Maden Tetkik ve Arama Dergisi

http://dergi.mta.gov.tr



Paleosismolojik bulgular ışığında Orhaneli Fayının Holosen aktivitesi, Bursa, KB Anadolu

Holocene activity of the Orhaneli Fault based on palaoseismological data, Bursa, NW Anatolia

Volkan ÖZAKSOY[a*], Hasan ELMACI[b], Selim ÖZALP[c], Meryem KARA[d] ve Tamer Y. DUMAN[e]

[a]*Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü 07058 Konyaaaltı Antalya Türkiye. orcid.org/0000-0002-8126-8134*
[b]*Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı 06800 Çankaya/Ankara. orcid.org/0000-0002-5076-1153*
[c]*Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı 06800 Çankaya/Ankara. orcid.org/0000-0002-6755-4206*
[d]*Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Doğu Akdeniz Bölge Müdürlüğü 01360 Çukurova/Adana. orcid.org/0000-0002-9143-815X*
[e]*Fugro Sial Yerbilimleri Müşavirlik ve Mühendislik Ltd.Şti. 06690 Çankaya/Ankara. orcid.org/0000-0003-3556-2217.*

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler: Orhaneli Fayı, Paleosismoloji, Holosen, Biga Yarımadası, KB Anadolu.

ÖZ

Orhaneli Fayı, Biga Yarımadası'nda yer alan yaklaşık 30 km uzunluğunda, ters bileşeni baskın, sağ yönlü doğrultu atımlı bir faydır. Kuvaterner yaşlı Orhaneli Havzası'nın güney sınırını bu fay kontrol etmektedir. Bununla birlikte söz konusu fay aynı zamanda Tavşanlı Zonu'na ait metamorfik kayaçları, Kretase yaşlı ofiyolitik birimleri ve Neojen/Kuvaterner yaşlı sedimanları kesmekte olup hava fotoğraflarında ve arazide belirgin çizgiselliği ve fay sarplıkları ile kolayca takip edilebilmektedir. Fay boyunca gözlenen uzamış sırtlar, ötelenmiş vadiler ve topoğrafik boyunlar, fayın aktivitesine işaret eden önemli jeomorfolojik unsurlardır. Bu çalışmada Orhaneli Fayı üzerinde gerçekleştirilmiş olan ilk paleosismolojik çalışmaların sonuçları yer almaktadır. Bu kapsamda fay üzerinde iki adet hendek açılmıştır. Serçeler ve Kusumlar olarak adlandırılmış bu hendeklerde, Tavşanlı Zonu'na ait metamorfik kayaçların fay tarafından Kuvaterner yaşlı sedimanlar üzerine itildiği belirlenmiştir. Yapılan çalışmada, Kuvaterner'de yüzey yırtılmasıyla sonuçlanmış dört büyük depremin izlerine rastlanmıştır. Serçeler hendeğinde, en eski depremin MÖ 22.000±3.200 ile MÖ 6.600±800 arasında, son depremin ise MÖ 770-415 den önce gerçekleştiği belirlenmiştir. Kusumlar hendeğinde ise, en eski depremin MÖ 6.600 ile MÖ 3.085 arasında, son olayın ise MS 650 tarihinden sonraki bir dönemde gerçekleştiği belirlenmiştir. Söz konusu eski depremler arasında tekrarlanma periyoduna ilişkin bir yorum yapılamamıştır. Bu çalışma ile Orhaneli Fayı'nın Holosen aktivitesi kanıtlanmıştır. Toplam uzunluğu 30 km olan ve iki segmentten oluşan bu fayın tek parça halinde kırılması halinde, Mw= 6,87 büyüklüğünde bir deprem üretme potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir.

Geliş Tarihi: 28.05.2017
Kabul Tarihi: 29.09.2017

Keywords: Orhaneli fault, palaeoseismology, Holocene, Biga Peninsula, NW Anatolia.

ABSTRACT

Orhaneli Fault is 30 km long, right-lateral strike-slip fault with dominant reverse component located in the Biga Peninsula. This fault controls the southern margin of the Quaternary Orhaneli Basin. Additionally, it cuts the metamorphic rocks of the Tavşanlı Zone, Cretaceous ophiolitic units and Neogene/Quaternary sediments, and can be easily recognized on aerial photographs and in the field due to linearity and fault scarps. Elongated ridges, offset valleys and fault saddles observed along the fault are important geomorphological features indicating fault activity. This study presents the results of the first palaeoseismological study on the Orhaneli Fault. Two trenches were excavated along the fault. These trenches, named Serçeler and Kusumlar, exhibited that metamorphic rocks of the Tavşanlı Zone were thrust onto Quaternary sediments by the fault. The study encountered evidences of four large earthquakes accompanied by surface rupture in Quaternary. The results of Serçeler trench indicated the older earthquake occurred between 22,000±3,200 BC and 6,600±800 BC, and the most recent earthquake occurred before 770-415 BC. The Kusumlar trench data showed that the older earthquake occurred between 6,660 BC and 3,085 BC, and the most recent event in

* *Başvurulacak yazar: Volkan ÖZAKSOY, volkano@akdeniz.edu.tr*
http://dx.doi.org/10.19076/mta.363592

the period after 650 AD. Any interpretation could not be made about the recurrence period between palaeoearthquakes. In this study, Holocene activity on the Orhaneli Fault was proven. If this fault, with 30 km total length comprising two segments, ruptured as a single piece, it has the potential to produce an earthquake with Mw=6.9.

1. Giriş

Türkiye, Dünya'daki sismik olarak en aktif kuşaklardan birisi olan Alp-Himalaya Orojenik Kuşağı içerisinde yer almaktadır. Anadolu plakacığı, Arap plakasının kuzeye doğru hareketi sonucunda, Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fayları tarafından batıya doğru, saat yönünün tersinde dönerek hareket etmektedir (Şekil 1A; McKenzie, 1972; Dewey ve Şengör, 1979; Şengör vd., 1985). Bu orojenez sonrası neotektonik olay yaklaşık 12 milyon yıl kadar önce Orta Miyosen'de başlamış (Barka ve Hancock, 1984; Şengör vd., 1985) ve Anadolu'yu, Avrasya kıtasında sismik olarak en aktif bölgelerden birisi haline getirmiştir. Arap ve Avrasya plakaları arasındaki bu yakınsamalı harekete bağlı olarak Anadolu levhacığının tektonik kaçışı, dört neotektonik bölgenin oluşmasına neden olmuştur (Şekil 1A) (Şengör vd., 1985). Bunlar: (1) KG doğrultulu sıkışma ile karakterize edilen Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi; (2) Kuzey Anadolu Fayı'nın kuzeyinde kalan alanı temsil eden Kuzey Anadolu Bölgesi (bu bölgede gelişen tektonik yapılar çoğunlukla ters bileşenli doğrultu atımlı faylardır); (3) KG doğrultulu genişleme ile temsil edilen Batı Anadolu Genişleme Bölgesi ve (4) Batı Anadolu Genişleme Bölgesi'nin doğuya doğru giderek zayıflayan devamı niteliğindeki Orta Anadolu "Ova" bölgesidir (Şengör vd., 1985).

Biga Yarımadası'nı da içine alan Güney Marmara Bölgesi, Kuzey Anadolu Fay Sistemi ile Batı Anadolu Genişleme Bölgesi arasında kalan bir geçiş zonunu temsil etmektedir (Barka, 1992; Barka ve Kadinsky-Cade, 1988; Dewey ve Şengör, 1979; Emre vd., 2012; 2013; Şaroğlu, vd., 1992; Şengör vd., 2005) (Şekil 1A, B). Güney Marmara Bölgesi'nde tektonik yapılar genellikle sağ yönlü doğrultu atımlı faylarla temsil edilmekte olup bu faylar güneye doğru açılan geniş bir büklüm (yay) geometrisi sergilemektedir (Emre vd., 2011*a*, *b*, 2012, 2013) (Şekil 1B). Orhaneli Fayı, Mustafakemalpaşa ve Manyas fayları ile birlikte bu yayın doğu kanadını oluşturmaktadır (Emre vd., 2011) (Şekil 1B). İlk kez Emre vd. (2011*a*, *b*, 2013) tarafından tanımlanan Orhaneli Fayı, Türkiye Diri Fay Haritası'nda sağ yanal doğrultu atımlı bir fay olarak gösterilmiştir. Bu çalışma, Türkiye Paleosismoloji Araştırmaları Projesi (TURKPAP) kapsamında, yenilenmiş Türkiye Diri Fay Haritası'nda (Emre vd., 2013) aktif bir fay olarak tanımlanan Orhaneli Fayı'nın Holosen aktivitesini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Paleosismolojik çalışmalar kapsamında başlıca fay üzerinde açılmış hendeklerde, yapısal jeoloji, sedimantoloji, jeomorfoloji ve radyokarbon/OSL yaşlandırma metotları uygulanmıştır. Orhaneli Fayı'nın Holosen aktivitesi ve deprem davranışı üzerine yapılan bu paleosismik çalışmanın, gerçekleştirilen diğer çalışmalarla (Kop vd., 2016; Kürçer vd., 2017; Özalp vd., 2013, 2016; Sözbilir vd., 2016*a*, *b*) birlikte bölgenin depremselliğine ışık tutacağı beklenmektedir.

2. Bölgesel Jeoloji

Çalışma alanı, Bursa ilinin yaklaşık olarak 60 km güneyinde yer almaktadır (Şekil 1B). Bursa ve Orhaneli arasındaki bölge, jeolojik açıdan oldukça büyük bir çeşitlilik sunar. Bunun en önemli nedeni, bölgenin esas olarak İzmir-Ankara Sütur Zonu (İASZ) ile birbirlerinden ayrılan iki tektonik birliğe sahip olmasıdır (Okay ve Tüysüz, 1999). Bu tektonik birlikler, Sakarya ve Tavşanlı zonlarına ait kayaçlar ile temsil edilmektedir. Orhaneli ve Bursa arasında yaygın olarak gözlenen kayaçlar dört gruba ayrılabilir.

