



T.C. SAKARYA ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ  
AFET YÖNETİM UYGULAMA ve ARAŞTIRMA MERKEZİ

**ŞUBAT 2017 AYVACIK (ÇANAKKALE) DEPREM  
SİLSİLESİNİN SİSMOLOJİK ÖN DEĞERLENDİRME  
RAPORU**

PRELIMINARY SEISMOLOGICAL REPORT ON THE FEBRUARY 2017 AYVACIK  
(ÇANAKKALE) EARTHQUAKE SEQUENCE

RAPOR NO: 2017-1

**Murat UTKUCU**  
**Emrah BUDAKOĞLU**  
**Serap KIZILBUĞA**

SAKARYA

Şubat 2017

## ÖNSÖZ

Marmara Bölgesi tarihte Bizans ve Osmanlı İmparatorlukları'na beşiklik yapmasının yanı sıra Dünya'nın en tanınmış deprem kuşaklarından biri olan Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın da geçiş güzergâhında yer almaktadır. Bölgeye doğudan girişinden sonra üç kola ayrılan bu fay hattı tüm bölge içinde yaygın bir depremselliğe neden olmaktadır. Tarih boyunca birçok yıkıcı deprem bölgede yer alan şehirleri ve özellikle de İstanbul şehrini sosyoekonomik olarak etkilemiş ve büyük yıkımlara neden olmuştur. Şubat 2017'de Çanakkale'nin Ayvacık ilçesini etkileyen deprem silsilesi bölgedeki deprem gerçeğini bir kez daha gündeme getirirken Türkiye'nin bir deprem ülkesi olduğunu tekrar hatırlatmıştır.

Bu raporda, Şubat 2017 Ayvacık deprem silsilesi *eldeki bilgiler ve raporun içeriğinde yer alan analizlerin ışığı altında* sismolojik olarak değerlendirilmiştir. Bu vesile ile yazarlar, Şubat 2017 Ayvacık deprem silsilesinden etkilenen yöre halkına geçmiş olsun dilerler.

SAÜ AFET YÖNETİM UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ

## ÖZET

Kuzey Anadolu fay Zonu kuzeybatı (KB) Türkiye’de Marmara bölgesi içinde Kuzey, Orta ve Güney kollar olmak üzere 3 kola ayrılmaktadır. Bu kollarla ilişkili fay segmentleri hem tarihsel hem de aletsel dönemde büyük yıkıcı depremlere neden olan geniş bir deformasyon zonu teşkil etmektedir. Marmara Bölgesi’ni geçtikten sonra bu fay kollarının üçü de Kuzey Ege Denizi’ne girmekte ve yüksek bir deprem aktivitesi oluşturan transtansiyonel bir karakterle Yunanistan’a uzanmaktadır. Şubat 2017 Ayvacık deprem silsilesi Kuzey Anadolu Fay Zonu’nun fay segmentleri arasında oluşmuş çek-ayır yapısı ile ilişkili faylar boyunca oluşmuştur. Çek-ayır yapısı ile ilişkili çöküntü Bababurnu Havzası olarak bilinen bir havzaya sebep olmuştur. Silsile hepsi karada olmak üzere, havzanın batı kenarını sınırlayan faylardan biri üzerinde oluşmuş 4 adet  $M_w \geq 5.0$  deprem içermektedir. Çalışmada tüm  $M_w \geq 5.0$  depremler için bölgesel kayıtlardan yapılan Centroid Moment Tensör çözümleri KB-GD yönelimli ve GB eğimli normal faylanmalara işaret etmekte olup depremlerin çek-ayır yapısı ile ilişkisini doğrulamaktadır.

Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (KRDAE-BDTİM) katalogundan alınan 1980 sonrası arındırılmış geri plan depremsellik de analiz edilmiştir. Silsileden önce depremlerde magnitüd-frekans ilişkisi  $b$  değerindeki anomali değişimleri belgelenmiştir. Ocak 2009 ile Ocak 2013 arasında yakın deprem kaynak bölgesi içindeki depremsellik için  $b$  değeri 1.89’a yükselmekte ve sonrasında, 8 Ocak 2013 Kuzey Ege depreminin ( $M_w=5.8$ ) oluşumunu izleyen depremsellik için 1.1’e azalmaktadır.  $b$  değeri sismojenik kabuktaki gerilme ile ters orantılı olduğundan anomali azalımı silsile öncesi kabuksal gerilmelerdeki artış olarak yorumlanmıştır. 1980 sonrası depremsellik için  $b$  değerinin uzaysal haritalanması göreceli olarak düşük (yaklaşık 1.2) değerlerini çek-ayır batı kenarından sınırlayan açıktaki faylar üzerinde sonuç vermiştir. Ardından  $M_L=5.5$  büyüklüğündeki bir hedef deprem için deprem tekrarlanma zamanları magnitüd-frekans ilişkisi uzaysal dağılımı kullanılarak hesaplanmıştır. En kısa  $T_R$  değeri, anomali düşük  $b$  değerleri olan fay alanları üzerinde yaklaşık 180 yıl olarak bulunmuştur. Küresel ortalamalara göre yüksek  $b$  değerleri muhtemelen çek-ayır alanındaki kabuksal heterojeniteyi yansıtmaktadır.

## SUMMARY

The North Anatolian Fault Zone separates into three fault strands, namely The Northern, Middle and Southern strands, in the Marmara Region, NW Turkey. Fault segments related these fault strands constitute a wide deformation zone that produced large destructive earthquakes in both historical and instrumental period. After crossing the region all three strands enter Northern Aegean Sea and extend to Greece with transtensional character, causing high earthquake activity. The February 2017 Ayvacık earthquake sequence occurred along the faults related with the pull-apart formed between the fault segments of the North Anatolian Fault Zone. The depression related with the pull-apart has caused a basin called Bababurnu basin. The sequence include 4  $M_w \geq 5.0$  earthquakes all took place onshore, along one of the fault bounding eastern edge of the basin. Centroid Moment Tensor solutions from the regional waveforms carried out in the study indicate normal faultings striking NW-SE and dipping SW for the all  $M_w \geq 5.0$  earthquakes, confirming their relevance with the pull-apart.

The declustered background seismicity from the catalogue of the Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute after 1980 is also analysed. Anomalous changes in the  $b$  value of the frequency magnitude relationship of earthquakes are documented before the sequence. For the seismicity in the near source region between January 2009 and January 2013  $b$  value increases to 1.89 and decreases to 1.1 for the seismicity afterward, following occurrence of the Northern Aegean earthquake of the January 8, 2013 ( $M_w=5.8$ ). As the  $b$  value is inversely related with the stress in the seismogenic crust the anomalous decrease is interpreted as a sign of rising crustal stresses prior to the sequence. Spatial mapping of the  $b$  value for the seismicity after 1980 results in relatively lower (about 1.2) values over the off-shore faults bounding the pull-apart in the west. Then the earthquake recurrence times are calculated for a target event of  $M_L=5.5$  using spatial mapping of the frequency magnitude relationship. Shortest  $T_R$  value of approximately 180 years is found over the fault areas with anomalously low  $b$  values. High  $b$  value estimations compared to the global averages possibly reflects crustal heterogeneity in the pull-apart area.

