



## 17-20 Ekim 2005-Sığacık Körfezi (İzmir) depremlerinin sismik jeomorfolojisi ve bölgedeki gerilme alanları ile ilişkisi, Batı Anadolu

*The Seismic geomorphology of the Sığacık Gulf (İzmir) earthquakes of October 17 to 20, 2005 and their relationships with the stress field of their Western Anatolian region.*

**Hasan SÖZBİLİR<sup>1</sup>, Ökmen SÜMER<sup>1</sup>, Bora UZEL<sup>1</sup>, Yalçın ERSOY<sup>1</sup>, Fuat ERKÜL<sup>2</sup>, Uğur İNCİ<sup>1</sup>, Cahit HELVACI<sup>1</sup>, Çağlar ÖZKAYMAK<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Tınaztepe Kampüsü 35060, Buca-İZMİR

<sup>2</sup>Akdeniz Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 07058 Antalya

e-posta: hasan.sozbilir@deu.edu.tr

### ÖZ

İzmir ili ve çevresi İzmir-Balıkesir Transfer Zonu olarak bilinen doğrultu-atımlı faylarca baskın bir zayıflık zonu içinde yer alır. Bu zonun son aktivitesi 17-20 Ekim 2005-Sığacık körfezi depremleriyle kanıtlanmıştır. Bu çalışmada Sığacık Körfezi depremlerinin sismo-jeomorfolojik özelliklerinin bölgedeki aktif faylar ve gerilme dağılımlarıyla ilişkisi tartışılacaktır.

Ana şokları Sığacık Körfezi'nde 17-20 Ekim 2005 tarihlerinde olan orta büyüklükteki üç deprem (17 Ekim 2005, saat: 05.45, büyüklük Mw=5.4, 17 ekim 2005, saat: 09.46, büyüklük Mw=5.8 ve 20 Ekim 2005, saat: 21.40, büyüklük Mw=5.9) Sığacık Körfezi'nin kara kısmında sismik şok sırasında gelişmiş tortullaşmayla yaşıt biçim değiştirme yapılarının (sismitlerin) oluşmasına neden olmuştur. Bu yapılar depremlerden hemen sonra haritalanmış ve sismo-jeomorfolojik özelliklerine göre değerlendirilmiştir.

Tortullaşmayla yaşıt biçim değiştirme yapıları Urla Havzası güneyindeki Demircili Köyü ve Yumlu Çiftliği çevresinde tespit edilmiştir. Bu yapılar karasal tortullarla girik olan çakıllı ve kumlu plaj çökellerinde gelişmiştir. Sismitler KD-GB ve D-B doğrultulu çatlaklar ile sıvılaşmayla oluşmuş kum volkanlarından yapıldır. KD-GB doğrultulu çatlaklar onlarca cm ile birkaç m uzunluğundadır ve yerel olarak kaynaşmış geometri sunan kademeli bir şekle sahiptir. Bunlar ana fay segmentleri ile uyumlu olarak K40-70 D doğrultusunda uzanır. D-B doğrultulu kırıklar ise, Sığacık Körfezi'nin kıyı çizgisine paraleldir ve 8 cm'ye ulaşan eğim atım sunar. Yumlu çiftliğinde, sismik sarsılma nedeniyle KKD

doğrultusunda kılcal bir çatlak oluşmuştur. Bununla beraber, Gülbahçe Körfezi'nin batı kenarı üzerindeki fayın sıçrama alanında (stepover) da küçük ölçekli kitle hareketleri saptanmıştır.

Tortullaşmayla yaşıt biçim değiştirme yapıları sismik sarsılmaya atfedilmesine rağmen, KD/KB doğrultu atımlı faylar ve D-B oblik atımlı faylarla şekillenmiş olan tektonik çatıyla da zamansal ve alansal anlamda yakın bir ilişkiye sahiptir. İzmir depremlerinin ana ve artçı şoklarının negatif bir çiçek yapısı sunan bu tektonik çatıyla uyumluluk sunması bunun en belirgin kanıtıdır. Bu çiçek yapısı Kuvaterner yaşlı Urla Havzasını şekillendiren ve yukarı doğru-ıraksayan doğrultu atımlı fay kollarıyla baskın bir fay zonuyla karakteristiktir.

**Anahtar kelimeler:** Sismik jeomorfoloji, Çiçek yapısı, Sığacık depremleri, İzmir, Batı Anadolu

### **ABSTRACT**

*İzmir city and its surroundings are located in the strike-slip dominated zone of weakness known as the İzmir-Balikesir Transfer Zone. The latest activity of the zone was evidenced by the October-2005 Sığacık earthquakes. In this study, we merge the seismic geomorphological features of the İzmir earthquakes with the active faults and stress field of the region.*

*Three main shocks (17 October 2005 at 05:45,  $M_w=5.4$ ; 17 October at 09:46,  $M_w=5.8$  and 20 October at 21:40,  $M_w=5.9$ ) occurred in the Gulf of Sığacık synsedimentary structures to form. These structures have been mapped and evaluated with respect to their seismo-geomorphological features.*

*The syn-sedimentary deformational structures occur around Demircili village and Yumlu Farm to the south of the Urla Basin. These structures developed in recent sediments which comprise beach gravels and sands that interfinger with the river deposits. The seismites are composed of NE- and E-W-trending fractures and sand volcanoes due to liquefaction. NE-trending cracks are from tens of centimetres up to several metres long and display an en-echelon pattern that locally forms an anastomosing geometry. They trend  $N40-70^\circ E$  in accordance with main fault segments. E-W-trending cracks are oriented parallel to the coastline of the Sığacık Bay and have a dip-slip displacement up to a maximum of 8 cm. At Yumlu Farm, the shaking created a linear fissure that extends NNE in direction. To the north of the Urla Basin, we also observed a small-scale landslide that developed in the stepover area of the western margin of the basin.*

*Although syn-sedimentary deformational structures can be attributed to a simple seismic shaking, they appear to display a close spatial and temporal relationship with the tectonic framework of the region, shaped by NE/NW-trending strike-slip faults and E-W-trending oblique-slip normal faults of Quaternary age. The main events and aftershocks of the İzmir earthquakes clustered on this fault pattern, indicating a negative flower structure that is real evidence of earthquake related tectonic framework. This flower structure is characterized by an array of upward-diverging strike-slip dominated zone that shaped the Quaternary Urla Basin.*

**Key words:** Seismic geomorphology, Flower structure, Sığacık earthquakes, İzmir, western Anatolia

## GİRİŞ

Sismik jeomorfoloji deprem sırasında veya hemen sonrasında yeryüzünde/yeryüzüne yakın kesimlerde meydana gelen değişimleri/deformasyonları ve bu deformasyonların nedenlerini inceler (Dramis ve Blumetti, 2005). Sismik şoklar sırasında oluşan deformasyon yapıları aynı zamanda sismit olarak adlandırılır (Sims, 1975; Seilacher, 1984). Bu tür yapılar özellikle paleosismolojik çalışmalarda Holosen çökellerinde kullanılan eski deprem izlerine ait en önemli belirteçlerdir (McCalpin, 1996). Bu yapılar sismik olayın belirli bir magnitudün üstüne çıktığı durumlarda gelişir (Moretti ve diğ. 1999). Bu tür yapılara bakılarak eski depremlerin büyüklükleri konusunda fikir edinilebilir. Örneğin sıvılaşma ve kum volkanları ile daykların oluşumu en azından 5 büyüklüğündeki bir depremi öngörür (Atkinson, 1984; Rodriguez-Pascua ve diğ. 2000). Kum volkanlarının bir hat boyunca uzanması tabanda bir kum tabakasının olduğunu ve bu tabakadan belirli bir doğrultuda kum daykı şeklinde bir oluşumun geliştiğini göstermektedir. Bu tür oluşumların sismik şok sırasında geliştiği kabul edilmektedir (Audemard ve De Santis, 1991). Depremle ilişkili olarak gelişen bu yüzey şekilleri sismotektonik ve sismo-gravitasyonel olmak üzere iki ana sınıf altında incelenir (Tablo 1). Sismotektonik yüzey şekilleri tektonik streslere bağlı olarak gelişen yüzey kırığı ve çatlağı, yükselme-çökme ve uzunlamasına sırtlar şeklindeki yüzey deformasyonlarıdır. Sismo-gravitastonal yüzey şekilleri ise kitle hareketleri, kılcal çatlaklar ve sıvılaşma şeklindeki deformasyonlardır. Bu yapıların tanınması, haritalanması ve paleosismik analizi bir bölgenin

sismik risk analizinin ortaya çıkarılmasında çok önemlidir (Dramis ve Blumetti, 2005).

Batı Anadolu'da sismotektonik ve sismogravitasyonel yüzey deformasyonları oluşturan yıkıcı depremler tarihsel ve aletsel dönemde kaydedilmiştir (Şekil 1). Tarihsel dönemde yüzey deformasyonları sunan en önemli deprem 1899 Menderes depremidir (Altunel 1999). 28 Mart 1969'daki Alaşehir depremi sonrasında en uzun 12 km olan 6 adet yüzey kırığı haritalanmıştır (Arpat ve Bingöl, 1969; Temiz ve diğ. 1998). Yüzey deformasyonları oluşturan bir diğer deprem 1 Ekim 1995 Dinar depremidir (Koral, 2000). Mw=6.2 büyüklüğündeki Dinar depremine ait yüzey deformasyonları 10 km'lik KB-uzanımlı bir zon boyunca Öncel ve diğ. (1998) tarafından haritalanmıştır. İzmir ili ve çevresinde tarihsel dönemlerden beri yıkıcı depremler nedeniyle can ve mal kaybı olmuştur. İzmir körfezi ve çevresinde 496 BC ile 1949 AD arasında orta büyüklükte 20 adet yıkıcı deprem saptanmıştır (Altınok ve diğ. 2005). Bunlardan en önemlisi 10 Temmuz 1688 depremidir (Poirier ve Taher, 1980). Bu depremde İzmir şehrinin 2/3 ü hasar görmüştür. Bu depremi 1739'daki Foça ve 1788 yılındaki İzmir depremleri izler. Yaklaşık 50 yıllık periyotlarla birbirini izleyen bu üç depremden sonra, aletsel dönemde bölge; 1992-Doğanbey (6.0), 2003-Urla (5.7) ve 2005-Sığacık Körfezi (5.7, 5.8, 5.9) depremleriyle sarsılmıştır. Yukarıda da bahsedildiği gibi, Batı Anadolu'da ve özellikle çalışma alanının içerisinde bulunduğu İzmir ve çevresinde tarihsel dönemden günümüze kadar yüzey deformasyonu oluşturan depremlerin meydana geldiği bilinmektedir. Ancak bu depremlerin oluşturduğu yüzey deformasyonlarının detaylı analizi ve kayıt