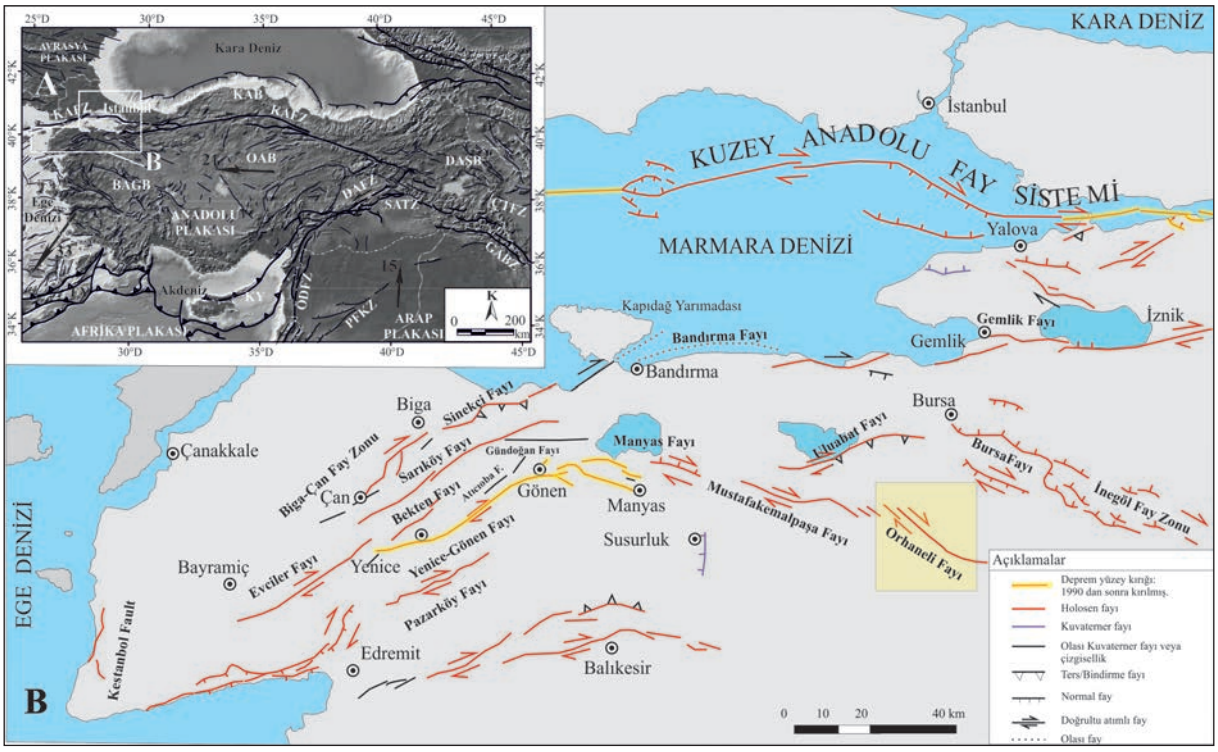
a) İASZ kuzeyinde, Sakarya Zonu'na ait olan ve yaşı Paleozoyik ile Kretase aralığında değişen kayaçlar,

b) Neotetis Okyanusu'nun kuzey koluna ait ofiyolitik kayaçlar,

c) İASZ'nun güneyinde yer alan Anatolid-Torid Bloğu'na ait Tavşanlı Zonu'nun metamorfik ve granitik kayaçlar,

d) Bu birimleri örten veya kesen Miyosen ve daha genç yaştaki sedimanter ve volkanik kayaçlar.

Orhaneli Fayı ve çevresinde yüzeyleyen ve temelde yer alan kayaçlar, Tavşanlı Zonuna ait kayalardır. Bunlar, Geç Kretase'deki ofiyolit üzerlemesine bağlı olarak, Anatolid-Torid Bloğu'nun kuzey kenarının 60

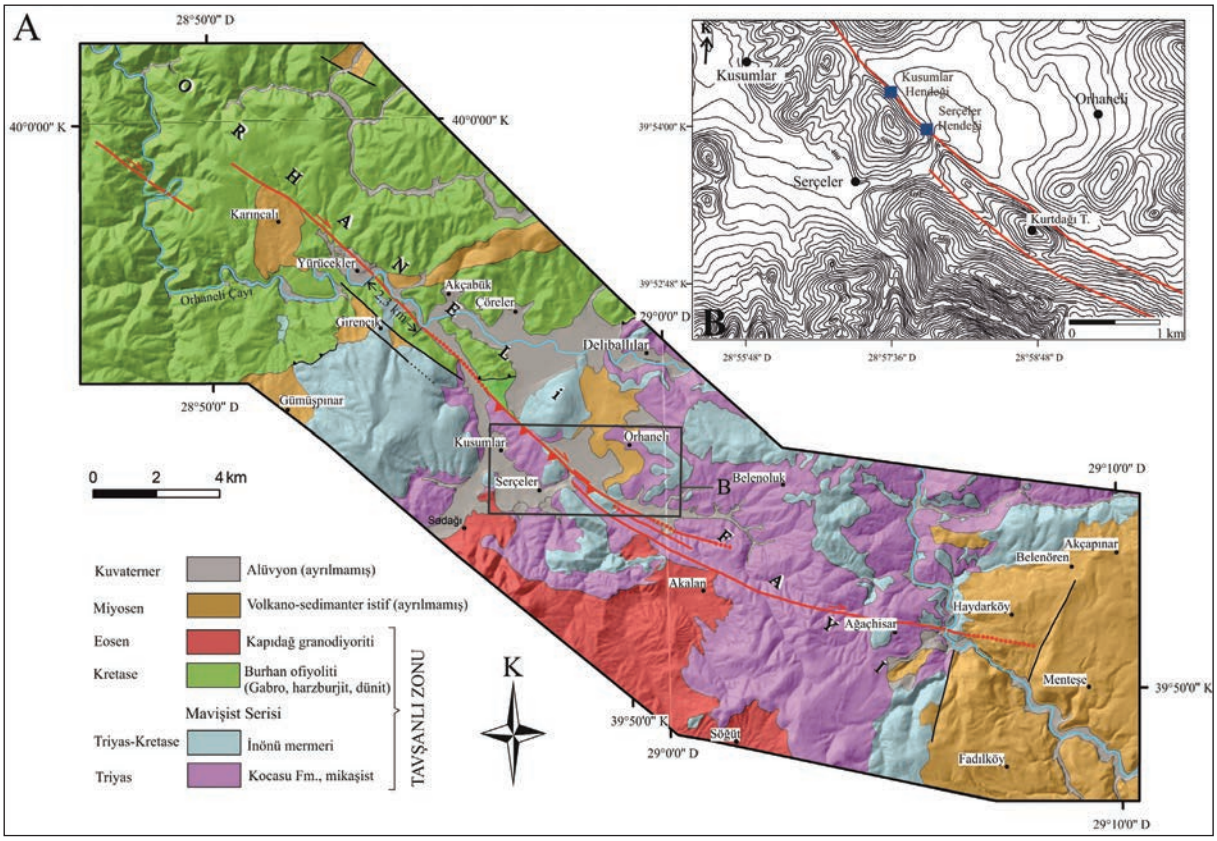


Şekil 1- (A) Türkiye ve yakın çevresinin basitleştirilmiş aktif tektonik haritası. Türkiye'deki aktif faylar Emre vd. (2013)'den, yakın çevresindeki aktif faylar Duman vd. (2016) ve bunun içindeki referanslardan alınmıştır. Neotektonik bölgeler Şengör vd. (1985)'den alınmıştır. Dalma zonları kalın çizgi ve açık üçgenlerle gösterilmiş olup üçgenlerin ucu dalma yönünü ifade etmektedir. İçleri siyah dolgulu üçgenlere sahip kalın çizgiler bindirme faylarını, içi boş üçgenli siyah çizgiler ise ters fayları gösterir. Büyük siyah oklar, plakaların Avrasya Levhası'na göre (GPS'ten hesaplanmış) hareket hızlarını (mm/yıl) ifade etmektedir (Reilinger vd., 2006). EY: Ege Yayı; KY: Kıbrıs Yayı; ÖDFZ: Ölü Deniz Fay Zonu; DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu; KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu; GABZ: GD Anadolu Bindirme Zonu; BAGB: Batı Anadolu Genişleme Bölgesi; OAB: Orta Anadolu Bölgesi; DASB: Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi; KAB: Kuzey Anadolu Bölgesi; PFKZ: Palmira Fay Kıvrım Zonu. Sayısal yükseklik modeli için GeoMap Application verileri kullanılmıştır. (B) Marmara Bölgesi'ne ait diri fay haritası ve çalışma alanı (Emre vd., 2013'ten derlenmiştir).

km'den daha derine gömülerek mavişist fasiyesinde metamorfizmaya uğraması ile oluşmuşlardır (Okay vd., 1998). Orhaneli bölgesinde yaygın olarak gözlenen mavişist kayaları başlıca mikaşist, mermer, fillat ve metabazitlerle temsil edilmekte olup Orhaneli Grubu olarak adlandırılmışlardır (Okay, 1985) (Şekil 2). Orhaneli Grubu'nun tabanında yer alan ve esas olarak mikaşistlerle temsil edilen Triyas yaşlı metamorfik seri, Kocasu formasyonu olarak adlandırılmıştır (Okay, 2004). Kocasu formasyonu üzerine ise kilometrelerce kalınlığa sahip mermer serisi gelir. İlk kez Servais (1982) tarafından İnönü Mermeri olarak adlandırılan bu seri, başlıca beyaz- gri renkli, yer yer bantlı karbonatlarla temsil edilmektedir. Bu formasyonun yaşı Geç Triyas'tan Kretase'ye kadar değişmektedir (Kaya vd., 2001).

Ofiyolitik Kayalar (Burhan Ofiyoliti), Orhaneli'nin kuzey ve güneyinde yaygın olarak gözlenmekte olup başlıca peridotit, gabro, piroksenit ve diyabazlarla temsil edilir (Okay vd., 1998). Burhan ofiyolitinin, Tetis Okyanusal litosferinin manto ve alt kabuğunu temsil ettiği ve Geç Kretase'de Anatolid-Torid platformu üzerine yerleştiği bildirilmektedir (Okay vd., 1998; Okay, 2011). Bu kayalar, Tavşanlı Zonu'na ait birimler üzerinde tektonik olarak yer almaktadır. Bu birimler ayrıca Erken Eosen yaşlı Orhaneli Granodiyoriti tarafından kesilmiştir (Harris vd., 1994) (Şekil 2).

Neojen-Kuvaterner yaşlı çökeller, gerek ofiyolitik kayaçları gerekse Tavşanlı Zonu'na ait kayaçları uyumsuz olarak örterler (Şekil 2). Neojen birimleri genellikle göl ve akarsu fasiyesinde çökelmiş sedimanter kayaçlarla temsil edilmekte olup yer yer ekonomik öneme sahip linyit yatakları içermektedir. Orhaneli güneyinde ise geniş bir alanda Kuvaterner yaşlı birimler yüzeylemektedir. Kuvaterner yaşlı çökeller genellikle akarsu, taşkın düzlüğü ve yamaç molozundan oluşmaktadır.



Şekil 2- A) Orhaneli Fayı ve yakın çevresinin kuşak jeoloji haritası. (Harita: Konak (2002), Türkecan ve Yurtsever (2002)'den ve MTA sayısal veri tabanından değiştirilerek; Stratigrafi: Okay vd. (1998)'den derlenmiştir). B) Fay morfolojisi ve hendek lokasyonları.

3. Orhaneli Fayı'nın Genel Özellikleri

Güney Marmara Bölgesi'nde yer alan Orhaneli Fayı, Mustafakemalpaşa Fayı ile birlikte Manyas Bendi'nin doğu kanadını oluşturur (Emre vd., 2011*a*, *b*) (Şekil 1B). Fay esas itibariyle ilk kez Okay vd. (1998) tarafından yapılan çalışmadaki jeolojik haritada gösterilmiş olsa da karekteri belirtilmemiştir. Bu fay ilk olarak Emre vd. (2011*a*, *b*, 2013) tarafından adlandırılmış ve Türkiye Diri Fay Haritası'nda, aktif bir fay olarak gösterilmiştir (Şekil 1B).

Orhaneli Fayı, yenilenmiş Türkiye Diri Fay Haritası'nda KB-GD doğrultusunda ve 30 km uzunluğa sahip bir yapı olarak yer almaktadır (Emre vd., 2013). Güneydoğu kesimde, Menteşe ve Akalan köyleri arasında, K80°B doğrultusunda uzanan fay, kuzeybatıya doğru hafifçe büklüm yaparak K50°B doğrultusunu kazanır ve KB'da, Karıncalı Köyü civarında sonlanır (Şekil 2A).

