrımlıdır (Koçyiğit vd., 1999; Yılmaz vd., 2000; Emre ve Sözbilir, 2007; Özbüran ve Gürer, 2012; Sümer vd., 2020). Graben içi alanlarda kıvrılmanın

gerilmeye bağlı gelişmiş takla antiklinalleri (rollover anticline) olduğu görülmektedir (Bozkurt ve Sözbilir, 2004). Ancak graben alanlarının dışında veya içinde, pek çok yörede, sıkışma ile gelişmiş kıvrımlar da saptanmıştır (Yılmaz vd., 1999; Koçyiğit vd., 1999; Yılmaz vd., 2000; Emre ve Sözbilir, 2007; Sümer vd., 2020; Gürer, 2023). Bunlardan bazıları ters faylarla birlikte (Koçyiğit vd., 1999; Yılmaz vd., 2000; Emre ve Sözbilir, 2007). Kıvrım ve ters faylarda

gerçekleştirilen kuvvet analizleri sıkışmanın genellikle K-G, kuvvetin en büyük bileşenin ise KB ya da GD yönünde olduğunu göstermektedir (Gürer, 2023). Bir diğer deyişle Erken-Orta Miyosen sırasında ya da sonrasında bölgenin yer yer sıkışma tektoniğinden de etkilendiği anlaşılmaktadır (Koçyiğit vd., 1999; Bozkurt vd., 2002; Bozkurt ve Rojay, 2005; Burchfiel vd., 2008).



Şekil 9. Selçuk Grabeni (SÇG) ve yakın çevresini gösteren sayısal yükseklik modeli (SYM) verev perspektif görüntüsü. Selçuk grabeni ve çevresinde graben fayları (mor çizgiler) ve graben yapılarını ve morfolojik unsurlarını kesip yer değiştirmelerine neden olan doğrultu atımlı faylar (kırmızı çizgiler) morfolojideki izleriyle belirgin olarak tanınmaktadır. Grabenin güney kenarını sınırlayan normal atımlı faylar, kuzey kenar faylarına göre çok daha belirgin olup yamaçta birkaç büyük fay basamağı oluşturmuştur. Kısaltmalar; KMG; Küçük Menderes Grabeni, BMG; Büyük Menderes Grabeni, SöG; Söke grabeni, SmH; Samson Dağı Horstu, DF; Sıyırılma fayı. Ep; Efesus antik kenti. F1 (şekil 10), F2 (şekil 11) ve F3 (şekil 13) fotoğrafların yerlerini göstermektedir.

Figure 9. Digital elevation model (DEM) oblique perspective view showing Selçuk Graben (SÇG) and its immediate surroundings. Graben faults (purple lines) and strike-slip faults (red lines) that cut the graben structures and morphological elements and cause their displacement are clearly recognized by their morphological traces. The normal slip faults limiting the southern margin of the graben are much more prominent than the northern margin faults and formed several large fault steps on the slope. Abbreviations; KMG; Küçük Menderes Graben, BMG; Büyük Menderes Graben, SöG; Söke Graben, SmH; Mount Samson Horst, DF; Detachment fault, Ep; Ephesus ancient city. F1 (fig. 10), F2 (fig. 11) and F3 (fig. 13) show the locations of the photos.

SELÇUK GRABENİ'NİN JEOLJİSİ

Selçuk Grabeni'nin temelini temsil eden metamorfik kayalar, grabeni G ve K'den sınırlayan horstlarda yüzeylenmektedir (Şekil 3 ve 8). Güney horstta istifin alt kesimini temsil eden şist ve gnayslar, kuzeyde ise mermer ve rekrystalize kireçtaşları egemendir. Bu dağılım temel birimlerini oluşturan istifin kuzeye eğimli olduğunu belli etmektedir. Çakmakoğlu (1985, 1987, 1990 ve 2007) temel kayalarını ayrıntılı olarak tanıtmıştır. Güney horstta birbirleriyle ardalan amfibolitler ile kuvars-granat-biyotit-amfibol-epidot şistler egemendir. Amfibolitler çoğunlukla som olup yer yer amfibolit şistlere dokusal geçişler sergilemektedir. Candan vd., (1997) metamorfik toplulukta kloritoid içeren YB metamorfizmasına uğramış kayaların da bulunduğunu belirtmiştir. Bunların YS metamorfizmasına uğramış Menderes Masifi kayalarının üzerine tektonik olarak yerleştiği bilinen naplardan derlendiği söylenebilir (Yılmaz 2017b). Selçuk Grabeni'nin güney horstundaki metamorfik istifin üst kotlarında ise şistlerle ardalı 10-20 m kalınlıkta kuvarsit düzeyleri ayırt edilmektedir. İçerdikleri granat, aktinolit, epidot, biyotit ve plajiyoklaz egemen mineral topluluğu metamorfik kayaların amfibolit, epidot-amfibolit fasiyesinde metamorfizmaya uğradıklarını göstermektedir.

Kuzey horstu oluşturan mermer-rekrystalize kireçtaşı egemen istif çoğunlukla beyaz-gri renkli kireçtaşı ve dolomit kökenlidir (Çakmakoğlu, 2005). Alt düzeylerinde ince katmanlı ve çört ara katkılı olmaları derin denizden sığ denizele geçen bir karbonat istifinin metamorfizmaya uğradığını belli etmektedir. Şist ve meta karbonatlar Menderes Masifi'nin Paleozoik yaşlı ileri dereceli metamorfik şist ve gnayslarına, üstte yer alan meta karbonatların ise Mesozoyik yaşlı örtü birimlerine karşılık geldiği belirlenmiştir (Candan vd., 2011a ve b).

Selçuk Grabeni'nin çökel dolgusunu Kuvaterner yaşlı akarsu konglomeraları oluşturur. Grabenin kuzeybatı ucundaki küçük bir mostrada Üst Miyosen yaşlı göl sel kireçtaşı mostrası görülür. Bu mostranın, Söke, Davutlar-Kuşadası ve Akköy (Göktaş 1998; Gürer vd., 2001; MTA 1/500.000 ölçekli Denizli paftası; Çakmakoğlu, 1987, 1990, 2005 ve 2007; Sümer vd., 2013) dolayında yaygınca yer alan, horst ve grabenlerde korunmuş istifin, bu bölgeye uzanan bir mostrası olduğu söylenebilir.

Yapısal Jeoloji

Selçuk grabeni, Küçük Menderes grabeninin batı devamında yer almakta birlikte genç, sol yönlü, doğrultu atımlı faylarla güneybatıya atılarak ondan ayrılmıştır (Şekil 8 ve 9).

Selçuk bölgesinde saptanan ana fay takımları şunlardır (Şekil 9);

A-Graben fayları, B-Graben ve graben faylarını kesen ve öteleyen doğrultu atımlı faylar

Gediz ve Büyük Menderes Grabenleri gibi Selçuk Grabeni de asimetric bir grabendir (Şekil 8 ve 9). Ana horsta yaşlı güney kanadı sınırlayan faylar etkin ve sismikçe aktif faylardır (Passchier vd., 2013). Bunlar Küçük Menderes Grabeni'ni de sınırlayan fayların devamında yer almakta olup (Şekil 1 ve 8) az çok D-B doğrultulu normal (eğim atımlı) faylardır (Şekil 8 ve 9). Birkaç fay basamağı halinde düşerek grabeni açan bu faylar bölge morfotektoniğinin en egemen unsurlarıdır (Şekil 9). Normal faylara özgü içbükey harita örneği sergilemekte (Şekil 9) ve güncel drenajı denetlemektedirler. Fay düzlemlerinin geri dönme açılarının (back-tilting) vadiye doğru giderek azalmasından, eğim açılarının derine doğru azaldığı yani kürek biçimli fay (listric fault) oldukları anlaşılmaktadır. Efes antik kentinin yer aldığı vadinin güney kenarını da sınırlayan bu eğim atımlı fay grubunun tipik bir mostrası Meryem Ana heykelinin arkasındaki sırtta görülmektedir (Şekil 10).



Şekil 10. Efes antik kenti yakınında, Meryem Ana heykeli arkasındaki dik sırtı oluşturan normal fayın görünüşü. Fay düzlemi üzerinde iyi gelişmiş fay düzlemi yapıları tanınmaktadır.

Figure 10. View of the normal fault forming the steep ridge behind the Virgin Mary statue, near the ancient city of Ephesus. Well-developed fault plane structures are recognized on the fault plane.

Selçuk Grabeni'nin her iki kenarını sınırlayan graben sınır fayları, morfolojideki izleriyle sahada

kolaylıkla tanınabilmektedir (Şekil 10). Kuzey kenardaki faylar daha az belirgindir (Şekil 8 ve 9). Bununla birlikte bir-iki küçük fay basamağı morfolojik verilerle ayırt edilebilmektedir (Şekil 9); örneğin, grabeni sınırlayan ilk fay sırası sırt boyunca akan dereleri kesip asılı küçük vadiler oluşturmuştur (Şekil 11). Horst yükselirken yer altı su seviyesi de yükseldiğinden meta karbonatlardan oluşan bu horstta derine doğru iç içe pek çok karst mağarası ve dolin gelişmiştir (Şekil 12). Çökmüş karst mağaralarının faylarla kesildiği yerlerde iç bükey diklikler oluşmuştur (Şekil 11). Grabenin kuzey kenarı ve bu kenarı sınırlayan morfolojide az belirgin fayların, kuzey kenarı oluşturan ana normal fay (lar)ın tavan bloğunda gelişmiş antitetik faylar da olabileceği düşünülmektedir.

Güney sınır fayının da aslında Samson Dağı'nın (Şekil 9) güney yamacında Sümer vd., (2013)'ün saptadığı sıyrılmaya fayının bu kanattaki devamı ile onu biçen genç faylardan oluştuğu düşünülebilir.



Şekil 11. Selçuk Grabeni kuzey yamacını gösterir foto. Graben kenar fayı ile yükselen blokta asılı dere vadileri tanınmaktadır. Kırmızı çizgiler fayın biçtiği, tavanı çökmüş içbükey karst mağaralarını sınırlandırmaktadır.

Figure 11. Photograph showing the northern slope of the Selçuk Graben. Hanging stream valleys are recognized in the block rising by the graben edge fault. The red lines delimit the concave karst caves with collapsed roofs cut by the fault.



Şekil 12. Selçuk Grabeni kuzey kanadını oluşturan rekristalize kireçtaşı-mermer istifinde gelişmiş karst şekillerini gösteren Google Earth görüntüsü. Çökmüş karst mağaraları bölgenin egemen yüzey şekillerini oluşturmaktadır (Şekil 13). Büyük karst mağaralarının çökmesi ile vadi yakınında grabeni genişleten büyük içbükey çanaklar gelişmiştir.

Figure 12. Google Earth image showing developed karst forms in the recrystallized limestone-marble succession forming the northern flank of the Selçuk Graben. The collapsed karst caves form the dominant surface forms of the region (Figure 13). With the collapse of the large karst caves, large concave bowls have developed near the valley that widen the graben.

Selçuk Graben alanı içinde pek çok doğrultu atımlı fay tanınmaktadır (Şekil 8 ve 9). Grabenin uzanımına vevv olanlar ve grabene az çok paralel uzananlar olarak iki ana doğrultu atımlı fay grubu ayırt edilmektedir. Bunların eşzamanlı geliştikleri anlaşılmaktadır. Her iki fay grubu da graben yapılarını kesip yer değiştirmelerine neden olmuştur. Grabene vevv uzananlar az çok K-G ya da KKD-GGB doğrultulu ve sol yönlü faylar olup grabenin ana morfolojisinde atımlara neden olmuştur. Bu grubun ana fay zonu Küçük Menderes Grabeni'ni kesip sol yönlü onlarca kilometre atmış aralı-aşmalı (en-echelon) birçok faydan oluşmaktadır. Benzeri bir doğrultu atımlı

fay zonu da Büyük Menderes Grabeni'ni sol yönlü onlarca kilometre ötelemiştir (Şekil 8 ve 9). Diğer doğrultu atımlı fay grubu grabene az çok paralel uzanan faylardan oluşmaktadır (Şekil 9). Bu faylar grabeni sınırlayan normal fayları dar açılarla kesmektedir. Doğrultu atımlı fay grupları birlikte bir fay çifti oluşturmaktadır (Şekil 8 ve 9). Doğrultu atımlı fay zonları morfolojideki izleriyle sahada kolaylıkla ayırt edilmektedir. İnce uzun sırtlar (tınaz tepe; lineer ridge), basınç sırtları, ani yer değiştiren dere yatakları (offset stream), ince uzun yerel çukurlar (sag depression) bu öğelerin en dikkat çekenlerindedir (Şekil 13).



Şekil 13. Selçuk Grabeninin güney kesiminde (fotonun yeri için şekil 9'a bakınız) graben normal yapılarını verevine kesen doğrultu atımlı, sol yönlü fay zonuna doğu yönünde bakış. Fotoda ince uzun sırtlar, atılmış dere yatakları, çökme çukurları gibi doğrultu atımlı faylara özgü morfolojik unsurlar ayırt edilmektedir.

Figure 13. East view of the strike-slip, left-sided fault zone that cuts the normal structures of the graben obliquely in the southern part of the Selçuk Graben (see Figure 9 for the location of the photo). Morphological elements specific to strike-slip faults, such as elongated ridges, discarded stream beds, and collapse pits, are distinguished in the photo.

Doğrultu atımlı faylar, Selçuk ve Küçük Menderes Grabenleri'nin oluşumundan gençtir (Gürer vd., 2001). Çünkü bu faylar D-B grabenlerini kesip ötelemiştir (Şekil 8 ve 9). Küçük Menderes Grabeni'nin batıya uzantısını kesip güneybatı yönünde öteleyen doğrultu atımlı ana fay zonu Selçuk Graben alanına uzanmakta ve bölgenin doğrultu atımlı faylarına kavuşmaktadır (Şekil 8). Buna bağlı olarak Selçuk Grabeni

yarı bağımsız bir graben görüntüsü kazanmıştır. Bu fayların Selçuk Grabeni, güneyindeki Söke Grabeni'nden ayıran ve Samson Dağı'nı sınırlayan doğrultu atımlı aktif faylarla da kökünde ilgisi olduğu görülmektedir (Şekil 8 ve 9) (Gürer vd., 2001; Sümer vd., 2013).

BATI ANADOLU'NUN ANA MORFOTEKTONİK ÖGELERİ ve BUNLARIN GELİŞME SIRASI

Batı Anadolu, Anadolu morfotektonik evriminin en geç oluşan ve gelişmesini halen sürdürmekte olan bölgelerindendir (Yılmaz, 2017a). Morfotektonik veriler bunların düzenlenim ve gelişim sırası üzerinde önemli ipuçları vermektedir. Bu bölümde bu ögeler ve bunların oluşum sıraları yaşlıdan gence doğru tanıtılmaktadır.

A-Sıyrılma fayları

Batı Anadolu'nun birçok yöresinde litosferi boydan boya keserek metamorfik temel kayalarını yükseltip yüzeyleyen sıyrılma fay(lar)ı ayırt edilmiştir (sıyrılma fay yüzleklerine örnek için Şekil 1 ve 4'e bakınız) (Verge, 1993; Bozkurt ve Oberhansli, 2001; Sözbilir, 2001; Gessner vd., 2001; Seyitoğlu vd., 2002; Işık ve Tekeli 2001; Çemen vd., 2006; Gürer vd., 2009; Hetzel vd., 2013; Nilius vd., 2019; Asti vd., 2019; Sümer vd., 2020; Etsel, vd., 2020; Altunkaynak vd., 2021). İnceleme alanı çevresinde yüzeylenen metamorfik topluluk Menderes Masifi olarak tanımlanmıştır (metamorfik topluluğun yüzeye ulaşma yaş ve düzeniyle ilgili kaynaklar için; Yılmaz 2017b). Sıyrılma faylarının en bilinen mostraları Bozdağ-Aydın Dağları Horstu'nun kuzey ve güney kanatlarında görülmektedir (Şekil 1). Bu horstun dışında sıyrılma fay düzlemleri Batı Anadolu'nun kuzeyden güneye başka birçok yöresinde de mostra vermektedir; örneğin güneyde Çine'den kuzeye doğru Simav Grabeni kuzeyi ile Kazdağı Horstu'nun güney

kanadında ve Biga Yarımadası'nda sıyrılma fay düzlemlerinin varlığı bilinmektedir (Gessner vd., 2001; Bonev vd., 2009; Ünal ve Altunkaynak, 2018; Kamacı ve Altunkaynak, 2019; Altunkaynak vd., 2021). Menderes Masifi'ni biçen grabenlerin üzerindeki çalışmalar bunları sınırlayan sıyrılma faylarını aynı sıyrılma fayının farklı yörelerde yüzeylenmiş kesimleri olarak değerlendirmiştir (örg; Gessner vd., 2001). Sıyrılma fay düzleminin açısının grabene bakan alanlarda ani ve hızlı değişimi, dalgalanma (rolling hinge) olarak değerlendirilmekte (Gessner vd., 2001; Öner ve Dilek, 2012; Seyitoğlu vd., 2002; Sümer vd., 2020) ve buna dayanarak aynı sıyrılma fay düzleminin

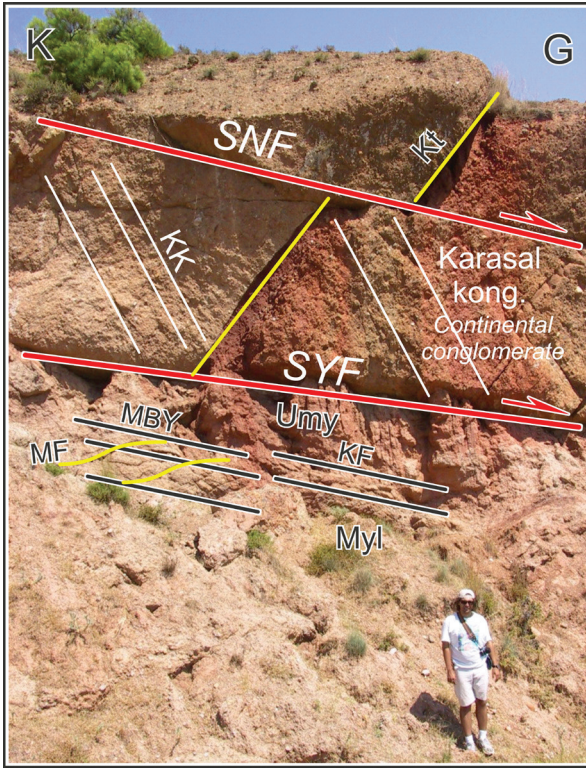
güneye ve kuzeye uzandığı varsayılmaktadır (Şekil 1 ve 4).

Bozdağ Horstu'nda fay düzleminin eğimi grabene yakın alanlarda düşük açıdır (Şekil 4, 14 ve 15). Horstun yamacı boyunca eğim açısı S harfi benzeri dalgalanma sergilemekte dikleşmekte ancak ve horstun tepesinde tekrar yatay konum kazanmaktadır (Şekil 16). Sümer vd., (2020) fay düzlemindeki dikleşmenin Geç Kuvaterner'de gerçekleştiğini belirtmiştir. Sismik veriler graben çökellerinin altında ise sıyrılma fayının eğim açısının giderek yataya yaklaştığını göstermiştir (Çiftçi ve Bozkurt, 2010; Sert ve Çemen, 2014).



Şekil 14. Sıyrılma fay dokanağına (DFP) Bozdağ-Aydın Dağları Horstu'nun kuzey yamacında batı yönünde bakış. Fay, Menderes Masifinin ileri dereceli metamorfik kayaları (MMMR) ile Üst Miyosen yaşlı (CRC) kırmızı konglomeraları ayırmaktadır.

Figure 14. A view from the west of the detachment fault contact (DFP) on the northern slope of the Bozdağ-Aydın mountains horst. The fault separates the high-grade metamorphic rocks (MMMR) of the Menderes Massif and the Upper Miocene-aged red conglomerates (CRC).



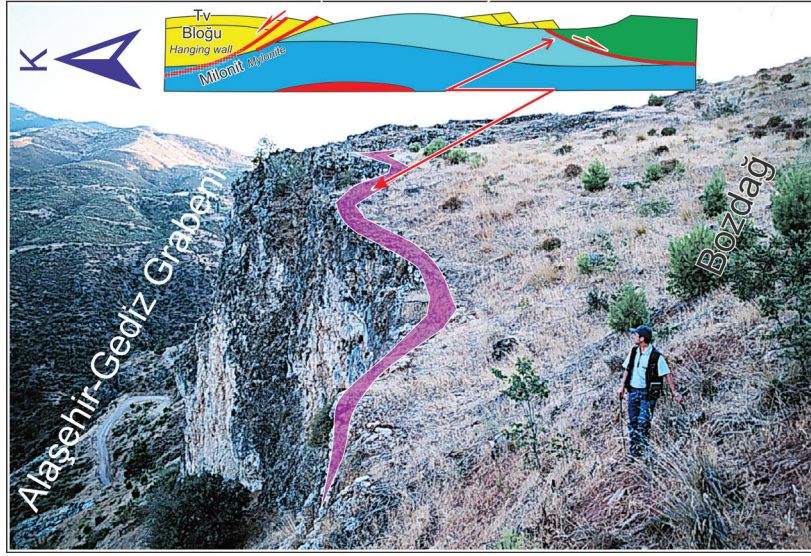
Şekil 15. Şekil 14'te görülen sıyrılma fay dokanağına yakından bakış. Kısaltmalar: SYF; Sıyrılma fayı, SNF; Ana faya uygun gelişmiş sentetik fay, Kt; fay düzlemiyle yüksek açılı katman düzlemleri (back-tilted bedding plane), KK; Kaya klivajı, çökel kayada fay zonunda mekanik ufalanma ve uzama ile tanelerin düzlemler boyunca dizilip düzenlenmesiyle gelişmiş düzlemsel yapılar. KF; kataklasik foliyasyon, Yapraklı metamorfik kayanın fay zonunda ana uzama yönüne paralel mekanik ufalanmasıyla oluşmuş yapraklanma. Bu düzlemlerin süreç içinde geliştiği anlaşılmaktadır. Derinde plastik ortamda gelişmeye başlamış, kırılğan ortamda devam etmiştir. Bunun sonucunda birbirini kesen ve öteleyen yapraklanma düzlemleri gelişmiştir, MBY; makaslama bantlı yapraklanma (shear band foliation), MF; Makaslama foliyasyonu, Umy; Ultramilonit (Fay zonuna yaklaştıkça kataklastik deformasyon sonucu gelişen mekanik ufalanma %90'ın üzerine çıkmaktadır), Myl; Milonit.

