



# MTA Yerbilimleri ve Madencilik Dergisi

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



## Çakırlı (Karabiga-Çanakale) deprem kümesi ve kaynağı: Yeni aktif faylar, Güneybatı Marmara Denizi –Türkiye

Ali KOÇYİĞİT<sup>a</sup> \* ve Doğan KALAFAT<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Aktif Tektonik ve Deprem Araştırma Laboratuvarı, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye

<sup>b</sup>Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

Araştırma Makalesi

### Anahtar Kelimeler:

Çakırlı-Karabiga, Deprem Kümesi, Sismik Boşluk, Diri Fay, Olası Diri Fay.

### ÖZ

Çalışma alanı, Marmara Denizi'nin güneybatı kıyısında yer alan Karabiga İlçesi ve yakın çevresini içermektedir. 15 Şubat-1 Mart 2019 tarihleri arasında Çakırlı Köyü ve yakın çevresinde, küçük ve sığ odaklı bir seri deprem meydana gelmiştir. Oluşum zamanı ve büyüklükleri baz alındığında, Çakırlı deprem kümesi olarak adlandırılan bu sismik etkinlik farklı büyüklükteki depremlerden oluşmaktadır. Önceki çalışmalarda, bu alanda herhangi bir aktif fayın varlığına ilişkin bir çalışma bulunmamaktadır. Deprem kümesi ve kaynağı, yakın gelecekte oluşacak yıkıcı depremlere ilişkin önemli veriler sunabilme potansiyeline sahiptir. Çünkü, bu tür deprem kümeleri yakın çevredeki sismik boşluklara sahip alanlar için tetikleyici etki oluşturabilmektedirler. Bu nedenle, Karabiga ve çevresinde ayrıntılı saha çalışması yapılmış ve jeolojik haritalama ve sismolojik veriler yardımıyla, bazı aktif ve potansiyel aktif faylar saptanmış, haritalanmış ve adlanmıştır. Bunlardan bazıları Çakırlı-Örtülüce, Şahmelek, Karabiga, Priapolis, Geyikkırı, Bozlar, Çınardere, Karapürçek ve Boranlı faylarıdır. Episantr dağılımı, odak derinliği ve deprem odak mekanizma çözüm diyagramları baz alındığında, Karabiga ve Boranlı faylarının aktif olduğu, Çakırlı deprem kümesinin kaynağının sağ-yanal doğrultu atımlı Boranlı Fayı olduğu ortaya konmuştur.

Gönderim Tarihi: 04.07.2024

Kabul Tarihi: 18.10.2024

### Keywords:

Çakırlı-Karabiga, Earthquake cluster, Seismic Gap, Active Fault, Potential Active Fault.

### ABSTRACT

The study area is Karabiga County and its near environ. It is located at the southwestern coast of Marmara Sea. A series of small and shallow-focus earthquakes occurred in a time slice of 15th February-1st March 2019 around Çakırlı Village in this area. The Çakırlı Earthquake cluster is made up of unequal earthquakes based on both the occurrence time and magnitude. Existence of any active fault has not been reported yet from this area in the previous studies. This earthquake cluster and its source have a great significance in the nearby seismic gaps, which are the potential areas of near future big destructive earthquakes. Because, such an earthquake cluster may add extra elastic strain energy to the nearby seismic gaps and may trigger them. For this reason, a detailed field study was carried out in the Karabiga area. In terms of both the field geological mapping and seismological data, a series of active and potential active faults were determined, mapped and named in the study area. Some of them are the Çakırlı-Örtülüce, Şahmelek, Karabiga, Priapolis, Geyikkırı, Bozlar, Çınardere, Boranlı and Karapürçek faults. Based on the epicenters distribution, focal depth and focal mechanism solution diagrams, both the Karabiga and Boranlı faults are active, and the source of the Çakırlı earthquake cluster is the Boranlı dextral strike-slip fault.

Received Date: 04.07.2024

Accepted Date: 18.10.2024

Atf Bilgisi: Koçyiğit, A., Kalafat, D. 2024. Çakırlı (Karabiga-Çanakale) deprem kümesi ve kaynağı: Yeni aktif faylar, Güneybatı Marmara Denizi – Türkiye. MTA Yerbilimleri ve Madencilik Dergisi 6, 21-32.

\*Başvurulacak yazar: Ali KOÇYİĞİT, [alikocyigit45@gmail.com](mailto:alikocyigit45@gmail.com)

## 1. Giriş

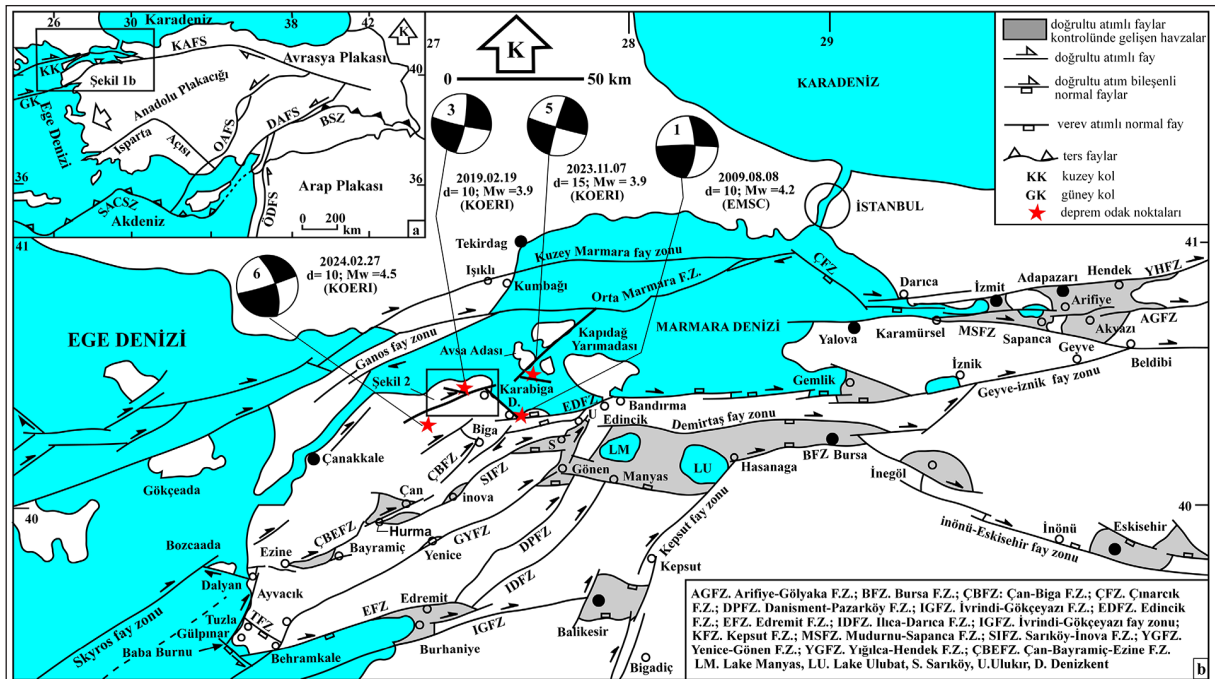
Türkiye ve çevresinin tektonik yapısı dört ana fay sistemi ile temsil edilir. Bunlar sırayla Kuzey Anadolu sağ-yanal doğrultu atımlı Fay Sistemi, Doğu Anadolu sol-yanal doğrultu atımlı Fay Sistemi, Ölü Deniz sol-yanal doğrultu atımlı Fay Sistemi ve Güney Ege-Kıbrıs Yitim zonudur. İlk iki fay sistemi Anadolu Levhası'nın kenar fayları olup Anadolu Levhası bu kenar fayları boyunca, Erken Kuvaterner'den (yaklaşık 2.6 My) günümüze güneybatı yönde hareket etmekte ve bu hız güneybatı Anadolu ve Ege'de daha da artmaktadır (Şekil 1a). Kuzey Anadolu Fay Sistemi (KAFS), Marmara Denizi, Biga-Gelibolu yarımadaları ve Kuzey Ege'de farklı uzunluk ve doğrultulara sahip çok sayıda fay kuşağı, fay takımı ve tekil faydan oluşmaktadır. Bu yapılardan bazıları 120 km genişliğe kadar ulaşabilmektedir (Şekil 1b). Bu çalışmaya konu olan alan Marmara Denizi'nin güneybatı kesimindeki Karabiga İlçesi ve çevresidir (Şekil 1b'de dikdörtgen ile gösterilen alan). Günümüze değin, bu alan içinde herhangi bir aktif fay haritalanmamıştır. Bu çalışma kapsamında yapılan ayrıntılı saha çalışması ve jeolojik haritalama, Karabiga ve çevresinde bazı aktif fayların