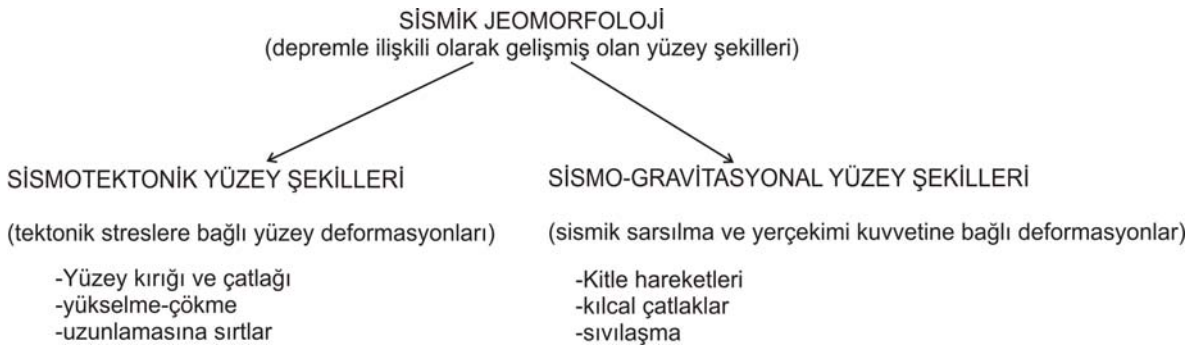
altına alınması ancak 20. Yüzyılın ortalarından sonra başlamış ve özellikle son yıllarda gelişmekte olan sismik jeomorfoloji teknikleri ile daha da önem kazanmıştır.

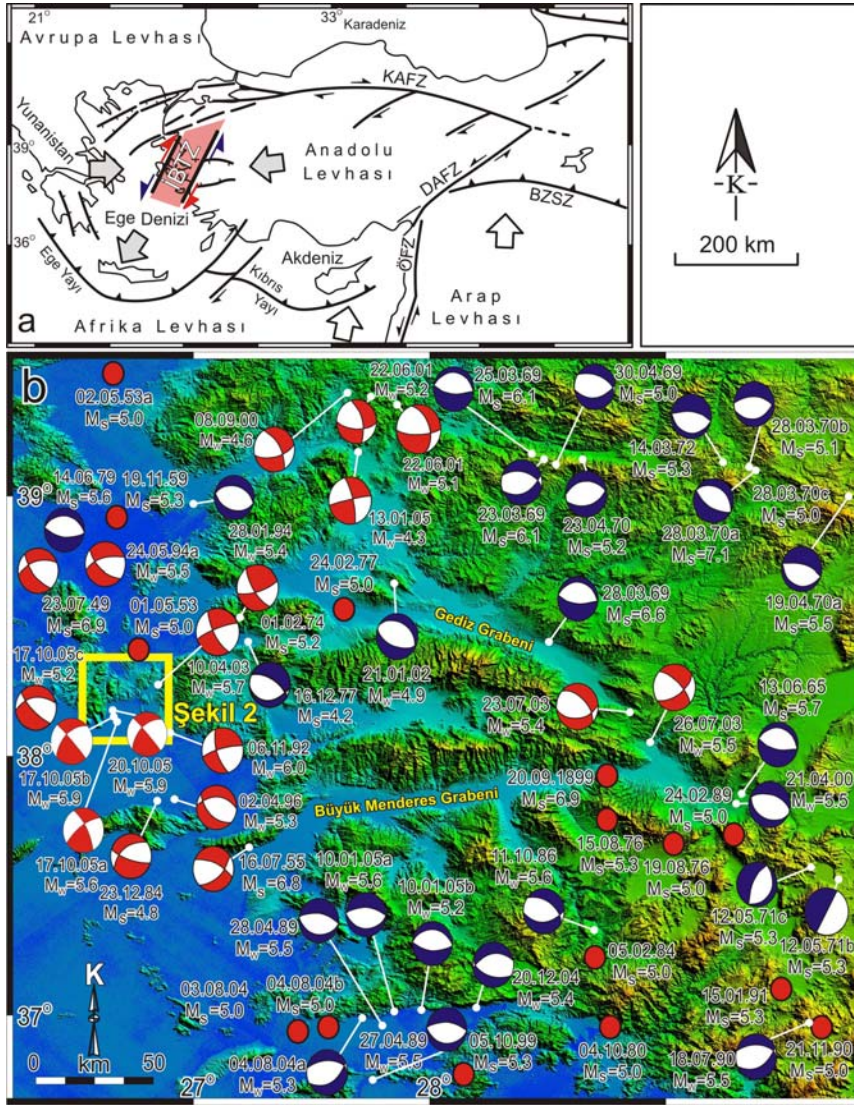
Bu çalışmada 17–20 Ekim 2005-Sığacık depremleri sırasında oluşan sismo-tektonik ve sismo-gravitasyonel yüzey şekilleriyle ilgili gözlemler ayrıntılı anlatılacak ve bu yapıların bölgedeki stres dağılımıyla ilişkisi tartışılacaktır. Bunun için 17 Ekim depremlerinden hemen sonraki 18 Ekim günü deprem odak noktalarına en yakın kara durumundaki Sığacık Körfezi-Demircili Koyu ve çevresi, Sığacık limanı, Gülbahçe ilçesi ve İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü-Gülbahçe Kampüsünde arazi çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen veriler değerlendirilirken 20 Ekim de 3. depremin olması nedeniyle 21 Ekim de yeniden arazi

çalışmasında bulunulmuş ve gözlenen yüzey deformasyonları haritalanmıştır. Yapılan incelemelerde, ilk iki depremde az hasar gören bazı yapıların duvarlarında yıkılmalar ve bacalarında devrilmeler gözlenmiş ve yüzey deformasyon zonunun daha da büyüyerek genişlediği saptanmıştır. Toplanan verilerin yeniden değerlendirilmesi aşamasında son depremden 15 gün sonra yeniden yüzey deformasyonlarının bulunduğu Demircili Koyu'na gidilmiş fakat deniz, rüzgâr ve yağmurun etkisiyle yüzey deformasyonlarına ait izlerin tamamen silindiği gözlenmiştir. Bu nedenle Ekim 2005-Sığacık Körfezi depremlerine ait yüzey deformasyonlarının bu çalışma yoluyla bilim dünyasına kazandırılması gerekli olmuştur.

**Tablo 1.** Depremlerle ilişkili olarak gelişmiş olan yüzey şekillerinin sınıflaması (Dravis ve Blumetti, 2005).

**Table 1.** Classification of landforms which developed in connection with earthquakes (Dramis ve Blumetti, 2005).





**Şekil 1.** a) Türkiye’deki depremlere neden olan ana fay zonları (Şengör ve diğ. 1985; Şengör, 1987; Reilinger ve diğ. 1997; Erkül diğ., 2005). İzmir ili ve çevresi İzmir-Balıkesir Transfer Fay Zonu (İBTZ) içinde kalmaktadır. KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, ÖFZ: Ölü Deniz Fay Zonu, BZSZ: Bitlis-Zagros Sütür Zonu. b) Batı Anadolu’da meydana gelmiş önemli depremlerin yeri ve odak mekanizma çözümleri (McKenzie 1978; Jackson ve diğ. 1982; Ambraseys, 1988; Altunel 1999; Ambraseys ve Jackson 1998; Ambraseys 2001; Tan ve Taymaz 2002, 2003; KOERİ; USGS; SED; MED NET; HARVARD; EMSC; EMRCMT). Batı Anadolu’nun büyük bir kesiminde D-B uzanımlı normal fayların deprem etkinliği baskınken, İzmir ile Balıkesir arasındaki depremlerin doğrultu atımlı faylardan kaynaklandığına dikkat ediniz.

**Figure 1.** (a) Main fault zones generating earthquakes in Turkey (Şengör et al., 1985; Şengör, 1987; Reilinger et al., 1997; Erkül et al., 2005). İzmir city and surroundings are located in the İzmir-Balıkesir Transfer Zonu (İBTZ). KAFZ: North Anatolian Fault Zone, DAFZ: East Anatolian Fault Zone, ÖFZ: Death Sea Fault Zone, BZSZ: Bitlis-Zagros Suture Zone. (b) Location of focal mechanism solutions of the main earthquakes in Western Anatolia (McKenzie 1978; Jackson ve diğ. 1982; Ambraseys, 1988; Altunel 1999; Ambraseys ve Jackson 1998; Ambraseys 2001; Tan ve Taymaz 2002, 2003; KOERİ; USGS; SED; MED NET; HARVARD; EMSC; EMRCMT). Note that although the earthquakes related to the E-W trending normal faults are dominant in most parts of Western Anatolia, the region between İzmir and Balıkesir cities is characterized by earthquakes generated by strike-slip faults.

## ÇALIŞMA ALANININ SİSMOTEKTONİK KONUSU

Batı Anadolu'nun da içinde yer aldığı Ege bölgesi Miyosen'den beri K-G doğrultusundaki genişleme kuvvetleri etkisinde şekil değiştiren bir kıtasal genişleme alanıdır (Le Pichon ve Angelier, 1981; Dewey ve Şengör, 1981; Şengör ve Yılmaz, 1981; Şengör ve diğ. 1985). Kuzey Anadolu fayı ve Doğu Anadolu fayı ile sınırlı olan Anadolu levhası Afrika ve Avrasya levhalarının yaklaşması nedeniyle yılda 2.0 cm hızla batıya doğru hareket etmektedir. Bu hareketin doğrultusu Ege bölgesindeki Akdeniz okyanusal litosferinin Hellenik yayı boyunca dalması nedeniyle KD-GB'dir (Reilinger ve diğ. 1997). Söz konusu dalma batma nedeniyle Ege Denizi ve çevresi, günümüzde yaklaşık K-G doğrultulu genişleme kuvvetleri etkisinde şekil değiştirmektedir (Bozkurt, 2001). Tarihsel dönemde meydana gelen 1688, 1739, 1778 İzmir; 926, 1595, 1664, 1845 Manisa; 1880 Menemen ve 1653, 1899 Büyük Menderes depremleri gibi yıkıcı depremler bölgenin yoğun olan sismik aktivitesini göstermektedir (Ergin ve diğ. 1967; Soysal ve diğ. 1981; Ambraseys 1988; Guidoboni ve diğ. 1994; Ambraseys ve Jackson 1998; Ambraseys ve Finkel 2003; Tan ve diğ. 2008). Aletsel dönemde de etkinliği devam eden sismik aktivitenin büyük çoğunluğu grabenleri sınırlayan D-B uzanımlı normal faylardan kaynaklanmaktadır (Şekil 1b). Fakat İzmir ve çevresinde son 15 yılda meydana gelen orta büyüklükteki üç depremin (1992-Doğanbey, 2003-Urula ve 2005-Sığacık Körfezi) odak mekanizma çözümleri İzmir ve çevresinin baskın olarak doğrultu atımlı fayların kontrolünde şekil değiştirdiğini göstermektedir (Şekil 1, Tan ve Taymaz, 2002; Zhu ve diğ. 2006; Akyol ve diğ. 2006; Benetatos ve diğ. 2006; Aktar ve diğ.