Figure 15. A close look at the detachment fault contact seen in Photo 14. Abbreviations: SYF; (DF); Detachment fault, SNF; Developed synthetic fault suitable for the main fault, Kt; (BP); back-tilted bedding plane with fault plane, KK; (RC); Rock cleavage, planar structures in sedimentary rock developed by mechanical disintegration and elongation in the fault

zone and the arrangement of grains along the planes. KF; (CF); cataclastic foliation, foliation formed by mechanical comminution of leafy metamorphic rock parallel to the main elongation direction in the fault zone. It is understood that these planes developed in the process. It started to develop in a deep plastic environment and continued in a fragile environment. As a result, intersecting and offset foliation planes have developed; MBY; (SBF); shear band foliation, MF; (SF); shear foliation, Umy; (Um); ultramylonite (mechanical disintegration due to cataclastic deformation increases over 90% as it gets closer to the fault zone), Myl; (Ml); Mylonite.

Bozkurt ve Oberhansli (2001), Bozdağ Horstu'nu sınırlayıp derinden ileri dereceli metamorfik kayaları yüzeye ulaştıran eğim atımlı fay düzleminin taban ve tavan bloklarında yer alan metamorfik kayaların metamorfizma derecelerinin karşılaştırılmasına dayanarak fayın düşey atımının yaklaşık 10-11 km kadar olduğunu hesaplamıştır. Hızlı yükselmenin yol açtığı basınç serbestlenmesi ise taban blokta sintektonik granitlerin oluşumuna neden olmuştur (Glodny ve Hetzel 2007). Bozkurt (2004) sığ derinliklerde oluşmuş sintektonik pegmatitik granit sokulumlarından Geç Miyosen-Pliyosen izotop yaşları derlemiştir.

Bozdağ Horstu'nun üzerinde sıyrılan en yaşlı karasal çökeller Üst Miyosen yaşlı kırmızı kaba kırıntılılardır (Şekil 15 ve 17). Gediz grabeninin kuzeyindeki alanlarda ise sıyrılma fayını parçalayarak gelişen KKD uzanımlı graben dolgularının yaşı Alt Miyosen'e inmektedir (Seyitoğlu, 1997; Altunkaynak ve Yılmaz, 1999; Yılmaz vd., 2000; Doglioni vd., 2002; Purvis ve Robertson, 2005; Ersoy vd., 2010, 2011; Erkül ve Erkül, 2010; Karaoğlu ve Helvacı, 2010; Ersoy ve Helvacı, 2016; Yılmaz, 2017a ve b).



Şekil 16. Alaşehir-Gediz Grabeni'ni güneyden sınırlayan, Bozdağ-Aydın dağları Horstu'nun üzerinde, Salihli güneyinde, sıyrıлма fayının yataya yakın konumunu gösteren foto. Horstun kuzey yamacında yüksek ve düşük açılarla kuzeye eğimli sıyrıлма fay düzlemi (Şekil 14 ve 15), horstun tepesinde yataya yakın güneye eğimli konum sergilemektedir (mor renkle gösterilen düzlem). Bu konumu kazanmasının, fay düzleminin geriye dönmesi (back tilting) ve eski düzlemi terk ederek yeni düzlem boyunca kaymasının sonucu olduğu belirtilmektedir (rolling hinge). Sıyrıлма fayı metamorfizma dereceleri çok farklı metamorfik kayaları ayırmaktadır. Tavan blokta fillat-fillonit, taban blokta ise ileri dereceli metamorfik kataklastik şist ve gnayslar görülmektedir.

Figure 16. Photo showing the near-horizontal position of the detachment fault, south of Salihli, on the Bozdağ-Aydın mountains horst, which borders the Alaşehir-Gediz Graben from the south. On the northern slope of the horst, the detachment fault plane dipping north with high and low angles (Figures 14 & 15) is inclined to the south, nearly horizontal, at the top of the horst (the plane shown in purple). This position is a result of the fault plane turning back (back tilting) and leaving the old plane and sliding along the new plane (rolling hinge). The detachment fault separates metamorphic rocks with very different degrees of metamorphism. Phyllate-phyllonite is observed in the hanging wall block, and advanced metamorphic cataclastic schists and gneisses are observed in the footwall block.



Şekil 17. Üst Miyosen yaşlı kırmızı karasal çökellerin dereceli olarak beyaz ince katmanlı gölsel çökelere dereceli geçtiğini gösteren saha fotoğrafı. Ön plandaki koyu renkli kayalar Menderes Masifi'nin metamorfik

kayalarıdır. Gölsel çökeller metamorfik masifin üzerine aşmalı olarak ilerlediği (onlap) görülmektedir. Kesikli çizgi Üst Miyosen-Alt Pliyosen çökellerinin üzerinde gelişmiş olan yatay aşınma düzlemini göstermektedir. Aşınma düzlemi fotonun arka planında da izlenmektedir.

Figure 17. Field photograph showing the gradual transition of Upper Miocene aged red continental deposits to white thin layered lacustrine deposits. The dark-colored rocks in the foreground are the metamorphic rocks of the Menderes Massif. It may be observed that the lacustrine deposits gradually advance (overlap) on the metamorphic massif. The dashed line shows the horizontal erosional plane developed over the Upper Miocene-Lower Pliocene deposits. The wear plane is also observed in the background of the photo.

KKD Uzanımlı Grabenler

KKD uzanımlı grabenlerin morfolojik belirtileri önemli derecede aşındırılarak yok edilmiştir. Özellikle Batı Anadolu'nun kuzey kesimleri ve Biga Yarımadası'nda Üst Miyosen yaşlı göl çökelleri bu horst ve grabenleri bir battaniye gibi örtmektedir. (MTA, 2002, 1/500.000 ölçekli İstanbul ve İzmir paftalarına bakınız). Bu gözlem Geç Miyosen başında horst-graben yapılarının oluşturduğu morfolojik engebenin önemli ölçüde giderildiklerini belli etmektedir. Ancak eş yaşlı volkan çıkış merkezleri bu genellemenin dışındadır. Çünkü graben kenarları boyunca dizili volkan konileri varlıklarını ince uzun sırtlar halinde korumuştur; örneğin, Ezine batısındaki volkan konileri güneyde Geyikli'ye kadar sahada bir çizgi boyunca izlenebilmektedir (Şekil 2).

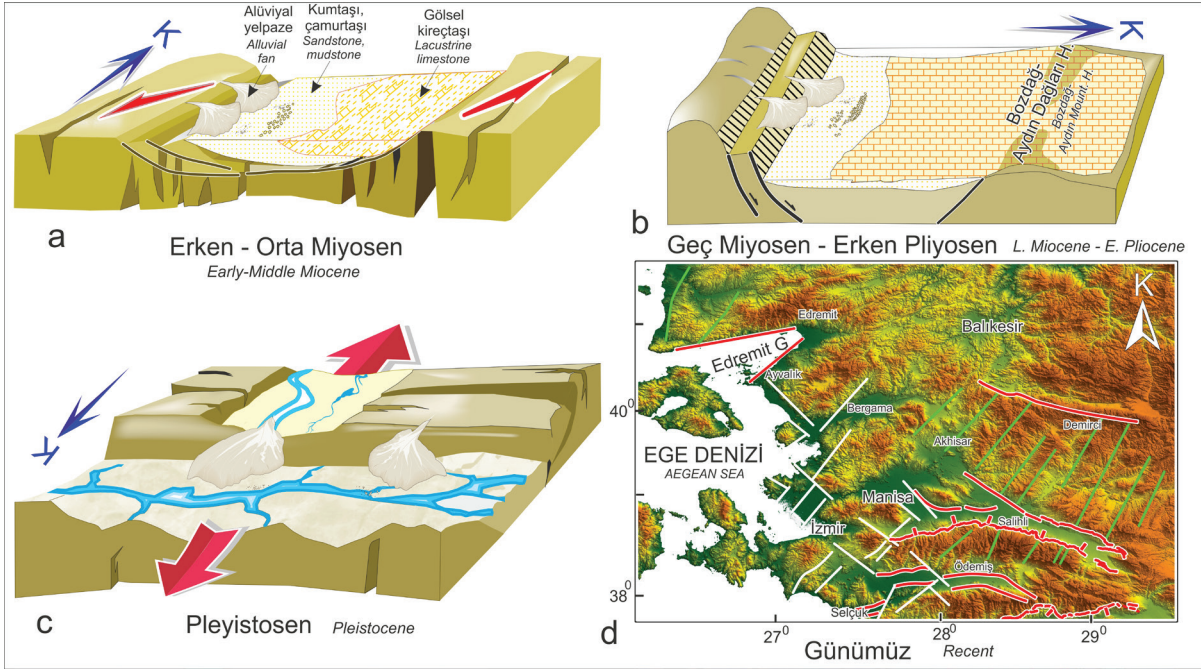
Geç Miyosen-Erken Pliyosen Yaşlı Bölgesel Aşınım Düzlemi

Batı Anadolu'nun en yaygın örtü kayaları Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşlı göl çökelleridir (Orta Birim). Bu istifin tabanında, Bozdağ-Aydın Dağları Horstu'nun yer aldığı orta alanlarda kırmızı karasal konglomeralar yaygındır (Şekil 15 ve 17). Horstun çevresinde kalın (>500) olan bu birim horsttan uzağa giderek incelmektedir. Bu gözlem, kırmızı konglomeraların yükselmekte olan masiften derlenen alüvyon yelpazeleri olarak geliştiğini işaret etmektedir (Şekil 18b). Konglomeralar yatay ve düşey olarak düşük enerji ortamında çökelmiş olan silttaşı, kiltası gibi ince kırıntılı çökel kayaları ve kireçtaşı aralanmasından oluşan göl çökelere hızlı geçişler sergilemektedir (Şekil 17). Gölsel istifin üst düzeylerinde ince katmanlı kireçtaşları egemendir (Şekil 17). Gölsel çökeller ise dereceli olarak lagün-bataklık çökellerine geçmektedir (Alçıçek vd., 2019).

Beyaz rengi ve ince katmanlı oluşuyla sahada kolaylıkla ayırt edilebilen (Şekil 17) Üst Miyosen-Alt Pliyosen gölsel istifin (Üst birim) yüzlekleri kuzeyde Marmara Denizi kıyılarından güneyde Menderes Masifi'nin güneyine kadar birbirleriyle az çok bağlantılı mostralarda izlenebilmektedir (Şekil 2 ve MTA 1/500 000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası İstanbul, İzmir ve Denizli paftaları). Bozdağ-Aydın Dağları domunu çepeçevre saran kaba kırıntılı istifin üzerine gelen ince katmanlı düzeylerin domun eteklerini transgresif olarak aştığı görülmektedir (onlap) (Şekil 17). Bu gözlem yükselen horstun bir süre sonra çökmeğe başladığının ya da göl düzeyinin yükseldiğinin göstergesi olarak yorumlanabilir. Düşük enerji ortamını temsil eden gölsel istif Kuvaterner başında kısmen aşındırılmıştır.

Batı Anadolu'nun her yöresinde, Üst Miyosen-Alt Pliyosen istifi de dahil tüm birimlerin üzerinde yatay konumlu bir aşınma düzlüğü izlenmektedir (Şekil 1, 4 ve 17) (Yılmaz 2017a). Bu düzlem, Geç Eosen'de başlayıp evreler halinde devam ettiği anlaşılan, aşınma dönemlerinin birbirine eklenerek geliştirdiği morfolojik bir bileşke aşınım düzeyidir (Yılmaz vd., 2001, 2017b).

Gölsel çökel istifin ve üzerlerindeki yatay aşınma düzleminin bölgesel yayılımları birlikte değerlendirildiğinde Geç Miyosen başında tüm Batı Anadolu'nun, Menderes Masifi'nin yaygınca mostra verdiği orta kesimleri dışında (Şekil 1), bağlantılı göllerle kaplı ve morfolojisi yataya yakın bir konumda olduğu söylenebilir (Şekil 18b). Kuvaterner'de D-B grabenlerin açılmasıyla hem Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşlı istif hem de aşınma düzlemi parçalanmıştır (Şekil 18). Günümüzde aşınma düzlüğünün kalıntıları özellikle gölsel çökel istifin korunduğu yörelerde ovalardan, horstların tepelerine kadar farklı kotlarda görülmektedir (Şekil 1).



Şekil 18. Batı Anadolu'nun Erken Miyosen'den günümüze morfotektonik değişimini gösteren taslak blok diyagramlar. **a.** Erken-Orta Miyosen, bu dönemde deformasyon elipsinin uzun eksenine dar açı yapan KKD doğrultulu doğrultu atımları egemen fayların sınırladığı ve çökelmeyi denetlediği bir dizi transtansiyonel havza gelişmiştir. **b.** Geç Miyosen-Erken Pliyosen: bu dönemde Batı Anadolu bağlantılı göllerle örtülmüştür. Bölgenin orta kesiminde Menderes Masifi sıyrılma fayları arasında horst olarak yükselmektedir. Horstun çevresinde alüvyon yelpazeleri gelişmiş ve horsttan aşındırılmasıyla kırmızı konglomeralar oluşmuştur. Horstun yakınında kaba kırıntılı karasal çökeller dereceli olarak gölsel çökeller geçmektedir. **c.** Kuvaterner'de Batı Anadolu'ya egemen D-B doğrultulu normal faylarla sınırlı grabenler K-G gerilmeye bağlı olarak gelişmiştir. Grabenleri ayıran horst bloklarında Erken-Orta Miyosen yaşlı KKD uzanımlı grabenleri asılı graben konumu kazanmıştır. **d.** Günümüzde Batı Anadolu'nun sahil kesimlerinde bölgenin günümüzdeki aktif sismotektonik yapıları olan KKB doğrultulu doğrultu atımlı faylar ile fay çiftleri gelişmiş ve önceki tüm morfotektonik unsurları kesip yer değiştirmelerine neden olmuştur.

Figure 18. Draft block diagrams showing the morphotectonic change of Western Anatolia from the Early Miocene to the present. (a) In the Early-Middle Miocene, a series of transtensional basins developed in this period, bounded by NNE strike-slip dominant faults forming narrow angles with the long axis of the deformation ellipse and controlling the deposition. (b) Late Miocene-Early Pliocene: In this period, it is covered with lakes connected to Western Anatolia. In the central part of the region, the Menderes Massif rises as a horst between detachment faults. Alluvial fans developed around the horst and red conglomerates were formed by erosion of the horst. Coarse clastic terrestrial sediments gradually overtake lacustrine deposits near the horst. (c) Grabens bounded by E-W trending normal faults dominating Western Anatolia in the Quaternary developed due to N-S stretching. In the horst blocks separating the grabens, the Early-Middle Miocene aged NNE extending grabens have gained the position of a hanging graben. (d) NNW strike-slip faults and fault pairs, which are the active seismotectonic structures of the region today, have developed in the coastal areas of Western Anatolia and have cut and replaced all previous morphotectonic elements.

Geç Miyosen - Erken Pliyosen paleocoğrafyasını, D-B grabenlerin gelişmesinden önceki dönem için oluşturduğumuzda, yataya yakın aşınma düzlüğünün Bozdağ-Aydın Dağları yöresindeki bir yükselime doğru düşük açılı

tırmadığı görülmektedir. Düşük açılı yamaçlar, domun o dönemde bugünkü düzeyine henüz ulaşmadığını, küçük bir kabartı halinde olduğunu belli etmektedir.

D-B Uzanımlı Horst ve Grabenler

D-B uzanımlı horst ve grabenler, K-G gerime rejiminin Batı Anadolu'daki en belirgin morfolojik öğelerini temsil ederler (Şekil 1, 4, 8 ve 9) (Grabenlerin morfolojisi ile ilgili bilgi için; Erinç, 1954; Erol, 1982; Bircan vd., 1983; Patton, 1992, Jeolojisiyle ilgili bilgi için; Aksu vd., 1990; Patton, 1992; Zanchi vd., 1993., Cohen vd., 1995; Emre, 1996; Koçyiğit vd., 1999; Yılmaz vd., 2000; Purvis ve Robertson, 2005; Emre ve Sözbilir, 2007; Seyitoğlu ve Scott, 1992, 1996; Hakyemez vd., 1999; Sözbilir, 2001; Gürer, vd., 2009, 2013; Çiftçi ve Bozkurt, 2009a, b ve 2010; Kazancı vd., 2011; Sert ve Çemen, 2014; Sangu vd., 2020; Yerli vd., 2021'e başvurulabilir). Normal fayların sahada tanınması ve izlenmesinde morfolojik öğeler önemli ipuçları sağlamaktadır; örneğin topografyadaki ani basamaklar (fay basamakları), eğimi terslenen (back-tilted) yamaçlar (Şekil 4 ve 15) ve ana vadilere paralel yan vadiler bu türden morfoloji unsurlarının arasında sayılabilir (Şekil 4 ve 9). Horstu çepeçevre saran normal faylarda, fay düzleminin düşey eksen etrafında dalgalanması sonucu kaplumbağa sırtı ondüleli (turtleback) (Şekil 4) düzlemler oluşmuştur (Seyitoğlu vd., 2014). D-B uzanan grabenlerin dolguları Kuvaterner yaşlıdır (Ünay vd., 1995; Ünay ve Göktaş, 1999; Yılmaz vd., 2000; Sarıca, 2000; Beccaletto ve Steiner, 2005)

D-B uzanan grabenleri oluşturan eğim atımlı faylar KKD-GGB doğrultulu doğrultu atımlı fayları keserler (Şekil 1, 2, 4 ve 18) (Zanchi vd., 1993; Yılmaz vd., 2000; Sözbilir, 2001; Kazancı vd., 2011; Koçyiğit, 2015). Erken-Orta Miyosen yaşlı grabenler D-B grabenleri sınırlayan horstların üzerinde asılı graben olarak görülmektedir (Şekil 1 ve 18c). Yılmaz vd., (2000), asılı grabenlerin konumunu, sınır faylarını ve iç yapısını, D-B grabenlerin her iki tarafındaki horstlardan örneklerle ayrıntılı olarak tanıtmıştır. Grabenleri sınırlayan eğim atımlı fay düzlemleri yüksek açılıdır. Bunlar sıyrılmaya fayını kesip basamaklar halinde düşürmüştür (Şekil 4).

KKD ve KKB Doğrultulu Doğrultu Atımlı Fay Çiftlerinin Geliştirdiği Grabenler

Bu yapılar bölgenin en genç ve belirgin morfolojik unsurlarıdır. Özellikle sahil ve sahile yakın bölgelerin morfolojik karakterini bu grabenler oluşturmaktadır (Şekil 1, 2, 8 ve 9). Fay çiftlerinin birbirlerine kavuştuğu yörelerde genç, verev grabenler oluşmuştur (Şekil 1, 2 ve 18d). Fay çiftleriyle sınırlı horstlar ise fayların doğrultu atımları ile denize doğru kaçmaktadır (Şekil 1 ve 2) (Altunkaynak ve Yılmaz, 1989; Yılmaz vd., 2000; Gürer vd., 2001; Sümer vd., 2013; Yılmaz 2017b). Bu bölgelerin akaçlama sistemini bu genç horst ve grabenler denetlemektedir (Yılmaz 2017a).

TARTIŞMA

Batı Anadolu Grabenlerinin Oluşum Nedeni ve Zamanı

Gerilme rejimi ve onun tektonik ürünleri Batı Anadolu jeolojisini şekillendiren en önemli etken olmuştur. Bozdağ- Aydın Dağları Horstu'nun her iki kanadını sınırlayan sıyrılmaya fayları (Şekil 1, 4) (detachment fault, major break away fault; Verge, 1993; Hetzel vd., 1995; Seyitoğlu ve Scott, 1992, 1996; Ring vd., 1999; Bozkurt, 2000; Bozkurt ve Satır, 2000; Catlos ve Çemen, 2005) ile Batı Anadolu'nun en egemen morfolojik öğeleri olan D-B uzanımlı grabenler K-G gerilme rejiminin ürünleridir. Bu morfolojik unsurları geliştiren gerilmenin nedeni, yönü (Bozkurt ve Satır, 2000; Gessner vd., 2001) ve zamanı (Gessner vd., 2001; Bozkurt, 2004; Bozkurt vd., 2011 ve ilgili kaynaklar) 1900'lerin başından beri pek çok araştırmaya konu olmuştur (Taymaz vd., 2007 ve ilgili kaynaklar). Yayınların incelenmesinden basite indirgenmiş bir gelişme modelinin sıkça tekrarlandığı görülmektedir. Buna göre bölgesel gerilme rejiminin ana ürünleri olan sıyrılmaya fayları litosferi keserek derinden ileri derece (YS-YB) metamorfik kayaları sığ derinliklere ve yüzeye

ulaştırmış ve aralarında Menderes Masifi'ni bir çekirdek kompleks olarak yükseltmiştir (Verge, 1993; Bozkurt ve Park, 1994; Emre ve Sözbilir, 1997; Hetzel vd., 1998; van Hinsbergen 2010; Altunkaynak vd., 2021). Gerilme rejimi ve sıyırılma faylarıyla ilgili iki önemli konu üzerinde yeterince durulmamıştır;

- I;** Sıyırılma fayı tek bir fay mıdır? Batı Anadolu'nun birçok yerinde görülen yüzlekler aynı fayın uzantıları mıdır?
- II;** Gerilme rejimi başlangıcından günümüze sürekli midir?

