

## ZM R-MANISA-BALIKESİR İLLERİNİN ETKİLEMLİ TARİHSEL DEPREMLERİNİN SİSMİK KAYNAKLARI

Sözbilir, H.,<sup>1</sup> Özkaymak, Ç.,<sup>2</sup> Sümer, Ö.,<sup>3</sup> Uzel, B.,<sup>3</sup> Eski, S.,<sup>4</sup> Tepe, Ç.,<sup>3</sup> Softa, M.,<sup>3</sup>  
Güler, T.,<sup>4</sup> & Yaralı G.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Profesör, Deprem Araştırma ve Uygulama Merkez Müdürü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir

<sup>2</sup> Doçent Doktor, Jeoloji Müh. Bölümü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon

<sup>3</sup> Araştırma Görevlisi Dr., Jeoloji Müh. Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir

<sup>4</sup> Yüksek Lisans Öğrencisi, Jeoloji Müh. Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir

İlgili jeolojik ve sismolojik literatür incelendiğinde, İzmir-Manisa-Balıkesir illerinin tarihsel dönemlerde birçok depremle yıkıldığı görülmekte, fakat bu depremlerin hangi faylardan kaynaklandığı konusunda herhangi bir bilgi olmadığı gözle çarpıcıdır. Bu çalışmada kapsamında bölgedeki diri faylarda hendek tabanlı paleosismoloji çalışmaları yapılarak, bu fayların geçmişi, hangi depremlerden sorumlu oldukları, deprem tekrarlama periyotları, kayma hızı ve son ürettikleri depremler konusunda deprem tehlike analizinde doğrudan kullanılacak somut veriler elde edilmiştir. Bu çalışmada, tarihsel depremlerden MS 160–258, 1296, 1688, 1845, 1897 ve 1944 aletsel depremlerine kaynaklık eden faylar saptanmıştır. Bu sismik kaynaklar başlıca: İzmir Fayı, Tuzla Fayı, Seferihisar Fayı, Manisa Fayı, Edremit Fay Zonu ve Havran-Balıkesir Fay Zonu'dur. Bunlardan Manisa Fayı, Edremit ve Havran-Balıkesir Fay Zonları üzerinde konumlanan 8 adet fay kazısı çalışması gerçekleştirilmiştir. Manisa Fayı'nda 3 olaya ait jeolojik kayıtlar saptanmıştır. Bunlardan en sonuncusunun 1845 yılında meydana geldiği ve bu fay için ortalama deprem tekrarlama periyodunun ortalama 460 yıl olduğu saptanmıştır. Edremit Fay Zonu üzerinde açılan Narlı hendeğinde üç olay saptanmıştır. Hendekte saptanan son olay 1944 depremiyle ilişkilendirilmiştir. Buna göre,  $M_w=6.8$  büyüklüğündeki deprem 37 km uzunluğunda yüzey kırığı oluşturmuştur. Havran-Balıkesir Fay Zonu içindeki Gökçeyazı segmenti 4'ü tarih öncesi olmak üzere 6 deprem üretmiştir, Ovacık segmenti üzerinde ise 4 olay tanımlanmıştır. Ovacık segmenti üzerindeki son iki deprem MS 160–253 ve MS 1296 depremleriyle ilişkilendirilmiştir. Bu iki depreme göre, Ovacık segmentindeki deprem tekrarlama aralığı 1136–1043 yıldır. Kepsut segmenti üzerindeki hendek duvarlarında 3 farklı olaya karşılık gelen 3 kolüvyal kama tanımlanmıştır. Hendekte saptanan en son olay 1897 ve/veya 1898 Balıkesir depremiyle ilişkilendirilmiştir. Paleosismolojik sonuçlara göre, her olaya karşılık gelen ortalama kayma miktarı 1.5 m civarındadır, bu da  $M_w=7.19$  moment büyüklüğüne karşılık gelmektedir. Buna göre, Balıkesir ve çevresindeki fay segmentleri ortalama 1000 yıl arayla yüzey faylanmasıyla sonuçlanan depremler üretme potansiyeline sahiptir. Elde edilen verilere göre, Havran-Balıkesir Fay Zonu'na ait Gökçeyazı segmenti üzerinde yakın gelecekte yıkıcı bir deprem beklenmektedir.

**ANAHTAR KELİMELER:** paleosismisite, sismik kaynaklar, deprem tekrarlama periyodu, kayma hızı, İzmir-Manisa-Balıkesir bölgesi, sismik tehlike

