



## ESKİŞEHİR TEKNİK ÜNİVERSİTESİ BİLİM VE TEKNOLOJİ DERGİSİ B- TEORİK BİLİMLER

Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology B- Theoretical Sciences

2018, Cilt:6 - syf. 1 - 17, DOI: 10.20290/aubtdb.498805

4.Ülusal Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı Özel Sayısı

### ÇANAKKALE-AYVACIK DEPREM FIRTINASININ (14 OCAK-20 MART 2017) SİSMİK KAYNAKLARI

Hasan SÖZBİLİR<sup>1,\*</sup>, Bora UZEL<sup>1</sup>, Ökmen SÜMER<sup>1</sup>, Semih ESKİ<sup>1</sup>, Mustafa SOFTA<sup>1</sup>,  
Çiğdem TEPE<sup>1</sup>, Çağlar ÖZKAYMAK<sup>2</sup>, Alper BABA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir

<sup>2</sup> Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon

<sup>3</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir

#### ÖZ

Bu çalışmada, 14 Ocak 2017 ile 20 Mart 2017 tarihleri arasında Çanakkale-Ayvacık çevresinde meydana gelen depremlerin ( $M_w=5.3$  ve daha küçük 1000'e yakın deprem) sismik kaynakları Şubat-Mart 2017 tarihleri arasında yapılan saha çalışmalarıyla 1/25.000 ölçeğinde haritalanmış ve ilgili faylarda kinematik analiz çalışmaları yapılmıştır. Haritalama çalışmalarımıza göre, oluşan depremlerin sismik kaynağı olan Tuzla Fayı'nın toplam uzunluğu (deniz altındaki uzantısıyla birlikte) 25 km'ye erişir ve Çamköy ile Paşaköy segmenti olarak adlandırılan iki segmentten yapıldır. 15 km uzunluğundaki Çamköy segmenti, Tuzla Köyü'nün kuzeybatısındaki sahilden itibaren güneydoğuya doğru Tamiş köyü güneybatısına kadar haritalanmıştır. 10 km uzunluğundaki Paşaköy segmenti ise, Kolfay Köyü'nden başlar ve güneydoğuya doğru Behram Köyü doğusunda Edremit Fayı ile birleşir. Şimdiye kadar oluşan depremlerin önemli bir bölümü KB-GD uzanımlı Tuzla Fayı'nın deformasyon zonu boyunca ve fayın düşen bloğu üzerindeki Tuzla Köyü ile Assos arasındaki bölgede meydana gelmiştir ve Tuzla Fayına ait Çamköy segmentinin kırıldığını göstermektedir. Henüz kırılmayan Paşaköy segmenti ise  $M_w=6.18$  büyüklüğündeki bir deprem üretme potansiyeline sahiptir. Tarafımızdan yapılan haritalama çalışmalarına göre, iki segmente ait fay kolları Tamiş Köyü güneyinde birbirine oldukça yaklaşmış bulunmaktadır. Tuzla Fayına ait iki segmentin birleşerek tek bir deprem üretmesi halinde,  $M_w=6.7$  büyüklüğündeki bir depreme karşılık gelen enerjinin açığa çıkabileceği öngörülebilmektedir. Depremlerin zaman ve mekân içerisindeki dağılımları ve büyüklükleri, tek bir ana şoka bağlı olarak gelişmediklerini, birbirine paralel-yarı paralel fay kollarının birbirini tetiklemesi sonucunda oluşan bir deprem fırtınası özelliği taşıdıklarına işaret etmektedir. Bu durum, Çamköy segmentinin birbirine bağlı sentetik ve antitetik nitelikli çok sayıda fay parçası içermesinden kaynaklanmaktadır. Bu fay kollarına ait kinematik veriler, Tuzla Havzası'nın KD-GB doğrultusunda gelişen çekme kuvvetleri etkisinde şekillendiğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Aktif fay, Deprem fırtınası, Sismik kaynak, Jeolojik haritalama, Kinematik analiz

### SEISMIC SOURCES OF (14TH JANUARY-20TH MARCH 2017) ÇANAKKALE- AYVACIK EARTHQUAKE SWARM

#### ABSTRACT

In this study, the seismic sources of the Çanakkale-Ayvacık earthquake swarm (about 1000 seismic shocks  $<M_w=5.4$ ) occurred between 14th January and 20th March 2017 have been mapped in a scale of 1/25000 and kinematic analysis studies have been carried out on the related faults with the field studies between February and March 2017. According to our geological mapping studies, Tuzla Fault, is a seismic source of the earthquakes, has about 25 km total length (with the undersea part at NW) and composes of two fault segments, namely Çamköy and Paşaköy. The ~15 km length Çamköy segment is geologically mapped from northwest of Tuzla Village to southeast of Tamiş Village. Besides, the ~10 km length Paşaköy segment starts from Kolfay Village and merges with the Edremit Fault at the east of Behram Village to its southeast. A significant part of the earthquakes has occurred along the deformation zone of the NW-SE oriented Tuzla Fault and its hanging-wall between the Tuzla Village and Assos, and this is indicated that only the Çamköy segment is seismically broken for now. Nevertheless, the unbroken Paşaköy segment has also the potential to produce an earthquake with a magnitude of  $M_w=6.18$ . Our geological mapping studies show that the fault branches of the two segments are very close to each other in the south of Tamiş Village. It can be suggested that if the segments of the Tuzla Fault are combined with each other to produce a single earthquake, the energy of an  $M_w=6.7$  earthquake can be produced. Distribution and magnitude of the earthquakes in time and space indicate that these earthquakes does not related with a single main shock, but they have an

\*Sorumlu Yazar: [hasan.sozbilir@deu.edu.tr](mailto:hasan.sozbilir@deu.edu.tr)

Geliş: 29.03.2018 Kabul: 29.06.2018

earthquake swarm form due to the parallel-half parallel fault branches triggering each other. This is due to the fact that the Çamköy segment comprises many of linked synthetic and antithetic faults. Kinematic data collected from these faults shows that the Tuzla Basin is formed in NE-SW directed extension.

**Keywords:** Active fault, Earthquake swarm, Seismic recourses, Geological mapping, Kinematic analysis

## 1. GİRİŞ

D-B doğrultulu KAF hattının güney segmentinde yer alan Çanakkale, Arap levhasının kuzeye hareketine karşılık gelen ve Alp Himalaya dağ kuşağının üzerinde yer alan sismik açıdan oldukça aktif bölgelerin başında gelmektedir. Arap Levhasının kuzey yönlü hareketi sonucu oluşan orojenik tektonik rejim deformasyonu halen güncel GPS verileriyle Anadolu levhasının Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ve Doğu Anadolu Fayı (DAF) etkisinde saatin tersi yönünde hareket ederek batıya hareketini göstermektedir. Kuzeye hareket eden Arap levhasının oransal hızları batıya doğru artarak devam etmektedir [1-5].

Çanakkale ve yakın çevresinin içinde yer aldığı Güney Marmara bölgeleri, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun neden olduğu doğrultu atım baskın deformasyon ile Ege bölgesindeki K-G yönlü genişleme rejiminin etkili olduğu bir zonda yer alır. Güney Marmara bölgesinde yapılan jeolojik çalışmalarda, bölgenin baskın olarak KD-GB ve D-B uzanımlı fayların kontrolünde deformasyona uğradığını göstermektedir [6-11]. Aynı zamanda inceleme alanında gerçekleştirilen fay kinematiği ve yapısal analiz çalışmaları, odak mekanizması çözümleriyle birlikte jeofiziksel çalışmalar, bölgenin günümüzde transtansiyonel bir gerilme rejimi etkisi altında geliştiğini ortaya koymaktadır [1, 12-14].

Bu çalışma kapsamında, KAF hattının güney bölümünün Güney Marmara'da meydana gelen deprem fırtınalarının sismik kaynakları Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi, AFAD-Deprem Dairesi Başkanlığı, [15-16] ve MTA Jeoloji Etütleri Dairesi'ne ait deprem raporları birlikte değerlendirilerek yorumlanmış ve bu depremlere kaynaklık eden ve yüzey deformasyonu oluşturan Tuzla Fayı Insar görüntüleriyle birlikte analiz edilerek yapısal anlamda ilk kez tanımlanmıştır. Aynı zamanda bu çalışma gelecekte Güney Marmara da yapılacak sismik tehlike ve risk analizi çalışmalarına da ışık tutacaktır.

## 2. YÖNTEM

Ocak-Şubat 2017 tarihleri arasında Çanakkale-Ayvacık çevresinde meydana gelen deprem aktivitesi hakkında jeolojik veri toplamak üzere, 15-17, 25-26 Şubat 2017 ve 3-5 Mart 2017 tarihleri arasında deprem bölgesinde arazi gözlemleri gerçekleştirilmiştir. Gözlemler sırasında bölgenin 1/25000 ölçekli detay haritası oluşturularak bölgede yüzey deformasyonu oluşturan Tuzla Fayını oluşturan segmentler ve potansiyel faylar haritalanmıştır. Elde edilen verileri değerlendirmek üzere büro çalışmalarında, 30 metre çözünürlüklü SRTM verileri ArcGIS proramında işlenerek Tuzla ve doğusunun detaylı 3 boyutlu haritası oluşturulmuştur. Elde edilen bu harita üzerine arazide faylar üzerinde toplanan kinematik veriler FaultKin Win programında işlenerek fayların steografik görüntüleri elde edilmiştir. Yüzey deformasyonuna ait Insar verileri SNAP programı, deprem odak mekanizmalarının derinliğe göre değerlendirilmesinde ise Voxler programı kullanılmıştır.