## 1. Giriş

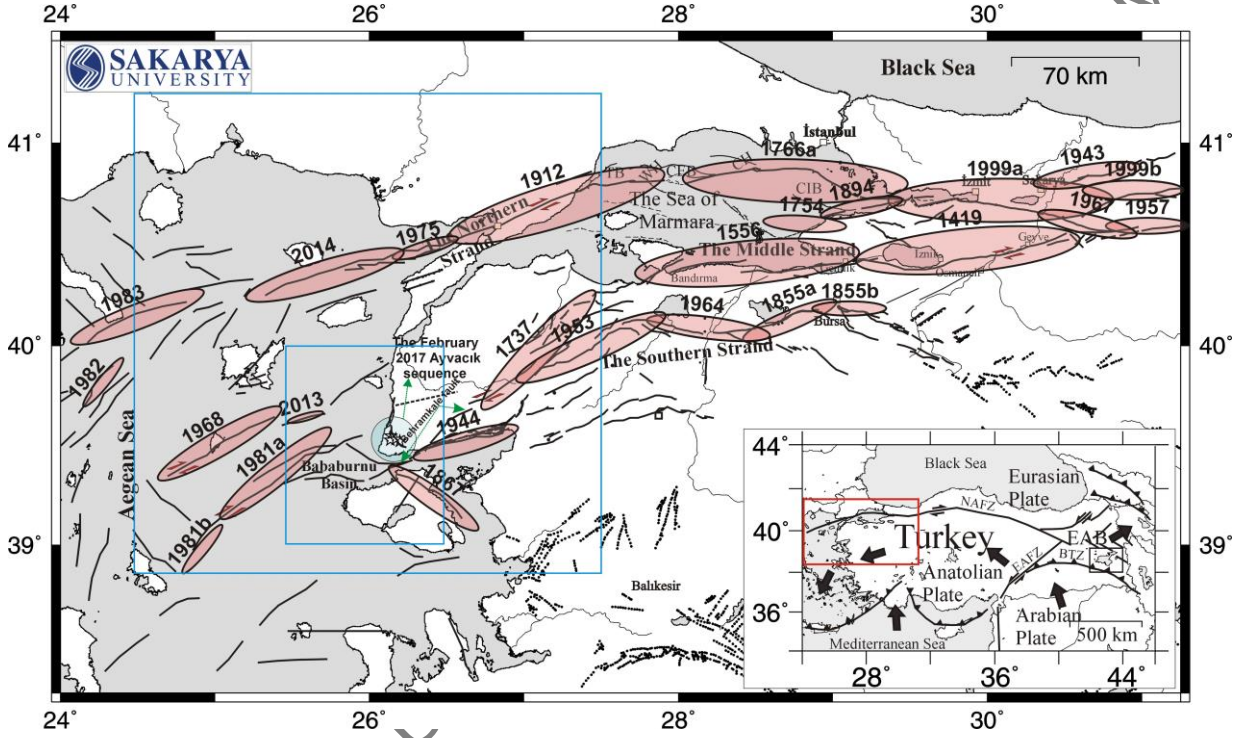
Yerleşim alanlarının tektonik olarak aktif bölgelerde ya da yakınında yer alması önemli bir tehlike maruziyeti ve sonuç olarak deprem riski oluşturmaktadır. Çoğu zaman bu riskin gerçekleşmesi gerek Dünya’da gerekse Türkiye’de çok sayıda can kaybına, on milyarlarca dolar mertebesinde ekonomik kayıplara ve sosyal hayatta önemli kesintilere neden olan deprem afetlerine neden olmuştur. 6 Şubat 2017 tarihinde, Çanakkale’nin Ayvacık ilçesinde, Türkiye’nin en önemli deprem kuşağı olan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) üzerinde meydana gelen ve  $M_w=5.3$  büyüklüğünde bir deprem ile başlayan deprem silsilesi bu duruma bir örnek teşkil etmesinin yanı sıra göreceli olarak küçük bir deprem ya da depremlerin afetlere hazırlıklı ve tedbirli olmayan yerleşim alanları ve insan toplulukları için nasıl bir afet oluşturabileceğine de bir örnektir. Bu raporda, Şubat 2017 Ayvacık deprem silsilesi hakkında sismolojik açıdan yapılan ön değerlendirmeler yer almaktadır.

## 2. Sismotektonik Yapı

KAFZ, Doğu Anadolu Fay Zonu ile birlikte Anadolu levhasının doğuda Arap levhasının çarpmasından kaynaklanan batıya hareketini karşılamaktadır (Şekil 1) (Şengör vd. 2005; Reilinger vd. 2006). Marmara Bölgesi’ne girdikten sonra bu fay zonu üç kola ayrılmaktadır (Şekil 2) (Barka ve Kadinsky-Cade, 1988; Emre vd. 2012). Kuzey kol, Marmara Denizi altından geçerek Saroz körfezi’ne girmekte ve Orta kol Osmaneli-Gemlik-Bandırma-Bayramiç hattından ve Güney kol ise Geyve-Yenişehir-Bursa-Gönen-Edremit hattını takip ederek Kuzey Ege Denizine girmektedir (Şekil 1). Böylelikle Marmara Bölgesi’nde ve Kuzey Ege Denizi altında tektonik KAFZ’nca kontrol edilmektedir (Taymaz vd. 1991; Koukouvelasand ve Aydın, 2002; Nyst ve Thatcher 2004; Müller vd. 2012; Kürçer vd. 2016). Deprem kaynak mekanizma çözümleri Kuzey Ege Denizi altında sağ-yanal doğrultu atımlı fayları ve ilişkili açılma yapılarını desteklemektedir (Taymaz vd. 2001; Jolivet vd. 2012). GPS çalışmaları Orta ve Güney kollar için Kuzey Kol’a göre çok daha küçük fay kayma hızları önermektedir (Flerit vd. 2003; Reilinger vd. 2006; Pondard vd. 2007).

Kuzey, Orta ve Güney kolların yaklaşık 25 mm/yıl’lık bir levha hareketini karşıladığı düşünüldüğünde önemli bir deprem tehlikesinin Marmara Bölgesi ve Kuzey Ege Denizi için mevcut olduğu açıktır. Gerek tarihsel gerekse aletsel dönemde meydana gelen can ve mal

kayıplarına yol açmış çok sayıdaki büyük deprem ve devamlı gözlenen küçük deprem etkinliği bu durumun kanıtıdır (Şekil 1 ve 2) (Ambraseys 2001; Ambraseys 2009; Nalbant vd. 1998; Caputo vd. 2012; Leptokarpoulos vd. 2012). 8 Ocak 2013 ( $M_w=5.7$ ) ve 24 Mayıs 2014 ( $M_w=6.9$ ) Kuzey Ege depremleri (Kürçer vd. 2014; Saltogianni vd. 2015) yakın geçmişteki örnekleri oluştururken bu raporun konusunu oluşturan 6 Şubat 2017 ile başlayan Ayvacak deprem silsilesi en güncel örneğidir.