varlığını ortaya koymuştur. Bu yeni gözlem ve bulgu, 15 Şubat-1 Mart 2019 tarihleri arasında büyüklükleri 0.7 ile 4.1 arasında değişen 117 küçük depremin oluşumuyla doğrulanmıştır.

Bu çalışma, haritalanan aktif fayların tanıtılmasının yanı sıra, küçük deprem kümesinin (earthquake cluster) kaynağı ve önemini açıklamayı amaçlamaktadır. Bu çalışmada kullanılan veriler arazi ve ofis çalışmalarıyla elde edilmiştir. Bunlar T-TECTO 3.0 bilgisayar programını, uydu görüntülerini, arazi fotoğrafı ve 1/25.000 ölçeğinde ayrıntılı arazi jeoloji haritalaması çalışmalarını kapsar. Bu çalışma aynı zamanda fay aynalarından kayma verilerinin (fayın doğrultusu, eğim miktarı ve yan yatım miktarı gibi) ölçümü ve analizi, deprem odak mekanizması çözümlerinin birlikte değerlendirilmesi ile gerçekleştirilmiştir.

## 2. Çalışma Alanının Genel Stratigrafik Özellikleri

Çalışma sahasında iki kaya topluluğu yüzeyler. Bunlar: (1) Kuvaterner öncesi temel kayalar ve (2) Kuvaterner yaşlı havza dolgusudur. Yaşlı temel kaya topluluğu, (a) Triyas-Jura yaşlı başkalaşım



Şekil 1- a) Türkiye ve çevresinin plaka tektoniği çatısını ve önemli tektonik yapıları gösteren yalınlaştırılmış harita. BSZ: Bitlis Kenet Kuşağı, DAFS: Doğu Anadolu Fay Sistemi, KAFS: Kuzey Anadolu Fay Sistemi, KK: Kuzey kol, GK: Güney kol, OAFS: Orta Anadolu Fay Sistemi, ÖDFS: Ölü Deniz Fay Sistemi; b) Kuzey Anadolu Fay Sistemi'nin Marmara, Biga, Kuzey Ege kesimini oluşturan önemli fay-fay kuşaklarını ve çalışma alanını gösteren yalınlaştırılmış neotektonik harita.

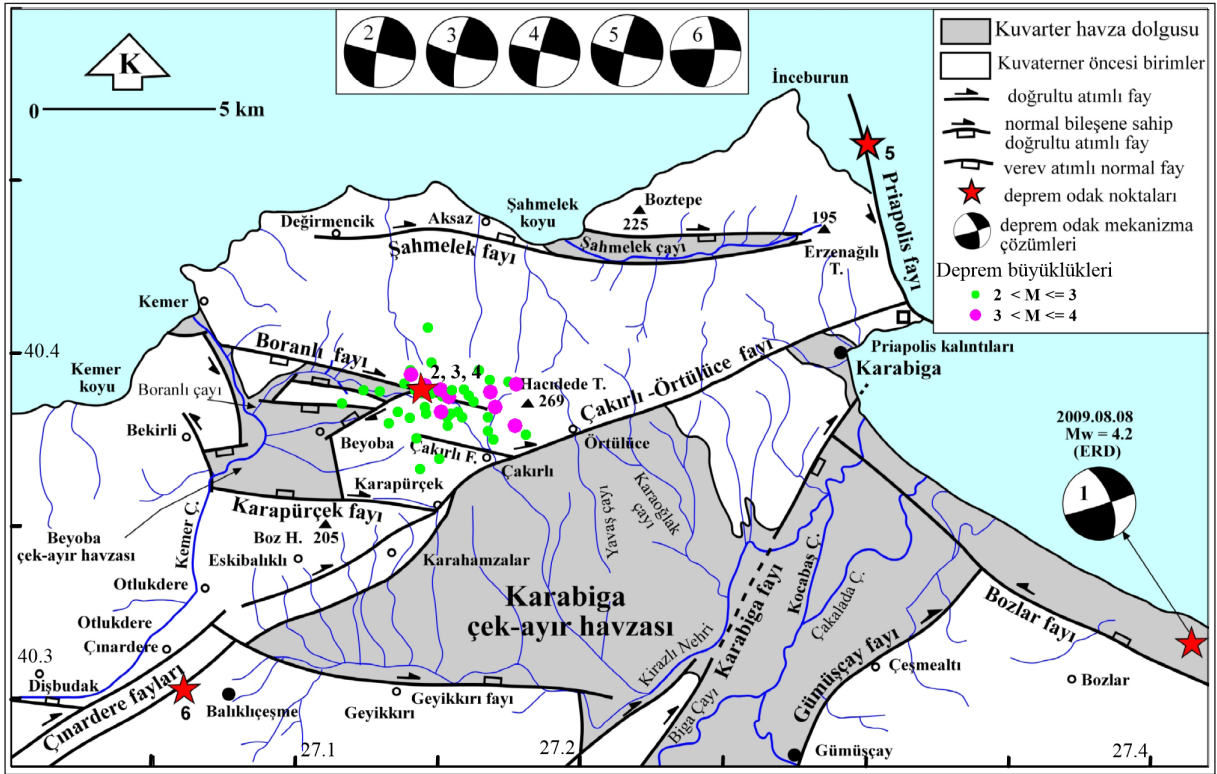
(metamorfik) kayaları, (b) Kretase-Erken Paleosen yaşlı ofiyolitik karmaşık (melanj) ve (c) Orta Eosen yaşlı granitoidlerden oluşur. Yaşlı kaya topluluğu, makalenin amacı dışında olduğu için ayrı ayrı haritalanmamıştır. Bununla birlikte bu kayaların genel özellikleri kısaca açıklanmıştır. Çünkü temel kayalar, yeni yerleşim alanlarının yer seçiminde büyük öneme sahiptir. Başkalaşım kayaçlar çoğunlukla iyi yapraklanmış, gri-koyu gri, kırmızı ve kahve renkli kuvars-mikaşist, metakuvarsit, amfibolit, gnays, mermer ve fillit ardaşımından oluşmakta olup yer yer 10-300 metre uzunlukta serpantin ara düzeyleri içerir. Bu kayaçlar, önceki çalışmalarda “Çamlıca Metamorfitleri” ve “Karabiga Masifi” olarak adlandırılmış ve rapor edilmiştir (Okay vd., 1990; Yiğitbaş vd., 2015). Diğer temel kaya topluluğu ofiyolitik melanjdir. Tektono-sedimanter bir karmaşık olan bu kaya topluluğu, egemen olarak şeyl ve ofiyolitik kırıntılar içeren türbiditik ve killi bir hamur içinde yer alan değişik büyüklük ve yaşa sahip bloklardan oluşur. Bu bloklar genellikle Permian-Triyas yaşlı kireçtaşı, Triyas-Jura yaşlı ve ince katmanlı çörtlü pelajik kireçtaşları, kalın katmanlı rekristalize kireçtaşları, radyolaryalı çörtlü radyolarit, spilit, diyabaz, serpantin ve Geç Kretase-Erken Paleosen yaşlı türbiditik kumtaşı-şeyl aralanmasından oluşan derin denizel istifdir. İç Pontid Keneti’nden kaynaklanmış olan bu kaya topluluğu önceki çalışmalarda “Çetmi Karmaşığı” olarak tanımlanmıştır (Okay vd., 1990; Yiğitbaş vd., 2015). Metamorfikler ile Çetmi Karmaşığı arasındaki dokunak ilişkisi tektoniktir (küçük ve büyük açılı bindirme fayı). Üçüncü kaya birimi Karabiga Granitoidi’dir (Güçtekin vd., 2004). Karabiga Granitoidi granodiyorit, granit ve kuvarsmonzodiyoritten oluşur. K/Ar tarihleme yöntemine göre granodiyoritin yaşı  $45 \pm 0.9$  My (Orta Eosen) (Güçtekin vd., 2004). Gerek metamorfikler ve gerekse ofiyolitik birimler, oldukça yoğun deformasyon geçirmiş (makaslanmış ve kırılıp ezilmiş) ve Karabiga Granitoidi tarafından kesilip metamorfizmaya uğratılmıştır.

