



# MTA Yerbilimleri ve Madencilik Dergisi

<https://www.mta.gov.tr/mtayerbilimleri/>



## Yatağan fayının aktif tektonik özellikleri ve Holosen paleosismolojik tarihçesi, Güneybatı Anadolu, Türkiye

Akın KÜRÇER<sup>a\*</sup> ve Halil GÜRSOY<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, 06530, Ankara, Türkiye

<sup>b</sup>Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas, Türkiye

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler:

Yatağan Fayı, Paleosismoloji,  
<sup>14</sup>C Yöntemi, Deprem  
 Tekrarlanma Aralığı,  
 Güneybatı Anadolu

**ÖZ**

Batı Anadolu'da neotektonik dönemde KKD-GGB yönlü genişleme rejimi altında, kenarları normal faylarla sınırlanmış çok sayıda graben ya da yarı graben gelişmiştir. Yatağan Yarı Grabeni, Büyük Menderes ve Gökova grabenleri arasında yer almakta olup, güneybatı kenarı Yatağan Fayı tarafından sınırlanmıştır. Yatağan Fayı, 17 km uzunluğunda, K55-65°B genel doğrultulu, 60-65° kuzeydoğuya eğimli, aktif bir normal faydır. Fayın güncel etkinliğini belgeleyen pek çok morfotektonik veri bulunmaktadır. Fay kayma verilerinin kinematik analiz sonuçlarına göre, Yatağan Fayı K40°D ve G40°B yönlü genişlemeli bir tektonik rejim altında gelişmiştir. Bu genişlemeli tektonik rejim, kuzeydoğuya doğru dalan Afrika okyanusal litosferinin üzerinde gelişen yay gerisi genişleme ile ilişkilendirilmiştir. Normal faylar için öngörülen görgül eşitliklere göre, Yatağan Fayı'nın üretebileceği en büyük deprem büyüklüğü Mw 6,48, en büyük yer değiştirme miktarı 0,74 metre, ortalama yer değiştirme miktarı ise 0,43 metre olarak hesaplanmıştır. Yatağan Fayı boyunca yürütülen paleosismoloji çalışmalarında, son 11000 yıl içerisinde, yüzey kırığı üretmiş 4 deprem tanımlanmış ve tarihlendirilmiştir. Yatağan Fayı'nın 1548 yıl ile 3655 yıl arasında değişmek üzere, ortalama 2600 yıllık bir deprem tekrarlanma aralığına sahip olduğu anlaşılmıştır. Paleosismolojik veriden elde edilen ortalama deprem tekrarlanma aralığı (2600 yıl) ve ortalama yer değiştirme miktarı (0,43 metre) göz önüne alındığında, Yatağan Fayı için yıllık kayma hızı ortalama 1,18 mm/yıl olarak hesaplanmıştır.

Gönderim Tarihi: 01.02.2022

Kabul Tarihi: 18.09.2022

Keywords:

Yatağan Fault,  
 Paleoseismology, <sup>14</sup>C  
 Dating Method, Earthquake  
 Recurrence Interval,  
 Southwestern Anatolia

**ABSTRACT**

During the neotectonic period in Western Anatolia, many grabens or half-grabens developed under the NNE-SSW extensional regime, the edges of which were bounded by normal faults. The Yatağan half-graben is located between the Büyük Menderes and Gökova grabens, and its southwestern edge is bounded by the Yatağan Fault. The Yatağan Fault is an active normal fault with a length of 17 km, general strike N55-65°W and dip 60-65° northeast. There are many morphotectonic data documenting the current activity of the fault. According to the results of the kinematic analysis of the fault slip data, the Yatağan Fault developed under a N40°E and S40°W extensional tectonic regime. This extensional tectonic regime has been associated with a backarc extension that developed over the northeastward subducting African Oceanic Lithosphere. According to the empirical equations suggested for normal faults, the maximum expected earthquake magnitude that the Yatağan Fault can produce is Mw 6.48, the maximum displacement amount is 0.74 meters, and the average displacement amount is 0.43 meters have been calculated. In paleoseismology studies conducted along the Yatağan Fault, 4 earthquakes that produced surface ruptures in the last 11000 years were identified and dated. It has been understood that the Yatağan Fault has an earthquake recurrence interval of 2600 years on average, varying between 1548 years and 3655 years. Considering the average earthquake recurrence interval (2600 years) and average displacement (0.43 meter) obtained from the paleoseismological data, the average annual slip rate for the Yatağan Fault was calculated as 1.18 mm/year.

Received Date: 01.02.2022

Accepted Date: 18.09.2022

\*Başvurulacak yazar: Akın KÜRÇER, [akin.kurcer@mta.gov.tr](mailto:akin.kurcer@mta.gov.tr)

## 1. Giriş

Batı Anadolu'da Holosen döneminde çok sayıda yıkıcı deprem geliştiği hem tarihsel ve hem de aletsel deprem kataloglarından bilinmektedir (Pınar ve Lahn, 1952; Ergin vd., 1967; Soysal vd., 1981; Guidoboni vd., 1994; Ambraseys, 1988; 2001; 2009; Ambraseys ve Jackson, 1998; Guidoboni ve Comastri, 2005; Kalafat vd., 2007; Tan vd., 2008; Kılıç vd., 2017; Kadirioglu vd., 2018). Fakat bu depremlerin sismik tehlike kaynaklarının hangileri olduğu konusundaki bilgiler çok kısıtlıdır. Özellikle, Batı Anadolu'da, tarihsel ve tarih öncesi depremlerin sismik kaynakları konusunda son 20 yılda başlatılan paleosismolojik çalışmalar Çanakkale, Balıkesir, Manisa, İzmir, Afyon ve Aydın il sınırları içindeki faylar üzerine yoğunlaşmıştır. Fakat Muğla il sınırları içindeki paleosismolojik çalışmalar, Ören Fayı üzerinde uygulanan kozmojenik çalışmalar (Mozafari vd., 2022) ve Muğla ile Milas faylarındaki hendek tabanlı paleosismolojik çalışmalarla kısıtlıdır (Akyüz vd., 2019, 2021). Yatağan Fayı üzerinde ise yalnızca Basmenji vd. (2021) tarafından gerçekleştirilen bir paleosismoloji çalışması bulunmaktadır. Söz konusu çalışmada, Yatağan Fayı üzerinde iki alanda yapmış oldukları paleosismolojik hendek çalışmalarına göre, ilki MÖ. 366 -160 yılları arasında, sonraki ise MS. 342 ± 131 yıllarında iki tarihsel deprem tanımlama dışında diğer paleosismolojik parametrelere ulaşamamıştır. Bu açığı kapatmak için Yatağan Fayı üzerine iki yeni hendek açılmış ve bu hendeklerden çıkan paleosismolojik sonuçlar bölgedeki diğer sonuçlarla karşılaştırılarak Muğla ilinin deprem tehlikesi düzeyine yaklaşımlarda bulunulmuştur.

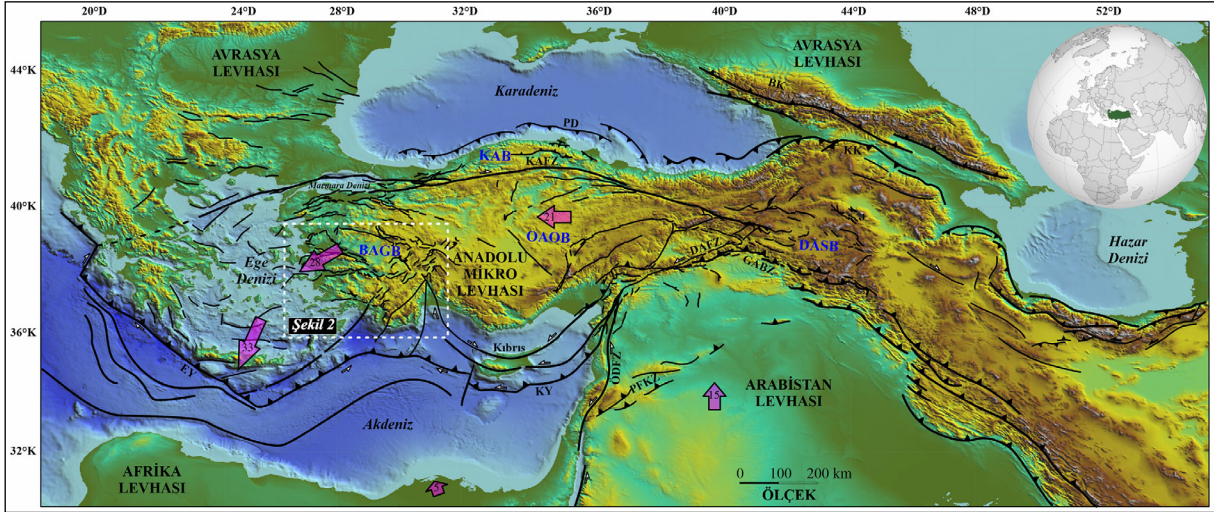
Yatağan Fayı ilk defa Şaroğlu vd. (1987) tarafından, Muğla-Yatağan Fay Zonu adı altında, Muğla GD'su ile Yatağan arasında KB-GD doğrultusunda uzanan birbirine koşut faylardan oluşan bir zon içerisinde tanımlanmıştır. Daha sonra, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından yayınlanan çeşitli ölçeklerdeki diri fay haritalarında, Yatağan Fayı Muğla Fayı'ndan bağımsız olarak Holosen aktif fay mertebesinde tekil bir fay olarak değerlendirilmiştir (Duman vd., 2011; Emre vd., 2013). Yatağan'ın 10 km kuzeybatısında yer alan Lagina tapınağında yapılan bir arkeosismoloji çalışmasında, sistematik olarak çökmüş kolonlar, kıvrılmış taban yapıları, ayrılmalar ve

duvarlarda eğimlenmeler gözlenmiştir (Karabacak, 2016). Karabacak (2016), Yatağan Fayı'nı tıpkı Şaroğlu vd. (1987) çalışmasında olduğu gibi Muğla Fayı ile birlikte değerlendirmiş ve her iki fayı Muğla Fayı adı altında incelemiştir. Yazar'a göre Lagina'da gözlenen deformasyon yapıları, Muğla Fayı'nın MS. 4. yüzyıl ya da hemen sonrasında üretmiş olduğu bir depremin eş-sismik etkileridir. Emre vd. (2018); MTA tarafından yenilenmiş olan Türkiye Diri Fay Haritası'ndaki diri fayların deprem potansiyellerinin ortaya konduğu çalışmada, 17 km uzunluğundaki Yatağan Fayı'nın üretebileceği en büyük deprem Mw 6,48 olarak hesaplanmıştır. Basmenji (2019), jeomorfik analizlere göre Yatağan Fayı'nı üç geometrik segmente ayırmış ve bu segmentler için  $0,18 \pm 0,05$  mm/yıl ile  $0,3 \pm 0,05$  mm/yıl arasında değişen düşey kayma hızı hesaplamışlardır. GPS çalışmalarına göre Batı Anadolu'daki K-G yönlü genişleme hızı 20 mm/yıl'dır (Aktuğ vd., 2009). Güneybatı Anadolu bölgesi karmaşık bir iç yapıya sahip olmasına rağmen, bölgesel GPS ölçümleri, bu bölgenin saatin tersi yönünde rotasyonel bir hareketle 15-30 mm/yıl hızla güneybatıya doğru hareket ettiğini göstermektedir (Oral vd., 1995; McClusky vd., 2003; Reilinger vd., 1997, 2006, 2010).

Aşağıda, öncelikle bölgenin jeolojisi ve tektonik özellikleri verilecek, daha sonra Yatağan Fayı'nın aktif tektonik özellikleri ve Holosen'deki paleosismolojik tarihçesi ile ilgili yeni bulgular sunulacaktır.

## 2. Bölgesel Jeoloji ve Tektonik

Afrika, Arabistan ve Avrasya levhaları arasındaki Neotetis Okyanusu'nun Kuzey Kolu'nun kapanması ile başlayan kıtasal çarpışma ve devamındaki ilerleyen deformasyon süreçleri, Doğu Akdeniz bölgesinde, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ) ve aktif bir yitim zonu olan Ege-Kıbrıs Dalma-Batma Zonu ile birbirlerinden ayrılan ana neotektonik bölgelerin gelişimini sağlamıştır (McKenzie, 1972, 1978; Şengör, 1980; Jackson ve McKenzie, 1984; Şengör vd., 1985; Taymaz vd., 1991; Le Pichon, vd., 1995; Armijo vd., 1999; Bozkurt, 2001a) (Şekil 1). Bu kıtasal çarpışma sonucunda oluşan KAFZ ve DAFZ boyunca, Anadolu mikro-levhası batıya doğru hareket etmeye başlamıştır (Şekil 1; McKenzie, 1972; Dewey ve Şengör, 1979; Şengör vd., 1985).