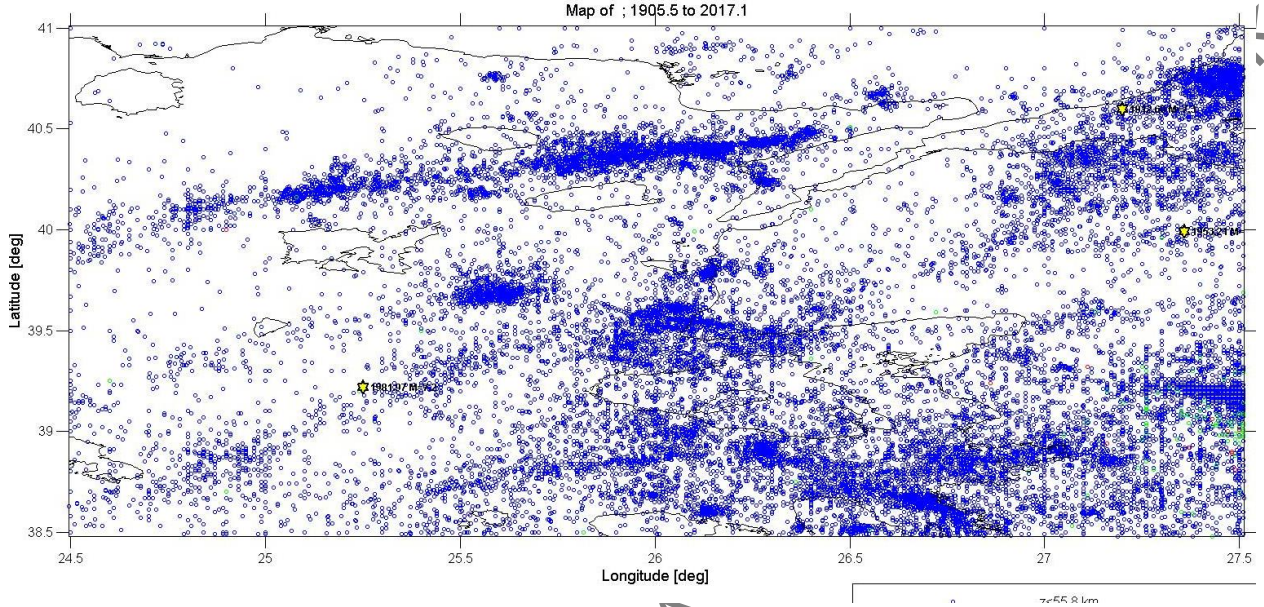


Şekil 1. Marmara Bölgesi ve Kuzey Ege Denizi'nde içinde Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun 3 kol halinde uzanımını, bu uzanım boyunca fay segmentlerini kıran en son depremleri (elipsler), Şubat 2017 deprem silsilesindeki büyüklükleri  $M_w \geq 5.1$  depremlerin yerlerini (yıldızlar) gösteren harita. Faylar Emre vd. (2012), Kürçer vd. (2016) ve Yalıtırak 2012'den alınmıştır. Büyük ve küçük mavi dikdörtgenler sırasıyla Şekil 2 ve 7'deki harita alanlarını çevrelemektedir.

### 3. Şubat 2017 Ayvacak (Çanakkale) deprem Silsilesi





Şubat 2017 Ayvacak deprem silsilesi 6 Şubat 2017 saat yerel saatle 06:51'de  $M_w=5.3$  büyüklüğündeki bir depremle başlamış, aynı gün yerel saatle 13:58'de  $M_w=5.1$  büyüklüğünde bir deprem daha meydana gelmiş ve sonrasında 2 adet  $M_w \geq 5.1$  deprem (7 ve 12 Şubat 2017 tarihlerinde) daha oluşmuştur (Tablo 1; Şekil 1) (www.afad.gov.tr, www.koeri.boun.edu.tr). Bu göreceli olarak büyük depremler dışında silsile içinde 22 Şubat 2017 tarihine kadar 1450  $M < 5$  deprem Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından rapor edilmiştir. Deprem başta Çanakkale ve İzmir il merkezleri ve

ilçelerinin yanı sıra çevre yakın illerde de hissedilmiş olup Ayvacık, Yukarıköy, Babakale, Bademli, Çamköy, Taşağıl ve Tuzla köylerinde yüzlerce kerpiç ve yığma türde yapılarda hasarlar oluşmuştur (AFAD 2017a; AFAD 2017b). Sadece birkaç hafif yaralanma vakası olduğu bildirilmiştir.



**Şekil 2.** Çalışmada kullanılan Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü katalogunda yer alan 1900 sonrası depremlerin çalışma alanı içindeki episantr dağılımları.

**Tablo 1.** Şubat 2017 Ayvacık (Çanakkale) deprem silsilesi içindeki  $M_w \geq 5.1$  depremlerin odak ve kaynak parametreleri. Odak parametreleri Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'nden alınmış olup kaynak parametreleri çalışmada bölgesel Centroid Moment Tensor analizi ile bulunmuştur.

	<b>06-02-2017 I. deprem</b>	<b>06-02-2017 II. deprem</b>	<b>07-02-2017 III. deprem</b>	<b>12-02-2017 IV. deprem</b>
<b>Oluş Zamanı</b>	06:51:39.70	13:58:01.00	05:24:03.00	16:45:15.00
<b>Enlem (°)</b>	39.556	39.529	39.530	39.518
<b>Boylam (°)</b>	26.026	26.112	26.121	26.116
<b>Derinlik (Centroid) (km)</b>	6.0	7.0	8.0	6.0
<b>Doğrultu (°)</b>	287	301	288	300
<b>Eğim (°)</b>	38	47	44	44
<b>Rake (°)</b>	-122	-87	-94	-87
<b><math>M_0</math> (<math>\times 10^{16}</math> dyne/cm)</b>	10.140	5.675	11.570	6.127
<b><math>M_w</math></b>	5.3	5.1	5.3	5.1
				

Depremlerin episantrları Biga Yarımadası'nın GB uç noktasında toplanmıştır (Şekil 1). Gerek episantr lokasyonları gerekse arazi çalışmalarından, depremlerin MTA'nın Türkiye Diri Fay Haritası'nda (Emre vd. 2012) yer alan Kestanbol Fayı'nın KB-GD uzanımlı, GB

eğimli ve normal faylanma karakterli Tuzla Segmenti'nden kaynaklandığı ileri sürülmüştür (MTA 2017). Ayvacık ilçe merkezi ile Gülpınar köyü arasından geçen bu fay segmentinin ayrıntılı bir haritası Yılmaz ve Karacık (2001) tarafından verilmiştir. Bu fay segmenti, KAFZ'nun Orta Kolu'nun Biga Yarımadası ve Kuzey Ege Denizi altında uzanan iki büyük sağ-yanal atımlı fay segmenti arasında oluşmuş çek ayır yapısını ve bu yapı içinde gelişen Bababurnu havzasını (Yaltırak vd. 2012) doğudan sınırlayan ve deniz içinde uzanan normal faylara paralel olarak karada uzanmaktadır

Çalışmada, silsile içindeki  $M_L \geq 5.1$  depremler için ISOLA bilgisayar yazılımı (Sokos ve Zahradník, 2013) kullanılarak yapılan ve Tablo 1'de sonuçları listelenen Centroid Moment Tensor çözümleri depremlerin normal faylanma sonucu oluştuğunu önermektedir. Çözümlerin hepsinde yer alan KB-GD uzanımlı ve GB eğimli düzlem Tuzla fay segmentinin geometrisi ile büyük bir uyum sergilemekte olup bu segmentin kırıldığı görüşünü desteklemektedir.

Tablo 1'den görüldüğü gibi silsile içinde büyüklükleri bir birine yakın  $5.1 \leq M_L \leq 5.3$  olan 4 deprem bulunmaktadır. Bu haliyle silsile içinde öne çıkan, belirgin bir ana şok olarak nitelendirilebilecek bir deprem yoktur. Sayıları bini aşan diğer daha küçük büyüklükteki depremleri ile Şubat 2017 Ayvacık deprem silsilesi bir "deprem kümesi" görünümündedir. Silsilenin sonlanması sonucunda yapılacak ileri değerlendirmelerle bu durum daha da belirginlik kazanacaktır.

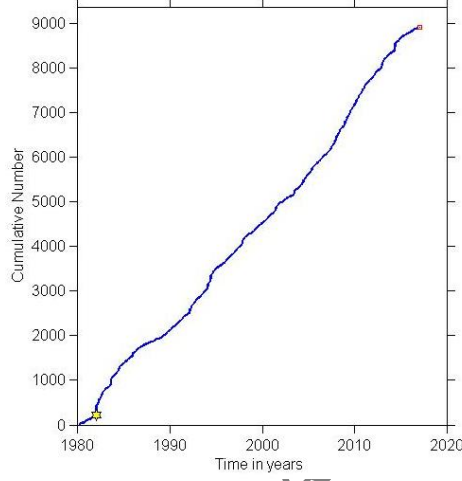
#### 4. Geri Plan Depremsellik Analizi

Geri plan depremsellik analizi için Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) deprem kataloğu ve ZMAP adlı paket bilgisayar yazılımı (Wiemer, 2001) kullanılmıştır. 1900 yılından bu yana oluşan depremleri içeren katalogun çalışma için seçilen alana (Şekil 2) ait kısmının ön analizinde 1980 yılı sonrası yaklaşık  $M_L \geq 2.9$  depremler için aşağı yukarı homojen olduğu değerlendirilmiştir (Şekil 3). Böylelikle sonraki analizler için katalogun 1980 yılı sonrası olan kısmındaki  $M_L \geq 2.9$  depremler kullanılmış ve katalog üzerinde arındırma işlemi (declustering) uygulanmıştır (Şekil 4). Arındırılmış deprem kataloguna ait magnitüd-sayı ve zaman-sayı histogramları Şekil 5'de verilmiştir. Ardından depremsellik çalışmalarında önemli bir yer tutan Gutenberg-Richter (G-R) ilişkisi (Gutenberg and Richter, 1944) belirlenmiştir. Bu bağıntı