Bu iki sorun aslında birbirleriyle bağlantılıdır. Birinci sorun üzerinde henüz yeterince durulmadığı için konunun değerlendirilebileceği kadar yeterli veri henüz birikebilmiş değildir. Bu nedenle eldeki veriler özetlenecek ancak ikinci sorun ayrıntılı olarak tartışılacaktır.

I- Batı Anadolu'nun birçok yerinde mostraları görülen sıyırılma fayları çoğunlukla aynı fayın uzantıları (Etsel vd., 2020), parçalanmış (Brun ve Scoutis, 2019), gençleşmiş (Gessner vd., 2001; Burchfiel vd., 2008) ya da farklı fayların (Yılmaz, 2017a; Altunkaynak vd., 2021) yüzlekleri olarak değerlendirilmiştir. Birbirlerinden farklı yaş ve konumda sıyırılma faylarının varlığı Batı Anadolu'dan (Bozkurt ve Satır, 2000; Gessner vd., 2001; Burchfiel vd., 2008; Catlos ve Çemen, 2005; Catlos vd., 2010; Etsel vd., 2020; Kamacı ve Altunkaynak, 2019; Altunkaynak vd., 2021 ve ilgili kaynaklar) ve Ege Adaları'ndan bilinmektedir (Linnros vd., 2019).

Menderes Masifi'nin güney alanlarında fayın tavan blokunun hareket yönünün kuzeye mi güneye mi olduğu tartışılmış (Hetzel vd., 1995; Bozkurt 2000; Bozkurt ve Sözbilir, 2004; Gessner vd., 2001), bazı yayınlarda ise gerçekten tek varsayılan fayın farklı yörelerdeki farklı yüzeylenme yaşlarının olası nedenleri üzerinde durulmuştur. Dünya'da her iki görüşün de örnekleri vardır. Örneğin Kuzey Amerika

batısında aynı sıyırılma fayının onlarca kilometre yataya yakın yer yer izlenebildiği belirtilmektedir (Davis vd., 1980; Miller ve John 1988; Lister and Davis 1989). Bunun tersine Ege Adaları'nda ve Batı Anadolu'da birçok küçük bağımsız sıyırılma fayının varlığından örnekler gösterilmektedir (Linnros vd., 2019; Altunkaynak vd., 2021).

Bozdağ Horst'unun tepesinde sıyırılma fayı yataya yakın konumdadır (Şekil 16). Bu gözleme dayanarak sıyırılma fayının horstun hem kuzey hem de güney kanadına uzandığı, kanatlarda görülen sıyırılma fay yüzleklerinin aynı düzlemin uzantıları olduğu değerlendirilmiştir (Gessner vd., 2001). Sıyırılma fay düzlemi açısının dalgalanarak sık konum değiştirmesi modelinin de uygulanmasına rağmen (bivergent rolling hinge; Gessner vd., 2001; Seyitoğlu vd., 2002; Türesin ve Seyitoğlu, 2021) horstun yamaçlarında yüksek açılı olan sıyırılma fayının, farklı iki fayı mı yoksa aynı fayı mı temsil ettiği ayrıntılı saha çalışmasıyla denetlenmeksizin sık sık vurgulanmıştır. Sıyırılma fay düzleminden derlenen yaşların yönlerine göre sistemli değişip değişmediği, fay düzlemi yapılarının yer ve zamana göre değişiklik gösterip göstermediği konuları henüz yeterince araştırılmamıştır.

II- Batı Anadolu'da gerilmeyi konu eden önceki yayınlarda, bazı araştırmacılar, K-G gerilmenin Oligosen-Erken Miyosen'den günümüze kadar kesintisiz olarak geliştiğini, grabenlerin de bu süreçte sürekli olarak dolduğunu belirtmiştir (Seyitoğlu ve Scott, 1992, 1996; Seyitoğlu vd., 2004; Cohen vd., 1995; Ring vd., 1999; Catlos vd., 2010; Baran ve Dilek, 2011). Bu görüşe göre başlangıç evresinde sığ ve yayvan olan graben(ler) gerilmenin ileri aşamasında yerini dar ve derin D-B uzanımlı yerel çanaklara bırakmıştır (Şekil 18). Daha sonraki yayınlarda ise K-G gerilmenin sürekli olmadığı, evreler halinde etkin olduğu görüşü daha çok destek bulmuştur (Koçyiğit vd., 1999; Yılmaz vd., 2000; Gessner vd., 2001; Bozkurt ve Park, 2004; Bozkurt ve Sözbilir, 2004; Koçyiğit, 2005; Beccaletto ve Steiner, 2005; Bozkurt ve Mittwede, 2005; Rojay

vd. 2005; Kokkolas vd., 2006; Ring vd., 2007; Van Hinsbergen ve Schmid, 2012; Burchfiel vd., 2008 ve 2018; Türesin ve Seyitoğlu, 2021). Bazı araştırmacılara göre gerilme rejimi kesintilerle sürmüş, heterojen bir gelişim göstermiş, gerilme dönemlerini sakin süreçler izlemiş ya da bölge bu kesiklik dönemlerinde sıkışmaya uğramıştır (Koçyiğit vd., 1999, 2000; Yılmaz vd., 2000; Bozkurt, 2001; Bozkurt ve Park, 2004; Bozkurt ve Sözbilir, 2004; Koçyiğit, 2005; Beccalotto ve Steiner, 2005; Bozkurt ve Rojay, 2005; Kokkolas vd., 2006; Gürer vd., 2013; Yılmaz, 2017a ve b; Doğan, 2020; Sümer vd., 2020; Eyübagil vd., 2021; Gürer, 2023). Heterojen gerilme rejiminin sonucunda parçalı bir çekirdek kompleks gelişmiştir (Burchfiel vd., 2008; Yılmaz, 2017b; Wallace vd., 2008; Altunkaynak vd., 2021). Grabenin sürekli değil de evreler (puls) halinde gelişmesine iyi bir örnek Küçük Menderes Grabeni'dir. Bölgenin ayrıntılı incelenmesi sonucunda grabenin üç evrede geliştiği ortaya konmuştur (Emre ve Sözbilir, 2007; Rojay vd., 2005). İlk evrede verev atımlı faylarla sınırlı fay önü çökelleri gelişmiştir. Bu çökeller havzanın kuzeydoğusunda dar bir şerit boyunca mostra vermektedir. Bu çökelmeyi ortaç (nötr) bir volkanizma izlemiştir (Bozkurt vd., 2008). Bölgenin jeolojik evriminde bu volkanizma, Batı Anadolu'da Erken-Orta Miyosen döneminde yaygınca geliştiği bilinen volkanizmaya karşılık gelmektedir. Daha sonra bölge K-G sıkışma tektoniğinden etkilenmiş ve bu süreçte temeli oluşturan metamorfik kayalar çökel istif üzerine ters faylarla itilmiştir (Sözbilir, 2002; Rojay vd., 2005; Emre ve Sözbilir, 2007). Bunu izleyen evrede Bozdağ-Aydın Dağları Horstu hızla yükselmiş ve hemen ardından gravite bileşeninin artmasına bağlı olarak çökmüş, Geç Kuvaterner'de normal faylarla sınırlı günümüzdeki D-B uzanımlı Küçük Menderes Grabeni oluşmuştur (Şekil 8) (Emre ve Sözbilir, 2007).

Batı Anadolu'da grabenlerin Oligosen'den beri sürekli geliştiği görüşü, bazı sıyrılma fay

düzlemlerinden Oligosen yaşı elde edilmesine dayandırılmaktadır (Okay ve Satır, 2000). Ancak gerilmenin bu dönemde yüzeyde havza oluşturduğunun verisi yoktur. Tersine Geç Eosen-Oligosen'de Ege denizi, Batı Anadolu ve Balkanlar'ın birlikte, üzerinde çökmenin gelişmediği yüksek bir kara ortamı halinde olduğu bilinmektedir (Yılmaz vd., 2000; Burchfiel ve Nakov 2015; Yılmaz, 2017b). Bu dönemde Batı Anadolu hem güneyinde Toroslar ve hem de kuzeyde Istranca Masifi arasındaki alanda K-G sıkışma rejiminden etkilenmiştir (Yılmaz vd., 2000). Güneyde, Menderes Masifi'nin itilmeler sonucu dilimli bir yapı kazandığının, masifin örtü birimlerinin Toroslar üzerinde naplar halinde ilerlediğinin verileri vardır (De Gracianski 1972; Collins ve Robertson, 1988; Rimmerle vd., 2005; Yılmaz, 2017b ve ilgili kaynaklar). Sıkışmaya bağlı oluşan yükselim Oligosen sonunda çökmeğe başlamış ve sıyrılma faylarıyla ileri dereceli metamorfik kayalar Geç Oligosen (?) veya Erken Miyosen'de yüzeylenmiştir. Gediz Grabeni kuzeyindeki bölgede Alt Miyosen çökelleri sıyrılma fay düzleminin üzerinde gelişmiştir (Şekil 18a) (Purvis ve Robertson, 2005; Öner ve Dilek, 2011 ve 2012; Sözbilir vd., 2011; Ersoy vd., 2010; Karaoğlu ve Helvacı, 2012; Yılmaz, 2017b).

Batı Anadolu'da çökel dolgusu Oligosen'den başlayan ya da Erken Miyosen'den günümüze süreklilik gösteren bir graben tanımlanmamıştır. En geniş ve en gelişmiş iki D-B uzanımlı graben olan Büyük Menderes ve Gediz Grabenleri'nin dolguları (Şekil 1 ve 2) graben omuzlarında yükselen fay bloklarında yüzlerce kilometre yüzlek vermektedir (Şekil 2). Tüm bu alanlarda temel metamorfik kayaların üzerinde Kuvaterner yaşlı akarsu çökelleri mostra vermektedir (Ünay vd., 1995; Hakyemez vd., 1999, 2013; Yılmaz vd., 2000; Sarıca 2000). Graben sınır fayları uzağındaki fay bloklarında ise Üst Miyosen yaşlı kırmızı karasal konglomeralar Kuvaterner çökellerinin altından yaygınca mostra vermektedir (MTA 1/500 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası

İzmir ve Denizli paftalarına bakınız). Bu iki litostratigrafik grup birbirlerinden yer yer açılabilir diskordanslarla ayrılmaktadır (Yılmaz vd., 2000). Bu veriler aşağıdaki gibi yorumlanabilir; Geç Miyosen'de Bozdağ-Aydın Dağları Horstu'nun yükselmesine neden olan gerilme, çevrede yayvan çökme alanları geliştirmiştir (Şekil 18b). Bunu sakın bir dönem izlemiş ve Batı Anadolu bağlantılı sığ göllerle kaplanmıştır (Şekil 18b). Sakin döneminin ardından Kuvaterner'de yeni ve hızlı bir K-G gerilme dönemi başlamış, bu süreçte yerel ve dar graben havzaları gelişmiştir. D-B uzanımlı genç grabenler önceki tüm morfotektonik unsurları kesip bölgesel sürekliliklerini sonlandırmıştır (Şekil 18c). Erken Miyosen yaşlı faylar ve bunların sınırlandırdığı graben depoları bu dönemde D-B uzanımlı horstlarda yükselmiş ya da grabenlerin içinde hapsolmüştür (Şekil 1, 2 ve 18c). Bu nedenle Alt Miyosen yaşlı KKD uzanımlı graben çökelleri günümüzde D-B grabenlerin çevrelerinde, seyrek bir iki yerel ve küçük mostrada görülürler (Şekil 2 ve 3) (Yılmaz vd., 2000), grabenlerin uzanımı boyunca graben omuzlarında ve dolgularında sürekli mostraları yoktur.

Batı Anadolu'da dolgusu Eosen-Oligosen dönemine inen, az çok D-B uzanımlı tek havza bölgenin güneyinde yer alan Kale-Tavas Havzası'dır (Şekil 2). Veriler, bu havzanın K-G gerilme ile değil Menderes Masifi ve örtü naplarının güney yönünde ilerlemesi sırasında, napların sırtında gelişmiş kaplumbağa sırtı havza (piggy back basin) olduğu görüşünü desteklemektedir (Yılmaz vd., 2001; Gürer ve Yılmaz, 2002; Gürer vd., 2013).

Batı Anadolu'daki Erken-Orta Miyosen yaşlı grabenlerin hemen tümü yaklaşık KKD doğrultulu transtansiyonal (açılma bileşenli doğrultu atımlı) fayların sınırlandırdığı (Zanchi vd., 1993; Yılmaz vd., 2000; Bayrak vd., 2021) ve çökmeyi denetlediği grabenlerdir (Şekil 5 ve 18a) (Yılmaz vd., 2000; Ersoy vd., 2010; Sözbilir vd., 2011). Bu faylar açılma çatlakları olarak da davranmış, magma yükselmesini ve volkanik, hipabisal ve plutonik

çıkış merkezlerinin konumunu ve dizilimini denetlemiştir (Şekil 5) (Borsi vd., 1972; Yılmaz vd., 2000; Genç vd., 2001; Kaymakçı vd., 2007; Ersoy vd., 2011; Rossetti vd., 2017; Yılmaz 2017b; Ünal ve Altunkaynak, 2018 ve 2019; Ünal vd., 2019). Az çok aynı süreçte gelişmiş olan granit magmalarının katılma yaşları da beklendiği gibi Erken Miyosen'de ya da hemen öncesinde, örg., Geç Oligosen'de yoğunlaşmaktadır (Yılmaz 2017b; Ünal ve Altunkaynak, 2019; Altunkaynak vd., 2021). Felsik magmaların kabukta sığ derinliklere ulaşmasında, örneğin, kaldera tür granitlerin oluşumunda da bu fayların denetleyici rol oynadığı bilinmektedir (bakınız. Şekil 6 ve 14; Altunkaynak ve Yılmaz, 1998; Karacık ve Yılmaz, 1998; Yılmaz 2017b; Ünal ve Altunkaynak, 2018 ve 2019; Ünal vd., 2019; Altunkaynak vd., 2021).

Alt-Orta Miyosen yaşlı KKD doğrultulu grabenler Batı Anadolu'nun kuzeyinden güneyine her alanında ve özellikle Gediz Grabeni'nin kuzeyinde yaygındır (Şekil 2, Gördes, Demirci, Selendi vd., grabenler). Bölgenin D-B doğrultulu egemen grabenleri ile bunlara dik K-G doğrultulu grabenlerinin aynı gerilme rejimi içinde geliştikleri görüşü önceki yayınlarda sıkça vurgulanmıştır. Buna göre, K-G uzanan grabenler, Bozdağ-Aydın Dağları Horst'unu sınırlayan sıyrıma faylarının önünde gelişmiş çapraz grabenlerdir (Şengör, 1987; Seyitoğlu, 1997; Bozkurt, 2003; Ocakoğlu, 2020). Ancak aşağıda sıralanan veriler grabenlerden bazılarının bu görüşe uymadığını göstermektedir;

1-Kuzey-güney uzanan grabenler her yerde sıyrıma faylarının önünde ya da yakınında yer almazlar (Şekil 2 ve 18) (Yılmaz, 2017b; Alçıçek vd., 2019 ve ilgili kaynaklar). Sıyrıma faylarının çok uzağında olan örneğin İzmir-Ankara Kenet Kuşağı'ndan da daha kuzeyde yer alanların (Şekil 2) Menderes Masifi'yle bağlantıları yoktur. Sakarya Kıtası temeli üzerinde açılan KKB doğrultulu bu grabenlerin (Şekil 2) (Yılmaz vd., 2000; Genç ve Yılmaz, 2000; Genç vd., 2001; Karacık ve Yılmaz, 1998; Yılmaz ve Karacık, 2001)

kökenlerini Bozdağ'da ve Simav'da mostra veren sıyrılma faylarıyla ilişkilendirmek olanaksızdır. **2-** KKD uzanımlı grabenlerin bazıları Bozdağ-Aydın Dağları Horstu'nu sınırlayan sıyrılma faylarının hem tavan hem de tavan blokunda yer almaktadır (Yılmaz vd., 2000; Yılmaz, 2017b). Bir diğer deyişle bazı grabenler sıyrılma fayının önünde veya üstünde yer almamaktadır (Alçiçek vd., 2019). **3-**Gediz grabeni kuzeyindeki KKD uzanımlı grabenlerin sıyrılma fayını parçalayarak geliştikleri belirtilmiştir (Sözbilir vd., 2011; Karaoğlu ve Helvacı, 2012; Ersoy ve Helvacı, 2016). Bu veriye göre sıyrılma fayının oluşumu ve yüzeye ulaşması bu grabenlerin açılmasından öncedir. Buna örnek olarak Bozdağ'ın daha kuzeyinden Simav ve daha güneyinden Çine dolayındaki sıyrılma fayları gösterilebilir (Verge, 1993; Işık ve Tekeli, 2001; Ring ve Collins, 2005; Erkül, 2010; Bozkurt vd., 2011). Bu bölgelerde KKD uzanımlı grabenler sıyrılma fayları üzerinde gelişmiştir (supradetachment). Özellikle Simav Grabeni kuzeyindeki bölgelerde KKD uzanımlı graben dolgularının tabanını masifin gnays ve sistleri oluşturmaktadır.

Erken-Orta Miyosen yaşlı transtansiyonal fayların dağılım örneği, Sözbilir vd., (2011)'in de vurguladığı gibi deformasyon elipsi uzun ekseninin bu dönemde az çok KKD-GGB uzandığını ve bölgenin sinistral makaslamaya (basit makaslama) uğradığını ve açılmaların makaslamaya paralel geliştiğini göstermektedir. Gerçekten de havza dolguları transtansiyonal fayların denetiminde geliştiklerini göstermektedir (Şekil 6) (Zanchi vd., 1993; Yılmaz vd., 2000; Sözbilir vd., 2011).

Bozdağ-Aydın Dağları Horstu'nun K ve G kanatlarını sınırlayan ve geniş alanlarda yüzlekler veren sıyrılma faylarını örten en yaşlı çökeller Üst Miyosen yaşlı (İztan ve Yazman, 1990; Ediger vd., 1996; Emre vd., 1996) kırmızı karasal çakıltaşlarıdır (Şekil 14, 15 ve 17). Horstu sınırlayan sıyrılma fayından, fay kinematiğine uygun yaş verileri gerçekten de bu çökel yaşlarıyla uyumlu olarak çoğunlukla 8-5 my aralığında

kümelenmektedir (Hetzl vd., 1995 ve 1998; Lips vd., 2001; Gessner vd., 2001; Sözbilir vd., 2011; Wölfler vd., 2017; Etzel vd., 2020) Ayrıca, K-G gerilmenin günümüzdeki ölçülen hızları, grabenlerin açılma miktarları vb. gibi dolaylı kinematik verilerin analizlerine dayandırılarak yapılan hesaplamalar da D-B uzanımlı grabenlerin açılmaya başlama zamanını Geç Miyosen'den daha geriye götürmemektedir (McKenzie, 1972, 1978; Jackson ve McKenzie, 1988a ve b; Patton, 1992; Westaway vd., 2005).

Yükselen horsttan derlenen kaba kırıntılılar horsttan uzağa her yönde sığ gösel çökellere geçmektedir (Şekil 17). Göl çökelleri Batı Anadolu'nun batı bölgelerinde, kuzeyde Çanakkale-Gülpınar dolayında (Karacık ve Yılmaz, 1998; Yılmaz ve Karacık, 2001; Gürer vd., 2016 ve 2021), orta bölgelerde Aliğa-Foça-Çeşme çevresinde (Genç ve Yılmaz, 2000., Genç vd., 2001), güneyde ise Babadağ eteklerinde denizel çökellerle geçişlidir (Yılmaz vd., 1999; Yılmaz vd., 2000; Yılmaz 2017a). Bu veriler Geç Oligosen'de yükselen Batı Anadolu-Ege karasının Geç Miyosen'in başında ya da hemen öncesinde çöktüğünü, bölgenin, deniz düzeyinden çok da yüksekte olmayan, az çok düz ve düzgün bir topoğrafya ile temsil edildiğini göstermektedir. Bu genel panorama dışındaki tek önemli kabartı çok da yüksek olmadığı anlaşılan Bozdağ-Aydın Dağları Horstu'nun ilk yükselimidir (Şekil 18b). Bu düşüncüyü destekleyen veriler şunlardır: A; Üst Miyosen yaşlı kırmızı karasal çökeller ve onlarla geçişli gösel ince taneli kırıntılı çökeller ve kireçtaşları Kuvaterner'de açılan D-B uzanımlı Gediz ve Büyük Menderes Grabenleri'nin fayları tarafından kesilmiş ve horstların üzerinde asılı kalmıştır (Şekil 1, 2 ve 18). Kırmızı karasal konglomeralar sıyrılma fayına yakın yüksek açıyla (<45°) fay düzlemine doğru eğimler kazanmıştır (back tilting) (Şekil 15) (Yılmaz vd., 2000). Düşük enerji ortamını temsil eden bu göl çökellerinin horst eksenine olan yakınlıkları dikkate alındığında (Şekil 17), Bozdağ-Aydın Dağları Horstu'nun Geç

Miyosen'de göllerle çevrili küçük bir yükselim olduğunu belli etmektedir (Şekil 18c). Çünkü kırıntılı çökeller tane boylarının küçülmesiyle kısa mesafede gölsel kireçtaşlarına yanal geçişler göstermektedir.