Fay, geometrik olarak birbirinden ayrılan iki segmentten oluşur (Şekil 2A). Bunlardan KB'da kalan segment yaklaşık olarak 19 km uzunluğunda olup Orhaneli ilçesinin güneyinde, sağa genişlemeli bir sıçrama yaparak, 13 km uzunluğuna sahip olan ve GD'da kalan ikinci segmente bağlanır. Her iki segment bu kesimde birbirlerini yaklaşık olarak 1,5 km kadar üzerlemektedir (Şekil 2A). Fay, KB'da, 11 km genişliğindeki bir zon içerisinde, uzunlukları 4 ile 5 km arasında değişen bir seri sağ yanal fay ile sıçrama yaparak Mustafakemalpaşa Fayı'na bağlanmaktadır (Emre vd., 2011*a*, *b*) (Şekil 1B ve 2A).

Orhaneli Fayı'nın Kuvaterner aktivitesine ilişkin en önemli veri, Orhaneli Çayı'nda gözlenen yaklaşık 2.3 km'lik sağ yanal atımdır (Şekil 2A, B). Aynı akarsuyun, daha kuzeybatıda, benzer şekilde, Mustafakemalpaşa Fayı tarafından da yaklaşık 2.5 km sağ yanal olarak ötelendiği de saptanmıştır (Emre vd., 2011*b*).

Fay, morfolojik anlamda, özellikle Yürücekler ve Serçeler köyleri kuzeyinde kalan kesimde, çizgisel uzanımı ve fay diklikleri ile, hava fotoğraflarında ve arazide belirgin olarak izlenebilmektedir. Serçeler Köyü'nün yaklaşık 2 km doğusunda yer alan Kurtdağı

Tepe'nin uzun ekseni, fayın doğrultusuna paralel olarak uzamış bir sırt görüntüsündedir (Şekil 2B).

4. Tarihsel ve Aletsel Dönem Sismisitesi

Güney Marmara'da tarihsel dönemde (<1900) meydana gelen hasar verici depremler, çalışma alanı kuzeyinde yer alan diri faylar üzerinde ve yakın çevresinde dağılmış bir şekilde izlenmektedir (Çizelge 1 ve Şekil 3). Orhaneli Fayı üzerinde tarihsel dönemde etkili olmuş herhangi bir tarihsel deprem kaydına rastlanılmamıştır. Bununla birlikte, 1850 ve 1851 yıllarında Mustafakemalpaşa'da meydana gelen depremler, Orhaneli Fayı'na en yakın tarihsel depremler olarak görülmektedir (Çizelge 1).

İnceleme alanın yakın çevresinde aletsel döneme ait (1900-2012) deprem kayıtları (Kadirioğlu vd., 2016) dikkate alındığında, küçük ve orta büyüklükte deprem aktiviteleri izlenmektedir (Şekil 3). Orhaneli Fayı üzerinde herhangi bir deprem aktivitesi izlenmemektedir. Ancak fayın, batıda Mustafakemalpaşa Fayı ile arasında kalan sola sekme yapısının olduğu kesimde, büyüklüğü 5'ten küçük deprem aktivitesi gözlenmektedir. Doğuda ise Orhaneli ile Oylat fayları arasında kalan kesimde, özellikle Domaniç yöresinde, büyüklüğü 5 ile 6 arasında değişen orta büyüklükte depremlerin yoğunluğu dikkat çekicidir. Aletsel dönem kayıtlarına göre bölgede meydana gelmiş en büyük deprem ise, 6 Ekim 1964 Manyas Depremi'dir (Ms: 6,9).

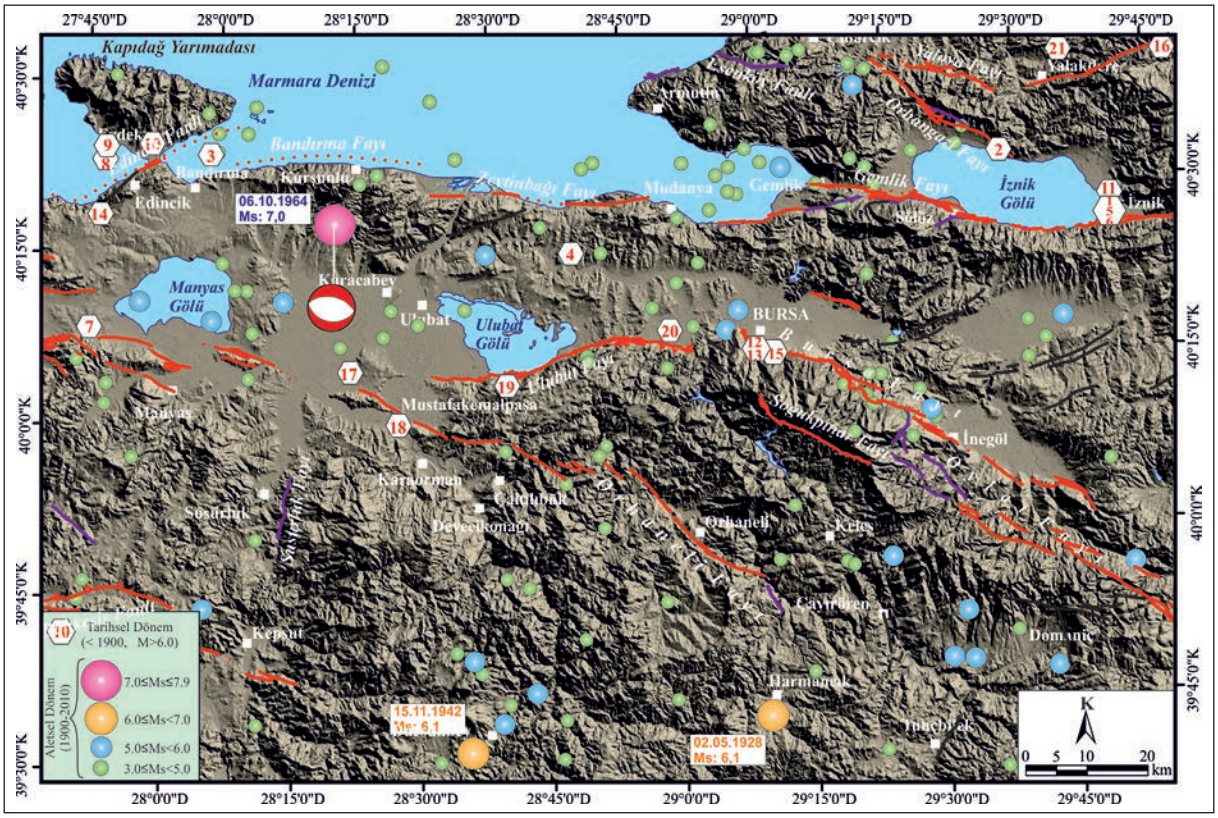
5. Paleosismoloji Çalışmaları

Paleosismolojik hendek çalışmaları öncesinde, 1:35.000 ölçekli hava fotoğrafı analizi ve daha sonra, hava fotoğraflarında belirlenen kazıya uygun alanlarda kontrol ve arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 1- Güney Marmara Bölgesi'nde meydana gelen, tarihsel dönem deprem kayıtları (Tan vd.,2008'den alınmıştır).

No	Tarih	Koordinat		Büyüklük (M)	Şiddet (Io)	Yer	Referanslar*
		Latitude (N)	Longitude (E)				
1	***24.11.29***	40.50	28.90	6.3	***IX***	İznik, İzmit	*a*
2	***? .?.30***	40.50	29.50	6.6	***?***	İznik-Yalova	*f*
3	***10.11.117***	40.40	27.80	7.0	***VII***	Erdek, Kapıdağ Yarımadası	*c, d, h*
4	***03.05.170***	40.10	28.00	6.6	***IX***	Bandırma, Erdek	*a, c*
5	***02.12.362***	40.42	29.72	6.9	***IX***	İznik	*a*
6	***11.10.368***	40.42	29.72	6.9	***VII***	İznik	*c, d, e, h*
7	***?.11.368***	40.10	27.80	6.8	***VIII***	M. Kemalpaşa	*c, d, h*
8	***07.04.460***	40.39	27.80	6.9	***?***	Cyzicus (Erdek)	*a, d, e, h*
9	***?.?.464***	40.40	27.85	7.4	***VIII***	Cyzicus (Erdek), Bandırma	*a, c*
10	***06.09.543***	40.39	27.80	6.9	***IX-X***	Cyzicus (Erdek)-Bandırma?	*a, c, d*
11	***23.09.1064***	40.40	28.90	6.9	***IX***	İznik, Bandırma, Cyzicus (Erdek)	*a, c, h*
12	***26.11.1143***	40.18	29.06	6.0	***?***	Bursa	*B*
13	***15.03.1419***	40.50 40.40	30.50 29.30 (h)	7.0<Ms<7.8 7.2 (*h*)	***?***	Geyve ? Bursa (h)	*e, h*
14	***10.05.1556***	40.30	27.80	7.2	***VIII***	Erdek, Edincik	*a, d, g, h*
15	***?.?.1674***	40.18	29.10	6.0	***?***	Bursa	*a, c*
16	***25.05.1719***	40.70	29.80	7.4	***?***	İzmit	*g*
17	***19.04.1850***	40.10	28.30	6.1	***?***	Mustafakemalpaşa	*g*
18	***?.?.1851***	40.03	28.40	6,0	***?***	Mustafakemalpaşa	*f*
19	***28.02.1855***	40.00	28.50	7.4	***?***	Ulubat	*e*
20	***11.04.1855***	40.20	29.10 (*c*)	6.6 (*e*)	***X (c)***	Bursa	*c, d, e*

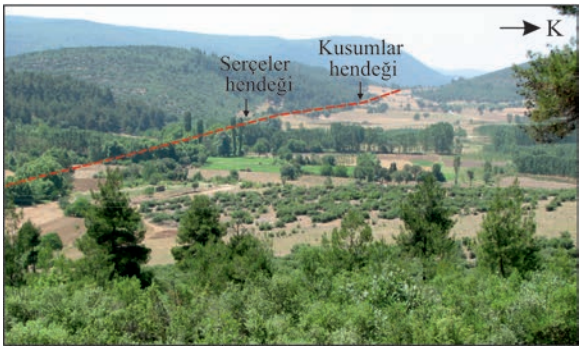
*Çizelgedeki referanslar; a) Ergin vd., 1967; b) Ergin vd., 1971; c) Soysal vd., 1981; d) Ambraseys ve Finkel, 1991; e) Ambraseys ve Jackson, 1998; f) Kondorskaya ve Ulomov, 1999; g) Ambraseys ve Jackson, 2000; h) Ambraseys, 2002.



Şekil 3- Tarihsel (bkz. Çizelge 1) ve aletsel döneme ait (Kadirioğlu vd., 2016) depremleri gösteren Aktif Fay Haritası (Emre vd., 2013). 1964 Manyas Depremi'ne ait çözüm, Taymaz vd. (1991)'den alınmıştır.

Arazide yüzey kırığı morfolojisine yönelik bir veri bulunamamıştır. Bu nedenle, hava fotoğrafları ve saha çalışmalarında belirlenen alanlarda, Holosen aktivitesine ilişkin jeomorfolojik yapılar değerlendirilmiştir. Orhaneli Fayı'nın Kusumlar ve Serçeler köyleri arasında kalan 1 ile 2 km'lik bölümü boyunca, "fay oluğu" şeklindeki morfoloji belirgin bir biçimde izlenebilmektedir (Şekil 2 ve 4). Bu nedenle, Orhaneli ilçesinin yakın güneybatısındaki ovada yüzeyleyen Kuvaterner yaşlı oluşuklar ile Tavşanlı Zonu'na ait metamorfik kayaçlar arasındaki fay kontrolündeki sınır, hedef bölge olarak seçilmiştir (Şekil 2 ve 4).