Şekil 1- Doğu Akdeniz Bölgesi'ndeki başlıca tektonik yapılar ve neotektonik bölgeler. Türkiye'deki aktif faylar Emre vd. (2013)'den, Türkiye çevresindeki aktif faylar Duman vd. (2018) ve kaynaklarından sadeleştirilmiş ve neotektonik bölgeler Şengör vd. (1985)'ten alınmıştır. EY: Ege Yayı, KY: Kıbrıs Yayı, ÖDFZ: Ölü Deniz Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, GABZ: Güneydoğu Anadolu Bindirme Zonu, PD: Pontid Dikliği, KK: Küçük Kafkaslar, BK: Büyük Kafkaslar, BAGB: Batı Anadolu Graben Bölgesi, OAOB: Orta Anadolu Ova Bölgesi, DASB: Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi, KAB: Kuzey Anadolu Bölgesi, PFKZ: Palmira Fay ve Kıvrım Zonu. Oklar levha hareket yönlerini, üzerindeki rakamlar ise yıllık levha hareket hızlarını (mm) göstermektedir (Reilinger vd., 2006) göstermektedir. Sayısal yükseklik modeli için GeoMap Application verisi kullanılmıştır.

Anadolu mikro-levhasının batıya doğru hareketi, Ege Denizi'nin güneyinde, Ege Yayı boyunca kuzeye doğru dalan Afrika okyanusal litosferi tarafından karşılanmaktadır. Bu durum GB Anadolu'da saatin tersi yönünde bir rotasyona neden olmaktadır (Şengör, 1980; Şengör ve Kidd, 1979; Şengör vd., 1985; Reilinger vd., 1997). Güneybatı yönlü bu rotasyonal hareket, Batı Anadolu'da levha içi kıtasal genişleme tektoniğine neden olmaktadır (McKenzie, 1972; Şengör, 1980; Bozkurt ve Mittweide, 2005). Güneybatı Anadolu'yu da kapsayan Batı Anadolu Graben Sistemi (BAGS), 20 mm/yıl GPS hız değeri ile kanıtlanmış, Dünya'nın en aktif genişlemeli tektonik bölgesidir (Aktuğ vd., 2009). Bu alanda, D-B, KD-GB ve KB-GD uzanımlı çok sayıda aktif normal fay ve bu faylar tarafından denetlenen graben ya da yarı-grabenler gelişmiştir (Şekil 2). Bir ya da iki kenarı aktif normal faylar tarafından sınırlandırılan bu yapılara, KB-GD doğrultulu Muğla Yarı Grabeni (MYG) ve Yatağan Yarı Grabeni (YYG) ile B-D doğrultulu Gökova Grabeni (GG) örnek verilebilir.

Yatağan Yarı Grabeni, kuzeybatıda Şahinler (Yatağan-Muğla) ile güneydoğuda Salihpaşalar (Yatağan-Muğla) arasında KB-GD doğrultusunda uzanan, güneybatı kenarı Yatağan normal fayı

tarafından sınırlandırılmış, yaklaşık 20 km uzunluğunda ve en fazla 7 km genişliğinde bir yarı grabendir (Şekil 3 ve 4).

Yatağan Yarı Grabeni, kuzeyde Büyük Menderes Grabeni ile güneyde ise Gökova Körfezi arasında yer almaktadır. Güneybatı Anadolu'da Prekambriyen'den günümüze kadar uzanan geniş bir zaman aralığında oluşmuş kaya birimleri yüzeyler. Bölgenin temelini Menderes Masifi'ne ait kaya toplulukları ile bu birimi tektonik olarak üzerleyen Likya Napları oluşturmaktadır. Temele ait bu birimler, Eosen'den günümüze kadar değişen yaş konağındaki örtü birimleri tarafından uyumsuzlukla örtülmektedir (Şekil 3).

Bir metamorfik çekirdek kompleks olan Menderes Masifi, tektonik olarak Likya Napları tarafından üzerlenmektedir (Graciansky, 1972; Collins 1997, 1999; Oberhänsli vd., 2001). Alpin dağ oluşum kuşağının Batı Anadolu'daki önemli bir unsuru olan Menderes Masifi, Erken Miyosen'den beri devam eden K-G açılma rejiminin etkisi altında bugünkü jeotektonik konumuna ulaşmıştır (Koçyiğit vd., 1999; Bozkurt ve Oberhänsli 2001; Seyitoğlu vd., 2002; Sözbilir, 2002). Erken Pliyosen'den (~5 My) itibaren,



Şekil 2- Kuzeybatı Anadolu'nun başlıca yapısal elemanlarını ve grabenleri gösteren harita (Aktif faylar: Emre vd., 2013, 2018; Ayrılmamış Kuvaterner çökeller: Konak, 2002; Konak ve Şenel, 2002; Şenel, 2002; Turhan, 2002). AG-Acıgöl Grabeni; AfG-Afyon Grabeni; AkG-Akşehir Grabeni; BG-Baklan Grabeni; BMG-Büyük Menderes Grabeni; BkG-Büyükkarabağ Grabeni; BuG-Burdur Grabeni; ÇG-Çölovası Grabeni; DYG-Dinar Yarı Grabeni; DeG-Denizli Grabeni; GG-Gediz Grabeni; GG: Gökova Grabeni; HG-Honaz Grabeni; KG-Kale Grabeni; KaG-Karamuk Grabeni; MYG: Muğla Yarı Grabeni; YYG: Yatağan Yarı Grabeni (Özalp vd., 2018'den düzenlenmiştir).

bölgede etkin olan K-G yönlü genişleme, Menderes Masifi üzerinde yer alan Gediz ve Büyük Menderes grabenlerinin oluşmasına neden olmuştur (Koçyiğit vd., 1999; Bozkurt, 2001a, b; Sarıca, 2000; Yılmaz vd., 2000; Genç vd., 2001; Gürer vd., 2001; Sözbilir, 2001, 2002; Yılmaz ve Karacık, 2001). Likya Napları (Ersoy, 1990) çalışma alanında Menderes Masifi'nin güney ve güneydoğu kesimlerinde, Gökova Körfezi'nin kuzey ve güney kıyıları ile Köyceğiz civarında temeli oluşturmaktadırlar (Şekil 3). Likya Napları üç ana tektono-stratigrafik birimle tanımlanmaktadır. Bunlar; Likya bindirme dilimleri, Likya melanji ve Likya ofiyolit bindirme dilimleri olarak adlandırılmıştır (Graciansky, 1972; Poisson, 1977; Collins ve Robertson, 1997, 1999). Menderes Masifi'ni tektonik olarak üzerleyen Likya Napları üzerinde uyumsuzlukla Eosen'den günümüze kadar yaş aralığında çökelmiş

örtü birimleri yer almaktadır. Bu birimlerden Erken Miyosen yaşlı kırıntılılar, karbonatlar ve neritik kireçtaşları Gökova Körfezi'nin kuzey kesiminde Gökova Fay Zonu çevresinde geniş bir alanda yüzlek vermektedir. Muğla ve Yatağan havzalarının kuzey kesimlerinde Üst Miyosen yaşlı karasal kırıntılılar baskın iken, Yatağan'ın güneydoğusundaki Alaşar'ın güney kesimlerinde Geç Miyosen-Pliyosen yaşlı karbonatlar yersel olarak yüzlekler vermektedir. Orta Miyosen yaşlı kırıntılılar daha çok Yatağan Fayı'nın kuzeybatısında yüzlemektedir.

Yatağan Fayı uzanımı boyunca çoğunlukla, Menderes Masifi'nin örtü serisine ait geç Paleozoyik yaşlı şist-fillat ardalanması ve Jura-Kretase yaşlı mermerler ile Kuvaterner yaşlı yamaç molozu ve alüvyonların dokanağını oluşturur. Sınırlı alanlarda



ise, Yatağan Havzası'na ait Orta Miyosen yaşlı kırıntılılar ile Kuvaterner yaşlı birimlerin sınırını oluşturur (Şekil 4).

### 3. Tarihsel ve Aletsel Dönem Depremselliği

Ulusal ve uluslararası, tarihsel ve aletsel dönem deprem katalogları (Ergin vd., 1967; Soysal vd., 1981; Kalafat vd., 2007; Stucchi vd., 2013; Başarır-Baştürk vd., 2017; Kadirioglu vd., 2018) ve yayınlarına (Ambraseys ve Finkel, 1991; Guidoboni vd., 1994; Ambraseys ve Jackson, 1998; Guidoboni ve Comastri, 2005; Ambraseys, 2009; Sözbilir vd., 2017; Karabacak, 2016; Akyüz vd., 2019; Basmenji vd., 2021; Akyüz vd., 2021) göre, inceleme alanı çevresinde tarihsel (1900 öncesi) ve aletsel (1900 sonrası) dönemlerde hasar yapıcı depremler meydana gelmiştir (Şekil 5 ve 6).

Bu çalışmada, 1900-2021 yılları arasında, Muğla ve çevresinde meydana gelen  $M_w \geq 5,0$  depremler (Şekil 6) değerlendirilmiştir. 1900 – 2021 yılları arasındaki depremler AFAD'tan alınmıştır. Bunun yanı sıra, bölgede meydana gelen  $M_w \geq 4,0$  depremlerden, toplam 20 depremin moment tensör çözümüne yer verilmiştir (Şekil 6). Moment tensör çözümü yapılan depremlerin kaynakçası Çizelge 1'de sunulmuştur.

Muğla ve çevresinde meydana gelen  $M_v \geq 5,0$  aletsel dönem depremlerinin önemli bir bölümünün Ege-Kıbrıs Yay sistemi üzerinde ya da bununla ilişkili yay gerisi genişleme alanında meydana geldiği anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, aletsel dönem depremlerinin önemli bir bölümünün Gökova Fay Zonu'ndan, bir kısmının ise Muğla ve Yatağan faylarından kaynaklandığı görülmektedir (Şekil 6). Moment tensör çözümlerine göre, bu depremlerin hemen hemen hepsinin bölgedeki yaklaşık D-B doğrultulu normal faylardan kaynaklandığı, dolayısıyla çalışma alanının kabaca K-G yönlü bir genişlemeli tektonik rejim altında deformasyona uğradığı anlaşılmaktadır.

Fakat aletsel dönemde Yatağan Fayı ile doğrudan ilişkilendirilebilecek bir deprem bulunmamaktadır. Bununla birlikte, Wells ve Coppersmith (1994), tarafından normal faylar için öngörülen görgül

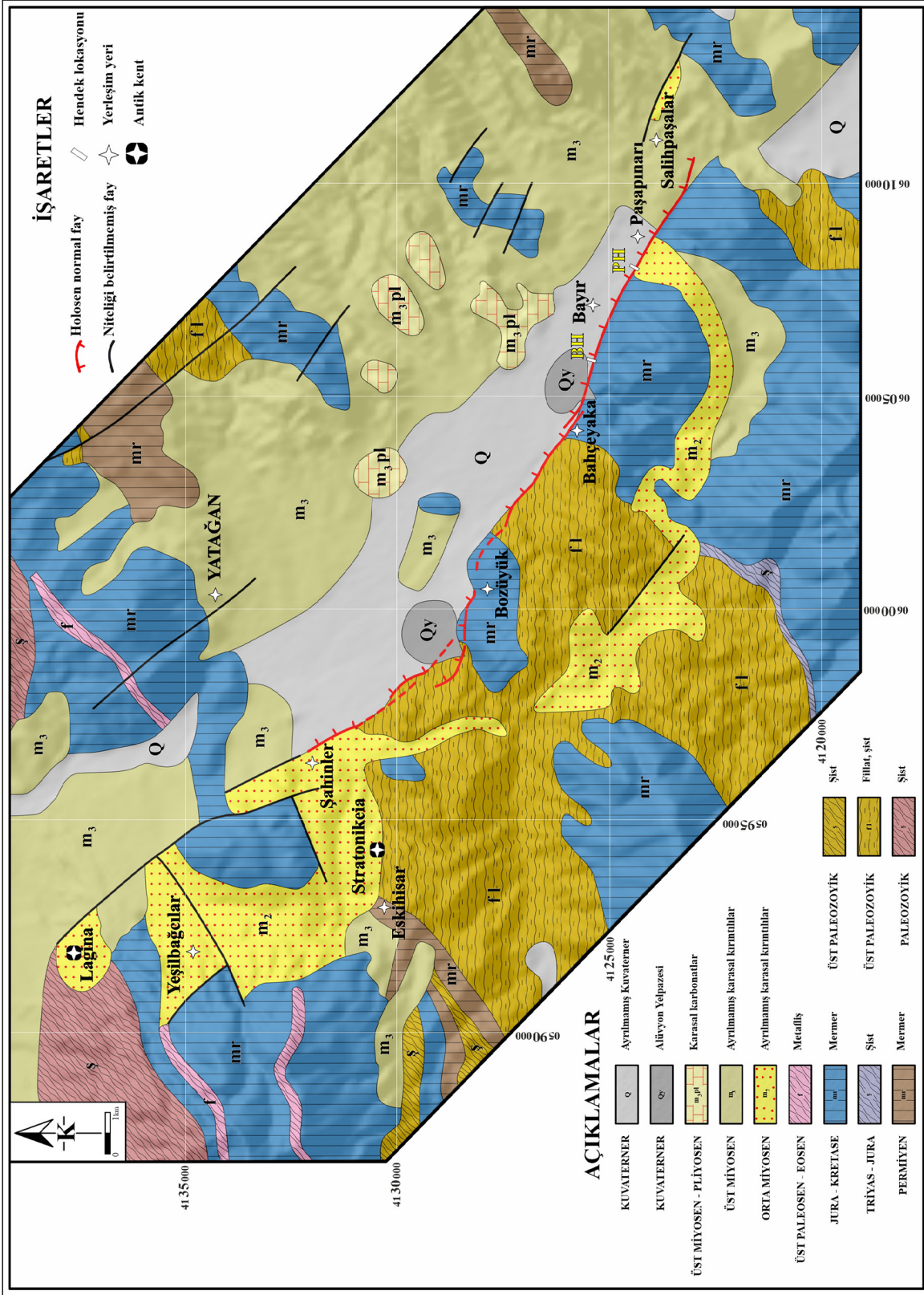
eşitliklere göre, Yatağan Fayı'nın üretebileceği en büyük deprem  $M_w$  6,48, en büyük yer değiştirme miktarı 0,74 metre, ortalama yer değiştirme miktarı ise 0,43 metre olarak hesaplanmıştır.