## 3. BÖLGENİN SİSMOTEKTONİĞİ

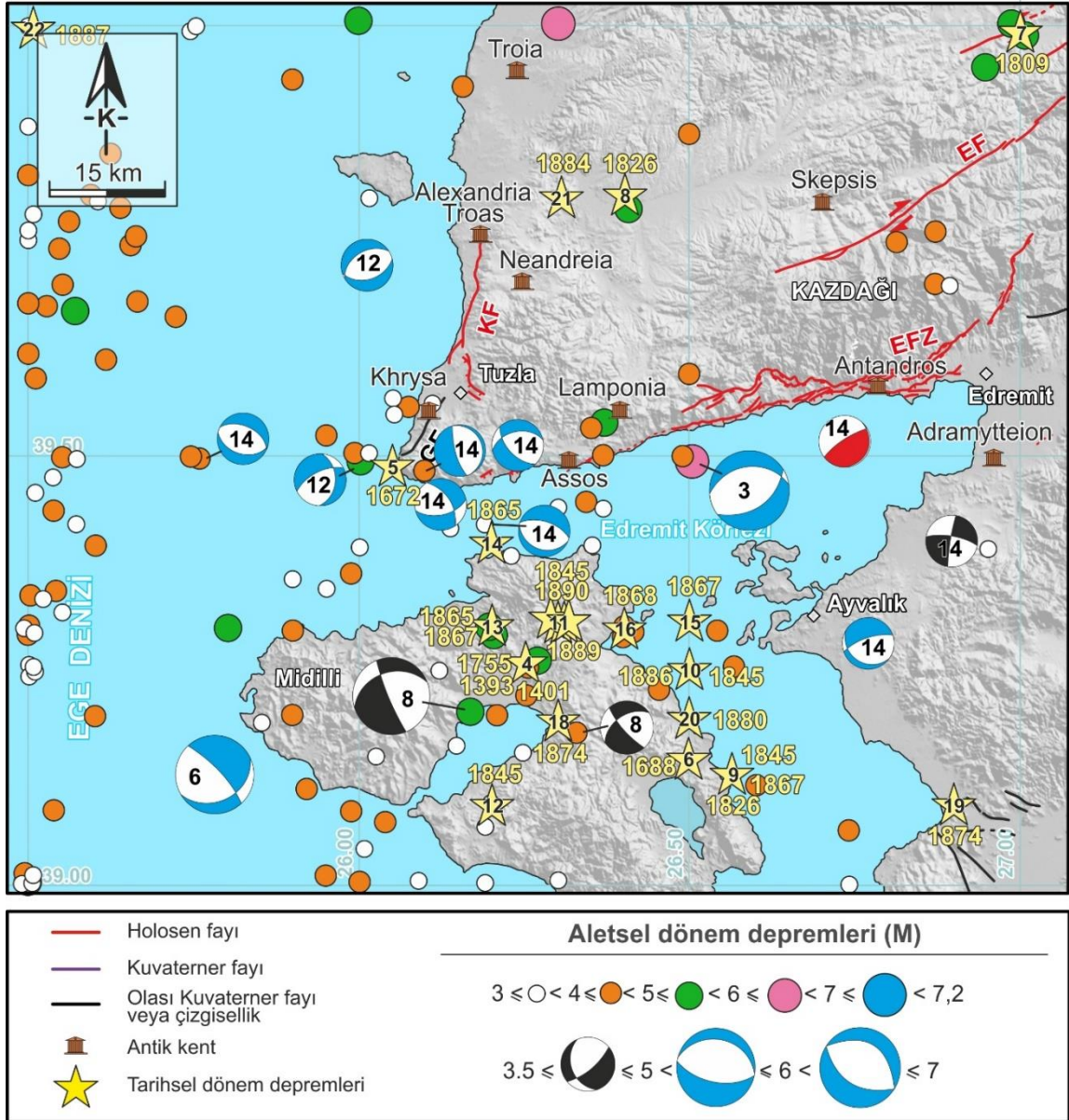
İlgili sismolojik kayıtlar incelendiğinde, Marmara bölgesinde 1900-2016 yılları arası  $4 \leq M$  büyüklüğüne sahip 500'ün üzerinde deprem meydana geldiği görülür. İstatistiksel olarak son yüzyılda 15 büyük deprem meydana getirmiş olan KAF'ın dünyanın en aktif faylarından biri olduğu bilinmektedir. Bu depremlerin sonucunda karadaki toplam yüzey yırtılmasının ~1000 km'ye ulaştığı belirtilmektedir [17-18]. Bu 15 depremden  $7 \leq M$  büyüklüğüne sahip, 1999 Düzce ve 2014 Gökçeada

depremleri de dahil 6'sı Marmara bölgesinde uzanan fay segmentlerinde meydana gelmiştir. Bu depremlere ait veriler Marmara Bölgesi'nin genel anlamda doğrultu atımlı faylanma ile ilişkili bir deformasyon etkisinde şekillendiğini gösterir. Bunun yanında, özellikle KAF'ın kuzey kolu boyunca ve Marmara Bölgesi'nin güneyinde normal faylanma ile ilişkili depremlerin varlığı ve az da olsa güney kol üzerinde ters bileşenli depremlerin gelişmiş olduğu dikkat çekicidir.

2000 yıllık deprem kayıtları değerlendirildiğinde KAF üzerindeki farklı segmentlere ait deprem tekrarlamaya periyotlarının benzer olduğu dikkat çekicidir [19-23]. Orta koldaki deprem dağılımları ise, en son depremlerin 1509 ve 1766 yılında gerçekleştiğini, 200–250 yıllık dönüş periyotları olduğu düşünüldüğünde, bu alanın bir sismik boşluk olarak değerlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir [20]. [24]'nin bu boşluğun doğu ucundaki mikro depremleri değerlendirdiği çalışmada, 30 km uzunluğunda ve 10 km derinliğindeki bir asismik zonun varlığı tanımlanmaktadır. Ayrıca aynı alanda [25] 20 yıllık GPS verilerini değerlendirmiş ve diğer kolların hızlarına göre buradaki hızların çok daha yavaş geliştiğini belirlemiştir. KAF'ın kuzey kolundaki paleosismolojik çalışmalar ise, yüzey yırtılmasıyla sonuçlanan depremlerin tekrarlanma periyotlarının 150–300 yıl arasında olduğunu göstermektedir [26-34]. Güney kolda ise, az sayıda paleosismolojik çalışma bulunmasına karşın, [17] büyük depremlerin tekrarlanma periyotlarının düzensiz olduğunu, fakat kuzey kolda gelişmiş depremlerin büyüklüklerine yakın depremlerin güney kolda da gerçekleşmiş olması gerektiğini bildirmektedir. [35] ise, Yenice Gönen Fayı'ndaki geri dönüş periyotlarının  $660 \pm 160$  yıl aralığında kaldığını, yüzey yırtılması gerçekleştiren 1953 depreminden önceki bir depremin ise, MS 1440 ile ilişkili olduğunu savunmaktadır. [36] ise, Yenice Gönen Fayı üzerinde gerçekleştirdiği paleosismolojik çalışmalarda, tekrarlanma periyodunun 253–925 yıl arasında olduğunu bildirmektedir. Bölgede yapılan en son paleosismolojik çalışmalardan olan [15, 37-38] Biga Yarımadası'nın güneyinde yer alan Edremit Fay Zonu (EFZ) ile Havran Balıkesir Fay Zonu boyunca 1000–2000 yıllık tekrarlanma periyotları belirlemiştir. Çalışmacılar ayrıca Havran Balıkesir Fay Zonu'nun doğu ucunu oluşturan Balıkesir Fayı'nın önemli bir sismik boşluk niteliği taşıdığını vurgular. Kuzey Anadolu Fayı'nın etki alanı içerisindeki Marmara Bölgesi'nde kuzey kolun en aktif olduğu, deprem tekrarlamaya periyotlarının 150–300 yıl gibi kısa aralıklarla gerçekleştiği, orta kolun şu anda deprensellik açısından bir sismik boşluk niteliğinde olduğu, güney kolun ise, sismik tehlike bakımından kuzey kol kadar önemli bir yapı olmasına karşın, deprem tekrarlamaya periyotlarının kuzey kola göre daha uzun bir aralığa sahip olduğu görülmektedir.

### 3.1. Tarihsel Dönem Depremleri

Ayvacak ve çevresindeki tarihsel deprem kayıtlarına bakıldığında, özellikle [21]'de, MS 1 ile MS 1899 arasında bölgede 500'ün üstünde sarsıntı gerçekleştiği fakat bu depremlerin 38'inin  $7.0 \leq M$  olduğu ve bölgeyi etkilediği belirtilmektedir. Bunun dışında, [20-21, 39-40] gibi çalışmalardan derlenen büyüklüğü  $6.8 \leq M$  olan 59 tarihsel deprem kayıt altına alınmış ve bu depremlerin yaklaşık dış merkezleri yine Şekil 1 üzerine aktarılmıştır. Bu tarihsel depremlerden özellikle 3 tanesi dikkat çekicidir. Bunlar kronolojik sırayla; 14 Şubat 1672, 11 Ekim 1845 depremi ve 7 Mart 1867 depremleridir (Şekil 1). [20] 1672 depreminin dış merkezinin yarımadaının en güneybatı ucunda olması gerektiğini belirtir. Bu depreme ilgili en ayrıntılı bilgi [41]'de verilmektedir. 11 Ekim 1845 depreminin şiddetini [39] ( $I_0 = X$ ), çalışmaya göre deprem Edremit Körfezi'nde gerçekleşmiş ve yaklaşık 320 km bir çapta bir alanı etkilemiştir (Şekil 1). Aynı deprem için [42], Midilli adasının etkilendiğini ve adada hasar yarattığından bahsetmektedir.