En genç kaya birimi Kuvaterner yaşlı havza dolgusudur. Oluşum yeri ve tane boyuta göre iri taneli havza kenarı ve ince taneli havza ortası sedimanter fasiyesleri ile temsil edilmektedir. Genel olarak havza dolgusu, yamaç döküntüsü, yelpaze-önlük

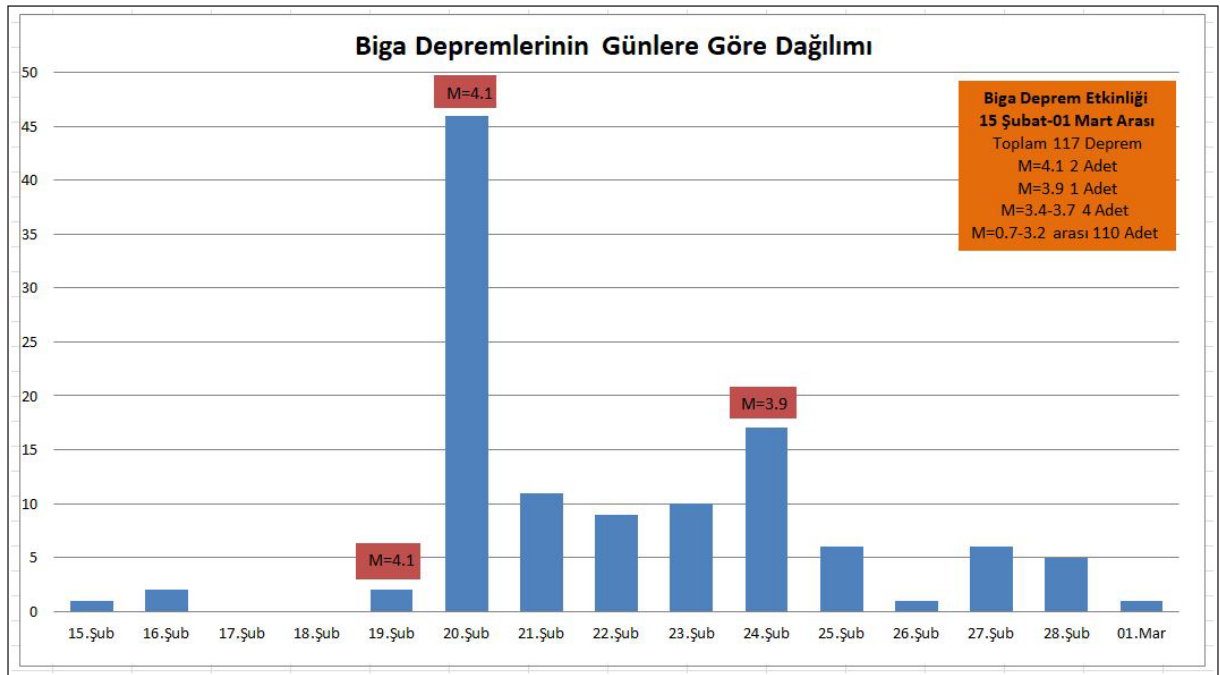
çökelleri, taşkın ovası, bataklık, delta ve denizel plaj sedimanlarından oluşur. Anılan bu fasiyesler deformasyon geçirmemiş olup birbirleriyle yatay ve düşey geçişler gösterir. Tane boyutu milimetreden bir metreye değin değişen sedimanlar çoğunlukla blok ve çakıl boyutunda olup daha yaşlı temel kayalardan türemişlerdir. Temel kayalar üzerinde açılı uyumsuzlukla yer alan havza dolgusunun kalınlığı birkaç metreden 100 metreye kadar değişebilmektedir. Gerek kıyı alanları ve gerekse önemli akarsu sistemlerinin taşkın ovalarında, havza dolgusu yüksek sınıvlaşma kapasitesine sahiptir. Karabiga İlçesi’nin büyük kesimi ve bazı köyler sınıvlaşma kapasitesi yüksek bu tür zeminler üzerinde yer almaktadır (Şekil 2).

### 3. Depremsellik

Çakırlı köyünün yaklaşık 1,5 km kuzeyinde, 15 Şubat 2019 tarihinde saat 23.24 de sığ odaklı (8,9 km) ve büyüklüğü 3.2 (Mw) olan bir deprem meydana gelmiştir (KOERI, 2019). Bu sismik olay, en yakın yerleşkenin adıyla Çakırlı depremi olarak adlandırılmıştır (Şekil 2). Bu deprem, 15 günlük bir süre içinde büyüklüğü 0,7 ile 4,1 arasında değişen toplam 117 küçük ve sığ deprem tarafından izlenmiştir (Şekil 2). Bu deprem etkinliği ya da deprem kümesi 2019 yılı Mart ayı sonuna değin devam etmiştir (KOERI, 2019). Depremlerin günlük dağılımı Şekil 3’te, büyüklüğü 2 ile 4.1 arasında değişen ve anılan deprem kümesini (Çakırlı deprem kümesi) oluşturan depremler ise Çizelge 1’de sunulmuştur. 46, 49, ve 50 numaralı depremlerin odak mekanizma çözümleri yapılmıştır (Şekil 2’de 2, 3 ve 4 no.lu çözüm diyagramları). Deprem çözümleri BKB doğrultulu ve güneybatıya eğimli düzlemler boyunca gerçekleşmiştir. Ayrıca çalışma alanı ve çevresinde en büyük asal sıkışmanın ( $\sigma_1$ ) KB-GD yönünde çalıştığını göstermektedir. Bu diyagramlar aynı zamanda, bu üç depremin ve diğer depremlerin Boranlı Fayı’ndan kaynaklanmış olduğunu göstermektedir (Şekil 2). Sonuç olarak, uzun süreli sismik boşlukların yakın çevresinde oluşacak bu tür deprem kümeleri, yakın çevredeki aktif faylara enerji aktarımının olmasına ve tetikleme etkisi yaparak büyük depremlerin oluşmasına yol açabilir. Bu nedenle uzun süreli sismik boşlukların yakın çevresinde gelişecek



Şekil 2- Çalışma alanının (Karabiga ve çevresi) sismotektonik haritası.



