



MADEN TETKİK VE ARAMA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

30 EKİM 2020 EGE DENİZİ DEPREMİ ($M_w=6,9$) SAHA GÖZLEMLERİ VE DEĞERLENDİRME RAPORU

ANKARA – 2020

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa No

İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	I
ŞEKİL DİZİNİ.....	II
ÇİZELGE DİZİNİ.....	IV
1. GİRİŞ	1
2. BÖLGESEL TEKTONİK.....	4
3. SİSAM (SAMOS) FAYI'NIN GENEL ÖZELLİKLERİ	6
4. 30 EKİM 2020 EGE DENİZİ DEPREMİ (M _w : 6.9).....	7
4.1. Sismolojik Bilgiler.....	7
5. SAHA GÖZLEMLERİ.....	14
5.1. Yapısal Hasarın Jeolojik Nedenlerini Belirlemeye Yönelik Saha Çalışmaları.....	14
5.2. Tsunami Boyutlarını Belirlemeye Yönelik Saha Çalışmaları.....	20
5.3. Kıyı Değişimlerine Yönelik Saha Çalışmaları.....	22
5.4. Sentinel 1A Yapay Açıklıklı Radar (SAR) Görüntülerinin Diferansiyel İnterferometri (DInSAR) Analizleri.....	23
6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER.....	25
7. KATKI BELİRTME.....	27
8. DEĞİNİLEN BELGELER.....	28

ŞEKİL DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1 30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi'nin Türkiye Diri Fay Haritası'ndaki yeri	3
Şekil 2.1. 30 Ekim 2020 Ege Denizi Deprem alanı ve çevresinin tarihsel dönem (1900 öncesi) deprem etkinliği	5
Şekil 2.2 30 Ekim 2020 Ege Denizi Deprem alanı ve çevresinin aletsel dönem (1900 sonrası) deprem etkinliği	6
Şekil 3.1 30 Ekim 2020 Ege Denizi depremine (Mw:6.9) kaynaklık eden Sisam (Samos) fayı ve çevresinin aktif fay haritası	7
Şekil 4.1 Ulusal ve uluslararası sismoloji merkezleri tarafından 30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi için önerilen dışmerkez, odak derinliği ve hızlı moment tensör çözümleri.....	8
Şekil 4.2 30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi'nin tahmini eş şiddet haritası.....	9
Şekil 4.3. 30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi'nin 03.11.2020 saat 09:00 itibariyle deprem oluş sayısı ve büyüklük dağılımı grafiği.....	10
Şekil 4.4. 30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi'nin 03.11.2020 saat 09:00 itibariyle günlük artçı deprem oluş sayısı grafiği.....	10
Şekil 4.5. 04.11.2020 tarihi itibariyle 30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi (Mw: 6.9) artçı şok dağılım haritası.....	11
Şekil 4.6. Bölgedeki en yakın beş ivmeölçerin lokasyonları.....	12
Şekil 4.7. Ege Denizi'nde meydana gelen tarihsel ve aletsel dönem tsunamileri...	13
Şekil 5.1. Saha gözlemleri lokasyon haritası.....	14
Şekil 5.2. İzmir ili jeoloji haritası.....	16
Şekil 5.3. Doğanlar apartmanının deprem öncesi ve sonrasına ait görüntüleri.....	18
Şekil 5.4. Rızabey apartmanının deprem öncesi ve sonrasına ait görüntüleri.....	18
Şekil 5.5. 30 Ekim 2020 Ege Denizi depreminde modern inşaat teknikleri uygulanarak inşaa edildiği için yapısal hasar meydana gelmeyen yüksek katlı binalar.....	19
Şekil 5.6. Sığacık Körfezi'nde (soldaki fotoğraf) ve Sisam (Samos) Adası'nda (sağdaki fotoğraf) 30 Ekim 2020 Ege Denizi depreminin tetiklediği tsunami nedeniyle meydana gelen yapısal hasarlar.....	20

Şekil 5.7. Sığacık Körfezi'nde 30 Ekim 2020 Ege Denizi depreminin tetiklediği tsunami tırmanma yükselişini gösteren arazi fotoğrafları ve basitleştirilmiş model.....	21
Şekil 5.8. Sığacık Körfezi'nde 30 Ekim 2020 Ege Denizi depreminin tetiklediği tsunami sonucunda alabora olan tekneler.....	21
Şekil 5.9. 30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi'nin 1 gün sonrasında meydana gelen kıyı değişimleri.....	23
Şekil 5.10. 30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi'nde meydana gelen tsunaminin, Sisam (Samos) Fayı'nın listrik geometrisi ile ilişkisini anlatan diyagram (Ölçeksizdir).....	23
Şekil 5.11. 30 Ekim 2020 Ege Denizi depreminin Diferansiyel İnterferometri (DInSAR) analizleri.....	24

ÇİZELGE DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 4.1. Bölgedeki ivmeölçer istasyonları ve ölçülen ivme değerleri 12

1. GİRİŞ

Çeşitli ulusal ve uluslararası sismoloji merkezlerinin kayıtlarına göre, 30 Ekim 2020 tarihinde, Türkiye saati ile 14.51'de, merkez üssü Ege Denizi'nde Sisam (Samos) Adası'nın 8 km kuzeyi olan Mw: 6,9 büyüklüğünde, 6-15 km odak derinliğinde, sığ odaklı bir deprem meydana gelmiştir (Şekil 1.1). Deprem, İzmir, Muğla, Aydın, Denizli, Manisa, Uşak, Afyonkarahisar, Kütahya, Balıkesir, Bursa, Çanakkale, İstanbul, ve Sakarya başta olmak üzere tüm Batı Anadolu ve Kuzey Ege Adaları'nda hissedilmiştir. Deprem sonrasında dış merkez alanının kuzeyinde yer alan Sığacık Körfezi (Seferihisar – İzmir) ve Sisam (Samos) Adası kıyılarında tsunami meydana gelmiştir.

AFAD kayıtlarına göre, 04.11.2020 tarihi saat 12.00 itibariyle, 114 vatandaşımız hayatını kaybetmiş, 1.035 vatandaşımız ise yaralanmıştır. Deprem nedeniyle 7'si tamamen olmak üzere 16 bina yıkılmıştır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından şu ana kadar 10.287 binada hasar tespit çalışması yapılmıştır. Buna göre, 124'ü ağır, 119'u orta ve 730'u az hasarlı bina tespit edilmiştir.

Deprem kaynak fayının tanımlanması, meydana gelen tsunaminin boyutlarının araştırılması ve depremde hasara neden olan jeolojik etmenlerin belirlenmesi amacıyla, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı'na bağlı Yer Bilimleri Araştırmaları Koordinatörlüğü, Aktif Tektonik ve Uygulamalı Jeoloji Birimi teknik personelinden Dr. Akın Kürçer ve Jeoloji Yüksek Mühendisi Hasan Elmacı'dan oluşan iki kişilik bir araştırma ekibi afet bölgesine görevlendirilmiştir. Çalışmalara Ege Bölge Müdürlüğü etüt başmühendisi Jeoloji Yüksek Mühendisi Fatih Savaş eşlik etmiştir.

Arazi gözlemleri, kuzeyde İzmir Körfezi ile güneyde Dilek Yarımadası arasında kalan sahada gerçekleştirilmiştir. Buna göre, deprem sırasında en fazla hasar, deprem merkez üssüne yaklaşık 65 km mesafede yer alan Bayraklı ve Bornova ilçelerinde meydana gelmiştir. Meydana gelen yapısal hasarın en önemli jeolojik nedeni zemin büyütmesidir. Bayraklı ve Bornova ilçelerinde yıkılan ya da ağır hasar gören binaların çoğu, Meles Çayı'nın taşkın ovası çökelleri veya Meles deltası üzerinde yer almaktadır. Tutturulmamış kum, silt ve kil boyu malzemelerden oluşan ve yeraltı su seviyesinin oldukça sığ olduğu bu tür çökellerde, deprem sırasında sıvılaşma, yanal yayılma türü deprem kökenli ikincil deformasyonlar gelişebilmektedir. Yapısal hasarın diğer nedenleri yetersiz inşaat kalitesi ve iskân sonrası kullanım hataları olarak sıralanabilir. 30