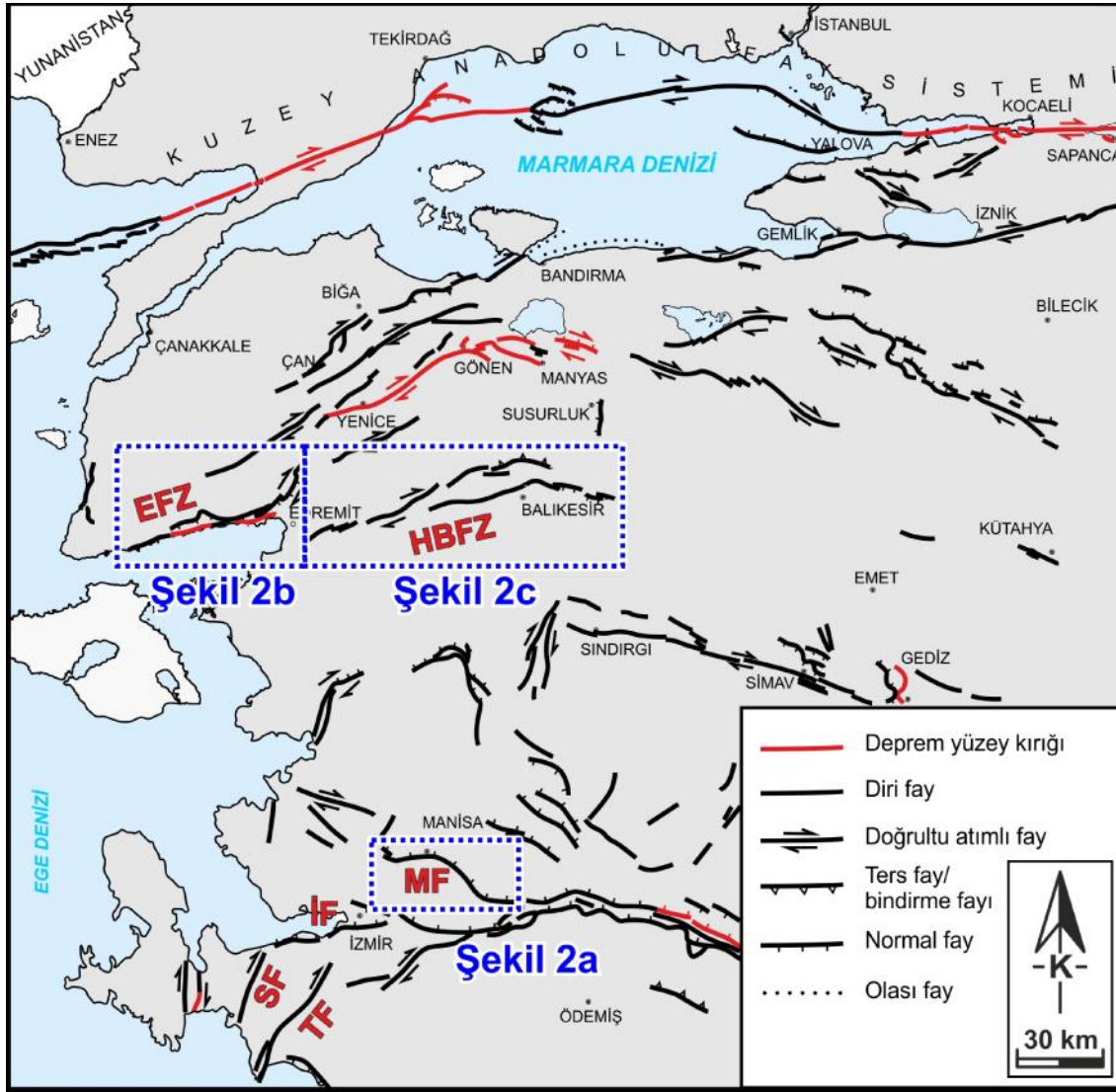
### 1. GİRİŞ

İzmir, Manisa ve Balıkesir'in içinde yer aldığı Batı Anadolu ile Güney Marmara bölgeleri, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun neden olduğu doğrultu atım baskın deformasyon ile Ege bölgesindeki K-G yönlü genişleme rejiminin etkili olduğu bir zonda konumlanmıştır (Şekil 1). Batı Anadolu'daki Kuvaterner havzalar genellikle D-B ya da KD-GB uzanımlıdır (Engör, 1985). D-B uzanımlı havzalar (Gediz, Büyük Menderes ve Küçük Menderes grabenleri gibi) em atımlı normal faylarla denetlendikleri halde, KD-GB doğrultulu havzalar (Urla, Cumaovası, Kocaçay, Gördes, Demirci, Selendi, Uşak-Güre havzaları gibi) verev atımlı normal fay veya

do rultu atımlı faylarla sınırlıdır. Dolayısıyla, Batı Anadolu hem D-B uzanımlı hem de KD-GB uzanımlı Kuvaterner faylarının denetiminde ekillenmektedir. Gediz ve Küçük Menderes grabenleri batısında kalan KD-GB uzanımlı havzaların, olasılıkla Alt Kretase zamanından beri aralıklarla aktif olan ve İzmir-Balıkesir Transfer Zonu olarak isimlendirilen do rultu atım baskın zayıflık zonu içinde yer aldığı ilk kez (Sözbilir vd., 2003) tarafından ortaya konulmuştur. Güney Marmara bölgesinde yapılan bazı jeolojik tabanlı çalışmaları ise, bu bölgenin baskın olarak KD-GB ve D-B uzanımlı fayların kontrolünde deformasyona uğradığını göstermektedir (Bingöl, 1976; Siyako vd., 1989; Okay vd., 1991; Yılmaz & Karacık, 2001; Yalıtırak, 2006; Emre vd., 2012). Bu bölgede yapılan fay kinematiği ve yapısal evrim çalışmaları, sismolojik veriler, deprem odak mekanizması çözümleri, GPS ve sismik yansıma verileri, bölgenin günümüzde transtansiyonel bir gerilme rejimi etkisi altında ekillendiğini ortaya koymaktadır (Dewey & Engör, 1979; Taymaz vd., 1991; Reilinger vd., 1997; Yalıtırak vd., 2012). Batı Anadolu ile Güney Marmara bölgeleri, gerek nüfus yoğunluğu gerekse sanayi alanlarının dağınıklığı göz önünde bulundurulduğunda Türkiye'nin en önemli bölgeleridir. Özellikle, Dünya'nın en aktif fayı olan Kuzey Anadolu Fayı'nın bölgedeki varlığı, Marmara'yı deprem aktivitesi bakımından dünyada en çok araştırılan ve bilinen alanlardan biri haline getirmiştir. Antik çağlarda Ege kıyıları boyunca birçok yerleşim alanının olması ve bu kentlerde yaşanan depremlerin kayıt altına alınarak araştırılması de tarihsel deprem kataloglarının oluşturulmasına büyük ölçüde katkıda bulunmuştur. Ambraseys & Finkel (1991), MS 1 ile MS 1899 arasında Marmara bölgesinde toplam 600 civarında olay gerçekleştiğini fakat bunların 38'inin 7.0 M olduğunu ve bölgeyi etkilediğini belirtmektedir. Ambraseys & Finkel (1991), Ambraseys (2002), Shebalin vd. (1974), Pınar & Lahn (1952) Guidoboni vd. (1994), Papazachos & Papazachou (1997) gibi katalogsal çalışmalarda ise Marmara ve Ege bölgesini kapsayan alanda büyüklüğü 6.8 M olan 78 tarihsel olay bildirilmektedir. Dolayısıyla İzmir, Manisa ve Balıkesir'in içinde yer aldığı bölgedeki önemli yerleşim alanlarının alel ve tarihsel dönemlerde birçok depremle yıkıldığı bilinmektedir. Fakat bu depremlerin hangi faylardan kaynaklandığı konusunda herhangi bir net bilgi yoktur. Bu çalışma kapsamında, bölgedeki sismik kaynak niteliğindeki fay zonları üzerinde gerçekleştirilmiş olan hendek tabanlı paleosismolojik çalışmalar sunulacak, bu fayların geçmişte hangi depremlerden sorumlu oldukları, deprem tekrarlama periyotları, kayma hızları ve son ürettikleri depremler konusunda deprem tehlike analizinde doğrudan kullanılabilir somut veriler aktarılacaktır.

## 2. ZMR ve MANİSA ÇEVRESİNDEKİ FAYLAR

Bu bölgedeki sismik olaylara kaynaklık eden başlıca yapısal öğeler İzmir Fayı, Tuzla Fayı, Seferihisar Fayı ve Manisa Fayı olarak tanımlanabilir (Ekişli). İzmir Körfezi'ni güneyden morfolojik olarak sınırlandıran, D-B uzanımlı, eğim atımlı normal bir fay olarak tanımlanan İzmir Fayı, yaklaşık 40 km uzunlucadır ve bölgesel ölçekte Gediz grabeninin devamı niteliğindeki bir yapısal hatta paralellik göstermektedir. Fay doğudan batıya doğru, Pınarbaşı, Balçova ve Narlıdere olmak üzere üç geometrik segmente ayrılmaktadır (Emre vd., 2005). 10 Nisan 2003 ( $M_w=5.7$ ) depremine kaynaklık ettiği bilinen Seferihisar Fayı, ortalama K20D gidişli, yaklaşık 2-3 km genişlikte ve 25 km uzunluğundaki sağ yönlü doğu atımlı bir fay zonu olarak tanımlanmıştır (Erci vd., 2003; Emre vd., 2005). Fay zonu içinde, uzunlukları 1 ile 12 km arasında değişen çok sayıda doğu atımlı fay parçası bulunur. Seferihisar Fayı'nın hemen doğusunda konumlanan ve bu faya paralel uzanan Tuzla Fayı ise Barka vd. (1996), Emre vd. (2005) ile Uzel ve Sözbilir (2008)'in çalışmaları sağ yönlü doğu atımlı fay karakterindeki diri bir fay olarak tanımlanmıştır. 6 Kasım 1992 ( $M_w=6.2$ ) Doğanbey depreminin bu fay üzerinde gerçekleştiğini belirten çalışmalara göre fay zonu karada 45 km izlenmektedir. Bölgedeki diğer bir diri fay ise Manisa Fayı'dır. Eğim atımlı normal fay niteliğindeki Manisa Fayı keskin bir bükümlü birbirinden ayrılabilen doğu ve batı olmak üzere iki segmentten oluşmaktadır (Emre vd., 2005). Kemalpaşa Çayı ile Manisa kenti arasında uzanan doğu segmenti yaklaşık 15 km uzunluğundadır. Batı segmenti ise kentin doğusu ile batıda Gediz Nehri arasında yaklaşık 20 km uzunluğuna ulaşır.