Şekil 3- Çakırlı-Beyoba (Karabiga) deprem kümesinin günlere göre dağılımı.

deprem kümelerinin ayrıntılı bir biçimde incelenmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, Marmara Bölgesi'nde oluşan deprem kümeleri çok önemlidir. Çünkü Marmara Bölgesi'nde en az iki

büyük ve yıkıcı depreme kaynaklık edebilecek uzun süreli sismik boşluk bulunmaktadır. Bunlardan ilki Güney Marmara'da yer alan Geyve-Gemlik-Bandırma sismik boşluğu (yaklaşık 605 yıldır), diğeri ise Kuzey



Çizelge 1- 15 Şubat-1 Mart 2019 tarihleri arasında oluşan, büyüklükleri  $M_w = 2$  ile  $M_w = 4.1$  arasında değişen ve Çakırlı-Beyoba (Karabiga) deprem kümesini oluşturan depremlerin çeşitli sismik parametreleri.

Sıra	Tarih	Saat	Enlem	Boylam	Derinlik	Büyüklik	Lokasyon
1	1.03.2019	04:44:04	27,1642	40,3948	12	2,2	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
2	28.02.2019	20:05:05	27,1435	40,3663	10	2,1	Karapürçek-Karabiga (Çanakkale)
3	27.02.2019	21:07:05	27,1513	40,3873	5,3	2,5	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
4	25.02.2019	21:51:57	27,138	40,391	6,7	2,3	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
5	25.02.2019	16:37:31	27,1162	40,3853	5,4	2,1	Karapürçek-Karabiga (Çanakkale)
6	25.02.2019	05:10:38	27,1607	40,3875	5,1	2	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
7	25.02.2019	01:46:21	27,1675	40,3773	6,4	2	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
8	24.02.2019	17:18:36	27,1675	40,3813	0	2,4	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
9	24.02.2019	15:36:56	27,1402	40,3948	13,1	2,4	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
10	24.02.2019	10:46:56	27,159	40,3893	7,2	2,3	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
11	24.02.2019	09:32:03	27,1745	40,3915	6,5	2,1	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
12	24.02.2019	04:25:02	27,1568	40,3828	6,3	2,1	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
13	24.02.2019	04:22:24	27,1768	40,3787	9,3	3,9	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
14	24.02.2019	04:20:24	27,1357	40,3828	6,3	2,1	Karapürçek-Karabiga (Çanakkale)
15	24.02.2019	04:08:29	27,168	40,392	5	2,2	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
16	24.02.2019	04:05:39	27,1773	40,3908	6,6	3,5	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
17	24.02.2019	03:07:03	27,1683	40,3885	7,4	3,2	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
18	23.02.2019	22:48:20	27,1537	40,3872	7,2	3,2	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
19	23.02.2019	22:41:06	27,1543	40,3822	7,8	2,1	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
20	23.02.2019	08:31:55	27,1692	40,3748	7,5	2,7	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
21	23.02.2019	08:27:14	27,1623	40,3857	7,2	2	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
22	23.02.2019	03:08:01	27,1473	40,388	6,1	2,1	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
23	23.02.2019	02:03:01	27,153	40,3813	6,3	2,9	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
24	23.02.2019	00:19:34	27,17	40,3842	9,2	3,4	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
25	22.02.2019	13:31:08	27,1325	40,3795	8,3	2,2	Karapürçek-Karabiga (Çanakkale)
26	22.02.2019	10:24:22	27,1807	40,3762	5,1	2,1	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
27	22.02.2019	01:04:51	27,1475	40,3972	7,9	2,1	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
28	21.02.2019	22:03:29	27,1532	40,3787	6,7	2	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
29	21.02.2019	15:08:06	27,1457	40,3823	4,3	2,4	Karapürçek-Karabiga (Çanakkale)
30	21.02.2019	15:07:32	27,1762	40,2665	7,9	2,3	Doğancı-Karabiga (Çanakkale)
31	21.02.2019	09:59:50	27,1468	40,389	0	2,4	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
32	20.02.2019	18:26:09	27,1462	40,4073	9	2,1	Değirmencik-Karabiga (Çanakkale)
33	20.02.2019	15:29:55	27,1238	40,389	6,2	2,6	Karapürçek-Karabiga (Çanakkale)
34	20.02.2019	4:43:32	27,14	40,381	4,6	2,2	Karapürçek-Karabiga (Çanakkale)
35	20.02.2019	4:35:45	27,1453	40,3842	5,5	2,6	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
36	20.02.2019	4:32:51	27,1295	40,3887	5,7	2,7	Karapürçek-Karabiga (Çanakkale)
37	20.02.2019	4:27:41	27,1403	40,3937	6,1	3,4	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
38	20.02.2019	4:05:18	27,1483	40,3885	8,8	2,3	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
39	20.02.2019	3:59:29	27,1503	40,3692	4	2,1	Karapürçek-Karabiga (Çanakkale)
40	20.02.2019	3:30:46	27,1453	40,3905	5,5	3,1	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
41	20.02.2019	3:27:57	27,1507	40,3893	5,9	3,7	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
42	20.02.2019	2:15:03	27,1443	40,3882	8	2,6	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
43	20.02.2019	1:04:05	27,1642	40,3948	6,4	2,1	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
44	20.02.2019	0:33:54	27,1435	40,3663	9	4,1	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
45	20.02.2019	0:29:42	27,1513	40,3873	7,4	3	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
46	20.02.2019	00:27	40,3890	27,1515	8,0	3,4	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
47	20.02.2019	0:07:58	27,138	40,391	10,50	2,1	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
48	19.02.2019	2:48:42	27,1162	40,3853	10,70	4,1	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
49	19.02.2019	21:33	40,3870	27,1500	10,0	3,9	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
50	19.02.2019	19:48	40,3889	27,1513	11,0	3,7	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
51	16.02.2019	9:21:01	27,1607	40,3875	6,2	2,4	Çakırlı-Karabiga (Çanakkale)
52	15.02.2019	7:54:40	27,1675	40,3773	6,6	2,1	Karapürçek-Karabiga (Çanakkale)
53	08.08.2009	13:52	40,3236	27,4366	10,0	4,2	Bozlar-Karabiga (Çanakkale)

Marmara sismik boşluğudur (258 yıldır) (Ikeda, 1988; Barka, 1993; Yoshika ve Kuşcu, 1994; Uçarkuş vd., 2000; Özalp vd., 2013; Güçtekin vd., 2004; Polonia vd., 2004; Gasperini vd., 2011; Koçyiğit ve Gürboğa, 2021; Koçyiğit, 2023).