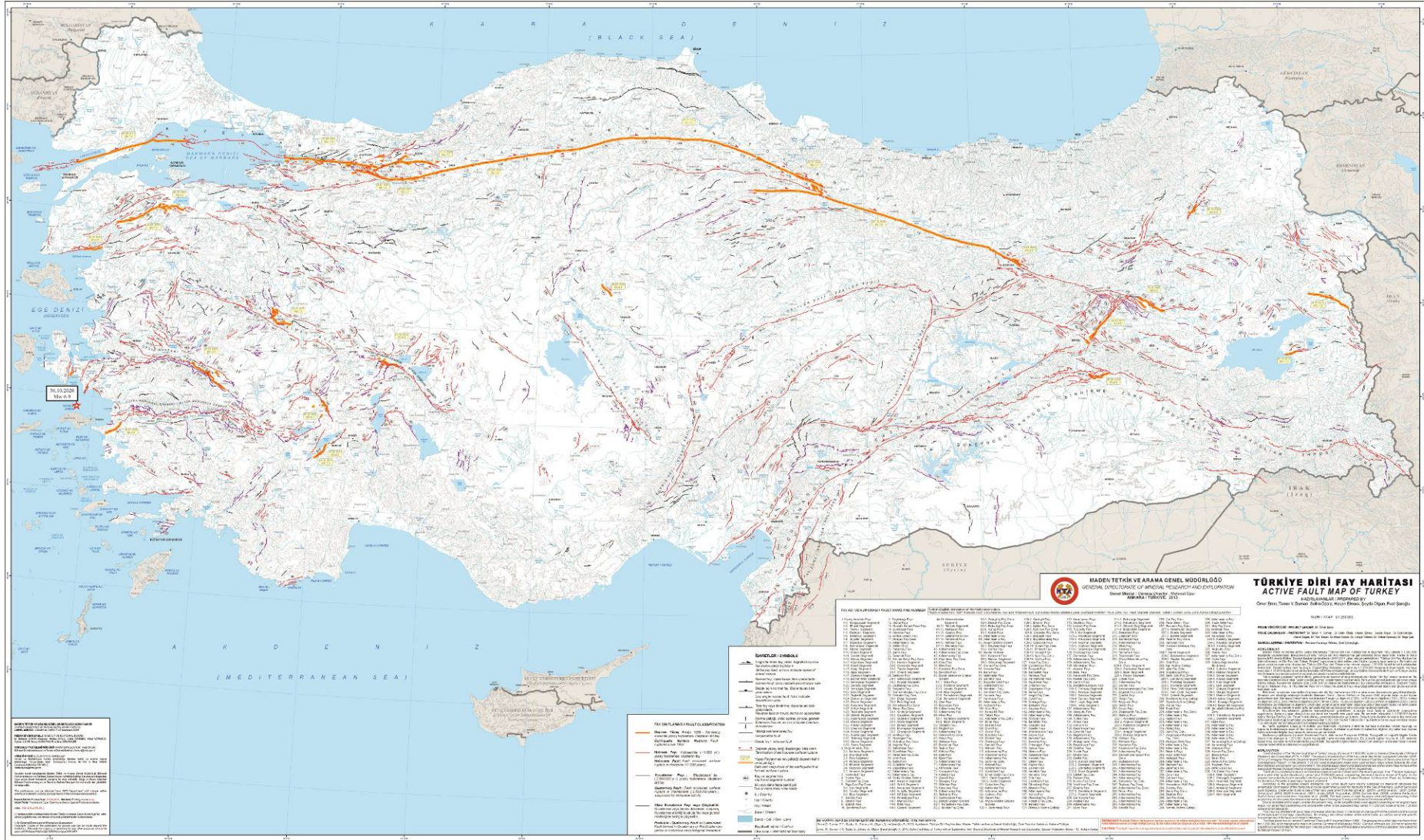
Ekim 2020 Ege Denizi Depremi (Mw: 6,9) sonrasında, kuzeyde Sığacık Körfezi (Seferihisar) ve güneyde Sisam (Samos) Adası'nda, dalga yüksekliği 2,5-3,0 metreye ulaşan tsunami meydana gelmiştir. Sığacık Körfezi'nde bu dalgalar kara tarafına doğru yaklaşık 200-250 metre ilerlemiştir.

Ulusal ve uluslararası sismoloji merkezleri tarafından yayınlanan moment tensör çözümlerine göre, 30 Ekim 2020 Ege Denizi depremi yaklaşık D-B doğrultulu bir normal faydan kaynaklanmıştır ve 10-15 km odak derinliğinde meydana gelmiştir. 03.11.2020 tarihine kadar 47'si 4'ten büyük olmak üzere toplam 1.600'den fazla deprem meydana gelmiştir. Artçı depremlerin zamansal ve mekânsal dağılımları iki farklı alanda kümelenmiştir. Artçı depremlerin önemli bir bölümü, yaklaşık D-B doğrultusunda ve 40 km uzunluğunda bir alanda yoğunlaşmıştır. Artçı depremlerin küçük bir bölümü ise Sisam Adası'nın kuzeybatısında, KD-GB doğrultusunda yaklaşık 20 km uzunluğunda bir alanda kümelenmiştir. Bu veri, 30 Ekim 2020 Ege Denizi depremi sırasında, yaklaşık 40 km uzunluğundaki Sisam (Samos) Fayı'nın tamamının kırıldığı ve gerilmenin Sisam Fayı'nın batısında yer alan, KD-GB doğrultusunda uzanan bir faya aktarılmış olabileceğine işaret etmektedir.

Bu çalışmada, deprem öncesi (18.10.2020) ve sonrasına (30.10.2020) ait Sentinel 1A Yapay Açıklıklı Radar (SAR) görüntülerinin diferansiyel interferometri (DInSAR) analizleri yapılmıştır. Sentinel 1A DInSAR analiz sonuçlarına göre; Sisam (Samos) Adası'nın batı bölümünde uyduya bakış yönünde (LOS) yaklaşık 14 cm'ye ulaşan yükselme değerleri belirlenmiştir.

Deprem moment tensör çözümleri, ana ve artçı şokların dağılımları ve DInSAR analiz sonuçları, 30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi'nin, yaklaşık 40 km uzunluğunda, D-B doğrultulu ve kuzeye eğimli Sisam (Samos) Fayı'ndan kaynaklandığına işaret etmektedir. Artçı şokların zamansal ve mekânsal dağılımları, kırılmanın Sisam (Samos) Fayı'nın yaklaşık ortasında başladığını ve iki taraflı olarak ilerlediğini göstermektedir.

Saha çalışmaları 31.10.2020 – 03.11.2020 tarihleri arasında gerçekleştirilmiş ve izleyen dönemde literatür derleme ve kurumsal arşiv bilgileri ışığında bu rapor hazırlanmıştır.



Şekil 1.1 30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi'nin Türkiye Diri Fay Haritası'ndaki yeri (Emre ve diğerleri, 2013).

2. BÖLGESEL TEKTONİK

Arabistan-Afrika levhaları ile Avrasya levhası arasında meydana gelen kıtasal yakınsama sonucunda, arada var olan Neotetis Okyanusu'nun Güney Kolu, Geç Kretase'den itibaren kapanmaya başlamıştır (Mc Kenzie, 1972, 1978; Şengör ve Yılmaz, 1981; Dewey ve diğerleri, 1986).

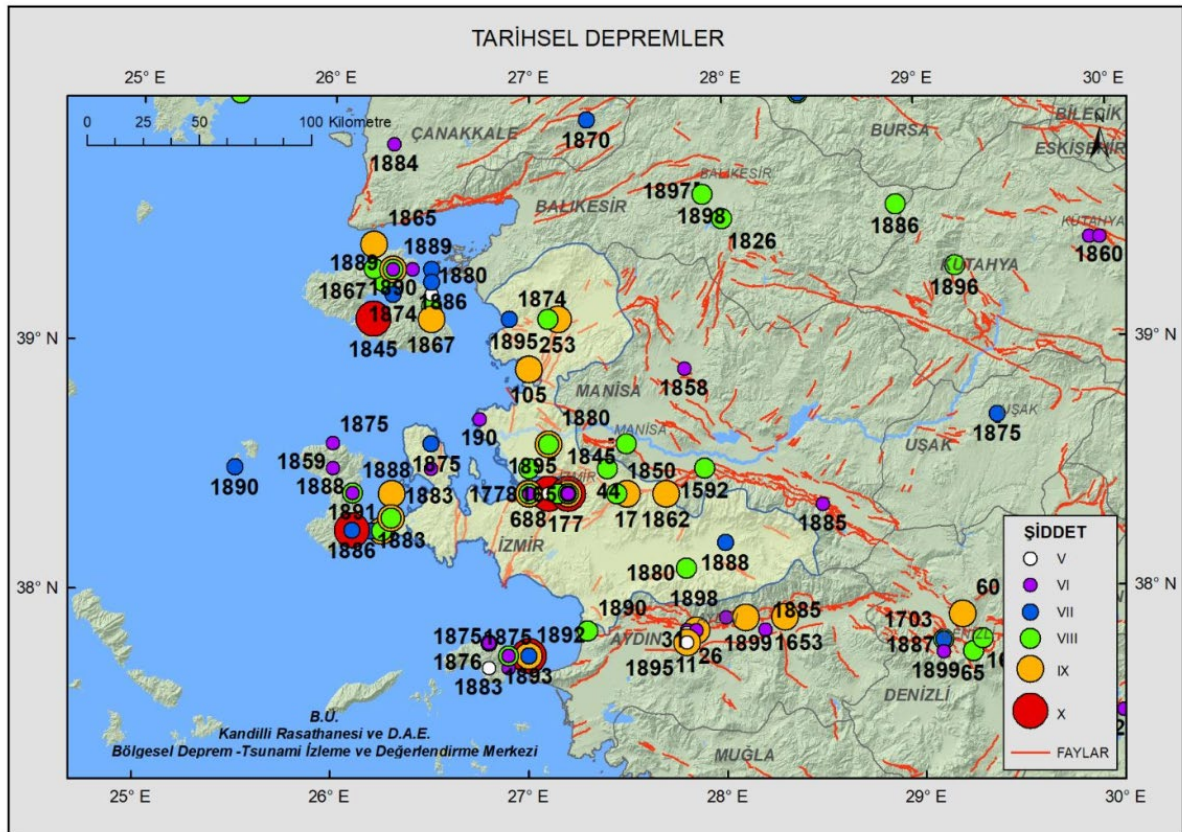
Arabistan levhasının Afrika levhasına oranla kuzeye doğru hareket hızı daha fazla olduğu için, bu iki levha arasındaki kıtasal çarpışma Doğu Anadolu'da Serravaliyen-Tortoniyen aralığında meydana gelmiştir (Şengör, 1980; Şengör ve Yılmaz, 1981). Anadolu'nun doğusunda yaklaşık 12 milyon yıl önce meydana gelen bu kıtasal çarpışma, Doğu Akdeniz'in güncel kinematiklerinde önemli rol oynamıştır. Doğu Anadolu'da yaklaşık K-G yönlü kıtasal yakınsama sonucunda, sağ yanal doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve sol yanal doğrultu atımlı Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) gelişmiştir (Şengör, 1980; Şengör ve Yılmaz, 1981; Şengör ve diğerleri, 1985). KAFZ ve DAFZ boyunca batıya doğru hareket eden Anadolu Levhası, Ege Bölgesi'nde, Ege-Kıbrıs yitim kuşağı boyunca saatin tersi yönünde dönel bir hareketle Afrika levhası üzerine itilmektedir (Şengör, 1980; Şengör ve diğerleri, 1985; Armijo ve diğerleri, 1999).