Şekil 1. Tuzla ve çevresinin sismotektonik haritası. Neotektonik döneme ait yapısal veriler Maden Tetkik Arama Müdürlüğü, Türkiye Diri Fay Haritaları Serisi [43-44]’den birleştirilmiştir. Bölgeyi etkileyen aleysel dönem depremler [45-47]’den; tarihsel dönem depremler ise [20, 39-41, 48-52]; derlenmiştir. KF, Kestanebol Fayı; GF, Gulpınar Fayı; EFZ, Edremit Fay Zonu; EF, Evciler Fayı.

### 3.2. Aleysel Dönem Depremleri

Biga Yarımadası ve yakın çevresinde meydana gelen aleysel ve tarihsel depremlere dair rapor, derleme ve kataloglardan elde edilen verilere göre, aleysel dönemde gerçekleşmiş büyüklüğü 3.5 ve üstü birçok deprem meydana gelmiş, bunlardan 14 tanesinin ise odak mekanizma çözümlerine ulaşılmıştır (Şekil 1). 11.05.2005 tarihli 3.5 büyüklüğüne sahip Edremit Körfezi içinde gerçekleşmiş deprem haricinde neredeyse diğer bütün depremlerin çözümleri normal faylanma mekanizmalarıyla temsil edilir (Şekil 1). Bu mekanizma çözümleri genelde EFZ’nin kinematik özelliklerine de uyumluluk göstermektedir. 2005 tarihli depreme ait çözüm [53] tarafından ters faylanma mekanizması ile gösterilmektedir. Fakat bu depremin odak mekanizma çözümü, bölgenin genel deformasyon desenine aykırılık gösterir. Çalışma alanı içerisinde EFZ ile ilişkilendirilen en büyük deprem 6 Ekim 1944 depremidir. Saat

07:28’ de Edremit Körfezi kuzeyinde meydana gelen bu deprem, Doyran yolu üzerinden başlayıp Küçükkuşu’dan Altınoluk’a doğru uzayan yüzey kırığı meydana getirmiştir [10]. [52] depremin büyüklüğünün 6.8 ve sismojenik zonun kalınlığı ve deprem büyüklüğü ilişkisi ile yüzey kırığının 37 km olması gerektiğini hesaplamışlardır. Bu depremle ilgili en ayrıntılı çalışmalar [53-54]’ dir. Çalışmalarda o tarihteki gazete ve mecmualardaki tüm bilgiler, görgü tanığı ifadeleri birleştirilerek, 1944 depreminin körfezin içinde gerçekleştiği ve tsunami yarattığı vurgulanmaktadır. Ayrıca çalışmacılar o dönemde tutulan kayıtlardan ve birçok kaynaktan topladıkları verileri birleştirerek 2200 taş evin yıkıldığını, 3100 evin ağır hasar gördüğünü, 275 yaralı olduğunu ve 73 kişinin hayatını kaybettiğini bildirirler. Bunun yanı sıra, 18 Mart 1953 Yenice-Gönen depremi de güney kolda gerçekleşmiş olan en son ve en önemli deprem olarak kayıtlara geçmiştir. Bölgede aletsel dönemde meydana gelmiş olan en son sismik aktivite, 2017 Ocak ayında başlayan ve bugün halen devam eden Ayvacık Deprem Fırtınasıdır. Bu konu ile ilgili detaylı bilgiler aşağıda verilecektir.

### 3.3. Çanakkale-Ayvacık Deprem Fırtınası

Kandilli Rasathanesi ve AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı verilerine göre, Çanakkale-Ayvacık depremleri Tuzla Köyü’nün içinde bulunduğu bölgede, 14 Ocak-16 Şubat 2017 tarihleri arasında büyüklüğü  $M_w=5.3$  ve daha küçük olan 1000’e yakın deprem meydana gelmiştir (Şekil 1). Depremlerin önemli bir bölümü Tuzla Fayı’nın deformasyon zonu boyunca ve fayın düşen bloğu üzerindeki Tuzla ile Assos arasındaki bölgede meydana gelmiştir. Meydana gelen depremlerden 20 tanesinin büyüklüğü 4 ve üzerindedir. Bu depremlerin odak mekanizma sonuçları baskın olarak KB-GD uzanımlı eğim atımlı normal faylanmaya işaret etmektedir (Şekil 2). EMSC verilerine göre, 14 Ocak 2017 günü 22:38:59 UTC saatinde meydana gelen  $M_w=4.4$  büyüklüğünde meydana gelen ilk deprem öncesinde aynı gün 12:47:21 ile 20:22:15 UTC saatleri arasında büyüklükleri 2.0 ile 3.2 arasında değişen 14 adet deprem kaydedilmiştir. AFAD Deprem Dairesi verilerine göre, ikinci deprem 15.01.2017 günü, saat 04.03’de Çanakkale-Ayvacık merkezli olarak meydana gelmiştir. Depremden hemen sonra büyüklükleri 1.1 ile 4.3 arasında değişen 66 adet artçı deprem meydana gelmiştir. Bu depremin merkez üssüne en yakın yerleşim yeri Ayvacık ilçesinin Taşağıl Köyü’dür ve şiddeti 6 olarak vermiştir [55]. 30 Ocak 2017 tarihinde Biga Yarımadası’nda Ayvacık yakın güneybatısında büyüklüğü 4 olan bir deprem daha kaydedilmiştir. 06.02.2017 tarihinde, saat 03:51:40’da (UTC), Biga Yarımadası’nın batı ucuna yakın kesimde meydana gelen ve büyüklüğü 5.3 ( $M_w$ ) olan depremin odak mekanizması çözümü ise benzer şekilde normal faylanmayı göstermektedir (Şekil 2).

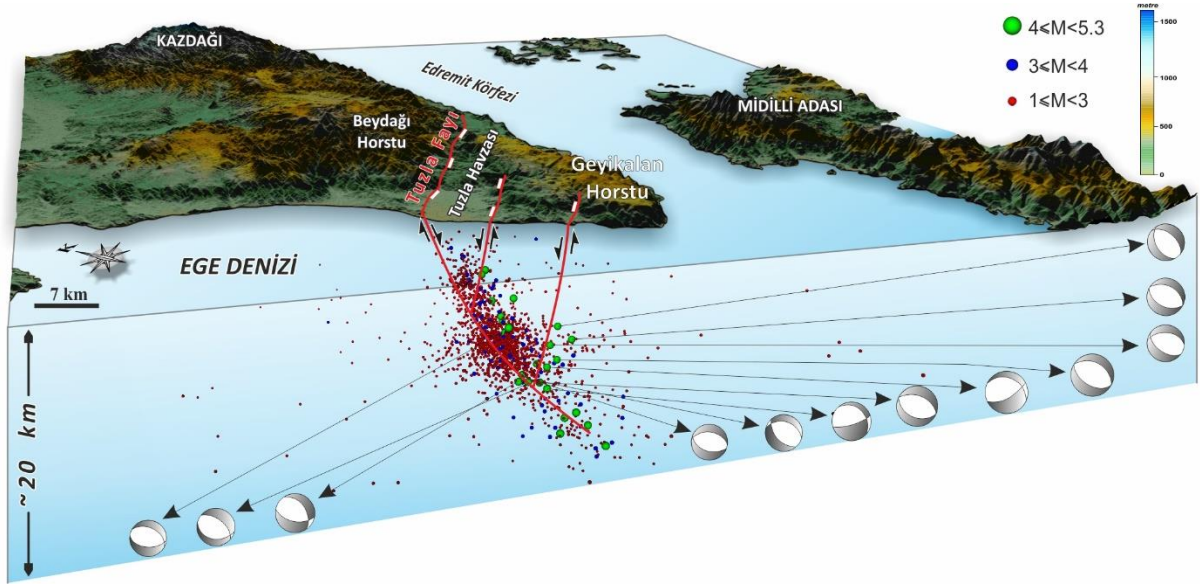




**Şekil 2.** Çanakkale-Ayvacık depremlerinin odak mekanizma çözümleri, ilişkili depremler ve hesaplanan GPS vektörlerinin bölgedeki dağılımı. Odak mekanizma çözümleri [47, 56-59]'dan alınmıştır. GPS vektörleri [60], yüzeydeki faylar [43]'den, deniz altı fayları ise [14]'den alınmıştır; Tuzla Fayı ile deprem faylanma modeli bu çalışma kapsamında çizilmiştir.

12.02.2017 günü, saat 13.48'de (UTC) Çanakkale-Ayvacık merkezli önemli bir deprem daha meydana gelmiştir. Bu depremin merkez üssüne en yakın yerleşim yeri Çanakkale ilinin Ayvacık ilçesine bağlı Yukarıköy'dür ve depremin büyüklüğü Mw=5.3, şiddeti ise 7 (çok güçlü hissedilir) olarak hesaplanmıştır [55]. Deprem başta Çanakkale İl merkezi ve ilçeleri ile başta İzmir olmak üzere çevre yakın illerde hissedilmiş olup, Ayvacık, Yukarıköy, Babakale, Bademli, Çamköy, Taşağıl ve Tuzla köylerinde bazı kerpiç ve yığma binalarda hasarlar olduğu, fakat herhangi bir can kaybı ve yaralı olmadığı bildirilmiştir.