#### 4. Faylar

Çalışma sahasında, yüzeyleyen faylar değişik doğrultu (KD, D-B, KB, KKB) ve uzunluğa sahiptir. Genelde KD-gidişli faylar deformasyon bakımından daha egemen ve diğer faylara göre daha uzundur (Şekil 2). Fayların büyük çoğunluğu Kuvaterner öncesi aktiviteye sahip olup neotektonik dönemde etkinlik kazanmış bulunmaktadır. Bunun en önemli kanıtı hem yaşlı birimler hem de genç birimlerde görülen ve farklı deformasyonları gösteren yapılarıdır. Buna karşın diğer bazı faylar daha genç olup Kuvaterner’de (neotektonik dönemde) oluşmuştur. Genel olarak Holosen’de (11650 yıllık bir süreç içinde) en az bir depreme kaynaklık etmiş olan fay “Aktif Fay” olarak tanımlanmaktadır. Bunun aksine, Kuvaterner döneminde (2.588 milyon yıllık bir süreç içinde) en az bir deprem üretmiş ya da Kuvaterner yaşlı birimleri etkilemiş olan faylar ise “Potansiyel Faylar” olarak kabul edilmektedir (Emre vd., 2013). Çalışma sahasında bazı önemli aktif ve potansiyel aktif faylar saptanmış, haritalanmış ve ayrı ayrı adlandırılmıştır (Şekil 2).

#### 4.1. Çakırlı-Örtülüce Fayı

Çakırlı-Örtülüce Fayı toplam 22 km uzunluğunda, KD doğrultulu ve güneydoğuya dikçe eğimlidir. Bu fay Kuvaterner sırasında egemen olan doğrultu atımlı neotektonik dönemde etkinlik kazanmıştır. Çakırlı-Örtülüce Fayı kuzeydoğuda bulunan tarihi Priapolis Şehri ile güneybatıda yer alan Balıklıçeşme Kasabası arasında konumlanır (Şekil 2). Bu fay temel kayaları deforme etmiş, sağ-yanal yönde ötelenmiş ve daha genç (Kuvaterner yaşlı) havza dolgusu ile karşı-karşıya gelmesini sağlamıştır. Ötelenmiş ve bükülmüş akarsu sistemleri, fayın genel gidişine paralel dizilmiş alüvyon konileri, üçgen yüzeyler, parçalanmış-ezilmiş kayalar, iyi gelişip ve korunmuş fay aynaları (Şekil 4a) bu fayın belirgin özelliklerindedir. Yavaş ve Karaoğlak akarsuları, Çakırlı-Örtülüce Fayı tarafından sağ-yanal yönde sırayla 200 m ve 300 m kadar ötelenmiştir (Şekil 2). Paleotektonik dönemde Çakırlı-Örtülüce Fayı, büyük açılı bir ters fay niteliğinde tektonik bir dokunak olup Erken Paleosen sırasında, bu fay boyunca Çetmi ofiyolitik karmaşık, güneyden kuzeye doğru metamorfik kayalar üzerine bindirmiştir. Buna karşın, Çakırlı-Örtülüce Fayı, Geç Miyosen-Pliyosen sırasında, verem atımlı normal fay olarak çalışmıştır. Bu durum, Çakırlı-Örtülüce Fay aynası üzerinde iki farklı kayma çizgisinin oluşmasına neden olmuştur (Şekil 4). Bunun aksine, Kuvaterner yaşlı neotektonik



Şekil 4- a) Çakırlı-Örtülüce fay aynasının yakın görünümü, b) Schmidt alt yarı küre üzerine kayma verilerinin stereografik izdüşümü (ters yöne bakan büyük oklar, Geç Miyosen-Pliyosen sırasındaki yerel genişleme yönlerini göstermektedir), c) Schmidt alt yarı küre üzerine kayma verilerinin stereografik izdüşümü (birbirine doğru bakan büyük oklar, Kuvaterner sırasındaki yerel sıkışma yönlerini göstermektedir).

dönemde doğrultu atımlı fay olarak yeniden etkinlik kazanmıştır (Şekil 4c). Günümüzde Çakırlı-Örtülüce Fayı potansiyel aktif faydır. Fayın 15 km'lik uzunluğu baz alındığında, bu faydan kaynaklanacak en büyük depremin büyüklüğü 6.4 (Mw) olarak hesaplanmıştır (Wells ve Coppersmith, 1994).

#### 4.2. Şahmelek Fayı

Doğuda Erzenağlı Tepe ve batıda Değirmencik Köyü arasında yer alan Şahmelek Fayı yaklaşık D-B gidişli ve 14 km uzunluğunda potansiyel aktif bir yapıdır (Şekil 2). Yarı çizgisel bir uzanıma ve önemli miktarda eğim atım bileşenine sahip olan Şahmelek Fayı, Şahmelek akarsuyu tarafından akaçlanan dar, uzun ve çizgisel konumlu Şahmelek çek-ayır havzasının güney kenarını sınırlar. Yamaçtaki ani eğim değişimi, fay denetiminde bükülen akarsu sistemi, bol kırıklı-çatlaklı kayalar, bölünmüş ve yükseltilmiş taraça tortulları (fay taraçası), yaşlı kayaların Kuvaterner yaşlı havza dolgusu ile tektonik olarak karşı-karşıya getirilmiş olması en genel morfolojik fay belirteçleridir. Bu tür arazi gözlemleri Şahmelek Fayı'nın varlığını ve aktifliğini göstermektedir. Şahmelek Fayı 14 km uzunluğunda olup, fayın uzunluğu baz alındığında, anılan bu faydan kaynaklanacak en büyük depremin büyüklüğü 6.4 (Mw) olarak hesaplanmıştır (Wells ve Coppersmith, 1994).

#### 4.3. Karabiga Fayı

Kuzeydoğuda Karabiga İlçesi ile güneybatıda Gümüşkent Kasabası yakın batısında yer alan Karabiga Fayı yaklaşık 15 km uzunluğunda, KKD gidişli ve sağ-yanal doğrultu atımlı aktif bir yapıdır. Uzanımı boyunca temel kayaları ve Karabiga çek-

ayır havzasını keser, sağ-yanal yönde ötelere (yaklaşık 2 km kadar) ve Kuvaterner yaşlı havza dolgusunu temel kayaları ile tektonik olarak karşı-karşıya getirir (Şekil 2). Diğer taraftan Kirazlı Nehri'ni de denetlemektedir. En uzun yapısal fay segmenti baz alındığında, Karabiga Fayı'ndan kaynaklanabilecek en büyük depremin büyüklüğü 6.5 (Mw)'dir (Wells ve Coppersmith, 1994).