Aşağıda sıralanan morfolojik veriler, Bozdağ-Aydın Dağları Horstu'nun günümüzdeki yükseltisini Kuvaterner'de kazandığı görüşünü (Akgün ve Akyol 1999; Bozcu 2010; Buscher vd., 2013; Etzel vd., 2020) desteklemektedir; **A-** Horst yamaçlarında yüzeylenen sıyrılma fay düzlemleri üzerinde akaçlama ağı henüz gelişiminin erken evresindedir (Şekil 4 ve 14). Bu veri fay düzleminin örtüsünün çok yakın bir dönemde sıyrıldığının kanıtıdır. **B-** Fayı biçen vadiler enine kesit profili şampanya bardağı benzeri asılı vadi örnekleri sergilemektedir. **C-** Faya dik gelişmiş vadiler alt kotlarda kanyonlar oluştururken, üst kotlarda yayvan profilli vadilere (şampanya bardağı profili) dönüşmektedir (Şekil 4). Bu veri, başyukarı akarsu aşındırmasının (headward erosion) henüz platoya ulaşmadığını, yükselme hızının aşınma hızından yüksek olduğunu belli etmektedir. **D-** Eriştikleri 2000 m ye ulaşan yüksekliklere rağmen horstu üzerleyen platodaki akarsu yatakları hala yayvan, sığ ve mendereslidir (Şekil 4). Bu veri yükseltinin sağladığı enerjiyle akarsuların derine kazma aşamasına henüz geçemediklerini, yükselmenin hızlı ve yakın bir geçmişte gerçekleştiğini işaret etmektedir. **E-** Plato üzerindeki akaçlama sistemi ile ana vadi arasında kestirme bağlantıların oluşması için yeterli zamanın henüz geçmediği anlaşılmaktadır. Sıyrılma fayının dikleşmesinin de aynı sürece rastlaması (Öner ve Dilek, 2012; Sümer vd., 2020), D-B grabenlerin açılmasına bağlı olarak Bozdağ-Aydın Dağları Horstu'nun hızla yükseldiğini işaret etmektedir. Aşağıda sıralanan veriler, K-G gerilme rejiminin Geç Miyosen'den günümüze kadar bile sürekli olmadığını düşündürmektedir; **A-** Pek çok yörede, Kuvaterner yaşlı grabenlerini içinde ve çevrelerinde Üst Miyosen-Pliyosen çökeli yüzlekleri yoktur (Şekil 2 ve MTA 1/500 000 ölçekli Türkiye Jeoloji haritası

Denizli ve İzmir paftalarına bakınız). Bu veri bu çökellerin bölgesel ölçekte aşındırıldıklarını işaret etmektedir. Gerçekten de Bozdağ-Aydın Dağları Horst'undan uzakta Üst Miyosen-Pliyosen gölsel çökelleri de dahil tüm Neojen istifinin ve temel kayalarının üzerinde bölgesel bir aşınım düzlemi gelişmiştir (Şekil 17). Bozdağ-Aydın Dağları Horstu'nun hızla yükselmesi (Seyitoğlu vd., 2002; Öner ve Dilek, 2012; Nilius vd., 2019; Ocaoğlu, 2020; Maddy vd., 2020; Özpolat vd., 2020; Türesin ve Seyitoğlu 2021) ve grabenlerin bugünkü dar ve derin oluklar halinde gelişmeleri bu aşınma dönemini izlemiştir. Göl çökellerinin ve aşınım düzleminin parçaları günümüzde horstların üzerinde farklı yüksekliklerde korunabilmiştir (Şekil 1 ve 2).

Kuzeye ve güneye eğimli sıyrılma fayları boyunca hareketin ve aşınmanın aynı hızla gerçekleşmediğini düşündüren bazı veriler de vardır. Etzel (2020)'e göre kozmojenik ¹⁰Be erozyon oranı Menderes Çekirdek Kompleksi'ni (Bozdağ-Aydın Dağları Horstu) kuzey ve güneyden sınırlayan sıyrılma faylarında farklı değerler vermektedir. Kuzey kanat da aşınma değerleri düşük (40-110 mm/by) olup daha dik olan güney kanatta 190-260 arasında değişmekte, 300'ün üzerine çıkmaktadır. Kuzey kanat boyunca sıyrılma 0,6-2 km/My⁻¹ olarak ölçülmüştür (Buscher vd., 2013). Ancak konuya tüm Batı Anadolu coğrafyası ölçeğinde bakıldığında dikkate alınması gerekli bir başka gözlem ise şudur; Bozdağ-Aydın Dağları Horstu'nun kuzeyindeki bölgelerde masifin amfibolit şist ve gnayslarla temsil edilen ileri dereceli metamorfik kayaları, sıyrılma fayının 10 km'den kalın kıta kabuğunu tektonik olarak aşındırması sonucunda (Bozkurt ve Oberhansli, 2001) Erken Miyosen'den önce yüzeylenmiştir. Güney alanlarda ise aynı dönemde Likya naplarının tektonik aşındırılmaları bile tümüyle tamamlanamamış, sadece masifin Mesozoyik yaşlı zayıf dereceli metamorfik örtü birimleri napların altından yüzeye ulaşabilmiştir.

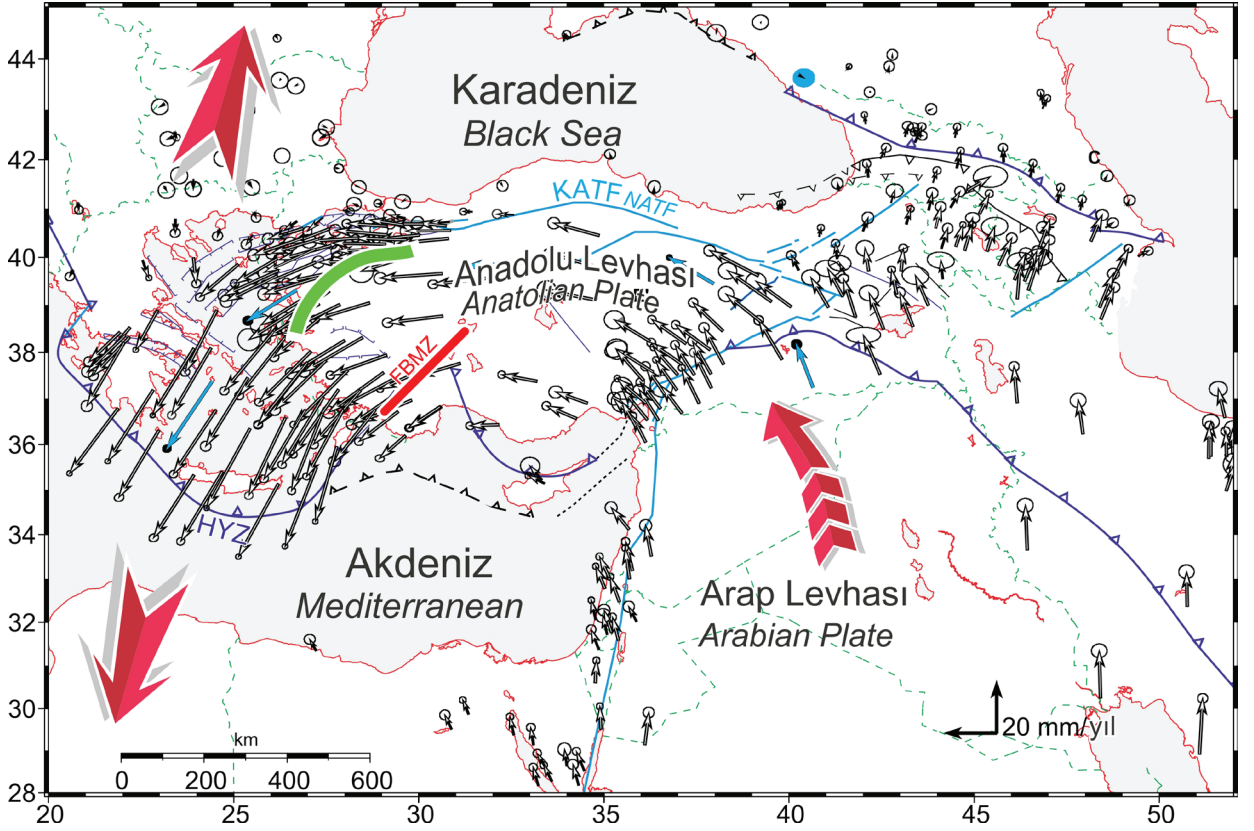
Batı Anadolu'da Grabenlerin Gelişme Nedeni ve Zamanı Üzerine Yeni Bir Model

Batı Anadolu günümüzde iki bağımsız kuvvetin etkisi altında biçim değişimine zorlanmaktadır (Şekil 19);

1- Anadolu levhasının, Ege de saatin tersi yönünde dönerek, dalıp batan Doğu Akdeniz Levhası'nın üzerine ilerlemesi.

2- Anadolu Levhası'nın sınırlarından çok daha geniş alanlarda etkili olan, K-G gerilme rejiminin Batı Anadolu'ya olan etkileri.

Batı Anadolu'yu biçim değişimine zorlayan bu iki farklı kuvvetin başlama ve gelişme zamanları, Batı Anadolu grabenlerinin gelişmeye başlama zamanları ve süreleri ile yakından ilgili olduğundan aşağıda öncelikli bu iki konu ele alınarak tartışılacaktır.



Şekil 19. Avrasya'ya göre GPS vektör yön ve hızlarını gösteren harita (Reilenger vd., 2006'dan alınmıştır). Yeşil bant İzmir-Ankara kenet kuşağının yaklaşık yerini göstermektedir. KATF: Kuzey Anadolu Transform Fayı, FBMZ; Fethiye-Burdur Makaslama Zonu.

Figure 19. Map showing GPS vector directions and velocities relative to Eurasia (taken from Reilenger et al. 2006). The green band shows the approximate location of the İzmir-Ankara Suture Belt. NATF; North Anatolian Transform Fault, FBMZ; (FBSZ); Fethiye-Burdur Shear Zone.

Diğer kinematik verilerle de (Tiryakioğlu vd., 2019; Poyraz ve Hastaoğlu, 2020; Eyübağil vd., 2021) desteklenen GPS vektörleri, Anadolu levhasının batıya kaçmakta olduğunu ve batıda saatin tersi yönünde dönerek dalan levhanın üzerine ilerlediğini göstermektedir (Şekil 19) (Kahle vd., 1999; McClusky vd., 2000, 2003; Reilenger vd., 2006). Anadolu levhasının batıya kaçışına Arap Levhası'nın Anadolu Levhası'yla çarpışmasının neden olduğu bilinmektedir (Şengör ve Yılmaz, 1981; Yılmaz 2017a; Yılmaz vd., 2022). Çarpışma, Eosen sonundan Miyosen sonuna kadar güneydoğu Anadolu Kenet Kuşağı boyunca karşılanmıştır (Yılmaz vd., 2022 ve ilgili kaynaklar). Arap Levhası'nın çarpışma sonrasında da kuzeye ilerlemeye devam etmesi, özellikle Doğu Anadolu'yu şiddetle etkilemeğe başlamıştır (Şengör 1980). Doğu Türkiye'nin blok halinde yükselmesi Geç Miyosen sonuna rastlar (Doğu Anadolu'nun tektonik gelişiminin evreleri için; Yılmaz vd., 2022). K-G sıkışmanın Doğu Anadolu'da aşırı yoğunlaşması Kuzey Anadolu Transform Fayı (KATF) ile Doğu Anadolu Transform Faylarını (DATF) oluşturmuş (Şengör, 1980), bu iki fay da Anadolu Levhasını belirlemiştir. Anadolu Levhası, birleşme noktası olan Karlıova'dan batıya kaçarak, sıkışmaya neden olan kuvvetin bir kısmını batıya iletmeğe başlamıştır (Şengör 1980; Yılmaz vd., 2022). Batı Anadolu'yla ilgisi açısından soru, Anadolu Levhası'nın kaçması Batı Anadolu ve Ege'yi ne zaman etkilemeğe başlamıştır?

Batı Anadolu'da Tetis Okyanusu'nun kuzey kolunun Geç Kretase'de dalıp batarak yok olduğu bilinmektedir (Şengör ve Yılmaz, 1981; Yılmaz vd., 1995; Yılmaz, 1997). Saha verileri, kenet kuşağının oluşmasından sonra da süren K-G sıkışmanın Eosen sonuna kadar kenet kuşağı boyunca karşılandığını göstermektedir (Yılmaz vd., 1995; Yılmaz, 2017a). Devam eden yakınlaşmanın neden olduğu kompresif stresin bir kısmı İzmir-Ankara Kenet Kuşağı'nın oluşturduğu zayıflık zonu boyunca (Balıkesir-İzmir Makaslama

Zonu) güneybatıya ya transfer edilmektedir (Okay ve Siyako, 1993; Ring vd., 1999; Özkaymak vd., 2013) (Şekil 19). Dalıp batan okyanus levhasının geriye doğru (retreat; roll back) hareketinin neden olduğu levha kenarındaki yırtığın yüzeydeki izinin, bu makaslama zonu olduğu görüşü ileri sürülmüştür (Gessner vd., 2013., Uzel vd., 2015). Helen Yitim Zonu'nda Doğu Akdeniz okyanus litosferini doğuda doğrultu atımlı Pliny-Strabo Fayı'nın sınırladığı bilinmektedir. Bu fay kuzeyde Fethiye-Burdur sol yönlü doğrultu makaslama zonuna bağlanmaktadır (Hall vd., 2014) (Şekil 19). Bununla karşılaştırıldığında İzmir-Balıkesir Transfer Zonu'nda, Fethiye-Burdur Makaslama Zonu örneğindeki gibi belirgin tek bir fay zonu yoktur (Şekil 19). Bu bölgede geniş bir kuşağa dağılmış bazı fayların varlığı bilinmektedir (Uzel vd., 2013; Sümer vd., 2018). Litosferi biçen ana yırtığın tümüyle bu zayıflık zonunu izlediği de söylenemez. Anadolu Levhası'nın batıdaki dönme hareketinin etkileri çok geniş bir alanda görülmektedir (Şekil 19). Kuzeyde, Kuzey Anadolu Transform Fayı'nın Marmara Denizi'ne ulaştığı yöreden başlamakta (Piper vd., 1997 ve 2010) ve İzmir-Ankara Kenet Kuşağı'nı verevine geçerek güney alanlara uzanmaktadır (Şekil 19).

Batı Anadolu da K-G gerilme rejiminin nedeni olarak başlıca üç görüş ileri sürülmüştür;

- 1- İzmir-Ankara Kenet Kuşağı boyunca gelişen kıta-kıta çarpışmasının sonucunda kısalıp kalınlaşan orojenin çökmesi (Dewey ve Şengör, 1979; Dewey, 1988; Armijo vd., 1999; Van Hinsbergen, 2010)
- 2- Anadolu levhasının batı yönünde kaçmasının Ege-Batı Anadolu'da neden olduğu tektonik düzenleme (Şengör, 1980; Şengör vd., 1985; Piper vd., 2010; van Hinsbergen vd., 2010; Agostini vd., 2010; Philippon vd., 2014; Sözbilir vd., 2016).
- 3- Helen dalma batma/yitim zonunda dalıp batan Doğu Akdeniz Okyanus Litosferi'nin gerilemesi ya da dilimlenmesi (LePichon

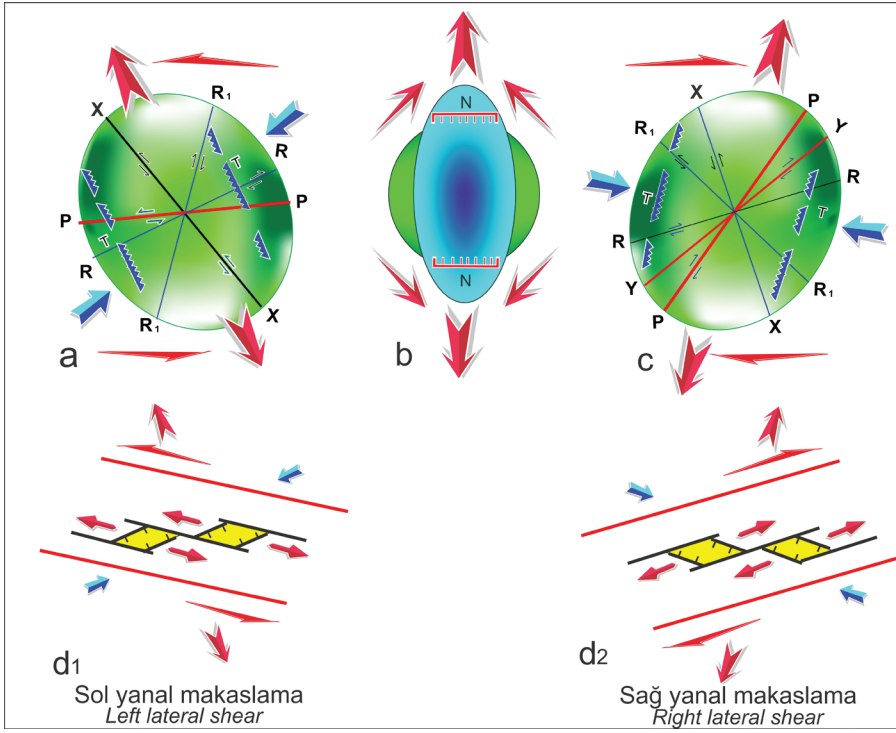
ve Angelier, 1979 ve 1981; Ring vd., 2000; Faccenna vd., 2003; Agostini vd., 2008; Dilek ve Altunkaynak, 2009; Altunkaynak vd., 2013; Jolivet vd., 2013; Gürer vd., 2013; Burchfiel vd., 2018; Brun ve Scoutis, 2019; Altunkaynak vd., 2021).

Levhanın gerileme ya da dönmesinin üst levhada K-G gerilmeye neden olduğu son dönemde yaygınca kabul görmektedir. Jeofizik veriler gerçekten de dalan levhanın gerilediğini, dilimlendiğini ve koptuğunu göstermektedir (bu konu üzerinde veriler ve tartışmalar için; Wortel ve Spakman (2000), Bozkurt ve Mittwede (2005), Jolivet ve Brun (2010), Jolivet vd., (2013), Yılmaz (2017b). Ancak dalma batma/yitim hızının süreç içinde nasıl değiştiği, levha gerilemesi ve dilimlenmesinin zamanı konuları henüz yeterince aydınlatılamamıştır.

Batı Anadolu'nun batıya kaçmağa başlama zamanı ve KATF'nın Marmara Bölgesi'ne ulaşma zamanı konusundaki görüşler arasında büyük farklılıklar vardır (Armijo vd.1999; Yılmaz vd., 2022 ve kaynaklar). Çünkü hesaplamalar ve varsayımlar fayın Marmara Bölgesini ilk ne zaman etkilediğine ait jeolojik veri üretme ve yaşı buna dayandırma yerine Kuzey Anadolu Fayı'nın atımı, GPS verilerinin gösterdiği hızlar vb. gibi dolaylı verilere dayandırılmıştır. Bu tür kabullere dayalı yaklaşımlarla KATF'nın Marmara Bölgesi'ne ulaşma zamanı olarak önerilen yaşlar Erken-Orta Miyosen'den (Ketin 1957; LePichon and Angelier 1981; Philippon vd., 2014), Geç Miyosen-Pliyosen'e (Dewey ve Şengör 1979; Şengör vd, 1985; Westaway vd, 2005; Sözbilir vd., 2016) ve Geç Pliyosen-Pleistosene (Şaroğlu ve Yılmaz 1987; Gürer vd., 2006) kadar değişmektedir. Bu başlangıç zamanları arasında yaklaşık 20 milyon yılı kapsayan geniş bir zaman aralığı vardır.

Ege'nin K-G gerilme rejimi güneyde Helen dalma batma/yitim zonundan kuzeyde Balkanlar'a kadar geniş bir bölgeyi etkilemektedir (McKenzie, 1972; Jackson ve McKenzie 1988a ve b; Meulenkamp vd., 1988; Spakman vd., 1988; Taymaz vd., 1991; Burchfiel vd., 2018). Anadolu Levhası, gerilme rejiminden, Batı Anadolu'yu çembersel bir hareketle dönerek geçerken etkilenmektedir. Bir diğer değişle içinden geçerken deformasyon elipsinin konumu da değişime uğramaktadır (Şekil 20). Elipsin uzun ekseninin yönü gerilme rejiminin başlangıç ve daha sonraki dönemlerinde yerel ve bölgesel ölçekte değişmektedir. Paleomanyetik veriler bölgenin ve yerel alanların saat ve saatin tersine döndüğünü göstermektedir (İşseven vd., 1995; Piper vd., 1996; Orbay vd., 2001; Kissel vd., 2003; van Hinsbergen 2010; Wölfler vd., 2017; Poyraz ve Hastaoğlu 2020; Eyübagil vd., 2021), örneğin Uzel vd., (2015) bölgenin Erken Miyosen'den beri İzmir Balıkesir Transfer Zonu'nda saat yönünde 23° Menderes Masifi'nde ise saatin tersi yönündeki 23° dönme, Geç Miyosen'de saat yönünde 25° dönme geçirdiğini belirtmektedir. Sakellariou ve Tsampouraki-Kraunak (2019) çok disiplinden derlenen verilerle Ege'de levhanın hareket yönünde Pliyosen'de önemli bir değişim olduğunu ve bu süreçte K-G gerilmeyle D-B açılmanın yerini doğrultu atımlı faylara bağlı transtansiyonel açılmaların aldığını belirtmiştir.

Fay kontrollü bloklarda gelişen yerel rotasyonlar da levha hareketine eklenmektedir (İşseven vd., 1995; Westerveel vd., 2000; Orbay vd., 2001; Wallace vd., 2008; Aktuğ vd., 2009; Piper vd., 2010; Uzel vd., 2015; Şaroğlu ve Güler, 2020; Cengiz vd., 2021). Şaroğlu ve Güler (2020) yerel fay sınırlı blokların yarı bağımsız hareket ettiklerini belirtmektedir. Ege'de görülen graben gruplarının doğrultularındaki yerel ve bölgesel farklılıklar olasılıkla bu etkinin sonuçlarıdır.



