

ATILIM ÜNİVERSİTESİ

30.10.2020 EGE DENİZİ DEPREMİ RAPORU

OCAK 2021

DR. ÖĞR. Ü. HALİT CENAN MERTOL
PROF. DR. TOLGA AKIŞ
DR. ÖĞR. Ü. GÖKHAN TUNÇ

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	i
ŞEKİL LİSTESİ.....	iii
TABLO LİSTESİ.....	vi
1. GİRİŞ.....	1
2. DEPREMİN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ.....	3
2.1. Tarihçe	3
2.2. Deprem Tehlike Haritası	5
2.3. Yerel Zemin Koşulları	5
2.4. Ege Denizi Depremi	7
2.5. Arias ve Housner Şiddetleri ile Spektrum İvme Değerleri	9
2.6. Kuvvetli Yer Hareketi.....	10
3. BETONARME YAPILARDA GÖZLENEN HASARLAR.....	13
3.1. Yıkılmış Yapılar	15
3.1.1. Rıza Bey Apartmanı.....	15
3.1.2. Doğanlar Apartmanı.....	18
3.1.3. Emrah Apartmanı.....	21
3.1.4. Yağcıoğlu Sitesi.....	23
3.1.5. Yılmaz Erbek Apartmanı	26
3.1.6. Karagül Apartmanı.....	29
3.1.7. Barış Sitesi.....	31
3.1.8. Cumhuriyet Sitesi	35
3.2. Ağır Hasarlı YapılarA AİT GÖZLEMLER	37
3.3. Türkiye’deki Deprem Yönetmeliklerinin Gelişimi	39
3.4. Betonarme Binalardaki Sorunlar	40
3.4.1. Malzeme ile İlgili Sorunlar.....	40
3.4.1.1. Beton	40
3.4.1.2. Çelik Donatı	42
3.4.2. Donatı Detaylandırması ile İlgili Sorunlar	42
3.4.2.1. Kolon ve Kiriş Sarılma Bölgeleri	42
3.4.2.2. Etriye Uçlarının 135° Bükülmesi	46
3.4.3. Yatay Yük Taşıyıcı Sistem ile İlgili Sorunlar	48
3.4.3.1. Alt Kat Kolonlarının Göçmesi.....	48
3.4.3.2. Kısa Kolon.....	53
3.4.4. Tasarım, İmalat ve Kullanım Aşaması Denetimi	55

3.4.4.1. İmalat Aşamasındaki Denetim Eksikliği.....	55
3.4.4.2. Yapı Kullanımı Aşamasındaki Denetim Eksikliği	56
4. KÖPRÜ KİRİŞLERİNİN NEDEN OLDUĞU HASARLAR	59
5. SIĞACIK'TA GÖZLENEN HASARLAR.....	63
6. SONUÇLAR	69
TEŞEKKÜR	70
KAYNAKLAR	71

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 – Türkiye diri fay hatları haritası (MTA, 2020a)	1
Şekil 1.2 – Ege Denizi depreminin merkez üssü	2
Şekil 2.1 – Kıtalararası plaka hareketleri (Okay ve diğerleri, 2010)	3
Şekil 2.2 – İzmir ve civarındaki aktif fay hatları (MTA, 2020a ile Emre ve diğerleri, 2005) ..	4
Şekil 2.3 – Türkiye Deprem Tehlike Haritası (tekrarlanma periyodu 475 yıl) (AFAD, 2020b)5	
Şekil 2.4 – Türkiye'nin batı bölgesini içeren 475 yıllık tekrarlanma periyoduna sahip depremler için beklenen en büyük yer ivme değerleri (AFAD, 2020b)	5
Şekil 2.5 – İzmir Körfez bölgesi: (a) havadan görünüm, (b) zemin koşulları (MTA, 2020b) ..	6
Şekil 2.6 – İzmir Körfezi: (a) 3 boyutlu görüntü, (b) yerel zemin koşulları (Pamuk ve diğerleri, 2017).....	6
Şekil 2.7 –1900 yılı öncesi İzmir ve civarında meydana gelen depremler (Kandilli, 2020).....	8
Şekil 2.8 – 30 Ekim 2020 ve 18 Kasım 2020 tarihleri arasında bölgede kaydedilen artçı sarsıntıların günlük dağılımları.....	8
Şekil 2.9 – Kuvvetli yer hareketi ölçüm istasyonlarının konumları	9
Şekil 2.10 – Ege Denizi Depremi: (a) PGA, (b) Etkin deprem süresi	10
Şekil 2.11 – Ege Denizi Depremi: (a) Arias şiddeti, (b) Housner şiddeti.....	10
Şekil 2.12 – Seçilen 6 kuvvetli yer istasyonunun konumları	11
Şekil 2.13 – Seçilen 6 kuvvetli yer hareketi ölçüm istasyonundan elde edilen ivme kayıt değerleri ile spektrum ivme değerlerinin tasarım ivme spektrum değerleri ile karşılaştırılması	12
Şekil 3.1 – Yıkılan binaların depremin merkezine uzaklığı	13
Şekil 3.2 – Yıkılan binaların konumları	14
Şekil 3.3 – Yıkılan binaların adları ve konumları.....	14
Şekil 3.4 – Rıza Bey Apartmanı'nın yıkılmadan önceki görünümü (Google Maps, 2020)	15
Şekil 3.5 – Rıza Bey Apartmanı'nın enkazı (ön görünüm)	15
Şekil 3.6 – Rıza Bey Apartmanı'nın enkazı (çapraz görünüm).....	16
Şekil 3.7 – Rıza Bey Apartmanı'nın enkazı (yan görünüm)	16
Şekil 3.8 – Rıza Bey Apartmanı'nın enkazı (çapraz görünüm).....	16
Şekil 3.9 – Rıza Bey Apartmanı'nın enkazı (çapraz görünüm - gündüz)	17
Şekil 3.10 – Rıza Bey Apartmanı'ndaki bazı elemanların beton ve donatı detayları	17
Şekil 3.11 – Rıza Bey Apartmanı'nda hasar görmüş bir kolon	17
Şekil 3.12 – Doğanlar Apartmanı'nın yıkılmadan önceki görünümü (Google Maps, 2020) ..	18
Şekil 3.13 – Doğanlar Apartmanı'nın enkazı (çapraz görünüm).....	18
Şekil 3.14 – Doğanlar Apartmanı'nın enkazı (yan görünüm)	19
Şekil 3.15 – Doğanlar Apartmanı'nın enkazı (çapraz görünüm).....	19
Şekil 3.16 – Doğanlar Apartmanı'nın enkazı (yan görünüm)	20
Şekil 3.17 – Doğanlar Apartmanı'nın enkazındaki bazı yapısal elemanların donatı detayları 20	
Şekil 3.18 – Doğanlar Apartmanı'nın bir kolonu	20
Şekil 3.19 – Emrah Apartmanı'nın yıkılmadan önceki görünümü (Google Maps, 2020)	21
Şekil 3.20 – Emrah Apartmanı'nın enkazı (çapraz görünüm).....	21
Şekil 3.21 – Emrah Apartmanı'nın enkazı (çapraz görünüm).....	21
Şekil 3.22 – Emrah Apartmanı'nın enkazı (yan görünüm)	22
Şekil 3.23 – Emrah Apartmanı'ndaki bazı yapısal elemanların donatı detayları	22
Şekil 3.24 – Emrah Apartmanı'nındaki hasarlı yapısal elemanları	22
Şekil 3.25 – Yağcıoğlu Sitesi B Blok'un yıkılmadan önceki görünümü (Google Maps, 2020)	23
Şekil 3.26 – Yağcıoğlu Sitesi B Blok'un enkazı (çapraz görünüm)	24

Şekil 3.27 – Yağcıoğlu Sitesi B Blok’un enkazı (yan görünüm)	24
Şekil 3.28 – Yağcıoğlu Sitesi B Blok’un enkazı (çapraz görünüm)	24
Şekil 3.29 – Yağcıoğlu Sitesi B Blok’un enkazı (arka görünüm)	25
Şekil 3.30 – Yağcıoğlu Sitesi B Blok’un enkazı (çapraz görünüm)	25
Şekil 3.31 – Yağcıoğlu Sitesi B Blok’taki bazı yapısal elemanlarındaki donatı detayları.....	25
Şekil 3.32 – Yılmaz Erbek Apartmanı’nın yıkılmadan önceki görünümü (Google Maps, 2020)	26
Şekil 3.33 – Yılmaz Erbek Apartmanı’nın enkazı (ön görünüm).....	26
Şekil 3.34 – Yılmaz Erbek Apartmanı Kuzey Blok’un enkazı (ön görünüm)	27
Şekil 3.35 – Yılmaz Erbek Apartmanı Kuzey Blok’un enkazı (yan görünüm).....	27
Şekil 3.36 – Yılmaz Erbek Apartmanı Kuzey Blok’un yıkımı.....	27
Şekil 3.37 – Yılmaz Erbek Apartmanı Kuzey Blok’ta yer alan bazı yapısal elemanlarındaki donatı detayları	28
Şekil 3.38 – Yılmaz Erbek Apartmanı Kuzey Blok’una ait bir kolonu	28
Şekil 3.39 – Karagül Apartmanı’nın yıkılmadan önceki görünümü (Google Maps, 2020)	29
Şekil 3.40 – Karagül Apartmanı enkazı	29
Şekil 3.41 – Karagül Apartmanı enkazı ve çeşitli donatı detayları.....	30
Şekil 3.42 – Barış Sitesi’nin yıkılmadan önceki görünümü (Google Maps, 2020)	31
Şekil 3.43 – Barış Sitesi enkazı (uçangöz görünümü)	32
Şekil 3.44 – Barış Sitesi enkazı (ön görünüm)	32
Şekil 3.45 – Barış Sitesi enkazı (ön görünüm)	33
Şekil 3.46 – Barış Sitesi enkazı (çapraz görünüm)	33
Şekil 3.47 – Barış Sitesi enkazı (yan görünüm)	33
Şekil 3.48 – Barış Sitesi enkazı (arka görünüm)	34
Şekil 3.49 – Cumhuriyet Sitesi’nin yıkılmadan önceki görünümü (Google Maps, 2020).....	35
Şekil 3.50 – Cumhuriyet Sitesi enkazı	36
Şekil 3.51 – Cumhuriyet Sitesi enkazı	36
Şekil 3.52 – Yapısal ve yapısal olmayan elemanlar üzerindeki çapraz çatlaklar	37
Şekil 3.53 – Ağır kolon hasarları	38
Şekil 3.54 – Ayrılan ve yana yatan binalar.....	38
Şekil 3.55 – Yıkılan bazı binalarda gözlenen beton kalitesi	41
Şekil 3.56 – Beton basınç dayanımı ile ilgili BDRDR (Bayraklı Belediyesi, 2020 ve AA, 2020b) bölümleri.....	41
Şekil 3.57 – Yıkılan bazı binalara ait donatı detayları.....	42
Şekil 3.58 – Kolon ve kiriş sarılma bölgeleri (ABYYHY, 1975).....	43
Şekil 3.59 – Yıkılan bazı binaların kolon ve kirişlerindeki donatı düzenlemesi	44
Şekil 3.60 – Etriye sıklaştırılması ile ilgili BDRDR (Bayraklı Belediyesi, 2020 ve AA, 2020b) bölümü.....	45
Şekil 3.61 – Kolon ve kiriş sarılma bölgeleri (TBDY, 2018)	45
Şekil 3.62 – Etriye uçlarının 90° ve 135° bükülme durumları	46
Şekil 3.63 – Etriye uçlarının bükülmesi (ABYYHY, 1975)	47
Şekil 3.64 – Yıkılan binaların etriyelerinin büküm şekilleri	47
Şekil 3.65 – Özel deprem etriyelerinin uçlarının 135 derece bükülmesi (TBDY, 2018).....	48
Şekil 3.66 – Alt katı veya alt birkaç katı göçen binalar	49
Şekil 3.67 – Rıza Bey Apartmanı’nın göçme anı (NTV, 2020)	49
Şekil 3.68 – Karagül Apartmanı’nın göçme anı ve sonrası (Posta, 2020)	50
Şekil 3.69 – Kirişlerin sağ ve sol uçlarının mafsallaşması ile oluşan göçme mekanizması (istenen davranış)	51
Şekil 3.70 – Birinci kat kolon alt ve üst uçlarının mafsallaşması ile oluşan göçme mekanizması (istenmeyen davranış)	52

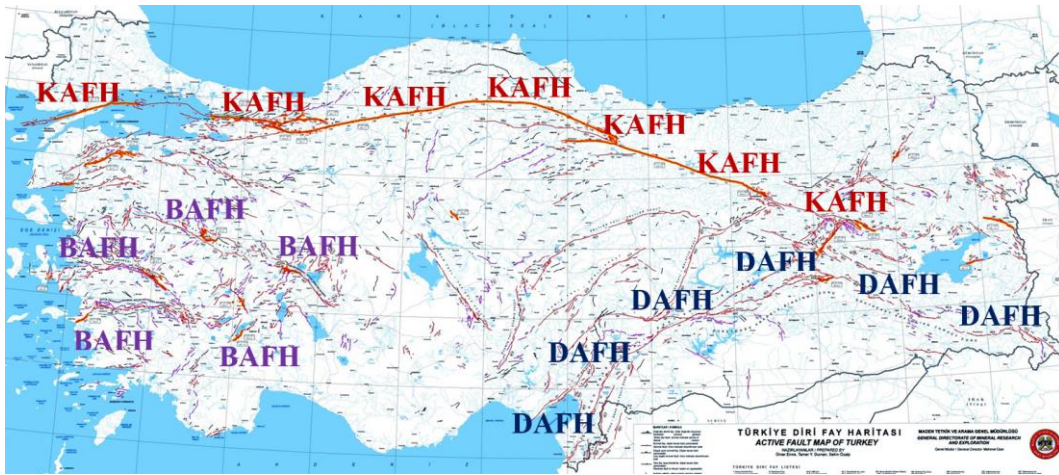
Şekil 3.71 – Kolon ve kiriş uçlarındaki taşıma gücü momentleri TBDY (2018)	52
Şekil 3.72 – Kısa kolon oluşumu nedeni ile ağır hasar almış bir bina	54
Şekil 3.73 – Kısa kolonlara ait şekil (TBDY, 2018)	55
Şekil 3.74 – Tasarımdaki kolon boyutu ile imalattaki boyut arasındaki farklılık ile ilgili BDRDR (Bayraklı Belediyesi, 2020 ve AA, 2020b) bölümü	56
Şekil 3.75 – Kullanım aşamasında kırışe verilen hasarlar (Karşıyaka, İzmir)	57
Şekil 4.1 – Alsancak'ta atıl bir şekilde bulunan viyadük yapısının deprem öncesi görünümü (Google Maps, 2020)	59
Şekil 4.2 – Düşen kırışlerin görünümü (1)	59
Şekil 4.3 – Düşen kırışlerin görünümü (2)	60
Şekil 4.4 – Düşen kırışlerin görünümü (3)	60
Şekil 4.5 – Başlık kırışı üzerinde kalan yan yatmış kırışler	61
Şekil 5.1 – Sığacık Limanı bölgesinde yükselen su seviyesi	63
Şekil 5.2 – Sığacık Marina'nın tsunami öncesi ve sonrası görünümü (Google Maps, 2020 ve İTÜ, 2020)	64
Şekil 5.3 – Kopmuş ve hasar almış pantonlar	65
Şekil 5.4 – Panton kopma bölgeleri	65
Şekil 5.5 – Batan teknelerin konumları	66
Şekil 5.6 – Sığacık Körfezi'nde karaya oturan tekneler	66
Şekil 5.7 – Tsunaminin hasara neden olduğu sahil şeridi	66
Şekil 5.8 – Hasar almış tarihi surlar	67
Şekil 5.9 – Tarihi kubbe yapısı ve iç kısmındaki dökülmeler	67
Şekil 5.10 – Sığacık Camii'nin ağır hasar alan minaresi	68

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 – 30 Ekim 2020 tarihli Ege Denizi Depremi ana sarsıntı özellikleri	7
Tablo 2.2 – 30 Ekim 2020 tarihli Ege Denizi Depremi moment-tensör analiz çözümleri.....	7
Tablo 2.3 – Kuvvetli yer hareketi ölçüm istasyonlarında kaydedilen Ege Denizi Deprem bilgileri	9
Tablo 3.1 – Yıkılan binalar hakkında genel bilgiler	14
Tablo 3.2 – Türkiye’deki deprem yönetmeliklerinin yıllara göre gelişimi	39
Tablo 3.3 – Son dört deprem yönetmeliğinin karşılaştırılması	40

1. GİRİŞ

Türkiye en aktif deprem bölgelerinden birinde yer almaktadır. Yapılan istatistiksel bir çalışmaya göre Türkiye’de, deprem büyüklüğü $M_w = 6.0$ ila 6.9 arasında yer alan şiddetli bir deprem her iki yılda bir ve büyüklüğü $M_w = 6.9$ ve üstünde olan çok şiddetli bir deprem ise her üç yılda bir meydana gelmektedir. Türkiye çok şiddetli depremler üretme potansiyeline sahip birkaç fay hattı içermektedir. Bunların en önemlileri Kuzey Anadolu Fay Hattı (KAFH) ile Doğu Anadolu Fay Hattıdır (DAFH) (Şekil 1.1, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, MTA, 2020a). Ülkenin batı bölgesi de bu türden güçlü depremler üretebilecek fay hatları içermektedir. Bu farklı fay hatlarını tanımlama kolaylığı açısından Batı Anadolu Fay Hattı ismi altında toplamak mümkündür (BAFH) (Şekil 1.1). Kuzey Anadolu Fay Hattı, ülkenin kuzey bölgesi boyunca batıdan doğuya doğru uzanır ve yaklaşık 1,500 km’lik bir uzunluğa sahiptir. İskenderun körfezinden Hakkari’ye kadar uzanan ve Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri boyunca devam eden bölgede yarım ay şeklini alan fay hattı da Doğu Anadolu Fay Hattını oluşturur. Batı bölgesindeki farklı fay kırıkları ise Batı Fay Hattı ismi altında birleştirildiğinde yaklaşık 45,000 km²’lik bir alanı kapsar ve bu da Türkiye’nin toplam yüzölçümünün %6’sını teşkil eder.



Şekil 1.1 – Türkiye diri fay hatları haritası (MTA, 2020a)

İzmir ve çevresi 30 Ekim 2020 tarihinde büyüklüğü $M_w = 6.6$ olan bir depremle sarsılmıştır (AFAD, 2020a). AFAD verilerine göre depremin odak derinliği 16.5 kilometre olarak belirlenmiştir. Deprem özellikle Yunanistan’ın Sisam (Samos) adası ile İzmir ve civarında yaşayan yaklaşık 4 milyon insanı etkilemiştir. Bu çalışmada yalnız İzmir ve civarındaki yerleşim yerleri incelenmiş, dolayısı ile Sisam adasında meydana gelen hasarlar raporun kapsamı dışında tutulmuştur.

İzmir, 4.4 milyona yaklaşan nüfusu ve % 6.3’lük gayri safi yurt içi hasıla oranı ile Türkiye’nin üçüncü en kalabalık şehri olup ülkenin üçüncü büyük ekonomisine sahiptir (Türkiye İstatistik Kurumu, TÜİK, 2020). İzmir şehir merkezi, depremin merkez üssünden yaklaşık 67 km kuzey doğusunda yer almaktadır (Şekil 1.2). İçişleri Bakanlığınca yapılan resmi açıklamalara göre depremde 117 vatandaşımız hayatını kaybetmiş, 32,000’e yakın insanımız da yaralanmıştır. Ana deprem şokundan hemen sonra 11 betonarme bina yıkılmıştır. Yerinde yapılan detaylı incelemelere bağlı olarak 5630 binada orta veya az derecede hasar meydana gelmiştir. Bu binaların 511’i orta derecede 5,119’u ise az derecede

hasarlı oldukları belirlenmiştir. Toplamda 506 bina ise yapısal güvenlik açısından riskli bulunarak yıkılmıştır (AA, 2020a).



Şekil 1.2 – Ege Denizi depreminin merkez üssü

Depremi hemen sonrasında teknik bir ekip bölgeyi ziyaret ederek yıkılan ve hasara uğrayan binaları incelemiş, saha çalışmalarına ait gözlem ve değerlendirmelerini içerir bu raporu hazırlamıştır.

Bu rapor 6 kısımdan oluşmaktadır. Giriş bölümünün oluşturan bu ilk kısmın ardından, ikinci bölümde Ege Denizi Depremi sırasında oluşan kuvvetli yer hareketi detaylı olarak incelenmiştir. Üçüncü bölümde deprem sırasında yıkılan ve ağır hasar alan betonarme binaların durumları değerlendirilmiştir. Yine bu bölümde, bu binalardaki sorunlar, binaların yapıldığı yıllarda geçerli olan ve şimdiki mevcut deprem yönetmelikleri koşulları ışığında incelenmiştir. Atıl durumda olan bir viyadükten düşen kirişlerle ilgili inceleme dördüncü bölümde, Sığacık'ta tsunami nedeniyle oluşan hasarlar beşinci bölümde anlatılmıştır. Tüm değerlendirmelerin özetlendiği sonuçlar da altıncı bölümde verilmiştir.

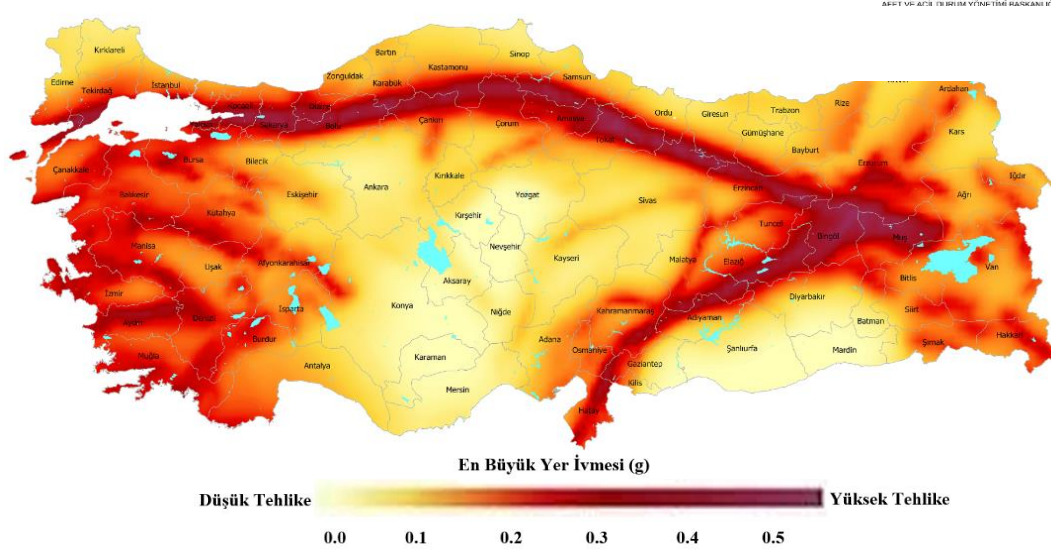
civarındaki sağlam kaya derinliği 900 metre ile 1,200 metre arasında olup yer altı su seviyesi 1 ila 10 metre arasında değişmektedir (Kıncal, 2004 ve Pamuk ve diğerleri, 2019).