Ege Bölgesi, batıda Yunan ana karasının güneyi, ortada Ege Denizi ve doğuda Batı Anadolu'yu içeren bir coğrafik bölgeyi temsil etmektedir. Ege Bölgesi, güneyde Ege-Kıbrıs dalma batma zonundan kuzeyde Bulgaristan'ın da bir bölümünü kapsayacak şekilde, yaklaşık 800 km'yi bulan bir zon boyunca, K-G yönlü genişleme tektoniği altında deformasyona uğramaktadır (Yılmaz, 2000). Ege Bölgesi'nde günümüzde etkili olan K-G yönlü genişleme tektoniğinin nedenleri, batıya doğru kaçış tektoniği (escape tectonics) ve Ege-Kıbrıs Yay Sistemi boyunca dalan Afrika okyanusal litosfer diliminin çekim kuvvetidir (slab pull).

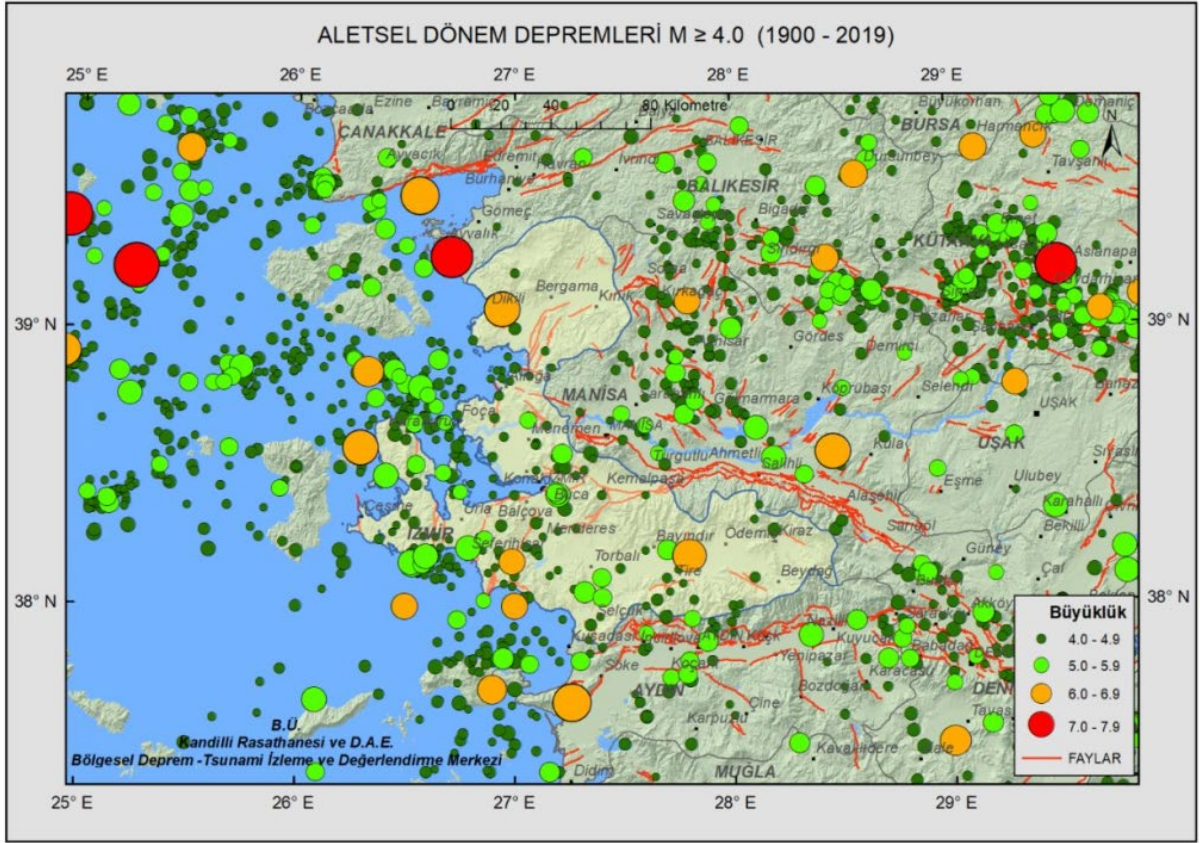
Ege Bölgesi genel olarak K-G yönlü genişleme tektoniği altında deformasyona uğrasa da, kuzey ve güney bölümlerinde etkin olan diğer yapısal unsurların etkisiyle karmaşık deformasyon özellikleri sunmaktadır. Ege Bölgesi'nin, Saroz Körfezi ile Edremit Körfezi arasında kalan kuzey bölümü, KAFZ'nun batı uzantıları etkisiyle deforme olmaktadır. Buna karşın, Girit adası güneyi ve çevresi Afrika okyanusal litosferinin Anadolu levhasının altına daldığı bir dalma-batma zonu olduğu için, bu bölge, derinlerde sıkışma tektoniği, üst kabuk bölgesinde ise yay gerisi genişleme tektoniği etkisiyle deformasyona uğramaktadır. Ege

Bölgesi'nin orta bölümü ise, bu iki karmaşık deformasyon alanından izole olmuştur ve yaklaşık K-G yönlü genişleme tektoniği etkisi altındadır.

30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi (Mw: 6.9) Ege Denizi Bölgesi'nin orta bölümünde meydana gelmiştir. Bu alan tarihsel (1900 öncesi) ve aletsel (1900 sonrası) dönemlerde yoğun deprem etkinliğinin yaşandığı bir sismojenik zondur (Şekil 2.1 ve Şekil 2.2). Yakın bölgede Tuzla fayı üzerinde 6 Kasım 1992 tarihinde Ms 6,0 büyüklüğünde, Seferihisar fayı üzerinde 10 Nisan 2003 tarihinde Mw 5,7 büyüklüğünde ve Yağcılar fayı üzerinde 17 Ekim 2005 tarihinde Mw 5,9 büyüklüğünde depremler meydana gelmiştir (Emre ve diğerleri, 2005a, b; Kuşçu ve diğerleri, 2010).



Şekil 2.1. 30 Ekim 2020 Ege Denizi Deprem alanı ve çevresinin tarihsel dönem (1900 öncesi) deprem etkinliği (http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/wp-content/uploads/2020/10/20201030_izmir_V1.pdf)

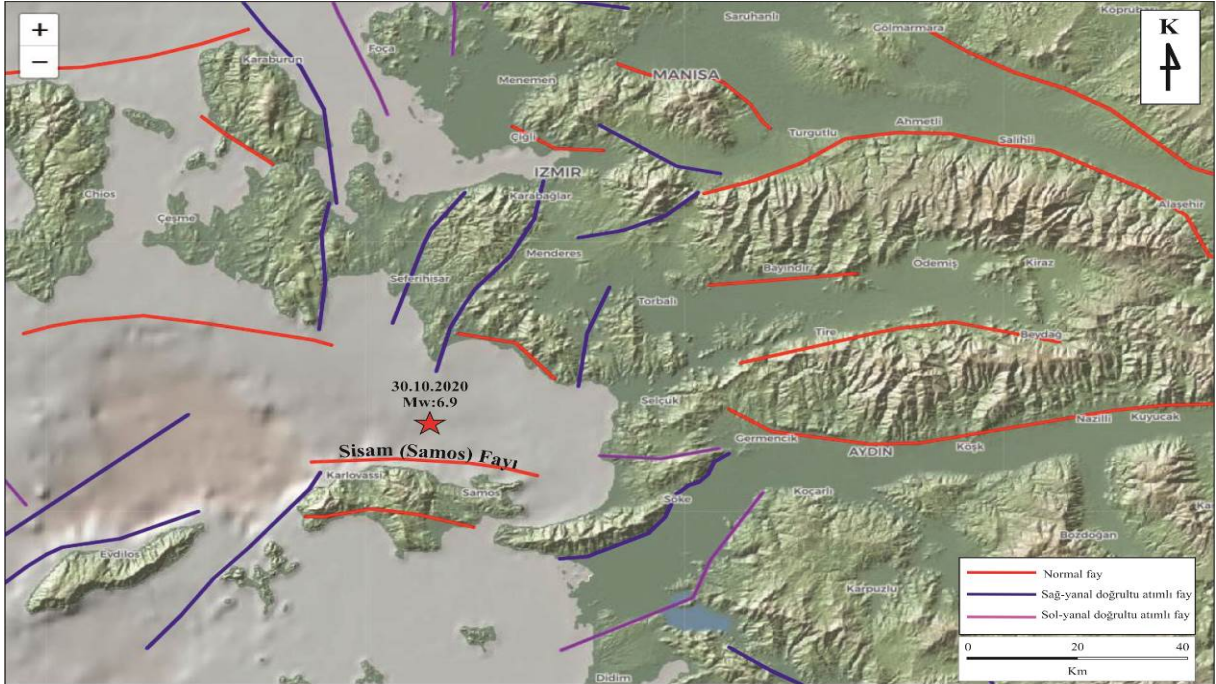


Şekil 2.2. 30 Ekim 2020 Ege Denizi Deprem alanı ve çevresinin aletsel dönem (1900 sonrası) deprem etkinliği (http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/wp-content/uploads/2020/10/20201030_izmir_V1.pdf)

3. SİSAM (SAMOS) FAYI'NIN GENEL ÖZELLİKLERİ

30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi (Mw: 6,9), Sisam (Samos) Adası'nın yaklaşık 8 km kuzeyinde ve deniz içerisinde meydana gelmiştir. Deprem moment tensör çözümleri, artçı şok dağılımları ve Sentinel 1A Yapay Açıklıklı Radar (SAR) görüntülerinin diferansiyel interferometri (DInSAR) analizleri, depremin, yaklaşık 40 km uzunluğunda, D-B doğrultulu ve kuzeye eğimli Sisam (Samos) Fayı'ndan kaynaklandığını göstermektedir. Sisam (Samos) Fayı, adanın kuzey sahiline yaklaşık koşut olarak deniz altında uzanmaktadır (Şekil 3.1).