#### 4.4. Bozlar Fayı

Güneydoğuda Denizkent Kasabası ile Güneybatıda Karabiga İlçesi yakın güneyi arasında konumlanmış olan Bozlar Fayı yaklaşık 23 km uzunlukta ve BKB (~K30°-45°B) gidişli, sağ-yanal doğrultu atımlı aktif bir yapıdır. Fayın yaklaşık 13 km uzunluğundaki kuzeybatı kesimi çalışma alanı içinde yer alır (Şekil 2). Marmara Denizi'nin güneybatı kıyısını denetleyen Bozlar Fayı, Karabiga çek-ayır Havzası'nın kuzeydoğu kesimini deforme ederek düşey yönde 10-20 m arasında değişen değerlerde yer değiştirmeye neden olmaktadır. Temel kayalar ile Kuvaterner yaşlı sedimanter birimlerin tektonik olarak karşı-karşıya gelmesi, ani eğim değişimi, yamulmuş alüvyon yelpazelerinin çizgisel dizilimi ve breşleşmiş-ezilmiş kayalar fayın varlığını gösteren önemli morfolojik gözlemlerdir. Bu durum faydan kaynaklanmış olan 4.2 (Mw) büyüklüğündeki depremle de kanıtlanmış bulunmaktadır (Çizelge 2'de 1 no.lu deprem). Bu depremin odak mekanizması çözümü, Bozlar Fayı'nın, önemli miktarda normal bileşeni de olan sol-yanal doğrultu atımlı bir yapı olduğunu da göstermektedir (Şekil 2'de 1 no.lu deprem çözüm diyagramı). Fayın uzunluğu (23 km) baz alındığında, Bozlar Fayı'ndan kaynaklanacak en büyük depremin büyüklüğü 6.66 (Mw)'dir (Wells ve Coppersmith, 1994).

Çizelge 2- Odak mekanizmaları çözülen önemli depremlerin çeşitli parametreleri.

	Tarih	Saat	Enlem	Boylam	Derinlik	Büyüklük	Fay Parametreleri			Bölge	Referans
NO.	D/M/Y	UTC	Derece	Derece	km	Mw	Strike	Dip	Rake		
6	27.02.2024	13:09	40,30	27,01	10	4,5	270	85	161	Balıklıçeşme	KOERI
5	07.11.2023	20:05	40,47	27,55	15	3,9	106	86	176	Avşa Adası Güneyi	KOERI
4	20.02.2019	00:27	40,3890	27,1515	8,0	3,4	282,0	90,0	-170,0	Çakırlı-Karabiga	DK
3	19.02.2019	21:33	40,3870	27,1500	10,0	3,9	103,0	85,0	169,0	Çakırlı-Karabiga	DK
2	19.02.2019	19:48	40,3889	27,1513	11,0	3,7	102,0	87,0	173,0	Çakırlı-Karabiga	DK
1	08.08.2009	13:52	40,3236	27,4366	10,0	4,2	340	67	-4	Bozlar-Karabiga	ERD



#### 4.5. Priapolis Fayı

Kuzeyde Erzenağılı Tepe'nin yakın doğusu ile güneyde tarihi Priapolis Kenti arasında yüzeyleyen Priapolis Fayı yaklaşık 6 km uzunluğunda, KKB gidişli ve doğuya dikçe eğimli, önemli miktarda eğim atım bileşeni de olan sol-yanal doğrultu atımlı aktif bir faydır (Şekil 2). Bu fay Marmara Denizi güneybatı kıyısını keserek göreceli olarak düşey yönde aşağıya düşürmüştür. Fay yer yer çok iyi gelişmiş ve korunmuş

fay aynası sunmaktadır (Şekil 5a). Fay aynasından ölçülen kayma verilerinin kinematik analizi, fayın sol-yanal doğrultu atımlı bir yapı olduğunu göstermiştir. Bu durum faydan kaynaklanan ve büyüklüğü 3.9 (Mw) olan küçük bir depremin odak mekanizması çözümüyle de kanıtlanmıştır (Çizelge 2'de 5 no.lu deprem ve Şekil 2'deki 5 no.lu odak mekanizması çözüm diyagramı). Fayın uzunluğu (6 km) baz alındığında, Priapolis Fayı'ndan kaynaklanacak



Şekil 5- Sol yanal doğrultu atımlı Priapolis Fayı fay aynasının yakın görünümü.



en büyük depremin büyüklüğü  $M_w=5.98$  olarak hesaplanmıştır (Wells ve Coppersmith, 1994). Tarihi Priapolis kentinin harabeleri, Çakırlı-Örtülüce Fayı ile Priapolis Fayı'nın kesiştiği ve hareketin kilitlenip enerjinin biriktiği bir alanda yer almaktadır (Şekil 2). Bu nedenle Priapolis Fayı sismik boşluk karakterini günümüzde de sürdürmektedir.

#### 4.6. Geyikkırı Fayı

Balıklıçeşme Kasabası ve Geyikkırı Köyü'nün yakın kuzey-kuzeydoğu kesiminde yer alan Geyikkırı Fayı 12 km uzunluğunda, BKB gidişli ve kuzeydoğuya dikçe eğimli sağ-yanal doğrultu atımlı bir faydır. Karabiga çek-ayır havzasının güneybatı kenarını da sınırlayıp denetleyen bu fay aynı zamanda, Kirazlı Nehri'nin büyük kollarından birisini de denetlemektedir. Yamaç eğimindeki ani değişimler, fay denetimli akarsular, yaşlı birimlerin Kuvaterner yaşlı havza dolgusu ile karşı-karşıya getirilmiş olması gibi morfolotektonik gözlemler, Geyikkırı Fayı'nın en azından potansiyel aktif bir yapı olduğunu belgelemektedir. Geyikkırı Fayı'nın uzunluğu baz alındığında, bu faydan kaynaklanacak en büyük depremin büyüklüğü  $M_w = 6.3$  olarak hesaplanmıştır (Wells ve Coppersmith, 1994).

#### 4.7. Çınardere Fay Takımı

Çalışma alanının güneybatı kesiminde bulunan Balıklıçeşme Kasabası ile Çınardere-Dışbudak köyleri arasında yer alan Çınardere fay takımı sırayla 6 ve 7,5 km uzunlukta, 1,2 km genişlikte,  $K60^\circ D$  gidişli ve birbirine paralel uzanan iki fay segmentinden oluşur (Şekil 2). Yine sırayla kuzeybatıya ve güneydoğuya dikçe eğimli olan bu fay segmentleri Çetmi ofiyolitik karmaşığını keser, düşey ve yanal yönde 15 m ile 1 km arasında değişen değerlerde ötelevler. Yamaç eğimindeki ani eğim değişimi, fay denetimli akarsular (örneğin: Kemer Çayı gibi), fay sarpılığı, ezilip-breşleşmiş kayalar ve makaslama zonları fayların varlığını gösteren önemli morfolotektonik belirteçlerdir. Ayrıca, güneydoğu fay segmentinden kaynaklanmış olan sığ odaklı küçük depremin odak mekanizma çözümü bir taraftan Çınardere fay takımının sağ-yanal doğrultu atımlı faylar olduğunu, diğer taraftan ise bu fayların sismik yönden de etkin olduğunu bir kez daha kanıtlamıştır (Çizelge 2'de 6 no.lu deprem