### 4. Yatağan Fayı'nın Morfotektonik ve Kinematik Özellikleri

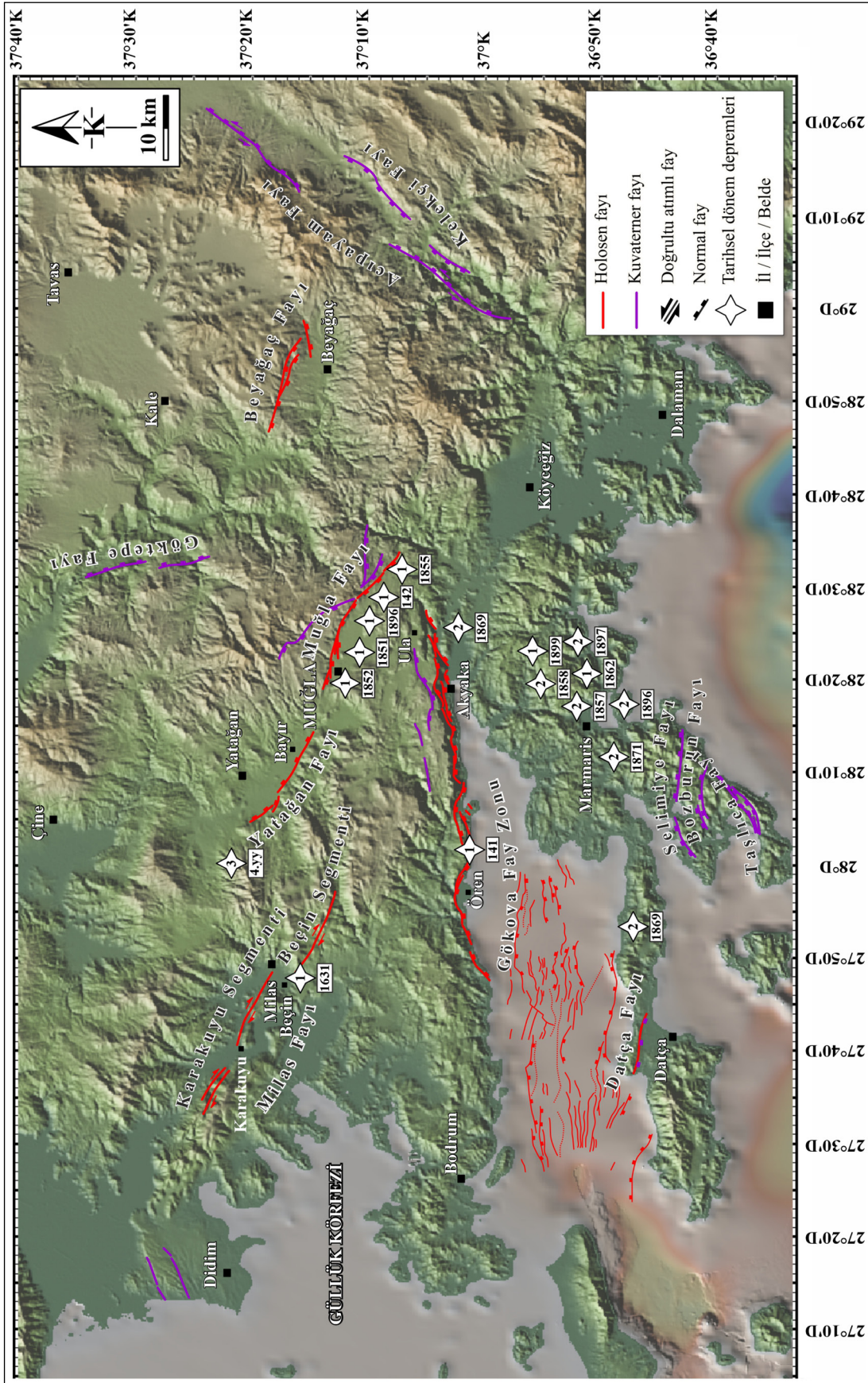
Yatağan Fayı, Yatağan Yarı Grabeni'ni güneybatıdan sınırlandıran, güneydoğuda Salihpaşalar (Yatağan-Muğla) ile kuzeybatıda Şahinler köyleri (Yatağan-Muğla) arasında  $K55-65^\circ B$  genel doğrultusunda uzanan,  $60-65^\circ$  KD'ya eğimli, 17 km uzunluğunda bir normal faydır (Şekil 7).

Yatağan Fayı'nın Holosen aktivitesini belgeleyen, çizgisel fay sarplıkları, faylar tarafından kesilmiş alüvyon yelpazeleri, üçgen yüzeyler, fayın taban bloğunda askıda kalmış vadiler ve tavan blokta gözlenen geriye doğru eğimlenmeler gibi çok sayıda tektonomorfolojik veri mevcuttur.

Yatağan Fayı'nın yapısal özelliklerini ortaya koyabilecek veriler, Paşapınarı ile Bahçeyaka arasında yüzeyleyen çoğunlukla Menderes Masifi'ne ait geç Paleozoyik yaşlı şistler ve Jura-Kretase yaşlı mermerlerden, kısmen de Orta Miyosen yaşlı kırıntılı çökelleri kesen fay düzlemlerinden derlenmiştir (Çizelge 2 ve Şekil 7). Yalın bir geometriye sahip olan Yatağan Fayı, Salihpaşalar güneyi ile Bozüyük doğusu arasında  $K60^\circ B$  ortalama doğrultusunda uzanır. Bozüyük doğusunda 350 metre güneye doğru sıçrayarak köy içerisinden batıdaki Kapubağ köyüne kadar, benzer doğrultuda yaklaşık 2,5 km daha devam eder. Yatağan Fayı'nın en kuzeybatı bölümünü oluşturan diğer fay parçası ise Kapubağ doğusundan başlar ve kuzeybatıdaki Şahinler köyünün yakın kuzeydoğusuna kadar  $K30^\circ B$  doğrultusunda devam eder. Yatağan Fayı'nın yapısal özelliklerinin en iyi gözlemlendiği alan Bayır beldesi güneyinde açılmış yarmalardır (Şekil 8). Paşapınarı köyünün yaklaşık 550 metre batı-güneybatısında, K-G yönlü kuru derenin doğu yamacındaki yarmada Orta Miyosen yaşlı kırıntılı çökelleri kesen çok sayıda küçük ölçekli normal fay tespit edilmiştir (Şekil 8b). Bu lokasyonun hemen doğusunda paleosismolojik hendek çalışması gerçekleştirilmiştir (Şekil 7'de Paşapınarı Hendeği).

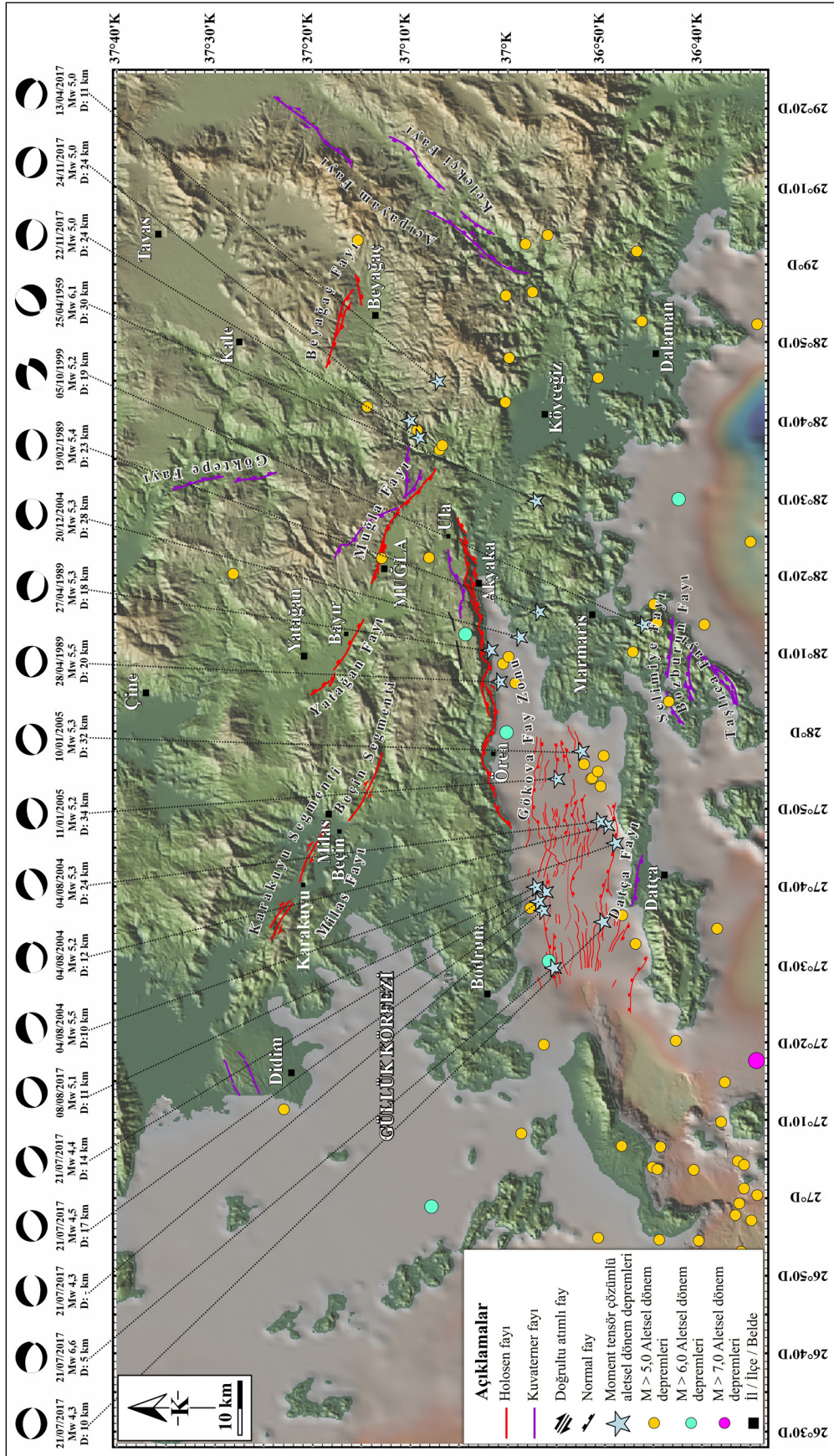


Şekil 4- Yatağan fayı ve çevresinin jeolojisi haritası (Konak ve Şenel, 2002'den düzenlenmiştir). Diri faylar Emre vd. (2013)'den alınmıştır. Sayısal yükseklik modeli için 30 metre çözünürlüklü Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) verisi kullanılmıştır.



Şekil 5- Muğla ve çevresinin diri fay haritası ve tarihsel dönem depremleri. Karadaki diri faylar Emre vd., 2013; Gökova Körfezi'ndeki diri faylar Tur vd., 2015'ten alınmıştır. Tarihsel depremler; 1: Sosyal vd., 1981; 2: Ambraseys, 2009; 3: Karabacak, 2016. Sayısal yükseklik modeli için GeoMapp Application verisi kullanılmıştır.





Şekil 6- Muğla ve çevresinin diri fay haritası ve aletsel dönem depremleri. Karadaki diri faylar Emre vd., 2013; Gökova Körfezi'ndeki diri faylar Tur vd., 2015'ten alınmıştır. Aletsel depremler AFAD (deprem.afad.gov.tr/depremkatalogu); Moment tensör çözümlü kaynakçası için Çizelge 1'e bakınız.

Çizelge 1- Muğla ve çevresinde moment tensör çözümü yapılan depremler a: AFAD-DDA, 2015; b: Ayhan vd., 1981; c: Vannuci ve Gasperini, 2004; d: EMSC-CSEM, 2015; e: ABD Sahil ve Jeodezi Araştırması; f: Harvard Centroid Moment Tensor Kataloğu; g: www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/catalogue; h: www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/fmechanisms; ı: Kiratzi ve Louvari, 2003; j: Mckenzie, 1972; k: USGS, 2020; L: ETHZ, 2020).