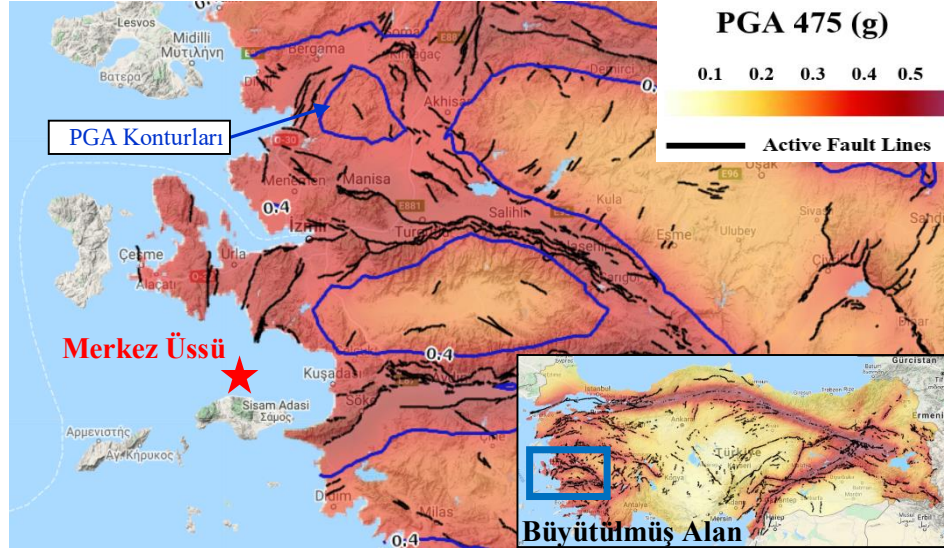
Şekil 2.2 – İzmir ve civarındaki aktif fay hatları (MTA, 2020a ile Emre ve diğerleri, 2005)

2.2. Deprem Tehlike Haritası

50 yılda aşılma olasılığı %10 olan ve 475 yıllık tekrarlanma periyoduna sahip Türkiye Deprem Tehlike Haritası aşağıda yer almaktadır. (Şekil 2.3, AFAD, 2020b). Şekil 2.4 ise Türkiye'nin Batı bölgesine ait deprem tehlike haritası ile fay hatlarını ve en büyük deprem yer ivme değerlerini gösterir konturları içermektedir (AFAD, 2020b).



Şekil 2.3 – Türkiye Deprem Tehlike Haritası (tekrarlanma periyodu 475 yıl) (AFAD, 2020b)

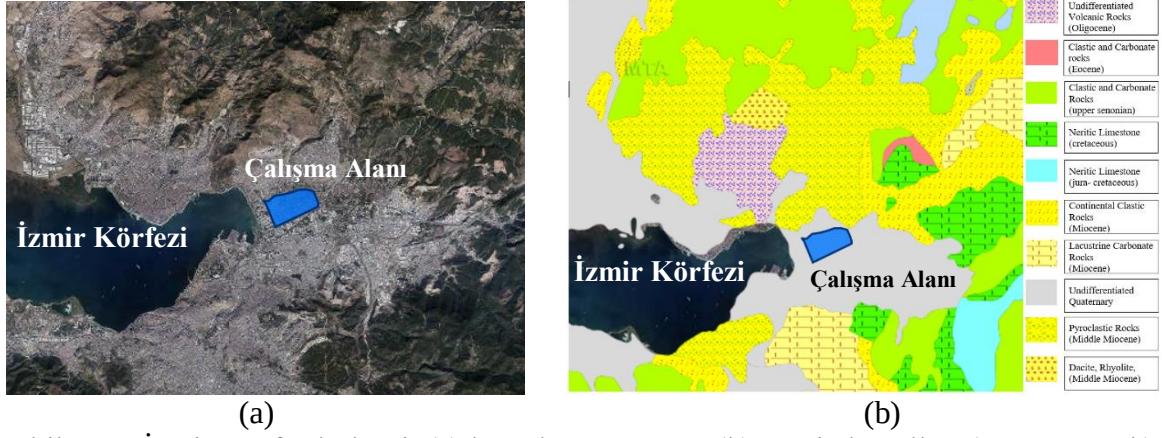


Şekil 2.4 – Türkiye'nin batı bölgesini içeren 475 yıllık tekrarlanma periyoduna sahip depremler için beklenen en büyük yer ivme değerleri (AFAD, 2020b)

2.3. Yerel Zemin Koşulları

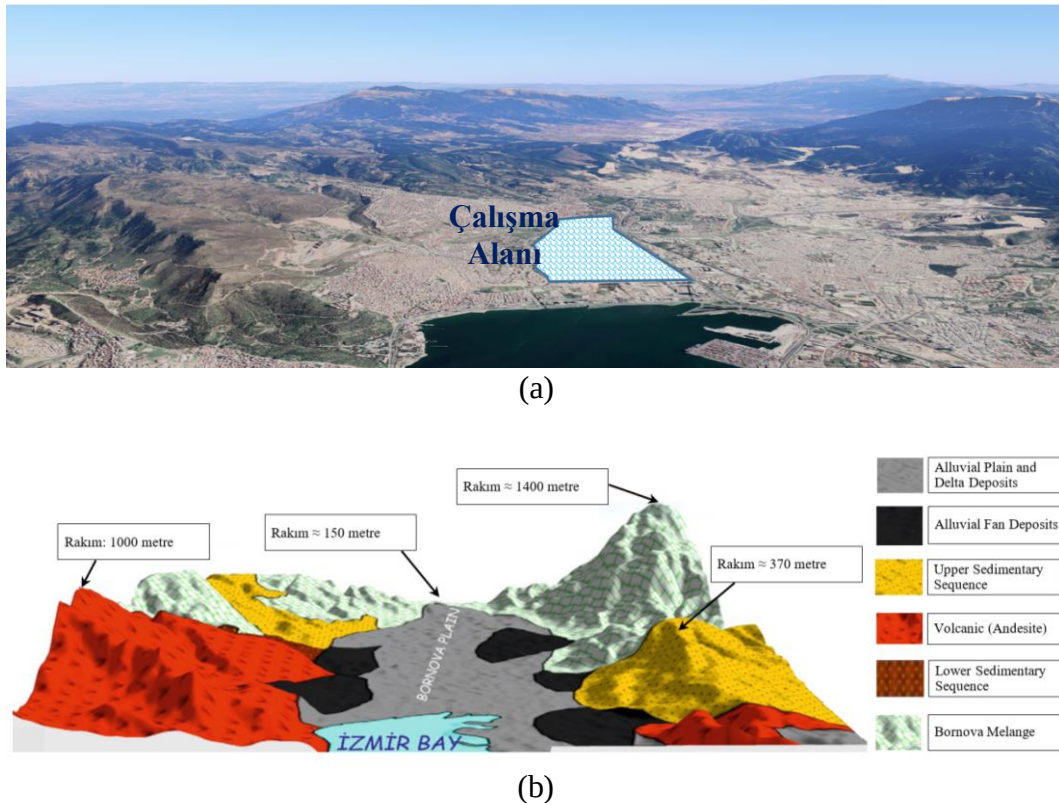
Aşağıdaki şekilde İzmir bölgesinin havadan görüntüsü ile yıkımın en yoğun olduğu bölgenin mavi renkle taralı alanı (çalışma alanı) verilmektedir (Şekil 2.5-a). Bölgeye ait yerel zemin koşulları ise Şekil 2.5-b'de verilmiştir. Şekilde yer alan bilgilere göre özellikle İzmir körfez bölgesindeki baskın zemin türü ayrılmamış Kuvaterner çöktilleri olarak verilmiştir. Bu

zemin içerisinde silika kırıntıları, organik ve tatlı su karbonatları içeren bir zemindir. Körfez bölgesinden yaklaşık 15 km mesafede ise yerel zemin koşullarının çok daha iyileştiği görülmüştür.



Şekil 2.5 – İzmir Körfez bölgesi: (a) havadan görünüm, (b) zemin koşulları (MTA, 2020b)

Bölgeye ait yapılan bir başka çalışmada ise özellikle Bayraklı ve çalışma alanının yerel zemininin alüvyon birikintileri ile nehir çökteltilerinden oluştuğu belirlenmiştir (Şekil 2.6-a ve b, Pamuk ve diğerleri, 2017).



Şekil 2.6 – İzmir Körfezi: (a) 3 boyutlu görüntü, (b) yerel zemin koşulları (Pamuk ve diğerleri, 2017)

2.4. Ege Denizi Depremi

Ege Denizi Depremi 30 Ekim 2020 tarihinde yerel saat ile 14:51:23'te meydana gelmiştir (AFAD, 2020a). Depremi merkez üssü Sisam Adası açıkları olarak belirlenmiştir. Depreme en yakın yerleşim yeri ise 23.4 km mesafedeki İzmir'in Seferihisar ilçesine bağlı Payamlı köyüdür. AFAD verilerine göre depremin odak derinliği 16.5 km ve büyüklüğü $M_w=6.6$ olarak belirlenmiştir (AFAD, 2020a). Tablo 2.1'de farklı merkezler tarafından depreme ait yapılan ölçümler ve bilgiler yer almaktadır.

Tablo 2.1 – 30 Ekim 2020 tarihli Ege Denizi Depremi ana sarsıntı özellikleri

Kaynak*	Yerel Saat	GPS Koordinatları	Büyüklik	Derinlik (km)
AFAD (2020a)	14:51:23	37.879 K - 26.703 D	6.6 (M_w)	16.5
KANDİLLİ (2020)	14:51:26	37.902 K - 26.794 D	6.9 (M_w)	12.0
USGS (2020)	14:51:27	37.918 K - 26.790 D	7.0 (M_w)	21.0
CMT (Harvard, 2020)	14:51:35	37.760 K - 26.680 D	7.0 (M_w)	12.0
GFZ (2020)	14:51:27	37.900 K - 26.820 D	7.0 (M_w)	15.0

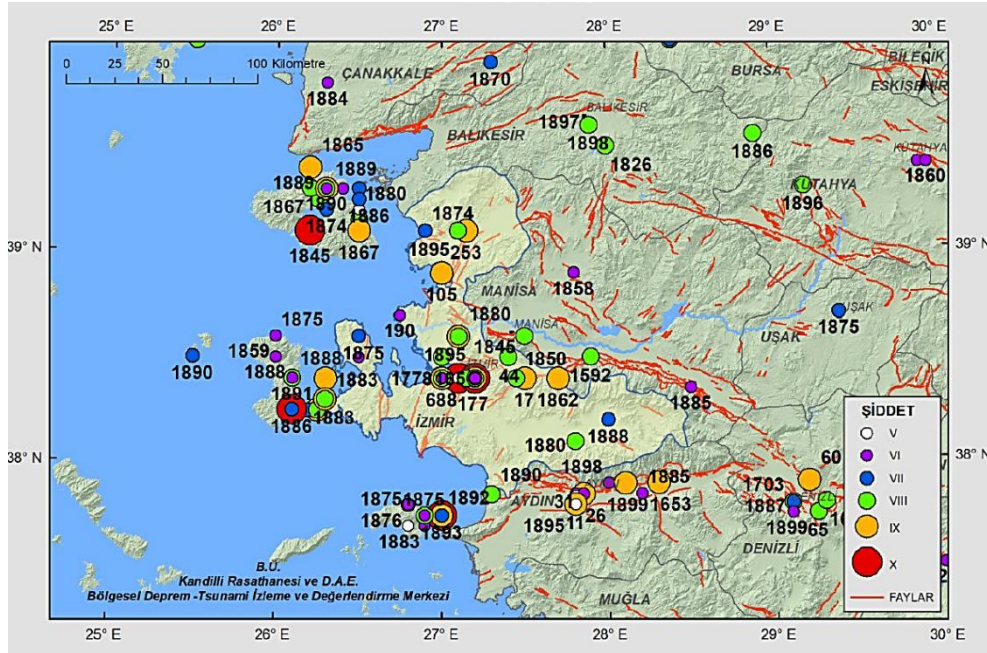
* AFAD: Türkiye İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı; Kandilli: Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü; USGS: Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Etütleri Dairesi; CMT: The Centroid-Moment-Tensor Project, Harvard Üniversitesi; GFZ: GeoForschungsZentrum, Almanya

Deprem normal fay türü kırılımı olarak Ege Denizi'nin Avrasya tektonik plakasında meydana gelen sığ bir depremdir. Amerikan USGS kayıtlarına göre depremin odak mekanizması çözümleri, normal fay türünün Kuzey-Güney yönündeki ilerlemesi ile meydana geldiğini göstermektedir (USGS, 2020). MTA'nın depreme ait yaptığı çalışmada ise Sisam fay kırığının yaklaşık 40 km uzunluğunda kırıldığı belirlenmiştir. Bu da depolanan gerilme enerjisinin Kuzey-Doğu ile Güney-Batı yönünde genişleyerek muhtemelen Sisam fay hattının batı kısmına kaydığını göstermektedir (MTA 2020c). Tablo 2.2'de Ege Denizi Depremi'ne ait farklı merkezler tarafından yapılan ölçümlere ait bilgiler yer almaktadır.

Tablo 2.2 – 30 Ekim 2020 tarihli Ege Denizi Depremi moment-tensör analiz çözümleri

Merkez	Moment-Tensör	Strike 1	Dip 1	Rake 1	Strike 2	Dip 2	Rake 2
AFAD (2020a)		95	43	-87	270	46	-91
KANDİLLİ (ODTÜ, 2020)	Mevcut Değil	NA	NA	NA	272	55	-93
USGS (2020)		93	61	-91	276	29	-88
CMT (Harvard, 2020)	Mevcut Değil	96	53	-86	270	37	-95
GFZ (2020)		97	41	-85	272	48	-93

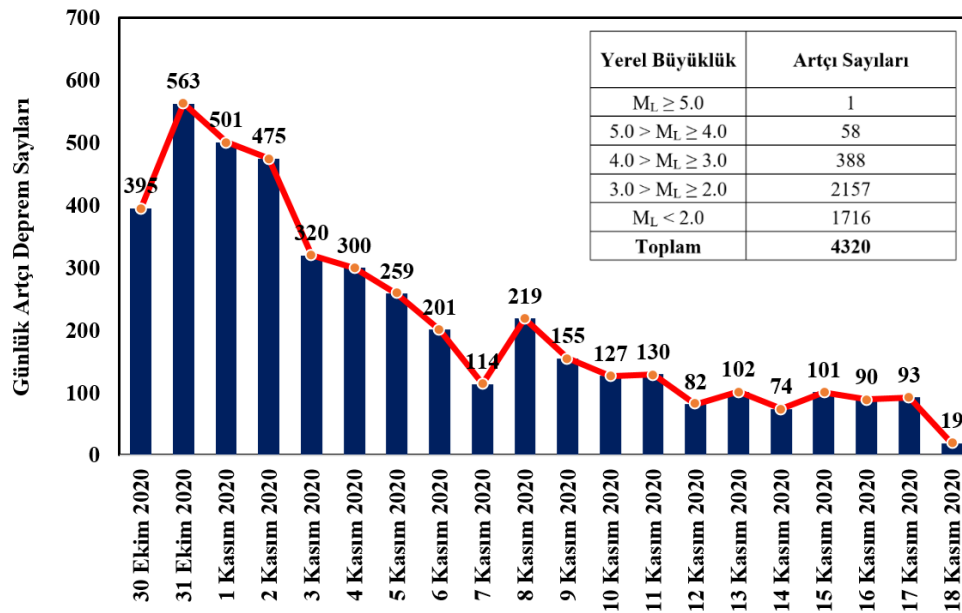
İzmir ve civarı tarihinde de pek çok büyük depremler yaşamış bir bölgedir. 1900 yılından bu yana bölgede 4 ve üzerinde toplam 695 deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerin en büyüğü ise 1955 yılında meydana gelen 6.8 büyüklüğüne sahip depremdir. Kandilli Rasathanesi verilerine göre 1900 öncesi aletsel olmayan dönemde toplam 332 deprem kaydedilmiştir (Şekil 2.7, Kandilli, 2020).



Şekil 2.7 –1900 yılı öncesi İzmir ve civarında meydana gelen depremler (Kandilli, 2020)

Ege Denizi'nde meydana gelen ana sarsıntıyı takiben bölgede yaklaşık 2.5 ila 3.0 metre yüksekliğine sahip tsunami meydana gelmiştir. Dalgalar özellikle İzmir'in Seferihisar ilçesine bağlı Sığacık Körfezi'ni ve Sisam adasının kuzey bölgelerini vurmuştur (MTA, 2020c). Yerinde yapılan ölçümlere ve saha gözlemlerine göre dalganın iç kısımlara kadar 200 ila 250 metre kadar ilerlediği görülmüştür.

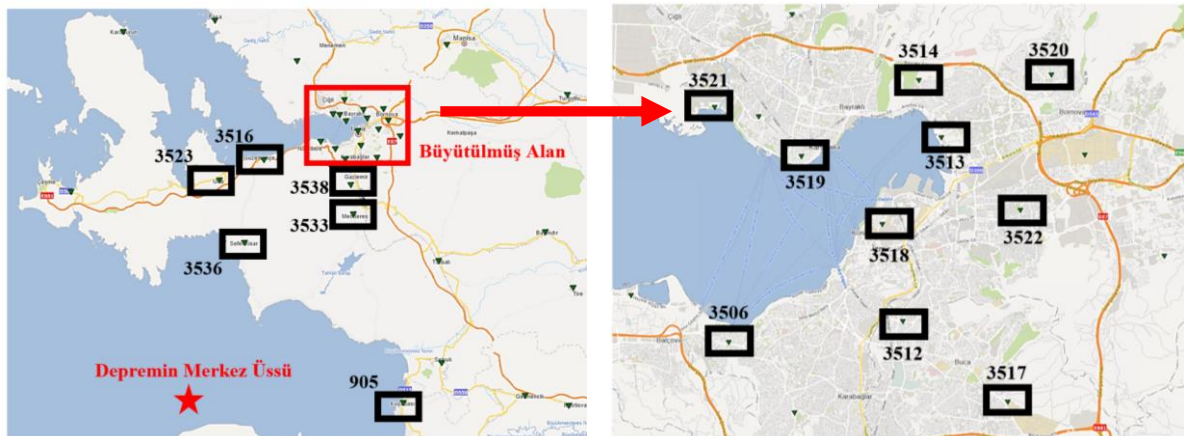
30 Ekim 2020 tarihli ana sarsıntıya müteakip 18 Kasım 2020'ye kadar toplam 20 günlük süreçte büyüklükleri 0.8 ila 5.2 arasında değişen toplam 4,320 artçı sarsıntı kaydedilmiştir (Kandilli, 2020). Şekil 2.8 artçı sarsıntıların günlere bağlı olarak değişimini göstermektedir.