2007). Bu şekil değişikliği bölgesel ölçekte İzmir (Gümüldür) ve Balıkesir (Bigadiç) arasındaki kuşak boyunca uzanım sunan kabuksal ölçekteki transfer zonunun varlığıyla açıklanmaktadır (Sözbilir ve diğ. 2003a ve b; Sözbilir ve diğ. 2004; Emre ve diğ. 2005; Sözbilir ve diğ. 2005; Uzel ve Sözbilir, 2008; Özkaymak ve Sözbilir, 2008; Sözbilir ve diğ. 2008). Bu zonun doğu kenarı Kuşadası Körfezi-Torbalı-Kemalpaşa-Akhisar-Bigadiç hattı boyunca uzanır. Bu hat aynı zamanda D-B doğrultulu graben sistemlerinin KD-GB uzanımlı doğrultu atım havzalarına değiştiği çizgiye karşılık gelir. İzmir güneyindeki Seferihisar yükseltisi, Kemalpaşa güneyindeki Nif Dağı ve Manisa güneyindeki Spil Dağı bu zonun içinde kalmaktadır. Bu zon bölgesel ölçekte Bornova fliş zonunun uzanımına koşuttur. Okay ve diğ. (1996) Bornova fliş zonuna ait kayaların Kretase sonunda (65 Milyon yıl önce) KD doğrultulu bir transform fayı boyunca oluşmuş olabileceğini belirtir. Bu zonu sınırlayan fayların Miyosen öncesinde ve Miyosen'de aktif olduğuna dair veriler, sırasıyla, Kaya (1979) ve Ring ve diğ. (1999)'da verilmiştir. Aynı zonun Miyosen sonrasında günümüze değin aktif olduğuna dair arazi verileri Sözbilir ve diğ. (2003a ve b)'de sunulmuştur. Bu zon Pliyosen sonunda İzmir körfezi ve Gediz grabeninin batı ucunda gelişen D-B doğrultulu faylarla parçalanmaya başlamış, fakat Pliyo-Kuvaterner sonunda yeniden aktif hale geçerek Kuvaterner çökellerini kesmiş ve günümüzde de deprem üretecek doğrultu atımlı fayların gelişmesine neden olmuştur (Uzel ve Sözbilir, 2008; Özkaymak ve Sözbilir, 2008).

## URLA (İZMİR) VE ÇEVRESİNİN DEPREM ÜRETEN/ÜRETEBİLECEK DİRİ FAYLARI

İzmir ve yakın çevresinde depremsellikle ilgili yerbilimleri çalışmaları yok denecek kadar azdır.

İzmir ve Balıkesir arasında uzanan ve deprem üretmesi beklenen ana faylar, ilk kez Kaya (1979, 1981) de yayınlanmıştır. Yazar bu makalelerinde, K-G ve KD-GB uzanımlı fayların Paleojen yaşlı eski zayıflık zonlarının yeniden aktif hale geçmesiyle oluştuğunu belirtmektedir. Araştırmacıya göre, bu yapılar daha sonra Miyosen'den günümüze kadar değişik dönemlerde yeniden çalışmışlardır. Kaya yaptığı çalışmada bu fay hatları boyunca a) önemli ölçüde düşey hareket gözlemlendiğini, b) bunların Miyosen'de büyüme fayları şeklinde çalıştığını, c) Miyosen yaşlı tortul ve volkanik birimlerdeki kalınlık ve stratigrafik değişimlerinden sorumlu olduklarını, d) farklı yaş ve litolojideki yaşlı kayaların ana sınırlarına karşılık geldiklerini, e) Magmatik sokulum ve volkanik merkezlerin bu fay zonları boyunca dizildiğini, f) bu faylardan bazılarının farklı zamanlarda ve ters yönde yeniden aktif hale geçerek doğrultu atım bileşenli faylara dönüştüğünü gözlemiştir.

17-20 Ekim 2005-Sığacık depremlerinin meydana geldiği Sığacık Körfezi'nin kara kısmındaki Urla ilçesi ve çevresinde 2003-Urla depreminden önce yapılan haritalama çalışmaları sonucunda bölgede çok sayıda KD-GB, KB-GD ve K-G uzanımlı doğrultu atımlı fay haritalanmıştır (İnci ve diğ. 2003). Bu faylar arasında yaklaşık D-B uzanımlı ve daha küçük ölçekli oblik normal faylar da haritalanmıştır. Bu faylardan KD-GB uzanımlı olanlar sağ yönlü doğrultu atımlı, KB-GD uzanımlı olanlar ise sol yönlü doğrultu atımlı fay niteliğindedir. Öte yandan, DEÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü Piri Reis ve MTA Sismik-1 gemisinin İzmir ve Sığacık Körfezi açıklarında, Ege Denizi'nde, yaptıkları çalışmalar bulunmaktadır. MTA Sismik-1 gemisinin verileri Ocakoğlu ve diğ. (2004, 2005) de yayınlanmıştır. Bu makalelerde Ege Denizi içinde gözlenen faylar ortaya konmuş, fakat bu

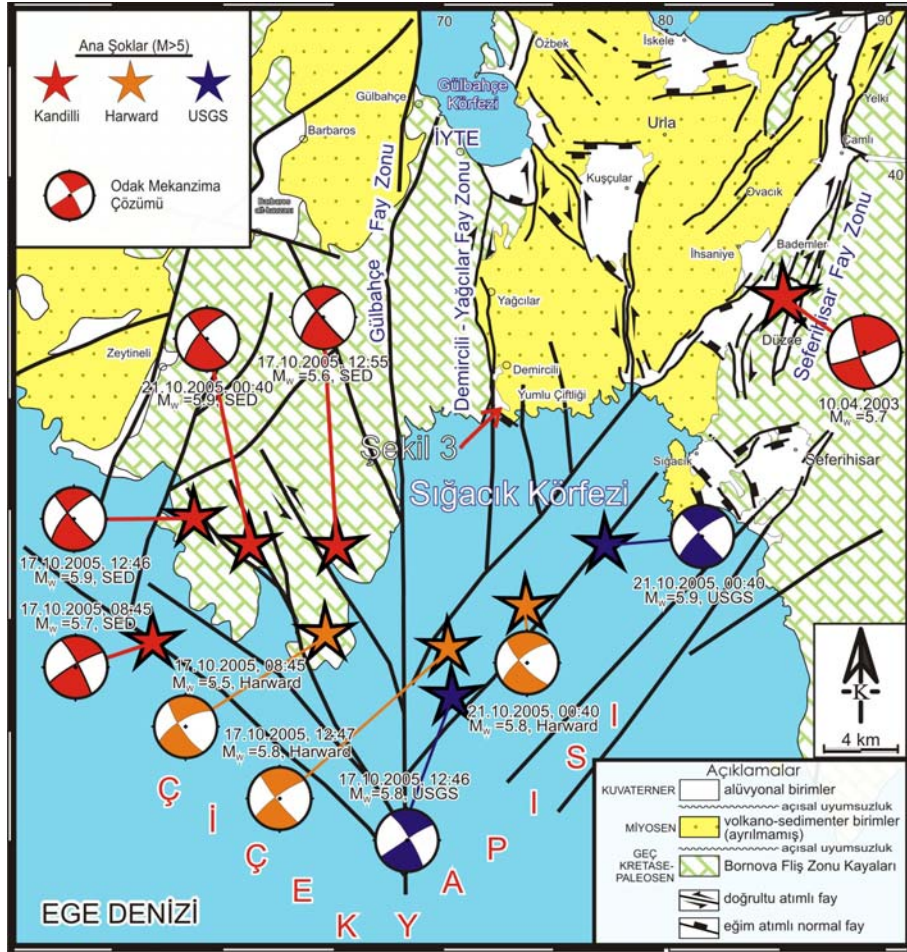
fayların karadaki devamlılıklarıyla ilgili sorunlar çözülememiştir.

Tarafımızdan haritalanan faylar Sığacık Körfezi'ndeki sismik verilerle birleştirildiğinde (Şekil 2), kuzeyden güneye doğru daralan 'V' şekilli bir yapının varlığı ortaya çıkar. Bu yapının yaklaşık eksenini üzerinde bulunan Urla İlçesi ve çevresi 2 milyon yıldan beri oluşmaya başlayan ve bu çalışmada Urla Havzası adı verilen genç bir havza içinde yer alır. Urla Havzası, batıdan ve doğudan Bornova fliş zonu (Okay ve diğ. 1996) veya Bornova karmaşığı (Erdoğan, 1990) adı verilen Üst Kretase-Paleosen yaşlı kaya topluluğuyla sınırlıdır. Bu kaya topluluğu fliş fasiyesindeki kırıntılı kayalar ve bu kayalar içindeki değişik boyut ve yaşlardaki serpantin, çört, diyabaz ve kireçtaşı bloklarından oluşur. Bornova karmaşığı Miyosen yaşlı volkanosedimanter bir istifte uyumsuzlukla örtülmüştür. Urla Havzası'na ait birimler Kuvaterner yaşlı eski ve yeni alüvyonlardır.