Orhaneli Fayı üzerinde iki farklı alanda, faya dik olarak açılan hendeklerin derinliği 3 ila 3.5 metre arasında değişmektedir. Hendek duvarları yatay ve düşey yönde birer metre aralıklarla gridlenmiş, detaylı kesit çizimi yapılarak hendek duvarlarının stratigrafisi ortaya konmuştur. Tektono-stratigrafik ilişkiler kullanılarak bu çizimler üzerinde deprem seviyeleri tanımlanmıştır. Hendeklerin stratigrafisini ve deprem seviyelerini net olarak anlayabilmek için,



Şekil 4- Orhaneli Fayı üzerinde açılan hendek lokasyonları, fay sarplıkları ve topoğrafik eyer yapısı (KB'ya bakış)

hendek duvarlarında yüzeyleyen stratigrafik birimler içerisindeki odun kömürü ve organik malzemeden örnek alınmıştır. Alınan bu örnekler, Miami (Florida, ABD)'deki BETA Analytic Laboratuvarı'nda AMS - ^{14}C (radyokarbon) yöntemi ile yaşlandırılmıştır (Çizelge 2). Ayrıca, AMS - ^{14}C örneği alınamayan bazı seviyelerden OSL (Optically Stimulated Luminescence; Optik Uyarmalı Lüminesans) örneği alınmış ve Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü'nde yaş tayini yapılmıştır (Çizelge 3).

Çizelge 2- Serçeler ve Kusumlar hendeklerinden alınan örneklere ilişkin radyokarbon (^{14}C) yaşları.

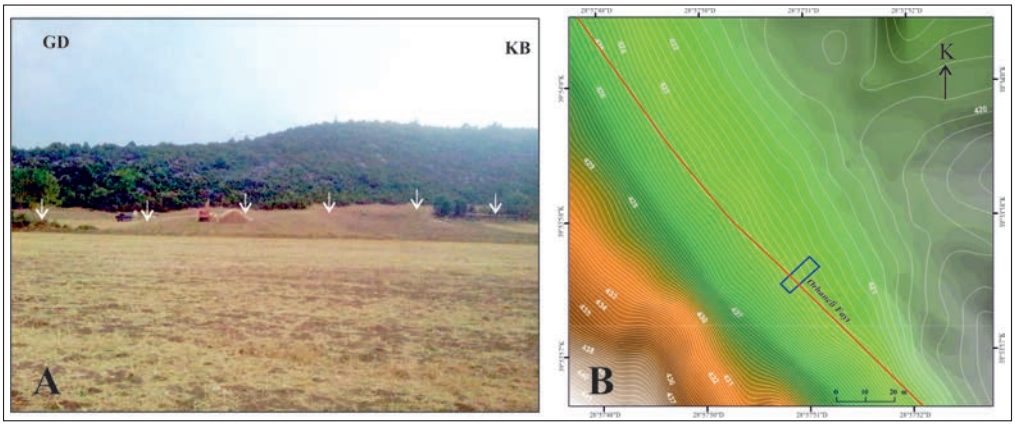
Örnek No	Laboratuvar No (BETA)	Stratigrafik Birim	Örnek Malzemesi	Ölçülmüş Radyokarbon Yaşı (GÖ)	$\delta^{13}C$ (‰)	Düzeltilmiş Radyokarbon Yaşı (GÖ)	Düzeltilmiş Yaş (2σ)
SERÇELER HENDEĞİ							
OSCNW-01	390691	Birim 7	Organik Sediman	2530±30	-28,5	2470±30	MÖ 770 - 415
KUSUMLAR HENDEĞİ							
OK2-C-E01	390692	Birim 6	Kömürlü Sediman	1220±30	-23,9	1240±30	MS 680 - 880
OK2-C-W02	390693	Birim 6	Organik Sediman	NA	NA	1670±30	MS 265 - 275 330 - 420
OK2-C-W06	390694	Birim 6	Organik Malzeme	1340±30	-22,9	1370±30	MS 640 - 675
OK2-C-W08	390695	Birim 6	Kömürlü Sediman	1290±30	-24,3	1300±30	MS 660 - 770
OK2-C-W09	390696	Birim 5	Kömürlü Sediman	4380±30	-26,3	4360±30	MÖ 3085- 3065

Çizelge 3- Serçeler ve Kusumlar hendeklerinden alınan örneklere ilişkin OSL (Optically Stimulated Luminescence) yaşları.

Örnek No.	Stratigrafik Birim	Derinlik (m)	Eşlenik Doz (Gy)	OSL Yaşı (Bin yıl)
OSRLONW-02	Birim 3	0,70	76,3 ± 8,9	24,0 ± 3,2
OSRLONW-03	Birim 4	0,43	28,3 ± 2,2	8,7 ± 0,8
OSRLONW-05	Birim 2	1,95	133,4 ± 12,2	79,7 ± 9,2
OKSLONW-06	Birim 3a	0,72	33,5 ± 4,9	11,6 ± 1,8
OK2-O-W02	Birim 3b	2,55	27,4 ± 1,8	8,6 ± 1,2

5.1. Serçeler Hendeği

Hendek alanı, Serçeler Köyü'nün yaklaşık 1,2 km kuzeyinde yer almaktadır (Şekil 2 ve 4). Hendek, fay doğrultusuna dik olarak, 12 m uzunluğunda, 4 m genişliğinde ve 3 m derinliğinde açılmıştır. Hendek, temeli oluşturan Tavşanlı Zonu'na ait metamorfik kayaçlar ile Kuvaterner yaşlı çökellerin sınırındaki fay sarplığına karşılık geldiği düşünülen topoğrafik eğim kırıklığının en yüksek olduğu alanda açılmıştır (Şekil 4 ve 5A). Kazı yeri ve yakın çevresinin yaklaşık 15.000 m^2 'lik alanında total station ile 20 cm kontur aralıklı mikrotopoğrafik haritalama yapılmıştır (Şekil 5B). Fay, yaklaşık olarak topoğrafik eğim kırıklığının maksimum olduğu sınırı takip etmektedir.



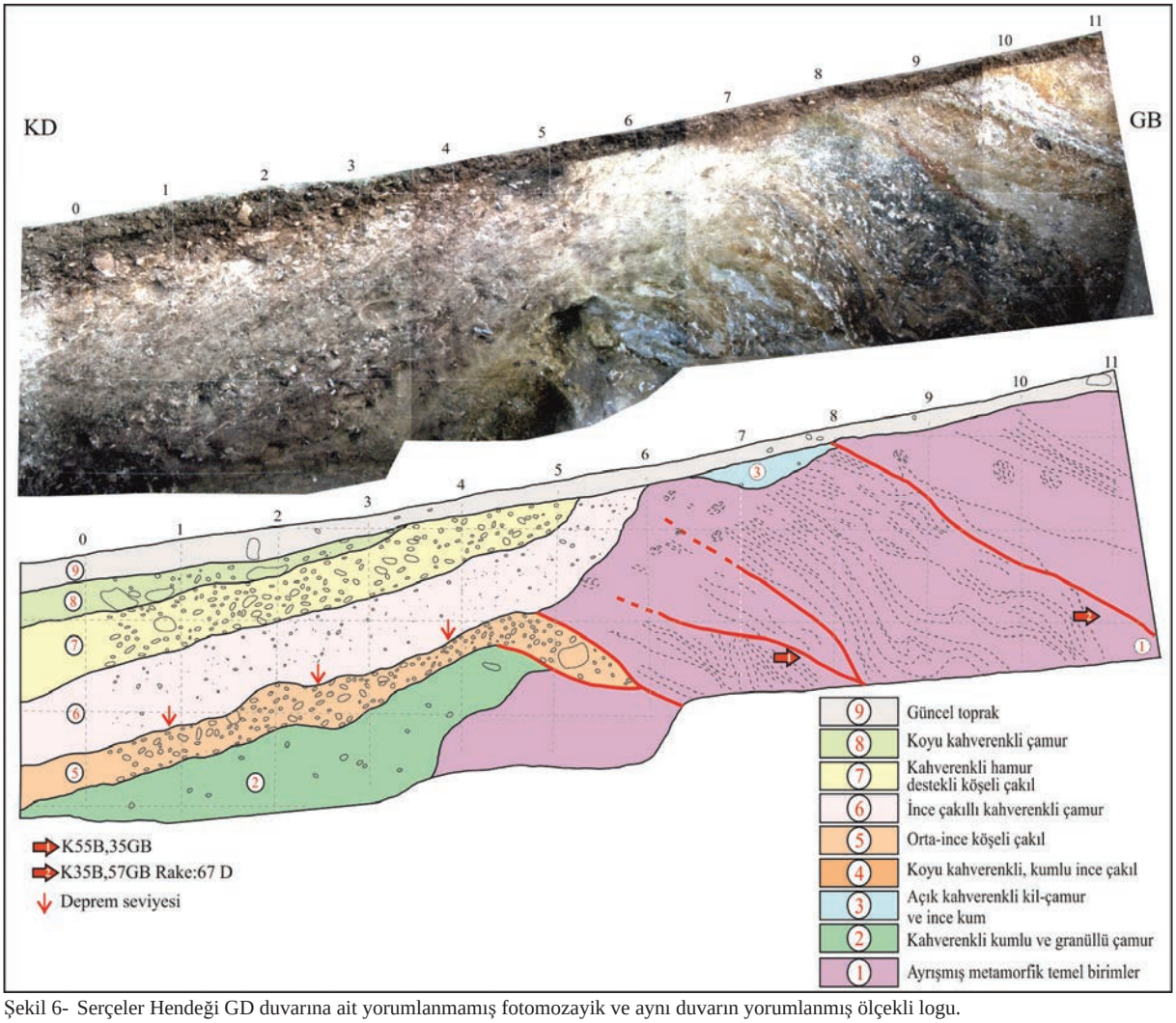
Şekil 5- A) Serçeler Hendeği kazı alanı ve fay sarplığı. Beyaz oklar fayın arazi üzerindeki uzanımını işaret eder; B) Serçeler hendek alanına ait mikrotopoğrafya haritası. Kontur aralığı 20 cm'dir.

Serçeler Hendeği'nde gözlenmiş olan en belirgin olay, yaklaşık 5 m genişliğindeki fay zonu içerisinde, temeldeki metamorfik kayaçların ters faylanma mekanizmasıyla Kuvaterner birimleri üzerine itilmiş olmalarıdır (Şekil 6 ve 7). Fay düzlemi üzerinde yapılan ölçümlerde, fay çiziklerinin yan yatım (rake) açılarının genelde 70° ve daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, Orhaneli Fayı'nın kinematik veri alınabilen bu segmenti, sağ yanal bileşenli ters fay karakterindedir (Şekil 11). Bu fayların hendekte ölçülen genel doğrultuları K50°B olup Türkiye Diri Fay Haritası'nda gösterilen doğrultu ile uyumludur.