Ayvacık civarında, 14 Ocak 2017 ile 22 Şubat 2017 tarihleri arasında toplamda, büyüklüğü 1< olan 1800'ün üzerinde deprem meydana gelmiştir [55]. Bu depremlerin 1739 adeti 1<M<3 arasında, 112 adeti 3≤M<4 arasında ve 14 adeti 4≤M<4.6 arasında büyüklüğe sahiptir. Meydana gelen 1800'ün üzerindeki depremin odak merkezleri 3 boyutlu olarak modellendiğinde depremlerin büyük bir kısmının özellikle de odak mekanizma çözümü üretilen depremlerin Tuzla Fayı'nın tavan bloğunda kaldığı görülmektedir. Ayrıca, ilk yaklaşımda depremlerin yoğunluk ve dağılım geometrileri değerlendirildiğinde, fay zonunun listrik bir özellik gösterdiği yorumlanabilir (Şekil 3).

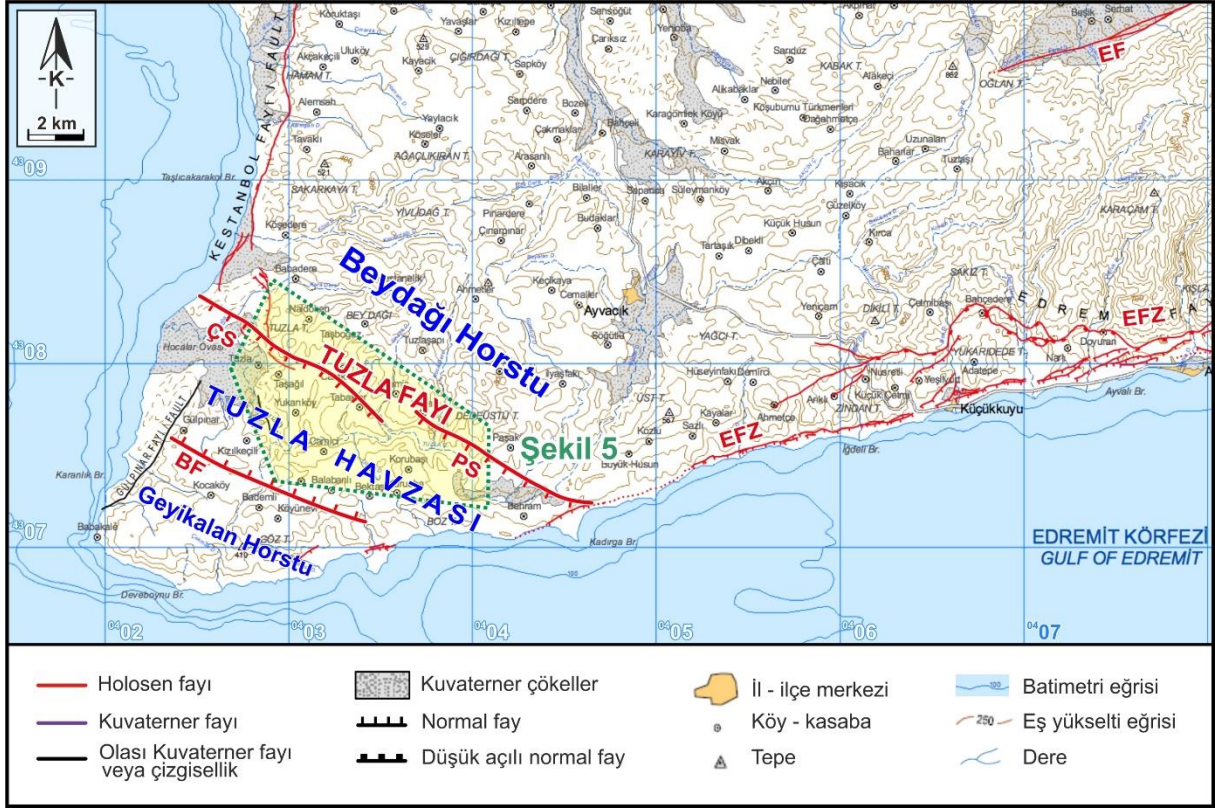


**Şekil 3.** Çanakkale-Ayvacık depremlerinin odak derinliklerinin hipotetik dağılımı ile Tuzla Fayı'nın derine doğru geometrisi arasındaki ilişkiyi gösteren 3 boyutlu hipotetik model. Kırmızı odak merkezleri  $1 < M < 3$ , mavi  $3 < M < 4$ , yeşil  $4 < M < 4.6$  arasındaki depremleri göstermektedir. Görüntü, model üzerinden fay düzlem geometrisinin gösterilmesi açısından en uygun açıda dışarı aktarılacak elde edilmiştir. Odak mekanizma çözümlerinin detayları için Şekil 2'ye bakınız.

#### 4. ÇANAKKALE-AYVACIK DEPREMLERİNİN SİSMİK KAYNAĞI: TUZLA FAYI

Tuzla Fayı ilk olarak [61-62] tarafından haritalanarak isimlendirilmiştir. Çalışmacılara göre fay bölgedeki Erken Miyosen magmatik aktivitesinden daha sonra oluşmuş olmalıdır. Fayla ilişkili herhangi bir kinematik veri sunulmayan çalışmada, morfolojik olarak, fayın kuzey bloğunun güney bloğuna göre bağlı olarak yükseldiği vurgulanır. Günümüzde fayın her iki bloğu arasında gözlenen morfolojik kontrastın önemli bir bölümü fayın aktivitesi ile ilişkili iken, diğer bir bölümünün de, fay bloklarında yüzlek veren farklı yaşlardaki magmatik kayaların dayanım farklılığına bağlı olduğu belirtilir. MTA tarafından yayınlanan diri fay haritalarında Tuzla Fayı ismen yer almaz [43]. Ancak [53] tarafından yayınlanan rapordaki bu diri fay haritalarını açıklayan bölümde Kestanbol Fayı'nın güneydoğu bölümünü oluşturan Güney segmentine ait bazı fay parçaları Tuzla Fayı'na karşılık gelir. 2017 Ayvacık Depremleri'nin hemen sonrasında MTA tarafından yapılan saha gözlemleri bir rapor halinde sunulmuş ve Tuzla civarındaki deprem aktivitesine kaynak oluşturabilecek fay parçaları, [61]'in yaptığı isimlendirmeye paralel bir şekilde, Tuzla Fayı olarak tanımlanmıştır [64]. Çalışmada Tuzla yöresinde genç fay sarplıkları bulunduğu, bunun da fayın Holosen'de yüzey yırtılması geliştiğini gösterdiği bildirilmiştir. Çalışmacılar tarafından bu bölgede yapılan yapısal gözlemler Tuzla Fayı'nda normal bileşenin baskın olduğunu belirtir. Çalışmada verilen Tuzla Fayı'nın tektonik haritası, [43] tarafından yapılan haritanın yeni saha gözlemleri ile revizyonu niteliğindedir. Haritada Kestanbol Fayı'nın Güney segmenti Tuzla Fayı olarak haritalanmış, daha önce çizilen yapısal hatlara sadık kalınarak, doğuya doğru bazı irili ufaklı fay parçaları eklenmiştir. Çalışma ayrıca Tuzla Fayını, Tuzla alanındaki jeotermal akışkanın önemli bir bölümünü yüzeye taşıyan aktif bir tektonik yapı olarak tanımlamaktadır.





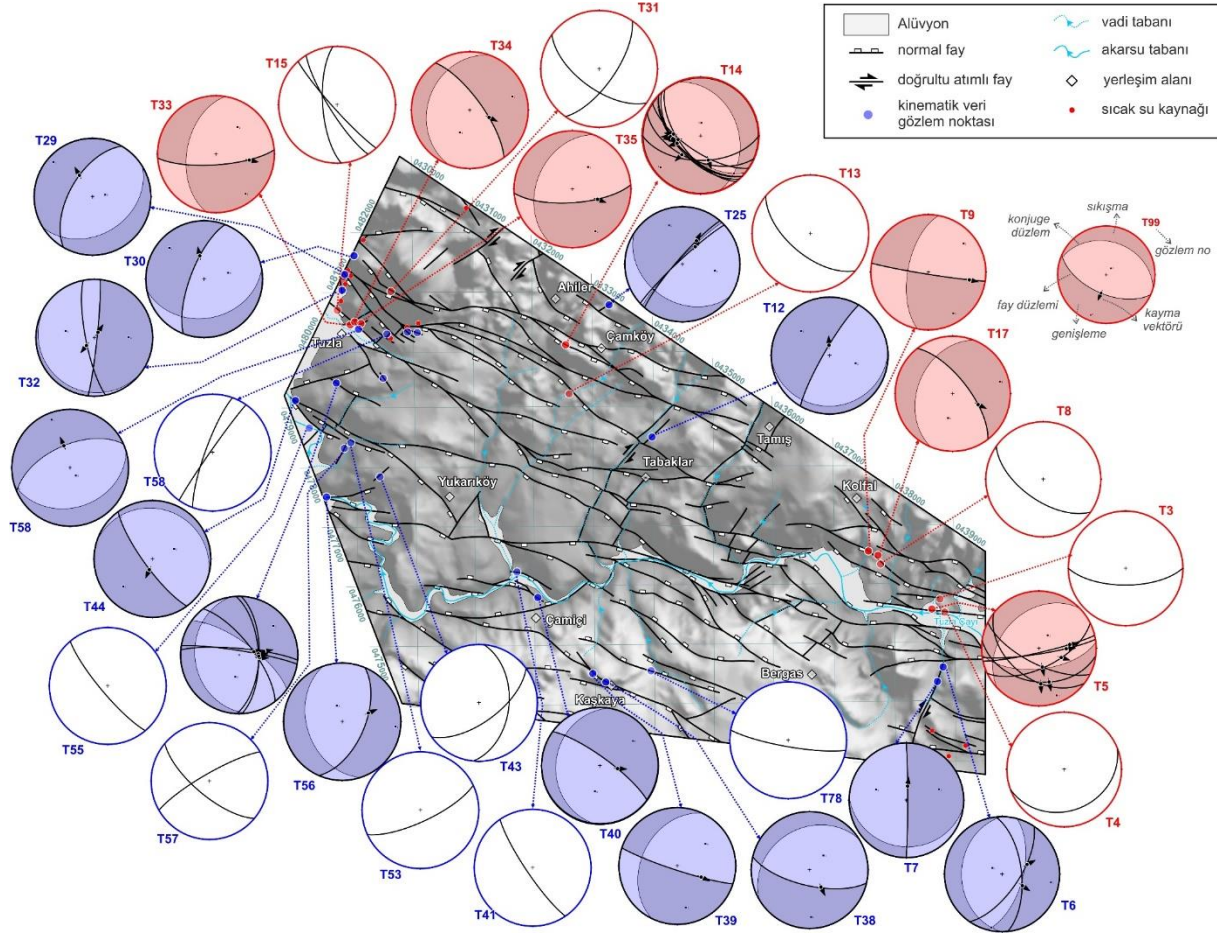
**Şekil 4.** Ayvacık civarının 1/250.000 ölçekli diri fay haritası [43] üzerinde Tuzla Fayı (Çamköy ve Paşaköy Segmenti), Balabanlı Fayı, Beydağı Horstü ve Geyikalan Horstü ile Tuzla Havzası'nın konumları [65]. Bu çalışma kapsamında detaylı olarak incelenen alan yeşil kesikli çizgi ile verilmiştir. ÇS, Çamköy Segmenti; PS, Paşaköy Segmenti; BF, Balabanlı Fayı; EFZ, Edremit Fay Zonu; EF, Evciler Fayı.