Sıra	Tarih	Koordinatlar (Kuzey – Doğu)	Yer	Büyüklik (Mw)	Kaynakça
1	25/04/1959	36,94 – 28,58	Ula güneydoğusu	6,1	b, c, j
2	19/02/1989	37,00 – 28,16	Marmaris ile Akyaka arası	5,4	g, h, ı
3	27/04/1989	37,01 – 28,15	Ören ile Akyaka arası açıkları	5,3	c, h, i
4	28/04/1989	36,99 – 28,10	Ören ile Akyaka arası açıkları	5,5	g, h, ı
5	05/10/1999	36,73 – 28,22	Marmaris güneyi	5,2	g, h, ı
6	04/08/2004	36,86 – 27,75	Datça Yarımadası'nın kuzey açıkları	5,5	d, k
7	04/08/2004	36,87 – 28,80	Datça Yarımadası'nın kuzey açıkları	5,2	g, h, ı
8	04/08/2004	36,88 – 27,78	Datça Yarımadası'nın kuzey açıkları	5,3	h, ı, k
9	20/12/2004	36,95 – 28,34	Akyaka güneybatı açıkları	5,3	g, h, ı
10	10/01/2005	36,86 – 27,88	Gökova Körfezi	5,3	f, h, l
11	11/01/2005	36,91 – 27,84	Gökova Körfezi	5,2	h, ı, m
12	13/04/2017	37,12 – 28,63	Köyceğiz kuzeyi	5,0	a
13	21/07/2017	36,80 – 27,59	Gökova Körfezi güneybatısı	4,3	a
14	21/07/2017	36,94 – 27,48	Bodrum açıkları	6,6	a
15	21/07/2017	36,83 – 27,58	Bodrum açıkları	4,3	a
16	21/07/2017	36,94 – 27,59	Bodrum açıkları	4,5	a
17	21/07/2017	36,93 – 27,61	Bodrum açıkları	4,4	a
18	08/08/2017	36,95 – 27,62	Bodrum açıkları	5,1	a
19	22/11/2017	37,12 – 28,59	Ula doğusu	5,0	a
20	24/11/2017	37,11 – 28,60	Ula doğusu	5,0	a

Yatağan Fayı'nın kinematik özelliklerine ışık tutabilecek veriler, Bayır beldesinin 1220 metre ve 1550 metre güneybatısında açılmış olan yarmalardan elde edilmiştir (Şekil 8c ve d). Jura-Kretase yaşlı mermerler ve Kuvaterner yaşlı kolüvyonların dokanağında açılan bu yarmalarda Yatağan Fayı'nın kinematik özellikleri açıkça gözlenmiştir. Yatağan Fayı'nın yapısal özelliklerini yansıtan verilerin toplandığı son nokta, Bayır beldesinin 2230 metre güneybatısında yer almaktadır (Şekil 8e). Jura-Kretase yaşlı mermerler ile Kuvaterner yaşlı kolüvyonların dokanağını kontrol eden Yatağan Fayı, bu alanda onlarca metre izlenebilen çizgisel bir fay sarplığı meydana getirmiştir. Bu lokasyonda, çizgisel fay sarplığını dik kesecek şekilde bir paleosismolojik hendek çalışması gerçekleştirilmiştir (Şekil 7'de Bayır Hendeği).

Yatağan Fayı boyunca ölçülen fay düzlemi kayma verilerinin kinematik analizi sonucunda, bu fayın  $K40^{\circ}D - G40^{\circ}B$  yönlü genişlemeli bir tektonik rejim altında geliştiği ortaya koymuştur (Şekil 8f). Afrika okyanusal litosferinin kuzeydoğuya doğru dalan Ege Yayı bölümünün geriye çekilmesi süreçleri, Güneybatı Anadolu üst kabuğunda saatin tersi yönünde bir rotasyona neden olmuş ve buna bağlı olarak güneybatı Anadolu'da KB-GD uzanımlı Dinar, Muğla, Yatağan Fayı gibi bazı normal fayların gelişimine neden olmuştur.

## 5. Paleosismolojik Hendek Çalışmaları

Bu bölümde, Yatağan Fayı üzerinde, tarih öncesi/tarihsel dönemde meydana gelen depremlerin yeri, zamanı ve büyüklüğü hakkında bilgi edinmeyi hedefleyen bir aktif tektonik çalışma yöntemi



Şekil 7- Yatağan Fayı'nın Google Earth uydru görüntüsü (Bakış eğik açıyla güneybatıya doğrudur).

Çizelge 2- Yatağan Fayı boyunca ölçülen fay düzlemi kayma verileri. Fay düzlemi kayma verilerinin kinematik analizi Şekil 8’de sunulmuştur.

Gözlem No	Doğu	Kuzey	UTM Zonu	Doğrultu	Eğim Miktarı	Eğim Yönü	Yan Yatım (0-90°)	Fay Türü	Kaya Türü
1	607967	4123853	35	K50°B	60°	KD	82°D	Sağ yanal normal	Orta Miyosen Kırıntılılar
2	607885	4123963	35	K50°B	50°	KD	80°D	Sağ yanal normal	Orta Miyosen Kırıntılılar
			35	K55°B	60°	KD	78°D	Sağ yanal normal	
			35	K60°B	52°	KD	75°D	Sağ yanal normal	
			35	K62°B	58°	KD	78°D	Sağ yanal normal	
			35	K58°B	60°	KD	75°D	Sağ yanal normal	
3	607212	4124333	35	K55°B	65°	KD	80°D	Sağ yanal normal	Jura - Kretase Mermer
4	606607	4124573	35	K60°B	67°	KD	82°D	Sağ yanal normal	Jura - Kretase Mermer
5	605707	4124910	35	K70°B	70°	KD	85°D	Sağ yanal normal	Jura - Kretase Mermer

olan (McCalpin ve Nelson, 2009) hendek tabanlı paleosismolojik çalışmalar anlatılacaktır.

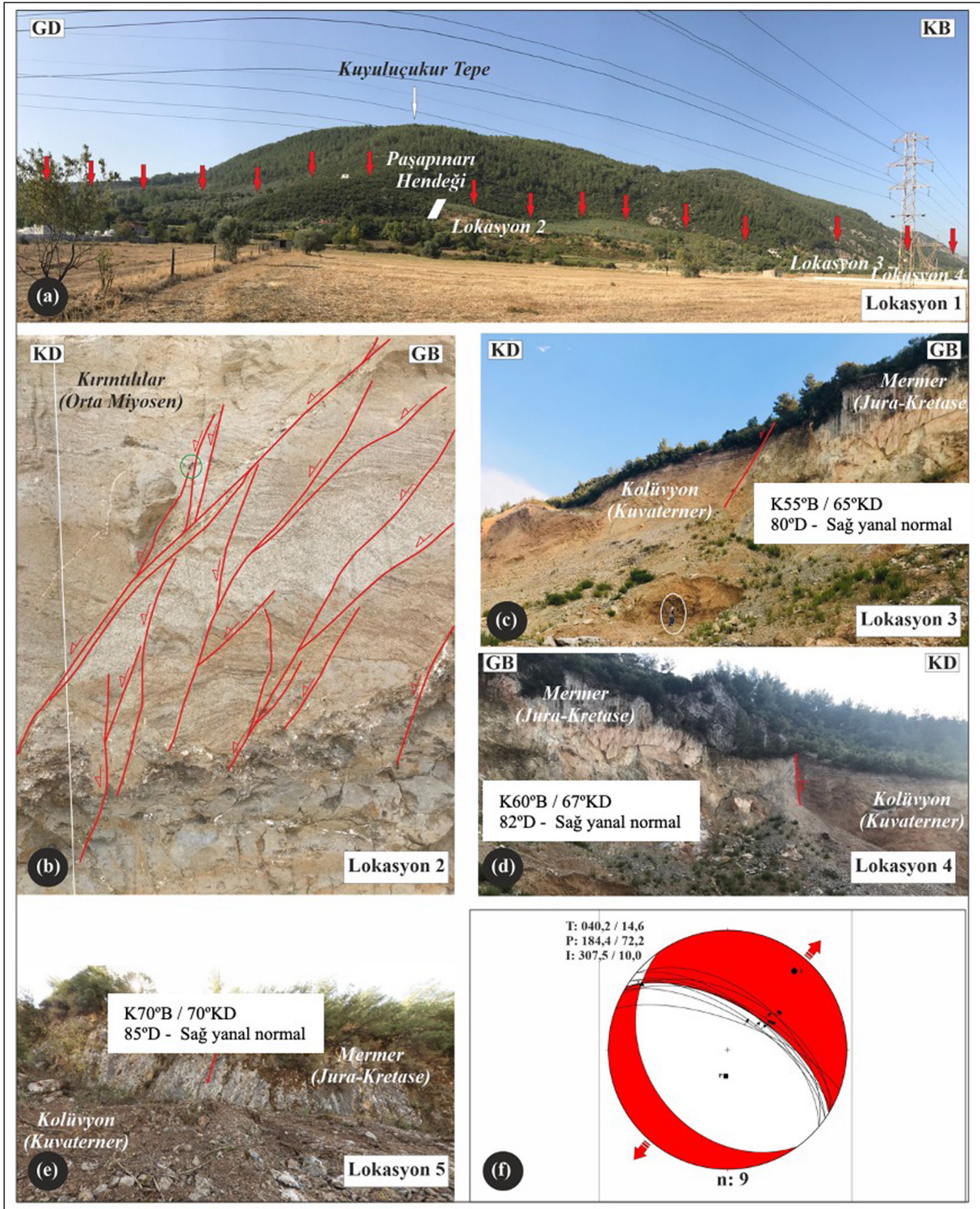
Paleosismik araştırmalarda temel amaç, deprem zararlarını azaltma çalışmalarına esas oluşturacak aktif fay parametrelerini belirlemektir. Bu parametreler; depremin yeri, zamanı, büyüklüğü, kırılma uzunluğu, son depremden günümüze kadar geçen süre, deprem tekrarlanma aralığı, fay üzerindeki yıllık kayma hızı, deprem sırasında meydana gelen en büyük ve ortalama yer değiştirme miktarı ve fayın deprem davranış biçimi (karakteristik ya da karakteristik olmayan) olarak sıralanabilir (McCalpin ve Nelson, 2009). Kıta-içi aktif faylarda, aktif fay parametrelerini belirleyebilmek için, jeolojik ve jeomorfolojik ölçütler göz önüne alınarak seçilen yerlerde fay kazı (hendek) çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Çalışılan fayın türüne bağlı olarak, fay izine dik ya da koşut doğrultularda kazılan hendeklerin boyutları deformasyon zonunun genişliğine bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Doğrultu atımlı faylarda fay izine dik ve koşut olmak üzere hendekler kazılırken, eğim atımlı faylarda fay izine dik doğrultuda hendekler kazılmaktadır. Seçilen hendek alanlarında sırasıyla, kazı ve temizleme, karelejlama, fotoğraflama, fotomozayik oluşturma, loglama, örnekleme ve ilksel yorumlama çalışmaları

gerçekleştirilmektedir. Eski depremleri tarihlendirmek amacıyla çeşitli Kuvaterner yaşlandırma yöntemleri uygulanmaktadır. Bu yöntemlerin başlıcaları Radyo Karbon ( $^{14}\text{C}$ ), Optik Uyarıcı Luminesans (Optically Stimulated Luminescence - OSL), Termo Luminesans (TL) ya da Kozmojenik yaşlandırma yöntemleridir. Hendeklerden derlenen örneklerin yaşlandırma sonuçlarıyla birlikte hendeğin final yorumlaması yapılmaktadır. Bu çalışmada, 1:35.000 ölçekli hava fotoğrafı analizi, 1:25.000 ölçekli diri fay haritaları (Duman vd., 2011; Emre vd., 2013) ve jeolojik gözlemler temel alınarak Yatağan Fayı üzerinde en uygun hendek alanları belirlenmiştir (Şekil 7).

Hendeklerden derlenen 12 adet kömürleşmiş malzeme (charcoal), organik sediman ve kemik örneği Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi (TÜBİTAK-MAM) laboratuvarında radyokarbon yöntemi ( $^{14}\text{C}$ ) ile tarihlendirilmiştir (Çizelge 3).

### 5.1. Bayır Hendeği

Yatağan Fayı, Paşapınarı ile Bahçeyaka köyleri arasında, çoğunlukla Jura-Kretase yaşlı mermerler ile Yatağan havzası çökelleri arasında çizgisel bir fay sarplığı oluşturur. Bayır Hendeği,



Şekil 8- a-e) Yatağan Fayı üzerinde fay düzlemi kayma verisi ölçülen noktaların arazi fotoğrafları f) Fay düzlemi kayma verilerinin eş alan alt yarım küresine izdüşümü. Fay düzlemi kayma verilerinin kinematik analizinde FaultKinWin programı (V.7.0.0) (Marrett ve Allmendinger 1990; Allmendinger vd., 2012) kullanılmıştır. P: Sıkışma, T: Genişleme ve I: Ortaç gerilme eksenlerini göstermektedir.

Yatağan Fayı'nın orta bölümünde, Bayır beldesi ile Bahçeyaka köyü arasında (GPS Koordinatları: 37° 15.899'K - 28° 11.538'D), Jura-Kretase yaşlı kireçtaşları ile Yatağan Yarı Grabeni'nin en üst havza dolgu çökelleri arasındaki fay kesecek şekilde, fay sarplığına dik doğrultuda, 30 metre uzunluğunda, 6 metre genişliğinde ve ortalama 5 metre derinliğinde kazılmıştır (Şekil 9).

### 5.1.1. Yer Seçimi

Bayır Hendeği'nin yer seçiminde MTA envanterine kayıtlı 1/35.000 ölçekli hava fotoğrafları ve 1/25.000 ölçekli Türkiye Diri Fay Haritaları kullanılmıştır. Hendeğin yer seçiminde etkili olan en önemli Kuvaterner morfoloji verisi, yaklaşık 500 metre uzunluğunda takip edilebilen çizgisel fay sarplığıdır. Ayrıca, Yatağan Fayı'nın bu bölümünde ölçülen fay

Çizelge 3- Hendeğlerden derlenen örneklerin Radyokarbon (<sup>14</sup>C) yaşlandırma sonuçları.