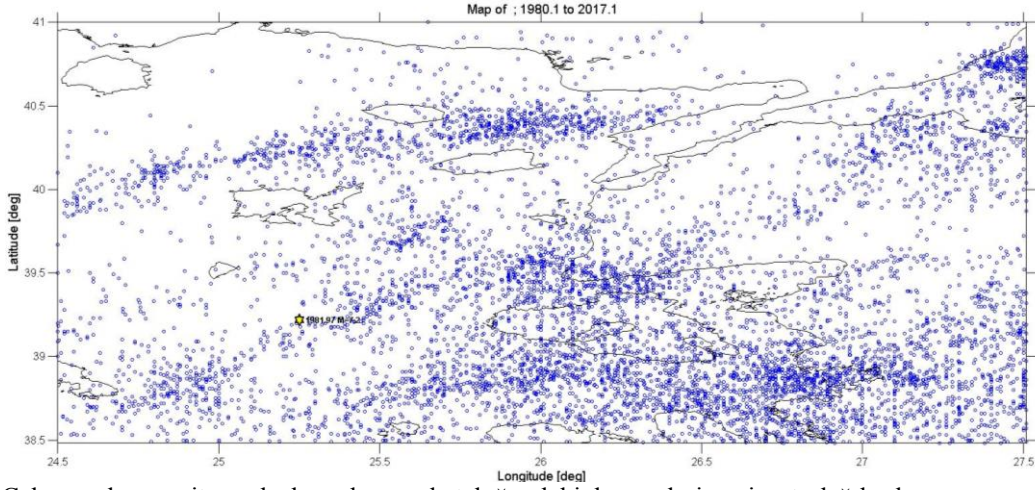


$$\text{Log } N(M)=a-bM$$

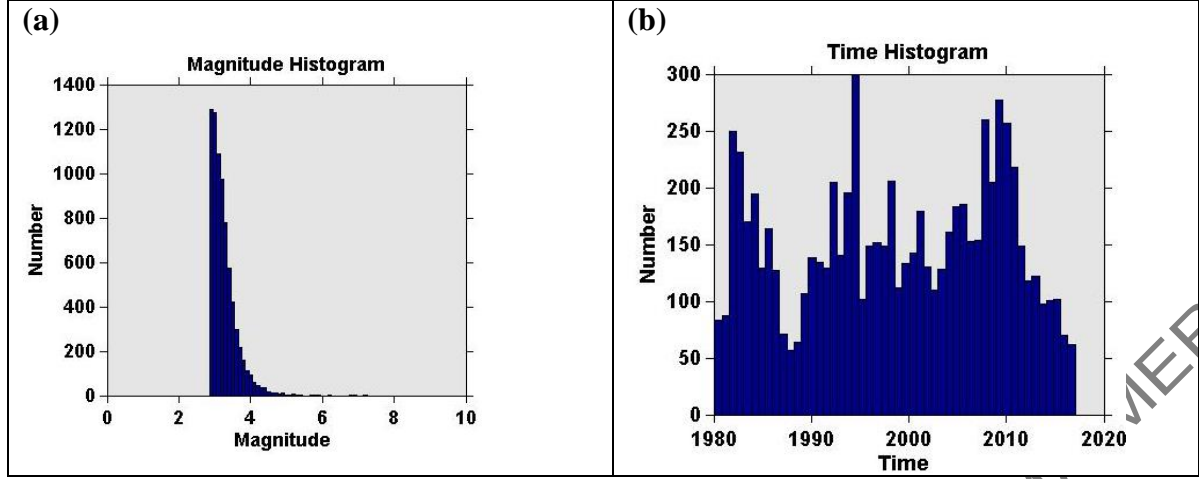
şeklindedir ve depremlerin oluş sayısının deprem magnitüdü arttıkça hızlı bir şekilde azaldığını ifade eder. Burada  $N$  belli bir magnitüdden büyük deprem sayısı,  $M$  magnitüd ve  $a$  ve  $b$ 'se sabitlerdir.  $G-R$  bağıntısı geri plan depremsellikten belirlendikten sonra hedeflenen bir magnitüd ( $M_h$ ) için o bölgedeki deprem tekrarlanma zamanı ( $T_R$ ).



Şekil 3. Ham deprem katalogundan çıkarılan 1980-2017 arası  $M \geq 2.9$  depremlerin kümülatif sayılarının zamanla değişimi



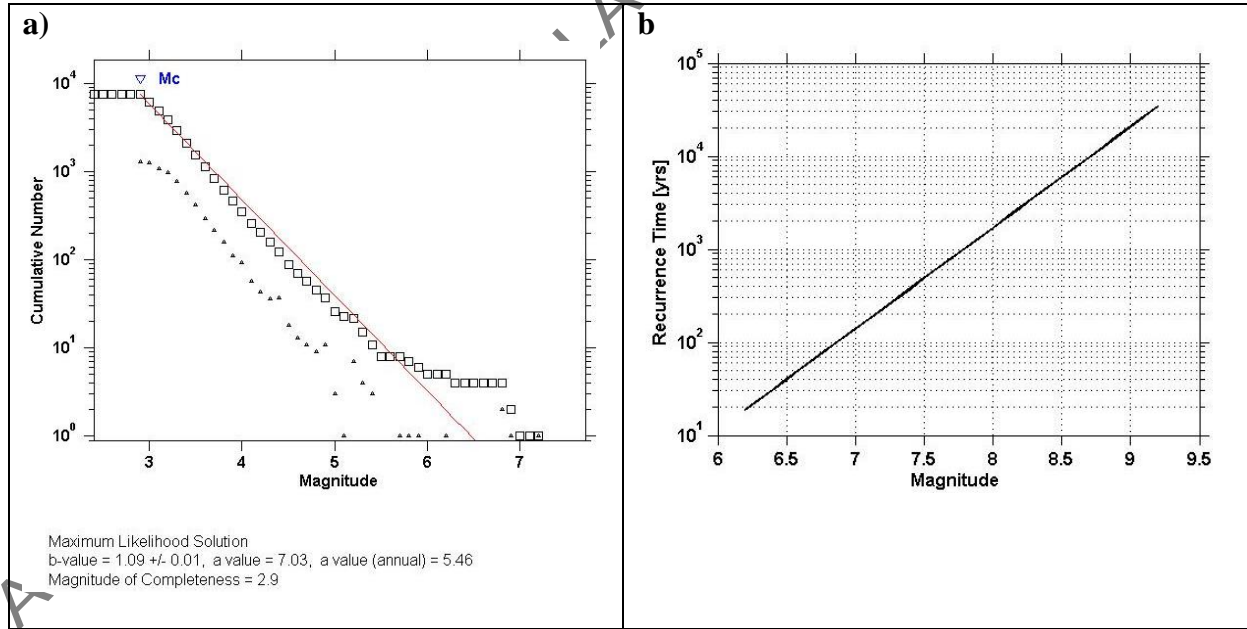
Şekil 4. Çalışma alanına ait arındırılmış deprem katalogundaki depremlerin episantr dağılımları.



