



ORTA DOĞU TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
DEPREM MÜHENDİSLİĞİ ARAŞTIRMA MERKEZİ



30 EKİM 2020
İZMİR-SEFERİHİSAR AÇIKLARI (SİSAM)
DEPREMİ (M_w 6.6)
KEŞİF GÖZLEMLERİ ve BULGULAR

RAPOR NO: ODTÜ/DMAM 2020-03

KASIM 2020
ANKARA



ORTA DOĞU TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
DEPREM MÜHENDİSLİĞİ ARAŞTIRMA MERKEZİ



30 EKİM 2020
İZMİR-SEFERİHİSAR AÇIKLARI (SİSAM)
DEPREMİ (M_w 6.6)
KEŞİF GÖZLEMLERİ ve BULGULAR

RAPOR NO: ODTÜ/DMAM 2020-03

KASIM 2020
ANKARA

Editör

Salim Azak

Teşekkür

Bu çalışmanın ortaya çıkmasının öncesinde, esnasında ve sonrasında destek olan, katkı sağlayan başta Orta Doğu Teknik Üniversitesi Rektörlüğüne, Mühendislik Fakültesi Dekanlığına, İnşaat Mühendisliği Bölümü Başkanlığına, Jeoloji Mühendisliği Bölüm Başkanlığına ve aşağıda adı geçen tüm kişi ve kuruluşlara teşekkür ederiz.

- Saha çalışmaları ve araştırmaları sırasında büyük katkı sağlayan İzmir Büyükşehir Belediyesi Başkanlığına,
- Bina performansına ilişkin gözlem ve değerlendirmelere ait çalışmalarda lojistik, koordinasyon, erişim ve bilgi sağlamada yardımlarını esirgemeyen Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Altyapı ve Kentsel Dönüşüm Hizmetleri Genel Müdürlüğüne,
- Tsunami saha gözlemleri sırasında sağladıkları destek ve katkıları için Yüksel Proje Şirketine, 119Y419 numaralı proje kapsamında destek veren TÜBİTAK'a, Yıldız Teknik Üniversitesine, Kocaeli Üniversitesine, İstanbul Büyükşehir Belediyesine, Dokuz Eylül Üniversitesine, İzmir Büyükşehir Belediyesine, Çeşme Belediyesine ve Seferihisar Belediyesine, Dolfen Danışmanlık ve Mühendislik Şirketine, Çeşme Marina, Sığacık Teos Marina ve Port Alaçatı tesisleri yetkililerine, ODTÜ İnşaat Mühendisliği öğretim üyesi Dr. Zeynep Gülerce'ye, ODTÜ İnşaat Mühendisliği Kıyı ve Liman Mühendisliği Dalı yüksek lisans öğrencisi Mert Yaman'a, Çeşme Belediyesinden harita mühendisi Özgür Sarı Şahin'e, Seferihisar Belediyesinden harita mühendisi Seçkin Demirel, serbest çalışan harita teknikeri Erhan Yükselen ve harita teknisyeni Ömer Mede'ye,
- İzmir'in yapı stoku özelliklerinin tamamlanmasındaki katkılarından dolayı Türkiye İstatistik Kurumu İnşaat İstatistikleri Grup Başkanlığı'na,
- Yüksek bina araştırma projesine, Ulusal Deprem Araştırma Programı UDAP- G-17-04 nolu proje kapsamında destek sağlayan Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığına, Mistral İzmir Ofis Kulesi'ne yapı sağlığı izleme sistemi kurulmasına izin veren Mistral İzmir Yönetimine, tüm bu süreçte koordinasyonu sağlayan Ozan Çağlar İnaç'a ve yapı sağlığı izleme sistemi kurulumu sırasında ve sonrasında destek veren Süleyman Tunç'a

desteklerinden ve katkılarından dolayı çok teşekkür ederiz.

Yazarlar

Bölüm 2

Atilla Arda Özacar¹, Zeynep Gülerce¹, Eyüp Sopacı¹, Ayşegül Askan¹ 3

Bölüm 3

*Abdullah Altındal¹, Gizem Can¹, Shaghayegh Karimzadeh Naghshineh¹, Ayşegül Askan¹,
Kemal Önder Çetin¹, Zeynep Gülerce¹, Atilla Arda Özacar¹ 9*

Bölüm 4

*Ahmet Cevdet Yalçın¹, Gözde Güney Doğan¹, Yalçın Yüksel², Ergin Ulutaş³, Orhan Polat⁴,
Işıkhan Güler¹, Cihan Şahin², Utku Kanoğlu¹, Ahmet Tarih⁵, Evrens Rıza Yapar⁵, Evrim
Yavuz⁵, M. Lütfi Süzen¹, Duygu Tüfekçi Enginar¹, Cem Bingöl¹, Sedat Gözlet¹, Hasan Gökhan
Güler¹, Bora Yalçın¹, Atilla Arda Özacar¹ 15*

Bölüm 5

*Kemal Önder Çetin¹, Zeynep Gülerce¹, Ayşegül Askan¹, Berna Unutmaz⁶, Mustafa Tolga
Yılmaz¹, Atilla Arda Özacar¹, Shaghayegh Karimzadeh Naghshineh¹, Gizem Can¹, Makbule
Ilgaç¹, Elife Çakır¹, Berkan Söylemez¹, Moutasem Zerzour¹, Faik Cüceoğlu⁷, Alaa El Sayed¹,
Ahmed Al-Suhaily¹, Soner Ocak¹, Eyüp Sopacı¹, Abdullah Altındal¹, DSİ Saha Araştırma Ekibi⁷
..... 23*

Kısım 6.1

Bekir Özer Ay¹ 33

Kısım 6.2

*Barış Binici¹, Erdem Canbay¹, Ahmet Yakut¹, Ozan Demirel¹, S. Selin Aktaş¹, Beyazıt Bestami
Aydın¹, Batu Türksönmez¹ 36*

Kısım 6.3

Ozan Cem Çelik¹ 42

Kısım 6.4

Alp Caner¹ 44

¹ Orta Doğu Teknik Üniversitesi

² Yıldız Teknik Üniversitesi

³ Kocaeli Üniversitesi

⁴ Dokuz Eylül Üniversitesi

⁵ İstanbul Büyükşehir Belediyesi

⁶ Hacettepe Üniversitesi

⁷ Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü

İçindekiler

1	Giriş	1
2	İzmir-Seferihisar Açıkları (Sisam) Depremi ve Aktif Tektonizma Gözlemleri	3
3	Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtları Hakkında Gözlemler.....	9
4	Tsunami Sonrası Saha Araştırma Bulguları	15
5	Geoteknik Mühendisliği Saha Gözlemleri	23
5.1	Giriş	23
5.2	Sarsıntının Yönlülüğü ve Yerel Zemin Etkileri.....	24
5.3	Sismik Zemin Sıvılaşması	27
5.4	Bina Temelleri.....	28
5.5	Şev Duraysızlığı ve Kaya Düşmeleri	30
5.6	Toprak ve Kaya Dolgu Barajlar	31
6	Yapısal Hasara İlişkin Gözlemler ve Değerlendirmeler.....	33
6.1	İzmir Yapı Stoku Özellikleri	33
6.2	Bina Performansına İlişkin Gözlem ve Değerlendirmeler	36
6.3	Yüksek Yapılar.....	42
6.4	Köprüler	44

Şekiller

Şekil 2.1 Ana şokun merkez üssü koordinatlarını topoğrafya ve batimetri ile beraber gösteren tektonik harita (merkez üssü-KOERI, Tablo 2.1). Ana şok için Harvard CMT çözümü eklenmiştir. b) Bölgede olmuş büyük depremlerin Harvard CMT çözümlerini gösteren topoğrafik harita. c) Artçı depremlerin dağılımını gösteren harita (kırmızı noktalar AFAD'dan alınan depremler), tahmini kırık düzleminin yüzey alanı (sarı dikdörtgen) ve yakın fay bölümlerinde tetiklenmiş sismik aktivite (mor elips ve beyaz kırıklı çizgi). Sarı yıldız depremin merkez üssü koordinatlarını göstermektedir	4
Şekil 2.2 Artçıların mekansal dağılımının zamanla değişimi (AFAD veritabanından alınmıştır)	5
Şekil 2.3 Saha gözlemleri için ziyaret edilen noktalar	6
Şekil 2.4 Dilek Yarımadası'nın güneyinde yer alan yükselmiş terasların fotoğrafları	6
Şekil 2.5 Aktif faylar çevresinde arazi gözlemleri. (a, b, c, e) Kuşadası çevresindeki güneye eğimli normal fayların fotoğrafları, (d) Efes Fayı, (f) Gümüldür Fayı.....	7
Şekil 3.1 Kuvvetli yer hareketi istasyonlarının lokasyonları (a) merkez üssü uzaklığı 100 km içerisinde bulunan istasyonlar, (b) bu rapor içerisinde ayrıntılı incelenen istasyonlar	10
Şekil 3.2 0905, 3528, 3519, 3521, 3513 and 3514 kodlu istasyonlarda ivme zaman-serileri, Fourier genlik spektrumları ve tepki spektrumları	11
Şekil 3.3 Gözlemlenen ve ASB2014 denklemi ile tahmin edilen yer hareketlerinin karşılaştırılması.....	13
Şekil 3.4 Gözlemlenen MYH değerleri kullanılarak hazırlanan MMI eşşiddet haritası (GMT-5 ile çizilmiştir).....	13
Şekil 4.1 Modelleme yardımı ile hesaplanan ve görselleştirilen tsunami oluşma bölgesi, denizde ilerlemesi ve kıyılarda yükselmelerin zamansal ve alansal dağılımı.....	17
Şekil 4.2 Tsunami sonrası saha araştırmalarının yapıldığı bölge kıyıları	19

Şekil 4.3 Alacati Azmak'ta kıyıdan 1.1 kilometre sürüklenen bir balıkçı teknesi.....	19
Şekil 4.4 Teos Marina bahçe demirlerinde tsunaminin izleri.....	20
Şekil 4.5 Sığacık Kaleiçi bölgesindeki kafeler ve dükkânlarda tsunaminin yarattığı hasar ve bıraktığı izler.....	20
Şekil 4.6 Akarca'da tsunami nedeniyle hasar gören balıkçı barınağı iskelesi, tekneler ve küçük yapılar	21
Şekil 5.1 Araştırma grubu tarafından incelenen noktalar ve bölgenin jeolojik haritası	23
Şekil 5.2 Seçilen bazı kuvvetli yer hareketi istasyonlarında çift yönlü ivme izleri	24
Şekil 5.3 a) Gümüldür yöresine ait topoğrafik yükseklik modeli, b) Kıyıya yakın kesimlerde yüzeye ulaşan ana kaya jeolojik kesiti. (Demirtaş (2019)).....	25
Şekil 5.4 Seçilen bazı yerleşim bölgelerine ait tipik zemin profilleri a) Gümüldür, b) Sığacık-Seferihisar, c) Mavişehir ve d) Bayraklı.....	25
Şekil 5.5 Seçilmiş güçlü yer hareketi istasyon kayıtlarının elastik tepki spektrumları.....	26
Şekil 5.6 a) Potansiyel olarak sınıvlaşabilecek olan alüvyon bölgeler ve b) Depremden sonra USGS tarafından yayınlanan sınıvlaşma tehlike haritası.	27
Şekil 5.7 a) Sınıvlaşma gözlemlenmemiş bir kumsal örneği (38.057442, 27.011747) b) İki farklı sahilden kum kaynaması örnekleri (38.338447, 26.647494 ve 38.310372, 26.679756)	28
Şekil 5.8 Seçilen bazı sahalardan temsili temel performansları, a) Germiyan (38.315925, 26.464742), b) Gümüldür (38.071206, 27.016639), c) Kuşadası (37.859711, 27.265708), d) Bayraklı (38.454033, 27.180125), e) Alsancak (38.439888, 27.145748) ve f) Urla (38.321289, 26.770333)	29
Şekil 5.9 1999 Kocaeli depreminden sonra Adapazarı'nda sınıvlaşma kaynaklı taşıma kapasitesi yenilmesi (solda) ve İzmir-Seferihisar açıkları (Sisam) depreminden sonra giriş kat kolonlarının ve perde duvarlarının kısmi yenilmesi sebebiyle yan yatan binalar (sağdaki resim: 38.461689, 27.180669).	30

Şekil 5.10 a) Yol kenarında rastlanan düşen kaya blokları (37.897341, 27.368394) b) Şev duraylılık problemi potansiyeli olan bir kesitten görünüm (38.292119, 26.670731)	30
Şekil 5.11 a) Toprak ve kaya dolgu barajların lokasyonları, b) Ürkmez Barajı Tip Kesiti ve c) Deprem sonrası Ürkmez Barajı kret görünümü ve performansı.....	31
Şekil 6.1 İzmir'deki bina (solda) ve daire (sağda) sayılarının ilçelere göre dağılımı	33
Şekil 6.2 İzmir yapı stokunu oluşturan binaların taşıyıcı sistem özelliklerine göre yüzdelik dağılımı	34
Şekil 6.3 İzmir'deki az katlı (1-3 kat), orta katlı (4-6 kat) ve çok katlı (9 kat ve üzeri) betonarme binaların yapım yıllarına göre yüzdelik dağılımı.....	34
Şekil 6.4 İzmir ilinde 1930-2019 yılları arasında yaklaşık 10 yıllık zaman dilimleri içinde üretilen yapıların oransal değişimi.....	35
Şekil 6.5 Bina başına düşen ortalama daire sayısının yıllar içindeki değişimi	35
Şekil 6.6 Barış Sitesi'nde gözlenen hasar	37
Şekil 6.7 Cumhuriyet Sitesi'nde gözlenen hasar.....	37
Şekil 6.8 Adalet Sitesi'nde gözlenen hasar	37
Şekil 6.9 Egemen sitesi, göçen ve hasarsız gibi duran binalar.....	38
Şekil 6.10 Aşırı korozyona maruz kolon donatıları	39
Şekil 6.11 İş merkezi hasarı	39
Şekil 6.12 Lokal ağır yapısal hasarlar	40
Şekil 6.13 İvmeölçer yerleşim planı.....	42
Şekil 6.14 Kat ivmeleri ve yer değiştirmeleri	43
Şekil 6.15 İncelenen Hat	44
Şekil 6.16 Kimyasal Tepkime Sonucu ASR Kaynaklı Çatlaklar ve Genel Görünüm	45

Şekil 6.17 Deprem Öncesi ASR Çatlağı Olan Köprü Ayağından Görüntü (Aralık, 2019) ve (Kasım 2020)	45
Şekil 6.18 Yapımı 20 sene önce durmuş ve yanal stabilitesi olmayan kirişler	46

Tablolar

Tablo 2.1 Ana şok için çeşitli ajanslardan derlenmiş deprem ve fay düzlemi parametreleri.....	4
Tablo 3.1 Seçilen istasyonlar hakkında bilgiler	12
Tablo 5.1 İzmir-Seferihisar açıkları (Sisam) depremi sonrasında DSİ ekibi tarafından incelenen barajların özellikleri.....	32

1 Giriş

30 Ekim 2020 tarihinde, Ege Denizi'nde yerel saat ile 14.51'de, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD, www.afad.gov.tr) verilerine göre moment büyüklüğü Mw 6.6, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü verilerine göre moment büyüklüğü Mw 6.9 olan bir deprem meydana gelmiştir (<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/30-ekim-2020-mw6-9-ege-denizi-izmir-depremi/>). Depremin merkez üssü, Sisam Adası Avlakia kasabasının yaklaşık 10 km kuzeyinde ve İzmir'in Doğanbey kasabasının 23 km güneyindedir. İzmir-Seferihisar açıkları (Sisam) depremi, özellikle can kaybı sayısı (115 kişi), depremin merkez üssünden 70 km uzaklıkta bulunan İzmir Bayraklı ilçesinde gözlenen önemli yapısal hasarlar ve Akarcık ile Sığacık arasındaki kıyı sahilini vuran tsunami gibi birçok farklı nedenden dolayı dikkat çekicidir.

ODTÜ Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi* (ODTÜ DMAM) üyeleri, olayın hemen ardından hasarlı bölgeyi ziyaret etmiştir. Keşif çalışmaları, güneybatı uçta Dilek Yarımadası'ndan kuzeydoğuda İzmir Bornova'ya kadar geniş bir alanı kapsamıştır. Ayrı ekipler, fay kırılması ve deprem aktivitesi göstergeleri, kaydedilmiş kuvvetli yer hareketlerinin özellikleriyle olası zemin büyütme etkileri, sev stabilitesi, yanal yayılma ve sıvılaşma gibi geoteknik problemler, yapısal hasarın seviyesi ve mekânsal dağılımı ile deprem sonrası tsunami ve deniz seviyesi değişimi gibi depremin farklı yönlerine odaklanmışlardır. Bu rapor, ana sarsıntıdan sonraki ilk 10 gün içinde derlenen ilk gözlemleri özetlemektedir ve her bir alt bölümde depremin çeşitli yönleri kısaca ele alınmıştır.

ODTÜ DMAM ekibi olarak, bu depremde meydana gelen can kayıplarından ve hasardan dolayı derin üzüntü duyuyor, hayatını kaybeden vatandaşlarımızın yakınlarına başsağlığı diliyoruz.