No	Örnek No	Lab. No	Fay	Hendeğin	Duvar	Malzeme	Ölçülmüş <sup>14</sup> C yaşı (G.Ö)
1	YBD-2	TÜBİTAK-1559	Yatağan	Bayır	Güneydoğu	Sediman	3822 ± 28
2	YBD-3	TÜBİTAK-1560	Yatağan	Bayır	Güneydoğu	Sediman	2402 ± 29
3	YBD-4	TÜBİTAK-1561	Yatağan	Bayır	Güneydoğu	Sediman	1520 ± 26
4	YBD-5	TÜBİTAK-1562	Yatağan	Bayır	Güneydoğu	Sediman	522 ± 29
5	YBD-6	TÜBİTAK-1563	Yatağan	Bayır	Güneydoğu	Sediman	1396 ± 26
6	YBB-2	TÜBİTAK-1565	Yatağan	Bayır	Kuzeybatı	Kömürleşmiş malzeme	1741 ± 24
7	YPD-1	TÜBİTAK-1564	Yatağan	Paşapınarı	Güneydoğu	Sediman	3465 ± 29
8	YPD-3	TÜBİTAK-1566	Yatağan	Paşapınarı	Güneydoğu	Sediman	9436 ± 36
9	YPD-4	TÜBİTAK-1567	Yatağan	Paşapınarı	Güneydoğu	Sediman	10769 ± 38
10	YPD-6	TÜBİTAK-1568	Yatağan	Paşapınarı	Güneydoğu	Sediman	9944 ± 39
11	YPD-7	TÜBİTAK-1569	Yatağan	Paşapınarı	Güneydoğu	Sediman	2543 ± 25
12	YPB-1	TÜBİTAK-1570	Yatağan	Paşapınarı	Kuzeybatı	Kemik	1127 ± 20



Şekil 9- Yatağan Fayı Bayır Hendeği genel görünüm (Bakış güneydoğuya).

düzlemleri, yer seçiminde önemli yapısal veriler olarak değerlendirilmiştir (bkz. Şekil 8 c, d).

### 5.1.2. Stratigrafi ve Yapısal Özellikler

Bayır Hendeği'nde, Yatağan Fayı'nın taban bloğunda Jura-Kretase yaşlı mermerler, tavan bloğunda ise alt kesimlerde Yatağan Havzası'na ait Orta Miyosen yaşlı kırıntılı çökeller, üst kesimlerde ise Yatağan Fayı'nın önünde çökemiş kolüvyonlar kesilmiştir. Hendekte 12 farklı stratigrafik seviye tanımlanmıştır. Hendek, 30 metre uzunluğunda kazılmış, ancak fay zonunun ana fay düzlemi üzerinde kümelendiği anlaşılmıştır. Hendek içerisindeki fay zonunun genişliği yaklaşık 4 metredir. Faylanma tarzı basit normal faylanmayı işaret etmektedir. Hendek içerisindeki genç çökellerin ana fay düzlemine doğru geriye eğimlenmeleri (back-tilting) dikkat çekmektedir (Şekil 10).

### 5.1.3. Tarihlendirme

Bayır Hendeği'nden toplam 6 adet radyokarbon örneği alınmış ve yaşlandırılmıştır (bkz. Çizelge 3). Bayır Hendeği'nde görece olarak genç çökellerden GÖ. 3822 ± 28 yıl ile GÖ. 522 ± 29 yılları arasında yaşlar elde edilmiştir. Bayır Hendeği'nden elde edilen bu radyokarbon yaş verileri, Yatağan Fayı'nın Holosen etkinliğini belgelemiştir.

### 5.1.4. Paleosismolojik Yorum

Bayır Hendeği'ndeki stratigrafik birimlerin ilişkileri ve fay kollarının yukarıya doğru sonlanması gibi paleosismolojik ölçütlere göre 3 deprem tanımlanmıştır. Bu depremlerden ilk ikisi Günümüz Öncesi (GÖ) 3822 ± 28 yıldan önce, en son depremin ise GÖ. 1520 ± 26 ile GÖ. 1396 ± 26 yılları arasında meydana geldiği değerlendirilmiştir (Şekil 10). Bu depremler aşağıda kısaca tanımlanmıştır:

*Deprem 3:* Bayır hendeğinde saptanan en eski deprem olup, hendeğin 1. ve 4. metreleri arasında, tabana yakın bir bölümde, Orta Miyosen yaşlı çökelleri kesen ve 6 numaralı muhtemelen Kuvaterner yaşlı kumlu çakıl tarafından örtülen birkaç fay kolu ile tanımlanabilmiştir. Söz konusu fay 2, 3 ve 4 numaralı Orta Miyosen yaşlı Yatağan havzasına ait çökelleri

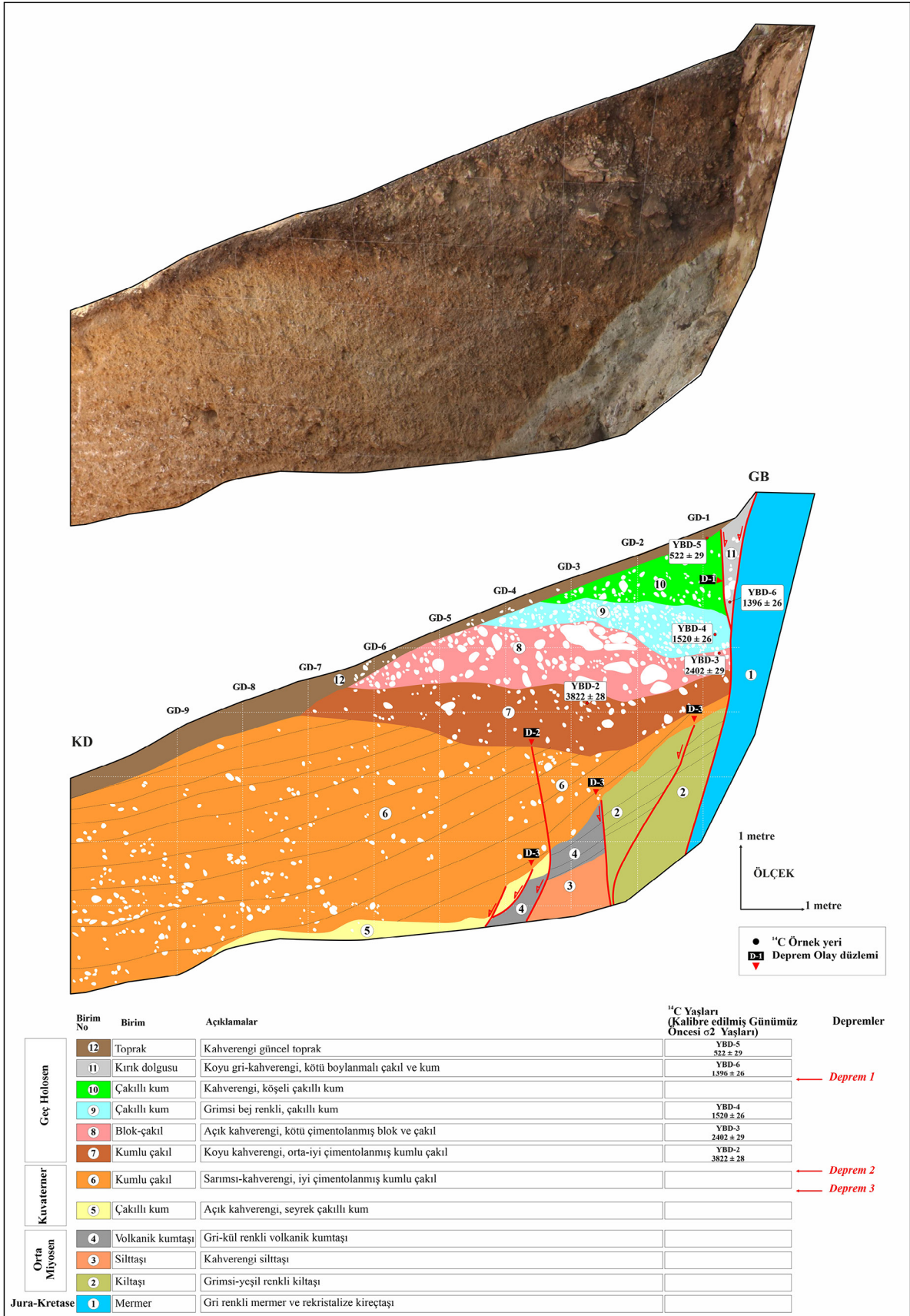
kesmekte ve 6 numaralı birim tarafından örtülmektedir. Bu nedenle Deprem 3 için olay düzlemi 6 numaralı birimin tabanı olarak belirlenmiştir.

*Deprem 2:* Hendekte saptanan sondan bir önceki deprem (penultimate event) olup, hendeğin 3. ve 4. metreleri arasında, hendeğin ortasına kadar takip edilebilen bir fay kolu ile tanımlanmıştır. Söz konusu fay, tabandan itibaren 4, 5 ve 6 numaralı birimleri kesmiş ve 7 numaralı kumlu çakıl tarafından örtüldüğü için olay düzlemi 6 ve 7 numaralı birimlerin arası olarak belirlenmiştir. 7 numaralı birimden elde edilen GÖ. 3822 ± 28 yıl yaş verisine göre Deprem 3 ve Deprem 2 bu tarihten önce meydana gelmiştir.

*Deprem 1:* Bayır Hendeği'nde saptanan en güncel deprem olup, hendeğin 1. metresinde ana fay zonu üzerinde gelişmiş genç bir kırık dolgusu ile tanımlanabilmektedir. Söz konusu kırık 1 numaralı depremden hemen sonra gelişmiş olmalıdır. Ana fay düzlemi ve ondan ayrılan ikincil bir fay kolu arasına dolmuş olan 11 numaralı kırık dolgusunun içerisinde GÖ. 1396 ± 26 yıl yaş elde edilmiştir. Bu birimin hemen altındaki 10 numaralı birimden yaş elde edilememiş olsa da bunun da altında yer alan 9 numaralı birimden elde edilen GÖ. 1520 ± 26 yıl yaş verisi bu depremin alt yaşına yaklaşımda bulunulmasına olanak sağlamıştır. Bu yaş verilerine göre, Yatağan Fayı üzerinde meydana gelen en son deprem GÖ. 1520 ± 26 ile GÖ. 1396 ± 26 yılları arasında meydana gelmiş olmalıdır. Söz konusu deprem Karabacak (2016) tarafından belirtilen ve Lagina tapınağında hasara neden olan MS. 4. yüzyıl sonrasındaki deprem ile karşılaştırılabilir.

## 5.2. Paşapınarı Hendeği

Paşapınarı Hendeği, Yatağan Fayı'nın orta-doğu bölümünde, Paşapınarı köyünün yaklaşık 500 metre güneybatısında, Yatağan Yarı Grabeni'nin en üst havza dolgu çökelleri ve bunları örten Holosen çökeller üzerinde yer almaktadır. Hendek, ana fayın biraz açığında, çoğunlukla sentetik ve antitetik fayların gözlemlendiği bir alanda (GPS Koordinatları: 37° 15.349'K - 28° 13.016'D), fay sarplığına dik doğrultuda, 26 metre uzunluğunda, 6 metre genişliğinde ve ortalama 4 metre derinliğinde kazılmıştır (Şekil 11).



Şekil 10- Bayır Hendeği güneydoğu duvarına ait fotomozayik ve hendek logu.



### 5.2.1. Yer Seçimi

Paşapınarı Hendeği'nin yer seçiminde 1/35.000 ölçekli hava fotoğrafları ve 1/25.000 ölçekli Türkiye Diri Fay Haritaları kullanılmıştır. Hendek alanında Yatağan Fayı'nın tavan bloğunun geriye eğimlenmesine bağlı olarak bir depresyon gelişmiştir. Ayrıca Paşapınarı Hendeği'nin hemen kuzeybatısında, kuzey-güney doğrultusunda uzanan kuru derenin doğu yarımındaki normal fay yüzlekleri de hendek yer seçiminde etkili olmuştur (bkz. Şekil 8b).

### 5.2.2. Stratigrafi ve Yapısal Özellikler

Paşapınarı Hendeği'nde, Yatağan yarı grabeninin Orta Miyosen yaşlı havza dolgusu çökelleri ve bunları örten Holosen çökelleri kesilmiştir. Hendek, Yatağan havzasını güneyden sınırlandıran havza kenar fayının yaklaşık 50 m kuzeyinden itibaren kazılmıştır. Hendek içerisindeki fay zonunun genişliği yaklaşık 20 m dir. Faylanma tarzı genişlemeli bir tektonik rejimde

gelişen horst ve grabenler ile karakteristik normal faylanmayı işaret etmektedir (Şekil 12).