Şekil 5. Çalışma alanına ait arındırılmış deprem kataloğundaki depremlerin (a) magnitüd ve (b) zaman histogramları.

$$T_R = \frac{\Delta T}{10^{(a-bM_h)}}$$

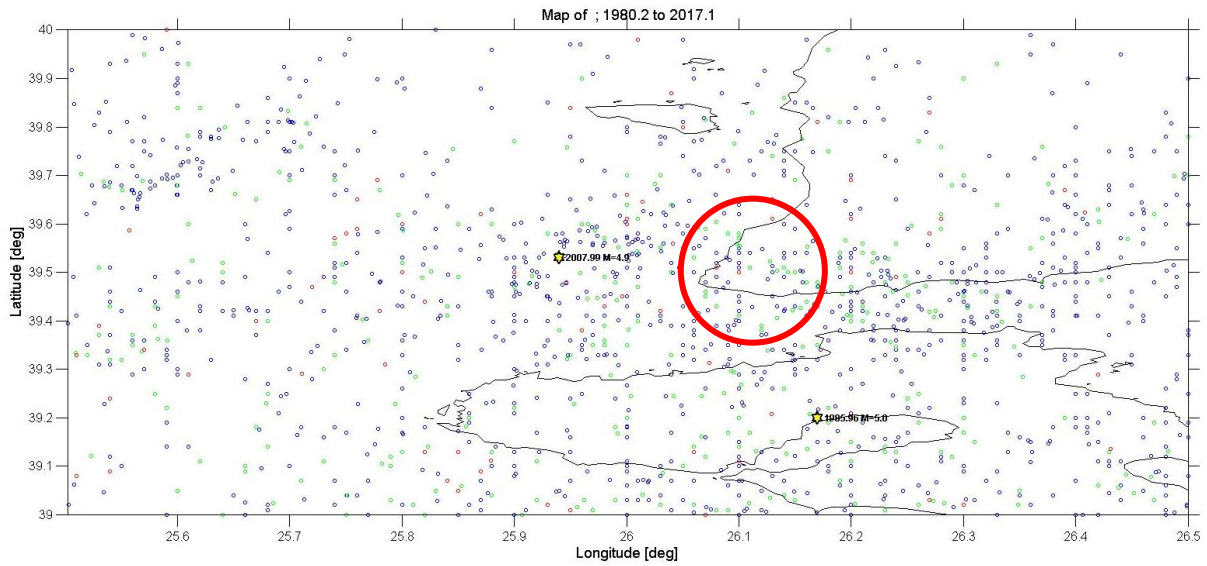
bağıntısı ile kolayca hesaplanabilir (Wiemer ve Wyss, 1997). Burada  $\Delta T$  depremselik kataloğunun kapsadığı zaman aralığını temsil etmektedir.  $G-R$  bağıntısının belirlenmesinde En Büyük Olasılık Yöntemi (Aki, 1965) kullanılmıştır.



Şekil 6. Çalışma alanı için belirlenen (a) Gutenberg-Richter ilişkisi ve (b) bu ilişkiden hesaplanan deprem tekrarlanma zamanları.

Episantr dağılımı Şekil 4’de verilen depremsellik için belirlenen  $G-R$  ilişkisi Şekil 6a’da ve bu ilişki yardımıyla çalışma için hesaplanan magnitüde göre deprem tekrarlanma zamanları Şekil 6b’de verilmiştir.  $b$  değeri küresel ortalama (yani 1) civarında 1.09 bulunmuştur.  $M > 6$

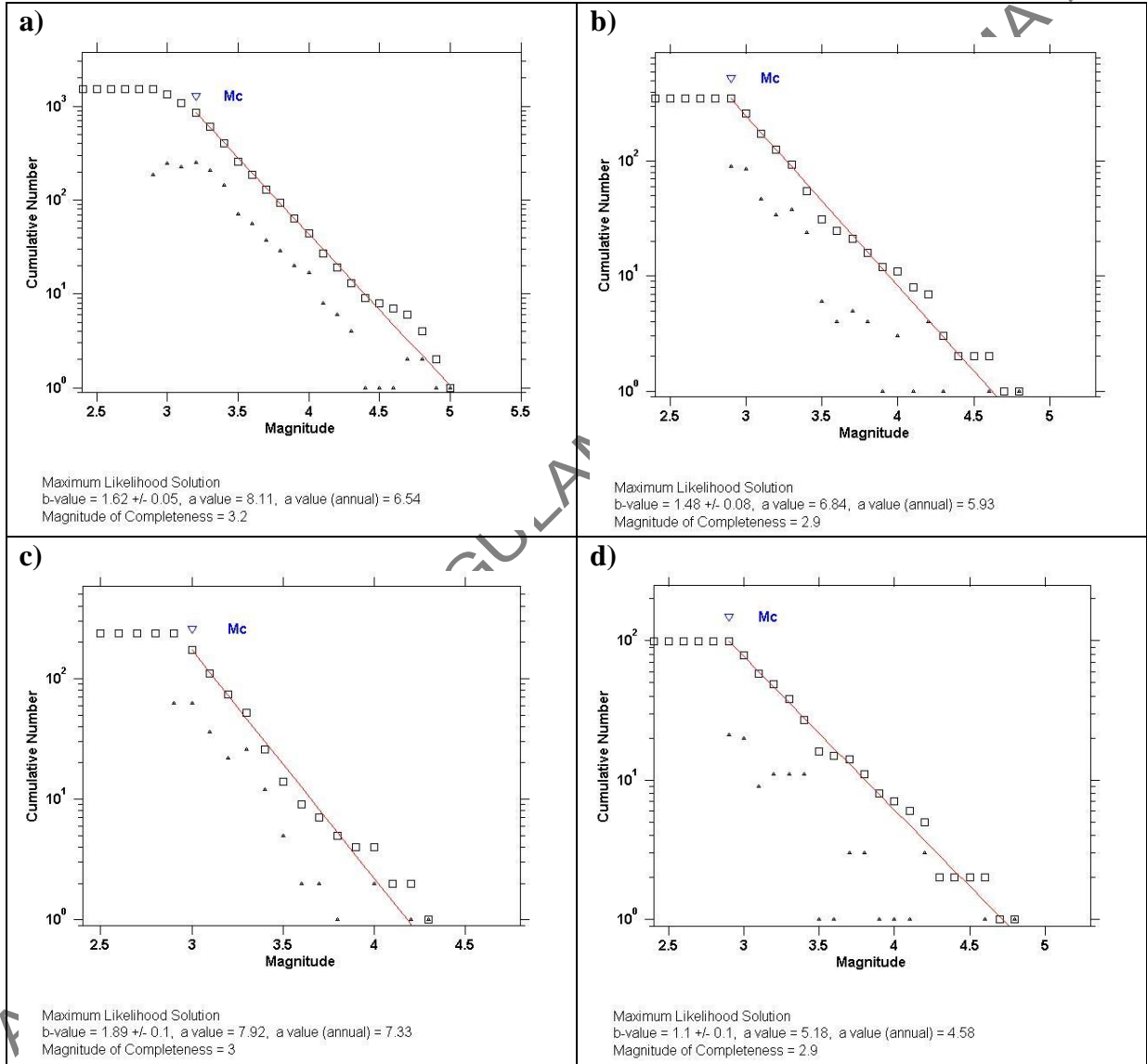
depremler için verilerin  $G-R$  ilişkisini veren doğrudan sapma, çalışma alanında yer alan fay segmentlerinin kendilerine özel büyüklükteki depremlerle kırılmaları nedeniyle olabileceği değerlendirilmiştir. Hesaplanan deprem tekrarlanma zamanları çalışma alanında  $M=6.5$  büyüklüğünde bir depremin 40 yılda bir,  $M=7.0$  büyüklüğünde bir depremin 150 yılda bir ve  $M=7.0$  büyüklüğünde bir depremin 500 yılda bir olabileceğine istatistiksel olarak işaret etmektedir. Ancak, Şekil 6'da verilen gerek  $G-R$  ilişkisinin gerekse deprem tekrarlanma zamanlarının çalışma alanındaki fay popülasyonuna ait deprenselliğin bir ortalamaşını yansıttığı hatırlatılmalıdır. Yine de hesaplanan tekrarlanma zamanları bir ortalamaşını yansıtsalar da inceleme alanında yüksek bir deprem tehlikesine işaret etmektedirler.