Şekil 2.8 – 30 Ekim 2020 ve 18 Kasım 2020 tarihleri arasında bölgede kaydedilen artçı sarsıntıların günlük dağılımları

Tablo 2.3 – Kuvvetli yer hareketi ölçüm istasyonlarında kaydedilen Ege Denizi Deprem bilgileri

Sıra No	İstasyon Numarası	Şehir	İlçe/Belde	Enlem (°)	Boylam (°)	PGA ivme değerleri (gal)			Repi (km)
						KG	DB	Düşey	
1	3536	İzmir	Seferihisar	38.1968	26.8384	50.220	79.139	31.315	34.745
2	0905	Aydın	Kuşadası	37.8560	27.2650	179.314	144.017	79.839	42.948
3	3523	İzmir	Urla	38.3282	26.7706	80.320	63.572	36.899	48.940
4	3533	İzmir	Menderes	38.2572	27.1302	73.635	45.899	37.460	51.380
5	3516	İzmir	Güzelbahçe	38.3706	26.8907	47.291	48.356	32.082	54.565
6	3538	İzmir	Gaziemir	38.3187	27.1234	85.484	76.953	39.264	56.665
7	3506	İzmir	Konak-1	38.3944	27.0821	43.879	41.039	23.587	62.304
8	3517	İzmir	Buca-1	38.3756	27.1936	40.099	36.136	19.816	65.316
9	3512	İzmir	Buca-2	38.4009	27.1516	57.541	56.746	28.158	65.761
10	3518	İzmir	Konak-2	38.4312	27.1435	106.103	91.449	31.143	68.365
11	3519	İzmir	Karşıyaka-1	38.4525	27.1112	150.089	109.975	34.173	69.225
12	3521	İzmir	Karşıyaka-2	38.4679	27.0764	110.844	93.986	40.312	69.581
13	3522	İzmir	Bornova-1	38.4357	27.1987	73.721	63.941	24.647	71.182
14	3513	İzmir	Bayraklı-1	38.4584	27.1671	106.281	94.667	44.186	72.002
15	3514	İzmir	Bayraklı-2	38.4762	27.1581	39.421	56.024	25.148	73.388
16	3520	İzmir	Bornova-2	38.4780	27.2111	36.112	58.549	19.367	75.777

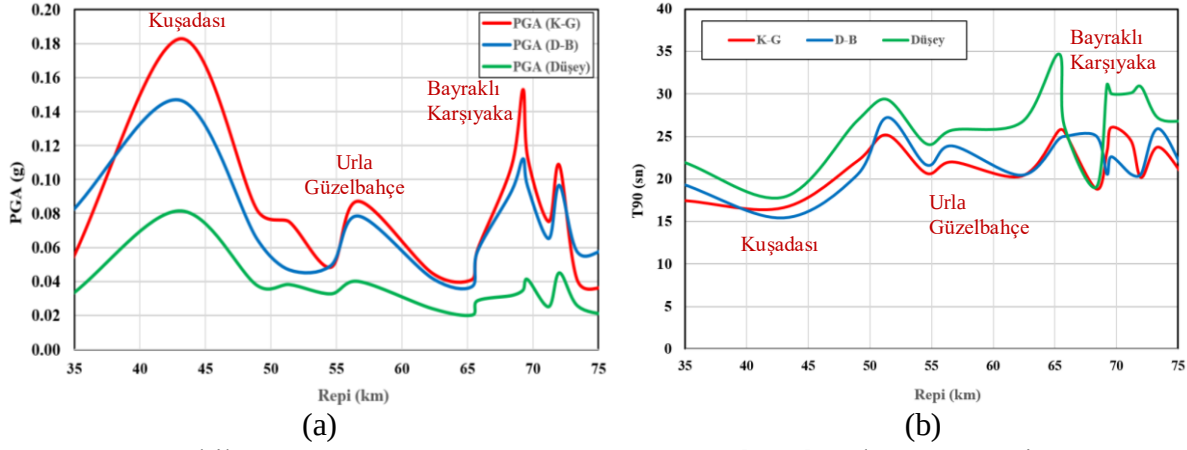


Şekil 2.9 – Kuvvetli yer hareketi ölçüm istasyonlarının konumları

2.5. Arias ve Housner Şiddetleri ile Spektrum İvme Değerleri

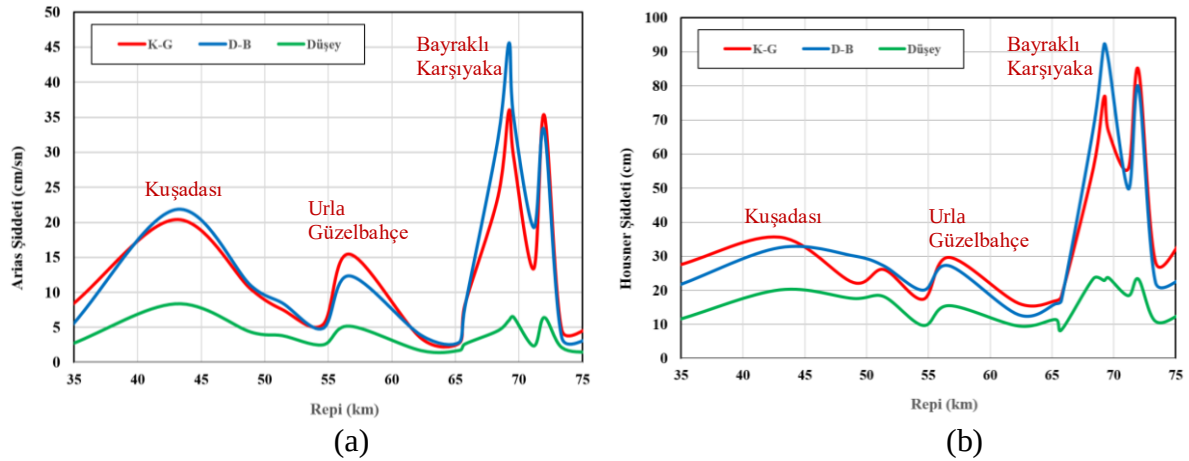
Şekil 2.10-a’da depremin yatay ve düşey yönlerde ürettiği en büyük yer ivmesi değerlerinin (PGA) değişimi en yakın istasyondan (Seferihisar, istasyon numarası 3536) en uzak olanına (Bornova-2, istasyon numarası 3520) göre verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere dağılım özellikle üç noktada sıçrama yapmaktadır. Bunlar sırası ile depremin merkez üssünden yaklaşık 40 km mesafedeki Kuşadası istasyonu (istasyon numarası 0905), 55 km mesafedeki

Urla ve Güzelbahçe istasyonları (istasyon numaraları 3523 ve 3516) ile yaklaşık 70 km mesafedeki İzmir körfez alanı içerisindeki Bayraklı-1 ve Karşıyaka-1 istasyonlarıdır (istasyon numaraları 3513 ve 3519). İvme değerlerindeki bu sıçramada yerel zemin şartlarının etkili rol oynadığı düşünülmektedir. Özellikle Bayraklı bölgesinde kaydedilen en büyük yer ivme değerindeki artışın, depremden hemen sonra 11 betonarme binanın çökmesine ve aynı bölgede birçok binanın ağır hasar almasına neden olan faktörlerden biri olduğu söylenebilir. Şekil 2.10-b depremin incelenen istasyonlarda kaydedilen etkili süresindeki değişimi göstermektedir. Bu bilgilere göre, depremin yatay yöndeki bileşenlerinin etkin süresinin yaklaşık 16 saniyeden, İzmir Körfez bölgesindeki yerel zemin koşullarından dolayı 23 saniyeye çıktığı görülmüştür.



Şekil 2.10 – Ege Denizi Depremi: (a) PGA, (b) Etkin deprem süresi

Depremden dolayı oluşan Arias ve Housner şiddetleri ise yine ele alınan toplam 16 istasyonda K-G, D-B ve düşey yönleri için Şekil 2.11-a ve b'de çizilmiştir (istasyon bilgileri için bakınız Şekil 2.9). Grafikteki değerler incelendiğinde depremin yine yerel zemin koşulları nedeniyle İzmir Körfezi'nde, özellikle Bayraklı ve Karşıyaka'da çok daha etkili olduğu görülmüştür.

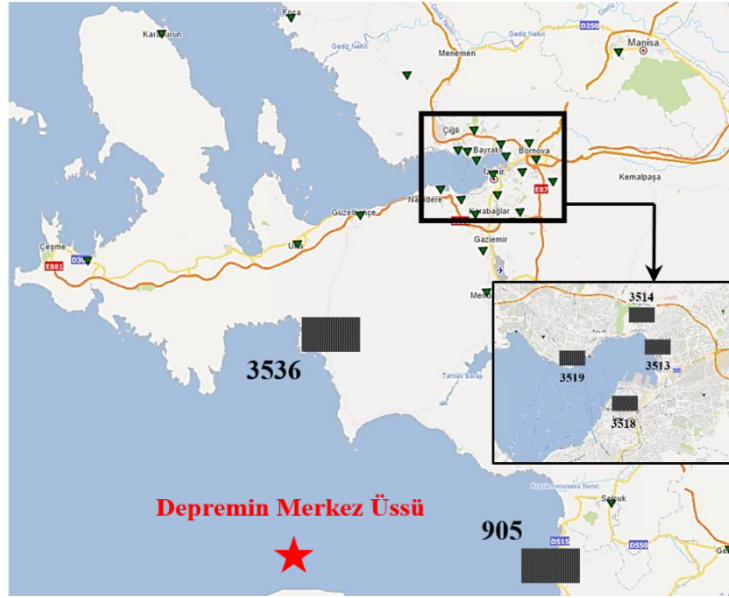


Şekil 2.11 – Ege Denizi Depremi: (a) Arias şiddeti, (b) Housner şiddeti

2.6. Kuvvetli Yer Hareketi

Depremi etki ve karakteristik özelliklerini daha iyi anlayabilmek amacı ile 6 kuvvetli yer hareketi istasyonundan elde edilen değerler daha detaylı olarak incelenmiştir (Şekil 2.12). Bu

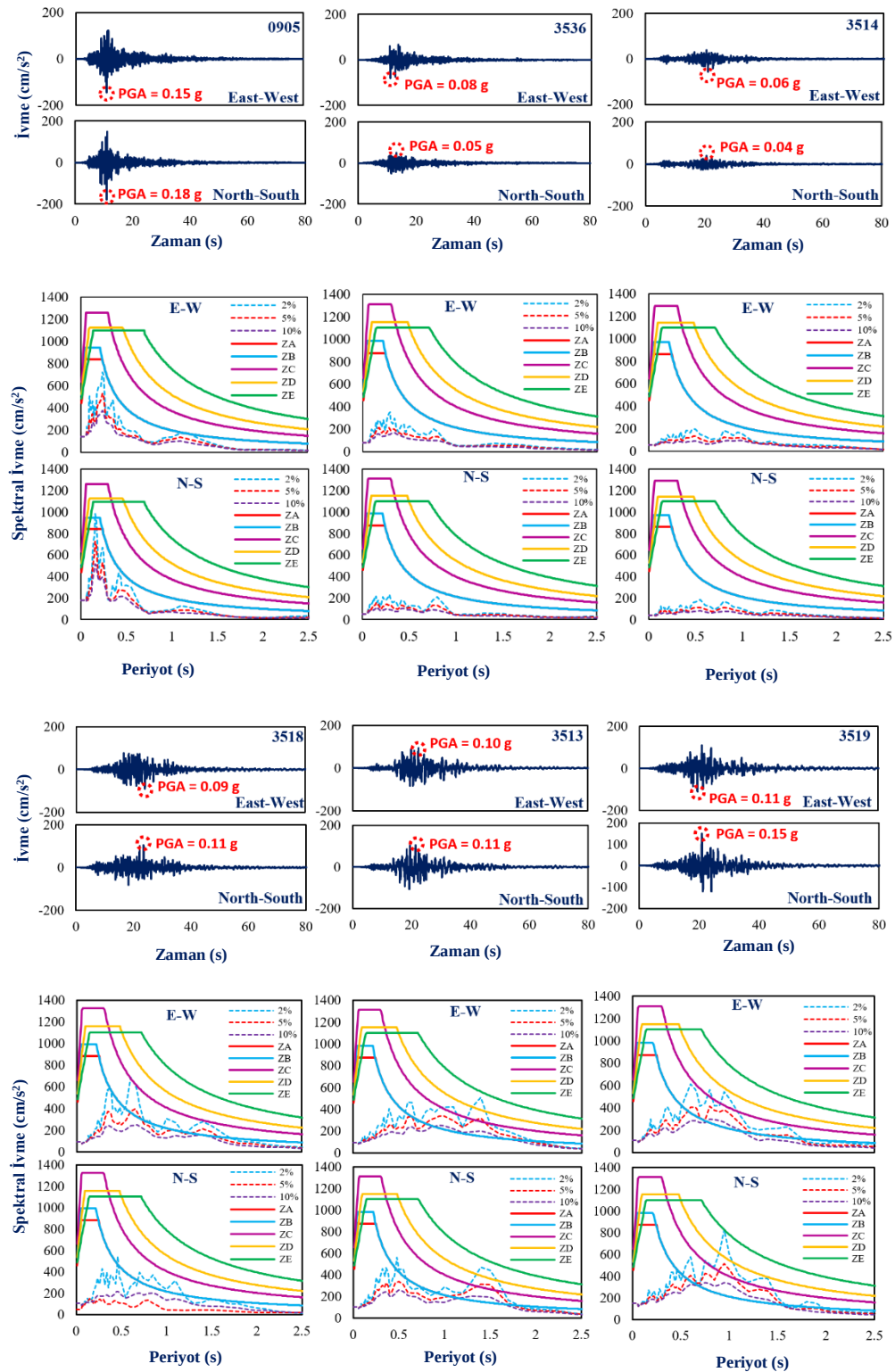
istasyonlar Kuşadası'ndan başlamak üzere (istasyon numarası 0905) depremin en çok hasara yol açtığı Bayraklı-1 istasyonuna (istasyon numarası 3513) kadar uzanan rota üzerinde yer alan sırası ile şu istasyon numaralarını kapsamaktadır: 0905, 3536, 3518, 3513, 3519 ve 3514. Bunların haricinde Bayraklı bölgesinde meydana gelen ciddi yapısal hasarlar nedeni ile bu çalışmada özellikle İzmir körfezini çevreleyen 3513, 3518 ve 3519 numaralı istasyonlarda kaydedilen deprem bilgilerine daha çok önem verilmiştir.



Şekil 2.12 – Seçilen 6 kuvvetli yer istasyonunun konumları

Şekil 2.13 Ege Denizi depreminin toplam 6 istasyonda elde edilen Kuzey-Güney ve Doğu-Batı yönündeki en büyük yer ivme değerlerini (PGA) göstermektedir. Bu ivme değerlerine göre en büyük PGA Kuşadası'nda yer alan 0905 numaralı istasyonda, K-G yönü için 0.18 g ve D-B yönü için 0.15 g olarak ölçülmüştür. Yapısal hasarın en fazla yaşandığı Bayraklı bölgesindeki 3513 numaralı istasyonda ölçülen PGA değerleri ise yine aynı yönler için sırası ile 0.11 g ve 0.10 g'dir.

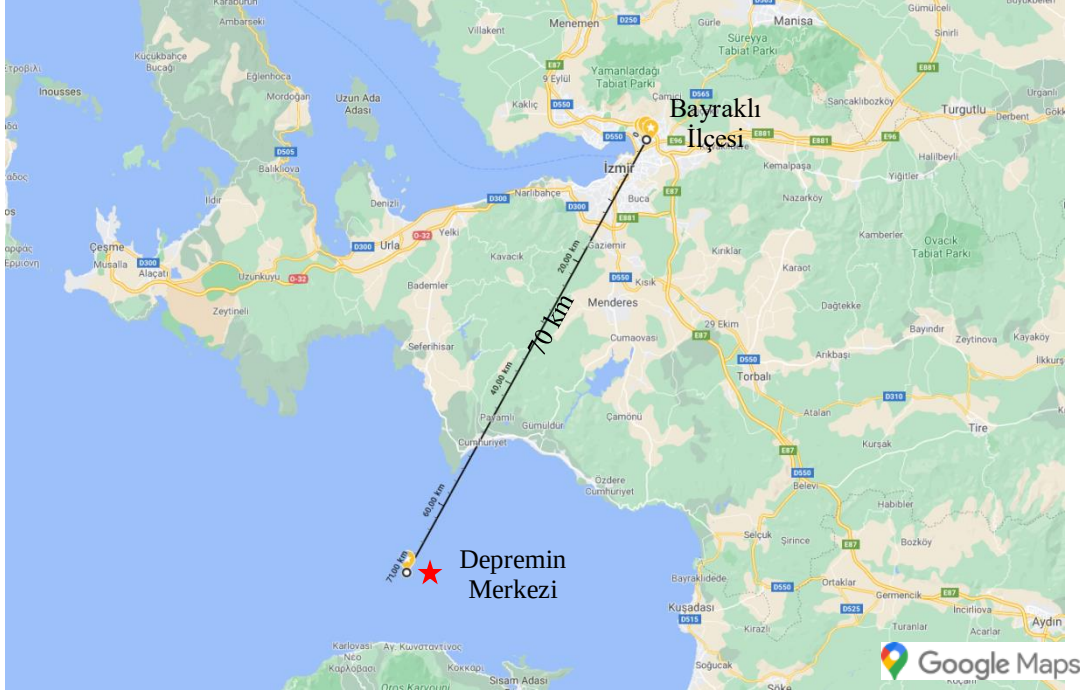
Elde edilen PGA değerleri farklı sönümleme oranlarına göre 2018 yılında yayınlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ndeki (TBDY, 2018) tasarım spektrum ivme değerleri esas alınarak karşılaştırılmıştır (bakınız Şekil 2.13). TBDY (2018) uyarınca ZA'dan ZF'ye sıralanan toplam 6 adet yerel zemin sınıfı bulunmaktadır. ZA sağlam ve sert kaya zemin cinsini tanımlarken ZF ise sahaya özel araştırma ve değerlendirme yapılması gereken türden sivilaşma riskine sahip organik içeriği yüksek kil türü zeminleri tanımlamak için kullanılmaktadır. Bu çalışmada ZF kapsam dışı tutularak toplam 5 adet zemin için tasarım spektrum eğrileri hazırlanmıştır. Elde edilen spektrum eğrilerine göre 3536 ve 3514 numaralı istasyonlardaki en büyük ivme değerleri ele alınan 5 zemin sınıfı için de tasarım diğerlerinden daha düşük çıkmıştır. Ancak 0905, 3518, 3513 ve 3519 numaralı istasyonlardan elde edilen en büyük ivme değerlerinde özellikle 0.2 ila 1.5 saniyelik periyotlarda sıçrama olduğu gözlenmiştir. Bu sıçrama nedeni ile ölçülen ivme değerlerinin tasarım ivme değerlerini ZE sınıfı zemin hariç aştığı görülmüştür. Meydana gelen bu sıçramanın nedeni doğrudan yerel zemin koşulları ile alakalı olup, nispeten daha düşük taşıma kapasitesine sahip zeminlerde zemin büyütme katsayısının ortaya çıkardığı bir ivme artışıdır.



Şekil 2.13 – Seçilen 6 kuvvetli yer hareketi ölçüm istasyonundan elde edilen ivme kayıt değerleri ile spektrum ivme değerlerinin tasarım ivme spektrum değerleri ile karşılaştırılması

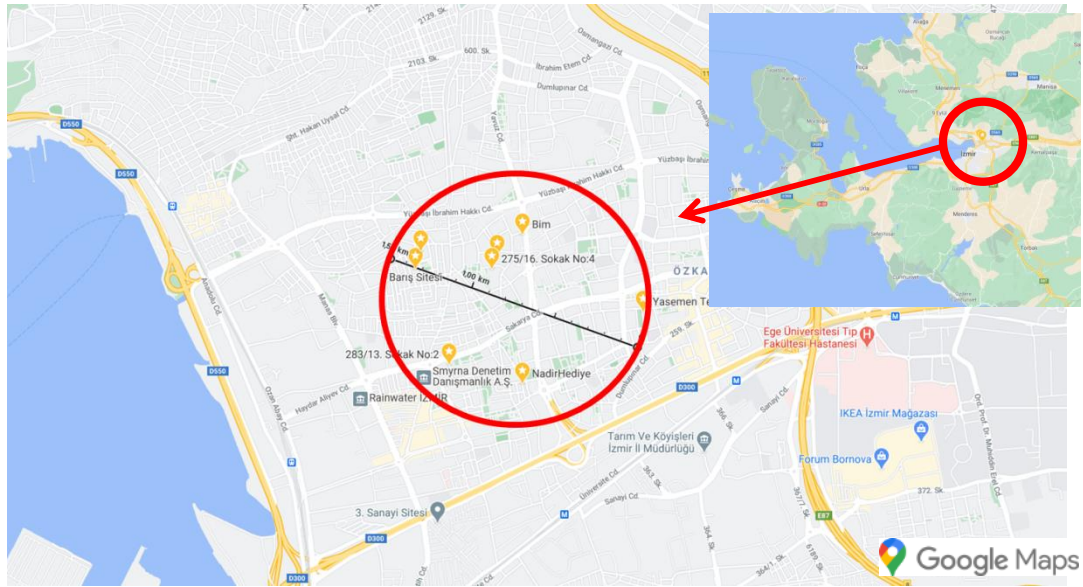
3. BETONARME YAPILARDA GÖZLENEN HASARLAR

Ege Denizi Depremi kapsamında İzmir’de kısmen veya tamamen yıkılmış binalar, depremin merkezinden kuş uçuşu yaklaşık 70 km uzağında yer almaktadır. Depremin odak noktası ile İzmir’de yıkılan binaların bulunduğu Bayraklı İlçesi’nin arasındaki uzaklık Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

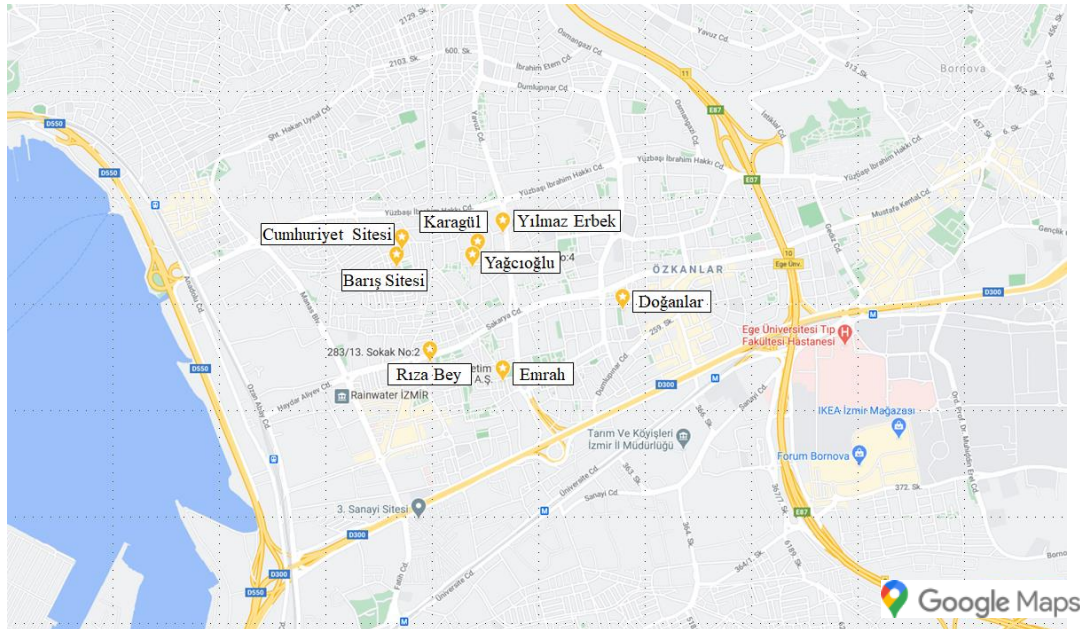


Şekil 3.1 – Yıkılan binaların depremin merkezine uzaklığı

Bayraklı İlçesi’nde bulunan ve depremde kısmen veya tamamen yıkılmış binalar yaklaşık 1.5 km çapında bir dairenin içinde yer almaktadır. Binaların adları ve konumları Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’te gösterilmiştir. Bu binalardan Rıza Bey, Doğanlar, Emrah Apartmanları ile Yağcıoğlu Sitesi’nde bulunan bir blok tamamen yıkılmıştır. Yılmaz Erbek ve Karagül Apartmanları kısmen göçmüştür. Dört bloktan oluşan Barış Sitesi’nin üç bloğu ve üç bloktan oluşan Cumhuriyet Sitesi’nin iki bloğu kısmen çökmüştür. Bu binalara ait ulaşılabilen genel bilgiler Tablo 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.2 – Yıkılan binaların konumları



Şekil 3.3 – Yıkılan binaların adları ve konumları

Tablo 3.1 – Yıkılan binalar hakkında genel bilgiler

Adı	Kat Sayısı	Yapım Başlangıç Yılı	Tamamlanma Yılı	Kullanım Tipi	Yıkım Tipi
Rıza Bey Apartmanı	9	1993	1994	32 daire ve 5 işyeri	Tamamen
Doğanlar Apartmanı	8	1990	1992	21 daire ve 4 işyeri	Tamamen
Emrah Apartmanı	8	1990	1993	28 daire ve 6 işyeri	Tamamen
Yağcıoğlu Sitesi (2 Blok)	8	1993	.*	Her blokta 14 daire ve 4 işyeri	B Blok Tamamen
Yılmaz Erbek Apartmanı	10	1990'ların sonu	.*	2 işyeri	½'si Kısmen
Karagül Apartmanı	8	1990'lar	.*	28 daire	¼'ü Kısmen
Barış Sitesi (4 Blok)	8	1992	.*	.*	3 Blok Kısmen
Cumhuriyet Sitesi (3 Blok)	8	1990'lar	.*	.*	2 Blok Kısmen

* Bu bilgiye ulaşılammıştır.