Wells ve Coppersmith (1994) tarafından normal faylar için önerilen görgül eşitlikler kullanılarak yapılan hesaplamada, 40 km uzunluğundaki Sisam (Samos) Fayı'nın üretebileceği en büyük deprem Mw: 6,97 olarak hesaplanmıştır. Bu değer, çeşitli sismoloji merkezleri tarafından hesaplanmış ve yayınlanmış olan deprem büyüklüklerine (Mw) eş değerdir. Hesaplanmış olduğumuz Mw: 6,97 deprem büyüklüğü, 30 Ekim 2020 Ege Denizi depreminde Sisam (Samos) Fayı'nın tamamının kırıldığını göstermektedir. Wells ve Coppersmith (1994) tarafından normal faylar için önerilen görgül eşitliklere göre en fazla yer değiştirme (maximum displacement) 2,01 metre, ortalama yer değiştirme (average displacement) ise 0,87 metre olarak hesaplanmıştır.

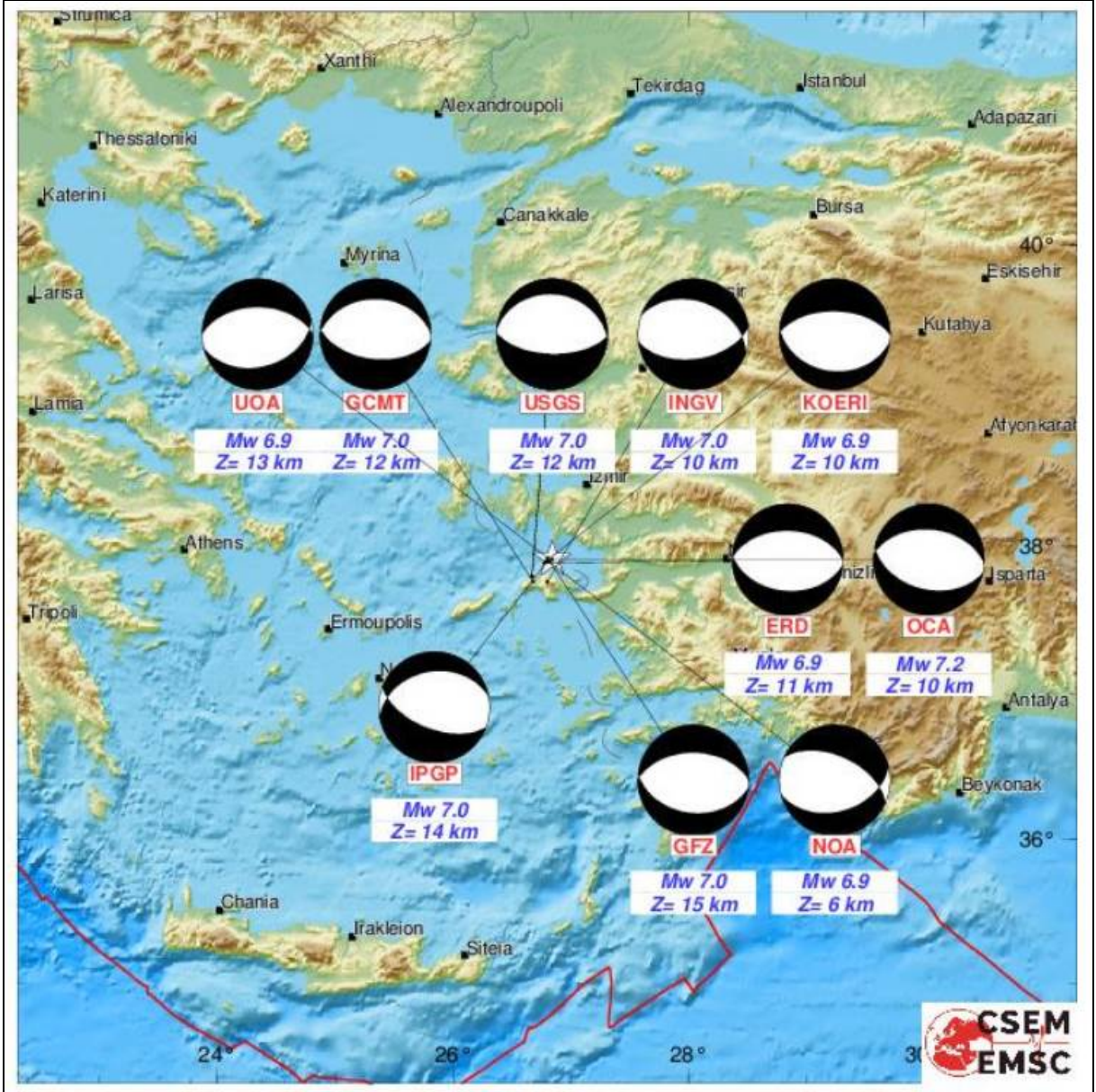


Şekil 3.1 30 Ekim 2020 Ege Denizi depremine (Mw:6.9) kaynaklık eden Sisam (Samos) fayı ve çevresinin aktif fay haritası (<https://blogs.openquake.org/hazard/global-active-fault-viewer/>)

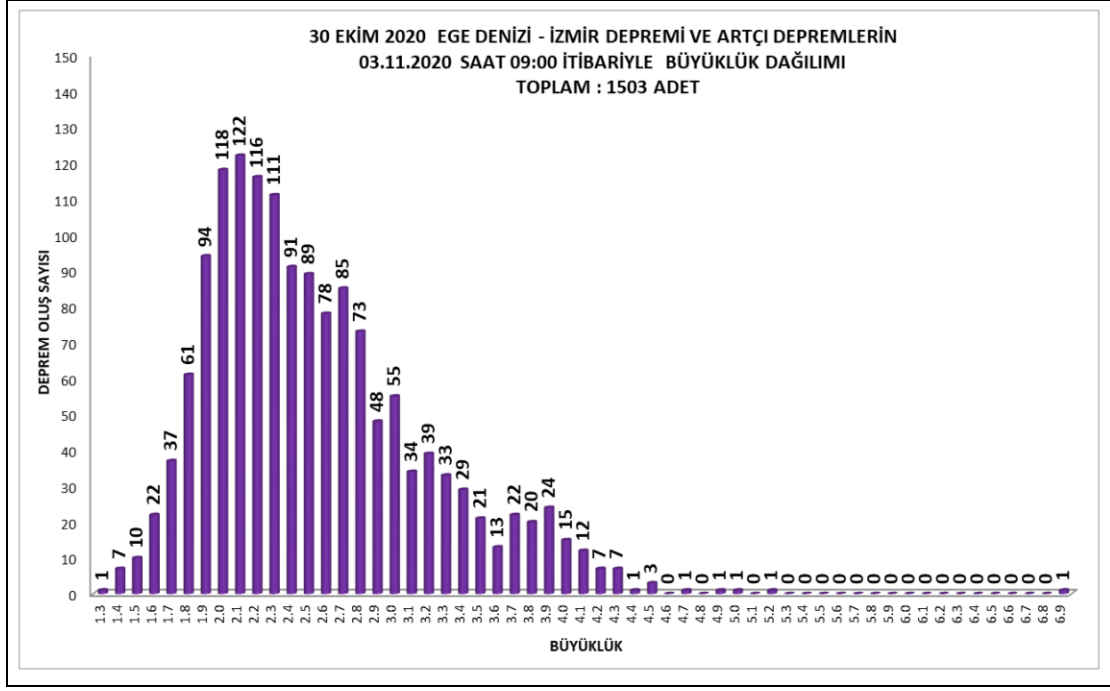
4. 30 EKİM 2020 EGE DENİZİ DEPREMİ (Mw: 6,9)

4.1. Sismolojik Bilgiler

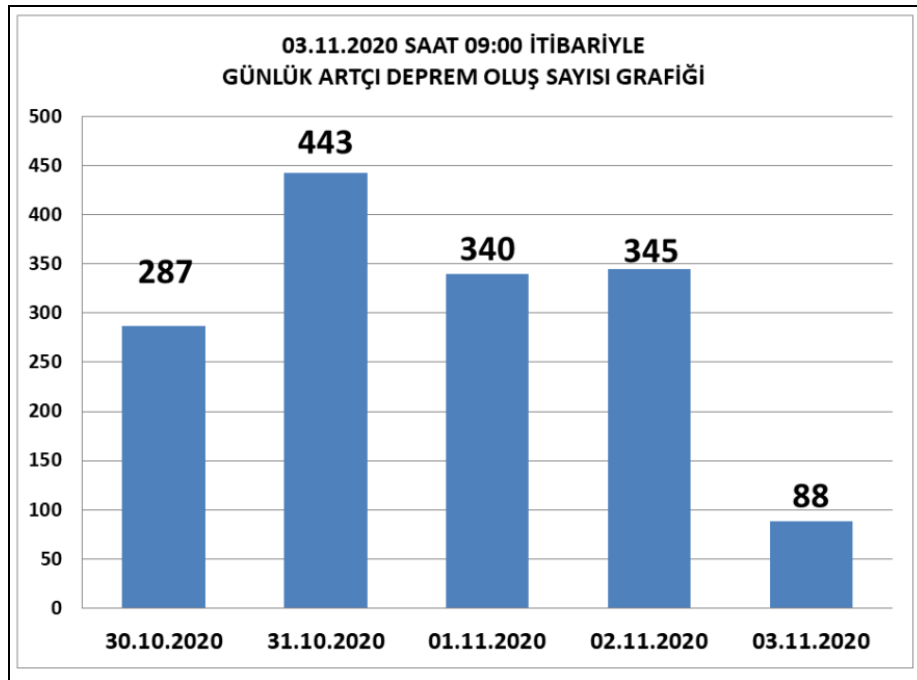
Çeşitli ulusal ve uluslararası sismoloji merkezlerinden elde edilen bilgilere göre, 30 Ekim 2020 tarihinde, Türkiye saati ile 14.51'de, merkez üstü Sisam (Samos) Adası'nın 8 km kuzeyi olan Mw: 6,9 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir. Deprem, yaklaşık D-B doğrultulu bir normal faydan kaynaklanmış olup odak derinliği 6-15 km arasındadır (Şekil 4.1). AFAD kayıtlarına göre 15.68 saniye süren depremin koordinatları 37.8881 K – 26.7770 D'dur. AFAD tarafından 04.11.2020 tarihinde yapılan açıklamaya göre, 114 vatandaşımız hayatını kaybetmiş, 1.035 vatandaşımız ise yaralanmıştır. Deprem nedeniyle 7'si tamamen olmak üzere 16 bina yıkılmıştır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından şu ana kadar 10.287 binada hasar tespit çalışması yapılmıştır. Buna göre, 124'ü ağır, 119'u orta ve 730'u az hasarlı bina tespit edilmiştir. Deprem, İzmir, Muğla, Aydın, Denizli, Manisa, Uşak, Afyonkarahisar, Kütahya, Balıkesir, Bursa, Çanakkale, İstanbul, ve Sakarya başta olmak üzere tüm Batı Anadolu ve Kuzey Ege Adaları'nda hissedilmiştir (Şekil 4.2).