### 5.2.3. Tarihlendirme

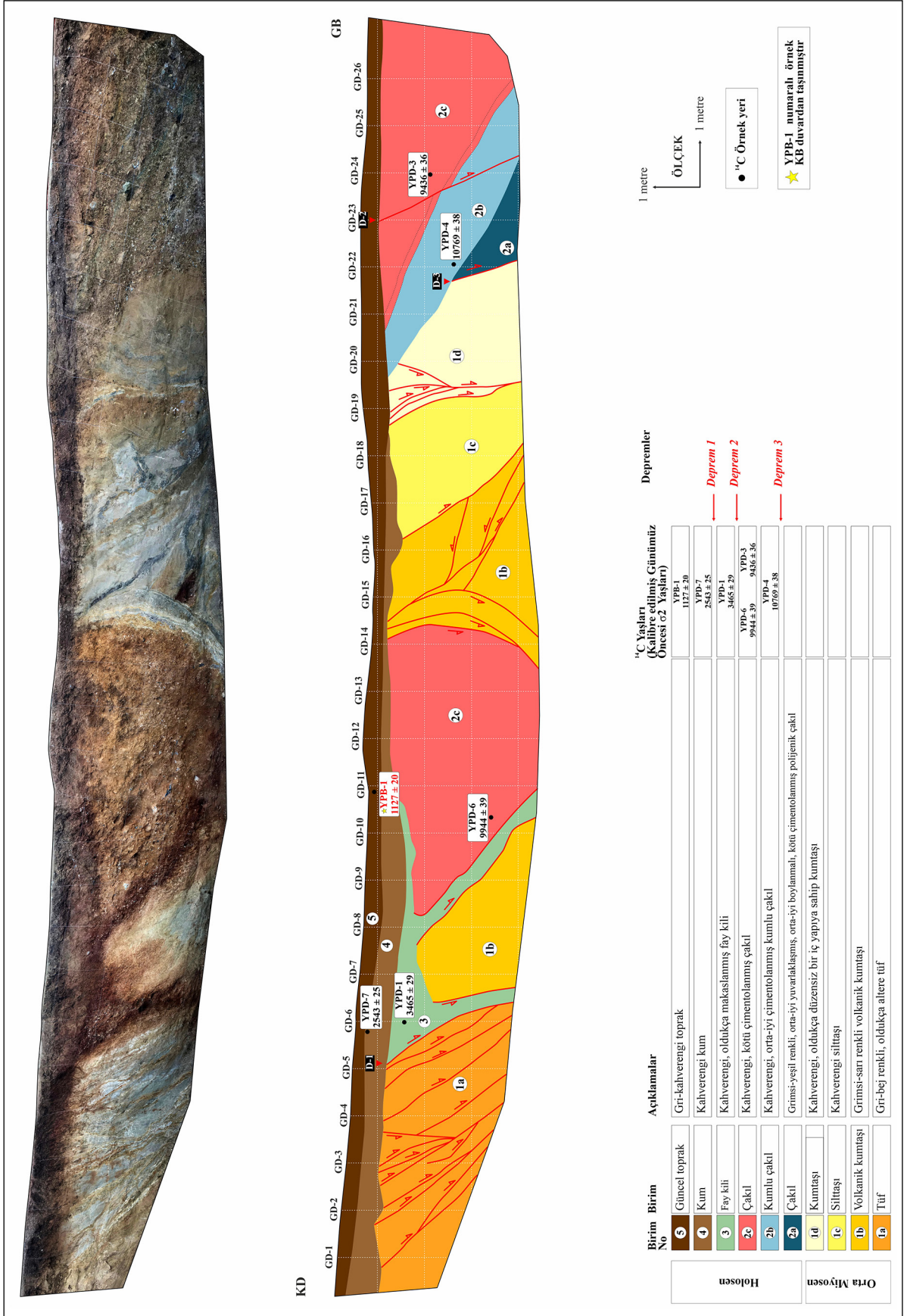
Paşapınarı Hendeği'nden toplam 6 adet radyokarbon örneği alınmış ve yaşlandırılmıştır (bkz. Çizelge 3). Bu hendekteki göreceli olarak daha genç çökellerden alınan örneklerden GÖ. 10769 ± 38 yıl ile GÖ. 1127 ± 20 yılları arasında yaşlar elde edilmiştir. Bu yaş verileri, Paşapınarı Hendeği'nde Yatağan Fayı'nın Holosen etkinliğini belgelemiştir.

### 5.2.4. Paleosismolojik Yorum

Paşapınarı Hendeği'ndeki stratigrafik birimlerin ilişkileri ve fay kollarının yukarıya doğru sonlanması gibi paleosismolojik ölçütlere göre 3 deprem tanımlanmıştır. Bu depremlerden en eskisinin (Deprem 3) Günümüz Öncesi (GÖ) 10769 ± 38 yılından önce, sondan bir önceki depremin (penultimate event) GÖ.



Şekil 11- Paşapınarı Hendeği genel görünümü (Bakış Güney'e).



Şekil 12- Paşapınar Hendeği güneydoğu duvarına ait fotomozayik ve hendek logu.

9436 ± 36 ile GÖ. 3465 ± 29 yılları arasında ve son depremin (Deprem 1) ise GÖ. 3465 ± 29 ile GÖ. 2543 ± 25 yılları arasında meydana geldiği değerlendirilmiştir (Şekil 12). Bu depremler aşağıda kısaca tanımlanmıştır:

*Deprem 3:* Paşapınarı Hendeği'nde saptanan en eski deprem olup, hendeğin 21. ve 22. metreleri arasında, tabana yakın bir bölümde, Orta Miyosen yaşlı Yatağan Havzası çökelleri ile Holosen yaşlı çökelleri keserek karşı karşıya getiren güneye eğimli bir antitetik fay ile tanımlanmıştır. Söz konusu fay boyunca 1d ile gösterilen Orta Miyosen yaşlı çökeller ile 2a ile gösterilen Holosen yaşlı birimler karşı karşıya gelmiş ve fay, 2b ile gösterilen Holosen yaşlı çökeller tarafından örtülmüştür. Bu yapısal ve stratigrafik ilişkiler nedeniyle, Deprem 3 için olay düzlemi 2a ve 2b biriminin arası olarak belirlenmiştir. Bu depremi yaşlandırabilmek adına 2b biriminden alınan bir örnekten GÖ. 10769 ± 38 yıl yaş elde edilmiştir. Bu yaş verisine göre Deprem 3, bu tarihten önce meydana gelmiştir.

*Deprem 2:* Hendeğe saptanan sondan bir önceki deprem (penultimate event) olup, hendeğin 23. metresinde güneye eğimli bir normal fay ile tanımlanmıştır. Söz konusu fay, tabandan itibaren 2b ve 2c numaralı birimleri kesmiş ve 5 numaralı birim tarafından örtülmüştür. Aynı olay, hendeğin 14 ve 15. metreleri arasında ise kuzeye eğimli bir sintetik normal fay ile tanımlanabilmektedir. Burada söz konusu fay 2c birimini kesmiş ve 4 numaralı birim tarafından örtülmüştür. Bu yapısal ve stratigrafik ilişkilere göre Deprem 2 için olay düzlemi 2c biriminin tavanı olarak belirlenmiştir. 2c biriminde GÖ. 9944 ± 39 ve GÖ. 9436 ± 36 yıl yaşlar elde edilmiştir. Bir koluviyal kama olan ve stratigrafik olarak 2c biriminden daha sonra çökeldiği, yaş verisi ile kanıtlanan 3 numaralı birimden ise GÖ. 3465 ± 29 yıl yaş elde edilmiştir. Bu yaş verilerine göre Deprem 2, GÖ. 9436 ± 36 ile GÖ. 3465 ± 29 yılları arasında meydana gelmiştir.

*Deprem 1:* Hendeğe saptanan en güncel deprem olup, hendeğin 5. ve 9. metreleri arasındaki koluviyal kamaların gelişiminden sorumlu deprem olarak değerlendirilmiştir. 3 numara ile gösterilen koluviyal kama içerisinden elde edilen GÖ. 3465 ± 29 yıl ve bu birimi örten 4 numaralı birimden elde edilen GÖ.

2543 ± 25 yıl yaş verilerine göre söz konusu deprem bu tarihler arasında meydana gelmiş olmalıdır.

### 5.3. Bayır ve Paşapınarı Hendeklerinin Karşılaştırılması

Yatağan Fayı üzerinde kazılan Bayır ve Paşapınarı hendeklerinde saptanan eski depremlerin, kavramsal mekansal-zamansal diyagramında (McCalpin, 2009) değerlendirilmesi sonucunda, son 11000 yıldan günümüze, yüzey kırığı oluşturmuş 4 deprem tanımlanmış ve tarihlendirilmiştir (Şekil 13). Buna göre, depremler güncelden eskiye doğru şu tarihler arasında meydana gelmiştir:

Deprem 1: MS. 404 - 580 arası

Deprem 2: MÖ. 1544 – MÖ. 568 arası

Deprem 3: MÖ. 7522 – MÖ. 1900 arası

Deprem 4: MÖ. 8781 öncesi

Yatağan Fayı üzerinde meydana gelen depremlerin karşılaştırılabileceği tarihsel kayıtlar oldukça kısıtlı olduğu için, saptanan depremlerden yalnızca en güncel olanı (Deprem 1), Karabacak (2016) tarafından belirtilen ve Lagina tapınağında hasara neden olan MS. 4. yüzyıl sonrasındaki deprem ile karşılaştırılabilmektedir. Diğer depremlerin karşılaştırılabileceği herhangi bir arkeosismolojik ya da tarihsel veri bulunmamaktadır.

Yatağan Fayı'nın son 11000 yıl içerisinde 1548 yıl ile 3655 yıl arasında değişmek üzere, ortalama 2600 yıllık bir deprem tekrarlanma aralığına sahip olduğu anlaşılmıştır. Paleosismolojik veriden elde edilen ortalama deprem tekrarlanma aralığı (2600 yıl) ve en büyük depremde meydana gelebilecek ortalama yer değiştirme miktarı (0,43 metre) göz önüne alındığında, Yatağan Fayı için yıllık kayma hızı ortalama 1,18 mm/yıl olarak hesaplanmıştır.

Yatağan Fayı, uzanımı boyunca yalın bir geometriye sahip olup, kırık ilerlemesine engel teşkil edecek herhangi bir bariyer söz konusu değildir. Dolayısıyla, bu çalışmadan çoğunlukla fayın güneydoğu bölümünden derlenen paleosismolojik verilerin fayın tamamına ilişkin yorumlanmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir.



## 6. Tartışma ve Sonuçlar

1- Yatağan Fayı'nın güncel aktivitesinin bölge jeomorfolojisi üzerine etkisinin araştırılması amacıyla, Hipsometrik eğri ve İntegral (HI), vadi tabanı genişliğinin vadi yüksekliğine oranı (Vf) ve dağ n eğriliği (Smf) gibi analizleri kapsayan morfometrik çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Basmenji vd., 2018). Yatağan Fayı ile ilişkili 17 drenaj havzasındaki hipsometrik integral (HI) analizlerinde, bu havzalardan sekizinde yüksek değerler ( $HI > 0,5$ ) elde edilmiş ve buna göre havzaların genç evrede olduğu ve erozyonal süreçlerden henüz etkilenmedikleri şeklinde yorumlanmıştır. Geriye kalan dokuz havzada ise düşük hipsometrik integral değerleri elde edilmiş ( $HI < 0,5$ ) ve bu havzaların baskın olarak fluviyal erozyonal süreçlerden etkilendikleri ne sürülmüştür. Ayrıca, hipsometrik eğriler genel olarak dış bükey ve S şeklinde geometriker sundukları için, bu durum drenaj havzalarının genç-olgunluk evresinde olduğu şeklinde yorumlanmıştır. Yatağan Fayı'nın üç geometrik fay segmenti için dağ n eğriliği (Smf) hesaplanmış ve Smf değerlerinin 1,19 ile 2,64 arasında değiştiği görülmüştür. Bu değerlere göre, havzanın güney kenarının aktif bir fay tarafından denetlendiği ileri sürülmüştür (Basmenji vd., 2018). Yatağan Fayı ile ilişkili tüm vadilerden hesaplanan vadi tabanı genişliğinin vadi yüksekliğine oranları (Vf) 0,3 ile 6,2 arasında değişmekte olup, çok düşük Vf değerleri Yatağan Fayı'nın güncel aktivitesi ile ilişkilendirilmiştir (Basmenji vd., 2018). Bu çalışmadan elde edilen veriler, yukarıda belirtilen morfometrik yaklaşımlarla uyumlu olarak, Yatağan Yarı Grabeni'ni güneyden sınırlayan Yatağan Fayı'nın aktif bir yapı olarak güncel morfoloji üzerinde etkin olduğunu göstermiştir. Yatağan Yarı Grabeni'ni güneybatıdan sınırlandıran Yatağan Fayı, güneydoğuda Salihpaşalar (Yatağan-Muğla) ile kuzeybatıda şahinler köyleri (Yatağan-Muğla) arasında,  $K55-65^{\circ}B$  genel doğrultusunda uzanan,  $60-65^{\circ}KD$ 'ya eğimli, 17 km uzunluğunda aktif bir normal faydır.

2- Normal faylar için öngörülen görgül eşitliklere göre (Wells ve Coppersmith, 1994), Yatağan Fayı'nın üretebileceği en büyük deprem Mw 6,48, en büyük yer değiştirme miktarı 0,74 metre, ortalama yer değiştirme miktarı ise 0,43 metre olarak hesaplanmıştır.