3.1. YIKILMIŞ YAPILAR

3.1.1. Rıza Bey Apartmanı

Dokuz katlı Rıza Bey Apartmanı deprem sırasında, katların birbirinin üzerine düşmesi suretiyle, sandviç şeklinde tamamen yıkılmıştır. Bu bina 1993 yılında yapımına başlanmış olup, toplamda konut olarak kullanılan 32 daire ile giriş katında bulunan 5 adet işyerinden oluşmaktadır. Binanın yıkılış videolarından edinilen izlenime göre, binanın yıkılması giriş kattaki kolonların göçmesi ile başlamış ve diğer katların sırasıyla bir kat aşağıya inmesi ve göçmesi ile devam etmiştir. Binanın deprem öncesindeki görünümü ve bina enkazında çekilen fotoğraflar Şekil 3.4 ila Şekil 3.9 arasında gösterilmiştir.



Şekil 3.4 – Rıza Bey Apartmanı'nın yıkılmadan önceki görünümü (Google Maps, 2020)



Şekil 3.5 – Rıza Bey Apartmanı'nın enkazı (ön görünüm)



Şekil 3.6 – Rıza Bey Apartmanı'nın enkazı (çapraz görünüm)



Şekil 3.7 – Rıza Bey Apartmanı'nın enkazı (yan görünüm)



Şekil 3.8 – Rıza Bey Apartmanı'nın enkazı (çapraz görünüm)



Şekil 3.9 – Rıza Bey Apartmanı'nın enkazı (çapraz görünüm - gündüz)

Enkaz kaldırma çalışmaları sırasında Rıza Bey Apartmanı'ndan çıkarılan yapısal elemanlardaki betonun durumu ve donatılar detaylı olarak incelenmiştir. Bu incelemede, kolon ve kiriş gibi yapısal elemanlarda boyuna donatı olarak nervürlü, etriye olarak düz çelik donatı kullanıldığı görülmüştür. Betonun içindeki iri agregaların çok büyük ve yuvarlak yüzeylere sahip oldukları gözlenmiştir. Kolonlarda ve kirişlerde bulunan etriye sonlarının (uçların) 90° bükülerek bırakıldığı ve etriye sonlarının çekirdek betona saplanmadığı belirlenmiştir. Ayrıca kolon ve kiriş sonlarındaki etriye sıklaştırılmasının yapılmadığı ve bu bölgelerin sarılmadan bırakıldığı görülmüştür. Rıza Bey Apartmanı enkazından çıkarılan yapısal elemanların fotoğrafları Şekil 3.10'da ve Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



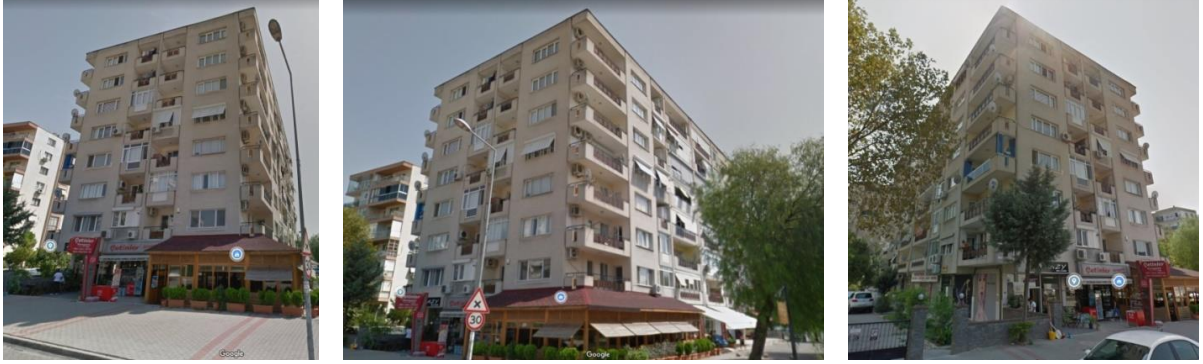
Şekil 3.10 – Rıza Bey Apartmanı'ndaki bazı elemanların beton ve donatı detayları



Şekil 3.11 – Rıza Bey Apartmanı'nda hasar görmüş bir kolon

3.1.2. Doğanlar Apartmanı

Doğanlar Apartmanı 1990 yılında yapımına başlanan sekiz katlı bir yapı olup giriş katında 4 adet işyeri ve kalan yedi katında ise toplamda 21 adet konut amaçlı daire bulunmaktadır. Bu yapı depremden sonraki bir dakika içinde tamamen yıkılmıştır. Binanın arka tarafı başka bir apartmanla bitişik olup, yıkılma anında bitişik olduğu binadan ayrılmış ve tam ters yöne doğru uzaklaşarak katları birbirinin üzerine yıkılmıştır. Bina deprem öncesindeki görünümü ve bina enkazında çekilen fotoğraflar Şekil 3.12 ila Şekil 3.16 arasında gösterilmiştir.



Şekil 3.12 – Doğanlar Apartmanı'nın yıkılmadan önceki görünümü (Google Maps, 2020)



Şekil 3.13 – Doğanlar Apartmanı'nın enkazı (çapraz görünüm)



Şekil 3.14 – Doğanlar Apartmanı'nın enkazı (yan görünüm)



Şekil 3.15 – Doğanlar Apartmanı'nın enkazı (çapraz görünüm)



Şekil 3.16 – Doğanlar Apartmanı’nın enkazı (yan görünüm)

Doğanlar Apartmanı enkazından çıkarılan yapısal elemanlar incelendiğinde beton kalitesinin çok iyi olmadığı gözlenmiştir. İmalat sırasında nervürlü boyuna donatı ve düz etriyelerin kullanıldığı belirlenmiştir. Bu binanın yapısal elemanlarında da etriyeler 90° bükülmüş ve çekirdek betona saplanmamıştır. Kolon ve kiriş sonlarında ise etriye sıklaştırılması yapılmadığı belirlenmiştir. Doğanlar Apartmanı’nın enkazından çıkarılan yapısal elemanların fotoğrafları Şekil 3.17 ve Şekil 3.18’de gösterilmiştir.



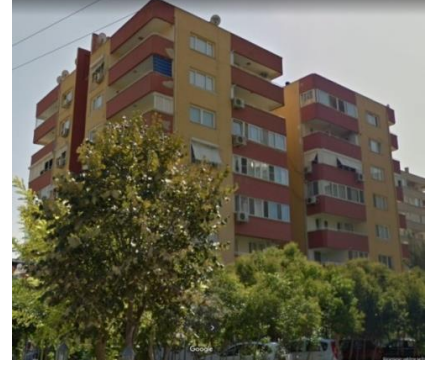
Şekil 3.17 – Doğanlar Apartmanı’nın enkazındaki bazı yapısal elemanların donatı detayları



Şekil 3.18 – Doğanlar Apartmanı’nın bir kolonu

3.1.3. Emrah Apartmanı

Deprem anında tamamen yıkılan bir başka bina ise sekiz katlı Emrah Apartmanı'dır. Binanın inşaatına 1990 yılında başlanmıştır. Bina 28 adet konut amaçlı daire ve giriş katındaki 6 adet dükkandan oluşmaktadır. Binanın deprem öncesindeki görünümü ve bina enkazından çekilen fotoğrafları Şekil 3.19 ila Şekil 3.22 arasında gösterilmiştir.



Şekil 3.19 – Emrah Apartmanı'nın yıkılmadan önceki görünümü (Google Maps, 2020)



Şekil 3.20 – Emrah Apartmanı'nın enkazı (çapraz görünüm)



Şekil 3.21 – Emrah Apartmanı'nın enkazı (çapraz görünüm)



Şekil 3.22 – Emrah Apartmanı'nın enkazı (yan görünüm)

Emrah Apartmanı'nın enkaz kaldırma çalışmaları bittikten sonra incelenen yapısal elemanların beton kalitesinin iyi olmadığı ve çok büyük çaplı dairesel iri agregalar kullanıldığı gözlenmiştir. Bu elemanlarda kullanılan bütün boyuna ve enine donatılar nervürlüdür. Kolon ve kirişlerde buluna etriyelerin sonları bu yapıda da sadece 90° bükülmüştür. Diğer binalardakine benzer şekilde kolon uçlarında ve kiriş sonlarında herhangi bir etriye sıkıştırılması yapılmadığı gözlenmiştir. Emrah Apartmanı'nın enkazından çıkarılan yapısal elemanların fotoğrafları Şekil 3.23'te ve Şekil 3.24'te gösterilmiştir.



Şekil 3.23 – Emrah Apartmanı'ndaki bazı yapısal elemanların donatı detayları



Şekil 3.24 – Emrah Apartmanı'nındaki hasarlı yapısal elemanları

3.1.4. Yağcıoğlu Sitesi

Birbirine benzer iki bloktan oluşan Yağcıoğlu Sitesi'nin B Bloğu, deprem esnasında tamamen yıkılmıştır. Diğer blok ağır hasar alsa da deprem sonrasında ayakta kalmıştır. Her iki blok da sekiz kattan, giriş katındaki 4 dükkandan ve diğer katlardaki konut olarak kullanılan 14 daireden oluşmakta olup, 1993 senesinde inşa edilmeye başlanmıştır. Yağcıoğlu Sitesi'nin deprem öncesindeki görünümü ve B Blok'un enkazında çekilen fotoğraflar Şekil 3.25 ila Şekil 3.30 arasında gösterilmiştir.



Şekil 3.25 – Yağcıoğlu Sitesi B Blok'un yıkılmadan önceki görünümü (Google Maps, 2020)



Şekil 3.26 – Yağcıoğlu Sitesi B Blok'un enkazı (çapraz görünüm)



Şekil 3.27 – Yağcıoğlu Sitesi B Blok'un enkazı (yan görünüm)



Şekil 3.28 – Yağcıoğlu Sitesi B Blok'un enkazı (çapraz görünüm)



Şekil 3.29 – Yağcıoğlu Sitesi B Blok'un enkazı (arka görünüm)



Şekil 3.30 – Yağcıoğlu Sitesi B Blok'un enkazı (çapraz görünüm)

Yağcıoğlu Sitesi B Bloğunun yapısal elemanlarının enkaz kaldırma çalışmaları sonrasında incelenmesinde, beton kalitesinin iyi olmadığı gözlenmiştir. Nervürlü boyuna donatı ile düz etriyelerin kullanıldığı ve etriyelerin sonlarının 90° büküldüğü görülmüştür. Kolon ve giriş sonlarında etriye sıklaştırması yapılmadığı tespit edilmiştir. Yıkılan binadan çıkarılan yapısal elemanların fotoğrafları Şekil 3.31'de gösterilmiştir.



Şekil 3.31 – Yağcıoğlu Sitesi B Blok'taki bazı yapısal elemanlarındaki donatı detayları

3.1.5. Yılmaz Erbek Apartmanı

Yılmaz Erbek Apartmanı bitişik olarak inşa edilmiş on katlı iki bloktan oluşmaktadır. Bu iki blok 1990'lı yılların sonlarına doğru yapılmıştır. Bloklarda giriş katı dükkanlardan ve kalan katlar da konut olarak kullanılan dairelerden oluşmaktadır. Apartmanın kuzey bloğunun ilk iki katı göçmüş ve bu blok diğer bloktan ayrılarak iki kat aşağıya doğru kısmen göçmüştür. Söz konusu blok kuzey doğuya doğru yatmıştır. Arama-kurtarma çalışmaları sırasında yıkılmaması için üç adet vinç ile desteklenen binanın deprem öncesindeki görünümü ve bina enkazında çekilen fotoğraflar Şekil 3.32 ila Şekil 3.35 arasında gösterilmiştir. Arama-kurtarma çalışmalarının ilk bölümünün ardından bina ilk iki kata kadar yıkılmış ve arama çalışmalarına göçen ilk iki katta devam edilmiştir. Binanın yıkımı ile ilgili fotoğraf Şekil 3.36'da gösterilmiştir.



Şekil 3.32 – Yılmaz Erbek Apartmanı'nın yıkılmadan önceki görünümü (Google Maps, 2020)



Şekil 3.33 – Yılmaz Erbek Apartmanı'nın enkazı (ön görünüm)



Şekil 3.34 – Yılmaz Erbek Apartmanı Kuzey Blok'un enkazı (ön görünüm)



Şekil 3.35 – Yılmaz Erbek Apartmanı Kuzey Blok'un enkazı (yan görünüm)



Şekil 3.36 – Yılmaz Erbek Apartmanı Kuzey Blok'un yıkımı

Yılmaz Erbek Apartmanı Kuzey Blok'un enkaz kaldırma çalışmaları kapsamında çıkarılan yapısal elemanlar değerlendirildiğinde, hem boyuna hem de enine donatıların nervürlü olduğu belirlenmiştir. Beton kalitesinin, bundan önce bahsedilen binalardan biraz daha iyi olduğu gözlenmiştir. Bunun yanı sıra, bu yapıda da etriye sonları sadece 90° bükülmüş ve çekirdek betona saplanmamıştır. Kolon ve kiriş sonlarında herhangi bir etriye sıklaştırılmasına da rastlanmamıştır. Yılmaz Erbek Apartmanı Kuzey Blok'unun enkazından çıkarılan yapısal elemanların fotoğrafları Şekil 3.37 ve Şekil 3.38'de gösterilmiştir.



Şekil 3.37 – Yılmaz Erbek Apartmanı Kuzey Blok'ta yer alan bazı yapısal elemanlarındaki donatı detayları



Şekil 3.38 – Yılmaz Erbek Apartmanı Kuzey Blok'una ait bir kolonu

3.1.6. Karagül Apartmanı

1990'lı yılların başında inşa edilen 8 katlı Karagül Apartmanı, toplamda 28 adet konut olarak kullanılan daireden ve giriş katındaki işyerlerinden oluşmakta olup, konut olarak kullanılan katlarda 4 adet daire bulunmaktadır. Depremın bitiminden sonraki birkaç dakika içinde, bu yapının bir köşesi (katta bulunan dört daireden biri) tüm yapı yüksekliği boyunca kısmen yıkılmıştır. Binanın deprem öncesindeki görünümü ve bina enkazında çekilen fotoğraflar Şekil 3.39'da ve Şekil 3.40'ta gösterilmiştir.



Şekil 3.39 – Karagül Apartmanı'nın yıkılmadan önceki görünümü (Google Maps, 2020)



Şekil 3.40 – Karagül Apartmanı enkazı

Karagöl Apartmanı enkazında bulunan yapısal elemanlar incelendiğinde beton kalitesinin iyi olmadığı ve hem boyuna hem de enine donatı olarak düz çelik kullanıldığı belirlenmiştir. Diğer binalarda olduğu gibi, etriyeler 90° bükülmüş ve kolonlarla kirişlerin sonlarında etriye sıklaştırılması uygulanmamıştır. Karagöl Apartmanı'nın enkazından çıkarılan yapısal elemanların fotoğrafları Şekil 3.41'de gösterilmiştir.



Şekil 3.41 – Karagöl Apartmanı enkazı ve çeşitli donatı detayları

3.1.7. Barış Sitesi

1990'lı yılların başında yapılan Barış Sitesi sekiz katlı 4 bloktan oluşmaktadır. Depremi ardından 3 blok kısmen yıkılmış kalan bir blok ise ağır hasar alarak depremi atlattır. Kısmen yıkılan bloklardan ikisinin ilk üç katı diğerinin ise ilk dört katı göçmüştür. Yıkılan yapılar göçen katları oranında aşağıya doğru çökmüş ve farklı yönlerde eğilmiştir. Bazı eğik binaların arama-kurtarma çalışmaları sırasında yıkılmamaları için ekskavatörlerle desteklendiği görülmüştür. Barış Sitesi'nin deprem öncesindeki görünümü ve binaların enkazlarında çekilen fotoğraflar Şekil 3.42 ila Şekil 3.48 arasında gösterilmiştir. Barış Sitesi'ndeki arama kurtarma çalışmalarının diğer yıkılan binalardakine göre daha uzun sürmesi ve teknik ekibimizin bu süreç tamamlanmadan İzmir'den ayrılması nedeniyle, beton kalitesi ve donatı kalite ve detaylandırılması konusunda herhangi bir inceleme yapılamamıştır.



Şekil 3.42 – Barış Sitesi'nin yıkılmadan önceki görünümü (Google Maps, 2020)



Şekil 3.43 – Barış Sitesi enkazı (uçangöz görünümü)



Şekil 3.44 – Barış Sitesi enkazı (ön görünüm)



Şekil 3.45 – Barış Sitesi enkazı (ön görünüm)



Şekil 3.46 – Barış Sitesi enkazı (çapraz görünüm)



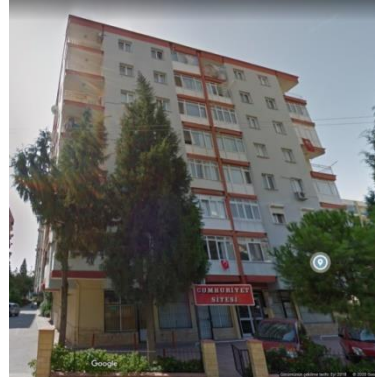
Şekil 3.47 – Barış Sitesi enkazı (yan görünüm)



Şekil 3.48 – Barış Sitesi enkazı (arka görünüm)

3.1.8. Cumhuriyet Sitesi

1990'lı yılların başında inşa edilen Cumhuriyet Sitesi, Barış Sitesi'nin hemen yanında bulunmakta olup, sekiz katlı üç bloktan oluşmaktadır. Deprem sırasında bir bloğun ilk iki katı, diğer bir bloğun ise sadece birinci katı kısmen göçmüştür. Kalan katlar çöken kat nispetinde aşağıya inmiş ve binalar yana doğru eğilmiştir. Yıkılmayan bir blok ise ağır hasar almıştır. Cumhuriyet Sitesi'nin deprem öncesindeki görünümü ve binaların enkazlarında çekilen fotoğraflar Şekil 3.49 ila Şekil 3.51 arasında gösterilmiştir. Cumhuriyet Sitesi'ndeki arama kurtarma çalışmalarının diğer yıkılan binalardakine göre daha uzun sürmesi ve teknik ekibimizin bu süreç tamamlanmadan İzmir'den ayrılması nedeniyle, beton kalitesi ve donatı kalite ve detaylandırılması konusunda herhangi bir inceleme yapılamamıştır.



Şekil 3.49 – Cumhuriyet Sitesi'nin yıkılmadan önceki görünümü (Google Maps, 2020)



Şekil 3.50 – Cumhuriyet Sitesi enkazı



Şekil 3.51 – Cumhuriyet Sitesi enkazı

3.2. AĞIR HASARLI YAPILARA AİT GÖZLEMLER

Depremde ağır hasar almış yapılar Bayraklı Bölgesi'nde yoğunlaşmakla birlikte tüm İzmir'de bulunmaktadır. Yapısal ve yapısal olmayan elemanlar üzerindeki tipik çapraz çatlaklar birçok binada gözlenmiştir (Şekil 3.52). Bazı binaların kolonları Şekil 3.53'te gösterildiği gibi ağır hasara maruz kalmıştır. Sırt sırta inşa edilen bazı binalar da, deprem sırasında farklı yönlerde hareket ettikleri için, birbirine çarparak (çekiçleme etkisi) birbirinden ayrılmıştır. Bu tip hasara örnek olarak Şekil 3.54'teki yapı gösterilebilir.



Şekil 3.52 – Yapısal ve yapısal olmayan elemanlar üzerindeki çapraz çatlaklar



Şekil 3.53 – Ağır kolon hasarları



Şekil 3.54 – Ayrılan ve yana yatan binalar

3.3. TÜRKİYE’DEKİ DEPREM YÖNETMELİKLERİNİN GELİŞİMİ

Türkiye’deki ilk deprem yönetmeliği, 26 Aralık 1939’da gerçekleşen $M_s=7.9$ büyüklüğündeki Erzincan Depremi’nden sonra, 1940 yılında çıkarılmıştır (AFAD, 2020c). Zamanının İtalyan Yönetmeliği’nden Türkçe’ye çevrilerek Türkiye’ye uyarlanan bu yönetmelik, geçen yıllar süresince 9 defa yenilenmiştir. Ege Denizi Depremi’nde yıkılan ve ağır hasar almış binalarla ilgili olarak, bu raporda son dört yönetmelik (1975, 1998, 2007 ve 2018) ile ilgili detaylı değerlendirmeler yapılacaktır. Türkiye’deki deprem yönetmeliklerinin yıllara göre gelişimi Tablo 3.2’te gösterilmiştir.

Tablo 3.2 – Türkiye’deki deprem yönetmeliklerinin yıllara göre gelişimi

Yılı	Deprem Yönetmeliğinin İsmi
1940	Zelzele Mıntıklarında Yapılacak İnşaata Ait İtalyan Yapı Talimatnamesi (ZMYİİYT, 1940)
1944	Zelzele Mıntıkları Muvakkat Yapı Talimatnamesi (ZMMYT, 1944)
1949	Türkiye Yersarsıntısı Bölgeleri Yapı Yönetmeliği (TYBY, 1949)
1953	Yersarsıntısı Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (YBYHY, 1953)
1962	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYHY, 1962)
1968	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYHY, 1968)
1975	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYHY, 1975)
1998	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYHY, 1998)
2007	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBH, 2007)
2018	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018)

Bu depremde tamamen veya kısmen yıkılmış yapıların tümü 1990’lı yıllarda inşa edilmiştir. Söz konusu binaların tasarımlarının da o dönem yürürlükte olan ABYHY (1975)’e göre yapılmış olması gerekmektedir. ABYHY (1975) zamanının ilerisinde bir yönetmelik olarak değerlendirilebilir. Bu yönetmelikte deprem katsayısı tanımlanmış olup, binanın sismik ağırlığı ile deprem katsayısı çarpılarak binaya etki eden toplam deprem yükü hesaplanmaktadır. Bu katsayı hesaplanırken dört farklı deprem bölgesi, 2 farklı yapı önem katsayısı, 12 farklı zemin cinsi, yapı doğal periyodu, 4 farklı tasarım ivme spektrumu, iki farklı süneklik düzeyi, vb. parametreler kullanılmaktadır. Bu yönetmeliğe göre konut tipi yapılar için hesaplanan taban kesme kuvveti, binanın sismik ağırlığının yaklaşık olarak %8’i ile %15’i arasında hesaplanmaktadır. Taban kesme kuvveti ise statik eşdeğer toplam yatay yük yöntemi ile katlara dağıtılmaktadır. Yönetmelikte konut tipi yapılarda kullanılan beton basınç dayanımı için asgari bir değer tanımlanmasa da, yapı önem katsayısı 1’in üzerinde olan ve 1. ve 2. deprem bölgelerinde bulunan yapılar için asgari beton basınç dayanımı olarak 22.5 MPa belirlenmiştir. Çelik donatı için donatı tipi (düz veya nervürlü) veya asgari akma dayanımı konularında herhangi bir koşul tanımlanmamıştır. En yüksek yük etkilerinin kolon ve kiriş sonlarında olduğu bu yönetmelik hazırlanırken bilinmekteydi. Bu nedenle, kiriş ve kolon sonlarında etriye sıklaştırılması yapılarak sarılma bölgelerinin oluşması ve etriye sonlarının 135° bükülerek çekirdek betona saplanması gibi konularla ilgili koşullar bu yönetmelikte yer almaktadır. Bunlara ek olarak kısa kolonlarla ilgili koşullar da mevcuttur.