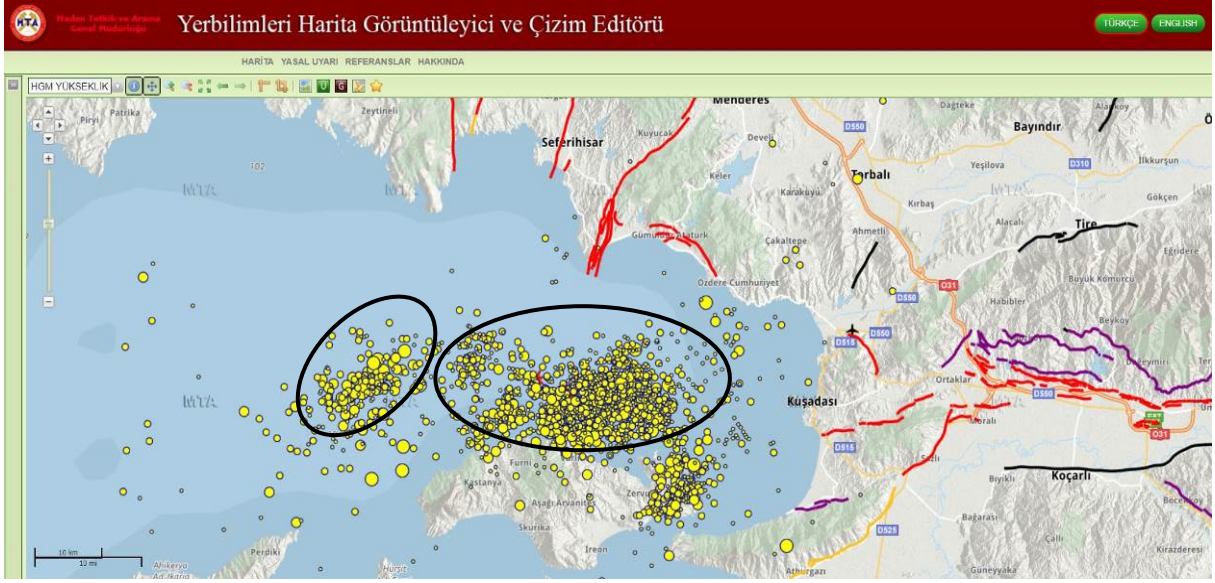
Şekil 4.1 Ulusal ve uluslararası sismoloji merkezleri tarafından 30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi için önerilen dışmerkez, odak derinliği ve hızlı moment tensör çözümleri (<https://static2.emsc.eu/Images/EVID/91/915/915787/915787.MT.jpg>) EMSC: European-Mediterranean Seismological Centre.



Şekil 4.3. 30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi'nin 03.11.2020 saat 09:00 itibariyle deprem oluş sayısı ve büyüklük dağılımı grafiği (http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/wp-content/uploads/2020/10/20201030_izmir_V1.pdf)



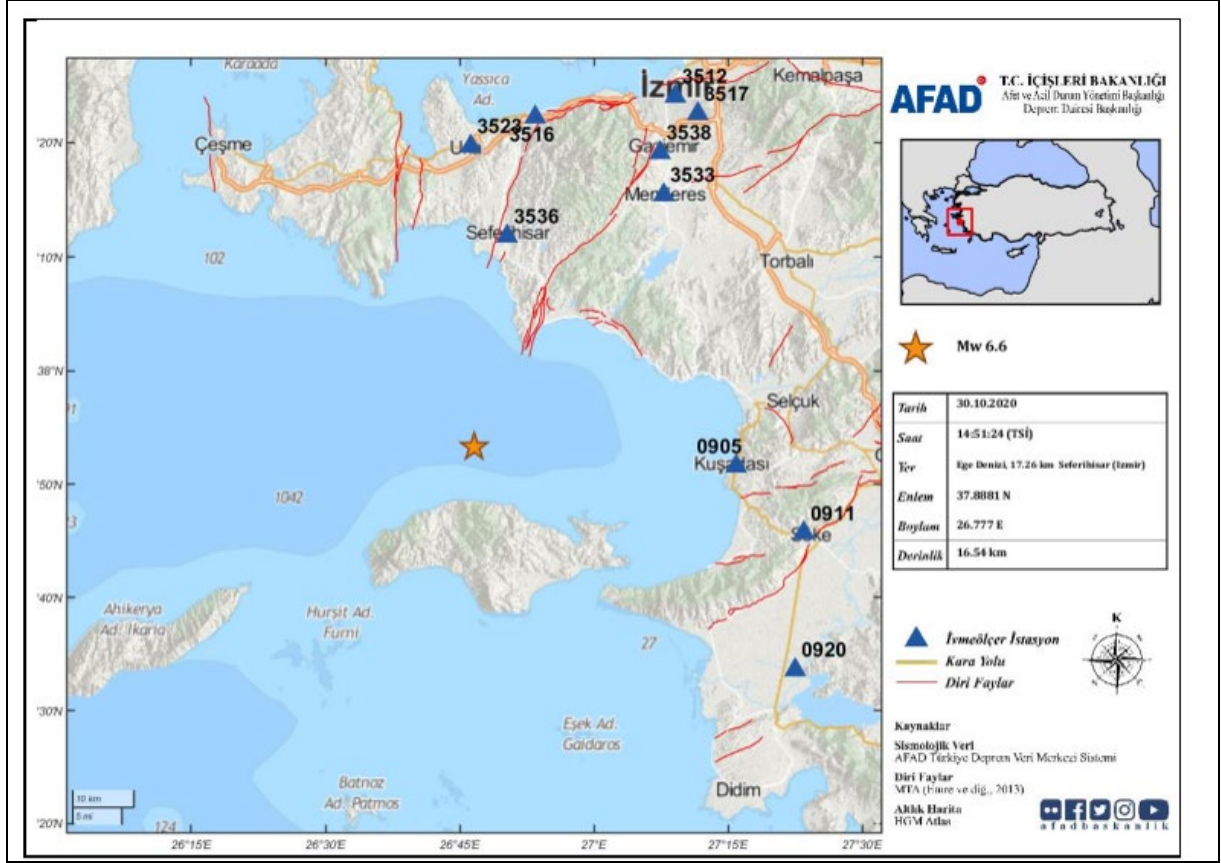
Şekil 4.4. 30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi'nin 03.11.2020 saat 09:00 itibariyle günlük artçı deprem oluş sayısı grafiği (http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/wp-content/uploads/2020/10/20201030_izmir_V1.pdf)



Şekil 4.5. 04.11.2020 tarihi itibariyle 30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi (Mw: 6,9) artçık şok dağılım haritası (<http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>)

30 Ekim 2020 Ege Denizi depremi AFAD tarafından işletilen 129 ivmeölçer tarafından kaydedilmiştir. Depremi kaydeden en yakın beş ivmeölçer (Şekil 4.6 ve Çizelge 4.1) kayıtlarına göre K-G bileşeninde en büyük ivme değeri Kuşadası İstasyonunda 180.16 gal olarak ölçülmüştür.