Urla Havzası'nın Yelki-Seferihisar hattı boyunca uzanan doğu kenarını Seferihisar Fay Zonu oluşturur. Fay zonu ortalama K20D gidişli, yaklaşık 2-3 km genişlikte ve 23 km uzunluğundadır. Fay zonu içinde, uzunlukları 1 ile 12 km arasında değişen çok sayıda doğrultu atımlı fay segmenti haritalanmıştır. Bu zon boyunca, (1) Kuvaterner çökellerini kesen yüksek eğimli fay yüzeyleri üzerinde yataya yakın fay çizikleri, (2) yanal yönde atılmış dereler ve (3) fay doğrultusu boyunca ötelenmiş alüvyon yelpazeleri gözlenir. Zon içindeki fayların bir kısmı eski alüvyon ile Bornova fliş zonu arasındadır, diğerleri ise eski alüvyonu keser ve yeni alüvyon ile dokanak yapar. 10 Nisan 2003 tarihindeki ana şok bu zonda gelişmiştir (Şekil 2). Urla Havzası'nın batı kenarı, 11 km uzunluğunda ve 2 km

genişliğindeki K-G doğrultulu Yağcılar-Demircili Fay Zonu'yla temsil edilir. Bu zon Demircili Köyü güneyinden başlar ve Kuzeye doğru Yağcılar Köyü'nden geçerek Gülbahçe Körfezi'ne kadar uzanır ve Bornova Fliş Zonu kayalarını Miyosen birimlerinden ayırır.

Seferihisar Fay Zonu ile Yağcılar-Demircili Fay Zonu güneye doğru Sığacık Körfezi içinde K-G uzanımlı Gülbahçe Fay Zonu ile KB-GD uzanımlı sol yönlü doğrultu atımlı faylarla çiçek yapısı oluşturacak şekilde birleşirler.



**Şekil 2.** a) Ekim-2005 ve Nisan-2003 depremlerinin ana şoklarını ve bu depremlere neden olan diri fayları gösteren jeoloji haritası. Değişik doğrultulardaki faylar Sığacık körfezinde birleşerek doğrultu atımlı faylara özgü çiçek yapısını oluşturmaktadır. Deprem verileri KOERİ, USGS, Harvard ve SED'den alınmıştır. Karada haritalanan fayların denizdeki uzanımları Ocakoğlu ve diğ. (2004-2005)'nin sismik kesitlerinden yararlanılarak yeniden çizilmiştir. İYTE: İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü.

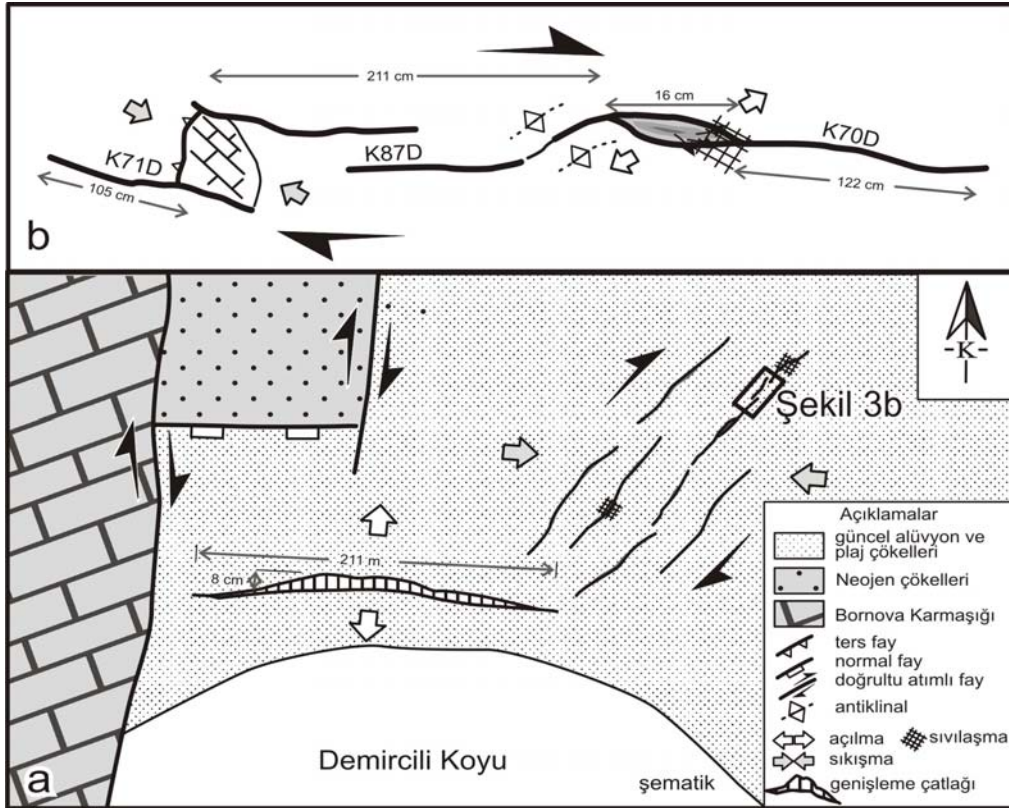
**Figure 2.** Geological map showing the main shocks and their active faults of the October-2005 and April-2003 earthquakes. Conjugating at the Sığacık Bay, differently striking faults form a flower structure which is a main characteristic of strike-slip faults. The earthquake data are from KOERİ, USGS, Harvard and SED. The marine continuity of the faults are re-mapped using the seismic sections of Ocakoğlu et al. (2004, 2005).



## EKİM 2005-SIĞACIK DEPREMLERİ'NİN SİSMİK JEOMORFOLOJİSİ VE ŞİDDETİ

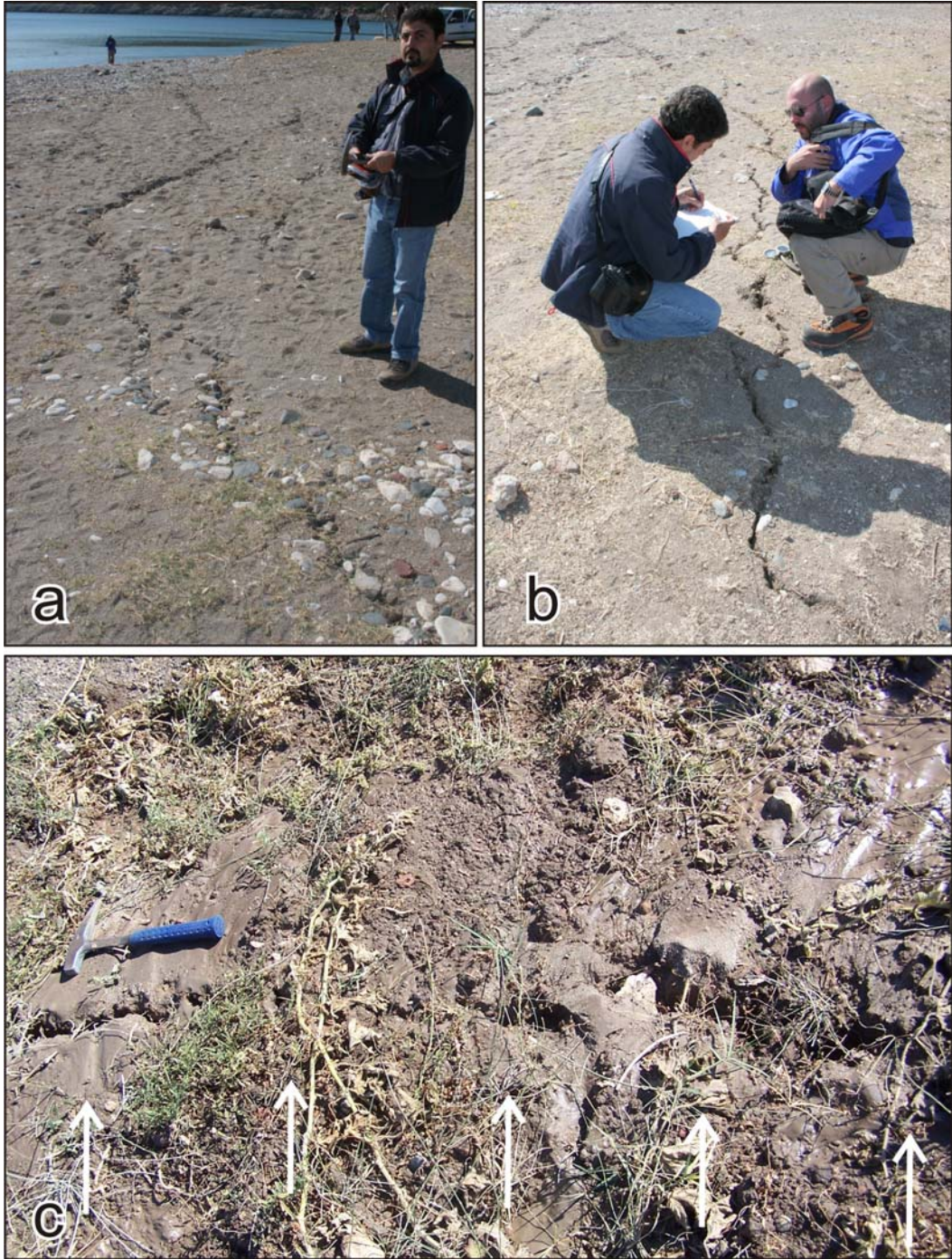
Sığacık Körfezi'nin kara kısmındaki bölgede 18-20 Ekim 2005 tarihlerinde yaptığımız incelemelerde, Demircili Koyu'ndan karaya doğru-Demircili Köyü'ne kadar uzanan bir zon boyunca oluşan yüzey deformasyonları gözlenmiş ve ayrıntılı incelenerek haritalanmıştır (Şekil 3). Yaptığımız incelemeler KD-GB deformasyon zonunun ortalama K45D doğrultusunda uzandığını göstermektedir (Şekil 3a). Çatlaklar ayrıntılı incelendiğinde cm

ölçeğinde kabarma ve çökmelerin olduğu gözlenmiş ve bu yapıları birbirine birleştiren çatlakların K70-87D arasında uzandığı saptanmıştır. Kademeli (en-echelon) dizilim sunan çatlaklar, deniz kıyısından Demircili Köyü'ne kadar kesintisiz izlenebilmiştir (Şekil 4a, b). Çatlakların Demircili Köyü'ne doğru olan devamlarında bazı kesimlerde sıvılaşma izlerine rastlanmıştır (Şekil 4c). Bunun yanı sıra sahile paralel olarak D-B doğrultulu ve eğim atım bileşeni olan kırıklar da oluşmuştur. 200 m kadar izlenebilen bu kırıklar üzerindeki düşey atım miktarı 8 cm olarak ölçülmüştür (Şekil 5).



Şekil 3. Ekim-2005 depremleri sırasında Demircili sahilinde oluşan yüzey deformasyonlarını gösteren arazi krokisi. KD-GB uzanımlı çatlaklar sağ yönlü doğrultu atımlı fay mekanizmasına uygun olacak şekilde gelişmişken, D-B uzanımlı hatlar eğim atımlı normal fay geometrisi sunmaktadır.