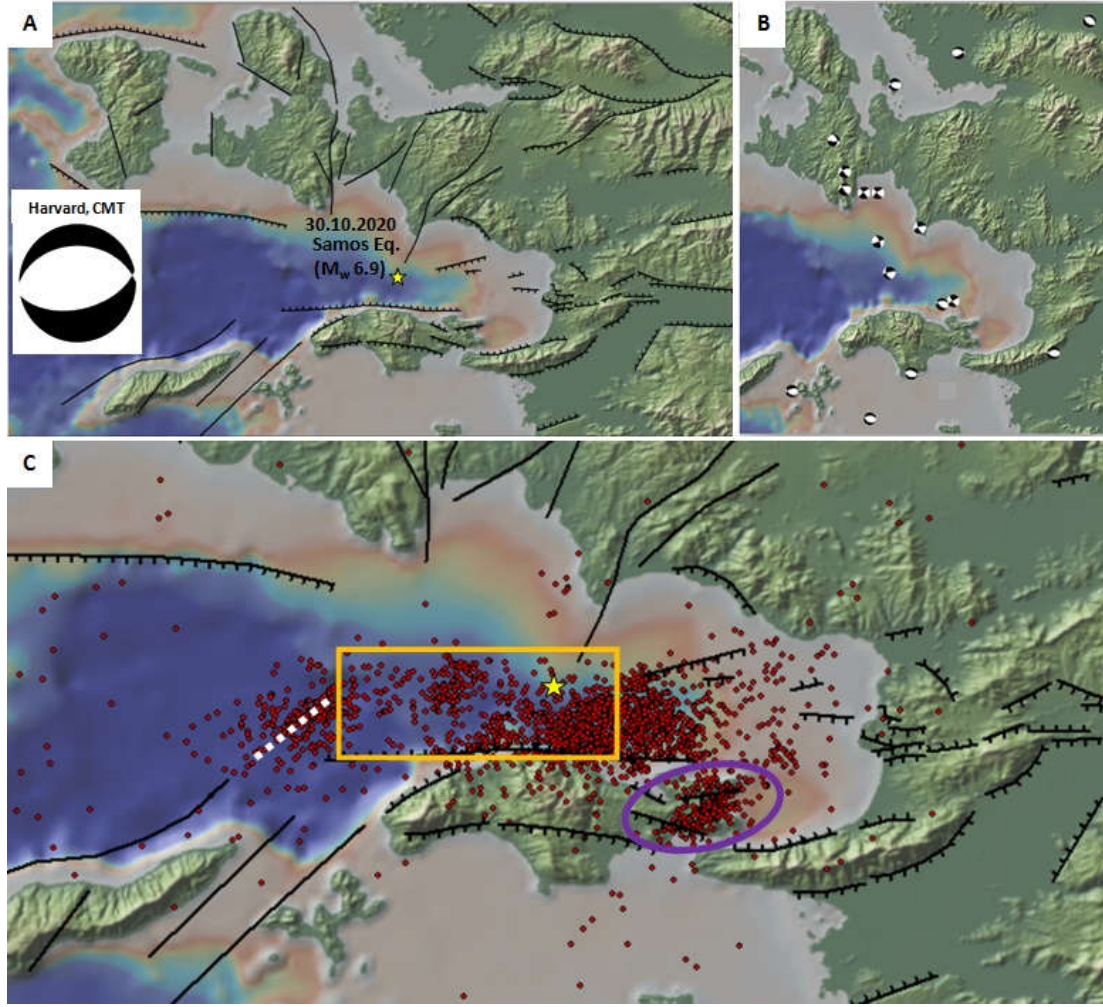
* <https://eerc.metu.edu.tr/tr>

2 İzmir-Seferihisar Açıkları (Sisam) Depremi ve Aktif Tektonizma Gözlemleri

Merkez üssü koordinatları Şekil 2.1'deki sarı yıldız ile gösterilen İzmir-Seferihisar açıkları (Sisam) depremi, Sisam Adası'nın kuzeyinde ve Kuşadası Körfezi'nin batısında meydana gelmiştir. Depremi ana şoku için elde edilen fokal mekanizma çözümleri, B-D uzanımlı normal bir fay düzlemi üzerinde neredeyse tümüyle genişleme göstermektedir (Şekil 2.1a). Bölgenin baskın tektonik yapıları K-G yönlü genişlemeye eşlik eden D-B yönlü normal faylar ve yanal hareket eden KD-GB ve KB-GD yönlü doğrultu atımlı faylardır (Şekil 2.1a). Harvard CMT kataloğundan derlenen, 1976'dan bu yana olmuş 5 ve üzeri depremlerin moment tensör çözümleri (<https://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>), bölgede aktif genişleme ve doğrultu atımlı deformasyonun birlikte var olduğunu desteklemektedir (Şekil 2.1b).

Şekil 2.1c'de gösterildiği gibi, depremden sonraki ilk bir hafta içinde 2000'den fazla artçı sarsıntı kaydedilmiştir. Deprem mekanizması çözümlerinden elde edilen iki fay düzlemi karşılaştırıldığında, kuzeye eğimli fay düzleminin tektonik model ve artçı depremlerin dağılımı ile daha uyumlu olduğu görülmektedir. Ana şok için çeşitli ajanslardan derlenmiş deprem ve fay düzlemi parametreleri Tablo 2.1'de verilmektedir. Derlenen fokal mekanizma çözümlerine bakıldığında, hesaplanan kayma ve doğrultu açılarının genelde tutarlı olduğu ancak eğim açısının 29° ile 55° derece arasında değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Yakın gelecekte yeniden konumlandırılacak artçı şoklar fay düzleminin eğimini daha iyi belirlemeye yardımcı olacaktır.

Şekil 2.1c'de verilen sarı dikdörtgen, seçtiğimiz kırık düzleminin yüzey yansımasını göstermektedir. Merkez üssünün (KOERI, Tablo 2.1) kırık düzlemine göre pozisyonu kırılmanın batıya tek yönlü olarak ilerlediğini işaret etmektedir. Bu gözlem, ana şok için başlıca sismik moment boşalım yerini veren Harvard CMT konumu (Tablo 2.1) ile de uyumludur. Artçı



Şekil 2.1 Ana şokun merkez üssü koordinatlarını topoğrafya ve batimetri ile beraber gösteren tektonik harita (merkez üssü-KOERI, Tablo 2.1). Ana şok için Harvard CMT çözümü eklenmiştir. b) Bölgede olmuş büyük depremlerin Harvard CMT çözümlerini gösteren topoğrafik harita. c) Artçı depremlerin dağılımını gösteren harita (kırmızı noktalar AFAD'dan alınan depremler), tahmini kırık düzleminin yüzey alanı (sarı dikdörtgen) ve yakın fay bölümlerinde tetiklenmiş sismik aktivite (mor elips ve beyaz kırıklı çizgi). Sarı yıldız depremin merkez üssü koordinatlarını göstermektedir

Tablo 2.1 Ana şok için çeşitli ajanslardan derlenmiş deprem ve fay düzlemi parametreleri

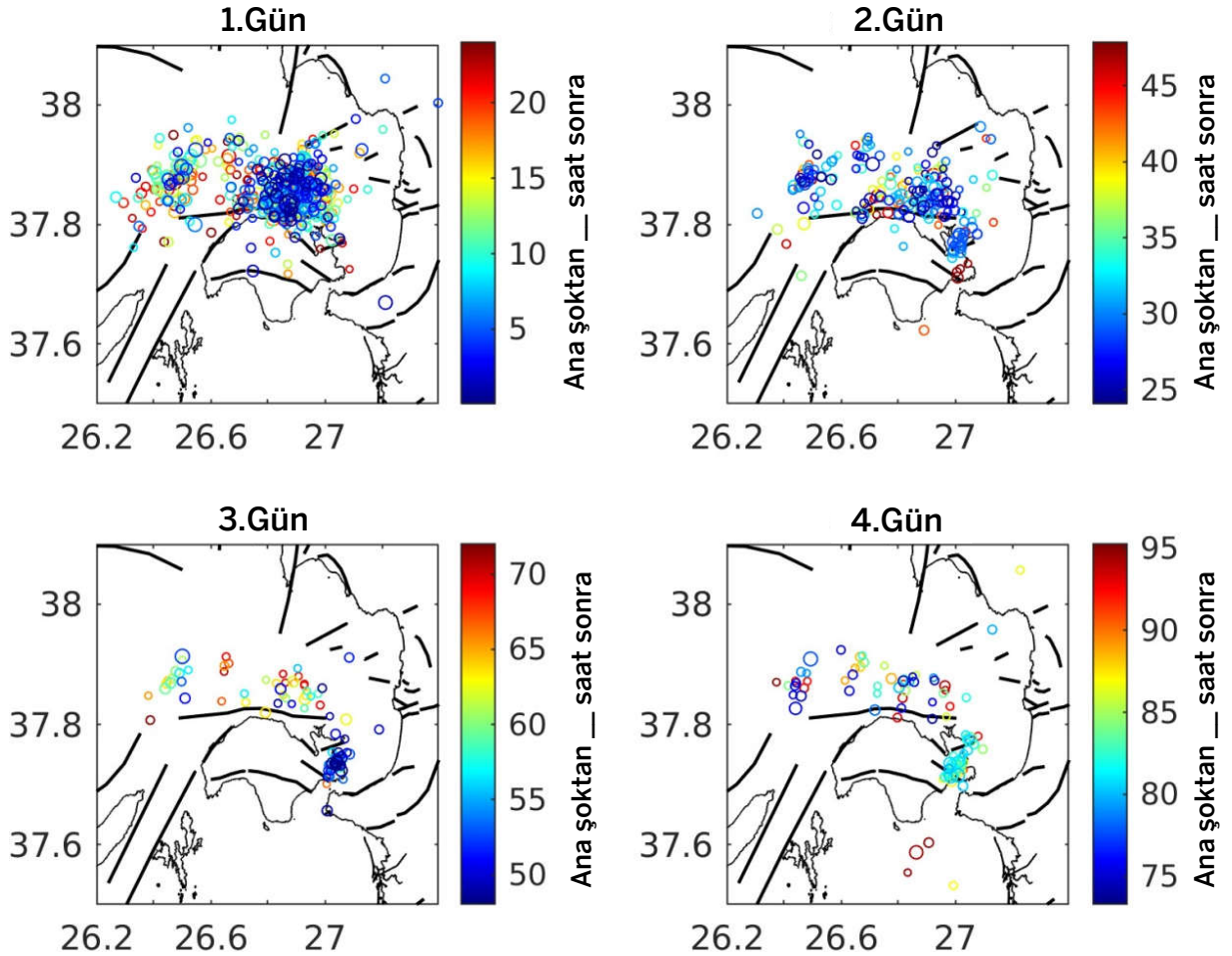
Ajans	M _w	Merkez üssü Koordinatları	Derinlik (km)	Doğrultu (°)	Eğim (°)	Kayma (°)
AFAD	6.6	37.888°N - 26.777°E	16	270	46	-91
KOERI*	6.9	37.902°N - 26.794°E	12	272	55	-93
USGS	7.0	37.918°N - 26.790°E	21	276	29	-88
CMT	7.0	37.760°N - 26.680°E	12	270	37	-86
GFZ	7.0	37.900°N - 26.820°E	15	272	48	-93

* Dr. Doğan Kalafat'tan alınmıştır

deprem yoğunluğunun kırık düzlemi olarak belirlenen bölgenin kenarlarına yaklaştıkça arttığı, öte yandan sonlu fay modeline göre yüksek miktarda sismik moment boşalmasının ve kaymanın gerçekleştiği kırık bölgesinde azaldığı gözlenmektedir (S. Irmak tarafından önerilen sonlu fay

modeli, <https://twitter.com/TSirmak/status/1323029790790701056>). Öncül sonlu fay modelindeki görece küçük boyutlu kırık düzlemi deprem esnasında daha yüksek bir gerilme düşüşü gerçekleştiğine işaret edebilir.

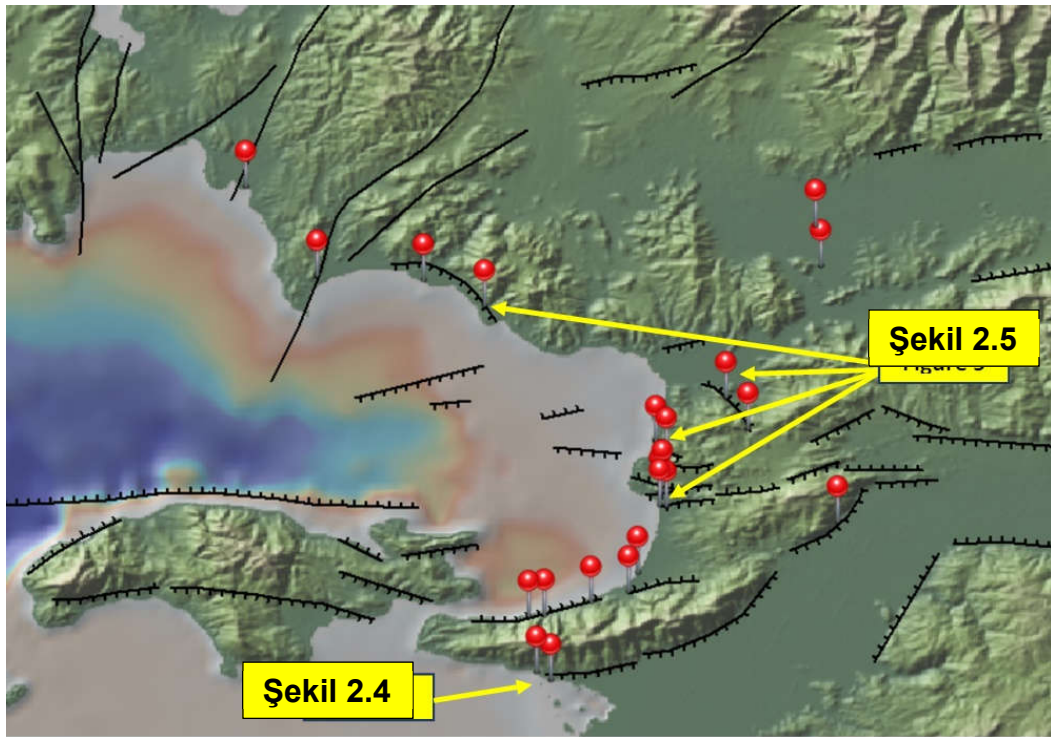
Artçı depremlerin dağılımına bakıldığında, artçıların bir kısmının kırık düzleminin dışında, özellikle doğu ve batı yönünde statik gerilme değişiminin yüksek olmasının beklendiği bölgelerde kümелendiği anlaşılmaktadır. Bu bağlamda, artçı depremlerin batıda KD-GB yönlü doğrultu atımlı bir fay üzerinde (Şekil 2.1c’de beyaz kırıklı çizgi), doğuda ise Sisam Adası’nın doğusundaki faylarda (Şekil 2.1c’de mor elips) meydana geldiği düşünülmektedir. İlk birkaç günde AFAD tarafından kaydedilen artçı depremlerin zamanda dağılımı incelendiğinde, özellikle ilk 24 saatten sonra GB yönünde gözle görülür bir ilerleme olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 2.2). Bu durum, Sisam Adası’nın doğusunda ve Dilek Yarımadası’nda yer alan küçük normal fay bölümlerinin gecikmeli bir biçimde tetiklendiğine dair bir işaret olabilir (Şekil 2.1’deki mor elips ve Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Artçıların mekansal dağılımının zamanla değişimi (AFAD veritabanından alınmıştır)

İki gün süren arazi çalışmaları sırasında oldukça geniş bir alan taranmıştır (Şekil 2.3). Dilek Yarımadası’nın güney kısmında kıyıda gözlemlenen genç yükselmiş teraslar, aktif normal faylanma ile ilişkili hızlı bir tektonik yükselmeyi işaret etmektedir (Şekil 2.4). Olası deprem

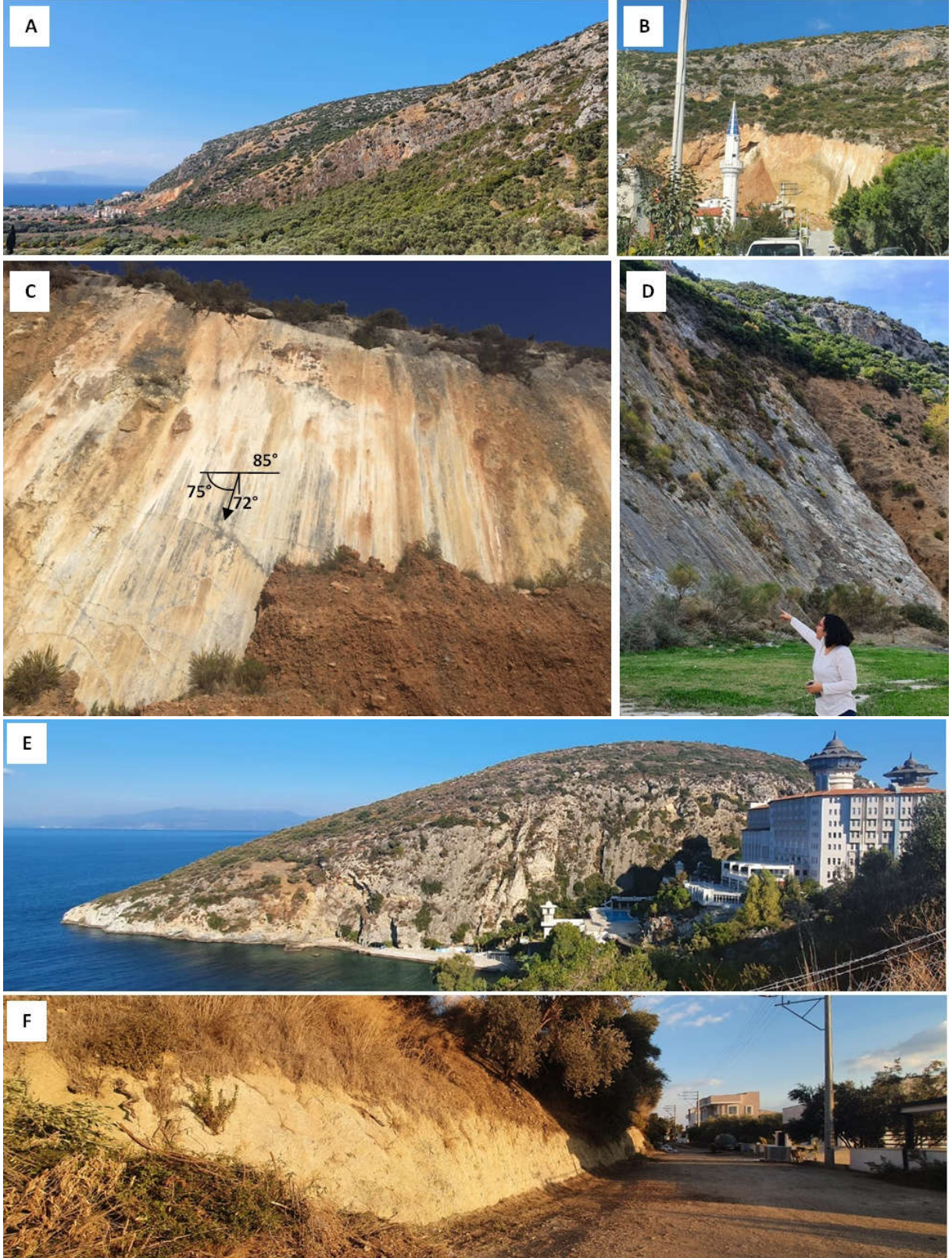
esnası sismik yer deformasyonlarını belirlemek ve Türkiye tarafında kalan aktive olması muhtemel fayları incelemek için, KD-GB uzanımlı doğrultu atımlı Tuzla ve Seferihisar faylarına ek olarak Kuşadası, Gümüldür, Selçuk, Söke ve Dilek Yarımadası çevresinde yer alan D-B uzanımlı normal faylar çevresinde de saha araştırmaları yapılmıştır (Şekil 2.3). Şekil 2.5(a-e) ve Şekil 2.5(f), sırasıyla Kuşadası Körfezinde ve Gümüldür kıyılarında yer alan aktif normal fay bölümlerinin sahada gözlemlenen yüzleklerini göstermektedir. Bu lokasyonların hiçbirinde sismik yer hareketine bağlı kalıcı yüzey deformasyonları gözlenmemiştir. Fay yüzeylerinde yapılan ölçümler (örn. Şekil 2.5c), Sisam depreminde kırılan normal faya benzer biçimde, yer yer az miktarda yanal atımlı hareket de içeren genişlemeyi işaret etmektedir. Fay yüzleklerine çok yakın bölgelerde yerleşimlerin olduğu dikkat çekmektedir (örn. Şekil 2.5b, 5e, 5f). Ancak bu yerleşim bölgelerinde depreme bağlı yapısal hasara rastlanmamıştır.