Şekil 20. Batı Anadolu'yu biçim değişimine zorlayan güçlerin bileşke yönlerinin süreç içinde değişen konumlarını gösteren deformasyon elipsoidleri; **a**-Erken-Orta Miyosen, **b**-Pliyo-Kuvaterner, **c**- Geç Kuvaterner. **a)** Erken-Orta Miyosen de deformasyon elipsinin uzun eksenine az çok paralel, KKD doğrultulu transtansiyonal havzaların gelişmesini açıklamaktadır. **b)** Elipsin, uzun ekseninin Pliyo-Kuvaterner başında saat yönünde K-G'ye doğru dönmesiyle, yalın makaslamanın etken olduğu doğrultu atımlı fayların sınırladığı, Batı Anadolu'nun egemen morfotektonik unsurları olan, D-B uzanımlı grabenler gelişmiştir. **c)** Geç Kuvaterner de elipsin uzun ekseninin saat yönünde dönmeğe devam etmesinin sonucunda, Batı Anadolu'nun Batı kesimlerinde ve özellikle sahil kesimlerinde KKB doğrultulu transtansiyonel faylar ve fay çiftlerinin (conjugated faults) sınırladığı genç havzalar gelişmiştir. **d1)** Erken-Orta Miyosen'de sol yanal makaslama ile **d2)** Geç Kuvaterner'de sağ yanal makaslama ile gelişen aralı aşmalı (en echelon) havzaların gelişimini gösteren taslak haritalar.

Figure 20. Deformation ellipsoids showing the changing positions of the resultant aspects of the forces that forced Western Anatolia to deform: **a**- Early-Middle Miocene, **b**- Plio-Quaternary, **c**- Late Quaternary. **a)** In the Early-Middle Miocene, the deformation explains the development of transtensional basins in the NNE direction, more-or-less parallel to the long axis of the ellipse. **b)** With the clockwise rotation of the ellipse's long axis towards N-S at the beginning of the Plio-Quaternary, E-W trending grabens were developed, which are the dominant morphotectonic elements of Western Anatolia, bounded by strike-slip faults, which are the factors of pure shear. **c)** . As the long axis of the ellipse continued to rotate clockwise in the Late Quaternary, young basins bounded by NW trending transtensional faults and conjugated faults developed in the western parts of Western Anatolia and especially in the coastal areas. **d1)** Draft maps showing the development of intermittent (en echelon) basins developed by left-lateral shear in Early-Middle Miocene, and **d2)** by right-lateral shear in the Late Quaternary.

Şekil 20a, b ve c, Batı Anadolu'yu geçerken Anadolu levhasını etkileyen hareketlerin bu bölgede oluşturması beklenen bileşke deformasyonunu deformasyon elipsleriyle göstermektedir. Şekil 20a, Anadolu Levhası'nın

batıda güneybatıya dönmeye başladığı Erken Miyosen başında deformasyon elipsinin olası konumu ile uzun ekseninin yönünü göstermektedir. Bu dönemde gerilme az çok K-G olmakla birlikte dönme sonucunda oluşan sapma ile basit

makaslamanın geliştirdiği, gerilme yönüne paralel bir dizi KKD-GGB doğrultulu transtansiyonel havza gelişmiştir (Şekil 20d1) (Zanhci vd., 1993; Hetzel vd., 1995; Sözbilir vd., 2011). Levhanın dönme hareketinin devamında elipsin konumu da değişime uğramıştır. Kuvaterner başında gelişen D-B doğrultulu havzalar olasılıkla yalın makaslamanın ürünüdür (Şekil 20c). Çünkü bu dönemde eğim atımlı fayların sınırladığı havzalar bölgeye egemen olmuştur. Bu grabenler Erken-Orta Miyosen’de gelişmiş olan transtansiyonel KKD doğrultulu havzaların devamlılığını sonlandırmış ve onları, horstlarda asılı graben konumuna getirmiştir (Şekil 1, 2 ve 18c).

Deformasyon elipsinin konumunun değişmeğe devam etmesiyle Geç Kuvaterner’de KKB-GGD uzanımlı genç faylar ve bunların açtığı transtansiyonel havzalar gelişmiştir (Şekil 18d, 20c ve d2). Bu genç havzalar yaşlı havzaları kesmiş ve doğrultu atımlı faylar ise konumlarını değiştirmiştir (Şekil 1, 3, 8 ve 18d). Bu dönemde Anadolu Levhası’nın Helen dalma zonuna doğru dönerek GB yönünde ilerlemesi sürecinde harekete karşı yerel bir direnç oluştuğunda bunun sol yönlü doğrultu atımlı fay geliştirmesi beklenir ki D-B uzanımlı grabenler de de buna uygun olarak yer değiştirmeler gerçekleşmiştir. Dönme hareketinin sol yönlü doğrultu atımlı fay geliştirmesinin bir diğer mekanik açıklaması ise Euler çemberlerinin hız farklarıdır. Dönüş sırasında Ege Denizi üzerindeki vektöryel hızlar, Anadolu karasındakilerden daha yüksek olduğundan (Şekil 19) bu rejim altında oluşacak bir dirence bağlı faylanmaların da sol yönlü doğrultu atımlı faylar geliştirmesi beklenir.

Yılmaz (2017b), Simav ve Çine Sıyırılma Fayları ve graben dolgularının daha yaşlı, buna karşılık Alaşehir-Gediz ve Büyük Menderes Graben ve sıyırılma faylarının ise daha genç olduğunu belirtmiştir. Sıyırılma fayı yaş verileri bu görüşü desteklemektedir (Lips vd., 2001; Beccalotto ve Steiner, 2005; Catlos vd., 2010; Gessner vd., 2001; Ersoy vd., 2010; Bozkurt vd.,

2011). Etzel vd., (2020)’e göre Simav Grabeni Sıyırılma Fayı 20 m yıl önce hızla sıyırılarak yükselmiş buna karşın Alaşehir Sıyırılma Fayı daha sonra ve 2 evrede (14 ve 5my) yükselmiştir. En son yükselme fazı Üst Miyosen karasal çökellerinin gelişme ve sıyırılma yaşlarıyla uyumludur.

Sonuç olarak Batı Anadolu, birbirini izleyen sıkışma yükselme ve çökmeler geçirmiş bir orojenik kuşağı temsil etmektedir. Erken Miyosen’de başlayan, araya sakin dönemlerin girdiği K-G gerilme rejimi günümüzde yaklaşık 20 mm/y yüksek bir hızla sürmektedir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada Batı Anadolu’da Selçuk ilçesi dolayında yer alan, üç tarafı faylarla sınırlı, batıda ise denize açılan dar ve küçük grabene Selçuk Grabeni adı verilmiştir. Selçuk Grabeni Küçük Menderes Grabeni’nin batı ucunda yer almaktadır. Selçuk Grabeni’ni doğudan sınırlayan doğrultu atımlı faylar Kuvaterner’de Küçük Menderes Grabeni’nin ucunu biçmiş ve güneybatı yönünde ötelemiştir. Bu aşamadan sonra Selçuk Grabeni varlığını bağımsız bir graben olarak sürdürmüştür. Bu süreçte, özellikle doğrultu atımlı faylar, grabenin içi ve güney kenarında grabenin uzanımına az çok paralel, dar ve uzun sırtlar geliştirmiştir. Fay sınırlı sırtlarda metamorfik temel kayaları yükselmiştir. Selçuk Grabeni’ni sınırlayan güney horstta ileri dereceli metamorfik şist-gnays ve amfibolitler kuzey horstta ise metakarbonatlar mostra vermektedir. Graben dolgusunu Küçük Menderes Nehri’nin akarsu çökelleri oluşturur. Bunların bazı mostraları doğrultu atımlı fayların sınırladığı basınç sırtlarında ve horst bloklarında görülmektedir.

Selçuk Grabeni, Batı Anadolu’nun yapısal evrimi içinde biçimi en son şekillenen grabenlerinden birisidir. Oluşumu, ona doğu alanlarda komşu olan ve günümüzde Batı Anadolu’nun en önemli morfolotektonik öğelerini

temsil eden Gediz ve Büyük Menderes Grabenleri ile Bozdağ -Aydın Dağları Horstu'nun ana oluşum evrelerinden sonradır.

Batı Anadolu'nun morfotektonik evriminde şu aşamalar ayırt edilmektedir; Geç Eosen-Oligosen de Ege bölgesi'nin deniz alanı ve çevreleyen kara alanları; Yunan ana karası, Balkanlar ve Batı Anadolu topluca yükselen bir orojeni temsil eden kara konumundadır. Geç Oligosen-Erken Miyosen'de orojenin çökmesi ve bununla bağlantılı K-G gerilmeyle sıyrılma fayları gelişmiştir. Litosferi biçen bu faylar özellikle Biga Yarımadası'nın güneyindeki yörelerde derinden ileri dereceli metamorfik kayaları yüzelemiştir. Erken-Orta Miyosen'de Batı Anadolu'da KKD doğrultulu sol yönlü doğrultu atımlı faylar ve bu transtansiyonal fayların denetlediği havzalar, yüzeylenmiş olan Menderes Masifinin ileri dereceli metamorfik kayaları üzerinde gelişmiştir. Bu havzalar gelişirken oluşan açılma çatlakları magma çıkışlarını da yönlendirmiştir.

İzleyen evrede gerilmenin hızı azalmış ve bölge tektonikçe sakin bir dönem geçirmiştir. Geç Miyosen-Erken Pliyosen'e rastlayan bu dönem aynı zamanda Bozdağ-Aydın Dağları Horstu'nun morfolojik bir kabartı olarak da yükselmeye başladığı ilk dönemdir. Bu küçük engebe deniz düzeyinden çok da yüksek olmayan sığ göllerle çevriliydi. Sakin bu dönemin morfolojideki izleri bölgesel ölçekte gelişen yatay konumlu aşınım düzeyidir.

Kuvaterner'de gerilme rejimi şiddetini artırmıştır. Yeni ve etkili bu K-G gerilme rejiminde, normal faylarla sınırlı, Batı Anadolu'nun egemen morfotektonik unsurları olan D-B uzanımlı grabenler gelişmiştir. İzleyen süreçte Anadolu Levhası'nın batıya kaçması Batı-Anadolu ve Ege'yi etkilemeğe başlamıştır. Anadolu Levhası'nın Ege'de saatin tersi yönünde dönerek Helen Yitim Zonu üzerine ilerlemesi Batı Anadolu'yu temsil eden deformasyon elipsinin uzun eksenini kuzeybatıya çevirmiştir. Buna bağlı

olarak Batı Anadolu sahil alanlarında bir dizi sol yönlü doğrultu atımlı fay ve fay çiftleri (conjugated faults) oluşmuştur. Sol yönlü doğrultu atımlı faylar D-B grabenlerin denize yakın batı uçlarını biçerek onları güneybatıya doğru ötelemiştir. Fay çiftleri ise sahile yakın alanlarda verev konumlu genç graben havzaları oluşturmuştur. Selçuk Grabeni'nin oluşumu bu aşamada gerçekleşmiştir. Bu havzanın oluşumunda hem tek hem de fay çiftlerinin etkileri ayırt edilmektedir.

EXTENDED SUMMARY

The Selçuk Graben is an approximately E-W trending graben located at the western tip of the Küçük Menderes Graben (Figure 1 & 2). The Selçuk Graben developed where a young strike-slip fault zone cut, and the Küçük Menders Graben was left laterally and displaced its western tip (Figure 2 & 3). Since the displacement, the Selçuk Graben has had a semi-independent evolution.

The geology of the Selçuk Graben may be summarized as follows; high-grade metamorphic rocks of the Menderes Massif crop out along the horst that bound the graben (Figure 3). The rocks are schists-gneisses, amphibolite, and a meta carbonate succession in the southern and northern horsts, respectively. The fill of the graben is semi-lithified fluvial conglomerates from the Küçük Menderes River. The graben bounding the faults are approximately E-W trending normal faults (Figure 3). The faults that define the southern horst are more prominent and seismically active (Figure 8 & 9), forming clear steps in the morphology (Figure 9). One example of good exposure of the steep fault planes may be seen at the location of the Virgin Mary's statue near the ancient city of Ephesus (Figure 10). The northern horst is morphologically less distinct (Figure 9). However, hanging stream valleys may be used as morphological indicators of normal faults (Figure 11).

Many strike-slip faults exist in and around the Selçuk Graben (Figure 8 & 9), which may be divided into two groups according to their trends (Figure 9). The approximately N-S trending faults are more numerous and dominant. The faults cut and displaced the graben structures (Figure 9) and adjoin the major strike-slip fault zone that displaced the Selçuk Graben from the Küçük Menderes Graben (Figure 8 & 9). Thus, they may be evaluated as belonging to the same group of faults. The other strike-slip faults align sub-parallel to the graben (Figure 9), however, in places, they also cut and displaced the graben structures at an acute angle. The strike-slip faults may be identified by their typical morphological imprints. Among these are linear ridges, offset streams, and sag valleys (Figure 13).

The two strike-slip fault groups of different trends have formed coevally and thus may be evaluated as cogenetic. Since the strike-slip faults cut the graben structures they are therefore younger, and have possibly formed during the later periods of the Quaternary.

A brief discussion is included in the following paragraphs to assess the tectonic development of the Selçuk Graben in light of the evolution of western Anatolian grabens.

Metamorphic rocks form the basement of western Anatolia. Above the metamorphic basement, three rock-stratigraphic units developed during the Neogene and Quaternary as the cover sediments (Figure 5). The lower unit comprises coarse-to-fine terrestrial rocks of Lower-Middle Miocene age. They are observed commonly in the NNE trending graben depressions.

The middle unit is generally low-energy sediments (Figure 5), deposited mainly in shallow lakes during the Late Miocene-Early Pliocene period. They are observed in the entire western Anatolia, from the Marmara Sea region in the north to the slopes of the Taurus Mountains in the south (Figure 2). The upper unit is semi-lithified

fluvial conglomerates of Quaternary age (Figure 5), which were formed mainly in the E-W trending graben depressions (Figure 1, 2 & 4).

In the following paragraphs, we briefly describe five of western Anatolia's major morphotectonic entities, following their sequence of development.

(1) Detachment faults. Some outcrops of detachment faults may be observed in western Anatolia from the border of the Taurus mountains in the south to the Biga Peninsula in the north. In west Anatolia's central and southern regions, detachment faults elevated the Menderes Massif as a core complex(es?). Their best exposure is observed on both flanks of the Bozdağ-Aydın mountains horst of the central region (Figure 4, 14 & 15). The ages (8-5 my) obtained from the detachment fault planes in these exposures are younger than those exposed in the northern plane, e.g., the Simav detachment fault, or in the southern detachment fault, e.g., Çine detachment faults (25-20 my; Gessner et al., 2009). Further research is required to establish whether they represent parts of the same detachment fault that extends at the top of the horsts (Figure 16) from the south to the north.

(2) NNE trending grabens. Right-lateral strike-slip faults bound these grabens (Figure 2 & 6) which represent transtensional en-echelon faults that control the sediment deposition of the graben fill. Grabens with similar characteristics may be traced from the Biga Peninsula to the Bozdağ Horst (Figure 2 & 18d). In recent studies, these grabens have been regarded as cross grabens with respect to the approximately E-W striking detachment faults that surround the Bozdağ-Aydın mountains horst. However, some of these grabens display no time or space, and thus are genetic connections with the detachment faults (Figure 18d). They are located on the horsts bordered by the E-W trending Simav and Gediz grabens as hanging grabens (Figure 1 & 18d).

(3) Regional flat-lying erosional surface of Late Miocene-Pliocene age. A regionwide flat-lying erosion surface is observed in the entire western Anatolia developed above the succession, including the Upper Miocene-Lower Pliocene low-energy sediments (Figure 1, 4 & 17). This surface may be used as a key stratigraphic horizon to give a relative date to the time of development of the other major morphotectonic entities. In the Biga Peninsula, the Upper Miocene-Lower Pliocene lacustrine limestones, fine-grained detrital sediments, and the overlying erosional surface cover the older rocks, including the NNE trending lower-Middle Miocene horsts and grabens and the separating horsts (Figure 2). This observation indicates that the graben-horst reliefs formed during the early-Middle Miocene period were considerably smoothed when shallow lakes invaded the region (Figure 18b). Outcrops with a flat-lying erosional surface may be observed at various altitudes from the lowlands to the top of the horsts (Figure 4 & 17), which indicates that the present morphological reliefs of western Anatolia postdate the development of Late Miocene-Early Pliocene erosion.

(4) E-W trending grabens. These are western Anatolia's most distinct morphotectonic entities (Figure 1, 2 & 18d). There are about ten grabens in western Anatolia, from the northern Aegean Sea region to the Mediterranean Sea (Figure 2 & 18d). They are commonly asymmetrical. One side is steeper and morphologically more distinct than the opposite side (Figure 1, 8 & 9). Normal faults separate the grabens and the horsts (Figure 8 & 9).

The largest grabens and the most distinct horst of western Anatolia are the Gediz and Büyük Menderes grabens and the Bozdağ-Aydın mountains horst (Figure 1 & 8) that is located between them. The graben boundary gravity faults that align along the Bozdağ-Aydın mountains horst on both sides are morphologically prominent (Figure 1 & 8) and seismically active compared

to the faults that define the opposite sides of the grabens (Figure 8 & 9). The normal faults are young and generally steep. They cut and displaced the detachment faults along both slopes of the Bozdağ-Aydın mountains horst (Figure 2 & 4).

Fills of the E-W grabens are fluvial conglomerates of Quaternary age. These may be traced hundreds of kilometers along the graben shoulders. The seismic exploration data supported by the drill data show that the older units are present only where they were trapped within the E-W graben depressions (Figure 7), where the thickness of the graben fill reaches up to 3 km in thickness. Otherwise, the average thickness of the E-W trending graben fill rarely exceeds 500 m.

(5) NNW striking strike-slip faults and conjugated faults. These faults are dominant structures of western Anatolia's coastal region, determining these regions' morphotectonical patterns (Figure 1a & 18d). They cut the west edge of the E-W grabens and displace them to SW (Figure 1, 8, 9 & 18d). The conjugated faults, on the other hand, are where they push the blocks to which they are bound to the west toward the Aegean Sea (Figure 1 & 18d). As the fault-bounded blocks moved away from the convergence areas, asymmetrical grabens were developed (Figure 1 & 18d). These younger grabens trend diagonally with respect to the E-W trending grabens. The age of the NNW faults and the conjugated faults that define the young grabens may be comparatively estimated as late Quaternary because they are younger than the E-W grabens of Quaternary age.

Development of the Selçuk Graben

The E-W graben-horst system of western Anatolia was developed under the N-S extensional regime during the Quaternary (Figure 20b). The Küçük Menderes Graben is on the Bozdağ-Aydın mountains horst block, located between the two largest grabens of western Anatolia, the Gediz and


Büyük Menderes grabens (Figure 1). The Küçük Menderes Graben formed when the elevated horst block began to subside during the Quaternary. In this period, the Selçuk Graben was located at the western tip of the Küçük Menderes Graben.

When the North Anatolian Transform Fault reached the Marmara Region, the Anatolian Plate began to rotate southwesterly onto the Hellenic Trench. The western Anatolian-Aegean regions began to be deformed under the combined effects of two major forces; (1) the N-S extension, and (2) The south-westerly rotation of the Anatolian Plate (Figure 19). They caused the long axis of the deformation ellipse to rotate to NNW (Figure 20 a-c). Consequently, the NNW striking faults and the conjugated fault were formed during the later period of Quaternary. The young faults cut and displaced the western tip of the Küçük Menderes Graben and redefined the Selçuk Graben as a small and semi-independent graben. In the following periods, new strike-slip faults were developed and changed the original morphotectonic shape of the graben. The new tectonic regime is continuing at a high rate, as the seismic activity reveals.

KATKI BELİRTME

Araştırmamızın bazı saha gözlem ve verilerini “Anadolu doğal taşlarının araştırılması” projesinin saha gezileri sırasında derleme şansı bulduk. Projenin yöneticisi Prof. Dr. Erdoğan Yüzer’e şükranlarımızı arz ederiz. Morfoloji haritalarının Sayısal Yükseklik Modeli perspektif görüntülerini hazırlayan Cihan Tuncer’e en içten teşekkürü borç biliyoruz. Makalemiz, editör Prof. Dr. Erdinç Yiğitbaş’ın teşvikleriyle oluştu. Prof. Dr. Hasan Sözbilir ve Prof. Dr. Murat GÜL hakem incelemeleriyle yazımıza değerli katkılar yaptılar, kendilerine içten teşekkürlerimizi sunarız.