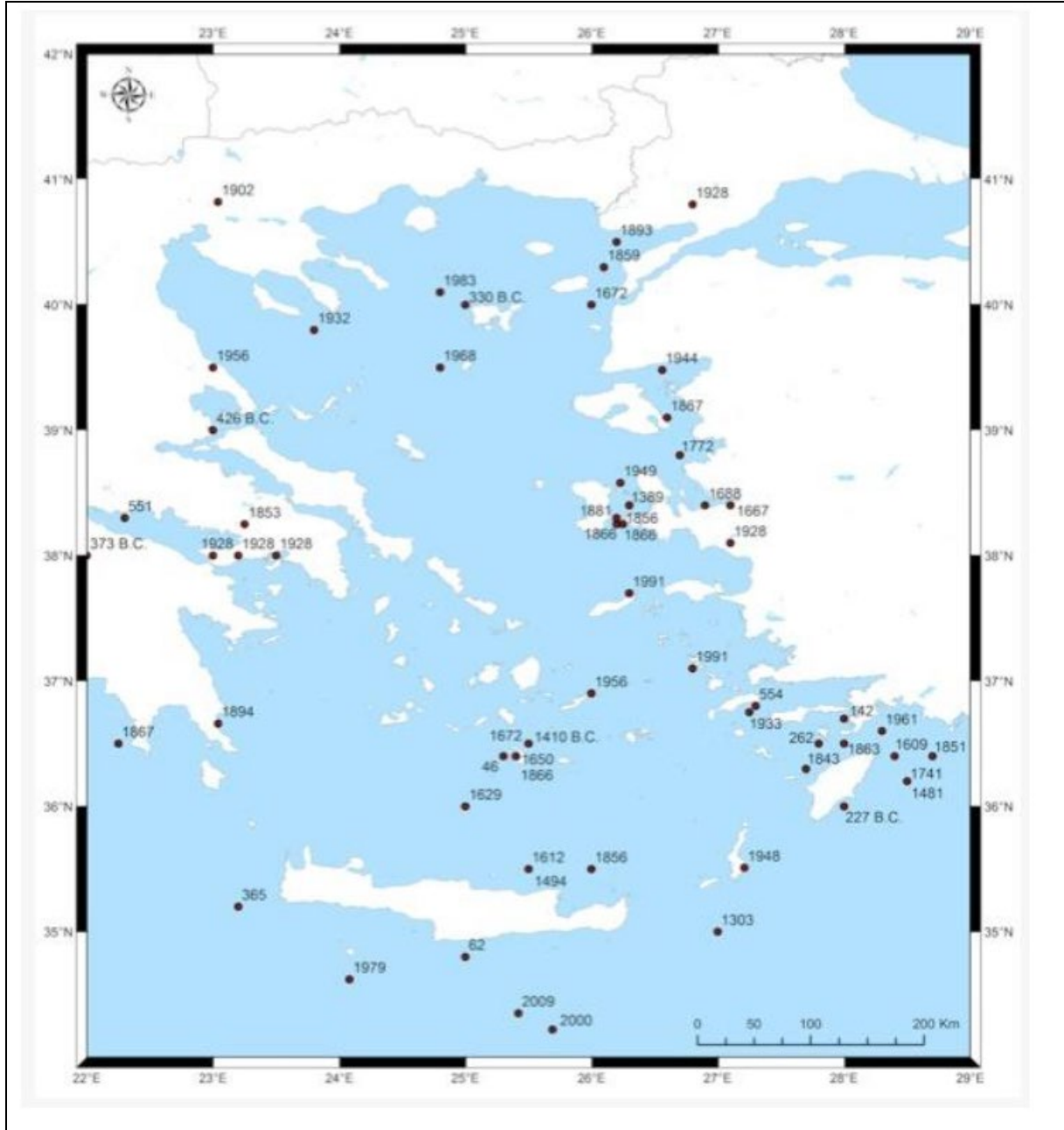
30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi (Mw: 6,9) sonrasında dış merkez alanının kuzeyinde yer alan Sığacık Körfezi'nde (Seferihisar – İzmir) ve Sisam (Samos) Adası kuzey kıyılarında tsunami meydana gelmiştir. Ege Denizi'nde, tarihsel ve aletsel dönemde çok sayıda tsunami meydana gelmiştir (Şekil 4.7). Bölgede, MÖ 496 ve MS 1949 yılları arasında meydana gelen 1389, 1856, 1866, 1881, 1949 ve 1956 tarihli depremler tsunami oluşturmuşlardır. 1956 yılında Güney Ege'de meydana gelen Amorgos depremi sırasında, Kilimli (Kalimnos) adasında 2,5 metre yüksekliğinde dalga ve 1,5 km derinliğinde su baskın alanı ve Ünye (İos), İncirli (Nisyros), Batnaz (Patnos), Papazlık (Tilos) ve Lipsi (Lipsos) adalarında ciddi maddi hasar meydana gelmiştir. Deprem sırasında oluşan tsunami dalgası Fethiye kıyılarında 1 m'ye ulaşmış, ve su baskın derinliği kara tarafına doğru 250 metre olarak rapor edilmiştir. 21 Temmuz 2017'de Gökova Körfezi açıklarında meydana gelen Mw=6,6 büyüklüğündeki depremde, Bodrum kıyılarında tsunami tırmanma yükselişinin 1,9 metreye ulaştığı bir tsunami meydana gelmiştir (http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/wp-content/uploads/2020/10/20201030_izmir_V1.pdf).



Şekil 4.6. Bölgedeki en yakın beş ivmeölçerin lokasyonları (<https://deprem.afad.gov.tr/downloadDocument?id=2064>)

Çizelge 4.1. Bölgedeki ivmeölçer istasyonları ve ölçülen ivme değerleri (<https://deprem.afad.gov.tr/downloadDocument?id=2064>)

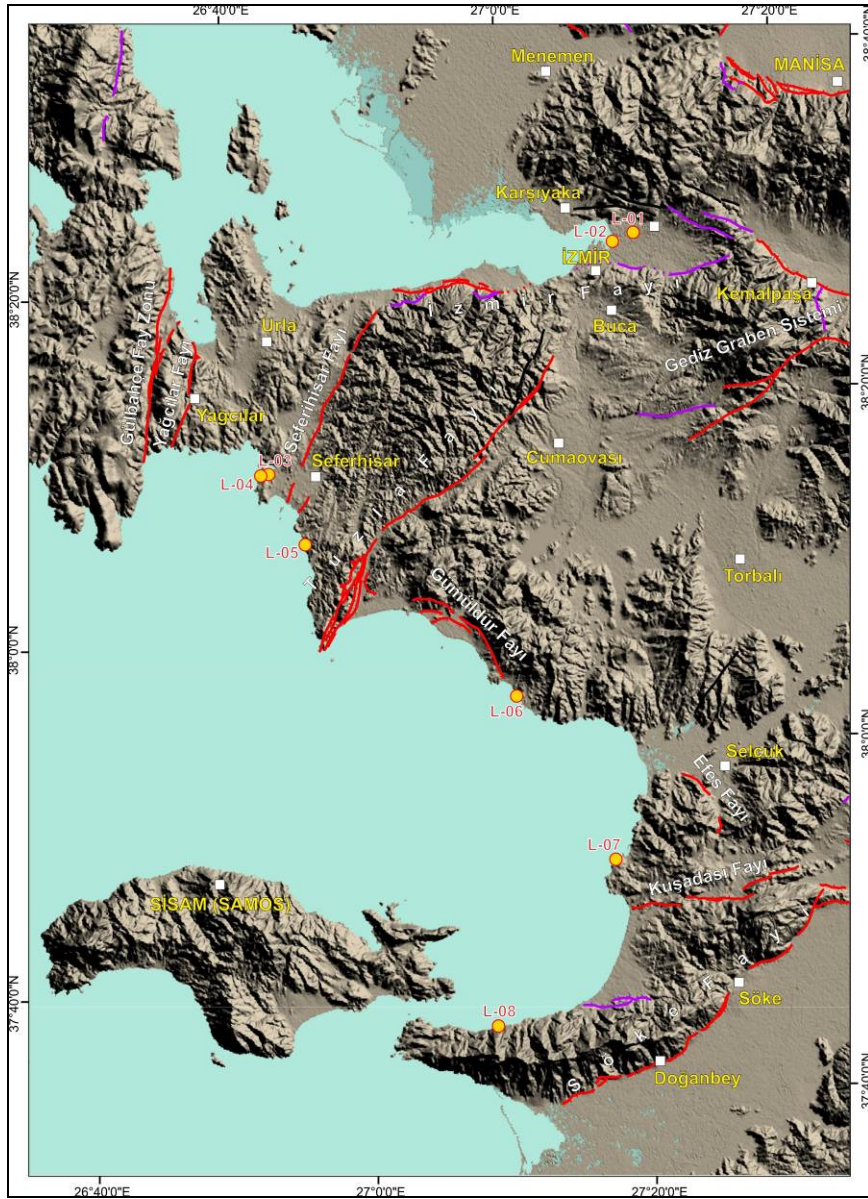
Kodu	İstasyon		Ölçülen İvme Değerleri (gal)					Uzaklık R_{epi} (km)
	İl	İlçe	Enlem	Boylam	K-G	D-B	Düşey	
3536	İzmir	Seferihisar	38.1968	26.8384	51,03446	81,11612	34,45255	34.75
0905	Aydın	Kuşadası	37.8600	27.2650	180,1639	144,5644	87,16072	42.95
3523	İzmir	Urla	38.3282	26.7706	82,07247	64,95047	43,17427	48.94
3533	İzmir	Mendere	38.2572	27.1302	73,91594	46,43292	43,70139	51.38
3516	İzmir	Güzelbahçe	38.3706	26.8907	47,41756	48,54435	35,01126	54.57



Şekil 4.7. Ege Denizi'nde meydana gelen tarihsel ve aletsel dönem tsunamileri (http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/wp-content/uploads/2020/10/20201030_izmir_V1.pdf)

5. SAHA GÖZLEMLERİ

30 Ekim 2020 tarihinde yerel saat ile 14.51'de meydana gelen Ege Denizi Depremi'ne (Mw: 6,9) neden olan kaynak fayın belirlenmesi, meydana gelen yapısal hasarın jeolojik nedenlerinin ortaya konması ve deprem sonrasında meydana gelen tsunaminin boyutlarının araştırılması amacıyla saha çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Görevlendirilen uzman teknik personel, 30 Ekim 2020 günü sahaya intikal etmiş ve çalışmalarını 04.11.2020 tarihine kadar sürdürmüştür. Saha çalışmaları, kuzeyde İzmir Körfezi ile güneyde Dilek Yarımadası (Kuşadası güneyi) arasında kalan alandaki sekiz farklı lokasyonda gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Saha gözlemleri lokasyon haritası