Betonarme yapıların tasarımı konusunda güçlü kiriş daha güçlü kolon koşulu yönetmeliklere ilk olarak ABYHY (1998) ile girmiştir. Sonraki yıllarda çıkarılan yönetmeliklerde de bu koşulun sağlanması istenilmiştir. Bu koşula göre, bir kolon-kiriş birleşim bölgesinde aynı düzlemde yer alan kolonların moment kapasitelerinin toplamı, yine aynı düzlemde yer alan kirişlerin moment kapasitelerinin toplamından daha yüksek (asgari %20 daha yüksek) olması gerekmektedir. Bu durum göze alınarak tasarlanan bir birleşim bölgesinde hasar (plastik mafsallaşma) her zaman kirişlerin üzerinde (kolonlar daha güçlü olduğu için) oluşacaktır.

ABYYHY (1975)'te bulunan kolon ve kiriş sonlarındaki etriye sıklaştırması ve etriyelerin uçlarının 135° bükülmesi gibi koşullar ABYYHY (1998), DBYBHY (2007) ve TBDY (2018)'de daha da detaylı olarak açıklanmıştır. Son üç yönetmeliğe göre, mesken olarak kullanılan binalar için hesaplanan taban kesme kuvveti binanın sismik ağırlığının yaklaşık olarak %12.5'i ile %25'i arasında bulunmaktadır. Türkiye'deki son dört deprem yönetmeliğinin karşılaştırılması Tablo 3.3'te gösterilmiştir.

Tablo 3.3 – Son dört deprem yönetmeliğinin karşılaştırılması

Tanım	Deprem Yönetmeliği Tarihi			
	1975	1998	2007	2018
Asgari Beton Basınç Dayanımı (MPa)	Sınır Yok*-22.5**	16*-20***	20*	25*
Asgari Çelik Akma Dayanımı (MPa)	Tanımlanmamış	Tanımlanmamış	Tanımlanmamış	420 veya daha yüksek
İzin Verilen Donatı Tipi	Düz	Düz/Nervürlü	Nervürlü	Sadece Nervürlü
135° Bükülmüş Etriye	Var	Var	Var	Var
Kiriş Sonlarındaki Sarılma Bölgeleri	Var	Var	Var	Var
Kolon Sonlarındaki Sarılma Bölgeleri	Var	Var	Var	Var
Güçlü Kiriş, Daha Güçlü Kolon	Yok	Var	Var	Var
Kısa Kolonla İlgili Koşullar	Var	Var	Var	Var

* Deprem bölgelerindeki tüm binalar için

** Birinci ve ikinci deprem bölgelerinde yapılan ve bina önem katsayısı 1'den büyük olan yapılar için

*** Birinci ve ikinci deprem bölgelerinde yapılan ve bina önem katsayısı 1'den büyük olan veya sünek davranan yapılar için

3.4. BETONARME BİNALARDAKİ SORUNLAR

Bayraklı İlçesi'nde karşılaşılan bu düzeydeki bir yıkım ve ağır hasarın nedeni olarak, söz konusu betonarme binaların çoğunun o dönem yürürlükte olan ve yukarıda özetlenen standartların belirlediği kurallara uygun tasarım ve inşaatının yapılmaması gösterilebilir. Teknik ekibin gözlemleri ve değerlendirmeleri sonucunda, aşağıdaki sorunlar bu yıkımların ve ağır hasarların esas nedenleri olarak belirlenmiştir:

- Malzeme ile ilgili sorunlar
- Donatı detaylandırması ile ilgili sorunlar
- Alt kat kolonlarının göçmesi ile ilgili sorunlar
- Kısa kolon oluşumu ile ilgili sorunlar
- Tasarım, imalat ve kullanım aşamasındaki denetim eksikliği

Bu depremde yıkılan veya ağır hasar alan yapıların birçoğu için “Bayraklı Belediyesi Deprem Etüt Merkezi ve Yapı Laboratuvarı” tarafından “Bina Deprem Riski Değerlendirme Raporu” (BDRDR) (Bayraklı Belediyesi, 2020 ve AA, 2020b) hazırlandığı belirlenmiştir. Bu raporların tamamı bu deprem olmadan önce hazırlanmış olup, bazıları 2012 yılındaki değerlendirmelere dayanmaktadır. Bu bölümdeki değerlendirmelerde, bu raporlardan (BDRDR) (Bayraklı Belediyesi, 2020 ve AA, 2020b) elde edilen bilgiler de kullanılmıştır.

3.4.1. Malzeme ile İlgili Sorunlar

3.4.1.1. Beton

ABYYHY (1975)'de “Önem katsayısı 1'den büyük olan tüm yapılarda, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde B225'den (22.5 MPa) düşük nitelikte beton kullanılamaz.” ifadesi yer almaktadır. Ancak Bayraklı İlçesi'nde tamamen veya kısmen yıkılan binalar mesken amaçlı kullanıldığı için, bu binalar için yapıldıkları dönemde asgari beton basınç

dayanımı belirlenmemiştir. Yani bu binalar herhangi bir basınç dayanımına sahip bir beton kullanılarak yapımı mümkündür. Ancak hesaplamalarda ve tasarımda kullanılan beton basınç dayanımının imalatda da kullanılması gerekmektedir.

Son deprem yönetmeliği olan TBDY (2018)'de, “7.2.5.1 – Bu Yönetmelik kapsamında yapılacak tüm betonarme binalarda C25’ten daha düşük dayanımlı beton kullanılamaz.” denilmektedir. Yani Bayraklı İlçesi’nde tamamen veya kısmen yıkılan binaların bugün yapılması durumunda, kullanılan betonun basınç dayanımı asgari 25 MPa olması gerekmektedir.

Yıkılan binaların yapısal elemanlarında yapılan incelemeler sonucu beton kalitesinin iyi olmadığı gözlenmiştir. Kullanılan agregaların daha çok yuvarlak yüzeyli ve bazılarının 30 ila 50 mm çapında olduğu belirlenmiştir. Farklı binalara ait tipik beton örnekleri Şekil 3.55’te gösterilmiştir.



Şekil 3.55 – Yıkılan bazı binalarda gözlenen beton kalitesi

Yıkılan veya ağır hasar almış bazı binalar için hazırlanan BDRDR’ye (Bayraklı Belediyesi, 2020 ve AA, 2020b) göre bu binalarda beton basınç dayanımı 10 MPa ila 17 MPa arasında değişmektedir. Bu bilgilerin bulunduğu bazı raporların ilgili kısımlarına ait örnekler Şekil 3.56’da gösterilmiştir.

Beton sınıfı C15-C17 arasındaki seviyelerde olduğu, ultrasonik ölçümle ve yüzey sertliği testine bakılarak tahmin edilmektedir.

edilmedi. Beton sınıfı C10-C15 seviyesinde olduğu, ultrasonik ölçümle ve yüzey sertliği testine bakılarak tahmin edilmektedir. Beton yoğunluğunda sapmalar olduğu gözlemlendi.

Şekil 3.56 – Beton basınç dayanımı ile ilgili BDRDR (Bayraklı Belediyesi, 2020 ve AA, 2020b) bölümleri

3.4.1.2. Çelik Donatı

ABYYHY (1975)'de betonarme binalarda kullanılan çelik donatılar hakkında herhangi bir koşul bulunmamaktadır. 1990'lı yıllardan önce ve 1990'ların başında 220 MPa akma dayanımına sahip düz çelik çubuklar hem boyuna hem de enine donatı olarak kullanıldığı bilinmektedir. 1990'ların ortalarına doğru nervürlü çelik çubukların boyuna donatı olarak kullanımı yaygınlaşmaya başladı. 1990'lı yılların ortalarından sonra da nervürlü çelik çubukların hem boyuna hem de enine donatı olarak kullanımı yaygınlaştı. Nervürlü donatılar betona düz donatılardan daha iyi bağlanarak, beton ve çelik çubukların beraberce hareket etmesine imkan vermektedir. Bu da nervürlü çelik donatıların betondan sıyrılmasını çok daha zorlaştırarak istenen davranışın oluşmasına imkan sunmaktadır. Yıkılan bazı binaların enkazından çıkarılan yapısal elemanlardaki donatı tipleri Şekil 3.57'de gösterilmiştir. Bu şekle göre, 1990'lı yılların başında yapılan Emrah Apartmanı'nda nervürsüz çelik çubuklar hem boyuna donatı hem de etriye olarak kullanılmıştır. 1990'lı yılların ortasına doğru tamamlanan Rıza Bey Apartmanı'nda nervürlü boyuna donatı ve düz etriyeler kullanılmıştır. 1990'ların sonralarına doğru inşa edilen Yılmaz Erbek Apartmanı'nda ise tüm donatı tipleri nervürlüdür.



Şekil 3.57 – Yıkılan bazı binalara ait donatı detayları

TBDY (2018)'de, “7.2.5.3 – Deprem etkisini karşılayacak betonarme elemanlarda; (b) TS 708'de verilen B420C (420 MPa akma dayanımı) ve B500C (500 MPa akma dayanımı) nervürlü donatı çelikleri kullanılacaktır.” ifadeleri yer almaktadır. Yani Bayraklı İlçesi'nde tamamen veya kısmen yıkılan binaların bugün yapılması durumunda, kullanılan çelik çubukların nervürlü ve dayanımlarının daha yüksek olması gerekmektedir.

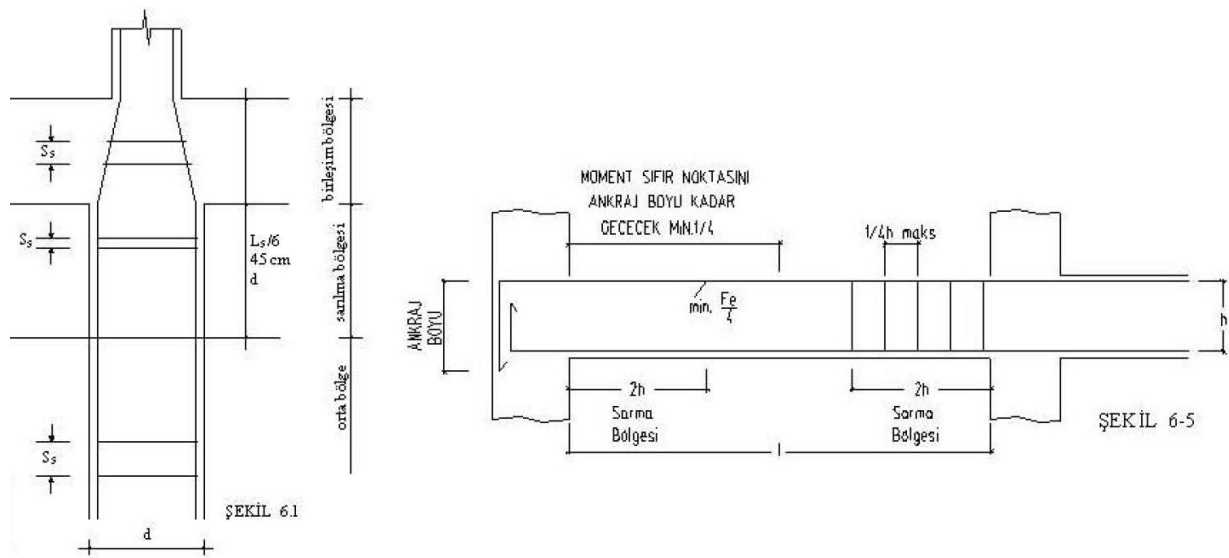
3.4.2. Donatı Detaylandırması ile İlgili Sorunlar

3.4.2.1. Kolon ve Kiriş Sarılma Bölgeleri

Deprem anında en yüksek yük etkileri kolonların alt ve üst uçları ile kirişlerin uçlarında oluşmaktadır. Bu nedenle, kolon ve kirişlerin sonlarında bulunan etriye aralıklarının, bu elemanların orta bölgelerine göre daha dar olması istenmektedir. Daha sık atılan etriyeler, bu

bölgelerin daha iyi sarılmasına ve beton kabuğunda oluşacak herhangi bir hasar durumunda, betonun çekirdeğinin yerinde kalmasına ve elemanın yük taşımasına devam etmesine olanak sağlayacaktır. Bu bölgelere “sarılma bölgeleri” denilmektedir.

ABYYHY (1975)’de kolon sarılma bölgeleri için “6.6.5 - Kolonlar enine donatı aralığı bakımından, (a) kolon sarılma bölgesi, (b) kolon orta bölgesi ve (c) kolon - kiriş düğüm bölgesi olarak üç kısımda göz önünde bulundurulacaktır. (Şekil 6.1).” denilmektedir. Ardından “6.6.5.1 - Kolon sarılma bölgesi: Sarılma bölgelerindeki enine donatının sıklığı için, kırılma sonrası aşamalarda betonu daha randımanlı olarak çemberleyen spiral ya da sürekli dikdörtgen etriyeleri öncelikle kullanılmalıdır. Normal basit dikdörtgen ve sürekli dikdörtgen fretajdaki enine donatının mesnetlenmiş kenar boyu olan 'a' yı azaltmak, dolayısı ile etriyelerden tasarruf sağlamak amacı ile, özel ara çubuk bağlantıları (özel çiroz etriyeler) kullanılabilir. Bu ara bağlantılarının her iki ucuna standart yarım daire kancanın ucuna 10 d uzunlukta düz bir kısım eklemeli, hem enine ve hem de boyuna donatıyı dıştan kavrayacak ve beton dökülürken oynamayacak biçimde sıkıca bağlanmalıdır. (Şekil 6.2 b).” denilmektedir. Özel hal olarak da “6.6.5.1 - Kolon sarılma bölgesi: Özel hal : Üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerindeki binalarda, eğer kolon sarılma bölgesindeki maksimum hesap kayma gerilmesi 0.07σ bu dan küçük ise Denk 6.1 ile verilen minimum hacimsel donatı yüzdesi koşulu aranmaz ve sarılma bölgelerindeki etriyelerin aralığını kolon orta bölgesindeki etriye aralığının yarısına indirmekle yetinilebilir.” ifadeleri kullanılmıştır. Kolon sarılma bölgesi ile ilgili yönetmelik görseli Şekil 3.58’de verilmiştir.



Şekil 3.58 – Kolon ve kiriş sarılma bölgeleri (ABYYHY, 1975)

ABYYHY (1975)’de kiriş sarılma bölgeleri için “6.9.8 - Kirişlerin her iki ucunda kiriş yüksekliğinin iki katı uzunluğundaki bir bölgede etriye alanı $F_B = 0.15 \frac{s}{h} F_e$ değerinden az olmamalıdır. Ayrıca bu bölge içinde etriye aralığı kiriş faydalı yüksekliğinin dörtte birini geçmemelidir.” denilmektedir. Burada “ F_B ” belirli bir aralıkta toplam etriye alanı, “s” enine donatı aralığı, “h” kiriş faydalı yüksekliği ve “ F_e ” kiriş çekme donatısı alanı olarak tanımlanmıştır. Kiriş sarılma bölgesi ile ilgili yönetmelik görseli de Şekil 3.58’de verilmiştir.

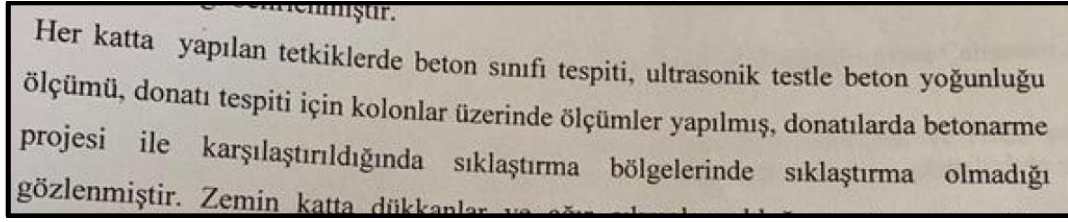
Bu depremde yıkılan yapıların hepsinin ABYYHY (1975)’te belirtilen koşullara göre tasarlanması ve yapılması gerekmektedir. Yani kolonların alt ve üst uçları ile kiriş sonlarında etriye sıklaştırılması yapılması ve bu bölgelerin sarılması gerekmektedir. Yıkılan bazı

binaların enkazından çıkarılan yapısal elemanlardaki donatı düzenlemeleri Şekil 3.59’da gösterilmiştir. Yıkılan binaların kolonlarının ve kirişlerinin hiçbirinde etriye sıklaştırılmasına rastlanmamıştır.



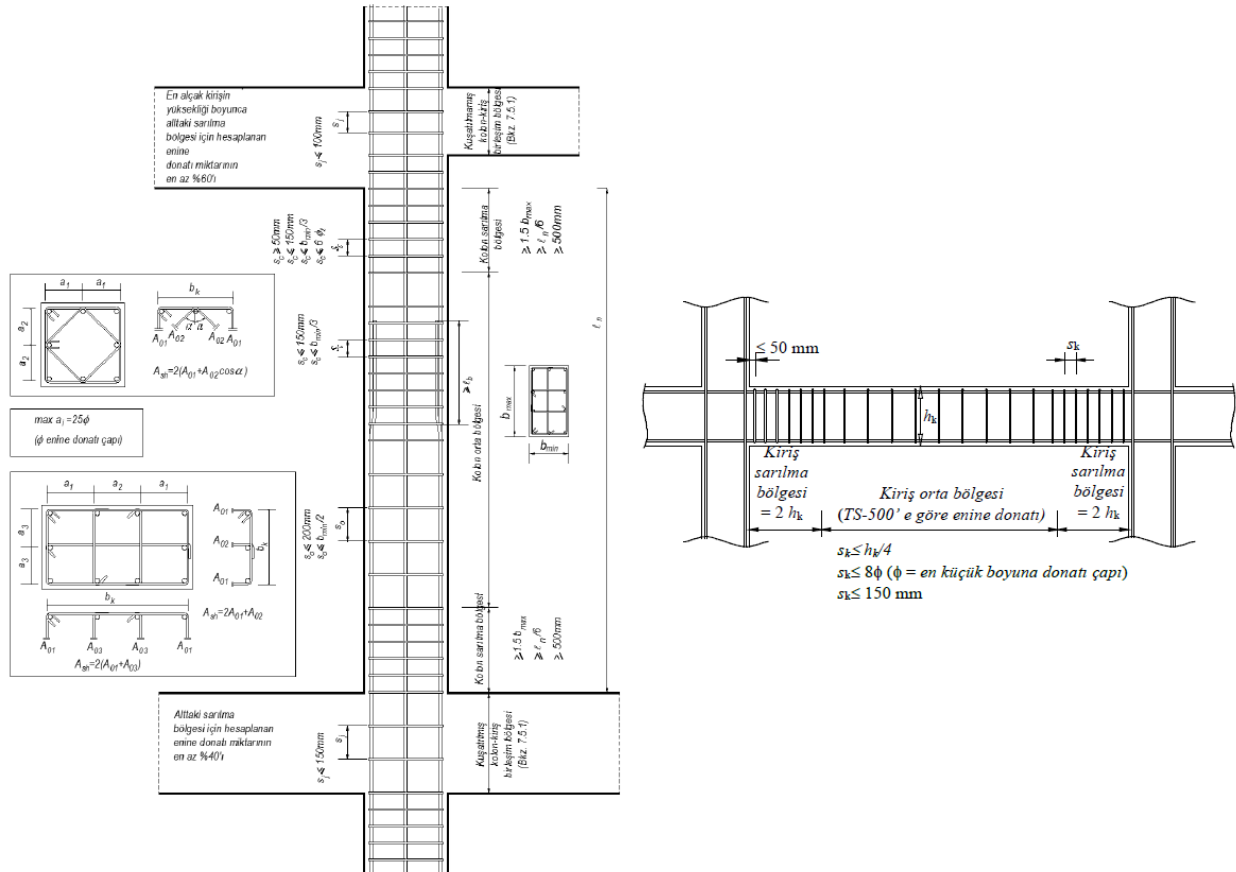
Şekil 3.59 – Yıkılan bazı binaların kolon ve kirişlerindeki donatı düzenlemesi

Tüm bunların yanı sıra yıkılan veya ağır hasar almış bazı binalar için hazırlanan BDRDR'ye (Bayraklı Belediyesi, 2020 ve AA, 2020b) göre, projesinde etriye sıklaştırılması bulunmasına rağmen uygulamada etriye sıklaştırılmasının yapılmadığı saptanmıştır. Bu bilginin bulunduğu bir raporun ilgili kısmı Şekil 3.60'da gösterilmiştir.



Şekil 3.60 – Etriye sıklaştırılması ile ilgili BDRDR (Bayraklı Belediyesi, 2020 ve AA, 2020b) bölümü

TBDY (2018)'de kolon sarılma bölgeleri için “7.3.4.1 – Her bir kolonun alt ve üst uçlarında özel sarılma bölgeleri oluşturulacaktır. Sarılma bölgelerinin her birinin uzunluğu, döşeme üst kotundan yukarıya doğru veya kolona bağlanan yüksekliği en büyük kirişin alt yüzünden başlayarak aşağıya doğru ölçülmek üzere, kolon serbest yüksekliğinin 1/6'sından, kolon en büyük kesit boyutunun 1.5 katından ve 500 mm'den, daha küçük olmayacaktır.” denilmektedir. Kolon sarılma bölgesi ile ilgili yönetmelik görseli Şekil 3.61'de verilmiştir.