ORCID

Yücel Yılmaz  <https://orcid.org/0000-0002-4851-0822>

Ömer Feyzi Güler  <https://orcid.org/0000-0001-7210-769X>

Yücel Erbay  <https://orcid.org/0009-0004-3270-179X>

KAYNAKLAR / REFERENCES

- Agostini, S., Ryan, J. G., Tonarini, S. & Innocenti, F. (2008). Drying and dying of a subducted slab: coupled Li and B isotope variations in Western Anatolia Cenozoic volcanism. *Earth Planetary Science Letters*, 272, 139–147.
- Agostini, S., Doglioni, C., Innocenti, F., Manetti, P. & Tonarini, S. (2010). On the geodynamics of the Aegean rift. *Tectonophysics* 488(1-4). <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.07.025>
- Akgün, F. & Akyol, E. (1999). Palynostratigraphy of the Coal-Bearing Neogene Deposits Graben in Büyük Menderes Western Anatolia. *Geobios*, 32(3):367-383. [https://doi.org/10.1016/s0016-6995\(99\)80013-8](https://doi.org/10.1016/s0016-6995(99)80013-8)
- Aksu, A. E., Konuk, T., Uluğ, A., Duman, M. & Piper, D. J. W. (1990). Quaternary tectonic and sedimentary history of Eastern Aegean Sea shelf area (Doğu Ege Denizi şelf alanının Kuvaterner’deki tektoniği ve tortul tarihçesi). *Jeofizik*, 4, 3-35.
- Aktar, M., Karabulut, H., Özalaybey, S. & Childs, D. (2007). A conjugate strike-slip fault system within the extensional tectonics of western Turkey. *Geophysical Journal International*, 171(3), 1363–1375. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-246X.2007.03598.x>
- Aktuğ B., Nocquet, J. M., Cingöz, A., Parsons, B., Erkan, Y., England, P., Lenk, O., Gürdal, M. A., Kilicoglu, A., Akdeniz, H. & A. Tektül (2009). Deformation of western Turkey from a combination of permanent and campaign GPS data; limits to block-like behavior. *Jour. Geophys. Res.* 114(5), 1978-2012. <https://doi.org/10.1029/2008JB006000>
- Akyol, N., Zhu, I., Mitchell, B. J., Sözbilir, H. & Kekovalı, K. (2006). Crustal structure and local seismicity in western Anatolia. *Geophysical Journal International* 166(3), 1259-1269. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2006.03053.x>

- Alçıçek, H. (2010). Stratigraphic correlation of the Neogene basins in southwestern Anatolia: regional palaeogeographical, palaeoclimatic and tectonic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 291, 297–318.
- Alçıçek, M. C., Brogi, A., Capezzuoli, E., Liotta, D. & Meccheri, M. (2013). Superimposed basin formation during Neogene–Quaternary extension in SW-Anatolia (Turkey): insights from the kinematics of the Dinar fault zone. *Tectonophysics*, 608, 713–727.
- Alçıçek M. C., Mayda, S., ten Veen J. Y., Boulton, S. J & et al. (2019). Reconciling the stratigraphy and depositional history of the Lycian orogen-top basins, SW Anatolia. *Paleobiodiversity and Paleoenvironments*, 99, 551-570. <https://doi.org/10.1007/s12549-019-00394-3>
- Aldanmaz, E. (2002). Mantle source characteristics of alkali basalts and basanites in an extensional intracontinental plate setting, western Anatolia, Turkey: Implications for multi-stage melting. *International Geology Review*, 44(5), 440–457. <https://doi.org/10.2747/0020-6814.44.5.440>
- Altunkaynak, Ş. & Yılmaz, Y. (1998). The mount Kozak magmatic complex, western Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85,(1-4), 211-231., [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(98\)00056-0](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(98)00056-0)
- Altunkaynak, Ş. & Yılmaz, Y. (1999). The Kozak Pluton and its emplacement. *Geological Journal*, 34(3), 257-274. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1034\(199907/09\)34:3<257::AID-GJ826>3.0.CO;2-Q](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1034(199907/09)34:3<257::AID-GJ826>3.0.CO;2-Q)
- Altunkaynak S., Dilek Y., Genç S. C., Sunal G., Gertisser R., Furnes H., Foland K. A. & Yang J. (2012), Spatial, temporal and geochemical evolution of Oligo-Miocene granitoid magmatism in western Anatolia, Turkey. *Gondwana Research* 21(2012), 961–986.
- Altunkaynak, Ş & Dilek, Y. (2013). Eocene mafic volcanism in northern Anatolia: its causes and mantle sources in the absence of active subduction. *International Geology Review*, 55(13), 1641-1659. <https://doi.org/10.1080/00206814.2013.792497>
- Altunkaynak, S., Sunal, G., Aldanmaz, E., Genç, S. C., Dilek, Y., Furnes, H., Foland, K.A., Yang, J. & Yıldız, M. (2013). Eocene Granitic Magmatism in NW Anatolia (Turkey) revisited: New implications from comparative zircon SHRIMP U-Pb and ⁴⁰Ar-³⁹Ar geochronology and isotope geochemistry on magma genesis and emplacement. *Lithos*, 155, 289-309.
- Altunkaynak, Ş., Ünal, A., Sunal, G., Kamacı, Ö. & Dunkl, I. (2021). Miocene uplift and exhumation history of northwestern Anatolia (Turkey): Implications from apatite (U-Th)/He thermochronology of syn-extensional plutons. *Journal of Asian Earth Sciences* 213, Article 104770. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2021.104770>
- Armijo, R., Meyer, B., Hubert, A., & Barka, A. (1999). Westward propagation of the North Anatolian fault into the northern Aegean: Timing and kinematics. *Geology*, 27(3), 267–270. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1999\)027<0267:WPOTNA>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1999)027<0267:WPOTNA>2.3.CO;2)
- Asti, R., Facenna, C., Rossetti, F., Malusà, M.G., Gliozzi, E., Faranda, C., Lirer, F. & Cosentino, D. (2019). The Gediz supradetachment system (SW Turkey): magmatism, tectonics, and sedimentation during crustal extension. *Tectonics*, 38(4), 1414-1440.
- Baran. Z. Ö. & Dilek, Y. (2011). Supradetachment basin evolution during continental extension; The Aegean province of western Anatolia, Turkey. *Geological Society of America Bulletin*, 123(11-12), 2115-2141. <https://doi.org/10.1130/B30468.1>
- Başarır, E., (1981). *1/25.000 Ölçekli Aydın M18-b1 Paftası Jeoloji Haritası*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi Harita Arşivi, Ankara.
- Bayrak, S. B., Ünal, A., Güraslan, I. N., Kamacı, Ö. & Yiğitbaş, E. (2021). Insights into a dextral transtensional shear zone in NW Anatolia, Turkey: Preliminary results from the three dimensional strain and kinematic analyses of the Marmara Granitoid. *EGU General Assembly Conference Abstracts*, EGU21-12884
- Beccaletto, L. & Steiner, C. (2005). Evidence of Two-Stage Extensional Tectonics from the Northern Edge of the Edremit Graben, NW Turkey. *Geodinamica Acta*, 18(3/4), 283-297. <https://doi.org/10.3166/ga.18.283-297>
- Becker-Platen, J. D. (1970). Lithostratigraphische Untersuchungen im Kanozoikum Südwest Anatoliens (Türkei)-Kanozoikum und

- Braunkohlen der Türkei. *Beihefte zum Geologischen Jahrbuch*, vol. 97. German Geological Survey BGR, Hannover.
- Benda, L. (1971). Principles of the palynologic subdivision of the Turkish Neogene (Kainozoikum und Braunkohlen der Türkei 3). *Newsletters on Stratigraphy* 1(3), 23-66. <https://doi.org/10.1127/nos/1/1971/23>
- Benda, L., Innocenti, F. Mazzuoli, R., Radicati, F. & Steffens, P. (1974). Stratigraphic and radiometric data of the Neogene in Northwest Turkey. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft Band 125* (2), 183–193. <https://doi.org/10.1127/zdgg/125/1974/183>
- Benda, L. & Meulenkamp, J. E. (1990). Biostratigraphic correlations in the Eastern Mediterranean Neogene 9. sporomorph associations and event stratigraphy of the Eastern Mediterranean Neogene. *Newsletters on Stratigraphy*, 23(1), 1–10.
- Bircan, A., Bozbay, E., Gökdeniz, S., Kozan, A.T. ve Ögdüm, F. (1983). Gediz graben sisteminin yeni veriler ışığında yorumu. 37. *Türkiye Jeoloji Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 21-25 Şubat 1983.
- Bonev, N., Beccalotto, L., Robyr, M. & Monie, P., (2009). Metamorphic and age constraints on the Alakeçi shear zone: implications for the extensional exhumation history of the northern Kazdağ Massif, NW Turkey. *Lithos* 113, 331–345. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2009.02.010>
- Borsi, S., G. Ferrara, F. Innocenti & R. Mazzuoli (1972). Geochronology and petrology of recent volcanics in the eastern Aegean Sea (West Anatolia and Lesbos Island). *Bulletin Volcanologique*, 36, 473-496.,
- Bozcu, M., (2010). Geology of Neogene basins of Buldan-Sarıcaova region and their importance in Western Anatolia neotectonics. *International Journal of Earth Sciences*, 99(4), 851-861. <https://doi.org/10.1007/s00531-009-0431-7>
- Bozkurt, E. & Park, R.G. (1994) Southern Menderes Massif: an incipient metamorphic core complex in western Anatolia, Turkey. *Journal of the Geological Society*, 151, 213-216. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.151.2.02>
- Bozkurt, E., (2000). Timing of Extension on the Büyük Menderes Graben, Western Turkey, and Its Tectonic Implications. In: E. Bozkurt, J. A. Winchester & J. D. A. Piper (Eds.), *Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area. Geological Society, London, Special Publications*, 173, 385-403. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.2000.173.01.18>
- Bozkurt, E. (2001). Origin of NE-trending basins in western Turkey. *Geodinamica Acta*, 16(2-6), 61-81. [https://doi.org/10.1016/S0985-3111\(03\)00002-0](https://doi.org/10.1016/S0985-3111(03)00002-0)
- Bozkurt E. (2004). Granitoid rocks of the southern Menderes Massif (southwestern Turkey): field evidence for Tertiary magmatism in an extensional shear zone. *International Journal of Earth Sciences*, 93, 52-71.
- Bozkurt, E. (2003). Origin of NE-Trending Basins in Western Turkey. *Geodinamica Acta*, 16(2-6):61-81. [https://doi.org/10.1016/s0985-3111\(03\)00002-0](https://doi.org/10.1016/s0985-3111(03)00002-0)
- Bozkurt, E. & Satır, M. (2000). The southern Menderes Massif (western Turkey): geochronology and exhumation history. *Geological Journal* 35(3-4), 285-296. <https://doi.org/10.1002/gj.849>
- Bozkurt, E. & Oberhänsli, R. (2001). Menderes Massif (western Turkey): structural, metamorphic and magmatic evolution-a synthesis. *International Journal of Earth Sciences*, 89, 679–708. <https://doi.org/10.1007/s005310000173>
- Bozkurt, E., Yusufoglu, H., Seyitoglu, G., Çemen, I. & Tekeli, O. (2002). Discussion on the extensional folding in the Alaşehir (Gediz) Graben, western Turkey. *Journal of the Geological Society*, 159(1), 105-109
- Bozkurt, E. (2004). Granitoid rocks of the southern Menderes Massif (southwestern Turkey): field evidence for Tertiary magmatism in an extensional shear zone. *International Journal of Earth Sciences* 93, 52–71.
- Bozkurt, E., Sözbilir, H. (2004). Tectonic Evolution of the Gediz Graben: Field Evidence for an Episodic, Two-Stage Extension in Western Turkey. *Geological Magazine*, 141(1):63-79. <https://doi.org/10.1017/s0016756803008379>
- Bozkurt, E. & Mittweide, S. K. (2005). Introduction: Evolution of Continental Extensional Tectonics of Western Turkey. *Geodinamica Acta*, 18(3/4):153-165. <https://doi.org/10.3166/ga.18.153-165>

- Bozkurt, E. & Rojay, B. (2005). Episodic, Two-Stage Neogene Extension and Short-Term Intervening Compression in Western Turkey: Field Evidence from the Kiraz Basin and Bozdağ Horst. *Geodinamica Acta*, 18(3/4), 299-316. <https://doi.org/10.3166/ga.18.299-316>
- Bozkurt, E. & Park, R. G. (2004). Southern Menderes Massif: An incipient metamorphic core complex in West Anatolia, Turkey. *Journal of the Geological Society*, 151, 213-216. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.151.2.021>
- Bozkurt, E. & Sözbilir, H. (2006). Evolution of the Large-Scale Active Manisa Fault, Southwest Turkey: Implications on Fault Development and Regional Tectonics. *Geodinamica Acta*, 19(6), 427-453. <https://doi.org/10.3166/ga.19.427-453>
- Bozkurt, E., Winchester, J. A., Ruffet, G. & Rojay, B. (2008). Age and Chemistry of Miocene Volcanic Rocks from the Kiraz Basin of the Küçük Menderes Graben: Its Significance for the Extensional Tectonics of Southwestern Anatolia, Turkey. *Geodinamica Acta*, 21(5-6), 239-257.
- Bozkurt, E., Satır, M. & Buğdaycıgil., Ç. (2011). Surprisingly young Rb/Sr ages from the Simav extensional Detachment fault zone, northern Menderes Massif, Turkey. *Journal of Geodynamics*, 52, 406-431. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2011.06.002>
- Brückner, H. (2019). Rapid delta growth in historical times at Ephesus and Miletus-The examples of the Küçük and the Büyük Menderes rivers. In: Kuzucuoğlu, C., Çiner, A., Kazancı, N. (eds) *Landscapes and Landforms of Turkey*. *World Geomorphological Landscapes*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03515-0_13
- Brun, J-P. & Scoutis, D. (2019). Core Complex segmentation the North Aegean, A dynamic View. *Tectonics* 37(2). <https://doi.org/10.1029/2017TC004939>
- Burchfiel, B.C. Nakov, R., Dumurdzanov, Papanikolaou, D., Tzankov, T., Serafimovski, T., King, R.W., Kotzev, V., Todosov, A. & Nurce, B. (2008). Evolution and dynamics of the Cenozoic tectonics of the Southern Balkan Extensional System *Geosphere*, 4(6), 919-938. <https://doi.org/10.1130/GES00169.1>
- Burchfiel, B.C. & Nakov, R. (2015). The multiply deformed foreland fold-thrust belt of the Balkan orogen, northern Bulgaria. *Geosphere*, 11(2), 463-490. <https://doi.org/10.1130/GES01020.1>
- Burchfiel, B. C., Royden, L. H. Papanikolaou, D. & Pearce, F. D. (2018). Crustal development within a retreating subduction system; the Hellenides. *Geosphere* 14(3), 1119-1130. <https://doi.org/10.1130/GES01573.1>
- Buscher, J. T., Hampel, A., Hetzel, R., Dunkl, I., Glotzbach, C., Struffert, A., Akal, C. & Rätz, M. (2013). Quantifying rates of detachment faulting and erosion in the central Menderes Massif by thermochronology and cosmogenic ¹⁰Be. *Journal of the Geological Society*, 170(4), 669-683.
- Candan, O., Dora, Ö., Oberhansli R. & Durr, O. (1997). Blueschist relics in the Mesozoic cover series of the Menderes Massif and correlation with Samos Island, Cyclades. *Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen*. 77(1), 217-238.
- Candan, O., Oberhansli, R., Dora, Ö., Çetinkaplan, M., Koralay, O. E., Rimmelé, G., Chen, F. & Akal, C. (2011a). Polymetamorphic evolution of the Pan-African basement and Palaeozoic-Early Tertiary cover series of the Menderes Massif. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 142, 121-163.
- Candan, O., Koralay, E, Akal, C., Kaya, O., Oberhansli, R., Dora, O. Ö., Konak, N. & Chen, F. (2011b). Supra-Pan-African unconformity between core and cover series of the Menderes Massif/Turkey and its geological implications. *Precambrian Research*, 184(1-4), 1-23. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2010.09.010>
- Catlos, E. J., Baker, C., Sorensen, S.S., Çemen, İ. & Hançer M (2010). Geochemistry, geochronology and cathodoluminescence imagery of the Salihli and Turgutlu granites (Central Menderes Massif, western Turkey): Implications for Aegean tectonics. *Tectonophysics* 488, 110-130. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.06.001>
- Catlos, E. J. & Çemen, İ. (2005). Monazite ages and the evolution of the Menderes massif, western Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 94, 204-217, <https://doi.org/10.1007/s00531-005-0470-7>
- Cengiz, M., Karabulut, S., Özçep, F., Çabuk, B. S. & Heller, F. (2021). Paleomagnetic results from Western Anatolia; evidence of micro block rotations after emplacement of the Lower Miocene

- Yuntdağ volcanics rocks. *Annals of Geophysics*, 64(6), Article GM661. <https://doi.org/10.4401/ag-8699>
- Cohen, H. A., Dart, C. J., Akyüz, H. S. & Barka, A. (1995). Syn-rift sedimentation and structural development of the Gediz and Büyük Menderes Graben, western Turkey. *Journal of the Geological Society*, 152, 629–638. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.152.4.0629>
- Collins, A. S. & Robertson, A. F. (1988). Processes of Late Cretaceous to Late Miocene episodic thrust-sheet translation in the Lycian Taurides, SW Turkey. *Journal of the Geological Society*, 155(5), 759-772. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.155.5.0759>
- Çakmaköğlü, A., (1985). *Aydın N19-d3, Marmaris O19- a2 ve Denizli M21-d3, c4 paftalarının jeolojisi* (Rapor no: 215). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi.
- Çakmaköğlü, A., (1987). *Denizli M22-d1 paftasının jeolojisi (ön Rapor)* (rapor no: 695). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi.
- Çakmaköğlü, A., (1990). *Denizli M22-a2 ve Denizli M22-b4 paftaları ile M22-b3 paftası güney yarısının jeolojisi* (Rapor no: 9847). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Çakmaköğlü, A., (2005). *Dilek Yarımadası, Söke ve Selçuk çevresinin Neojen öncesi tektono-stratigrafisi* (Rapor no: 10786). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Çakmaköğlü, A., (2007). Dilek Yarımadası-Söke-Selçuk çevresinin Neojen öncesi tektono-stratigrafisi. *MTA Dergisi*, 135, 1-17.
- Çemen, I., Catlos, E. J., Göğüş., O., & Özerdem, C. (2006). Post collisional extensional tectonics and exhumation of the Menderes Massif in the western Anatolia extended terrane, Turkey. In Dilek Y, Pavlides S. (eds.) Post collisional tectonics and magmatism in the Mediterranean region and Asia. *Geological Society of America Special Paper*, 409, 463–473. [http://dx.doi.org/10.1130/2006.2409\(18\)](http://dx.doi.org/10.1130/2006.2409(18))
- Çiftçi, N. B. & Bozkurt, E. (2009a) Evolution of the Miocene sedimentary fill of the Gediz Graben, SW Turkey. *Sedimentary Geology*, 216, 49–79.
- Çiftçi, N. B. & Bozkurt, E. (2009b) Pattern of normal faulting in the Gediz Graben, SW Turkey. *Tectonophysics*, 473, 234–260.
- Çiftçi, N. B. & Bozkurt, E., (2010), Structural evolution of the Gediz Graben, SW Turkey: temporal and spatial variation of the graben basin. *Basin Research*, 22, 846–873.
- Davis, G. A., Anderson, L. J., Frost, E.G. & Shackelford, T. J. (1980), Mylonitization and detachment faulting in the Whipple-Buckskin-Rawhide Mountains terrane, southeastern California and western Arizona: *Geological Society of America Memoir*, 153, 79-129.
- De Graciansky, P. C., (1972). *Recherche géologique dans le Taurus Lycian occidentals* [These Doctorat d'Etat]. Université de Paris-Sud Orsay.
- Dewey, J. F. (1988). Extensional collapse of the orogens. *Tectonics*, 7, 1123-1139.
- Dewey, J. F. & Şengör A. M. C. (1979). Aegean and surrounding regions: complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone. *Geological Society of America Bulletin*, 90(1), 1, 84-92. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1979\)90<84:AASRCM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1979)90<84:AASRCM>2.0.CO;2)
- Dilek, Y. & Altunkaynak, Ş. (2009). Geochemical and temporal evolution of Cenozoic magmatism in Western Turkey: Mantle response to collision, slab break-off, and lithospheric tearing in an orogenic belt. *Geological Society, London, Special Publications 311*(1), 213-233. <https://doi.org/10.1144/SP311.8>
- Doğan, B. (2020). Comparative New Insight into the Tectonic Origin of Folds and Thrust Faults of an Extensional Basin: Söke-Kuşadası Basin, Aegean, Western Turkey. *Journal of Earth Science*, 31(3), 582-595.
- Doglioni, C., Agostini, S., Crespi, M, Innocenti, F., Manetti, P., Riguzzi, F. & Savaşçin, Y. (2002). On the extension in western Anatolia and the Aegean sea. *Journal of the Virtual Explorer*, 7, 117-131.
- Ediger, V., Batu, Z. & Yazman, M. (1996). Paleopalynology of possible hydrocarbon source rocks of the Alaşehir - Turgutlu area in the Gediz graben (western Anatolia). *Turkish Association of Petroleum Geologists Bulletin* 8, 94-112.
- Emre, T. (1996). Gediz Grabeni'nin jeolojisi ve tektoniği. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 5, 171-185.
- Emre, T. & Sözbilir H. (1997). Field evidence for metamorphic core complex, detachment faulting