Tarafımızdan yapılan arazi çalışmalarına göre yaklaşık olarak KB-GD uzanımlı ve 65-80° GB'ye eğimli sağ yanal doğrultu atım bileşenine sahip normal fay karakterindeki olan Tuzla Fayı, Tuzla Köyü ve doğusundaki alanda net yüzlemler verir (Şekil 5). Fayın toplam uzunluğu karada yaklaşık olarak 22 km civarındadır. Fayın Ege Denizi'nde yapılan sismik çalışmalara göre deniz altında yaklaşık 3 kadar devam ettiği görülür. Bu çalışma kapsamında detaylı olarak incelenen ve haritalanan alanda Tuzla Fayı'nın ana yer değiştirme zonu boyunca bir çok fay parçası gözlenmiş ve haritalanmıştır (Şekil 5).

Yapılan çalışmalara göre KB uzanımlı Tuzla Fayı birbirine paralel iki segmentten oluşur. Bu segmentler batıdan doğuya doğru Çamköy ve Paşaköy olarak isimlendirilmiştir (Şekil 4, 5 ve 6). İlk kez bu çalışma kapsamında haritalanıp kinematik olarak tanımlanan bu segmentlerden Çamköy Segmenti, Tuzla'nın kuzeydoğusunda Ege Denizi kıyı çizgisinden itibaren yüzlemler verir, Tuzla'nın kuzeyindeki yükseltiyi güneyden sınırlayarak ve doğuda Tamiş civarında son bulur (Şekil 4). Güneyde Tuzla Çayı ve Yukarıköy ile kuzeyde Çamköy arasında birbirleriyle bağlantılı olan 5-8 adet GB'ye eğimli fay basamağından oluşan bu segmentin deformasyon zonu yaklaşık 5 km genişliğindedir (Şekil 5). Her bir basamak 500 m ile 10 km arasında değişen uzunluklarda faylarla sınırlıdır ve segmentin karadaki toplam uzunluğu yaklaşık 12 km'yi bulmaktadır. Arazi çalışmalarında saptanan en net fay düzlemleri Çamköy civarında bulunur (Şekil 6 a, b). Bu alanda segmente ait fay düzlemleri Ezine volkanitini keser ve deforme eder (Şekil 4). DB ile K46B arasında doğrultu değerlerine sahip olan bu düzlemler, yaklaşık 60°GB'ye eğimlidir. Saptanan fay çizikleri 58-80° arasında rake açıları yapar (Şekil 6c). Harita ifadesinde örgülü bir geometriye sahip olan fay zonu Tuzla'nın kuzey ve kuzeydoğusunda Hallaçlar volkaniti, Ezine volkaniti, Babadere dasiti ve Gülpınar Formasyonu'na tortul ait kayaçları keser. Bu bölgedeki en net fay düzlemleri Tuzla jeotermal alanı civarındaki



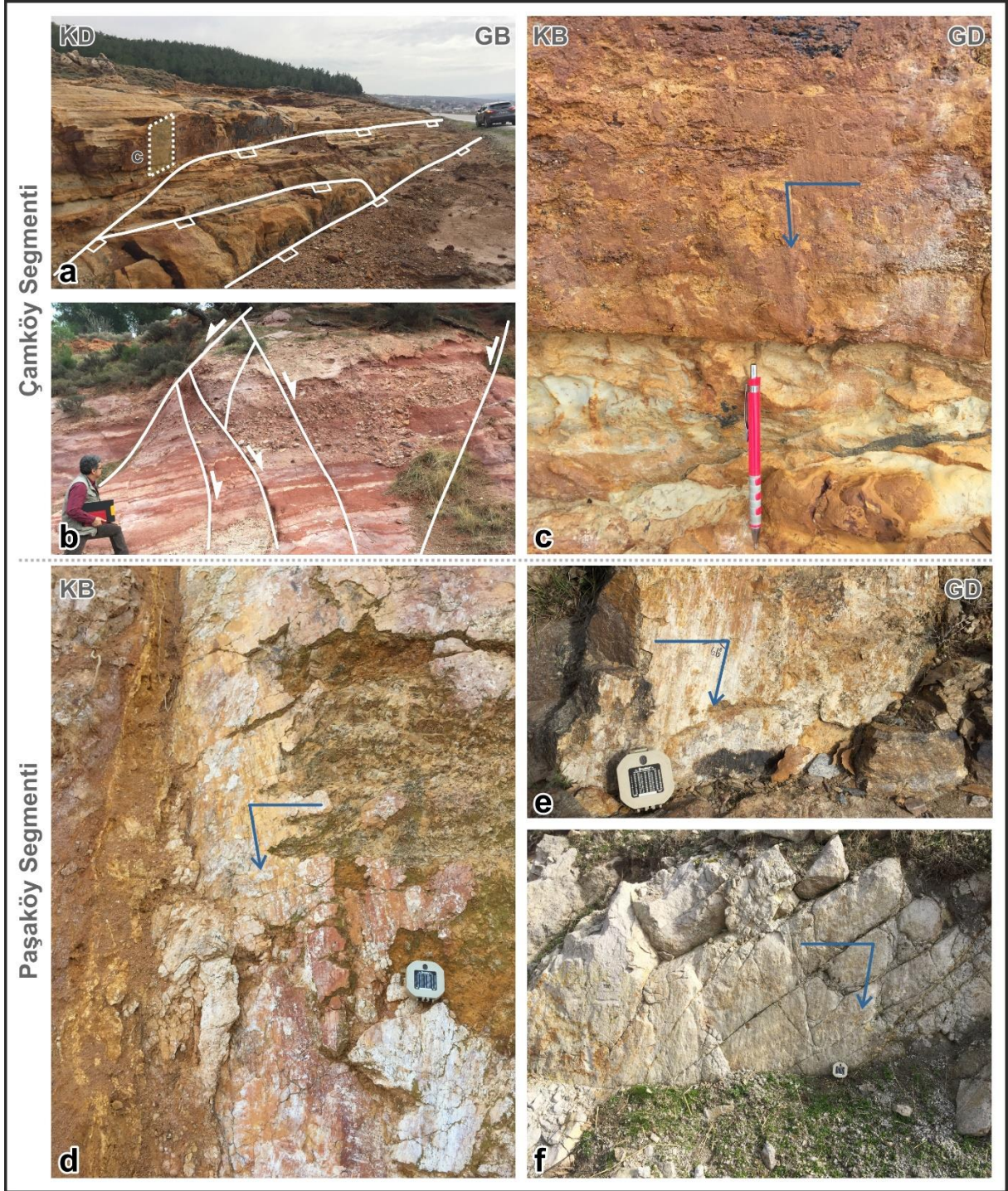
volkanik ve tortul kayalar üzerinde kayıtlıdır. Fay zonunun harita ifadesinde olduğu gibi bir çok makroskopik fay örgülü bir geometri sunarak bu bölgedeki kayaları keserek eğim yönünde ötelir. Özellikle tortul kayalardaki tabaka düzlemleri boyunca daha rahat izlenebilen bu ötelenmelerde genellikle GB'deki blok düşmüştür. Bazı antitetik faylar da gözlenen fay zonu içerisinde ölçülen fay düzlemleri 70 ile 85° arasında eğim açılarına sahiptir. Genel gidişi K30-45B olan fay aynaları üzerinde saptanan fay çizikleri ise 65 ile 82° arasında rake açıları içerir.



**Şekil 5.** Tuzla ve doğusunun fay haritası ve bu faylar boyunca saptanan kinematik verilerin FaultKinWin Programı kullanılarak geliştirilen stereografik projeksiyon görüntüleri. Kırmızı ile gösterilen kinematik veri lokasyonları Tuzla Fayı'nı, mavi olanlar ise bölgedeki diğer fayları simgelemektedir.