Şekil 2.3 Saha gözlemleri için ziyaret edilen noktalar



Şekil 2.4 Dilek Yarımadası'nın güneyinde yer alan yükselmiş terasların fotoğrafları



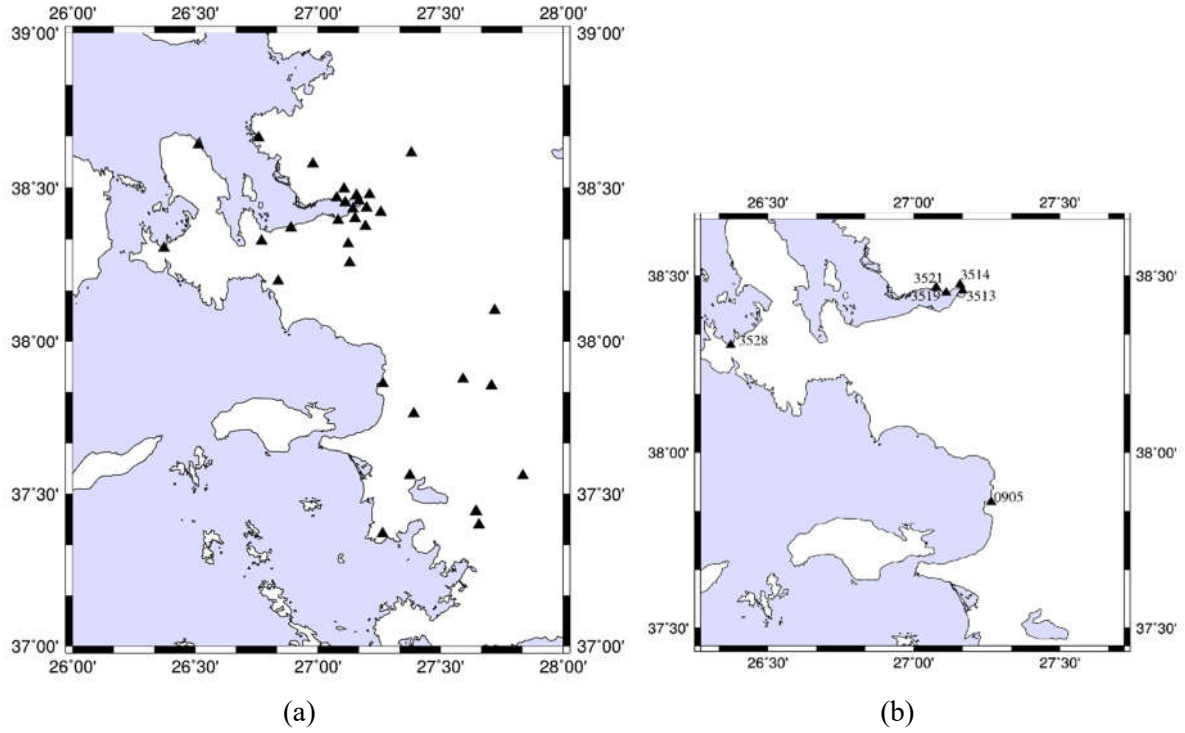
Şekil 2.5 Aktif faylar çevresinde arazi gözlemleri. (a, b, c, e) Kuşadası çevresindeki güneye eğimli normal fayların fotoğrafları, (d) Efes Fayı, (f) Gümüldür Fayı

3 Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtları Hakkında Gözlemler

30 Ekim 2020 İzmir-Seferihisar açıkları (Sisam) depreminin ana şoku, merkez üssüne uzaklığı 100 km içerisinde bulunan 33 kuvvetli yer hareketi istasyonu tarafından kaydedilmiştir (Şekil 3.1). Yer hareketleri AFAD tarafından işletilen kuvvetli yer hareketi ağı tarafından kaydedilmiştir. Ham ve işlenmiş kayıtlar <https://tadas.afad.gov.tr> adresinde mevcuttur. Kayıtlar, azimut, kaynak-saha uzaklığı ve zemin sınıfları açısından değişkenlik göstermektedir. Bu raporda seçilen 6 istasyona ait ivmelerin zaman serileri, Fourier genlik spektrumları ve tepki spektrumları Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Aynı şekilde tepki spektrumları, güncel deprem yönetmeliği ve geçmiş deprem yönetmeliklerindeki tasarım spektrumları ile karşılaştırılmıştır. Tablo 3.1’de bu kayıtlar hakkında bilgiler sunulmuştur.

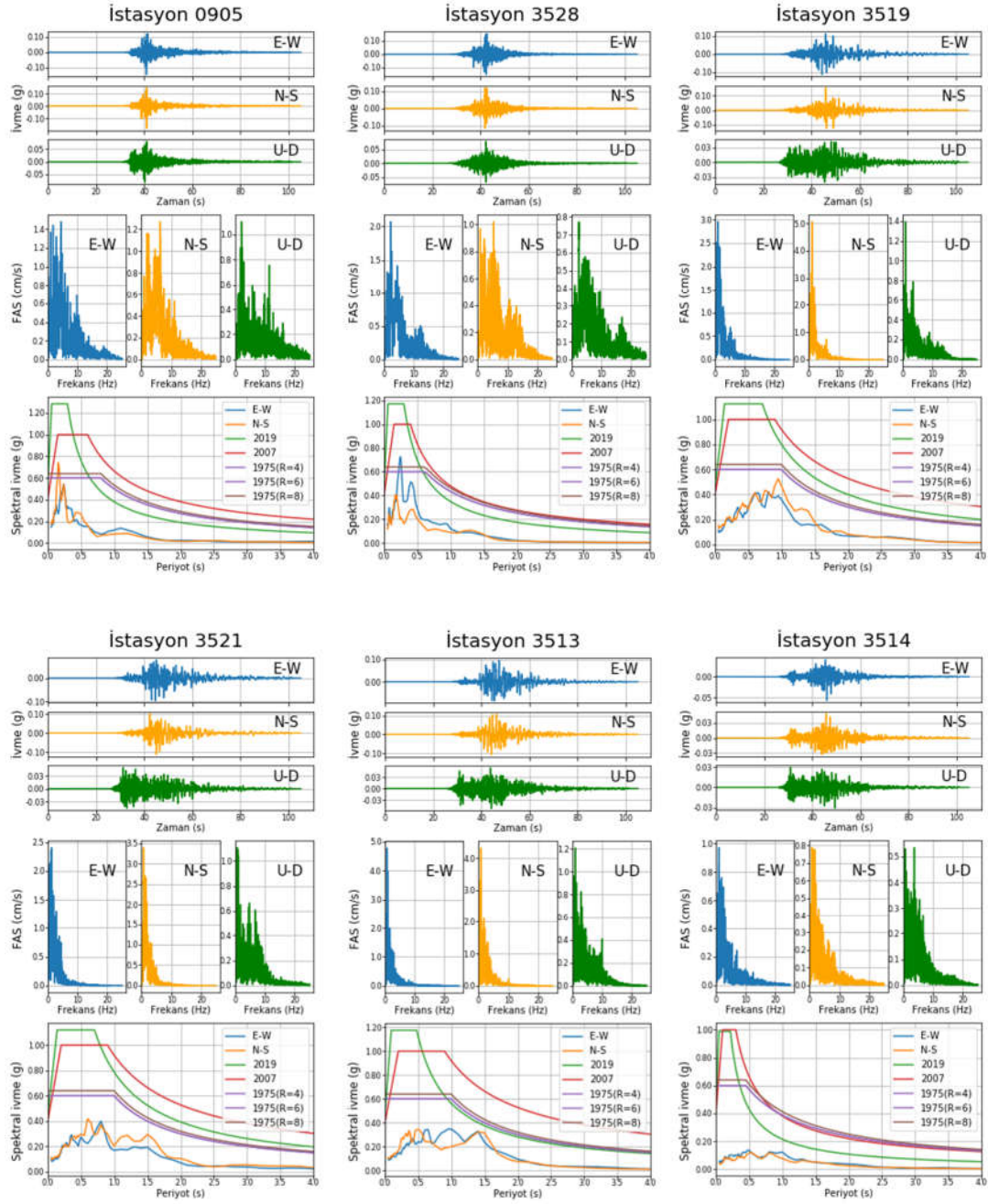
Seçilen istasyonlar arasında merkez üssüne en yakın mesafede bulunan 0905 istasyonu, Kuşadası Aydın’da sert zemin ($V_{s30}=369$ m/s) üzerinde yer almaktadır ve 0.18 g ile kaydedilen en yüksek maksimum yer ivmesi (MYİ) değerine sahiptir. Bu istasyonda Fourier genlik spektrumları (FAS) ve tepki spektrumları 0.2-0.3 saniye arasında zemin büyütmesine işaret etse de, bu bölgede kayda değer bir yapı hasarı bildirilmemiştir. Çeşme Ilıca’da bulunan 3528 istasyonu da sert zemin ($V_{s30}=532$ m/s) üzerinde bulunmaktadır, 0.15 g MYİ değerine sahiptir ve kısa periyotlarda zemin büyütmesi göstermiştir. Karşıyaka’da yer alan 3519 ve 3521 istasyonları NEHRP sınıflandırmasına göre E sınıfında olan yumuşak zeminler ($V_{s30}=131$ m/s ve 145 m/s) üzerinde bulunmaktadır. Bu istasyonlardaki kayıtlar sırasıyla 1 ve 1.5 saniyeye kadar uzun periyot zemin büyütmesi göstermektedirler.

Bayraklı’da yer alan 3513 ve 3514 istasyonları gözlemlenen yapısal yıkımlara yakın mesafede bulunmaktadır ve sırasıyla D ve B sınıfına ait zemin ($V_{s30}=196$ m/s) ve kaya ($V_{s30}=836$ m/s) üzerinde yer almaktadırlar. 3513 istasyonu’nda ölçülen 0.1 g MYİ değerine rağmen, 1.5 saniyeye kadar belirgin bir uzun- periyot zemin büyütmesi gözlemlenmiştir. Bayraklı’da



Şekil 3.1 Kuvvetli yer hareketi istasyonlarının lokasyonları (a) merkez üssü uzaklığı 100 km içerisinde bulunan istasyonlar, (b) bu rapor içerisinde ayrıntılı incelenen istasyonlar

bulunan ve kaya üzerinde yer alan 3514 istasyonunda ise benzer bir büyütme görülmemiştir. Bayraklı'da bulunan 3513 kodlu istasyondaki uzun periyot içeriği, basen etkileri ve zemin büyütme etkilerinin birleşimi ile 7-9 katlı yapılardaki hasarı açıklamaya yardımcı olabilir. Uzun belirgin süreler de bu gözlemi desteklemektedir. Tüm kayıtlara bakıldığında ise, yumuşak zeminlerde artan uzun periyot içerikleri ve genel olarak daha uzun hesaplanan belirgin süreler, özellikle İzmir Körfezi'nde yer alan istasyonlardaki potansiyel basen etkilerine işaret etmektedir.



Şekil 3.2 0905, 3528, 3519, 3521, 3513 and 3514 kodlu istasyonlarda ivme zaman-serileri, Fourier genlik spektrumları ve tepki spektrumları

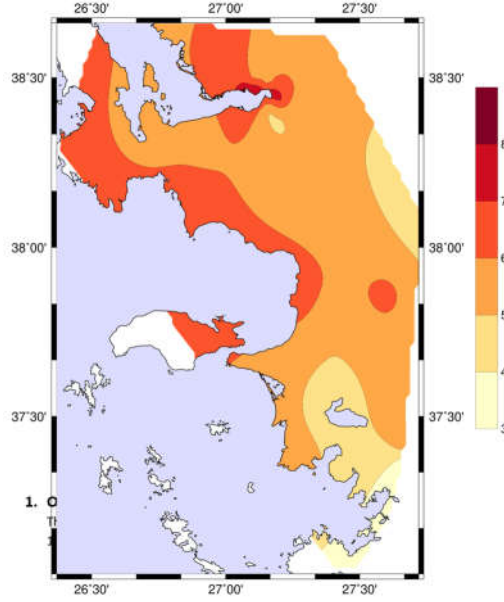
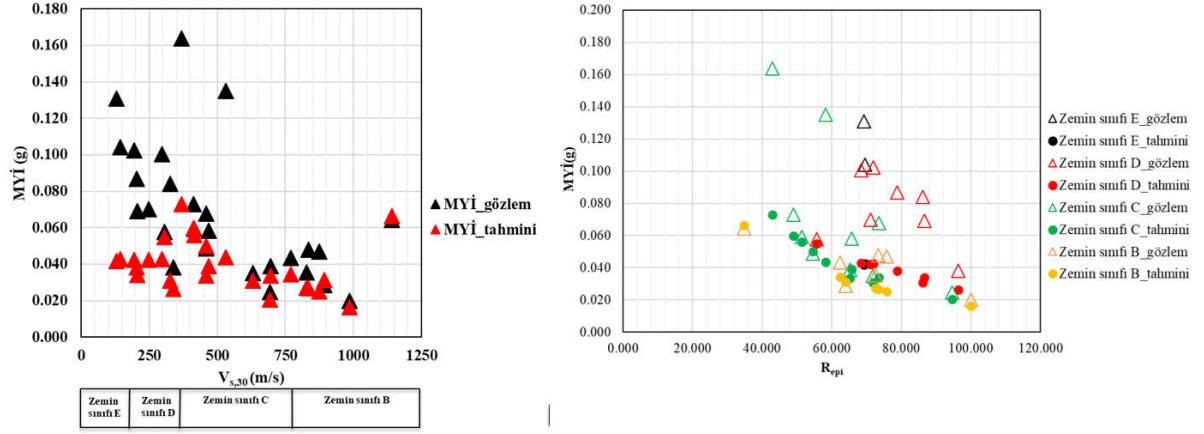
Bütün istasyonlarda gözlemlenen spektrumlar mevcut deprem yönetmeliğinde tanımlanan tasarım spektrumlarının altındadır (TBDY, 2019). Aynı gözlem, 2007 tasarım spektrumu için tüm istasyonlarda ve 1975 tasarım spektrumu için iki istasyon hariç geçerlidir. Ancak, 0905 ve 3528 İstasyonları'nda, 0.25 saniye altında kısa periyotlarda hesaplanan spektral ivmeler, 1975 yönetmeliğinde tanımlanan inelastik spektrumdan deprem yükü azaltma katsayısı (R) 4, 6 ve 8 kabul edilerek hesaplanan eşdeğer elastik spektrumlarının sadece birkaç noktada üzerindedir. Bu istasyonların yakınlarında yapısal yıkım bildirilmemiştir.

Tablo 3.1 Seçilen istasyonlar hakkında bilgiler

İstasyon Kodu	Repi (km)	Vs30 (m/s)	Yön	MYİ (cm/s ²)	MYH (cm/s)	MYT (cm)	Belirgin Süre (s)	Arias Şiddeti (cm/s)	Housner Şiddeti (cm)
0905	42.95	369	E-W	144.017	8.93	2.257	16.61	20.37	35.6
			N-S	179.314	7.845	1.5	15.43	21.81	32.6
			U-D	79.839	4.556	1.347	17.88	8.38	20.1
3528	58.23	532	E-W	149.308	8.357	1.888	12.9	31.26	40.9
			N-S	117.571	7.571	2.258	14.77	14.33	32.7
			U-D	76.997	3.629	1.492	16.82	6.75	14.5
3519	69.23	131	E-W	109.975	14.479	3.237	23.17	35.95	76.8
			N-S	150.089	22.534	3.933	20.58	45.60	92.2
			U-D	34.173	4.333	1.049	31.06	6.00	22.9
3521	69.58	145	E-W	93.986	12.293	3.136	26.06	29.47	66.7
			N-S	110.844	16.174	4.08	22.61	35.19	87.4
			U-D	40.312	3.857	1.141	30.03	6.49	23.7
3513	72.00	196	E-W	94.667	14.422	3.152	20.16	35.30	84.8
			N-S	106.281	17.107	2.896	20.59	33.17	79.8
			U-D	44.186	4.483	0.795	30.84	6.42	23.3
3514	73.39	836	E-W	56.024	6.412	1.312	23.75	4.59	28.3
			N-S	39.421	4.225	1.444	25.9	3.52	22.4
			U-D	25.148	1.938	0.725	27.17	2.09	10.9

Merkez üssüne uzaklığı 100 km'den kısa olan kayıtlar Akkar, Sandıkkaya ve Bommer (Akkar et al., 2014) tarafından önerilen yer hareketi tahmin denklemi (GMPE) ile karşılaştırılmıştır. Şekil 3.3'te gözlemlenen ve tahmin edilen değerler sırasıyla Vs30 değerleri ve dışmerkez uzaklığı (Repi) açısından karşılaştırılmıştır. Yumuşak zeminlerde kaydedilen MYİ değerlerinin, Mw=6.6 alınarak tahmin edilen medyan yer hareketlerinden yukarıda olduğu gözlemlenmiştir. Bu gözlem, FAS ve tepki spektrumlarında görülen zemin büyütme ile tutarlı olmakla birlikte, KRDAE veya USGS tarafından önerildiği gibi, tahmin değerlerinde daha yüksek Mw değerlerinin kullanılması da gözlemlenen maksimum değerlere daha yakın sonuçlar verebilecektir.