Şekil 1. Kuzeybatı Türkiye'nin basitleştirilmiş diri fay haritası (Emre & Doğan, 2010 Türkiye 1/250000 ölçekli diri fay haritaları serisi Ayvalık NJ 35-2 paftası kitapçığından alınmıştır, Emre & Özalp, 2011 ve Emre vd., 2011b'den yararlanılarak tamamlanmıştır). F: zmir Fayı, TF: Tuzla Fayı, SF: Seferihisar Fayı, MF: Manisa Fayı, EFZ: Edremit Fay Zonu, HBFZ: Havran-Balıkesir Fay Zonu.

### 2.1. zmir ve Manisa çevresinde gözlenen sismik aktivite

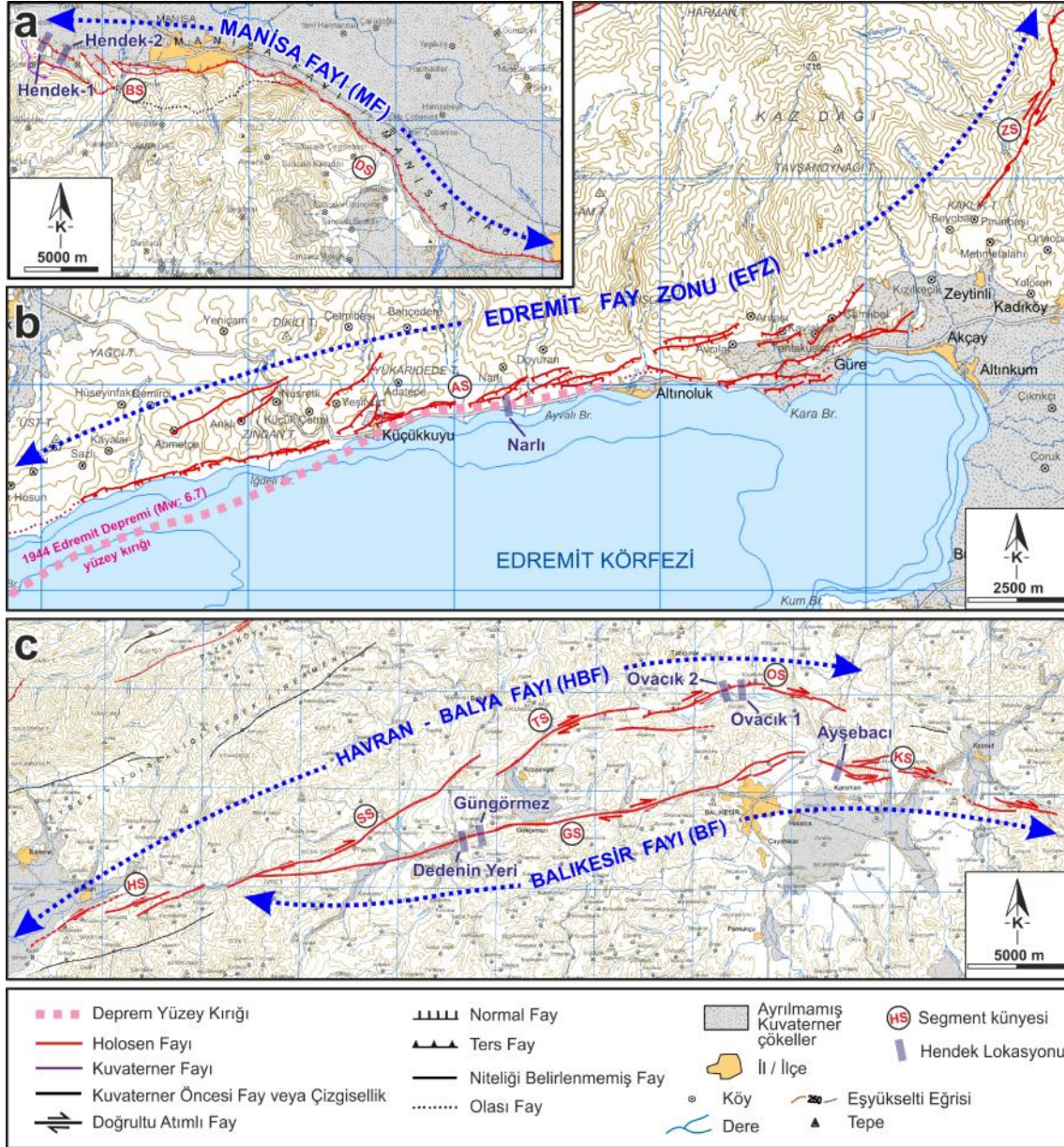
Batı Anadolu'daki en iyi kayıtlanan tarihsel dönem depremlerinden bir tanesi milattan sonra MS 17 depremidir. Ambraseys (1988), Guidoboni vd. (1994) bu olayla 13 eski yerleşimin alanının tamamen yok olduğunu bildirmişlerdir. Bazı araştırmacılar bu depremin Gediz Grabeni boyunca meydana geldiğini ileri sürmüşler (Ambraseys ve Jackson, 1998), bazı çalışmalar ise depremin iddetini IX, lokasyonu ise Muradiye bölgesi (Manisa'nın batı bölümü) olarak vermişlerdir (Guidoboni vd., 1994). Magnesia (Manisa) ve Sardeis (Sart) şehirlerinde geniş ve derin yüzey kırıklarının oluştuğu kayıtlanan bu olaydan 27 yıl sonra, M.S. 44 yılında, Magnesia ve Ephesus (Efes) antik şehirlerinin VIII iddetindeki diğer büyük bir depremlerle sallandı. Bu kataloglarda belirtilmektedir (Ergin vd., 1967; Soysal vd., 1981). Ambraseys ve Jackson (1998) Manisa'da Augustos 926 yılında bir deprem olduğunu bildirir ancak bu deprem hakkında ayrıntılı bir bilgi bulunmamaktadır. Ambraseys ve Finkel (1995) ve Ambraseys ve Jackson (1998), 22 Ekim 1595 yılında meydana gelen ve Manisa ile Ahmetli