**Figure 3.** Field sketch for the surface deformations of the October-2005 earthquake in the Demircili inlet. NE-SW-trending cracks were developed in accordance with right-lateral strike-slip faulting, while the E-W-trending lines describe a dip-slip fault geometry.



**Şekil 4.** Demircili Koyu'nda gözlenen yüzey deformasyonları: a) ve b) KD-GB uzanımlı ve kademeli (en-echelon) dizimli çatlaklar ve c) bu çatlaklar üzerinde gelişmiş olan sıvılaşma izleri. Çekicinin ucundan doğuya doğru belirli bir hat boyunca yüzeye çıkan kum malzemesine dikkat ediniz.

**Figure 4.** Surface deformations in the Demircili inlet: (a) and (b) NE-SW-trending en-echelon cracks and (c) liquefaction prints on these cracks. Note that the sand materials which have reached the surface through a line from the spike of the hammer to the east.



Şekil 5. Demircili Koyu'nda gözlenen yüzey deformasyonları: a) ve b) Demircili Sahili'ne koşut olarak uzanan D-B uzanımlı çatlaklar ve c) bu çatlaklar boyunca 8 cm'ye ulaşan eğim atımının görüntüsü.

Figure 5. Surface deformations in the Demircili inlet: (a) and (b) E-W-trending cracks lying along the Demircili inlet and (c) a view of the dip-slip deformations reaching up to 8 cm along these cracks.

Ekim 2005 depremleri sırasında Sığacık Körfezi'nin hemen kuzeyinde bulunan Demircili Köyü ve Yumlu Çiftliği ile Gülbahçe Körfezi güneybatısındaki Gülbahçe ilçesi ve İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü binalarında orta-ağır nitelikte hasar meydana gelmiştir. Yapılan incelemelerde Demircili Köyü Kütüphanesi ve yakın civardaki sitelerdeki evlerin çoğunda önemli ölçüde hasar tespit edilmiştir. Bazı sitelerdeki villa tipi evlerde giriş bağlantılarında kaymalar gözlenmiş, duvarlarda çatlaklar oluşmuş ve bazı duvarlar yıkılmıştır (Şekil 6a ve b). Köy Kütüphanesi'nin duvarlarında makaslama çatlakları oluşmuş ve kütüphane içindeki raflar sıraların üzerine devrilmiştir (Şekil 6c). Köyün minaresinde düşey ekseninde kayma gözlenmiştir (Şekil 6d). Bazı villaların bahçe duvarlarında sağ yönlü ötelenmeler oluşmuştur (Şekil 6e). Benzer hasarlar doğuya doğru Yumlu Çiftliği'nde de saptanmıştır. Burada, denizden karaya doğru, K20D ve K-G doğrultusunda uzanan ve yüzeyde belirli aralıklarla 500 metre izlenebilen kılcal bir yüzey çatlağı saptanmıştır (Şekil 7a, b). Bu kırık üzerine inşa edilmiş sitelerdeki evler orta derecede hasar görmüş, duvarları makaslanmış ve bacaları devrilmiş/yıkılmıştır (Şekil 7c). Villaların oturduğu zeminde gelişen deformasyon (şekil değişikliği) nedeniyle villalar düşey ekseninde kayma göstermiştir. Deprem nedeniyle Sığacık limanındaki zeminde çökme ve yükselmeler oluşmuştur (Şekil 7d). Benzer hasarlar Gülbahçe'de ve İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nde ve Seferihisar ile Urla-Kuşçular çevresindeki bazı yapılarda da saptanmıştır. Buradaki binalarda makaslama çatlakları gelişmiş ve bazı kesimlerde kitle hareketleri-heyelan oluşmuştur (Şekil 8a-f). Bu veriler, Richter ölçeğine göre 5.3- 5.9 büyüklüğünde oluşan depremlerin hasar derecesinin Mercalli

şiddet ölçeğine göre VII şiddetine kadar yükselmiş olduğunu belirtir.

## **YÜZEY DEFORMASYONLARININ BÖLGEDEKİ GERİLME ALANLARI İLE İLİŞKİSİ**

Ocakoğlu ve diğ. (2005) Kuşadası/İzmir körfezlerinde yaptıkları çok kanallı sismik kesit çalışmalarına göre bölgede çok sayıda doğrultu atımlı fayın bulunduğunu ve bu fayların K-G genişleme ile D-B sıkışma kuvvetleri etkisinde geliştiğini belirtmişlerdir. 1992 - 2004 yılları arasında yapılan GPS ölçümlerine göre, İzmir Körfezi ve Karaburun Yarımadası'nın K-G genişleme ve D-B sıkışma kuvvetleri etkisinde şekil değiştirdiği saptanmıştır (Aktuğ ve Kılıçoğlu, 2006). Bu şekil değiştirme sağ-yönlü doğrultu atımlı faylanma ve saat yönündeki rotasyonla açıklanmaktadır. İzmir Körfezi ve çevresinde yapılan kinematik analiz çalışmaları da, bölgede Kuvaterner-Holosen döneminde KKD-GGB genişleme ve BKB-D-GD sıkışma olduğunu göstermektedir (Özkaymak ve Sözbilir, 2008; Uzel ve Sözbilir, 2008, Sözbilir ve diğ. 2008). Bu gerilim kuvvetleri etkisinde bölge, KD ve KB uzanımlı doğrultu atımlı faylar ile D-B uzanımlı normal fayların birlikte çalıştığı transtansiyonel tektonik rejim etkisinde şekil değiştirmektedir. Bölgenin günümüzde de yaklaşık K-G genişleme ve D-B sıkışma kuvvetleri etkisinde şekil değiştirdiği son depremlerden anlaşılmaktadır (Zhu ve diğ., 2006; Akyol ve Diğ., 2006, Aktar ve diğ., 2007).

17 - 20 Ekim 2005-Sığacık depremleri sırasında gelişen yüzey deformasyonlarına neden olan kuvvetlerin bölgedeki gerilme alanlarıyla yakın bir ilişki içinde olduğunu göstermiştir. Sığacık depremleri sırasında oluşan yüzey

deformasyonları iki doğrultuda uzanım sunmaktadır; (1) KD-GB ve (2) D-B. KD-GB uzanımli yüzey deformasyonları kademeli (en-echelon) dizimli açık çatlaklar ve kum daykları şeklindedir ve sola sıçrama yapan 2-5 m uzunluğundaki yapılardan oluşur (Şekil 3). D-B uzanımli hatlar ise sahile paralel olan eğim atımlı normal fay karakterindedir. Bu faylarda maksimum eğim atım 8 cm'dir (Şekil 3). Her iki

deformasyon türü birlikte değerlendirildiğinde, K-G genişleme ve D-B sıkışma kuvvetlerinin deprem sırasında etkin olduğu anlaşılmaktadır. Nitekim Aktar ve diğ. (2007)'nin çalışmasında artçı depremlerin yoğunlaştığı KD-GB uzanımli sağ yönlü doğrultu atımlı fay ile KB-GD uzanımli sol yönlü doğrultu atımlı fay benzer gerilme kuvvetlerine işaret etmektedir.



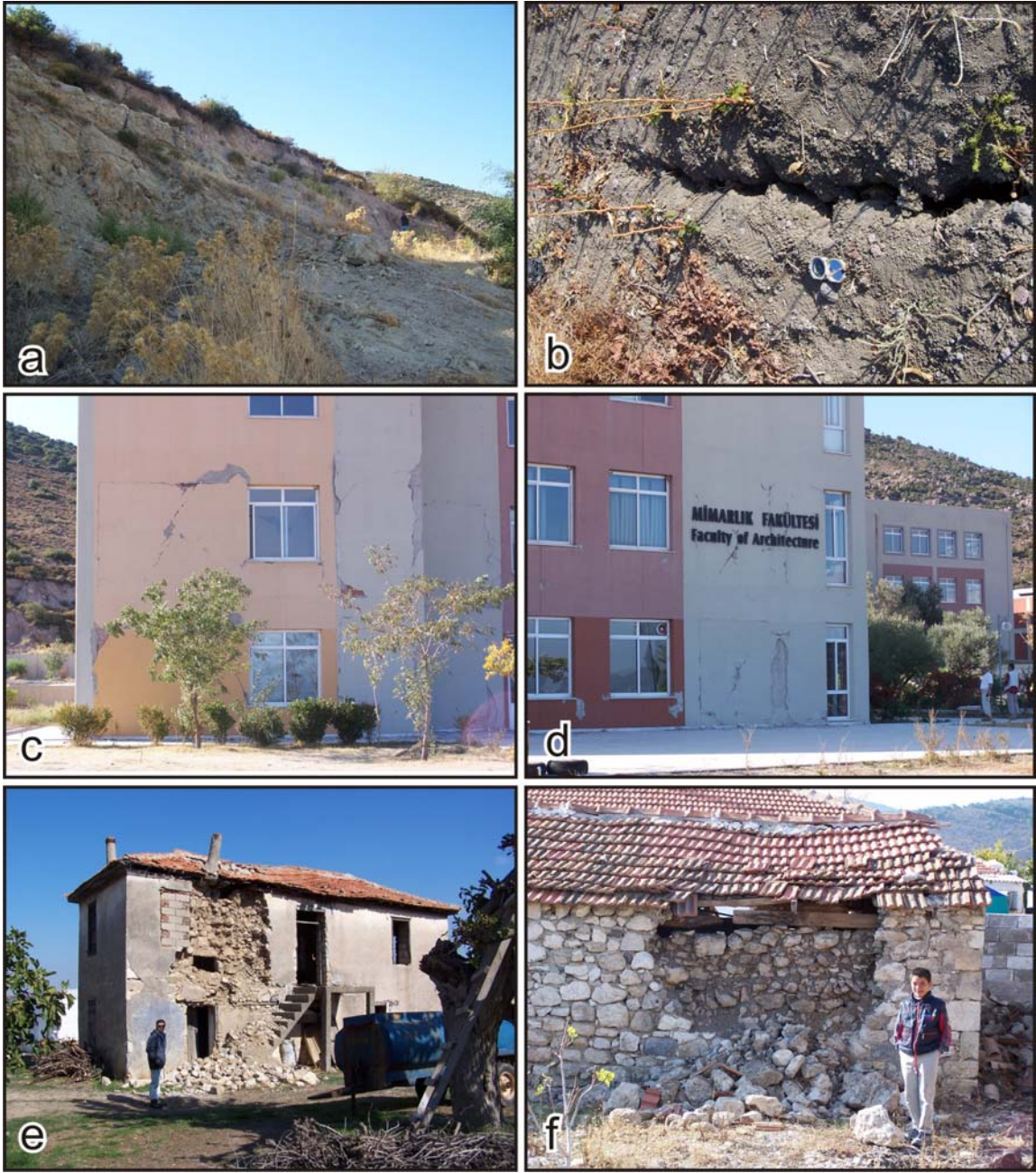
Şekil 6. Sığacık depremlerinin şiddet ölçüsünü belgeleyen hasarlar: a) ve b) villa tipi evlerde yıkılmış ve makaslanmış duvarlar, c) Sıraların üzerine devrilen Köy Kütüphanesi'nin rafları, d) Köyün minaresindeki düşey ekseninde kayma ve e) Bazı villaların bahçe duvarlarında gözlenen sağ yönlü ötelenmeler.