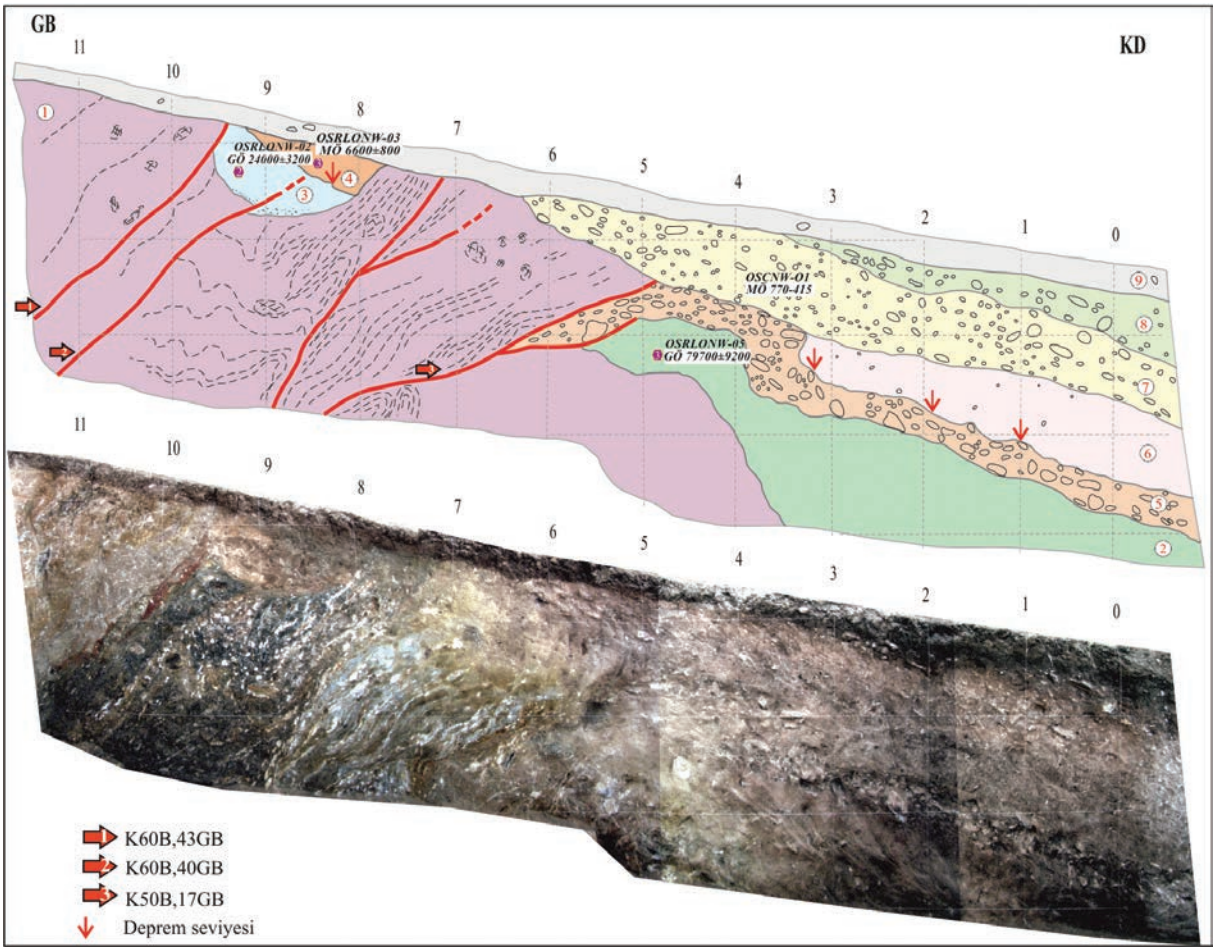
Serçeler Hendeği'nde gözlenen en yaşlı birim, Tavşanlı Zonu'na ait metamorfik temel kayaçları olup kesitlerde 1 numarayla gösterilmiştir (Şekil 6 ve 7). Hendek duvarının 4 ila 4.5 m genişliğindeki bir zonda gözlenen bu kayaçlarda, ayrışmış olmalarına rağmen, ilksel şistozite ve makaslama zonları belirgin olarak takip edilebilmektedir.

Hendekte gözlenen ikinci stratigrafik istif ise Kuvaterner yaşlı çökel paketidir. Bu paketin bir bölümü temel kayaçların üzerinde uyumsuz olarak bulunurken, diğer bölümü bir seri ters fay ile temel birimlerinin altında yer almaktadır.

Temel birimlerin üzerinde yer alan 2 numaralı istif, kahverenkli, kumlu, granüllü çamurdur. Bu birimden alınan OSL örneğinden 79.700±9.200 GÖ (Günümüz Öncesi) yaşı alınmıştır (Şekil 7 ve Çizelge 3). Logda 3 ve 4 numara ile gösterilen birimler, temel kayaçlar üzerinde sel yarıntısı olarak gelişmiş olan kanal ve dolgu özelliği taşıyan birimlerdir. Yaklaşık 60 cm kalınlığındaki birim, ince çakıl ve granüllü çamur ile temsil edilmektedir (Şekil 6 ve 7). Bu kanalın tabanı (3 nolu birim) fay tarafından kesilip ötelenmiştir.



Şekil 6- Serçeler Hendeği GD duvarına ait yorumlanmamış fotomozayik ve aynı duvarın yorumlanmış ölçekli logu.



Şekil 7- Serçeler Hendeği'nin KB duvarına ait yorumlanmış logu ve fotomozayik görüntüsü.

Aynı kanal çökeli içinde fay tarafından etkilenmeyen 4 no'lu birim bulunmaktadır. Birim 3 ve birim 4'ten alınan OSL örneklerinden sırasıyla 24.000±3.200 GÖ ve 8.700±800 GÖ yaşları alınmıştır (Şekil 7 ve Çizelge 3). Hendekte 2 numaralı birim üzerine gelen 5 numaralı birim, köşeli-yarı köşeli, orta-kaba tane boyundaki çakıl seviyesi ile temsil edilir. Birim 5, fay tarafından kesilerek temel birimlerinin altına itilmiştir. Tarihlendirilebilen en eski deprem olarak hendekte gözlenen bu seviye, aşınma sürecinden sonra Birim 6 tarafından örtülmüştür.

Birim 7, kahverenkli çamur matriks içinde breşik çakıllardan oluşmuştur (Şekil 6 ve 7). Bu birimden alınan örneğin C^{14} yaşı 2530±30 GÖ'dür (Çizelge 2). Bu birimin üzerine, koyu kahverenkli, bloklu, çamurlu, 8 numaralı birim gelmektedir. Hendekte gözlenen bütün birimler ise 9 numaralı güncel toprak seviyesi ile örtülmektedir. Koyu kahverenkli bu toprak seviyesi ortalama olarak 20 cm kalınlıkta olup köşeli çakıllı ve kumlu çamur bileşimindedir (Şekil 6 ve 7).

5.1.1. Paleosismolojik Yorum

Serçeler Hendeği'nde, Holosen'de (veya Pleyistosen) gerçekleşmiş en eski olay, kuzeybatı duvarındaki 7 ile 10. m'ler arasında izlenen faydan kaynaklanmaktadır. Temel birimleri kesen söz konusu fay, yüzeye doğru 3 numaralı birimi keser ve 4 no'lu birim tarafından örtülür (Şekil 7). Bu olayı belgeleyen en önemli veri ise, deprem sonrasında gelişen fay önü çökelinin varlığı ve kanal tabanındaki yaklaşık 15 cm'lik ters atımdır. Fay tarafından kesilmiş olan kanal çökellerini içeren 3 numaralı birimden alınan OSL örneğine göre, bu birimin yaşı 24.000±3.200 GÖ takvim yaşı olarak elde edilmiştir. 3 no'lu birimi örten ve deprem seviyesi olarak belirlenen 4 numaralı birimin OSL yaşı ise MÖ 6.600±800 olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla, buradaki deprem, Erken Holosen'de veya öncesinde, GÖ 24.000±3.200 ile MÖ 6.600±800 tarihleri arasında gerçekleşmiş olmalıdır.

Serçeler Hendeği'nde belirlenen bir sonraki deprem, 5 numaralı birimin, 3 numaralı ters fay tarafından deforme edildiği dönemde gerçekleşmiştir. Sonrasında ise, bu birim kuzeybatı duvarda 7 numaralı birim tarafından örtülmektedir (Şekil 6 ve 7). GD duvarda ise bu durum, daha belirgin olarak izlenmektedir (Şekil 6). Burada Birim 5 ve onu etkileyen fayın, "*deprem seviyesi*" rolündeki Birim 6 tarafından örtüldüğü görülmektedir. Birim 6'dan yaş verisi elde edilemediği için, depremin, buna en yakın yaş verisi olan Birim 7'nin oluşumundan, yani MÖ 770-415'den önce meydana gelmiş olmalıdır.

5.2. Kusumlar Hendeği

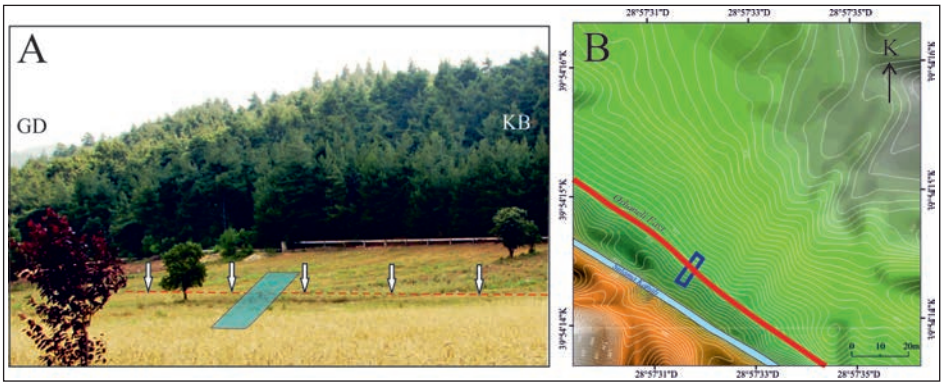
Kusumlar Hendeği, Serçeler Hendeği'nin yaklaşık 600 m KB'sında açılmıştır (Şekil 2B ve 4). Fayın doğrultusuna dik olarak açılan hendek, 4 m genişliğinde, 3 m derinliğinde ve 15 m uzunluğundadır. Bu hendek de tıpkı Serçeler Hendeği'nde olduğu gibi, fay sarplığına karşılık geldiği düşünülen topoğrafik eğim kırıklığı üzerinde açılmıştır (Şekil 8). Kusumlar hendek alanı, mevcut jeolojik haritalarda metamorfik temel ile Kuvaterner yaşlı çökel sınırı üzerindedir.

Serçeler Hendeği'nde olduğu gibi, bu hendekte de temel kayaçlar Kuvaterner birimleri üzerine itilmiştir (Şekil 9 ve 10). Fay, K53°B, 23°GB konumlu olup, yan yatımı 85-90°'ye ulaşan kayma çiziklerine sahiptir. Bu nedenle bu kazıda da fay neredeyse "*saf bindirme fayı*" niteliğindedir (Şekil 11).