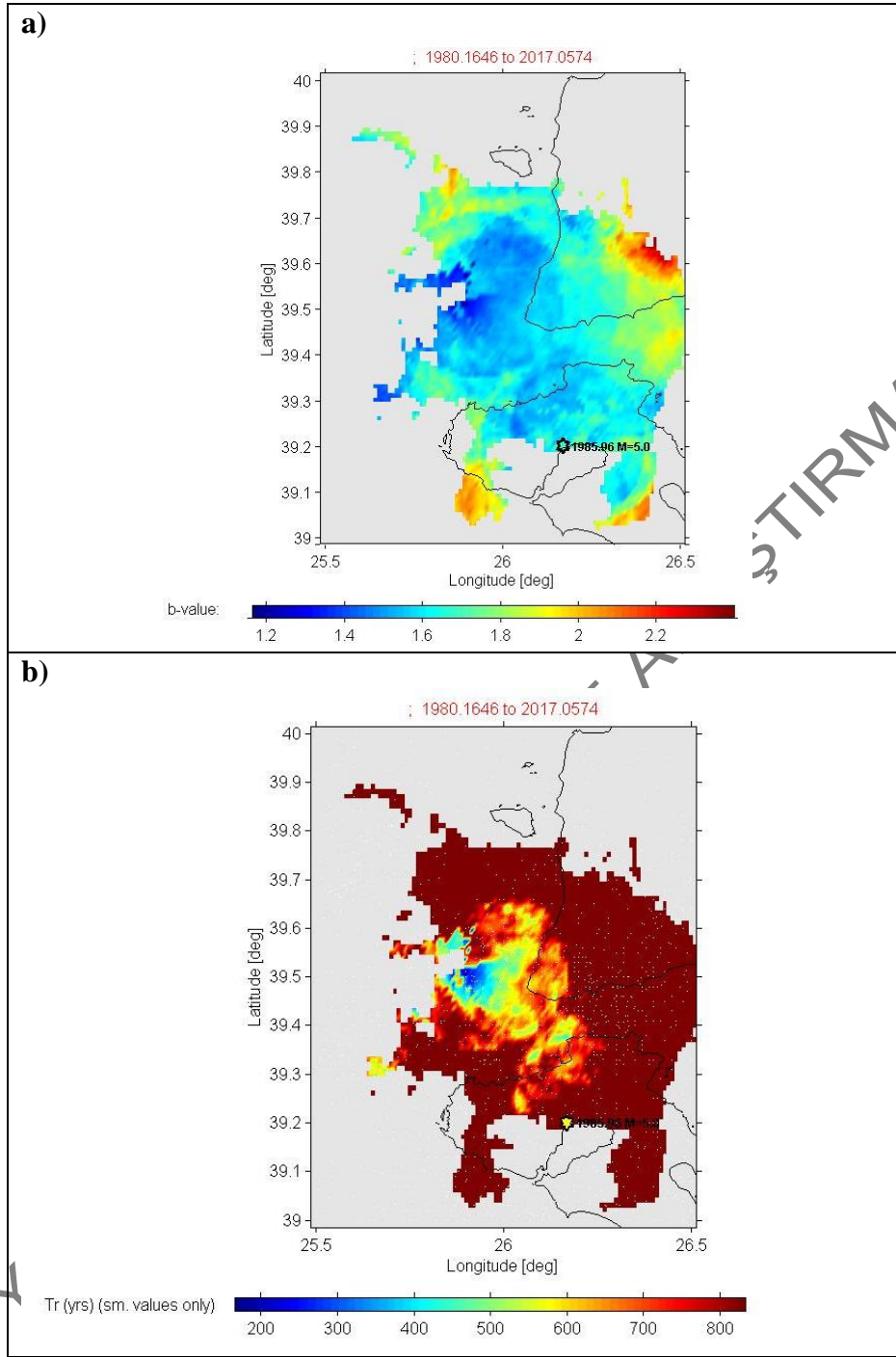
**Şekil 7.** Şubat 2017 Ayvacık deprem silsilesi yakın civarının 1980 ile silsile başlangıcı arasındaki zaman dilimi içindeki geri plan deprenselliği. Kırmızı daire silsilenin  $M_L \geq 5.0$  depremlerinin episantrlarının olduğu alanı çevrelemektedir.

Şubat 2017 Ayvacık deprem silsilesinin meydana geldiği bölgenin sismotektonik özelliklerini daha iyi yansıtaacağı düşünülerek, etkinliğin hemen civarındaki geri plan deprensellik (Şekil 7) odaklanılarak ve ayrıntılı olarak analiz edilmiştir.  $G-R$  ilişkileri 4 farklı dönemde hesaplanarak karşılaştırılma yapılması amaçlanmıştır. Bu zaman dönemleri 1980-Ocak 2017, Ocak 2009-Ocak 2017, Ocak 2009-Ocak 2013 ve Ocak 2013-Ocak 2017 dönemleridir. İlk dönem analiz için seçilen kataloğun süresidir. Ayvacık deprem silsilesinin en yakınında ve en yakın geçmişte meydana gelen ana şok olan 8 Ocak 2013 Kuzey Ege depremi ( $M_W=5.7$ ) dikkate alınarak 4. dönem ve karşılaştırma amaçlı olarak benzer uzunlukta bu ana şok öncesi 3. dönem seçilmiştir. 2. dönem, 3 ve 4. dönemlerin toplamı olan bir zaman aralığını kapsamaktadır. Belirlenen  $G-R$  ilişkileri Şekil 8'de gösterilmiştir. Ocak 2009-Ocak 2013

döneminde anomalik şekilde yüksek olan  $b$  değerinin silsilenin hemen öncesinde Ocak 2013- Ocak 2017 döneminde anomalik olarak düşmesi bir deprem işaretçisi olarak alınabilecek ilginçlikte bir gözlem olarak görülmüştür. Yerkabuğundaki gerilme ile  $b$  değeri arasındaki ters orantı dikkate alındığında  $b$  değerinin silsilenin hemen öncesinde anomalik düşüşü silsile yakın çevresinde kabuktaki gerilmenin artışı olarak değerlendirilmiştir. Nitekim, Kiratzi vd. (2013) tarafından yapılan deprem gerilme değişim modellemesi de Ocak 2013 Kuzey Ege depreminin silsile bölgesinde gerilme artışına neden olduğuna işaret etmektedir.