yerleşim alanları arasında yüzey kırığı oluşmasına neden olan bir depremi rapor etmişlerdir. Aynı kaynaklarda, bu deprem ile açılan yarıktan gökyüzüne doğru bir bina boyunda kırılışları bildirilir. İzmir çevresindeki bir başka deprem 2 Haziran 1664 yılında ve VII şiddetinde olduğu rapor edilmiştir (Ambraseys ve Finkel 1995; Ergin vd., 1967; Soysal vd., 1981). Ambraseys ve Jackson (1998)'a göre bu deprem İzmir ile Manisa yakınlarında meydana gelmiştir. Tarihsel kayıtlara göre İzmir ve çevresini etkilemiş en önemli deprem 10 Temmuz 1688 depremidir (Pinar ve Lahn, 1952; Ergin vd., 1967; Guidoboni vd., 1994). Deprem İzmir Körfezi boyunca  $X=10$  şiddetine eşit yıkımlara neden olmuştur (Ergin vd., 1967). Depremde İzmir kent merkezinde 20.000'e yakın insanın öldüğü rapor edilmektedir. Deprem esnasında Balçova segmentinin yaklaşık 3 km kuzeyinde Narlıdere yelpaze deltası ucundaki çukurlukta meydana gelen yüzey deformasyonları sonucu Sancak Kalesinin zemine gömüldüğü ve kalenin denize doğru 30 metre kayarak yer değiştirdiği ve bir adacık ekline dönüştüğü belirtilmektedir (Ergin vd., 1967; Ambraseys ve Finkel, 1995). Deprem sonucunda kent içerisinde kıyı boyunca da bazı çökmelerin oluştuğu ve denizin kara yönünde ilerlediğine ilişkin gözlemler sıralanmaktadır. Tanımlanan bu yüzey deformasyonları deprem esnasında gerek Narlıdere yelpaze deltası gerekse kent içerisindeki sahil boyunca yanay yayılmaların oluştuğunu gösterir. Bölgeyi etkileyen en son yıkıcı deprem ise, 23 Haziran 1845 yılında meydana gelmiştir (Ergin vd., 1967; Soysal vd., 1981). Bu depremin lokasyonu Manisa şehir merkezi ve şiddeti VIII olarak verilmiştir (Soysal vd., 1981). İzmir ve Manisa'yı kapsayan alan içerisinde 1900 yılından 2015 yılının Nisan ayına kadar, aletsel dönem içinde büyüklüğü 3.5 ve üstü olan ISC (International Seismological Centre), EMSC (Euro-Med Seismological Centre) ve KOERI (Boğaziçi University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute) verilerinden derlenen toplamda 157 deprem meydana geldiği belirlenmiştir. Bu bölgede aletsel dönem içinde gerçekleşmiş büyüklüğü 6 M ve üzeri 3 önemli deprem bulunur. Bunlar kronolojik sırayla 31 Mart 1928 Torbalı, 23 Temmuz 1949 Karaburun ve 6 Kasım 1992 Doğanbey depremleridir. 31 Mart 1928 Torbalı depreminin dış merkezi Pinar ve Lahn (1952)'ye göre Torbalı'da Küçük Menderes ile İzmir K-G çukurluklarının birleştiği yerdedir. Depremde 2000 ev yıkılmıştır. Deprem Torbalı-Tepeköy yöresinde fazla hasara, İzmir, Manisa, Alaşehir, Uşak, Bayındır, Tire ve Ödemiş'te hafif ve orta hasara neden olmuştur. 23 Temmuz 1949 Karaburun depremi ise Karaburun-Çeşme yarımadasının doğusu, Mordoan ile yarımada'nın kuzey burnu arasında, Çeşme yarımadasında ve çevresindeki köylerde oldukça ağır hasar meydana getirmiştir, depremde 7 kişi ölmüştür, 2200 ev yıkılmış veya hasar görmüştür (Pinar ve Lahn, 1952). 1949 ( $M_w = 6.4$ ) ve 1992 ( $M_w = 6.0$ ) depremlerinin odak mekanizma çözümleri ise, doğrultu atımlı faylanma ile ilişkili sarsıntılar olduklarını göstermektedir (McKenzie, 1972; Tan & Taymaz, 2001).

## 2.2. İzmir ve Manisa çevresindeki faylar üzerine gerçekleştirilen hendek tabanlı paleosismolojik çalışmalar

İzmir ve Manisa çevresindeki sismik aktiviteye kaynaklık eden Manisa, İzmir, Tuzla, Gülbahçe ve Seferihisar Fayları üzerinde, yaygın verileri ile desteklenen sadece 1 adet paleosismolojik çalışma bulunmaktadır. Bu çalışma Özkaymak vd. (2011) tarafından Manisa Fayı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmacılar, fayın en son hareketlerini yansıtmak amacıyla fay izi üzerinde fayın doğrultusuna dik olarak iki adet hendek açmıştır (Şekil 2a). Hendek alanları, fayın Holosen yaşlı yelpazeleri kestiği ve fay basamaklarının belirgin olduğu güneybatı bölümüdür. Alanda fay sarplığı, KB-GD doğrultusunda ve yaklaşık 3 metre yüksekliğinde bir eğme sahiptir ve Mesozoyik yaşlı kireçtaşlarını Holosen çökellerinden ayırır. Taşlıburun Tepe'nin doğusunda konumlanan Hendek-1 içerisinde yapılan stratigrafik, sedimantolojik ve yapısal gözlemler sonucunda, fayın kaynaklık ettiği birçok sismik olayın varlığı belirtilmiştir, ancak, fayın düzlen bloğunda gelişen hızlı aşınma sebebiyle bu olaylardan yalnızca en sonuncusu kaydedilebilmiştir. Hendek duvarında gözlenen kayıtlara ve elde edilen yaygın verilerine göre bu olay, M.S. 260-550 zaman aralığından sonra meydana gelen MS 926 depremi ile ilişkilendirilmiştir. Çalışmada, Muğırtepe'nin kuzey yamacını sınırlayan fay parçası üzerinde açılan Hendek-2'de ise, 2 olayın varlığına işaret eden bulgular sunulmuştur. Bu olaylardan sonuncusunu niteleyen fay kolu

radiyometrik ve stratigrafik olarak MS 1214–1856 olarak ya landırılmış ve olay MS 1845 depremi ile ili kilendirilmiştir (Özkaymak vd., 2011).



**ekil 2.** a) Manisa Fayı, (b) Edremit Fay Zonu ve (c) Havran-Balıkesir Fay Zonu'na ait segmentler üzerinde yapılan hendek çalı malarının yerlerini gösteren diri fay haritaları (Emre ve Do an, 2010; Emre vd., 2011a ve b). BS: Batı, DS: Do u, AS: Altınoluk, ZS: Zeytinli, HS: Havran, SS: Osmanlar, TS: Turplu, OS: Ovacık, GS: Gökçeyazı, KS: Kepsut Segmenti.

### 3. EDREMIT FAY ZONU (EFZ)

Edremit Körfezi' nin kuzey sınırı boyunca Behram ve Güre ilçeleri arasında yaklaşık 50 km izlenebilen Edremit Fay Zonu de i ik ölçeklerde birçok fay parçası içerir ( ekil 1 ve 2b). Yüksek açılı bu faylar de i ik çalı macılarca farklı isimlerle adlandırılmış ve tanımlanmıştır. Örne in; Siyako vd. (1989) tarafından Küçükkuyu-Güre Fayı, Karacık & Yılmaz (1998) tarafından Behram Fayı, Okay & Satır (2000) tarafından Güre Fayı,

Yılmaz & Karacık (2001) tarafından Edremit Fayı olarak literatürde anılmaktadır. Bu faylar bazı çalı macılarca Kuzey Anadolu Fayı'nın güneydeki kolu olarak dü ünülürken (Armijo vd., 1999; Yaltrak vd., 2012), Emre & Do an (2010) tarafından Kazda Sıyrılma Fayı (KSF) ile birlikte haritalanarak yenilenmi diri fay haritasına Edremit Fay Zonu ismiyle aktarılmı tır. Bu çalı mada ise KSF ile EFZ birbirlerinden ba ımsız olarak de erlendirilmi , Kazda yükseltisinin güney sınırı boyunca Edremit Körfezi'nin kuzeyinde haritalanan yüksek açılı fay ve fay parçaları, Edremit Fay Zonu olarak tanımlanmı tır.