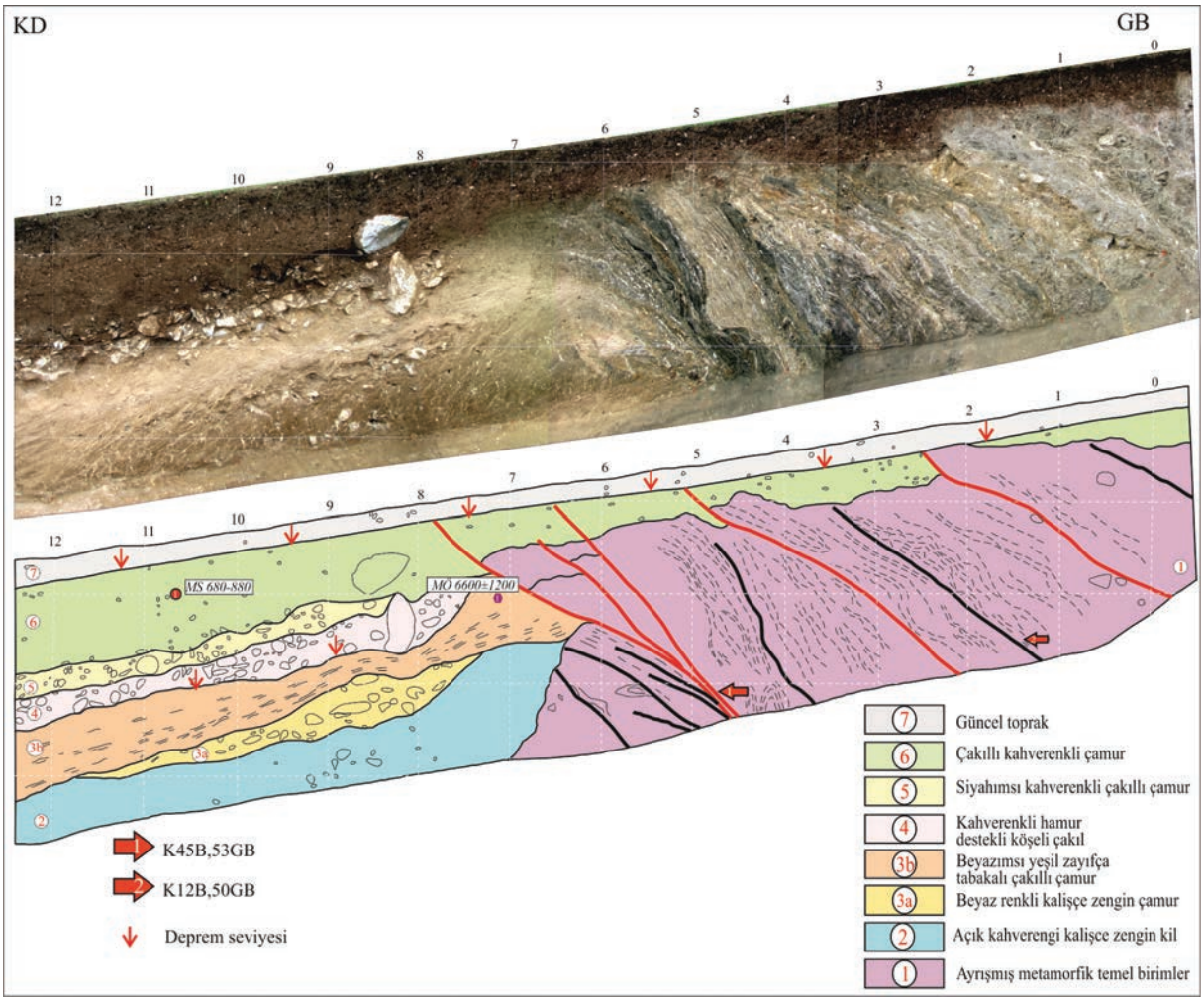
Kusumlar Hendeği'nde de tıpkı Serçeler Hendeği'nde olduğu gibi, en yaşlı birim, logda 1 numara ile temsil edilen Tavşanlı Zonu'na ait metamorfik kayaçlardır (Şekil 9 ve 10). Bu birimler, ayrışmış olmalarına rağmen ilksel dokuları tanınabilir durumdadır. Hendekte gözlenen Kuvaterner dönemi çökelleri, stratigrafik olarak yedi seviyeye ayrılmıştır.

Stratigrafik olarak en altta yer alan 2 numaralı birim, 1 ila 1.5 m kalınlığında, sütlü kahverenkli, çakıllı ve kaliş açısından zengin kil çökelidir. Bunun üzerine gelen ve 3a ile simgelenen birim, açık kahverenkli çakıllı çamur ile temsil edilir. 3a birimi yaklaşık 30 cm kalınlığa sahip olup fay zonuna doğru incelerek sona ermektedir. 3b ile simgelenen birim, beyazımsı yeşil renkli, zayıfça tabakalanma sergileyen çamurdan oluşmaktadır. Bu birimin üzerine 4 numara ile simgelenen ve 20 ila 25 cm kalınlığa sahip, açık kahverenkli çamur ve köşeli çakıllı bir seviye gelir. Bunun üzerine gelen ve 5 ile simgelenen birim ise, 20 ila 25 cm kalınlığa sahip olup siyahımsı çamur ve köşeli çakıllar ile temsil edilmektedir. Buradaki çakıllar genelde metamorfik temel birimlerden türemişlerdir.

Bu birimlerin çökeliminden sonra, temel kayaçlar ve çökel dolgu erozyonal bir süreç geçirmiştir. Erozyonal yüzey, 6 numaralı çökel ile doldurulmuştur. Hendek duvarında görünür kalınlığı yaklaşık olarak 75 ila 80 cm olan bu birim, kahverenkli, ince-orta tane boyundaki köşeli çakıllarca zengin çamur ile temsil edilir. Bu birim, KD'da topoğrafik eyere doğru kalınlaşma sergilemektedir. Çakılların düzensiz ve organize olmayan bir şekilde bulunması, birimin çakıllı çamur akması şeklinde depolanarak topoğrafik eyeri doldurduğuna işaret etmektedir. Hendek duvarındaki istif, 20 ila 25 cm kalınlığındaki koyu kahverenkli güncel toprak seviyesi ile sona ermektedir.



Şekil 8- A) Kusumlar hendek alanı genel görünümü. Beyaz oklar fayın arazi üzerindeki konumunu, mavi dikdörtgen ise kazı alanını belirtmektedir. B) Hendek alanı ve yakın çevresine ait mikrotopoğrafya haritası. Kontur aralığı 20 cm dir.



Şekil 9- Kusumlar Hendeği GD duvarına ait yorumlanmamış fotomozayik görüntüsü ve aynı duvarın logu.

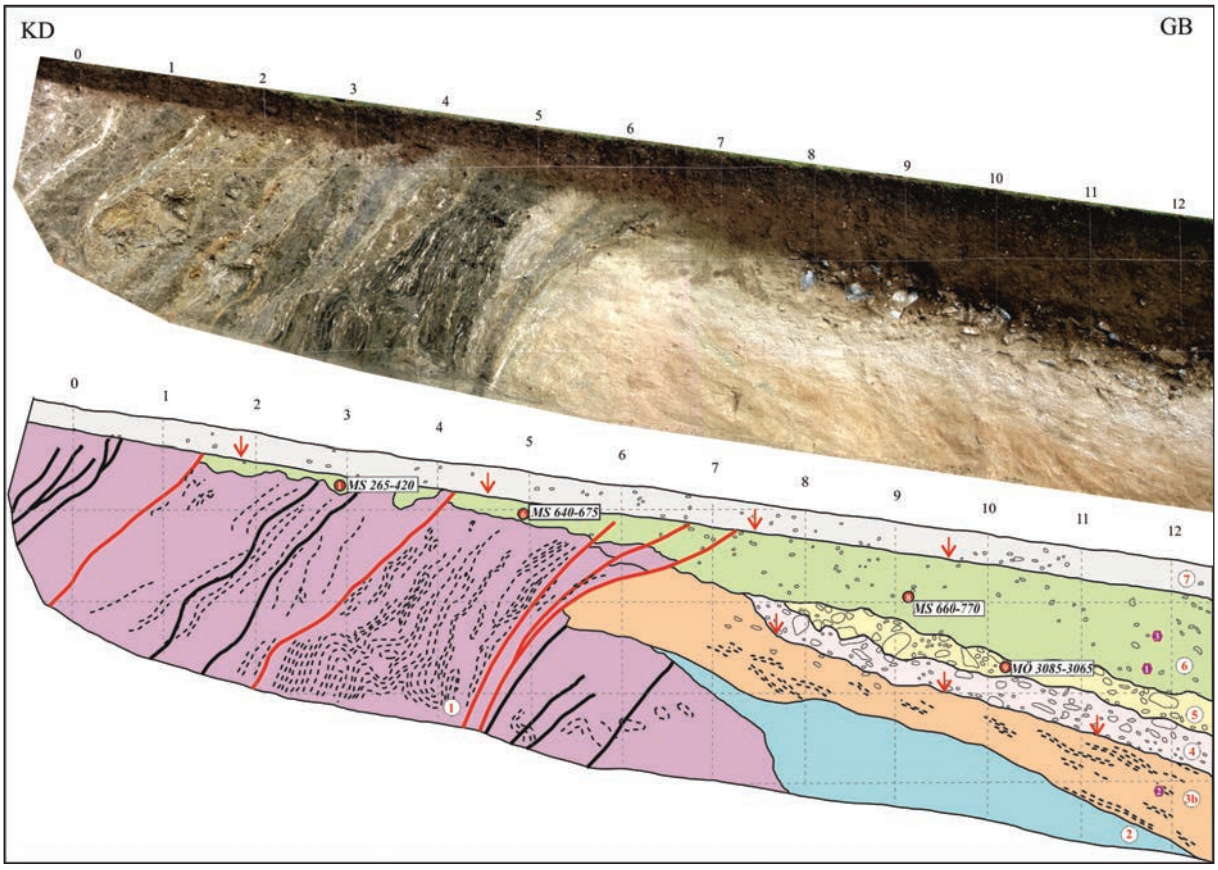
5.2.1. Paleosismolojik Yorum

Kusumlar Hendeği'nde yorumlanan en eski deprem, 3b ile gösterilen birimin üzerine temel birimlerin itilmesiyle gelişmiştir (Şekil 9 ve 10). 3b biriminden alınan OSL örneğine göre birimin yaşı MÖ 6.600±1200 olarak bildirilmiştir (Çizelge 3). Bu birimin üzerine gelen birimlerden sadece 5 numaralı birimden MÖ 3.085-3.065 ^{14}C yaşı alınmıştır. Buna göre, buradaki deprem (Olay-1) MÖ 6.600±1200 ile MÖ 3.085-3.065 yılları arasında gerçekleşmiş olmalıdır.

Olay-2 ise, 6 numaralı birimi kesen ve 7 numaralı birimin (güncel toprak seviyesi) tabanına kadar ulaşan fay ile karakterize edilir (Şekil 9 ve 10). 6 numaralı birimden alınan örneklerin ^{14}C yaşları ortalama olarak MS 660-770 olarak bildirilmiştir (Çizelge 2). Bu nedenle, Olay 2 depremi MS 660-770 yılından sonra meydana gelmiş olmalıdır.

5.3. Yapısal Veri

Orhaneli Fayı'nın kinematik özelliklerinin araştırılması amacıyla hendek duvarlarında izlenen fay düzlemleri üzerinde kayma verileri ölçülmüştür. Genel olarak faya ait düzlem üzerinde, kil, silt gibi nispeten yumuşak sedimanlarda korunan kayma çizikleri (slickenlines) veya oluk yapıları (groove marks) benzeri kinematik göstergeler izlenmiştir. Kusumlar ve Serçeler hendeklerinde net olarak izlenen bu yapılar ölçülmüştür (Şekil 11 a ve b). Ölçülen bu veri, fayın uzun zamandan beri sürekli benzer tektonik deformasyon etkisinde kaldığını göstermektedir. Fay düzlemi analizleri için Marrett ve Allmendinger (1990) tarafından önerilen yöntemi içeren FaultKinWin 7.0.0 [fay düzlemi verilerinin analizi için R.A. Almendinger vd. (2012) tarafından geliştirilen bilgisayar programı] kullanılmış ve elde edilen sonuç odak mekanizması çözümü şeklinde sunulmuştur (Şekil 11 c).