Şekil 3.61 – Kolon ve kiriş sarılma bölgeleri (TBDY, 2018)

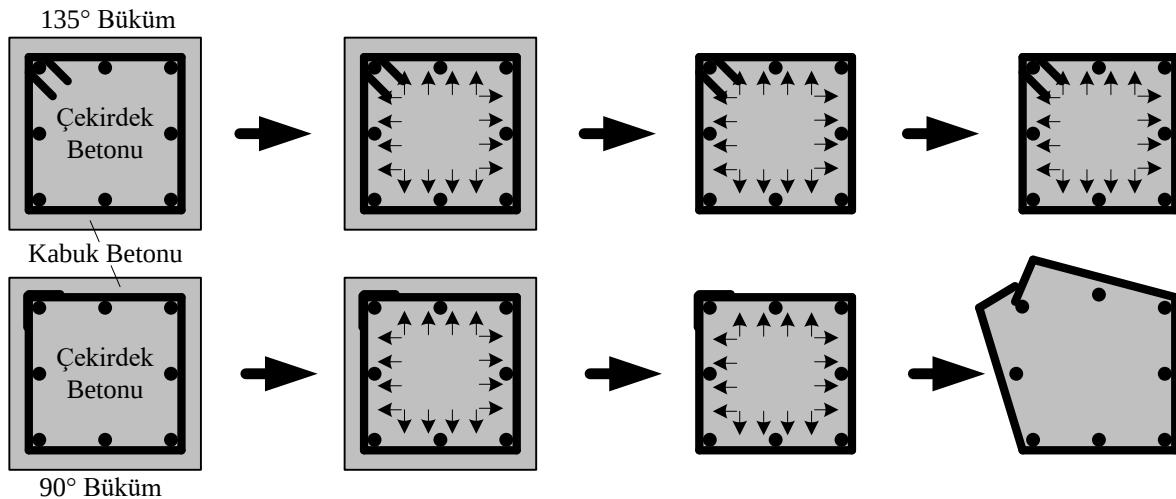
TBDY (2018)'de kiriş sarılma bölgeleri için “7.4.4. Enine Donatı Koşulları: Kiriş mesnetlerinde kolon yüzünden itibaren kiriş yüksekliğinin iki katı kadar uzunluktaki bölge,

Sarılma Bölgesi olarak tanımlanır. Bu bölge boyunca 7.2.8’de tanımlanan özel deprem etriyeleri kullanılacaktır. Sarılma bölgelerinde $\phi 8$ ’den küçük çaplı enine donatı kullanılmayacak ve ilk etriyenin kolon yüzüne uzaklığı en çok 50 mm olacaktır. 7.4.5.3’e göre daha elverişsiz bir değer elde edilmedikçe, etriye aralıkları kiriş etkili yüksekliğinin $1/4$ ’ünü, en küçük boyuna donatı çapının sekiz katını ve 150 mm’yi aşmayacaktır (Şekil 7.8).” ifadeleri kullanılmaktadır. Kiriş sarılma bölgesi ile ilgili yönetmelik görseli Şekil 3.61’de verilmiştir.

Kolon ve kiriş sarılma bölgeleri ile ilgili yıllar içinde (1975’ten 2018’e) çok fazla bir değişiklik olmamıştır. Yani Bayraklı İlçesi’nde tamamen veya kısmen yıkılan binaların bugün yapılması durumunda, etriye sıklaştırması konusu ile ilgili herhangi bir farklılık olmayacaktır. Bir başka deyişle, etriye sıklaştırılması konusunda ABYYHY (1975)’te belirtilen koşulların sağlanması, bu depremde bu nedenden dolayı yıkılan binaların ayakta kalması için büyük katkı sağlayacaktır.

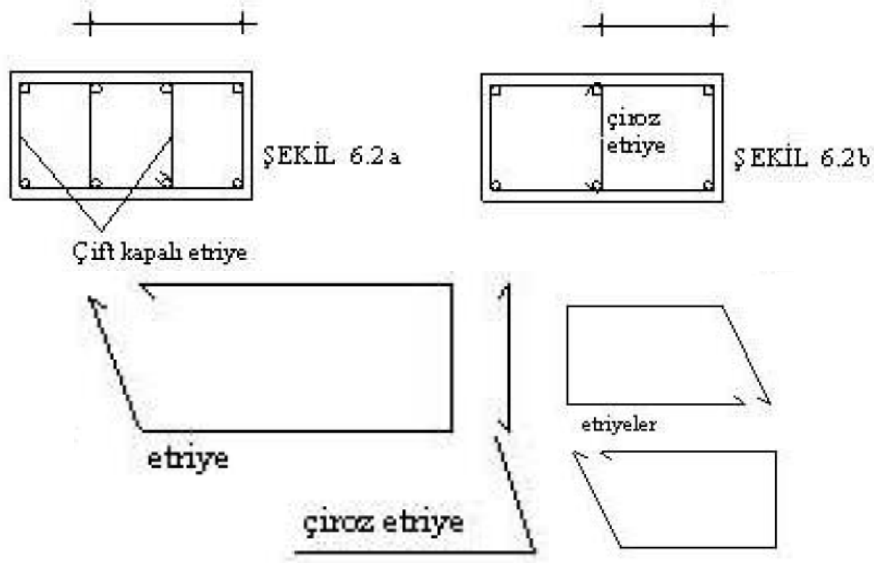
3.4.2.2. Etriye Uçlarının 135° Bükülmesi

Betonarme elemanlarda etriye içinde kalan betona çekirdek betonu, etriye dışında kalan betona da kabuk betonu denilmektedir. Bu elemanlar herhangi bir zorlanmaya (yüksek moment, kesme veya eksenel yük) maruz kalınca, ilk önce kabuk betonu hasar görür (çatlar ve ezilir). Kabuk betonu etriye ile çevrelenmediğinden bir süre sonra söz konusu kabuk atar yani dökülür. Bu aşamadan sonra çekirdek betonunu sadece etriye tutar. Etriye sonları 135° bükülerek çekirdek betonun içine saplanırsa, etriyeler açılmadan çekirdek betonunu sargılamaya devam eder ve eleman kabuk betonunu kaybettiği halde çekirdek betonu ile maruz kaldığı kuvvetlere karşı dayanımını sürdürür. Ancak etriye sonlarının 90° bükülmesi durumunda, kabuk betonun kaybedilmesinden sonra, etriye uçlarını tutacak bir şey kalmadığı için, etriyeler açılacak ve çekirdek betonunu sargılayamayacaktır. Bu durumda betonarme eleman dayanımını tamamen kaybetmiş olur. Bir başka deyişle, etriye uçların 90° bükümlü yapmakla hiç etriye koymamak deprem anında aynı davranışa neden olmaktadır. Bu iki durumu anlatmak için hazırlanan görsel Şekil 3.62’de verilmiştir.



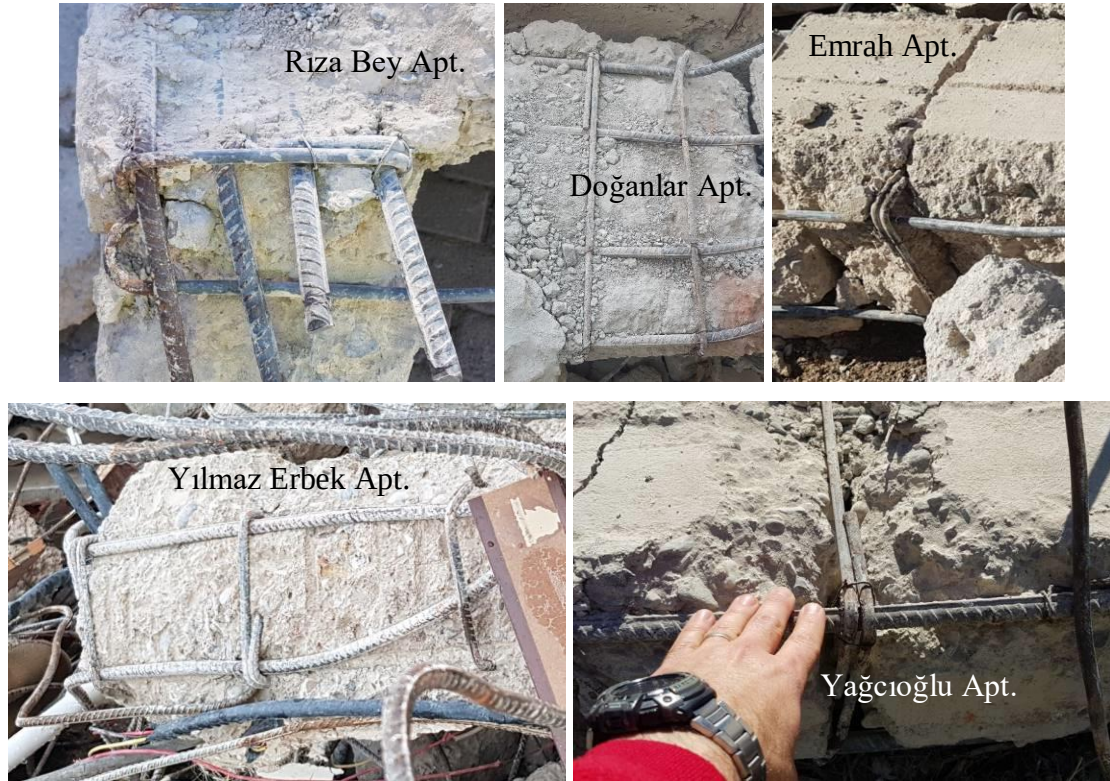
Şekil 3.62 – Etriye uçlarının 90° ve 135° bükülme durumları

ABYYHY (1975)’de etriye uçlarının bükülmesi için “*Sarılma bölgesindeki etriye kancaları, kendi doğrultusu ile 135° oluşturmak ve dairesel kısmın ucuna 10d kadar doğrusal bir parça bırakmak suretiyle yapılacaktır.*” denilmektedir. Etriye uçlarının bükülmesi ile ilgili yönetmelik görseli Şekil 3.63’te gösterilmiştir.



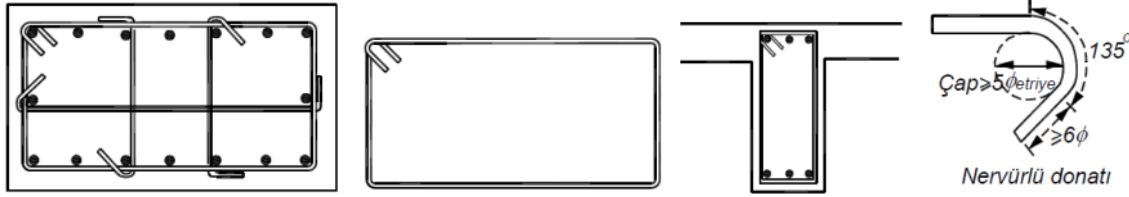
Şekil 3.63 – Etriye uçlarının bükülmesi (ABYYHY, 1975)

Bu depremde yıkılan yapıların hepsinin ABYYHY (1975)'te belirtilen koşullara göre tasarlanması ve yapılması gerekmekteydi. Yani etriye uçlarının 135° içeri bükülerek çekirdek betonuna saplanmalıydı. Yıkılan binaların enkazından çıkarılan yapısal elemanlardaki etriye sonlarının büküm şekilleri Şekil 3.64'te gösterilmiştir. Yıkılan binaların kolonlarının ve kirişlerinin hemen hiçbirinde etriyelerin uçları 135° bükülmemiştir.



Şekil 3.64 – Yıkılan binaların etriyelerinin büküm şekilleri

TBDY (2018)'e göre ise etriye uçlarının bükülmesi için “7.2.8.1 – *Özel deprem etriyelerinin her iki ucunda mutlaka 135 derece kıvrımlı kancalar bulunacaktır.*” denilmektedir. Bu etriyelere örnek olarak da, Şekil 3.65'teki detaylar söz konusu standartta gösterilmiştir.



Şekil 3.65 – Özel deprem etriyelerinin uçlarının 135 derece bükülmesi (TBDY, 2018)

Etriye uçlarının 135° bükülmesi ile ilgili yıllar içinde (1975'ten 2018'e) herhangi bir değişiklik olmamıştır. Yani Bayraklı İlçesi'nde tamamen veya kısmen yıkılan binaların bugün yapılması durumunda, etriye uçlarının bükülmesi konusu ile ilgili herhangi bir farklılık olmayacaktır. Bir başka deyişle, etriye uçlarının 135° bükülmesi konusunda ABYYHY (1975)'te belirtilen koşulların sağlanması, bu depremde bu nedenden dolayı yıkılan binaların ayakta kalması için büyük katkı sağlayacaktır.

3.4.3. Yatay Yük Taşıyıcı Sistem ile İlgili Sorunlar

3.4.3.1. Alt Kat Kolonlarının Göçmesi

Ege Denizi Depremi sonrasında bazı binaların sadece alt katının veya alt birkaç katının göçtüğü gözlenmiştir. Bu tip yıkıma uğrayan binalar Şekil 3.66'da gösterilmiştir. Rıza Bey Apartmanı'nın göçme anında kaydedilen görüntüler incelendiğinde, ilk olarak binanın en alt kat kolonlarının yıkılmakta, daha sonra diğer tüm katlar aşağıya doğru birer birer yıkılmaktadır (Şekil 3.67). Karagül Apartmanı'nda da durum benzerdir. Bu apartmanın en alt kat kolonu ilk olarak ağır hasar almış ve söz konusu kolonun bulunduğu köşe yaklaşık bir metre aşağıya doğru inmiştir. Bir süre sonra kolon tamamen göçmüştür (Şekil 3.68). Bu tip davranışın birçok nedeni bulunmaktadır. Birinci neden olarak kirişlerin kolonlardan güçlü olma durumu gösterilebilir. Bir başka neden ise katlar arası rijitlik düzensizliğidir. Bu bölümde söz konusu iki etmen detaylı olarak anlatılmıştır.



Şekil 3.66 – Alt katı veya alt birkaç katı göçen binalar

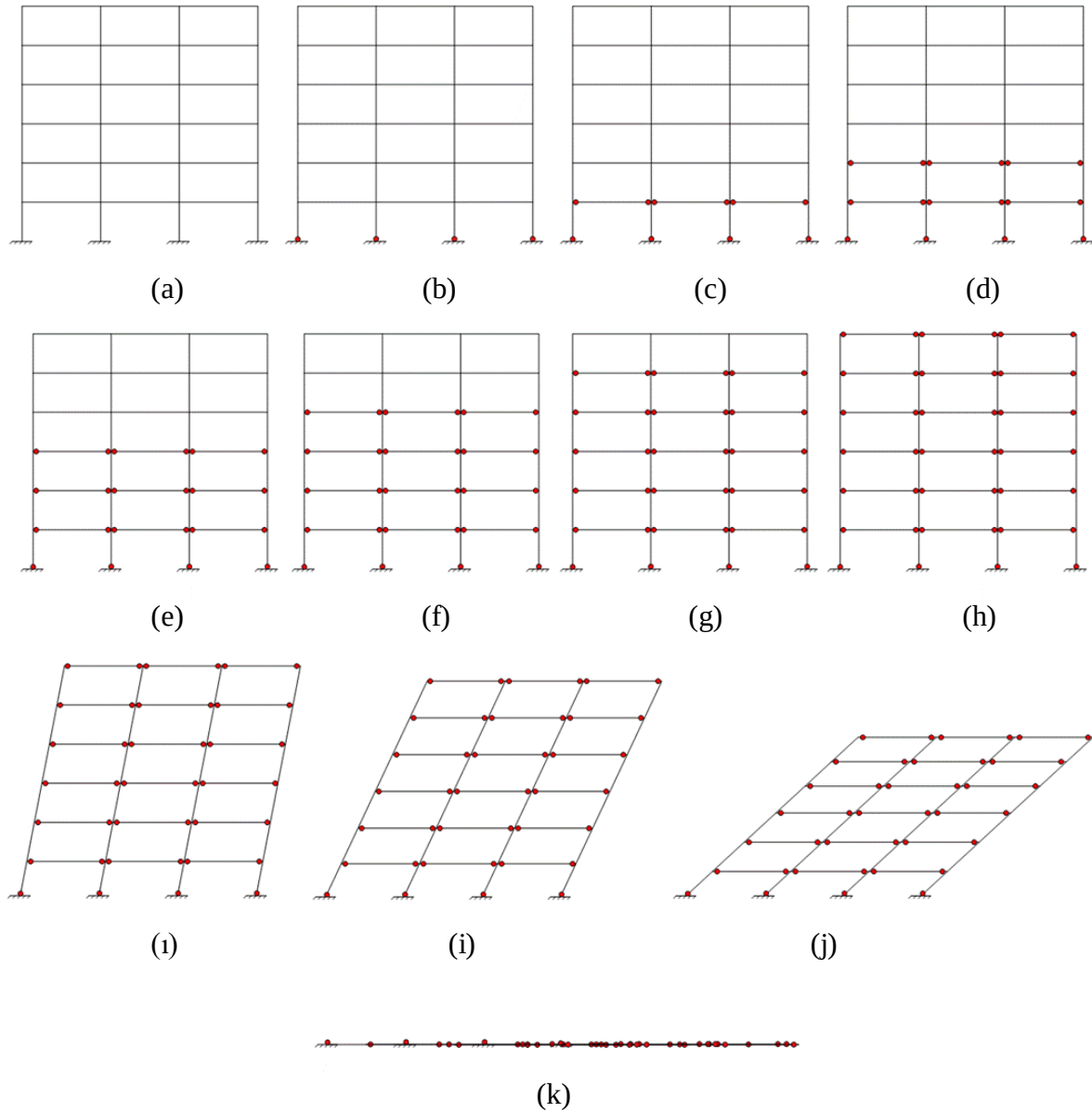




Şekil 3.68 – Karagül Apartmanı’nın göçme anı ve sonrası (Posta, 2020)

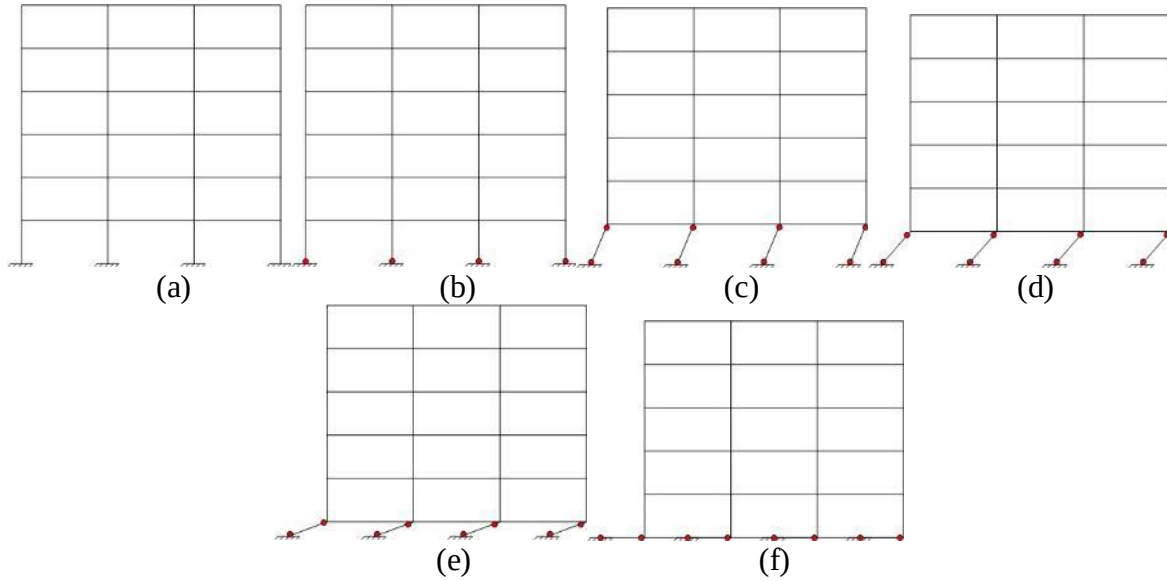
Güçlü Kiriş Daha Güçlü Kolon

Deprem kuvvetleri betonarme bir binaya etki etmeye başladığında, binanın en alt katında bulunan kolonların alt uçlarında plastik mafsallar oluşur (Şekil 3.69-b). Eğer kolonların kirişlerden daha güçlü olma durumu sağlanmışsa, bir sonraki plastik mafsallar kirişlerin sağ ve sol uçlarında oluşacaktır (Şekil 3.69-c, d, e, f ve g). Tüm binanın göçmesi için, bütün kirişlerin sağ ve sol uçlarından hasar alarak plastik mafsallara dönüşmesi gerekmektedir (Şekil 3.69-h, ı, i, j ve k). Bu tip göçme durumunda binanın bütün kirişlerinin iki ucu da hasar görür. Böylece bina en yüksek enerji soğurma düzeyini yakaladıktan sonra yıkılmış olur. Ancak unutulmamalıdır ki, kiriş sonlarının mafsallaşması ve halen yeterli düzeyde moment taşıyabilmesi için donatı detaylandırması ile ilgili koşulların (kolon-kiriş sarılma bölgeleri ve etriye uçlarının 135° bükülmesi) mutlaka sağlanması gerekmektedir.



Şekil 3.69 – Kirişlerin sağ ve sol uçlarının mafsallaşması ile oluşan göçme mekanizması (istenen davranış)

Bu koşul sağlanamadığı durumda, yani eğer kirişler kolonlardan daha güçlü ise, binanın en alt katında bulunan kolonların alt uçlarında plastik mafsallar oluşmasından sonra (Şekil 3.70-b), hemen bir sonraki plastik mafsal serisi binanın en alt kolonlarının üst uçlarında oluşur (Şekil 3.70-c). Bu durumda, bina stabil olmayan bir mekanizmaya dönüşür ve göçme yaşanır (Şekil 3.70-d, e ve f). Bu tip göçme durumunda binanın sadece en alt katında bulunan kolonlar hasar görür ve bina istenilen enerji soğurma düzeyini yakalayamadan yıkılmış olur.