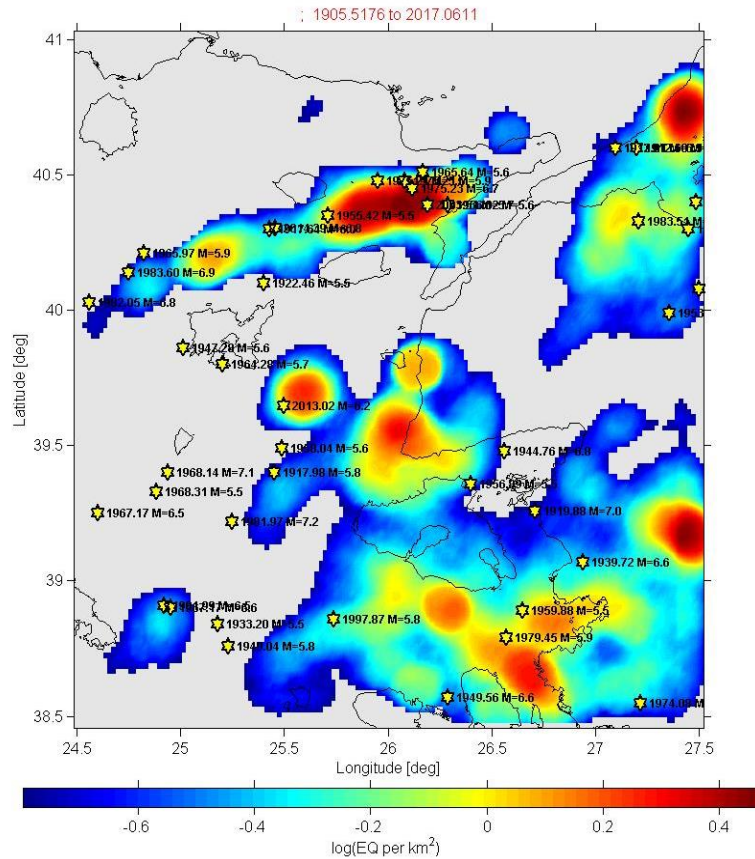
**Şekil 8.** Şubat 2017 Ayvacık deprem silsilesinin Şekil 7’de verilen geri plan deprenselliği için 4 farklı zaman periyodunda hesaplanan  $G$ - $R$  ilişkileri. (a) 1980-2017, (b) 2009-2017, (c) Ocak 2009- Ocak 2013 ve (d) Ocak 2013- Ocak 2017 dönemleri için  $G$ - $R$  ilişkileri verilmiştir. Ocak 2009- Ocak 2013 döneminde  $b$  değerinin anomalik şekilde yükselip silsilenin hemen öncesinde Ocak 2013-Ocak 2017 döneminde anomalik olarak düşüşüne dikkat ediniz.



**Şekil 9.** Şubat 2017 Ayvacık deprem silsilesinin yakın civarındaki 1980 yılı sonrası geri plan depremsellik (bkz. Şekil 7) için hesaplanan  $G-R$  ilişkisi (a)  $b$  değeri uzaysal dağılım haritası ve (b) bu dağılım üzerinden  $M=5.5$  büyüklüğündeki bir deprem için hesaplanan tekrarlanma zamanları dağılımı. Gösterilen harita alanı içinde  $M=5.5$  büyüklüğündeki bir deprem için en kısa tekrarlanma zamanları silsilenin meydana geldiği fay basamağının (Bababurnu havzası) kuzey kesiminde belirlenmiştir.  $M=5.5$  büyüklüğündeki bir deprem için yaklaşık 180 yıllık tekrarlanma zamanı hesaplanmıştır.

Şubat 2017 Ayvacık deprem silsilesinin öncesinde  $b$  değerinde anomali değişimleri görülmesi üzerine  $b$  değeri uzaysal dağılımı haritalanmıştır (Şekil 9a). Uzaysal dağılım incelendiğinde göreceli olarak en düşük  $b$  değerlerinin silsilenin meydana geldiği çek-ayır

türü fay basamağının (Bababurnu havzası) kuzeyinde yer aldığı görülmektedir. Ancak, hesaplanan en düşük  $b$  değerleri 1.2 civarındadır ve  $b$  değerinin küresel olarak gözlenen ortalamasına göre yüksektir. Bu uzaysal dağılım üzerinden  $M=5.5$  büyüklüğündeki bir deprem için tekrarlanma zamanları dağılımı hesaplanmıştır. Silsile içindeki  $M \geq 5.0$  olan depremlerin Bababurnu havzasının doğu kenarı ile ilişkili karada uzanan faylar üzerinde meydana gelmesi ve en büyüğünün  $M=5.3$  büyüklüğünde olması ve havzanın kenarlarını sınırlayan fayların parçalı yapıda olması nedeniyle  $M=5.5$  büyüklüğünde bir deprem hedef magnitüd olarak makul görülmüştür. Bu yorumun KAFZ'nun Orta Kolunun Biga Yarımadası ve Kuzey Ege Denizi altında uzanan iki büyük sağ-yanal atımlı fay segmentleri için yapılmadığı, bu fay segmentleri arasında yer alan fay basamağı yani Bababurnu havzasını sınırlayan normal faylar için yapıldığı hatırlatılmalıdır. Gösterilen harita alanı içinde  $M=5.5$  büyüklüğündeki bir deprem için en kısa tekrarlanma zamanları silsilenin meydana geldiği fay basamağının kuzey kesiminde belirlenmiştir.  $M=5.5$  büyüklüğündeki bir deprem için 180 yıllık tekrarlanma zamanı hesaplanmıştır.



**Şekil 10.** İnceleme alanı içinde Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü katalogunda yer alan 1900 sonrası tüm depremlerden hesaplanmış deprem yoğunluğu uzaysal dağılımı ve aynı dönemde katalogda yer alan  $M \geq 5.5$  depremlerin episantr dağılımları (sarı yıldızlar).  $M \geq 5.5$  depremleri episantrlarının deprem yoğunluğunun en fazla olduğu alanlar (kırmızı alanlar) içine düşme eğilimlerine dikkat ediniz.

Tartışma konusu olabilecek bir husus da Bababurnu havzası içinde ya da bu havzaya neden olan KD-GB uzanımlı fay segmentlerinin üzerinde yeni bir deprem tehlikesi olup olmayacağıdır. Şekil 1'den görüleceği üzere havzayı oluşturan fay segmentlerinden batıda Ege Denizi altında uzananı 19 Aralık 1981 depremi ( $M_S=7.2$ ) ile kırılmıştır. Doğuda karada uzananlar için de belli bir dereceye kadar bir belirsizlik söz konusudur. 6 Ekim 1944 Edremit körfezi depremi ( $M_S=6.8$ ) körfezi kuzeyden sınırlayan normal fay üzerinde meydana gelmiştir (Barka ve Kadinsky-Cade 1988; Nalbant vd. 1998). Ancak, Biga Yarımadasında 1953 Yenice-Gönen depremlerinde kırılan fay segmentlerinin KB'sında uzanan fay segmentlerini kıran 6 Mart 1737 depreminin kırılma uzanımında belirsizlik söz konusudur. Eğer, bu fay segmentlerinden GB'da Edremit körfezine doğru uzananları bu depremde kırılmamışsa gelecek için bir tehlike oluşturacaktır. Bu durumun aydınlatılması için ileri çalışmalara özellikle paleosismolojik çalışmalara ihtiyaç vardır.

Bababurnu havzası içinde ve hemen civarında küresel ortalamalara göre yüksek  $b$  değerleri gözlenmesi ve  $M=5.5$  büyüklüğündeki bir deprem için bile 180 yıllık tekrarlanma zamanı hesaplanması daha küçük bir deprem tehdidine işaret etmektedir. Şekil 10'da inceleme alanı içinde KRDAE kataloğu içinde yer alan 1900 sonrası tüm depremlerden deprem sayısı yoğunluğu uzaysal dağılımı hesaplanmıştır. Bu uzaysal dağılım üzerinde aynı dönemdeki  $M \geq 5.5$  depremlerin episantrları genel olarak deprem yoğunluğunun en fazla olduğu alanların kenarlarında ya da dışında yerleştiği görülmektedir. Deprem sayılarının fazla olması küçük depremlerin fazlalığına dolayısıyla fay segmentleri arasındaki çek-ayır yapıları gibi fayların göreceli olarak kısa olduğu heterojen bölgeleri temsil etmektedir. Bir çek-ayır yapısı sonucu gelişen Bababurnu havzasında da deprem sayı yoğunluğu fazladır. Bu durumda, Bababurnu çek-ayırında  $M \geq 5.5$  deprem olasılığının çok düşük olduğu söylenebilir.

## 5. Sonuçlar

Bu rapor kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

1. Şubat 2017 Ayvacık deprem silsilesi KAFZ'nun fay segmentleri arasında oluşmuş çek-ayır yapısı ile ilişkili faylar boyunca oluşmuştur. Deprem silsilesi içinde yer alan  $M_w \geq 5.0$  depremler için bölgesel kayıtlardan yapılan Centroid Moment Tensör çözümlerinin normal faylanmalara işaret etmesi silsilenin çek-ayır yapısı ile ilişkisini doğrulamaktadır.