5.1. Yapısal Hasarın Jeolojik Nedenlerini Belirlemeye Yönelik Saha Çalışmaları

5.1.1. İzmir ve Çevresinin Genel Jeolojisi

İzmir ve çevresinde Prekamriyen'den günümüze kadar değişen yaş aralığında jeolojik birimler yüzeylemektedir (Şekil 5.2). İzmir ve çevresinde jeolojik temeli, Menderes Masifi'nin çekirdek kısmını oluşturan, çoğunlukla metagranit ve gnayslardan oluşan, yer yer şist, fillit, mermer, metabazit, migmatit ve amfibolitler içeren Prekamriyen yaşlı metamorfik kayalar oluşturmaktadır. Menderes Masifi'nin örtü serileri ise Paleozoyik-erken Eosen yaş aralığındaki mikaşist ve mermerler oluşturmaktadır. Karaburun Yarımadası'nın kuzey kısmında temeli, Silüriyen-Devoniyen yaşlı, yer yer metamorfize olmuş kırıntılı ve karbonatlı kayalar ile Karbonifer yaşlı kırıntılı ve karbonatlı kayalar oluşturmaktadır. Kınık ilçesi güneyinde ise en yaşlı kayalar permiyen ve Permo-Triyas yaşlı, yer yer volkanik ara katkılı kırıntılı ve karbonatlı kayalar ile temsil olunur. Tüm bu temel birimler, Karaburun Yarımadası'nda açılmal uyumsuzlukla erken-orta Triyas yaşlı kırıntılı ve karbonatlı kayalar ile orta Triyas-Jura yaşlı neritik kireçtaşları tarafından örtülmektedir. Buna karşın, Selçuk ve Tire çevresinde geniş alanlarda yayılım gösteren Kiklad metamorfik kompleksinin orta Triyas-Kretase yaşlı neritik kireçtaşları ile Jura-Kretase yaşlı mermer ve metafilizleri allohton konumda olup bir yandan Menderes Masifi'ni diğer yandan ise Senoniyen yaşlı filizi tektonik olarak üzerlemektedir. Senoniyen filizi, kuzeyde Sakarya Kıtası ile güneyde Torid-Anatolid Platformu'nun kıtsal çarpışma alanını oluşturan İzmir-Ankara-Erzincan kenet kuşağında oluşmuştur. Bu kenet kuşağı boyunca Sakarya Kıtası güneye doğru kalın bir ofiyolit temel üzerinde ilerlemiştir. Üst Senoniyen filizi içerisinde geç Kretase yaşlı neritik kireçtaşları ile Mesozoyik yaşlı peridoditler de yer almaktadır. Bu birimler, Karşıyaka dolaylarındaki Yamanlar Dağı'nda Oligosen yaşlı ayrılmamış volkanitler tarafından üzerlenmiştir. Menderes Masifi dışındaki tüm birimler, bazı alanlarda alt-orta Miyosen yaşlı karasal-gösel kırıntılılar ve karbonatlar, bazı alanlarda ise benzer yaşlı riyolit, dasit, bazalt, ayrılmamış volkanitler ve proklastik kayalar tarafından uyumsuzlukla örtülmüştür. Bergama kuzeyindeki Kozak Granitoyidi ile Efemçukuru ve Karaburun Yarımadası'nın kuzeyinde yüzlek veren granitik kayalar Miyosen yaşlı olup, kendisinden yaşlı kayaları sıcak dokanaklarla kesmiştir (Akbulut ve diğerleri, 2010). Özellikle Gediz Grabeni'nin batı bölümü boyunca Kuvaterner yaşlı alüvyonlar geniş alanlarda yüzlek vermektedir. İzmir Körfezi, Karşıyaka sahil kısmı ve Sığacık Körfezi ise alüvyon, delta ve kıyı çökelleri ile temsil olmaktadır.

30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi'nde (Mw: 6,9) en fazla yapısal hasar İzmir Körfezi içerisinde yer alan Bornova ve Bayraklı ilçelerinin kıyı kesimlerinde meydana gelmiştir. İzmir Körfezi ve çevresinde yapısal hasarın yoğun olarak meydana geldiği kesimler, daha çok delta ve kıyı çökelleri ile yeraltı su seviyesinin sığ derinliklerde olduğu alüvyonlardan oluşmaktadır. Bu tür çökeller sıvılaşmaya yatkın kum, silt ve kil boyu tutturulmamış gevşek zemin özellikleri göstermektedir. Aynı zamanda bu alanlarda yeraltı su seviyesi oldukça sığ derinliklerdedir.

Sıvılaşma; özellikle suya doymuş gevşek zeminlerde, deprem sırasında boşluk suyu basıncının artmasına bağlı olarak zeminlerin geçici olarak kayma dirençlerini kaybetmesidir. Sıvılaşma sonucunda binalarda; Yüzeysel temellerde taşıma gücünün azalması veya kaybı, farklı oturmalar, gömülü yapıların sökülerek yüzeye çıkması gibi deformasyonlar meydana gelmektedir.

AFAD kayıtlarına göre, 30 Ekim 2020 Ege Denizi depreminde, 7'si tamamen olmak üzere 16 bina yıkılmıştır (Şekil 5.3 ve Şekil 5.4). Yıkılan binaların çoğu deprem dalgalarının zeminde büyümesini sağlayabilecek özellikte gevşek çökeller üzerinde yer almaktadır. Bunun yanı sıra, yetersiz ve niteliksiz inşaat uygulamaları ve iskan sonrası kullanım hataları yapısal hasarın diğer önemli nedenleri arasında sıralanabilir. Bayraklı ilçesinde yıkılan Doğanlar ve Rızabey apartmanı başta olmak üzere yıkılan binaların çoğu, deniz seviyesinden yaklaşık 60 m yüksekte, kıyıdan yaklaşık 4-5 km uzakta, ancak gevşek zemin üzerinde yer almaktadır. Buna karşın, kıyının hemen hemen yanında, kıyı çökelleri üzerinde ve oldukça yüksek katlar şeklinde inşaa edilmiş olan binalar, modern inşaat teknikleri (kazık temel, deprem izolatörü vb.) uygulanarak inşaa edildikleri için yapısal hasar meydana gelmemiştir (Şekil 5.5).



Şekil 5.3. Doğanlar apartmanının deprem öncesi ve sonrasına ait görüntüleri



Şekil 5.4. Rızabey apartmanının deprem öncesi ve sonrasına ait görüntüleri



Şekil 5.5. 30 Ekim 2020 Ege Denizi depreminde modern inşaat teknikleri uygulanarak inşaa edildiği için yapısal hasar meydana gelmeyen yüksek katlı binalar (İzmir Körfezi; bakış Doğu'ya).

5.2. Tsunami Boyutlarını Belirlemeye Yönelik Saha Çalışmaları

30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi'nde (Mw: 6,9) deprem dış merkez alanının kuzeyinde yer alan Sığacık Körfezi'nde (Seferihisar) ve güneyinde yer alan Sisam (Samos) Adası'nın kuzey kıyılarında tsunami meydana gelmiştir (Şekil 5.6). Tsunami nedeniyle tekerlekli sandalye ile yaşamını sürdüren bir engelli vatandaşımız hayatını kaybetmiştir.



Şekil 5.6. Sığacık Körfezi'nde (soldaki fotoğraf) ve Sisam (Samos) Adası'nda (sağdaki fotoğraf) 30 Ekim 2020 Ege Denizi depreminin tetiklediği tsunami nedeniyle meydana gelen yapısal hasarlar.

Saha çalışmalarının bir bölümü Sığacık Körfezi ve çevresinde gerçekleştirilmiştir. Yazılı ve görsel yayın organlarından elde edilen görüntülere ve görgü tanıklarından alınan bilgilere göre denizdeki dalga yükseliği 65-80 cm dolaylarındadır. Sığacık Körfezi kıyılarında yapmış olduğumuz ölçümlere göre, tsunami dalgalarının Sığacık Körfezi'ne tırmanma yüksekliği 2,5 – 3,0 metre arasında değişmektedir (Şekil 5.7). Tsunami dalgalarının Sığacık Körfezi'nin kara tarafına doğru ilerleme mesafesi (tsunami derinliği) ise 200-250 metre olarak belirlenmiştir. Tsunami nedeniyle Sığacık Körfezi'ndeki çok sayıda tekne alabora olmuş, 60 kadar tekne ise açık denize sürüklenmiştir (Şekil 5.8).



Şekil 5.7. Sığacık Körfezi'nde 30 Ekim 2020 Ege Denizi depreminin tetiklediği tsunami tırmanma yükselişini gösteren arazi fotoğrafları ve basitleştirilmiş model.

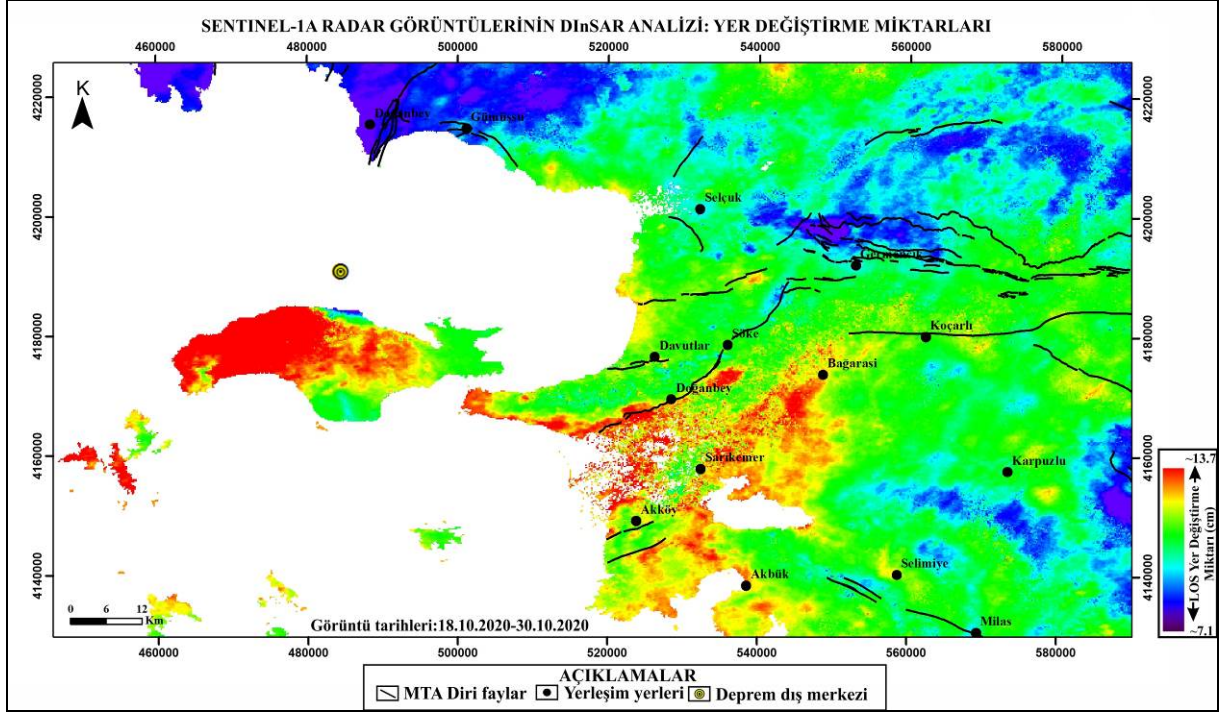


Şekil 5.8. Sığacık Körfezi'nde 30 Ekim 2020 Ege Denizi depreminin tetiklediği tsunami sonucunda alabora olan tekneler.