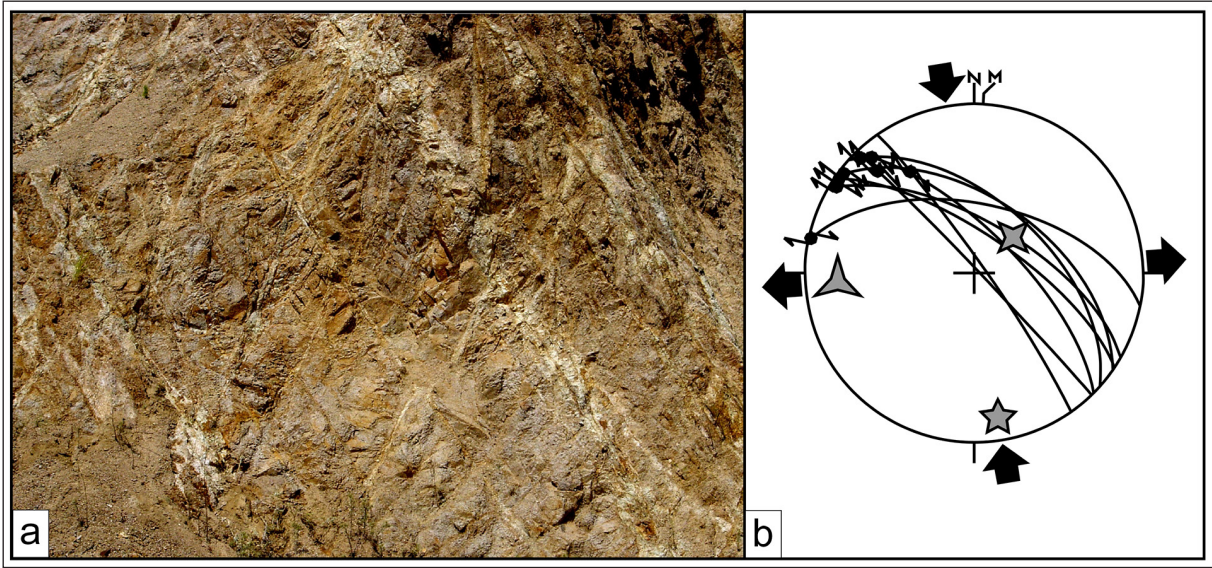
ve Şekil 2'de 6 no.lu odak mekanizması çözümü). Fay segmentlerinin uzunluğu baz alındığında, bu faylardan kaynaklanacak en büyük depremin moment büyüklüğü 6.0 ( $M_w$ )'dır (Wells ve Coppersmith, 1994).

#### 4.8. Çakırlı Fayı

Çakırlı Köyü yakın kuzeyinde yer alan Çakırlı Fayı 2 km uzunlukta ve  $K70^\circ B$  gidişli ve sağ-yanal doğrultu atımlı bir faydır. Çetmi ofiyolitik karmaşığı ve onu oluşturan değişik kaya blokları, Çakırlı Fayı tarafından kesilir ve sağ-yanal yönde birkaç yüz metreye değin ötelenir. Ayrıca, Karışığı ve metamorfik temel kayalarını da kesen Eosen yaşlı Karabiga Granitoyidi de benzer şekilde Çakırlı Fayı tarafından kesilip eşlenik biçimde makaslanmış ve iyi korunmuş fay aynalarının (Şekil 6a) oluşumuna yol açmıştır. Fay aynasından ölçülen kayma verilerinin kinematik analizi, Çakırlı fayının sağ-yanal doğrultu atımlı bir yapı olduğunu göstermiştir (Şekil 6b).

#### 4.9. Boranlı ve Karapürçek Fayları

Çalışma alanının batı kesiminde ve Beyoba çöküntüsü çevresinde, değişik uzunluk (1-8 km) ve doğrultuya (KB, KD, KKB, BKB ve DKD gibi) sahip on adet yapısal fay segmenti yüzeyler. Genel olarak, bu faylar arasındaki alanın çökmesiyle de Beyoba çek-ayır havzası oluşmuştur (Şekil 2). Beyoba yakın çevresindeki birbirine paralel ve yaklaşık BKB gidişli dört fay segmenti, kuzeyden güneye doğru sırayla 8 km, 3,3 km, 4 km ve 7 km uzunlukta olup kuzey ve güneye dikçe eğimli ve önemli miktarda eğim atım bileşene sahiptirler. Beyoba çek-ayır havzasını kuzeyden ve güneyden sınırlayan en uzun iki fay segmenti sırayla Boranlı ve Karapürçek fayları olarak adlandırılmıştır (Şekil 2). Yamaç eğimindeki ani değişim, üçgen yüzeyler, parçalanmış ve breşleşmiş temel kayaları, bölünmüş ve yükseltilmiş taraça tortulları (fay şekilleri) ve fay denetimli akarsu sistemi (örneğin: Kemer Irmağı ve onun ikincil kolları gibi), gibi morfolotektonik belirteçler, Boranlı-Karapürçek faylarının varlığını ortaya koymaktadır. Diğer taraftan Boranlı Fayı aktif hale gelmiş ve 15 Şubat-1 Mart 2019 tarihleri arasındaki kısa bir zaman dilimi içinde bir seri küçük ve sığ odaklı deprem kümesinin (Earthquake cluster) oluşumuna yol açmıştır (Çizelge 1, Şekil 3)



Şekil 6- a) Çakırlı fay aynasının yakın görünümü, b) Schmidt alt yarı küre üzerine kayma verilerinin stereografik izdüşümü (birbirine doğru bakan büyük oklar, yerel sıkışma yönlerini göstermektedir).

(KOERI, 2019). Bunlardan üç depremin (Çizelge 1’de 46, 49, 50 no.lu depremler ve Şekil 2’de 2, 3 ve 4 no.lu depremler) odak mekanizması çözümleri yapılmıştır. Sonuç olarak gerek arazide gözlenmiş olan morfolojik belirteçler ve gerekse sismolojik veri, Boranlı Fayı’nın aktif olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca Boranlı Fayı’ndan kaynaklanacak en büyük depremin büyüklüğü 6.1 (Mw) olarak hesaplanmıştır (Wells ve Coppersmith, 1994). Bu veriler ışığında Boranlı ve Karapürçek faylarının sismik boşluk olma ihtimali bulunmaktadır.

#### 4. Tartışma ve Gerilim Alanının Evrimi

Çalışma alanımızı da içine alan en ayrıntılı ve tek çalışma Güçtekin vd. (2004) tarafından gerçekleştirilmiştir. Karabiga Granitoidi’nin jeokimyasal özellikleri ve kökenini konu alan bu çalışmada, bölgenin yapısal jeoloji ve aktif tektonik özellikleri çalışılmamıştır. Ancak, sismik boşluğun (Kuzey Marmara ve Güney Marmara sismik boşlukları gibi) bulunduğu Marmara ve Kuzey Ege bölgelerinin yapısal jeolojisi ve aktif tektoniği çok önemlidir. Çünkü bu bölgelerde oluşacak büyük bir deprem ya da küçük de olsa deprem kümelerinden açığa çıkacak enerji, anılan bu iki büyük sismik boşluğa eklenerek, yıkıcı deprem oluşma periyodunu kısaltabilir. Bu nedenle Çakırlı deprem kümesi ve ona kaynaklık eden faylar ayrıntılı olarak çalışılmış,

haritalanmış ve bu çalışma kapsamında sunulmuştur. Diğer taraftan Kuzey Ege ve Marmara Bölgesi’nde gerilim alanı bu bölgenin tektonik yapısı nedeniyle sıkça değişmektedir. Bu durum deprem mekanizması çözümleriyle ve farklı yaştaki kaya birimleri üzerine kazınmış ve korunmuş olan fay aynalarından ölçülen kayma verilerinin kinematik analizi ile açık biçimde ortaya konmuştur. Örneğin, Erken Miyosen sırasında en büyük gerilme alanı ( $\sigma_1$ ) yatay ve KKB yönde çalışmakta olup doğrultu atımlı faylanmaya yol açmıştır (Şekil 6). Buna karşın, Geç Miyosen-Pliyosen sırasında en büyük gerilme alanı yaklaşık düşey konumda olup normal faylanmaya neden olmuştur (Şekil 4b). Kuvaterner sırasında ve günümüzde ise, en büyük gerilim alanı tekrar yatay konuma değişmiş ve doğrultu atımlı faylanmayı yaratmıştır. Nitekim günümüzde en büyük gerilme alanı Kuzey Ege’de yatay ve yaklaşık D-B yönde çalışırken (Şekil 4c), Marmara çevresinde KB-GD yönde çalışmaktadır (Şekil 2).