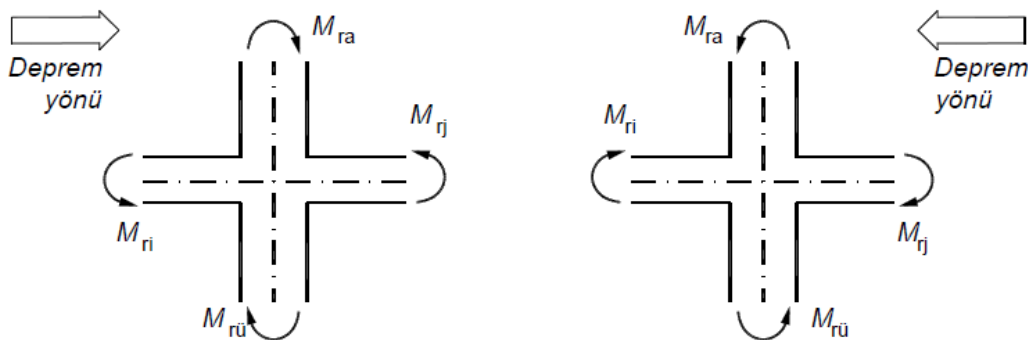
Şekil 3.70 – Birinci kat kolon alt ve üst uçlarının mafsallaşması ile oluşan göçme mekanizması (istenmeyen davranış)

Kolonların kirişlerden daha güçlü olma durumu ABYYHY (1975)’te yer almamaktadır. Bu ölçüt yönetmeliklere ilk olarak ABYYHY (1998) ile girmiştir. Sonraki yıllarda çıkarılan yönetmeliklerde de bu koşulun sağlanması istenilmiştir.

TBDY (2018)’ye göre, kolonlar kirişlerden daha güçlü olmalıdır. Bu nedenle ilgili yönetmelikte “Sadece çerçevelerden veya perde ve çerçevelerin birleşiminden oluşan taşıyıcı sistemlerde, her bir kolon-kiriş düğüm noktasına birleşen kolonların taşıma gücü momentlerinin toplamı, o düğüm noktasına birleşen kirişlerin kolon yüzündeki kesitlerindeki taşıma gücü momentleri toplamından en az %20 daha büyük olacaktır.” denilmektedir. Konu ile ilgili denklem

$$(M_{ra} + M_{r\bar{u}}) \geq 1.2 \times (M_{ri} + M_{rj}) \quad (\text{Denklem 3-1})$$

şeklinde verilmiştir. Bu denklemde M_{ra} kolonun alt ucundaki taşıma gücü momenti, $M_{r\bar{u}}$ kolonun üst ucundaki taşıma gücü momenti, M_{ri} kirişin sol ucundaki taşıma gücü momenti ve M_{rj} kirişin sağ ucundaki taşıma gücü momentidir. Bu denkleme ait ilgili çizim Şekil 3.71’de gösterilmiştir.



Şekil 3.71 – Kolon ve kiriş uçlarındaki taşıma gücü momentleri TBDY (2018)

Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği

Betonarme binalar tüm bina yüksekliği boyunca düşey doğrultuda düzenli bir şekilde (birbiri benzeri kat planları, kat yükseklikleri ve kat kullanımları) tasarlanmalı ve imal edilmelidir. Eğer bu koşul sağlanmayacaksa, yani bina düzenli bir bina değilse, tasarım ve imalatın yönetmeliklerde belirtilen düzensiz bina koşullarına göre yapılması gerekmektedir. Düzensiz bir bina düzenli bir bina gibi tasarlanırsa veya düzenli olarak tasarlanan bir bina düzensiz bir binaya dönüştürülürse, yapının güvenliği tehlikeye girer. Bu durum binanın deprem yükleri altında ağır hasar almasına veya yıkılmasına neden olabilir.

Bina düzensizliklerinden en fazla karşılaşılan tip yumuşak kat olarak adlandırılanıdır. Binanın giriş kat seviyesinde mağaza, dükkan, işyeri, vb. tipte kullanım amacıyla giriş kat seviyesindeki kolonların diğer katlardan daha yüksek olması, dolgu duvarların olmaması veya kaldırılması bu tip düzensizliği oluşturmaktadır. Bu düzensizlik tipi ABYYHY (1975)'te ele alınmıştır. Sonraki yönetmeliklerde de bu durum daha detaylı olarak açıklanmıştır.

ABYYHY (1975)'e göre düzensiz binalar için “13.3.1 - Bu yönetmelikte deprem etkilerine göre hesap bakımından yapılar başlıca iki sınıfta ayrılmıştır. a. Taşıyıcı sistemi düzenli yapılar: Taşıyıcı sistemleri döşeme ya/da kirişler ile düşey kolonlardan oluşan, kolon ve perdeleri sürekli olarak temele kadar inen yapılara "Taşıyıcı Sistemi Düzenli Yapılar" adı verilir. b. Taşıyıcı sistemi düzensiz yapılar: Yukarıdaki tanımın dışında kalan ve rijitlik ya da kütle yayılımı bakımından süreksizlikler ya da düzensiz yığmalar gösteren yapılara "Taşıyıcı Sistemi Düzensiz Yapılar" adı verilir.” denilmektedir. Ayrıca yine ABYYHY (1975)'de “13.3.3 - "Taşıyıcı sistemi düzensiz" olan veya temel üst kotundan ölçülen yüksekliği 75 m'yi geçen tüm yapıların depreme karşı emniyetleri, usulüne uygun ve güvenilir bir dinamik hesap yolu ile saptanmalıdır. Böyle bir dinamik hesaptan zemin ve yapının dinamik özellikleri ayrıntıları ile göz önünde tutulur. Gerçek ya da idealleştirilmiş spektrumlara göre mod süper pozisyonu yöntemi ya da depreme davranışın zamana göre değişimini veren titreşim denklemlerinin integrasyonu vb. yöntemlerinden biri ya da model deneyleri kullanılabilir.” ifadeleri yer almaktadır.

TBDY (2018)'e göre düzensiz binalar için “3.6. Deprem Etkisi Altında Düzensiz Binalar: 3.6.1. Düzensiz Binaların Tanımı: Depreme karşı davranışlarındaki olumsuzluklar nedeni ile tasarımından ve yapımından kaçınılması gereken düzensiz binaların tanımlanması ile ilgili olarak, planda ve düşey doğrultuda düzensizlik meydana getiren durumlar Tablo 3.6'da, bunlarla ilgili koşullar ise 3.6.2'de verilmiştir.” denilmektedir. İlgili tabloda burada anlatılan düzensizlik hakkında “B - Düşeyde Düzensizlik Durumları: B2 - Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat): Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, bodrum katlar dışında, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat öteleme oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat öteleme oranına bölünmesi ile tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı η ki'nin 2.0'den fazla olması durumu.” ifadeleri yer almaktadır. B2 tipi düzensizliğin tasarımı konusunda ise “4.6'ya göre deprem hesap yönteminin seçiminde etken olan düzensizliklerdir.” tanımı yapılmıştır.

3.4.3.2. Kısa Kolon

Bina kolonları belirli bir kat yüksekliğine uygun olarak tasarlanmaktadır. Bu yüksekliğin kolon yanına örülen dolgu duvarlar veya taşıyıcı sistem nedeniyle kısılması durumunda, bir deprem sırasında kolonun maruz kalacağı kesme kuvveti de artmaktadır. Bu şekilde tasarım boyları kısalan kolonlarda kısa kolon davranışı görülür.

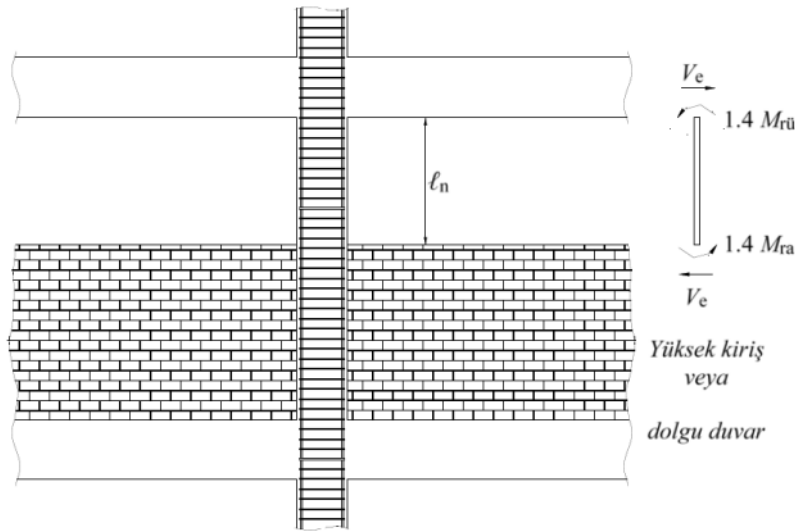
ABYYHY (1975)'de “İçeriye ışık gelmesi amacı ile, iki kolon arasındaki dolgu duvarı üzerinde bırakılan kolonlardan kolona pencere boşluklarına izin verilmez. Ancak, kısa kolon durumu yaratan ve kolondan kolona tüm serbest açıklıkça devam eden bu tip pencereleri açmak zorunluğu bulunan hallerde, ya kısa kolon tüm boyunca sürekli etriyelerle sarılmalı (en az kolon sarılma bölgelerinde gereken enine donatı kadar) ve aynı zamanda kısa kolonun artan rijitliği o kattaki kesme mukavemeti dağılışı, burulma ve periyot hesaplarında göz önüne alınmalı, ya da dolgu duvarları kolon rijitliğini etkilemeyecek biçimde taşıyıcı sistemden ayrı olarak düzenlenmeli.” denilmektedir.

Bu depremde yıkılan yapıların hepsinin ABYYHY (1975)'te belirtilen koşullara göre tasarlanması ve yapılması gerekmektedir. Yani kısa kolon oluşabilecek bölgeler için gerekli önlemlerin alınmış olması beklenirdi. Ancak deprem sırasında kısa kolon oluşumu nedeni ile ağır hasara maruz kalmış yapılara rastlanmıştır. Bu tip hasarlara ait fotoğraflar Şekil 3.72'de gösterilmiştir.



Şekil 3.72 – Kısa kolon oluşumu nedeni ile ağır hasar almış bir bina

TBDY (2018)'ye göre, binalarda kısa kolon oluşumu durumunda gerekli önlemler alınmalıdır. İlgili yönetmelikte “Kısa kolonlar, taşıyıcı sistem nedeni ile veya dolgu duvarlarında kolonlar arasında bırakılan boşluklar nedeni ile oluşabilirler. Kısa kolon oluşumunun engellenemediği durumlarda, enine donatı hesabına esas alınacak kesme kuvveti, $V_e = (M_a + M_{\bar{u}})/l_n$ denklemi ile hesaplanacaktır. Bu denklemdeki eğilme momentleri, kısa kolonun alt ve üst uçlarında $M_a \approx 1.4 \times M_{ra}$ ve $M_{\bar{u}} \approx 1.4 \times M_{r\bar{u}}$ olarak hesaplanacak, l_n ise kısa kolonun serbest boyu olarak alınacak ve hesaplanan kesme kuvveti $V_e \leq V_r$ ve $V_e \leq 0.85 \times A_w \times \sqrt{f_{ck}}$ koşullarını sağlayacaktır. Bu denklemde V_r kolonun kesme kuvveti dayanımı, A_w kolon enkesiti etkin gövde alanı ve f_{ck} betonun karakteristik silindirik basınç dayanımıdır. Kısa kolonun tüm boyunca, kolonların sarılma bölgeleri için tanımlanan minimum enine donatı ve yerleştirme koşulları uygulanacaktır. Dolgu duvarlarının kolonlara tamamen bitişik olması durumunda kısa kolon durumuna dönüşen kolonlarda, enine donatılar tüm kat yüksekliğince devam ettirilecektir.” ifadeleri yer almaktadır. Konu ile ilgili görsel Şekil 3.73'te verilmiştir.



Şekil 3.73 – Kısa kolonlara ait şekil (TBDY, 2018)

Kısa kolonlarla ilgili olarak yıllar içinde (1975'ten 2018'e) çok fazla bir değişiklik olmamıştır. Yani Bayraklı İlçesi'nde kısa kolon oluşumu nedeniyle ağır hasar almış binaların bugün yapılması durumunda, tasarım açısından çok fazla bir farklılık olmayacağı açıktır. Bir başka deyişle, kısa kolon oluşumu konusunda ABYYHY (1975)'te belirtilen koşulların sağlanması, depremde bu tip hasardan dolayı yıkılan veya ağır hasar alan binaların ayakta kalması için büyük katkı sağlayacaktır.

3.4.4. Tasarım, İmalat ve Kullanım Aşaması Denetimi

Bu depremde çöken veya ağır hasar almış binaların büyük bir kısmının tasarımı ve imalatı aşamasında belirgin sorunları bulunmaktadır. Bu sorunların başlıca nedenlerinden biri olarak denetim eksikliği gösterilebilir. Denetim eksikliğine sadece tasarım ve yapım aşamasında değil, kullanım aşamasında da karşılaşılmıştır. Bu bölümde denetim eksikliğine bağlı olarak saptanan sorunlardan bahsedilmiştir.

3.4.4.1. İmalat Aşamasındaki Denetim Eksikliği

Türkiye'de yapıların inşa edilmesi ve denetlenmesi ile ilgili ilk düzenlemeler 1933 yılında çıkan 2290 sayılı kanunla oluşturulmuştur (Resmi Gazete, 1933). Bu kapsamda projelerin denetlenmesi belediyelere verilmiştir. Bu uygulamanın iyi çalışmadığı 17 Ağustos 1999 Adapazarı Depremi sonrasında açıkça görülmüştür. Bu nedenle 13 Temmuz 2001 tarihinde "4708 Sayılı Yapı Denetimi Hakkında Kanun" (Resmi Gazete, 2001) çıkarılarak yaklaşık olarak 10 yıl boyunca 19 pilot ilde (Adana, Ankara, Antalya, Aydın, Balıkesir, Bolu, Bursa, Çanakkale, Denizli, Düzce, Eskişehir, Gaziantep, Hatay, İstanbul, İzmir, Kocaeli, Sakarya, Tekirdağ ve Yalova) uygulanmıştır. Ardından 1 Ocak 2011 tarihinden itibaren de Türkiye'nin tüm illerinde uygulanması zorunlu hale getirilmiştir. Bu kanuna göre yapılan tüm yapılar yapı denetim kuruluşları tarafından denetlenecektir. Bu kapsamda yapı denetimi yapan kuruluş imalat öncesinde, yapının hesap raporlarının, uygulama projelerinin ve zemin raporlarının ilgili mevzuatlara uygunluğunu kontrol etmektedir. İmalat süresince de yapım işlerinde kullanılan malzemeler ile imalatın proje, teknik şartname ve standartlara uygunluğunu kontrol etmekle, malzemeler ve imalatla ilgili deneyleri yaptırmakla yükümlüdür.

Bu depremde Bayraklı İlçesi'nde bulunan yıkılmış veya ağır hasar almış betonarme binaların yapımı ve tasarımı Yapı Denetim Hakkındaki Kanunu'nun (Resmi Gazete, 2001) çıkarılmasından önce gerçekleştirilmiştir. Yerel kaynaklardan öğrenildiğine göre (Açık Radyo, 2020), o dönemlerde tasarım aşamasında ne zemin raporları, ne yapısal tasarım raporları, ne de projeler denetlenmekteydi. İmalat aşamasında da hiçbir denetim yoktu. Bu nedenle bölgede yapılan binalar için tasarımlarının ve imalatlarının doğru yapıldığı konusunda herhangi bir fikir yürütülememektedir. Sonuç olarak, Türkiye'de ilgili kanun öncesinde tasarlanan ve yapılan bütün betonarme binaların deprem güvenliği değerlendirilmeli ve bu yapılar için gerekli önlemler (güçlendirme veya yeniden yapım) acilen alınmalıdır.

Yukarıda anlatılanlara örnek olarak, ağır hasar almış bir bina için hazırlanan BDRDR'nin (Bayraklı Belediyesi, 2020 ve AA, 2020b) ilgili kısmı Şekil 3.74'te gösterilmiştir. Buna göre, binanın projesinde belirtilen kolon boyutlarının imalatı uygulanmadığı görülmektedir.

Binada donatı tespiti testi kolon üzerinden ölçümlerle bakılmış olup betonarme projesi ile yerindeki donatıların aynı olmadığı, kolon ebatlarında farklılıklar ve etriye aralıklarının düzensiz olduğu gözlemlendi. Bodrum kattaki S24 kolonu projesinde 30/50 iken uygulanırken 25/50 olarak yapıldığı tespit edildi. Ayrıca S34 kolonu Bodrum kat(S34 80/25 olması gerekirken) dahil tüm katlarda 25/50 olarak yapılarak betonarme projesinden daha küçük ebatla olduğu, betonarme projesine uyulmadan tamamı 25/50 olarak uygulandığı gözlemlenmiştir. Bunlara ek olarak, etriye sıklaştırılmasının da olmadığı gözlemlendi.

Şekil 3.74 – Tasarımdaki kolon boyutu ile imalatındaki boyut arasındaki farklılık ile ilgili BDRDR (Bayraklı Belediyesi, 2020 ve AA, 2020b) bölümü

3.4.4.2. Yapı Kullanımı Aşamasındaki Denetim Eksikliği

Türkiye'de yapı kullanım aşamasındaki betonarme yapılar üzerinde uygulanacak her tür tadilat 03.07.2017 tarihli "Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği" (Resmi Gazete, 2017) tarafından düzenlenmektedir. Bu yönetmeliğe göre, tadilatlar basit ve esaslı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Buna göre, "*Basit tamir ve tadil: Yapılarda esaslı tadilat kapsamında olmayan, taşıyıcı sistemi, bağımsız bölümün dış cephesini, ıslak hacimlerin yerini ve sayısını değiştirmeyen; derz, iç ve dış sıva, boya, badana, oluk dere, doğrama, döşeme ve tavan kaplamaları, elektrik ve sıhhi tesisat tamirleri ile bahçe duvarı, duvar kaplamaları, baca, saçak, çatı onarımı ve kiremit aktarılması gibi her türlü tamir ve tadil işlemleri*" olarak belirtilmektedir. Diğerisi ise "*Esaslı tadilat: Yapılarda taşıyıcı unsuru etkileyen veya yapı inşaat alanını veya emsale konu alanını veya taban alanını veya bağımsız bölüm sayısını veya ortak alanların veya bağımsız bölümlerin alanını veya kullanım amacını veya ruhsat eki projelerini değiştiren işlemleri (Esaslı tadilat, ruhsata tabidir.)*" olarak tanımlanmıştır. Son olarak da "*Mevcut binalarda yapılacak tadilatlarda, bu madde hükümlerinin ya da TSE standartlarının uygulanmasında idaresi yetkilidir.*" denilmektedir. Yani kullanım aşamasındaki gerçekleştirilecek herhangi bir yapısal tadilatın yerel belediye tarafından onaylanması ve takip edilmesi gerekmektedir.

İzmir, Karşıyaka'da yapılan bir binanın yapısal değerlendirmesi sırasında çekilen fotoğraflar Şekil 3.75'te gösterilmiştir. Bu fotoğraflarda, boruların kullanım aşamasındaki bina girişinin

içinden geçirildiği belirlenmiştir. Bu borular kirişin içinden geçirilirken kirişin orta bölgesinde çekme donatıları (kirişin alt bölgesi) ve kesme donatısı kopartılmış, mesnet bölgesinde ise yine çekme donatısı (kirişin üst bölgesi) kesilmiştir. Bütün bu nedenlerden dolayı, binaların yapısal bütünlüğünün kullanım aşamasında da korunabilmesi için, periyodik olarak denetimleri mutlaka yapılmalıdır. Ayrıca binalarda yapılacak olan bütün tadilatlar için, yerel yönetimlerle bina yöneticilerinin de içinde bulunduğu denetim kurulları oluşturulmalı ve binaların yapısal elemanlarının güvenliği sağlanmalıdır.