Tuzla Fayı'nın Paşaköy Segmenti ise Kolfal' dan başlar ve yaklaşık K70B doğrultusunda çalışma alanını en doğuda terk eder (Şekil 4, 5 ve 6). Çalışma alanı içerisinde yaklaşık 5 km izlenebilen fay daha doğuda, Behram'a kadar haritalanabilmektedir. Böylece fayın yaklaşık uzunluğu 10 km'ye erişir. Kolfal ile Bergas arasında haritalanan fay zonu, Çamköy Segmenti'ne benzer şekilde birçok antitetik ve sintetik fay basamağı içerir ve Tuzla Çayı'nın güneye bakan yamaçlarını şekillendirir. Tuzla Fayı'nın deformasyon zonu boyunca Gülpınar Fayı ya da daha eski faylanmalara ait olabilecek bazı KD uzanımlı faylar da haritalanmıştır (Şekil 5). Bu faylar boyunca yapılan yapısal gözlemler faylanmanın oldukça yüksek açılı düzlemler boyunca ve baskın olarak sağ yönlü doğrultu atımlı tektonizma ile ilişkili olduğunu gösterir. Özellikle Tuzla jeotermal alanındaki birçok su çıkışının Tuzla Fayı ile KD uzanımlı fayların kesişim noktalarına karşılık gelmesi, bu hatların da, Tuzla Fayı'nın bölgeye yerleşiminden önce bölgedeki magmatizma için önemli rol oynadıklarını gösterir.





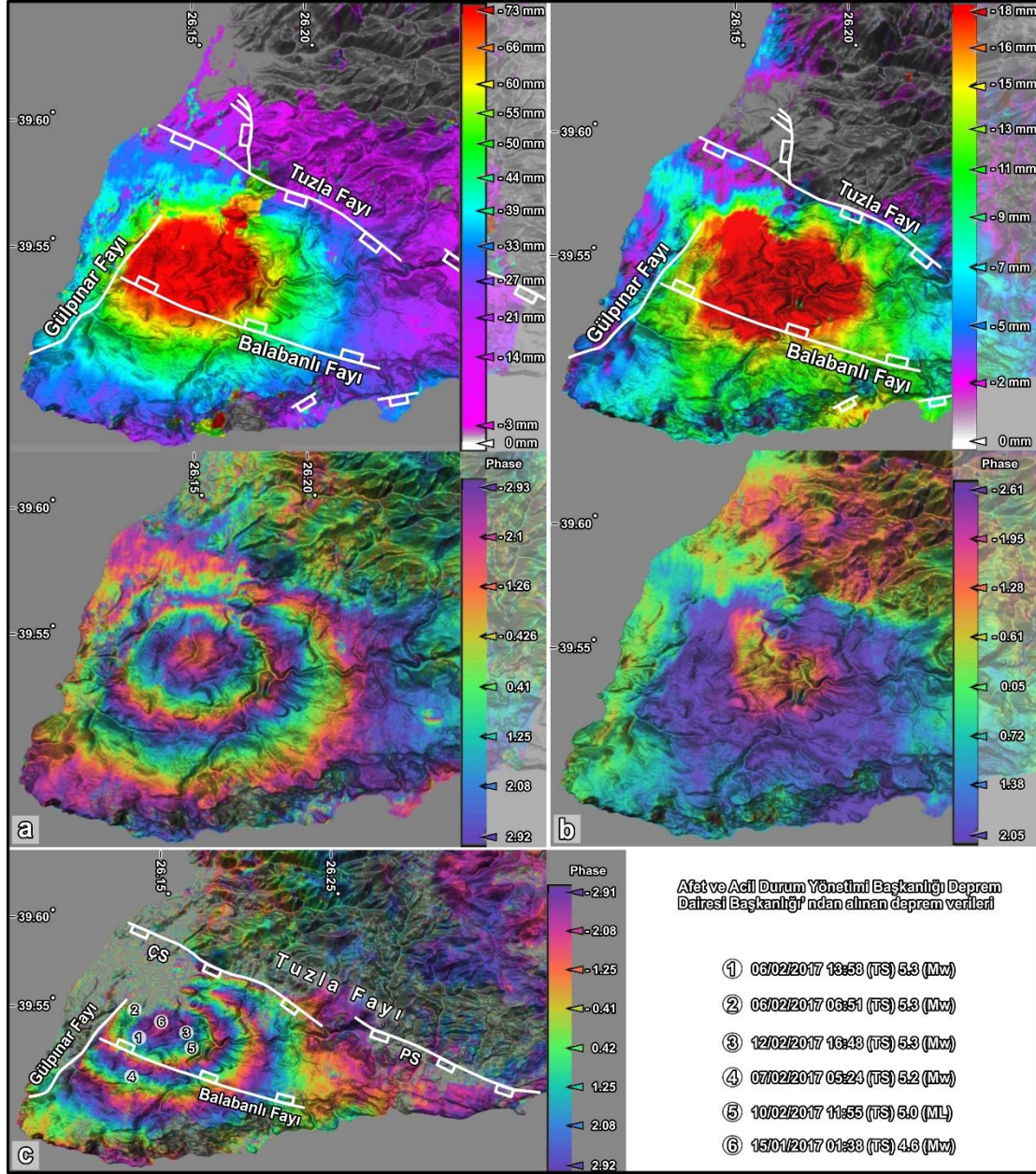
Şekil 6. Tuzla Fayının Çamköy Segmenti (a, b, c) ve Paşaköy Segmenti (d, e, f) boyunca gözlenen eğim atımlı normal faylara ait kinematik verilerin arazi görünümü.

#### 4.1. Çanakkale ve Ayvacık Çevresinde Yapılan Insar Çalışmaları

Çanakkale-Ayvacic çevresinde meydana gelen deprem fırtınasından sorumlu sismik kaynağı ve neden olduğu yüzey deformasyonlarının araştırmak için Sentinel-1 (S1) interferometric wide swath (IW) InSAR görüntüleri analiz edilerek, depremden kaynaklanan düşey yer değişimleri DInSAR yöntemi ile tespit edilmiştir. Görüntü aralıkları belirlenirken deprem ana şok öncesi-sırası-sonrası deformasyon



zamanları boyunca en iyi S1 interferometrik coherence değerleri veren görüntüler seçilmiştir. S1 interferogramları üretmeden önce geliştirilmiş spektral çeşitlilik yaklaşımı [66] ile SLC görüntüleri işlenmiştir (Şekil 7).



**Şekil 7.** Sentinel 1A uydusundan alınan radar verilerinin (2017/01/06-2017/04/12) SNAP programıyla elde edilen interferogram ve yer değiştirme görüntüleri. a) 06 Ocak-11 Şubat b) 11 Şubat-19 Mart aralığındaki radar görüntü sonuçları. c) 06 Ocak-12 Nisan tarih aralığında Çanköy Segmenti tavan bloğunda meydana gelen deformasyona ait interferogram haritası.

Depremlerin neden olduğu düşey yer değiştirme daha önce [67] tarafından yaklaşık 8 cm bulunmuştur. Bu çalışmada 2017/01/06-2017/04/12 tarih aralığında radar görüntüleri kullanılarak en büyüğü Mw: 5.3 olan ana şok, öncü ve artçı depremlerin düşey yer değiştirme miktarı yaklaşık 9 cm bulunmuştur (Şekil 7 a,b).

[65, 67]' e göre GB dalımlı listrik fay geometrisine sahip olan Tuzla Fayının, kırılma düzlemi dik arakesitine denk gelen yerlerde yüksek deformasyon sonuçları vermesi bu yaklaşımı doğrulamaktadır (Şekil 7). İki segmente ayrılan Tuzla Fayı' nın, depremlere neden olan segmentinin Çamköy Segmenti olduğu interferogram haritasındaki deformasyon faz değişimleriyle açıkça gözlenmektedir (Şekil 7c).

## 5. SONUÇLAR

Halen yürürlükte olan deprem bölgeleri haritasına göre Çanakkale İli 1. derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Tektonik olarak aktif olan bölgede son yüzyılda meydana gelen 1900 (M=5.2) Ayvacık-Çanakkale, 1912 (M=7.4) Şarköy, Mürefte -Tekirdağ 1912 (5.2) Gelibolu-Çanakkale, 1935 (M=6.3,M=5.2) Biga-Çanakkale, 1953 (M=7.2) Yenice-Çanakkale, 1968 (M=5.2) Ezine-Çanakkale, 1983 (M=5.2) Ayvacık-Çanakkale ve 1983 (M=5.8) Biga-Çanakkale, 2013 (ML=6.2) Ege denizi, 06.02.2017 Mw=5.3, 07.02.2017 Mw=5.2 ve 12.02.2017 Mw=5.3 Çanakkale Ayvacık depremleridir.

Tarafımızdan, Çanakkale-Ayvacık depremleri sonrasında yapılan 1/25.000 ölçekli jeolojik haritalama çalışmalarına göre, Tuzla Fayı denizaltındaki uzantısıyla birlikte toplam 25 km uzunluğundadır ve Çamköy Segmenti (15 km) ile Paşaköy Segmenti (10 km) şeklinde adlandırılan iki ana segmentten oluşur. 2017 Çanakkale-Ayvacık depremleri, Kuzey Anadolu Fayı'nın güney kolunun Biga Yarımadası güneybatı ucunda, Tuzla Fayı'na ait Çamköy segmentinin düşen bloğu üzerinde ve KB-GD uzanımlı bir zon boyunca yoğunlaşmaktadır. Sismolojik verilere göre, elde edilen depremlerin zaman ve mekan içerisindeki dağılımları ve büyüklükleri, bu depremlerin tek bir ana şoka bağlı gelişmediğini, bir deprem fırtınası özelliği taşıdığına işaret etmektedir. Bu durum Çamköy segmentinin birbirine bağlı sentetik ve antitetik nitelikli çok sayıda fay parçasından oluşmasından kaynaklanmaktadır. Çamköy Segmenti üzerinde şimdiye kadar oluşan depremlerin kuzeybatıdan güney doğuya doğru göç edecek şekilde gelişmesi, Paşaköy Segmenti üzerindeki enerji birikimini hızlandırabileceği göz önüne alınarak, her iki segment üzerinde, fayların geçmiş dönem aktiviteleri, deprem tekrarlama periyotları ve kayma hızlarıyla ilgili veri toplamak üzere, palaeosismoloji çalışmalarının bir an önce başlatılması gerekmektedir.