### 3.1. Edremit Fay Zonu ve çevresinde gözlenen sismik aktivite

Yapılan katalog taraması çalı malarında, Salomon-Calvi (1940), Pınar & Lahn (1952), Ergin vd. (1967), Öcal (1968), Shebalin vd. (1974), Soysal vd. (1981), Ambraseys & Jackson (2000), Ambraseys (2002) ile Ambraseys & Finkel (2006)'in çalı maları incelenmi ve EFZ ile yakın çevresinde M.S 160 ile MS 1898 yılları arasında meydana gelen 30 adet tarihsel dönem deprem gerçekte ti i saptanmı tır. Kataloglarda bu depremlerden 3 tanesinin ön plana çıktı ı görülmektedir. Bunlar kronolojik sırayla 14 ubat 1672, 11 Ekim 1845 depremi ve 7 Mart 1867 depremleridir. ISC, EMSC ve KOERI ar ivleri tarandı nda, Biga Yarımadası ve çevresinde, 3.0 – 7.5 aralı nda toplam 232 adet aletsel deprem meydana geldi i görülmektedir. Di er yandan EFZ ve çevresinde aletsel dönem içersinde büyüklü ü 3.5 ve üzeri toplamda 19 deprem meydana gelmi tir. Bu depremlerden 2 tanesinin büyüklü ü 5 ile 6 arasındadır. Aletsel dönem içersinde EFZ ile il kilendirilen en büyük deprem ise 6 Ekim 1944 depremidir. Bu olay, Kazda ı'nın güneyinde en son etkili olan ve aletsel dönem içersindeki en büyük depremdir ( $M_s = 6.8$ , Ambraseys, 1988;  $M_w = 6.7$ , EMSC). Saat 07:28'de Edremit Körfezi kuzeyinde meydana gelen bu deprem, Doyran yolu üzerinden ba layıp Küçükkuyu'dan Arıklı iskelesine do ru uzayan yüzey kır ı meydana getirmi tir (Yaltrak, 2006). Ambraseys & Jackson (2000) depremin büyüklü ünün 6.8 ve sismojenik zonun kalınlı ı ve deprem büyüklü ü ili kisi ile yüzey kır ınının 37 km olması gerekti ini hesaplamı larıdır. Zimmermann (1945) yüzey kır ını ilk tanımlayan çalı macıdır. Verdi i arazi bulgularında, Küçükkuyu'nun içlerine do ru Adatepe Köyü yolunda D-B uzanımlı ve yolu dik bir ekilde kat eden, devamlılı ı gözlenen, 10 – 30 cm geni li inde bir yarıktan bahseder. Bu depremlerle ilgili en ayrıntılı çalı ma Altınok vd. (2012)'dir. Çalı mada o tarihteki gazete ve mecmualardaki tüm bilgiler, görgü tanı ı ifadeleri birle tirilerek, 1944 depreminin körfezin içinde gerçekte ti i ve tsunami yaratt ı vurgulanmaktadır. Çalı macılar o dönemde tutulan kayıtlardan ve bir çok kaynaktan topladıkları verileri birle tirerek 2200 ta evin yılıdı nı, 3100 evin a ır hasar gördü ünü, 275 yaralı oldu unu ve 73 ki inin hayatını kaybetti ini bildirirler. Emre vd. (2012) jeolojik ve jeomorfolojik bulgularla EFZ'nin Kuvaterner ve Holosen aktivitesini ortaya koyarak, 1944 depreminin bu fay zonunun Altınoluk segmenti üzerinde meydana geldi ini belirtirler. Bu çalı ma kapsamında yapılan gözlemler ve görgü tanıklarının ifadeleri örtü türülerek, önceki çalı malarda verilen bilgiler de erlendirilmi ve fay zonunun Altınoluk Behramkale arasında kalan fay parçası (Altınoluk segmenti) üzerinde paleosismolojik çalı malar yürütülmü tür.

### 3.2. Edremit Fay Zonu üzerine gerçekte tirilen hendek tabanlı paleosismolojik çalı malar

Edremit Fay Zonu, Narlı Köyü güneyinde batıdan do uya geni leyan ve dallanan bir geometriye sahiptir. KKB'dan GGD'ya do ru Edremit Körfezi' ne akan ve Kocabayır Sırtı güneyinde bir alüvyon yelpazesi olu turan Kuruçay Deresi'nin, harita ifadesine göre, Edremit Fay Zonu' na ait fay parçaları tarafından sa yönde yakla ık 400 m ötelendi i görülmü tür. Bayırba lar Sırtı güneyinde alüvyal çökeller içersinde yakla ık 4 m dü ey atıma sebep olan fay parçası üzerinde paleosismolojik amaçlı bir fay kazısı yapılmı ve açılan yakla ık K-G uzanımlı bu hende e Narlı Hende i ismi verilmi tir (ekil 2b). Hendek içersinde, 5 jeolojik birim ve güncel toprak örtüsü tanımlanmı tır. Hendek duvarlarında fay zonu geni li i 25 metreyi bulmaktadır. Bu zon boyunca ana kol etrafında güneye do ru e imli sentetik faylar yanında çok az oranda kuzeye do ru e imli antitetik

faflanmalar da sözkonusudur. Hendek duvarlarında 38 cm'ye varan dü ey atımlar saptanmıştır. Narlı hende i içerisinde yapılan stratigrafik ve yapısal analizler, 1944 Edremit depremi sırasında olu an yüzey kırının daha önceki faflanmaları takip etti i, Pleyistosen ve Holosen ya lı birimleri deforme etti i gözlenmiştir. Fay kolu önünde geli en ve kama niteli indeki birim içinden toplanan radyokarbon örne inin kalibre edilmi ya analizi MÖ 13188–12784 ya aralı nda sonuç vermiştir ve Pleyistosen sonu bir depreme kar lık geldi i kabul edilmiştir. Kama ekilli di er bir birim içerisinden toplanan radyokarbon örne inin kalibre edilmi ya analizi MS 80–240 aralı nda sonuç vermiştir ve bu olayın 1944 depremi ile MÖ 3895–3695 aralı ı arasındaki bir depreme i aret etti i yorumlanmıştır. Hendek verilerine göre, MS 1850 olarak ya landırılan birimi kesen fay kolları, bu yıldan sonra meydana gelen bir depremi simgelemektedir. Deprem kayıtlarına göre bu olay, 1944'te meydana gelen son deprem ile e le tirilmiştir.

#### 4. HAVRAN-BALIKESİR FAY ZONU (HBFZ)

Biga Yarımadası'nın güney do usunda yer alan HBFZ, Edremit Körfezi ile Balıkesir arasında KKD–GGB yönünde uzanır (ekil 1). HBFZ'yi olu turan segmentlerin tanımlamalarında MTA' nın 1/250.000 ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası'nın Balıkesir NJ-35-3 paftası (Emre vd., 2011a) üzerindeki bilgiler ile Emre vd. (2012) raporundaki veriler baz alınmıştır, bu çalı ma kapsamında yapılan saha verileri birle tirilerek HBFZ tanımlanmıştır. Bu ba lamda, Edremit ile Balıkesir arasındaki alanda haritalanan 2-5 km uzunlu a ve 100-120 geni li e sahip, yakla ık K70°D uzanımlı, kuzeybatı ve güneybatıya e imli birçok fay parçasından olu an ana tektonik yapı Havran–Balıkesir Fay Zonu (HBFZ) olarak isimlendirilmiştir. Zon batıdan do uya do ru; (i) Havran–Balya ve (ii) Balıkesir Fayı olmak üzere 2 ana faydan olu ur. Yakla ık 90 km uzunlu undaki bir Holosen Fayı olarak sınıflandırılmış olan Havran–Balya Fayı; (i) Havran, (ii) Osmanlar, (iii) Turplu ve (iv) Ovacık olmak üzere 4 fay segmentine ayrılır. Yakla ık 65 km uzunlu a sahip olan ve yine Holosen fayı olarak sınıflandırılmış Balıkesir Fayı' nı olu turan segment sayısı 2' dir ve batıdan do uya do ru; (i) Gökçeyazı ve (ii) Kepsut Segmenti olarak tanımlanmaktadır (ekil 2c).