Son olarak, bölgenin Mercalli Şiddeti (MMI) cinsinden bir tahmini eşşiddet haritası hazırlanmıştır. Şiddet dağılım haritaları, görel ve maksimum yer sarsıntı seviyelerini hızlıca belirlemek için kullanılmaktadır. MMI değerleri Bilal ve Askan (2014) tarafından önerilen ampirik denklem ile merkez üssüne uzaklığı 100 km'den kısa olan istasyonlarda kaydedilen maksimum yer hızı (MYH) değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 3.4'te sunulan eşşiddet haritasında bölgenin çoğu kısmı için hesaplanan MMI değerlerinin V ve VI olduğu ve en büyük MMI değerinin ise Bayraklı bölgesi için hesaplanan VII değeri olduğu görülmektedir.



4 Tsunami Sonrası Saha Araştırma Bulguları

30 Ekim 2020 (14.51) tarihinde, Seferihisar (İzmir, Türkiye) açıklarında ve Sisam Adası (Yunanistan) arasında doğu-batı doğrultulu normal fay mekanizması güçlü bir deprem yaratmıştır. (Mw=6.6 AFAD, Mw=6.9 Kandilli, Mw=7.0 USGS). Deprem nedeniyle oluşan tsunami, Türkiye Ege Bölgesi kıyılarının kuzeydoğu kısmındaki Çeşme-Alaçatı'dan güneydoğu kısmındaki Gümüldür bölgesine kadar olan alanı etkilemiştir.

Tsunamiler baskın bölgelerinde etkiledikleri alanlarda çeşitli izler bırakırlar. Bu izler kısa zamanda doğal sebeplerden ya da insan aktivitesi nedeniyle kaybolabilir. Yaşanan 30 Ekim tsunamisi Ege Denizi'nin Türkiye kıyılarında herhangi bir dalgaölçer tarafından kaydedilememiştir. Dolayısıyla, olay sonrası saha araştırmaları hem dalganın geliş zamanı, karada ilerleme ve su yükselmesi değerlerinin ölçülmesi hem de hasar ve etkilerinin saptanması ve raporlanması bakımından büyük önem kazanmıştır. Bu sebeple tsunami sonrası hızlı biçimde saha incelemesi yapılması, tsunami izlerinin kaybolmadan bulunması ve tsunami parametrelerinin sağlıklı biçimde saptanmasında büyük rol oynamaktadır. Ölçümler, görgü tanıklarının ifadeleri ve anketler, baskın alanındaki tsunami parametrelerinin belirlenmesinde temel araçlar ve veri toplama yöntemleridir.

30 Ekim tsunamisi gerçekleşikten hemen sonra farklı kurum ve kuruluşlardan (ODTÜ, Kocaeli Üniversitesi, Dokuz Eylül Üniversitesi ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi) katılımcıların olduğu yedi kişilik araştırma ekibi (Ahmet Cevdet Yalçın, Gözde Güney Doğan, Ergin Ulutaş ve Orhan Polat, A. Tarih, Evrens Rıza Yapar ve Evrim Yavuz) 31 Ekim ve 1 Kasım 2020 tarihlerinde Gümüldür'den Alaçatı'ya kadar 130 km'den uzun kıyılarımızda incelemelerde bulunmuşlardır. 3 Kasım 2020 tarihinde Arda Özacar ve Zeynep Yılmaz Gülerce Kuşadası Davutlar bölgesinde araştırmalar yapmıştır. Daha sonra 04 - 06 Kasım 2020 tarihlerinde daha detaylı ölçüm yapabilmek amacıyla ikinci bir saha araştırması düzenlenmiş olup araştırmaya Ahmet Cevdet Yalçın, Gözde Güney Doğan, Yalçın Yüksel, Cihan Şahin, Utku Kanoğlu, Işıkhan Güler, Özgür Sarı Şahin katılmışlardır.

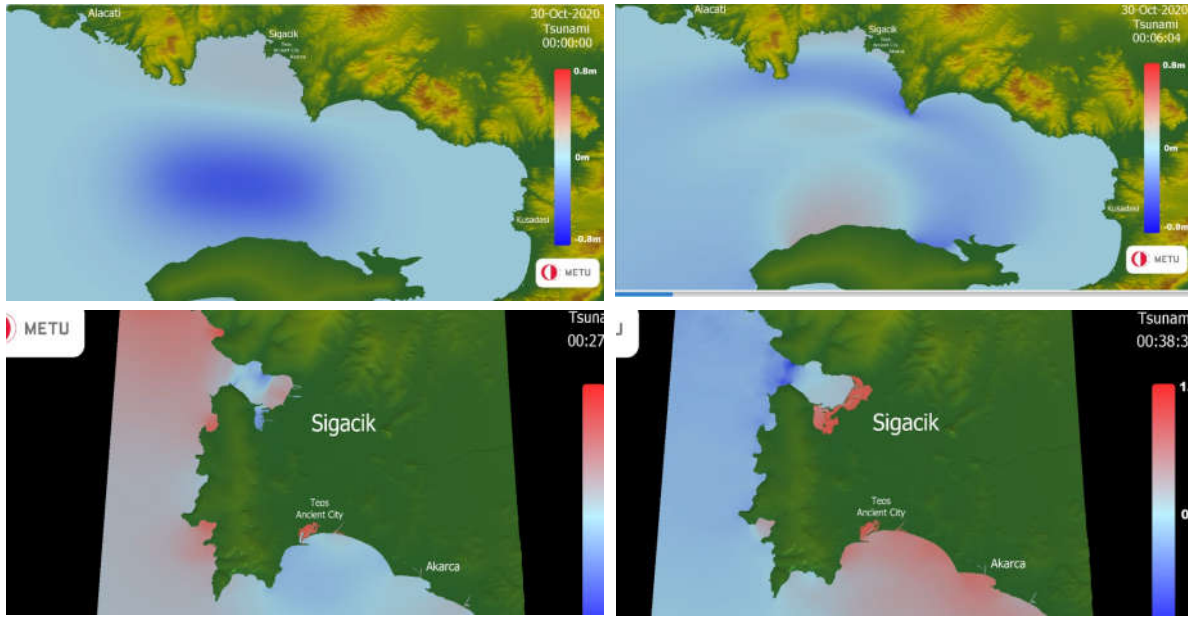
Türkiye kıyılarındaki incelemeler üç ana bölgede yoğunlaşmıştır: i) Kuzeybatıda Alaçatı ve Zeytineli bölgeleri, ii) Kuzeyde Seferihisar kıyılarında bulunan Sığacık Körfezi ve Akarca bölgesi, iii) Kuzeydoğuda Tepecik ve Gümüldür bölgeleri. (Yönler deprem merkezi referans olarak yazılmıştır.) İnceleme ekibi deprem ve tsunami sebebiyle Türkiye’de ve Yunanistan’da hayatını kaybedenler için derin üzüntülerini bildirmektedir.

Bu rapor 31 Ekim – 01 Kasım ve 04 – 06 Kasım 2020 tarihlerinde Alaçatı kıyılarından Gümüldür Bölgesi’ne kadar yapılan tsunami sonrası saha araştırmasından elde edilen verilerin özet olarak sunulması için hazırlanmıştır.

İncelemenin ana amaçları; kıyı boyunca tsunami etkilerini saptamak ve raporlamak, kıyılardaki deniz seviyesi yükselmesi ve baskın şiddetinin belirlenmesi, kaybolmadan bu izlerin fotoğraf ve video çekimlerinin yapılması, görgü tanıkları ile görüşmeler yaparak olayın detaylarının anlaşılmasıdır.

Modelleme yardımı ile hesaplanan ve görselleştirilen tsunami oluşma bölgesi, denizde ilerlemesi ve kıyılarda yükselmelerin zamansal ve alansal dağılımı Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Modelleme çalışması uluslararası kabul görmüş ve ODTÜ’de geliştirilmiş olan NAMI DANCE yazılımı ile yapılmıştır. Modelleme çalışmasına Ahmet Cevdet Yalçın, Gözde Güney Doğan, Bora Yalçın, Lutfi Süzen, Duygu Tüfekçi Enginar, Arda Özacar katkı sağlamışlardır.

Saha incelemelerinden elde edilen bulgular ve görgü tanıklarının anlattıklarına göre en fazla etkilenen bölgeler deprem merkez üssünden kuzey yönde 30 km uzaklıkta olan Sığacık Teos Marina, Sığacık Körfezi ve Akarca bölgeleridir. Sığacık Körfezi kıyılarında su baskın mesafesi en çok 415 m’ye ulaşmış, balıkçı barınağında 20 teknenin battığı Akarca’da ise dalganın karada ilerleme mesafesi en çok 285 m olarak ölçülmüştür. Alaçatı Azmak’ta bu ilerleme mesafesi 2 km’den fazla olmuştur (2487 m). Teos Antik Kent bölgesinde ise tsunami dalgası ilerlemesi 552 m olarak saptanmıştır.



Şekil 4.1 Modelleme yardımı ile hesaplanan ve görselleştirilen tsunami oluşma bölgesi, denizde ilerlemesi ve kıyılarda yükselmelerin zamansal ve alansal dağılımı

Sayısal modelleme sonucu elde edilen canlandırmalar için bağlantılar aşağıdadır:

30 Ekim Tsunami Hareketi Geniş Alan (Sisam İzmir) <https://bit.ly/3eHCAeI>

30 Ekim Tsunami Hareketi Yakın Alan (Sığacık) <https://bit.ly/36mejHc>

Sığacık Körfezi'nde ölçülen en yüksek tsunami yüksekliği 2.31 m olarak Kaleiçi bölgesi kıyısında elde edilmiştir. Akarca mevkiinde ise en yüksek dalga (tırmanma) yüksekliği kıyıdan 91 metre içeride 3.82 m olarak ölçülmüştür. Kıyı yakınında yüksek derecede hasarlı bir konutun duvarında (0.89 m kotunda) zeminden 1.9 m yükseklikte su sıçrama izleri bulunmuştur. Akarca bölgesinden Güneydoğu yönünde kıyı boyunca ilerledikçe tsunami etkisinin azaldığı gözlemlenmiştir. Gümüldür bölgesinden sonra ise dikkate alınacak bir tsunami baskın etkisi gözlemlenmemiştir. Tsunami etkisi Tepecik ve Gümüldür arasında “V” şeklindeki burundan itibaren Güney yönüne doğru azalmıştır. Kuzeyde Zeytineli bölgesinde ise kıyıdan 50 m uzaklıktaki palmiye ağaçlarının gövdelerindeki izlerden karadaki akım derinliği 1.9 m olarak saptanmıştır. Kuşadası Davutlar Sevgi Plajı'nda ise balıkçı barınağı ve burada bulunan kanal girişinde tsunami izlerine rastlanmıştır. Su seviyesinin bu bölgede ~1 m yükseldiği görülmüştür.

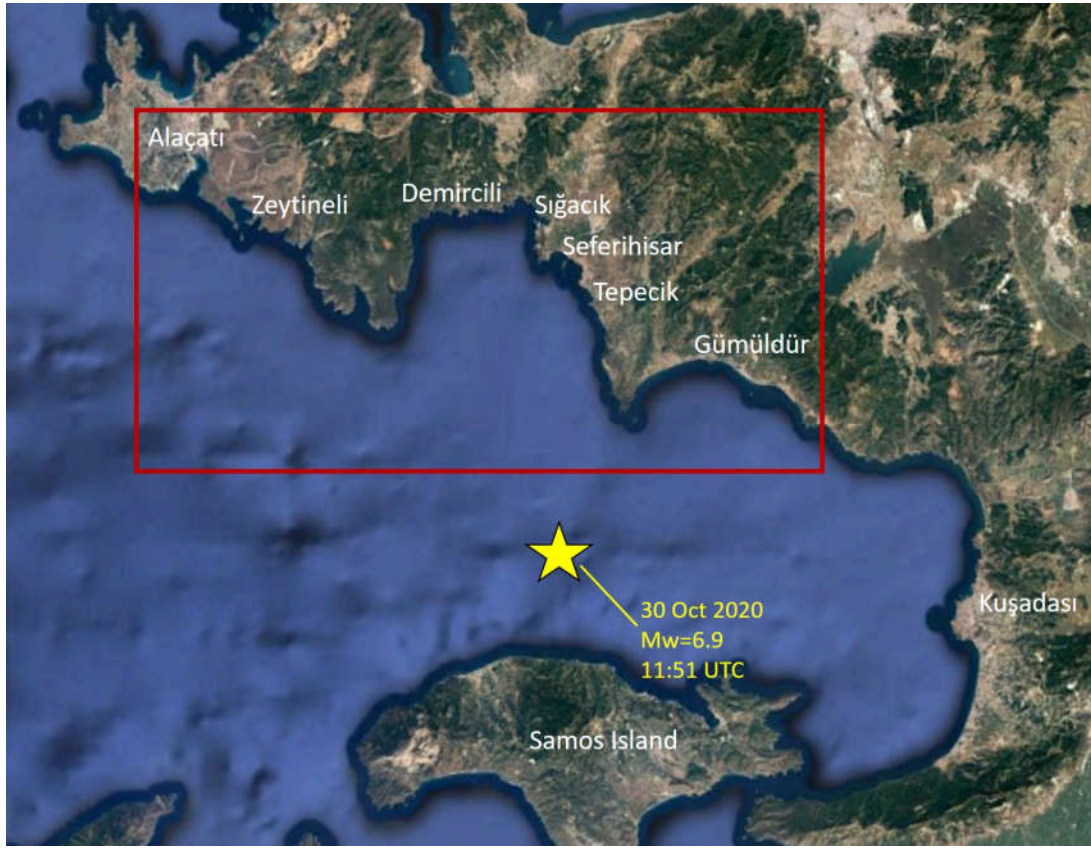
Özetle, bulgularımız tsunami etkisinin dar (küçük) körfezlerde ve dar girişi olan kıyı bölgelerinde daha güçlü olduğu yönündedir. Bölgede bulunan çok sayıda dere, bu olayda da görüldüğü üzere, tsunami baskın mesafesini arttıran bir etkiye sahiptir. Önemli bir başka nokta ise kıyılarda yaşayan toplumun tsunami afeti konusundaki farkındalığında gözlemlenen artıştır. İnsanların çoğu deniz çekilmesini fark ettikten sonra kıyıdan uzaklaşmışlardır. Ne yazık ki bir kişi tsunaminin güçlü akıntı etkisine karşı koyamamış ve hayatını kaybetmiştir. Ege Denizi'nin sismik hareketliliği ve 2017 Bodrum-Kos tsunamisinden sonra yaşanan bu olay Doğu

Akdeniz'deki tsunami tehlikesini bir kez daha kıyı toplumlarına, bilim insanlarına ve karar vericilere hatırlatmıştır.

Olay sonrası saha araştırması ve inceleme yapılan bölge kıyıları Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Saha araştırması yapılan lokasyonlar görgü tanıklarıyla konuşulan, yerel yönetimlerle irtibata geçilen, ölçümlerin yapıldığı ve tsunami gözlemleri ile video kayıtlarının alındığı noktalardır.

Saha araştırması ve incelemeleri kapsamında depremden ve tsunamiden etkilenen insanların tahliye davranışlarını değerlendirmek üzere anket çalışmaları yapılmıştır. Daha önce Japonya, Şili ve Türkiye'de farklı bölgelerde tsunami afetleri sonrasında gerçekleştirilen bu anketler ile şiddetli depremler sonrasında insanların tahliye davranışlarında tsunaminin etkisi, anket uygulanan kişilerin depremi hissetme şekilleri ve tsunami ile ilgili eğitimlerinin tahliye davranışlarına etkisi araştırılmaktadır. Bu sayede toplumun tahliye davranışlarını iyileştirmeye yardımcı olacak unsurların belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaca yönelik olarak 5-6 Kasım 2020 tarihlerinde Alaçatı-Gümüldür kıyılarında, 14 Kasım 2020 tarihinde Kuşadası-Davutlar, Kuşadası-Güzelçamlı ve Didim'de, 15 Kasım 2020 tarihinde Kuşadası'nda ve 16 Kasım 2020 tarihinde Bodrum kıyılarında Mehmet Sedat Gözlet, Cem Bingöl ve Hasan Gökhan Güler tarafından anket çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan anketlere ek olarak, saha çalışmaları boyunca, insanların deprem sonrasındaki davranışlarını gösteren görsel materyal toplanmıştır. Elde edilen ilk sonuçlara göre, sarsıntı çok güçlü olarak hissedilse dahi tahliye sırasında tsunami ihtimalinin öncelikli olarak düşünülmediği görülmüştür. Bu sebeple, depremzedelerin tsunamiden kaçınma yöntemlerini bilseler dahi bu şekilde hareket etmedikleri anlaşılmaktadır. Bununla birlikte denizin belirgin şekilde çekildiği bölgelerde veya tsunami dalgasının yaklaştığının görüldüğü durumlarda, depremzedelerin bölgenin tahliye edilmesini sağlamaya çalıştığı gözlenmiştir. Yapılan anketlerin ve toplanan görsel materyalin analiz çalışmaları Japonya Tokyo Chuo Üniversitesi öğretim üyesi Taro Arikawa, Ahmet Cevdet Yalçın ve Hasan Gökhan Güler tarafından sürdürülmektedir. Ayrıntılı sonuçlar daha sonra bir rapor olarak sunulacaktır.

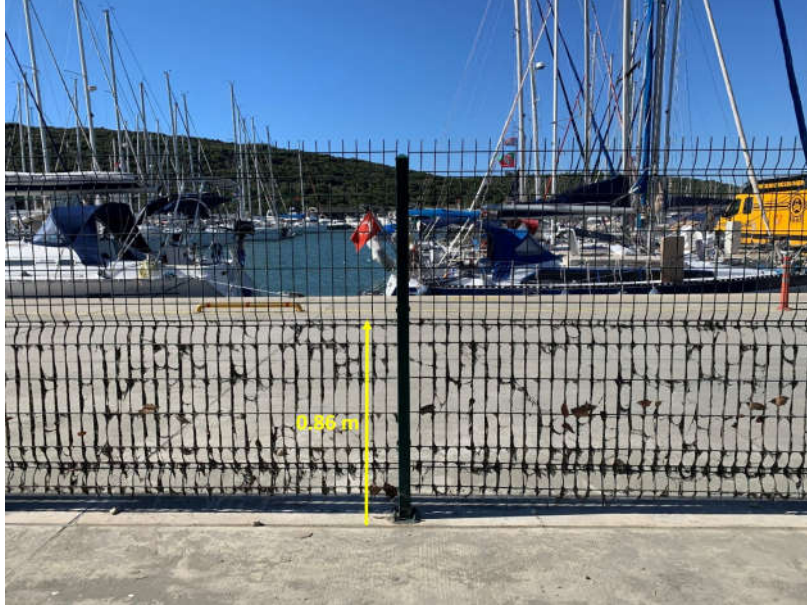
Tsunaminin etkili olduğu kıyı bölgelerinde ve yakın yerleşim yerlerinde önemli maddi hasarlar da meydana gelmiştir. Bu hasarın izleri Şekil 4.3 - 4.6'da gösterilmiştir.