Arazi çalışmaları, Beydağı Horstu ile Geyikalan Horstu arasında 25 km uzunluğuna ve 7 km genişliğe ulaşan genç bir havzanın (Tuzla Havzası) oluşmaya başladığını, bu havzanın kuzey kenarının Tuzla Fayı güney kenarının ise Balabanlı Fayı tarafından kontrol edildiğini göstermektedir (Şekil 4).

Şimdiye kadar meydana gelen depremler can kaybına neden olmamakla birlikte, özellikle Çamköy Segmenti'nin düşen bloğunda kalan köylerdeki yığma binalarda önemli hasarlara neden olmuştur. Bu hasarların ana nedenleri; (1) yerleşim alanlarının diri fay üzerinde veya ana faya bağlı sentetik ve antitetik faylar üzerinde konumlanması, (2) yerleşim alanlarının oluşan depremlerin dış merkezlerine yakın yerlerde bulunması, (3) taşıyıcı sistemi olmayan ve deprem yönetmeliğine göre yapılmamış olan yığma bina tipindeki yapılaşmaların varlığı, ve (4) bu bölgede Diri Fay-Zemin-Yapı ilişkisinin doğru kurulamaması şeklinde açıklanabilir.

Gülpınar-Babakale arasında K30°D doğrultulu Gülpınar Fayı [61] Biga Yarımadası'nın en batı ucunda, Tuzla Fayı deltasına kadar izlenebilmektedir. Bu fayın da Kestanbol Fayı ve Tuzla Fayı ile olan ilişkisi, bölgenin deprem tehlikesinin anlaşılması açısından çözülmesi gereken önemli bir problemdir.

Sonuç olarak, Türkiye Diri Fay Haritalarının yeni üretilen bilimsel veriler ışığında sürekli revize edilerek güncellenmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Diri fay güncelleme çalışmalarının MTA, AFAD ve üniversitelerde Diri fay çalışmaları konusunda uzman ve bilimsel yayın üreten öğretim üyelerinden oluşan bir komisyon tarafından yürütülmesi önerilmektedir.



## KATKI BELİRTME

Arazi çalışmaları Tuzla Jeotermal Enerji A.Ş. ve Enther Enerji Jeotermal A.Ş. tarafından desteklenmiştir.

## REFERANSLAR

- [1] Reilinger R.E, McClusky S.C, Oral M.B, King R.W, Toksoz M.N, Barka A.A, Kinik I, Lenk O, Sanli I. Global positioning system measurements of present- day crustal movements in the Arabia- Africa- Eurasia plate collision zone. *Journal of Geophysical. Research* 1997; 102: 9983-9999.
- [2] Reilinger R, McClusky S, Vernant P, Lawrence S, Ergintav S, Cakmak R, Ozener H, Kadirov F. Guliev I, Stepanyan R. et al. 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* 2006; 111: B5, B05411.
- [3] Reilinger R, McClusky S, Parades D, Ergintav S, Vernant P. Geodetic constraints on the tectonic evolution of the Aegean region and strain accumulation along the Hellenic subduction zone. *Tectonophysics* 2010; 488: 22-30.
- [4] Kahle H. G, Cocard M, Peter Y, Geiger A, Reilinger R, Barka A. A, Veis G. GPS- derived strain rate field within the boundary zones of the Eurasian, African, and Arabian Plates, *Journal of Geophysical Research* 2000; 105: 23353-23370.
- [5] Taymaz T, Yılmaz Y, Dilek Y. The geodynamics of the Aegean and Anatolia: introduction, in *The Geodynamics of the Aegean, Anatolia*, Geological Society London, Special Publications 2007; 291: 1-16.
- [6] Bingöl E. Batı Anadolu'nun Jeotektonik Evrimi, *MTA Dergisi* 1976: 86: 14-35.
- [7] Siyako M, Bürkan K.A, Okay A. İ. Biga ve Gelibolu Yarımadalarının Tersiyer Jeolojisi ve Hidrokarbon Olanakları, *TPJD Bülteni* 1989; 1: 83-199.
- [8] Okay A. İ, Siyako M, Bürkan K. A. Geology and tectonic evolution of the Biga Peninsula. *Bulletin of the Technical University of İstanbul* 1991; 44: 191-256.
- [9] Yılmaz Y, Karacık Z. Geology of the northern side of the Gulf of Edremit and its tectonic significance for the development of the Aegean grabens. *Geodinamica Acta* 2001; 14: 31-43.
- [10] Yalıtırak C. Kazdağı'nın Tektonik Yapısı ve Edremit Körfezi'ni Karadan Sınırlayan Fayların Karakterleri, *Aktif Tektonik Arastırma Grubu-10, Bildiri Özleri Kitabı*, 02-04 Kasım 2006: 94-95.
- [11] Emre Ö, Doğan A, Yıldırım C. Biga Yarımadasının Diri Fayları ve Deprem Potansiyeli, *Biga Yarımadasının Genel ve Ekonomik Jeolojisi*, *MTA Dergisi* 2012; 28: 163-198.
- [12] Dewey JF, Şengör A.M.C. Aegean and surrounding regions: complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone. *Geological Society of America Bulletin* 1979; 90: 84-92.
- [13] Taymaz T, Jackson J, McKenzie D. Active tectonics of the north and central Aegean Sea. *Geophysical Journal International* 1991; 106: 433-490.

- [14] Yaltrak C, İşler E. B, Aksu A. E, Hiscott R. N. Evolution of the Bababurnu basin and shelf of the Biga-Peninsula: Western extension of the middle strand of the North Anatolian Fault Zone, Northeast Aegean Sea, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences* 2012; 57: 103-119.
- [15] Sözbilir H, Özkaymak Ç, Uzel B, Sümer Ö, Eski S, Güler T, Yaralı G. Edremit Körfezi ile Balıkesir ili Arasında kalan Diri Fayların Tektonik Jeomorfolojisi ve Paleosismolojisi. No: UDAP-G-13-18, 2016a; Kalkınma Bakanlığı Projesi.
- [16] Seyitoğlu G, Ecevitoglu B, Esat K, Kaypak B. Gülpınar-Ayvacık (Çanakkale) depremleri bilgi notu, 2017.
- [17] Özalp S, Emre Ö, Doğan A. The segment structure of southern branch of the North Anatolian Fault and paleoseismological behaviour of the Gemlik Fault, NW Anatolia. *General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA) Bulletin* 2013; 147: 1-17.
- [18] Duman T, Çan T, Emre Ö, Kadiroğlu F.T, Baştürk, N.B, Kılıç T, Arslan S, Özalp S, Kartal R, Kalafat D. et al. Seismotectonic database of Turkey. *Bull Earthquake Eng.* 2016; 1-40, doi:10.1007/s10518-016-9965-9.
- [19] Ambraseys N. Engineering seismology. *Journal of Earthquake Engineering Structural Dynamics* 1998; 17: 1-105.
- [20] Ambraseys N. The seismic activity of the Marmara Sea Region over the last 2000 years. *Bulletin of the Seismological Society of Amerika* 2002; 92: 1-18.
- [21] Ambraseys N, Finkel C. Long-term seismicity of Istanbul and of the Marmara Sea region. *Terra Motae* 1991; 3: 527-539.
- [22] Ambraseys N, Finkel C. The Seismicity of Turkey and adjacent areas. A Historical Review, 1500-1800. Eren, Istanbul, 1995.
- [23] Şengör A. M. C, Görür N, Şaroğlu F. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, in: Biddle, K. T. & Christie-Black, N. (eds), *Strike-slip deformation, basin formation and sedimentation*, Special Publication, Soc. Econ. Paleont. Min. 1985; 37: 227-264.
- [24] Bohnhoff M, Bulut F, Dresen G, Malin P.E, Eken T, Aktar M. An earthquake gap south of Istanbul, *Nature* 2013, doi:10.1038/ncomms299.
- [25] Ergintav S, Reilinger R.E, Çakmak R, Floyd M, Cakir Z, Doğan U, King R.W, McClusky S, Özener H. Istanbul's earthquake hot spots: Geodetic constraints on strain accumulation along faults in the Marmara seismic gap. *Geophysical Research Letters* 2014; 41: 5783-5788.
- [26] Ikeda Y, Suzuki Y, Herece E, Şaroğlu F, Işıkara A.M, Honkura Y. Geological evidence for the last two faulting events on the North Anatolian Fault Zone in the Mudurnu Valley, Western Turkey. *Tectonophysics* 1991; 193: 335-345.
- [27] Rockwell T, Barka A. Dawson T, Akyüz S, Thorup K. Paleoseismology of the Gaziköy-Saros segment of the North Anatolia fault, northwestern Turkey: Comparison of the historical and paleoseismic records, implications of regional seismic hazard, and models of earthquake recurrence. *Journal of Seismology* 2001; 5: 433-448.