5.3. Kıyı Değişimlerine Yönelik Saha Çalışmaları

30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi'ni takip eden 31 Ekim günü, kuzeyde İzmir Körfezi ile güneyde Dilek Yarımadası (Kuşadası güneyi) arasında kalan alanda, Ege Denizi kıyıları boyunca ölçümler yapılmıştır (Şekil 5.9). Bu ölçümlere göre, deprem kaynak fayının kuzeyinde ve güneyinde 15-20 cm yükselimler belirlenmiştir. Sisam (Samos) Fayı'nın güneyindeki yükselimler fayın doğası gereği güney blok (taban blok) yükselimi ile açıklanabilmektedir. Deprem kaynak fayının kuzeyinde kalan bölgedeki yükselme değerleri ilk bakışta fayın doğasına aykırıymış gibi görünse de, kuzey bloktaki bu yükselimler aslında tsunaminin gelişimini de rahatlıkla açıklayabilmemize yardımcı olmuştur. Deprem moment tensör çözümlerine göre, D-B doğrultulu kaynak fayı odakta (yaklaşık 10 km derinlikte) yaklaşık 35 derece kuzeye eğimlidir. Ege Denizi'ndeki normal fayların yüzeyde daha yüksek açılı oldukları bilinmektedir (Chatzipetros ve diğerleri, 2013). Chatzipetros ve diğerleri (2013), Sisam (Samos) Adası'ndaki normal fayların eğim miktarlarını 40-75° arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Bu veri, 30 Ekim 2020 depremine neden olan Sisam (Samos) Fayı'nın eğim miktarının derine doğru azaldığını yani listirik (kürek) bir geometri sunduğunu göstermektedir. Listirik faylar üzerinde bir deprem meydana geldiğinde, tavan bloğun geriye yani faya doğru eğimlendiği (back tilting) bilinmektedir. 30 Ekim 2020 depremi sırasında, tavan blok kuzeye eğimli listirik Sisam Fayı üzerinde geriye (güneye) doğru eğimlenmiş, bu sırada Sığacık Körfezi ve çevresinde deniz güneye doğru çekilmiş, depremin sona ermesi ile birlikte ise deniz suyu statik dengeye ulaşabilmek için tekrar kuzeye doğru hareket ederek tsunaminin gelişimine neden olmuştur (Şekil 5.10).

görüntülerinin diferansiyel interferometri (DInSAR) analizleri yapılmıştır. Sentinel 1A DInSAR analiz sonuçlarına göre; Sisam (Samos) Adası'nın batı bölümünde uyduya bakış yönünde (LOS) yaklaşık 14 cm'ye ulaşan yükselme değerleri belirlenmiştir (Şekil 5.11). Bu veri, 30 Ekim 2020 Ege Denizi depreminin kuzeye eğimli Sisam (Samos) Fayı üzerinde meydana geldiğini ve bu nedenle Ada'nın tarafının bulunduğu taban bloğun yükseldiğini desteklemektedir.



Şekil 5.11. 30 Ekim 2020 Ege Denizi depreminin Diferansiyel İnterferometri (DInSAR) analizleri

6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

- 1- Ulusal ve uluslararası sismoloji merkezleri tarafından yayınlanan moment tensör çözümlerine göre, 30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi (Mw: 6,9), Ege Bölgesi'nin orta bölümünün güncel tektoniği ile uyumlu olarak, D-B doğrultulu bir normal fay üzerinde meydana gelmiştir.
- 2- AFAD kayıtlarına göre, 114 vatandaşımız hayatını kaybetmiş, 1.035 vatandaşımız ise yaralanmıştır. Deprem nedeniyle 7'si tamamen olmak üzere 16 bina yıkılmıştır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından şu ana kadar 10.287 binada hasar tespit çalışması yapılmıştır. Buna göre, 124'ü ağır, 119'u orta ve 730'u az hasarlı bina tespit edilmiştir.
- 3- AFAD kayıtlarına göre depremin süresi 15.68 saniyedir.
- 4- Artçı şokların zamansal ve mekânsal dağılımları, 30 Ekim 2020 Ege Denizi depreminde kırılan fayın uzunluğunun yaklaşık 40 km olduğuna işaret etmektedir.
- 5- Artçı şoklar D-B ve KD-GB yönünde iki farklı alanda yoğunlaşmıştır. D-B doğrultulu artçı şoklar Sisam (Samos) Fayı ile ilişkilendirilmiştir. KD-GB doğrultulu artçı şoklar ise deprem etkinliğinin Sisam Fayı'nın batısındaki KD-GB doğrultulu bir fayın da tetiklenmiş olduğuna işaret etmektedir.
- 6- Wells ve Coppersmith (1994) normal faylar için önerilen görgül eşitlikler kullanılarak yapılan hesaplamalarda, yaklaşık 40 km uzunluğundaki Sisam (Samos) Fayı'nın üretebileceği en büyük deprem Mw: 6,97, en büyük yer değiştirme 2,01 metre ve ortalama yer değiştirme miktarı 0,87 metre olarak belirlenmiştir.
- 7- Deprem sırasında en fazla yapısal hasar, Bayraklı ve Bornova ilçelerinde suya doygun, gevşek alüvyal, delta ve kıyı çökelleri üzerine kurulu, kötü inşa edilmiş ve iskân sonrası kullanım hataları içeren binalarda meydana gelmiştir. Modern inşaat teknikleri uygulanarak yapılan çok katlı binalarda herhangi bir yapısal hasar meydana gelmemiştir.
- 8- 30 Ekim 2020 Ege Denizi depremi sonrasında kuzeyde Sığacık Körfezi'nde (Seferihisar) ve güneyde Sisam (Samos) Adası kuzey kıyılarında tsunami meydana gelmiştir. Tsunami öncesi dalga yüksekliği 80 cm, Sığacık Körfezi'ne doğru tsunami tırmanma yükseliği en fazla 2,5-3,0 metre ve kara tarafına doğru tsunami derinliği 200-250 metre olarak tespit edilmiştir.

- 9- Sisam (Samos) Fayı yüzeyde 40-75°, odakta ise 35° kuzeye eğimlidir. Bu verilere göre derine doğru listirik bir geometri sunan Sisam (Samos) Fayı'nın tavan bloğu (kuzey blok) deprem sırasında geriye doğru eğimlenmiştir. Bu sırada, deprem dış merkez alanının kuzeyinde kalan Sığacık Körfezi ve dolaylarında deniz geriye doğru çekilmiş, ardından Ege Denizi statik seviyesine ulaşmaya başlayınca da kuzeye doğru deniz ilerlemesi yaşanmıştır.
- 10- Sentinel 1A Yapay Açıklıklı Radar (SAR) görüntülerinin diferansiyel interferometri (DInSAR) analiz sonuçlarına göre; Sisam (Samos) Adası'nın batı bölümünde uyduya bakış yönünde (LOS) yaklaşık 14 cm'ye ulaşan yükselme değerleri belirlenmiştir
- 11- Deprem sonrasında, başta Gülbahçe ve Tuzla Fayları olmak üzere karadaki aktif faylar civarında yeni sıcak su kaynakları oluşmuş, bilinen kaynakların debilerinde ve sıcaklıklarında genellikle pozitif değişimler meydana gelmiştir.

7. KATKI BELİRTME

Depremden hemen sonra, bu çalışmayı yapabilmemize olanak sağlayan Maden Tetkik ve Arama Genel M¼d¼rl¼ğ¼m¼ze, Jeoloji Et¼tleri Dairesi Başkanlığımıza ve çalışma s¼resince sağlamış oldukları lojistik destekler nedeniyle MTA Ege B¼lge M¼d¼rl¼ğ¼m¼ze teşekk¼rlerimizi sunarız.

8. DEĞİNİLEN BELGELER

- Armijo, R., Meyer, B., Hubert-Ferrari, A. and Barka, A., 1999. Westward propagation of North Anatolian Fault into the Northern Aegean: timing and kinematics. *Geology*, 27, 267-270.
- Dewey, J.F., Hempton, M.R., Kidd, W.S.F., Şaroğlu, F. and Şengör, A.M.C., 1986. Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of eastern Anatolia: a young collision zone. In: Coward, M. P. & Ries, A. C. (eds) *Collision Tectonics*. Geological Society London Special Publications, 19, 3–36.
- Emre, Ö., Özalp, S., Doğan, A., Özaksoy, V., Yıldırım, C. ve Göktaş, F., 2005a, İzmir yakın çevresinin diri fayları ve deprem potansiyelleri. MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Rapor No: 10754, 80s., Ankara.
- Emre, Ö., Doğan, A., Özalp, S. ve Yıldırım, C., 2005b, 17 Ekim 2005 Sığacık (İzmir) depremleri ön değerlendirme raporu. MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Rapor No: 10756, 6s., Ankara.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. ve Şaroğlu, F., 2013. Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası. Ölçek 1:1.250.000, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara-Türkiye.
- Kuşçu, İ., Öcal, F. ve Kurtuluş, O., 2010, İzmir ve Sığacık Körfezlerinde Kıyı Ötesi Aktif Faylar. MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Rapor No: 11273, 73s., Ankara.
- McKenzie, D.P., 1972. Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 30, 109-185.
- McKenzie D.P., 1978. Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions. *Geophys. J. Royal Astron. Soc.*, 55, 217-254.
- Şengör, A.M.C., 1980. Türkiye'nin Neotektoniğinin Esasları. TJK Konferans Serisi: 2.
- Şengör, A.M.C. and Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach: *Tectonophysics*, v. 75, p. 181-241.
- Şengör, A.M.C., Görür, N. and Şaroğlu, F., 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. in: Biddle K.T., Christie-Blick N. (Eds.), *Strike-slip Faulting and Basin Formation*, Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Sp. Pub., 37, 227-264.
- Yılmaz, Y., 2000. Ege Bölgesinin Aktif Tektoniği, Batı Anadolu Deprem Sempozyumu (BADSEM) Bildiriler Kitabı, s: 3-14. ISBN: 975-585-148-8, İzmir.
- AFAD: <https://deprem.afad.gov.tr/downloadDocument?id=2064>
- EMSC: <https://static2.emsc.eu/Images/EVID/91/915/915787/915787.MT.jp>
- GEM: <https://blogs.openquake.org/hazard/global-active-fault-viewer/>
- KRDAE: http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/wpcontent/uploads/2020/10/20201030_izmir_V1.pdf
- MTA: <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>