- and accommodation faults in the Gediz and Büyük Menderes grabens, western Anatolia. *IESCA Proceedings*, 73-93.
- Emre, T. & Sözbilir, H. (2007). Tectonic Evolution of the Kiraz Basin, Küçük Menderes Grabeni: Evidence for Compression/Uplift-Related Basin Formation Overprinted by Extensional Tectonics in West Anatolia. *Turkish Journal of Earth Science*, 16, 441
- Ercan, T., Satir, M., Sevin, D. & Türkecan, A. (1996). Batı Anadolu'daki Tersiyer ve kuvaterner yaşlı volkanik kayalarda yeni Yapılan radyometrik yaş ölçümlerinin yorumu. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) Dergisi* 119, 103-112.
- Ergin, M., Kadir, S., Keskin, Ş, Turhan-Akyüz, N. & Yaşar, D. (2007). Late quaternary climate and sea-level changes recorded in sediment composition of the Büyük Menderes Delta (eastern Aegean Sea, Turkey). *Quaternary International*, 167-168, 162-176. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2007.02.009>
- Erinç, S., (1954). *Orta Ege Bölgesi'nin Jeomorfolojisi* (Rapor no: 2217). Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara (Yayınlanmamış).
- Erkul, F. (2010) Tectonic significance of synextensional ductile shear zones within the Early Miocene Alacamdag granites, northwestern Turkey. *Geological Magazine*, 147(4), 611-637.
- Erkül F., Helvacı C., Ersoy Y., Sözbilir H., Erkül F., Sümer Ö. & Uzel B. (2009). Geochemistry And 40Ar/39Ar Geochronology Of Miocene Volcanic Rocks From The Karaburun Peninsula: Implications For Amphibole-Bearing Lithospheric Mantle Source, Western Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 185(3), 181-202. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2009.05.016>
- Erkül F.C. & Erkül S. T. (2010). Geology Of The Early Miocene Alaçamdag (Dursunbey-Balıkesir) Magmatic Complex And Implications For The Western Anatolian Extensional Tectonics. *Bulletin of The Mineral Research and Exploration* 141, 1-25.
- Erol, O. (1982). *Batı Anadolu genç tektoniğinin jeomorfolojik sonuçları*. Türkiye Jeoloji Kurumu, Batı Anadolu'nun Genç Tektoniği ve Volkanizması Paneli, Ankara, 15-21.
- Ersoy, Y. E., Helvacı, C. & Sözbilir, H. (2010). Tectono-Stratigraphic Evolution of the NE-SW-Trending Superimposed Selendi Basin: Implications for Late Cenozoic Crustal Extension in Western Anatolia, Turkey. *Tectonophysics*, 488(1-4), 210-232.
- Ersoy, Y. E., Helvacı C. & Palmer, M.R. (2011). Stratigraphic, structural and geochemical features of the NE-S W trending Neogene volcano-sedimentary basins in western Anatolia: implications for associations of supra-detachment and transtensional strike-slip basin formation in extensional tectonic setting. *Journal of Asian Earth Sciences*, 41(2), 159-183. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2010.12.012>
- Ersoy, E. Y., Çemen, İ., Helvacı, C. & Billor, Z. (2014). Tectono-stratigraphy of the Neogene basins in Western Turkey: Implications for tectonic evolution of the Aegean Extended Region. *Tectonophysics*, 635, 33-58.
- Ersoy, E. Y. & Helvacı, C. (2016). Geochemistry and Petrology of the Lower Miocene Bimodal Volcanic Units in the Tunçbilek-Domaniç Basin, Western Anatolia. *International Geology Review*, 58(10):1234-1252. <https://doi.org/10.1080/00206814.2016.1147385>.
- Eski, S., Sözbilir, H., Uzel, B., Özkaymak, Ç ve Sümer, Ö. (2020). Gölarmara Fayı'nın Morfotektonik Evriminin CBS Tabanlı Yöntemlerle Araştırılması, Gediz Grabeni, Batı Anadolu. *Geological Bulletin of Turkey*, 63, 345-372, <https://doi.org/10.25288/tjb.679584>
- Etzel, T. M., Catlos, E. & Çemen, İ. (2020). Documenting Exhumation in the Central and Northern Menderes Massif (Western Turkey): New Insights from Garnet-Based P-T Estimates and K-Feldspar 40Ar/39Ar Geochronology. *Lithosphere* 2020(1), Article 8818289. <https://doi.org/10.2113/2020/8818289>
- Eyidoğan, H. & Jackson, J. A., (1985), A seismological study of normal faulting in the Demirci, Alaşehir and Gediz earthquake of 1960–1970 in western Turkey: implications for the nature and geometry of deformation in the continental crust. *Geophysical Journal of Royal Astronomy Society* 81, 569–607.
- Eyübagil, A. E., Solak, H. İ., Kavak, U. S., Tiryakioğlu, İ., Sözbilir, H., Aktuğ, B. & Özkaymak, Ç. (2021). Present day strike-slip deformation within the southern part of the İzmir-Balıkesir Transfer Zone based on GNSS data and its implications for

- seismic hazard assessment in western Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 30(2), 143-160. <https://doi.org/10.3906/yer-2005-26>
- Faccenna, C., Jolivet, L., Piromallo, C. & Morelli, A. (2003). Subduction and the depth of convection in the Mediterranean mantle. *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 108, B2, 2099. <https://doi.org/10.1029/2001JB001690>
- Genç Ş. C. & Yılmaz Y. (2000). Aliğa dolayının jeolojisi ve genç tektoniği (Geology and young tectonics of the Aliğa region). *Batu Anadolu Depremselliği Simpozyumu (BAD-SEM) Bildiriler Kitabı* (s. 152-159), İzmir.
- Genç, C. Ş., Altunkaynak, Ş. Karacık, Z., Yazman, M. & Yılmaz, Y. (2001). The Çubukludağ graben, south of İzmir: its tectonic significance in the Neogene geological evolution of the western Anatolia. *Geodinamica Acta* 14(1-3), 45-55. [https://doi.org/10.1016/S0985-3111\(00\)01061-5](https://doi.org/10.1016/S0985-3111(00)01061-5)
- Gessner, K., Ring, U., Johnson, C., Hetzel, R., Passchier C. W. et al., (2001). An active bivergent rolling-hinge detachment system. Central Menderes metamorphic core complex in western Turkey. *Geology* 29, 611-614.
- Gessner, K., Gallardo, L.A., Markwitz, V., Ring, U., Thomson, S.N. (2013). What caused the denudation of the Menderes Massif: Review of crustal evolution, lithosphere structure, and dynamic topography in southwest Turkey. *Gondwana Research* 24, 243-274.
- Glodny J., Hetzel R., (2007). Precise U - Pb ages of syn-extensional Miocene intrusions in the central Menderes Massif, western Turkey. *Geological Magazine* 144: 235-246. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2013.01.005>.
- Göktaş, F. (1998). *Söke Havzasının Neojen ve Kuvaterner stratigrafisi* (Rapor no: 10222). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Göktaş, F. (2012). *Kemalpaşa-Torbalı (İzmir) havzası ile yakın çevresindeki Neojen-Kuvaterner tortullaşması ve magmatizmasının jeolojik etüdü* (Rapor No: 11575). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (unpublished).
- Göktaş, F. (2019). Stratigraphy of the Neogene Sedimentation and Volcanism in Çubukludağ Basin, Western Anatolia. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 62(1), 63-98, <https://doi.org/10.25288/tjb.521497>
- Görür, N., Sengör, A., Sakiç, M., Akkök, R., Yiğitbaş, E., Oktay, F., ... & Aykol, A. (1995). Rift formation in the Gökova region, southwest Anatolia: Implications for the opening of the Aegean Sea. *Geological Magazine*, 132(6), 637-650. <https://doi.org/10.1017/S0016756800018884>
- Gürer, Ö. F., Bozcu, M., Yılmaz, K. & Yılmaz, Y. (2001). Neogene Basin Development around Söke-Kuşadası (Western Anatolia) and Its Bearing on Tectonic Development of the Aegean Region. *Geodinamica Acta*, 14(1/2/3):57-69. [https://doi.org/10.1016/S0985-3111\(00\)01059-7](https://doi.org/10.1016/S0985-3111(00)01059-7)
- Gürer, Ö. F. & Yılmaz, Y. (2002). Geology of the Ören and surrounding areas SW Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences* 11, 1-13.
- Gürer, Ö. F., Sangu, E. & Özburan, M. (2006). Neotectonics of the SW Marmara region, NW Anatolia, Turkey. *Geological Magazine*, 143(2), 229-241.
- Gürer, Ö. F., Sarica-Filoreau, N., Özburan, M., Sangu, E. & Doğan, B. (2009). Progressive Development of the Büyük Menderes Graben Based on New Data, Western Turkey. *Geological Magazine*, 146(5):652-673.
- Gürer, Ö. F., Sangu, E., Özburan, M., Gürbüz, A. & Sarica-Filoreau, N. (2013). Complex basin evolution in the Gökova Gulf region: implications on the Late Cenozoic tectonics of southwest Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 102(8), 2199-2221.
- Gürer, Ö. F., Sangu, E., Özburan, M. Gürer, A. & Sınır, H. (2016). Plio-Quaternary kinematic development and paleo stress pattern of the Edremit Basin, Western Turkey. *Tectonophysics*, 679, 199-210. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2016.05.007>
- Gürer, Ö. F., Sangu, E., Gürer, A. & Akın, M. (2021). Late Cenozoic shift from extension to strike-slip stress regime in the west of the Biga Peninsula, NW Turkey. *Journal of Structural Geology*, 148, Article 104348.
- Gürer, F. Ö. (2023). A new look at the origin of N-S trending young basins of western Anatolia. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration* 170, 117-146. <https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.1066949>
- Hakyemez, H. Y., Erkal, T. & Göktaş, F. (1999). Late Quaternary evolution of the Gediz and Buyuk

- Menderes grabens, western Anatolia, Turkey. *Quaternary Science Reviews*, 18(4-5), 549-554. <https://doi.org/10.1016/S0277-3>.
- Hakyemez H. Y., Göktaş, F. & Erkal. T. (2013). Quaternary geology and Evolution of the Gediz Graben. *Geological Bulletin of Turkey*, 56(2),1-26. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tjb/issue/28126/298799>
- Hall. J., Aksu, A., Elitez, I., Yaltırak V. & Çiftçi, G. (2014). The Fethiye-Burdur Fault Zone; a component of upper plate extension of the subduction transform edge propagator fault, linking Hellenic and Cyprus Arcs, Eastern Mediterranean. *Tectonophysics*, 635, 80-99.
- Heineke, C., Hetzel, R., Nilius, N-P., Glotzbach, C., Akal, C., Christl, M. & Hampel, A. (2019). Spatial patterns of erosion and landscape evolution in a bivergent metamorphic core complex revealed by cosmogenic ¹⁰Be: The central Menderes Massif (western Turkey). *Geosphere*, 15(6) 1846-1868. <https://doi.org/10.1130/GES02013.1>
- Hetzel, R., Ring, U., Akal, C. & Troesch M. (1995). Miocene NNE-directed extensional unroofing in the Menderes Massif, southwestern Turkey. *Journal of the Geological Society London*, 152, 639-654.
- Hetzel, R. L., Romer, O. & Candan, C. W. (1998) Passchier, Geology of the Bozdağ area, central Menderes Massif, SW Turkey: Pan-African basement and Alpine deformation. *Geologische Rundschau* 87, 394-406.
- Hetzel, R., Zwingmann, H., Mulch, A., Gessner, K., Akal, C., Hampel, A., Güngör, T., Petschick, R., Mikes, T. & Wedin, F. (2013). Spatial and temporal Evolution of Brittle Normal Faulting and Fluid Infiltration in Detachment Fault Systems: A Case Study from the Menderes Massif, Western Turkey. *Tectonics*, 32(3), 364-376. <https://doi.org/10.1002/tect.20031>
- Işık, V. & O. Tekeli (2001). Late orogenic crustal extension in the northern Menderes Massif (western Turkey): evidence for metamorphic core complex formation. *International Journal of Earth Sciences*, 89(4), 757-765.
- İşseven, T., Tapırdamaz, M. C., Özçep, F., Hisarlı, M., Orbay, N. & Sanver, M. (1995). Kuzeybatı Anadolu 'nun tektoniği ve paleomanyetik sonuçlar. *Jeofizik Dergisi* 9.
- İztan, H. & Yazman, M. (1990). Geology and hydrocarbon potential of the Alaşehir (Manisa) area, Western Turkey (p. 327-338).. *Proceedings of an International Earth Sciences Congress on Aegean Regions, İzmir*.
- Jackson, J. & McKenzie, D. (1988a). The relationship between plate motions and seismic moment tensors, and the rates of active deformation in the Mediterranean and Middle East. *Geophysical Journal International*, 93(1), 45-73.
- Jackson, J. & McKenzie, D. (1988b). Rates of Active Deformation in the Aegean Sea and Surrounding Regions. *Basin Research*, 1(3),121-128. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2117.1988.tb00009.x>
- Jolivet, L. & Brun, J. P. (2010). Cenozoic Geodynamic Evolution of the Aegean. *International Journal of Earth Sciences*, 99(1):109-138. <https://doi.org/10.1007/s00531-008-0366-4>
- Jolivet, L., Facenna, C., Huet, B., Labrousse, L., et al. (2013). Aegean tectonics; strain localization slab tearing and trench retreat. *Tectonophysics*, 597-598, 1-33. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.06.011>
- Kahle, H-G., Cocarde, M., Peter, Y., Geiger, A., Reilinger, R., McClusky, S., King, R., Barka, A. & Veis, G. (1999). The GPS strain rate field in the Aegean Sea and western Anatolia. *Geophysical Research Letters*, 26(16). 2513-2516. <https://doi.org/10.1029/1999GL900403>
- Kamacı, Ö. & Altunkaynak, Ş. (2019). Cooling and deformation history of the Çataldağ metamorphic core complex (NW Turkey). *Journal of Asian Earth Sciences*, 172, 279-291.
- Karacık, Z. & Y. Yılmaz (1998). Geology of the ignimbrites and the associated volcano-plutonic complex of the Ezine area, northwestern Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85(1), 251-264. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(98\)00058-4](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(98)00058-4)
- Karacık, Z., Yılmaz, Y. & Pearce, J. A. (2007). The Dikili-Çandarlı volcanics, Western Turkey: magmatic interactions as recorded by petrographic and geochemical features. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16(4), 493-522.
- Karaoğlu, Ö., Helvacı, C. & Ersoy, Y. (2010), Petrogenesis and ⁴⁰Ar/³⁹Ar geochronology of the volcanic rocks of the Uşak-Güre basin, western

- Türkiye. *Lithos*, 119, 193–210. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2010.07.001>
- Karaoğlu Ö. & Helvacı C. (2012) Structural evolution of the Uşak-Güre supra-detachment basin during Miocene extensional denudation in western Turkey. *Journal of the Geological Society*, 169; 627-642, <https://doi.org/10.1144/0016-76492011-014>
- Kaymakçı, N., Aldanmaz, E., Langereis, C., Spell, T.L., Gürer, O.F. & Zanetti, K.A. (2007). Late Miocene transcurrent tectonics in NW Turkey: evidence from paleomagnetic and ⁴⁰Ar-³⁹Ar dating of alkaline volcanic rocks. *Geological Magazine*, 144(2), 699-718. <https://doi.org/10.1017/S0016756806003074>
- Kazancı, N., Gürbüz, A. & Boyraz, S. (2011). Büyük Menderes nehri'nin jeolojisi ve evrimi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 54(12), 25–56. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tjb/issue/46966/589505>
- Ketin İ. (1957). Kuzey Anadolu Deprem Fayı. *İTÜ Dergisi*, 15, 49–52.
- Kissel, C., Laj, C., Poisson, A. & Görür, N. (2003). Paleomagnetic reconstruction of the Cenozoic evolution of the eastern Mediterranean. *Tectonophysics*, 362, 199–217. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(02\)00638-8](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(02)00638-8)
- Koçyiğit, A., Ünay, E. & Saraç, G. (2000). Episodic graben formation and extensional neotectonic regime in west Central Anatolia and the Isparta Angle: a key study in the Akşehir-Afyon graben, Turkey. In: Bozkurt, E., Winchester, J.A. & Piper, J.D.A. (eds), *Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area*. Geological Society, London, *Special Publications*, 173, 405–421.
- Koçyiğit, A. (2005). The Denizli graben-horst system and the eastern limit of western Anatolian continental extension: basin fill, structure, deformational mode, throw amount and episodic evolutionary history, SW Turkey. *Geodinamica Acta* 18(3-4) (2005), 167–208.
- Koçyiğit, A. (2015). An overview on the main stratigraphic and structural features of a geothermal area: the case of Nazilli-Buharkent section of the Büyük Menderes Graben, SW Turkey. *Geodinamica Acta*, 27(2-3), 85-109.
- Koçyiğit, A., Yusufoglu, H. & Bozkurt, E. (1999). Evidence from the Gediz graben for episodic two-stage extension in western Turkey. *Geological Society, London*, 156, 605-616.
- Kokkolas, S., Xypolias, P., Koukouvelas, I. & Doutsos, T. (2006). Post collisional contractional and extensional deformation in the Aegean region. In Dilek, Y. & Pavlides, S. (eds.), *Postcollisional Tectonics and Magmatism in the Mediterranean Region and Asia. Special Papers of Geological Society of America*, 409, 97-123. <https://doi.org/10.1130/0-8137-2409-0.97>
- Konak, N., (2002). *1/500.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası İzmir Paftası*, (Şenel, M., (ed.). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Konak, N. ve Şenel, M., (2002). *1/500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Denizli Paftası* (Şenel, M., (ed.). MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Kraft J. C., Brüchner, H., Kayan, I. & Helmut, E. (2007). The geographies of Ancient Ephesus and Artemision in Anatolia. *Geomorphology*, 22, 121-149.
- Le Pichon, X. & Angelier, J. (1979). The Hellenic Arc and Trench System: A Key to the Neotectonic Evolution of the Eastern Mediterranean Area. *Tectonophysics*, 60, 1-42.
- Le Pichon X. & Angelier J. (1981) The Aegean Sea. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 300, 357–372. <https://doi.org/10.1098/rsta.1981.0069>
- Linnros, H., Hansman, R. & Ring, U. (2019). The 3D geometry of the Naxos detachment fault and the three-dimensional tectonic architecture of the Naxos metamorphic core complex, Aegean Sea, Greece. *International Journal of Earth Sciences*, 108, 287-300. <https://doi.org/10.1007/s00531-018-1654-2>
- Lips, A. L., Cassard, D., Sözbilir, H., Yılmaz, H. & Wijbrans, J. R. (2001). Multistage exhumation of the Menderes massif, western Anatolia (Turkey). *International Journal of Earth Sciences*, 89(4), 781-792. <https://doi.org/10.1007/s005310000101>
- Lister, G. S. & Davis, G. A. (1989). The origin of metamorphic core complexes and detachment faults formed during Tertiary Continental extension in the northern Colorado River region, USA. *Journal of Structural Geology*, 11, 65-94.

- Luttig, G. & Stefens, P. (1976). *Explanatory notes for the paleogeographic atlas of Turkey from the Oligocene to the Pleistocene*. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- McClusky, S., Balassania, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gürkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kalhe, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Adariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, M. N. & Veis, G. (2000). Global Positioning System constraints on plate kinematics and deformation in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research*, 105(B3), 5695-5719. <https://doi.org/10.1029/1999JB900351>
- McClusky, S., Reilinger, R., Mahmoud, S., Ben Sari, D. & Tealeb, A. (2003). GPS constraints on Africa (Nubia) and Arabia plate motion. *Geophysical Journal International*, 155(1), 126-138. <https://doi.org/10.1046/j.1365-246X.2003.02023.x>
- Maddy, D., Veldkamp, A., Demir, T., Aytac, A. S., School, J.M., Scaife, R., Boomer, I., Stemerink, C., Van DerSchriek, T., Aksay, S. & Lievens, C. (2020). Early Pleistocene River Terraces of the Gediz River, Turkey: The role of faulting, fracturing, volcanism and travertines in their genesis. *Geomorphology*, 358, Article 107102. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107102>
- McKenzie, D. (1972). Plate tectonics of the Mediterranean region. *Nature*, 226, 5242, 239-243.
- McKenzie, D. (1978). Active Tectonics of the Alpine-Himalayan Belt: The Aegean Sea and Surrounding Regions. *Geophysical Journal International*, 55(1):217-254.
- Meulenkamp, J. E., Wortel, M. J. R., van Wamel, W. A., Spakman, W. & Hoogerduyn Strating, E. (1988). On the Hellenic subduction zone and the geodynamical evolution of Crete since the late middle Miocene. *Tectonophysics*, 146, 203-215.
- Miller, J. M. & John, B.J., (1988). Detached strata in a Tertiary low-angle normal fault terrane, southeastern California: Asedimentary record of unroofing, breaching, and continued slip: *Geology*, 16, 645-648.
- MTA (2002). *Geological map series of Turkey, İzmir sheets, 1: 500 000 scale* (Compiled by Konak, N., edited by Şenel, M.). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/doc/IZMIR.pdf>
- MTA (2002). *Geological map series of Turkey, Denizli sheets, 1: 500 000 scale*. (Compiled by Konak, N. & Şenel, M., edited by Şenel, M.). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/doc/DENIZLI.pdf>
- MTA (2002). *Geological map series of Turkey, İstanbul sheets, 1: 500 000 scale* (Compiled by Türkecan, A. & Yurtsever, A., edited by Şenel, M.). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/doc/ISTANBUL.pdf>
- MTA (2010) Türkiye Diri Fay Haritaları Serisi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/yenilenmis-diri-fay-haritalari>
- Nilius, N. P., Glotzbach, C., Wölfler, A., Hampel, A., Dunkl, I., Akal, C., Heineke, C. & Hetzel, R. (2019). Exhumation history of the Aydın range and the role of the Büyük Menderes detachment system during bivergent extension of the central Menderes massif, western Turkey. *Journal of the Geological Society London*, 176, 704-726. <https://doi.org/10.1144/jgs2018-162>
- Ocakoğlu, F. (2020). Rapid Late Quaternary denudation of the Karacasu Graben in response to subsidence in the Büyük Menderes Corridor: Insights from morphotectonics and archaeogeology. *Geomorphology*, 357, Article 107107. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107107>
- Okay, A. I. & Satır, M. (2000). Coeval plutonism and metamorphism in a latest Oligocene metamorphic core complex in northwest Turkey. *Geological Magazine* 137(5), 495-516.
- Okay, A. & Siyako, M. (1993). The revised location of the İzmir-Ankara Suture in the region between Balıkesir and İzmir (in Turkish). In S. Turgut (ed.) *Ozan Sungurlu Symposium Proceedings, Tectonics and Hydrocarbon Potential of Anatolia and Surrounding Regions*, Ankara, 333-355.
- Orbay, M. N., Sanver, M., Özçep, F., İşseven, T., Hisarlı, Z. M. & Tapırdamaz, C. (2001). Batı Anadolu'nun Paleomağnetizması ve Jeodinamik Gelişimi. *Jeofizik*, 15, 125-142.