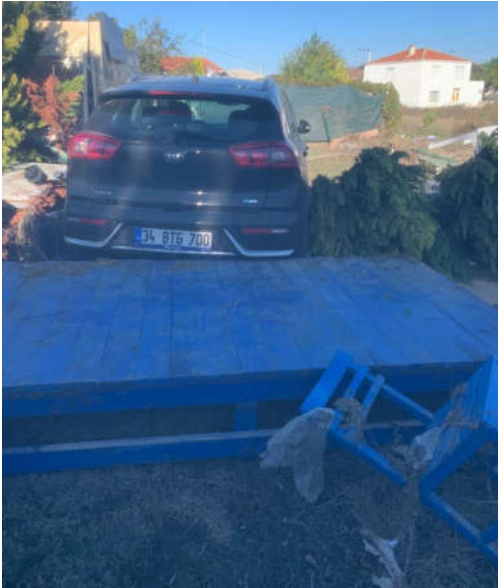
Şekil 4.2 Tsunami sonrası saha araştırmalarının yapıldığı bölge kıyıları



Şekil 4.3 Alacati Azmak'ta kıyıdan 1.1 kilometre sürüklenen bir balıkçı teknesi



Şekil 4.4 Teos Marina bahçe demirlerinde tsunaminin izleri



Şekil 4.5 Sığacık Kaleiçi bölgesindeki kafeler ve dükkânlarda tsunaminin yarattığı hasar ve bıraktığı izler

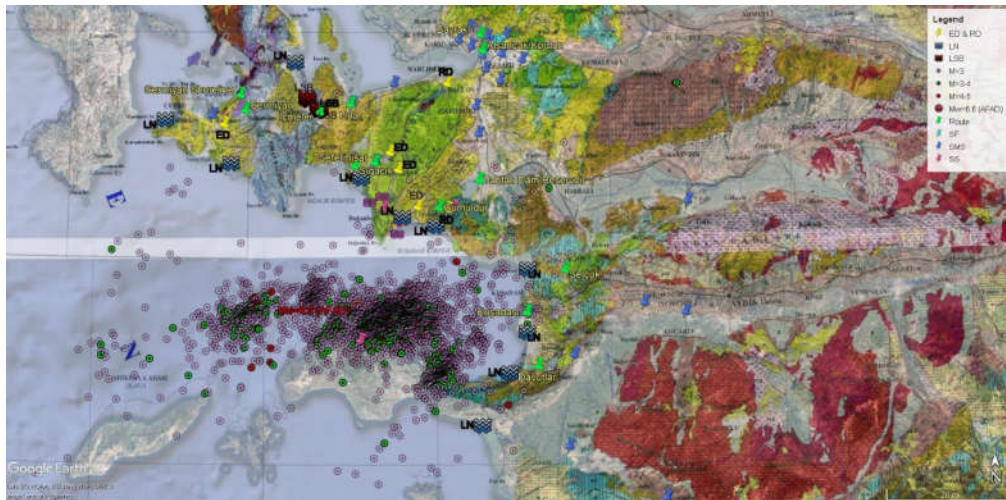


Şekil 4.6 Akarca’da tsunami nedeniyle hasar gören balıkçı barınağı iskelesi, tekneler ve küçük yapılar

5 Geoteknik Mühendisliği Saha Gözlemleri

5.1 Giriş

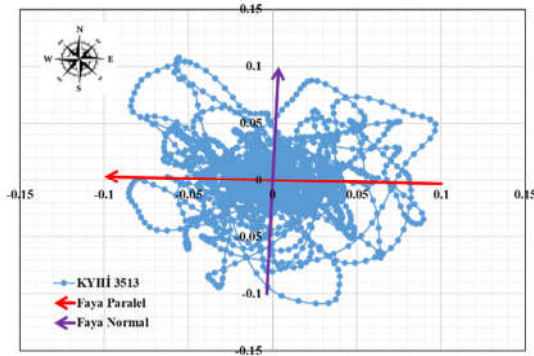
İzmir-Seferihisar açıkları (Sisam) depreminin hemen ardından, 3 Kasım 2020 tarihinde, 5 ayrı saha çalışma grubu bölgeye intikal ederek zemin deformasyon ve çatlakları, yapısal hasar ve mekanizmaları, şev duraysızlıkları, kaya düşmesi ve zemin sıvılaşması gibi derlenmezse izlerinin kaybolması olası olan verileri ve vaka örneklerini derlemiştir. Araştırma grupları tarafından izlenen rota ve genel geoteknik bulgular Şekil 5.1’de sunulmuştur. Bu rapor kapsamında sırası ile i) yapısal hasara sarsıntı yönünün ve yerel saha koşullarının etkileri, ii) sismik zemin sıvılaşması, iii) bina temelleri performansı, iv) şev duraysızlığı ve kaya düşmesi, v) toprak ve kaya dolgu barajların sismik performansları özet olarak tartışılacaktır. Daha detaylı değerlendirmeler ise “2020 Ege Denizi Sisam Seferihisar-İzmir Depremi Ardından Geoteknik ve Sismolojik Bulgular” başlıklı raporda sunulacaktır.



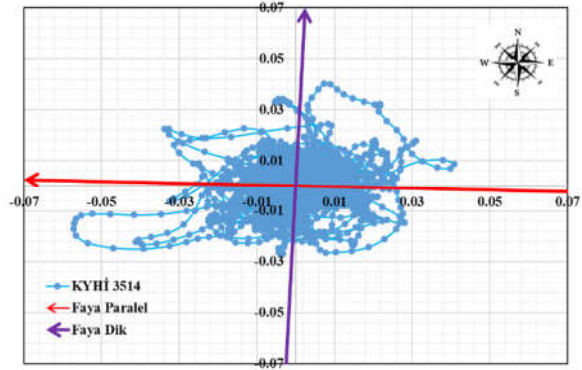
Şekil 5.1 Araştırma grubu tarafından incelenen noktalar ve bölgenin jeolojik haritası

5.2 Sarsıntının Yönlülüğü ve Yerel Zemin Etkileri

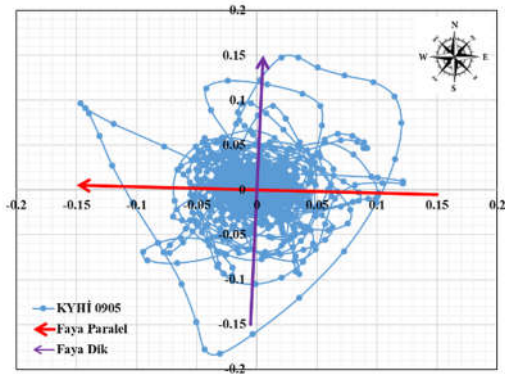
Normal faylar üzerinde gerçekleşen depremlerde, mühendislik yapılarının, düşen blok tarafında kırılma düzlemine dik yönde nispeten daha güçlü bir şekilde sarsılması beklenir. Sarsıntının yönlülüğü fay yırtığına olan mesafenin artmasıyla azalarak kaybolur. Şekil 5.2'de gösterildiği üzere, fay yırtığına nispeten yakın (örneğin: 3536) ve uzak (örneğin: 3513) kuvvetli kayıt istasyonlarında elde edilen kayıtlar kıyaslamalı incelendiğinde, bu depreme özel olmak üzere sarsıntıda güçlü bir yönlülüğe rastlanmamıştır.



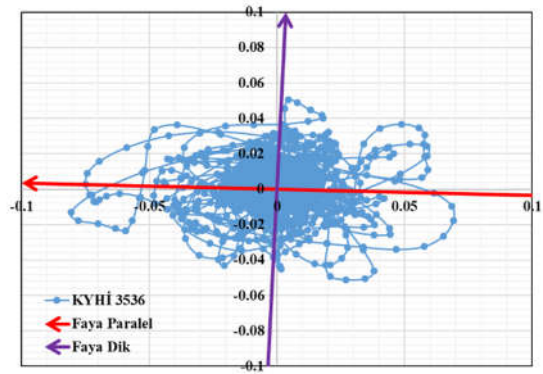
(a) 3513



(b) 3514



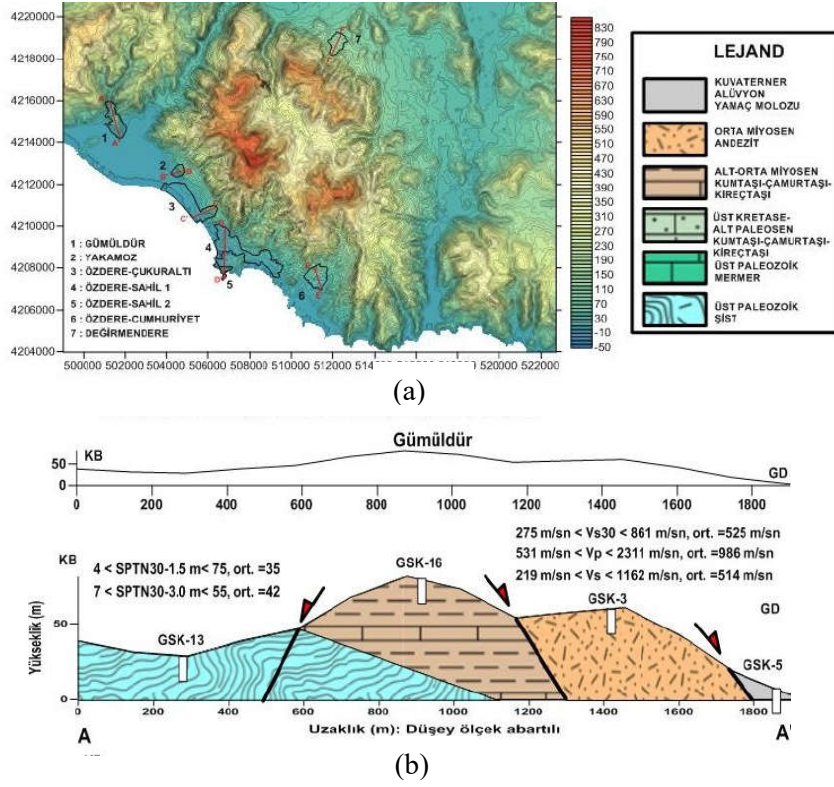
(c) 0905



(e) 3536

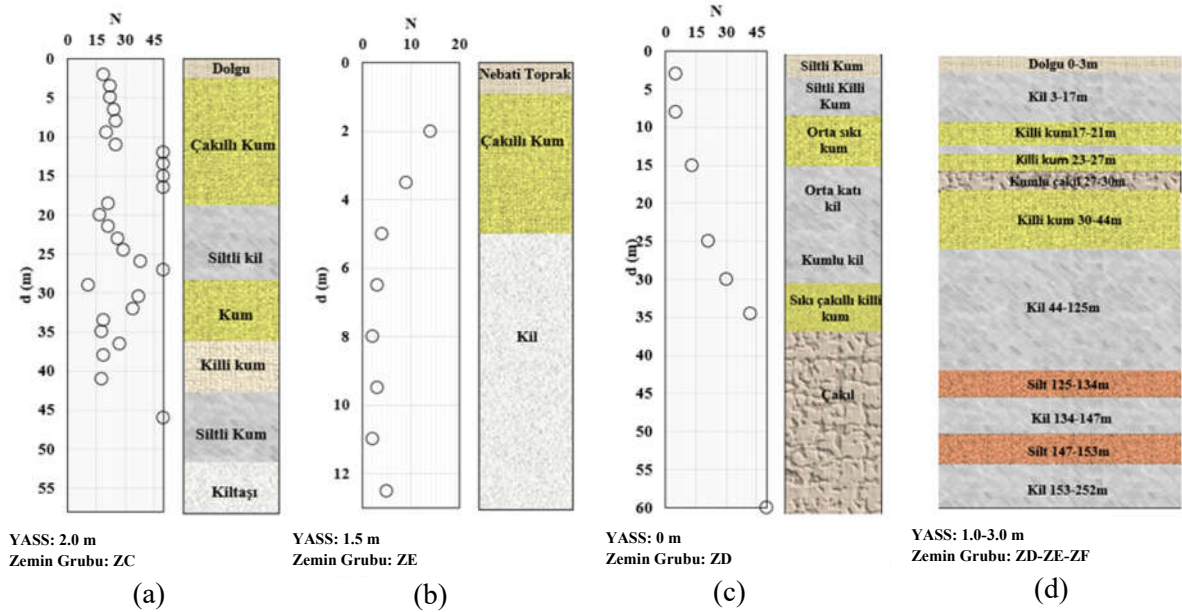
Şekil 5.2 Seçilen bazı kuvvetli yer hareketi istasyonlarında çift yönlü ivme izleri

Şekil 5.3'te Ege Denizi kıyıları ile Gümüşdüz yöresinin jeolojik haritası sunulmuştur. Şekil 5.3'ten de anlaşılacağı üzere bölgenin zemin ve jeolojik koşulları birkaç istisnai bölge (örneğin: Sığacık) dışında oldukça ayrılmış silttaşı, kumtaşı, kıltaşı, kalker, şist, sert sıkı zeminlerden oluşmakta olup, görece güçlü temel formasyonlarına işaret etmektedir. Nispeten daha güçlü sarsıntı seviyelerine ulaşılan bu kesimlerde, görece daha düşük yapısal hasar gözlenmesinde, doğru yapısal tasarım, inşaat ve detaylandırma uygulamalarına ek olarak elverişli temel zemin / kaya temel koşullarının da etkisi olduğu düşünülmektedir.



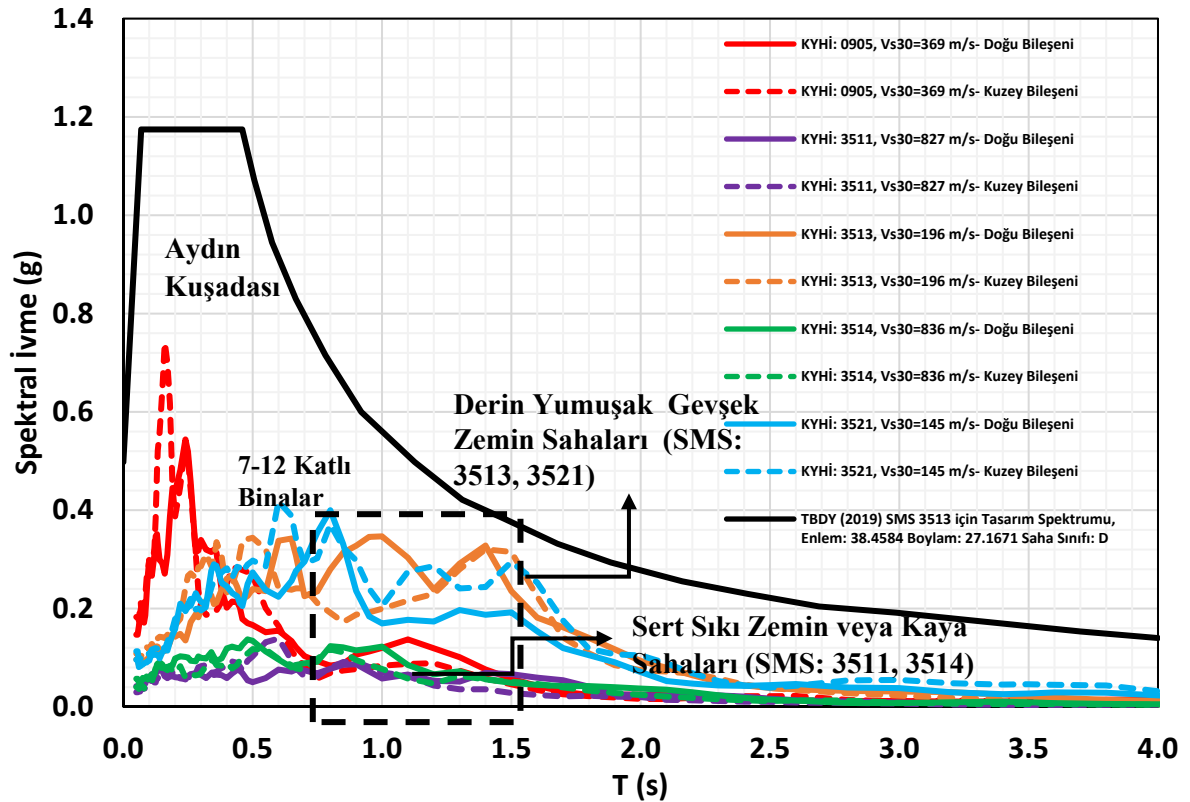
Şekil 5.3 a) Gümüldür yöresine ait topoğrafik yükseklik modeli, b) Kıyıya yakın kesimlerde yüzeye ulaşan ana kaya jeolojik kesiti. (Demirtaş (2019))

Şekil 5.4'te, yerel zemin saha koşullarındaki farklılıkları vurgulamak üzere bazı yerleşim bölgelerine ait tipik zemin profilleri sunulmuştur. Ege Denizi kıyı kesimlerindeki görece mukavim zemin koşullarıyla çelişecek şekilde, İzmir Körfezi kıyılarında özellikle Bayraklı, Bornova ve Mavişehir bölgelerinde derin alüvyon zeminlerin mevcut olduğu görülmektedir.