##### 4.1. Havran-Balıkesir Fay Zonu ve çevresinde gözlenen sismik aktivite

HBFZ ve yakın çevresine ait tarihsel ve aletsel dönem depremleri aynı katolaglar taranarak belirlenmiştir, tarihsel deprem kayotlarında 5 ve üzeri iddetteki depremler de erlendirilmeye alınmıştır. Yapılan de erlendirme sonucu HBFZ ve çevresinde M.S 160 ile MS 1898 yılları arasında meydana gelen 11 adet tarihsel deprem tespit edilmiştir. Tarihsel döneme ait deprem kayıtlarında Balıkesir ve yakın çevresini etkileyerek yıkıma sebebiyet vermiş 3 önemli deprem göze çarpar. Bu sarsıntılar kronolojik sırayla, 21 Eylül 1577 depremi ve Balıkesir ehir merkezini önemli ölçüde etkilemiş olan 1897 ve 29 Ocak 1898 depremleridir. Bu veriler içerisinden HBFZ ve çevresindeki deprem aktivitesine bakıldığında magnitüdü 5'ten büyük olan 22 adet deprem meydana geldi i görülmektedir. Bu depremlerden HBFZ'nin kuzeyinde konumlanmış olan Yenice–Gönen ve Manyas Depremleri ile güneyinde meydana gelmiş olan Bergama Depremi dışında her hangi birinin hasara veya can kaybına sebebiyet verdi i bilinmemektedir. Özellikle HBFZ'nin en kuzeydeki bölümünü temsil eden Ovacık segmentine ait fay parçalarının araziden alınan ölçülere göre kinematik özellikleri ters bir faflanma türüne i aret eder. Emre vd. (2011a)'de fayın bu bölümünün sıkı malı bir büküm geometrisine sahip bir ters faflanma mekanizmasına sahip oldu u belirtilmiştir (ekil 2c). Bütün bu veriler de erlendirildi inde, HBFZ'in en kuzey bölümünü olu turan Ovacık segmentinin sıkı malı bir deformasyonla olu tu unu göstermektedir. HBFZ ve çevresinde geli en aletsel dönem depremlerinin azlığı ve sismolojik veri eksikliği nedeniyle yorum yapmayı güçle tirmekle birlikte bu fay zonu boyunca biriken deformasyonun uzun süreden beri depolanmış olabilece ini de göstermektedir.

#### 4.2. Havran-Balıkesir Fay Zonu üzerine gerçekle tirilen hendek tabanlı paleosismolojik çalı malar

HBFZ üzerindeki Havran-Balya Fayı'nda 2 adet (Ovacık-1 ve Ovacık-2 hendekleri) ve Balıkesir Fayı'nda 3 adet (Dedenin Yeri, Güngörmez, Ay ebacı hendekleri) olmak üzere toplam 5 lokasyonda paleosismolojik hendek çalı ması yapılmı tır (ekil 2c). Ovacık-1 hende ine ait duvarlarda, Neojen ya lı temel kayaların Holosen ya lı kırıntılar üzerine bindirmeleri ile belgelenen transpressional deformasyon özellikleri dikkat çekicidir. Ovacık-1 hende i içerisinde yapılan stratigrafik, sedimantolojik ve yapısal analizler, hendek içerisinde 4 olayın varlı ına i aret etmektedir. Yapılan ya tayinleri ile alt ve üst sınır tarihleri belirlenen bu depremlerden en sonuncusu MS 1281 ile MS 1320 yılları arasında gerçekle mi tir, bu da bölgede gerçekle en MS 1296 depremiyle il kili olmalıdır. Ovacık-2 hende inin stratigrafik ve yapısal analizleri, hendek duvarlarının Ovacık-1 hende i ile çok benzer özellikler sundu unu ortaya ıkarmı tır. Yapılan paleosismolojik çalı maların verileri, hendek içerisinde, benzer ekilde, dört olayın varlı ına i aret etmektedir. Ovacık-2 hende i içerisinde loglanan fay kollarının üretti i ilk 3 olay, sırasıyla tarihsel dönem depremler ile e le tirilmi , elde edilen ya verileri tanımlanan en son olayın MS 1248±32 yada 1280±15' ten sonra meydana geldi ine i aret etmektedir. Bu ili kiler Ovacık-1 hende indeki gözlemlerle de uyumludur ve her iki hendekte gözlenen son olay Balıkesir çevresinde MS 1296 yılında meydana gelmi deprem ile dene tirilebilir. Buna göre son depremden sonra 719 yıl gemi tir. Balıkesir Fayı üzerinde açılan en batıdaki hendek Dedenin Yeri olarak isimlendirilmi tir. Hendek duvarlarında, Mesozoyik ya lı rekristalize kireta larından olu an kayalar, bu kayalardan türeyen ve yaklaşık 7 metre kalınlı ındaki fay denetimli çökellerden olu an Holosen istifi ve bunların uyumsuzlukla üzerledikleri volkanik kökenli kayaların üzerine itilmi olarak gözlenir. Dedenin Yeri hende i içerisinde yapılan stratigrafik ve yapısal analizler, hendek içerisinde en az 4 olayın varlı ına i aret etmektedir. Güngörmez hende i ise aynı segment üzerinde ve daha do uda açılmı tır. Dedenin Yeri hende i ile benzer bir stratigrafik ili ki gözlenen bu hendekte, farklı fay kolları ile simgelenen en az üç olay tanımlanmı tır. Bunlardan en genç fay kolu, güncel toprak haricindeki tüm birimleri kesmektedir. Bu olay, yapılan ya analizlerine göre MÖ 800 den sonraki bir zamanda meydana gelmi olmalıdır. Ay ebacı hende i, Kepsut segmentinin morfolojik olarak en iyi gözlemlendi i alanda açılmı tır. Hendek duvarlarında yapılan kinematik çalı malarda Kepsut segmentinin sa yanal bile eni olan e im atımlı normal fay karakterinde oldu u görülmektedir. Ay ebacı hende inde elde edilen stratigrafik verilere ve yapısal ögelerin analizlerine göre üç olay tanımlanmı tır. Elde edilen ya verileri kullanılarak bölgedeki gemi dönem depremler ile e le tirilen bu olaylardan en sonuncusu toprak altındaki en genç fay önü çökeli ile simgelenmektedir büyük olasılıkla tarihsel dönem deprem etkinli ine göre bölgede meydana gelen en son yıkıcı deprem olan 1897 ve/veya 1898 Balıkesir depremleri ile e le tirilmi tir.

#### 5. TARTI MA VE SONUÇLAR

zmir-Manisa-Balıkesir çevresinde yapılan paleosismoloji çalı maları, bölgedeki diri faylara ait segmentlerin tarih öncesi, tarihsel ve aletsel dönemde bölgede meydana gelen ve yüzey kırılı olu turan depremlerden sorumlu olduklarını ortaya ıkarmı tır (Tablo 1). Fay zonları boyunca toplam 8 hendek çalı ması yapılmı tır.

MF'nin Batı segmenti üzerinde yapılan paleosismolojik çalı malara göre, hendek içerisindeki stratigrafik ve yapısal ili kiler en az üç ayrı faylanma olayının varlı ını ortaya koymaktadır (Özkaymak vd., 2011). Elde edilen ya analizi sonuçları ile ya aralıkları belirlenen olayların, tarihsel deprem katalo unda yer alan depremler ile kar ıla tırılması ile, Hendek-1 içerisinde tanımlanan olay MS 926; Hendek-2 içerisinde tanımlanan ilk olay MS 1595 veya 1664; ve son olay MS 1845 depremleri ile e le tirilebilmi tir (Tablo 1). Ayrıca bölgede yapılan haritalama çalı maları ve arazi gözlemleri Manisa Fayı'ndaki kayma hızının yaklaşık 0.3 mm/yıl oldu unu göstermektedir (Özkaymak vd., 2011).



**Tablo 1.** Paleosimolojik hendek çalımlarının ayrıntıları. MF: Manisa Fayı, EFZ: Edremit Fay Zonu, HBFZ: Havran–Balıkesir Fay Zonu; BS: Batı, AS: Altınoluk, GS: Gökçeyazı, OS: Ovacık, KS: Kepsut Segmenti.