#### 5. Sonuçlar

Yukarıda sunulmuş olan veri, açıklama, yorum ve literatür ışığında, aşağıdaki sonuç ve önerilere ulaşılmıştır:

1. Karabiga ve yakın çevresi, kuzeydoğu-güneybatı yönünde ve yatay konumda çalışan en

büyük sıkışma gerilimine bağlı olarak gelişmiş olan doğrultu atımlı neotektonik rejimin etki alanı içindedir.

2. Çalışma alanı içinde çok sayıda aktif ve potansiyel aktif fay, ilk kez saptanmış, haritalanmış, adlanmış ve açıklanmıştır.
3. Arazi ve sismolojik verilere göre, Boranlı ve Karabiga fayları aktif yapılarıdır.
4. Çakırlı-Örtülüce fayları ve Çınardere fay takımı, oluşum zamanları baz alındığında, Kuvaterner öncesi paleotektonik dönemden aktarılmış daha yaşlı faylar olup Kuvaterner sırasında doğrultu atımlı neotektonik yapılar olarak yeniden etkinlik kazanmıştır. Bu iki fay günümüzde hala sismik boşluk karakterlerini sürdürmektedir.
5. Çakırlı deprem kümesinin kaynağı Boranlı Fayı'dır.
6. Kuzey Ege ve Marmara Bölgesi'nde gerilim alanının türü ve çalışma yönü sıkça değişmektedir.
7. Kuzey Ege ve Marmara kıyılarında oluşacak küçük, orta ve büyük depremler ile deprem kümeleri ayrıntılı biçimde çalışılmalıdır. Çünkü bu tür deprem ve deprem kümelerinden açığa çıkan enerji yakın konumdaki uzun süreli sismik boşluklara eklenebilir ve sismik boşluğun kaynağı olan fayları etkinleştirerek sismik boşlukta beklenen depremin oluşum zamanını daha öne çekmiş olabilir (Örneğin: 6 Şubat 2023 Pazarcık-Kahramanmaraş depreminde olduğu gibi).
8. Çalışma sahası içindeki ilçe, kasaba ve köy gibi yerleşkelerin büyük çoğunluğu aktif faylara çok yakın, doğrudan onların üzerinde ve yeterince taşlaşmamış havza dolgusu üzerinde yer almaktadır. İnce taneli, taşlaşmamış (gevşek) ve suya doymuş sediman paketleri deprem şiddetini büyütür. Bu yüzden aktif faylar ve suya doymuş havza dolgusu deprem tehlike ve risk analizlerinin yanı sıra, bir alanın imara açılması ve mühendislik yapılarının yer seçimi çalışmalarında da kesinlikle dikkate alınması önerilmektedir.

## Değinilen Belgeler

- Barka, A. 1993. Kuzey Anadolu Fayı'nın Sapanca-İzmit ve Geyve-İznik Kolları üzerinde Paleosismik Araştırmalar, TÜBİTAK Proje No: YBAG-4/7551, İstanbul
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., Şaroğlu, F. 2013. Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası. 1:1.250.000 ölçekli, VI+89s.+bir pafta, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara.
- ERD, 2009. Mw 0 4.2 büyüklüğündeki Bozlar (Karabiga) depreminin odak mekanizma çözümü.
- Gasperini, L., Polonia, A., Çağatay, M.N., Giovanni Bortoluzzi, G., Valentina Ferrante, V. 2011. Geological slip rates along the North Anatolian Fault in the Marmara region. *Tectonics* 30, doi:10.1029/2011TC002906.
- Güçtekin, A., Köprübaşı, N., Aldanmaz, E. 2004. Karabiga (Çanakkale) granitoidinin jeokimyası. *Yerbilimleri* 29, 29-38.
- Ikedo, Y. 1988. Recent activity of the İznik-Mekece fault at Çorak Stream, east of İznik, in Multidisciplinary Research on Fault Activity in the Western Part of the North Anatolian Fault Zone, Tokyo Institute of Technology, ed. Y. Honkura and A.M. Işıkara, 15-27.
- Koçyiğit, A. 2023. Neotectonics of the Sarıköy-İnova and Çan-Bayramiç-Ezine fault zones: basin formation, age and slip rates, NW Anatolia-Türkiye. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration* 172, 121-142.
- Koçyiğit, A., Gürboğa, Ş. 2021. Active tectonics of Gölpinar-Tuzla area (Biga Peninsula, NW Turkey): The source of 6 February-24 March 2017 earthquake cluster. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration* 166, 85-112.
- KOERI, 2019. Çakırlı (Karabiga) deprem Kümesi.
- Okay, A., Siyako, M., Bürkan, K.A. 1990. Geology and tectonic evolution of the Biga Peninsula. *TAPG Bulletin* 2/1, 83-21.
- Özalp, S., Emre, Ö., Doğan, A. 2013. The segment structure of the Southern Branch of the North Anatolian Fault and paleoseismological behavior of the Gemlik Fault, NW Anatolia. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration* 147, 1-17.
- Polonia, A., Gasperini, L., Amorosi, A., Bonattia, E., Bortoluzzi, G., Çağatay, N., Capotondi, L., Cormier, M.H., Görür, N., McHugh, C., Seeber, L. 2004. Holocene slip rate of the North Anatolian Fault beneath the Sea of Marmara. *Earth and Planetary Science Letters* 227, 411- 426



Uçarkuş, G., Barka, A., Akyüz, S. 2000. Gemlik Fay Zonu'nun Paleosismik Aktivitesi, ATAG-4 Makaleler Kitabı, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.

Wells, D.L., Coppersmith, S. R. 1994. New Empirical Relationships among magnitude Rupture length, Rupture width, Rupture Area and surface Displacement. Bulletin of Seismological Society of America 84, 974-1002.

Yiğitbaş, E., Mirici, A., Gönlügür, U., Bakar, C., Tunç, İ.O., Şengün, F., Işıkoğlu, Ö. 2015. Dumanlı Köyü'nde (Çanakkale-Türkiye) asbest maruziyetinin Tıbbi Jeoloji açısından değerlendirilmesi: Disiplinlerarası bir çalışma. Bulletin of the Mineral Research and Exploration 151, 251-262.

Yoshioka, T., Kuşcu, İ. 1994. Late Holocene faulting events on the İznik-Mekece fault in the western part of the North Anatolian fault zone, Turkey. Bulletin of the Geological Survey of Japan 45 (11), 677-685.