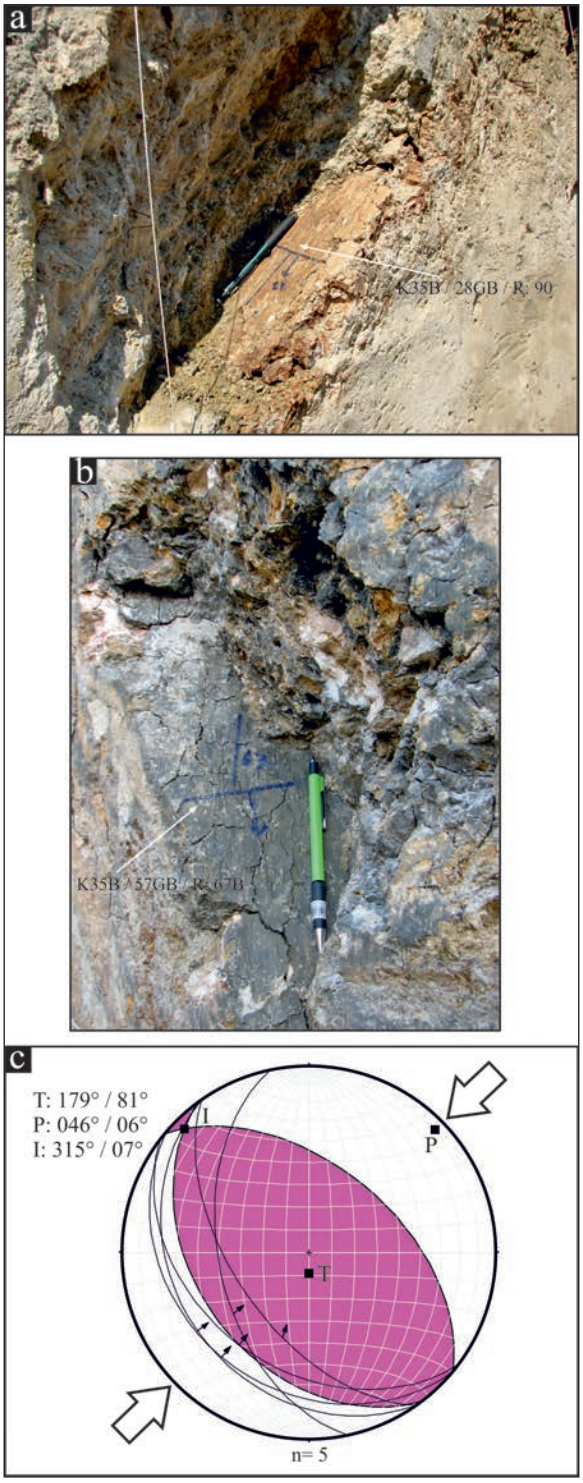
Şekil 10- Kusumlar Hendeği KB duvarına ait fotomozayik görüntüsü ve yorumlanmış hendek logu.

Hendeklerden toplam 5 adet kayma verisi ölçülmüştür. Ölçülen bu değerlerin FaultKinWin programında değerlendirilmesi sonucunda Orhaneli Fayı üzerinde açılan hendek alanının KD - GB yönlü sıkışma kuvvetleri etkisinde olduğu ve fayın çok az sağ yanal doğrultu atım bileşeni bulunan ters fay/ bindirme niteliğinde olduğu gözlenmiştir (Şekil 11 c).

6. Tartışma ve Sonuçlar

Batı Anadolu genişlemeli tektonik rejimi ile Kuzey Anadolu Fay Zonu arasındaki bir geçiş kuşağını temsil eden Biga Yarımadası'nda çok sayıda aktif fay yer almaktadır (Barka, 1992; Barka ve Kadinsky-Cade, 1988; Dewey ve Şengör, 1979; Emre vd. 2012; 2013; Şaroglu vd., 1992; Şengör vd., 2005). Bölgede yer alan bu faylar genellikle sağ yanal doğrultu atımlı faylarla temsil edilmekte olup güneye doğru açılan bir büklüm geometrisi sergilerler (Şekil 1B) (Emre vd., 2011, 2013). Bu büklümün doğu kanadını oluşturan Orhaneli Fayı, Emre vd. (2011*a*, 2012, 2013) tarafından sağ yanal doğrultu atımlı bir fay olarak bildirilmiştir. Bununla birlikte, bu çalışma sırasında fay düzlemleri üzerinde yapılan ölçümlerde, fay çiziklerinin genellikle yan yatım (rake) açılarının 70^{o} ile 80^{0} civarında olduğu, bu nedenle fayın çalışılan KB segmentinin, esas olarak "*ters fay*" karakterinde ve çok az oranda "*sağ yanal*" bileşene sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 11).

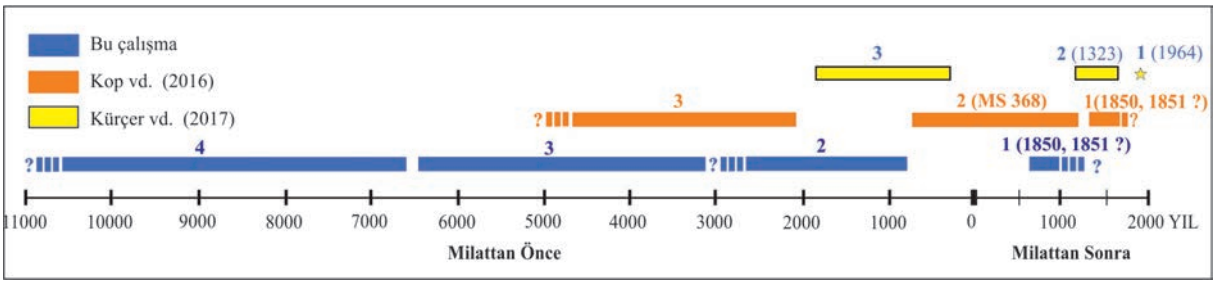
Açılmış olan hendeklerde izlenen fay düzlemlerinin genel doğrultuları K50^{o}B olup Orhaneli Fayı'nın Türkiye Diri Fay Haritası'ndaki doğrultusu ile uyumludur. Kop vd. (2016)'nin Mustafakemalpaşa Fayı üzerinde yaptıkları paleosismoloji çalışmasında da, fayın ters atım bileşenine sahip, sağ yanal doğrultu atımlı karakterinde olduğunu belirlenmiştir. Bu durum, Orhaneli Fayı'ndan kuzeybatıdaki Mustafakemalpaşa Fayı'na doğru ters bileşeninin azaldığını, sağ yanal doğrultu atım bileşeninin ise arttığını göstermektedir. Bununla birlikte, en kuzeybatıda, Manyas Bendi'nin apeksini temsil eden Manyas Fayı ise neredeyse "*saf normal fay*" özelliğindedir (Taymaz vd.,1991; Kürçer vd., 2017).



Şekil 11- (a) Kusumlar hendeğinden ve (b) Serçeler hendeğinden alınan fay düzlemine ilişin fotoğraflar. (c) Hendeklerden alınmış olan fay düzlem verilerinin eşit-alan alt-yarıkürede gösterilmesi (P: sıkışma ekseni; T:gerilme ekseni; I: orta eksen). Fay düzlemi çözümlerinde FaultKinWin V. 1.2.2 programı kullanılmıştır (Marret ve Allmendinger, 1990; Allmendinger vd., 2012).

Orhaneli Fayı üzerinde açılan Serçeler ve Kusumlar hendeklerinin duvarlarında izlenen stratigrafik ve yapısal unsurlar değerlendirildiğinde, Kuvaterner'de yüzey yırtılmasıyla sonuçlanmış dört deprem belirlenmiştir. Bunlardan en az iki tanesi Holosen'de gerçekleşmiştir. Özellikle Kusumlar Hendeği'nde, Holosen depremlerinden ilkinin MÖ 6600±1200 ile MÖ 3085-3065 yılları arasında (Şekil 12: mavi bar, 3 no'lu deprem), son depremin ise MS 660-770 yılından sonra (Şekil 12: mavi bar, 1 no'lu deprem) meydana geldikleri belirlenmiştir. Serçeler Hendeği'nde en eski depremin MÖ 22000 ± 3200 ile MÖ 6600 ± 800 arasında (Şekil 12: mavi bar, 4 no'lu deprem), son depremin ise MÖ 770-415'den önce (Şekil 12: mavi bar, 2 no'lu deprem) gerçekleştiği gözlenmiştir. Daha kuzeybatıda yer alan Mustafakemalpaşa Fayı'ndan elde edilen paleosismolojik sonuçlara göre, en eski deprem MÖ 2190 öncesinde (Şekil 12: turuncu bar, 3 no'lu deprem), bir sonraki depremin MÖ 815 ile MS 1310 arasında (Şekil 12: turuncu bar, 2 no'lu deprem) ve en son depremin ise MS 1425 sonrasında (Şekil 12: turuncu bar, 1 no'lu deprem) gerçekleştiği bildirilmektedir (Kop vd., 2016). Yazarlar, son olayı tarihsel 1850 ve 1851 depremleri (Şekil 12: turuncu bar, 1 no'lu deprem), bir önceki olayı ise MS 368 depremi ile (Şekil 12: turuncu bar, 1 no'lu deprem) ilişkilendirmişlerdir. Bu çalışmada belirlenen son deprem de 1850 veya 1851 tarihsel depremiyle ilişkilendirilebilir (Şekil 12: mavi bar, 1 no'lu deprem). Şayet bu olasılık doğru ise bu depremler, Orhaneli ve Mustafakemalpaşa faylarının birbirlerini tetiklemesi ile de meydana gelmiş olabilirler. Kürçer vd. (2017), Manyas Fayı'nın en son 1964 depreminin yanı sıra (Şekil 12: sarı bar, 1 no'lu deprem), bir önceki olayı MS 1323 depremi ile (Şekil 12: sarı bar, 2 no'lu deprem) ilişkilendirmişlerdir. Bütün bu veriler bir zaman cetveli üzerinde gösterildiğinde, Orhaneli Fayı'ndan kuzeybatıya doğru, sırasıyla Mustafakemalpaşa ve Manyas faylarındaki depremlerde bir gençleşme olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 12). Buradan, her ne kadar bazı depremlerin oluşum yaşları geniş bir zaman aralığı ile ifade edilse de, söz konusu depremlerin GD'dan (Orhaneli Fayı) KB'ya doğru (Manyas Fayı) göç etmiş olmalarının büyük bir olasılık olduğu anlaşılmaktadır.

Fayın, Orhaneli Çayı'nda meydana getirdiği yaklaşık 2.3 km'lik sağ yanal ötelenme ile (Şekil 2), aynı akarsuyun daha kuzeybatıda yer alan Mustafakemalpaşa Fayı tarafından da 2.5 km kadar sağ yanal ötelenmesi arasında benzerlik vardır (Emre vd., 2011*b*; Kop vd., 2016). Drenaj kuruluşu Geç Pliyosen



Şekil 12- Orhaneli (Bu çalışma), Mustafakemalpaşa (Kop vd., 2016) ve Manyas (Kürçer vd., 2017) faylarına ait paleosismolojik sonuçlar. Numaralar depremlerin oluş aralıklarını, parantez içindekiler ilgili oldukları tarihsel dönem depremlerini, sarı yıldız ise aletsel dönem depremini göstermektedir.

olarak bildirilen Orhaneli Çayı'ndaki bu atım verisine göre, Mustafakemalpaşa Fayı'nın jeolojik kayma hızı için Emre vd. (2011*b*) tarafından yaklaşık 1 mm/yıl; Kop vd. (2016) tarafından ise 0.7 mm/yıl önerilmiştir. Eldeki sınırlı verilere rağmen, Orhaneli Fayı'nın aynı akarsu yatağında neden olduğu atıma dayanarak, jeolojik kayma hızı için 0.9-1 mm/yıl önerilebilir. Diğer taraftan, Güney Marmara Bölgesi'nde son yıllarda gerçekleştirilmiş olan çalışmalara göre, bölgedeki büyük vadilerin deşilme yaşlarının 300.000 yıldan daha genç olduğu bildirilmektedir (Kazancı vd., 2014). Bu veriler göz önüne alındığında ise, jeolojik kayma hızı için 0.76 mm/yıllık bir büyüklük önerilebilir.