3- Yatağan Fayı'ndan llen fay düzlemi kayma verilerinin kinematik analizi sonucunda (Marrett ve Allmendinger, 1990; Allmendinger vd., 2012), Yatağan Fayı'nın  $K40^{\circ}D - G40^{\circ}B$  yönlü genişlemeli bir tektonik rejim altında geliştiği ortaya konmuştur. Kuzeydoğuya doğru dalan Afrika okyanusal litosferinin Ege Yayı bölümünün neden olduğu yitiminki geri çekilmesi (subduction roll-back) süreçleri Güneybatı Anadolu'da st kabukta saatin tersi yönünde bir rotasyona neden olmaktadır. Güneybatı yönlü bu rotasyonal hareket, bölgedeki KB-GD uzanımlı Dinar, Muğla, Yatağan fayları gibi bazı normal faylar tarafından karşılanmaktadır.

4- Bu alışmada, Yatağan Fayı üzerinde kazılan Bayır ve Paşapınarı hendeklerinde son 11000 yıl içerisinde, yüzey kırığı oluşturmuş 4 deprem tanımlanmış ve tarihlendirilmiştir. Bu depremler güncelden eskiye doğru sırasıyla; **Deprem 1:** MS. 404 - 580 arasında, **Deprem 2:** M. 1544 – M. 568 arasında, **Deprem 3:** M. 7522 – M. 1900 arasında ve **Deprem 4:** M. 8781 öncesinde meydana gelmiştir. Yatağan Fayı üzerinde meydana gelen depremlerin karşılaştırılabileceği tarihsel kayıtlar oldukça kısıtlı olduğu için, saptanan depremlerden yalnızca en güncel olanı, Karabacak (2016) tarafından belirtilen ve Lagina tapınağında hasara neden olan MS. 4. yüzyıl sonrasındaki deprem ile karşılaştırılabilmemiştir. Diğer depremlerin karşılaştırılabileceği herhangi bir tarihsel ya da arkesosismolojik veri bulunmamaktadır.

5- Batı Anadolu ve Yunanistan'daki bazı normal fayların deprem tekrarlanma aralıklarını belirlemeye yönelik yürütülen paleosismoloji çalışmalarında, Gürboğa (2013) Erdoğmuş Fayı (Gediz Grabeni) için  $910 \pm 40$  yıl, Altunel vd. (1999) Dinar Fayı için 1500-2000 yıl ve Kürçer vd. (2021) Dinar Fayı için 522 yıl ortalama deprem tekrarlanma aralıkları hesaplamışlardır. Bu alışmada, Yatağan Fayı'nın son 11000 yıl içerisinde 1548 yıl ile 3655 yıl arasında değişmek üzere, ortalama 2600 yıllık bir deprem tekrarlanma aralığına sahip olduğu anlaşılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen 2600 yıllık ortalama deprem tekrarlanma aralığı bu çalışmalarla kısmen uyumludur.

6- Batı Anadolu ve Yunanistan'daki normal fayların kayma hızlarını tespit etmeye yönelik çok sayıda aktif tektonik ve paleosismolojik çalışma

yürütülmüştür. Örneğin Özkaymak vd. (2011) Manisa Fayı'nın kayma hızını 0,3 mm/yıl, Özkaymak vd. (2019) Bolvadin Fayı'nın kayma hızını 0,1 mm/yıl, Kürçer vd. (2021) Dinar Fayı'nın kayma hızını 0,37-0,56 mm/yıl hesaplamışlardır. Yunanistan'daki normal faylar üzerinde yürütülen çalışmalarda ise benzer kayma hızları hesaplanmıştır (Kokouvelas vd., 2001; Caputo vd., 2004; Pavlides ve Caputo, 2004; Chatzipetros vd., 2005; Papanikolaou vd., 2005; Kokkalas vd., 2005; Tsodoulos vd., 2016). Bunlara ilaveten Batı Anadolu'daki normal fayların kayma hızlarının kozmojenik <sup>36</sup>Cl yaşlandırma tekniği ile hesaplandığı çalışmada (Mozafari vd., 2022), Batı Anadolu'daki normal fayların geç Holosen'deki kayma hızlarının 0,1 – 2,2 mm/yıl arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu çalışmada, paleosismolojik verilerden elde edilen ortalama deprem tekrarlanma aralığı (2600 yıl) ve en büyük depremde meydana gelebilecek ortalama yer değiştirme miktarı (0,43 metre) göz önüne alındığında, Yatağan Fayı için yıllık kayma hızı ortalama 1,18 mm/yıl olarak hesaplanmıştır. Yatağan Fayı için elde edilen 1,18 mm/yıl kayma hızı Batı Anadolu ve Yunanistan'daki diğer faylardan elde edilen kayma hızları ile uyumludur.

7- Yatağan Fayı bölgesel anlamda deprem tehlikesi barındıran önemli bir aktif yapıdır. Fayın etki alanında, Muğla il merkezi başta olmak üzere, Yatağan ve Milas gibi önemli turizm merkezleri ve Yatağan Termik Santrali gibi önemli bir enerji üretim tesisi bulunmaktadır. Söz konusu alanlarda, bu fayın önemli bir deprem tehlike kaynağı olarak değerlendirilmesi önerilir.

### Katkı Belirtme

Bu çalışma, Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü tarafından yürütülmekte olan "Türkiye Yerkabuğu Özellikleri ve Jeodinamiğinin Araştırılması Projesi (TÜRKKABUK)" kapsamında gerçekleştirilmiştir. MTA Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz. Makale daveti için dergi baş editörü Doç. Dr. Selim ÖZALP'e (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü), makalenin değerlendirme aşamasındaki katkılarından dolayı dergi konuk editörü Prof. Dr. Volkan KARABACAK'a (Osmangazi Üniversitesi) teşekkür ederiz. Makalenin

değerlendirilmesi aşamasındaki katkı ve önerileri nedeniyle Prof. Dr. Hasan SÖZBİLİR (Dokuz Eylül Üniversitesi) ve Dr. Taylan SANÇAR'a (Munzur Üniversitesi) ayrıca teşekkür ederiz.

### Değinilen Belgeler

- AFAD-DAD Catalogue 2015. Disaster and Emergency Management Presidency, Earthquake Department Catalogue.
- Aktuğ, B., Nocquet, J. M., Cingöz, A., Parsons, A., Erkan, Y., England, P., Lenk, O., Gürdal, M. A., Kılıçoğlu, A., Akdeniz, H., Tekgül, A. 2009. Deformation of western Turkey from a combination of permanent and campaign GPS data: limits to block-like behaviour. *Journal of Geophysical Research* 114, B10404.
- Akyüz, H. S., Kırkan, E., Basmenji, M., Aksoy, E., Dikbaş Akyüz, A., Uçarkuş, G., Yazıcı, M., Yakupoğlu, N., Zabcı, C. 2019. Paleoseismological and Morphotectonical Characteristics of Active Faults in the Vicinity of Muğla Area (SW Turkey). Springer Nature Switzerland AG 2019 N. Sundararajan et al. (eds.), *On Significant Applications of Geophysical Methods, Advances in Science, Technology and Innovation*.
- Akyüz, H. S., Basmenji, Kırkan, E. M., Aksoy, M. E., Dikbaş, A., Erturaç, M. K. 2021. Muğla Fayı, GB Türkiye: Morfometrik, Jeomorfolojik ve Paleosismolojik Yeni Bulgular. *Yerbilimleri* 42 (2), 232-260.
- Allmendinger, R. W., Cardozo, N. C., Fisher, D. 2012. *Structural Geology Algorithms: Vectors and Tensors*. Cambridge University Press, 289.
- Altunel, E., Barka, A., Akyüz, H. S. 1999. Palaeoseismicity of the Dinar Fault, SW Turkey. *Terra Nova* 11, 297–302.
- Ambraseys, N. N. 1988. Engineering seismology. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 17, 1–105.
- Ambraseys, N. N., Finkel, C. 1991. Long Term Seismicity of İstanbul and of the Marmara Sea Region, *Terra Nova* 3 (5) 527-539.
- 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. 2001. Reassessment of earthquakes, 1900–1999, in the Eastern Mediterranean and the Middle East. *Geophysical Journal International* 145, 471–485.

- Ambraseys, N. N. 2009. Earthquakes in the Mediterranean and Middle East A Multidisciplinary Study of Seismicity up to 1900, London: Imperial College Press.
- Armijo, R., Meyer, B., Hubert-Ferrari, A., Barka, A. A. 1999. Westward propagation of North Anatolian Fault into the Northern Aegean: timing and kinematics. *Geology* 27, 267–270.
- Ayhan, E., Alsan, E., Sancaklı, N., Üçer, S. B. 1981. Turkey and Surrounding Earthquake Catalogue 1881-1980. Boğaziçi University Publications.
- Basmenji, M., Akyüz, H. S., Yazıcı, M. 2018. Morphometric analysis of the Yatağan Fault, Muğla, SW Turkey. Abstracts, 9th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, Antalya, Turkey.
- Basmenji, M. 2019. Yatağan Fayı'nın paleosismolojik ve morfotektonik özellikleri (Muğla, GB Türkiye). MSc Thesis, İstanbul Technical University, İstanbul, Turkey (in Turkish).
- Basmenji, M., Akyüz, H. S., Basmenji, Kırkan, E., M., Aksoy, M., E., Uçarkuş, Yakupoğlu, N. 2021. Earthquake history of the Yatağan Fault (Muğla, SW Turkey): implications for regional seismic hazard assessment and paleoseismology in extensional provinces. *Turkish Journal of Earth Sciences* 30, 161-181.
- Başarır-Baştürk, N., Özel, N. M., Altınok, Y., Duman, T. Y. 2017. Türkiye ve yakın çevresi için geliştirilmiş tarihsel dönem (MÖ 2000-MS 1900-) deprem kataloğu. In: Duman TY (editor). Türkiye. Sismotektonik Haritası Açıklama Kitabı. Ankara, Turkey: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü 34, 239 (in Turkish).
- Bozkurt, E., 2001a. Neotectonics of Turkey- a synthesis. *Geodinamica Acta* 14, 3-30.
- Bozkurt, E., 2001b. Late Alpine evolution of the central Menderes Massif, western Anatolia, Turkey. *International Journal of Earth Sciences* 89, 728-744.
- Bozkurt, E., Oberhänsli, R. 2001. Menderes Massif (Western Turkey): structural, metamorphic and magmatic evolution—a synthesis. *International Journal of Earth Sciences* 89, 679–708.
- Bozkurt, E., Mittwede, S. K. 2005. Introduction: evolution of Neogene extensional tectonics of western Turkey. *Geodinamica Acta* 18, 153–165.
- Caputo, R., Helly, B., Pavlides, S., Papadopoulos, G. 2004. Palaeoseismological investigation of the Tyrnavos Fault, Central Greece. A contribution to the seismic hazard assessment of Thessaly. *Tectonophysics* 394, 1–20.
- Chatzipetros, A., Kokkalas, S., Pavlides, S., Koukouvelas, I. 2005. Paleoseismic data and their implications for active deformation in Greece. *Journal of Geodynamics* 40 (2–3), 170–188.
- Collins, A. S., Robertson, A. H. F. 1997. Processes of Late Cretaceous to Late Miocene episodic thrust-sheet translation in the Lycian Taurides, SW Turkey. *Journal of the Geological Society of London* 155, 759-772.
- Collins, A. S., Robertson, A. H. F. 1999. Evolution of the Lycian allochthon, western Turkey, as a north-facing Late Palaeozoic rift and passive continental margin. *Geological Journal* 34, 107-138.
- Dewey, J. F., Şengör, A. M. C. 1979. Aegean and surrounding regions. Complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone. *Geological Society of America Bulletin* 90, 84–92.
- Duman, T. Y., Emre, Ö., Özalp, S., Elmacı, H. 2011. 1: 250,000 scale active fault map series of Turkey, Aydın (NJ 35-11) Quadrangle. General Directorate of Mineral Research and Exploration Publications. Ankara, Turkey.
- Duman, T. Y., Çan, T., Emre, Ö., Kadıroğlu, T., Başarır-Baştürk, N., Kılıç, T., Arslan, S., Özalp, S., Kartal, R. F., Kalafat, D., Karakaya, F., Eroğlu-Azak, T., Özel, N. M., Ergintav, S. A., Akkar, S., Altınok, Y., Tekin, S., Cingöz, A., Kurt, A. İ. 2018. Seismotectonic data base of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16, 3277-3316.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., Şaroğlu, F. 2013. Active Fault Map of Turkey with an Explanatory Text. 1:1,250,000 Scale, General Directorate of Mineral Research and Exploration, Special Publication Series-30, Ankara
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., Elmacı, H., Çan, T., 2018. Active fault database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering* 16 (8), 3229–3275.
- EMSC-CSEM 2015. European-Mediterranean Regional Centroid-Moment Tensors Catalog (RCMT) [Data set]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).
- Ergin, K., Güçlü, U., Uz, Z. 1967. Türkiye ve civarının deprem kataloğu. İTÜ Yayınları, No: 24, İstanbul-Türkiye.
- Ersoy, Ş. 1991. Datça Yarımadası'nın Stratigrafisi ve Tektoniği. *Türkiye Jeoloji Bülteni C* 34, 1-14.
- ETHZ 2020. Zurich Moment Tensors, Swiss Seismological Service, 2020.