HENDEK	FAY ZONU	SEGMENT	KONUM	OLAY SAYISI	LI K L DEPREMLER
Hendek-1	MF	BS	ekil 2a	1	MS 926
Hendek-2	MF	BS	ekil 2a	2	MS 1595 veya MS 1664; MS 1845
Narlı	EFZ	AS	ekil 2b	3	< MÖ 13178; MÖ 3880–MS 80; MS 1944
Dede	HBFZ	GS	ekil 2c	4	MÖ 6420–MÖ 5319
Güngörmez	HBFZ	GS	ekil 2c	3	MÖ 4445–4420; MÖ 1175–925
Ovacık 1	HBFZ	OS	ekil 2c	2	MS 160 veya 253; MS 1296
Ovacık 2	HBFZ	OS	ekil 2c	2	MS 1296
Ay e bacı	HBFZ	KS	ekil 2c	3	MS 1897/1898

EFZ'nin Altınoluk segmenti üzerinde açılan Narlı hende inde 3 adet paleodeprem tanımlanmıştır (Tablo 1). İlk deprem MÖ-13178 yılından önce meydana gelmiş olmalıdır. İkinci deprem MÖ 3880 ile MS 80 yılları arasında gerçekleşmiştir. Son deprem ise 1944 depremiyle gerçekleştirilmiştir. Son depremden sonra geçen süre 71 yıldır. Narlı hende indeki verilere göre, EFZ'nin sistematik bir deprem tekrarlamaya periyodu olmamasına karşın, 1944 yılında kırılan fayın, önceki olaylar ile meydana gelen kırılmaları kullandığını gözlenmiştir.

HBFZ içerisinde yer alan Balıkesir Fayı'na ait Kepsut Segmenti üzerinde açılan Ay e bacı hende i, MS yüzey faylanması ile sonuçlanan üç olayın varlığını işaret eder (Tablo 1). Bunlardan sonuncusu 1897/1898 Balıkesir depremleri ile gerçekleştirilmiştir. Balıkesir ve yakın çevresinde, ilk iki depremi etkileyecek tarihsel dönem deprem kaydı yer almamaktadır. Elde edilen hendek logu ve ya verilerine göre Balıkesir Fayı'nın Kepsut segmenti üzerinde deprem tekrarlamaya aralığı son iki depreme göre yaklaşık 1000 yıl olarak hesaplanmıştır. Bölgede meydana gelen en son yüzey kırılmaları turan depremin 1897/1898 depremleri olduğu göz önüne alındığında, son büyük depremden sonra geçen zaman 117/118 yıldır. Elde edilen verilere göre, Kepsut segmenti diri bir fay olup yaklaşık 25 km boyunca takip edilebilmektedir. Wells ve Coppersmith'in (1994) kuramsal formülüne göre, bu segmentten kaynaklanacak en büyük depremin moment büyüklüğü  $M_w = 6.7$ 'dir. Balıkesir Fayı'na ait Gökçeyazı segmenti üzerinde açılan Güngörmez ve Dedenin Yeri hendekleri, bu segmentin MÖ yüzey faylanmasıyla sonuçlanan depremler ürettiğini ve fakat MS döneminde henüz kırılmadığını göstermektedir. Özellikle Güngörmez hende i içerisinde elde edilen veriler, MÖ 850±50'ye kadar 3 paleodepremin geliştiğini saptanmıştır. Bu depremlere göre fayın deprem tekrarlamaya aralığı yaklaşık 1000 yıl olarak kabul edilmiştir. Buna göre, fayın MS döneminde deprem ürettiğine dair herhangi bir sismolojik kayıt olmadıktan, bu faydan kaynaklanan son depremin üzerinden 2000 yıl gibi uzun bir süre geçtiği anlaşılmaktadır. Ayrıca Hendek verileri Dedenin Yeri hende indeki fay kolunun, Güngörmez Hende indeki fay koluna göre daha yaşlı olduğunu göstermektedir. Gökçeyazı segmenti diri bir fay parçası olup yaklaşık 40 km boyunca takip edilebilmekte, üreteceği en büyük depremin moment büyüklüğü aynı kuramsal formüle göre  $M_w = 6.95$  olarak hesaplanmaktadır. Havran–Balya Fayı'na ait Ovacık segmenti üzerinde açılan Ovacık 1 ve 2 hendekleri, MÖ 13630±150 sonrasında yüzey faylanması ile sonuçlanan 4 olayın meydana geldiğini işaret etmektedir. Her iki hendek verisi de Ovacık segmentinde en son iki olayın MS 160 veya 253 ile MS 1296 tarihsel dönem depremleriyle gerçekleştirilebileceğini göstermiştir. Buna göre son depremden sonra geçen zaman 719 yıldır. HBFZ içerisinde yer alan Ovacık segmenti diri bir fay olup yaklaşık 22 km uzunluğundadır. Ovacık segmentinden kaynaklanacak depremin moment büyüklüğü ise  $M_w = 6,6$  olarak hesaplanmaktadır. HBFZ içindeki Kepsut, Gökçeyazı ve Ovacık segmentlerinin ortalama 1000 yıllık bir deprem tekrarlamaya aralığına sahip oldukları görülmektedir. Bu sonuca göre, HBFZ içinde paleosimolojik amaçlı yapılan çalımların sonuçları, Gökçeyazı

segmenti üzerinde yakın bir gelecekte yıkıcı bir deprem beklenmesi gerektiğini açık bir şekilde göstermektedir. Jeomorfolojik veriler ve hendek duvarlarındaki atım değerleri birlikte değerlendirildiğinde segmentlerin ortalama 1–1.5 mm/yıl kayma hızına sahip oldukları hesaplanmıştır.

### KATKIBELRTME

Bu çalışmada, TC Bakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı'nca oluşturulan UDSEP-2023 planında yer alan, Türkiye Paleosismoloji Projesi (TÜRKPA) kapsamındaki UDAP-G-13-18 No'lu proje tarafından desteklenmiştir. Yazarlar, projenin gerçekleştirilmesinde emeği olan AFAD, MTA, DEÜ personeline ve proje çalışmaları alanı sınırlarındaki yerel belediye çalışanlarına teşekkür eder.