- [28] Rockwell T, Ragona D, Seitz G, Langridge R, Aksoy M.E, Uçarkuş G, Ferry M, Meltzner A.J, Klinger Y, Meghraoui M. Palaeoseismology of the North Anatolian Fault near the Marmara Sea: implications for fault segmentation and seismic hazard. In: K. Reicherter, A.M. Michetti & P.G. Silva (Eds.) Palaeoseismology: Historical and Prehistorical Records of Earthquake Ground Effects for Seismic Hazard Assessment. Geological Society, Special Publication 2009; 316: 31-59.
- [29] Hartleb R.D, Dolan J.F, Kozacı Ö, Akyüz H.S, Seitz G.G. A 2500-yr-long paleoseismologic record of large, infrequent earthquakes on the North Anatolian fault at Çukurçimen, Turkey. Geological Society of America Bulletin 2006;118: 823-840.
- [30] Hartleb R.D, Dolan J.F, Akyüz H.S, Yerli B. A. 2000-Year-Long Paleoseismologic Record of Earthquakes along the Central North Anatolian Fault, from Trenches at Alayurt, Turkey. Bulletin of the Seismological Society of America 2003; 93: 1935-1954.
- [31] Kozacı Ö, Dolan J.F, Finkel R.C. A late Holocene slip rate for the central North Anatolian fault, at Tahtaköprü, Turkey, from cosmogenic <sup>10</sup>Be geochronology: Implications for fault loading and strain release rates. Journal of Geophysical Research 2009; 114: B01405, 1-12.
- [32] Kozacı Ö, Dolan J.F, Yönlü Ö, Hartleb R.D. Paleoseismologic evidence for the relatively regular recurrence of infrequent, large-magnitude earthquakes on the eastern North Anatolian fault at Yaylabeli, Turkey. Lithosphere 2011; 3: 37-54.
- [33] Özaksoy V, Emre Ö, Yıldırım C, Doğan A, Özalp S, Tokay F. Sedimentary record of Late Holocene seismicity and uplift of Hersek restraining-bend along the North Anatolian Fault in the Gulf of İzmit. Tectonophysics 2010; 487: 33-45.
- [34] Dikbaş A, Akyüz H.S. Paleoseismological investigations on Karadere Segment, North Anatolian Fault Zone. Turkish Journal of Earth Sciences 2011; 20: 395-409.
- [35] Kürçer A, Chatzipetros A, Tutkun S.Z, Pavlides S, Ateş Ö, Valkaniotis S. The Yenice–Gönen active fault (NW Turkey): Active tectonics and palaeoseismology. Tectonophysics 2008; 453: 263-275.
- [36] Belindir F. Neotectonic characteristics and paleoseismology of the Yenice-Gönen fault zone (NW Anatolia, Turkey). PhD, Hacettepe University, Ankara, Turkey, 2008.
- [37] Sözbilir H, Sümer Ö, Özkaymak Ç, Uzel B, Güler T, Eski S. 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 2016b; 28: 273-294.
- [38] Sözbilir H, Özkaymak Ç, Uzel B, Sümer Ö, Eski S, Tepe Ç. Paleoseismology of the Havran-Balıkesir Fault Zone: evidence for past earthquakes in the strike-slip dominated contractional deformation along the southern branches of the North Anatolian Fault in northwest Turkey. Geodinamica Acta 2016c; 28(4): 254-272.
- [39] Shebalin N. V, Karnik V, Hadzievski D. Catalogue of Earthquakes, Skopje, Yugoslavia: UNESCO, 1974.

- [40] Pınar N, Lahn E. Turkish Earthquake Catalog with Discriptions, The Ministry of Public Works and Settlement of Turkey: The General Directorate of Constrction Affairs, 1952.
- [41] Ambraseys N, Finkel C.F. Türkiye’de ve komşu bölgelerde sismik etkinlikler (Seismicity of Turkey and neighbouring regions); bir tarihsel inceleme 1500–1800, Ankara: TUBİTAK Yayınları Akademik dizi, 2006.
- [42] Papazachos B, Papazachou C. The Earthquakes of Greece, Thessaloniki: Ziti Publ.,1997.
- [43] Emre Ö, Doğan A. 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritaları Serisi, Balıkesir Ayvalık (NJ 35-2) Paftası, Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2010.
- [44] Emre Ö, Doğan A, Özalp S. Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, 1:250.000 Ölçekli Balıkesir (NJ 35-3) Paftası, Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2011.
- [45] ISC. International Seismological Centre. On-line Bulletin, <http://www.isc.ac.uk/Bull>, International Seismological Centre, Thatcham, United Kingdom, 2017
- [46] USGS-NEIC (United States Geological Survey National Earthquake Information Center), <http://earthquake.usgs.gov/contactus/golden/neic.php>.
- [47] KOERİ. B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü web sayfası, <http://www.koeri.boun.edu.tr>, 2017.
- [48] Salomon-Calvi W. Geologische Wanderungen bei Ankara, Ankara: MTA yayınları, 1940.
- [49] Ergin K, Güçlü U, Uz Z. Türkiye ve Civarının Deprem Kataloğu (M.S. 11 yılından 1964 sonuna kadar), İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Arz Fiziği Enstitüsü Yayını, 1967.
- [50] Öcal N. Türkiye’nin Sismisitesi ve Zelzele Coğrafyası, 1850–1960 Yılları İçin Türkiye Zelzele Katalogu, İstanbul: İstanbul Kandilli Rasathanesi Sismoloji Yayınları, 1968.
- [51] Soysal H, Sipahioğlu S, Kolçak D, Altınok Y. A catalogue of earthquakes for Turkey and surrounding area (BC 2100-AD 1900). Final report, project number Tbag 341, The Scientific and Technical Research Council of Turkey (TUBİTAK), Ankara, 1981.
- [52] Ambraseys N, Jackson J.A. Seismicity of the Sea of Marmara (Turkey) since 1500. *Geophysical Journal International* 2000; 141: F1–F6.
- [53] Altınok Y, Alpar B, Yalıtırak C, Pınar A, Özer N. The earthquakes and related tsunamis of October 6, 1944 and March 7, 1867; NE Aegean Sea. *Natural Hazards* 2012a; 60: 3-25.
- [54] Altınok Y, Alpar B, Yalıtırak C, Özer N. 6 Ekim 1944 Edremit Körfezi-Ayvacık Depreminin Makrosismik Değerlendirilmesi. *İstanbul Yerbilimleri Dergisi* 2012b; 25: 41-53.
- [55] AFAD. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 12.02.2017 Ayvacık-Çanakkale Deprem Raporu, 2017.
- [56] EMSC. Avrupa Ortadoğu Sismoloji merkezi web sayfası, <http://www.emsc-csem.org>; EMSC: European-Mediterranean Seismological Centre, 2017



- [57] ERD. Harvard Centroid-Moment Tensor Project CMT, Harvard University, MA, USA (1977-2015). <http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>.
- [58] NOA. Atina Ulusal Gözlemevi Merkezi, web sayfası, <http://www.gein.noa.gr/en/seismicity/earthquake-catalogs>, National Observatory of Athens, Geodynamic Institute, Greece, Athens, 2017.
- [59] GFZ. Almanya Yerbilimleri Araştırma Merkezi, web sayfası, <http://www.gfzpotdam.de>, German Research centre for Geoscience, 2017.
- [60] McClusky S, Balassanian S, Barka A, Demir C, Georgiev I, Hamburger M, Hurst K, Kahle H, Kastens K, Kekelidze G. et al. GPS Constraints on Crustal Movements and Deformations in the Eastern Mediterranean (1988-1997): Implications for Plate Dynamics JGR 2000; 105: 5695-5719.
- [61] Karacık Z, Yılmaz Y. Geology of the Ignimbrite Eruptions of Ezine–Ayvacık region, NW Anatolia. Int. In Earth Science, Proceedings of Colloquium on the Aegean Region (IESCA) 1995; 2: 415-427.
- [62] Karacık Z, Yılmaz Y. Geology of the ignimbrites and the associated volcano–plutonic complex of the Ezine area, northwestern Anatolia. Journal of Volcanology and Geothermal Research 1998; 85(1): 251-264.
- [63] Genç ŞC, Dönmez M, Akçay AE, Altunkaynak Ş, Eyüpoğlu Y, Ilgar Y. Biga Yarımadası Tersiyer Volkanizmasının Stratigrafik, Petrografik Ve Kimyasal Özellikleri. Biga Yarımadasının Genel ve Ekonomik Jeolojisi, Ankara: MTA Özel yayın serisi, 2012.
- [64] Kürçer A. Elmacı H. 06-14 Şubat 2017 Ayvacık (Çanakkale) Deprem Fırtınası Saha Gözlemleri ve Değerlendirme Raporu, Ankara: MTA Raporu, 2017.
- [65] Sözbilir H, Sümer Ö, Uzel B, Softa M, Tepe Ç, Eski S, Ozkaymak C, Baba A. 14 Ocak-16 Şubat Çanakkale-Ayvacık Depremleri, Dokuz Eylül Üniversitesi Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi Diri Fay Araştırma Grubu, İzmir: Değerlendirme Raporu, 2017.
- [66] Yague-Martinez N, Prats-Iraola P, Rodriguez-Gonzalez F, Brcic R, Shau R, Geudtner D, Eineder M, Bamler R. Interferometric processing of sentinel-1 TOPS data IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 2016; 54: 2220-2234.
- [67] Bulut F, Havazlı E, Yaltırak C, Doğru A, Sabuncu A, Özener H. The 2017 Ayvacık Earthquake Sequence: A Listric Fault Activated Beneath Tuzla/Çanakkale Geothermal Reservoir (Western Turkey). Proceedings of 43rd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, February 12-14, 2018, Stanford, California, SGP-TR-213.