- Genç, Ş. C., Altunkaynak, Ş., Karacık, Z., Yazman, M., Yılmaz, Y. 2001. The Çubukludağ graben, south of İzmir: its tectonic significance in the Neogene geological evolution of the western Anatolia. *Geodinamica Acta* 14, 1-3, 45-55.
- Graciansky, P. C. 1972. Reserches geologiques dans le Taurus Lycien occidental. Thesis, University de Paris-Sud, Orsay.
- Guidoboni, E., Comastri, A., Traina, G. 1994. Catalogue of Ancient Earthquakes in the Mediterranean Area up to the 10th Century. Instituto Nazionale di Geofisica, Roma, 502.
- Guidoboni, E., Comastri, A. 2005. Catalogue of Earthquakes and Tsunamis in the Mediterranean area from the 11th to the 15th century. Rome: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.
- Gürboğa, Ş. 2013. 28 March 1970 Gediz earthquake fault, western Turkey: palaeoseismology and tectonic significance. *International Geology Review* 55 (10), 1191–1201.
- Gürer, F. Ö., Bozcu, M., Yılmaz, K., Yılmaz, Y. 2001. Neogene basin development around Söke-Kuşadası (western Anatolia) and its bearing on tectonic development of the Aegean region. *Geodinamica Acta* 14, 57-70.
- Harvard Centroid Moment Tensor Catalog, The Global Centroid-Moment-Tensor (GCMT), Project, 1976-2012.
- International Seismological Centre, 2021. ISC-EHB dataset.
- International Seismological Centre Event Catalog, 1960-2010.
- International Seismological Centre, Focal Mechanism Catalog.
- Jackson, J., McKenzie, D. P. 1984. Active tectonics of the Alpine–Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan. *Geophysical Journal Research Astronomy Society* 77, 185–246.
- Kadirioglu, F. T., Kartal, R. F., Kılıç, T., Kalafat, D., Duman, T. Y., Eroglu Azak, T., Özalp, S., Emre, Ö. 2018. An Improved earthquake catalogue ( $M \geq 4.0$ ) for Turkey and its near vicinity (1900–2012). *Bulletin of Earthquake Engineering* 16, 3317–3338.
- Kalafat, D., Güneş, Y., Kekovalı, K., Kara, M., Deniz, P., Yılmaz, M. 2007. Bütünleştirilmiş Homojen Türkiye Deprem Kataloğu (1900-2010;  $M \geq 4.0$ ). Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Yayın No: 1049, 640.
- Karabacak, V. 2016. Seismic damage in the Lagina sacred area on the Mugla Fault: A key point for the understanding of the obliquely situated faults of western Anatolia. *Journal of Seismology* 20 (1), 277-289.
- Kılıç, T., Kartal, R. F., Kadirioglu, F. T., Duman, T. Y., Özalp, S. 2017. Modified moment tensor (1906–2012) catalogue ( $M > 4.0$ ) for Turkey and surroundings. In: Duman TY (ed) Seismotectonic map of Turkey, General Directorate of Mineral Research and Exploration, Special Publication Series, 34, 261, Ankara, Turkey.
- Kiratzi, A., Louvari, E. 2003. Focal mechanisms of shallow earthquakes in the Aegean Sea and the surrounding lands determined by waveform modelling: A new database. *Journal of Geodynamics* 36 (1-2), 251-274.
- Koçyiğit, A., Yusufoglu, H., Bozkurt, E. 1999. Evidence from the Gediz graben for episodic two-stage extension in western Turkey. *Journal of the Geological Society* 156 (3), 605-616.
- Kokkalas, S., Pavlides, S., Koukouvelas, I., Ganas, A., Stamatopoulos, L. 2007. Paleoseismicity of the Kaparelli fault (eastern Corinth Gulf): Evidence for earthquake recurrence and fault behaviour. *Bulletin of Society of Geology of Italia* 126, 387–395
- Konak, N. 2002. 1:500.000 Scale Geological Map of Turkey İzmir Quadrangle. 1:500,000 Scale Geological Maps of Turkey, M. Şenel (Ed.), Serial Number: 7, General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara-Turkey.
- Konak, N., Şenel, M. 2002. 1:500.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Denizli Paftası. Türkiye 1/500.000 Ölçekli Jeoloji Haritaları, No: 13, M. Şenel (Ed.), Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Kürçer, A., Özdemir, E., Olgun, Ş., Özalp, S., Çan, T., Elmacı, H. 2021. Active Tectonic and Paleoseismological Characteristics of the Dinar Fault, SW Anatolia, Turkey. *Mediterranean Geoscience Reviews* 3 (2), 219-251.
- Le Pichon, X., Chamot-Rooke, N., Lallemand, S., Noomen, R., Veis, G. 1995. Geodetic determination of the kinematics of central Greece with respect to Europe: implications for eastern Mediterranean tectonics. *Journal of Geophysical Research* 100, 675-690.
- Marrett, R. A., Allmendinger, R. W. 1990. Kinematic analysis of fault-slip data. *Journal of Structural Geology*, 12, 973-986.



- McCalpin, J. P. 2009. Paleoseismology in Extensional Tectonic Environments 3, 171-267 (in International Geophysics Series, 95).
- McCalpin, J. P., Nelson, A. R. 2009. Introduction to Paleoseismology 1, 1-27 (in International Geophysics Series, 95).
- McKenzie, D. P. 1972. Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophysical Journal Research Astronomy Society* 30 (2), 109–185.
- McKenzie, D. P. 1978. Active tectonics of the Alpine Himalayan Belt The Aegean Sea and surrounding regions, *Geophysical Journal Research Astronomy Society* 55, 217-254.
- McClusky, S., Reilinger, R., Mahmoud, S., Ben Sari, D., Tealeb, A. 2003. GPS constraints on Africa (Nubia) and Arabia plate motions. *Geophysical Journal International* 155 (1), 126-138.
- Mozafari, N., Özkaymak, Ç., Sümer, Ö., Tikhomirov, D., Uzel, B., Yeşilyurt, S., Ivy-Ochs, S., Vockenhuber, C., Sözbilir, H., Akçar, N. 2022. Seismic history of western Anatolia during the last 16 kyr determined by cosmogenic <sup>36</sup>Cl dating. *Swiss Journal of Geosciences* 115 (1), 1-26.
- Oberhänsli, R., Partzsch, J., Candan, O., Etüncüoğlu, M. 2001. First occurrence of Fe-Mg-caroholite documenting high-pressure metamorphism in metasediments of the Lycian Nappes, SW Turkey. *International Journal of Earth Sciences* 89, 867-873.
- Oral, B., Reilinger, E., Toksöz, M. N., King, R. W., Barka, A., Kınık, I. 1995. Global positioning system (GPS) offers evidence of plate motions in eastern Mediterranean. *Transactions of the American Geophysical Union* 76, 9–11.
- Özalp, S., Emre, Ö., Şaroğlu, F., Özaksoy, V., Elmacı, H., Duman, T. Y. 2018. Active fault segmentation of the Çivril Graben System and surface rupture of the 1 October 1995 Dinar earthquake (Mw 6.2), Southwestern Anatolia, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences* 166, 136–151.
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Uzel, B., Akyüz, H. S. 2011. Geological and Paleoseismological Evidence for Late Pleistocene-Holocene Activity on the Manisa Fault Zone, Western Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences* 20, 449–474.
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Geçivi, M. O., Tiryakioğlu, İ. 2019. Late Holocene coseismic rupture and aseismic creep on the Bolvadin Fault, Afyon Akşehir Graben, Western Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences* 28, 787–804.
- Papanikolaou, I. D., Roberts, G. P., Michetti, A. M. 2005. Fault scarps and deformation rates in Lazio-Abruzzo, Central Italy: Comparison between geological fault slip-rate and GPS data. *Tectonophysics* 408, 147–176
- Pavlidis, S., Caputo, R. 2004. Magnitude versus faults' surface parameters: Quantitative relationships from the Aegean. *Tectonophysics* 380, 159–188
- Pınar N., Lahn E. 1952 Türkiye depremleri izahlı kataloğu. Bayındırlık Bakanlığı Yapı ve İmar İşleri Reisliği Yayınları 6:36.
- Poisson, A. 1977. Recherches géologiques dans les Taurides occidentales (Turquie): These d'Etat Univ. Paris-Sud (Orsay). 795 (yayımlanmamış).
- Reilinger, R., McClusky, S., Oral, M., King, R., Toksöz, M., Barka, A., Kınık, I., Lenk, O., Sanlı, I. 1997. Global Positioning System Measurements of Present-Day Crustal Movements in the Arabia-Africa-Eurasia Plate Collision Zone. *Journal of Geophysical Research* 102, 9983-9999.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S. 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research* 111 (B5), B05411.
- Reilinger, R., McClusky, S. C., Paradissis, D., Ergintav, S., Vernant, P. 2010. Geodetic constraints on the tectonic evolution of the Aegean region and strain accumulation along the Hellenic subduction zone. *Tectonophysics* 488, 22–30.
- Sarıca, N. 2000. The Plio-Pleistocene age of Büyük Menderes and Gediz grabens and their tectonic significance on N-S extensional tectonics in West Anatolia: Mammalian evidence from the continental deposits. *Geological Journal* 35, 1-24.
- Seyitoğlu, G., Tekeli, O., Çemen, I., Şen, Ş., Işık, V. 2002. The role of the flexural rotation/rolling hinge model in the tectonic evolution of the Alaşehir graben, western Turkey. *Geological Magazine* 139, 15–26.
- Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D., Altınok, Y. 1981. Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğu, TÜBİTAK Proje No: TBAG 341, 124.
- Sözbilir, H. 2001. Geometry of macroscopic structures with their relations to the extensional tectonics: field evidence from the Gediz detachment, western Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences* 10, 51-67.

- Sözbilir, H. 2002. Geometry and origin of folding in the Neogene sediments of the Gediz Graben, western Anatolia, Turkey. *Geodinamica Acta* 15 (5–6), 277–288.
- Sözbilir, H., Uzel, B., Sümer, Ö., Eski, S. 2017. 22-25 Kasım 2017 Muğla Depremleri ve Muğla İlinin Depremselliği Raporu, Dokuz Eylül Üniversitesi Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi Diri Fay Araştırma Grubu, İzmir, 2017.
- Stucchi, M., Roviada, A., Gomez Capera, A. A., Alexandre, A., Camelbeeck, T., Demircioğlu, M. B., Gasperini, P., Kouskouna, V., Musson, R. W., Radulian, M., Sesetyan, K., Vilanova, S. 2013. The SHARE European Earthquake Catalogue (SHEEC) 1000–1899. *Journal of Seismology* 17 (2), 523 – 544.
- Şaroğlu, F., Boray, A., Emre, Ö. 1987. Türkiye'nin Diri Fayları ve Depremsellikleri, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No: 8174, Ankara (yayımlanmamış).
- Şenel, M. 2002. 1:500.000 Scale Geological Map of Turkey Konya Quadrangle. 1:500,000 Scale Geological Maps of Turkey, M. Şenel (Ed.), Serial Number: 14, General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara-Turkey.
- Şengör, A. M. C., Kidd, W. S. F. 1979. Post-collisional tectonics of Turkish-Iranian plateau and a comparison with Tibet. *Tectonophysics* 55, 361–376.
- Şengör, A. M. C. 1980. Türkiye'nin Neotektoniği'nin Esasları, Türkiye Jeoloji Kurumu Konferans Serisi 2.
- Şengör, A. M. C., Görür, N., Şaroğlu, F. 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. In: Biddle, K., Christie-Blick, N. (Eds.), *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publications* 37, 227–264.
- Tan, O., Tapırdamaz, M. C., Yörük, A. 2008. The earthquake catalogues for Turkey. *Turkish Journal of Earth Science* 17, 405–418.
- Taymaz, T., Jackson, J., McKenzie, D. 1991. Active tectonics of the north and central Aegean Sea. *Geophysical Journal International* 106, 433-490.
- Tsodoulos, I. M., Stamoulis, K., Caputo, R., Koukouvelas, I., Chatzipetros, A., Pavlides, S., Gallousi, C., Papachristodoulou, C., Ioannides, K. 2016. Middle-Late Holocene earthquake history of the Gyrtani Fault, Central Greece: insight from optically stimulated luminescence (OSL) dating and paleoseismology. *Tectonophysics* 687, 14–27.
- Tur, H., Yaltırak, C., Elitez, İ., Sarıkavak, K. T. 2015. Pliocene–Quaternary tectonic evolution of the Gulf of Gökova, southwest Turkey. *Tectonophysics* 638, 158-176.
- Turhan, N. 2002. 1:500.000 Scale Geological Map of Turkey Ankara Quadrangle. 1:500.000 Scale Geological Maps of Turkey, M. Şenel (Ed.), Serial Number: 8, General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara-Turkey.
- USA Coast and Geodetic Survey of the United States. U.S. Congress. 1934. United States Code: Coast and Geodetic Survey, 33 U.S.C. 851-852a Suppl. 3.
- U.S.G.S, 2020. Earthquake Lists, Maps, and Statistics.
- Vannucci, G., Gasperini, P. 2004. The new release of the database of Earthquake Mechanisms of the Mediterranean Area (EMMA version 2), *Annals of Geophysics* 47, 303-327.
- Yılmaz, Y., Genç, S. C., Gürer, O. F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., Altunkaynak, Ş., Elmas, A. 2000. When did the western Anatolian grabens begin to develop? In Bozkurt, E., Winchester, J.A., Piper, J.D.A. (Eds.), *Geological Society of London, Special Publications* 173, 353–384.
- Yılmaz, Y., Karacık, Z. 2001. Geology of the northern side of the Gulf of Edremit and its tectonic significance for the development of the Aegean grabens. *Geodinamica Acta* 14 (1-3) -43.
- Wells, D. L., 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.