Figure 6. Damage which can be used to estimate the intensity degree of the Sığacık earthquake: (a) and (b) Broken down and sheared walls of the villa-type houses, (c) turned-down consoles of the village library, (d) vertical dislocations in the minaret of the village mosque, (e) right-lateral displacements on the closure of some villa-type houses.



**Şekil 7.** Sığacık depremlerinin şiddet ölçüsünü belgeleyen hasarlar: a) ve b) Yumlu Çiftliği'nde saptanan ve denizden karaya doğru 500 metre izlenebilen K20D ve K-G doğrultulu kılcal bir yüzey çatlağına ait görüntüler, c) Bu kırık üzerine inşa edilmiş sitelerdeki evlerin makaslanmış duvarları ve devrilmiş bacaları, d) Sığacık limanındaki zeminde oluşan çökme ve yükselmeler.

**Figure 7.** Damage which can be used to estimate the degree of intensity of the Sığacık earthquake: (a) and (b) field view of a N-20°E and N-S-directed surface fissure that is traced up to 500 m from the sea to the land, (c) sheared walls and turned-down chimney of the houses in a building complex lying on this crack, (d) collapse and swells that developed on the Sığacık harbor.



Şekil 8. Sığacık depremlerinin şiddet ölçüsünü belgeleyen hasarlar: a) İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Kampüsü'nün batı sınırında gelişmiş olan kitle hareketleri-heyelan, b) Gülbahçe İlçesi'ndeki tarlalarda deprem sırasında oluşan K-G uzanımlı açık çatlaklar, c) ve d) İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mimarlık Fakültesi binasındaki duvarlarda oluşan makaslama çatlakları, e) ve f) Uzunkuyu köyündeki taş evlerin duvarlarında saptanan hasarlar.

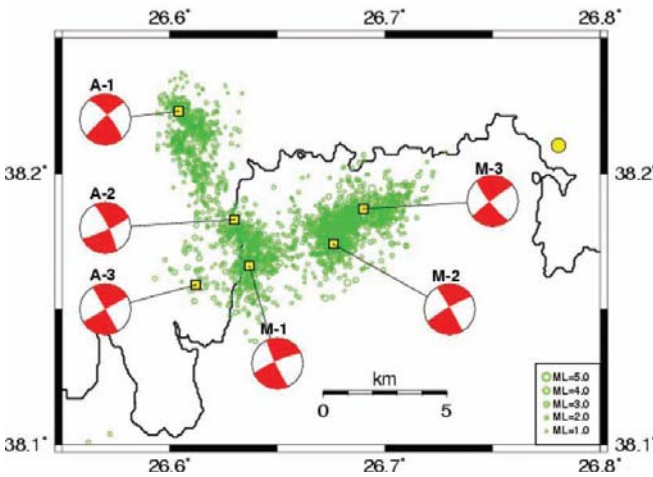
**Figure 8.** Damage which can be used to estimate the degree of intensity of the Sığacık earthquake: (a) mass-movements and landslide that developed at the western part of the İzmir Institute of Technology Campus, (b) N-S-directed open cracks that developed in the arable fields in Gülbahçe during the earthquake, (c) and (d) Shearing cracks on the walls of the architecture faculty of the İzmir Institute of Technology, (e) and (f) wall-damage to the houses of Uzunkuyu village.

## 17-20 EKİM 2005-SIĞACIK DEPREMLERİNİ OLUŞTURAN FAYLAR

Kandilli Deprem Araştırma Enstitüsü 17-20 Ekim 2005-Sığacık Körfezi depremlerinin deprem dizileri şeklinde geliştiğini ileri sürmüştür. Emre ve diğ. (2005) bu durumu K-G doğrultulu Gülbahçe Fayı'nın parçalı kırılmasına bağlamış, Utku (2005) ise olası ikincil fay zonlarının birbirine paralel gelişen kırılmaları şeklinde teorik bir yaklaşımda bulunmuştur. Sözbilir ve diğ. (2005) yukarıdaki görüşlerin aksine, 2005 deprem dizilerinin, Karaburun yarımadası ile Seferihisar yükseltisi arasında kalan bölgedeki faylarda gelişmiş olan **"negatif çiçek yapısı"**ndan kaynaklandığını belirtmiştir (Şekil 2). Bu çiçek yapısı; doğrultu atımlı faylanmanın önemli özelliklerinden biri olan ve ana faya bağlı fay parçacıklarının yüzeye doğru dallanarak, çiçek kesitine benzeyen bir görünüm sunması şeklinde açıklanabilir. Gülbahçe Fayı ile Seferihisar Fayı arasında haritalanan Urla havzası bu çiçek yapısı üzerinde gelişmiştir. Bu çiçek yapısı içinde, KD-GB doğrultulu, K-G ve KB-GD doğrultulu diri fay parçaları da haritalanmıştır. Arazi verileri depremler sırasındaki kırılmaların, birbirleriyle bağlantılı ve

farklı doğrultulardaki diri fay segmentleri üzerinde geliştiğini göstermektedir (Şekil 2).

Ana şokları Sığacık Körfezi'nde 17-20 Ekim 2005 tarihlerinde olan orta büyüklükteki üç deprem (17 Ekim 2005, saat: 05.45, büyüklük  $M_w=5.4$ , 17 ekim 2005, saat: 09.46, büyüklük  $M_w=5.8$  ve 20 Ekim 2005, saat: 21.40, büyüklük  $M_w=5.9$ )'in artçı şokları Aktar ve diğ. (2007) tarafından geçici sismometreler kullanılarak kayıt edilmiştir. Araştırmacılar artçı şokların episantr/hiposantırları ve depremlerin parametrelerinden, üç depremin ilkinin KB-GD uzanımı (K25B) diğer ikisinin de KD-GB uzanımı (K44D) faylardan kaynaklandığını belirlemişlerdir (Şekil 9). KB-GD uzanımı fayın sol yönlü doğrultu atımlı KD-GB uzanımı fayın ise sağ yönlü doğrultu atımlı olduğunu belirten yazarlar, her iki fayın da aynı zamanda çalışan eşlenik (conjugate) faylar olduğunu belirtmişlerdir. Artçı depremlerden elde edilen sismik veriler tarafımızdan belirlenen çiçek yapısını destekler niteliktedir (bakınız Şekil 2).



**Şekil 9.** 17-20 Ekim 2005 Sığacık depremlerinin ardçı kayıtlarına göre kırılan fay segmentlerini gösteren sismotektonik harita (Aktar ve diğ. 2007'den alınmıştır). Arazide haritalanan aktif fay hatlarıyla karşılaştırma yapmak için Şekil 2'deki jeolojik haritaya bakınız. Her iki harita da 17-20 Ekim 2005 depremlerinin KD-GB ve KB-GD uzanımı faylanmalarla gerçekleştiğini göstermektedir.

**Figure 9.** Seismotectonic map showing the activated fault segments according to aftershock records of the 17-20 October Sığacık earthquakes (from Aktar et al. 2007). See the geological map given in Figure 2 to compare with the active faults that have been mapped in the field. Both maps indicate that the 17-20 October Sığacık earthquakes originated from NE-SW- and NW-SE-trending faulting.



## **TARTIŞMA VE SONUÇLAR**

İzmir ve çevresinde son 17 yılda meydana gelen orta büyüklükteki üç deprem (1992-Doğanbey, 2003-Urla ve 2005-Demircili) bölgenin baskın olarak doğrultu atımlı fayların kontrolünde şekil değiştirdiğini göstermektedir. Bu şekil değişikliği bölgesel ölçekte İzmir (Gümüldür) ve Balıkesir (Bigadiç) arasındaki kuşak boyunca uzanım sunan kabuksal ölçekteki transfer zonunun varlığıyla açıklanmaktadır (Sözbilir ve diğ. 2003a ve b; Sözbilir ve diğ. 2004; Emre ve diğ. 2005; Sözbilir ve diğ. 2005; Uzel ve Sözbilir, 2008; Özkaymak ve Sözbilir, 2008; Sözbilir ve diğ. 2008). Bu zonun doğu kenarı Kuşadası Körfezi-Torbalı-Kemalpaşa-Akhisar-Bigadiç hattı üzerinde yer alır. Bu fay kuşağı 65 milyon yıl önce Neotetis okyanusunu kesen bir transform fay zonu şeklinde oluşmaya başlamış (Okay ve diğ. 1996) ve günümüze kadar farklı zamanlarda yeniden aktif hale geçerek (Ring ve diğ., 1999) Batı Anadolu kabuğunun sürekli şekil değiştirmesine ve deforme olmasına neden olmuştur (Sözbilir ve diğ. 2003; Uzel ve Sözbilir, 2008; Özkaymak ve Sözbilir, 2008; Sözbilir ve diğ. 2008). İzmir ile Balıkesir arasında bulunan bu fay sistemi, Anadolu ve Afrika levhalarındaki gerilim değişimlerine bağlı olarak (Şengör, 1987; Şengör ve diğ., 1985) oluşumundan bu yana sol veya sağ yönlü doğrultu atımlı fay zonu şeklinde çalışmıştır (Bozkurt ve Sözbilir, 2006). Bunun en belirgin göstergeleri, zon içerisinde kalan fayların düzlemleri üzerinde gözlenen birbirini kesen fay çizikleridir. Yani aynı faylar, bölgesel gerilimdeki değişim nedeniyle, farklı zamanlarda farklı fay türü şeklinde yeniden aktif hale geçmektedir. 1992-Doğanbey, 2003-Urla ve 2005-Sığacık Körfezi depremleri bu fay kuşağı içinde yer almaktadır. Bu üç deprem göz önüne

alındığında, fayların birbirleriyle bağlantılı olduğu ve 1992'den beri kırılan bu fayların üzerinde oluşan depremlerin doğudan batıya doğru gelişen bir enerji transferi şeklinde göç ettiği düşünülebilir.