2. KRDAE kataloğundan alınan 1980 sonrası arındırılmış geri plan deprenselliğın analizi silsileden önce depremlerde magnitüd-frekans ilişkisi  $b$  değeriinde anomalik değışimler olduğunu göstermiştir. Ocak 2009 ile Ocak 2013 arasında 1.89 olan  $b$  değeri 8 Ocak 2013 Kuzey Ege depreminin ( $M_w=5.8$ ) oluşumunu izleyen dönemde 1.1'e azalmaktadır.
3.  $b$  değeriindeki anomalik azalım silsile öncesi sismojenik kabuktaki gerilme artışının bir işareti olarak yorumlanmıştır.
4. 1980 sonrası deprensellik için  $G-R$  ilişkisinin uzaysal dağılımından  $M=5.5$  büyüklüğündeki bir hedef deprem için deprem tekrarlanma zamanlarının hesaplanması sonucu en kısa  $T_R$  değeri yaklaşık 180 yıl olarak bulunmuştur.

### **Katkı Belirtme**

Bu çalışma Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Tarafından Desteklenmiştir. Proje Numarası: 2012-01-14-005. Bu bağlamda, yazarlar belirtilen projenin çalışmanı H. Yalçın'a teşekkür ederler.

### **DEĞİNİLEN KAYNAKLAR**

AFAD 2017a, Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı. 06.02.2017. Ayvacık-Çanakkale Depremi, Ön Bilgi Formu.

AFAD 2017b, Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı. 12.02.2017. Ayvacık-Çanakkale Depremi, Ön Bilgi Formu.

Aki, K., 1965. Maximum likelihood estimate of  $b$  in the formula  $\log N = a - bM$  and its confidence limits. Bulletin of the Earthquake Research Institute, Tokyo Univ., 43, 237-239.

Ambraseys, N. N., 2001. Reassessment of earthquakes, 1900-1999, in the Eastern Mediterranean and the Middle East. Geophys. J. Int. 145, 471-485.

Ambraseys, N. N., 2009. Earthquakes in the eastern Mediterranean and the Middle East: a multidisciplinary study of 2,000 years of seismicity, Cambridge University Press

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

Caputo, R., Chatzipetors, A., Pavlides, S., Sboras, S., 2012. The Greek Database of Siesmogenic Sources (GreDaSS): state-of-the-art for northern Greece. Annals of Geophysics. 55, 5. Doi: 10.4401/ag-5168.



Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Olgun, Ş., Elmacı, H. 2012. 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Van (NJ 38-5) Paftası. Seri No: 52, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.

Gutenberg, R. and Richter, C.F., 1944. Frequency of earthquakes in California. Bulletin of the Seismological Society of America, 34, 185-188.

Jolivet, L., Faccenna, C., Huet, B., Labrousse, L., Pourhiet, L., Lacombe, O., Lecomte, E., Burov, E., Denele, Y., Brun, J., P., Philippon, M., Paul, A., Salaün, G., Karabulut, H., Piromallo, C., Monie, P., Gueydan, F., Okay, A., Oberhansli, R., Pourteau, A., Auiger, R., Gadenne, L., Driussi, O., 2012. Aegan Tectonics: Strain localisation, slab tearing and trench retreat. Tectonophysics. Tecto-125491, 33.

Kiratzi, A. A., & Sviskas, N., 2013. A study of the 8 January 2013 Mw5.8 earthquake sequence (Lemnos Island, East Aegean Sea). Tectonophysics, 608, 452-460.

Koukouvelas, I. K., and A. Aydın, 2002. Fault structure and related basins of the North Aegean Sea and its surroundings, Tectonics, 21(5), 1046, doi:10.1029/2001TC901037.

Kürçer, A., Yalçın, H., Gülen, L., Kalafat, D., 2014. 8 January 2013 Mw = 5.7 North Aegean Sea earthquake and its seismotectonic significance, Geodinamica Acta, DOI: 10.1080/09853111.2014.957503.

Kürçer, A., Özdemir, E., Uygun, Güldoğan., Duman, T. Y., 2016. Paleoseismic Trenching along the Central part of Fethiye Burdur Fault Zone, SW Turkey, EGU General Assembly 2016, held 17-22 April, 2016 in Vienna Austria, p.7170

Leptokarpoulos, K., M., Papadimitriou, E., E., Orlecka-Sikora, B., and Karakostas, V., G., 2012. Seismicity rate change in association with the evolution of the stress field in northern Aegean Sea, Greece. Geophys. J. Int. 188, 1322-1388.

MTA 2017. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. 6-13 Şubat 2017. Ayvacık-Çanakkale Depremlerinin Ön Değerlendirmesi.

Müller, M., D., Geiger, A., Kahle, H., Veis, G., Billiris, H., Paradissis, D., and Felekis, S., 2012. Velocity and deformation fields in the North Aegean domain, Greece, and implications for fault kinematics, derived from GPS data 1993-2009. Tectonophysics.

Nyst, M., and Thatcher, W., 2004. New constraints on the active tectonic deformation of the Aegean, J. Geophys. Res., 109, B11406, doi:10.1029/2003JB002830.

Nalbant, S.S., Hubert, A. & King, G.C.P., (1998). Stress coupling between earthquakes in northwest Turkey and the north Aegean Sea, J. geophys. Res., 103, 24 469–24 486.

Pondard, N., Armijo, R., King, G.C.P., Meyer, B. and Flerit, F., 2007. Fault interactions in the Sea of Marmara pull-apart (North Anatolian Fault): earthquake clustering and propagating earthquake sequences. Geophysical Journal International, 171, 3, 1185- 1197.

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., Enren, E., Dmitrova, 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, doi:10.1029/2005JB004051.

Saltogianni, V., M. Gianniou, T. Taymaz, S. Yolsal-Çevikbilen, and Strios, S., 2015. Fault slip source models for the 2014 Mw=6.9 Samothraki-Gökçeada earthquake (North Aegean Trough) combining geodetic and seismological observations, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 120, 8610–8622, doi:10.1002/2015JB012052.

Sokos, E., and Zahradnik, J., 2013. Evaluating Centroid-Moment-Tensor Uncertainty in the New Version of ISOLA Software, *Seismological Research Letters*, 84, 656-665. Doi:10.1785/0220130002.

Şengör, A.M.C., Tüysüz, O., Imren, C., Sakıncı, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Le Pichon, X. and Rangin, C., 2005. The North Anatolian Fault: A new look. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 33, 37–112.

Taymaz, T., Jackson, J., and McKenzie, D., 1991. Active tectonics of the north and central Aegean Sea, *Geophys. J. Int.* 106, 433-490.

Taymaz, T., Kasahara, J., Hirn, A., Sato, T. 2001. Investigations of micro-earthquake activity within the Sea of Marmara and surrounding regions by using ocean bottom seismometers (OBS) and land seismographs: initial results. In *Proc Symp Seismotectonics of the north-western Anatolia-Aegean and recent Turkish earthquakes*, Istanbul (pp. 42-51).

Wiemer, S., 2001. A software package to analyse seismicity: ZMAP. *Seismological Research Letters*, 72(3), 373–382.

Wiemer, S. and Wyss, M., 1997. Mapping the frequency-magnitude distribution in asperities: an improved technique to calculate recurrence times? *Journal of Geophysical Research*, 102, 15115-15128.

Yaltrak, C., İşler, E., B., Aksu, A., E., Hiscott, R., N., 2012. Evolution of the Bababurnu Basin and shelf of the Biga Peninsula: Western extension of the middle strand of the North Anatolian Fault Zone, Northeast Aegean Sea, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 57, 103-119.

Yılmaz, Y., & Karacık, Z. 2001. Geology of the northern side of the Gulf of Edremit and its tectonic significance for the development of the Aegean grabens. *Geodinamica Acta*, 14(1-3), 31-43.