### KAYNAKLAR

- Altınok, Y., Alpar, B., Yalıtırak, C., Pınar, A. & Özer, N. (2012). The earthquakes and related tsunamis of October 6, 1944 and March 7, 1867; NE Aegean Sea. *Natural Hazards* **60**, 3-25.
- Ambraseys, N.N. (1988). Engineering seismology. *Journal of Earthquake Engineering Structural Dynamics*, **17**, 1-105.
- Ambraseys, N., & C. Finkel (1991). Long-term seismicity of Istanbul and of the Marmara Sea region. *Terra Motae* **3**, 527-539.
- Ambraseys, N. N. & Jackson, J. A. (2000). Seismicity of the Sea of Marmara (Turkey) since 1500. *Geophysical Journal International* **141**, F1-F6.
- Ambraseys, N.N. & Jackson, J.A. (1998). Faulting associated with historical ve recent earthquakes in the Eastern mediterranean region. *Geophysical Journal International* **133**, 390–406.
- Ambraseys, N.N. (2002). The seismic activity of the Marmara Sea region over the last 2000 years. *Bulletin of the Seismological Society of America* **92**, 1-18.
- Ambraseys, N. N. & Finkel, C. F. (2006). Türkiye'de ve Komşu Bölgelerde Sismik Etkinlikler: Bir Tarihsel inceleme, 1500-1800, TÜBİTAK Yayınları, Akademik Dizi-4.
- 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.
- Barka, A., Akyüz, S., Rockwell, T., Tatar, O., Gürsoy, H., Temiz, H. ve Emre, Ö. (1996). Kuzey Anadolu Fayının Gaziköy-Saroz Segmenti, Gediz grabeni Salihli-Alaşehir ve İzmir çevresi aktif fayları üzerinde paleosismolojik çalışmalar. TÜBİTAK Projesi No: YDABÇAG 434-G, s.115, yayınlanmamıştır.
- Bingöl, E. (1976). Batı Anadolu'nun Jeotektonik Evrimi, *MTA Dergisi* **86**, 14-35.
- Dewey, J.F., & Engör, A.M.C. (1979). Aegean and surrounding regions: complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone. *Geological Society of America Bulletin* **90**, 84-92.
- EMSC, European-Mediterranean Seismological Centre. <http://www.emsc-csem.org/index.php?page=home>. Accessed 20 July 2009.
- Emre, Ö., Özalp, S., Doğan, A., Özaksoy, V., Yıldırım, C. ve Göktaş, F. (2005). İzmir Yakın Çevresinin Diri Fayları ve Deprem Potansiyelleri. MTA Raporu no:10754, Ankara.
- Emre, Ö. & Doğan, A. (2010). 1:250,000 Scale Active Fault Map Series of Turkey, Ayvalık (NJ 35-2) Quadrangle. Serial Number: 4, General Directorate of Mineral Research And Exploration, Ankara-Turkey.
- Emre, Ö., Doğan, A. & Özalp, S. (2011a). 1:250,000 Scale Active Fault Map Series of Turkey, Balıkesir (NJ 35-3) Quadrangle. Serial Number: 2, General Directorate of Mineral Research And Exploration, Ankara-Turkey.
- Emre, Ö., Özalp, S. ve Duman, T.Y. (2011b). 1:250,000 Scale Active Fault Map Series of Turkey, İzmir (NJ 35-7) Quadrangle. Serial Number: 6, General Directorate of Mineral Research And Exploration, Ankara-Turkey.
- Emre, Ö., Doğan, A. ve Yıldırım, C. (2012). Biga Yarımadasının Diri Fayları ve Deprem Potansiyeli, Biga Yarımadasının Genel ve Ekonomik Jeolojisi, Özel yayın serisi-28, 163- 198, MTA, Ankara.
- Ergin, K., Güçlü, U. & Uz, Z. (1967). A Catalog of Earthquakes for Turkey and Surrounding Area (11 A.D. to 1964 A.D.). Technical Report, İstanbul Technical University, Faculty of Mines, Institute of Physics of the Earth, no: 24.
- Guidoboni, E., Comastri, A. and Triana, G. (1994). Catalogue of Ancient Earthquakes in the Mediterranean Area up to the 10th Century. Italy: Istituto Nazionale di Geofisica.

- ISC 2001. International Seismological Centre. On-line Bulletin, <http://www.isc.ac.uk/Bull>, International Seismological Centre, Thatcham, United Kingdom.
- nci, U., Sözbilir, H., Sümer, Ö. ve Erkül, F. (2003). Urla-Balıkesir arası depremlerin nedeni fosil bir fay. Cumhuriyet Bilim ve Teknik Dergisi, 21 Haziran 2003, 7-8.
- Karacık, Z. & Yılmaz, Y. (1998). Geology of the ignimbrites and associated volcano-plutonic complex of the Ezine area, northwestern Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **85**, 251-264.
- KOERI. Boaziçi University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, [www.koeri.boun.edu.tr/scripts/1st4.asp](http://www.koeri.boun.edu.tr/scripts/1st4.asp).
- McKenzie, D. (1972). Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophysical Journal of Royal Astronomical Society* **30**, 109-185.
- Okay, A. ., Siyako, M., & Bürkan, K. A. (1991). Geology and tectonic evolution of the Biga Peninsula. *Bulletin of the Technical University of Istanbul* **44**, 191-256.
- Okay, A. . & Satır, M. (2000). Coeval plutonism and metamorphism in a latest Oligocene metamorphic core complex in northeast Turkey. *Geological Magazine* **137:5**, 495-516.
- Öcal, N. (1968). Türkiyenin Sismisitesi ve Zلزele Co rafyası, 1850-1960 Yılları çin Zلزele Katalo u. Kandilli Rasathanesi Yayınları, 8, İstanbul.
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Uzel, B., Akyüz, H.S. (2011). Geological and palaeoseismological evidence for late Pleistocene–Holocene activity on the Manisa Fault Zone, western Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences* **20/4**, 449–474.
- Papazachos, B. & Papazachou, C. (1997). The Earthquakes of Greece. Thessaloniki: Ziti Publications.
- Pınar, N. & Lahn, E. (1952). Turkish Earthquake Catalog with Discriptions. Technical Report, Turkey The Ministry of Public Works and Settlement, The General Directorate of Constrction Affairs, Serial 6, no. 36.
- Reilinger, R., McClusky, S., Oral, M.B., King, R.W., Toksöz, M.N., Barka, A.A., Kinik, I., Lenk, O., & Sanli, I. (1997). Global Positioning System measurements of presentday crustal movements in the Arabia-Africa-Eurasia plate collision zone. *J. Geophys. Res.* **102**, 9983-9999.
- Salomon-Calvi, W. (1940). Erzincan Yer Sarsıntıları [Erzincan Earthquakes]. *General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA) Bulletin* **18**, 25–27.
- Siyako, M., Bürkan, K.A. ve Okay, A. . (1989). Biga ve Gelibolu Yarımadalarının Tersiyer Jeolojisi ve Hidrokarbon Olanakları, *TPJD Bülteni* **1:3**, 83-199.
- Soysal, H., Sipahio lu, S., Kolçak, D. & Altınok, Y. (1981). Historical earthquake catalogue of Turkey and surrounding area (2100 B.C. – 1900 A.D.). Technical Report, TUB TAK, No: TBAG-341.
- Sözbilir, H., nci, U., Erkül, F., Sümer, Ö. (2003). An active intermitten 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, poster session P2/2, 31 Augst to 12 September 2003, Ankara.
- engör, A. M. C., Görür, N. & aro lu, F. (1985). Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, in: Biddle, K. T. & Christie-Black, N. (eds), Strike-slip deformation, basin formation and sedimentation, Special Publication, Soc. Econ. Paleont. Min., no. 37, 227-264.
- Tan, O. & Taymaz, T. (2001). Source parametres of November 6, 1992 Döganbey ( zmir) earthquake ( $M_w=6.0$ ) obtained from inversion of teleseismic body-waveforms. In: Proceedings of 4th International Turkish Geology Symposium: Work in Progress on the Geology of Turkey and Its Surroundings, Çukurova University Publications, p. 171.
- Taymaz, T., Jackson, J. & McKenzie, D. (1991). Active tectonics of the north and central Aegean Sea. *Geophysical Journal International* **106**, 433-490.
- 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.
- Wells L.D., & Coppersmith, K.J. (1994). New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America* **84:4**, 974-1002.
- Yaltrak, C. (2006). Kazda ırının Tektonik Yapısı ve Edremit Körfezi'ni Karadan Sınırlayan Fayların Karakterleri, ATAG-10, Bildiri Özleri Kitabı, 94-95.

- Yaltrak, C., ler, E. B., Aksu, A. E. & Hiscott, R. N. (2012). Evolution of the Bababurnu basin and shelf of the Biga-Peninsula: Western extension of the middle strand of the North Anatolian Fault Zone, Northeast Aegean Sea, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences* **57**, 103-119.
- 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**, 31-43.
- Zimmermann, F. (1945). 6.10.1944 Tarihinde Vukubulan Ayvacık-Ayvalık Yersarsıntısı [Ayvacık-Ayvalık Earthquake dated October 6, 1944]. Earthquake Research Centre, 862-1, Yer No: 025.343 Dab0, Ankara.