Şekil 5.4 Seçilen bazı yerleşim bölgelerine ait tipik zemin profilleri a) Gümüldür, b) Sığacık-Seferihisar, c) Mavişehir ve d) Bayraklı

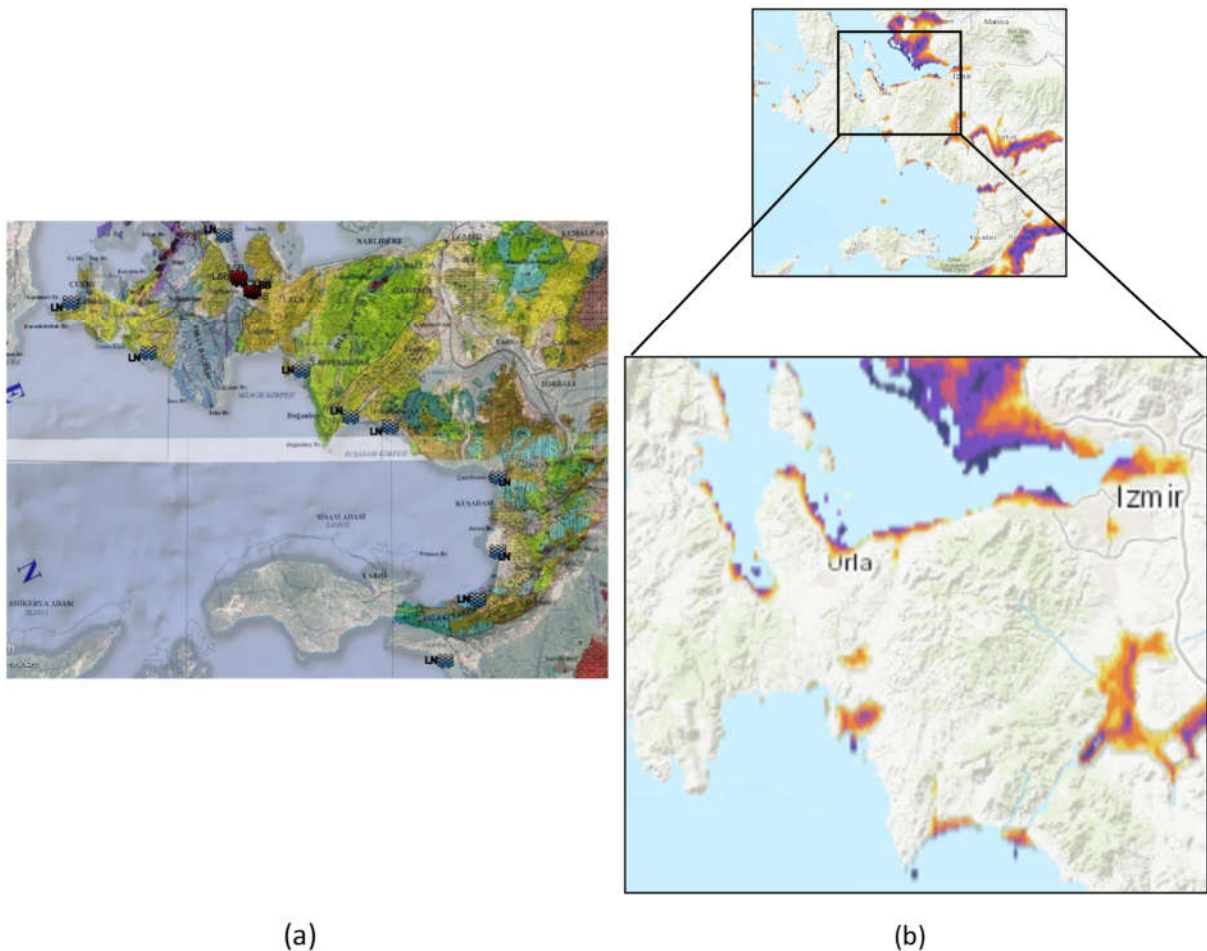
Kuvvetli yer hareketleri incelendiğinde fay yırtığından yaklaşık 70 kilometre uzaklıkta, Bayraklı ve Bornova ilçelerindeki derin yumuşak gevşek alüvyon sahaların, görece daha sert ve sıkı sığ zemin veya kaya sahalarla kıyasla, yaklaşık iki ila beş kat mertebelerinde daha yüksek bir deprem sarsıntısıyla sarsıldığı anlaşılmıştır. Yerel saha koşulları ile 2-5 kat mertebesinde şiddetlenen uzun periyotlu sarsıntı bileşeni, 7-12 katlı konut binalarının doğal periyotları ile rezonansa girerek, uygun olmayan yapısal tasarım, inşaat ve detaylandırma ile de birleşerek Bayraklı ve Bornova ilçelerinde yoğunlaşan yapısal hasarı tetiklemiştir. Şekil 5.5'te Bayraklı civarlarında derin alüvyon ve kaya kayıtları kıyaslamalı olarak gösterilmektedir. Özellikle 7-12 katlı yapıların doğal salınım periyotlarına (0.7-1.5 sn) yakın periyot aralığında derin alüvyon sahalarla sarsıntının şiddetinin tasarıma esas tepki spektrumuna yaklaştığı (ancak aşmadığı) görülmektedir. Daha basit ifadesi ile görece olarak yapısal hasarın yoğunlaştığı Bayraklı'da zemin profili derin alüvyon tabakalardan oluşmaktadır. Bölgede, yüzeye daha yakın, üst 200 m'de SPT-N değerleri 30 darbe/30 cm'den az, yer yer ince çakıl, siltli kum, siltli kil ve kil tabakaları bulunmaktadır. Bayraklı bölgesinde yeraltı su tablası 1-3 m derinliktedir. Mühendislik anakaya derinliğinin ise 1100 m ile 1200 m arasında değiştiği anlaşılmaktadır (Pamuk vd., 2017).



Şekil 5.5 Seçilmiş güçlü yer hareketi istasyon kayıtlarının elastik tepki spektrumları

5.3 Sismik Zemin Sıvılaşması

İzmir yöresinde potansiyel olarak sıvılaşma tehlikesi taşıyan alüvyon bölgeler Şekil 5.6'a'da gösterilmektedir. Bu bölgeler, araştırma ekibi tarafından ziyaret edilmiştir. Şekil 5.6'b'de gösterildiği üzere, Birleşik Devletler Jeolojik Araştırmalar Kurumu bu depreme özgü hazırlanan sıvılaşma tetiklenme haritalarında Seferihisar ve güneyindeki alüvyon kesimlerde yer yer sismik zemin sıvılaşmasının beklendiği görülmektedir. Ancak bu beklentileri destekleyecek zemin sıvılaşması saha izlerine rastlanmamıştır (Şekil 5.7a). Daha kuzeyde ve de fay yırtığından 45-50 km uzaklıkta, İçmeler ve Gülbahçe kıyılarında ise kum kaynamaları gözlenmiştir (Şekil 5.7b). Bu alanlar Gülbahçe fay zonuna oldukça yakındır ve sıcak su kaynaklarının yanı sıra, artezyen su basınçlarının da mevcut olduğu bilinmektedir. Bu koşulların gözlemlenen zemin sıvılaşması tetiklenmesini kolaylaştırdığı düşünülmektedir. Zemin sıvılaşması gözlemlenen sahalardan elde edilen numuneler Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği laboratuvarında test edilmektedir.



Şekil 5.6 a) Potansiyel olarak sıvılaşabilecek olan alüvyon bölgeler ve b) Depremden sonra USGS tarafından yayınlanan sıvılaşma tehlike haritası.



(a)



(b)



Şekil 5.7 a) Sıvılaşma gözlemlenmemiş bir kumsal örneği (38.057442, 27.011747) b) İki farklı sahilden kum kaynaması örnekleri (38.338447, 26.647494 ve 38.310372, 26.679756)

5.4 Bina Temelleri

Ege Denizi'nin kıyı bölgelerinde, kuzeyde Çeşme'den başlayıp güneyde Didim'e kadar uzanan kesimde tipik olarak 1-2 katlı betonarme sahil evleri bulunmaktadır. Bu az katlı, hafif binalarda görünür yapısal hasara rastlanmamıştır. Öte yandan, yerleşim merkezlerinde sık, şerit temeller veya bağ-kirişli tekil temeller üzerine inşa edilmiş 3-7 katlı betonarme binalar bulunmaktadır. Bu binaların temellerinde aşırı toplam veya fark oturmaları ve/veya taşıma kapasitesi problemlerine işaret eden bir delile rastlanmamıştır. İncelenen temel sistemlerine örnek teşkil edecek birkaç fotoğraf Şekil 5.8'de sunulmuştur.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 5.8 Seçilen bazı sahalardan temsili temel performansları, a) Germiyan (38.315925, 26.464742), b) Gümüldür (38.071206, 27.016639), c) Kuşadası (37.859711, 27.265708), d) Bayraklı (38.454033, 27.180125), e) Alsancak (38.439888, 27.145748) ve f) Urla (38.321289, 26.770333)

Bayraklı ve Bornova ilçelerinde, elverişsiz "yumuşak" zemin koşullarına rağmen, zemin sıvılaşmasının yüzey belirtilerine, deprem kaynaklı oturma veya taşıma kapasitesinden kaynaklanan problemlere dair görünür işaretlere rastlanmamıştır. Sosyal medyada, giriş kat

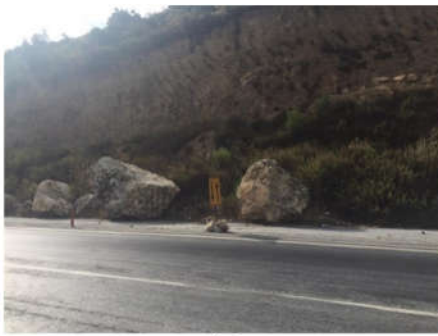
kolonlarının ve perde duvarlarının kısmen çökmesi nedeniyle bazı yan yatan binaların yenilme mekanizmaları, hatalı bir şekilde zemin sıvılaşmasına ve taşıma kapasitesi sorunlarına atfedilmiştir. Tarafımızca bu durumu destekler mahiyette sıvılaşma izlerine sahada rastlanmamıştır. Bu durumu açıklar mahiyette, 1999 Kocaeli depreminden sonra Adapazarı'nda sıklıkla gözlenen sıvılaşma kaynaklı temel taşıma kapasitesi aşılması sebebi ile yan yatmış yapılar ile Bayraklı ilçesinde giriş kat seviyesindeki kolon ve perde göçmeleri sebebiyle yan yatmış binalar karşılaştırmalı olarak Şekil 5.9'da sunulmuştur.



Şekil 5.9 1999 Kocaeli depreminden sonra Adapazarı'nda sıvılaşma kaynaklı taşıma kapasitesi yenilmesi (solda) ve İzmir-Seferihisar açıkları (Sisam) depreminden sonra giriş kat kolonlarının ve perde duvarlarının kısmi yenilmesi sebebiyle yan yatan binalar (sağdaki resim: 38.461689, 27.180669).

5.5 Şev Duraysızlığı ve Kaya Düşmeleri

Saha çalışmaları süresince karayolu kenarlarında sınırlı sayıda düşmüş kaya bloklarına rastlanmıştır. Kaya düşmesine örnek sahalardan biri Şekil 5.10a'da gösterilmiştir. Heyelan açısından risk teşkil eden bazı bölgeler de araştırma ekibimiz tarafından ziyaret edilmiş, ancak Şekil 5.10b'de de gösterildiği üzere, statik koşullar altında mevsimsel şev duraysızlıkları yaşanan bu kesimlerde sismik sarsıntılar ile yeni bir tetiklenme izine rastlanmamıştır.



(a)

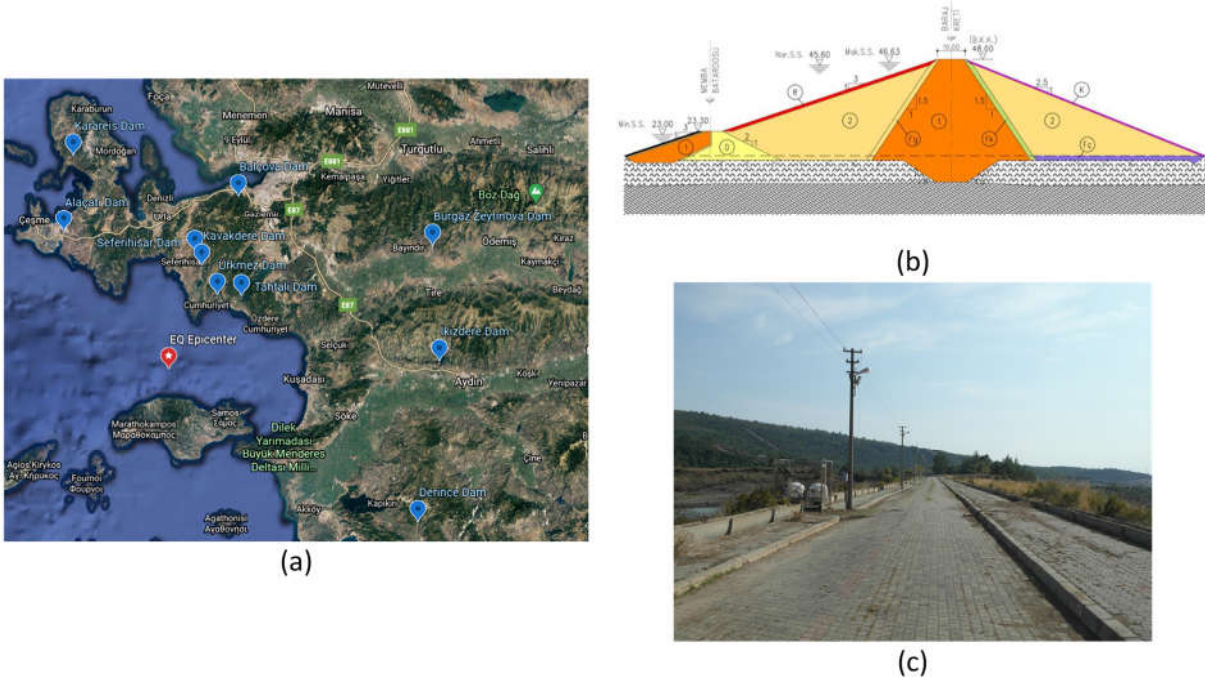


(b)

Şekil 5.10 a) Yol kenarında rastlanan düşen kaya blokları (37.897341, 27.368394) b) Şev duraylılık problemi potansiyeli olan bir kesitten görünüm (38.292119, 26.670731)

5.6 Toprak ve Kaya Dolgu Barajlar

Devlet Su İşleri (DSİ) İzmir Bölge Müdürlüğü tarafından deprem sonrası toprak ve kaya dolgu barajların performanslarını incelemek üzere saha araştırma ekibi oluşturulmuştur. 31 Ekim'de Küçük Menderes Havzasında Ürkmez, Tahtalı, Kavakdere, Seferihisar, Alaçatı, Balçova barajları ziyaret edilmiştir. Bölgedeki barajların lokasyonları ve Ürkmez barajına ait tip kesit ve deprem sonrası kret performansı Şekil 5.11'de gösterilmiştir. Bu çalışmaya ek olarak, ODTÜ DMAM tarafından teşkil edilen bir başka ekip de bölgedeki barajları incelemiştir. Aletsel verilere ek olarak baraj gövdesi, kreti, temel seviyesi, memba ve mansap eğimleri ile baraj destek yapıları (su alma yapısı, dolusavak, dipsavak, vb.) yerinde incelenmiştir. Bu barajlarda hiçbir görünür hasar tespit edilmemiştir.



Şekil 5.11 a) Toprak ve kaya dolgu barajların lokasyonları, b) Ürkmez Barajı Tip Kesiti ve c) Deprem sonrası Ürkmez Barajı kret görünümü ve performansı

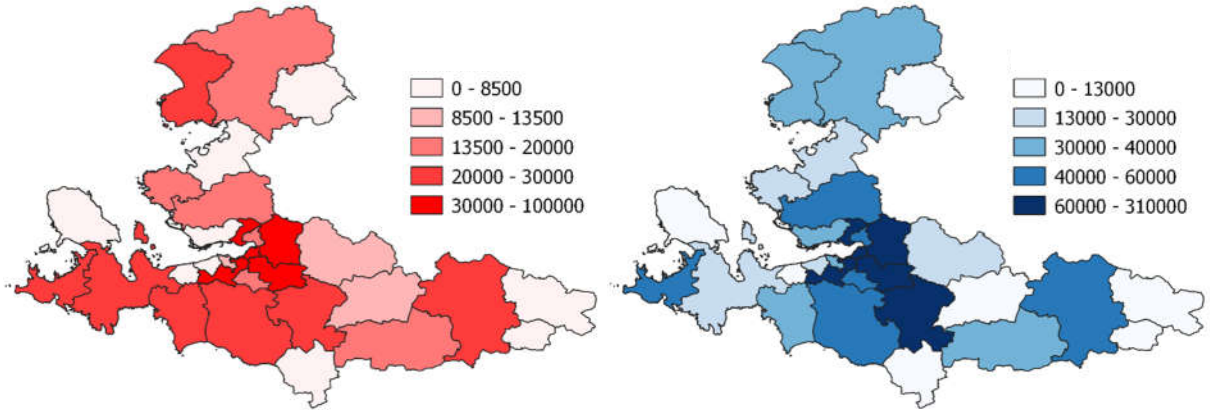
Tablo 5.1 İzmir-Seferihisar açıkları (Sisam) depremi sonrasında DSİ ekibi tarafından incelenen barajların özellikleri

	Ürkmez Barajı	Tahtalı Barajı	Kavakdere Barajı	Seferihisar Barajı	Alaçatı Barajı	Balçova Barajı
Konum	İzmir (Seferihisar)	İzmir (Menderes)	İzmir (Seferihisar)	İzmir (Seferihisar)	İzmir (Alaçatı)	İzmir (Balçova)
Amaç	Sulama	İçme Suyu	Sulama	Sulama	İçme Suyu	İçme Suyu
İnşaat Bitim Yılı	1991	1996	2006	1994	1997	1980
Baraj Tipi	Zonlu Toprak Dolgu	Kil Çekirdekli Kaya Dolgu	Zonlu Toprak Dolgu	Zonlu Toprak Dolgu	Zonlu Toprak Dolgu	Kil Çekirdekli Kaya Dolgu
Rezervuar Hacmi (10 ³ m ³)	981	-	2,100	1,485	275	1,011
Temelden Yüksekliği (m)	44.5	54.5	42	59	17.3	73.4
Aktif Hacim (hm ³)	7.57	306	13.6	28.18	16.11	7.94
Rezervuar Alanı (km ²)	0.61	25	0.96	1.79	42	0.69
Deprem merkez üssüne olan uzaklık (km)	26.7	32.2	33.9	37.5	54.6	58.5

6 Yapısal Hasara İlişkin Gözlemler ve Değerlendirmeler

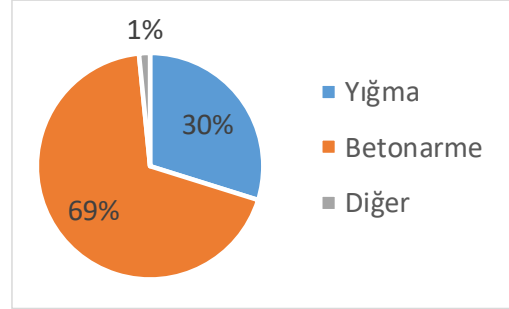
6.1 İzmir Yapı Stoku Özellikleri

Bu bölümde İzmir'deki yapı stoku ve özellikle bu yapı stokunun çoğunluğunu oluşturan betonarme binaların (yaklaşık 70%) özellikleri incelenmektedir. Raporda sunulan veriler Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından sağlanan 2000 Bina Sayımı (2000 ve öncesindeki binalar) ve Yapı Kullanma İzin İstatistikleri (2000 sonrası binalar) kullanılarak derlenmiştir. TÜİK verisi, belediye yapılanması bulunmayan idari bölgelerdeki ruhsatsız yapıları ve kentlerde bulunan gecekondü yapılarını kapsamamaktadır. TÜİK verilerine göre 2018 yılı sonu itibarıyla İzmir'de yaklaşık 670.000 binada 1.710.000 daire bulunmaktadır. Bu yapılardan yaklaşık %88.5'i tamamı veya çoğunluğu ikamet amaçlı kullanılan bina durumunda iken %11.5 oranında yapı ikamet amaçlı olmayan bina (ofis binaları, otel binaları, sanayi binaları, müzeler vb.) olarak karşımıza çıkmaktadır. Şekil 6.1, İzmir'deki bina (solda) ve daire (sağda) sayılarının ilçelere göre dağılımını göstermektedir.