Bu çalışmada 17-20 Ekim 2005 –Sığacık depremleri sırasında oluşan (1) sismo-tektonik ve (2) sismo-gravitasyonel yüzey deformasyonları haritalanmış ve bu deformasyonların bölgedeki fayların gidişleri ile stres dağılımıyla ilişkileri tartışılmıştır. Deprem sırasında gelişen yüzey deformasyonları KD-uzanımlı sağ yönlü doğrultu atımlı fay niteliği sunan kademeli (en-echelon) çatlaklar, yaklaşık D-B uzanımlı eğim atımlı fay niteliği taşıyan deformasyonlar, heyelanlar, kılcal çatlaklar ve yükselme-çökme şeklindeki deformasyonlardır. Bu çatlaklar boyunca bazı kesimlerde sıvılaşma izleri ve kum volkanları saptanmıştır. Deprem sırasında gelişen yüzey deformasyonlarının büyük bir kesiminin sismo-gravitasyonel olmasına rağmen, çatlak geometrisi yaklaşık D-B sıkışma ve K-G çekme kuvvetleri şeklindeki bölgesel gerilme rejimiyle uyumluluk sunmaktadır.

Ocakoğlu ve diğ. (2004, 2005) İzmir, Sığacık ve Kuşadası Körfezi'nde yaptıkları çok kanallı sismik kesitler yardımıyla, İzmir ili çevresindeki körfezlerde çok sayıda doğrultu atımlı fay saptamışlardır. Araştırmacılar bu fayları karadaki devamlılıklarıyla birleştirerek İzmir ili ve çevresindeki K-G ve KD-GB uzanımlı diri fay zonlarının K-G genişleme ve D-B sıkışma kuvvetleri etkisinde geliştiğini belirtmişlerdir. Araştırmacıların Sığacık körfezinde sismik kesitler yardımıyla haritaladıkları fayların karada yaptığımız jeolojik haritadaki faylarla örtüşmediğinden, Sığacık Körfezindeki sismik

kesitler tarafımızdan yeniden yorumlanmıştır. Çalışmalarımız karadan getirdiğimiz KD-GB ve KB-GD uzanımlı fayların Sığacık körfezinde keşşerek çiçek yapısı oluşturduğunu göstermiştir. Bu verilere göre, Ekim-2005 depremleri çiçek yapısı içindeki faylarla ilişkilendirilmiştir (Sözbilir ve diğ. 2005). Daha sonra Benetatos ve diğ. (2006) ve Aktar ve diğ. (2007) tarafından artçı şoklar kullanılarak yapılan odak mekanizma çözümleri, depremlerin Sığacık Körfezi'nde keşşen KD-GB ve KB-GD uzanımlı fayların birlikte çalışmasıyla oluştuğunu kanıtlamışlardır. Bu durum tarafımızdan üretilen jeolojik haritayı da destekler niteliktedir. Böylece tarafımızdan haritalanan fayların Sığacık Körfezindeki devamlılıkları sismik verilerle de desteklenmiştir. Deprem odak noktalarının tarafımızdan haritalanan Kuvaterner fayları üzerinde çıkması, bu fayların yeniden aktif olduğunu göstermektedir.

### **EXTENDED ABSTRACT**

*İzmir city and its surroundings are located in the strike-slip dominated zone of weakness known as the İzmir-Balıkesir Transfer Zone. The latest activity of the zone is evidenced by the October-2005 Sığacık earthquakes. In this study, we merge the seismic geomorphological features of the İzmir earthquakes with the active faults and stress field of the region.*

*Field-based geological studies carried out before the 2005-Sığacık earthquakes showed the existence of a negative flower structure in the Gulf of Sığacık. This flower structure is characterized by three distinctly oriented fault sets which conjugated off-shore. They oriented in NE, NW and N-S directions and formed small pull-apart basins on-shore. A number of E-W*

*trending oblique- to dip-slip normal faults were also mapped on-shore of the Sığacık Gulf. All these fault sets have shaped the Urla basin since at least the Quaternary period.*

*Three main shocks (17 October 2005 at 05:45,  $M_w=5.4$ ; 17 October at 09:46,  $M_w=5.8$  and 20 October at 21:40,  $M_w=5.9$ ) in the Gulf of Sığacık have caused synsedimentary structures to form. These structures have been mapped and evaluated with respect to their seismo-geomorphological features.*

*We have found a number of landforms which developed in connection with the earthquakes. Most of them have occurred in recent beach deposits of the Sığacık Gulf and therefore they are accepted as syn-sedimentary structures (or seismites). They can be classified as 1) seismo-tectonic landforms related to tectonic stress, and 2) seismo-gravitational landforms connected with seismic shaking and gravitational stress. The seismo-tectonic landforms consist of surface fractures, land uplift/subsidence and elongated ridges, while seismo-gravitational landforms contain landslides, fissures, liquefaction and sand volcanoes.*

*The syn-sedimentary deformational structures occur around Demircili village and Yumlu Farm to the south of the Urla Basin. These structures developed in recent sediments which comprise beach gravels and sands that interfinger with the river deposits. The seismites are composed of NE- and E-W-trending cracks and sand volcanoes due to liquefaction. NE-trending cracks are tens of centimetres up to several metres long and display an en-echelon pattern that locally forms an anastomosing geometry. They trend N40-70°E in accordance*

with the main fault segments. E-W-trending cracks are oriented parallel to the coastline of Sığacık Bay and have a dip-slip displacement up to a maximum of 8 cm. At Yumlu Farm, the shaking created a linear fissure that extends NNE in direction. To the north of Urla Basin we observed a small-scale landslide that developed in the stepover area of the western margin of the basin.

Although syn-sedimentary deformational structures can be attributed to a simple seismic shaking, they appear to display a close spatial and temporal relationship with the tectonic framework of the region, shaped by NE/NW-trending strike-slip faults and E-W-trending oblique-slip normal faults of Quaternary age. The main events and aftershocks of the İzmir earthquakes clustered on this fault pattern indicating a negative flower structure that is real evidence of earthquake related tectonic framewok. This flower structure is characterized by an array of upward-diverging strike-slip dominated zone that shaped the Quaternary Urla Basin.

## KATKI BELİRTME

Bu çalışma, DEÜ-Bilimsel Araştırma Projeleri (0922.01.01.13, 04.KB.FEN.042, 04.KB.FEN.043, 04.KB.FEN.087) ve Tübitak Projesi (YDABAG-102Y065) kapsamında yürütülen çalışmalardan derlenen bilgileri içermektedir. Araştırmacılar DEÜ ve TÜBİTAK yetkililerine maddi katkılarından dolayı teşekkür eder. Yazarlar, makaleye yapıcı katkı sağlayan Prof. Dr. Erhan Altunel ve ismini açıklamayan hakemler'e teşekkürü bir borç bilir.

## DEĞİNİLEN BELGELER

- Aktar, M., Karabulut, H., Ozalaybey, S. ve Childs, D., 2007. A conjugate strike-slip fault system within the extensional tectonics of Western Turkey. *Geophysical Journal International*, 171 (3), 1363–1375.
- Akтуğ, B. ve Kılıçoğlu, B., 2006. Recent crustal deformation of İzmir, Western Anatolia and surrounding regions as deduced from repeated GPS measurements and strain field. *Journal of Geodynamics*, 41, 471-484.
- Akyol, N., Zhu, L., Mitchell, B.J., Sözbilir, H. ve Kekovalı K., 2006. Crustal structure and local seismicity in western Anatolia. *Geophysical Journal International*, 166 (3), 1259-1269.
- Altunel, E., 1999. Geological and geomorphological observations in relation to the 20 September 1899 Menderes earthquake, Western Turkey, *Journ. Geol. Soc. London*, 156, 241-246.
- Altınok, Y., Alpar, B., Özer, N. & Gazioglu, C., 2005. 1881 and 1949 earthquakes at the Chios-Çeşme Strait (Aegean Sea) and their relation to tsunamis, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 5, 717–725.
- Ambraseys, N.N. ve Finkel, C.F. 1995. *The Seismicity of Turkey and Adjacent Areas: A Historical Review, 1500–1800*. Eren publishing ve booktrade, İstanbul.
- Ambraseys, N. N., Jackson J.A., 1998. Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region, *Geophysical Journal International*, 133, 390–406.
- Ambraseys, N.N. 1988. *Engineering Seismology. Earthquake Engineering and structural Dynamics*, vol. 17, 1-105.
- Ambraseys, N. N., 2001. Reassessment of earthquakes, 1900-1999, in the Eastern Mediterranean and the Middle East, *Geophysical Journal International*, 145, 471–485.