- Öner, Z. & Dilek, Y. (2011). Supradetachment basin evolution during continental extension: The Aegean province of western Anatolia, Turkey. *GSA Bulletin*, 123(11-12), 2115–2141. <https://doi.org/10.1130/B30468.1>
- Öner, Z. & Dilek, Y. (2012). Fault kinematics in supradetachment basin formation, Menderes core complex of western Turkey. *Tectonophysics*, 608, 1394-1412
- Özburan, M. & Gürer, Ö. F. (2012). Late Cenozoic polyphase deformation and basin development, Kütahya region, western Turkey. *International Geology Review*, 54, 12, 1401-1418.
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H. & Uzel, B. (2013). Neogene–Quaternary evolution of the Manisa Basin: Evidence for variation in the stress pattern of the İzmir-Balıkesir Transfer Zone, western Anatolia. *Journal of Geodynamics*, 65, 117-135.
- Özpolat, E., Yıldırım, C. & Görüm, T. (2020). The Quaternary landforms of the Büyük Menderes Graben System: the southern Menderes Massif, western Anatolia, Turkey. *Journal of Maps*, 16 (2), 405-419. <https://doi.org/10.1080/17445647.2020.1764874>
- Patton, S. (1992). Active normal faulting, drainage patterns and sedimentation in southwestern Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44, 189-229.
- Passchier, C. W., Wiplinger, G., Güngör, T., Kessener, P. & Sümelihiindi, G. (2013). Normal fault displacement dislocating a Roman aqueduct of Ephesos, western Turkey. *Terra Nova*, 25, 292-297. <https://doi.org/10.1111/ter.12035>
- Philippon, M., Brun, J-P., Gueydan, F. & Sokoutis, D. (2014). The interaction between Aegean back arc extension and Anatolia escape since Middle Miocene. *Tectonophysics*, 631, 176-188. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2014.04.039>
- Piper J. D. A., Moore, J. M., Tatar, O., Gürsoy, H. & Park, R. G. (1996). Palaeomagnetic study of crustal deformation across an intracontinental transform: the North Anatolian Fault Zone in Northern Turkey. *Geological Society, London, Special Publications*, 105(1), 299-310. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1996.105.01.26>
- Piper, J. D. A., Tatar, O. & Gürsoy, H., (1997). Deformational behavior of continental lithosphere deduced from block rotations across the North Anatolian fault zone in Turkey. *Earth and Planetary Science Letters*, 150(3-4), 191-203. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(97\)00103-9](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(97)00103-9)
- Piper, J. D. A., Gürsoy, H., Tatar, O., Beck, M.E., Rao, A., Koçbulut, F. & Mesci, B. L. (2010). Distributed neotectonic deformation in the Anatolides of Turkey: a palaeomagnetic analysis. *Tectonophysics*, 488(1-4), 31-50.
- Poyraz, F. & Hastaoğlu, K. Ö. (2020). Monitoring of tectonics movements of the Gediz graben by PSInSAR method and validation with GNSS results. *Arabian Journal of Geosciences*, 13, Article 844. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05834-5>
- Purvis, M. & Robertson, A.H.F. (2005). Sedimentation of the Neogene–Recent Alaşehir (Gediz) continental graben system used to test alternative tectonic models for western (Aegean) Turkey. *Sedimentary Geology*, 173, 373–408.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S. et al. (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, Article B05411. <https://doi.org/10.1029/2005JB004051>
- Rimmele, G., Parra, T., Goffé, B., Oberhansli, R., Jolivet, L. & Candan, O. (2005). Exhumation Paths of High-Pressure-Low-Temperature Metamorphic Rocks from the Lycian Nappes and the Menderes Massif (SW Turkey): a Multi-Equilibrium Approach. *Journal of Petrology*, 46(3), 641-669. <https://doi.org/10.1093/petrology/egh092>
- Ring, U., Brandon, M. T., Willet, S. D. & Lister, G. S. (1999). Exhumation Processes. In U. Ring, U., Brandon, M. T., Lister, G.S. & Willet, S. D. (Eds). *Exhumation Processes; Normal faulting, Ductile Flow and Erosion* (p. 1-27). *Geological Society, London, Special Publications*, 154.
- Ring, U., Will, T., Glodny, J., Kumerics, C., Gessner, K., Thomson, S. N., Güngör, T., Monie, P., Okrusch, M. & Drüppel, K. (2000). Early exhumation of high-pressure rocks in extrusion wedges: the Cycladic blueschist unit in the eastern Aegean, Greece and Turkey. *Tectonics*, 26, 175.
- Ring, U. & Collins, A. S. (2005) U-PbSIMS dating of synkinematic granites: timing of core-complex

- formation in the northern Anatolide belt of western Turkey. *Journal of the Geological Society*, 162, 289-298, Part 2. <https://doi.org/10.1144/0016-764904-016>
- Ring, U., Will, T., Glodny, J., Kumerics, C., Gessner, K., Thomson, S., Güngör, T., Monié, P., Okrusch, M. & Drüppel, K. (2007). Early exhumation of highpressure rocks in extrusion wedges: Cycladic blueschist unit in the eastern Aegean, Greece, and Turkey. *Tectonics*, 26(2), Article TC2001.
- Rojay, B., Toprak, V., Demirci, C. & Süzen, L. (2005). Plio-Quaternary evolution of the Küçük Menderes Graben Southwestern Anatolia, Turkey. *Geodinamica Acta*, 18, 317–331.
- Rossetti, F., Asti, R., Facenna, C., Gerdes, A., Lucci, F. & Theye, T., (2017). Magmatism and crustal extension: Constraining activation of the ductile shearing along the Gediz detachment, Menderes Massif (western Turkey). *Lithos*, 282, 145-162.
- Sakellariou, D. & Tsampouraki-Kraunak. (2019). Plio-Quaternary Extension and Strike slip Tectonics in the Aegean, Chapter 14. In Duarte, J. C. (ed) *Transform Plate Boundaries and Fracture Zones* (pp 339-374). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812064-4.00014-1>
- Sangu, E., Ö. F. Gürer & A. Gürer (2020). Fault kinematic and Plio-Quaternary paleo stress evolution of the Bakırçay Basin, Western Turkey. *International Geology Review*, 62(10), 1245-1261. <https://doi.org/10.1080/00206814.2019.1642148>
- 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. *Geological Journal*, 35(1), 1–24.
- Sert, S. & Çemen, İ. (2014). Stratigraphy and Structural Geology of the Eastern Part of the Büyük Menderes Graben, Western Turkey Based on 2-D Seismic Reflection Profiles. *Conference: AAPG Annual Convention and Exhibition Volume: AAPG Data pages/Search and Discovery*. Article #90216
- Seyitoğlu G. (1997). Late Cenozoic tectono-sedimentary development of the 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(2), 163-175. <https://doi.org/10.1017/S0016756897006705>
- Seyitoğlu, G. & Scott, B. C. (1992). The age of the Büyük Menderes Graben (west Turkey) and its tectonic implications. *Geological Magazine*, 129(2), 239-242. <https://doi.org/10.1017/S001675680000830X>
- Seyitoğlu G. & Scott B.C. (1996). Age of Alaşehir graben (west Turkey) and its tectonic implications. *Geological Journal*, 31, 1–11. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1034\(199603\)31:1%3C1::AID-GJ688%3E3.0.CO;2-S](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1034(199603)31:1%3C1::AID-GJ688%3E3.0.CO;2-S)
- Seyitoğlu, G., Tekeli, O., Çemen, İ., Şen, Ş. & Işık, V. (2002). The role of the flexural rotation / rolling hinge model in the tectonic evolution of the Alaşehir graben, western Turkey. *Geological Magazine*, 139, 15-26.
- Seyitoğlu, G., Işık, V. & Çemen, İ. (2004). Complete Tertiary exhumation history of the Menderes massif, western Turkey: a working hypothesis. *Terra Nova* 16, 358-364.
- Seyitoğlu, G., Alçiçek, C. M., Işık, V., et al. (2009). The Stratigraphical Position of Kemiklitepe Fossil Locality (Eşme, Uşak) Revised: Implications for the Late Cenozoic Sedimentary Basin Development and Extensional Tectonics in Western Turkey. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen*, 251(1):1-15.
- Seyitoğlu, G., Işık, V. & Esat, K. (2014). A 3D model for the formation of turtleback surfaces: the Horzum Turtleback of western Turkey as a case study. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 23, 479-494.
- Sözbilir, H. (2001). Extensional tectonics and the geometry of related macroscopic structures: field evidence from the Gediz detachment, western Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 10(2), 51-67.
- Sözbilir, H., (2002). Geometry and Origin of Folding in the Neogene Sediments of the Gediz Graben, Western Anatolia, Turkey. *Geodinamica Acta*, 15(5/6): 277-288. <https://doi.org/10.1080/09853111.2002.10510761>
- Sözbilir, H., Sarı, B., Uzel, B., Sümer, Ö. & Akkiraz, S. (2011). Tectonic implications of transtensional supradetachment basin development in an extension-parallel transfer zone: the Kocaçay Basin, Western Anatolia, Turkey. *Basin Research* 23(4), 423-446. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2117.2010.00496.x>

- 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.
- Spakman, W., Wortel, M. J. R. & Vlaar, N. J. (1988). The Hellenic subduction zone: A tomographic image and its geodynamic implications, *Geophysical Research Letters*, 15(1), 60–63. <https://doi.org/10.1029/GL015i001p00060>
- Steininger, F. F., Roegl, F. & Dermitzakis M. (1987). Report on the round-table discussion: “Mediterranean and Paratethys Correlations,” *Annals of the Hungarian Geological Institute*, 70, 397–421
- Sümer, Ö., İnci, U. & Sözbilir, H. (2013). Tectonic evolution of the Söke Basin: Extension-dominated transtensional basin formation in western part of the Büyük Menderes Graben, Western Anatolia. *Turkey. Journal of Geodynamics*, 65, 148–175.
- Sümer, Ö., Uzel, B., Özkaymak, Ç. & Sözbilir H (2018). Kinematics of the Havran-Balıkesir Fault Zone and its implication on geodynamic evolution of the southern Marmara region, NW Anatolia. *Geodinamica Acta* 30, 306-323.
- Sümer, Ö., Sözbilir, H. & Uzel, B. (2020). Evolving from supra-detachment to rift basin in rolling hinge model of the Büyük Menderes graben. *Geological Bulletin of Turkey* 63(3), 241-276. <https://doi.org/10.25288/tjb.562552>
- Şaroğlu, F. & Yılmaz, Y. (1987). Geological evolution and basin models during neotectonic episode in the eastern Anatolia. *Mineral Research and Exploration Institute of Turkey (MTA) Bulletin*, 107, 74-94
- Şaroğlu, F. ve Güler, B. (2020). Batı Anadolu tektonik kamasının güncel deformasyonu; batıya doğru kaçıştan kaynaklanan blok hareketleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 63(2), 161-194. <https://doi.org/10.25288/tjb.593423>
- Şengör, A. M. C. (1980). Mesozoic-Cenozoic tectonic evolution of Anatolia and surrounding regions. *Bull. Bur. Rech. Géol. Min. France*, 115, 1–137
- Şengör, A. M. C. & Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach, *Tectonophysics*, 75(3-4), 181–241. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(81\)90275-4](https://doi.org/10.1016/0040-1951(81)90275-4)
- Şengör, A. M. C., (1987). Cross-Faults and Differential Stretching of Hanging Walls in Regions of Low-Angle Normal Faulting: Examples from Western Turkey. *Geological Society, London, Special Publications*, 28(1):575-589.
- 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. In Biddle, K, Christie-Blick, N. (eds) *Strike-slip deformation, basin formation and sedimentation. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists (pp 227-264). Special Publications*, 37.
- Tan, O., Tapırdamaz, M. C. & Yörük, Y. (2008). The earthquake catalogues for Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17(2), 405–418.
- Taymaz, T., Jackson, J. & McKenzie, D. (1991). Active Tectonics of the North and Central Aegean Sea. *Geophysical Journal International*, 106(2), 433-490. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246x.1991.tb03906.x>
- Taymaz, T., Yılmaz, Y. & Dilek, Y. (2007). The geodynamics of the Aegean and Anatolia: Introduction. *Journal of the Geological Society London*, 291(1), 1-16.
- Taymaz, T., Tan, O. & Yolsal, S. (2008). Recent Devastating Earthquakes in Turkey and Active Tectonics of the Aegean and Marmara Seas. In Husebye, E.S. (eds) *Earthquake Monitoring and Seismic Hazard Mitigation in Balkan Countries. NATO Science Series: IV: Earth and Environmental Sciences*, 81. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6815-7_3
- Tiryakioğlu, I., Umutlu, A. İ. & Poyraz, F. (2019). Determination of earthquake recurrence periods by Geodetic methods; Alaşehir region example. *Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering*, 19(3): 762-768.
- Türesin, M. & Seyitoğlu, G. (2021). Alaşehir type-rolling hinge mechanism in the northern margin of the Büyük Menderes Graben; Evidence from seismic reflection and recent thermochronological data. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 30(3), 322-340. <https://doi.org/10.3906/yer-2003-2>
- Uzel, B., Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., Kaymakçı, Ç. & Langereis, C. G. (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. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2012.06.009>
- Uzel, B., Langereis, C. G., Kaymakçı, N., Sözbilir, H., Özkaymak, Ç. & Özkaptan, M. (2015). Paleomagnetic Evidence for an Inverse Rotation History of Western Anatolia during the Exhumation of Menderes Core Complex. *Earth and Planetary Science Letters*, 414, 108-125. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2015.01.008>
- Uzel, B., Sümer, Ö., Özkaptan, M., Özkaymak, Ç., Kuiper, K., Sözbilir, H., Kaymakçı, N., İnci, U. & Langereis C. G. (2017). Palaeomagnetic and geochronological evidence for a major middle Miocene unconformity in Söke Basin (western Anatolia) and its tectonic implications for the Aegean region. *Journal of the Geological Society London*, 174(4), 721-740.
- Uzel, B., Kuiper, K., Sözbilir, H., Kaymakçı, N., Langereis C. G. & Boehm K. (2020). Miocene geochronology and stratigraphy of western Anatolia: Insights from new Ar/Ar dataset, *Lithos*, 352, 105-305.
- Ünal A. & Altunkaynak, Ş. (2018). Nature and genesis of potassic high Ba Sr granitoids associated with syn-convergent extension, NW Turkey. *Lithos* 316, 261-277.
- Ünal A. & Altunkaynak, Ş. (2019). Interplay between volcanic and plutonic systems: A case study of the early Miocene Solarya Volcano-plutonic Complex in NW Anatolia (Turkey). *Journal of Asian Earth Sciences*, 179, 319-336.
- Ünal, A., Altunkaynak Ş., Kamacı, Ö., Dunkl I. & Benowitz, J. H. (2019). The emplacement history of granitic intrusions into upper crust; Forceful to passive emplacement of the early Miocene Salarya Pluton (NW Turkey) as a case study. *Journal of Asian Earth Sciences*, 183, Article 103973.
- Ünay, E., Göktaş, F., Hakyemez, H.Y., Avşar, M. & Şan, Ö. (1995). Dating of the sediments exposed at the northern part of the Büyük Menderes graben (Turkey) on the basis of Arvicolidae (Rodentia, Mammalia). *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 38(2), 75-80. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/1301141feffabac_ek.pdf?dergi=T
- Ünay, E. & Göktaş, F., (1999). Söke Çevresi (Aydın) Geç Erken Miyosen ve Kuvaterner yaşlı küçük Memelileri: Ön Sonuçlar. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 42(2), 99-113 (in Turkish)
- van Hinsbergen, D. J. J. (2010). A key extensional metamorphic complex reviewed and restored: the Menderes Massif of western Turkey. *Earth-Science Reviews*, 102(1-2), 60-76. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2010.05.005>
- van Hinsbergen, D. J. J., Kaymakçı, N., Spakman, W. & Torsvik, T. H. (2010). Reconciling the geological history of western Turkey with plate circuits and mantle tomography. *Earth and Planetary Science Letters*, 297(3-4), 674-686.
- van Hinsbergen, D. J. J. & Schmid, S. M. (2012). Map view restoration of Aegean–West Anatolian accretion and extension since the Eocene. *Tectonics*, 31, Article TC5005. <https://doi.org/10.1029/2012TC003132>
- Verge, N. J. (1993). Oligo-Miocene orogenic collapse tectonics in western Anatolia and the extensional exhumation of the Menderes Massif metamorphic-core-complex. In Seranne, M. & Malavielle, J. (eds), *Late Orogenic Extension in Mountain Belts* (pp 219-222). *Documents des Bureau de Resherches Geologique et Minieres, France*.
- Wallace, L. M., Ellis, M. & Mann, P. (2008). Global examples and numerical modelling of the tectonics response to localized collision in subduction setting; rapid tectonics block rotation, arc curvature, and back-arc rifting. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems. IOP Conference Series earth and environmental science* 2
- Westerveel, J., Uzel, B., Langereis, C.G. Kaymakçı, N. & Sözbilir, H. (2020). Paleomagnetism of the Miocene Soma basin and its structural implications on the central sector of a crustal-scale transfer zone in western Anatolia (Turkey). *Journal of Asian Earth Sciences*, 193, Article 104305. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2020.104305>
- Westaway, R., Guillou H., Yurtmen, S., Demir, T., Scaillet, S. & Rowbotham, G. (2005). Constraints on the timing and regional conditions at the start of the present phase of crustal extension in western Turkey, from observations in and around the Denizli region. *Geodinamica Acta* 18(3-4), 209-238. <https://doi.org/10.3166/ga.18.209-238>
- Wölfler, A., Glotzbach, C., Heineke, C., Nilius, N.P., Hetzel, R., Hampel, A., Akal, C., Dunkl, I. & Christl, M. (2017). Late Cenozoic cooling history of the central Menderes Massif: Timing of the Büyük Menderes detachment and the relative contribution of normal faulting and erosion to rock exhumation. *Tectonophysics*, 717, 585–598.

- Wortel, M. J. R. & Spakman, W. (2000). Subduction and slab detachment in the Mediterranean-Carpathian region. *Science* 290(5498), 1910-1917. <https://doi.org/10.1126/science.290.5498.1910>
- Yerli, B., Softa, M. & Sözbilir, H. (2021). Morphometric and Kinematic Analysis of Gumuldur Fault and Its Seismotectonic Implications for Western Anatolia. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 64(3), 349-382. <https://doi.org/10.25288/tjb.846813>
- Yılmaz, Y. (1989). An approach to the origin of young volcanic rocks of western Turkey, In Şengör, A.M.C. (Ed), *Tectonic Evolution of the Tethyan Region*. Kluwer Academic Publication, The Hague, 159-189.
- Yılmaz, Y. (1989). An Approach to the Origin of Young Volcanic Rocks of Western Turkey. In: Şengör, A.M.C. (eds) *Tectonic Evolution of the Tethyan Region* (p. 159-189). NATO ASI Series, vol 259. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-009-2253-2_10
- Yılmaz, Y. (1997). Geology of Western Anatolia. In Schindler, C. & Pfister M. (ed.), *Active tectonics of Northwestern Anatolia-Marmara Poly-Project* (pp.3153). Vdf. Honchschulerlag AG an der ETH. Zurich.
- Yılmaz, Y., Genç, Ş. C., Yiğitbaş, E., Bozcu, M. & Yılmaz, K. (1995). Geological evolution of the late Mesozoic continental margin of Northwestern Anatolia. *Tectonophysics* 243, 155-171.
- Yılmaz, Y., Genç, Ş. C., Gürer, Ö.F., Karacık, Z., Altunkaynak, S., Bozcu, M., Yılmaz, K. & Elmas, A. (1999). Ege Denizi ve Ege bölgesinin jeolojisi ve evrimi. In Görür, N (Ed.), *Türkiye Denizleri* (pp. 211-337). Devlet Planlama Teşkilatı, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu yayını, Ankara.
- Yılmaz, Y., Genç, Ş. C., Gürer, Ö. F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., Altunkaynak, Ş. & Elmas, A. (2000). When did the western Anatolian grabens begin to develop? In E. Bozkurt, J. A. Winchester & J.D.A. Piper (Eds), *Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area*, *Journal of the Geological Society London, Special Publication*, 173, 353-384.
- Yılmaz, Y., Genç, C. G., Karacık, Z. & Altunkaynak, Ş. (2001). Two contrasting magmatic association of NW Anatolia and their tectonic significance. *Journal of Geodynamics*, 31(3), 243-271. [https://doi.org/10.1016/S0264-3707\(01\)00002-3](https://doi.org/10.1016/S0264-3707(01)00002-3)
- Yılmaz, Y. & Karacık, Z. (2001). Geology of the northern side of the Gulf of Edremit and its tectonic significance for the development of the Aegean grabens. *Geodinamica Acta*, 14 (1-3), 31-43.
- Yılmaz, Y., Bozcu, M., Altunkaynak, Ş., Karacık, Z., Yılmaz, K., Genç, Ş. & Gürer, Ö. F. (2001). *Güllük Körfezi ve dolayının jeolojik-tektonik gelişimi ve bu bölgenin Kale-Tavas havzası ile ilişkilerinin araştırılması* (Proje no: 199Y073). TÜBİTAK YDABÇAG.
- Yılmaz, Y. (2017a). Morphotectonic Development of Anatolia and the Surrounding Regions. In Çemen, İ. & Yılmaz, Y. (Eds) *Active Global Seismology: Neotectonics and Earthquake Potential of the Eastern Mediterranean Region* (pp. 11-91). *Geophysical Monograph, Series*, 225. American Geophysical Union, John Wiley & Sons, Inc. New York. <https://doi.org/10.1002/9781118944998.ch2>
- Yılmaz, Y. (2017b). Major Problems of western Anatolia. In Çemen, İ. & Yılmaz, Y. (eds), *Active Global Seismology: Neotectonics and Earthquake Potential of the Eastern Mediterranean Region* (pp. 141-186). *Geophysical Monograph Series*, 225. American Geophysical Union, John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Yılmaz, Y., Çemen, İ. & Yiğitbaş, E. (2022). Tectonics of eastern Anatolian Plateau; Final stages of collisional orogeny in Anatolia. American Geophysical Union by John Wiley & sons Inc.-100 (in press) <https://doi.org/10.1002/essoar.10510307.1>
- Yılmaz, Y. & Gürer, Ö. F. (2023). Tectonic development of western Anatolian extensional province. *International Geology Review*, <https://doi.org/10.1080/00206814.2023.2209865>
- Yolsal-Cevikbilen, S., Taymaz, T. & Helvacı, C. (2014). Earthquake mechanisms in the Gulfs of Gökova, Sığacık, Kuşadası, and the Simav Region (western Turkey): Neotectonics, seismotectonics and geodynamic implications. *Tectonophysics*, 635, 100-124. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2014.05.001>
- Zanchi, A., Kissel, C., Tapırdamaz, C. (1993). Late Cenozoic and Quaternary brittle continental deformation in western Turkey. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 164(4) 507-517.