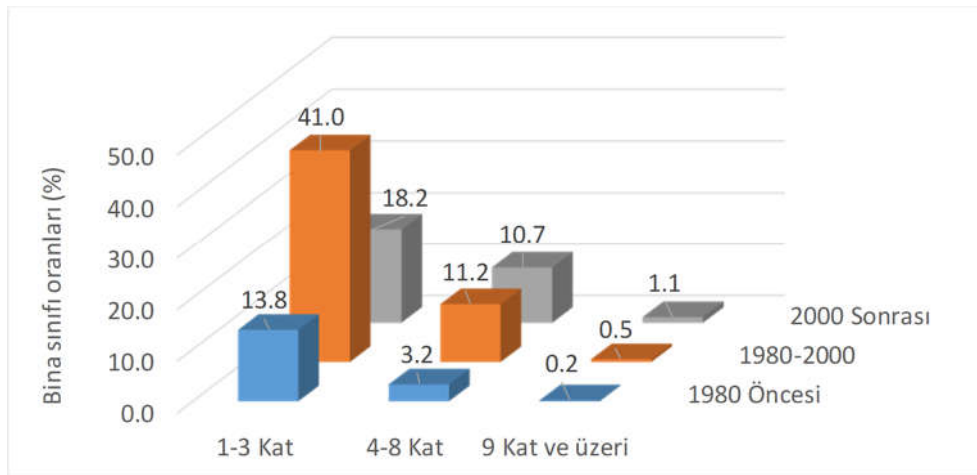
Şekil 6.1 İzmir'deki bina (solda) ve daire (sağda) sayılarının ilçelere göre dağılımı

İzmir yapı stoku taşıyıcı sistem özelliklerine göre üç gruba ayrılabilir: betonarme binalar (çerçeve, perdeli çerçeve ve perdeli), yığma binalar (yapıya tesir eden yükleri taşıyan duvarları taş, harman tuğlası, briket vb. olan binalar) ve diğerleri (yapısal çelik, ahşap vb.). TÜİK verileri İzmir'deki binaların %69'unun betonarme, %30'unun yığma, %1'inin ise diğer grubuna girdiğini ortaya koymaktadır (Şekil 6.2).



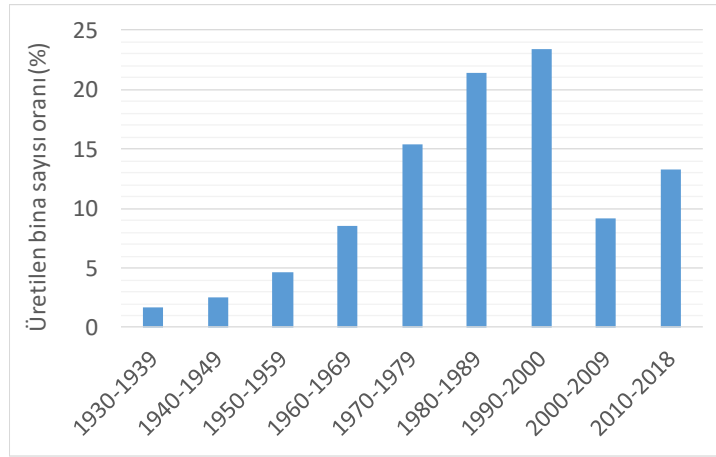
Şekil 6.2 İzmir yapı stokunu oluşturan binaların taşıyıcı sistem özelliklerine göre yüzdelik dağılımı

Betonarme yapıların yaşı, TÜİK verilerinin çözünürlüğü ve deprem yönetmeliklerinin yayım tarihi dikkate alınarak sınıflandırıldığında üç ayrı grupta incelenebilir. Bunlar 1980 öncesi yapılar, 1980-2000 yılları arasında üretilmiş yapılar ve 2000 sonrası yapılardır. Kat sayısı, betonarme binalar başta olmak üzere tüm yapıların deprem davranışında ve hasargörebilirlik hesaplarında önemli rol oynamaktadır. Bu bağlamda İzmir'deki betonarme yapılar kat sayılarına göre de sınıflandırılmıştır. Türkiye'deki betonarme yapıların daha önceki depremlerde gösterdikleri performans dikkate alınarak, 1-3 katlı (az katlı), 4-8 katlı (orta katlı) ve 9 kat ve üzeri (çok katlı) bina grupları oluşturulmuştur. Şekil 6.3, İzmir'de kat sayısı ve inşa yılına göre sınıflanmış betonarme binaların yüzdelik oranlarını göstermektedir. Veriler, hasargörebilirliği oldukça yüksek olan 1980-2000 yılları arasında üretilmiş orta katlı (4-8 kat) betonarme yapıların, İzmir'deki toplam betonarme yapıların %11'ini (50.000'den fazla bina) oluşturduğunu göstermektedir.



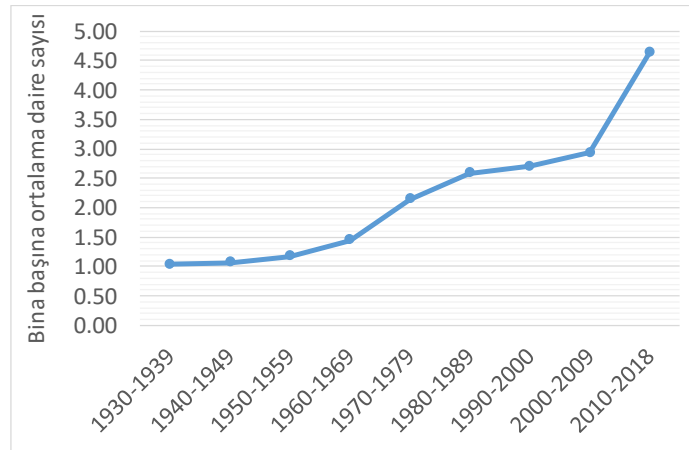
Şekil 6.3 İzmir'deki az katlı (1-3 kat), orta katlı (4-6 kat) ve çok katlı (9 kat ve üzeri) betonarme binaların yapım yıllarına göre yüzdelik dağılımı

Şekil 6.4, İzmir’de yaklaşık 10 yıllık zaman dilimlerinde üretilen toplam yapı sayısının oransal değişimini karşılaştırmaktadır. Veriler İzmir’deki bina sayısının 1980-2000 yılları arasında oldukça hızlı bir artış gösterdiğini ve mevcut yapı stokunun %40’ından fazlasının bu 20 yıllık dönem içerisinde inşa edildiğini ortaya koymaktadır. Türkiye’de daha önce yaşanmış depremler bu yaştaki binaların Türkiye yapı stoku içerisinde hasargörebilirliği en yüksek yapı gruplarından biri olduğunu göstermiştir ki; bu durum İzmir için de geçerli kabul edilebilir. Şekil 6.4’te sunulan veriler ayrıca İzmir’deki yapı stokunun %77.5’inden fazlasının modern bir deprem yönetmeliğinin / yapı denetiminin sonucu üretilmiş binalar olmadıklarını göstermektedir.



Şekil 6.4 İzmir ilinde 1930-2019 yılları arasında yaklaşık 10 yıllık zaman dilimleri içinde üretilen yapıların oransal değişimi

İzmir bina stoku, bina başına düşen daire sayısının yıllar içindeki değişimi açısından da incelenebilir. TÜİK verileri İzmir ilinde bina başına düşen daire sayısının son 40 yılda %100, son 9 yılda ise %50 oranında arttığını göstermektedir (Şekil 6.5). Bu durum yapı stokundaki çok katlı binaların toplam içindeki oranının hızla arttığını göstermektedir. Bu veri ilçe bazında incelendiğinde en yüksek değerin 5.3 ile Bayraklı ilçesinde, en düşük oranın ise 1.3 ile Kınık ilçesinde olduğu ortaya çıkmaktadır.

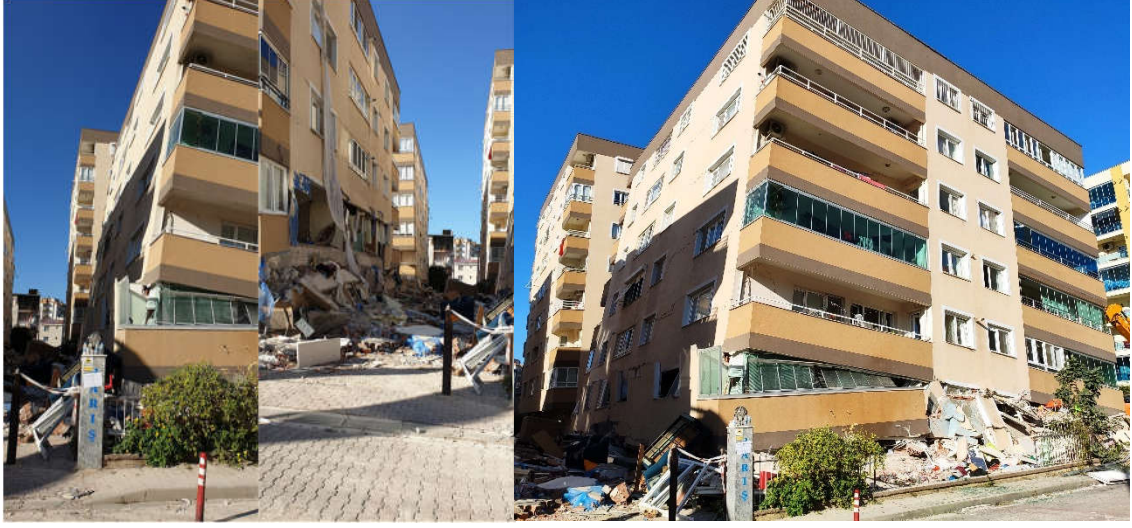


Şekil 6.5 Bina başına düşen ortalama daire sayısının yıllar içindeki değişimi

6.2 Bina Performansına İlişkin Gözlem ve Değerlendirmeler

İzmir-Seferihisar açıkları (Sisam) depremi nedeniyle İzmir Bayraklı bölgesinde bulunan binaların bir bölümü, deprem merkez üssüne 60 km'nin üzerinde bir mesafede olmalarına rağmen, ciddi hasar almıştır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yapılan hasar tespiti çalışmaları 17 binanın toptan göçtüğünü ve yaklaşık 110 binanın ise ağır hasar aldığını ortaya koymuştur. Bunun yanı sıra, pek çok binada ise dolgu duvarlarda ve duvar-kolon ara yüzlerinde hasar gözlemlenmiş olup hasar yapısal olmayan eleman hasarı olarak sınıflandırılabilir. Saha çalışmalarımız, hasarın en yaygın olarak görüldüğü Bayraklı bölgesinde yoğunlaşmış olup özellikle toptan göçmeye maruz kalmış olan binalar ve bu binaların çevresinde göreceli olarak daha az hasarın gözlemlendiği binalar incelenmiştir.

Yer hareketi bölümünde incelenen kayıtlardan görüleceği üzere Bayraklı bölgesinde 0.8-1.4 sn periyot aralığında belirlenen spektral ivme değeri yaklaşık 0.35g civarında olup, yürürlükte olan Türkiye Deprem Tehlike Haritasına göre bu depremin söz konusu periyot aralığında (0.8-1.4 sn) servis depreminin (72 yıllık) üzerinde, tasarım depreminin (475 yıllık) ise %30-40 altında bir depreme karşılık geldiği söylenebilir. Bu nedenle meydana gelen deprem seviyesinin özellikle tasarım yetersizlikleri bulunan ve 1990-1994 arasında tasarlandıkları anlaşılan 7-10 katlı binaların ağır hasar almasına sebep olduğu anlaşılmaktadır. Bu hasarlara önemli örnekler, Barış Sitesi (9 katlı 4 bina, Şekil 6.6), Cumhuriyet Sitesi (8 katlı 3 bina, Şekil 6.7) ve Adalet Sitesi (9 katlı 2 bina, Şekil 6.8) içerisinde oluşmuştur. Her üç sitedeki binalar da plan özellikleri bakımından kendi içlerinde aynı plan alanına sahiptir. Barış Sitesi'ndeki 2 bina toptan göçmüş, bir bina ağır hasar almış diğer bina ise daha çok dolgu duvar hasarı olarak ayakta kalmıştır. Ayakta kalan binanın diğer üç binaya göre en önemli farkı yönetim odası ve görevli dairesi olarak işlev gören zemin katında önemli miktarda dolgu duvarların bulunması ve farklı bir müteahhit tarafından yapılmış olmasıdır. Yapılan incelemeler, yapım kalitesindeki fark ve dolgu duvarların kullanılmasının taban kesme kuvvetine yaklaşık %20-30 civarında bir katkı sağlamış olabileceğini ortaya koymuştur. Bu gözlem, daha önceki depremlerle uyumlu olarak, dolgu duvarların küçük-orta etki yaratan depremlerde binaların yatay ve düşey yük taşıma kapasitesine katkı sağlayarak ayakta kalmasına yardım eden elemanlar olduğu sonucunu ortaya koymuştur. Cumhuriyet Sitesi'nde de benzer bir durum söz konusu olup bir binada hasar sınırlı seviyede iken diğer iki binada hasar ileri seviyededir.



Şekil 6.6 Barış Sitesi'nde gözlenen hasar



Şekil 6.7 Cumhuriyet Sitesi'nde gözlenen hasar



Şekil 6.8 Adalet Sitesi'nde gözlenen hasar

İncelemelerin yoğunlaştığı diğer bir örnek ise Egemen Sitesi'dir. İki bloktan oluşan bu sitede bir binanın ilk iki katı göçmüş diğer binada ise dışarıdan hiçbir hasar gözlemlenmemiştir. Dışarıdan hasar gözlenmeyen binanın içinden yapılan inceleme kolonlarda donatı korozyonu ve ağır kesme hasarı olduğunu ortaya koymuştur (Şekil 6.9). Bu gözlem bina içerisine girmeden bazı durumlarda hasar tespitinin yanlış sonuçlar verebileceğini göstermiştir.



Şekil 6.9 Egemen sitesi, göçen ve hasarsız gibi duran binalar

İncelemeler sırasında korozyonun yaygın bir problem olduğu görülmüştür (Şekil 6.10). Özellikle toprağa temas eden katta kolon alt uçlarında aşırı derecede korozyona rastlanılmıştır. Donatı üzerinde aşırı pullanma ve dökülme sonrası alan kaybı aşırı değerlere çıkabilmektedir. Yapılan çap ölçümleri sonucu donatıda alan kaybının %25 ile %65 arasında olduğu belirlenmiştir.

Bölgede yakın zamanda inşa edilmiş olan bir iş merkezinde gözlemlenen genelde yapısal olmayan yaygın hasar da tasarım hatalarının ortaya konması açısından oldukça manidardır (Şekil 6.11). Çekirdek perdesi bulunan bu on katlı iş merkezinin orta kısmında büyük bir döşeme boşluğu bulunmakta olup tüm ofisler yırtık döşeme bölümüne açılmaktadır. Perde duvarda hiçbir hasar gözlemlenmemiş olup dolgu duvarlarda ise ağır kesme çatlakları oluşmuştur. Oldukça yeni inşa edilmiş bu yapının tasarım seviyesinin altında bir deprem etkisinde bu şekilde dolgu duvar hasarı almış olması oldukça ilginçtir. Binada yapısal elemanların birlikte çalışmadığı ve çekirdek perdesinin kat ötelenmelerini sınırlayamadığı tespit edilmiştir. Modelleme ve tasarım eksikliklerini düşündüren bu hasarlar, ofis bölümlerinin bağımsız olarak ötelendiğini ve ağır dolgu duvar hasarının oluştuğunu göstermiştir. Bu bina performansı, tasarım aşamasında döşeme yırtıklarının önemini (döşeme süreksizliği) ve perdeye doğru kuvvet aktarım mekanizmalarının oluşturulması gerekliliğini bir kez daha vurgulamaktadır.



Şekil 6.10 Aşırı korozyona maruz kolon donatıları



Şekil 6.11 İş merkezi hasarı

İncelenen diğer binalarda (Sezen Sitesi, Özkaymak Sitesi, Yazıcıoğlu Sitesi, Canbazoglu Sitesi, Dilara Apartmanı) hasarın genel olarak orta-ileri seviyede kaldığı ancak bazı elemanlarda gözlemlenen kolon kesme çatlakları (1mm'den küçük), kalıcı düşey ve yatay deformasyonların (2 cm civarı konsol oturması) yapının tekrar kullanımını oldukça sıkıntıya düşürdüğü belirlenmiştir (Şekil 6.12). Özellikle konsollar, konsol bağlantıları ve zemin kat kolonlarında oluşan hasarlar, yapıların göçme olmasa dahi deprem sonrası güçlendirilerek kullanımına olanak vermeyecek durumlar ortaya çıkarmıştır.