- Arpat, E. ve Bingöl, E., 1969. Ege Bölgesi graben sisteminin gelişimi üzerine düşünceler. MTA Dergisi, 73, 1-9.
- Atkinson, G. 1984. Simple computation of liquefaction probability for seismic hazard applications. Earthquake Spectra, 1, 107-123.
- Audemard, F.A. ve De Santis, F., 1991. Survey of liquefaction structures induced by recent moderate earthquakes. Bull. Int. Assoc. Eng. Geol. 44, 5-16.
- Benetatos, C., Kiratzi, A., Ganas, A., Ziazia, M., Plessa, A. ve Drakatos, G. 2006. Strike-slip motions in the Gulf of Sığacık (western Turkey): Properties of the 17 October 2005 earthquakes seismic sequence. Tectonophysics, 426, 263-279.
- Bozkurt, E. ve Sözbilir, H., 2006. Evolution of large-scale Normal faults: Insights from the Active Manisa fault, Southwest Turkey. Geodinamica Acta, 19 (6), 427-453.
- Bozkurt, E., 2001. Neotectonics of Turkey – a synthesis. Geodinamica Acta, 14, 3-30.
- Dewey, J.F. ve Sengör, A.M.C., 1979. Aegean and surrounding regions: complex multiple and continuum tectonics in a convergent zone, Geol. Soc. Am. Bull., 90, 84-92.
- Dramis, F. ve Blumetti, A.M. 2005. Some considerations concerning seismic geomorphology and paleoseismology. Tectonophysics, 408, 177-191.
- EMRCMT: European-Mediterranean Regional Centroid-Moment Tensors. <http://www.ingv.it/seismoglo/RCMT/>
- Emre, Ö., Özalp, S., Doğan, A., Özaksoy, V., Yıldırım, C. ve Göktaş, F., 2005. İzmir çevresinin diri fayları ve deprem potansiyelleri. MTA Rapor No:107, 80 s (yayınlanmamış).
- EMSC: European-Mediterranean Seismological Centre: <http://www.emsc-csem.org>
- Erdoğan, B. 1990. İzmir-Ankara Zonu'nun İzmir ile Seferihisar arasındaki bölgede stratigrafik özellikleri ve tektonik evrimi: TPJD Bülteni, 2/1, 1-20.
- Erkül, F., Helvacı, C. ve Sözbilir, H., 2005. Evidence for two episodes of volcanism in the Bigadiç borate basin and tectonic implications for western Turkey. Geological Journal, 40, 1-16.
- Ergin, K., Güçlü, U. ve Uz, Z. 1967. Türkiye ve civarının deprem kataloğu (Milattan sonra 11 yılından 1964 sonuna kadar). İstanbul Teknik Üniversitesi, maden Fakültesi Arz Fiziği Enstitüsü yayınları, no. 24.
- Guidoboni, E., Comastri, A. ve Triana, G. 1994. Catalogue of Ancient Earthquakes in the Mediterranean Area up to the 10th Century. Istituto Nazionale di Geofisica, p. 504, ISBN 88-85213-06-5.
- HARVARD: Harvard seismology: <http://www.seismology.harvard.edu>.
- Jackson, J.A., King, G. & Vita-Finzi, C., 1982. The neotectonics of the Aegean: an alternative view. Earth & Planetary Science Letters, 61, 303-318.
- Kaya, O., 1979. Ortadoğu Ege çöküntüsünün (Neojen) stratigrafisi ve tektoniği. TJK Bülteni, 22, 35-58.
- Kaya, O., 1981. Miocene reference section for the coastal parts of West Anatolia. Newsletters on Stratigraphy, 10, 164-191.
- KOERİ: Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, <http://boun.edu.tr>.
- Koral, H., 2000. Surface rupture and rupture mechanism of the October 1, 1995 (M<sub>w</sub>=6.2) Dinar earthquake, SW Turkey. Tectonophysics, 327 (1-2): 15-24.
- Le Pichon, X. ve Angelier, J., 1979. The Aegean arc and trench system: a key to the neotectonic evolution of the eastern Mediterranean area. Tectonophysics, 60, 1-42.
- McCalpin, J., 1996. Paleoseismology. Academic Press, 588 pp. San Diego, California.
- McKenzie D.P., 1978. Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions, Geophys. J. Royal Astron. Soc., 55, 217-254.
- MED NET: Mediterranean very Broadband seismographic network <http://mednet.ingv.it>
- Moretti, M., Alfaro, P., Caselles, O. ve Canas, J.A. 1999. Modelling seismites with a digital

- shaking table. *Tectonophysics*, 304, 369-383.
- Ocakoğlu, N., Demirbağ E. ve Kuşçu İ., 2004. Neotectonic structures in the area offshore of Alaçatı, Doğanbey and Kuşadası (western Turkey): evidence of strike-slip faulting in the Aegean extensional province. *Tectonophysics*, 391, 67-83.
- Ocakoğlu, N., Demirbağ, E. ve Kuşçu, İ., 2005. Neotectonic structures in İzmir Gulf and surrounding regions (western Turkey): Evidences of strike-slip faulting with compression in the Aegean extensional regime. *Marine Geology*, 219, 155-171.
- Okay, A.İ., Satır, M., Maluski, H., Siyako, M., Monie, P., Metzger, R. ve Akyüz, S. 1996, Paleo- and Neo- Tethyan events in northwestern Turkey: Geologic and geochronologic constraints: In: Yin, A. ve Harrison, M. (eds) *Tectonics of Asia*. Cambridge University Press, 420-441.
- Özkaymak, Ç. ve Sözbilir, H., 2008. Stratigraphic and structural evidence for fault reactivation: The Active Manisa Fault Zone, Western Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, Cilt: 17, No: 3, Sf: 615-635.
- Öncel, A.O., Koral, H. ve Alptekin, O., 1998. The Dinar earthquake (M-w = 6.2; October 1, 1995; Afyon-Turkey) and earthquake hazard of the Dinar-Civril fault. *Pure and Applied Geophysics*, 152 (1): 91-105.
- Poirier, J.P. ve Taher, M.A. 1980. Historical seismicity in the Near and Middle East, North Africa, and Spain from Arabic documents (VIIth-XVIIIth Century). *Bulletin of Seismological Society of America*, vol. 70, No:6, 2185-2201.
- Reilinger, R. E., McClusky, S. C., Oral, M. B., King, W. ve Toksöz, M. N., 1997. Global positioning system measurements of present crustal movements in the Arabia-Africa-Eurasia plate collision zone: *J. Geophys. Res.*, 102, 9983-9999.
- Ring, U., Laws, S. ve Bernet, M. 1999, Structural analysis of a complex nappe sequence and late-orogenic basins from the Aegean Island of Samos, Greece: *J. Structural Geology*, 1575-1601.
- Rodriguez-Pascua, M.A. Calvo, J.P., De Vicente, G. ve Gomez-Gras, D., 2000. Soft-sediment deformation structures interpreted as seismites in lacustrine sediments of the Prebetic Zone, SE Spain, and their potential use as indicators of earthquake magnitudes during the Late Miocene. *Sedimentary Geology*, 135, 117-135.
- SED: Schweizerischer Erdbebendienst (SED), Swiss Seismological Service. <http://www.seismo.ethz.ch>
- Seilacher, A., 1984. Sedimentary structures tentatively attributed to seismic events. *Marine Geology*, 55, 1-12.
- Sims, J.D., 1975. Determining earthquake recurrence intervals from deformational structures in young lacustrine sediments. *Tectonophysics*, 29, 141-152.
- Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D. ve Altınok, Y. 1981. Türkiye ve çevresinin tarihsel deprem kataloğu (M.Ö. 2100 – M.S. 1900). Teknik rapor, TÜBİTAK, No. TBAG-341.
- Sözbilir, H., Uzel, B., Sümer, Ö., İnci, U., Ersoy, E.Y., Koçer, T., Demirtaş, R. ve Özkaymak, Ç., 2008. D-B Uzanımlı İzmir Fayı ile KD-Uzanımlı Seferihisar Fayı'nın birlikte çalıştığına dair veriler: izmir körfezi'ni oluşturan aktif faylarda kinematik ve paleosismolojik çalışmalar, Batı Anadolu. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, Cilt 51, Sayı 2, 91-114.
- Sözbilir, H., Erkul, F. ve Sümer, Ö., 2003a. Gümüldür (İzmir) ve Bigadiç (Balıkesir) arasında uzanan Miyosen sonrası yaşlı kd-doğrultulu accommodation zonuna ait saha verileri, Batı Anadolu. 56. *Türkiye Jeoloji Kurultayı*, Ankara, 85-86.
- Sözbilir, H., İnci, U., Erkul, F. ve Sümer, Ö., 2003b. An Active Intermittent transform zone accommodating N-S Extension in Western Anatolia and its relation to the North Anatolian Fault System, International Workshop on the North Anatolian, East Anatolian and Dead Sea Fault Systems: Recent Progress in Tectonics and Paleoseismology, and Field Training Course in Paleoseismology, 31 Augst to 12 September 2003, Ankara.

- Sözbilir, H., Sümer, Ö., Uzel, B., Saygılı, A., Ramazanoğlu, İ ve E. Uysal, 2004. İzmir Fayı'nın jeolojik ve jeomorfolojik parametreleri, Aktif Tektonik Araştırma Grubu 8. Toplantısı, Bildiri Özetleri Kitabı, s. 22.
- Sözbilir, H., Sümer, Ö., Uzel, B., Ersoy, Y., Erkül, F., İnci, U. ve Helvacı, C., 2005. İzmir'deki deprem dizilerinin nedeni, faylardaki çökek yapısı, Cumhuriyet, Bilim Teknik, Deprem Araştırmaları, 3.12.2005, Sayı 976, 18-19.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Şengör, A.M.C., 1987. Cross-faults and differential stretching of hanging walls in regions of low-angle normal faulting. In: examples from western Turkey, Coward, M.P., Dewey, J.F. and Hancock, P. (ed.), *Continental extensional tectonics*. Geological Society of London, Special Publication, 28, 575-589.
- Şengör, A.M.C., Görür, N. ve Şaroğlu, F., 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study: In: Biddle, K.T. ve Christie-Blick, N. (eds) *Strike-slip deformation, basin formation, and sedimentation*. Soc.Econ. Paleontologists and Mineralogist, Special Publication, 37, 227-264.
- Tan, O., ve Taymaz, T., 2002. Source Parameters of November 6, 1992 Doğanbey-Izmir (Mw=6.0, Western Turkey) and November 15, 2000 Van (Mw=5.7, Eastern Turkey) Earthquakes. 1st International Symposium of Istanbul Technical University the Faculty of Mines on Earth Sciences and Engineering, 16-18 May 2002, Istanbul, Turkey, Abstracts Book: SS-B-Poster, p. 70.
- Tan, O. ve Taymaz, T., 2003. Seismotectonics of Karaburun Peninsula and Kuşadası Gulf: Source parameters of April 2, 1996 Kuşadası Gulf and April 10, 2003 Seferihisar (İzmir) earthquakes. International Workshop on the NAFZ, EAFZ and DSF Systems: Recent Progress in Tectonics and Paleoseismology and Field Training Course in Paleoseismology, Middle East Technical University (METU), Ankara, Turkey.
- Tan, O., Tapırdamaz, M.C. ve Yörük, A. 2008. The Earthquakes Catalogues for Turkey. *Turkish Journal of Earth Science* 17, 405-418.
- Temiz, H., Gürsoy, H. ve Tatar, O. 1998. Kinematics of late Pliocene-Quaternary normal faulting in the southeastern end of the Gediz graben, western Anatolia, Turkey. *International Geology Review*, 40, 638-646.
- USGS: United States Geological Survey. <http://www.usgs.gov>
- Utku, M. 2005. İzmir Depremleri Dizisi-Pakistan Depremi Türkiye'yi Etkiler mi? *Cumhuriyet, Bilim Teknik*, sayı 927, 16-17.
- Uzel, B. ve Sözbilir, H., 2008. A First record of strike-slip basin in western Anatolia and its tectonic implication: The Cumaovası basin as an example. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17, 559-591.
- Zhu, L., Akyol, N., Mitchell, B.J. ve Sözbilir H., 2006. Seismotectonics of western Turkey from high resolutions and moment tensor determinations. *Geophysical Research Letters*, 33 (7), L07316.
- 
- Makale Geliş Tarihi : 10 Haziran 2009  
Kabul Tarihi : 23 Temmuz 2009
- Received* : 10 June 2009  
*Accepted* : 23 July 2009