Şekil 3.75 – Kullanım aşamasında kirişe verilen hasarlar (Karşıyaka, İzmir)

4. KÖPRÜ KİRİŞLERİNİN NEDEN OLDUĞU HASARLAR

İzmir'in Alsancak İlçesi ile Çeşme İlçesi'nin birbirine bağlamak amacıyla 1997 yılında İzmir-Çeşme Otoyolu Projesi'nin imalatına başlanmıştır. Ancak 1999 yılında projede yer alan kordon geçişi mahkeme kararı ile durdurulmuştur (Cihan, 2013). Bir sene içinde yapılan imalatlar yıkılmamış ve günümüze kadar Alsancak bölgesinde atıl konumda bırakılmıştır. Alsancak'ta bu vaziyette bırakılan viyadük kolonları, başlık kirişleri ve öngermeli kirişlerden oluşan yapı (deprem öncesindeki görünümü Şekil 4.1'de gösterilmiştir), Ege Denizi Depremi sırasında zarar görmüştür. Öngermeli kirişlerden iki tanesi kolon başlık kirişlerinden kurtularak, aşağıda bulunan park halindeki araçların üzerine düşmüştür. İlgili resimler Şekil 4.2 ila Şekil 4.4 arasında gösterilmiştir. Kolon başlık kirişleri üzerinde kalan diğer kirişler ise birbirine çarparak (domino taşları gibi) yan yatmıştır (Şekil 4.5). Yarım kalan bu imalatın üzerinde köprü döşemesinin bulunmamasının bu duruma neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.1 – Alsancak'ta atıl bir şekilde bulunan viyadük yapısının deprem öncesi görünümü (Google Maps, 2020)



Şekil 4.2 – Düşen kirişlerin görünümü (1)



Şekil 4.3 – Düşen kirişlerin görünümü (2)



Şekil 4.4 – Düşen kirişlerin görünümü (3)



Şekil 4.5 – Başlık kirişi üzerinde kalan yan yatmış kirişler

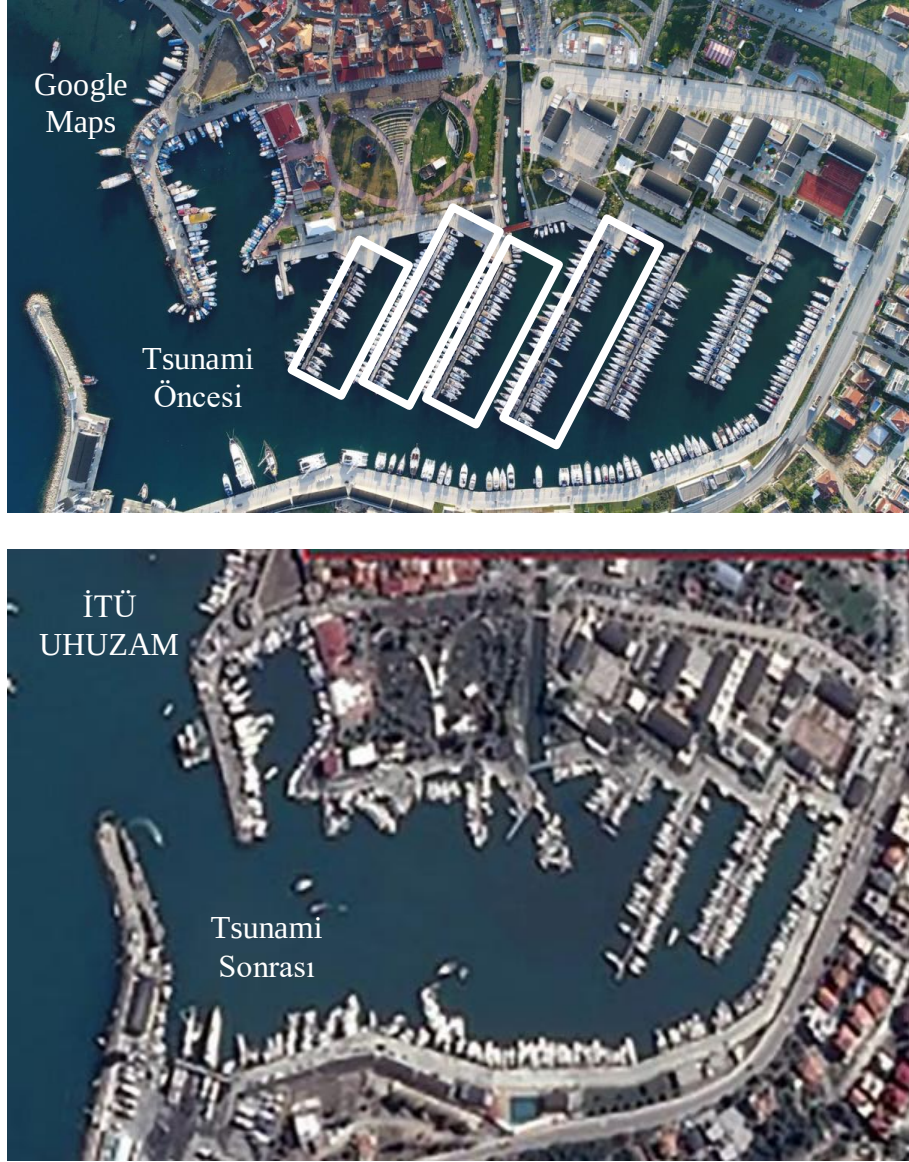
5. SIĞACIK'TA GÖZLENEN HASARLAR

Ege Denizi Depremi sonrasında bölgede tsunami oluşmuş ve Çeşme-Alaçatı'dan Gümüşlük'e kadar olan bölgeyi etkilemiştir. Tsunamiden en çok etkilenen yerler Seferihisar İlçesi'nin Sığacık ve Akarca bölgeleridir. Sığacık Körfezi'ndeki en yüksek tsunami yüksekliği 2.31 m olarak Kaleiçi bölgesi kıyısında ölçülmüştür. Akarca mevkiinde ise en yüksek dalga (tırmanma) yüksekliği kıyıdan 91 metre içeride 3.82 m olarak ölçülmüştür (ODTÜ, 2020). Teknik ekibimizin Sığacık Marina'daki gözlemlerine göre, su seviyesinin yaklaşık olarak 2 metre yükseldiği belirlenmiştir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 – Sığacık Limanı bölgesinde yükselen su seviyesi

Sığacık Marina içerisinde bulunan tekneler bu depremde en önemli hasarı almışlardır. Deprem öncesinde marinada demirli bir şekilde bulunan toplamda 26 tekne batmış ve 43 tekne de karaya oturmuştur (TurkSail, 2020). Marina'nın tsunami öncesi ve sonrasında çekilen fotoğrafları Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Bir marinada yatlar direkt olarak karaya bağlanabildiği gibi, panton denen yüzer dubalara da bağlanabilmektedir. Marinada tsunami öncesi toplamda 6 adet panton bulunmaktaydı. Pantonlardan 4 tanesi (tsunami öncesi şekilde beyaz ile işaretli olanlar) tsunami sırasında marinadan koparak ayrılmıştır. Bu pantonlara bağlı olan tekneler de pantonlarla beraber sürüklenmiş veya batmıştır. Kopan ve hasar almış pantonların görünümü Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Marinadan ayrılan pantonların kopma bölgeleri Şekil 5.4'te gösterilmiştir. Marinada batan tekneler, daha sonra su yüzeyine çıkarılmak amacıyla, dalgıçlar tarafından dubalarla işaretlenmiştir (Şekil 5.5). Bunların yanı sıra, Sığacık Körfezi'nin sığ bölgelerinde de birçok tekne karaya oturmuştur (Şekil 5.6).



Şekil 5.2 – Sığacık Marina’nın tsunami öncesi ve sonrası görünümü (Google Maps, 2020 ve İTÜ, 2020)



Şekil 5.3 – Kopmuş ve hasar almış pantonlar



Şekil 5.4 – Panton kopma bölgeleri



Şekil 5.5 – Batan teknelerin konumları



Şekil 5.6 – Sığacık Körfezi'nde karaya oturan tekneler

Ege Denizi Depremi ve ardından oluşan tsunami Sığacık'ta kara yapılarında da hasara neden olmuştur. Sığacık Körfezi'nde denizle karanın birleştiği yerde bulunan sahil şeridindeki parke taşları ve beton kenarlıklar, Şekil 5.7'de görüldüğü gibi, tsunami sırasında yerlerinden sökülerek denize düşmüştür.



Şekil 5.7 – Tsunaminin hasara neden olduğu sahil şeridi

Sığacık Çarşısı içerisinde bulunan tarihi surların ve yapıların bazıları da deprem sırasında hasar almıştır. Tarihi surlardan kopan kaya parçaları Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Liman Caddesi üzerinde bulunan kubbe şeklindeki yapının iç kısmında bazı dökülmeler oluşmuştur (Şekil 5.9).

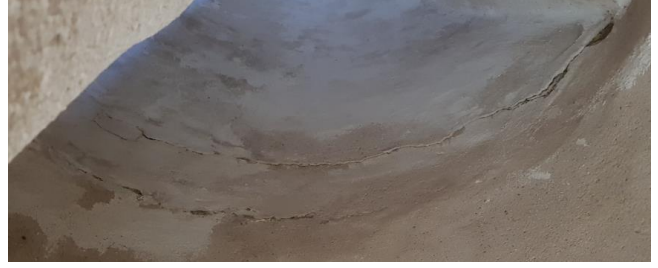
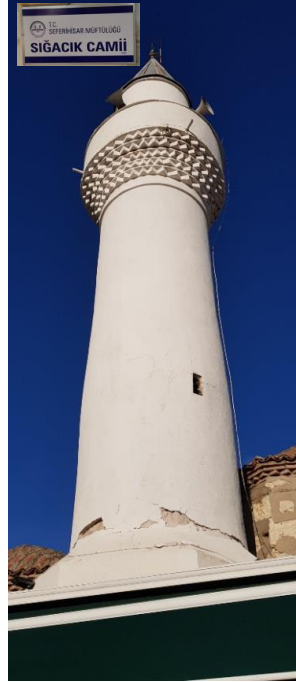
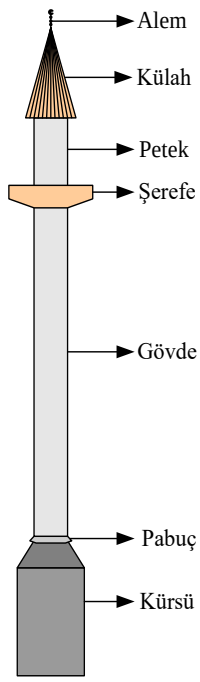


Şekil 5.8 – Hasar almış tarihi surlar



Şekil 5.9 – Tarihi kubbe yapısı ve iç kısmındaki dökülmeler

Sığacık’ta deprem nedeniyle oluşan en önemli yapısal hasarlardan biri de Sığacık Camisi’nde gözlenmiştir. Cami minaresinin gövde kısmı ile kürsü kısmı, tam pabuç bölgesinde oluşan büyük bir kesme çatlağı ile birbirinden ayrılarak ağır hasar almıştır. Bu çatlak sadece dışarıdan değil, iç kısımdan da tespit edilmiştir. İlgili fotoğraflar Şekil 5.10’da verilmiştir.



Şekil 5.10 – Sığacık Camii’nin ağır hasar alan minaresi

6. SONUÇLAR

AFAD (2020a) verilerine göre merkez üssü Yunanistan'a bağlı Sisam Adası'nın 10 km kuzeyinde olan ve moment büyüklüğü (M_w) 6.6 olarak ölçülen deprem, 30 Ekim 2020 Cuma günü yerel saat ile 14:51'de yerin 16.5 kilometre derinliğinde meydana gelmiştir. Deprem nedeniyle İzmir'de ve özellikle Bayraklı İlçesi'nde bulunan betonarme yapıların bazıları yıkılmış veya ağır hasar almıştır. Depremi meydana gelmesinden 13 saat sonra Atılım Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden oluşan bir teknik ekip depremden etkilenen bölgelerde incelemelerine başlamıştır. Bu incelemelere ait bulgular neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Bu depremden dolayı tamamen veya kısmen yıkılmış yapıların özellikle Bayraklı bölgesinde yoğunlaşmasındaki ana nedenlerden biri bölgeye ait yerel zemin durumu ile ilgilidir. Bölgenin yerel zemin türünü alüvyon birikintileri ile nehir çökeltileri oluşturmaktadır. Bu tür zeminlerde deprem yer hareketi nedeni ile ölçülen yer ivme değerleri daha geniş periyot aralıklarında artış göstererek etkili olmaktadır. Bu artış nedeni ile özellikle 0.2 ila 1.5 saniye periyotlarına sahip binaların maruz kaldıkları yer ivme değerleri de beklenin üzerinde olmaktadır. Bu yüzden tasarımların mevcut deprem yönetmeliklerine uygun olarak gerçekleştirilmesi ve gerekli görülen yerlerde sahaya özel zemin davranışı analizinin yapılması gerekmektedir.
- Bu depremde tamamen veya kısmen yıkılmış yapıların tümü 1990'lı yıllarda inşa edilmiştir. Tasarımlarının da o dönem yürürlükte olan ABYYHY (1975)'e göre yapılmış olması gerekmektedir. Ancak bu binaların tasarımı ve/veya yapımı sırasında bu yönetmelikte belirtilen kural ve koşulların büyük bir kısmının uygulanmadığı görülmüştür.
- Türkiye'de Yapı Denetim Hakkında Kanunu (Resmi Gazete, 2001) çıkmadan önce, yapıların tasarım ve imalatı ile ilgili denetim konusunda büyük sorunlar yaşanmaktaydı. O dönemlerde tasarım aşamasında ne zemin raporları, ne yapısal tasarım raporları, ne de projeler denetlenmekteydi. İmalat aşamasında da benzer şekilde hiçbir denetim olmadığı bir gerçektir. Bu nedenle, Türkiye'de ilgili kanun öncesinde tasarlanan ve yapılan bütün betonarme binalar deprem güvenliği açısından değerlendirilmeli ve gerekli önlemler (güçlendirme veya yeniden yapım) bu yapılar için acilen alınmalıdır.
- Binaların kullanım süreleri boyunca yapısal performanslarını olumsuz etkileyecek türden yapılmış ya da yapılacak olan her türlü hatalı uygulamanın önüne geçmek için, yapıları kullanımı süresince de mutlaka gerekli idari kontroller ve denetimler sağlanmalıdır. Örnek olarak binalarda yapılacak olan bütün tadilatlar için, yerel yönetimlerle bina yöneticilerinin de içinde bulunduğu denetim kurulları oluşturulabilir ve binaların özellikle yapısal elemanlarının güvenliği sağlanabilir.
- Bu depremde kullanımda olmayan viyadük ayağı üzerindeki kirişlerin, deprem sırasında aşağıya düşerek hasara neden olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle kullanılmayan yapıların da, herhangi can kaybına ve maddi hasara neden olmaması için, deprem güvenliği açısından kontrol edilmesi ve gerekirse yıkılması gerekmektedir.
- Türkiye'nin $\frac{3}{4}$ 'ü denizlerle çevrilidir. Bu nedenle yapılarımızı tasarlarken, deprem sonrasında oluşabilecek etkiler (tsunami, heyelan, vb.) de göz önünde bulundurulmalıdır.

TEŞEKKÜR

Bölgedeki incelemelerin gerçekleştirilmesi için sağladıkları destekten dolayı Atılım Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dekanlığı'na, Rektörlüğü'ne ve Mütevelli Heyeti'ne teşekkürlerimizi sunarız. Bunun yanı sıra, incelemeler süresince konaklama konusunda teknik ekibe yardım ve desteklerinden dolayı Doç. Dr. Tonguç Akış'a çok teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

AA (Anadolu Ajansı), 2020a. <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/bakan-kurum-izmirde-tum-hasar-tespit-calismalar-tamamlandi/2039895>. Ankara. Bağlantıya en son 1 Ocak 2021 tarihinde ulaşılmıştır.

AA (Anadolu Ajansı), 2020b. <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/bayrakli-belediye-baskani-sandaldan-rizabey-ve-doganlar-apartmanlari-raporuyla-ilgili-aciklama/2030535>, Ankara. Bağlantıya en son 1 Ocak 2021 tarihinde ulaşılmıştır.

ABYYHY, 1962. “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik.” T.C. İmar ve İskân Bakanlığı, Ankara.

ABYYHY, 1968. “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik.” T.C. İmar ve İskan Bakanlığı, Ankara.

ABYYHY, 1975. “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik.” T.C. İmar ve İskan Bakanlığı, Ankara.

ABYYHY, 1998. “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik.” T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.

Açık Radyo, 2020. “Altın Saatler: 11 Kasım 2020, İnşaat Mühendisleri Ali Muzaffer Tunçağ ve Şeref Polat ile depremin İzmir’e etkileri konusunda yanlış bilinenleri konuştuk.” <https://acikradyo.com.tr/program/44312/kayit-arsivi>. Bağlantıya en son 1 Ocak 2021 tarihinde ulaşılmıştır.

AFAD (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı), 2020a. “30 Ekim 2020 Ege Denizi, Seferihisar (İzmir) Açıkları (17,26 Km) M_w 6.6 Depremine İlişkin Ön Değerlendirme Raporu.” İçişleri Bakanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı, Ankara.

AFAD (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı), 2020b. <https://tdth.afad.gov.tr/>. İçişleri Bakanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı, Ankara. Bağlantıya en son 1 Ocak 2021 tarihinde ulaşılmıştır.

AFAD (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı), 2020c. Deprem Dairesi Başkanlığı, T.C. İçişleri Bakanlığı, 2020c. <https://deprem.afad.gov.tr/tarihteBuAy?id=65>. İçişleri Bakanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı, Ankara. Bağlantıya en son 1 Ocak 2021 tarihinde ulaşılmıştır.

Bayraklı Belediyesi, 2020. <https://bayrakli.bel.tr/Sayfa/80/deprem-etud-merkezi-baydem>. Deprem Etüt Merkezi, İzmir. Bağlantıya en son 1 Ocak 2021 tarihinde ulaşılmıştır.

Cihan, U., 2013. “İzmir Kordon Yolu Projesi: Bir Kentsel Vaka Takdimi.” 2. İzmir Kent Sempozyumu, TMMOB, İzmir.

CMT (Harvard Üniversitesi), 2020. <https://www.globalcmt.org/>. Bağlantıya en son 1 Ocak 2021 tarihinde ulaşılmıştır.

DBYBHY, 2007. “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik.” T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.

Drahor, M. G. ve Berge, M. A., 2016. “Integrated geophysical investigations in a fault zone located on southwestern part of İzmir city, Western Anatolia, Turkey.” Journal of Applied Geophysics 136, 114–133.

Emre, Ö. ve Barka, A., 2000. “Gediz Grabeni-Ege Denizi arasının (İzmir yöresi) aktif fayları.” Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu, İzmir, 131–132.

Emre Ö., Özalp S., Doğan A., Özaksoy V., Yıldırım C. ve Göktaş, F., 2005. “İzmir ve yakın çevresinin diri fayları ve deprem potansiyelleri.” Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü (MTA), Jeoloji Etütleri Dairesi, Rapor No. 10754, Ankara.

GFZ. 2020. <https://geofon.gfz-potsdam.de/>. Bağlantıya en son 1 Ocak 2021 tarihinde ulaşılmıştır.

İTÜ (İstanbul Teknik Üniversitesi), 2020. <http://web.cscrs.itu.edu.tr/>, Uydu Haberleşme ve Uzaktan Algılama Merkezi (UZUHAM), İstanbul. Bağlantıya en son 1 Ocak 2021 tarihinde ulaşılmıştır.

Kıncal, C., 2004. “İzmir İç Körfezi Çevresinde Yer Alan Birimlerin Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Teknikleri Kullanılarak Mühendislik Jeolojisi Açısından Değerlendirilmesi.” Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir.

Kandilli (Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü), 2020. “30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi Basın Bülteni.” Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.

Kuruoglu, M. ve Eskisar T., 2015. “Effect of local soil conditions on dynamic ground response in the southern coast of İzmir Bay, Turkey.” Russian Geology and Geophysics, 56, 1201-1212.

Google Maps, 2020. <https://www.google.com/maps>. Bağlantıya en son 1 Ocak 2021 tarihinde ulaşılmıştır.

MTA (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü), 2020a. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/yenilenmis-diri-fay-haritalari>. Bağlantıya en son 1 Ocak 2021 tarihinde ulaşılmıştır.

MTA (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü), 2020b. <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>. Bağlantıya en son 1 Ocak 2021 tarihinde ulaşılmıştır.

MTA (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü), 2020c. “30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi (Mw=6,9) Saha Gözlemleri ve Değerlendirme Raporu.” Ankara.

NTV, 2020. “Rıza Bey Apartmanı'nın Yıkılma Anı.” https://www.ntv.com.tr/video/turkiye/riza-bey-apartmaninin-yikilma-ani,OrMnbvfG00u-RFoP_resZw. Bağlantıya en son 1 Ocak 2021 tarihinde ulaşılmıştır.

Ocakoğlu, N., Demirbağ, E. ve Kuşçu, İ., 2004. “Neotectonic structures in the area offshore of Alaçatı, Doğanbey and Kuşadası (western Turkey): evidence of strike-slip faulting in the Aegean extensional province.” Tectonophysics, 391, 67-83.

Ocakoğlu, N., Demirbağ, E. ve Kuşçu, İ., 2005. “Neotectonic structures in İzmir Gulf and surrounding regions (western Turkey): evidences of strike-slip faulting with compression in the Aegean extensional regime.” Marine Geology, 219, 155-171.

ODTÜ (Orta Doğu Teknik Üniversitesi), 2020. “30 Ekim 2020 M_w 6.6 Sisam Adası (İzmirseferihisar Açıkları) Depremi Sismik ve Yapısal Hasara İlişkin Saha Gözlemleri.” Rapor No: ODTÜ/DMAM 2020-03, Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi, ODTÜ, Ankara.

Okay, A. I., Zattin, M. ve Cavazza, W., 2010. “Apatite fissiontrack data for the Miocene Arabia-Eurasia collision.” Geology, 38, 35-38.

Pamuk, E., Akgün M., Özdağ Ö. C. ve Gönenç, T., 2017. “2D soil and engineering-seismic bedrock modeling of eastern part of İzmir inner bay/Turkey.” Journal of Applied Geophysics, 137, 104-117.

Pamuk E. ve Özdağ Ö. C., Akgün M., 2019. “Soil characterization of Bornova Plain (İzmir, Turkey) and its surroundings using a combined survey of MASW and ReMi methods and Nakamura’s (HVSr) technique.” Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 78:3023-3035.

Posta, 2020. “İzmir’de Karagül apartmanının yıkılma anı kameralara yansıdı.” <https://www.posta.com.tr/izmirde-karagul-apartmaninin-yikilma-ani-kameralara-yansidi-2285898>. Bağlantıya en son 1 Ocak 2021 tarihinde ulaşılmıştır.

Resmi Gazete, 1933. “Belediye Yapı ve Yollar Kanunu,” Kanun No: 2290, Sayı: 2433, Ankara.

Resmi Gazete, 2001. “Yapı Denetimi Hakkında Kanun,” Kanun No: 4708, Sayı: 24461, Tertip: 5, Cilt: 40, Ankara.

Resmi Gazete, 2017. “Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği,” Sayı: 30113, Ankara.

Sözbilir, H., Sümer, O., Uzel, B., Ersoy, E., Erkul, F., İnci, U., Helvacı, C. ve Özkaymak, C., 2009. “17-20 Ekim 2005 Sığacık Körfezi depremlerinin sismik jeomorfolojisi ve bölgedeki gerilme alanları ile ilişkisi, Batı Anadolu.” Türkiye Jeoloji Bülteni 53(2), 217-238.

Sözbilir, H., Uzel, B., Sümer, O., İnci, U., Ersoy, E., Koçer, T., Demirtaş, R. ve Özkaymak, C., 2008. “D-B uzanımlı İzmir fayı ile KD-GB uzanımlı Seferihisar Fayı’nın birlikte çalıştığına dair veriler: İzmir Körfezi’ni oluşturan aktif faylarda Kinematik ve Paleosismolojik Çalışmalar, Batı Anadolu.” Türkiye Jeoloji Bülteni 52(2), 91-114.

TBDY, 2018. “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği – Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı için Esaslar,” T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.

TurkSail, 2020. “Sığacık’ı vuran tsunaminin denizdeki faturası.” <http://www.turksail.com/genel-haberler/17372-s-gac-k-vuran-tsunaminin-denizdeki-faturas>, İstanbul. Bağlantıya en son 1 Ocak 2021 tarihinde ulaşılmıştır.

TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu), 2020. <https://www.tuik.gov.tr>. Bağlantıya en son 1 Ocak 2021 tarihinde ulaşılmıştır.

TYBYY, 1949. “Türkiye Yersarsıntısı Bölgeleri Yapı Yönetmeliği,” T.C. Bayındırlık Bakanlığı, Ankara.

USGS (The United States Geological Survey), 2020. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000c7y0/executive>. Bağlantıya en son 1 Ocak 2021 tarihinde ulaşılmıştır.

Uzel, B., Sozbilir, H. ve Ozkaymak, C., 2012. “Evolution of an actively growing superimposed basin in Western Anatolia: The Inner Bay of Izmir.” Turkish Journal of Earth Sciences, 21 (4), 439-471.

YBYYHY, 1953. “Yersarsıntısı Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik,” T.C. Bayındırlık Bakanlığı, Ankara.

ZMYİİYT, 1940. “Zelzele Mıntıklarında Yapılacak İnşaata Ait İtalyan Yapı Talimatnamesi,” T.C. Bayındırlık Bakanlığı, Ankara.

ZMMYT, 1944. “Zelzele Mıntıkları Muvakkat Yapı Talimatnamesi,” T.C. Bayındırlık Bakanlığı, Ankara.