Yapılarda gözlenen bir diğer kusur ise süreksiz aks sistemleridir. Deprem yüklerini düzgün olarak iletebilecek, yatay yük akışını uygun olarak sağlayacak sürekli aks sistemleri bulunmamaktadır. Daha çok mimari üzerine oturtulmuş kolon ve kiriş sistemi bulunmaktadır. Kirişler genelde süreksizdir ve çoğunlukla kirişler diğer kirişler tarafından mesnetlenmektedir. Bunun sonucu olarak hem süreksiz hem de zikzak şeklinde kiriş sistemi ortaya çıkmaktadır.



Şekil 6.12 Lokal ağır yapısal hasarlar

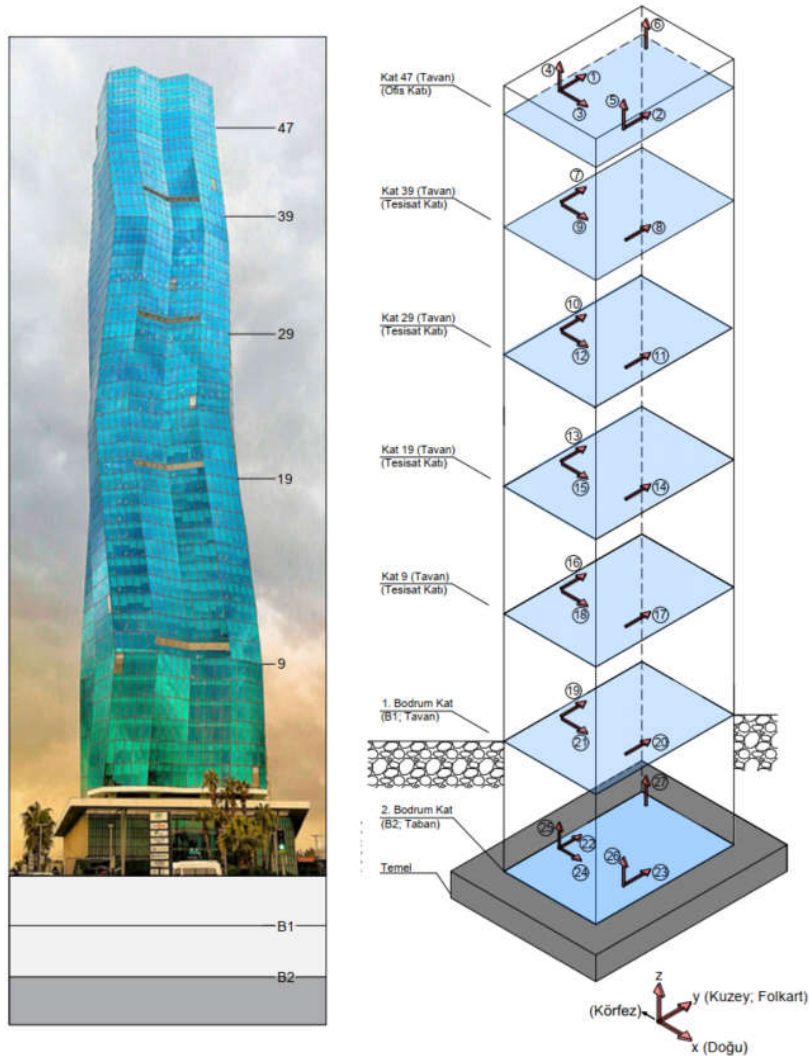
İzmir- Seferihisar açıkları (Sisam) depremi sonrasında Bayraklı bölgesinde yapılan incelemeler neticesinde ortaya konan önemli çıkarımlar şu şekilde özetlenebilir:

- 1- İzmir- Seferihisar açıkları (Sisam) depremi sonucunda İzmir’de ölçülen yer hareketi ivme değerleri genel olarak çok düşük seviyelerde olup, özel zemin koşullarına sahip Bayraklı’da yüksek değerlere ulaşmıştır. Ancak, nispeten uzun periyot aralıklarında gözlenen zemin büyütmesiyle dahi tasarıma esas ivme değerlerinin altında kalmıştır.
- 2- İzmir- Seferihisar açıkları (Sisam) depremi ile oluşan zemin amplifikasyonu özellikle 0.8-1.4 sn arasında nispeten yüksek spektral ivme değerleri oluşturarak yetersiz tasarıma sahip 7-10 katlı binaların ağır hasar almasına sebep olmuştur. Bu bölgede yapılacak çok katlı bina tasarımlarında zemin amplifikasyonlarının dikkate alınması ve sahaya özel deprem spektrumu kullanılması gerekliliği dikkatle değerlendirilmelidir.

- 3- Pek çok yapıda oluşan dolgu duvar hasarı, önemli mal kayıplarına yol açmış ve insanların deprem psikolojisi üzerinde önemli rol oynamıştır. Binalarda yapısal olarak herhangi bir hasar gözlemlenmese dahi binaların aşırı hasarlı olarak algılanmasına sebep olmuştur.
- 4- Bazı yapılar sadece dışarıdan incelendiğinde hasarsız gibi gözükebilmekte ancak içeriden yapılan detaylı incelemeler yapıların ağır hasar seviyesinde olabildiğini göstermektedir.
- 5- Barış Sitesi örneğinde olduğu üzere dolgu duvarlar düşük ve orta şiddetteki depremlerde bina kat ötelenmelerini önleyebilmekte ve binaların hem yatay hem de düşey yük taşıma kapasitelerine destek olabilmektedir. Yapısal elemanlarında önemli yetersizliklere sahip olan ancak yeterli deformasyon kapasitesine sahip olmayan binalarda dolgu duvarlar düşük ve orta şiddetteki deprem etkileri altında yapı performansına olumlu katkıda bulunmuştur.
- 6- Deprem kuvvetlerinin perde duvarlara iletildiği döşeme ve bağ kiriş elemanlarının yeterli rijitlik ve dayanıma sahip olmaması, bina içerisinde farklı seviyelerde ve yüksek ötelenmelere yol açarak hasarın yapısal olmayan elemanlara yoğunlaşabileceğini göstermiştir.
- 7- Binalarda düzgün bir yapısal taşıyıcı sistem ve deprem kuvvetlerinin doğru akışını sağlayacak sürekli bir aks sistemi oluşturulmamıştır.
- 8- İzmir Bayraklı bölgesi özelinde bodrum veya zemin katlarda kolon alt uçlarında donatı korozyonu aşırı seviyelere ulaşabilmektedir.
- 9- Ağır konsollara sahip 7-10 katlı binalarda gözlemlenen bölgesel konsol bağlantı ve zemin kat kolon hasarları yapının deprem sonrası güçlendirilerek kullanımına olanak vermeyecek seviyelerdedir.
- 10- Gözlemlenen hasarlar binalarımızda mevcut olan yetersizlikler sonucu ortaya çıkmıştır; deprem etkisinin tasarımda öngörülen değerlerden daha düşük olması bunu açıkça göstermektedir. Bu nedenle, yaşadığımız deprem İzmir bölgesi için tasarım depremi meydana geldi şeklinde anlaşılmamalıdır. Dolayısıyla, bu depremde hasar görmeyen yapılarımızın deprem dayanımı açısından yeterli olduğu izlenimi yanıltıcı olacaktır.

6.3 Yüksek Yapılar

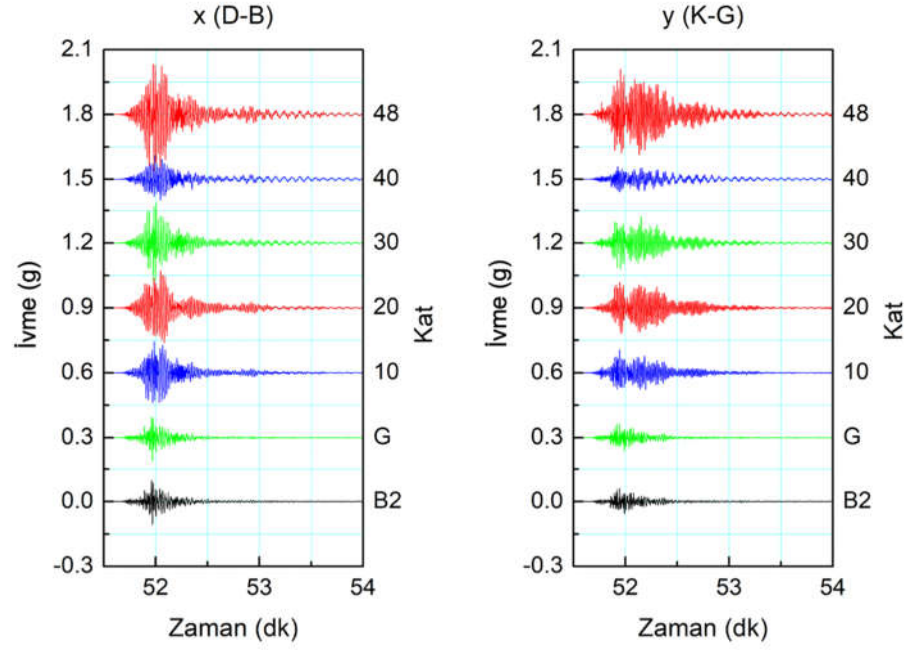
İzmir'in en yüksek binası olan ve Konak'ta bulunan 48 katlı 216 m yüksekliğindeki Mistral İzmir Ofis Kulesi, ODTÜ'de yürütülen ve AFAD bünyesinde Ulusal Deprem Araştırma Programı kapsamında desteklenen "Yüksek Binalarda Kurulacak Yapı Sağlığı İzleme Sistemi Standardının Belirlenmesi ve Örnek Uygulaması" başlıklı proje kapsamında 27.01.2019 tarihinden itibaren izlenmektedir. Binaya kalıcı olarak kurulan 27 kanallı yapı sağlığı izleme sistemi (Şekil 6.13) bina titreşim kayıtlarını ve bina yakınında yer alan yedi adet AFAD kuvvetli yer hareketi istasyonu ise serbest alan titreşim kayıtlarını ODTÜ'ye gerçek zamanlı olarak aktarmaktadır (Gumus ve Celik, 2019). 30.10.2020 14:51:24 Mw 6.6 İzmir-Seferihisar açıkları (Sisam) depremi sırasında kaydedilen kat ivmeleri ve hesaplanan kat yer değiştirmeleri Şekil 6.14'te verilmiştir. Maksimum kat ivmesi 48. katta 0,28 g ve bodrum katta 0,11 g olarak ölçülmüştür. Maksimum yer değiştirme ise 48. katta 16 cm olarak hesaplanmıştır. Hasar rapor edilmemiştir ve bina deprem sonrasında kesintisiz kullanıma devam etmektedir.



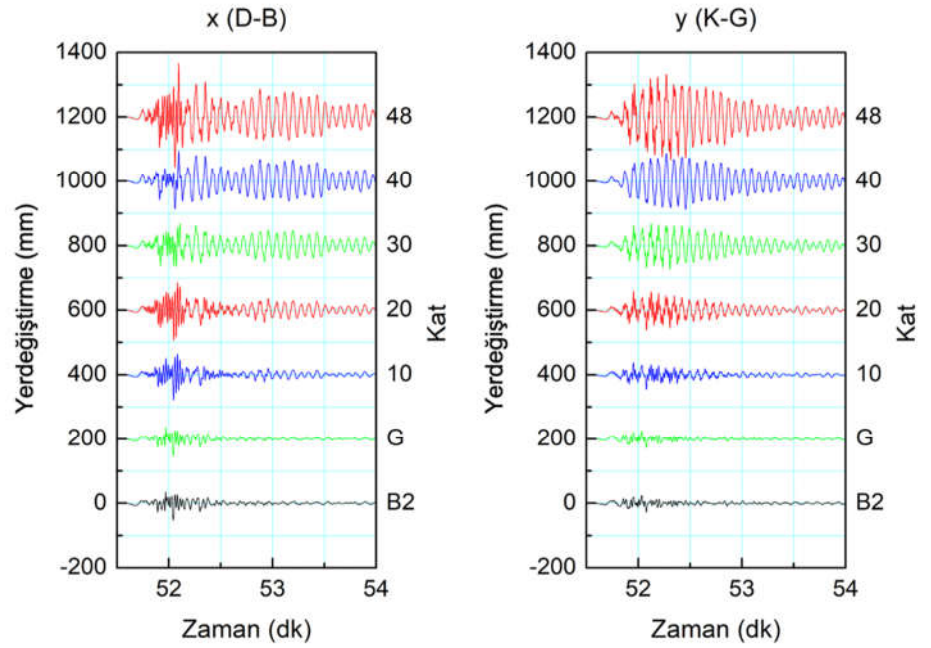
Şekil 6.13 İvmeölçer yerleşim planı



Kat İvmeleri



Kat Yerdeğiřtirmeleri



şekil 6.14 Kat ivmeleri ve yer değiştirmeleri

6.4 Köprüler

Mürselpaşa Caddesi– Zafer Payzın hattı üzerinde bulunan köprüler 30 Ekim 2020’de gerçekleşen Mw 6.6 büyüklüğündeki İzmir-Seferihisar açıkları (Sisam) depremi sonrasında detaylı olarak gözle muayene edilmiştir. İncelenen hat aşağıda sarı ile belirtilmiştir.



Şekil 6.15 İncelenen Hat

İncelenen köprüler deprem merkezinden yaklaşık 70 km uzaklıktadır. Üstyapı kirişlerinde ve mesnetlerinde kalıcı bir hareketlilik gözlenmemiştir. Köprü kolon ve temellerinde eğilme veya kesme kapasitesi aşılmamış ve çatlaklar oluşmamıştır. Temellerde oturma olmamıştır. Köprü genişleme derzlerinde bir hareketlilik gözlenmemiştir. Yapısal olmayan köprü elemanlarında da (prekast paneller, yaya korkulukları, aydınlatma direkleri vb.) herhangi bir kopma, kırılma gibi fonksiyon kaybı görülmemiştir. Gidiş-geliş köprüleri arasında bulunan boyuna derzlerin deprem performansları beklendiği gibi yeterlidir ve hafif yerel dökülmelerle sınırlı kalmıştır. Köprülerin üstyapısında ve altyapısında inceleme sonrasında son yaşanan deprem kaynaklı bir hasar tespit edilmemiştir.

Bilindiği gibi hem yeni güzergahlar hem de KGM’den devir sonrasında köprülerin geçmişinin belgelenememesinden dolayı 2019 yılı Eylül ayında deprem öncesi başlayan, köprülerin bakım, onarım ve deprem davranışlarını içeren Mürselpaşa Caddesi-Zafer Payzın Köprülü Kavşağı Arası Karayolu, Bağlantı Yolları Ve Büyük Sanat Yapıları Uygulama Ve Güçlendirme Projeleri kapsamında iyileştirme ve güçlendirme çalışmaları devam etmektedir. Proje başından beri gözlenen çatlakların çoğu yağmursuyu kaynaklı olup köprü elemanlarında seneler önce

oluşmuş kimyasal bir reaksiyon (Alkali-Silika Reaksiyonu) sonucu oluşan ASR çatlaklarıdır. Bu kimyasal kaynaklı çatlaklar deprem sonrasında büyümemiştir. Bu çatlakların tamiri ilgili proje kapsamında gerçekleştirilecektir.



Şekil 6.16 Kimyasal Tepkime Sonucu ASR Kaynaklı Çatlaklar ve Genel Görünüm

Deprem sonrasında köprüler hemen kullanıma açık kalmıştır. Sonuç olarak deprem sırasında başarılı performans gösteren köprülerin acil müdahale ihtiyacı olmaksızın kullanılabilir durumda olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.17 Deprem Öncesi ASR Çatlağı Olan Köprü Ayağından Görüntü (Aralık, 2019) ve (Kasım 2020)

Bölgede bu hat dışında bulunan 20 sene önce yapımına başlanıp duran köprü kirişleri ise yanal stabilitesi 20 senedir sağlanmadığından deprem sırasında düşmüştür.



Şekil 6.18 Yapımı 20 sene önce durmuş ve yanal stabilitesi olmayan kirişler

Sonuç olarak tasarım, yapım ve denetimin her aşamasında kontrol edilen köprülerin Van 2011 ve Sivrice 2020 depremlerinde olduğu gibi deprem performansları başarılı olup hemen kullanım şartını sağlamıştır

Kaynakça

AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı (2020), 30 Ekim 2020 Ege Denizi, Seferihisar (İzmir) Açıkları (17,26 km) Mw 6.6 Depremine İlişkin Ön Değerlendirme Raporu, AFAD.

Akka, S., Sandıkkaya, M. A., Bommer, J. J. (2014). Empirical ground-motion models for point-and extended-source crustal earthquake scenarios in Europe and the Middle East. Bulletin of earthquake engineering, 12(1), 359-387, <https://doi.org/10.1007/s10518-013-9461-4>.

Bilal, M. and Askan, A. (2014), Relationships between felt intensity and recorded ground motion parameters for Turkey, Bull Seism. Soc. Amer., 104, 484–496, <https://doi.org/10.1785/0120130093>.

Demirtaş, R. (2019), İzmir İli, Menderes İlçesi, Değirmendere, Gümüldür ve Özdere Mahallelerinin Paleosismolojik Ve Yüzey Faylanması Tehlike Zonu Açısından Değerlendirilmesi 10.13140/RG.2.2.14234.70087.

GMT 5: Wessel, P., W. H. F. Smith, R. Scharroo, J. Luis, and F. Wobbe, Generic Mapping Tools: Improved Version Released, EOS Trans. AGU, 94(45), p. 409–410, 2013. <https://doi.org/10.1002/2013EO450001>.

Gumus O and Celik OC (2019) Structural Health Monitoring System on a 216 m Tall Building in Izmir per the New Turkish Building Earthquake Code, Proceedings of the Fifth International Conference on Earthquake Engineering and Seismology, October 8–11, Ankara, Turkey.

Pamuk, E., Gönenç, T., Özdağ, Ö. C., & Akgün, M. (2018). 3D Bedrock Structure of Bornova Plain and Its Surroundings (Izmir/Western Turkey). Pure and Applied Geophysics, 175(1), 325-340.

TBEC, Turkish Building Earthquake Code (2019). Ministry of Interior, Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD).

TEC, Earthquake Code of Turkey (2007). Specification for Buildings to be Built in Seismic Zones, Ministry of Public Works and Settlement, Government of the Republic of Turkey.

TEC, Earthquake Code of Turkey (1975). Specification for Buildings to be Built in Disaster Zones, Ministry of Public Works and Settlement, Government of the Republic of Turkey.

USGS Liquefaction Susceptibility Map (last visited November 9 2020) <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000c7y0/executive>