Bu çalışma ve öncesinde elde edilen veriler kullanılarak, bölgede oluşmuş paleodepremler arasında tekrarlanma aralığına ilişkin herhangi bir yorum yapılması olanaklı değildir. Diğer taraftan, Wells ve Coppersmith (1994) bağıntısı kullanılarak yapılan hesaplamalara göre, toplam uzunluğu 30 km olan ve iki geometrik segmentten oluşan Orhaneli Fayı'nın "*tek parça*" halinde kırılması durumunda, Mw: 6.87 büyüklüğünde bir deprem üretmesi olası gözükmektedir. Benzer şekilde, Kop vd. (2016), Mustafakemalpaşa Fayı için Mw: 6.47 ile 7.04 arasındaki bir büyüklükte deprem üretebileceğini belirtmişlerdir.

Sonuç olarak, Orhaneli Fayı'nın Holosen aktivitesi ilk kez bu çalışma ile ortaya konmuştur. Güney Marmara Bölgesi'nde hızla artan sanayileşme ve tarımsal faaliyetler, beraberinde hızlı bir nüfus artışına neden olmakta ve yeni yerleşim alanlarının açılmasını gerektirmektedir. Bu nedenle, bölgedeki aktif fayların özellikleri ile ilgili çalışmalar, toplumsal açıdan büyük önem kazanmaktadır. Bölgede günümüzde ve gelecekte projelendirilecek her türlü mühendislik yapısı ve yeni yerleşim alanlarının planlaması için gerekli olan deprem tehlike analizlerinde, bu çalışmada üretilen verilerin önemli katkı sağlayacağı beklenmektedir.

Katkı Belirtme

Bu çalışma, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı tarafından yürütülen "Türkiye Paleosismoloji Araştırmaları Projesi" kapsamında gerçekleştirilmiştir (Proje Özel Kod No: 2013-30-14-07). Bu makalenin geliştirilmesinde olumlu eleştiri ve katkıları için hakemler Prof. Dr. Volkan Karabacak, Prof. Dr. Hasan Sözbilir, Prof. Dr. Levent Gülen ve Dr. Hisao Kondo'ya teşekkür ederiz.

Değinilen Belgeler

Allmendinger, R. W., Cardozo, N., Fisher, D. 2012. Structural geology algorithms: Vectors and tensors in structural geology (302 p.). Cambridge: Cambridge University Press.

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), 1-18.

Ambraseys, N.N., Finkel, C.F. 1991. Long term seismicity of İstanbul and of the Marmara region. Terra Nova 3, 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., Jackson, J.A. 2000. Seismicity of the sea of Marmara (Turkey) since 1500. Geophysical Journal International 141, F1-F6.

Barka, A.A. 1992. The North Anatolian Fault. Annales Tectonicae, 6, 164–195.

Barka, A. A., Hancock, P. L. 1984. Neotectonic deformation patterns in the convex -northwards arc of the North Anatolian fault zone. In" The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean region", edited by J.E.Dixon and A.H.F.Robertson. Spec. Publ. Geol.Soc.London. 763-773.

Barka, A.A., Kadinsky-Cade, K. 1988. Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. Tectonics, 7, 663–684.

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., Çan, T., Emre, Ö., Kadirioğlu, F.T., Başтürk, N.B., Kılıç, T., Arslan, S., Özalp, S., Kartal, R.F., Kalafat, D., Karakaya, F., Azak, T.E., Özel, N.M., Ergintav, S., Akkar, S., Altınok, Y., Tekin, S., Cingöz, A., Kurt, A.İ. 2016. Seismotectonics database of Turkey. Bulletin of Eartquake Engineering, DOI 10.1007/s10518-016-9965-9

Emre. Ö., Doğan, A., Özalp, S., Yıldırım, C. 2011*a*. 1:250.000 Scale Active Fault Map of Turkey Bandırma (NK 35-11b) Quadrangle. Maden Tetkik ve Arama 1:250.000 Scale Active Fault Map Series of Turkey, Serial No: 3, 55p., Ankara, Turkey (Türkçe) ISBN: 978-605-4075-86-4.

Emre. Ö., Doğan, A., Özalp, S. 2011*b*. 1:250.000 Scale Active Fault Map of Turkey Balıkesir (NJ 35-3) Quadrangle. MTA 1:250.000 Scale Active Fault Map Series of Turkey, Serial No: 4, 35p., Ankara, Turkey (Türkçe).

Emre, Ö., Doğan, A., Yıldırım, C. 2012. Biga Yarımadasının diri fayları ve deprem potansiyeli. In: Yüzer, E. and Tunay, G (Eds.), Biga Yarımadası'nın Genel ve Ekonomik Jeolojisi, General Directorate of Mineral Research and Exploration, Special Publication Series-28, 163-198, Ankara-Turkey (Türkçe).

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

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, 169 p.

Ergin, K., Güçlü, U., Aksay, G. 1971. A Catalog of Earthquakes of Turkey and Surrounding Area (1965–1970). Technical Report, İstanbul Technical University, Faculty of Mines, Institute of Physics of the Earth, no. 28.

Harris, N.B.W., Kelley, S.P., Okay, A.I. 1994. Postcollision magmatism and tectonics in northwest Turkey. Contributions to Mineralogy and Petrology, 117, 241-252.

Kadirioğlu, F.T., Kartal , R.F, Kılıç, T., Kalafat, D., Duman, T.Y., Eroğlu Azak, T., Özalp, S., Emre, Ö. 2016. An Improved Earthquake Catalogue (M $\geq$ 4.0) for Turkey and Its Near Vicinity (1900-2012). Bulletin of Earthquake Engineering, (in press) doi: 10.1007/s10518-016-0064-8

Kaya, O., Kozur, H., Sadeddin, W., Helvacı, H. 2001. Late Norian conodont age for a metacarbonate unit in NW Anatolia, Turkey. Geobios, 34, 527-532.

Kazancı, N., Emre, Ö., Erturaç, K., Leroy, S., Öncel, S., İleri, Ö., Toprak, Ö. 2014. Güney Marmara Bölgesindeki Büyük Vadilerin Olası Deşilme Zamanı. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, Sayı: 148, s: 1-17, Ankara, Türkiye.

Konak, A. 2002. 1:500.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası İzmir Paftası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.

Kondorskaya, N.V., Ulomov, V.I. 1999. Special catalogue of earthquakes of the Northern Eurasia (SECNE). URL: http://socrates.wdcb.ru/scetac/ and http://www.seismo.ethz.ch/gshap/neurasia/nordasiacat.txt

Kop, A., Özalp, S., Elmacı, H., Kara, M., Duman, T.Y. 2016. Active Tectonic and Paleoseismological Features of the Western Section of Mustafakemalpaşa Fault; Bursa, NW Anatolia. Geodinamica Acta, 28, 4, 363-378.

Kürçer, A., Özaksoy, V., Özalp, S., Uygun-Güldoğan, Ç., Özdemir, E., Duman, T.Y. 2017. The Manyas Fault Zone (Southern Marmara Region, NW Turkey): Active Tectonics and Paleoseismology. Geodinamica Acta, 29, 1, 42-61.

Marrett, R. A., Allmendinger, R. W. 1990. Kinematic analysis of fault-slip data. Journal of Structural Geology, 12, 973–986.

McKenzie, D. 1972. Active tectonics of the Mediterranean region. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 30, 109-195.

Okay, I.A. 1985. Kuzeybatı Anadolu'da yer alan metamorfik kuşaklar. Ketin Simpozyumu Kitabında, Türkiye Jeoloji Kurumu Yayını, 83-92.

Okay, I.A. 2004. Tectonics and High Pressure Metamorphism in northwest Turkey. Field trip guide book - P01,

32nd International Geological Congress, APAT, Italy, 56 pp.

Okay, I.A. 2011. Tavşanlı Zonu: Anatolid-Torid Bloku'nun Dalma-Batmaya Uğramış Kuzey Ucu. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, Sayı: 142, Ankara.

Okay, A.I., Tüysüz. O. 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. In "The Mediterranean Basins: Tertiary extension within the Alpine orogen" (eds. B. Durand, L. Jolivet, F.Horváth ve M.Séranne), Geological Society of London, Special Publication 156.

Okay, A.I., Harris, N.B.W., Kelley, S.P. 1998. Exhumation of blueschists along a Tethyan suture in northwest Turkey. Tectonophysics, 285, 275-299.

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

Özalp, S., Kürçer, A., Özdemir, E., Duman, T.Y. 2016. The Bekten Fault: The paleoseismic behaviour and kinematic characteristics of an intervening segment of the North Anatolian Fault Zone, Southern Marmara Region, Turkey. Geodinamica Acta, 28, 4, 347-362.

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

Servais, M. 1982. Collision et suture téthysienne en Anatolie Centrale, étude structurale et métamorphique (HP-BT) de la zone nord Kütahya. Ph.D. Thesis, Universite de Paris-Sud, Centre d'Orsay, 374 s.

Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D., Altınok, Y. 1981. Historical Earthquake Catalogue of Turkey and Surrounding Area (2100 B.C.–1900 A.D.). Technical Report, TÜBİTAK, Project No. TBAG-341, 87 p., İstanbul.

Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., Uzel, B., Sümer, Ö., Eski, S., Tepe, Ç. 2016*a*. Palaeoseismology of the Havran-Balıkesir Fault Zone: evidence for past earthquakes in the strike-slip-dominated contractional deformation along the southern branches of the NorthAnatolian fault in northwest Turkey. Geodinamica Acta, 28, 4, 254–272.

Sözbilir, H., Sümer, Ö., Özkaymak, Ç., Uzel, B., Güler, T., Eski, S. 2016*b*. Kinematic analysis and palaeoseismology of the Edremit Fault Zone: evidence for past earthquakes in the southern branch of the North Anatolian Fault Zone, Biga Peninsula, NW Turkey. Geodinamica Acta, 28, 4, 273–294.

Şaroğlu, F., Emre, Ö., Kuşçu, İ. 1992. Active Fault Map of Turkey. 1:1,000,000 Scale, General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara-Turkey.

Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroglu, F. 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. In: Biddle, K.T. and Christie-Blick, N. (Eds.), Strike-Slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation, Spec. Publ. Soc. Econ. Paleontol. Mineral., 37, 227–264.

Şengör, A.M.C., Tüysüz, O., İmren, C., Sakınç, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Le Pichon, X., Rangin, C. 2005. The North Anatolian Fault: A new look. Annu. Rev. Earth Planet. Sci., 33, 37-112.

Tan, O., Tapırdamaz, M.C., Yörük, A. 2008. The earthquake catalogues for Turkey. Turk. J. Earth Sci., 17, 405-418.

Taymaz, T., Jackson, J.A., McKenzie, D. 1991. Active tectonics of the North and Central Aegean Sea. Geophysical Journal International, 106, 433-490.

Türkecan, A., Yurtsever, A. 2002. 1:500.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası İstanbul Paftası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.

Wells, D., Coppersmith, K. 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement. Bull. Seism. Soc. Am., 84, 974-1002.